GJB

中华人民共和国国家军用标准

FL 0102

GJB/Z 299D—2024

代替 GJB/Z 299C—2006、GJB/Z 108A—2006

电子设备可靠性预计手册

Reliability prediction handbook for electronic equipment

2024—07—05 发布　　　　2024—10—01 实施

中央军委装备发展部　颁布

目　　次

前　　言

本指导性技术文件合并修订并代替 GJB/Z 299C—2006《电子设备可靠性预计手册》和 GJB/Z 108A—2006《电子设备非工作状态可靠性预计手册》。

本指导性技术文件修订时仍保持了 GJB/Z 299C—2006 中元器件应力分析可靠性预计法和元器件计数可靠性预计法的框架结构，与其相比，主要有以下变更：

a） 将原 GJB/Z 299C《电子设备可靠性预计手册》仅适用于工作状态的可靠性预计，通过增加资料性附录和规范性附录调整为适用于全寿命状态的可靠性预计，全寿命可靠性预计模型由工作状态可靠性预计模型、非工作状态可靠性预计模型两部分构成。正文部分仍为仅适用于工作状态的可靠性预计，其他模型和方法在标准中则以附录的方式提供。

b） 细化了可靠性预计质量等级的划分，更新了可靠性预计质量等级引用的生产执行标准，并适当调整了部分元器件类别的质量系数。

c） 调整了各类别元器件的基本失效率数值和 π 系数值，更新了 T—S 曲线图。

d） 更新了各类别元器件通用失效率表。

e） 增加了 GaN 微波集成电路、声表面波滤波器、声表面波振荡器、声表面波延迟线、整流二极管、开关二极管、检波二极管、瞬态抑制二极管、雪崩二极管、功率晶体管、开关晶体管、达林顿晶体管、玻璃釉电阻器、箔式电阻器、非线绕精密电位器、氧化铌电解电容器、扼流圈、真空继电器、射频继电器、接触器式继电器、行程开关、温控振荡器、压控振荡器、介电滤波器、GaN 微波场效应晶体管、激光二极管、光电二极管探测器、光电晶体管探测器、砷化镓太阳能电池、氢镍蓄电池共 30 类元器件的可靠性预计模型或参数。

f） 删除了合成电阻器、3 类瓷介电容器、玻璃釉电容器、功率线绕电位器、微波锗检波、微波锗混频二极管的可靠性预计模型。

g） 修改和完善了微电路、普通二极管、双极型晶体管、硅场效应晶体管、光电子器件、线绕电阻器、片式膜电阻器、压敏电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、电感器、变压器、继电器、电连接器、振荡器、激光器、光纤连接器的预计模型或系数。

h） 扩展了微电路、行波管和电连接器的预计范围(最大规模)：

1） 通用 MOS 数字电路：由原来最高的 500 万门扩展至 1 000 万门；

2） 存储器：SRAM 由原来最高的 64MB 扩展至 512MB，DRAM 由原来最高的 64MB 扩展至 1GB，EEPROM、UVEPROM、FLASH 由原来的 64MB 扩展至 1GB；

3） 微处理器：由原来最高的 2.2 亿个晶体管扩展至 14 亿个晶体管；

4） 封装引脚数：插接阵列由原来最高的 500 扩展至 2 042；

5） 行波管的频率由原来的 40GHz 扩展至 110GHz，功率由原来的 90kW 扩展至 120kW；

6） 电连接器接触件数由原来的 100 扩展至 4 000。

本指导性技术文件附录 B 是规范性附录，附录 A、附录 C～附录 G 是资料性附录。

本指导性技术文件由中央军委装备发展部合同监管局提出。

本指导性技术文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所。

本指导性技术文件主要起草人：聂国健、王蕴辉、莫郁薇、任　艳、杨　云、张剑伟、郑丽香、古文刚、翟　芳、于　迪、盛德星、薛海红、段翠霞、林长苓、苏瑜、杨少华、李坤兰、刘志斯、纪婧如、陈少珠。

GJB/Z 299 的历次版本发布情况为：

GJB/Z 299—1987、GJB/Z 299A—1991、GJB/Z 299B—1998、GJB/Z 299C—2006；

GJB/Z 108—1998、GJB/Z 108A—2006。

电子设备可靠性预计手册

1 范围

本指导性技术文件为电子设备和系统的可靠性预计提供了基本数据和方法。

本指导性技术文件适用于电子设备和系统的可靠性预计，其中元器件应力分析可靠性预计法适用于产品已具有详细的元器件清单，并已确定了元器件所承受应力的设备研制阶段；元器件计数可靠性预计法适用于产品研制的初步设计阶段。

本指导性技术文件所提供的元器件失效率数据仅适用于正常工作条件下工作的电子设备可靠性预计；凡过应力使用，超过基本失效率表所列值的任何外推(如超过规定的温度范围，或电应力比大于1或等于0)都是无效的。

本指导性技术文件提供的基本失效率数据未考虑核辐射环境，也未考虑电离辐射的影响。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本指导性技术文件的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本指导性技术文件，但提倡使用本指导性技术文件的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本指导性技术文件。

GB/T 2658　小型交流风机通用技术条件

GB/T 2693　电子设备用固定电容器　第1部分：总规范

GB/T 4588.1　无金属化孔单双面印制板分规范

GB/T 4588.2　有金属化孔单双面印制板分规范

GB/T 4588.4　多层印制板分规范

GB/T 4588.10　有贯穿连接的刚挠双面印制板规范

GB/T 4589.1　半导体器件分立器件和集成电路总规范

GB/T 4874　直流固定金属化纸介电容器总规范

GB/T 5729　电子设备用固定电阻器　第1部分：总规范

GB 5960　阴极射线管总规范

GB/T 5966　电子设备用固定电容器　第8部分：分规范：1类瓷介固定电容器

GB/T 5968　电子设备用固定电容器　第9部分：分规范：2类瓷介固定电容器

GB/T 5993　电子设备用固定电容器　第4部分：分规范：非固体或固体电解质铝电容器

GB/T 6252　电子设备用A类调谐可变电容器类型规范

GB/T 6253　电子设备用B类调谐可变电容器类型规范

GB/T 6254　电子设备用C类调谐可变电容器类型规范

GB/T 6255　空间电荷控制电子管总规范

GB/T 6261　电子设备用固定电容器　第5部分：分规范：额定电压不超过3000V的直流云母介质固定电容器试验方法的选择和一般要求

GB/T 6346　电子设备用固定电容器　第11部分：分规范：金属箔式聚乙烯对苯二甲酸乙二醇酯膜介质直流固定电容器

GB 6492　航天用标准太阳电池

GB/T 6495.2　光伏器件　第2部分：标准太阳电池的要求

GB/T 6643　通用硬同轴传输线及其法兰连接器总规范
GB/T 6663　直热式负温度系数热敏电阻器总规范
GB/T 7153　直热式阶跃型正温度系数热敏电阻器　第1部分：总规范
GB/T 7213　电子设备用固定电容器　第15部分：分规范：非固体或固体电解质钽电容器
GB/T 7332　电子设备用固定电容器　第2部分：分规范：金属化聚乙烯对苯二甲酸酯膜介质直流固定电容器
GB/T 7344　交流伺服电动机通用技术条件
GB/T 7345　控制微电机基本技术要求
GB/T 8976　膜集成电路和混合膜集成电路总规范
GB/T 9020　视频同轴连接器总规范
GB/T 9320　电子设备用固定电容器　第8部分(1)：分规范：1类高压瓷介电容器
GB/T 9322　电子设备用固定电容器　第9部分(1)：分规范：2类高压瓷介电容器
GB/T 9367　彩色广播电视接收机用回扫变压器总技术条件
GB/T 9368　镉镍碱性蓄电池
GB/T 9369　镉镍碱性蓄电池组
GB/T 9536　电子设备用机电开关　第1部分：总规范
GB/T 9537　电子设备用键盘开关　第1部分：总规范
GB/T 9538　带状电缆连接器总规范
GB/T 9597　电子设备用固定电容器分规范：1类高功率瓷介电容器
GB/T 10193　电子设备用压敏电阻器　第1部分：总规范
GB/T 10194　电子设备用压敏电阻器　第2部分：浪涌抑制勇压敏电阻分规范
GB/T 10241　旋转变压器通用技术条件
GB/T 10401　永磁式直流力矩电动机通用技术条件
GB/T 10402　磁阻式步进电动机通用技术条件
GB/T 10403　多极和双通道感应移相器通用技术条件
GB/T 10404　多极和双通道旋转变压器通用技术条件
GB/T 11010　光谱标准太阳电池
GB/T 11013　碱性二次电池和电池组圆柱密封镉镍可充单体电池
GB/T 11313　射频连接器　第1部分：总规范：一般要求和试验方法
GB/T 11478　摄像管总规范
GB/T 11498　膜集成电路和混合膜集成电路分规范(采用鉴定批准程序)
GB/T 12078　X射线管总规范
GB/T 12564　光电倍增管总规范
GB/T 12565　半导体器件光电子器件分规范
GB/T 12632　单晶硅太阳电池总规范
GB/T 12775　电子设备用圆片瓷介预调可变电容器总规范
GB/T 12846　脉冲闸流管总规范
GB/T 12852　磁控管总规范
GB/T 12859　电子设备用压电陶瓷谐振器总规范
GB 13139　磁滞同步电动机通用技术条件
GB/T 13189　旁热式负温度系数热敏电阻器总规范
GB/T 13265.1　纤维光学隔离器　第1部分：总规范
GB/T 13416　射频传输线(同轴)开关总规范

GB/T 13706　光电管总规范

GB/T 13943　荧光显示管总规范

GB/T 13945　辉光放电显示管总规范

GB/T 14004　电子设备用固定电容器　第 6 部分：分规范 金属化聚碳酸酯膜介质直流固定电容器

GB/T 14007　陆地用太阳电池组件总规范

GB/T 14008　海上用太阳电池组件总规范

GB/T 14110　闸流管与充气整流管总规范

GB/T 14121　电子设备用固定电容器　第 3 部分：分规范：片状钽固定电容器

GB/T 14182　变像管和像增强管总规范

GB/T 14186　充气稳压管总规范

GB/T 14515　有贯穿连接的单、双面挠性印制板技术条件

GB/T 14516　无贯穿连接的单、双面挠性印制板技术条件

GB/T 14860　通信和电子设备用变压器和电感器总规范

GB/T 15142　方形开口镉镍单体蓄电池总规范

GB/T 15287　抑制射频干扰整件滤波器　第 1 部分：总规范

GB/T 15290　电子设备用电源变压器和滤波扼流圈总技术条件

GB/T 15298　电子设备用电位器　第 1 部分：总规范

GB/T 15448　电子设备用固定电容器　第 19 部分：分规范：金属化聚乙烯对苯二甲酸酯膜介质直流片式固定电容器

GB/T 15654　电子设备用膜固定电阻网络　第 1 部分：总规范

GB/T 16261　印刷板总规范

GB/T 16512　抑制射频干扰固定电感器　第 1 部分：总规范

GJB 33－1985　半导体分立器件总规范

GJB 33A－1997　半导体分立器件总规范

GJB 62－1985　有可靠性指标的精密聚苯乙烯电容器总规范

GJB 63A－1991　有可靠性指标的固体电解质钽电容器总规范

GJB 63B－2001　有可靠性指标的固体电解质钽电容器总规范

GJB 65A－1991　有可靠性指标的电磁继电器总规范

GJB 65B－1999　有可靠性指标的电磁继电器总规范

GJB 101A－1997　耐环境快速分离小圆形电连接器总规范

GJB 142A－1994　机柜用外壳定位小型矩形连接器总规范

GJB 142B－2011　外壳定位小矩形电连接器通用规范

GJB 176－1986　耐环境线簧孔矩形电连接器总规范

GJB 176A－1998　耐环境线簧孔矩形电连接器总规范

GJB 177－1986　压接接触矩形电连接器总规范

GJB 177A－1999　压接接触件矩形电连接器总规范

GJB 191A－1997　有可靠性指标的云母电容器总规范

GJB 191B－2009　含宇航级云母固定电容器通用规范

GJB 192A－1998　有可靠性指标的无包封多层片式瓷介电容器总规范

GJB 192B－2011　有失效率等级的无包封多层片式瓷介固定电容器通用规范

GJB 244－1987　有可靠性指标的薄膜固定电阻器总规范

GJB 244A－2001　有质量等级的薄膜固定电阻器总规范

GJB 264－1987　机械滤波器总规范

GJB 265—1987　合成电位器总规范
GJB 361—1987　控制微电机基本技术要求
GJB 361A—1997　控制电机通用规范
GJB 362A—1996　刚性印制板总规范
GJB 468—1988　有可靠性指标的和没有可靠性指标的I类瓷介电容器总规范
GJB 468A—2011　I类瓷介固定电容器通用规范
GJB 469—1988　镉镍圆柱密封碱性蓄电池总规范
GJB 517—1988　密封镉镍蓄电池组通用技术条件
GJB 517A—1998　密封镉镍蓄电池组通用技术条件
GJB 597—1988　微电路总规范
GJB 597A—1996　半导体集成电路总规范
GJB 597B—2012　半导体集成电路通用规范
GJB 598—1988　耐环境快速分离圆形电连接器总规范
GJB 598A—1996　耐环境快速分离圆形电连接器总规范
GJB 599A—1993　耐环境快速分离高密度小圆形电连接器总规范
GJB 599B—2012　耐环境快速分离高密度小圆形电连接器通用规范
GJB 600—1988　螺纹连接圆形电连接器总规范
GJB 600A—2001　螺纹连接圆形电连接器总规范
GJB 601—1988　热敏电阻器总规范
GJB 601A—1998　热敏电阻器总规范
GJB 603—1988　有可靠性指标的铝电解电容器总规范
GJB 603A—2011　有失效率等级的铝电解电容器通用规范
GJB 675—1989　有可靠性指标的模制射频固定电感器总规范
GJB 675A—2002　有和无可靠性指标的模制射频固定电感器通用规范
GJB 677—1989　同轴和波导可变衰减器总规范
GJB 680—1989　射频同轴连接器、转接器总规范
GJB 680A—2009　射频同轴连接器转接器总规范
GJB 681—1989　射频同轴连接器总规范
GJB 681A—2002　射频同轴连接器通用规范
GJB 728—1989　玻璃介质微调可变电容器总规范
GJB 732—1989　有可靠性指标的塑料膜(或纸—塑料膜)介质(金属、陶瓷或玻璃外壳密封)固定电容器总规范
GJB 733A—1996　有可靠性指标的非固体电解质固定钽电容器总规范
GJB 733B—2011　有失效率等级的非固体电解质钽固定电容器通用规范
GJB 734—1989　旋转开关(电路选择器，小电流容量)总规范
GJB 734A—2002　旋转开关(电路选择器，小电流容量)通用规范
GJB 735—1989　密封钮子开关总规范
GJB 777—1989　交流测速发电机通用规范
GJB 777A—1997　交流测速发电机通用规范
GJB 783A—1999　驱动微电机通用规范
GJB 783B—2011　驱动微电机通用规范
GJB 787—1989　交流伺服电动机通用规范
GJB 787A—1999　交流伺服电动机通用规范

GJB 788－1989　自整角机通用规范
GJB 788A－1999　自整角机通用规范
GJB 789－1989　磁滞同步电动机通用规范
GJB 789A－1999　磁滞同步电动机通用规范
GJB 809－1990　微动开关通用规范
GJB 809A－1997　微动开关通用规范
GJB 916A－2001　锂－二氧化硫电池通用规范
GJB 916B－2011　军用锂原电池通用规范
GJB 917－1990　线绕预调电位器总规范
GJB 917A－2011　线绕预调电位器总规范
GJB 918－1990　非线绕预调电位器总规范
GJB 918A－2011　非线绕预调电位器总规范
GJB 920－1990　膜固定电阻网络总规范
GJB 920A－2002　膜固定电阻网络总规范
GJB 922－1990　电子管总规范
GJB 924－1990　有可靠性指标的 2 类瓷介电容器总规范
GJB 924A－2012　2 类瓷介电容器通用规范
GJB 929－1990　旋转变压器通用规范
GJB 929A－1998　旋转变压器通用规范
GJB 970－1990　防水快速分离重负荷电连接器总规范
GJB 971－1990　永磁式直流力矩电动机通用规范
GJB 971A－1999　永磁式直流力矩电动机通用规范
GJB 972－1990　有和无可靠性指标的塑料膜介质交直流固定电容器通用规范
GJB 972A－2002　有和无可靠性指标的塑料膜介质交直流固定电容器通用规范
GJB 974－1990　多单元按钮开关总规范
GJB 976－1990　同轴、带状或微带传输线用的射频同轴连接器总规范
GJB 976A－2009　同轴、带状线或微带传输线用射频同轴连接器通用规范
GJB 977－1990　同轴波导转换器总规范
GJB 978A－1997　单列、双列插入式电子元器件插座总规范
GJB 1042－1990　电磁继电器总规范
GJB 1042A－2002　电磁继电器总规范
GJB 1065－1991　射频隔离器总规范
GJB 1065A－2004　射频隔离器和环行器通用规范
GJB 1212－1991　射频三同轴连接器总规范
GJB 1212A－2011　射频三同轴连接器通用规范
GJB 1214－1991　有可靠性指标的优质金属化塑料膜介质直流、交流或交、直流金属壳密封的固定电容器总规范
GJB 1214A－2009　含宇航级金属化塑料膜介质密封固定电容器通用规范
GJB 1312－1991　非固体电解质钽电容器总规范
GJB 1312A－2001　非固体电解质钽电容器总规范
GJB 1313－1991　云母电容器总规范
GJB 1314－1991　2 类瓷介电容器总规范
GJB 1315－1991　可靠断路钮子开关总规范

GJB 1421—1992　无接触旋转变压器通用规范
GJB 1423—1992　小型交流风机通用规范
GJB 1424—1992　射频微带隔离器总规范
GJB 1429—1992　热延时继电器总规范
GJB 1431—1992　空间用单晶硅太阳电池总规范
GJB 1432A—1999　有可靠性指标的膜式片状固定电阻器总规范
GJB 1432B—2009　片式膜固定电阻器通用规范
GJB 1433—1992　瓷介微调可变电容器总规范
GJB 1434—1992　真空继电器总规范
GJB 1435—1992　开关电源变压器总规范
GJB 1436—1992　干簧继电器总规范
GJB 1438—1992　印制电路连接器及其附件总规范
GJB 1438A—2006　印刷电路连接器及其附件通用规范
GJB 1457—1992　永磁直流测速发电机通用规范
GJB 1461—1992　含可靠性指标的电磁继电器总规范
GJB 1508—1992　石英晶体滤波器总规范
GJB 1509—1992　同轴线、波导或微带线定向耦合器总规范
GJB 1509A—2011　定向耦合器通用规范
GJB 1511—1992　压电陶瓷滤波器总规范
GJB 1512—1992　按钮开关总规范
GJB 1512A—2011　按钮开关通用规范
GJB 1513—1992　混合和固体延时继电器通用规范
GJB 1513A—2009　混合和固体延时继电器通用规范
GJB 1514—1992　水银湿簧继电器总规范
GJB 1515—1992　固体继电器总规范
GJB 1515A—2001　固体继电器总规范
GJB 1517—1992　恒温继电器总规范
GJB 1517A—2011　恒温继电器通用规范
GJB 1518—1992　射频干扰滤波器总规范
GJB 1519—1992　双列直插式开关总规范
GJB 1520—1992　非气密封固体电解质钽电容器总规范
GJB 1521—1992　小功率脉冲变压器总规范
GJB 1521A—2013　小功率脉冲变压器通用规范
GJB 1522—1992　含可靠性指标的降低射频干扰金属壳密封的交流和直流穿心电容器总规范
GJB 1523—1992　精密线绕电位器总规范
GJB 1609—1993　指示轮编码开关总规范
GJB 1641—1993　装甲车辆用直流电动机通用规范
GJB 1642—1993　自整角伺服力矩机通用规范
GJB 1648—1993　晶体振荡器总规范
GJB 1648A—2011　晶体振荡器通用规范
GJB 1652—1993　特种函数旋转变压器通用规范
GJB 1658—1993　功率型旋转开关总规范
GJB 1660—1993　阴极射线管用偏转线圈总规范

GJB 1661—1993 中频、射频和鉴频变压器总规范
GJB 1684—1993 减速直流电动机通用规范
GJB 1780—1993 印制绕组直流伺服电动机通用规范
GJB 1782—1993 压敏电阻器总规范
GJB 1786—1993 无槽电枢直流伺服电动机通用规范
GJB 1862—1994 有可靠性指标的精密固定电阻器总规范
GJB 1863—1994 无刷直流电动机通用规范
GJB 1864—1994 射频固定和可变片式电感器总规范
GJB 1864A—2011 射频固定和可变片式电感器通用规范
GJB 1865—1994 非线绕精密电位器总规范
GJB 1865A—2011 非线绕精密电位器总规范
GJB 1919—1994 耐环境中性圆形光纤光缆连接器总规范
GJB 1919A—2009 耐环境中性圆形光纤光缆连接器通用规范
GJB 1929—1994 高稳定薄膜固定电阻器总规范
GJB 1933—1994 微波铁氧体开关总规范
GJB 1937—1994 摆动电动机通用规范
GJB 1939—1994 无刷自整角机通用规范
GJB 1940—1994 有可靠性指标的高压多层瓷介固定电容器总规范
GJB 1940A—2012 高压多层瓷介固定电容器通用规范
GJB 2138—1994 石英晶体元件总规范
GJB 2138A—2011 石英晶体元件通用规范
GJB 2143—1994 多极和双通道旋转变压器通用规范
GJB 2144—1994 多极和双通道感应移相器通用规范
GJB 2146—1994 发光二极管固体显示器总规范
GJB 2146A—2011 半导体发光二极管器件通用规范
GJB 2147—1994 低速同步电动机通用规范
GJB 2149—1994 有可靠性指标的螺杆驱动线绕预调电位器总规范
GJB 2162—1994 机械航空时钟规范
GJB 2163—1994 舰船指针式石英钟规范
GJB 2181—1994 镉镍蓄电池组通用规范
GJB 2181A—2012 排气式镉镍蓄电池组通用规范
GJB 2278—1995 锂-亚硫酰氯电池通用规范
GJB 2281—1995 带状电缆电连接器总规范
GJB 2283—1995 有可靠性指标的片式固体电解质钽电容器总规范
GJB 2283A—2014 片式固体电解质钽固定电容器通用规范
GJB 2438—1995 混合集成电路总规范
GJB 2438A—2002 混合集成电路通用规范
GJB 2441—1995 步进电动机通用规范
GJB 2441A—2012 步进电动机通用规范
GJB 2444—1995 双芯对称系列射频同轴连接器和附件总规范
GJB 2445—1995 电子元器件引线端插座总规范
GJB 2446—1995 外壳定位超小型矩形电连接器总规范
GJB 2446A—2011 外壳定位微矩形电连接器通用规范

GJB 2447—1995　耐振音频电连接器总规范
GJB 2449—1995　塑封通用电磁继电器总规范
GJB 2450—1995　非密封钮子开关总规范
GJB 2450A—2012　钮子开关通用规范
GJB 2514—1995　军用免维护铅酸蓄电池通用规范
GJB 2514A—2012　军用铅酸蓄电池通用规范
GJB 2549—1995　永磁交流伺服电动机通用规范
GJB 2550—1995　无刷感应移相器通用规范
GJB 2600—1996　声表面波器件总规范
GJB 2600A—2009　声表面波器件通用规范
GJB 2624—1996　指针式石英航空钟通用规范
GJB 2820—1997　舰用控制继电器通用规范
GJB 2821—1997　直流伺服电动机通用规范
GJB 2822—1997　有限转角力矩电动机通用规范
GJB 2828—1997　功率型线绕固定电阻器总规范
GJB 2829—1997　音频、电源和大功率脉冲变压器和电感器总规范
GJB 2829A—2013　音频、电源和大功率脉冲变压器和电感器通用规范
GJB 2831—1997　氢镍全密封蓄电池通用规范
GJB 2831A—2009　空间用全密封氢镍蓄电池通用规范
GJB 2844—1997　航空用时间累加器通用规范
GJB 2888—1997　有可靠性指标的功率型电磁继电器总规范
GJB 2888A—2011　有失效率等级的功率型电磁继电器通用规范
GJB 2889—1997　XC 系列高可靠性小圆形线簧孔电连接器规范
GJB 2905—1997　耐环境推/拉式快速分离圆形电连接器总规范
GJB 2905A—2004　耐环境推/拉式快速分离圆形电连接器总规范
GJB 2912—1997　锂-二氧化锰电池通用规范
GJB 3015—1997　有可靠性指标的非线绕预调电位器总规范
GJB 3016—1997　单芯光纤光缆连接器总规范
GJB 3016A—2011　单芯光纤光缆连接器通用规范
GJB 3017—1997　膜式高压固定电阻器总规范
GJB 3027—1997　陆用时间累加器通用规范
GJB 3145—1998　直流伺服测速机组通用规范
GJB 3146—1998　稳速直流电动机通用规范
GJB 3155—1998　镉镍全密封蓄电池组通用规范
GJB 3156—1998　锂-氧化铜电池通用规范
GJB 3163—1998　微型异步电动机通用规范
GJB 3234—1998　耐环境复合材料外壳高密度小圆形电连接器及附件总规范
GJB 3235—1998　微波铁氧体移相器总规范
GJB 3251—1998　金属氢化物-镍蓄电池组通用规范
GJB 3251A—2011　金属氢化物-镍蓄电池组通用规范
GJB 3285—1998　铅酸蓄电池通用规范
GJB 3312—1998　微波电子管总规范
GJB 3312A—2011　微波电子管通用规范

GJB 3513—1999　无刷稳速直流电动机通用规范
GJB 3516—1999　铝电解电容器总规范
GJB 4073—2000　铅—二氧化铅贮备电池通用规范
GJB 4154—2001　散热器安装功率线绕固定电阻器总规范
GJB 4157—2001　高可靠瓷介固定电容器总规范
GJB 4157A—2011　高可靠瓷介固定电容器通用规范
GJB 4171—2001　铅—二氧化铅贮备电池通用规范
GJB 4284—2001　阀控式密封铅酸蓄电池通用规范
GJB 4337—2002　耐环境圆型电连接器总规范
GJB 4477—2002　锂离子蓄电池组通用规范
GJB 5025—2003　射频固定和可变电感器通用规范
GJB 5248—2004　无刷直流伺服电动机驱动器通用规范
GJB 5371—2005　YGD 系列圆形电源连接器通用规范
GJB 5437—2005　有可靠性指标的有引线模压固体电解质钽电容器总规范
GJB 6787—2009　含宇航级零欧姆片式膜固定电阻器通用规范
GJB 6788—2009　含宇航级的多芯组瓷介固定电容器通用规范
GJB 6789—2009　空间用锂离子蓄电池通用规范
GJB 7400—2011　合格制造厂认证用半导体集成电路通用规范
GJB 7690—2012　有、无失效率等级的表面安装膜固定电阻网络通用规范
SJ 202—1981　印制板通用技术要求和试验方法
SJ 332—1973　高可靠姆指式(超小型)收讯放大管总技术条件
SJ 338—1973　高压整流管总技术条件
SJ 343—1973　微波气体放电管总技术条件
SJ 344—1973　低噪声行波管总技术条件
SJ 345—1973　功率行波管总技术条件
SJ 346—1973　“O”型返波管总技术条件
SJ 347—1973　反射速调管总技术条件
SJ 497—1983　射频连接器总技术条件
SJ 737—1983　旋转片式开关(低电负荷)总技术条件
SJ 753—1973　碱性镉镍单体及组合蓄电池
SJ 1156—1977　直热式普通用负温度系数热敏电阻器总技术条件
SJ 1241—1977　纸介电容器总技术条件
SJ 1385—1978　噪声二极管和气体放电噪声管总技术条件
SJ 1515—1979　微动开关总技术条件
SJ 1553—1980　测温型负温度系数热敏电阻器总技术条件
SJ 1557—1980　旁热型负温度系数热敏电阻器总技术条件
SJ 1559—1980　稳压型负温度系数热敏电阻器总技术条件
SJ 1583—1980　玻璃介质微调电容器总技术条件
SJ 1624—1980　微波铁氧体隔离器、环形器总技术条件
SJ 1704—1981　功率速调管总技术条件
SJ 1752—1981　指轮开关总技术条件
SJ 1882—1981　收音机用空气介质可变电容器总技术条件
SJ 1885—1981　复合介质电容器总技术条件

SJ 2182—1982　压电滤波器总技术条件
SJ 2241—1982　同心型微调电容器
SJ 2307—1983　防雷型氧化锌压敏电阻器总技术条件
SJ 2308—1983　灭弧型氧化锌压敏电阻器总技术条件
SJ 2309—1983　消噪型氧化锌压敏电阻器总技术条件
SJ 2386—1983　干簧继电器总技术条件
SJ 2407—1983　按钮开关总技术条件
SJ 2456—1984　电子时间继电器总技术条件
SJ 2461—1984　黑白电视接收机用偏转线圈总技术条件
SJ 2470—1984　镉镍圆柱密封碱性蓄电池
SJ 2533—1984　雷达用高压和大功率脉冲变压器通用技术条件
SJ 2566—1985　滑动开关总技术条件
SJ 2587—1985　黑白广播电视接收机用一体化回扫变压器总技术条件
SJ 2605—1985　电子设备用稳压变压器总技术条件
SJ 2670—1986　永磁低速同步电动机
SJ 2697—1986　雷达用高压充电电感通用技术条件
SJ 2742—1987　电子设备用固定电阻网络第一部分：总规范
SJ 2916—1988　彩色电视广播接收机用开关电源变压器总技术条件
SJ 2917—1988　彩色电视广播接收机用枕校变压器总技术条件
SJ 2918—1988　彩色电视广播接收机用行推动变压器总技术条件
SJ 2919—1988　彩色电视广播接收机用音频输出变压器总技术条件
SJ 2920—1988　彩色电视广播接收机用滤波电感器总技术条件
SJ 2956—1988　电子设备用压电陶瓷滤波器总规范
SJ 2968—1988　电子设备用声表面波滤波器总规范
SJ 20023—2000　行波管总规范
SJ 20037—1992　射频固定和可变电感器总规范
SJ 20039—1992　小型无刷直流风机通用规范
SJ 20344—1993　无刷直流力矩电动机通用规范
SJ 20456—1994　摄像管总规范
SJ 20457—1994　计数管总规范
SJ 20458—1994　发射管总规范
SJ 20459—1994　速调管总规范
SJ 20460—1994　盘封管总规范
SJ 20461—1994　脉冲闸流管总规范
SJ 20462—1994　光电倍增管总规范
SJ 20463—1994　阴极射线管总规范
SJ 20463A—2004　阴极射线管通用规范
SJ 20464—1994　充气微波开关管总规范
SJ 20471—1994　塑料膜介质直流固定电容器总规范
SJ 20474—1995　冷阴极触发管总规范
SJ 20476—1995　过压保护气体放电管总规范
SJ 20480—1995　磁控管总规范
SJ 20484—1995　充气稳压管总规范

SJ 20486－1995　镉镍全密封碱性单体蓄电池总规范
SJ 20642－1997　半导体光电模块总规范
SJ 20764－1999　介电滤波器总规范
SJ 20786－2000　半导体光电组件总规范
SJ 20794－2000　表面安装膜固定电阻网络总规范
SJ/T 198－1980　计数管总规范
SJ/T 2885－2003　电子设备用固定电感器　第 1 部分：总规范
SJ/T 10169－1991　镉镍方形密封碱性蓄电池总规范
SJ/T 10286－1991　镉镍扁形密封碱性蓄电池总规范
SJ/T 10288－1991　镉镍圆柱密封碱性蓄电池
SJ/T 10474－1994　磁盘驱动器用电动机通用技术条件
SJ/T 10475－1994　录像机用加载电动机总规范
SJ/T 10476－1994　录像机用主导轴电动机总规范
SJ/T 10507－1994　薄膜介质预调可变电容器总规范
SJ/T 11049－1996　录像机用永磁直流电动机通用规范
SJ/T 11051－1996　电视广播接收机用印制板规范
SJ/T 11256－2001　有质量评定的石英晶体振荡器　第 1 部分：总规范
SJ/Z 9038－1987　电磁干扰滤波器
SJ/Z 9129－1987　电动机
SJ/Z 9130－1987　印制线路板

3　术语和定义、符号

3.1　术语和定义

下列术语和定义适用于本指导性技术文件。

3.1.1　元器件基本失效率　electronic component base failure rate

λ_b

元器件在电应力和温度应力作用下的失效率，是元器件未计其质量控制等级、环境应力、应用状态、性能额定值和种类、结构等影响因素，仅计温度和电应力比(工作电应力/额定电应力)影响时的失效率。

注：基本失效率通常用温度(T)和电应力比(S)对元器件失效率影响的关系模型来表示。

3.1.2　元器件工作失效率　electronic component operating failure rate

λ_p

元器件在应用环境下的失效率。

注：除个别元器件类别外，工作失效率都包含基本失效率和温度、电应力之外的元器件质量控制等级、环境应力、应用状态、性能额定值和种类、结构等失效率影响因素。即，通常由基本失效率乘以上述各因素的调整系数来表示。

3.1.3　环境类别　environmental type

依据电子设备使用和非工作时遇到的气候条件、机械条件、生物条件、化学活性物质以及机械活性物质等的特点及其相似的程度对环境进行划分，形成环境类别。

3.1.4　环境系数　environmental coefficient

π_E

不同环境类别的环境应力(除温度应力外)对元器件失效率影响的调整系数。

3.1.5　质量系数　quality coefficient

π_Q

不同质量等级对元器件工作失效率影响的调整系数。

3.1.6　元器件质量等级　electronic component quality class

元器件装机使用之前，按产品执行标准或供需双方的技术协议，在制造、检验及筛选过程中其质量的控制等级。

3.1.7　通用工作环境温度　generic operating ambient temperature

元器件在某一环境类别下工作时其周围环境温度的通用值。在元器件计数可靠性预计时采用此通用值。

3.1.8　通用失效率　generic failure rate

λ_G

元器件在某一环境类别中，在通用工作环境温度和常用工作应力下的失效率。

注：在元器件计数可靠性预计时使用此通用失效率。

3.1.9　非工作状态　nonoperating state

可能能工作而不在工作的状态。

3.1.10　元器件非工作基本失效率　electronic component nonoperating base failure rate

λ_{Nb}

元器件在非工作状态下仅与元器件种类、结构、工艺等有关的失效率。

3.1.11　元器件非工作失效率　electronic component nonoperating failure rate

λ_{Np}

元器件在非工作状态下的失效率。它通常由非工作基本失效率与非工作质量系数、环境系数、温度应力系数、设备电源通−断循环系数等调整系数的乘积来表示。

3.1.12　非工作环境系数　nonoperating environmental coefficient

π_{NE}

不同环境类别的环境应力对元器件非工作失效率影响的调整系数。

3.1.13　非工作质量系数　nonoperating quality coefficient

π_{NQ}

不同的质量等级对电子元器件非工作失效率影响的调整系数。

3.1.14　非工作温度应力系数　nonoperating temperature coefficient

π_{NT}

非工作环境温度对电子元器件非工作失效率影响的调整系数。

3.2　符号

下列符号适用于本指导性技术文件。

3.2.1　微电路

C_1、C_2——电路复杂度失效率；

C_3——封装复杂度失效率；

π_A——微波单片集成电路应用系数；

π_{CYC}——UVEPROM、EEPROM、FLASH 的读/写循环率系数；

π_F——电路功能系数；

π_L——成熟系数，指生产稳定和技术、工艺成熟程度的影响；

π_P——微波单片集成电路工艺系数；

π_{PT}——PROM 可编程工艺系数，指编程技术的影响；

π_T——温度应力系数，指电路结温对电路(按工艺分类)失效率的影响；

π_V——电压应力系数，指电压应力降额的影响因素。

3.2.2 半导体分立器件

π_A——应用系数，指应用电路功能的影响；

π_B——发射极镇流系数，指发射极不同镇流程度的影响；

π_C——结构系数，指不同结构的影响；

π_K——种类系数，指不同种类的影响；

π_M——匹配网络系数，指晶体管输入、输出匹配网络的影响；

π_r——额定功率或额定电流系数，指功率或电流额定值的影响；

π_{S2}——电压应力系数，指外加电压的影响；

π_T——温度应力系数，指温度应力的影响。

3.2.3 光电子器件

π_T——温度应力系数，指温度应力的影响。

3.2.4 真空电子器件

π_C——结构系数，指磁控管结构的影响；

π_L——成熟系数，指产品现场使用成熟程度的影响；

π_U——利用率系数，指发射利用率对失效率的影响。

3.2.5 电阻器、敏感电阻器、电位器

π_C——结构系数，指电位器结构的影响；

π_K——种类系数，指电阻器、电位器种类的影响；

π_R——阻值系数，指电阻器、电位器阻值的影响；

π_T——温度应力系数，指电阻网络、敏感电阻器受温度应力的影响；

N_R——使用中的电阻数(不包括没有使用的电阻)；

π_{TAPS}——引出端系数，指电位器引出端数量的影响。

3.2.6 电容器

π_{ch}——表面贴装系数，指贴装形式的影响；

π_{CV}——电容量系数，指电容量的影响；

π_K——种类系数，指不同种类的影响；

N——电容器个数；

π_{SR}——串联电阻系数，指电容器在电路中串联电阻的影响。

3.2.7 感性元件

π_C——结构系数，指不同结构(固定或可变)的影响；

π_K——种类系数，指不同种类的影响；

π_T——温度应力系数，指温度应力的影响。

3.2.8 继电器

π_A——机电继电器应用系数，指不同应用场合的影响；

π_C——机电继电器结构系数，指不同结构的影响；

π_{C1}——机电继电器触点形式系数，指触点数量与形式的影响；

π_{C2}——固体继电器结构系数；

π_{CYC}——机电继电器动作速率系数；

π_L——固体继电器成熟系数；

π_P——封装系数；

π_r——机电继电器额定负载系数；

π_S——固体继电器电应力系数。

3.2.9　开关

π_{CYC}——开关速率系数；

π_L——触点负载系数。

3.2.10　电连接器

π_C——插孔结构系数，指不同插孔结构对其的影响；

π_K——插拔系数，指插拔速率的影响；

π_P——接触件系数，指接触件数量的影响。

3.2.11　微特电机

π_T——温度应力系数，指温度应力的影响。

3.2.12　印制板与 SMT 互连

N——使用的金属化孔数；

π_T——温度应力系数，指温度应力的影响；

A——失效率水平调整系数；

d——从器件中心到最远的焊接点的距离；

h——无管脚器件的焊接点高度；

α_S——电路板底板热膨胀系数；

ΔT——使用环境温度极值之间的温差；

α_{CC}——封装材料热膨胀系数；

T_{RISE}——由于功耗引起的温升；

C_R——温度循环率系数；

π_C——复杂度系数。

3.2.13　振荡器

π_C——控制系数。

3.2.14　滤波器

π_f——频率系数。

3.2.15　灯

π_U——利用率系数；

π_V——额定电压系数。

3.2.16　激光器

π_A——应用系数；

π_L——成熟系数，指生产稳定和技术、工艺成熟程度的影响。

3.2.17　压电陀螺

π_A——应用系数；

π_C——复杂度系数；

π_k——结构系数；

π_L——成熟系数。

3.2.18　光纤连接器

π_L——连接系数；

π_m——传输模式系数；

π_P——端面形式系数。

3.2.19　电子元器件非工作状态可靠性预计

π_C——结构系数；

π_{CYC}——设备电源通—断循环系数；

π_{Nch}——非工作表面贴装系数；

π_{NF}——封装系数，电路封装形式、功能引出端数对集成电路非工作失效率影响的调整系数；

π_{NL}——产品成熟系数，生产连续性、生产技术和工艺成熟程度对元器件非工作失效率影响的调整系数；

π_{Nr}——产品性能额定值系数，产品额定功率或额定电流值大小对元器件非工作失效率影响的调整系数。

4 要求

4.1 概述

本章概述了进行电子设备可靠性预计的前提假设，给出了可靠性预计的一般程序，并规定了设备应用环境分类的定性概念，元器件质量等级划分的原则。

本指导性技术文件提供 7 个附录，各附录情况如下：

a) 附录 A（资料性附录）电子元器件全寿命状态的可靠性预计，为实施全寿命电子元器件的可靠性预计提供一种方法；

b) 附录 B（规范性附录）电子元器件非工作状态可靠性预计，提供一种进行电子设备非工作状态可靠性预计的方法和依据；

c) 附录 C（资料性附录）采用进口电子元器件的电子设备可靠性预计，提供一种国产电子设备采用进口电子元器件的可靠性预计方法和依据，指导进行进口电子元器件的可靠性预计；

d) 附录 D（资料性附录）基于失效物理的电子设备可靠性预计方法，给出基于失效物理的电子设备可靠性预计方法，提供有别于数理统计的参考方法；

e) 附录 E（资料性附录）预计失效率修正方法，提供基于用户积累的测试数据、现场使用数据等经验信息的失效率水平修正与优化方法，使预计结果更接近产品的真值；

f) 附录 F（资料性附录）电子元器件失效模式及频数比，支撑装备开展故障模式影响及危害性分析，实施故障预防，支撑装备设计改进；

g) 附录 G（资料性附录）失效率计算示例，指导装备可靠性预计标准应用。

4.2 可靠性预计的前提假设

不同元器件寿命数据具有不同的分布特点，其寿命分布包括指数分布、正态分布、对数正态分布、威布尔分布等，经可靠性工作实践表明，绝大部分电子产品经筛选后，都处于偶然失效期，其失效率可近似为常数，其分布特性可采用指数分布来描述。因此，本标准中开展可靠性预计的前提假设为元器件的失效率是恒定不变的，或是元器件的寿命服从指数分布。

4.3 电子设备可靠性预计的一般程序

电子设备可靠性预计的一般程序如下：

a) 建立可靠性模型。参照设备、系统的功能原理，划分在电路功能上相对独立、内部为可靠性串联结构的预计单元，然后确定各预计单元间的可靠性逻辑关系和数据关系，即建立产品可靠性模型。在建立可靠性模型时，为了使底层单元满足可靠性预计的条件，应保证可靠性框图中各单元的下层任何单元或元器件是可靠性串联的关系。

b) 分析设备中各元器件的所属单元、应用方式、工作环境温度及其他环境应力，以及电应力比等工作应力数据。

c) 汇编设备的元器件详细清单，当用应力分析法进行可靠性预计时，元器件清单内容包括：元器件名称、型号规格、数量、产品标准或技术文件、性能额定值及有关的设计、工艺、结构参数和工作应力数据等；当用元器件计数法进行预计时，只需要：设备上所用元器件的种类及每类元器件的数量、各种类元器件的质量等级及其质量系数、设备应用的环境类别等信息即可。

d) 按各种类元器件工作失效率预计模型，计算每个预计单元内各元器件的工作失效率。当用元器件应力分析法进行预计时，不同标准和不同类别的元器件的失效率预计模型不同，应对应查找相应的失效率预计模型，按模型进行预计；当用元器件计数法进行预计时，所有元器件可按式(1)进行预计。

$$\lambda=\sum_{i=1}^{n}N_{\mathrm{i}}(\lambda_{\mathrm{Gi}}\pi_{\mathrm{Qi}})\cdots\cdots(1)$$

式中：

λ ——元器件工作失效率；

n ——系统所用元器件的种类数；

N_{i} ——第 i 种元器件的数量；

λ_{Gi} ——第 i 种元器件在规定环境下的通用失效率；

π_{Qi} ——第 i 种元器件的质量等级。

e) 将步骤 b)～d) 所得到的数据填入规范化的预计表中。

f) 将预计单元内元器件的工作失效率相加，由此计算本单元的失效率。

g) 按设备、系统的可靠性模型，逐级预计设备、系统的平均故障间隔时间(MTBF)与可靠度等可靠性指标。

元器件计数法和应力分析法可靠性预计程序可用图1表示。

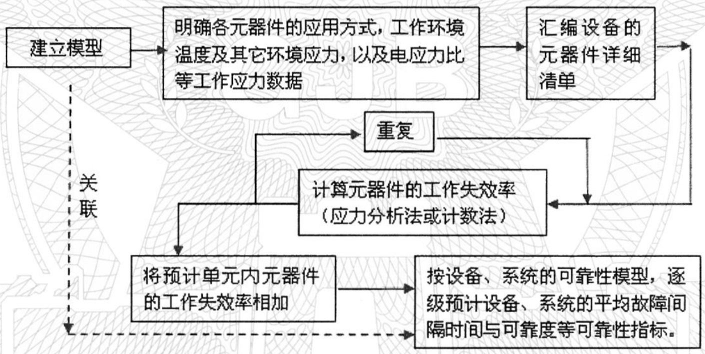

图1 电子设备可靠性预计的一般程序

4.4 环境分类

电子设备应用环境分类及其说明见表1。某些设备在全寿命过程中可能遇到多种环境，此时可靠性预计应按各个环境类别分别进行。如航天设备的应用环境，包括射入、轨道飞行、再入和返回的环境。

表1 环境分类

环境类别	符号	说明
地面良好	G_B	能保持正常气候条件，机械应力接近于零的地面良好环境，其维护条件良好，如有温湿度控制的实验室或大型地面站等
导弹发射井	G_{MS}	发射井中的导弹及其辅助设备所处的环境
一般地面固定	G_{F1}	在普通的建筑物内或通风较好的固定机架上，受振动、冲击影响很小的环境条件，如固定雷达、通信设备和电视机、收录机等家用电器所处的环境
恶劣地面固定	G_{F2}	只有简陋气候防护设施的地面环境或地下坑道，其环境条件较恶劣，如高温、低温、温差变化大、高湿、霉菌、盐雾和化学气体等
平稳地面移动	G_{M1}	在比较平稳的移动状态下，有所振动与冲击，如在公路上行驶的专用车辆及火车车厢环境
剧烈地面移动	G_{M2}	安装在履带车辆等恶劣地面行驶的专用车辆上，在较剧烈的移动状态下工作，受振动、冲击影响较大，通风及温湿度控制条件受限制，使用中维修条件差。如装甲车内的环境条件

表 1（续）

环境类别	符号	说明
背负	M_P	由人携带的越野环境，维护条件差
潜艇	N_{SB}	潜艇内的环境条件
舰船良好舱内	N_{S1}	行驶时较为平稳，且受盐雾、水汽影响较小的舰船舱内，如近海大型运输船和内河船只的空调舱
舰船普通舱内	N_{S2}	能防风雨的普通舰船舱内，常有较强烈的振动和冲击，如水面战船舱内或甲板以下的环境
舰船舱外	N_U	舰船甲板上的典型环境，经常有强烈的冲击和振动，包括无防护、暴露于风雨下的环境
战斗机座舱	A_{IF}	战斗机飞行员座舱环境，无太高的温度、压力和过于强烈的冲击振动
战斗机无人舱	A_{UF}	有高温、高压、强烈的冲击与振动等恶劣环境条件，如战斗机机身、机尾、机翼等部位的设备舱、炸弹舱
运输机座舱	A_{IC}	运输机人员的座舱环境
运输机无人舱	A_{UC}	运输机上无环境条件控制的非载人区域环境
直升机	A_{RW}	在带旋转翼直升机机内或机外安装的环境
宇宙飞行	S_F	在地球轨道上飞行，不包括动力飞行和重返大气层，如卫星中电子设备的安装环境
导弹发射	M_L	由于导弹发射，火箭飞行、射入轨道及重返大气层或降落伞着陆等引起的噪声、振动、冲击及其他恶劣的环境条件
导弹飞行	M_F	与吸气助燃推进导弹、巡航导弹的动力飞行和处于无动力自由飞行导弹相关的环境条件

4.5 元器件质量等级与质量系数

元器件质量直接影响其失效率，不同质量等级对元器件失效率的影响程度以质量系数 π_Q 来表示。从而，元器件工作失效率模型中的 π_Q 值取决于元器件的质量等级。

在元器件的标准中一般都规定了元器件在制造、检验及筛选过程中的质量控制水准，按此不同控制水准组织生产和管理的产品，具有不同的质量档次。于是，产品标准是划分其质量等级的主要依据。此外，由于一些设备仍需按已宣布作废或被替代的标准采购，因而在质量等级及系数表的“质量要求补充说明”栏目中给出相关标准。

据此，在第 5 章中对各大类元器件，分别列出其质量等级与质量系数表，规定了不同质量等级产品所遵循的产品标准或其他质量要求。但由于一些高质量等级的标准尚无相应的产品，故其质量系数值暂时空缺。

在使用质量等级表时应注意如下几点：

对已列入军用电子元器件质量认证合格产品目录的产品，若累积维持试验结果表明其可靠性水平比鉴定试验时提高了一个数量级，则其质量系数值可在原来的质量等级中适当减小质量系数值；

按型号工程附加技术条件或附加质量要求，对产品进行更为严格考核试验，其质量系数可在原来的质量等级中适当减小质量系数值，一般可降至原质量系数值的 3/4～1/2；

低档产品指没有完全执行一定的生产标准或无明确的质量控制要求的产品。

5 工作状态的元器件应力分析可靠性预计法

5.1 微电路

5.1.1 概述

5.1.1.1 微电路分类

本条对半导体集成电路、微波单片集成电路和混合集成电路提供可靠性预计：

a) 半导体集成电路，包括：

1) 半导体数字集成电路，可分为：

① 通用数字集成电路，包括：

- TTL、ASTTL、ALSTTL、LSTTL、HTTL、FTTL、ECL、IIL 等双极工艺制作的数字电路；
- MOS 数字集成电路。包括在蓝宝石、多晶硅、单晶硅等各种衬底上采用 NMOS、PMOS、MNOS、CMOS、HCMOS、HCTMOS、FCTMOS、ACTMOS 等 MOS 工艺制作的数字电路。

② 微处理器，包括 CPU、数字信号处理器(DSP)、微控制器。

③ 存储器，包括双极、MOS 工艺制作的 SRAM、DRAM、ROM、PROM、EPROM、EEPROM、FLASH、FIFO 存储器和电荷耦合(CCD)等器件。

④ 可编程逻辑器件，包括 PLA、PAL、PLD、CPLD、FPGA 等。

2) 半导体模拟集成电路，包括双极、MOS、BiCMOS 工艺的模拟电路。

b) 微波单片集成电路，包括砷化镓、氮化镓微波单片集成电路。

c) 混合集成电路。

5.1.1.2 微电路复杂程度的表征

通用数字集成电路和可编程逻辑器件以门数表示它们的复杂程度；微处理器以晶体管数表示它们的复杂程度；模拟集成电路以晶体管数表示它们的复杂程度；存储器以位数表示它们的复杂程度，微波单片集成电路以晶体管数表示它们的复杂程度。

5.1.1.3 门数确定

在本条中，门是指：与、或、与非、与或、或非、异或和反相等逻辑功能中的任何一种。如果没有逻辑图，则采用下式通过电路的晶体管数来确定其门数：

a) 双极型电路：门数＝晶体管数/3；

b) CMOS 电路：门数＝晶体管数/3.75；

c) 其他 MOS 电路：门数＝晶体管数/3；

d) J−K 或 R−S 触发器等效于 8 个门，T 或 D 型触发器等效于 6 个门。

5.1.2 半导体集成电路和微波单片集成电路

各类电路工作失效率预计模型见表 2。

特别地，对于 A/D 转换器、D/A 转换器、F/V 转换器、S−D 转换器、R−D 转换器、采样/保持电路等由模拟集成电路和数字集成电路构成的半导体混合信号集成电路，则可由组成电路的模拟集成电路与数字集成电路的工作失效率求和获得。

表 2 半导体集成电路与微波单片集成电路的工作失效率模型

类别		工作失效率预计模型
半导体数字集成电路	通用数字集成电路、微处理器、SRAM、DRAM、ROM、FIFO、CCD 器件及可编程逻辑器件	$\lambda_P = \pi_Q[C_1\pi_T\pi_V + (C_2 + C_3)\pi_E]\pi_L$
	PROM	$\lambda_P = \pi_Q[C_1\pi_T\pi_V\pi_{PT} + (C_2 + C_3)\pi_E]\pi_L$
	UVEPROM、EEPROM、FLASH	$\lambda_P = \pi_Q[C_1\pi_T\pi_V\pi_{CYC} + (C_2 + C_3)\pi_E]\pi_L$
半导体模拟集成电路		$\lambda_P = \pi_Q[C_1\pi_T\pi_V + (C_2 + C_3)\pi_E]\pi_L$
微波单片集成电路		$\lambda_P = \pi_Q[C_1\pi_T\pi_A\pi_P + C_3\pi_E]\pi_L$

表 2（续）

类别	工作失效率预计模型
注：λ_P——工作失效率，10^{-6}/h； π_Q——质量系数，见表 3； C_1及C_2——电路复杂度失效率，见表 4～表 15；对微波单片集成电路 C_1 取 0.084 4×10^{-6}/h； π_T——温度应力系数，见表 16～表 23。其值取决于电路的工艺和电路的结温 T_j。 T_j 为电路在所处任务剖面下最恶劣状态时的结温，℃，可用式（2）计算。 $T_j = T_C + R_{th(j-c)}P$ ……………………………………………………（1） 式中： T_C——管壳温度，℃，若不能确定，可参考表 24 所给出的值； $R_{th(j-c)}$——结到管壳的热阻，℃/W，若不能确定，可参考表 25 所列的值； P——电路所承受的实际功率，W； π_V——电压应力系数，见表 26； C_3——封装复杂度失效率，见表 27； π_E——环境系数，见表 28； π_L——成熟系数，见表 29； π_{PT}——PROM 电路的可编程工艺系数，见表 30； π_{CYC}——UVEPROM、EEPROM、FLASH 电路的读\写循环率系数，见表 31； π_A——微波单片集成电路应用系数，见表 32； π_P——微波单片集成电路工艺系数，见表 33。	

表 3　半导体集成电路与微波单片集成电路质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 597B—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品	符合 GJB 597—1988、GJB 597A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品	—
	A_2	符合 GJB 597B—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 BG 级产品	—	—
	A_3	符合 GJB 597B—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 597—1988、GJB 597A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品	0.08
	A_4	—	符合 GJB 597—1988、GJB 597A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B1 级产品	0.13
	A_5	符合 GJB 597B—2012、GJB 7400—2011，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 597—1988、GJB 597A—1996，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.2
	A_6	符合 GB/T 4589.1 的 III 类产品	—	0.25
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级产品 符合 GB/T 4589.1 的 I 类产品		0.50
	B_2	符合 GB/T 4589.1 的 I 类产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 4　通用双极数字电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2　　单位为 10^{-6}/h

门数 N_G	C_1	C_2
50	0.030 7	0.008 5
100	0.039 4	0.010 3
200	0.050 5	0.012 4
300	0.058 5	0.013 9
400	0.064 8	0.015 0
500	0.070 3	0.016 0
600	0.075 0	0.016 8
700	0.079 3	0.017 5
800	0.083 2	0.018 2
900	0.086 8	0.018 8
1 000	0.090 2	0.019 3
3 000	0.133 9	0.026 1
5 000	0.160 9	0.030 1
7 000	0.181 7	0.033 0
9 000	0.198 9	0.035 3
10 000	0.206 6	0.036 4
20 000	0.265 1	0.044 0
30 000	0.306 8	0.049 2
40 000	0.340 3	0.053 3
50 000	0.368 7	0.056 6
60 000	0.393 7	0.059 6

表 5　通用 MOS 数字电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2　　单位为 10^{-6}/h

门数 N_G	C_1	C_2
50	0.026 6	0.003 3
100	0.031 6	0.003 9
200	0.037 6	0.004 5
300	0.041 6	0.005 0
400	0.044 7	0.005 3
500	0.047 3	0.005 6
600	0.049 5	0.005 8
700	0.051 4	0.006 0
800	0.053 2	0.006 2
900	0.054 8	0.006 4
1 000	0.056 2	0.006 5
3 000	0.074 0	0.008 4
5 000	0.084 1	0.009 4
7 000	0.091 5	0.010 1

表 5（续）

单位为 10^{-6}/h

门数 N_G	C_1	C_2
9 000	0.097 4	0.010 7
10 000	0.100 0	0.011 0
20 000	0.118 9	0.012 9
30 000	0.131 6	0.014 1
40 000	0.141 4	0.015 1
50 000	0.149 5	0.015 9
60 000	0.156 5	0.016 5
80 000	0.168 2	0.017 6
100 000	0.177 8	0.018 6
300 000	0.234 0	0.023 8
500 000	0.265 9	0.026 7
700 000	0.289 3	0.028 9
900 000	0.308 0	0.030 6
1 000 000	0.316 2	0.031 3
2 000 000	0.376 1	0.036 6
3 000 000	0.416 2	0.040 2
4 000 000	0.447 2	0.042 9
5 000 000	0.472 9	0.045 1
6 000 000	0.494 9	0.047 0
7 000 000	0.514 4	0.048 7
8 000 000	0.531 8	0.050 2
9 000 000	0.547 7	0.051 5
10 000 000	0.562 3	0.052 8

表 6　模拟集成电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2

单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1	C_2
50	0.115 4	0.036 6
100	0.164 3	0.049 0
200	0.234 0	0.065 8
300	0.287 7	0.078 1
400	0.333 2	0.088 2
500	0.373 3	0.096 9
600	0.409 7	0.104 7
700	0.443 2	0.111 7
800	0.474 4	0.118 2
900	0.503 8	0.124 3
1 000	0.531 6	0.129 9
1 200	0.583 4	0.140 4

表 6(续) 单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1	C_2
1 400	0.631 1	0.149 8
1 600	0.675 6	0.158 5
1 800	0.717 4	0.166 6
2 000	0.757 0	0.174 2
2 500	0.848 3	0.191 5
3 000	0.930 9	0.206 8
3 500	1.007 1	0.220 8
4 000	1.078 0	0.233 6
4 500	1.144 8	0.245 6
5 000	1.208 0	0.256 7

表 7 双极微处理器的复杂度失效率 C_1 及 C_2 单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1	C_2
100	0.079 3	0.030 8
500	0.153 4	0.049 1
1 000	0.203 8	0.060 0
5 000	0.394 2	0.095 8
10 000	0.523 8	0.117 1
30 000	0.821 9	0.161 0
50 000	1.013 3	0.186 7
70 000	1.163 2	0.205 9
90 000	1.289 5	0.221 4

表 8 MOS 微处理器的复杂度失效率 C_1 及 C_2 单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1	C_2
100	0.132 8	0.023 4
500	0.198 6	0.033 8
1 000	0.236 2	0.039 7
5 000	0.353 2	0.057 4
10 000	0.420 0	0.067 4
30 000	0.552 8	0.086 7
50 000	0.628 0	0.097 6
70 000	0.683 2	0.105 4
90 000	0.727 5	0.111 7
100 000	0.746 9	0.114 4
500 000	1.116 8	0.165 7
900 000	1.214 9	0.179 0
1 000 000	1.293 6	0.189 7

表 8(续)　　　　单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1	C_2
3 000 000	1.328 2	0.194 3
4 000 000	1.748 0	0.250 2
5 000 000	1.878 3	0.267 3
6 000 000	1.986 1	0.281 4
7 000 000	2.078 7	0.293 4
8 000 000	2.160 3	0.304 0
9 000 000	2.233 7	0.313 5
10 000 000	2.300 4	0.322 1
20 000 000	2.361 8	0.330 0
40 000 000	2.808 7	0.387 0
60 000 000	3.340 1	0.453 9
80 000 000	3.696 5	0.498 3
100 000 000	3.972 1	0.532 3
120 000 000	4.200 0	0.560 4
140 000 000	4.395 9	0.584 4
160 000 000	4.568 6	0.605 5
180 000 000	4.723 7	0.624 4
200 000 000	4.864 8	0.641 5
220 000 000	4.994 7	0.657 2
250 000 000	5.281 2	0.691 8
280 000 000	5.433 0	0.710 1
320 000 000	5.617 4	0.732 3
360 000 000	5.785 3	0.752 4
400 000 000	5.939 7	0.770 8
500 000 000	6.280 5	0.811 4
600 000 000	6.573 4	0.846 2
700 000 000	6.831 6	0.876 7
800 000 000	7.063 5	0.904 1
900 000 000	7.274 6	0.928 9
1 000 000 000	7.468 8	0.951 7
1 200 000 000	7.817 1	0.992 4

表 9　双极 SRAM 的复杂度失效率 C_1 及 C_2　　　　单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.078 6	0.009 1
32	0.098 9	0.012 2
64	0.124 3	0.016 2
128	0.156 2	0.021 6

表 9（续）

单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
256	0.196 3	0.028 9
512	0.246 8	0.038 5
1 024	0.310 2	0.051 3
2 048	0.390 0	0.068 4
4 096	0.490 2	0.091 2
8 192	0.616 2	0.121 6
16 384	0.774 6	0.162 1
32 768	0.973 7	0.216 2
65 536	1.223 9	0.288 2
131 072	2.419 9	0.323 4
262 144	2.958 6	0.390 0
524 288	3.617 3	0.470 3
1 048 576	4.422 7	0.567 1

表 10　MOS 的 SRAM 和 CCD 器件的复杂度失效率 C_1 及 C_2

单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.039 9	0.004 7
32	0.051 2	0.006 0
64	0.065 7	0.007 7
128	0.084 3	0.009 8
256	0.108 2	0.012 4
512	0.138 9	0.015 8
1 024	0.178 2	0.020 2
2 048	0.228 8	0.025 7
4 096	0.293 6	0.032 8
8 192	0.376 8	0.041 8
16 384	0.483 6	0.053 3
32 768	0.620 7	0.067 9
65 536	0.796 6	0.086 6
131 072	0.864 3	0.102 0
262 144	1.064 1	0.125 6
524 288	1.310 0	0.154 7
1 048 576	1.612 8	0.190 4
2 097 152	1.985 6	0.234 4
4 194 304	2.444 5	0.288 6
8 388 608	3.009 6	0.355 3
16 777 216	3.705 2	0.437 4
33 554 432	4.561 7	0.538 5

表 10（续） 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
67 108 864	5.616 1	0.663 0
134 217 728	6.914 2	0.816 3
268 435 456	8.512 4	1.004 9
536 870 912	10.480 0	1.237 2

表 11 双极 ROM 及 PROM 的复杂度失效率 C_1 及 C_2 位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.086 1	0.003 2
32	0.111 3	0.004 1
64	0.143 8	0.005 3
128	0.185 9	0.006 9
256	0.240 2	0.008 9
512	0.310 5	0.011 5
1 024	0.401 3	0.014 8
2 048	0.518 6	0.019 1
4 096	0.670 2	0.024 7
8 192	0.802 2	0.032 0
16 384	0.974 1	0.041 3
32 768	1.182 7	0.053 4
65 536	1.436 0	0.069 0
131 072	1.743 6	0.089 2
262 144	2.117 1	0.115 3
524 288	2.570 6	0.149 0
1 048 576	3.121 2	0.192 5

表 12 MOS 的 ROM 及 PROM 电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.026 5	0.002 3
32	0.032 8	0.002 9
64	0.040 7	0.003 6
128	0.050 4	0.004 5
256	0.062 5	0.005 7
512	0.077 5	0.007 1
1 024	0.096 0	0.008 8
2 048	0.119 1	0.011 0
4 096	0.147 6	0.013 7
8 192	0.183 0	0.017 2
16 384	0.226 8	0.021 4
32 768	0.281 2	0.026 7
65 536	0.348 6	0.033 4

表 12（续） 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
131 072	0.432 2	0.041 7
262 144	0.535 8	0.052 0
524 288	0.664 2	0.064 9
1 048 576	0.823 4	0.081 1
2 097 152	1.020 8	0.101 2
4 194 304	1.265 4	0.126 3
8 388 608	1.568 8	0.157 7
16 777 216	1.944 8	0.196 9
33 554 432	2.411 0	0.245 8
67 108 864	2.989 0	0.306 8

表 13 MOS 的 DRAM 电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.020 4	0.001 4
32	0.026 6	0.001 8
64	0.034 6	0.002 4
128	0.045 0	0.003 1
256	0.058 6	0.004 0
512	0.076 3	0.005 1
1 024	0.099 2	0.006 6
2 048	0.129 1	0.008 6
4 096	0.168 1	0.011 1
8 192	0.218 7	0.014 3
16 384	0.284 6	0.018 5
32 768	0.370 4	0.023 9
65 536	0.482 0	0.030 9
131 072	0.499 5	0.032 8
262 144	0.594 0	0.039 5
524 288	0.706 4	0.047 6
1 048 576	0.840 0	0.057 4
2 097 152	0.998 9	0.069 2
4 194 304	1.187 9	0.083 5
8 388 608	1.412 7	0.100 7
16 777 216	1.680 0	0.121 4
33 554 432	1.997 9	0.146 4
67 108 864	2.375 9	0.176 5
134 217 728	2.825 4	0.212 8
268 435 456	3.360 0	0.256 6
536 870 912	3.995 7	0.309 5
1073 741 824	4.751 8	0.373 1

表 14　MOS 的 FIFO 电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2　　单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.034 8	0.004 2
32	0.044 4	0.005 3
64	0.056 6	0.006 8
128	0.072 1	0.008 6
256	0.091 9	0.011 0
512	0.117 2	0.014 0
1 024	0.149 3	0.017 8
2 048	0.190 3	0.022 7
4 096	0.242 6	0.028 9
8 192	0.309 2	0.036 9
16 384	0.394 1	0.047 0
32 768	0.502 3	0.059 9
65 536	0.640 2	0.076 4
131 072	0.816 0	0.097 4
262 144	1.040 1	0.124 1
524 288	1.325 6	0.158 2
1 048 576	1.689 6	0.201 6
2 097 152	2.153 5	0.257 0
4 194 304	2.744 8	0.327 5
8 388 608	3.498 4	0.417 4
16 777 216	4.458 9	0.532 0

表 15　MOS 的 UVEPROM、EEPROM、FLASH 电路的复杂度失效率 C_1 及 C_2　单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
16	0.014 6	0.005 0
32	0.018 9	0.006 6
64	0.024 6	0.008 5
128	0.032 1	0.011 1
256	0.041 7	0.014 5
512	0.054 3	0.018 8
1 024	0.070 7	0.024 5
2 048	0.092 0	0.031 9
4 096	0.119 7	0.041 5
8 192	0.155 8	0.054 0
16 384	0.202 7	0.070 3
32 768	0.263 8	0.091 5
65 536	0.343 3	0.119 1
131 072	0.425 4	0.138 9

表 15(续)

单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1	C_2
262 144	0.531 1	0.173 4
524 288	0.663 0	0.216 5
1 048 576	0.827 6	0.270 2
2 097 152	1.033 1	0.337 3
4 194 304	1.289 7	0.421 1
8 388 608	1.609 9	0.525 7
16 777 216	2.009 7	0.656 2
33 554 432	2.508 8	0.819 2
67 108 864	3.131 8	1.022 6
134 217 728	3.909 5	1.276 6
268 435 456	4.880 4	1.593 6
536 870 912	6.092 3	1.989 3
1 073 741 824	7.605 3	2.483 4

表 16 通用双极数字集成电路的 π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	53	0.40	81	1.30	115	4.28
27	0.11	55	0.44	83	1.40	120	5.01
29	0.12	57	0.48	85	1.51	125	5.85
31	0.14	59	0.52	87	1.63	130	6.79
33	0.15	61	0.57	89	1.75	135	7.87
35	0.17	63	0.62	91	1.88	140	9.08
37	0.19	65	0.68	93	2.03	145	10.44
39	0.21	67	0.74	95	2.18	150	11.97
41	0.23	69	0.80	97	2.34	155	13.67
43	0.25	71	0.87	99	2.51	160	15.57
45	0.28	73	0.95	101	2.69	165	17.69
47	0.30	75	1.02	103	2.88	170	20.03
49	0.33	77	1.11	105	3.08	175	22.62
51	0.37	79	1.20	110	3.64	—	—

表 17 通用 MOS 数字集成电路的 π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	35	0.19	45	0.34	55	0.59
27	0.11	37	0.21	47	0.38	57	0.66
29	0.13	39	0.24	49	0.43	59	0.73
31	0.15	41	0.27	51	0.48	61	0.81
33	0.17	43	0.30	53	0.53	63	0.90

表 17(续)

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
65	1.00	83	2.38	101	5.20	140	22.45
67	1.10	85	2.60	103	5.65	145	26.55
69	1.22	87	2.85	105	6.12	150	31.28
71	1.35	89	3.11	110	7.48	155	36.71
73	1.48	91	3.40	115	9.09	160	42.92
75	1.63	93	3.71	120	10.99	165	50.00
77	1.80	95	4.04	125	13.23	170	58.05
79	1.97	97	4.40	130	15.85	175	67.18
81	2.17	99	4.78	135	18.90	—	—

表 18　模拟集成电路的π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	53	0.88	81	5.45	115	35.17
27	0.12	55	1.01	83	6.14	120	45.02
29	0.14	57	1.16	85	6.91	125	57.28
31	0.16	59	1.33	87	7.77	130	72.44
33	0.19	61	1.52	89	8.72	135	91.08
35	0.23	63	1.74	91	9.78	140	113.89
37	0.27	65	1.99	93	10.95	145	141.66
39	0.31	67	2.27	95	12.25	150	175.28
41	0.36	69	2.58	97	13.68	155	215.82
43	0.42	71	2.94	99	15.26	160	264.45
45	0.49	73	3.33	101	17.01	165	322.53
47	0.57	75	3.78	103	18.93	170	391.62
49	0.66	77	4.27	105	21.04	175	473.45
51	0.76	79	4.83	110	27.30	—	—

表 19　双极微处理器的π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	43	0.27	61	0.66	79	1.46
27	0.11	45	0.30	63	0.72	81	1.59
29	0.13	47	0.33	65	0.79	83	1.73
31	0.14	49	0.37	67	0.87	85	1.88
33	0.16	51	0.41	69	0.95	87	2.04
35	0.18	53	0.45	71	1.04	89	2.20
37	0.20	55	0.50	73	1.13	91	2.39
39	0.22	57	0.55	75	1.24	93	2.58
41	0.24	59	0.60	77	1.35	95	2.79

表 19(续)

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
97	3.01	110	4.86	135	11.19	160	23.39
99	3.25	115	5.79	140	13.06	165	26.84
101	3.50	120	6.87	145	15.19	170	30.70
103	3.77	125	8.11	150	17.60	175	35.01
105	4.06	130	9.55	155	20.32	—	—

表 20　MOS 微处理器的 π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	53	0.63	81	2.95	115	14.27
27	0.12	55	0.71	83	3.26	120	17.58
29	0.13	57	0.80	85	3.60	125	21.56
31	0.15	59	0.89	87	3.98	130	26.30
33	0.17	61	1.00	89	4.39	135	31.92
35	0.20	63	1.12	91	4.83	140	38.56
37	0.23	65	1.26	93	5.32	145	46.38
39	0.26	67	1.40	95	5.84	150	55.54
41	0.30	69	1.57	97	6.42	155	66.23
43	0.34	71	1.75	99	7.04	160	78.66
45	0.38	73	1.94	101	7.72	165	93.05
47	0.44	75	2.16	103	8.45	170	109.65
49	0.49	77	2.40	105	9.24	175	128.75
51	0.56	79	2.66	110	11.51	—	—

表 21　双极存储器的 π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	53	0.45	81	1.59	115	5.79
27	0.11	55	0.50	83	1.73	120	6.87
29	0.13	57	0.55	85	1.88	125	8.11
31	0.14	59	0.60	87	2.04	130	9.55
33	0.16	61	0.66	89	2.20	135	11.19
35	0.18	63	0.72	91	2.39	140	13.06
37	0.20	65	0.79	93	2.58	145	15.19
39	0.22	67	0.87	95	2.79	150	17.60
41	0.24	69	0.95	97	3.01	155	20.32
43	0.27	71	1.04	99	3.25	160	23.39
45	0.30	73	1.13	101	3.50	165	26.84
47	0.33	75	1.24	103	3.77	170	30.70
49	0.37	77	1.35	105	4.06	175	35.01
51	0.41	79	1.46	110	4.86	—	—

表 22　MOS 存储器的π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.10	53	0.63	81	2.95	115	14.27
27	0.12	55	0.71	83	3.26	120	17.58
29	0.13	57	0.80	85	3.60	125	21.56
31	0.15	59	0.89	87	3.98	130	26.30
33	0.17	61	1.00	89	4.39	135	31.92
35	0.20	63	1.12	91	4.83	140	38.56
37	0.23	65	1.26	93	5.32	145	46.38
39	0.26	67	1.40	95	5.84	150	55.54
41	0.30	69	1.57	97	6.42	155	66.23
43	0.34	71	1.75	99	7.04	160	78.66
45	0.38	73	1.94	101	7.72	165	93.05
47	0.44	75	2.16	103	8.45	170	109.65
49	0.49	77	2.40	105	9.24	175	128.75
51	0.56	79	2.66	110	11.51	—	—

表 23　微波单片集成电路的π_T

T_{ch} ℃	π_T	T_{ch} ℃	π_T	T_{ch} ℃	π_T	T_{ch} ℃	π_T
25	0.100	53	1.452	81	13.177	115	93.234
27	0.123	55	1.728	83	15.153	120	107.219
29	0.151	57	2.051	85	17.426	125	128.663
31	0.185	59	2.430	87	20.040	130	154.395
33	0.226	61	2.873	89	23.046	135	185.274
35	0.275	63	3.390	91	26.503	140	222.329
37	0.334	65	3.992	93	30.478	145	266.795
39	0.405	67	4.692	95	35.050	150	320.154
41	0.489	69	5.505	97	40.308	155	384.184
43	0.590	71	6.446	99	46.354	160	461.021
45	0.709	73	7.534	101	53.307	165	553.226
47	0.852	75	8.664	103	61.303	170	663.871
49	1.020	77	9.963	105	70.498	175	796.645
51	1.218	79	11.458	110	81.073	—	—
注：T_{ch} 为沟道温度，℃。							

表 24　半导体集成电路与微波单片集成电路管壳温度的参考值　　单位为摄氏度

环境	GB	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
T_C	35	35	45	45	60	65	45	50	45	50
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
T_C	75	60	80	60	80	60	35	60	60	—

表 25　结到管壳的热阻的参考值

单位为摄氏度每瓦

封装形式		$R_{th(j-c)}$
密封器件	双列直插(DIP)封装	28
	扁平封装(FP)	22
	针栅阵列(PGA)封装	20
	球栅阵列(BGA)封装	15
	小外形(SO)封装	20
	芯片载体(LCC)封装	16
	金属圆形封装	70
	金属菱形封装	6
非密封器件	双列直插(DIP)封装	63
	扁平封装(FP)	45
	针栅阵列(PGA)封装	38
	球栅阵列(BGA)封装	35
	小外形(SO)封装	53
	芯片载体(LCC)封装	30

表 26　电压应力系数π_V

V_s	≤3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
π_V	0.62	0.70	0.77	0.85	0.92	1.00	1.11	1.23	1.38	1.54	1.7	1.92	2.08
注：V_s为实际应用的工作电源电压，V。													

表 27　封装复杂度失效率 C_3

单位为 10^{-6}/h

N_P	密封					非密封			
	双列直插(DIP)封装	扁平(FP)封装	插接阵列(含 PGA、BGA 和其他)封装	表面安装(LCC、SO 和其他)封装	金属壳封装	双列直插(DIP)封装	扁平(FP)封装	插接阵列(含 PGA、BGA 和其他)封装	表面安装(LCC、SO 和其他)封装
2	—	—	—	—	0.001 5	—	—	—	—
3	—	0.003 3	—	—	0.002 8	—	0.005 0	—	—
4	0.008 1	0.005 4	0.015 2	0.033 3	0.004 5	0.010 6	0.008 1	0.020 5	0.043 8
6	0.013 3	0.010 9	0.023 7	0.052 4	0.008 5	0.017 4	0.016 3	0.032 4	0.069 3
8	0.019 0	0.017 9	0.032 5	0.072 4	0.013 3	0.024 6	0.026 8	0.044 7	0.095 9
10	0.024 9	0.026 2	0.041 5	0.092 9	0.018 9	0.032 4	0.039 4	0.057 3	0.123 4
12	0.031 1	0.035 9	0.050 8	0.114 0	0.025 2	0.040 4	0.053 9	0.070 3	0.151 7
14	0.037 5	0.046 8	0.060 2	0.135 5	0.032 2	0.048 8	0.070 2	0.083 6	0.180 5
16	0.044 2	0.058 9	0.069 7	0.157 3	0.039 7	0.057 4	0.088 3	0.097 1	0.209 9
18	0.051 0	0.072 1	0.079 3	0.179 5	0.047 8	0.066 3	0.108 2	0.110 8	0.239 8
20	0.058 0	0.086 4	0.089 1	0.202 0	0.056 5	0.075 4	0.129 7	0.124 6	0.270 1
22	0.065 1	0.101 8	0.098 9	0.224 8	0.065 7	0.084 7	0.152 8	0.138 7	0.300 9

表 27(续)

单位为 10^{-6}/h

N_P	密封					非密封			
	双列直插(DIP)封装	扁平(FP)封装	插接阵列(含PGA、BGA和其他)封装	表面安装(LCC、SO和其他)封装	金属壳封装	双列直插(DIP)封装	扁平(FP)封装	插接阵列(含PGA、BGA和其他)封装	表面安装(LCC、SO和其他)封装
24	0.072 4	0.118 3	0.108 8	0.247 8	0.075 3	0.094 2	0.177 4	0.152 9	0.331 9
28	0.087 4	0.154 2	0.128 9	0.294 4	—	0.113 6	0.231 3	0.181 7	0.395 1
36	0.118 8	0.237 6	0.170 0	0.390 2	—	0.154 4	0.356 4	0.240 7	0.524 9
40	0.135 1	0.284 8	0.190 9	0.439 0	—	0.175 6	0.427 2	0.270 9	0.591 2
48	0.168 7	0.389 7	0.233 3	0.538 5	—	0.219 4	0.584 5	0.332 3	0.726 5
64	0.239 7	0.639 1	0.320 1	0.743 2	—	0.311 6	0.958 7	0.458 6	1.005 6
80	0.314 7	0.938 2	0.409 2	0.954 2	—	0.409 1	1.407 3	0.588 8	1.293 9
100	0.413 1	1.377 1	0.523 0	1.225 1	—	0.537 1	2.065 7	0.755 9	1.665 0
120	—	1.884 4	0.639 2	1.502 7	—	—	2.826 5	0.927 2	2.046 0
140	—	2.456 5	0.757 3	1.785 9	—	—	3.684 7	1.101 9	2.435 3
280	—	8.092 5	1.912 8	3.881 6	—	—	12.138 7	2.395 0	5.329 8
320	—	—	2.184 5	4.507 7	—	—	—	2.781 4	6.197 8
432	—	—	2.946 3	—	—	—	—	3.892 5	—
575	—	—	3.917 8	—	—	—	—	5.361 9	—
675	—	—	4.598 1	—	—	—	—	6.333 6	—
728	—	—	4.958 0	—	—	—	—	6.869 4	—
956	—	—	6.508 5	—	—	—	—	9.093 3	—
114 4	—	—	7.784 9	—	—	—	—	10.798 0	—
157 2	—	—	10.440 1	—	—	—	—	13.912 3	—
192 5	—	—	12.169 1	—	—	—	—	15.334 7	—
204 6	—	—	12.537 1	—	—	—	—	15.586 4	—
注：N_P为引出端数。									

表 28 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.5	2.4	6.5	6.3	11	6.8	7.5	4.5	10
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	20	10	13	19	1.2	32	15	—

表 29 成熟系数π_L

成熟程度	符合相应的标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或新投产的初批次产品；设计或工艺上有重大变更；长期中断生产或生产线有重大变化
π_L	1.0	3.0	10

表 30　PROM 电路的可编程工艺系数π_{PT}

位数 N_B	双极 π_{PT}	MOS π_{PT}	位数 N_B	双极 π_{PT}	MOS π_{PT}
≤512	1.00	1.00	262 144	1.15	1.13
1 024	1.02	1.01	524 288	1.17	1.15
2 048	1.03	1.02	1 048 576	1.19	1.17
4 096	1.05	1.04	2 097 152	1.20	1.19
8 192	1.06	1.05	4 194 304	1.22	1.20
9 216	1.07	1.06	8 388 608	1.24	1.22
16 384	1.08	1.07	16 777 216	1.26	1.24
32 768	1.10	1.09	33 554 432	1.28	1.26
65 536	1.11	1.10	67 108 864	1.30	1.27
131 072	1.13	1.12	—	—	—

表 31　UVEPROM、EEPROM、FLASH 电路的读/写循环率系数π_{CYC}

N_C	π_{CYC}	N_C	π_{CYC}
100	1.01	20 000	2.19
200	1.01	30 000	2.78
500	1.03	100 000	6.94
1 000	1.06	200 000	2.9
3 000	1.18	400 000	24.8
7 000	1.42	500 000	30.7
15 000	1.89	—	—
注：N_C 为全寿命期内编程循环次数。 UVEPROM 的π_{CYC}=1.0。			

表 32　微波单片集成电路应用系数π_A

应用	小功率、开关、低噪声、驱动	功率型
π_A	1.0	8.0

表 33　微波单片集成电路工艺系数π_P

工艺类型	GaAs			GaN
晶体管结构	MESFET	HBT	pHEMT	HEMT
π_P	1.0	1.4	4.4	0.2

5.1.3　混合集成电路

工作失效率预计模型见式(3)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_L \pi_T \pi_F \quad\cdots\cdots(3)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；

π_E——环境系数，见表 34；

π_Q——质量系数，见表 35；

π_L——成熟系数，见表 29；

π_T——温度应力系数，见表 36；

π_F——电路功能系数，见表 37。

基本失效率 λ_b 模型见式(4)。

$$\lambda_b = A_S\lambda_C + \lambda_{RT}N_{RT} + \sum\lambda_{DC}N_{DC} + \lambda_{SF} \qquad (4)$$

式中：

$A_S\lambda_C$——网络复杂度与衬底面积所导致的失效率，A_S 为衬底面积，cm^2；λ_C 为网络复杂度失效率，见表 38；

$\lambda_{RT}N_{RT}$——膜电阻总失效率，λ_{RT} 为膜电阻的失效率，见表 39；N_{RT} 为膜电阻数；

$\sum\lambda_{DC}N_{DC}$——外贴元器件失效率之和。外贴元器件包括封装的或未封装的半导体分立器件、半导体集成电路、电容器和电阻器等；λ_{DC} 为外贴元器件失效率，见表 40；N_{DC} 为外贴某一种类元器件数；

λ_{SF}——工艺和封装失效率，见表 41。

表 34　境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.5	2.5	6.5	7.0	11	8.0	7.5	5.0	10
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	14	15	20	10	13	19	1.2	32	14	－

表 35　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 2438A－2002 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 K 级产品	符合 GJB 2438－1995 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 K 级产品	－
	A_2	符合 GJB 2438A－2002 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 H 级产品	符合 GJB 2438－1995 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 H 级产品	0.08
	A_3	符合 GJB 2438A－2002 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 G 级产品	符合 GJB 2438－1995 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 H1 级产品	0.13
	A_4	符合 GJB 2438A－2002 且列入军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的 D 级产品	－	0.18
	A_5	按军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的生产线生产的符合 GJB 2438A－2002 的产品	按军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的生产线生产的符合 GJB 2438－1995 的产品	0.2
	A_6	未按军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的生产线生产的符合 GJB 2438A－2002 的产品	未按军用电子元器件合格制造厂目录(QML)的生产线生产的符合 GJB 2438－1995 的产品	0.3
	A_7	符合 GB/T 8976 和 GB/T 11498 质量评定水平为 K 级的产品	－	0.4
B	B_1	符合 GB/T 8976 和 GB/T 11498 质量评定水平为 L 级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 8976 和 GB/T 11498 质量评定水平为 M 级的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 36 温度应力系数π_T

T ℃	π_{T1}	π_{T2}	T ℃	π_{T1}	π_{T2}
35	0.81	0.31	110	7.11	3.41
40	0.97	0.37	115	7.97	3.87
45	1.15	0.45	120	8.91	4.39
50	1.36	0.54	125	9.94	4.95
55	1.60	0.65	130	—	5.57
60	1.87	0.77	135	—	6.26
65	2.17	0.91	140	—	7.00
70	2.52	1.07	145	—	7.81
75	2.90	1.26	150	—	8.70
80	3.33	1.47	155	—	9.66
85	3.82	1.71	160	—	10.70
90	4.35	1.98	165	—	11.83
95	4.94	2.28	170	—	13.04
100	5.60	2.61	175	—	14.35
105	6.32	2.99	—	—	—
注：若仅知电路封装底座的温度，则取π_{T1}的数值；若已知封装内的最高温度，则取π_{T2}的数值。					

表 37 电路功能系数π_F

电路功能类型	数字	高频 （10MHz～1GHz）	微波 （＞1GHz）	模拟	功率
π_F	1.0	1.2	2.0	2.5	3.0

表 38 网络复杂度失效率λ_C 单位为 10^{-6}/h·cm^2

工艺	薄膜	厚膜
λ_C	0.010	0.013

表 39 膜电阻的失效率λ_{RT} 单位为 10^{-6}/h

工艺	薄膜电阻	厚膜电阻
λ_{RT}	0.000 7	0.000 9

表 40 外贴元器件的失效率λ_{DC} 单位为 10^{-6}/h

外贴元器件	λ_{DC}
微电路	
半导体集成电路与微波集成电路	λ_{DC}为从 5.1.2 中算出的相应λ_p，在计算时，取 T_C=35℃，π_E=1，C_3=0，π_L=1，质量等级及π_Q值见表 3

表 40(续)

单位为 10^{-6}/h

外贴元器件	λ_{DC}
半导体分立器件	
整流二极管	0.007 2
开关二极管	0.007 8
瞬态抑制二极管	0.008 7
电压调整、电流调整、电压基准二极管	0.031
变容，阶跃、隧道、体效应、PIN 与雪崩二极管	0.095
微波硅检波二极管	0.195
微波硅混频二极管	0.244
小功率晶体管	0.013
大功率晶体管	0.039
开关晶体管	0.014
达林顿晶体管	0.017
硅场效应晶体管	0.092
微波双极型晶体管	0.224
微波场效应晶体管(GaAs)	0.178
微波场效应晶体管(GaN)	0.015
单结晶体管	0.091
闸流晶体管	0.145
电阻器	
金属膜电阻器	0.001 1
碳膜电阻器	0.007 5
玻璃釉电阻器	0.002 5
普通线绕电阻器	0.053 8
精密线绕电阻器	0.096 8
功率线绕电阻器	0.056 2
功率非线绕电阻器	0.051 7
片式膜电阻器	0.006 0
敏感电阻器	
热敏电阻器	0.027
压敏电阻器	0.023
光敏电阻器	0.051
电位器	
普通线绕电位器	0.286 6
精密线绕电位器	0.453 2
微调线绕电位器	0.340 2
有机实芯电位器	0.075 2

表 40(续)

单位为 10^{-6}/h

外贴元器件	λ_{DC}
合成碳膜电位器	0.132 9
玻璃釉电位器	0.056 3
非线绕精密电位器	0.208 4
电容器	
纸和薄膜电容器	0.006 4
云母电容器	0.004 1
1 类瓷介电容器	0.002 4
2 类瓷介电容器	0.002 5
固体钽电解电容器	0.007 1
非固体钽电解电容器	0.018 6
铝电解电容器	0.040 9
氧化铌电解电容器	0.002 4
感性元件	
固定电感器	0.001 0
片式电感器	0.001 2
变压器	0.006 7

表 41　工艺和封装失效率 λ_{SF}

单位为 10^{-6}/h

工艺	厚膜	薄膜	厚膜−薄膜混合
λ_{SF}	0.03	0.03	0.045

5.2　声表面波器件

工作失效率预计模型见式(5)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad\cdots\cdots(5)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 42；

π_E——环境系数，见表 43；

π_Q——质量系数，见表 44。

表 42　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

声表面波器件种类	滤波器	振荡器	延迟线	其他(谐振器、频率合成器、压缩线)
π_K	0.191	0.955	0.573	1.91

表 43　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.5	2.0	5.0	6.0	12	8.5	5.0	4.5	9
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	−
π_E	16	15	20	10	13	18	1.2	32	14	−

表 44　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	质量系数π_Q
A	A_{1S}	符合 GJB 2600A－2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	符合 GJB 2600－1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	–
	A_{1B}	符合 GJB 2600A－2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B 级产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 2600－1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B 级产品	0.13
	A_{1B1}	–	符合 GJB 2600－1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B1 级产品	0.25
	A_2	符合 GJB 2600A－2009，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 2600－1996，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.30
B	B_1	符合 SJ 2968－1988 并通过多于 5 次温度循环(−55℃～125℃)筛选的产品		0.50
	B_2	符合 SJ 2968－1988 的产品		1.0
C		低档产品		4.0

5.3　半导体分立器件

5.3.1　概述

本条其分类见表 45。

表 45　半导体分立器件的分类

器件种类		分类
二极管	普通二极管	整流二极管
		开关二极管
		检波二极管
		瞬态抑制二极管
	电压调整、电压基准及电流调整二极管	
	微波二极管	检波二极管
		混频二极管
		变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管
晶体管	双极型晶体管	小功率晶体管(<1W)
		大功率晶体管(≥1W)
		开关晶体管
		达林顿晶体管
	硅场效应晶体管	
	单结晶体管	
	微波晶体管	双极型晶体管
		场效应晶体管
	闸流晶体管	

一般地，半导体分立器件的工作失效率预计模型见式(6)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \pi_{S_2} \pi_r \pi_C \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；

π_E——环境系数；

π_Q——质量系数，其质量等级见表 46；

π_A——应用系数；

π_{S_2}——电压应力系数；

π_r——产品性能额定值系数；

π_C——结构系数。

表 46　质量等级

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明
A	A_1	符合 GJB 33A－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JY 级产品	－
	A_2	符合 GJB 33A－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JCT 级产品	符合 GJB 33－1985，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 GCT 级产品
	A_3	符合 GJB 33A－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JT 级产品	符合 GJB 33－1985，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 GT 级产品
	A_4	符合 GJB 33A－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JP 级产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 33－1985，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 GP 级产品
	A_5	符合 GJB 33A－1997，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 33－1985，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
	A_6	符合 GB/T 4589.1 的 III 类的产品	－
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品 符合 GB/T 4589.1 的 II 类产品	
	B_2	符合 GB/T 4589.1 的 I 类产品	
C		低档产品	

5.3.2　普通二极管

本条对下列类型二极管进行失效率预计：

a)　整流二极管；

b)　开关二极管；

c)　检波二极管；

d)　瞬态抑制二极管。

工作失效率预计模型见式(7)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_r \pi_{S_2} \pi_C \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 47～表 50 和图 2～图 5；

π_E——环境系数，见表 51；

π_Q——质量系数，见表 52；

π_r——额定电流系数，见表 53；

π_{S_2}——电压应力系数，见表 54；

π_C——结构系数，见表 55。

表 47　整流二极管基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	*S*									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.003 9	0.005 7	0.008 0	0.010 8	0.014 3	0.018 7	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5
5	0.004 5	0.006 4	0.008 8	0.011 9	0.015 7	0.020 4	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8
10	0.005 1	0.007 1	0.009 8	0.013 1	0.017 1	0.022 2	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8
15	0.005 7	0.008 0	0.010 8	0.014 3	0.018 7	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9
20	0.006 4	0.008 8	0.011 9	0.015 7	0.020 4	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1
25	0.007 1	0.009 8	0.013 1	0.017 1	0.022 2	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8
30	0.008 0	0.010 8	0.014 3	0.018 7	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—
35	0.008 8	0.011 9	0.015 7	0.020 4	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—
40	0.009 8	0.013 1	0.017 1	0.022 2	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—
45	0.010 8	0.014 3	0.018 7	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—	—
50	0.011 9	0.015 7	0.020 4	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—	—
55	0.013 1	0.017 1	0.022 2	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—	—
60	0.014 3	0.018 7	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—	—	—
65	0.015 7	0.020 4	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—	—	—
70	0.017 1	0.022 2	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—	—	—
75	0.018 7	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—	—	—	—
80	0.020 4	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—	—	—	—
85	0.022 2	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—	—	—	—
90	0.024 2	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—	—	—	—	—
95	0.026 4	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—	—	—	—	—
100	0.028 9	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—	—	—	—	—
105	0.031 6	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—	—	—	—	—	—
110	0.034 7	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—	—	—	—	—	—
115	0.038 2	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—	—	—	—	—	—
120	0.042 3	0.060 5	0.097 9	—	—	—	—	—	—	—
125	0.047 2	0.069 8	0.120 1	—	—	—	—	—	—	—
130	0.053 2	0.081 8	0.151 8	—	—	—	—	—	—	—
135	0.060 5	0.097 9	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.069 8	0.120 1	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.081 8	0.151 8	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.097 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.120 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.151 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：*T* 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
　　S 为电应力比，见 5.3.10。

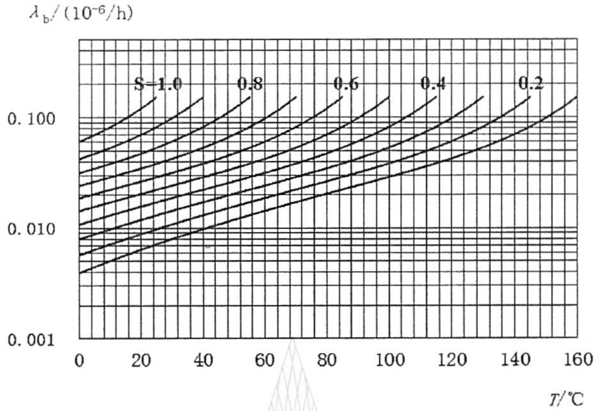

图 2　整流二极管基本失效率曲线

表 48　开关二极管基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.004 3	0.006 2	0.008 7	0.011 8	0.015 6	0.020 4	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0
5	0.004 9	0.007 0	0.009 6	0.013 0	0.017 1	0.022 3	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1
10	0.005 5	0.007 8	0.010 7	0.014 3	0.018 7	0.024 3	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3
15	0.006 2	0.008 7	0.011 8	0.015 6	0.020 4	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8
20	0.007 0	0.009 6	0.013 0	0.017 1	0.022 3	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0
25	0.007 8	0.010 7	0.014 3	0.018 7	0.024 3	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6
30	0.008 7	0.011 8	0.015 6	0.020 4	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8	–
35	0.009 6	0.013 0	0.017 1	0.022 3	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0	–
40	0.010 7	0.014 3	0.018 7	0.024 3	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6	–
45	0.011 8	0.015 6	0.020 4	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8	–	–
50	0.013 0	0.017 1	0.022 3	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0	–	–
55	0.014 3	0.018 7	0.024 3	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6	–	–
60	0.015 6	0.020 4	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8	–	–	–
65	0.017 1	0.022 3	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0	–	–	–
70	0.018 7	0.024 3	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6	–	–	–
75	0.020 4	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8	–	–	–	–
80	0.022 3	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0	–	–	–	–
85	0.024 3	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6	–	–	–	–
90	0.026 4	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8	–	–	–	–	–
95	0.028 8	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0	–	–	–	–	–
100	0.031 5	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6	–	–	–	–	–
105	0.034 5	0.046 2	0.066 0	0.106 8	–	–	–	–	–	–
110	0.037 8	0.051 5	0.076 1	0.131 0	–	–	–	–	–	–
115	0.041 7	0.058 0	0.089 3	0.165 6	–	–	–	–	–	–

表 48(续)

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
120	0.046 2	0.066 0	0.106 8	—	—	—	—	—	—	—
125	0.051 5	0.076 1	0.131 0	—	—	—	—	—	—	—
130	0.058 0	0.089 3	0.165 6	—	—	—	—	—	—	—
135	0.066 0	0.106 8	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.076 1	0.131 0	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.089 3	0.165 6	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.106 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.131 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.165 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。 S 为电应力比，见 5.3.10。										

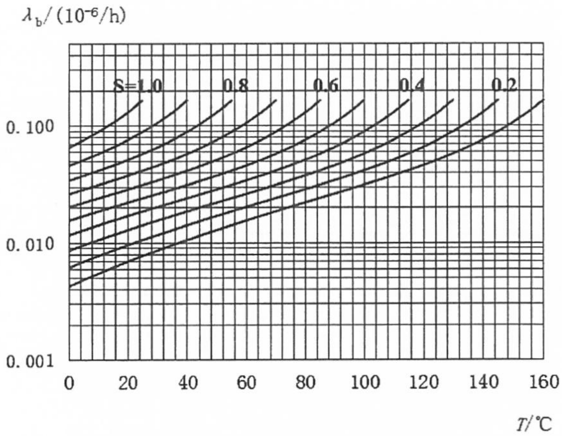

图 3　开关二极管基本失效率曲线

表 49　检波二极管基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.004 2	0.006 0	0.008 4	0.011 5	0.015 2	0.019 8	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1
5	0.004 7	0.006 8	0.009 4	0.012 6	0.016 6	0.021 6	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0
10	0.005 4	0.007 6	0.010 4	0.013 9	0.018 2	0.023 6	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8
15	0.006 0	0.008 4	0.011 5	0.015 2	0.019 8	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9
20	0.006 8	0.009 4	0.012 6	0.016 6	0.021 6	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4
25	0.007 6	0.010 4	0.013 9	0.018 2	0.023 6	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0
30	0.008 4	0.011 5	0.015 2	0.019 8	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9	—
35	0.009 4	0.012 6	0.016 6	0.021 6	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4	—
40	0.010 4	0.013 9	0.018 2	0.023 6	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0	—
45	0.011 5	0.015 2	0.019 8	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9	—	—
50	0.012 6	0.016 6	0.021 6	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4	—	—

表 49（续）

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
55	0.013 9	0.018 2	0.023 6	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0	−	−
60	0.015 2	0.019 8	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9	−	−	−
65	0.016 6	0.021 6	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4	−	−	−
70	0.018 2	0.023 6	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0	−	−	−
75	0.019 8	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9	−	−	−	−
80	0.021 6	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4	−	−	−	−
85	0.023 6	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0	−	−	−	−
90	0.025 7	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9	−	−	−	−	−
95	0.028 0	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4	−	−	−	−	−
100	0.030 6	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0	−	−	−	−	−
105	0.033 5	0.044 9	0.064 1	0.103 9	−	−	−	−	−	−
110	0.036 8	0.050 1	0.074 0	0.127 4	−	−	−	−	−	−
115	0.040 5	0.056 4	0.086 8	0.161 0	−	−	−	−	−	−
120	0.044 9	0.064 1	0.103 9	−	−	−	−	−	−	−
125	0.050 1	0.074 0	0.127 4	−	−	−	−	−	−	−
130	0.056 4	0.086 8	0.161 0	−	−	−	−	−	−	−
135	0.064 1	0.103 9	−	−	−	−	−	−	−	−
140	0.074 0	0.127 4	−	−	−	−	−	−	−	−
145	0.086 8	0.161 0	−	−	−	−	−	−	−	−
150	0.103 9	−	−	−	−	−	−	−	−	−
155	0.127 4	−	−	−	−	−	−	−	−	−
160	0.161 0	−	−	−	−	−	−	−	−	−

注：*T* 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

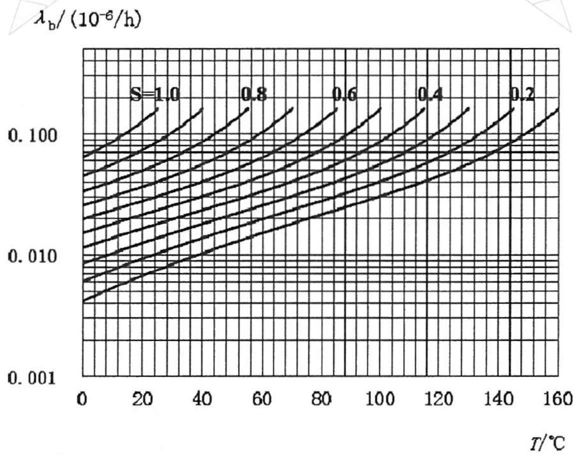

图 4　检波二极管基本失效率曲线

表 50 瞬态抑制二极管基本失效率λ_b 单位为 10^{-6}/h

T ℃	*S*									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.004 8	0.006 9	0.009 6	0.013 1	0.017 4	0.022 7	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3
5	0.005 4	0.007 7	0.010 7	0.014 4	0.019 0	0.024 7	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6
10	0.006 1	0.008 7	0.011 9	0.015 8	0.020 8	0.027 0	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2
15	0.006 9	0.009 6	0.013 1	0.017 4	0.022 7	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7
20	0.007 7	0.010 7	0.014 4	0.019 0	0.024 7	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6
25	0.008 7	0.011 9	0.015 8	0.020 8	0.027 0	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0
30	0.009 6	0.013 1	0.017 4	0.022 7	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—
35	0.010 7	0.014 4	0.019 0	0.024 7	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—
40	0.011 9	0.015 8	0.020 8	0.027 0	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—
45	0.013 1	0.017 4	0.022 7	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—	—
50	0.014 4	0.019 0	0.024 7	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—	—
55	0.015 8	0.020 8	0.027 0	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—	—
60	0.017 4	0.022 7	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—	—	—
65	0.019 0	0.024 7	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—	—	—
70	0.020 8	0.027 0	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—	—	—
75	0.022 7	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—	—	—	—
80	0.024 7	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—	—	—	—
85	0.027 0	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—	—	—	—
90	0.029 4	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—	—	—	—	—
95	0.032 1	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—	—	—	—	—
100	0.035 0	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—	—	—	—	—
105	0.038 3	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—	—	—	—	—	—
110	0.042 0	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—	—	—	—	—	—
115	0.046 3	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—	—	—	—	—	—
120	0.051 3	0.073 3	0.118 7	—	—	—	—	—	—	—
125	0.057 2	0.084 6	0.145 6	—	—	—	—	—	—	—
130	0.064 4	0.099 2	0.184 0	—	—	—	—	—	—	—
135	0.073 3	0.118 7	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.084 6	0.145 6	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.099 2	0.184 0	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.118 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.145 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.184 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：*T* 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

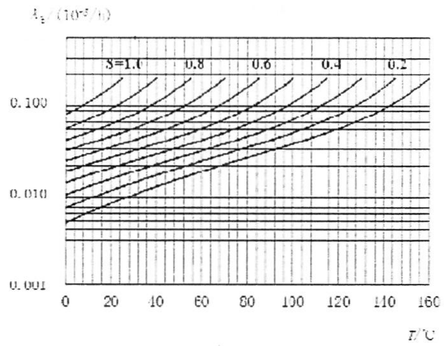

图 5　瞬态抑制二极管基本失效率曲线

表 51　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.7	5.0	5.5	11	7.5	4.5	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	13	20	7.0	11	15	0.5	28	15	—

表 52　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.4	1.0	5.0

表 53　额定电流系数 π_r

额定电流 I A	$I\leqslant 1$	$1<I\leqslant 3$	$3<I\leqslant 10$	$10<I\leqslant 20$	$I>20$
π_r	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0

表 54　电压应力系数 π_{S2}

$S_2=\dfrac{外加反向电压V_R}{额定反向电压V_{RM}}$	≤0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
π_{S2}	0.20	0.40	0.70	1.0	1.3	1.8	2.5	3.3

表 55　结构系数 π_C

接触结构	冶金键合	弹性压力
π_C	1.0	2.0

5.3.3　电压调整、电压基准及电流调整二极管

工作失效率预计模型见式(8)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_r\pi_A \qquad (8)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 56 和图 6；

π_E——环境系数，见表 57；
π_Q——质量系数，见表 58；
π_r——额定电流系数，见表 53；
π_A——应用系数，见表 59。

表 56　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.015 6	0.017 9	0.020 4	0.023 0	0.025 8	0.029 1	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0
5	0.016 3	0.018 7	0.021 2	0.023 9	0.026 9	0.030 3	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4
10	0.017 1	0.019 5	0.022 1	0.024 9	0.027 9	0.031 6	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3
15	0.017 9	0.020 4	0.023 0	0.025 8	0.029 1	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4
20	0.018 7	0.021 2	0.023 9	0.026 9	0.030 3	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6
25	0.019 5	0.022 1	0.024 9	0.027 9	0.031 6	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9
30	0.020 4	0.023 0	0.025 8	0.029 1	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–
35	0.021 2	0.023 9	0.026 9	0.030 3	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–
40	0.022 1	0.024 9	0.027 9	0.031 6	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–
45	0.023 0	0.025 8	0.029 1	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–	–
50	0.023 9	0.026 9	0.030 3	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–	–
55	0.024 9	0.027 9	0.031 6	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–	–
60	0.025 8	0.029 1	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–	–	–
65	0.026 9	0.030 3	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–	–	–
70	0.027 9	0.031 6	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–	–	–
75	0.029 1	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–	–	–	–
80	0.030 3	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–	–	–	–
85	0.031 6	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–	–	–	–
90	0.033 0	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–	–	–	–	–
95	0.034 6	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–	–	–	–	–
100	0.036 3	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–	–	–	–	–
105	0.038 3	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–	–	–	–	–	–
110	0.040 5	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–	–	–	–	–	–
115	0.043 1	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–	–	–	–	–	–
120	0.046 1	0.059 0	0.083 4	–	–	–	–	–	–	–
125	0.049 6	0.065 4	0.096 6	–	–	–	–	–	–	–
130	0.053 9	0.073 3	0.113 9	–	–	–	–	–	–	–
135	0.059 0	0.083 4	–	–	–	–	–	–	–	–
140	0.065 4	0.096 6	–	–	–	–	–	–	–	–
145	0.073 3	0.113 9	–	–	–	–	–	–	–	–
150	0.083 4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
155	0.096 6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
160	0.113 9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
注：*T* 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。 *S* 为电应力比，见 5.3.10。										

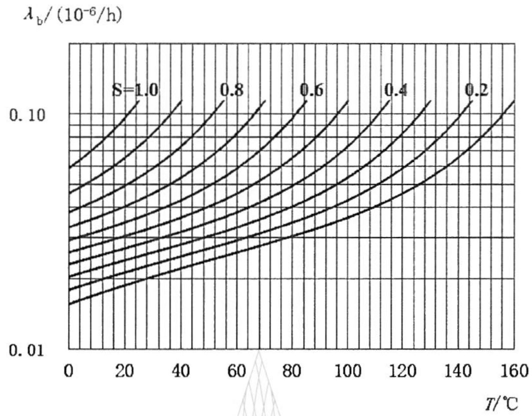

图 6　电压调整、电压基准及电流调整二极管基本失效率曲线

表 57　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.7	5.0	5.5	11	7.5	4.5	1.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	13	20	7.0	11	15	0.5	28	15	—

表 58　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	1.0	5.0

表 59　应用系数π_A

应用	电压调整	电压基准(温度补偿)	电流调整
π_A	0.65	1.0	1.2

5.3.4　微波二极管

5.3.4.1　微波硅检波、硅混频二极管

工作失效率预计模型见式(9)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 60、表 61 和图 7、图 8；

π_E——环境系数，见表 62；

π_Q——质量系数，见表 63。

表 60　微波硅检波二极管基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.183	0.194	0.205	0.216	0.229	0.243	0.260	0.285	0.323	0.387
5	0.187	0.198	0.209	0.221	0.234	0.249	0.269	0.298	0.344	0.426
10	0.192	0.203	0.214	0.226	0.240	0.256	0.279	0.314	0.371	0.477

表 60（续）

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
15	0.196	0.207	0.219	0.231	0.246	0.265	0.291	0.333	0.405	0.546
20	0.200	0.212	0.224	0.237	0.253	0.274	0.305	0.357	0.450	0.641
25	0.205	0.216	0.229	0.243	0.260	0.285	0.323	0.387	0.509	0.775
30	0.209	0.221	0.234	0.249	0.269	0.298	0.344	0.426	0.589	—
35	0.214	0.226	0.240	0.256	0.279	0.314	0.371	0.477	0.702	—
40	0.219	0.231	0.246	0.265	0.291	0.333	0.405	0.546	—	—
45	0.224	0.237	0.253	0.274	0.305	0.357	0.450	0.641	—	—
50	0.229	0.243	0.260	0.285	0.323	0.387	0.509	0.775	—	—
55	0.234	0.249	0.269	0.298	0.344	0.426	0.589	—	—	—
60	0.240	0.256	0.279	0.314	0.371	0.477	0.702	—	—	—
65	0.246	0.265	0.291	0.333	0.405	0.546	—	—	—	—
70	0.253	0.274	0.305	0.357	0.450	0.641	—	—	—	—
75	0.260	0.285	0.323	0.387	0.509	0.775	—	—	—	—
80	0.269	0.298	0.344	0.426	0.589	—	—	—	—	—
85	0.279	0.314	0.371	0.477	0.702	—	—	—	—	—
90	0.291	0.333	0.405	0.546	—	—	—	—	—	—
95	0.305	0.357	0.450	0.641	—	—	—	—	—	—
100	0.323	0.387	0.509	0.775	—	—	—	—	—	—
105	0.344	0.426	0.589	—	—	—	—	—	—	—
110	0.371	0.477	0.702	—	—	—	—	—	—	—
115	0.405	0.546	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.450	0.641	—	—	—	—	—	—	—	—
125	0.509	0.775	—	—	—	—	—	—	—	—
130	0.589	—	—	—	—	—	—	—	—	—
135	0.702	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

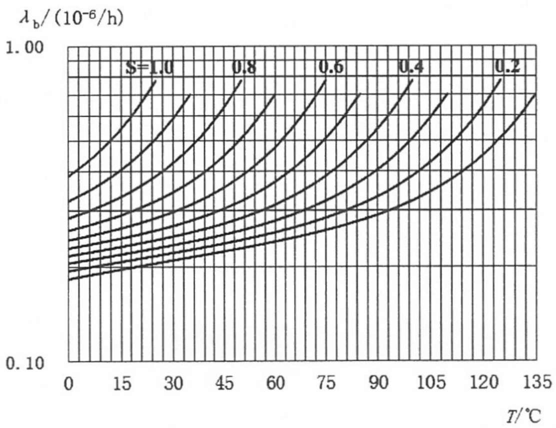

图 7　微波硅检波二极管基本失效率曲线

表 61　微波硅混频二极管基本失效率λ_b　　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.227	0.241	0.255	0.270	0.286	0.305	0.328	0.361	0.411	0.493
5	0.233	0.247	0.261	0.276	0.293	0.313	0.340	0.378	0.438	0.543
10	0.238	0.252	0.267	0.283	0.300	0.323	0.353	0.399	0.473	0.607
15	0.244	0.258	0.273	0.289	0.309	0.334	0.369	0.424	0.517	0.691
20	0.249	0.264	0.279	0.297	0.318	0.346	0.388	0.455	0.573	0.806
25	0.255	0.270	0.286	0.305	0.328	0.361	0.411	0.493	0.646	0.964
30	0.261	0.276	0.293	0.313	0.340	0.378	0.438	0.543	0.744	—
35	0.267	0.283	0.300	0.323	0.353	0.399	0.473	0.607	0.878	—
40	0.273	0.289	0.309	0.334	0.369	0.424	0.517	0.691	—	—
45	0.279	0.297	0.318	0.346	0.388	0.455	0.573	0.806	—	—
50	0.286	0.305	0.328	0.361	0.411	0.493	0.646	0.964	—	—
55	0.293	0.313	0.340	0.378	0.438	0.543	0.744	—	—	—
60	0.300	0.323	0.353	0.399	0.473	0.607	0.878	—	—	—
65	0.309	0.334	0.369	0.424	0.517	0.691	—	—	—	—
70	0.318	0.346	0.388	0.455	0.573	0.806	—	—	—	—
75	0.328	0.361	0.411	0.493	0.646	0.964	—	—	—	—
80	0.340	0.378	0.438	0.543	0.744	—	—	—	—	—
85	0.353	0.399	0.473	0.607	0.878	—	—	—	—	—
90	0.369	0.424	0.517	0.691	—	—	—	—	—	—
95	0.388	0.455	0.573	0.806	—	—	—	—	—	—
100	0.411	0.493	0.646	0.964	—	—	—	—	—	—
105	0.438	0.543	0.744	—	—	—	—	—	—	—
110	0.473	0.607	0.878	—	—	—	—	—	—	—
115	0.517	0.691	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.573	0.806	—	—	—	—	—	—	—	—
125	0.646	0.964	—	—	—	—	—	—	—	—
130	0.744	—	—	—	—	—	—	—	—	—
135	0.878	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

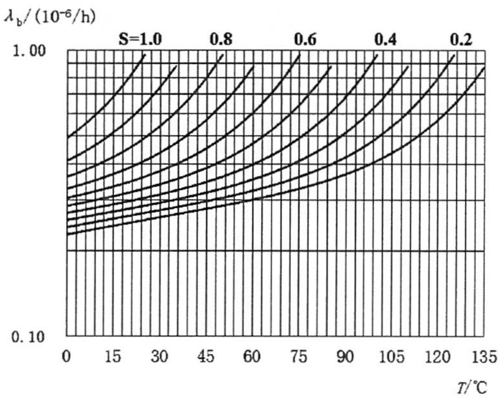

图 8　微波硅混频二极管基本失效率曲线

表 62 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	6.0	15	7.5	5.0	3.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	7.0	11	15	0.60	28	15	—

表 63 质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.06	0.13	0.15	0.25	0.5	1.0	5.0

5.3.4.2 其他微波二极管

本条主要对变容、阶跃、隧道、PIN、体效应、雪崩二极管进行失效率预计。

工作失效率预计模型见式(10)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_K \tag{10}$$

式中

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 64 和图 9；

π_E——环境系数，见表 65；

π_Q——质量系数，见表 66；

π_K——种类系数，见表 67。

表 64 基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.093	0.113	0.136	0.162	0.191	0.225	0.266	0.320	0.398	0.526
5	0.099	0.121	0.145	0.171	0.201	0.237	0.282	0.342	0.434	0.589
10	0.106	0.128	0.153	0.181	0.213	0.251	0.300	0.368	0.476	0.666
15	0.113	0.136	0.162	0.191	0.225	0.266	0.320	0.398	0.526	0.765
20	0.121	0.145	0.171	0.201	0.237	0.282	0.342	0.434	0.589	0.892
25	0.128	0.153	0.181	0.213	0.251	0.300	0.368	0.476	0.666	1.061
30	0.136	0.162	0.191	0.225	0.266	0.320	0.398	0.526	0.765	—
35	0.145	0.171	0.201	0.237	0.282	0.342	0.434	0.589	0.892	—
40	0.153	0.181	0.213	0.251	0.300	0.368	0.476	0.666	1.061	—
45	0.162	0.191	0.225	0.266	0.320	0.398	0.526	0.765	—	—
50	0.171	0.201	0.237	0.282	0.342	0.434	0.589	0.892	—	—
55	0.181	0.213	0.251	0.300	0.368	0.476	0.666	1.061	—	—
60	0.191	0.225	0.266	0.320	0.398	0.526	0.765	—	—	—
65	0.201	0.237	0.282	0.342	0.434	0.589	0.892	—	—	—
70	0.213	0.251	0.300	0.368	0.476	0.666	1.061	—	—	—
75	0.225	0.266	0.320	0.398	0.526	0.765	—	—	—	—
80	0.237	0.282	0.342	0.434	0.589	0.892	—	—	—	—

表 64(续) 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
85	0.251	0.300	0.368	0.476	0.666	1.061	—	—	—	—
90	0.266	0.320	0.398	0.526	0.765	—	—	—	—	—
95	0.282	0.342	0.434	0.589	0.892	—	—	—	—	—
100	0.300	0.368	0.476	0.666	1.061	—	—	—	—	—
105	0.320	0.398	0.526	0.765	—	—	—	—	—	—
110	0.342	0.434	0.589	0.892	—	—	—	—	—	—
115	0.368	0.476	0.666	1.061	—	—	—	—	—	—
120	0.398	0.526	0.765	—	—	—	—	—	—	—
125	0.434	0.589	0.892	—	—	—	—	—	—	—
130	0.476	0.666	1.061	—	—	—	—	—	—	—
135	0.526	0.765	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.589	0.892	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.666	1.061	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.765	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.892	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	1.061	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

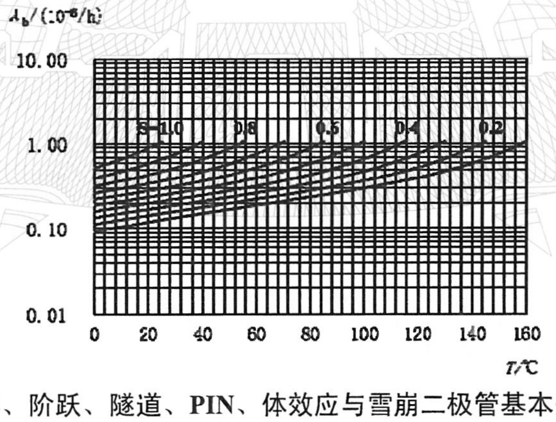

图 9 变容、阶跃、隧道、PIN、体效应与雪崩二极管基本失效率曲线

表 65 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.7	5.0	5.5	11	7.5	4.5	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	13	20	7.0	11	15	0.60	28	15	—

表 66　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	1.0	5.0

表 67　种类系数π_K

种类		π_K
变容二极管	电压控制	0.5
	倍频器	2.5
阶跃、隧道二极管		1.0
PIN 二极管	P≤10W	0.5
	10W＜P≤100W	1.3
	100W＜P≤1 000W	2.0
	P＞1 000W	2.4
体效应、雪崩二极管		5.5

5.3.5　双极型晶体管

本条主要包括：小功率晶体管(＜1W)、大功率晶体管(≥1W)、开关晶体管与达林顿晶体管。

工作失效率预计模型见式(11)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \pi_{S_2} \pi_r \pi_C \pi_k \tag{11}$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 68～表 70 和图 10～图 12；

π_E——环境系数，见表 71；

π_Q——质量系数，见表 72；

π_A——应用系数，见表 73；

π_{S_2}——电压应力系数，见表 74；

π_r——额定功率系数，见表 75；

π_C——结构系数，见表 76；

π_K——种类系数，见表 77。

表 68　小功率晶体管和大功率晶体管基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.021	0.025	0.029	0.035	0.040	0.047	0.056	0.067	0.083	0.108
5	0.022	0.026	0.031	0.036	0.042	0.050	0.059	0.071	0.090	0.120
10	0.023	0.028	0.033	0.038	0.045	0.053	0.063	0.077	0.098	0.135
15	0.025	0.029	0.035	0.040	0.047	0.056	0.067	0.083	0.108	0.153
20	0.026	0.031	0.036	0.042	0.050	0.059	0.071	0.090	0.120	0.175
25	0.028	0.033	0.038	0.045	0.053	0.063	0.077	0.098	0.135	0.204
30	0.029	0.035	0.040	0.047	0.056	0.067	0.083	0.108	0.153	—
35	0.031	0.036	0.042	0.050	0.059	0.071	0.090	0.120	0.175	—

表 68(续)

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
40	0.033	0.038	0.045	0.053	0.063	0.077	0.098	0.135	0.204	—
45	0.035	0.040	0.047	0.056	0.067	0.083	0.108	0.153	—	—
50	0.036	0.042	0.050	0.059	0.071	0.090	0.120	0.175	—	—
55	0.038	0.045	0.053	0.063	0.077	0.098	0.135	0.204	—	—
60	0.040	0.047	0.056	0.067	0.083	0.108	0.153	—	—	—
65	0.042	0.050	0.059	0.071	0.090	0.120	0.175	—	—	—
70	0.045	0.053	0.063	0.077	0.098	0.135	0.204	—	—	—
75	0.047	0.056	0.067	0.083	0.108	0.153	—	—	—	—
80	0.050	0.059	0.071	0.090	0.120	0.175	—	—	—	—
85	0.053	0.063	0.077	0.098	0.135	0.204	—	—	—	—
90	0.056	0.067	0.083	0.108	0.153	—	—	—	—	—
95	0.059	0.071	0.090	0.120	0.175	—	—	—	—	—
100	0.063	0.077	0.098	0.135	0.204	—	—	—	—	—
105	0.067	0.083	0.108	0.153	—	—	—	—	—	—
110	0.071	0.090	0.120	0.175	—	—	—	—	—	—
115	0.077	0.098	0.135	0.204	—	—	—	—	—	—
120	0.083	0.108	0.153	—	—	—	—	—	—	—
125	0.090	0.120	0.175	—	—	—	—	—	—	—
130	0.098	0.135	0.204	—	—	—	—	—	—	—
135	0.108	0.153	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.120	0.175	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.135	0.204	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.153	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.175	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.204	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

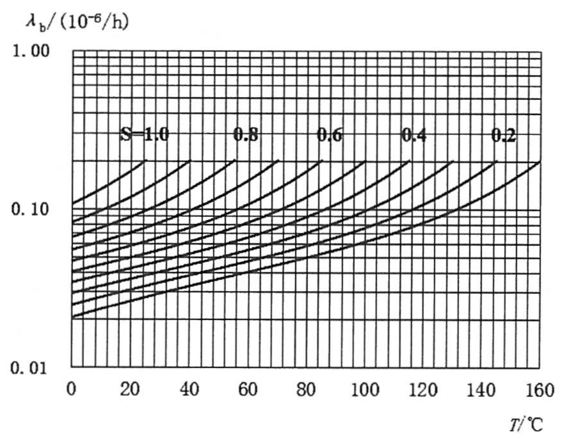

图 10 小功率晶体管和大功率晶体管基本失效率曲线

表 69　开关晶体管基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.022	0.026	0.031	0.037	0.043	0.050	0.059	0.071	0.088	0.115
5	0.023	0.028	0.033	0.039	0.045	0.053	0.063	0.076	0.096	0.128
10	0.025	0.030	0.035	0.041	0.048	0.056	0.067	0.082	0.105	0.143
15	0.026	0.031	0.037	0.043	0.050	0.059	0.071	0.088	0.115	0.163
20	0.028	0.033	0.039	0.045	0.053	0.063	0.076	0.096	0.128	0.187
25	0.030	0.035	0.041	0.048	0.056	0.067	0.082	0.105	0.143	0.217
30	0.031	0.037	0.043	0.050	0.059	0.071	0.088	0.115	0.163	—
35	0.033	0.039	0.045	0.053	0.063	0.076	0.096	0.128	0.187	—
40	0.035	0.041	0.048	0.056	0.067	0.082	0.105	0.143	0.217	—
45	0.037	0.043	0.050	0.059	0.071	0.088	0.115	0.163	—	—
50	0.039	0.045	0.053	0.063	0.076	0.096	0.128	0.187	—	—
55	0.041	0.048	0.056	0.067	0.082	0.105	0.143	0.217	—	—
60	0.043	0.050	0.059	0.071	0.088	0.115	0.163	—	—	—
65	0.045	0.053	0.063	0.076	0.096	0.128	0.187	—	—	—
70	0.048	0.056	0.067	0.082	0.105	0.143	0.217	—	—	—
75	0.050	0.059	0.071	0.088	0.115	0.163	—	—	—	—
80	0.053	0.063	0.076	0.096	0.128	0.187	—	—	—	—
85	0.056	0.067	0.082	0.105	0.143	0.217	—	—	—	—
90	0.059	0.071	0.088	0.115	0.163	—	—	—	—	—
95	0.063	0.076	0.096	0.128	0.187	—	—	—	—	—
100	0.067	0.082	0.105	0.143	0.217	—	—	—	—	—
105	0.071	0.088	0.115	0.163	—	—	—	—	—	—
110	0.076	0.096	0.128	0.187	—	—	—	—	—	—
115	0.082	0.105	0.143	0.217	—	—	—	—	—	—
120	0.088	0.115	0.163	—	—	—	—	—	—	—
125	0.096	0.128	0.187	—	—	—	—	—	—	—
130	0.105	0.143	0.217	—	—	—	—	—	—	—
135	0.115	0.163	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.128	0.187	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.143	0.217	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.163	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.187	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.217	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
　　S 为电应力比，见 5.3.10。

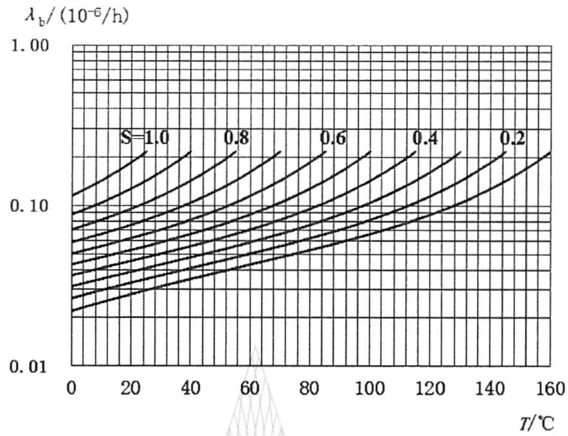

图 11　开关晶体管基本失效率曲线

表 70　达林顿晶体管基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.027	0.032	0.038	0.045	0.052	0.061	0.072	0.087	0.107	0.140
5	0.029	0.034	0.040	0.047	0.055	0.065	0.076	0.093	0.117	0.156
10	0.030	0.036	0.043	0.050	0.058	0.068	0.081	0.100	0.127	0.175
15	0.032	0.038	0.045	0.052	0.061	0.072	0.087	0.107	0.140	0.198
20	0.034	0.040	0.047	0.055	0.065	0.076	0.093	0.117	0.156	0.228
25	0.036	0.043	0.050	0.058	0.068	0.081	0.100	0.127	0.175	0.265
30	0.038	0.045	0.052	0.061	0.072	0.087	0.107	0.140	0.198	—
35	0.040	0.047	0.055	0.065	0.076	0.093	0.117	0.156	0.228	—
40	0.043	0.050	0.058	0.068	0.081	0.100	0.127	0.175	0.265	—
45	0.045	0.052	0.061	0.072	0.087	0.107	0.140	0.198	—	—
50	0.047	0.055	0.065	0.076	0.093	0.117	0.156	0.228	—	—
55	0.050	0.058	0.068	0.081	0.100	0.127	0.175	0.265	—	—
60	0.052	0.061	0.072	0.087	0.107	0.140	0.198	—	—	—
65	0.055	0.065	0.076	0.093	0.117	0.156	0.228	—	—	—
70	0.058	0.068	0.081	0.100	0.127	0.175	0.265	—	—	—
75	0.061	0.072	0.087	0.107	0.140	0.198	—	—	—	—
80	0.065	0.076	0.093	0.117	0.156	0.228	—	—	—	—
85	0.068	0.081	0.100	0.127	0.175	0.265	—	—	—	—
90	0.072	0.087	0.107	0.140	0.198	—	—	—	—	—
95	0.076	0.093	0.117	0.156	0.228	—	—	—	—	—
100	0.081	0.100	0.127	0.175	0.265	—	—	—	—	—
105	0.087	0.107	0.140	0.198	—	—	—	—	—	—
110	0.093	0.117	0.156	0.228	—	—	—	—	—	—
115	0.100	0.127	0.175	0.265	—	—	—	—	—	—
120	0.107	0.140	0.198	—	—	—	—	—	—	—
125	0.117	0.156	0.228	—	—	—	—	—	—	—

表 70（续）

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
130	0.127	0.175	0.265	—	—	—	—	—	—	—
135	0.140	0.198	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.156	0.228	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.175	0.265	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.198	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	0.228	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	0.265	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。 S 为电应力比，见 5.3.10。										

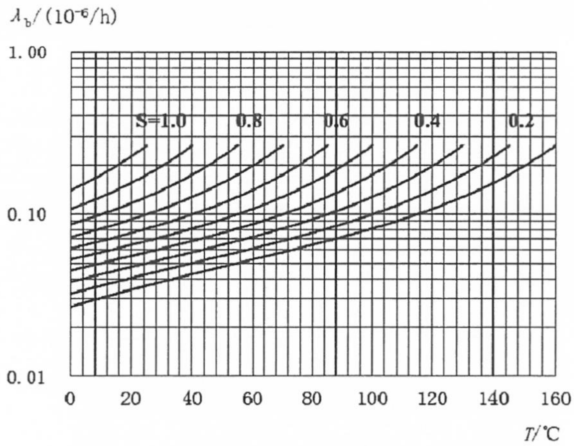

图 12　达林顿晶体管基本失效率曲线

表 71　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	5.5	11	7.5	5.0	3.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	7.5	12	17	0.50	28	15	—

表 72　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.015	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.4	1	5

表 73　应用系数 π_A

应用	线性放大	高频（200MHz～500MHz）
π_A	1	3

表 74　电压应力系数 π_{S2}

$S_2=\dfrac{外加电压V_{CE}}{额定电压V_{CEO}}$	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.25	＜0.25
π_{S2}	3.0	2.2	1.62	1.2	0.88	0.65	0.48	0.35	0.30	0.30

表 75　额定功率系数 π_r

额定功率 P W	P＜0.7	0.7≤P＜1	1≤P＜5	5≤P＜20	20≤P＜50	50≤P＜200	P≥200
π_r	0.80	1.0	1.5	2.2	3.0	4.0	5.5

表 76　结构系数 π_C

结构	双管 （不匹配对或补偿）	双管 （匹配对）	单管	达林顿对
π_C	0.7	1.2	1.0	0.8

表 77　种类系数 π_K

种类	NPN 型	PNP 型
π_K	1.0	1.8

5.3.6　硅场效应晶体管

工作失效率预计模型见式(12)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_A\pi_r\pi_C\pi_K \tag{12}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 78 和图 13；

π_E——环境系数，见表 79；

π_Q——质量系数，见表 80；

π_A——应用系数，见表 81；

π_r——额定功率系数，见表 82；

π_C——结构系数，见表 83；

π_K——种类系数，见表 84。

表 78　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.043	0.052	0.063	0.074	0.088	0.103	0.122	0.147	0.183	0.242
5	0.046	0.055	0.066	0.079	0.093	0.109	0.130	0.157	0.199	0.271
10	0.049	0.059	0.070	0.083	0.098	0.115	0.138	0.169	0.219	0.306
15	0.052	0.063	0.074	0.088	0.103	0.122	0.147	0.183	0.242	0.352
20	0.055	0.066	0.079	0.093	0.109	0.130	0.157	0.199	0.271	0.410
25	0.059	0.070	0.083	0.098	0.115	0.138	0.169	0.219	0.306	0.488

表 78(续)

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
30	0.063	0.074	0.088	0.103	0.122	0.147	0.183	0.242	0.352	—
35	0.066	0.079	0.093	0.109	0.130	0.157	0.199	0.271	0.410	—
40	0.070	0.083	0.098	0.115	0.138	0.169	0.219	0.306	0.488	—
45	0.074	0.088	0.103	0.122	0.147	0.183	0.242	0.352	—	—
50	0.079	0.093	0.109	0.130	0.157	0.199	0.271	0.410	—	—
55	0.083	0.098	0.115	0.138	0.169	0.219	0.306	0.488	—	—
60	0.088	0.103	0.122	0.147	0.183	0.242	0.352	—	—	—
65	0.093	0.109	0.130	0.157	0.199	0.271	0.410	—	—	—
70	0.098	0.115	0.138	0.169	0.219	0.306	0.488	—	—	—
75	0.103	0.122	0.147	0.183	0.242	0.352	—	—	—	—
80	0.109	0.130	0.157	0.199	0.271	0.410	—	—	—	—
85	0.115	0.138	0.169	0.219	0.306	0.488	—	—	—	—
90	0.122	0.147	0.183	0.242	0.352	—	—	—	—	—
95	0.130	0.157	0.199	0.271	0.410	—	—	—	—	—
100	0.138	0.169	0.219	0.306	0.488	—	—	—	—	—
105	0.147	0.183	0.242	0.352	—	—	—	—	—	—
110	0.157	0.199	0.271	0.410	—	—	—	—	—	—
115	0.169	0.219	0.306	0.488	—	—	—	—	—	—
120	0.183	0.242	0.352	—	—	—	—	—	—	—
125	0.199	0.271	0.410	—	—	—	—	—	—	—
130	0.219	0.306	0.488	—	—	—	—	—	—	—
135	0.242	0.352	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.271	0.410	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.306	0.488	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.352	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

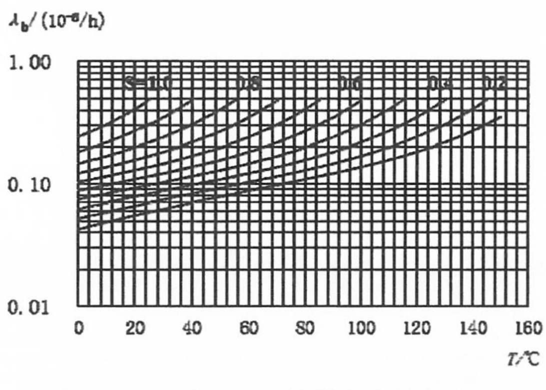

图 13　硅场效应晶体管基本失效率曲线

表 79　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	5.5	11	7.5	5.0	3.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	7.5	12	17	0.60	28	15	—

表 80　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	1.0	5.0

表 81　应用系数π_A

应用	线性放大	开关	高频 $f>400$MHz
π_A	1.0	0.5	0.8

表 82　额定功率系数π_r

额定功率 P W	$P\leqslant0.5$	$0.5<P\leqslant1$	$1<P\leqslant5$	$5<P\leqslant20$	$20<P\leqslant50$	$50<P\leqslant200$	$P>200$
π_r	0.8	1.0	1.5	2.2	3.0	4.0	5.5

表 83　结构系数π_C

结构	单管	双管 （不匹配或补偿）	双管 （匹配）	四极管
π_C	1.0	0.70	1.2	1.1

表 84　种类系数π_K

种类	结型	MOS 型
π_K	0.38	1.0

5.3.7　微波晶体管

5.3.7.1　微波双极型晶体管

工作失效率预计模型见式(13)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_A\pi_T\pi_M\pi_B \quad\cdots\cdots(13)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 85；

π_E——环境系数，见表 86；

π_Q——质量系数，见表 87；

π_A——应用系数，见表 88；

π_T——温度应力系数，见表 89 与表 90；

π_M——匹配网络系数，见表 91；

π_B——发射极镇流系数，见表 92。

表 85　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

工作频率 f GHz	输出功率 P W										
	＜1.0	1.0	5.0	10	50	100	200	300	400	500	600
0.5	0.038 8	0.039 0	0.039 9	0.041 0	0.051 3	0.067 8	0.118 4	0.206 9	0.361 5	0.631 6	1.103 5
1	0.046 3	0.046 6	0.047 6	0.049 0	0.061 2	0.080 9	0.141 4	0.247 0	0.431 5	－	－
2	0.066 0	0.066 3	0.067 8	0.069 8	0.087 2	0.115 3	0.201 4	0.351 9	－	－	－
3	0.094 0	0.094 5	0.096 7	0.099 4	0.124 2	0.164 2	0.286 9	－	－	－	－
4	0.133 9	0.134 7	0.137 7	0.141 6	0.177 0	0.234 0	0.408 8	－	－	－	－
5	0.190 8	0.191 9	0.196 2	0.201 8	0.252 2	0.333 4	0.582 4	－	－	－	－
6	0.271 8	0.273 4	0.279 5	0.287 4	0.359 3	0.475 0	0.829 8	－	－	－	－
7	0.387 3	0.389 5	0.398 3	0.409 5	0.512 0	0.676 7	－	－	－	－	－
8	0.551 8	0.554 9	0.567 4	0.583 5	0.729 4	0.964 1	－	－	－	－	－
9	0.786 2	0.790 6	0.808 5	0.831 3	1.039 2	－	－	－	－	－	－
10	1.120 2	1.126 4	1.151 9	1.184 5	1.480 7	－	－	－	－	－	－

表 86　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	5.5	11	7.5	5.0	3.5	7.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	14	15	24	7.5	12	17	0.60	28	15	－

表 87　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.03	0.05	0.10	0.15	0.2	0.5	1.0	5.0

表 88　应用系数π_A

应用状态	占空系数%	π_A
连续波	－	6.0
脉冲	≤1	0.66
	5	1.00
	10	1.43
	15	1.86
	20	2.29
脉冲	25	2.72
	30	3.15
	＞30	4.70

表 89　温度应力系数π_T(金金属化)

T ℃	V_S[a]			
	≤0.40	0.45	0.50	0.55
0	1.0	1.5	2.0	2.5
10	1.2	1.8	2.5	3.1
20	1.5	2.3	3.0	3.8
30	1.8	2.7	3.6	4.5
40	2.1	3.2	4.3	5.4
50	2.5	3.8	5.0	6.3
60	2.9	4.4	5.9	7.4
70	3.4	5.1	6.8	8.5
80	4.0	6.0	7.9	9.9
90	4.5	6.8	9.1	11.4
100	5.7	8.6	10.0	13.0

注：T为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。

[a] V_S按式(14)计算：$V_S=V_{CE}/BV_{CES}$ ······ (14)

表 90　温度应力系数π_T(铝金属化)

T ℃	V_S[a]			
	≤0.40	0.45	0.50	0.55
0	1.00	1.50	2.00	2.5
10	1.50	2.25	3.00	3.75
20	2.20	3.30	4.40	5.51
30	3.18	4.77	6.36	7.95
40	4.50	6.75	9.00	11.25
50	6.27	9.41	12.54	15.68
60	8.60	12.90	17.20	21.50
70	11.64	17.46	23.28	29.10
80	15.53	23.30	31.06	38.83
90	20.48	30.72	40.96	51.20
100	26.68	40.02	53.36	66.70

注：T为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。

[a] V_S按式(15)计算：$V_S=V_{CE}/BV_{CES}$ ······ (15)

表 91　匹配网络系数π_M

匹配形式	输入、输出匹配	仅输入或输出匹配	不匹配
π_M	1.0	2.0	4.0

表 92　发射极镇流系数π_B

镇流程度	无镇流	弱镇流 （4～6kT/QI_E）	中镇流 （6～8kT/QI_E）	强镇流 （8～10kT/QI_E）
π_B	2.0	1.0	0.50	0.30
注：k 为玻耳兹曼常数，T 为绝对温度(开)，Q 为电子电荷(库仑)，I_E 为发射极电流(安培)。				

5.3.7.2　微波场效应晶体管

工作失效率预计模型见式(16)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \pi_T \pi_M \tag{16}$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，GaAs 微波场效应晶体管的基本失效率，见表 93，GaN 微波场效应晶体管取值为 0.017 8；

π_E——环境系数，见表 94；

π_Q——质量系数，见表 95；

π_A——应用系数，见表 96；

π_T——温度应力系数，见表 97、表 98；

π_M——匹配网络系数，见表 99。

表 93　GaAs 微波场效应晶体管基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

工作频率 f GHz	平均输出功率 P W							
	<0.1	0.1	0.5	1	2	4	6	8
1	0.145	0.152	0.185	0.236	0.384	1.015	2.682	7.089
2	0.182	0.191	0.232	0.296	0.481	1.271	3.358	8.877
3	0.228	0.239	0.290	0.370	0.602	1.591	4.206	11.117
4	0.285	0.299	0.364	0.464	0.754	1.993	5.267	13.922
5	0.357	0.375	0.455	0.581	0.944	2.495	6.596	17.435
6	0.447	0.470	0.570	0.727	1.182	3.125	8.260	21.834
8	0.702	0.736	0.894	1.141	1.854	4.901	12.955	34.243
10	1.100	1.155	1.403	1.789	2.908	7.687	20.317	53.703
12	1.725	1.811	2.200	2.805	4.561	12.055	31.864	84.224
15	3.389	3.558	4.321	5.510	8.957	23.676	62.582	165.418
18	6.656	6.987	8.487	10.821	17.593	46.501	122.913	324.887

表 94　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	5.5	11	7.5	5.0	3.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	7.5	12	17	0.60	28	15	—

表 95　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	1	5

表 96　应用系数π_A

π_A	应用	
	低功耗或脉冲	连续
GaAs 微波场效应晶体管	1	3
GaN 微波场效应晶体管	13	1

表 97　GaAs 微波场效应晶体管温度应力系数π_T

T	GaAs 微波场效应晶体管	T	GaAs 微波场效应晶体管
≤30	0.22	90	2.49
35	0.27	95	2.95
40	0.35	100	3.47
45	0.43	105	4.07
50	0.54	110	4.75
55	0.67	120	5.53
60	0.82	125	6.40
65	1.00	135	7.39
70	1.21	145	8.50
75	1.46	155	9.74
80	1.76	165	11.13
85	2.10	175	12.67
注：T 为沟道温度，℃。			

表 98　GaN 微波场效应晶体管温度应力系数π_T

T	GaN 微波场效应晶体管	T	GaN 微波场效应晶体管
≤65	0.000 7	135	2.72
70	0.001 4	140	4.40
75	0.002 8	145	7.05
80	0.005 5	150	11.16
85	0.010	155	17.48
90	0.020	160	27.10
95	0.036	165	41.60
100	0.065	170	63.22
105	0.12	175	95.20
110	0.20	180	142.06
115	0.35	185	210.14
120	0.59	190	308.24
125	1.00	195	448.44
130	1.66	200	647.26
注：T 为沟道温度，℃。			

表 99　匹配网络系数π_M

匹配形式	输入、输出匹配	仅输入或输出匹配	不匹配
π_M	1	2	4

5.3.8　单结晶体管

工作失效率预计模型见式(17)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad (17)$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 100 和图 14；

π_E——环境系数，见表 101；

π_Q——质量系数，见表 102。

表 100　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.061	0.083	0.110	0.143	0.182	0.230	0.291	0.373	0.493	0.687
5	0.068	0.091	0.120	0.155	0.197	0.249	0.316	0.408	0.546	0.782
10	0.075	0.100	0.131	0.168	0.213	0.269	0.343	0.447	0.610	0.899
15	0.083	0.110	0.143	0.182	0.230	0.291	0.373	0.493	0.687	1.049
20	0.091	0.120	0.155	0.197	0.249	0.316	0.408	0.546	0.782	1.244
25	0.100	0.131	0.168	0.213	0.269	0.343	0.447	0.610	0.899	1.502
30	0.110	0.143	0.182	0.230	0.291	0.373	0.493	0.687	1.049	—
35	0.120	0.155	0.197	0.249	0.316	0.408	0.546	0.782	1.244	—
40	0.131	0.168	0.213	0.269	0.343	0.447	0.610	0.899	1.502	—
45	0.143	0.182	0.230	0.291	0.373	0.493	0.687	1.049	—	—
50	0.155	0.197	0.249	0.316	0.408	0.546	0.782	1.244	—	—
55	0.168	0.213	0.269	0.343	0.447	0.610	0.899	1.502	—	—
60	0.182	0.230	0.291	0.373	0.493	0.687	1.049	—	—	—
65	0.197	0.249	0.316	0.408	0.546	0.782	1.244	—	—	—
70	0.213	0.269	0.343	0.447	0.610	0.899	1.502	—	—	—
75	0.230	0.291	0.373	0.493	0.687	1.049	—	—	—	—
80	0.249	0.316	0.408	0.546	0.782	1.244	—	—	—	—
85	0.269	0.343	0.447	0.610	0.899	1.502	—	—	—	—
90	0.291	0.373	0.493	0.687	1.049	—	—	—	—	—
95	0.316	0.408	0.546	0.782	1.244	—	—	—	—	—
100	0.343	0.447	0.610	0.899	1.502	—	—	—	—	—
105	0.373	0.493	0.687	1.049	—	—	—	—	—	—
110	0.408	0.546	0.782	1.244	—	—	—	—	—	—
115	0.447	0.610	0.899	1.502	—	—	—	—	—	—
120	0.493	0.687	1.049	—	—	—	—	—	—	—

表 100（续） 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
125	0.546	0.782	1.244	—	—	—	—	—	—	—
130	0.610	0.899	1.502	—	—	—	—	—	—	—
135	0.687	1.049	—	—	—	—	—	—	—	—
140	0.782	1.244	—	—	—	—	—	—	—	—
145	0.899	1.502	—	—	—	—	—	—	—	—
150	1.049	—	—	—	—	—	—	—	—	—
155	1.244	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	1.502	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

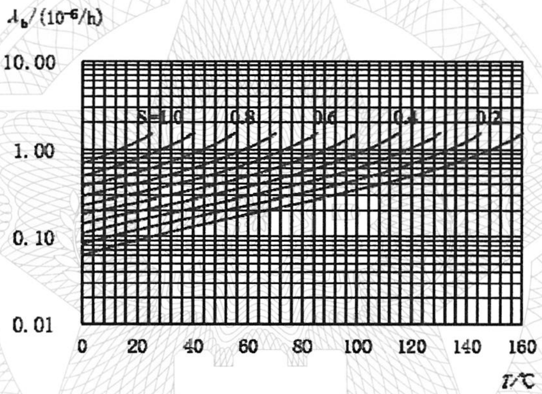

图 14 单结晶体管基本失效率曲线

表 101 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	5.5	11	7.5	5.0	3.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	7.5	12	17	0.60	28	15	—

表 102 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	1	5

5.3.9 闸流晶体管

工作失效率预计模型见式（18）。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_r \pi_{S_2} \quad \cdots\cdots (18)$$

式中：

λ_P ——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 103 和图 15；

π_E——环境系数，见表 104；

π_Q——质量系数，见表 105；

π_r——额定电流系数，见表 106；

π_{S_2}——电压应力系数，见表 107。

表 103　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.033	0.043	0.055	0.069	0.087	0.108	0.136	0.172	0.222	0.294
5	0.038	0.049	0.062	0.077	0.097	0.121	0.153	0.195	0.254	0.342
10	0.043	0.055	0.069	0.087	0.108	0.136	0.172	0.222	0.294	0.404
15	0.049	0.062	0.077	0.097	0.121	0.153	0.195	0.254	0.342	0.482
20	0.055	0.069	0.087	0.108	0.136	0.172	0.222	0.294	0.404	0.586
25	0.062	0.077	0.097	0.121	0.153	0.195	0.254	0.342	0.482	0.725
30	0.069	0.087	0.108	0.136	0.172	0.222	0.294	0.404	0.586	—
35	0.077	0.097	0.121	0.153	0.195	0.254	0.342	0.482	0.725	—
40	0.087	0.108	0.136	0.172	0.222	0.294	0.404	0.586	—	—
45	0.097	0.121	0.153	0.195	0.254	0.342	0.482	0.725	—	—
50	0.108	0.136	0.172	0.222	0.294	0.404	0.586	—	—	—
55	0.121	0.153	0.195	0.254	0.342	0.482	0.725	—	—	—
60	0.136	0.172	0.222	0.294	0.404	0.586	—	—	—	—
65	0.153	0.195	0.254	0.342	0.482	0.725	—	—	—	—
70	0.172	0.222	0.294	0.404	0.586	—	—	—	—	—
75	0.195	0.254	0.342	0.482	0.725	—	—	—	—	—
80	0.222	0.294	0.404	0.586	—	—	—	—	—	—
85	0.254	0.342	0.482	0.725	—	—	—	—	—	—
90	0.294	0.404	0.586	—	—	—	—	—	—	—
95	0.342	0.482	0.725	—	—	—	—	—	—	—
100	0.404	0.586	—	—	—	—	—	—	—	—
105	0.482	0.725	—	—	—	—	—	—	—	—
110	0.586	—	—	—	—	—	—	—	—	—
115	0.725	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：*T* 为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。
S 为电应力比，见 5.3.10。

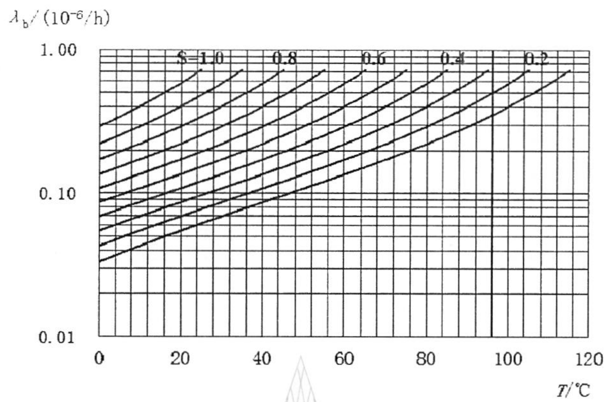

图 15　闸流晶体管基本失效率曲线

表 104　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.0	5.5	11	7.5	5.5	3.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	7.5	12	17	0.6	28	15	—

表 105　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	B_2	C
π_Q	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	1	5

表 106　额定电流系数π_r

额定平均通态电流 I A	$0.1<I\leqslant0.5$	$0.5<I\leqslant1$	$1<I\leqslant5$	$5<I\leqslant20$
π_r	0.76	1.0	1.9	3.3
额定平均通态电流 I A	$20<I\leqslant50$	$50<I\leqslant100$	$100<I\leqslant200$	$I>200$
π_r	4.8	6.3	8.0	10

表 107　电压应力系数π_{S2}

$S_2=\frac{\text{应用阻塞电压}}{\text{额定阻塞电压}}$	$S_2\leqslant0.3$	$0.3<S_2\leqslant0.4$	$0.4<S_2\leqslant0.5$	$0.5<S_2\leqslant0.6$
π_{S2}	0.30	0.54	0.81	1.1
$S_2=\frac{\text{应用阻塞电压}}{\text{额定阻塞电压}}$	$0.6<S_2\leqslant0.7$	$0.7<S_2\leqslant0.8$	$0.8<S_2\leqslant0.9$	$0.9<S_2\leqslant1$
π_{S2}	1.5	2.0	2.5	3.0

5.3.10　半导体分立器件失效率预计模型的使用说明

5.3.10.1　器件的额定值

晶体管的额定值一般为最大功率耗散值，二极管的额定值一般为最大允许电流值，通常每种器件规定两个额定温度点，即：T_M和T_S。

当工作环境温度或管壳温度高于 T_S 值时，负荷应参照图 16 的降额曲线降额，以便内部升温不超过最高允许结温 T_M。最高允许结温通常为 175℃～200℃(微波管为 150℃)。

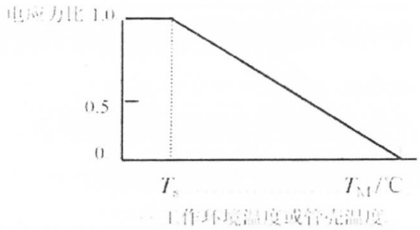

图 16　典型的降额曲线

5.3.10.2　电应力调整系数(*C*)和温度(*T*)的校正

以上基本失效率表 47～表 103 是根据典型的额定温度 T_M、T_S 值而制定的，如果所要预计的器件的 T_M 较低或 T_S 较高，在应用 λ_b 表之前，器件的电应力比和环境温度(*T*)或管壳温度(T_C)则应加以调整。

器件的电应力调整系数(*C*)校正：

a)　对于 T_S=25℃及 T_M=175℃～200℃的器件，则 C=1；

b)　对于 T_S>25℃及 T_M=175℃～200℃的器件，则按式(19)计算；

$$C = \frac{175 - T_S}{150} \cdots\cdots (19)$$

c)　对于 T_S=25℃及 T_M<175℃的器件，则按式(20)计算；

$$C = \frac{T_M - 25}{150} \cdots\cdots (20)$$

d)　对于 T_S>25℃及 T_M<175℃的器件，则按式(21)计算。

$$C = \frac{T_M - T_S}{150} \cdots\cdots (21)$$

器件的温度(*T*)校正按式(22)计算。

$$T = T + (1 - C) \times 150 \cdots\cdots (22)$$

5.3.10.3　电应力比的计算

各类半导体分立器件的电应力比计算方法如下：

a)　晶体管的电应力比

对于一个管壳中仅有一个晶体管的器件，电应力按式(23)计算。

$$S = \frac{P_{OP}}{P_M} C \cdots\cdots (23)$$

式中：

P_{OP}——使用功耗，W；

P_M——T_S 时的额定功耗，W。

对于一个管壳中装有两个晶体管的器件，管壳中单管 *S* 按式(24)计算。

$$S = \left[\frac{P_1}{P_S} + P_2\left(\frac{2P_S - P_T}{P_T P_S}\right)\right] C \cdots\cdots (24)$$

式中：

S——所要计算的单管的电应力比；

P_1——所要计算的单管的使用功耗，W；

P_S——两管中另一个不工作，所要计算的单管在 T_S 时的额定功耗值(单管额定值)，W；

P_2——另一单管的使用功耗，W；

P_T——两管都工作，在 T_S 时的额定功耗值(两管额定值)，W。

b) 普通二极管和闸流晶体管的电应力比按式(25)计算。

$$S=\frac{I_{OP}}{I_M}C \qquad (25)$$

式中：

I_{OP}——使用的平均正向电流，A；

I_M——在 T_S 时的额定平均正向电流，A。

c) 齐纳二极管的电应力比

齐纳二极管的额定值为最大电流或功率，按式(26)计算。

$$S=\frac{P_{OP}}{P_M}C \text{ 或 } S=\frac{I_{Z(OP)}}{I_{Z(M)}}C \qquad (26)$$

式中：

$I_{Z(OP)}$——实际使用电流，A；

$I_{Z(M)}$——T_S 时的额定电流，A。

d) 微波混频二极管的电应力比按式(27)计算。

$$S=\frac{J_1}{J_2} \qquad (27)$$

式中：

J_1——工作尖峰漏泄能量，J；

J_2——25℃时额定烧管能量，J。

e) 微波检波二极管的电应力比按式(28)计算。

$$S=\frac{P_{OP}}{P_M} \qquad (28)$$

f) 变容，阶跃，隧道，体效应与 PIN 二极管的电应力比按式(29)计算。

$$S=\frac{P_{OP}}{P_M}C \qquad (29)$$

5.4 光电子器件

工作失效率预计模型见式(30)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_T \qquad (30)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 108；

π_E——环境系数，见表 109；

π_Q——质量系数，见表 110；

π_T——温度应力系数，见表 111。

表 108　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

种类		λ_b
发光二极管		0.001 4
红外发光二极管		0.013
光电二极管		0.023
激光二极管		0.045
光电晶体管		0.073
简单式光电耦合器		0.04
复合式光电耦合器		0.16
单位数码管		0.005 1
多位数码管		0.004 8＋0.002 1×位数
光电二极管探测器	单隔离	0.024
	双隔离	0.04
光电晶体管探测器	单隔离	0.008 6
	双隔离	0.014
注：数码管应按内含芯片数计算其失效率，表内系指单个芯片的数据。		

表 109　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	1.8	3.0	2.6	7.0	4.0	3.7	2.2	5.1
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	8.2	5.6	8.0	4.0	6.0	12	1.0	24	15	—

表 110　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 33A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JY 级产品	—	—
	A_2	符合 GJB 33A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JCT 级产品	符合 GJB 33—1985，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 GCT 级产品	0.05
	A_3	符合 GJB 33A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 JT 级产品 符合 SJ 20642—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M2 级产品 符合 SJ 20786—2000，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Z 级产品	符合 GJB 33—1985，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 GT 级产品	0.08

表 110（续）

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_4	符合 GJB 33A－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 JP 级产品 符合 SJ 20642－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 M1 级产品 符合 SJ 20786－2000，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 Z1 级产品 符合 GJB 2438A－2002，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 H 级产品 符合 GJB 2146A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 33－1985，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 GP 级产品 符合 GJB 2146－1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.15
	A_5	符合 GJB 33A－1997、GJB 2146A－2011、GJB 2438A－2002、SJ 20642－1997、SJ 20786－2000，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 33－1985、GJB 2146－1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.2
	A_6	符合 GB/T 12565 的 III 类产品	－	0.3
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品 符合 GB/T 12565 的 II 类产品		0.6
	B_2	符合 GB/T 12565 的 I 类产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 111　温度应力系数 π_T

T ℃	π_T 发光二极管、红外发光二极管、光电二极管、光电晶体管、光电二极管探测器、光电晶体管探测器	光电耦合器、数码管	激光二极管	T ℃	π_T 发光二极管、红外发光二极管、光电二极管、光电晶体管、光电二极管探测器、光电晶体管探测器	光电耦合器、数码管	激光二极管
25	1.00	1.00	1.00	80	4.29	6.17	11.33
30	1.17	1.21	1.29	85	4.79	7.09	13.61
35	1.35	1.46	1.66	90	5.33	8.10	16.27
40	1.57	1.75	2.11	95	5.92	9.23	19.36
45	1.80	2.09	2.66	100	6.55	10.48	22.92
50	2.06	2.47	3.34	105	7.23	11.85	27.02
55	2.35	2.91	4.16	110	7.96	13.37	31.72
60	2.67	3.41	5.14	115	8.74	15.03	37.09
65	3.02	3.99	6.32	120	9.58	16.85	43.18
70	3.41	4.63	7.72	125	10.47	18.83	50.09
75	3.83	5.36	9.38	－	－	－	－

注：T 为工作环境温度。

5.5 真空电子器件

5.5.1 概述

本条主要包括：

a) 普通电子管；

b) 行波管；

c) 磁控管。

真空电子器件的质量等级与质量系数见表 112。

表 112 质量等级与质量系数 π_Q

<table>
<tr><th colspan="2">质量等级</th><th>质量要求说明</th><th>质量要求补充说明</th><th>π_Q</th></tr>
<tr><td rowspan="2">A</td><td>A_1</td><td>符合 GJB 922—1990、GJB 3312A—2011、SJ 20023—2000、SJ 20456—1994、SJ 20457—1994、SJ 20458—1994、SJ 20459—1994、SJ 20460—1994、SJ 20461—1994、SJ 20462—1994、SJ 20463A—2004、SJ 20464—1994、SJ 20474—1995、SJ 20476—1995、SJ 20480—1995、SJ 20484—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>符合 GJB 3312—1998、SJ 20463—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td>A_2</td><td>符合 GJB 922—1990、GJB 3312A—2011、SJ 20023—2000、SJ 20456—1994、SJ 20457—1994、SJ 20458—1994、SJ 20459—1994、SJ 20460—1994、SJ 20461—1994、SJ 20462—1994、SJ 20463A—2004、SJ 20464—1994、SJ 20474—1995、SJ 20476—1995、SJ 20480—1995、SJ 20484—1995，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>符合 GJB 3312—1998、SJ 20463—1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td colspan="2">B</td><td>符合 GB 5960、GB/T 6255、GB/T 11478、GB/T 12078、GB/T 12564、GB/T 12846、GB/T 12852、 GB/T 13706、GB/T 13943、GB/T 13945、GB/T 14110、GB/T 14182、GB/T 14186、SJ/T 198—1980、SJ 332—1973、SJ 338—1973、SJ 343—1973、SJ 344—1973、SJ 345—1973、SJ 346—1973、SJ 347—1973、SJ 1385—1978、SJ 1704—1981 的产品</td><td>—</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">C</td><td colspan="2">低档产品</td><td>4.0</td></tr>
</table>

5.5.2 普通电子管

不包括行波管和磁控管在内的其他普通电子管工作失效率预计模型见式(31)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_L \qquad (31)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 113～表 115；

π_E——环境系数，见表 116；

π_Q——质量系数，见表 112；

π_L——成熟系数，见表 117。

表 113　不包括行波管和磁控管在内的其他普通电子管的基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
空间电荷控制电子管	
发射管	
超短波	4.5
脉冲	5.4
分米波	10.1
厘米波	22.5
调制管	
连续波	5.2
脉冲	11.7
整流管	3.3
微波电子管	
连续波速调管(CW) 当 P 和 f 同时满足下列三个条件时： $0.1 \leqslant P \leqslant 200$ $300 \leqslant f \leqslant 20\ 000$ $P \leqslant 8.0(10^6)(f)^{-1.4}$ P—— 平均输出功率，kW； f——工作频率，MHz。	见表 114
脉冲速调管 当 P 和 f 同时满足下列三个条件时： $0.01 \leqslant P \leqslant 100$， $0.2 \leqslant f \leqslant 20$， $P \leqslant 490 f^{-1.95}$ P——峰值输出功率，MW； f——工作频率，GHz。	见表 115
充气微波开关管	
有源管	30.6
无源管	17.85
返波管	
连续	33.2
脉冲	53.1
正交场放大管	45.8
阴极射线管(真空显示器件)	
显示管	
黑白显示管	0.65
彩色显示管	2.61

表 113（续） 单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
示波管	6.3
指示管	4.9
摄像管	29.0
真空离子器件	
闸流管	57
触发管	13.9
放电管	
谐振	0.24
非谐振	0.12
计数管	5.8
稳压管	0.38
真空光电子器件	
光电管	19.8
光电倍增管	27
像增强管	25

表 114 连续波速调管的基本失效率 λ_b 单位为 10^{-6}/h

P kW	f GHz										
	0.3	0.5	0.8	1	2	4	6	8	10	15	20
0.1	46.17	46.35	46.53	46.71	47.43	48.87	50.31	51.84	53.28	56.88	60.57
1	46.89	47.07	47.25	47.43	48.15	49.59	51.03	52.56	54.00	57.60	61.29
5	50.04	50.22	50.40	50.58	51.30	52.74	54.27	55.71	57.15	60.84	64.44
10	54.00	54.18	54.36	54.54	55.26	56.70	58.23	59.67	61.11	64.8	—
20	61.92	62.10	62.28	62.46	63.18	64.62	66.15	67.59	69.03	—	—
30	69.84	70.02	70.20	70.38	71.10	72.54	74.07	—	—	—	—
50	85.68	85.86	86.04	86.22	86.94	—	—	—	—	—	—
80	109.44	109.62	109.8	109.98	110.70	—	—	—	—	—	—
100	125.28	125.46	125.64	125.82	126.54	—	—	—	—	—	—
150	164.88	165.06	165.24	165.42	166.14	—	—	—	—	—	—
200	204.48	204.66	204.84	205.02	—	—	—	—	—	—	—

表 115　脉冲速调管的基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

P MW	f GHz											
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10	15	20
0.01	12.92	12.92	12.92	12.92	12.92	13.01	13.01	13.10	13.10	13.20	13.29	13.38
0.30	13.10	13.20	13.38	13.47	13.65	14.38	15.74	17.20	18.66	20.11	23.66	27.21
0.80	13.29	13.65	14.11	14.47	14.83	16.74	20.57	24.39	28.21	32.03	41.50	51.05
1.0	13.38	13.83	14.38	14.83	15.29	17.65	22.48	27.21	32.03	36.76	48.69	60.61
3.0	14.38	15.74	17.20	18.66	20.11	27.21	41.50	55.87	70.16	84.45	—	—
5.0	15.29	17.65	20.11	22.48	24.84	36.76	60.61	84.45	108.29	—	—	—
8.0	16.74	20.57	24.39	28.21	32.03	51.05	89.18	127.40	165.53	—	—	—
10	17.65	22.48	27.21	32.03	36.76	60.61	108.29	155.97	—	—	—	—
25	24.84	36.76	48.69	60.61	72.53	132.13	251.34	—	—	—	—	—
30	27.21	41.50	55.87	70.16	84.45	155.97	299.03	—	—	—	—	—
40	32.03	51.05	70.16	89.18	108.29	203.66	—	—	—	—	—	—
60	41.50	70.16	98.74	127.40	155.97	299.03	—	—	—	—	—	—
80	51.05	89.18	127.40	165.53	203.66	394.39	—	—	—	—	—	—
100	60.61	108.29	155.97	203.66	251.34	489.76	—	—	—	—	—	—

表 116　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	0.55	0.65	1.0	4.0	5.5	8.0	7.0	4.5	2.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	8.0	11	4.5	6.0	20	0.55	57	25	—

表 117　成熟系数 π_L

成熟程度	符合相应的标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或新投产的初批次产品；设计或工艺上有重大变更；长期中断生产或生产线有重大变化
π_L	1.0	3.0	10

5.5.3　行波管

工作失效率预计模型见式(32)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad (32)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 118；

π_E——环境系数，见表 119；

π_Q——质量系数，见表 112。

表 118　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

$\frac{P}{\text{W}}$	$\frac{f}{\text{GHz}}$															
	0.1	1	2	4	8	12	16	20	25	30	35	40	50	70	90	110
10	10.0	10.9	11.9	14.4	21.1	31.0	45.3	66.4	106.9	172.2	277.3	446.5	681.3	2 156.7	4 351.9	7 376.2
100	10.0	10.9	12.0	14.5	21.3	31.1	45.6	66.7	107.5	173.1	278.8	448.9	685.0	2 168.4	4 375.5	7 416.2
500	10.3	11.2	12.3	14.9	21.8	31.9	46.7	68.4	110.1	177.3	285.5	459.8	701.6	2 221.1	4 481.8	7 596.3
1 000	10.6	11.5	12.7	15.3	22.4	32.9	48.1	70.4	113.4	182.7	294.2	473.9	723.0	2 288.7	4 618.2	7 827.6
3 000	11.9	13.0	14.3	17.3	25.3	37.0	54.2	79.4	127.9	206.0	331.7	534.3	815.1	2 580.5	5 207.0	8 825.6
5 000	13.4	14.6	16.1	19.5	28.5	41.8	61.2	89.5	144.2	232.2	374.0	602.4	—	—	—	—
8 000	16.1	17.5	19.3	23.3	34.2	50.0	73.2	107.2	172.6	278.0	447.8	721.2	—	—	—	—
10 000	18.1	19.8	21.7	26.3	38.5	56.4	82.6	120.9	194.7	313.5	504.9	813.1	—	—	—	—
15 000	24.5	26.7	29.3	35.5	52.0	76.1	111.4	163.1	262.8	423.2	681.5	1 097.6	—	—	—	—
20 000	33.0	36.0	39.6	47.9	70.2	102.7	150.4	220.2	354.7	571.2	919.9	1 481.6	—	—	—	—
30 000	60.2	65.6	72.2	87.3	127.9	187.2	274.1	401.3	646.3	1 040.8	1 676.2	2 699.5	—	—	—	—
40 000	109.7	119.5	131.5	159.1	233.0	341.1	499.4	731.1	1 177.5	1 896.4	3 054.2	4 918.8	—	—	—	—
45 000	148.1	161.4	177.5	214.8	314.5	460.4	674.1	986.9	1 589.5	2 559.9	—	—	—	—	—	—
50 000	199.9	217.8	239.6	289.9	424.5	621.5	909.9	1 332.2	2 145.5	—	—	—	—	—	—	—
70 000	663.7	723.2	795.5	962.6	1 409.3	2 063.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90 000	2 203.6	2 401.0	2 641.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12 0000	7 812.4	8 543.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：P 一般为额定功率，如果是脉冲式行波管则为峰值功率。
f 为工作频率，当工作频率是一段频率或两个不同频率时，则取两端频率的算术平均值或两个频率的几何平均值。

表 119　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.0	5.0	6.0	11	9.0	6.0	2.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	17	16	22	8.0	12	36	0.5	66	33	—

5.5.4　磁控管

工作失效率预计模型见式(33)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_U \pi_C \quad\cdots\cdots(33)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，对于连续波磁控管(额定功率小于 5kW)，λ_b=26.2，对于脉冲磁控管，见表 120；

π_E——环境系数，见表 121；

π_Q——质量系数，见表 112；

π_U——利用率系数，见表 122；

π_C——结构系数，见表 123。

表 120　脉冲磁控管基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

P MW	f GHz									
	0.1	0.5	1	5	10	30	50	70	90	110
0.01	1.50	4.88	8.08	26.19	43.44	96.86	140.62	179.78	215.98	250.05
0.05	2.07	6.72	11.16	36.13	59.93	133.63	194.03	248.05	297.99	345.01
0.1	2.39	7.73	12.82	41.51	68.83	153.50	222.88	284.93	342.30	396.31
0.3	2.98	9.63	15.97	51.70	85.75	191.22	277.64	354.94	426.42	493.70
0.5	3.29	10.66	17.69	57.26	94.98	211.79	307.51	393.13	472.29	546.80
1	3.78	12.25	20.32	65.77	109.10	243.29	353.23	451.59	542.52	628.11
3	4.71	15.26	25.30	81.94	135.91	303.07	440.04	562.56	675.84	782.45
5	5.22	16.90	28.03	90.75	150.53	335.67	487.37	623.07	748.53	866.62
6	5.41	17.53	29.07	94.12	156.12	348.13	505.47	646.20	776.32	898.80
注：P 为额定峰值功率。 f 为工作频率。										

表 121　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.0	5.0	5.5	10	9.0	8.0	4.0	9.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	18	16	22	8.0	11.5	40	1.0	133	65	—

表 122　利用率系数 π_U

利用率 U	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
π_U	0.44	0.50	0.55	0.61	0.66	0.72
利用率 U	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	—
π_U	0.78	0.83	0.89	0.94	1.0	—
注：U=发射时间/灯丝工作时间。						

表 123　结构系数 π_C

类型	连续波磁控管(额定功率小于 5kW)	同轴脉冲磁控管	普通脉冲磁控管
π_C	1.0	1.0	5.4

5.6　电阻器

5.6.1　概述

本条包括下列固定电阻器：

a)　金属膜电阻器；

b)　碳膜电阻器(功率 $P \leqslant 2W$)；

c)　玻璃釉电阻器(功率 $P \leqslant 2W$)；

d)　线绕电阻器，包括普通线绕电阻器、精密线绕电阻器；

e)　功率线绕电阻器；

f) 箔式电阻器：包括普通金属箔电阻器、精密金属箔电阻器；

g) 功率非线绕电阻器(功率 $P>2\mathrm{W}$)；

h) 片式膜电阻器；

i) 电阻网络。

一般地，电阻器的工作失效率预计模型见式(34)。

$$\lambda_{\mathrm{P}}=\lambda_{\mathrm{b}}\pi_{\mathrm{E}}\pi_{\mathrm{Q}}\pi_{\mathrm{R}} \tag{34}$$

式中：

λ_{P}——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{b}——基本失效率，10^{-6}/h；

π_{E}——环境系数；

π_{Q}——质量系数，其质量等级见表 124；

π_{R}——阻值系数。

表 124 电阻器的质量等级

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明
A	A_{1T}	符合 GJB 244A—2001、GJB 1432B—2009、GJB 6787—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 T 级产品	—
	A_{1S}	符合 GJB 244A—2001、GJB 1432B—2009、GJB 7690—2012 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品 符合 GJB 1862—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B 级产品 符合 GJB 6787—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 H 级产品 符合 SJ 20794—2000，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	符合 GJB 1432A—1999，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品 符合 GJB 244—1987，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B 级产品
	A_{1R}	符合 GJB 244A—2001、GJB 1432B—2009、GJB 7690—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品 符合 GJB 1862—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Q 级产品 符合 SJ 20794—2000，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	符合 GJB 1432A—1999，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品 符合 GJB 244—1987，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Q 级产品
	A_{1P}	符合 GJB 244A—2001、GJB 1432B—2009、GJB 7690—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 1862—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品 符合 SJ 20794—2000，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品	符合 GJB 1432A—1999，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 244—1987，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品
	A_{1M}	符合 GJB 244A—2001、GJB 1432B—2009、GJB 7690—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 1862—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品 符合 GJB 920A—2002、SJ 20794—2000，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 1929—1994、GJB 2828—1997、GJB 3017—1997、GJB 4154—2001，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1432A—1999，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 244—1987，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品 符合 GJB 920—1990，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品

表 124(续)

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明
A	A_2	符合 GJB 244A—2001、GJB 920A—2002、GJB 1432B—2009、GJB 1862—1994、GJB 1929—1994、GJB 2828—1997、GJB 3017—1997、GJB 4154—2001、GJB 6787—2009、GJB 7690—2012、SJ 20794—2000，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 244—1987、GJB 920—1990、GJB 1432A—1999，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品	
	B_2	符合 GB/T 5729、GB/T 15654、SJ 2742—1987 的产品	
C		低档产品	

5.6.2 金属膜电阻器

工作失效率预计模型见式(35)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \qquad (35)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 125、表 126 和图 17、图 18；

π_E——环境系数，见表 127；

π_Q——质量系数，见表 128；

π_R——阻值系数，见表 129。

表 125 基本失效率 λ_b(额定温度 70℃) 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 67	0.000 72	0.000 77	0.000 82	0.000 88	0.000 94	0.001 01	0.001 07	0.001 15	0.001 23
5	0.000 72	0.000 77	0.000 82	0.000 88	0.000 94	0.001 01	0.001 08	0.001 16	0.001 24	0.001 33
10	0.000 77	0.000 82	0.000 88	0.000 95	0.001 01	0.001 09	0.001 16	0.001 25	0.001 34	0.001 43
15	0.000 82	0.000 88	0.000 94	0.001 01	0.001 09	0.001 17	0.001 25	0.001 34	0.001 44	0.001 54
20	0.000 88	0.000 94	0.001 01	0.001 08	0.001 17	0.001 25	0.001 34	0.001 44	0.001 55	0.001 67
25	0.000 93	0.001 00	0.001 08	0.001 16	0.001 25	0.001 34	0.001 45	0.001 56	0.001 67	0.001 80
30	0.001 00	0.001 07	0.001 16	0.001 25	0.001 34	0.001 44	0.001 56	0.001 67	0.001 80	0.001 94
35	0.001 06	0.001 15	0.001 24	0.001 33	0.001 44	0.001 55	0.001 67	0.001 80	0.001 94	0.002 10
40	0.001 14	0.001 23	0.001 32	0.001 43	0.001 54	0.001 67	0.001 80	0.001 94	0.002 10	0.002 26
45	0.001 21	0.001 31	0.001 42	0.001 53	0.001 66	0.001 79	0.001 93	0.002 09	0.002 26	0.002 44
50	0.001 30	0.001 40	0.001 52	0.001 64	0.001 78	0.001 92	0.002 08	0.002 25	0.002 44	0.002 64
55	0.001 38	0.001 50	0.001 62	0.001 76	0.001 91	0.002 06	0.002 24	0.002 42	0.002 63	0.002 84
60	0.001 48	0.001 60	0.001 74	0.001 88	0.002 04	0.002 22	0.002 41	0.002 61	0.002 83	0.003 07
65	0.001 58	0.001 71	0.001 86	0.002 02	0.002 19	0.002 38	0.002 59	0.002 81	0.003 05	0.003 31
70	0.001 68	0.001 83	0.001 99	0.002 16	0.002 35	0.002 56	0.002 78	0.003 02	0.003 29	0.003 58
75	0.001 80	0.001 96	0.002 13	0.002 32	0.002 52	0.002 75	0.002 99	0.003 26	0.003 55	0.003 86
80	0.001 92	0.002 09	0.002 28	0.002 48	0.002 71	0.002 95	0.003 22	0.003 51	0.003 82	—

表 125(续)

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
85	0.002 05	0.002 23	0.002 44	0.002 66	0.002 90	0.003 17	0.003 46	0.003 78	—	—
90	0.002 19	0.002 39	0.002 61	0.002 85	0.003 12	0.003 40	0.003 72	—	—	—
95	0.002 33	0.002 55	0.002 79	0.003 06	0.003 34	0.003 66	—	—	—	—
100	0.002 49	0.002 73	0.002 99	0.003 27	0.003 59	—	—	—	—	—
105	0.002 66	0.002 92	0.003 20	0.003 51	—	—	—	—	—	—
110	0.002 84	0.003 12	0.003 42	—	—	—	—	—	—	—
115	0.003 03	0.003 33	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.003 24	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：*T* 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

表 126　基本失效率 λ_b(额定温度 125℃)

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 42	0.000 44	0.000 47	0.000 51	0.000 54	0.000 58	0.000 62	0.000 66	0.000 71	0.000 76
10	0.000 47	0.000 50	0.000 53	0.000 57	0.000 61	0.000 66	0.000 70	0.000 75	0.000 81	0.000 87
20	0.000 52	0.000 56	0.000 60	0.000 65	0.000 69	0.000 74	0.000 80	0.000 86	0.000 92	0.000 99
30	0.000 58	0.000 63	0.000 68	0.000 73	0.000 78	0.000 84	0.000 91	0.000 98	0.001 05	0.001 13
40	0.000 65	0.000 70	0.000 76	0.000 82	0.000 89	0.000 96	0.001 03	0.001 11	0.001 20	0.001 30
50	0.000 73	0.000 79	0.000 86	0.000 93	0.001 00	0.001 08	0.001 17	0.001 27	0.001 37	0.001 49
60	0.000 82	0.000 89	0.000 96	0.001 04	0.001 13	0.001 23	0.001 33	0.001 45	0.001 57	0.001 70
70	0.000 92	0.001 00	0.001 08	0.001 18	0.001 28	0.001 39	0.001 51	0.001 65	0.001 79	0.001 95
80	0.001 03	0.001 12	0.001 22	0.001 33	0.001 45	0.001 58	0.001 72	0.001 88	0.002 04	0.002 23
90	0.001 15	0.001 25	0.001 37	0.001 50	0.001 64	0.001 79	0.001 95	0.002 14	0.002 33	—
100	0.001 29	0.001 41	0.001 54	0.001 69	0.001 85	0.002 03	0.002 22	0.002 43	—	—
110	0.001 44	0.001 58	0.001 74	0.001 91	0.002 09	0.002 30	0.002 52	—	—	—
120	0.001 61	0.001 77	0.001 95	0.002 15	0.002 37	0.002 60	—	—	—	—
130	0.001 80	0.001 99	0.002 20	0.002 42	0.002 68	—	—	—	—	—
140	0.002 02	0.002 23	0.002 47	0.002 73	—	—	—	—	—	—
150	0.002 26	0.002 51	0.002 78	—	—	—	—	—	—	—
160	0.002 53	0.002 82	—	—	—	—	—	—	—	—
170	0.002 84	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：*T* 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

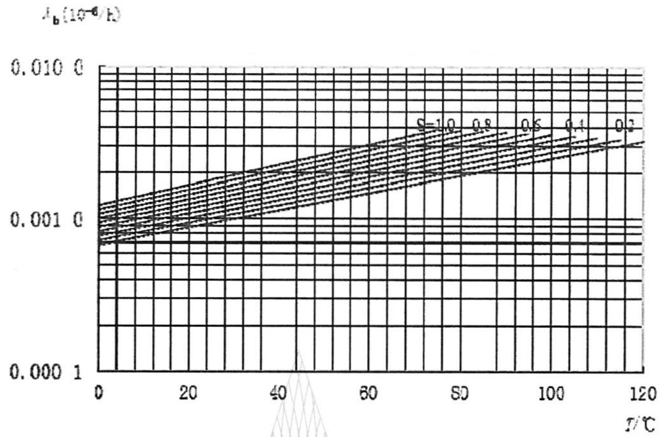

图 17　额定温度为 70℃的金属膜电阻器基本失效率曲线

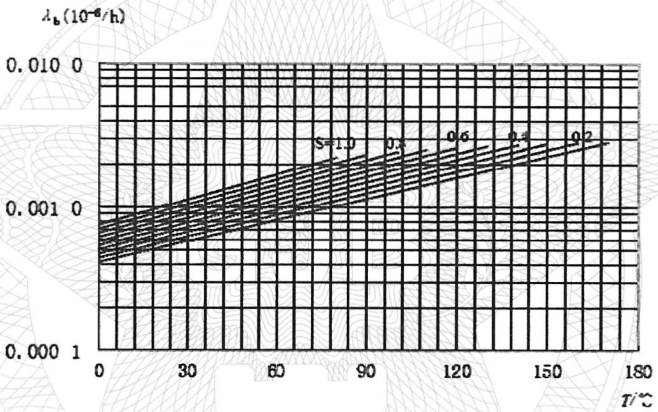

图 18　额定温度为 125℃的金属膜电阻器基本失效率曲线

表 127　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	3.0	4.0	6.0	5.6	3.8	2.5	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	5.0	11	2.5	6.1	12.5	0.50	26	15	—

表 128　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1P}	0.05
	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

表 129　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 100k\Omega$	1.0
$100k\Omega < R \leqslant 1M\Omega$	1.6
$1M\Omega < R \leqslant 10M\Omega$	3.0
$R > 10M\Omega$	4.0

5.6.3　碳膜电阻器（$P \leqslant 2W$）

工作失效率预计模型见式(36)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \quad \cdots\cdots (36)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 130 和图 19；

π_E——环境系数，见表 131；

π_Q——质量系数，见表 132；

π_R——阻值系数，见表 133。

表 130　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0.003 2	0.003 6	0.004 0	0.004 4	0.004 8	0.005 3	0.005 9	0.006 5	0.007 2	0.008 0
5	0.003 3	0.003 7	0.004 1	0.004 5	0.005 0	0.005 5	0.006 1	0.006 7	0.007 5	0.008 3
10	0.003 4	0.003 8	0.004 2	0.004 6	0.005 1	0.005 7	0.006 3	0.007 0	0.007 8	0.008 6
15	0.003 5	0.003 9	0.004 3	0.004 8	0.005 3	0.005 9	0.006 5	0.007 3	0.008 1	0.009 0
20	0.003 6	0.004 0	0.004 4	0.004 9	0.005 5	0.006 1	0.006 8	0.007 6	0.008 4	0.009 4
25	0.003 7	0.004 1	0.004 6	0.005 1	0.005 7	0.006 3	0.007 0	0.007 9	0.008 8	0.009 8
30	0.003 8	0.004 2	0.004 7	0.005 3	0.005 9	0.006 6	0.007 3	0.008 2	0.009 1	0.010 2
35	0.003 9	0.004 3	0.004 9	0.005 4	0.006 1	0.006 8	0.007 6	0.008 5	0.009 6	0.010 7
40	0.004 0	0.004 5	0.005 0	0.005 6	0.006 3	0.007 1	0.007 9	0.008 9	0.010 0	0.011 2
45	0.004 1	0.004 6	0.005 2	0.005 8	0.006 6	0.007 4	0.008 3	0.009 3	0.010 5	0.011 7
50	0.004 3	0.004 8	0.005 4	0.006 1	0.006 8	0.007 7	0.008 7	0.009 7	0.011 0	0.012 3
55	0.004 4	0.005 0	0.005 6	0.006 3	0.007 1	0.008 0	0.009 0	0.010 2	0.011 5	0.013 0
60	0.004 6	0.005 1	0.005 8	0.006 6	0.007 4	0.008 4	0.009 5	0.010 7	0.012 1	0.013 7
65	0.004 7	0.005 3	0.006 1	0.006 8	0.007 8	0.008 8	0.009 9	0.011 2	0.012 7	0.014 4
70	0.004 9	0.005 6	0.006 3	0.007 1	0.008 1	0.009 2	0.010 4	0.011 8	0.013 4	0.015 2
75	0.005 1	0.005 8	0.006 6	0.007 5	0.008 5	0.009 6	0.011 0	0.012 4	0.014 1	—
80	0.005 3	0.006 0	0.006 9	0.007 8	0.008 9	0.010 1	0.011 5	0.013 1	—	—
85	0.005 5	0.006 3	0.007 2	0.008 2	0.009 3	0.010 7	0.012 1	—	—	—
90	0.005 8	0.006 6	0.007 5	0.008 6	0.009 8	0.011 2	—	—	—	—
95	0.006 0	0.006 9	0.007 9	0.009 0	0.010 3	—	—	—	—	—
100	0.006 3	0.007 2	0.008 3	0.009 5	—	—	—	—	—	—

表 130（续） 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
105	0.006 6	0.007 6	0.008 7	0.010 0	—	—	—	—	—	—
110	0.007 0	0.008 0	0.009 2	—	—	—	—	—	—	—
115	0.007 3	0.008 4	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.007 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

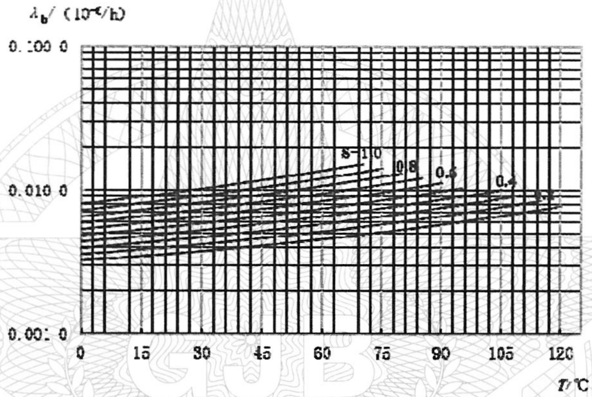

图 19 碳膜电阻器（功率 $P \leqslant 2$W）基本失效率曲线

表 131 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	3.0	4.0	6.0	5.6	3.8	2.5	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	5.0	11	2.5	6.1	12.5	0.50	26	15	—

表 132 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_2	0.20
B	B_1	0.60
	B_2	1.0
C		4.0

表 133 阻值系数 π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 100$kΩ	1.0
100kΩ $< R \leqslant$ 1MΩ	1.6
1MΩ $< R \leqslant$ 10MΩ	3.0
$R >$ 10MΩ	4.0

5.6.4 玻璃釉电阻器（$P \leqslant 2W$）

玻璃釉电阻器工作失效率预计模型见式（37）。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \quad \cdots\cdots (37)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 134 和图 20；

π_E——环境系数，见表 135；

π_Q——质量系数，见表 136；

π_R——阻值系数，见表 137。

表 134 基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0.001 02	0.001 13	0.001 24	0.001 37	0.001 52	0.001 68	0.001 86	0.002 05	0.002 27	0.002 51
5	0.001 05	0.001 17	0.001 29	0.001 43	0.001 58	0.001 75	0.001 94	0.002 15	0.002 38	0.002 63
10	0.001 09	0.001 21	0.001 34	0.001 49	0.001 65	0.001 83	0.002 03	0.002 25	0.002 50	0.002 77
15	0.001 13	0.001 25	0.001 39	0.001 55	0.001 72	0.001 91	0.002 12	0.002 36	0.002 62	0.002 91
20	0.001 17	0.001 30	0.001 45	0.001 61	0.001 79	0.002 00	0.002 22	0.002 47	0.002 75	0.003 06
25	0.001 21	0.001 35	0.001 50	0.001 67	0.001 87	0.002 08	0.002 32	0.002 59	0.002 89	0.003 22
30	0.001 25	0.001 39	0.001 56	0.001 74	0.001 95	0.002 17	0.002 43	0.002 71	0.003 03	0.003 39
35	0.001 29	0.001 45	0.001 62	0.001 81	0.002 03	0.002 27	0.002 54	0.002 84	0.003 18	0.003 56
40	0.001 34	0.001 50	0.001 68	0.001 88	0.002 11	0.002 37	0.002 66	0.002 98	0.003 34	0.003 75
45	0.001 38	0.001 55	0.001 74	0.001 96	0.002 20	0.002 47	0.002 78	0.003 12	0.003 51	0.003 94
50	0.001 43	0.001 61	0.001 81	0.002 04	0.002 29	0.002 58	0.002 91	0.003 27	0.003 68	0.004 15
55	0.001 48	0.001 67	0.001 88	0.002 12	0.002 39	0.002 70	0.003 04	0.003 43	0.003 87	0.004 36
60	0.001 53	0.001 73	0.001 95	0.002 21	0.002 49	0.002 82	0.003 18	0.003 59	0.004 06	0.004 59
65	0.001 58	0.001 79	0.002 03	0.002 29	0.002 60	0.002 94	0.003 33	0.003 77	0.004 26	0.004 82
70	0.001 64	0.001 86	0.002 11	0.002 39	0.002 71	0.003 07	0.003 48	0.003 95	0.004 47	0.005 07
75	0.001 69	0.001 92	0.002 19	0.002 48	0.002 82	0.003 20	0.003 64	0.004 13	0.004 70	—
80	0.001 75	0.001 99	0.002 27	0.002 58	0.002 94	0.003 34	0.003 81	0.004 33	—	—
85	0.001 81	0.002 07	0.002 36	0.002 69	0.003 06	0.003 49	0.003 98	—	—	—
90	0.001 88	0.002 14	0.002 45	0.002 79	0.003 19	0.003 65	—	—	—	—
95	0.001 94	0.002 22	0.002 54	0.002 91	0.003 33	—	—	—	—	—
100	0.002 01	0.002 30	0.002 64	0.003 02	—	—	—	—	—	—
105	0.002 08	0.002 38	0.002 74	0.003 14	—	—	—	—	—	—
110	0.002 15	0.002 47	0.002 84	—	—	—	—	—	—	—
115	0.002 22	0.002 56	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.002 30	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

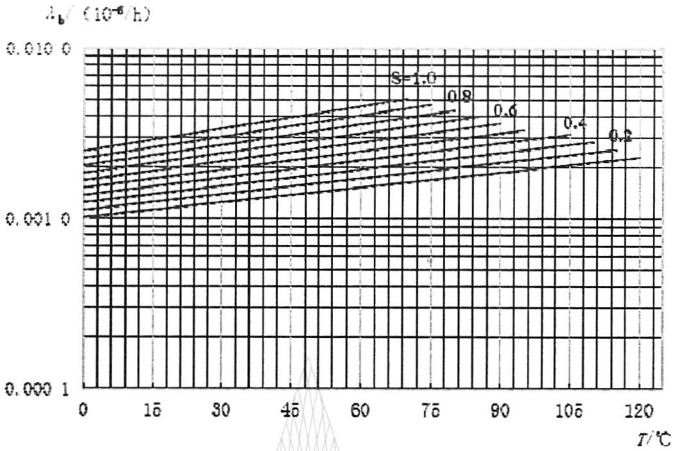

图 20　玻璃釉电阻器(功率 $P \leqslant 2W$)基本失效率曲线

表 135　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	3.0	4.0	6.0	5.6	3.8	2.5	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	5.0	11	2.5	6.1	12.5	0.5	26	15	—

表 136　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

表 137　阻值系数 π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 100k\Omega$	1.0
$100k\Omega < R \leqslant 1M\Omega$	1.6
$1M\Omega < R \leqslant 10M\Omega$	3.0
$R > 10M\Omega$	4.0

5.6.5　线绕电阻器

本条包括：

a)　普通线绕电阻器；

b)　精密线绕电阻器。

工作失效率预计模型见式(38)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_K \quad \cdots\cdots (38)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 138 和图 21；

π_E——环境系数，见表 139；

π_Q——质量系数，见表 140；

π_R——阻值系数，见表 141；

π_K——种类系数，见表 142。

表 138　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	*S*									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.025 7	0.027 2	0.029 3	0.032 0	0.035 4	0.039 6	0.044 6	0.050 8	0.058 4	0.067 6
5	0.026 2	0.027 8	0.030 0	0.032 9	0.036 5	0.040 9	0.046 3	0.052 9	0.061 0	0.070 9
10	0.026 8	0.028 5	0.030 9	0.033 9	0.037 7	0.042 4	0.048 2	0.055 3	0.063 9	0.074 6
15	0.027 6	0.029 4	0.031 9	0.035 1	0.039 1	0.044 1	0.050 3	0.057 9	0.067 3	0.078 8
20	0.028 5	0.030 4	0.033 0	0.036 4	0.040 7	0.046 1	0.052 7	0.060 9	0.071 0	0.083 6
25	0.029 5	0.031 5	0.034 3	0.038 0	0.042 6	0.048 3	0.055 5	0.064 3	0.075 3	0.089 0
30	0.030 7	0.032 8	0.035 9	0.039 8	0.044 7	0.050 9	0.058 7	0.068 3	0.080 3	0.095 3
35	0.032 1	0.034 4	0.037 7	0.041 9	0.047 2	0.054 0	0.062 4	0.072 9	0.086 0	0.102 5
40	0.033 8	0.036 3	0.039 8	0.044 3	0.050 2	0.057 5	0.066 7	0.078 2	0.092 7	0.111 0
45	0.035 8	0.038 5	0.042 3	0.047 3	0.053 6	0.061 7	0.071 8	0.084 5	0.100 6	0.120 9
50	0.038 2	0.041 1	0.045 3	0.050 7	0.057 8	0.066 6	0.077 9	0.092 0	0.109 9	0.132 7
55	0.041 0	0.044 3	0.048 8	0.054 9	0.062 7	0.072 6	0.085 1	0.100 9	0.121 1	0.146 8
60	0.044 5	0.048 1	0.053 2	0.059 9	0.068 6	0.079 7	0.093 8	0.111 7	0.134 6	0.163 9
65	0.048 7	0.052 7	0.058 4	0.066 0	0.075 8	0.088 4	0.104 4	0.124 8	0.151 0	0.184 7
70	0.053 8	0.058 4	0.064 9	0.073 5	0.084 7	0.099 0	0.117 4	0.141 0	0.171 3	0.210 5
75	0.060 2	0.065 4	0.072 9	0.082 8	0.095 7	0.112 3	0.133 6	0.161 1	0.196 6	0.242 6
80	0.068 2	0.074 3	0.082 9	0.094 5	0.109 5	0.129 0	0.154 1	0.186 5	0.228 5	–
85	0.078 4	0.085 5	0.095 7	0.109 3	0.127 1	0.150 2	0.180 1	0.218 9	–	–
90	0.091 4	0.099 9	0.112 1	0.128 4	0.149 8	0.177 6	0.213 8	–	–	–
95	0.108 4	0.118 7	0.133 5	0.153 3	0.179 5	0.213 6	–	–	–	–
100	0.131 0	0.143 7	0.161 9	0.186 5	0.219 0	–	–	–	–	–
105	0.161 4	0.177 3	0.200 4	0.231 5	–	–	–	–	–	–
110	0.203 2	0.223 7	0.253 4	–	–	–	–	–	–	–

注：*T* 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

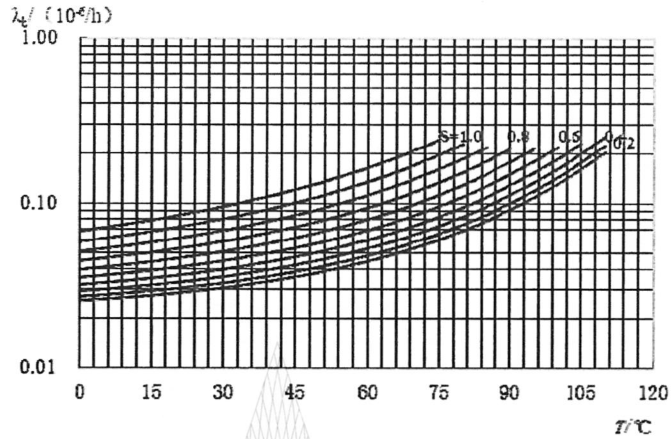

图 21　线绕电阻器基本失效率曲线

表 139　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	2.1	3.5	4.5	8.0	7.5	4.5	3.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	12	6.0	13	5.6	10.5	14.7	1.0	34	15	—

表 140　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

表 141　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
R≤10kΩ	1.0
10kΩ＜R≤100kΩ	1.5
100kΩ＜R≤1MΩ	3.5
1MΩ＜R≤10MΩ	6.0
R＞10MΩ	8.0

表 142　种类系数π_K

种类	π_k
普通线绕	1.0
精密线绕	1.6

5.6.6 功率线绕电阻器

工作失效率预计模型见式(39)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \quad \cdots\cdots (39)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 143 和图 22；

π_E——环境系数，见表 144；

π_Q——质量系数，见表 145；

π_R——阻值系数，见表 146。

表 143 基本失效率 λ_b 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.021 1	0.025 8	0.031 5	0.038 5	0.047 0	0.057 4	0.070 1	0.085 6	0.104 5	0.127 7
10	0.022 5	0.027 7	0.034 1	0.041 9	0.051 6	0.063 4	0.078 1	0.096 1	0.118 2	0.145 4
20	0.024 0	0.029 8	0.036 9	0.045 8	0.056 7	0.070 3	0.087 1	0.108 0	0.133 9	0.165 9
30	0.025 7	0.032 1	0.040 1	0.050 1	0.062 5	0.078 1	0.097 5	0.121 7	0.152 0	0.189 7
40	0.027 6	0.034 7	0.043 7	0.054 9	0.069 1	0.086 9	0.109 3	0.137 4	0.172 9	—
50	0.029 7	0.037 6	0.047 6	0.060 4	0.076 5	0.096 9	0.122 7	0.155 5	0.197 0	—
60	0.032 0	0.040 8	0.052 1	0.066 5	0.084 8	0.108 2	0.138 2	0.176 3	0.225 0	—
70	0.034 5	0.044 4	0.057 0	0.073 3	0.094 3	0.121 2	0.155 8	0.200 3	0.257 5	—
80	0.037 3	0.048 3	0.062 6	0.081 1	0.105 0	0.136 0	0.176 1	0.228 0	—	—
90	0.040 4	0.052 8	0.068 8	0.089 8	0.117 1	0.152 8	0.199 4	0.260 1	—	—
100	0.043 9	0.057 7	0.075 8	0.099 7	0.131 0	0.172 2	0.226 3	0.297 4	—	—
110	0.047 8	0.063 3	0.083 7	0.110 9	0.146 8	0.194 3	0.257 3	—	—	—
120	0.052 1	0.069 5	0.092 7	0.123 6	0.164 8	0.219 8	0.293 1	—	—	—
130	0.056 9	0.076 5	0.102 7	0.138 0	0.185 4	0.249 1	—	—	—	—
140	0.062 3	0.084 3	0.114 2	0.154 5	0.209 1	0.282 9	—	—	—	—
150	0.068 4	0.093 2	0.127 1	0.173 2	0.236 2	0.322 0	—	—	—	—
160	0.075 2	0.103 2	0.141 8	0.194 7	0.267 4	—	—	—	—	—
170	0.082 8	0.114 6	0.158 5	0.219 2	0.303 3	—	—	—	—	—
180	0.091 4	0.127 4	0.177 5	0.247 4	0.344 7	—	—	—	—	—
190	0.101 1	0.141 9	0.199 2	0.279 7	—	—	—	—	—	—
200	0.112 1	0.158 5	0.224 1	0.316 9	—	—	—	—	—	—
210	0.124 4	0.177 3	0.252 5	0.359 8	—	—	—	—	—	—
220	0.138 5	0.198 7	0.285 2	—	—	—	—	—	—	—
230	0.154 4	0.223 3	0.322 7	—	—	—	—	—	—	—
240	0.172 6	0.251 3	—	—	—	—	—	—	—	—
250	0.193 2	0.283 5	—	—	—	—	—	—	—	—
260	0.216 8	0.320 4	—	—	—	—	—	—	—	—
270	0.243 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
280	0.274 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
290	0.310 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

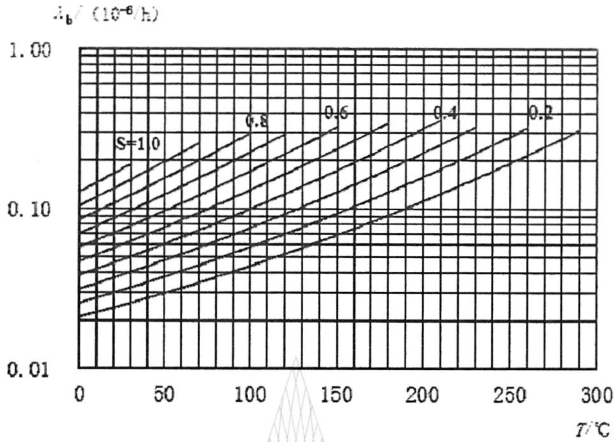

图 22　功率线绕电阻器基本失效率曲线

表 144　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3.0	4.0	6.5	6.8	4.2	2.5	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	5.0	12	2.7	6.0	13.6	1.0	30	15	—

表 145　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		5.0

表 146　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R\leqslant 1\text{k}\Omega$	1.0
$1\text{k}\Omega<R\leqslant 10\text{k}\Omega$	1.4
$10\text{k}\Omega<R\leqslant 150\text{k}\Omega$	2.0
$R>150\text{k}\Omega$	2.3

5.6.7　箔式电阻器

箔式电阻器包括：

a)　普通金属箔电阻器；

b)　精密金属箔电阻器。

工作失效率预计模型见式(40)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_R\pi_K \tag{40}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 147 和图 23；

π_E——环境系数，见表 148；

π_Q——质量系数，见表 149；

π_R——阻值系数，见表 150；

π_K——种类系数，见表 151。

表 147　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.003 27	0.003 46	0.003 73	0.004 08	0.004 51	0.005 04	0.005 68	0.006 47	0.007 43	0.008 60
5	0.003 32	0.003 52	0.003 80	0.004 16	0.004 62	0.005 17	0.005 86	0.006 70	0.007 72	0.008 97
10	0.003 37	0.003 58	0.003 88	0.004 26	0.004 74	0.005 33	0.006 05	0.006 94	0.008 03	0.009 37
15	0.003 44	0.003 66	0.003 97	0.004 37	0.004 87	0.005 50	0.006 27	0.007 22	0.008 38	0.009 82
20	0.003 52	0.003 75	0.004 07	0.004 50	0.005 03	0.005 69	0.006 51	0.007 52	0.008 77	0.010 32
25	0.003 60	0.003 85	0.004 19	0.004 64	0.005 20	0.005 91	0.006 78	0.007 86	0.009 20	0.010 87
30	0.003 71	0.003 97	0.004 33	0.004 80	0.005 40	0.006 15	0.007 08	0.008 25	0.009 69	0.011 50
35	0.003 83	0.004 10	0.004 48	0.004 99	0.005 63	0.006 43	0.007 43	0.008 68	0.010 25	0.012 21
40	0.003 96	0.004 26	0.004 67	0.005 20	0.005 89	0.006 75	0.007 83	0.009 18	0.010 88	0.013 02
45	0.004 13	0.004 44	0.004 88	0.005 45	0.006 18	0.007 11	0.008 28	0.009 75	0.011 60	0.013 94
50	0.004 32	0.004 65	0.005 12	0.005 74	0.006 53	0.007 54	0.008 81	0.010 41	0.012 43	0.015 01
55	0.004 54	0.004 90	0.005 41	0.006 08	0.006 94	0.008 03	0.009 42	0.011 17	0.013 40	0.016 25
60	0.004 80	0.005 19	0.005 74	0.006 47	0.007 41	0.008 61	0.010 13	0.012 07	0.014 54	0.017 70
65	0.005 11	0.005 54	0.006 14	0.006 94	0.007 97	0.009 29	0.010 97	0.013 12	0.015 88	0.019 42
70	0.005 49	0.005 95	0.006 61	0.007 49	0.008 63	0.010 10	0.011 97	0.014 38	0.017 47	0.021 46
75	0.005 93	0.006 45	0.007 18	0.008 16	0.009 43	0.011 07	0.013 17	0.015 88	0.019 38	0.023 91
80	0.006 47	0.007 05	0.007 87	0.008 96	0.010 39	0.012 24	0.014 62	0.017 70	0.021 69	0.026 89
85	0.007 13	0.007 78	0.008 70	0.009 94	0.011 57	0.013 67	0.016 39	0.019 92	0.024 51	0.030 53
90	0.007 94	0.008 68	0.009 73	0.011 15	0.013 01	0.015 43	0.018 57	0.022 66	0.028 01	−
95	0.008 94	0.009 79	0.011 01	0.012 65	0.014 80	0.017 62	0.021 28	0.026 08	−	−
100	0.010 20	0.011 19	0.012 61	0.014 53	0.017 06	0.020 37	0.024 71	−	−	−
105	0.011 80	0.012 96	0.014 64	0.016 92	0.019 93	0.023 89	−	−	−	−
110	0.013 85	0.015 25	0.017 27	0.020 01	0.023 65	−	−	−	−	−
120	0.020 08	0.022 19	0.025 26	0.029 44	−	−	−	−	−	−

注：*T* 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

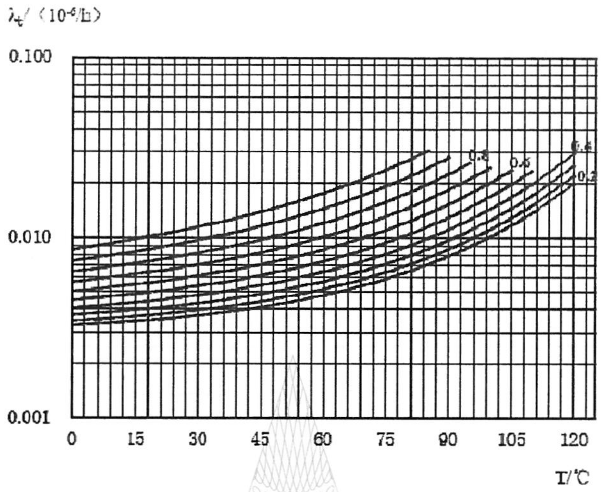

图 23　箔式电阻器基本失效率曲线

表 148　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	3.0	4.0	6.0	5.6	4.2	3.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	12	6.0	13	5.0	8.5	14.0	1.0	30	15	—

表 149　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

表 150　阻值系数 π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 1k\Omega$	1.0
$1k\Omega < R \leqslant 10k\Omega$	1.4
$10k\Omega < R \leqslant 150k\Omega$	2.0
$R > 150k\Omega$	2.5

表 151　种类系数 π_K

种类	普通箔式	精密箔式
π_K	1.0	1.8

5.6.8　功率非线绕电阻器

工作失效率预计模型见式(41)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \tag{41}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 152 和图 24；

π_E——环境系数，见表 153；

π_Q——质量系数，见表 154；

π_R——阻值系数，见表 155。

表 152　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.036 8	0.038 5	0.040 6	0.043 0	0.045 8	0.049 0	0.052 6	0.056 6	0.061 1	0.066 1
5	0.037 1	0.038 8	0.041 0	0.043 5	0.046 4	0.049 7	0.053 4	0.057 5	0.062 2	0.067 4
10	0.037 4	0.039 2	0.041 4	0.044 0	0.047 0	0.050 4	0.054 2	0.058 5	0.063 4	0.068 8
15	0.037 7	0.039 5	0.041 8	0.044 5	0.047 6	0.051 1	0.055 1	0.059 5	0.064 6	0.070 2
20	0.038 0	0.039 9	0.042 2	0.045 0	0.048 2	0.051 8	0.055 9	0.060 6	0.065 8	0.071 7
25	0.038 3	0.040 2	0.042 7	0.045 5	0.048 8	0.052 6	0.056 8	0.061 6	0.067 1	0.073 2
30	0.038 6	0.040 6	0.043 1	0.046 1	0.049 5	0.053 3	0.057 8	0.062 8	0.068 4	0.074 8
35	0.038 9	0.041 0	0.043 6	0.046 6	0.050 1	0.054 1	0.058 7	0.063 9	0.069 8	0.076 4
40	0.039 3	0.041 4	0.044 1	0.047 2	0.050 8	0.055 0	0.059 7	0.065 1	0.071 2	0.078 1
45	0.039 7	0.041 9	0.044 6	0.047 8	0.051 5	0.055 8	0.060 7	0.066 3	0.072 6	—
50	0.040 0	0.042 3	0.045 1	0.048 4	0.052 3	0.056 7	0.061 8	0.067 5	—	—
55	0.040 4	0.042 7	0.045 6	0.049 0	0.053 0	0.057 6	0.062 8	0.068 8	—	—
60	0.040 8	0.043 2	0.046 2	0.049 7	0.053 8	0.058 5	0.064 0	—	—	—
65	0.041 2	0.043 7	0.046 7	0.050 4	0.054 6	0.059 5	0.065 1	—	—	—
70	0.041 7	0.044 2	0.047 3	0.051 1	0.055 4	0.060 5	—	—	—	—
75	0.042 1	0.044 7	0.047 9	0.051 8	0.056 3	—	—	—	—	—
80	0.042 5	0.045 2	0.048 5	0.052 5	0.057 2	—	—	—	—	—
85	0.043 0	0.045 8	0.049 2	0.053 3	—	—	—	—	—	—
90	0.043 5	0.046 3	0.049 9	—	—	—	—	—	—	—
95	0.044 0	0.046 9	0.050 5	—	—	—	—	—	—	—
100	0.044 5	0.047 5	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度。
　　S 为实际功耗与额定功耗的比值。

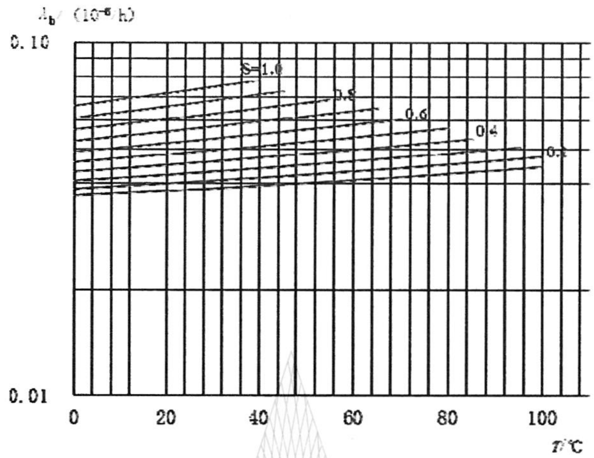

图 24　功率非线绕电阻器基本失效率曲线

表 153　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	3.0	4.0	6.5	6.6	4.0	2.5	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	5.0	12	4.0	9.4	14	1.0	30	15	—

表 154　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.15
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

表 155　阻值系数 π_R

阻值范围	π_R
R≤100Ω	1.0
100Ω＜R≤10kΩ	1.2
10kΩ＜R≤100kΩ	1.7
100kΩ＜R≤1MΩ	2.4
1MΩ＜R≤10MΩ	5.0
R＞10MΩ	7.0

5.6.9　片式膜电阻器

工作失效率预计模型见式(42)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_k \quad \cdots\cdots(42)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；取值为 0.006；

π_E——环境系数，见表 156；
π_Q——质量系数，见表 157；
π_R——阻值系数，见表 158；
π_k——种类系数，见表 159。

表 156 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	2.0	3.2	5.2	6.7	6.1	4.5	2.8	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	6.6	11.5	3.4	6.4	14.3	0.5	29	15	—

表 157 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1P}	0.05
	A_{1M}	0.10
	A_2	0.25
B	B_1	0.60
	B_2	1.0
C		4.0

表 158 阻值系数 π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 100\text{k}\Omega$	1.0
$100\text{k}\Omega < R \leqslant 1\text{M}\Omega$	1.3
$R > 1\text{M}\Omega$	1.8

表 159 种类系数 π_k

种类	π_k
薄膜	1.0
厚膜	1.2

5.6.10 电阻网络

本条所指的电阻网络包括由单个分立元件组成的电阻网络，也包括厚膜和薄膜电阻网络。

工作失效率预计模型见式(43)。

$$\lambda_P = \lambda_b N_R \pi_T \pi_E \pi_Q \quad \cdots\cdots (43)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；
λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 160；
N_R——使用中的电阻数(不包括没有使用的电阻)；
π_T——温度应力系数，见表 161；
π_E——环境系数，见表 162；
π_Q——质量系数，见表 163。

表 160　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

类型	单个分立元件	厚薄膜
λ_b	0.001 8	0.001

表 161　温度应力系数 π_T

T_P ℃	π_T	T_P ℃	π_T	T_P ℃	π_T
25	1.00	60	4.18	95	13.31
30	1.25	65	5.00	100	15.43
35	1.56	70	5.96	105	17.81
40	1.92	75	7.06	110	20.49
45	2.35	80	8.33	115	23.48
50	2.87	85	9.78	120	26.82
55	3.47	90	11.43	125	30.54
注：T_P 为工作温度(壳温)。如果 T_P 未知，则可用 $T_P=T+55 \cdot S$ 估算。T 为工作环境温度，℃；S 为总工作功率与额定功率之比。					

表 162　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	3.0	4.0	6.0	5.6	3.8	2.5	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	5.0	11	2.5	6.1	12.5	1.0	26	15	—

表 163　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1P}	0.05
	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		5.0

5.7　敏感电阻器

本条包括下列类型敏感电阻器：

a)　热敏电阻器；

b)　压敏电阻器；

c)　光敏电阻器。

一般地，敏感电阻器的工作失效率预计模型见式(44)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \quad (44)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 164；

π_E——环境系数，见表 165；

π_Q——质量系数，见表 166；

π_T——温度应力系数，见表 167 和表 168。

表 164　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别	热敏电阻器	压敏电阻器	光敏电阻器
λ_b	0.039	0.035	0.078

表 165　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.5	4.5	6.0	7.8	6.9	5.0	3.2	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	9.6	7.5	12	3.2	4.6	20	1.0	35	15	－

表 166　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 601A－1998、GJB 1782－1993，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 601－1988，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.1
	A_2	符合 GJB 601A－1998、GJB 1782－1993，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 601－1988，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.6
	B_2	符合 GB/T 6663、GB/T 7153、GB/T 10193、GB/T 10194、GB/T 13189、SJ 1156－1977、SJ 1553－1980、SJ 1557－1980、SJ 1559－1980、SJ 2307－1983、SJ 2308－1983、SJ 2309－1983 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 167　热敏电阻器温度应力系数π_T

T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T
25	0.65	65	1.6	100	2.7
30	0.7	70	1.75	105	2.9
35	0.85	75	1.9	110	3.1
40	1.00	80	2.05	115	3.5
45	1.15	85	2.2	120	4.0
55	1.3	90	2.35	125	4.5
60	1.45	95	2.5	－	－
注：T 为工作环境温度。					

表 168　压敏和光敏电阻器温度应力系数π_T

T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T
25	0.6	65	1.60	100	2.70
30	0.65	70	1.75	105	2.90
35	0.8	75	1.90	110	3.10
40	1.00	80	2.05	115	3.50
45	1.15	85	2.20	120	4.00
55	1.30	90	2.35	125	4.50
60	1.45	95	2.50	－	－
注：T 为工作环境温度。					

5.8 电位器

5.8.1 概述

本条对下列电位器的工作失效率进行预计：

a) 线绕电位器：
   1) 普通线绕电位器；
   2) 精密线绕电位器；
   3) 微调线绕电位器。

b) 非线绕电位器：
   1) 有机实芯电位器；
   2) 合成碳膜电位器；
   3) 玻璃釉电位器；
   4) 非线绕精密电位器。

电位器通用工作失效率预计模型见式(45)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_K \pi_C \pi_{TAPS} \cdots\cdots (45)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；

π_E——环境系数；

π_Q——质量系数，其质量等级见表 169；

π_R——阻值系数；

π_K——种类系数；

π_C——结构系数；

π_{TAPS}——引出端系数，见表 170。

表 169　质量等级

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明
A	A_{1S}	符合 GJB 3015—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品 符合 GJB 2149—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B 级产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 3015—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品 符合 GJB 2149—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Q 级产品	—
	A_{1P}	符合 GJB 3015—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 2149—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品	—
	A_{1M}	符合 GJB 3015—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 2149—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品 符合 GJB 265—1987、GJB 917A—2011、GJB 918A—2011、GJB 1523—1992、GJB 1865A—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 917—1990、GJB 918—1990、GJB 1865—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品

表 169(续)

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明
A	A_2	符合 GJB 265—1987、GJB 917A—2011、GJB 918A—2011、GJB 1523—1992、GJB 1865A—2011、GJB 2149—1994、GJB 3015—1997，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 917—1990、GJB 918—1990、GJB 1865—1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品	
	B_2	符合 GB/T 15298 的产品	
C		低档产品	

表 170　引出端系数 π_{TAPS}[a]

N	π_{TAPS}	N	π_{TAPS}
3	1.00	10	2.06
4	1.11	11	2.25
5	1.24	12	2.45
6	1.38	13	2.67
7	1.53	14	2.88
8	1.69	15	3.12
9	1.87	16	3.35

注：N 是电位器引出端数，包括滑动引出端和固定引出端。

[a] π_{TAPS} 按式(46)计算：$\pi_{TAPS}=\dfrac{N^{\frac{3}{2}}}{25}+0.792$ ……(46)

5.8.2　普通线绕电位器

工作失效率预计模型见式(47)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_R\pi_{TAPS} \qquad (47)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 171 和图 25；

π_E——环境系数，见表 172；

π_Q——质量系数，见表 173；

π_R——阻值系数，见表 174；

π_{TAPS}——引出端系数，见表 170。

表 171　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.122 3	0.131 0	0.140 5	0.150 6	0.161 4	0.173 0	0.185 5	0.198 8	0.213 1	0.228 4
5	0.126 1	0.136 0	0.146 6	0.158 1	0.170 4	0.183 8	0.198 1	0.213 6	0.230 4	0.248 4
10	0.130 4	0.141 5	0.153 5	0.166 6	0.180 7	0.196 0	0.212 7	0.230 8	0.250 4	0.271 6
15	0.135 2	0.147 7	0.161 3	0.176 1	0.192 4	0.210 1	0.229 4	0.250 6	0.273 7	0.298 9
20	0.140 5	0.154 6	0.170 0	0.187 0	0.205 7	0.226 2	0.248 8	0.273 6	0.300 9	0.331 0

表 171（续）　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
25	0.146 5	0.162 3	0.179 9	0.199 3	0.220 9	0.244 7	0.271 2	0.300 5	0.333 0	0.369 0
30	0.153 2	0.171 1	0.191 1	0.213 4	0.238 3	0.266 2	0.297 3	0.332 1	0.370 9	0.414 3
35	0.160 6	0.180 9	0.203 8	0.229 5	0.258 5	0.291 1	0.327 9	0.369 3	0.416 0	0.468 5
40	0.169 0	0.192 1	0.218 3	0.248 0	0.281 8	0.320 2	0.363 9	0.413 5	0.469 8	0.533 9
45	0.178 5	0.204 7	0.234 8	0.269 3	0.308 9	0.354 3	0.406 4	0.466 2	0.534 7	0.613 3
50	0.189 2	0.219 1	0.253 8	0.294 0	0.340 6	0.394 6	0.457 1	0.529 5	0.613 3	0.710 5
55	0.201 3	0.235 6	0.275 8	0.322 8	0.377 8	0.442 3	0.517 7	0.605 9	0.709 3	0.830 2
60	0.215 0	0.254 4	0.301 1	0.356 4	0.421 7	0.499 1	0.590 7	0.699 0	0.827 3	0.979 1
65	0.230 6	0.276 1	0.330 6	0.395 8	0.473 9	0.567 3	0.679 2	0.813 2	0.973 6	1.165 6
70	0.248 5	0.301 2	0.365 0	0.442 4	0.536 1	0.649 7	0.787 4	0.954 3	1.156 5	1.401 6
75	0.269 0	0.330 3	0.405 4	0.497 7	0.610 9	0.749 9	0.920 5	1.130 0	1.387 1	1.702 8
80	0.292 7	0.364 1	0.453 1	0.563 7	0.701 3	0.872 6	1.085 7	1.350 8	1.680 7	2.091 1
85	0.320 0	0.403 8	0.509 6	0.643 1	0.811 5	1.024 0	1.292 2	1.630 7	2.057 8	2.596 8
90	0.351 8	0.450 5	0.577 0	0.739 1	0.946 6	1.212 4	1.552 8	1.988 8	2.547 3	—
95	0.388 8	0.505 8	0.658 0	0.856 0	1.113 6	1.448 7	1.884 6	2.451 6	—	—
100	0.432 3	0.571 7	0.755 9	0.999 5	1.321 7	1.747 6	—	—	—	—
105	0.483 6	0.650 5	0.875 0	1.176 9	1.583 0	—	—	—	—	—
110	0.544 4	0.745 5	1.020 8	1.397 9	—	—	—	—	—	—
115	0.616 9	0.860 7	1.200 9	—	—	—	—	—	—	—
120	0.703 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

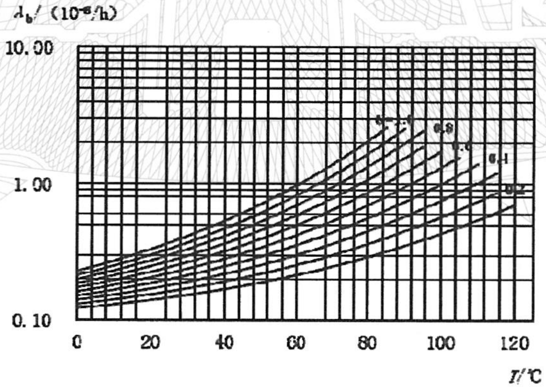

图 25　普通线绕电位器基本失效率曲线

表 172　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	3.0	5.3	10.6	8.0	4.2	3.0	4.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	9.4	9.3	13.3	4.4	8.0	16.4	1.0	—	—	—

表 173　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.13
	A_2	0.2
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

表 174　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 2k\Omega$	1.0
$2k\Omega < R \leqslant 10k\Omega$	1.5
$10k\Omega < R \leqslant 20k\Omega$	2.0
$R > 20k\Omega$	2.5

5.8.3　精密线绕电位器

工作失效率预计模型见式(48)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_{TAPS} \quad (48)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 175 和图 26；

π_E——环境系数，见表 176；

π_Q——质量系数，见表 177；

π_R——阻值系数，见表 178；

π_{TAPS}——引出端系数，见表 170。

表 175　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.204 6	0.212 2	0.220 1	0.228 2	0.236 7	0.245 5	0.254 6	0.264 1	0.273 9	0.284 1
5	0.213 1	0.221 5	0.230 3	0.239 4	0.248 9	0.258 8	0.269 1	0.279 7	0.290 8	0.302 4
10	0.222 5	0.231 9	0.241 7	0.251 9	0.262 6	0.273 7	0.285 2	0.297 3	0.309 8	0.322 9
15	0.232 9	0.243 4	0.254 4	0.265 8	0.277 8	0.290 3	0.303 4	0.317 0	0.331 3	0.346 2
20	0.244 6	0.256 3	0.268 5	0.281 4	0.294 9	0.309 0	0.323 8	0.339 3	0.355 5	0.372 6
25	0.257 5	0.270 6	0.284 4	0.298 9	0.314 1	0.330 1	0.346 8	0.364 5	0.383 0	0.402 5
30	0.272 0	0.286 7	0.302 2	0.318 5	0.335 7	0.353 8	0.372 9	0.393 1	0.414 3	0.436 7
35	0.288 2	0.304 7	0.322 1	0.340 6	0.360 1	0.380 8	0.402 6	0.425 7	0.450 1	0.475 9
40	0.306 3	0.324 9	0.344 6	0.365 6	0.387 8	0.411 4	0.436 3	0.462 8	0.491 0	0.520 8
45	0.326 7	0.347 7	0.370 1	0.393 9	0.419 2	0.446 2	0.474 9	0.505 5	0.538 0	0.572 6
50	0.349 7	0.373 5	0.398 9	0.426 1	0.455 1	0.486 1	0.519 2	0.554 5	0.592 3	0.632 6
55	0.375 7	0.402 7	0.431 7	0.462 8	0.496 1	0.531 8	0.570 1	0.611 1	0.655 1	—

表 175(续) 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
60	0.405 2	0.436 0	0.469 1	0.504 8	0.543 2	0.584 5	0.629 0	0.676 8	—	—
65	0.438 7	0.473 9	0.512 0	0.553 1	0.597 5	0.645 5	0.697 3	—	—	—
70	0.476 9	0.517 3	0.561 2	0.608 7	0.660 3	0.716 2	—	—	—	—
75	0.520 7	0.567 2	0.617 9	0.673 1	0.733 2	—	—	—	—	—
80	0.571 0	0.624 8	0.683 6	0.747 9	—	—	—	—	—	—
85	0.629 1	0.691 4	0.760 0	—	—	—	—	—	—	—
90	0.696 3	0.768 9	—	—	—	—	—	—	—	—
95	0.774 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注:T 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

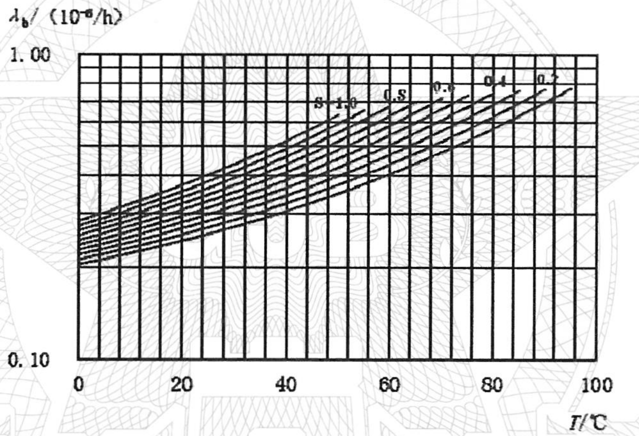

图 26 精密线绕电位器基本失效率曲线

表 176 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	3.0	4.0	7.3	6.0	4.8	3.0	5.6
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11.2	9.3	13.3	5.9	9.6	26	1.0	53	20	—

表 177 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.5
	B_2	1.0
C		4.0

表 178　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 20k\Omega$	1.0
$20k\Omega < R \leqslant 50k\Omega$	1.5
$50k\Omega < R \leqslant 100k\Omega$	2.0
$100k\Omega < R \leqslant 200k\Omega$	2.5
$200k\Omega < R \leqslant 500k\Omega$	3.5
$R > 500k\Omega$	4.2

5.8.4　微调线绕电位器

工作失效率预计模型见式(49)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_{TAPS} \tag{49}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 179 和图 27；

π_E——环境系数，见表 180；

π_Q——质量系数，见表 181；

π_R——阻值系数，见表 182；

π_{TAPS}——引出端系数，见表 170。

表 179　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.150 6	0.166 4	0.184 0	0.203 3	0.224 7	0.248 3	0.274 4	0.303 3	0.335 2	0.370 4
5	0.154 6	0.171 2	0.189 6	0.209 9	0.232 4	0.257 3	0.284 9	0.315 4	0.349 2	0.386 6
10	0.159 0	0.176 4	0.195 7	0.217 1	0.240 8	0.267 1	0.296 2	0.328 6	0.364 5	0.404 3
15	0.163 9	0.182 1	0.202 4	0.224 9	0.249 9	0.277 7	0.308 7	0.343 0	0.381 2	0.423 6
20	0.169 2	0.188 4	0.209 8	0.233 5	0.260 0	0.289 5	0.322 2	0.358 8	0.399 4	0.444 7
25	0.175 1	0.195 3	0.217 9	0.243 0	0.271 0	0.302 3	0.337 2	0.376 0	0.419 4	0.467 8
30	0.181 7	0.203 0	0.226 8	0.253 4	0.283 2	0.316 4	0.353 6	0.395 1	0.441 4	0.493 2
35	0.188 9	0.211 4	0.236 7	0.264 9	0.296 6	0.332 0	0.371 6	0.416 0	0.465 7	0.521 3
40	0.196 8	0.220 7	0.247 6	0.277 6	0.311 4	0.349 2	0.391 6	0.439 2	0.492 5	0.552 4
45	0.205 7	0.231 1	0.259 6	0.291 7	0.327 7	0.368 2	0.413 7	0.464 8	0.522 3	0.586 8
50	0.215 5	0.242 6	0.273 0	0.307 3	0.345 9	0.389 4	0.438 3	0.493 3	0.555 3	0.625 0
55	0.226 5	0.255 4	0.288 0	0.324 7	0.366 2	0.412 9	0.465 6	0.525 1	0.592 1	0.667 7
60	0.238 7	0.269 6	0.304 6	0.344 1	0.388 8	0.439 2	0.496 2	0.560 6	0.633 3	0.715 4
65	0.252 3	0.285 6	0.323 3	0.365 9	0.414 1	0.468 6	0.530 4	0.600 3	0.679 5	0.769 0
70	0.267 7	0.303 5	0.344 1	0.390 2	0.442 5	0.501 7	0.568 9	0.645 0	0.731 4	0.829 3
75	0.284 9	0.323 7	0.367 7	0.417 6	0.474 4	0.538 9	0.612 2	0.695 4	0.790 0	0.897 4
80	0.304 4	0.346 4	0.394 2	0.448 6	0.510 5	0.581 0	0.661 2	0.752 5	0.856 3	0.974 5
85	0.326 3	0.372 1	0.424 2	0.483 6	0.551 4	0.628 7	0.716 8	0.817 2	0.931 7	1.062 3

表 179(续)

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
90	0.351 3	0.401 2	0.458 3	0.523 5	0.597 9	0.683 0	0.780 1	0.891 0	1.017 7	—
95	0.379 7	0.434 5	0.497 2	0.568 9	0.651 0	0.744 9	0.852 4	0.975 4	—	—
100	0.412 1	0.472 4	0.541 6	0.620 9	0.711 8	0.816 0	—	—	—	—
105	0.449 3	0.516 0	0.592 6	0.680 6	0.781 7	—	—	—	—	—
110	0.492 0	0.566 1	0.651 4	0.749 5	—	—	—	—	—	—
115	0.541 5	0.624 2	0.719 5	—	—	—	—	—	—	—
120	0.598 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：T 为工作环境温度。 S 为实际功耗与额定功耗的比值。										

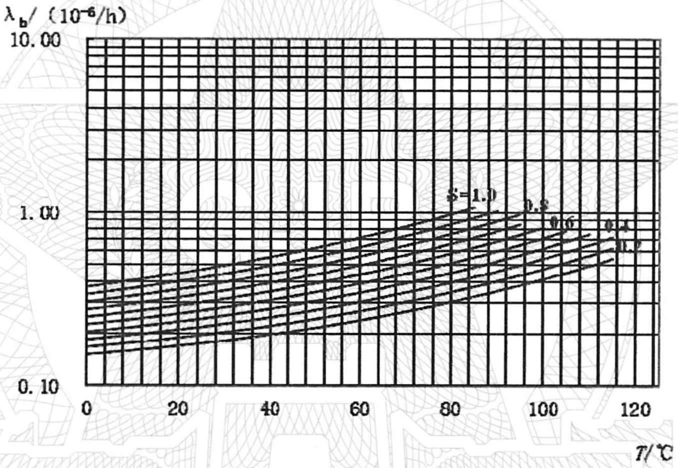

图 27　微调线绕电位器基本失效率曲线

表 180　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.8	3.0	4.0	6.5	5.5	3.5	2.5	3.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	7.6	6.7	13.3	4.3	7.8	16.4	1.0	34	15	—

表 181　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.15
	A_2	0.20
B	B_1	0.50
	B_2	1.0
C		4.0

表 182　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 2\mathrm{k}\Omega$	1.0
$2\mathrm{k}\Omega < R \leqslant 10\mathrm{k}\Omega$	1.5
$10\mathrm{k}\Omega < R \leqslant 20\mathrm{k}\Omega$	2.0
$R > 20\mathrm{k}\Omega$	2.5

5.8.5　有机实芯电位器

工作失效率预计模型见式(50)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_K \pi_C \pi_{TAPS} \qquad (50)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 183 和图 28；

π_E——环境系数，见表 184；

π_Q——质量系数，见表 185；

π_R——阻值系数，见表 186；

π_K——种类系数，见表 187；

π_C——结构系数，见表 188；

π_{TAPS}——引出端系数，见表 170。

表 183　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.039 5	0.041 2	0.043 0	0.044 9	0.046 9	0.049 0	0.051 1	0.053 4	0.055 8	0.058 2
5	0.041 0	0.043 0	0.045 1	0.047 3	0.049 7	0.052 1	0.054 7	0.057 3	0.060 1	0.063 1
10	0.042 8	0.045 1	0.047 6	0.050 2	0.052 9	0.055 8	0.058 8	0.062 0	0.065 4	0.068 9
15	0.044 9	0.047 6	0.050 5	0.053 5	0.056 7	0.060 1	0.063 8	0.067 6	0.071 7	0.076 0
20	0.047 3	0.050 5	0.053 8	0.057 4	0.061 3	0.065 4	0.069 7	0.074 4	0.079 3	0.084 6
25	0.050 2	0.053 9	0.057 9	0.062 1	0.066 7	0.071 6	0.076 9	0.082 6	0.088 7	0.095 2
30	0.053 6	0.057 9	0.062 7	0.067 8	0.073 3	0.079 2	0.085 7	0.092 7	0.100 2	0.108 4
35	0.057 6	0.062 8	0.068 4	0.074 6	0.081 2	0.088 5	0.096 5	0.105 1	0.114 6	0.124 9
40	0.062 4	0.068 6	0.075 4	0.082 8	0.091 0	0.100 0	0.109 9	0.120 8	0.132 7	0.145 8
45	0.068 2	0.075 7	0.083 9	0.093 0	0.103 1	0.114 3	0.126 7	0.140 5	0.155 8	0.172 7
50	0.075 3	0.084 3	0.094 3	0.105 6	0.118 2	0.132 3	0.148 1	0.165 8	0.185 6	0.207 8
55	0.083 9	0.094 9	0.107 3	0.121 4	0.137 3	0.155 3	0.175 6	0.198 7	0.224 7	0.254 1
60	0.094 5	0.108 1	0.123 6	0.141 4	0.161 7	0.185 0	0.211 5	0.241 9	0.276 7	0.316 5
65	0.107 7	0.124 7	0.144 3	0.167 1	0.193 4	0.223 8	0.259 1	0.299 9	0.347 1	0.401 8
70	0.124 4	0.145 9	0.171 0	0.200 5	0.235 0	0.275 6	0.323 1	0.378 8	0.444 1	0.520 6
75	0.145 7	0.173 1	0.205 8	0.244 6	0.290 8	0.345 6	0.410 8	0.488 2	0.580 3	—
80	0.173 1	0.208 9	0.251 9	0.303 9	0.366 5	0.442 1	0.533 2	0.643 2	—	—
85	0.209 2	0.256 3	0.314 0	0.384 8	0.471 5	0.577 7	0.707 8	—	—	—
90	0.257 2	0.320 4	0.399 2	0.497 5	0.619 8	0.772 3	—	—	—	—

表 183(续)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
95	0.322 1	0.408 6	0.518 4	0.657 6	0.834 1	—	—	—	—	—
100	0.411 8	0.532 5	0.688 5	0.890 2	1.151 0	—	—	—	—	—
105	0.538 1	0.710 0	0.936 9	1.236 3	—	—	—	—	—	—
110	0.719 7	0.970 5	1.308 6	—	—	—	—	—	—	—
115	0.987 1	1.362 1	—	—	—	—	—	—	—	—
120	1.390 9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：T 为工作环境温度。 S 为实际功耗与额定功耗的比值。										

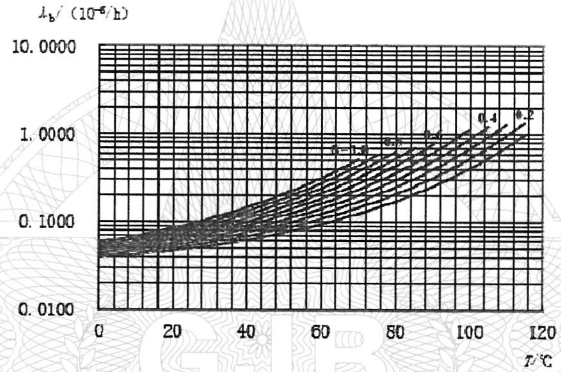

图 28　有机实芯电位器基本失效率曲线

表 184　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3.0	5.6	11.3	8.5	4.5	2.5	5.3
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10.6	11	14.7	7.5	9.0	18	1.0	47.3	20	—

表 185　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.5
	B_2	1.0
C		4.0

表 186　阻值系数 π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 50\text{k}\Omega$	1.0
$50\text{k}\Omega < R \leqslant 200\text{k}\Omega$	1.2
$200\text{k}\Omega < R \leqslant 500\text{k}\Omega$	1.5
$500\text{k}\Omega < R \leqslant 1\text{M}\Omega$	2.0
$R > 1\text{M}\Omega$	2.3

表 187 种类系数π_K

种类	π_K
微调	0.44
低功率	1.0
开关	2.0

表 188 结构系数π_C

结构类型	π_C
密封	0.5
非密封	1.0

5.8.6 合成碳膜电位器

工作失效率预计模型见式(51)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_K \pi_C \pi_{TAPS} \qquad (51)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 189 和图 29；

π_E——环境系数，见表 190；

π_Q——质量系数，见表 191；

π_R——阻值系数，见表 192；

π_K——种类系数，见表 193；

π_C——结构系数，见表 194；

π_{TAPS}——引出端系数，见表 170。

表 189 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.065 2	0.070 3	0.075 9	0.081 9	0.088 4	0.095 5	0.103 0	0.111 2	0.120 0	0.129 5
5	0.067 1	0.073 1	0.079 6	0.086 8	0.094 5	0.103 0	0.112 2	0.122 2	0.133 2	0.145 1
10	0.069 3	0.076 3	0.084 0	0.092 5	0.101 8	0.112 0	0.123 3	0.135 7	0.149 4	0.164 5
15	0.071 9	0.080 0	0.089 1	0.099 2	0.110 4	0.123 0	0.136 9	0.152 4	0.169 7	0.188 9
20	0.074 9	0.084 4	0.095 1	0.107 2	0.120 9	0.136 3	0.153 6	0.173 1	0.195 2	0.220 0
25	0.078 3	0.089 5	0.102 3	0.116 9	0.133 5	0.152 6	0.174 4	0.199 3	0.227 7	0.260 2
30	0.082 3	0.095 5	0.110 8	0.128 5	0.149 0	0.172 9	0.200 5	0.232 6	0.269 7	0.312 9
35	0.087 1	0.102 6	0.121 0	0.142 6	0.168 2	0.198 2	0.233 7	0.275 5	0.324 8	0.383 0
40	0.092 6	0.111 1	0.133 3	0.160 0	0.192 0	0.230 4	0.276 5	0.331 8	0.398 2	0.477 9
45	0.099 1	0.121 2	0.148 3	0.181 5	0.222 0	0.271 7	0.332 4	0.406 7	0.497 7	0.608 9
50	0.106 8	0.133 4	0.166 7	0.208 4	0.260 4	0.325 4	0.406 6	0.508 1	0.634 9	0.793 4
55	0.116 0	0.148 3	0.189 6	0.242 4	0.309 9	0.396 2	0.506 6	0.647 7	0.828 2	1.058 9
60	0.127 0	0.166 4	0.218 2	0.286 0	0.374 8	0.491 3	0.644 0	0.844 1	—	—
65	0.140 3	0.188 9	0.254 4	0.342 6	0.461 3	0.621 1	0.836 4	—	—	—
70	0.156 5	0.217 0	0.300 9	0.417 1	0.578 3	—	—	—	—	—
75	0.176 5	0.252 5	0.361 3	—	—	—	—	—	—	—
80	0.201 2	0.297 9	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T 为工作环境温度。
S 为实际功耗与额定功耗的比值。

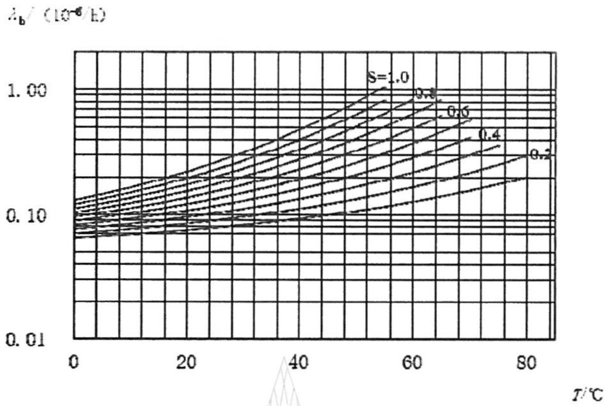

图 29　合成碳膜电位器基本失效率曲线

表 190　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3.0	5.6	11.3	8.5	5.5	3.0	6.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	13.4	12.4	16.5	8.5	10.2	20	1.0	—	—	—

表 191　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
A	A_2	0.2
B	B_1	0.5
	B_2	1.0
C		6.0

表 192　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 50\text{k}\Omega$	1.0
$50\text{k}\Omega < R \leqslant 200\text{k}\Omega$	1.2
$200\text{k}\Omega < R \leqslant 500\text{k}\Omega$	1.5
$500\text{k}\Omega < R \leqslant 1\text{M}\Omega$	2.0
$R > 1\text{M}\Omega$	2.3

表 193　种类系数π_K

种类	π_K
微调	0.7
低功率	1.0
开关	2.0

表 194　结构系数π_C

结构类型	π_C
密封	0.5
敞露	1.0

5.8.7　玻璃釉电位器

工作失效率预计模型见式(52)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_K \pi_{TAPS} \cdots\cdots (52)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表195和图30；

π_E——环境系数，见表196；

π_Q——质量系数，见表197；

π_R——阻值系数，见表198；

π_K——种类系数，见表199；

π_{TAPS}——引出端系数，见表170。

表195　基本失效率λ_b　　单位为10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.038 3	0.039 7	0.041 2	0.042 8	0.044 4	0.046 1	0.047 8	0.049 6	0.051 5	0.053 5
5	0.038 8	0.040 3	0.041 9	0.043 6	0.045 3	0.047 1	0.049 0	0.050 9	0.052 9	0.055 0
10	0.039 4	0.041 0	0.042 7	0.044 5	0.046 3	0.048 3	0.050 3	0.052 3	0.054 5	0.056 8
15	0.040 0	0.041 8	0.043 6	0.045 5	0.047 4	0.049 5	0.051 6	0.053 9	0.056 2	0.058 7
20	0.040 8	0.042 6	0.044 6	0.046 6	0.048 7	0.050 9	0.053 2	0.055 6	0.058 1	0.060 7
25	0.041 6	0.043 6	0.045 7	0.047 8	0.050 1	0.052 4	0.054 9	0.057 5	0.060 2	0.063 1
30	0.042 6	0.044 7	0.046 9	0.049 2	0.051 6	0.054 1	0.056 8	0.059 6	0.062 5	0.065 6
35	0.043 7	0.045 9	0.048 2	0.050 7	0.053 3	0.056 1	0.058 9	0.062 0	0.065 1	0.068 5
40	0.044 9	0.047 3	0.049 8	0.052 4	0.055 2	0.058 2	0.061 3	0.064 6	0.068 0	0.071 7
45	0.046 2	0.048 8	0.051 5	0.054 4	0.057 4	0.060 6	0.064 0	0.067 5	0.071 3	0.075 2
50	0.047 8	0.050 5	0.053 5	0.056 6	0.059 8	0.063 3	0.067 0	0.070 8	0.074 9	0.079 3
55	0.049 5	0.052 5	0.055 7	0.059 0	0.062 6	0.066 3	0.070 3	0.074 6	0.079 0	0.083 8
60	0.051 6	0.054 8	0.058 2	0.061 8	0.065 7	0.069 8	0.074 2	0.078 8	0.083 7	0.088 9
65	0.053 8	0.057 3	0.061 1	0.065 0	0.069 2	0.073 7	0.078 5	0.083 6	0.089 0	0.094 8
70	0.056 5	0.060 3	0.064 3	0.068 7	0.073 3	0.078 2	0.083 5	0.089 1	0.095 1	0.101 5
75	0.059 5	0.063 6	0.068 1	0.072 8	0.077 9	0.083 4	0.089 2	0.095 4	0.102 1	—
80	0.062 9	0.067 5	0.072 4	0.077 6	0.083 3	0.089 3	0.095 8	0.102 7	—	—
85	0.067 0	0.072 0	0.077 4	0.083 2	0.089 5	0.096 2	0.103 4	—	—	—
90	0.071 6	0.077 2	0.083 2	0.089 7	0.096 6	0.104 2	—	—	—	—
95	0.077 1	0.083 3	0.090 0	0.097 2	0.105 1	—	—	—	—	—
100	0.083 4	0.090 4	0.097 9	0.106 1	0.115 0	—	—	—	—	—
105	0.091 0	0.098 8	0.107 4	0.116 6	—	—	—	—	—	—
110	0.099 9	0.108 8	0.118 6	—	—	—	—	—	—	—
115	0.110 6	0.120 8	—	—	—	—	—	—	—	—
120	0.123 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T为工作环境温度。
S为实际功耗与额定功耗的比值。

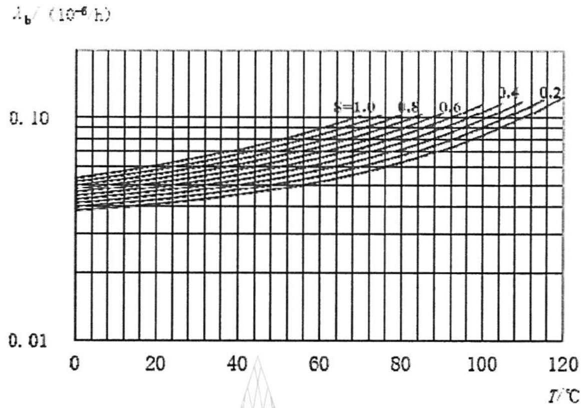

图 30 玻璃釉电位器基本失效率曲线

表 196 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	3.5	3.6	7.3	6.0	3.5	2.0	3.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	7.6	6.7	16.7	3.4	11	19	1.0	40.7	20	—

表 197 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.5
	B_2	1.0
C		4.0

表 198 阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R \leqslant 50k\Omega$	1.0
$50k\Omega < R \leqslant 200k\Omega$	1.2
$200k\Omega < R \leqslant 500k\Omega$	1.5
$500k\Omega < R \leqslant 1M\Omega$	2.0
$R > 1M\Omega$	2.3

表 199 种类系数π_K

种类	π_K
微调	0.44
普通型	1.0

5.8.8 非线绕精密电位器

非线绕精密电位器主要指导电塑料电位器，工作失效率预计模型见式(53)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \pi_{TAPS} \quad \cdots\cdots (53)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表200和图31；

π_E——环境系数，见表201；

π_Q——质量系数，见表202；

π_R——阻值系数，见表203；

π_{TAPS}——引出端系数，见表170。

表200 基本失效率λ_b

单位为10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.092 3	0.102 0	0.112 7	0.124 5	0.137 6	0.152 1	0.168 1	0.185 8	0.205 3	0.226 9
5	0.094 7	0.104 9	0.116 1	0.128 6	0.142 3	0.157 6	0.174 5	0.193 2	0.213 9	0.236 8
10	0.097 4	0.108 1	0.119 9	0.133 0	0.147 5	0.163 6	0.181 5	0.201 3	0.223 3	0.247 6
15	0.100 4	0.111 6	0.124 0	0.137 8	0.153 1	0.170 1	0.189 1	0.210 1	0.233 5	0.259 4
20	0.103 7	0.115 4	0.128 5	0.143 0	0.159 3	0.177 3	0.197 4	0.219 7	0.244 6	0.272 4
25	0.107 3	0.119 7	0.133 5	0.148 8	0.166 0	0.185 2	0.206 5	0.230 3	0.256 9	0.286 5
30	0.111 3	0.124 3	0.138 9	0.155 2	0.173 5	0.193 8	0.216 6	0.242 0	0.270 4	0.302 1
35	0.115 7	0.129 5	0.145 0	0.162 3	0.181 7	0.203 4	0.227 6	0.254 8	0.285 3	0.319 3
40	0.120 6	0.135 2	0.151 6	0.170 1	0.190 7	0.213 9	0.239 9	0.269 0	0.301 7	0.338 3
45	0.126 0	0.141 5	0.159 0	0.178 7	0.200 8	0.225 6	0.253 4	0.284 7	0.319 9	0.359 4
50	0.132 0	0.148 6	0.167 2	0.188 3	0.211 9	0.238 5	0.268 5	0.302 2	0.340 1	0.382 9
55	0.138 7	0.156 4	0.176 4	0.198 9	0.224 3	0.252 9	0.285 2	0.321 6	0.362 7	0.409 0
60	0.146 2	0.165 2	0.186 6	0.210 8	0.238 1	0.269 0	0.303 9	0.343 4	0.387 9	0.438 2
65	0.154 6	0.174 9	0.198 0	0.224 1	0.253 6	0.287 1	0.324 9	0.367 7	0.416 2	0.471 0
70	0.164 0	0.185 9	0.210 8	0.239 0	0.271 0	0.307 3	0.348 4	0.395 1	0.448 0	0.508 0
75	0.174 5	0.198 3	0.225 2	0.255 8	0.290 6	0.330 1	0.375 0	0.426 0	0.483 9	0.549 7
80	0.186 4	0.212 2	0.241 5	0.274 8	0.312 7	0.355 9	0.405 0	0.460 9	0.524 5	0.596 9
85	0.199 9	0.227 9	0.259 8	0.296 3	0.337 8	0.385 1	0.439 1	0.500 6	0.570 7	0.650 7
90	0.215 2	0.245 8	0.280 7	0.320 6	0.366 2	0.418 3	0.477 8	0.545 8	0.623 4	—
95	0.232 6	0.266 1	0.304 5	0.348 5	0.398 8	0.456 3	0.522 1	0.597 5	—	—
100	0.252 4	0.289 4	0.331 7	0.380 3	0.436 0	0.499 8	—	—	—	—
105	0.275 2	0.316 1	0.363 0	0.416 9	0.478 8	—	—	—	—	—
110	0.301 4	0.346 8	0.399 0	0.459 1	—	—	—	—	—	—
115	0.331 7	0.382 3	0.440 7	—	—	—	—	—	—	—
120	0.366 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：T为工作环境温度。
S为实际功耗与额定功耗的比值。

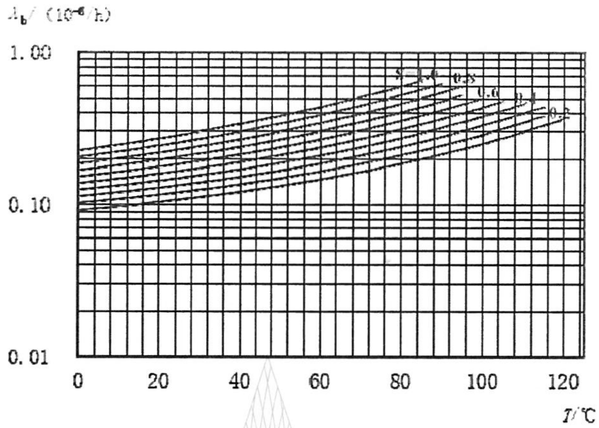

图 31　非线绕精密电位器基本失效率曲线

表 201　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1	1.2	2	3	4	7.3	6	4.8	3	5.6
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11.2	9.3	13.3	5.9	9.6	26	1	—	—	—

表 202　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
A	A_{1M}	0.1
	A_2	0.2
B	B_1	0.5
	B_2	1.0
C		4.0

表 203　阻值系数π_R

阻值范围	π_R
$R\leqslant 2k\Omega$	1.0
$2k\Omega<R\leqslant 20k\Omega$	1.5
$R>20k\Omega$	2.0

5.9　电容器

5.9.1　概述

本条包括下列类型电容器：

a）　纸和薄膜电容器；

b）　云母电容器；

c）　1 类瓷介电容器；

d）　2 类瓷介电容器；

e) 铝电解电容器；

f) 固体钽电解电容器；

g) 非固体钽电解电容器；

h) 氧化铌电解电容器；

i) 可变电容器；

j) 电容网络。

一般电容器工作失效率预计模型见式(54)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{SR} \pi_K \pi_{ch} \qquad (54)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；

π_E——环境系数；

π_Q——质量系数；

π_{CV}——电容量系数；

π_{SR}——串联电阻系数；

π_K——种类系数；

π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 204 表面贴装系数π_{ch}

电容器种类	π_{ch}	
	片式	有引线(包含有引线 SMT，通孔式)
薄膜电容器	1.2	1.0
云母电容器	1.3	1.0
1 类瓷介电容器	1.3	1.0
2 类瓷介电容器	1.3	1.0
铝电解电容器	1.2	1.0
固体钽电解电容器	1.2	1.0
氧化铌电解电容器	1.2	1.0

5.9.2 纸和薄膜电容器

纸和薄膜电容器主要包括：纸介电容器、薄膜电容器以及纸-膜复合介质电容器等。

工作失效率预计模型见式(55)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_K \pi_{ch} \qquad (55)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 205～表 207 和图 32～图 34；

π_E——环境系数，见表 208；

π_Q——质量系数，见表 209；

π_{CV}——电容量系数，见表 210；

π_K ——种类系数，见表 211；

π_{ch} ——表面贴装系数，见表 204。

表 205　基本失效率λ_b(额定温度为 65℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.001 47	0.001 52	0.001 82	0.002 94	0.005 96	0.012 64	0.025 61	0.048 53	0.086 27	0.145 09
5	0.001 50	0.001 55	0.001 86	0.003 00	0.006 08	0.012 90	0.026 14	0.049 54	0.088 08	0.148 12
10	0.001 55	0.001 59	0.001 91	0.003 09	0.006 26	0.013 27	0.026 89	0.050 95	0.090 58	0.152 33
15	0.001 61	0.001 65	0.001 98	0.003 21	0.006 50	0.013 78	0.027 92	0.052 92	0.094 08	0.158 21
20	0.001 69	0.001 74	0.002 09	0.003 37	0.006 84	0.014 50	0.029 38	0.055 68	0.098 99	0.166 47
25	0.001 81	0.001 86	0.002 23	0.003 61	0.007 32	0.015 52	0.031 45	0.059 60	0.105 96	0.178 19
30	0.001 98	0.002 04	0.002 45	0.003 95	0.008 01	0.016 99	0.034 43	0.065 25	0.115 99	0.195 06
35	0.002 23	0.002 30	0.002 76	0.004 46	0.009 03	0.019 15	0.038 81	0.073 54	0.130 74	0.219 86
40	0.002 61	0.002 69	0.003 23	0.005 22	0.010 57	0.022 42	0.045 44	0.086 11	0.153 08	0.257 44
45	0.003 21	0.003 31	0.003 97	0.006 42	0.013 00	0.027 58	0.055 89	0.105 91	0.188 28	0.316 63
50	0.004 21	0.004 34	0.005 20	0.008 41	0.017 04	0.036 14	0.073 24	0.138 79	0.246 74	0.414 93
55	0.005 98	0.006 17	0.007 40	0.011 96	0.024 22	0.051 38	0.104 11	0.197 30	0.350 74	0.589 84
60	0.009 44	0.009 73	0.011 67	0.018 86	0.038 21	0.081 04	0.164 21	0.311 21	0.553 24	0.930 38
65	0.017 00	0.017 51	0.021 01	0.033 96	0.068 81	0.145 94	0.295 72	0.560 42	0.996 27	1.675 42

注：T 为工作环境温度。
S 为实际工作电压与额定电压的比值。

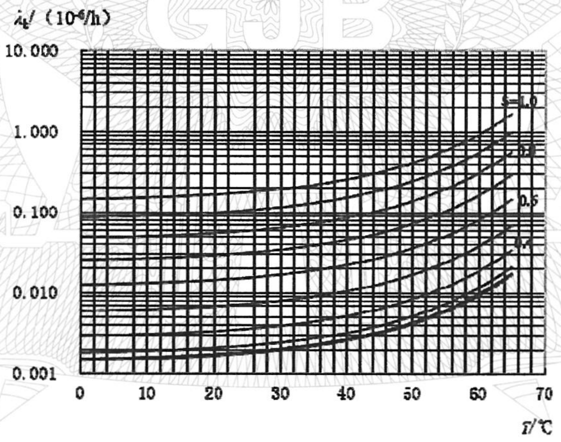

图 32　纸和薄膜电容器基本失效率曲线(额定温度为 65℃)

表 206　基本失效率λ_b(额定温度为 85℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.001 42	0.001 47	0.001 76	0.002 84	0.005 76	0.012 21	0.024 74	0.046 88	0.083 35	0.140 17
5	0.001 43	0.001 48	0.001 77	0.002 86	0.005 80	0.012 30	0.024 92	0.047 23	0.083 96	0.141 20
10	0.001 45	0.001 49	0.001 79	0.002 89	0.005 86	0.012 42	0.025 17	0.047 70	0.084 80	0.142 61
15	0.001 47	0.001 51	0.001 81	0.002 93	0.005 94	0.012 59	0.025 51	0.048 35	0.085 95	0.144 55
20	0.001 49	0.001 54	0.001 85	0.002 98	0.006 04	0.012 82	0.025 98	0.049 23	0.087 52	0.147 18
25	0.001 53	0.001 58	0.001 89	0.003 06	0.006 19	0.013 13	0.026 61	0.050 44	0.089 66	0.150 78
30	0.001 58	0.001 63	0.001 95	0.003 16	0.006 39	0.013 56	0.027 48	0.052 08	0.092 59	0.155 71
35	0.001 65	0.001 70	0.002 04	0.003 29	0.006 67	0.014 15	0.028 68	0.054 35	0.096 61	0.162 48

表 206(续)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
40	0.001 74	0.001 80	0.002 16	0.003 48	0.007 06	0.014 97	0.030 33	0.057 48	0.102 18	0.171 84
45	0.001 88	0.001 93	0.002 32	0.003 75	0.007 60	0.016 11	0.032 65	0.061 87	0.109 98	0.184 96
50	0.002 07	0.002 13	0.002 55	0.004 13	0.008 36	0.017 74	0.035 94	0.068 10	0.121 07	0.203 61
55	0.002 34	0.002 41	0.002 89	0.004 68	0.009 48	0.020 10	0.040 72	0.077 17	0.137 19	0.230 71
60	0.002 75	0.002 84	0.003 40	0.005 50	0.011 14	0.023 63	0.047 88	0.090 74	0.161 30	0.271 26
65	0.003 39	0.003 49	0.004 19	0.006 78	0.013 73	0.029 12	0.059 01	0.111 83	0.198 80	0.334 32
70	0.004 44	0.004 57	0.005 49	0.008 87	0.017 96	0.038 10	0.077 20	0.146 31	0.260 09	0.437 39
75	0.006 26	0.006 45	0.007 74	0.012 51	0.025 35	0.053 76	0.108 93	0.206 44	0.366 99	0.617 16
80	0.009 72	0.010 01	0.012 01	0.019 42	0.039 34	0.083 43	0.169 06	0.320 39	0.569 56	0.957 82
85	0.017 00	0.017 51	0.021 01	0.033 96	0.068 81	0.145 94	0.295 72	0.560 42	0.996 27	1.675 42

注：T 为工作环境温度。
S 为实际工作电压与额定电压的比值。

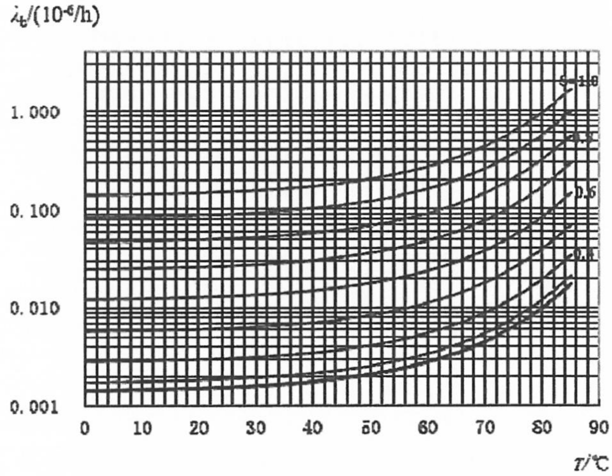

图 33　纸和薄膜电容器基本失效率曲线(额定温度为 85℃)

表 207　基本失效率 λ_b(额定温度为 100℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.001 41	0.001 45	0.001 74	0.002 81	0.005 70	0.012 09	0.024 50	0.046 42	0.082 53	0.138 78
5	0.001 41	0.001 46	0.001 75	0.002 82	0.005 72	0.012 13	0.024 58	0.046 58	0.082 82	0.139 27
10	0.001 42	0.001 46	0.001 75	0.002 84	0.005 75	0.012 19	0.024 70	0.046 81	0.083 21	0.139 93
15	0.001 43	0.001 47	0.001 77	0.002 86	0.005 78	0.012 27	0.024 86	0.047 11	0.083 75	0.140 84
20	0.001 44	0.001 48	0.001 78	0.002 88	0.005 83	0.012 37	0.025 07	0.047 52	0.084 47	0.142 06
25	0.001 46	0.001 50	0.001 80	0.002 91	0.005 90	0.012 52	0.025 36	0.048 07	0.085 45	0.143 71
30	0.001 48	0.001 53	0.001 83	0.002 96	0.005 99	0.012 71	0.025 76	0.048 81	0.086 78	0.145 93
35	0.001 51	0.001 56	0.001 87	0.003 02	0.006 12	0.012 97	0.026 29	0.049 82	0.088 56	0.148 93
40	0.001 55	0.001 60	0.001 92	0.003 10	0.006 28	0.013 32	0.027 00	0.051 17	0.090 96	0.152 97
45	0.001 61	0.001 66	0.001 99	0.003 21	0.006 51	0.013 80	0.027 96	0.053 00	0.094 21	0.158 44

表 207（续）　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
50	0.001 68	0.001 73	0.002 08	0.003 36	0.006 81	0.014 45	0.029 28	0.055 48	0.098 64	0.165 88
55	0.001 79	0.001 84	0.002 21	0.003 57	0.007 23	0.015 34	0.031 08	0.058 90	0.104 70	0.176 08
60	0.001 93	0.001 99	0.002 39	0.003 86	0.007 81	0.016 57	0.033 58	0.063 63	0.113 12	0.190 24
65	0.002 13	0.002 20	0.002 64	0.004 26	0.008 63	0.018 31	0.037 10	0.070 32	0.125 00	0.210 21
70	0.002 43	0.002 50	0.003 00	0.004 85	0.009 82	0.020 82	0.042 19	0.079 95	0.142 12	0.239 01
75	0.002 86	0.002 94	0.003 53	0.005 71	0.011 57	0.024 54	0.049 73	0.094 24	0.167 53	0.281 73
80	0.003 53	0.003 63	0.004 36	0.007 05	0.014 27	0.030 27	0.061 34	0.116 25	0.206 67	0.347 55
85	0.004 61	0.004 75	0.005 69	0.009 20	0.018 64	0.039 54	0.080 13	0.151 85	0.269 94	0.453 96
90	0.006 46	0.006 66	0.007 99	0.012 91	0.026 16	0.055 48	0.112 42	0.213 05	0.378 75	0.636 94
95	0.009 91	0.010 21	0.012 26	0.019 81	0.040 13	0.085 12	0.172 47	0.326 86	0.581 06	0.977 17
100	0.017 00	0.017 51	0.021 01	0.033 96	0.068 81	0.145 94	0.295 72	0.560 42	0.996 27	1.675 42

注：T 为工作环境温度。
S 为实际工作电压与额定电压的比值。

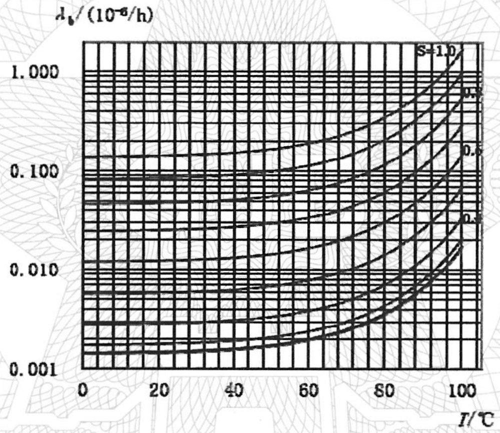

图 34　纸和薄膜电容器基本失效率曲线（额定温度为 100℃）

表 208　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	2.4	4.8	4.8	9.6	7.0	4.5	2.8	5.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11.5	8.0	21	6.0	10	15	1.0	31	15	—

表 209　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1T}	符合 GJB 1214A—2009 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 T 级产品	—	—
	A_{1S}	符合 GJB 972A—2002，GJB 1214A—2009 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品 符合 GJB 62—1985，GJB 732—1989，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品	符合 GJB 972—1990，GJB 1214—1991 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 972A—2002，GJB 1214A—2009 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品 符合 GJB 62—1985，GJB 732—1989，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 Q 产品	符合 GJB 972—1990，GJB 1214—1991 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 Q 级产品	—

表 209(续)

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1P}	符合 GJB 972A—2002，GJB 1214A—2009 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 62—1985，GJB 732—1989，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 产品	符合 GJB 972—1990，GJB 1214—1991 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品	0.03
	A_{1M}	符合 GJB 972A—2002，GJB 1214A—2009 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 62—1985，GJB 732—1989，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 972—1990，GJB 1214—1991 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品	0.1
	A_2	符合 GJB 62—1985，GJB 732—1989，GJB 972A—2002，GJB 1214A—2009，GJB 1522—1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 972—1990，GJB 1214—1991，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 4874、GB/T 6346、GB/T 7332、GB/T 14004、GB/T 15448、SJ 1885—1981、SJ 20471—1994 的产品		1.0
C	C_1	符合 SJ 1241—1977 的产品		3.0
	C_2	低档产品		5.0

表 210　电容量系数π_{CV}

纸介电容器		薄膜电容器	
电容量 C	π_{CV}	电容量 C	π_{CV}
$C\leqslant$0.000 47μF	0.50	$C\leqslant$10pF	0.50
0.000 47μF<$C\leqslant$0.01μF	0.75	10pF<$C\leqslant$470pF	0.75
0.01μF<$C\leqslant$0.068μF	1.0	470pF<$C\leqslant$0.004 7μF	1.0
0.068μF<$C\leqslant$0.33μF	1.3	0.004 7μF<$C\leqslant$0.047μF	1.3
0.33μF<$C\leqslant$1.5μF	1.6	0.047μF<$C\leqslant$0.22μF	1.6
1.5μF<$C\leqslant$4.7μF	1.9	0.22μF<$C\leqslant$1μF	1.9
4.7μF<$C\leqslant$10μF	2.2	1μF<$C\leqslant$3.3μF	2.2
C>10μF	2.4	C>3.3μF	2.4

表 211　种类系数π_K

种类	π_K
聚苯乙烯，聚四氟乙烯，聚碳酸酯	0.3
涤纶、聚丙烯等有机膜，纸—膜复合介质	1.0
纸介，金属化纸介	1.3

5.9.3　云母电容器

工作失效率预计模型见式(56)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{ch} \quad (56)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 212、表 213 和图 35、图 36；

π_E——环境系数，见表 214；
π_Q——质量系数，见表 215；
π_{CV}——电容量系数，见表 216；
π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 212　基本失效率 λ_b(额定温度为 70℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 35	0.000 39	0.000 49	0.000 69	0.001 02	0.001 51	0.002 20	0.003 11	0.004 29	0.005 75
5	0.000 44	0.000 49	0.000 62	0.000 87	0.001 29	0.001 91	0.002 78	0.003 93	0.005 41	0.007 27
10	0.000 56	0.000 62	0.000 78	0.001 10	0.001 63	0.002 41	0.003 51	0.004 97	0.006 84	0.009 17
15	0.000 71	0.000 78	0.000 99	0.001 39	0.002 06	0.003 05	0.004 43	0.006 27	0.008 63	0.011 58
20	0.000 89	0.000 99	0.001 25	0.001 76	0.002 60	0.003 85	0.005 59	0.007 92	0.010 90	0.014 63
25	0.001 13	0.001 25	0.001 58	0.002 22	0.003 28	0.004 86	0.007 06	0.010 00	0.013 76	0.018 47
30	0.001 42	0.001 58	0.001 99	0.002 81	0.004 14	0.006 14	0.008 92	0.012 62	0.017 38	0.023 32
35	0.001 80	0.001 99	0.002 52	0.003 54	0.005 23	0.007 75	0.011 26	0.015 94	0.021 95	0.029 45
40	0.002 27	0.002 52	0.003 18	0.004 47	0.006 60	0.009 78	0.014 22	0.020 13	0.027 71	0.037 18
45	0.002 87	0.003 18	0.004 02	0.005 65	0.008 34	0.012 35	0.017 96	0.025 41	0.034 99	0.046 95
50	0.003 62	0.004 01	0.005 07	0.007 13	0.010 53	0.015 60	0.022 68	0.032 09	0.044 18	0.059 28
55	0.004 57	0.005 07	0.006 40	0.009 00	0.013 30	0.019 70	0.028 63	0.040 52	0.055 79	0.074 85
60	0.005 77	0.006 40	0.008 08	0.011 37	0.016 79	0.024 87	0.036 15	0.051 16	0.070 44	0.094 51
65	0.007 29	0.008 08	0.010 21	0.014 36	0.021 20	0.031 40	0.045 65	0.064 60	0.088 94	0.119 34
70	0.009 21	0.010 20	0.012 89	0.018 13	0.026 77	0.039 65	0.057 64	0.081 57	0.112 31	0.150 69
注：T 为工作环境温度。 S 为实际工作电压与额定电压的比值。										

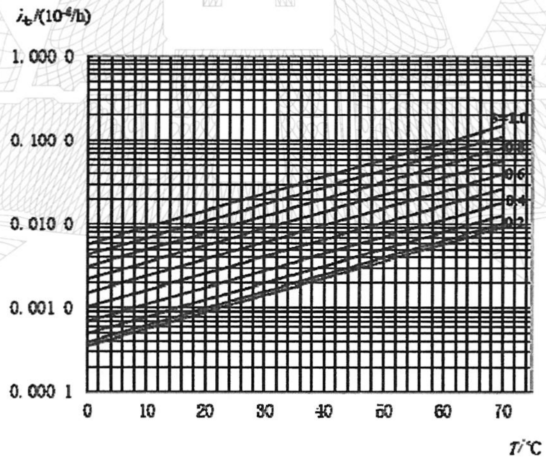

图 35　云母电容器基本失效率曲线(额定温度为 70℃)

表 213　基本失效率 λ_b(额定温度为 85℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 21	0.000 23	0.000 29	0.000 41	0.000 60	0.000 89	0.001 29	0.001 83	0.002 52	0.003 37
5	0.000 26	0.000 29	0.000 36	0.000 51	0.000 75	0.001 11	0.001 61	0.002 28	0.003 14	0.004 22
10	0.000 32	0.000 36	0.000 45	0.000 63	0.000 94	0.001 39	0.002 02	0.002 86	0.003 93	0.005 28
15	0.000 40	0.000 45	0.000 56	0.000 79	0.001 17	0.001 74	0.002 52	0.003 57	0.004 92	0.006 60

表 213（续）

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
20	0.000 50	0.000 56	0.000 71	0.000 99	0.001 47	0.002 17	0.003 16	0.004 47	0.006 15	0.008 25
25	0.000 63	0.000 70	0.000 88	0.001 24	0.001 83	0.002 71	0.003 95	0.005 58	0.007 69	0.010 32
30	0.000 79	0.000 87	0.001 10	0.001 55	0.002 29	0.003 39	0.004 93	0.006 98	0.009 61	0.012 90
35	0.000 99	0.001 09	0.001 38	0.001 94	0.002 86	0.004 24	0.006 17	0.008 73	0.012 02	0.016 13
40	0.001 23	0.001 36	0.001 72	0.002 43	0.003 58	0.005 31	0.007 71	0.010 92	0.015 03	0.020 17
45	0.001 54	0.001 71	0.002 16	0.003 03	0.004 48	0.006 64	0.009 65	0.013 65	0.018 79	0.025 22
50	0.001 93	0.002 13	0.002 70	0.003 79	0.005 60	0.008 30	0.012 06	0.017 07	0.023 50	0.031 53
55	0.002 41	0.002 67	0.003 37	0.004 74	0.007 00	0.010 38	0.015 08	0.021 34	0.029 38	0.039 43
60	0.003 01	0.003 34	0.004 22	0.005 93	0.008 76	0.012 97	0.018 86	0.026 69	0.036 74	0.049 30
65	0.003 77	0.004 17	0.005 27	0.007 42	0.010 95	0.016 22	0.023 58	0.033 37	0.045 94	0.061 64
70	0.004 71	0.005 22	0.006 59	0.009 27	0.013 69	0.020 28	0.029 48	0.041 73	0.057 45	0.077 08
75	0.005 89	0.006 52	0.008 24	0.011 59	0.017 12	0.025 36	0.036 87	0.052 17	0.071 83	0.096 38
80	0.007 36	0.008 15	0.010 31	0.014 50	0.021 41	0.031 71	0.046 10	0.065 24	0.089 82	0.120 51
85	0.009 21	0.010 20	0.012 89	0.018 13	0.026 77	0.039 65	0.057 64	0.081 57	0.112 31	0.150 69
注：T 为工作环境温度。 S 为实际工作电压与额定电压的比值。										

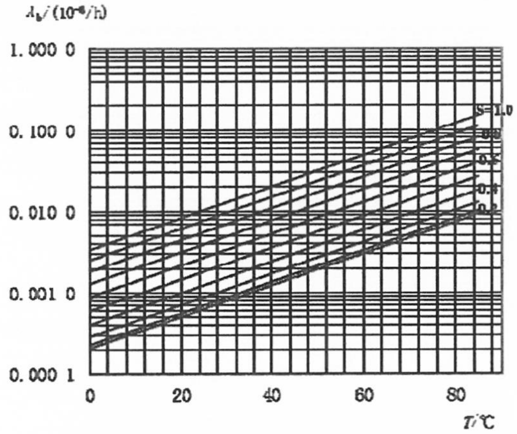

图 36　云母电容器基本失效率曲线（额定温度为 85℃）

表 214　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.8	2.5	3.2	4.6	4.2	2.8	1.9	3.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	5.7	4.1	8.0	3.2	6.0	7.0	1.0	11	5	—

表 215　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1T}	符合 GJB 191B—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 T 级产品	—	—
	A_{1S}	符合 GJB 191B—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品	符合 GJB 191A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 191B—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品	符合 GJB 191A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品	—

表 215(续)

<table>
<tr><th colspan="2">质量等级</th><th>质量要求说明</th><th>质量要求补充说明</th><th>π_Q</th></tr>
<tr><td rowspan="3">A</td><td>A_{1P}</td><td>符合 GJB 191B—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品</td><td>符合 GJB 191A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品</td><td>0.03</td></tr>
<tr><td>A_{1M}</td><td>符合 GJB 191B—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品
符合 GJB 1313—1991，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>符合 GJB 191A—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>A_2</td><td>符合 GJB 191B—2009、GJB 1313—1991，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>符合 GJB 191A—1997，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">B</td><td>B_1</td><td colspan="2">按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>B_2</td><td colspan="2">符合 GB/T 2693、GB/T 6261 的产品</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td colspan="2">C</td><td colspan="2">低档产品</td><td>5.0</td></tr>
</table>

表 216　电容量系数 π_{CV}

电容量 C	π_{CV}
$C \leqslant 10pF$	0.4
$10pF < C \leqslant 150pF$	0.7
$150pF < C \leqslant 750pF$	1.0
$750pF < C \leqslant 0.002\ 2\mu F$	1.3
$0.002\ 2\mu F < C \leqslant 0.005\ 6\mu F$	1.6
$0.005\ 6\mu F < C \leqslant 0.011\mu F$	1.9
$0.011\mu F < C \leqslant 0.022\mu F$	2.2
$0.022\mu F < C \leqslant 0.039\mu F$	2.5
$0.039\mu F < C \leqslant 0.062\mu F$	2.8
$C > 0.062\mu F$	3.0

5.9.4　1 类瓷介电容器

工作失效率预计模型见式(57)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{ch} \tag{57}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 217 和图 37；

π_E——环境系数，见表 218；

π_Q——质量系数，见表 219；

π_{CV}——电容量系数，见表 220；

π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 217　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 17	0.000 22	0.000 33	0.000 56	0.000 94	0.001 50	0.002 29	0.003 33	0.004 68	0.006 35
5	0.000 20	0.000 25	0.000 39	0.000 66	0.001 10	0.001 75	0.002 67	0.003 89	0.005 45	0.007 41

表 217（续）

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
10	0.000 24	0.000 29	0.000 45	0.000 77	0.001 28	0.002 04	0.003 11	0.004 53	0.006 36	0.008 64
15	0.000 27	0.000 34	0.000 53	0.000 89	0.001 49	0.002 38	0.003 63	0.005 29	0.007 41	0.010 07
20	0.000 32	0.000 40	0.000 62	0.001 04	0.001 74	0.002 78	0.004 23	0.006 16	0.008 65	0.011 75
25	0.000 37	0.000 47	0.000 72	0.001 21	0.002 03	0.003 24	0.004 93	0.007 19	0.010 08	0.013 70
30	0.000 44	0.000 54	0.000 84	0.001 42	0.002 36	0.003 78	0.005 75	0.008 38	0.011 76	0.015 97
35	0.000 51	0.000 63	0.000 98	0.001 65	0.002 76	0.004 41	0.006 71	0.009 77	0.013 71	0.018 62
40	0.000 59	0.000 74	0.001 14	0.001 92	0.003 21	0.005 14	0.007 82	0.011 40	0.015 98	0.021 71
45	0.000 69	0.000 86	0.001 33	0.002 24	0.003 75	0.005 99	0.009 12	0.013 29	0.018 64	0.025 32
50	0.000 80	0.001 01	0.001 55	0.002 62	0.004 37	0.006 99	0.010 64	0.015 50	0.021 73	0.029 52
55	0.000 94	0.001 17	0.001 81	0.003 05	0.005 10	0.008 15	0.012 40	0.018 07	0.025 34	0.034 43
60	0.001 09	0.001 37	0.002 11	0.003 56	0.005 94	0.009 50	0.014 46	0.021 07	0.029 55	0.040 14
65	0.001 28	0.001 60	0.002 46	0.004 15	0.006 93	0.011 08	0.016 86	0.024 57	0.034 46	0.046 81
70	0.001 49	0.001 86	0.002 87	0.004 84	0.008 08	0.012 92	0.019 67	0.028 65	0.040 18	0.054 58
75	0.001 74	0.002 17	0.003 35	0.005 64	0.009 42	0.015 06	0.022 93	0.033 40	0.046 85	0.063 65
80	0.002 02	0.002 53	0.003 90	0.006 58	0.010 98	0.017 56	0.026 74	0.038 95	0.054 63	0.074 22
85	0.002 36	0.002 95	0.004 55	0.007 67	0.012 81	0.020 48	0.031 18	0.045 42	0.063 71	0.086 54

注：T 为工作环境温度。
S 为实际工作电压与额定电压的比值。

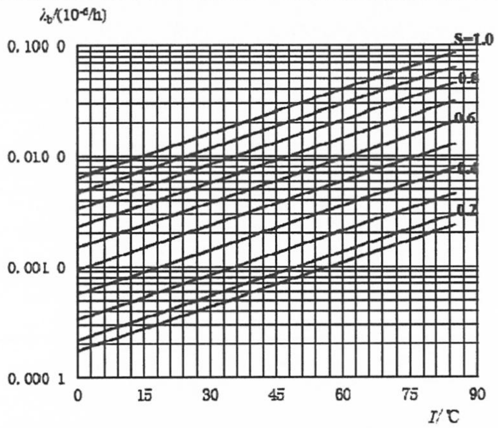

图 37　1 类瓷介电容器基本失效率曲线

表 218　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.4	4.1	4.6	7.6	7.0	4.0	2.3	4.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	−
π_E	10.2	6.7	12	3.4	7.5	10.5	1.0	17	8	−

表 219　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1S}	符合 GJB 192B−2011、GJB 468A−2011、GJB 6788−2009，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品 符合 GJB 4157A−2011，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 192A−1998，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品 符合 GJB 468−1988、GJB 1940−1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品 符合 GJB 4157−2001，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	−

表 219（续）

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1R}	符合 GJB 192B−2011、GJB 468A−2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	符合 GJB 192A−1998，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品 符合 GJB 468−1988、GJB 1940−1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Q 级产品	−
	A_{1P}	符合 GJB 192B−2011、GJB 468A−2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 4157A−2011，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 192A−1998，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 468−1988、GJB 1940−1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品 符合 GJB 4157−2001，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.03
	A_{1M}	符合 GJB 192B−2011、GJB 468A−2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 6788−2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 K 级产品 符合 GJB 1940A−2012，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 192A−1998，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 468−1988、GJB 1940−1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品	0.1
	A_2	符合 GJB 192B−2011、GJB 468A−2011、GJB 1940A−2012，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合 GJB 6788−2009，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 K 级产品	符合 GJB 192A−1998、GJB 468−1988、GJB 1940−1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 5966、GB/T 9320、GB/T 9597 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 220　电容量系数 π_{CV}

电容量 C	π_{CV}
$C \leqslant 7.5\text{pF}$	0.50
$7.5\text{pF} < C \leqslant 91\text{pF}$	0.75
$91\text{pF} < C \leqslant 470\text{pF}$	1.0
$470\text{pF} < C \leqslant 2\,000\text{pF}$	1.3
$2\,000\text{pF} < C \leqslant 0.006\,2\mu\text{F}$	1.6
$0.006\,2\mu\text{F} < C \leqslant 0.016\mu\text{F}$	1.9
$0.016\mu\text{F} < C \leqslant 0.039\mu\text{F}$	2.2
$C > 0.039\mu\text{F}$	2.4

5.9.5　2 类瓷介电容器

工作失效率预计模型见式(58)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{ch} \quad \cdots\cdots(58)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 221、表 222 和图 38、图 39；

π_E——环境系数，见表 223；

π_Q——质量系数，见表 224；

π_{CV}——电容量系数，见表 225；

π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 221　基本失效率λ_b(额定温度为 85℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 42	0.000 53	0.000 81	0.001 37	0.002 29	0.003 67	0.005 58	0.008 13	0.011 40	0.015 49
5	0.000 43	0.000 54	0.000 83	0.001 39	0.002 33	0.003 72	0.005 66	0.008 25	0.011 57	0.015 71
10	0.000 43	0.000 54	0.000 84	0.001 41	0.002 36	0.003 77	0.005 74	0.008 36	0.011 73	0.015 93
15	0.000 44	0.000 55	0.000 85	0.001 43	0.002 39	0.003 82	0.005 82	0.008 48	0.011 89	0.016 16
20	0.000 45	0.000 56	0.000 86	0.001 45	0.002 42	0.003 88	0.005 90	0.008 60	0.012 06	0.016 38
25	0.000 45	0.000 57	0.000 87	0.001 47	0.002 46	0.003 93	0.005 99	0.008 72	0.012 23	0.016 61
30	0.000 46	0.000 57	0.000 89	0.001 49	0.002 49	0.003 99	0.006 07	0.008 84	0.012 40	0.016 85
35	0.000 47	0.000 58	0.000 90	0.001 51	0.002 53	0.004 04	0.006 16	0.008 97	0.012 58	0.017 08
40	0.000 47	0.000 59	0.000 91	0.001 54	0.002 56	0.004 10	0.006 24	0.009 09	0.012 75	0.017 32
45	0.000 48	0.000 60	0.000 92	0.001 56	0.002 60	0.004 16	0.006 33	0.009 22	0.012 93	0.017 57
50	0.000 49	0.000 61	0.000 94	0.001 58	0.002 64	0.004 22	0.006 42	0.009 35	0.013 11	0.017 82
55	0.000 49	0.000 62	0.000 95	0.001 60	0.002 67	0.004 27	0.006 51	0.009 48	0.013 30	0.018 07
60	0.000 50	0.000 62	0.000 96	0.001 62	0.002 71	0.004 33	0.006 60	0.009 61	0.013 49	0.018 32
65	0.000 51	0.000 63	0.000 98	0.001 65	0.002 75	0.004 40	0.006 69	0.009 75	0.013 68	0.018 58
70	0.000 51	0.000 64	0.000 99	0.001 67	0.002 79	0.004 46	0.006 79	0.009 89	0.013 87	0.018 84
75	0.000 52	0.000 65	0.001 00	0.001 69	0.002 83	0.004 52	0.006 88	0.010 03	0.014 06	0.019 10
80	0.000 53	0.000 66	0.001 02	0.001 72	0.002 87	0.004 58	0.006 98	0.010 17	0.014 26	0.019 37
85	0.000 54	0.000 67	0.001 03	0.001 74	0.002 91	0.004 65	0.007 08	0.010 31	0.014 46	0.019 65

注：*T* 为工作环境温度。
　　S 为实际工作电压与额定电压的比值。

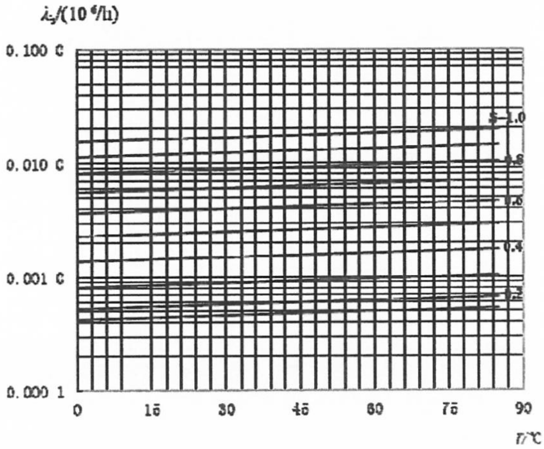

图 38　2 类瓷介电容器基本失效率曲线(额定温度为 85℃)

表 222　基本失效率 λ_b(额定温度为 125℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 39	0.000 49	0.000 75	0.001 27	0.002 12	0.003 40	0.005 17	0.007 53	0.010 56	0.014 35
5	0.000 40	0.000 50	0.000 76	0.001 29	0.002 15	0.003 44	0.005 24	0.007 63	0.010 70	0.014 53
10	0.000 40	0.000 50	0.000 77	0.001 30	0.002 18	0.003 48	0.005 30	0.007 72	0.010 83	0.014 72
15	0.000 41	0.000 51	0.000 78	0.001 32	0.002 21	0.003 53	0.005 37	0.007 82	0.010 97	0.014 90
20	0.000 41	0.000 51	0.000 79	0.001 34	0.002 23	0.003 57	0.005 44	0.007 92	0.011 11	0.015 09
25	0.000 42	0.000 52	0.000 80	0.001 35	0.002 26	0.003 62	0.005 51	0.008 02	0.011 25	0.015 28
30	0.000 42	0.000 53	0.000 81	0.001 37	0.002 29	0.003 66	0.005 57	0.008 12	0.011 39	0.015 47
35	0.000 43	0.000 53	0.000 82	0.001 39	0.002 32	0.003 71	0.005 65	0.008 22	0.011 53	0.015 67
40	0.000 43	0.000 54	0.000 83	0.001 41	0.002 35	0.003 75	0.005 72	0.008 33	0.011 68	0.015 87
45	0.000 44	0.000 55	0.000 84	0.001 42	0.002 38	0.003 80	0.005 79	0.008 43	0.011 83	0.016 07
50	0.000 44	0.000 55	0.000 86	0.001 44	0.002 41	0.003 85	0.005 86	0.008 54	0.011 98	0.016 27
55	0.000 45	0.000 56	0.000 87	0.001 46	0.002 44	0.003 90	0.005 94	0.008 65	0.012 13	0.016 48
60	0.000 45	0.000 57	0.000 88	0.001 48	0.002 47	0.003 95	0.006 01	0.008 76	0.012 28	0.016 69
65	0.000 46	0.000 58	0.000 89	0.001 50	0.002 50	0.004 00	0.006 09	0.008 87	0.012 44	0.016 90
70	0.000 47	0.000 58	0.000 90	0.001 52	0.002 53	0.004 05	0.006 16	0.008 98	0.012 59	0.017 11
75	0.000 47	0.000 59	0.000 91	0.001 54	0.002 56	0.004 10	0.006 24	0.009 09	0.012 75	0.017 33
80	0.000 48	0.000 60	0.000 92	0.001 55	0.002 60	0.004 15	0.006 32	0.009 21	0.012 92	0.017 54
85	0.000 48	0.000 61	0.000 93	0.001 57	0.002 63	0.004 20	0.006 40	0.009 32	0.013 08	0.017 77
90	0.000 49	0.000 61	0.000 95	0.001 59	0.002 66	0.004 26	0.006 48	0.009 44	0.013 24	0.017 99
95	0.000 50	0.000 62	0.000 96	0.001 61	0.002 70	0.004 31	0.006 56	0.009 56	0.013 41	0.018 22
100	0.000 50	0.000 63	0.000 97	0.001 63	0.002 73	0.004 37	0.006 65	0.009 68	0.013 58	0.018 45
105	0.000 51	0.000 64	0.000 98	0.001 66	0.002 77	0.004 42	0.006 73	0.009 81	0.013 75	0.018 68
110	0.000 52	0.000 64	0.000 99	0.001 68	0.002 80	0.004 48	0.006 82	0.009 93	0.013 93	0.018 92
115	0.000 52	0.000 65	0.001 01	0.001 70	0.002 84	0.004 53	0.006 90	0.010 05	0.014 10	0.019 16
120	0.000 53	0.000 66	0.001 02	0.001 72	0.002 87	0.004 59	0.006 99	0.010 18	0.014 28	0.019 40
125	0.000 54	0.000 67	0.001 03	0.001 74	0.002 91	0.004 65	0.007 08	0.010 31	0.014 46	0.019 65

注：T 为工作环境温度。
　　S 为实际工作电压与额定电压的比值。

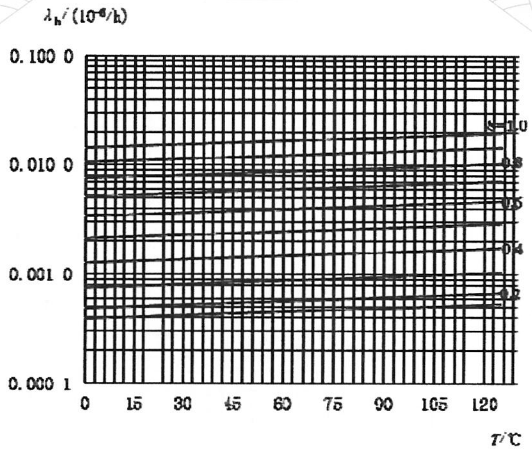

图 39　2 类瓷介电容器基本失效率曲线(额定温度为 125℃)

表 223　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.8	4.6	5.1	8.1	7.0	4.9	2.9	5.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	9.1	7.7	14	6.0	10.2	12	1.0	17	8	—

表 224　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1S}	符合 GJB 192B—2011、GJB 924A—2012、GJB 6788—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品 符合 GJB 4157A—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 192A—1998，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品 符合 GJB 924—1990、GJB 1940—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品 符合 GJB 4157—2001，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 192B—2011、GJB 924A—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品	符合 GJB 192A—1998，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品 符合 GJB 924—1990、GJB 1940—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 Q 级产品	—
	A_{1P}	符合 GJB 192B—2011、GJB 924A—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 P 级产品 符合 GJB 4157A—2011，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 192A—1998，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 P 级产品 符合 GJB 924—1990、GJB 1940—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 L 级产品 符合 GJB 4157—2001，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.03
	A_{1M}	符合 GJB 192B—2011、GJB 924A—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 M 级产品 符合 GJB 6788—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 K 级产品 符合 GJB 1314—1991、GJB 1940A—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 192A—1998，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 M 级产品 符合 GJB 924—1990、GJB 1940—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 W 级产品	0.10
	A_2	符合 GJB 192B—2011、GJB 924—1990、GJB 1314—1991、GJB 1940A—2012，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品 符合 GJB 6788—2009，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 K 级产品	符合 GJB 192A—1998、GJB 1940—1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 5968、GB/T 9322 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 225　电容量系数π_{CV}

电容量 C	π_{CV}
$C\leqslant240$pF	0.50
240pF$<C\leqslant$0.003 3μF	0.75
0.003 3μF$<C\leqslant$0.016μF	1.0
0.016μF$<C\leqslant$0.082μF	1.3
0.082μF$<C\leqslant$0.27μF	1.6

表 225(续)

电容量 C	π_{CV}
$0.27\mu F<C\leqslant0.75\mu F$	1.9
$0.75\mu F<C\leqslant1.8\mu F$	2.2
$C>1.8\mu F$	2.4

5.9.6 铝电解电容器

工作失效率预计模型见式(59)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_{CV}\pi_{ch} \quad \cdots\cdots (59)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 226 和图 40；

π_E——环境系数，见表 227；

π_Q——质量系数，见表 228；

π_{CV}——电容量系数，见表 229；

π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 226 基本失效率 λ_b 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.011 6	0.012 1	0.013 4	0.016 0	0.020 2	0.026 6	0.035 4	0.047 1	0.062 2	0.081 0
5	0.012 8	0.013 3	0.014 7	0.017 6	0.022 2	0.029 2	0.038 8	0.051 7	0.068 3	0.088 9
10	0.014 1	0.014 7	0.016 3	0.019 5	0.024 6	0.032 3	0.043 0	0.057 3	0.075 6	0.098 5
15	0.015 8	0.016 5	0.018 3	0.021 7	0.027 5	0.036 1	0.048 1	0.064 0	0.084 5	0.110 1
20	0.017 8	0.018 6	0.020 6	0.024 5	0.031 0	0.040 7	0.054 3	0.072 3	0.095 4	0.124 3
25	0.020 3	0.021 2	0.023 5	0.028 0	0.035 4	0.046 5	0.061 9	0.082 4	0.108 8	0.141 7
30	0.023 5	0.024 4	0.027 1	0.032 3	0.040 9	0.053 6	0.071 4	0.095 1	0.125 5	0.163 5
35	0.027 4	0.028 5	0.031 7	0.037 7	0.047 7	0.062 6	0.083 4	0.111 1	0.146 6	0.190 9
40	0.032 4	0.033 8	0.037 4	0.044 6	0.056 4	0.074 0	0.098 6	0.131 3	0.173 4	0.225 8
45	0.038 9	0.040 5	0.044 9	0.053 5	0.067 6	0.088 8	0.118 2	0.157 5	0.207 9	0.270 8
50	0.047 3	0.049 2	0.054 6	0.065 1	0.082 3	0.108 0	0.143 9	0.191 6	0.252 9	0.329 4
55	0.058 4	0.060 8	0.067 5	0.080 4	0.101 7	0.133 4	0.177 7	0.236 7	0.312 4	0.407 0
60	0.073 3	0.076 4	0.084 7	0.101 0	0.127 7	0.167 6	0.223 2	0.297 3	0.392 4	0.511 1
65	0.093 7	0.097 6	0.108 3	0.129 0	0.163 2	0.214 1	0.285 2	0.379 9	0.501 4	0.653 2
70	0.122 0	0.127 1	0.141 0	0.167 9	0.212 4	0.278 7	0.371 3	0.494 5	0.652 7	0.850 2
75	0.162 0	0.168 7	0.187 1	0.222 9	0.281 9	0.370 0	0.492 9	0.656 4	0.866 4	1.128 6
80	0.219 5	0.228 6	0.253 5	0.302 1	0.382 0	0.501 4	0.667 9	0.889 5	1.174 0	1.529 3
85	0.304 0	0.316 7	0.351 2	0.418 4	0.529 1	0.694 4	0.925 0	1.231 9	1.626 0	2.118 1

注：T 为工作环境温度。
S 为实际工作电压与额定电压的比值。

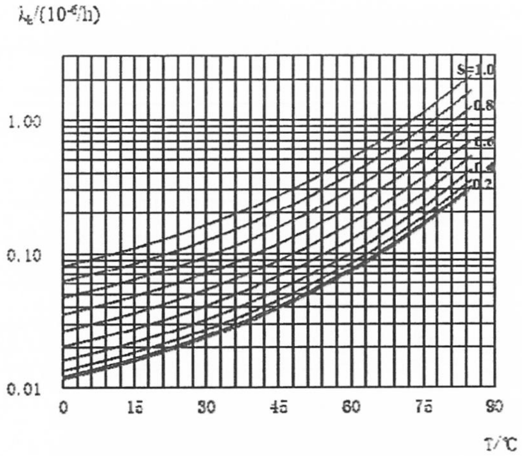

图 40　铝电解电容器基本失效率曲线

表 227　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.4	4.0	4.2	10.4	9.0	5.1	3.0	6.1
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	12.7	11.8	21	9.0	15	18	1.0	21	10	－

表 228　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1S}	符合 GJB 603A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	符合 GJB 603－1988，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 B 级产品	－
	A_{1R}	符合 GJB 603A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	符合 GJB 603－1988，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Q 级产品	－
	A_{1P}	符合 GJB 603A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品	符合 GJB 603－1988，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品	0.03
	A_{1M}	符合 GJB 603A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 3516－1999，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 603－1988，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品	0.1
	A_2	符合 GJB 603A－2011、GJB 3516－1999，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 603－1988，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
B	B_1	按军用标准筛选的要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 5993 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 229　电容量系数π_{CV}

电容量 C μF	π_{CV}
$C \leq 1$	0.40
$1 < C \leq 20$	0.70

表 229(续)

电容量 C μF	π_{CV}
$20<C\leqslant100$	1.0
$100<C\leqslant470$	1.3
$470<C\leqslant1\,500$	1.6
$1\,500<C\leqslant3\,000$	1.9
$3\,000<C\leqslant6\,800$	2.2
$6\,800<C\leqslant10\,000$	2.5
$10\,000<C\leqslant20\,000$	2.8
$C>20\,000$	3.0

5.9.7 固体钽电解电容器

工作失效率预计模型见式(60)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_{CV}\pi_{SR}\pi_{ch} \qquad (60)$$

式中:

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h;

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 230 和图 41;

π_E——环境系数，见表 231;

π_Q——质量系数，见表 232;

π_{CV}——电容量系数，见表 233;

π_{SR}——串联电阻系数，见表 234。

π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 230 基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.001 7	0.001 9	0.002 4	0.003 4	0.005 0	0.007 4	0.010 8	0.015 3	0.021 1	0.028 3
5	0.001 8	0.002 0	0.002 5	0.003 5	0.005 2	0.007 7	0.011 3	0.015 9	0.021 9	0.029 4
10	0.001 9	0.002 1	0.002 6	0.003 7	0.005 5	0.008 1	0.011 8	0.016 7	0.023 0	0.030 8
15	0.002 0	0.002 2	0.002 8	0.003 9	0.005 8	0.008 6	0.012 4	0.017 6	0.024 2	0.032 5
20	0.002 1	0.002 3	0.003 0	0.004 2	0.006 1	0.009 1	0.013 2	0.018 7	0.025 8	0.034 6
25	0.002 3	0.002 5	0.003 2	0.004 5	0.006 6	0.009 8	0.014 2	0.020 1	0.027 6	0.037 1
30	0.002 5	0.002 7	0.003 4	0.004 8	0.007 1	0.010 6	0.015 4	0.021 8	0.030 0	0.040 2
35	0.002 7	0.003 0	0.003 8	0.005 3	0.007 8	0.011 6	0.016 9	0.023 9	0.032 9	0.044 1
40	0.003 0	0.003 3	0.004 2	0.005 9	0.008 7	0.012 9	0.018 7	0.026 5	0.036 5	0.048 9
45	0.003 4	0.003 7	0.004 7	0.006 6	0.009 8	0.014 5	0.021 1	0.029 8	0.041 1	0.055 1
50	0.003 9	0.004 3	0.005 4	0.007 6	0.011 2	0.016 6	0.024 1	0.034 2	0.047 0	0.063 1
55	0.004 5	0.005 0	0.006 3	0.008 8	0.013 1	0.019 3	0.028 1	0.039 8	0.054 8	0.073 5
60	0.005 3	0.005 9	0.007 5	0.010 5	0.015 5	0.023 0	0.033 4	0.047 3	0.065 1	0.087 3
65	0.006 5	0.007 2	0.009 1	0.012 8	0.018 8	0.027 9	0.040 6	0.057 4	0.079 1	0.106 1
70	0.008 1	0.008 9	0.011 3	0.015 9	0.023 5	0.034 8	0.050 5	0.071 5	0.098 4	0.132 1
75	0.010 3	0.011 4	0.014 4	0.020 3	0.030 0	0.044 5	0.064 6	0.091 4	0.125 9	0.168 9

表 230（续）

单位为 10^{-6}/h

T ℃	*S*									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
80	0.013 6	0.015 1	0.019 0	0.026 8	0.039 5	0.058 6	0.085 2	0.120 5	0.165 9	0.222 6
85	0.018 5	0.020 5	0.025 9	0.036 5	0.053 9	0.079 8	0.116 0	—	—	—
90	0.026 2	0.029 0	0.036 6	0.051 5	0.076 1	0.112 8	0.163 9	—	—	—
95	0.038 5	0.042 7	0.053 9	0.075 8	0.112 0	0.165 9	—	—	—	—
100	0.059 2	0.065 6	0.082 9	0.116 6	0.172 2	0.255 0	—	—	—	—
105	0.095 6	0.105 9	0.133 8	0.188 2	0.277 9	—	—	—	—	—
110	0.162 8	0.180 3	0.227 9	0.320 6	—	—	—	—	—	—
115	0.294 0	0.325 6	0.411 5	—	—	—	—	—	—	—
120	0.566 0	0.627 0	—	—	—	—	—	—	—	—
125	1.169 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：*T* 为工作环境温度。 *S* 为实际工作电压与额定电压的比值。										

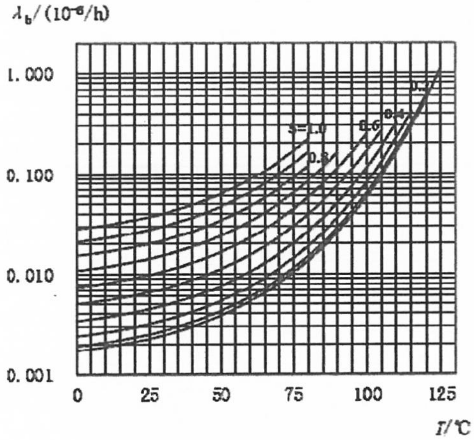

图 41　固体钽电解电容器基本失效率曲线

表 231　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.4	3.5	3.5	6.5	6.0	3.8	2.3	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	8.5	8.3	15	5.5	8.0	12	1.0	19	9	—

表 232　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1T}	符合 GJB 2283A—2014，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 T 级产品	—	—
	A_{1S}	符合 GJB 63B—2001、GJB 2283A—2014、GJB 5437—2005，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品 符合 GJB 63A—1991，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 63B—2001、GJB 2283A—2014、GJB 5437—2005，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 R 级产品 符合 GJB 63A—1991，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 Q 级产品	—

表 232（续）

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1P}	符合 GJB 63B—2001、GJB 2283A—2014、GJB 5437—2005，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 P 级产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 P 级产品 符合 GJB 63A—1991，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 L 级产品	0.03
	A_{1M}	符合 GJB 63B—2001、GJB 2283A—2014、GJB 5437—2005，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 M 级产品 符合 GJB 1520—1992，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 M 级产品 符合 GJB 63A—1991，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 W 级产品	0.1
	A_2	符合 GJB 63B—2001、GJB 1520—1992、GJB 2283A—2014、GJB 5437—2005，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 63A—1991、GJB 2283—1995，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 7213、GB/T 14121 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 233　电容量系数 π_{CV}

电容量 C μF	π_{CV}
$C \leqslant 0.47$	0.50
$0.47 < C \leqslant 3.3$	0.75
$3.3 < C \leqslant 15$	1.0
$15 < C \leqslant 47$	1.3
$47 < C \leqslant 100$	1.6
$100 < C \leqslant 220$	1.9
$220 < C \leqslant 500$	2.2
$C > 500$	2.6

表 234　串联电阻系数 π_{SR}

串联电阻 R Ω/V	π_{SR}
$3.0 \leqslant R$	0.07
$2.0 \leqslant R < 3$	0.1
$1.0 \leqslant R < 2$	0.2
$0.8 \leqslant R < 1$	0.3
$0.6 \leqslant R < 0.8$	0.4
$0.4 \leqslant R < 0.6$	0.6
$0.2 \leqslant R < 0.4$	0.8
$R < 0.2$	1.0
注：串联电阻 R 是电容器与电源之间的回路电阻除以电容器的工作电压。	

5.9.8 非固体钽电解电容器

工作失效率预计模型见式(61)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_{CV} \quad\cdots\cdots(61)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 235 和图 42；

π_E——环境系数，见表 236；

π_Q——质量系数，见表 237；

π_{CV}——电容量系数，见表 238。

表 235 基本失效率λ_b 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.004 5	0.005 0	0.006 3	0.008 8	0.013 1	0.019 3	0.028 1	0.039 8	0.054 8	0.073 5
5	0.004 7	0.005 2	0.006 5	0.009 2	0.013 6	0.020 1	0.029 3	0.041 4	0.057 0	0.076 5
10	0.004 9	0.005 4	0.006 9	0.009 6	0.014 2	0.021 1	0.030 7	0.043 4	0.059 8	0.080 2
15	0.005 2	0.005 7	0.007 2	0.010 2	0.015 0	0.022 3	0.032 4	0.045 8	0.063 0	0.084 6
20	0.005 5	0.006 1	0.007 7	0.010 8	0.016 0	0.023 7	0.034 4	0.048 7	0.067 0	0.090 0
25	0.005 9	0.006 5	0.008 3	0.011 6	0.017 1	0.025 4	0.036 9	0.052 3	0.071 9	0.096 5
30	0.006 4	0.007 1	0.008 9	0.012 6	0.018 6	0.027 5	0.040 0	0.056 6	0.078 0	0.104 6
35	0.007 0	0.007 8	0.009 8	0.013 8	0.020 4	0.030 2	0.043 9	0.062 1	0.085 5	0.114 7
40	0.007 8	0.008 6	0.010 9	0.015 3	0.022 6	0.033 5	0.048 7	0.068 9	0.094 9	0.127 4
45	0.008 8	0.009 7	0.012 3	0.017 3	0.025 5	0.037 8	0.054 9	0.077 7	0.106 9	0.143 5
50	0.010 0	0.011 1	0.014 0	0.019 8	0.029 2	0.043 2	0.062 8	0.088 9	0.122 4	0.164 2
55	0.011 7	0.012 9	0.016 4	0.023 0	0.034 0	0.050 3	0.073 2	0.103 5	0.142 5	0.191 3
60	0.013 9	0.015 4	0.019 4	0.027 3	0.040 4	0.059 8	0.086 9	0.123 0	0.169 4	0.227 3
65	0.016 9	0.018 7	0.023 6	0.033 2	0.049 0	0.072 7	0.105 6	0.149 5	0.205 8	0.276 1
70	0.021 0	0.023 3	0.029 4	0.041 3	0.061 0	0.090 4	0.131 5	0.186 0	0.256 1	0.343 7
75	0.026 9	0.029 7	0.037 6	0.052 9	0.078 1	0.115 7	0.168 1	0.237 9	0.327 6	0.439 5
80	0.035 4	0.039 2	0.049 5	0.069 7	0.102 9	0.152 4	0.221 6	0.313 6	0.431 7	0.579 3
85	0.048 2	0.053 4	0.067 5	0.094 9	0.140 2	0.207 7	0.301 8	0.427 2	0.588 1	0.789 1

注：T 为工作环境温度。
　　S 为实际工作电压与额定电压的比值。

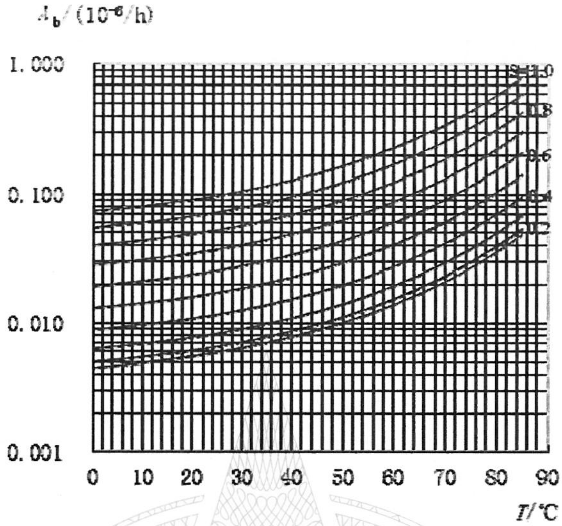

图 42　非固体钽电解电容器基本失效率曲线

表 236　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.7	3.8	3.8	7.1	6.0	3.7	2.5	4.9
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	9.3	10.3	16	5.6	10.2	13	1.0	21	10	—

表 237　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1S}	符合 GJB 733B—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	符合 GJB 733A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 733B—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	符合 GJB 733A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	—
	A_{1P}	符合 GJB 733B—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品	符合 GJB 733A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品	0.03
	A_{1M}	符合 GJB 733B—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 1312A—2001，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 733A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 1312—1991，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.1
	A_2	符合 GJB 733B—2011、GJB 1312A—2001，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 733A—1996、GJB 1312—1991，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 7213 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 238　电容量系数π_{CV}

电容量 C μF	π_{CV}
$C \leqslant 0.22$	0.75
$0.22 < C \leqslant 100$	1.0
$100 < C \leqslant 1\,000$	1.3
$C > 1\,000$	1.6

5.9.9　氧化铌电解电容器

工作失效率预计模型见式(62)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{SR} \pi_{ch} \quad \cdots\cdots (62)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 239 和图 43；

π_E——环境系数，见表 240；

π_Q——质量系数，见表 241；

π_{CV}——电容量系数，见表 242；

π_{SR}——串联电阻系数，见表 243；

π_{ch}——表面贴装系数，见表 204。

表 239　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.000 58	0.000 64	0.000 81	0.001 13	0.001 67	0.002 48	0.003 60	0.005 10	0.007 02	0.009 42
5	0.000 60	0.000 66	0.000 84	0.001 18	0.001 74	0.002 58	0.003 75	0.005 31	0.007 31	0.009 81
10	0.000 63	0.000 70	0.000 88	0.001 24	0.001 82	0.002 70	0.003 93	0.005 56	0.007 66	0.010 27
15	0.000 66	0.000 73	0.000 93	0.001 30	0.001 92	0.002 85	0.004 14	0.005 87	0.008 08	0.010 84
20	0.000 70	0.000 78	0.000 99	0.001 39	0.002 05	0.003 03	0.004 41	0.006 24	0.008 59	0.011 52
25	0.000 76	0.000 84	0.001 06	0.001 49	0.002 20	0.003 25	0.004 73	0.006 69	0.009 22	0.012 36
30	0.000 82	0.000 91	0.001 15	0.001 61	0.002 38	0.003 53	0.005 13	0.007 26	0.009 99	0.013 40
35	0.000 90	0.000 99	0.001 26	0.001 77	0.002 61	0.003 87	0.005 62	0.007 95	0.010 95	0.014 69
40	0.001 00	0.001 10	0.001 40	0.001 96	0.002 90	0.004 29	0.006 24	0.008 83	0.012 16	0.016 31
45	0.001 12	0.001 24	0.001 57	0.002 21	0.003 26	0.004 84	0.007 03	0.009 95	0.013 70	0.018 38
50	0.001 28	0.001 42	0.001 80	0.002 53	0.003 74	0.005 53	0.008 04	0.011 39	0.015 67	0.021 03
55	0.001 50	0.001 66	0.002 10	0.002 95	0.004 35	0.006 45	0.009 37	0.013 26	0.018 26	0.024 50
60	0.001 78	0.001 97	0.002 49	0.003 50	0.005 17	0.007 66	0.011 14	0.015 76	0.021 70	0.029 11
65	0.002 16	0.002 39	0.003 02	0.004 25	0.006 28	0.009 31	0.013 53	0.019 15	0.026 36	0.035 37
70	0.002 69	0.002 98	0.003 77	0.005 30	0.007 82	0.011 59	0.016 84	0.023 83	0.032 81	0.044 02
75	0.003 44	0.003 81	0.004 82	0.006 77	0.010 00	0.014 82	0.021 54	0.030 48	0.041 96	0.056 31
80	0.004 53	0.005 02	0.006 35	0.008 93	0.013 18	0.019 53	0.028 38	0.040 17	0.055 30	0.074 20
85	0.006 18	0.006 84	0.008 65	0.012 16	0.017 96	0.026 60	0.038 67	—	—	—
90	0.008 73	0.009 67	0.012 22	0.017 18	0.025 37	0.037 59	0.054 63	—	—	—
95	0.012 84	0.014 22	0.017 97	0.025 28	0.037 32	0.055 29	—	—	—	—
100	0.019 74	0.021 86	0.027 63	0.038 86	0.057 39	0.085 02	—	—	—	—

表 239（续）　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
105	0.031 86	0.035 29	0.044 61	0.062 74	0.092 64	—	—	—	—	—
110	0.054 26	0.060 11	0.075 97	0.106 85	—	—	—	—	—	—
115	0.097 99	0.108 54	0.137 18	—	—	—	—	—	—	—
120	0.188 68	0.209 00	—	—	—	—	—	—	—	—
125	0.389 72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：T 为工作环境温度。 S 为实际工作电压与额定电压的比值。										

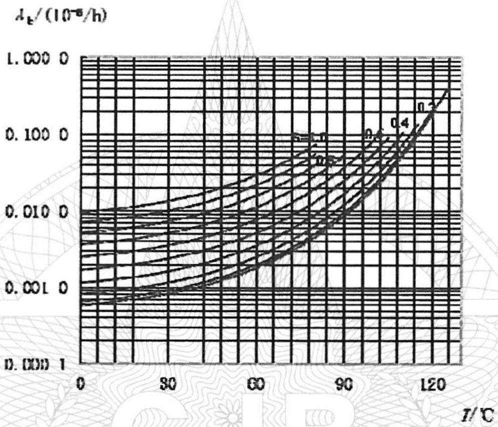

图 43　氧化铌电解电容器基本失效率曲线

表 240　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.5	3.7	3.7	7.0	6.0	3.8	2.4	4.6
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	8.8	9.3	15	5.5	8.0	12	1.0	19	9	—

表 241　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1T}	符合 GJB 2283A—2014，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 T 级产品	—	—
	A_{1S}	符合 GJB 2283A—2014，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	—
	A_{1R}	符合 GJB 2283A—2014，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	—
	A_{1P}	符合 GJB 2283A—2014，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品	—
	A_{1M}	符合 GJB 2283A—2014，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 2283—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品	—
	A_2	符合 GJB 2283A—2014，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 2283—1995，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.5
	B_2	符合 GB/T 2693、GB/T 14121 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 242 电容量系数π_{CV}

电容量 C μF	π_{CV}
$3.3<C\leqslant 15$	1.0
$15<C\leqslant 47$	1.3
$47<C\leqslant 100$	1.6
$100<C\leqslant 220$	1.9
$220<C\leqslant 500$	2.2
$C>500$	2.6

表 243 串联电阻系数π_{SR}

串联电阻 R Ω/V	π_{SR}
$3.0\leqslant R$	0.07
$2.0\leqslant R<3$	0.1
$1.0\leqslant R<2$	0.2
$0.8\leqslant R<1$	0.3
$0.6\leqslant R<0.8$	0.4
$0.4\leqslant R<0.6$	0.6
$0.2\leqslant R<0.4$	0.8
$R<0.2$	1.0
注：串联电阻 R 是电容器与电源之间的回路电阻除以电容器的工作电压。	

5.9.10 可变电容器

工作失效率预计模型见式(63)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_Q \tag{63}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；
λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 244；
π_E——环境系数，见表 245；
π_Q——质量系数，见表 246。

表 244 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
瓷介微调	0.07
玻璃介质微调	0.15
空气介质微调	0.23

表 245 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	2.4	4.8	4.8	9.6	7.0	4.5	2.8	5.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11.5	8.0	21	6.0	10	15	—	—	—	—

表 246 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 728—1989、GJB 1433—1992 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	—	0.25
	A_2	符合 GJB 728—1989、GJB 1433—1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	—	0.35
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.75
	B_2	符合 GB/T 6252、GB/T 6253、GB/T 6254、GB/T 12775、SJ 1583—1980、SJ 1882—1981、SJ 2241—1982、SJ/T 10507—1994 的产品		1.0
C		低档产品		3.0

5.9.11 电容网络

工作失效率预计模型见式(64)。

$$\lambda_P = N\lambda_{P(单)} \qquad (64)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

N——电容器个数；

$\lambda_{P(单)}$——单个电容器的工作失效率，10^{-6}/h。单个电容器的具体工作失效率参见表 205～表 244。

5.10 感性元件

5.10.1 概述

本条对下列感性元件提供失效率预计：

a) 电感器：
   1) 固定电感器；
   2) 可变电感器；
   3) 扼流圈。
b) 片式电感器。
c) 变压器：
   1) 电源变压器；
   2) 脉冲变压器；
   3) 高压变压器；
   4) 音频变压器；
   5) 中频变压器；
   6) 射频变压器。

感性元件的质量等级见表 247，其绝缘等级与额定工作温度的对应关系见表 248。

表 247　质量等级 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明
A	A_1	符合 GJB 675A—2002、GJB 1435—1992、GJB 1521A—2013、GJB 1660—1993、GJB 1661—1993、GJB 1864A—2011、GJB 2829A—2013、GJB 5025—2003、SJ 20037—1992，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 675—1989、GJB 1521—1992、GJB 1864—1994、GJB 2829—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
	A_2	符合 GJB 675A—2002、GJB 1435—1992、GJB 1521A—2013、GJB 1660—1993、GJB 1661—1993、GJB 1864A—2011、GJB 2829A—2013、GJB 5025—2003、SJ 20037—1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 675—1989、GJB 1521—1992、GJB 1864—1994、GJB 2829—1997，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品
B	B_1	符合 GB/T 9367、GB/T 14860、GB/T 15290、GB/T 16512 的产品或按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品	
	B_2	符合 SJ 2461—1984、SJ 2533—1984、SJ 2587—1985、SJ 2605—1985、SJ 2697—1986、SJ/T 2885—2003、SJ 2916—1988、SJ 2917—1988、SJ 2918—1988、SJ 2919—1988、SJ 2920—1988 的产品	
C		低档产品	

表 248　绝缘等级与额定工作温度

单位为摄氏度

绝缘等级	绝缘材料	额定工作温度
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品，以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品，以及易于热分解和溶化点较低的塑料(脲醛树脂)	90
A	工作于矿物油中的和用油或油树脂复合胶浸过的 Y 级材料，漆包线、漆布、漆丝的绝缘及油性漆、沥青漆等	105
E	聚脂薄膜和 A 级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线	120
B	聚脂薄膜、经合适树脂粘合式浸渍涂复的云母、玻璃纤维、石棉等，聚脂漆、聚脂漆包线	130
F	以有机纤维材料补强和石带补强的云母片制品，玻璃丝和石棉，玻璃漆布，以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品，以无机材料作补强和石带补强的云母粉制品，化学热稳定性较好的聚脂和醇酸类材料，复合硅有机聚脂漆	155
H	无补强或以无机材料为补强的云母制品、加厚的 F 级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆、硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰亚胺漆等	180
C	不采用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	>180

5.10.2　电感器

本条对下列电感器类型提供失效率预计：

a)　固定电感器；

b)　可变电感器；

c)　扼流圈。

工作失效率预计模型见式(65)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_C \qquad (65)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，基本失效率见表 249 和图 44；

π_E——环境系数，见表 250；

π_Q——质量系数，见表 251；

π_C——结构系数，见表 252。

表 249　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T_{HS} ℃	绝缘等级			
	Y	A	E、B	F
	额定工作温度			
	90℃	105℃	120℃、130℃	155℃
25	0.003 0	0.002 4	0.001 8	0.001 7
30	0.003 3	0.002 6	0.001 9	0.001 7
35	0.003 8	0.002 8	0.002 0	0.001 8
40	0.004 3	0.003 1	0.002 1	0.001 9
45	0.005 0	0.003 4	0.002 2	0.001 9
50	0.005 7	0.003 7	0.002 3	0.002 0
55	0.006 7	0.004 1	0.002 4	0.002 1
60	0.007 9	0.004 5	0.002 5	0.002 2
65	0.009 5	0.005 0	0.002 7	0.002 3
70	0.011 5	0.005 6	0.002 8	0.002 4
75	0.014 0	0.006 3	0.003 0	0.002 5
80	0.017 3	0.007 1	0.003 1	0.002 6
85	0.021 6	0.008 2	0.003 3	0.002 7
90	0.027 4	0.009 4	0.003 5	0.002 8
95	—	0.010 8	0.003 7	0.003 0
100	—	0.012 6	0.004 0	0.003 1
105	—	0.014 8	0.004 2	0.003 3
110	—	—	0.004 5	0.003 5
115	—	—	0.004 8	0.003 7
120	—	—	0.005 1	0.003 9
125	—	—	0.005 5	0.004 1
130	—	—	0.005 9	0.004 4
135	—	—	—	0.004 7
140	—	—	—	0.005 0
145	—	—	—	0.005 3
150	—	—	—	0.005 7
155	—	—	—	0.006 1

注：T_{HS}为热点温度，$T_{HS}=T+1.1\Delta T$，其中 T 为工作环境温度，ΔT 为平均温升。ΔT 按基础规范中“温升”测量方法(如 GB 8554，SJ 2533 等)进行测量，或采用如下的近似值：对于大功率射频线圈$\Delta T\approx$12℃，对于小功率射频线圈、电感器$\Delta T\approx$5℃。

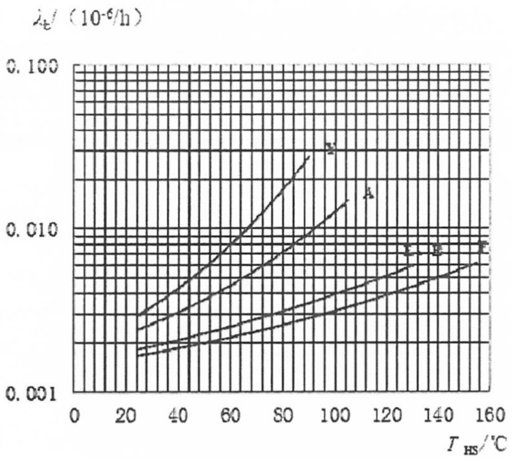

图 44　电感器基本失效率曲线

表 250　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.4	2.0	6.0	8.0	16	10	7.0	2.8	8.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	17	15	20	12	16	19	1.0	40	15	—

表 251　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_2	0.3
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		3.0

表 252　结构系数 π_C

结构	固定电感器	可变电感器	扼流圈
π_C	1.0	2.0	3.0

5.10.3　片式电感器

工作失效率预计模型见式(66)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \tag{66}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；取值为 0.002；

π_E——环境系数，见表 253；

π_Q——质量系数，见表 254；

π_T——温度应力系数，见表 255。

表 253 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.0	6.0	5.5	10	6.5	7.0	2.8	8.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	18	15	21	11	14	16	1.0	40	15	—

表 254 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_1	0.4
	A_2	0.6
B	B_1	0.8
	B_2	1.0
C		3.5

表 255 温度应力系数 π_T

T_{HS} ℃	π_T	T_{HS} ℃	π_T	T_{HS} ℃	π_T
20	0.93	80	1.9	140	3.3
30	1.1	90	2.2	150	3.5
40	1.2	100	2.4	160	3.8
50	1.4	110	2.6	170	4.1
60	1.6	120	2.8	180	4.3
70	1.8	130	3.1	190	4.6
注：T_{HS} 为热点温度，$T_{HS}=T+1.1\Delta T$，其中 T 为工作环境温度，ΔT 为平均温升。ΔT 按基础规范中“温升”测量方法(如 GB 8554，SJ 2533 等)进行测量，或采用如下的近似值：对于大功率射频线圈 $\Delta T\approx12$℃，对于小功率射频线圈、电感器 $\Delta T\approx5$℃。					

5.10.4 变压器

本条对下列变压器类型的工作失效率进行预计：

a) 电源变压器；

b) 脉冲变压器；

c) 高压变压器；

d) 音频变压器；

e) 中频变压器；

f) 射频变压器。

工作失效率预计模型见式(67)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_K \qquad (67)$$

式中：

λ_P ——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b ——基本失效率，10^{-6}/h，见表 256 和图 45；

π_E ——环境系数，见表 257；

π_Q ——质量系数，见表 258；

π_K ——种类系数，见表 259。

表 256　基本失效率λ_b　　　　单位为 10^{-6}/h

T_{HS}	绝缘等级					
	Y	A	E、B	F	H	C
	额定工作温度					
	90℃	105℃	120℃、130℃	155℃	180℃	＞180℃
25	0.011 1	0.008 8	0.006 9	0.005 7	0.004 6	0.003 6
30	0.012 4	0.009 5	0.007 2	0.005 9	0.004 7	0.003 6
35	0.014 0	0.010 3	0.007 6	0.006 1	0.004 8	0.003 7
40	0.016 0	0.011 1	0.007 9	0.006 3	0.004 9	0.003 8
45	0.018 3	0.012 2	0.008 3	0.006 5	0.005 0	0.003 9
50	0.021 3	0.013 3	0.008 7	0.006 8	0.005 1	0.004 0
55	0.024 9	0.014 7	0.009 1	0.007 1	0.005 2	0.004 0
60	0.029 4	0.016 3	0.009 6	0.007 3	0.005 4	0.004 1
65	0.035 1	0.018 1	0.010 1	0.007 7	0.005 5	0.004 2
70	0.042 4	0.020 3	0.010 6	0.008 0	0.005 7	0.004 3
75	0.051 8	0.022 9	0.011 2	0.008 4	0.005 8	0.004 5
80	0.064 0	0.025 9	0.011 8	0.008 7	0.005 9	0.004 6
85	0.080 0	0.029 6	0.012 5	0.009 2	0.006 1	0.004 7
90	0.101 4	0.034 0	0.013 3	0.009 6	0.006 3	0.004 8
95	—	0.039 3	0.014 1	0.010 1	0.006 4	0.004 9
100	—	0.045 7	0.015 0	0.010 6	0.006 6	0.005 1
105	—	0.053 7	0.016 0	0.011 2	0.006 8	0.005 2
110	—	—	0.017 0	0.011 8	0.007 0	0.005 4
115	—	—	0.018 2	0.012 5	0.007 2	0.005 6
120	—	—	0.019 4	0.013 3	0.007 3	0.005 7
125	—	—	0.020 8	0.014 1	0.007 6	0.005 9
130	—	—	0.022 3	0.015 0	0.007 8	0.006 1
135	—	—	—	0.015 9	0.008 0	0.006 3
140	—	—	—	0.017 0	0.008 2	0.006 5
145	—	—	—	0.018 1	0.008 5	0.006 7
150	—	—	—	0.019 4	0.008 7	0.007 0
155	—	—	—	0.020 8	0.009 0	0.007 2
160	—	—	—	—	0.009 2	0.007 5
165	—	—	—	—	0.009 5	0.007 8
170	—	—	—	—	0.009 8	0.008 1
175	—	—	—	—	0.010 1	0.008 4
180	—	—	—	—	0.010 4	0.008 7
185	—	—	—	—	—	0.009 1
190	—	—	—	—	—	0.009 4

表 256(续)　　单位为 10^{-6}/h

T_{HS}	绝缘等级					
	Y	A	E、B	F	H	C
	额定工作温度					
	90℃	105℃	120℃、130℃	155℃	180℃	＞180℃
195	—	—	—	—	—	0.009 8
200	—	—	—	—	—	0.010 3
注：T_{HS} 为热点温度，$T_{HS}=T+1.1\Delta T$，其中 T 为工作环境温度，ΔT 为平均温升。ΔT 按基础规范中“温升”测量方法(如 GB 8554，SJ 2533 等)进行测量，或采用如下方法进行估算：$\Delta T=7.5W_L/(W_t)^{0.6}$ 或 $\Delta T=7.5W_I/(W_t)^{0.6}$，其中，$W_L$ 为变压器重量，kg；W_t 为消耗功率，W；W_I 为输入功率，W。						

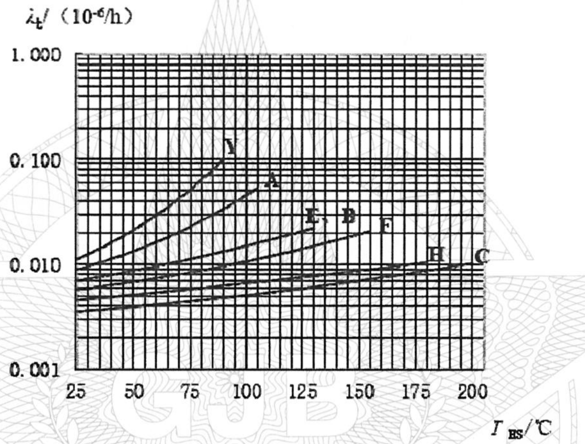

图 45　变压器基本失效率曲线

表 257　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.4	2.0	6.0	8.0	16	10	7.0	2.8	9.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	19	15	21	12	16	20	1.0	40	15	—

表 258　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
A	A_1	0.15
	A_2	0.3
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		3.5

表 259　种类系数 π_K

种类	小功率脉冲变压器	音频变压器 中频变压器	电源变压器 大功率脉冲变压器	高压变压器 射频变压器
π_K	1.0	2.0	5.0	6.0

5.11　继电器

5.11.1　机电继电器

本条对下列类型机电继电器的工作失效率进行预计：

a) 电磁继电器；

b) 真空继电器；

c) 簧管式继电器；

d) 特种继电器，包括：温度继电器、延时继电器、风速继电器、射频继电器；

e) 接触器式继电器。

工作失效率预计模型见式(68)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{C1} \pi_r \pi_{CYC} \pi_A \pi_C \pi_P \qquad (68)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表260～表265及图46～图51；

π_E——环境系数，见表266；

π_Q——质量系数，见表267；

π_{C1}——触点形式系数，见表268；

π_r——额定负载系数，见表269；

π_{CYC}——动作速率系数，见表270；

π_A——应用系数，见表271；

π_C——结构系数，见表272；

π_P——封装系数，见表273。

表260 阻性负载基本失效率λ_b(额定温度85℃) 单位为10^{-6}/h

T ℃	S										
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.051 2	0.051 8	0.054 2	0.058 7	0.065 4	0.075 3	0.089 4	0.109 6	0.138 5	0.180 7	0.243 1
5	0.052 2	0.052 8	0.055 3	0.059 8	0.066 8	0.076 8	0.091 2	0.111 8	0.141 3	0.184 3	0.248 0
10	0.053 4	0.054 0	0.056 6	0.061 2	0.068 3	0.078 6	0.093 3	0.114 4	0.144 6	0.188 6	0.253 7
15	0.054 8	0.055 4	0.058 1	0.062 8	0.070 1	0.080 7	0.095 8	0.117 4	0.148 4	0.193 5	0.260 4
20	0.056 4	0.057 1	0.059 8	0.064 7	0.072 2	0.083 1	0.098 6	0.120 8	0.152 8	0.199 2	0.268 1
25	0.058 3	0.059 0	0.061 8	0.066 9	0.074 6	0.085 8	0.101 9	0.124 9	0.157 9	0.205 9	0.277 1
30	0.060 5	0.061 2	0.064 2	0.069 4	0.077 4	0.089 1	0.105 8	0.129 6	0.163 9	0.213 8	0.287 6
35	0.063 1	0.063 9	0.066 9	0.072 4	0.080 7	0.092 9	0.110 4	0.135 2	0.170 9	0.222 9	0.300 0
40	0.066 2	0.067 0	0.070 2	0.075 9	0.084 6	0.097 4	0.115 7	0.141 8	0.179 2	0.233 7	0.314 5
45	0.069 8	0.070 6	0.074 0	0.080 0	0.089 2	0.102 7	0.122 0	0.149 5	0.188 9	0.246 4	0.331 6
50	0.074 0	0.074 9	0.078 5	0.084 9	0.094 7	0.109 0	0.129 4	0.158 6	0.200 5	0.261 5	0.351 9
55	0.079 1	0.080 1	0.083 9	0.090 7	0.101 2	0.116 5	0.138 3	0.169 5	0.214 2	0.279 4	0.376 0
60	0.085 2	0.086 2	0.090 3	0.097 7	0.109 0	0.125 4	0.148 9	0.182 5	0.230 7	0.300 9	0.404 9
65	0.092 5	0.093 6	0.098 1	0.106 1	0.118 3	0.136 2	0.161 8	0.198 2	0.250 5	0.326 8	0.439 7
70	0.101 4	0.102 6	0.107 5	0.116 3	0.129 7	0.149 3	0.177 3	0.217 2	0.274 6	0.358 1	0.481 9
75	0.112 3	0.113 6	0.119 1	0.128 7	0.143 6	0.165 3	0.196 3	0.240 5	0.304 1	0.396 6	0.533 6
80	0.125 7	0.127 2	0.133 3	0.144 1	0.160 8	0.185 1	0.219 8	0.269 3	0.340 4	0.444 0	0.597 5
85	0.142 5	0.144 2	0.151 1	0.163 4	0.182 2	0.209 8	0.249 1	0.305 2	0.385 8	0.503 2	0.677 1

注：T为工作环境温度。
S为实际触点负载电流与额定触电负载电流的比值。

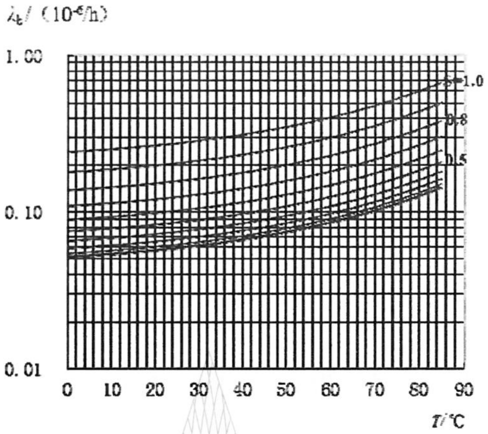

图 46　机电继电器阻性负载基本失效率曲线(额定温度 85℃)

表 261　感性负载基本失效率λ_b(额定温度 85℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.051 8	0.054 2	0.065 4	0.089 4	0.138 5	0.243 1	0.483 5	1.089 6
5	0.052 8	0.055 3	0.066 8	0.091 2	0.141 3	0.248 0	0.493 3	1.111 6
10	0.054 0	0.056 6	0.068 3	0.093 3	0.144 6	0.253 7	0.504 6	1.137 1
15	0.055 4	0.058 1	0.070 1	0.095 8	0.148 4	0.260 4	0.517 8	1.166 9
20	0.057 1	0.059 8	0.072 2	0.098 6	0.152 8	0.268 1	0.533 2	1.201 5
25	0.059 0	0.061 8	0.074 6	0.101 9	0.157 9	0.277 1	0.551 1	1.241 9
30	0.061 2	0.064 2	0.077 4	0.105 8	0.163 9	0.287 6	0.572 0	1.289 1
35	0.063 9	0.066 9	0.080 7	0.110 4	0.170 9	0.300 0	0.596 6	1.344 4
40	0.067 0	0.070 2	0.084 6	0.115 7	0.179 2	0.314 5	0.625 4	1.409 4
45	0.070 6	0.074 0	0.089 2	0.122 0	0.188 9	0.331 6	0.659 5	1.486 1
50	0.074 9	0.078 5	0.094 7	0.129 4	0.200 5	0.351 9	0.699 8	1.577 0
55	0.080 1	0.083 9	0.101 2	0.138 3	0.214 2	0.376 0	0.747 8	1.685 1
60	0.086 2	0.090 3	0.109 0	0.148 9	0.230 7	0.404 9	0.805 2	1.814 6
65	0.093 6	0.098 1	0.118 3	0.161 8	0.250 5	0.439 7	0.874 4	1.970 6
70	0.102 6	0.107 5	0.129 7	0.177 3	0.274 6	0.481 9	0.958 4	2.159 9
75	0.113 6	0.119 1	0.143 6	0.196 3	0.304 1	0.533 6	1.061 3	2.391 6
80	0.127 2	0.133 3	0.160 8	0.219 8	0.340 4	0.597 5	1.188 2	2.677 7
85	0.144 2	0.151 1	0.182 2	0.249 1	0.385 8	0.677 1	1.346 6	3.034 6

注：“-·-·-·-”为电机在额定切换电压下负载电流的额定线，即负载为电机时其负载电流不得超过额定电流的20%。
“——”为电感在额定负载电压下负载电流的额定线，即负载为电感时其负载电流不得超过额定电流的 30%。
T 为工作环境温度。
S 为实际触点负载电流与额定触电负载电流的比值。

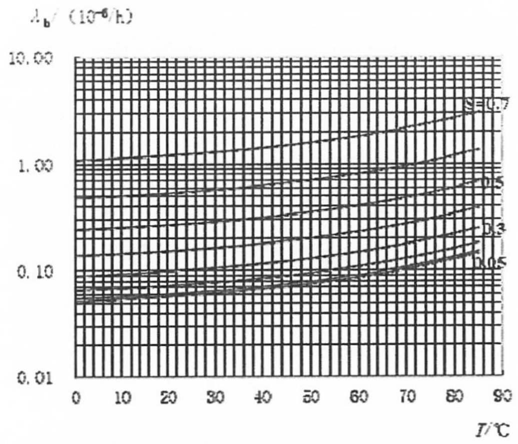

图 47　机电继电器感性负载基本失效率曲线(额定温度 85℃)

表 262　灯负载基本失效率λ_b(额定温度 85℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S					
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4
0	0.054 2	0.065 4	0.089 4	0.138 5	0.483 5	2.782 4
5	0.055 3	0.066 8	0.091 2	0.141 3	0.493 3	2.838 5
10	0.056 6	0.068 3	0.093 3	0.144 6	0.504 6	2.903 8
15	0.058 1	0.070 1	0.095 8	0.148 4	0.517 8	2.979 7
20	0.059 8	0.072 2	0.098 6	0.152 8	0.533 2	3.068 1
25	0.061 8	0.074 6	0.101 9	0.157 9	0.551 1	3.171 3
30	0.064 2	0.077 4	0.105 8	0.163 9	0.572 0	3.291 8
35	0.066 9	0.080 7	0.110 4	0.170 9	0.596 6	3.433 1
40	0.070 2	0.084 6	0.115 7	0.179 2	0.625 4	3.599 1
45	0.074 0	0.089 2	0.122 0	0.188 9	0.659 5	3.794 9
50	0.078 5	0.094 7	0.129 4	0.200 5	0.699 8	4.026 9
55	0.083 9	0.101 2	0.138 3	0.214 2	0.747 8	4.303 1
60	0.090 3	0.109 0	0.148 9	0.230 7	0.805 2	4.633 7
65	0.098 1	0.118 3	0.161 8	0.250 5	0.874 4	5.032 0
70	0.107 5	0.129 7	0.177 3	0.274 6	0.958 4	5.515 5
75	0.119 1	0.143 6	0.196 3	0.304 1	1.061 3	6.107 1
80	0.133 3	0.160 8	0.219 8	0.340 4	1.188 2	6.837 6
85	0.151 1	0.182 2	0.249 1	0.385 8	1.346 6	7.749 0

注：“——”为灯在额定切换电压下负载电流的额定线。
T 为工作环境温度。
S 为实际触点负载电流与额定触电负载电流的比值。

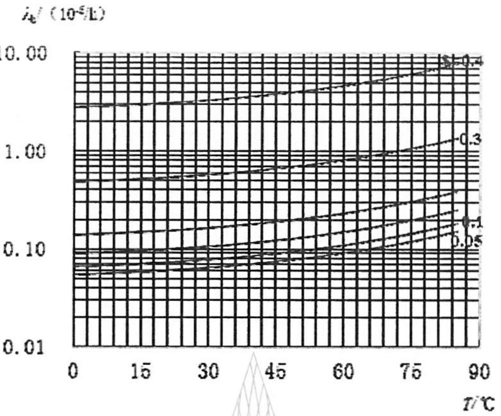

图 48 机电继电器灯负载基本失效率曲线(额定温度 85℃)

表 263 阻性负载基本失效率λ_b(额定温度 125℃) 单位为 10^{-6}/h

T ℃	S 0.05	 0.1	 0.2	 0.3	 0.4	 0.5	 0.6	 0.7	 0.8	 0.9	 1.0
0	0.052 6	0.053 2	0.055 8	0.060 3	0.067 3	0.077 5	0.092 0	0.112 7	0.142 5	0.185 8	0.250 1
5	0.053 6	0.054 2	0.056 8	0.061 4	0.068 5	0.078 9	0.093 7	0.114 8	0.145 1	0.189 2	0.254 6
10	0.054 6	0.055 3	0.057 9	0.062 6	0.069 9	0.080 4	0.095 5	0.117 0	0.147 9	0.192 9	0.259 6
15	0.055 8	0.056 5	0.059 2	0.064 0	0.071 4	0.082 1	0.097 5	0.119 5	0.151 1	0.197 0	0.265 1
20	0.057 1	0.057 8	0.060 5	0.065 4	0.073 0	0.084 0	0.099 8	0.122 3	0.154 6	0.201 6	0.271 3
25	0.058 5	0.059 2	0.062 0	0.067 1	0.074 8	0.086 1	0.102 3	0.125 3	0.158 4	0.206 6	0.278 0
30	0.060 1	0.060 8	0.063 7	0.068 9	0.076 8	0.088 4	0.105 0	0.128 7	0.162 6	0.212 1	0.285 4
35	0.061 8	0.062 5	0.065 5	0.070 8	0.079 0	0.091 0	0.108 0	0.132 4	0.167 3	0.218 2	0.293 6
40	0.063 7	0.064 5	0.067 6	0.073 0	0.081 5	0.093 8	0.111 4	0.136 5	0.172 5	0.225 0	0.302 7
45	0.065 8	0.066 6	0.069 8	0.075 5	0.084 2	0.096 9	0.115 1	0.141 0	0.178 2	0.232 5	0.312 8
50	0.068 2	0.069 0	0.072 3	0.078 2	0.087 2	0.100 4	0.119 2	0.146 0	0.184 6	0.240 8	0.324 0
55	0.070 8	0.071 6	0.075 1	0.081 2	0.090 5	0.104 2	0.123 7	0.151 6	0.191 7	0.250 0	0.336 4
60	0.073 7	0.074 5	0.078 1	0.084 5	0.094 2	0.108 5	0.128 8	0.157 8	0.199 5	0.260 2	0.350 1
65	0.076 9	0.077 8	0.081 5	0.088 2	0.098 4	0.113 2	0.134 5	0.164 7	0.208 2	0.271 6	0.365 5
70	0.080 5	0.081 5	0.085 4	0.092 3	0.103 0	0.118 5	0.140 7	0.172 4	0.218 0	0.284 3	0.382 6
75	0.084 5	0.085 5	0.089 6	0.096 9	0.108 1	0.124 4	0.147 8	0.181 1	0.228 9	0.298 5	0.401 7
80	0.089 0	0.090 1	0.094 4	0.102 1	0.113 9	0.131 1	0.155 7	0.190 7	0.241 1	0.314 5	0.423 1
85	0.094 1	0.095 2	0.099 8	0.107 9	0.120 4	0.138 5	0.164 5	0.201 6	0.254 8	0.332 3	0.447 2
90	0.099 8	0.101 0	0.105 8	0.114 4	0.127 7	0.146 9	0.174 5	0.213 8	0.270 3	0.352 5	0.474 3
95	0.106 2	0.107 5	0.112 7	0.121 8	0.135 9	0.156 4	0.185 7	0.227 6	0.287 7	0.375 2	0.504 9
100	0.113 5	0.114 9	0.120 4	0.130 2	0.145 2	0.167 1	0.198 5	0.243 2	0.307 4	0.401 0	0.539 5
105	0.121 8	0.123 3	0.129 2	0.139 7	0.155 8	0.179 3	0.213 0	0.260 9	0.329 8	0.430 2	0.578 9
110	0.131 2	0.132 8	0.139 2	0.150 5	0.167 9	0.193 2	0.229 5	0.281 1	0.355 4	0.463 5	0.623 7
115	0.142 0	0.143 7	0.150 6	0.162 8	0.181 7	0.209 1	0.248 3	0.304 2	0.384 6	0.501 6	0.675 0
120	0.154 4	0.156 2	0.163 7	0.177 1	0.197 5	0.227 3	0.270 0	0.330 8	0.418 1	0.545 4	0.733 9
125	0.168 7	0.170 7	0.178 9	0.193 4	0.215 8	0.248 4	0.294 9	0.361 4	0.456 8	0.595 8	0.801 7

注：T 为工作环境温度。
S 为实际触点负载电流与额定触电负载电流的比值。

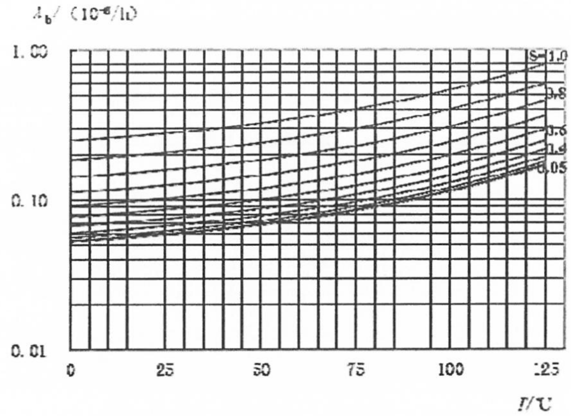

图 49　机电继电器阻性负载基本失效率曲线(额定温度 125℃)

表 264　感性负载基本失效率λ_b(额定温度 125℃)　　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.053 2	0.055 8	0.067 3	0.092 0	0.142 5	0.250 1	0.497 3	1.120 7
5	0.054 2	0.056 8	0.068 5	0.093 7	0.145 1	0.254 6	0.506 3	1.141 1
10	0.055 3	0.057 9	0.069 9	0.095 5	0.147 9	0.259 6	0.516 3	1.163 5
15	0.056 5	0.059 2	0.071 4	0.097 5	0.151 1	0.265 1	0.527 3	1.188 3
20	0.057 8	0.060 5	0.073 0	0.099 8	0.154 6	0.271 3	0.539 4	1.215 7
25	0.059 2	0.062 0	0.074 8	0.102 3	0.158 4	0.278 0	0.552 8	1.245 8
30	0.060 8	0.063 7	0.076 8	0.105 0	0.162 6	0.285 4	0.567 6	1.279 2
35	0.062 5	0.065 5	0.079 0	0.108 0	0.167 3	0.293 6	0.584 0	1.316 0
40	0.064 5	0.067 6	0.081 5	0.111 4	0.172 5	0.302 7	0.602 1	1.356 8
45	0.066 6	0.069 8	0.084 2	0.115 1	0.178 2	0.312 8	0.622 1	1.401 9
50	0.069 0	0.072 3	0.087 2	0.119 2	0.184 6	0.324 0	0.644 3	1.451 9
55	0.071 6	0.075 1	0.090 5	0.123 7	0.191 7	0.336 4	0.668 9	1.507 5
60	0.074 5	0.078 1	0.094 2	0.128 8	0.199 5	0.350 1	0.696 3	1.569 2
65	0.077 8	0.081 5	0.098 4	0.134 5	0.208 2	0.365 5	0.726 8	1.637 9
70	0.081 5	0.085 4	0.103 0	0.140 7	0.218 0	0.382 6	0.760 9	1.714 6
75	0.085 5	0.089 6	0.108 1	0.147 8	0.228 9	0.401 7	0.798 9	1.800 4
80	0.090 1	0.094 4	0.113 9	0.155 7	0.241 1	0.423 1	0.841 5	1.896 4
85	0.095 2	0.099 8	0.120 4	0.164 5	0.254 8	0.447 2	0.889 4	2.004 3
90	0.101 0	0.105 8	0.127 7	0.174 5	0.270 3	0.474 3	0.943 3	2.125 7
95	0.107 5	0.112 7	0.135 9	0.185 7	0.287 7	0.504 9	1.004 1	2.262 8
100	0.114 9	0.120 4	0.145 2	0.198 5	0.307 4	0.539 5	1.073 0	2.418 0
105	0.123 3	0.129 2	0.155 8	0.213 0	0.329 8	0.578 9	1.151 2	2.594 4
110	0.132 8	0.139 2	0.167 9	0.229 5	0.355 4	0.623 7	1.240 4	2.795 3
115	0.143 7	0.150 6	0.181 7	0.248 3	0.384 6	0.675 0	1.342 4	3.025 1
120	0.156 2	0.163 7	0.197 5	0.270 0	0.418 1	0.733 9	1.459 5	3.288 9
125	0.170 7	0.178 9	0.215 8	0.294 9	0.456 8	0.801 7	1.594 4	3.593 0

注：“-·-·-·-”为电机在额定切换电压下负载电流的额定线。
“———”为电感在额定切换电压下负载电流的额定线。
T 为工作环境温度。
S 为实际触点负载电流与额定触电负载电流的比值。

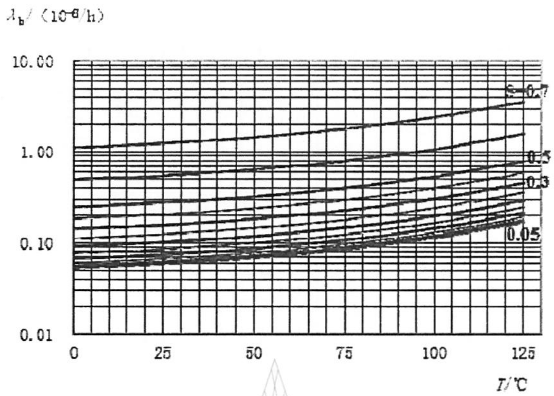

图 50　机电继电器感性负载基本失效率曲线(额定温度 125℃)

表 265　灯负载基本失效率 λ_b(额定温度 125℃)　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	S					
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4
0	0.055 8	0.067 3	0.092 0	0.142 5	0.497 3	2.861 7
5	0.056 8	0.068 5	0.093 7	0.145 1	0.506 3	2.913 8
10	0.057 9	0.069 9	0.095 5	0.147 9	0.516 3	2.971 2
15	0.059 2	0.071 4	0.097 5	0.151 1	0.527 3	3.034 5
20	0.060 5	0.073 0	0.099 8	0.154 6	0.539 4	3.104 3
25	0.062 0	0.074 8	0.102 3	0.158 4	0.552 8	3.181 4
30	0.063 7	0.076 8	0.105 0	0.162 6	0.567 6	3.266 5
35	0.065 5	0.079 0	0.108 0	0.167 3	0.584 0	3.360 6
40	0.067 6	0.081 5	0.111 4	0.172 5	0.602 1	3.464 7
45	0.069 8	0.084 2	0.115 1	0.178 2	0.622 1	3.579 9
50	0.072 3	0.087 2	0.119 2	0.184 6	0.644 3	3.707 6
55	0.075 1	0.090 5	0.123 7	0.191 7	0.668 9	3.849 4
60	0.078 1	0.094 2	0.128 8	0.199 5	0.696 3	4.007 1
65	0.081 5	0.098 4	0.134 5	0.208 2	0.726 8	4.182 6
70	0.085 4	0.103 0	0.140 7	0.218 0	0.760 9	4.378 5
75	0.089 6	0.108 1	0.147 8	0.228 9	0.798 9	4.597 4
80	0.094 4	0.113 9	0.155 7	0.241 1	0.841 5	4.842 7
85	0.099 8	0.120 4	0.164 5	0.254 8	0.889 4	5.118 1
90	0.105 8	0.127 7	0.174 5	0.270 3	0.943 3	5.428 2
95	0.112 7	0.135 9	0.185 7	0.287 7	1.004 1	5.778 3
100	0.120 4	0.145 2	0.198 5	0.307 4	1.073 0	6.174 7
105	0.129 2	0.155 8	0.213 0	0.329 8	1.151 2	6.624 9
110	0.139 2	0.167 9	0.229 5	0.355 4	1.240 4	7.138 1
115	0.150 6	0.181 7	0.248 3	0.384 6	1.342 4	7.724 9
120	0.163 7	0.197 5	0.270 0	0.418 1	1.459 5	8.398 6
125	0.178 9	0.215 8	0.294 9	0.456 8	1.594 4	9.175 0

注:“——”为灯在额定切换电压下负载电流的额定线。
T 为工作环境温度。
S 为实际触点负载电流与额定触电负载电流的比值。

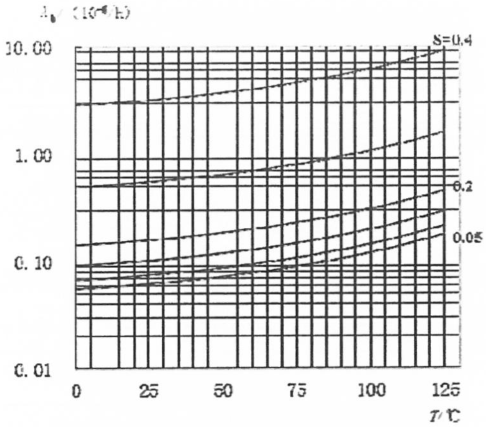

图 51　机电继电器灯负载基本失效率曲线(额定温度 125℃)

表 266　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3.0	4.0	8.5	6.0	5.0	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	14	6.0	11	4.5	8.0	31	1.0	45	22	－

表 267　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1R}	符合 GJB 65B－1999、GJB 2888A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 R 级产品	符合 GJB 65A－1991，GJB 2888－1997 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Q 级产品	－
	A_{1P}	符合 GJB 65B－1999、GJB 2888A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 P 级产品 符合 GJB 1461－1992，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品	符合 GJB 65A－1991，GJB 2888－1997 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品	0.08
	A_{1M}	符合 GJB 65B－1999、GJB 2888A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 M 级产品 符合 GJB 1461－1992，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品	符合 GJB 65A－1991，GJB 2888－1997 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 W 级产品	0.15
	A_{1L}	符合 GJB 65B－1999、GJB 2888A－2011，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 L 级产品 符合 GJB 1461－1992，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Y 级产品 符合 GJB 1042A－2002、GJB 1429－1992、GJB 1434－1992、GJB 1436－1992、GJB 1513A－2009、GJB 1514－1992、GJB 1517A－2011、GJB 2449－1995、GJB 2820－1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 65A－1991，GJB 2888－1997 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Y 级产品 符合 GJB 1042－1990、GJB 1513－1992、GJB 1517－1992，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
	A_2	符合 GJB 65B－1999、GJB 1042A－2002、GJB 1429－1992、GJB 1434－1992、GJB 1436－1992、GJB 1513A－2009、GJB 1514－1992、GJB 1517A－2011、GJB 2449－1995、GJB 2820－1997、GJB 2888A－2011，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 65A－1991、GJB 2888－1997、GJB 1042－1990、GJB 1513－1992、GJB 1517－1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.3

表 267(续)

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.6
	B_2	符合 SJ 2386—1983、SJ 2456—1984 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 268　触点系数 π_{C1}

触点数	π_{C1}
1	1.0
2	1.5
3	2.0
4	2.5
6	4.2
8	5.5
12	8.0
注：表中的触点数是指有效传导触点数，如双刀双掷按 4 个有效传导触点计。	

表 269　额定负载系数 π_r

触点负载额定值 I A	$I\leqslant1$	$1<I<10$	$10\leqslant I<50$	$I\geqslant50$
π_r	1.2	1.0	2.0	3.0

表 270　动作速率系数 π_{CYC}

动作速率 f 次/时	π_{CYC}
>1	$f/10$
≤1	0.1
注：超过继电器设计极限的动作速率则 π_{CYC} 值无效。	

表 271　应用系数 π_A

应用类别		π_A
通用	弱功率	0.42
	中功率	0.20
	强功率	0.90
灵敏		1.7
高速		3.0
磁保持		0.96
振簧		1.0
电子延时		2.6
热延时		3.0
温度		2.8
高压		3.0
射频		2.8
风速		17.2

表 272　结构系数π_C

结构形式	π_C
平衡衔铁	5.0
衔铁式	3.5
磁保持	3.2
干簧	3.0
湿簧	1.0
双金属	5.0
真空(玻璃)	7.0
真空(陶瓷)	2.4
螺管式(接触器)	10

表 273　封装系数π_P

封装结构	气密性密封 (漏率小于或等于 1×10^{-3} Pa・cm^3/s)	密封 (漏率小于或等于 1×10^{-1} Pa・cm^3/s)	塑料和环氧树脂封装
π_P	0.4	1.0	3.0

5.11.2　固体继电器

详细预计固体继电器工作失效率的方法是采用元器件应力分析可靠性预计法，将构成固体继电器的所有单个元器件的失效率相加，而单个元器件的失效率可由本章所提供的模型给出。如果缺乏应力分析信息，单个元器件的失效率可由第 6 章所提供的通用失效率近似地给出。

如果缺乏产品的元器件清单和线路图，还可采用式(69)较简便、合适的近似预计模型：

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_L \pi_{C2} \pi_P \pi_S \quad \cdots\cdots (69)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.125；

π_E——环境系数，见表 274；

π_Q——质量系数，见表 275；

π_L——成熟系数，见表 276；

π_{C2}——结构系数，$\pi_{C2}=N(1.1)^{(N-1)}$，N 为输出电路路数；

π_P——封装系数，见表 277；

π_S——电应力系数，$\pi_S=\pi_{SI}\,\pi_{SV}$；

π_{SI}——输出电流系数，见表 278；

π_{SV}——瞬态电压系数，见表 279。

表 274　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	2.0	5.5	6.0	11	7.5	6.3	4.0	8.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	14	15	20	8.5	12	16	0.8	30	14	－

表 275 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1Y}	符合 GJB 1515A—2001 按 Y 级筛选，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1515—1992 按 Y 级筛选，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.15
	A_{1W}	符合 GJB 1515A—2001 按 W 级筛选，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1515—1992 按 W 级筛选，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.30
	A_2	符合 GJB 1515A—2001，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Y 级筛选产品	符合 GJB 1515—1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 Y 级筛选产品	0.40
B	B_1	执行 GJB 1515A—2001 经 W 级筛选的产品	执行 GJB 1515—1992 经 W 级筛选的产品	0.50
	B_2	符合国家标准的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 276 成熟系数 π_L

成熟程度	符合相应的标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或新投产的初批次产品；设计或工艺上有重大变更；长期中断生产或生产线有重大变化
π_L	1.0	3.0	10

表 277 封装系数 π_P

封装结构	气密性密封 (漏率小于或等于 1×10^{-3} Pa • cm³/s)	密封 (漏率小于或等于 1×10^{-1} Pa • cm³/s)	塑料和环氧树脂封装
π_P	0.4	1.0	3.0

表 278 输出电流系数 π_{SI}

$\frac{I}{I_M}$	$\frac{I_{TM}}{I_M}$												
	2.0	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
≤0.1	0.150	0.247	0.333	0.406	0.449	0.497	0.549	0.607	0.670	0.741	0.819	0.905	1.000
0.2	0.166	0.273	0.368	0.449	0.497	0.549	0.607	0.670	0.741	0.819	0.905	1.000	—
0.3	0.183	0.301	0.406	0.497	0.549	0.607	0.670	0.741	0.819	0.905	1.000	—	—
0.4	0.202	0.333	0.449	0.549	0.607	0.670	0.741	0.810	0.905	1.000	—	—	—
0.5	0.223	0.368	0.497	0.607	0.670	0.741	0.819	0.905	1.000	—	—	—	—
0.6	0.247	0.406	0.549	0.670	0.741	0.819	0.905	1.000	—	—	—	—	—
0.7	0.273	0.449	0.607	0.741	0.819	0.905	1.000	—	—	—	—	—	—
0.8	0.301	0.497	0.670	0.819	0.905	1.000	—	—	—	—	—	—	—
0.9	0.333	0.549	0.741	0.905	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.368	0.607	0.819	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：I 为实际输出电流，A。
I_M 为产品说明书规定的最大输出电流，A。
I_{TM} 为按产品的输出电流—环境温度曲线(或其延长线)，在工作环境温度下允许的最大输出电流，A。

表 279 瞬态电压系数 π_{SV}

$\frac{V_T}{V_{TM}}$	≤0.5	0.6	0.8	1.0
π_{SV}	1.0	1.2	2.0	3.0

注：V_T 为实际加至继电器输出端的瞬态电压峰值，V。
V_{TM} 为产品说明书规定的瞬态电压最大值，V。

5.12 开关

本条对下列类型开关的工作失效率进行预计：

a) 旋转开关；

b） 微动开关；

c） 钮子开关；

d） 按钮开关；

e） 滑动开关；

f） 行程开关。

工作失效率预计模型见式(70)。

$$\lambda_P = (\lambda_{b1} + \lambda_{b2})\pi_E \pi_Q \pi_L \pi_{CYC} \tag{70}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{b1}——开关驱动机构的基本失效率，10^{-6}/h，见表 280；

λ_{b2}——开关有源接点的基本失效率，10^{-6}/h，除微动开关和行程开关 $\lambda_{b2}=0$ 外，其他开关 λ_{b2} 取值见表 281，开关有源接点数的确定见表 282；

π_E——环境系数，见表 283；

π_Q——质量系数，见表 284；

π_L——触点负载系数，见表 285；

π_{CYC}——开关速率系数，见表 286。

表 280　开关驱动机构的基本失效率 λ_{b1}　　单位为 10^{-6}/h

类型	旋转式	微动式	钮子式	按钮式	滑动式	行程式
λ_{b1}	0.032	0.028	0.023	0.01	0.03	0.035

表 281　开关有源接点的基本失效率 λ_{b2}　　单位为 10^{-6}/h

N	2	3	4	6	8	9	10	12	18	N
λ_{b2}	0.002	0.004	0.006	0.010	0.014	0.016	0.018	0.022	0.034	0.002(N－1)
注：N 为有源接点数，指实际可接通电流的动触点数，有源接点数的确定可见表 282。										

表 282　有源接点数的确定

触点形式	有源接点数 N
1 刀单掷	1
2 刀单掷	2
1 刀双掷	2
3 刀单掷	3
4 刀单掷	4
2 刀双掷	4
3 刀双掷	6
4 刀双掷	8
6 刀双掷	12
注：仅适用于旋转开关、钮子开关、按钮开关与滑动开关。	

表 283　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.0	3.5	6.4	8.0	7.0	4.0	3.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	11	6.0	9.0	3.3	5.3	16	1.0	45	22	－

表 284　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 734A—2002、GJB 735—1989、GJB 809A—1997、GJB 974—1990、GJB 1315—1991、GJB 1512A—2011、GJB 1519—1992、GJB 1609—1993、GJB 1658—1993、GJB 2450A—2012，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 734—1989、GJB 809—1990、GJB 1512—1992、GJB 2450—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.3
	A_2	符合 GJB 734A—2002、GJB 735—1989、GJB 809A—1997、GJB 974—1990、GJB 1315—1991、GJB 1512A—2011、GJB 1519—1992、GJB 1609—1993、GJB 1658—1993、GJB 2450A—2012，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 734—1989、GJB 809—1990、GJB 1512—1992、GJB 2450—1995，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.45
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的B_2质量等级的产品	—	0.6
	B_2	符合 GB/T 9536、GB/T 9537、GB/T 13416、SJ 737—1983、SJ 1515—1979、SJ 1752—1981、SJ 2407—1983、SJ 2566—1985 的产品	—	1.0
C		低档产品	—	5.0

表 285　触点负载系数π_L

S	负载		
	阻性	感性	灯
0.05	1.00	1.02	1.06
0.1	1.02	1.06	1.28
0.2	1.06	1.28	2.72
0.3	1.15	1.76	9.49
0.4	1.28	2.72	54.6
0.5	1.48	4.77	—
0.6	1.76	9.49	—
0.7	2.15	21.4	—
0.8	2.72	—	—
0.9	3.55	—	—
1.0	4.77	—	—
注：S=工作负载电流/额定阻性负载电流。			

表 286　开关速率系数π_{CYC}

速率f 次/天	≤1	>1
π_{CYC}	0.1	$f/10$

5.13　电连接器

本条对下列类型电连接器的工作失效率进行预计：

a)　低频连接器：圆形连接器、矩形连接器、印制电路连接器；

b) 射频同轴连接器。

工作失效率预计模型见式(71)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_P \pi_K \pi_C \quad (71)$$

式中:

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h;

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h。其中低频连接器基本失效率见表 287，见图 52 和图 53；射频同轴连接器的基本失效率为 0.002 6;

π_E——环境系数，见表 290;

π_Q——质量系数，见表 291;

π_P——接触件系数，见表 292;

π_K——插拔系数，见表 293;

π_C——插孔结构系数，见表 294。

工作失效率预计模型适用于成对匹配的连接器；对于单个连接器(射频连接器除外)，λ_P 乘以 0.5；对于射频连接器，插头失效率为λ_P乘以 0.4，插座失效率为λ_P乘以 0.6；对于混装结构的连接器，应分别计算其单个连接器的失效率。

表 287 低频连接器基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

T ℃	绝缘安装板材料	
	I 类	II 类
10	0.002 4	0.005 3
20	0.003 4	0.007 1
30	0.004 8	0.009 4
40	0.006 5	0.012 4
50	0.008 9	0.016 4
60	0.012 0	0.021 6
70	0.016 1	0.028 5
80	0.021 5	0.037 7
90	0.028 7	0.050 1
100	0.038 3	0.067 0
110	0.051 2	0.090 4
120	0.068 8	0.123 0
130	0.092 9	0.169 4
140	0.126 5	—
150	0.173 9	—
注：T 为工作温度，为环境温度与温升之和，不同接触件电流下的绝缘安装板材料温升见表 288。 绝缘安装板材料的分类见表 289。		

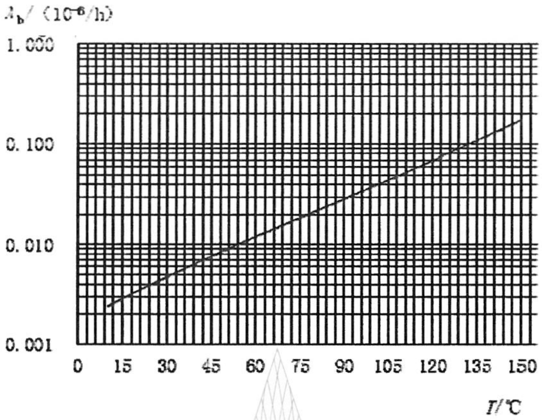

图 52　使用 I 类绝缘安装材料的低频连接器基本失效率曲线

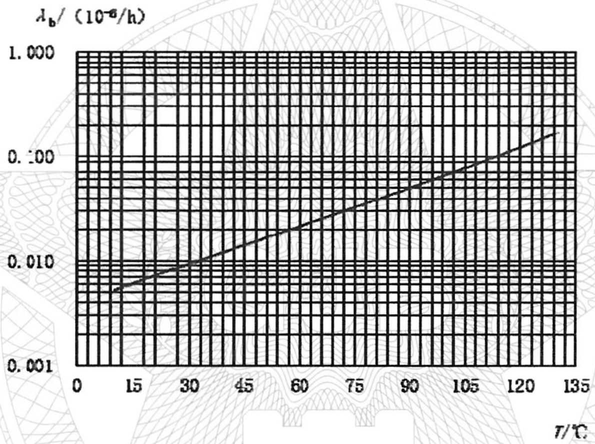

图 53　使用 II 类绝缘安装材料的低频连接器基本失效率曲线

表 288　不同接触件电流下的绝缘安装板材料温升

单位为摄氏度

I A/个	接触件直径 mm									
	≤0.6	0.8	1	1.5	2	2.5	3.3	4.1	5.2	≥6.5
2	5.0	3.6	2.3	1.0	0.5	0.4	0.2	0.1	0.04	0.01
3	10.7	7.5	4.9	2.1	1.1	0.8	0.4	0.2	0.08	0.03
4	18.2	12.9	8.3	3.6	1.8	1.3	0.6	0.3	0.13	0.05
5	27.5	19.4	12.6	5.4	2.7	2.0	1.0	0.4	0.2	0.08
6	38.5	27.2	17.6	7.5	3.9	2.8	1.4	0.6	0.28	0.11
7	51.2	36.2	23.4	10.0	5.1	3.7	1.8	0.7	0.37	0.15
8	65.6	46.3	30.0	12.8	6.6	4.7	2.3	0.9	0.47	0.19
9	81.6	57.6	37.3	16.0	8.2	5.8	2.9	1.2	0.58	0.23
10	—	70.0	45.3	19.4	9.9	7.1	3.5	1.4	0.71	0.28
15	—	—	95.9	41.1	21.0	15.0	7.5	3.0	1.5	0.60
20	—	—	—	69.9	35.7	25.5	12.8	5.1	2.55	1.02
25	—	—	—	105.7	54.0	38.6	19.3	7.7	3.86	1.54
30	—	—	—	—	75.6	54.0	27.0	10.8	5.4	2.16
35	—	—	—	—	100.6	71.9	35.9	14.4	7.19	2.87
40	—	—	—	—	—	92.0	46.0	18.4	9.2	3.68

表 288（续） 单位为摄氏度

I A/个	接触件直径 mm									
	≤0.6	0.8	1	1.5	2	2.5	3.3	4.1	5.2	≥6.5
45	—	—	—	—	—	—	57.2	22.9	11.4	4.58
50	—	—	—	—	—	—	69.5	27.8	13.9	5.56
55	—	—	—	—	—	—	—	33.2	16.6	6.63
60	—	—	—	—	—	—	—	39.0	19.5	7.79
65	—	—	—	—	—	—	—	—	22.6	9.04
70	—	—	—	—	—	—	—	—	25.9	10.36
75	—	—	—	—	—	—	—	—	29.4	11.77
80	—	—	—	—	—	—	—	—	33.2	13.27
注：如接触件直径为英制单位，则转换为国际单位后近似选取。 应对照相关标准，实际接触件上通过的电流应不得超过规定的值。										

表 289 绝缘安装板材料分类

类别	常用绝缘安装板材料	温度范围 ℃
I	聚酰亚胺、聚四氟乙烯、聚醚醚酮	−55～250
	硅橡胶、氟橡胶、氟硅橡胶、聚苯硫醚、环氧模塑料	−55～200
	酚醛玻纤塑料	−55～180
	聚砜、聚醚砜、聚醚酰亚胺	−55～170
II	增强尼龙、增强聚酰胺、聚碳酸脂、增强聚酯塑料	−55～120
	普通酚醛塑料、聚苯醚、聚丙烯	−55～100
	聚氯丁烯	−55～90
	聚氯乙烯	−55～80

表 290 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.4	1.5	3.0	3.8	6.2	5.2	2.5	2.0	4.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	4.3	8.4	2.6	5.6	16.5	1.0	14	6	—

表 291 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 142B—2011、GJB 176A—1998、GJB 177A—1999、GJB 598A—1996、GJB 599B—2012、GJB 600A—2001、GJB 680A—2009、GJB 681A—2002、GJB 970—1990、GJB 976A—2009、GJB 978A—1997、GJB 1212A—2011、GJB 1438A—2006、GJB 2281—1995、GJB 2444—1995、GJB 2445—1995、GJB 2446A—2011、GJB 2447—1995、GJB 2889—1997、GJB 2905A—2004、GJB 3016A—2011、GJB 3234—1998、GJB 4337—2002、GJB 5371—2005，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 101A—1997、GJB 142A—1994、GJB 176—1986、GJB 177—1986、GJB 599A—1993、GJB 598—1988、GJB 600—1988、GJB 680—1989、GJB 681—1989、GJB 976—1990、GJB 1212—1991、GJB 1438—1992、GJB 2446—1995、GJB 2905—1997、GJB 3016—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.2

表 291（续）

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_2	符合 GJB 142B—2011、GJB 176A—1998、GJB 177A—1999、GJB 598A—1996、GJB 599B—2012、GJB 600A—2001、GJB 680A—2009、GJB 681A—2002、GJB 970—1990、GJB 976A—2009、GJB 978A—1997、GJB 1212A—2011、GJB 1438A—2006、GJB 2281—1995、GJB 2444—1995、GJB 2445—1995、GJB 2446A—2011、GJB 2447—1995、GJB 2889—1997、GJB 2905A—2004、GJB 3016A—2011、GJB 3234—1998、GJB 4337—2002、GJB 5371—2005，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 101A—1997、GJB 142A—1994、GJB 176—1986、GJB 177—1986、GJB 599A—1993、GJB 598—1988、GJB 600—1988、GJB 680—1989、GJB 681—1989、GJB 976—1990、GJB 1212—1991、GJB 1438—1992、GJB 2446—1995、GJB 2905—1997、GJB 3016—1997，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.35
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.7
	B_2	符合 GB/T 6643、GB/T 9020、GB/T 9538、GB/T 11313、SJ 497—1983 的产品		1.0
C		低档产品		4.0

表 292　接触件系数 π_P

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
π_P	1.00	1.33	1.52	1.69	1.84	1.99	2.14	2.28	2.43	2.57	2.72	2.77	2.82	2.87	2.91
n	16	17	18	19	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
π_P	2.96	3.00	3.04	3.08	3.12	3.29	3.45	3.59	3.72	3.84	3.95	4.06	4.16	4.26	4.36
n	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
π_P	4.45	4.54	4.62	4.70	4.78	4.86	6.02	6.15	6.28	6.41	6.53	6.65	6.78	6.90	7.01
n	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	210	220	230	240
π_P	7.13	7.25	7.37	7.48	7.60	7.71	7.82	7.93	8.04	8.16	8.27	8.48	8.70	8.91	9.13
n	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
π_P	9.34	9.54	9.75	9.96	10.16	10.36	10.57	10.77	10.97	11.17	11.37	11.56	11.76	11.96	12.15
n	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	550	600	650	700
π_P	12.35	12.54	12.73	12.93	13.12	13.31	13.50	13.69	13.88	14.08	14.27	15.21	16.15	17.09	18.02
n	750	800	850	900	950	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	2 000	2 500	3 000	4 000
π_P	18.95	19.88	20.81	21.74	22.67	23.61	25.48	27.36	29.25	31.16	33.08	42.95	53.30	64.16	87.52
注：n 为实际使用的接触件数。															

表 293　插拔系数 π_K

插拔速率 f 次/10^3 时	$f \leqslant 0.5$	$0.5 < f < 5$	$5 \leqslant f < 50$	$f \geqslant 50$
π_K	1.0	1.5	2.0	3.0

表 294 插孔结构系数π_C

插孔结构	簧片	针孔	刷式	线簧	绞线插针
π_C	1.0	0.2	0.05	0.06	0.1

5.14 微特电机

5.14.1 电动机和风机

工作失效率预计模型见式(72)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \cdots\cdots (72)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 295；

π_E——环境系数，见表 296；

π_Q——质量系数，见表 297。

表 295 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

种类	使用状态			
	高速 ＞10 000r/min	中速 ≥1 000r/min ≤10 000r/min	低速 ＜1 000r/min	整流式
普通电动机	1.07	0.99	0.17	7.6
风机	2.08	1.2	0.68	—
注：电机绝缘等级不低于 105℃，电机金属外壳温升不大于 40℃，并在使用期内应定期检修、维护和更换电刷。				

表 296 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	2.5	4.0	10	5.5	5.0	2.3	6.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	13	5.0	15	3.3	9.6	16	1.0	21.6	11	—

表 297 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 361A—1997、GJB 777A—1997、GJB 783B—2011、GJB 787A—1999、GJB 789A—1999、GJB 971A—1999、GJB 1423—1992、GJB 1457—1992、GJB 1641—1993、GJB 1684—1993、GJB 1780—1993、GJB 1786—1993、GJB 1863—1994、GJB 1937—1994、GJB 2147—1994、GJB 2441A—2012、GJB 2549—1995、GJB 2821—1997、GJB 2822—1997、GJB 3145—1998、GJB 3146—1998、GJB 3163—1998、GJB 3513—1999、GJB 5248—2004、SJ 20039—1992、SJ 20344—1993，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 361—1987、GJB 777—1989、GJB 783A—1999、GJB 787—1989、GJB 789—1989、GJB 971—1990、GJB 2441—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.5

表 297(续)

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_2	符合 GJB 361A—1997、GJB 777A—1997、GJB 783B—2011、GJB 787A—1999、GJB 789A—1999、GJB 971A—1999、GJB 1423—1992、GJB 1457—1992、GJB 1641—1993、GJB 1684—1993、GJB 1780—1993、GJB 1786—1993、GJB 1863—1994、GJB 1937—1994、GJB 2147—1994、GJB 2441A—2012、GJB 2549—1995、GJB 2821—1997、GJB 2822—1997、GJB 3145—1998、GJB 3146—1998、GJB 3163—1998、GJB 3513—1999、GJB 5248—2004、SJ 20039—1992、SJ 20344—1993，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 361—1987、GJB 777—1989、GJB 783A—1999、GJB 787—1989、GJB 789—1989、GJB 971—1990、GJB 2441—1995，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.65
B	B_1	符合 GB/T 2658、GB/T 7344、GB/T 7345、GB/T 10401、GB/T 10402、GB 13139 的产品		0.8
	B_2	符合 SJ 2670—1986、SJ/Z 9129—1987、SJ/T 10474—1994、SJ/T 10475—1994、SJ/T 10476—1994、SJ/T 11049—1996 的产品		1.0
C		低档产品		2.5

5.14.2 自整角机和旋转变压器

自整角机和旋转变压器为低速低负载电机，其工作失效率预计模型见式(73)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad (73)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 298；

π_E——环境系数，见表 299；

π_Q——质量系数，见表 300。

表 298 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

使用状态	转速f<10 次/分	转速f>10 次/分
λ_b	0.15	$0.15\times\frac{f}{10}$
注：电机绝缘等级不低于105℃，外壳温升不大于40℃，并在使用期内应定期检修、维护和更换电刷。		

表 299 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	2.5	4.0	10	4.5	5.0	2.3	6.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	13	5.0	15	3.3	9.6	16	1.0	21.6	11	—

表 300 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 788A—1999、GJB 929A—1998、GJB 1421—1992、GJB 1642—1993、GJB 1652—1993、GJB 1939—1994、GJB 2143—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 788—1989、GJB 929—1990，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.5
	A_2	符合 GJB 788A—1999、GJB 929A—1998、GJB 1421—1992、GJB 1642—1993、GJB 1652—1993、GJB 1939—1994、GJB 2143—1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 788—1989、GJB 929—1990，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.7
B		符合 GB/T 10241、GB/T 10404 的产品		1.0
C		低档产品		2.5

5.14.3 时间累加器

工作失效率预计模型见式(74)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \quad (74)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 301；

π_E——环境系数，见表 302；

π_Q——质量系数，见表 303；

π_T——温度应力系数，见表 304。

表 301 基本失效率λ_b 单位为 10^{-6}/h

种类	普通(交直流)	可逆驱动	整流子式直流
λ_b	1.37	2.1	4.9

表 302 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	2.5	5.0	12	6.0	7.0	3.5	8.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	16	7.7	20	4.8	12.8	21	1.0	30.4	14	—

表 303 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 2162—1994、GJB 2163—1994、GJB 2624—1996、GJB 2844—1997、GJB 3027—1997，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.5
	A_2	符合 GJB 2162—1994、GJB 2163—1994、GJB 2624—1996、GJB 2844—1997、GJB 3027—1997，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.7
B		符合国家标准的产品	1.0
C		低档产品	2.5

表 304 温度应力系数π_T

S=工作温度/额定温度	$S\leq0.5$	$0.5<S\leq0.6$	$0.6<S\leq0.8$	$0.8<S\leq1.0$
π_T	0.8	1.0	1.2	1.7

5.15 印制板、焊接点与 SMT 互连

5.15.1 印制板

工作失效率预计模型见式(75)。

$$\lambda_P = (\lambda_{b1} N + \lambda_{b2}) \pi_E \pi_Q \pi_C \quad (75)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{b1}，λ_{b2}——基本失效率，10^{-6}/h，λ_{b1} 取值为 0.000 07，λ_{b2} 取值为 0.000 4；

N——使用的金属化孔数；

π_E——环境系数，见表 305；
π_Q——质量系数，见表 306；
π_C——复杂度系数，见表 307(单面板的 π_C 取 1.0)。

表 305　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.0	4.0	4.0	8.0	7.0	4.5	4.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	13	8.0	20	5.0	10	22	1.0	30	14	—

表 306　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 362A—1996，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.3
	A_2	符合 GJB 362A—1996，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.5
B		符合 GB/T 4588.1、GB/T 4588.2、GB/T 4588.4、GB/T 4588.10、GB/T 14515、GB/T 14516、GB/T 16261、SJ 202—1981、SJ/Z 9130—1987、SJ/T 11051—1996 的产品	1.0
C		低档产品	4.5

表 307　复杂度系数 π_C

电路板层数 L	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
π_C	1.0	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7

5.15.2　焊接点

工作失效率预计模型见式(76)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \cdots\cdots (76)$$

式中：
λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；
λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 308；
π_E——环境系数，见表 309；
π_Q——质量系数，见表 310。

表 308　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
再流焊	0.000 051
浸焊	0.000 088
有绕接烙铁焊	0.000 032
无绕接烙铁焊	0.000 210
印制板的烙铁焊	0.000 072
熔接	0.000 150
绕接	0.000 018
压接	0.000 510
夹接	0.000 370

表 309　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	2.0	4.0	4.0	7.0	5.5	4.5	4.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	6.0	11	4.0	6.0	16	1.0	25	12	—

表 310　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	质量要求说明	π_Q
A	实施严格的质量监控程序及修补缺陷	0.25
B	按常规程序进行焊接	1.0
C	低档	5.0

5.15.3　SMT 互连

SMT 互连可靠性预计模型用于估计表面安装元器件与电路板之间的连接失效率，该预计模型提供了一种关于这种连接失效的相对度量方法，“最薄弱连接”的 SMT 由于热循环疲劳失效导致电路板失效。要对电路板上的所有表面安装元器件(SMC/SMD)进行可靠性预计，其中最大的失效率值(最薄弱连接)定为由于 SMT 连接导致的失效率。

这种连接的“最薄弱连接”往往出现在电路板中尺寸最大的 SMC/SMD 处，该预计模型假设“最薄弱连接”失效后，电路板报废，本预计模型未考虑焊接缺陷造成的影响。

λ_{SMT}是在期望的设备寿命周期中由于“最薄弱连接”的表面贴装器件的热循环疲劳引起的平均失效率。其预计模型见式(77)。

$$\lambda_{SMT} = A\lambda_b \quad\cdots\cdots(77)$$

式中：

A——失效率水平调整系数，见表 311。A 可由$\lambda_b L_C$确定，其中L_C为电路板所在设备的设计寿命周期，h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见式(78)。

$$\lambda_b = \frac{\left(\dfrac{d}{h}\left|(\alpha_S \Delta T - \alpha_{CC}(\Delta T + T_{RISE}))\right| \times 10^{-6}\right)^{2.26}}{27.7} C_R \cdot \pi_C \quad\cdots\cdots(78)$$

式中：

d——从器件中心到最远的焊接点的距离，mm；

h——无管脚器件的焊接点高度，mm。对于所有有管脚安装，默认为 0.203 2mm；

α_S——电路板底板热膨胀系数(CTE)，ppm/℃，见表 312；

ΔT——使用环境温度极值之间的温差，见表 313；

α_{CC}——封装材料热膨胀系数(CTE)，ppm/℃，见表 314；

T_{RISE}——由于功耗引起的温升，见式(79)。

$$T_{RISE} = R_{th(j-c)} P \quad\cdots\cdots(79)$$

式中：

$R_{th(j-c)}$——热阻，℃/W；

P ——功耗，W；

C_R ——温度循环率系数，见表 315；

π_C ——元器件引线结构系数，见表 316。

表 311　失效率水平调整参数 A

$\lambda_b L_C$	A
0～0.30	0.13
0.31～0.6	0.31
0.61～0.8	0.51
0.81～0.90	0.6
＞0.90	1.0

表 312　电路板底板热膨胀系数 α_S 缺省值　　单位为百万分率每摄氏度

基座材料	α_S	基座材料	α_S
环氧树脂覆铜箔板	15	陶瓷多层板	7
玻璃布－环氧树脂覆铜(FR－4)叠层板	18	包铜的镍铁合金	5
玻璃布－环氧树脂覆铜(FR－4)多层板	20	包铜的钼	5
玻璃布－环氧树脂覆铜(FR－4)多层板/包铜的镍铁合金	11	碳纤维/环氧合成物	1
耐热玻璃布－环氧树脂覆铜箔板	13	凯夫拉尔纤维(B)	3
玻璃布－聚酰亚胺树脂覆铜箔板	13	石英纤维	1
玻璃布－聚四氟乙烯树脂覆铜箔板	24	玻璃纤维	5
金属芯型金属类基板(Cu)	17	聚酰胺/石英叠层板	8
金属芯型金属类基板(Al)	23.5	聚酰胺/凯夫拉尔纤维叠层板	6
氧化铝陶瓷基板	6.6	环氧/凯夫拉尔纤维叠层板	7
氮化铝陶瓷基板	4.6	环氧芳族聚酰胺纤维	7
碳化硅陶瓷基板	3.8	聚酰胺芳族聚酰胺纤维	6
陶瓷低温共烧制基板	4.5	环氧石英	9
聚酯树脂挠性覆铜箔板	1.8	陶瓷化的包铜的镍铁合金	7
聚酰亚胺挠性覆铜箔板	12	玻璃陶瓷纤维	7

表 313　使用环境温差 ΔT 缺省值　　单位为摄氏度

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
ΔT	7	7	21	30	26	30	26	26	26	45
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
ΔT	61	31	57	31	57	31	7	－	－	－

表 314　封装材料热膨胀系数 α_{CC} 缺省值　　单位为百万分率每摄氏度

底座材料	α_{CC}
塑料	6.5
陶瓷	5.5

表 315　温度循环率系数 C_R

热循环次数 小时(f)	C_R
$f \leqslant 0.2$	f
$0.2 < f \leqslant 0.6$	0.25
$0.6 < f \leqslant 1$	0.4
$1 < f \leqslant 5$	1.5
$f > 5$	5.0
注：SMT 互连的热循环次数，应尽可能通过在电路板的热分析基础上得到。	

表 316　元器件引线结构系数 π_C

引线结构	π_C
无引线	1.0
BGA	0.50
J 或 S 型引线	0.30
鸥翼型引线	0.06

5.16　磁性器件

本条对下列磁性器件的工作失效率进行预计：

a)　大功率微波磁性器件；
b)　隔离器；
c)　放大器；
d)　回转器；
e)　调制器；
f)　环行器；
g)　移相器；
h)　耦合器；
i)　小功率微波磁性器件。

工作失效率预计模型见式(80)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad (80)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；
λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 317；
π_E——环境系数，见表 318；
π_Q——质量系数，见表 319。

表 317　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

种类	大功率微波磁性器件、隔离器、放大器、回转器、调制器、环行器、移相器、耦合器	小功率微波磁性器件 (接收机用)
λ_b	0.42	0.06

表 318　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	8.0	5.0	4.5	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	12	6.5	10	3.5	5.5	15	1.0	22	12	—

表 319　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量等级说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 677—1989、GJB 977—1990、GJB 1065A—2004、GJB 1424—1992、GJB 1509A—2011、GJB 1933—1994、GJB 2144—1994、GJB 2550—1995、GJB 3235—1998，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1065—1991、GJB 1509—1992，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.35
	A_2	符合 GJB 677—1989、GJB 977—1990、GJB 1065A—2004、GJB 1424—1992、GJB 1509A—2011、GJB 1933—1994、GJB 2144—1994、GJB 2550—1995、GJB 3235—1998，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1065—1991、GJB 1509—1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.4
B	B_1	符合 GB/T 10403、GB/T 13265.1 的产品		0.65
	B_2	符合 SJ 1624—1980 的产品		1.0
C		低档产品		4.5

5.17　振荡器和谐振器

5.17.1　振荡器

工作失效率预计模型见式(81)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_C \qquad (81)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.028；

π_E——环境系数，见表 320；

π_Q——质量系数，见表 321；

π_C——控制系数，见表 322。

表 320　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	12	8.0	5.5	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	10	18	23	1.0	32	15	—

表 321　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1S}	符合 GJB 1648A—2011 且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	符合 GJB 1648—1993，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的 S 级产品	0.05

表 321（续）

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_{1B}	符合 GJB 1648A—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 1648—1993，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品	0.10
	A_2	符合 GJB 1648A—2011，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 1648—1993，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.25
B	B_1	按军用标准的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的产品		0.65
	B_2	符合 SJ/T 11256—2001 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

表 322　控制系数 π_C

控制方式	通用	温补	压控
π_C	1.0	1.1	1.3

5.17.2　谐振器

工作失效率预计模型见式（82）。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad (82)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.026；

π_E——环境系数，见表 323；

π_Q——质量系数，见表 324。

表 323　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	11	8.0	5.4	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	23	10	18	22	1.0	30	15	—

表 324　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 1648A—2011、GJB 2138A—2011，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 1648—1993、GJB 2138—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.20
	A_2	符合 GJB 1648A—2011、GJB 2138A—2011，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	符合 GJB 1648—1993、GJB 2138—1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的产品	0.30
B		符合 GB/T 12859 和其他国家标准的产品		1.0
C		低档产品		5.0

5.18 滤波器

5.18.1 概述

本条中滤波器包括：压电陶瓷滤波器、介电滤波器、石英晶体滤波器、机械滤波器和LC滤波器。

5.18.2 压电陶瓷、介电、石英晶体和机械滤波器

工作失效率预计模型见式(83)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_f \quad \cdots\cdots (83)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表325；

π_E——环境系数，见表326；

π_Q——质量系数，见表327；

π_f——频率系数，见表328。

表325 基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型	压电陶瓷	介电	石英晶体	机械
λ_b	0.02	0.017	0.012	0.026

表326 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	12	8.0	5.0	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14	15	24	10	18	19	0.8	32	15	—

表327 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	π_Q
A	A_1	符合GJB 264－1987、GJB 1508－1992、GJB 1511－1992、SJ 20764－1999，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.4
	A_2	符合GJB 264－1987、GJB 1508－1992、GJB 1511－1992、SJ 20764－1999，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.6
B		符合SJ 2182－1982、SJ 2956－1988的产品	1.0
C		低档产品	5.0

表328 频率系数 π_f[a]

频率 f MHz	≤0.2	0.5	1.0	5.0	10	15	20	25
π_f	0.90	1.1	1.3	1.9	2.2	2.4	2.6	2.7
频率 f MHz	30	35	40	45	50	55	60	—
π_f	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.3	—

[a] π_f按式(84)计算：$\pi_f=1.3(f)^{0.23}$ ……(84)

5.18.3 LC 滤波器

详细预计 LC 滤波器失效率的方法是将所有构成 LC 滤波器的单个元器件的失效率相加，而单个元器件的失效率可由本指导性技术文件所提供的预计模型给出，其确定方法可采用元器件应力分析法或元器件计数法。若信息不充分，可采用如式(85)的近似预计模型：

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \cdots\cdots (85)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 329；

π_E——环境系数，见表 330；

π_Q——质量系数，见表 331。

表 329　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型	分立电感电容	分立电感电容和晶体
λ_b	0.028	0.05

表 330　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	8.0	6.0	4.0	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	9.0	14	7.0	11	13	0.8	25	15	—

表 331　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 1518—1992，且军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	—	0.3
	A_2	符合 GJB 1518—1992，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	—	0.5
B		符合 GB/T 15287、SJ/Z 9038—1987 的产品		1.0
C		低档产品		5.0

5.19 电池

工作失效率预计模型见式(86)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \cdots\cdots (86)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 332；

π_E——环境系数，见表 333；

π_Q——质量系数，见表 334。

表 332　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

种类	硅太阳能电池、砷化镓太阳能电池	氢镍蓄电池	镉镍蓄电池	锂离子蓄电池	铅酸蓄电池	锂原电池
λ_b	0.008	1.15	0.9	0.2	0.92	1.5

表 333　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.4	2.0	1.8	3.0	2.0	2.5	1.5	3.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	4.0	3.0	5.0	2.0	3.5	4.5	0.7	12	2.3	—

表 334　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 469—1988、GJB 517A—1998、GJB 916B—2011、GJB 1431—1992、GJB 2181A—2012、GJB 2278—1995、GJB 2514A—2012、GJB 2831A—2009、GJB 2912—1997、GJB 3155—1998、GJB 3156—1998、GJB 3251A—2011、GJB 3285—1998、GJB 4073—2000、GJB 4171—2001、GJB 4284—2001、GJB 4477—2002、GJB 6789—2009、SJ 20486—1995，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 517—1988，GJB 916A—2001、GJB 2181—1994、GJB 2514—1995、GJB 2831—1997、GJB 3251—1998，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.15
	A_2	符合 GJB 469—1988、GJB 517A—1998、GJB 916B—2011、GJB 1431—1992、GJB 2181A—2012、GJB 2278—1995、GJB 2514A—2012、GJB 2831A—2009、GJB 2912—1997、GJB 3155—1998、GJB 3156—1998、GJB 3251A—2011、GJB 3285—1998、GJB 4073—2000、GJB 4171—2001、GJB 4284—2001、GJB 4477—2002、GJB 6789—2009、SJ 20486—1995，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 517—1988，GJB 916A—2001、GJB 2181—1994、GJB 2514—1995、GJB 2831—1997、GJB 3251—1998，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.3
B	B_1	符合 GB 6492、GB/T 6495.2、GB/T 9368、GB/T 9369、GB/T 11010、GB/T 11013、GB/T 12632、GB/T 14007、GB/T 14008、GB/T 15142 的产品		0.45
	B_2	符合 SJ 753—1973、SJ 2470—1984、SJ/T 10169—1991、SJ/T 10286—1991、SJ/T 10288—1991 的产品		1.0
C		低档产品		4.0

5.20　灯

工作失效率预计模型见式(87)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_U \pi_V \tag{87}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 335；

π_E——环境系数，见表 336；

π_U——利用率系数，见表 337；

π_V——额定电压系数，见表 338。

表 335　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

种类	氖灯	白炽灯
λ_b	0.16	0.42

表 336　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.3	2.0	2.2	3.8	3.5	2.5	1.5	3.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	4.1	4.4	6.0	3.2	4.5	6	1.0	6.5	4	—

表 337　利用率系数π_U

照明小时/设备工作小时	<0.1	0.1～0.8	>0.8～1
π_U	0.10	0.72	1.0

表 338　额定电压系数π_V^a

额定电压 V_r V	≤5	6	12	14	24	28	37.5
π_V	1.0	1.3	3.1	3.8	7.6	9.2	13.4
[a] $\pi_V=0.125(V)^{1.29}$ ……………………………………………………(88)							

5.21　激光器

工作失效率预计模型见式(89)。

$$\lambda_P=\lambda_b\pi_E\pi_A\pi_L \tag{89}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 339；

π_E——环境系数，见表 340；

π_A——应用系数，见表 341；

π_L——成熟系数，见表 342。

表 339　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

激光器类型	氦氖激光器	氦镉激光器	氩离子激光器	密封二氧化碳	氧化钕掺杂的钇铝石榴石(ND：YAG)棒激光器	红宝石棒激光器	半导体激光器
λ_b	5	21	28	$\lambda_b=10\times I-90$	93	100	15
注：I 为管子电流，mA，$10\leqslant I\leqslant 150$。							

表 340　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.5	2.0	5.0	5.5	16	11	10	4.0	12
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	15	17	25	9.0	13	18	0.6	27	23	—

表 341　应用系数π_A

连续	脉冲		
	输出功率≤90mW	90<输出功率≤150mW	输出功率≥150mW
1	3	6	7

表 342 成熟系数 π_L

成熟程度	符合相应的标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或新投产的初批次产品；设计或工艺上有重大变更；长期中断生产或生产线有重大变化
π_L	1.0	2.5	5.0

5.22 压电陀螺

工作失效率预计模型见式(90)。

$$\lambda_P=(\lambda_{b1}+\lambda_{b2})\pi_C\pi_k\pi_A\pi_E\pi_L \quad (90)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{b1}——压电陀螺敏感器件基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.05；

λ_{b2}——压电陀螺后部电路基本失效率，10^{-6}/h；

π_C——复杂度系数，见表 343；

π_k——结构系数，见表 344；

π_A——应用系数，见表 345；

π_E——环境系数，见表 346；

π_L——成熟系数，见表 347。

压电陀螺后部电路基本失效率模型见式(91)。

$$\lambda_{b2}=\sum_{i=1}^{n}\lambda_{Pi}N_i \quad (91)$$

式中：

$\Sigma\lambda_{Pi}N_i$——后部电路所用元器件失效率之和；

λ_{Pi}——某一种类元器件的工作失效率，10^{-6}/h，可依据第 5 章模型或第 6 章数据获得；

N_i——某一种类元器件数。

表 343 复杂度系数 π_C

轴数	单轴	双轴	三轴
π_C	1.0	1.1	2.2

表 344 结构系数 π_k

振梁长度(mm)	30	40	60
π_k	0.8	1.0	1.5

表 345 应用系数 π_A

应用模式	角速度	角加速度	角位移
π_A	1.0	1.5	1.8

表 346 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.3	2.0	5.0	6.0	11	9.0	6.0	2.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	17	16	22	8.0	12	36	0.50	66	33	—

表 347 成熟系数 π_L

成熟程度	符合相应的标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或新投产的初批次产品；设计或工艺上有重大变更；长期中断生产或生产线有重大变化
π_L	1.0	3.0	5.5

5.23 光纤连接器

工作失效率预计模型见式(92)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_m \pi_P \pi_L \pi_Q \pi_E \quad \cdots\cdots (92)$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 348；

π_m——传输模式系数，见表 349；

π_P——端面形式系数，见表 350；

π_L——连接系数，见表 351；

π_Q——质量系数，见表 352；

π_E——环境系数，见表 353。

表 348　基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

芯数 N	1	2	4	6	8	N≥10
λ_b	0.06	0.065	0.072	0.08	0.095	0.15

表 349　传输模式系数 π_m

传输模式	多模	单模
π_m	1	2.1

表 350　端面形式系数 π_p

端面模式	PC	APC
π_p	1	2.1

表 351　连接系数 π_L

连接模式	FC	SC	ST
π_L	1	2.4	1.1

表 352　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A_1	符合 GJB 1919A—2009，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品 符合企业军用标准，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1919—1994，且列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.2
	A_2	符合 GJB 1919A—2009，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	符合 GJB 1919—1994，但未列入军用电子元器件合格产品目录(QPL)的产品	0.4
B		符合国家标准的产品		1.0
C		低档产品		4.0

表 353　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.4	1.5	3.0	3.8	6.2	5.2	2.5	2.0	4.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	4.3	8.4	2.6	5.6	16.5	1.0	14	8	—

5.24　其他电子元器件

其他电子元器件的工作失效率见表 354。

表 354 其他元器件工作失效率λ_p

单位为 10^{-6}/h

种类			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
微波元器件	衰减器	固定	0.072	0.090	0.108	0.252	0.288	0.576	0.360	0.324	0.216	0.432	0.864	0.468	0.720	0.252	0.396	1.080	0.072	1.584	0.864
		可调	0.036	0.045	0.054	0.126	0.144	0.288	0.18	0.162	0.108	0.216	0.432	0.234	0.36	0.126	0.198	0.54	0.036	0.792	0.432
	固定元件	定向耦合器	0.011	0.013	0.017	0.039	0.044	0.088	0.055	0.050	0.033	0.066	0.13	0.072	0.11	0.039	0.061	0.17	0.011	0.242	0.132
		固定短线谐振腔	0.045	0.054	0.068	0.158	0.180	0.360	0.225	0.203	0.135	0.270	0.540	0.293	0.450	0.158	0.248	0.675	0.045	0.990	0.540
	可变元件	可调短线	0.180	0.216	0.270	0.360	0.720	1.440	0.900	0.810	0.540	1.080	2.160	1.170	1.800	0.630	0.990	2.700	0.180	3.960	2.160
		可调谐振腔	0.130	0.195	0.260	0.520	1.040	0.650	0.585	0.390	0.780	1.560	0.845	1.300	0.455	0.715	1.950	0.130	2.860	1.560	0.910
		波导开关	1.8	2.16	2.7	3.6	7.2	14.4	9.0	8.1	5.4	10.8	21.6	11.7	18.0	6.3	9.9	27.0	1.8	39.6	21.6
		波导交连 大功率	5.60	6.72	8.40	19.60	22.40	44.80	28.00	25.76	16.80	33.60	67.20	36.40	56.00	19.60	12.32	84.00	5.60	123.20	67.20
		波导交连 小功率	0.85	1.02	1.28	2.98	3.40	6.80	4.25	3.83	2.55	5.10	10.20	55.25	8.50	2.98	4.68	12.75	0.85	18.70	10.20
	微波集成电路模块	大功率	6.8	10.2	17	44.2	47.6	74.8	54.4	51	34	68	95.2	102	136	68	88.4	129.2	8.16	217.6	95.2
		小功率	0.9	1.35	2.25	5.85	6.3	9.9	7.2	6.75	4.5	9.0	12.6	13.5	18.0	9.0	11.7	17.1	1.08	28.8	12.6
温敏元件			0.18	0.234	0.45	0.81	1.08	1.40	1.24	0.90	0.58	1.26	1.73	1.35	2.16	0.58	0.83	3.6	0.18	6.30	2.70
仪表表头			0.26	0.39	0.78	1.30	1.82	2.6	1.872	1.82	0.91	1.82	3.38	5.46	6.24	3.64	6.50	7.02	0.26	8.32	3.90
加热器			4.50	4.95	9.45	15.75	20.25	36.00	33.75	20.25	13.50	22.50	54.00	27.00	58.50	25.20	47.25	66.15	4.50	153.00	67.50
熔断器	≤30A		0.004	0.006	0.006	0.012	0.015	0.025	0.018	0.016	0.008	0.024	0.032	0.036	0.044	0.026	0.040	0.052	0.004	—	—
	＞30A		0.008	0.011	0.012	0.024	0.030	0.050	0.036	0.032	0.016	0.048	0.064	0.072	0.088	0.052	0.080	0.104	0.007	—	—
延迟线			0.4	0.6	0.8	2.0	2.4	4.8	3.4	2.0	1.8	3.6	6.4	6.0	8.0	4.0	5.2	7.2	0.5	12.8	5.6
电缆(千米/根)			0.06	0.08	0.09	0.18	0.23	0.37	0.27	0.24	0.12	0.36	0.48	0.54	0.66	0.39	0.60	0.78	0.05	1.20	0.60
电声器件	话筒		0.170	0.187	0.357	0.544	0.850	1.530	1.105	0.595	0.510	5.95	2.720	1.275	—	0.442	—	2.023	0.170	—	—
	电铃		0.210	0.231	0.441	0.672	1.050	1.890	1.365	0.735	0.630	0.315	0.546	0.683	—	0.546	—	2.520	0.210	—	—
	扬声器		0.045	0.054	0.099	0.148 5	0.238 5	0.427 5	0.306	0.166 5	0.144	0.325 35	0.558	0.697 5	—	0.292 5	—	0.562 5	0.045	—	—
拉杆天线			0.078	0.101	0.133	0.476	0.632	1.100	0.710	0.554	0.195	0.632	1.264	1.022	1.420	0.866	1.100	1.342	0.078	2.761	1.186
环形天线			0.054	0.065	0.092	0.200	0.416	0.718	0.459	0.362	0.124	0.416	0.821	0.664	0.929	0.567	0.718	0.875	0.054	1.906	0.772

表 354（续）

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
仿真负载	＜100W	0.017	0.026	0.026	0.051	0.068	0.111	0.085	0.043	0.034	0.068	0.221	0.094	0.255	0.068	0.119	0.272	0.017	0.323	0.170
	100W～1 000W	0.038	0.053	0.061	0.114	0.152	0.251	0.190	0.099	0.076	0.152	0.494	0.213	0.570	0.152	0.266	0.608	0.038	0.722	0.380
	＞1 000W	0.11	1.43	0.17	0.33	0.44	0.72	0.55	0.28	0.22	0.44	1.43	0.61	1.65	0.44	0.77	1.76	0.11	2.09	1.10
仿真终端		0.037	0.046	0.056	0.111	0.148	0.241	0.185	0.093	0.074	0.148	0.481	0.204	0.555	0.148	0.259	0.592	0.037	0.703	0.370
陶瓷共鸣器		0.026	0.029	0.034	0.078	0.086	0.174	0.130	0.086	0.070	0.130	0.216	0.200	0.304	0.156	0.234	0.286	0.018	0.546	0.304
断路器	保护用(每个电极)	0.26	0.29	0.39	0.78	1.04	2.21	1.56	1.30	0.78	1.56	3.64	1.56	2.86	1.17	2.08	8.06	0.26	11.70	5.72
	电源开关用(每个电极)	3.80	4.18	5.70	11.40	15.20	32.30	22.80	19.00	11.40	22.80	53.20	22.80	41.80	17.10	30.40	117.80	3.80	171.00	83.60
光纤激光模块		9.8	12.7	17.6	29.4	25.5	68.6	39.2	36.3	21.6	50.0	80.4	54.9	78.4	39.2	58.8	117.6	9.8	235.2	147.0
光纤发光二极管模块		0.70	0.91	1.26	2.10	1.82	4.90	2.80	2.59	1.54	3.57	5.74	3.92	5.60	2.80	4.20	8.40	0.70	16.80	10.50
光纤探测器模块		4.0	5.2	7.2	12.0	10.4	28.0	16.0	14.8	8.8	20.4	32.8	22.4	32.0	16.0	24.0	48.0	4.0	96.0	60.0
光纤耦合器		0.6	0.78	1.08	1.8	1.56	4.2	2.4	2.22	1.32	3.06	4.92	3.36	4.8	2.4	3.6	7.2	0.6	14.4	9.0
波分复用器		4.8	6.2	8.6	14.4	12.5	33.6	19.2	17.8	10.6	24.5	39.4	26.9	38.4	19.2	28.8	57.6	4.8	115.2	72.0
光电滤波器		11.5	15.0	20.7	34.5	29.9	80.5	46.0	42.6	25.3	58.7	94.3	64.4	92.0	46.0	69.0	138.0	11.5	276.0	172.5

6 工作状态的元器件计数可靠性预计法

采用元器件计数可靠性预计法所需要的信息是：

a） 所用元器件的种类及数量；

b） 所用元器件质量等级；

c） 设备工作环境。

对于可靠性模型为串联结构的设备，计算其失效率的数学表达式见式(93)。

$$\lambda_{GS} = \sum_{i=1}^{n} N_i \lambda_{Gi} \pi_{Qi} \cdots\cdots (93)$$

式中：

λ_{GS}——设备总失效率，10^{-6}/h；

n——设备所用元器件的种类数目；

N_i——第 i 种元器件的数量；

λ_{Gi}——第 i 种元器件的通用工作失效率，10^{-6}/h；

π_{Qi}——第 i 种元器件的通用质量系数。

上述表达式适用于应用在同一环境类别的设备。如果设备所包含的 n 个单元是在不同环境中工作(如机载设备有的单元在座舱，有的单元在无人舱)，则表达式就应该分别按不同环境考虑，然后，将这些“环境－单元”失效率相加即为设备的总失效率。环境分类如表 1 所示，其通用工作环境温度见表 355。

本章给出了各种类元器件的通用工作失效率 λ_G(见表 356～表 389)。集成电路的工作通用失效率指的是已稳定生产的产品失效率，其他产品还应乘以成熟系数 π_L(见表 29)。本条未提供混合集成电路通用工作失效率，因为此器件不是标准化的，所以不能按它们的名称或功能来确定它们的复杂度。如果在设计中使用了混合集成电路，则可采用 5.1.3 的预计模型进行计算。此外，还有下列元器件需按第 5 章的模型进行预计：

a） 印制板、焊接点和 SMT 互连见 5.15；

b） 其他元器件见表 354。

表 355 各种元器件的通用工作环境温度

单位为摄氏度

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
T_A	30	30	40	40	55	60	40	45	40	45
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
T_A	70	55	70	55	70	55	30	55	55	—

表 356 密封单片数字集成电路通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	双极	0.049	0.071	0.113	0.292	0.291	0.500	0.305	0.338	0.205	0.447	0.641	0.671	0.908	0.453	0.603	0.845	0.058	1.412	0.671
	MOS	0.044	0.065	0.104	0.268	0.270	0.463	0.280	0.311	0.188	0.411	0.598	0.618	0.848	0.418	0.567	0.779	0.052	1.299	0.618
21～50	双极	0.060	0.086	0.138	0.351	0.352	0.603	0.367	0.407	0.247	0.537	0.773	0.806	1.094	0.545	0.729	1.014	0.070	1.692	0.806
	MOS	0.053	0.077	0.124	0.318	0.321	0.550	0.332	0.368	0.223	0.486	0.710	0.732	1.006	0.496	0.675	0.922	0.062	1.537	0.732
51～100	双极	0.071	0.101	0.162	0.410	0.412	0.704	0.428	0.475	0.289	0.626	0.904	0.940	1.279	0.637	0.854	1.183	0.083	1.971	0.940
	MOS	0.061	0.089	0.143	0.367	0.371	0.636	0.384	0.426	0.258	0.563	0.822	0.847	1.164	0.574	0.782	1.066	0.072	1.776	0.847
101～500	双极	0.110	0.154	0.245	0.604	0.617	1.043	0.630	0.700	0.429	0.919	1.342	1.378	1.890	0.941	1.278	1.728	0.128	2.865	1.378
	MOS	0.090	0.129	0.208	0.527	0.537	0.915	0.550	0.611	0.371	0.805	1.185	1.213	1.676	0.824	1.132	1.524	0.105	2.534	1.213
501～1 000	双极	0.120	0.165	0.263	0.635	0.656	1.100	0.662	0.736	0.453	0.963	1.420	1.444	1.993	0.991	1.359	1.807	0.138	2.984	1.444
	MOS	0.093	0.132	0.214	0.536	0.551	0.937	0.560	0.623	0.379	0.820	1.216	1.235	1.717	0.842	1.167	1.550	0.109	2.572	1.235
1 001～2 000	双极	0.204	0.283	0.450	1.093	1.123	1.889	1.141	1.267	0.779	1.660	2.431	2.489	3.418	1.704	2.319	3.117	0.235	5.159	2.489
	MOS	0.163	0.234	0.377	0.961	0.974	1.664	1.003	1.114	0.676	1.470	2.150	2.212	3.044	1.501	2.047	2.782	0.191	4.632	2.212
2 001～3 000	双极	0.229	0.309	0.489	1.145	1.197	1.987	1.192	1.328	0.825	1.728	2.564	2.588	3.585	1.789	2.465	3.228	0.261	5.307	2.588
	MOS	0.170	0.242	0.390	0.977	1.002	1.701	1.020	1.134	0.691	1.492	2.205	2.247	3.113	1.531	2.111	2.819	0.199	4.680	2.247
3 001～5 000	双极	0.349	0.483	0.767	1.866	1.912	3.217	1.946	2.162	1.330	2.832	4.137	4.243	5.816	2.904	3.941	5.315	0.403	8.799	4.243
	MOS	0.279	0.403	0.649	1.668	1.679	2.878	1.743	1.933	1.171	2.554	3.707	3.842	5.255	2.599	3.514	4.836	0.329	8.068	3.842
5 001～7 500	双极	0.369	0.505	0.801	1.916	1.980	3.313	1.998	2.221	1.372	2.901	4.267	4.347	5.984	2.987	4.080	5.435	0.423	8.971	4.347
	MOS	0.284	0.409	0.658	1.682	1.700	2.908	1.757	1.949	1.183	2.573	3.751	3.872	5.312	2.624	3.564	4.870	0.334	8.116	3.872
7 501～10 000	双极	0.459	0.634	1.006	2.442	2.505	4.211	2.547	2.829	1.741	3.704	5.416	5.550	7.612	3.800	5.162	6.950	0.529	11.501	5.550
	MOS	0.362	0.525	0.845	2.179	2.188	3.755	2.277	2.524	1.529	3.338	4.833	5.019	6.854	3.392	4.576	6.321	0.428	10.551	5.019
10 001～15 000	双极	0.577	0.803	1.275	3.130	3.192	5.387	3.265	3.624	2.225	4.755	6.920	7.126	9.744	4.865	6.578	8.935	0.667	14.814	7.126
	MOS	0.465	0.678	1.090	2.832	2.827	4.865	2.959	3.278	1.982	4.340	6.251	6.523	8.875	4.399	5.901	8.222	0.550	13.745	6.523
15 001～20 000	双极	0.699	0.978	1.555	3.846	3.906	6.611	4.014	4.453	2.728	5.850	8.485	8.767	11.962	5.973	8.050	11.003	0.811	18.267	8.767
	MOS	0.573	0.837	1.345	3.512	3.494	6.023	3.671	4.064	2.455	5.385	7.730	8.093	10.983	5.450	7.283	10.208	0.678	17.080	8.093
20 001～30 000	双极	0.827	1.162	1.848	4.593	4.652	7.888	4.794	5.316	3.254	6.991	10.120	10.478	14.277	7.130	9.589	13.156	0.961	21.862	10.478
	MOS	0.684	1.002	1.610	4.219	4.187	7.226	4.410	4.880	2.947	6.471	9.267	9.723	13.174	6.542	8.719	12.269	0.812	20.542	9.723

表 356(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
30 001～60 000	双极	0.992	1.387	2.204	5.441	5.531	9.356	5.678	6.300	3.862	8.274	12.012	12.401	16.928	8.453	11.400	15.560	1.150	25.825	12.401
	MOS	0.806	1.180	1.896	4.966	4.929	8.506	5.191	5.745	3.468	7.617	10.910	11.445	15.508	7.700	10.266	14.440	0.956	24.176	11.445
60 001～90 000	MOS	0.928	1.360	2.184	5.726	5.681	9.806	5.986	6.624	3.999	8.783	12.574	13.197	17.876	8.877	11.828	16.653	1.101	27.884	13.197
90 001～200 000	MOS	0.933	1.365	2.193	5.739	5.700	9.833	5.998	6.639	4.009	8.801	12.614	13.224	17.928	8.900	11.874	16.684	1.106	27.927	13.224
200 001～400 000	MOS	1.075	1.568	2.521	6.564	6.544	11.269	6.860	7.597	4.592	10.062	14.473	15.124	20.554	10.193	13.651	19.069	1.273	31.889	15.124
400 001～600 000	MOS	1.090	1.585	2.549	6.605	6.607	11.358	6.901	7.646	4.626	10.119	14.605	15.213	20.726	10.267	13.802	19.169	1.288	32.028	15.213
600 001～800 000	MOS	1.220	1.775	2.854	7.405	7.401	12.729	7.738	8.572	5.185	11.347	16.362	17.058	23.225	11.508	15.455	21.497	1.442	35.926	17.058
800 001～950 000	MOS	1.229	1.785	2.871	7.428	7.439	12.781	7.762	8.601	5.205	11.380	16.439	17.110	23.325	11.552	15.544	21.556	1.451	36.007	17.110
950 001～1 500 000	MOS	1.354	1.971	3.169	8.226	8.218	14.136	8.596	9.521	5.759	12.605	18.168	18.948	25.790	12.781	17.156	23.882	1.600	39.917	18.948
1 500 001～2 500 000	MOS	1.382	2.001	3.221	8.300	8.336	14.302	8.671	9.613	5.822	12.710	18.413	19.113	26.109	12.919	17.438	24.068	1.630	40.172	19.113
2 500 001～3 500 000	MOS	1.649	2.395	3.853	9.966	9.982	17.149	10.413	11.539	6.984	15.267	22.059	22.954	31.297	15.499	20.860	28.918	1.948	48.301	22.954
3 500 001～4 500 000	MOS	1.791	2.602	4.185	10.832	10.845	18.636	11.318	12.541	7.590	16.594	23.969	24.949	34.009	16.844	22.662	31.434	2.116	52.509	24.949
4 500 001～5 000 000	MOS	1.933	2.809	4.518	11.704	11.710	20.129	12.230	13.550	8.199	17.931	25.883	26.958	36.731	18.195	24.462	33.969	2.283	56.753	26.958
5 000 001～6 000 000	MOS	2.241	3.251	5.226	13.502	13.525	23.226	14.107	15.632	9.465	20.678	29.867	31.085	42.367	20.993	28.238	39.159	2.645	65.399	31.085
6 000 001～7 000 000	MOS	2.522	3.667	5.894	15.285	15.271	26.260	15.973	17.692	10.704	23.419	33.739	35.198	47.888	23.746	31.854	44.360	2.980	74.137	35.198
7 000 001～8 000 000	MOS	2.948	4.303	6.912	18.018	17.934	30.897	18.830	20.847	12.600	27.619	39.652	41.501	56.324	27.957	37.362	52.336	3.490	87.550	41.501
8 000 001～9 000 000	MOS	3.242	4.739	7.610	19.889	19.762	34.076	20.788	23.008	13.900	30.495	43.708	45.818	62.109	30.843	41.145	57.797	3.840	96.730	45.818
9 000 001～10 000 000	MOS	3.983	5.847	9.384	24.674	24.413	42.185	25.793	28.531	17.216	37.854	54.038	56.858	76.857	38.212	50.752	71.775	4.728	120.256	56.858

表 357 非密封单片数字集成电路通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	双极	0.064	0.091	0.145	0.370	0.370	0.634	0.387	0.428	0.260	0.565	0.811	0.848	1.149	0.574	0.765	1.067	0.075	1.781	0.848
	MOS	0.057	0.082	0.132	0.343	0.344	0.591	0.358	0.397	0.240	0.525	0.761	0.790	1.080	0.534	0.720	0.995	0.067	1.662	0.790
21～50	双极	0.078	0.111	0.176	0.444	0.447	0.762	0.464	0.514	0.313	0.678	0.977	1.016	1.381	0.689	0.923	1.278	0.091	2.128	1.016
	MOS	0.067	0.098	0.157	0.406	0.408	0.700	0.424	0.470	0.284	0.621	0.902	0.935	1.280	0.632	0.856	1.177	0.079	1.964	0.935
51～100	双极	0.092	0.130	0.207	0.518	0.524	0.890	0.541	0.600	0.366	0.790	1.142	1.184	1.613	0.805	1.081	1.488	0.107	2.475	1.184
	MOS	0.078	0.113	0.182	0.469	0.472	0.810	0.490	0.543	0.329	0.718	1.044	1.081	1.481	0.731	0.991	1.361	0.092	2.270	1.081
101～500	双极	0.153	0.208	0.328	0.776	0.806	1.342	0.809	0.900	0.558	1.173	1.728	1.755	2.419	1.210	1.655	2.192	0.175	3.611	1.755
	MOS	0.116	0.166	0.268	0.676	0.690	1.174	0.706	0.784	0.477	1.033	1.520	1.555	2.148	1.058	1.452	1.953	0.136	3.246	1.555
501～1 000	双极	0.169	0.225	0.355	0.815	0.859	1.417	0.849	0.946	0.591	1.227	1.829	1.836	2.549	1.274	1.763	2.285	0.191	3.746	1.836
	MOS	0.121	0.171	0.276	0.687	0.707	1.200	0.718	0.798	0.487	1.049	1.557	1.581	2.196	1.079	1.493	1.982	0.141	3.287	1.581
1 001～2 000	双极	0.307	0.406	0.635	1.445	1.522	2.502	1.505	1.676	1.050	2.170	3.223	3.241	4.487	2.253	3.104	4.031	0.346	6.600	3.241
	MOS	0.216	0.308	0.496	1.246	1.271	2.162	1.301	1.445	0.880	1.902	2.795	2.862	3.947	1.948	2.667	3.594	0.253	5.971	2.862
2 001～3 000	双极	0.390	0.490	0.754	1.576	1.719	2.741	1.636	1.829	1.175	2.330	3.539	3.463	4.861	2.461	3.458	4.265	0.430	6.871	3.463
	MOS	0.235	0.327	0.527	1.280	1.333	2.240	1.335	1.487	0.913	1.947	2.909	2.930	4.089	2.012	2.803	3.665	0.272	6.052	2.930
3 001～5 000	双极	0.564	0.734	1.139	2.532	2.681	4.374	2.634	2.934	1.853	3.784	5.626	5.638	7.806	3.939	5.427	6.997	0.632	11.416	5.638
	MOS	0.379	0.539	0.866	2.180	2.217	3.773	2.277	2.528	1.539	3.329	4.868	5.006	6.878	3.403	4.634	6.288	0.443	10.454	5.006
5 001～7 500	双极	0.611	0.783	1.210	2.620	2.810	4.539	2.723	3.038	1.932	3.898	5.849	5.802	8.080	4.082	5.673	7.177	0.680	11.648	5.802
	MOS	0.387	0.548	0.881	2.200	2.249	3.816	2.296	2.552	1.557	3.355	4.931	5.047	6.959	3.439	4.708	6.333	0.452	10.513	5.047

表 357(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
7 501～10 000	双极	0.744	0.967	1.499	3.321	3.523	5.739	3.455	3.849	2.433	4.960	7.384	7.389	10.240	5.167	7.129	9.167	0.833	14.945	7.389
	MOS	0.491	0.701	1.126	2.848	2.887	4.921	2.974	3.300	2.008	4.350	6.343	6.539	8.969	4.440	6.030	8.219	0.575	13.676	6.539
10 001～15 000	双极	0.919	1.207	1.877	4.239	4.455	7.309	4.412	4.910	3.087	6.351	9.394	9.468	13.066	6.587	9.033	11.773	1.034	19.263	9.468
	MOS	0.627	0.901	1.447	3.697	3.723	6.368	3.862	4.282	2.600	5.654	8.193	8.497	11.603	5.753	7.762	10.692	0.737	17.826	8.497
15 001～20 000	双极	1.099	1.455	2.268	5.194	5.424	8.942	5.408	6.014	3.767	7.798	11.483	11.633	16.007	8.064	11.011	14.487	1.241	23.764	11.633
	MOS	0.768	1.110	1.782	4.584	4.594	7.878	4.789	5.306	3.217	7.015	10.122	10.540	14.350	7.122	9.566	13.273	0.905	22.158	10.540
20 001～30 000	双极	1.290	1.718	2.681	6.192	6.440	10.650	6.449	7.169	4.479	9.310	13.670	13.892	19.082	9.609	13.086	17.318	1.461	28.452	13.892
	MOS	0.915	1.327	2.129	5.504	5.499	9.447	5.751	6.370	3.858	8.428	12.127	12.661	17.204	8.545	11.441	15.954	1.080	26.656	12.661
30 001～60 000	双极	1.566	2.071	3.225	7.364	7.701	12.682	7.667	8.528	5.345	11.052	16.289	16.484	22.696	11.436	15.629	20.522	1.768	33.647	16.484
	MOS	1.078	1.563	2.508	6.480	6.475	11.122	6.770	7.499	4.542	9.921	14.278	14.904	20.255	10.060	13.474	18.779	1.272	31.373	14.904
60 001～90 000	MOS	1.241	1.800	2.888	7.471	7.460	12.819	7.806	8.646	5.235	11.440	16.454	17.186	23.346	11.596	15.521	21.657	1.465	36.189	17.186
90 001～200 000	MOS	1.249	1.808	2.902	7.489	7.490	12.859	7.824	8.668	5.251	11.464	16.513	17.223	23.421	11.630	15.589	21.698	1.473	36.242	17.223
200 001～400 000	MOS	1.446	2.084	3.345	8.572	8.614	14.752	8.955	9.926	6.023	13.114	18.968	19.705	26.875	13.331	17.950	24.805	1.701	41.379	19.705
400 001～600 000	MOS	1.473	2.112	3.391	8.630	8.711	14.883	9.014	9.998	6.075	13.193	19.162	19.829	27.121	13.439	18.176	24.940	1.728	41.552	19.829
600 001～800 000	MOS	1.646	2.363	3.795	9.675	9.755	16.676	10.106	11.207	6.807	14.793	21.463	22.233	30.386	15.061	20.346	27.970	1.933	46.615	22.233
800 001～950 000	MOS	1.662	2.379	3.822	9.709	9.812	16.753	10.140	11.249	6.837	14.839	21.576	22.305	30.530	15.125	20.478	28.048	1.949	46.715	22.305
950 001～1 500 000	MOS	1.826	2.623	4.212	10.747	10.829	18.518	11.225	12.448	7.559	16.433	23.829	24.697	33.741	16.727	22.582	31.073	2.144	51.796	24.697
1 500 001～2 500 000	MOS	1.875	2.675	4.297	10.855	11.011	18.763	11.335	12.581	7.656	16.580	24.190	24.926	34.199	16.929	23.004	31.323	2.195	52.115	24.926
2 500 001～3 500 000	MOS	2.231	3.194	5.131	13.029	13.170	22.484	13.606	15.095	9.176	19.911	28.959	29.929	40.973	20.297	27.489	37.634	2.616	62.675	29.929

表 357（续）

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
3 500 001～4 500 000	MOS	2.422	3.469	5.573	14.161	14.308	24.432	14.789	16.406	9.971	21.643	31.464	32.531	44.522	22.058	29.860	40.909	2.841	68.139	32.531
4 500 001～5 000 000	MOS	2.611	3.744	6.013	15.299	15.445	26.385	15.978	17.723	10.769	23.386	33.971	35.149	48.079	23.825	32.225	44.209	3.064	73.653	35.149
5 000 001～6 000 000	MOS	2.972	4.277	6.867	17.568	17.673	30.248	18.351	20.345	12.348	26.869	38.905	40.378	55.108	27.329	36.839	50.818	3.494	84.746	40.378
6 000 001～7 000 000	MOS	3.340	4.821	7.739	19.888	19.946	34.194	20.776	23.024	13.961	30.432	43.943	45.725	62.286	30.909	41.545	57.577	3.932	96.097	45.725
7 000 001～8 000 000	MOS	3.896	5.649	9.064	23.440	23.412	40.225	24.492	27.126	16.428	35.892	51.633	53.918	73.255	36.386	48.710	67.943	4.597	113.526	53.918
8 000 001～9 000 000	MOS	4.279	6.218	9.975	25.874	25.792	44.360	27.037	29.937	18.118	39.631	56.909	59.529	80.778	40.140	53.633	75.040	5.055	125.452	59.529
9 000 001～10 000 000	MOS	5.244	7.660	12.283	32.096	31.841	54.904	33.545	37.118	22.431	49.198	70.341	73.882	99.952	49.720	66.126	93.211	6.211	156.030	73.882

表 358　密封只读存储器（ROM）及可编程只读存储器（PROM）通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.125	0.152	0.246	0.464	0.573	0.880	0.480	0.549	0.358	0.682	1.194	1.034	1.612	0.769	1.241	1.246	0.136	1.936	1.034
	MOS	0.067	0.092	0.152	0.357	0.392	0.651	0.372	0.418	0.257	0.542	0.873	0.826	1.222	0.577	0.873	1.025	0.077	1.673	0.826
321～576	双极	0.149	0.177	0.287	0.515	0.659	0.995	0.532	0.613	0.404	0.752	1.362	1.143	1.825	0.865	1.436	1.365	0.160	2.089	1.143
	MOS	0.073	0.098	0.164	0.374	0.420	0.692	0.389	0.439	0.271	0.567	0.934	0.866	1.304	0.610	0.945	1.071	0.083	1.737	0.866
577～1 120	双极	0.180	0.209	0.340	0.582	0.770	1.144	0.600	0.695	0.464	0.842	1.579	1.283	2.100	0.988	1.687	1.519	0.191	2.286	1.283
	MOS	0.080	0.106	0.177	0.395	0.455	0.742	0.411	0.465	0.289	0.598	1.011	0.916	1.406	0.651	1.035	1.127	0.090	1.816	0.916

表 358(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1 121～2 240	双极	0.271	0.306	0.495	0.782	1.082	1.564	0.803	0.937	0.642	1.113	2.172	1.693	2.849	1.342	2.358	1.973	0.285	2.885	1.693
	MOS	0.108	0.139	0.233	0.487	0.588	0.939	0.506	0.578	0.363	0.733	1.297	1.127	1.788	0.817	1.354	1.375	0.120	2.181	1.127
2 241～5 000	双极	0.335	0.373	0.603	0.914	1.305	1.857	0.937	1.099	0.762	1.289	2.598	1.964	3.384	1.585	2.853	2.267	0.350	3.251	1.964
	MOS	0.121	0.154	0.260	0.525	0.652	1.031	0.545	0.625	0.396	0.787	1.438	1.215	1.974	0.892	1.521	1.474	0.134	2.316	1.215
5 001～11 000	双极	0.394	0.435	0.704	1.044	1.514	2.138	1.069	1.258	0.878	1.466	3.002	2.236	3.897	1.821	3.316	2.567	0.410	3.646	2.236
	MOS	0.138	0.172	0.293	0.572	0.732	1.145	0.593	0.684	0.436	0.855	1.613	1.325	2.205	0.984	1.728	1.598	0.152	2.484	1.325
11 001～17 001	双极	0.589	0.642	1.028	1.464	2.158	3.000	1.496	1.766	1.251	2.032	4.207	3.085	5.414	2.552	4.669	3.511	0.610	4.895	3.085
	MOS	0.205	0.249	0.422	0.777	1.035	1.587	0.803	0.934	0.604	1.151	2.256	1.788	3.057	1.356	2.451	2.135	0.223	3.260	1.788
17 001～38 000	双极	0.705	0.764	1.222	1.708	2.553	3.524	1.744	2.063	1.471	2.360	4.958	3.585	6.359	2.992	5.529	4.059	0.728	5.600	3.585
	MOS	0.239	0.285	0.487	0.863	1.186	1.798	0.891	1.042	0.680	1.272	2.581	1.986	3.481	1.526	2.838	2.353	0.257	3.548	1.986
38 001～74 000	双极	1.045	1.115	1.765	2.345	3.587	4.851	2.388	2.835	2.062	3.188	6.823	4.818	8.655	4.110	7.665	5.383	1.073	7.222	4.818
	MOS	0.352	0.405	0.692	1.126	1.643	2.420	1.158	1.370	0.914	1.635	3.519	2.563	4.686	2.034	3.945	2.987	0.373	4.362	2.563
74 001～150 000	双极	1.273	1.362	2.155	2.879	4.386	5.943	2.932	3.478	2.526	3.920	8.352	5.923	10.606	5.039	9.370	6.629	1.309	8.925	5.923
	MOS	0.435	0.499	0.853	1.382	2.023	2.977	1.421	1.683	1.124	2.006	4.333	3.146	5.767	2.501	4.864	3.663	0.461	5.341	3.146
150 001～300 000	双极	1.881	1.983	3.102	3.933	6.134	8.134	3.994	4.754	3.527	5.260	11.426	7.898	14.337	6.884	12.918	8.708	1.922	11.344	7.898
	MOS	0.647	0.716	1.221	1.792	2.809	4.000	1.834	2.203	1.514	2.552	5.901	4.022	7.739	3.325	6.763	4.580	0.675	6.392	4.022
300 001～600 000	双极	2.322	2.464	3.857	5.022	7.687	10.293	5.107	6.056	4.454	6.767	14.405	10.158	18.167	8.738	16.178	11.295	2.379	14.988	10.158
	MOS	0.829	0.929	1.579	2.399	3.653	5.258	2.459	2.935	1.999	3.435	7.696	5.393	10.137	4.393	8.737	6.193	0.869	8.794	5.393
600 001～1 200 000	双极	2.803	2.966	4.642	5.985	9.225	12.308	6.083	7.224	5.330	8.043	17.248	12.075	21.712	10.437	19.419	13.386	2.868	17.645	12.075
	MOS	0.996	1.104	1.881	2.767	4.328	6.168	2.832	3.400	2.335	3.940	9.095	6.209	11.931	5.128	10.418	7.073	1.039	9.883	6.209

表 358（续）

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1 200 001～2 400 000	MOS	1.236	1.371	2.336	3.443	5.378	7.669	3.524	4.229	2.903	4.904	11.303	7.726	14.830	6.377	12.941	8.806	1.290	12.315	7.726
2 400 001～4 800 000	MOS	1.493	1.641	2.801	4.011	6.418	9.071	4.099	4.946	3.421	5.684	13.458	8.985	17.594	7.510	15.528	10.165	1.552	14.001	8.985
4 800 001～9 600 000	MOS	1.812	1.975	3.378	4.716	7.708	10.813	4.814	5.837	4.064	6.653	16.133	10.548	21.024	8.916	18.739	11.854	1.877	16.098	10.548
9 600 001～19 200 000	MOS	2.207	2.389	4.094	5.593	9.310	12.975	5.703	6.943	4.862	7.857	19.453	12.490	25.282	10.662	22.723	13.953	2.280	18.706	12.490
19 200 001～38 400 000	MOS	2.697	2.904	4.982	6.682	11.297	15.659	6.806	8.316	5.853	9.353	23.574	14.903	30.567	12.831	27.666	16.561	2.780	21.950	14.903
38 400 001～67 108 864	MOS	3.305	3.543	6.085	8.034	13.764	18.991	8.177	10.023	7.083	11.211	28.688	17.901	37.128	15.523	33.799	19.803	3.400	25.985	17.901

表 359　非密封只读存储器（ROM）及可编程只读存储器（PROM）通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.185	0.218	0.350	0.621	0.785	1.180	0.641	0.736	0.489	0.901	1.598	1.361	2.136	1.030	1.672	1.626	0.199	2.488	1.361
	MOS	0.087	0.119	0.196	0.454	0.501	0.829	0.473	0.532	0.328	0.690	1.108	1.050	1.549	0.734	1.108	1.302	0.100	2.122	1.050
321～576	双极	0.223	0.257	0.412	0.694	0.908	1.341	0.715	0.825	0.556	0.997	1.830	1.507	2.425	1.163	1.942	1.783	0.236	2.678	1.507
	MOS	0.094	0.126	0.210	0.474	0.534	0.877	0.493	0.557	0.345	0.718	1.182	1.095	1.646	0.773	1.195	1.353	0.107	2.192	1.095
577～1 120	双极	0.271	0.307	0.492	0.788	1.068	1.548	0.809	0.940	0.643	1.121	2.130	1.696	2.798	1.335	2.292	1.985	0.285	2.924	1.696
	MOS	0.103	0.136	0.227	0.498	0.576	0.936	0.518	0.588	0.366	0.753	1.273	1.152	1.767	0.821	1.303	1.417	0.116	2.279	1.152
1 121～2 240	双极	0.497	0.539	0.846	1.196	1.728	2.386	1.222	1.433	1.025	1.646	3.300	2.471	4.228	2.044	3.629	2.813	0.514	3.924	2.471
	MOS	0.161	0.200	0.335	0.652	0.820	1.279	0.675	0.777	0.497	0.970	1.778	1.493	2.424	1.106	1.882	1.802	0.177	2.807	1.493
2 241～5 000	双极	0.622	0.668	1.046	1.420	2.111	2.870	1.447	1.706	1.237	1.934	3.993	2.903	5.076	2.448	4.439	3.267	0.641	4.451	2.903
	MOS	0.184	0.224	0.378	0.706	0.917	1.412	0.730	0.844	0.546	1.045	1.983	1.614	2.689	1.214	2.128	1.934	0.200	2.974	1.614

表 359(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
5 001～11 000	双极	0.734	0.784	1.227	1.630	2.460	3.318	1.659	1.962	1.433	2.208	4.630	3.315	5.862	2.823	5.174	3.708	0.754	4.985	3.315
	MOS	0.213	0.255	0.430	0.772	1.038	1.577	0.797	0.929	0.605	1.137	2.238	1.764	3.018	1.347	2.434	2.098	0.230	3.183	1.764
11 001～17 001	双极	0.898	0.961	1.506	2.022	3.029	4.102	2.060	2.433	1.770	2.748	5.716	4.125	7.251	3.495	6.369	4.629	0.924	6.267	4.125
	MOS	0.266	0.320	0.540	0.975	1.303	1.984	1.007	1.171	0.762	1.436	2.811	2.227	3.794	1.696	3.051	2.651	0.288	4.030	2.227
17 001～38 000	双极	1.599	1.668	2.552	3.118	4.858	6.317	3.159	3.749	2.842	4.094	8.779	6.059	10.884	5.369	9.918	6.612	1.627	8.407	6.059
	MOS	0.465	0.520	0.875	1.332	1.996	2.869	1.365	1.623	1.109	1.901	4.158	2.966	5.466	2.409	4.686	3.412	0.487	4.860	2.966
38 001～74 000	双极	2.859	2.940	4.396	5.065	8.003	10.108	5.114	6.066	4.739	6.474	13.936	9.423	16.971	8.607	15.829	10.076	2.892	12.197	9.423
	MOS	0.881	0.944	1.562	2.085	3.373	4.624	2.123	2.561	1.830	2.880	6.760	4.483	8.681	3.845	7.788	4.993	0.906	6.651	4.483
74 001～150 000	双极	3.476	3.577	5.349	6.181	9.747	12.324	6.242	7.401	5.775	7.908	16.987	11.512	20.701	10.498	19.281	12.323	3.517	14.960	11.512
	MOS	1.089	1.166	1.930	2.566	4.164	5.702	2.613	3.154	2.256	3.543	8.341	5.515	10.706	4.739	9.619	6.137	1.120	8.156	5.515
150 001～300 000	双极	6.133	6.247	9.138	10.077	15.982	19.695	10.145	12.000	9.619	12.572	26.886	17.974	32.222	16.829	30.619	18.890	6.178	21.866	17.974
	MOS	2.096	2.179	3.528	4.208	7.213	9.467	4.257	5.191	3.876	5.606	13.869	8.654	17.402	7.826	16.242	9.317	2.129	11.471	8.654
300 001～600 000	双极	7.493	7.655	11.207	12.538	19.699	24.427	12.635	14.920	11.889	15.732	33.297	22.523	40.056	20.900	37.784	23.822	7.558	28.041	22.523
	MOS	2.633	2.754	4.459	5.445	9.163	12.123	5.517	6.700	4.964	7.301	17.686	11.256	22.276	10.053	20.592	12.218	2.681	15.346	11.256
600 001～1 200 000	双极	9.072	9.256	13.545	15.055	23.755	29.373	15.165	17.921	14.318	18.841	40.066	26.958	48.116	25.117	45.539	28.431	9.146	33.217	26.958
	MOS	3.223	3.351	5.428	6.480	11.098	14.572	6.557	7.994	5.967	8.636	21.344	13.331	26.785	12.048	24.989	14.358	3.274	17.695	13.331
1 200 001～2 400 000	MOS	3.998	4.158	6.734	8.049	13.773	18.091	8.145	9.928	7.408	10.729	26.494	16.562	33.253	14.959	31.009	17.844	4.062	22.012	16.562
2 400 001～4 800 000	MOS	4.905	5.077	8.225	9.642	16.749	21.859	9.746	11.920	8.951	12.784	32.120	19.757	40.190	18.028	37.770	21.139	4.974	25.633	19.757
4 800 001～9 600 000	MOS	6.029	6.217	10.073	11.619	20.440	26.532	11.732	14.391	10.864	15.334	39.099	23.720	48.794	21.835	46.155	25.228	6.104	30.130	23.720
9 600 001～19 200 000	MOS	7.423	7.631	12.364	14.071	25.016	32.328	14.196	17.457	13.238	18.497	47.754	28.638	59.466	26.557	56.552	30.303	7.506	35.713	28.638

表 359(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
19 200 001～38 400 000	MOS	9.151	9.383	15.206	17.113	30.693	39.518	17.252	21.260	16.183	22.422	58.489	34.739	72.703	32.413	69.447	36.600	9.244	42.646	34.739
38 400 001～67 108 864	MOS	11.294	11.557	18.730	20.887	37.732	48.436	21.045	25.977	19.835	27.292	71.802	42.309	89.121	39.679	85.438	44.414	11.399	51.254	42.309

表 360　MOS 可擦可编程只读存储器(EEPROM、UVEPROM、FLASH)通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	密封	0.075	0.104	0.170	0.411	0.438	0.735	0.428	0.479	0.293	0.626	0.971	0.949	1.365	0.655	0.955	1.183	0.086	1.946	0.949
	非密封	0.101	0.137	0.225	0.520	0.570	0.941	0.541	0.608	0.376	0.788	1.250	1.195	1.746	0.836	1.242	1.483	0.116	2.418	1.195
321～576	密封	0.084	0.115	0.190	0.448	0.487	0.810	0.467	0.524	0.322	0.681	1.078	1.035	1.510	0.720	1.069	1.287	0.096	2.106	1.035
	非密封	0.115	0.153	0.251	0.564	0.633	1.035	0.587	0.662	0.411	0.852	1.385	1.296	1.926	0.915	1.392	1.601	0.130	2.592	1.296
577～1 120	密封	0.096	0.130	0.215	0.496	0.550	0.908	0.517	0.582	0.359	0.754	1.216	1.147	1.699	0.804	1.218	1.422	0.110	2.315	1.147
	非密封	0.132	0.173	0.285	0.621	0.714	1.156	0.646	0.731	0.458	0.936	1.560	1.427	2.160	1.017	1.586	1.755	0.148	2.820	1.427
1 121～2 240	密封	0.148	0.189	0.315	0.654	0.780	1.243	0.679	0.774	0.489	0.981	1.698	1.501	2.336	1.087	1.756	1.833	0.165	2.910	1.501
	非密封	0.214	0.263	0.434	0.837	1.042	1.618	0.866	0.994	0.641	1.239	2.225	1.896	3.023	1.405	2.336	2.289	0.233	3.566	1.896
2 241～5 000	密封	0.177	0.223	0.372	0.752	0.918	1.449	0.779	0.892	0.567	1.123	1.995	1.723	2.733	1.260	2.085	2.093	0.196	3.295	1.723
	非密封	0.258	0.312	0.517	0.959	1.230	1.885	0.992	1.144	0.744	1.413	2.615	2.168	3.535	1.629	2.780	2.599	0.280	4.001	2.168
5 001～11 000	密封	0.215	0.268	0.448	0.878	1.098	1.716	0.910	1.045	0.668	1.308	2.381	2.011	3.249	1.486	2.514	2.432	0.236	3.797	2.011
	非密封	0.316	0.376	0.625	1.119	1.475	2.234	1.155	1.339	0.878	1.639	3.124	2.522	4.200	1.920	3.358	3.003	0.340	4.567	2.522
11 001～17 001	密封	0.390	0.458	0.763	1.318	1.787	2.675	1.359	1.583	1.047	1.922	3.769	2.965	5.043	2.288	4.095	3.507	0.417	5.268	2.965
	非密封	0.593	0.670	1.102	1.738	2.471	3.578	1.784	2.096	1.428	2.483	5.062	3.819	6.665	3.044	5.580	4.439	0.624	6.454	3.819

表 360（续）

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
17 001～38 000	密封	0.488	0.566	0.946	1.588	2.201	3.265	1.635	1.913	1.275	2.305	4.631	3.564	6.170	2.781	5.074	4.191	0.519	6.227	3.564
	非密封	0.746	0.834	1.373	2.096	3.054	4.376	2.148	2.536	1.743	2.976	6.231	4.587	8.163	3.706	6.929	5.292	0.781	7.582	4.587
38 001～74 000	密封	0.933	1.029	1.696	2.482	3.737	5.279	2.539	3.017	2.099	3.495	7.580	5.403	9.867	4.446	8.527	6.169	0.971	8.658	5.403
	非密封	1.450	1.557	2.518	3.392	5.297	7.244	3.456	4.130	2.966	4.663	10.387	7.152	13.293	6.086	11.800	8.005	1.493	10.777	7.152
74 001～150 000	密封	1.759	1.872	3.029	3.957	6.325	8.560	4.025	4.833	3.505	5.399	12.340	8.294	15.714	7.162	14.130	9.199	1.804	12.142	8.294
	非密封	2.739	2.865	4.537	5.573	9.072	11.950	5.648	6.793	5.067	7.424	17.115	11.270	21.458	10.007	19.690	12.280	2.789	15.563	11.270
150 001～300 000	密封	2.174	2.304	3.730	4.799	7.759	10.447	4.877	5.871	4.277	6.523	15.101	10.028	19.182	8.724	17.356	11.071	2.226	14.462	10.028
	非密封	3.391	3.534	5.596	6.773	11.147	14.607	6.859	8.268	6.199	8.986	20.971	13.645	26.222	12.210	24.212	14.793	3.448	18.525	13.645
300 001～600 000	密封	2.740	2.916	4.718	6.159	9.849	13.327	6.265	7.523	5.456	8.402	19.214	12.907	24.465	11.149	22.004	14.314	2.810	18.884	12.907
	非密封	4.266	4.462	7.067	8.674	14.128	18.605	8.792	10.575	7.890	11.555	26.651	17.539	33.408	15.579	30.664	19.108	4.345	24.205	17.539
600 001～1 200 000	密封	3.387	3.589	5.809	7.471	12.083	16.267	7.592	9.140	6.660	10.153	23.516	15.609	29.869	13.583	27.032	17.231	3.468	22.500	15.609
	非密封	5.282	5.505	8.717	10.545	17.362	22.746	10.679	12.873	9.653	13.988	32.658	21.241	40.832	19.012	37.712	23.024	5.371	28.820	21.241
1 200 001～2 400 000	密封	4.228	4.481	7.252	9.327	15.084	20.308	9.479	11.410	8.315	12.676	29.357	19.487	37.288	16.957	33.746	21.512	4.329	28.091	19.487
	非密封	6.594	6.872	10.882	13.164	21.674	28.396	13.331	16.071	12.051	17.463	40.770	26.518	50.975	23.734	47.078	28.744	6.705	35.981	26.518
2 400 001～4 800 000	密封	5.236	5.531	8.952	11.371	18.566	24.890	11.548	13.930	10.191	15.404	36.061	23.698	45.710	20.749	41.581	26.057	5.354	33.725	23.698
	非密封	8.177	8.497	13.453	16.079	26.713	34.848	16.272	19.654	14.798	21.255	50.132	32.286	62.544	29.083	58.061	34.847	8.305	43.174	32.286
4 800 001～9 600 000	密封	6.494	6.841	11.075	13.922	22.913	30.610	14.130	17.075	12.533	18.811	44.429	28.954	56.223	25.482	51.362	31.732	6.633	40.760	28.954
	非密封	10.153	10.526	16.664	19.718	33.004	42.903	19.942	24.126	18.228	25.988	61.819	39.486	76.987	35.761	71.771	42.466	10.302	52.152	39.486
9 600 001～19 200 000	密封	8.065	8.478	13.724	17.107	28.339	37.751	17.354	21.001	15.457	23.063	54.876	35.516	69.347	31.391	63.573	38.816	8.230	49.541	35.516
	非密封	12.620	13.058	20.671	24.261	40.857	52.957	24.524	29.708	22.510	31.897	76.408	48.474	95.015	44.096	88.886	51.977	12.795	63.359	48.474
19 200 001～38 400 000	密封	10.026	10.520	17.032	21.083	35.112	46.664	21.379	25.901	19.107	28.371	67.916	43.707	85.730	38.768	78.815	47.659	10.224	60.502	43.707
	非密封	15.699	16.219	25.674	29.932	50.660	65.509	30.243	36.677	27.855	39.274	94.620	59.695	117.521	54.502	110.251	63.849	15.907	77.350	59.695

表 360(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
38 400 001～76 800 000	密封	12.474	13.070	21.161	26.046	43.568	57.792	26.403	32.019	23.663	34.998	84.195	53.933	106.182	47.976	97.842	58.698	12.712	74.186	53.933
	非密封	19.544	20.165	31.918	37.010	62.897	81.178	37.383	45.377	34.527	48.482	117.354	73.702	145.616	67.492	136.922	78.670	19.792	94.816	73.702
76 800 001～153 600 000	密封	15.530	16.252	26.315	32.241	54.123	71.682	32.675	39.656	29.351	43.270	104.517	66.697	131.712	59.471	121.595	72.478	15.819	91.268	66.697
	非密封	24.343	25.090	39.714	45.847	78.173	100.738	46.296	56.237	42.855	59.977	145.734	91.187	180.687	83.708	170.215	97.171	24.642	116.618	91.187
153 600 001～307 200 000	密封	19.344	20.225	32.750	39.975	67.299	89.022	40.504	49.190	36.451	53.596	129.885	82.632	163.582	73.820	151.246	89.681	19.697	112.591	82.632
	非密封	30.333	31.240	49.445	56.878	97.242	125.155	57.422	69.794	53.253	74.326	181.161	113.015	224.468	103.950	211.777	120.267	30.696	143.835	113.015
307 200 001～614 400 000	密封	24.106	25.185	40.782	49.630	83.748	110.668	50.277	61.091	45.314	66.486	161.553	102.523	203.366	91.733	188.260	111.155	24.538	139.210	102.523
	非密封	37.811	38.916	61.593	70.649	121.047	155.635	71.312	86.717	66.232	92.239	225.387	140.263	279.120	129.219	263.659	149.098	38.253	177.811	140.263
614 400 001～1 228 800 000	密封	30.050	31.376	50.809	61.682	104.281	137.689	62.478	75.947	56.378	82.578	201.085	127.354	253.031	114.094	234.466	137.962	30.581	172.440	127.354
	非密封	47.146	48.498	76.758	87.839	150.764	193.685	88.650	107.843	82.434	114.600	280.594	174.277	347.345	160.764	328.426	185.088	47.687	220.223	174.277

表 361　单片双极、MOS 模拟电路通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	密封	0.082	0.112	0.190	0.434	0.508	0.838	0.452	0.514	0.315	0.663	1.173	1.025	1.648	0.728	1.231	1.263	0.094	2.037	1.025
	非密封	0.101	0.137	0.233	0.523	0.618	1.014	0.544	0.620	0.381	0.797	1.422	1.233	1.992	0.880	1.497	1.516	0.116	2.436	1.233
21～50	密封	0.115	0.153	0.264	0.582	0.707	1.154	0.605	0.692	0.427	0.886	1.645	1.381	2.304	0.993	1.762	1.690	0.130	2.697	1.381
	非密封	0.141	0.187	0.322	0.693	0.855	1.387	0.721	0.827	0.512	1.054	1.982	1.644	2.765	1.191	2.130	2.007	0.159	3.186	1.644
51～100	密封	0.149	0.197	0.341	0.733	0.914	1.482	0.762	0.876	0.542	1.115	2.138	1.746	2.987	1.268	2.318	2.128	0.168	3.371	1.746
	非密封	0.183	0.238	0.414	0.869	1.103	1.774	0.902	1.041	0.647	1.318	2.566	2.068	3.573	1.513	2.796	2.511	0.205	3.953	2.068
101～500	密封	0.324	0.404	0.722	1.380	1.930	3.025	1.428	1.679	1.059	2.081	4.552	3.327	6.290	2.524	5.165	3.969	0.356	6.057	3.327
	非密封	0.418	0.509	0.912	1.660	2.407	3.715	1.715	2.031	1.295	2.487	5.630	3.993	7.727	3.082	6.450	4.723	0.454	7.093	3.993

表 361（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
501～1 000	密封	0.423	0.519	0.936	1.718	2.508	3.889	1.775	2.106	1.337	2.582	5.949	4.167	8.196	3.214	6.861	4.929	0.461	7.408	4.167
	非密封	0.548	0.654	1.186	2.056	3.130	4.771	2.120	2.537	1.632	3.068	7.356	4.978	10.058	3.916	8.571	5.827	0.590	8.588	4.978
1 001～2 000	密封	0.771	0.918	1.667	2.871	4.401	6.697	2.959	3.547	2.284	4.281	10.351	6.956	14.145	5.488	12.090	8.130	0.830	11.947	6.956
	非密封	1.016	1.183	2.147	3.517	5.572	8.346	3.617	4.367	2.849	5.203	12.951	8.479	17.568	6.808	15.229	9.816	1.083	14.159	8.479
2 001～3 000	密封	0.927	1.090	1.992	3.331	5.261	7.945	3.429	4.138	2.678	4.954	12.408	8.102	16.919	6.469	14.633	9.408	0.992	13.654	8.102
	非密封	1.223	1.407	2.570	4.075	6.666	9.902	4.185	5.090	3.341	6.008	15.527	9.859	21.009	8.024	18.439	11.328	1.297	16.100	9.859
3 001～4 000	密封	1.173	1.403	2.540	4.428	6.704	10.233	4.566	5.458	3.507	6.609	15.749	10.710	21.541	8.408	18.318	12.552	1.265	18.538	10.710
	非密封	1.549	1.815	3.283	5.465	8.522	12.818	5.625	6.767	4.400	8.098	19.785	13.153	26.872	10.492	23.146	15.283	1.655	22.204	13.153
4 001～5 000	密封	1.295	1.538	2.795	4.785	7.381	11.212	4.930	5.918	3.814	7.131	17.368	11.602	23.723	9.176	20.326	13.543	1.392	19.851	11.602
	非密封	1.712	1.991	3.616	5.900	9.385	14.043	6.068	7.332	4.786	8.725	21.818	14.232	29.587	11.446	25.687	16.460	1.824	23.703	14.232

表 362 微波单片集成电路通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管结构	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
GaAs MMIC (MESFET)	密封	0.060	0.070	0.148	0.226	0.485	0.753	0.232	0.301	0.188	0.349	1.378	0.650	1.968	0.555	1.835	0.726	0.064	0.972	0.650
	非密封	0.097	0.109	0.232	0.333	0.744	1.112	0.341	0.448	0.284	0.510	2.036	0.958	2.910	0.835	2.737	1.057	0.101	1.377	0.958
GaAs MMIC (HBT)	密封	0.077	0.086	0.189	0.267	0.631	0.970	0.273	0.365	0.229	0.412	1.822	0.796	2.604	0.701	2.471	0.872	0.081	1.118	0.796
	非密封	0.125	0.138	0.302	0.403	0.979	1.448	0.410	0.554	0.353	0.615	2.713	1.193	3.876	1.070	3.704	1.292	0.130	1.612	1.193
GaAs MMIC (、pHEMT)	密封	0.201	0.210	0.498	0.576	1.727	2.602	0.581	0.842	0.538	0.889	5.159	1.892	7.371	1.797	7.238	1.968	0.204	2.214	1.892
	非密封	0.341	0.353	0.821	0.922	2.744	3.971	0.929	1.344	0.873	1.406	7.787	2.958	11.127	2.835	10.954	3.057	0.346	3.377	2.958
aN MMIC (HEMT)	密封	0.027	0.037	0.066	0.144	0.193	0.317	0.149	0.174	0.106	0.221	0.488	0.357	0.697	0.263	0.564	0.433	0.031	0.680	0.357
	非密封	0.039	0.051	0.094	0.195	0.273	0.439	0.202	0.238	0.146	0.299	0.683	0.487	0.976	0.364	0.804	0.586	0.044	0.906	0.487

表 363　密封静态随机存储器(SRAM)通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.132	0.169	0.273	0.572	0.655	1.046	0.594	0.671	0.426	0.854	1.391	1.290	1.911	0.925	1.400	1.583	0.147	2.532	1.290
	MOS	0.087	0.115	0.192	0.425	0.493	0.802	0.442	0.501	0.311	0.643	1.095	0.985	1.522	0.702	1.126	1.211	0.098	1.947	0.985
321～576	双极	0.157	0.198	0.321	0.660	0.766	1.214	0.684	0.775	0.494	0.982	1.620	1.485	2.219	1.072	1.641	1.815	0.173	2.890	1.485
	MOS	0.099	0.129	0.217	0.463	0.553	0.890	0.481	0.548	0.343	0.698	1.229	1.075	1.701	0.775	1.281	1.315	0.111	2.095	1.075
577～1 120	双极	0.189	0.236	0.383	0.774	0.910	1.433	0.803	0.911	0.583	1.150	1.919	1.740	2.621	1.263	1.953	2.122	0.208	3.363	1.740
	MOS	0.114	0.146	0.248	0.512	0.629	1.003	0.531	0.609	0.383	0.770	1.400	1.189	1.929	0.868	1.479	1.447	0.127	2.284	1.189
1 121～2 240	双极	0.270	0.330	0.532	1.021	1.234	1.909	1.057	1.205	0.783	1.503	2.566	2.273	3.476	1.676	2.640	2.750	0.294	4.303	2.273
	MOS	0.165	0.203	0.346	0.661	0.862	1.338	0.684	0.792	0.507	0.984	1.898	1.529	2.588	1.146	2.051	1.836	0.180	2.834	1.529
2 241～5 000	双极	0.332	0.403	0.650	1.233	1.501	2.313	1.275	1.455	0.948	1.811	3.115	2.739	4.211	2.028	3.216	3.307	0.361	5.156	2.739
	MOS	0.196	0.238	0.409	0.752	1.014	1.556	0.777	0.906	0.585	1.116	2.231	1.743	3.028	1.324	2.441	2.078	0.213	3.167	1.743
5 001～11 000	双极	0.411	0.498	0.802	1.509	1.849	2.840	1.561	1.783	1.164	2.215	3.830	3.350	5.170	2.487	3.962	4.041	0.446	6.284	3.350
	MOS	0.237	0.284	0.489	0.870	1.208	1.835	0.898	1.053	0.684	1.285	2.657	2.015	3.591	1.551	2.941	2.387	0.256	3.593	2.015
11 001～17 001	双极	0.611	0.725	1.160	2.091	2.615	3.954	2.160	2.474	1.637	3.042	5.342	4.592	7.157	3.456	5.566	5.501	0.656	8.456	4.592
	MOS	0.372	0.431	0.742	1.228	1.791	2.657	1.263	1.496	0.991	1.792	3.885	2.821	5.195	2.229	4.366	3.295	0.395	4.835	2.821
17 001～38 000	双极	0.764	0.904	1.447	2.601	3.259	4.922	2.685	3.077	2.038	3.780	6.654	5.707	8.909	4.300	6.940	6.832	0.820	10.489	5.707
	MOS	0.458	0.524	0.907	1.453	2.179	3.201	1.492	1.778	1.186	2.111	4.720	3.337	6.289	2.671	5.357	3.869	0.485	5.599	3.337
38 001～74 000	双极	1.130	1.311	2.081	3.560	4.570	6.775	3.668	4.217	2.838	5.118	9.176	7.707	12.178	5.904	9.654	9.150	1.203	13.839	7.707
	MOS	0.722	0.802	1.383	2.034	3.232	4.619	2.082	2.510	1.716	2.908	6.881	4.615	9.052	3.820	7.939	5.251	0.754	7.319	4.615
74 001～150 000	双极	1.933	2.138	3.389	5.073	7.131	10.071	5.197	6.071	4.252	7.098	13.912	10.706	18.034	8.651	15.158	12.349	2.015	17.690	10.706
	MOS	0.801	0.895	1.541	2.317	3.613	5.198	2.374	2.850	1.938	3.324	7.703	5.262	10.160	4.314	8.833	6.019	0.838	8.482	5.262
150 001～300 000	双极	2.823	3.062	4.800	6.758	9.796	13.502	6.901	8.099	5.803	9.293	18.686	13.949	23.919	11.562	20.577	15.859	2.919	22.066	13.949
	MOS	1.220	1.327	2.271	3.145	5.175	7.242	3.209	3.896	2.719	4.429	10.825	7.029	14.093	5.964	12.601	7.881	1.263	10.651	7.029
300 001～600 000	双极	3.426	3.705	5.807	8.093	11.812	16.222	8.261	9.707	6.978	11.102	22.482	16.664	28.724	13.876	24.820	18.895	3.538	26.145	16.664
	MOS	1.482	1.603	2.748	3.740	6.244	8.694	3.813	4.645	3.256	5.250	13.045	8.350	16.946	7.140	15.251	9.319	1.531	12.466	8.350

表 363(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
600 001～1 200 000	双极	4.243	4.611	7.229	10.246	14.782	20.427	10.467	12.273	8.774	14.113	28.243	21.184	36.198	17.505	31.047	24.127	4.390	33.692	21.184
	MOS	1.886	2.065	3.529	5.002	8.073	11.375	5.110	6.177	4.284	7.075	16.916	11.197	22.085	9.402	19.571	12.634	1.958	17.303	11.197
1 200 001～2 400 000	MOS	2.283	2.484	4.252	5.904	9.693	13.575	6.025	7.312	5.098	8.320	20.279	13.200	26.410	11.185	23.587	14.813	2.363	20.054	13.200
2 400 001～4 800 000	MOS	2.771	3.000	5.141	7.016	11.688	16.284	7.153	8.710	6.101	9.853	24.421	15.667	31.734	13.380	28.533	17.496	2.863	23.441	15.667
4 800 001～9 600 000	MOS	3.373	3.635	6.235	8.384	14.144	19.619	8.541	10.431	7.336	11.741	29.520	18.703	38.289	16.083	34.621	20.799	3.478	27.611	18.703
9 600 001～19 200 000	MOS	4.114	4.417	7.583	10.068	17.167	23.725	10.250	12.549	8.856	14.065	35.797	22.441	46.359	19.410	42.116	24.865	4.235	32.745	22.441
19 200 001～38 400 000	MOS	5.026	5.379	9.242	12.142	20.889	28.780	12.354	15.158	10.727	16.926	43.525	27.043	56.295	23.506	51.344	29.872	5.167	39.066	27.043
38 400 001～76 800 000	MOS	6.148	6.564	11.285	14.695	25.472	35.004	14.944	18.369	13.031	20.448	53.040	32.708	68.527	28.550	62.705	36.035	6.315	46.848	32.708
76 800 001～153 600 000	MOS	7.530	8.023	13.800	17.838	31.114	42.665	18.133	22.322	15.868	24.785	64.753	39.684	83.587	34.759	76.692	43.624	7.727	56.429	39.684
153 600 001～307 200 000	MOS	9.232	9.819	16.896	21.708	38.060	52.098	22.060	27.189	19.360	30.123	79.175	48.271	102.127	42.403	93.911	52.966	9.467	68.224	48.271
307 200 001～614 400 000	MOS	11.327	12.030	20.707	26.472	46.612	63.712	26.894	33.181	23.660	36.696	96.929	58.844	124.953	51.814	115.111	64.468	11.608	82.745	58.844

表 364 非密封静态随机存储器(SRAM)通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.184	0.227	0.363	0.717	0.843	1.318	0.742	0.842	0.544	1.058	1.755	1.594	2.388	1.163	1.784	1.939	0.201	3.061	1.594
	MOS	0.111	0.146	0.244	0.531	0.619	1.002	0.552	0.626	0.391	0.801	1.368	1.227	1.895	0.877	1.406	1.506	0.125	2.414	1.227
321～576	双极	0.218	0.266	0.426	0.819	0.981	1.518	0.848	0.964	0.627	1.204	2.031	1.815	2.750	1.336	2.079	2.199	0.237	3.446	1.815
	MOS	0.127	0.163	0.274	0.574	0.691	1.106	0.596	0.681	0.428	0.864	1.526	1.329	2.105	0.962	1.592	1.622	0.141	2.574	1.329
577～1 120	双极	0.262	0.317	0.507	0.953	1.159	1.778	0.985	1.123	0.735	1.395	2.387	2.105	3.221	1.561	2.460	2.540	0.284	3.953	2.105
	MOS	0.146	0.185	0.312	0.631	0.784	1.239	0.654	0.751	0.475	0.945	1.729	1.459	2.373	1.071	1.830	1.769	0.162	2.778	1.459

表 364(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1 121～2 240	双极	0.444	0.511	0.805	1.357	1.743	2.569	1.398	1.606	1.088	1.943	3.468	2.915	4.588	2.242	3.645	3.454	0.471	5.205	2.915
	MOS	0.254	0.300	0.508	0.886	1.220	1.837	0.913	1.069	0.702	1.299	2.625	2.021	3.527	1.561	2.883	2.389	0.272	3.586	2.021
2 241～5 000	双极	0.546	0.625	0.984	1.629	2.117	3.100	1.677	1.930	1.314	2.324	4.194	3.487	5.531	2.700	4.429	4.117	0.578	6.165	3.487
	MOS	0.307	0.356	0.607	1.013	1.446	2.148	1.043	1.229	0.815	1.477	3.103	2.308	4.146	1.813	3.452	2.705	0.327	3.993	2.308
5 001～11 000	双极	0.677	0.770	1.212	1.983	2.597	3.785	2.039	2.350	1.607	2.820	5.130	4.232	6.751	3.293	5.436	4.984	0.714	7.426	4.232
	MOS	0.375	0.429	0.733	1.176	1.736	2.547	1.209	1.434	0.960	1.704	3.716	2.677	4.940	2.136	4.183	3.109	0.396	4.514	2.677
11 001～17 001	双极	1.204	1.327	2.046	3.058	4.167	5.857	3.132	3.628	2.565	4.245	7.939	6.314	10.256	5.080	8.528	7.301	1.253	10.510	6.314
	MOS	0.746	0.815	1.376	1.941	3.096	4.344	1.983	2.389	1.666	2.734	6.400	4.296	8.328	3.606	7.363	4.848	0.773	6.642	4.296
17 001～38 000	双极	1.504	1.654	2.550	3.783	5.178	7.259	3.874	4.490	3.182	5.242	9.848	7.796	12.704	6.292	10.598	8.999	1.564	12.911	7.796
	MOS	0.932	1.009	1.707	2.333	3.819	5.306	2.378	2.882	2.027	3.264	7.872	5.147	10.199	4.384	9.131	5.757	0.963	7.741	5.147
38 001～74 000	双极	2.680	2.871	4.331	5.899	8.354	11.291	6.013	6.995	5.134	7.951	15.284	11.681	19.331	9.769	16.654	13.210	2.756	18.181	11.681
	MOS	1.901	1.992	3.304	4.045	7.010	9.349	4.099	5.023	3.683	5.475	13.897	8.583	17.623	7.679	16.358	9.306	1.938	11.655	8.583
74 001～150 000	双极	7.185	7.404	10.866	12.658	19.373	24.441	12.789	15.032	11.784	16.125	33.186	23.176	40.338	20.990	37.278	24.924	7.273	30.606	23.176
	MOS	3.329	3.437	5.568	6.453	11.311	14.705	6.517	7.988	6.021	8.527	21.652	13.187	27.041	12.109	25.531	14.050	3.372	16.854	13.187
150 001～300 000	双极	8.754	9.006	13.211	15.276	23.492	29.545	15.427	18.148	14.269	19.407	40.145	27.874	48.704	25.356	45.178	29.889	8.855	36.437	27.874
	MOS	4.073	4.192	6.792	7.773	13.760	17.814	7.845	9.637	7.295	10.236	26.289	15.841	32.766	14.645	31.091	16.798	4.120	19.909	15.841
300 001～600 000	双极	10.733	11.056	16.225	18.873	28.912	36.454	19.066	22.414	17.581	24.029	49.504	34.532	60.149	31.302	55.628	37.115	10.862	45.512	34.532
	MOS	5.050	5.215	8.448	9.802	17.165	22.325	9.901	12.133	9.142	12.958	32.865	20.038	41.053	18.387	38.741	21.359	5.116	25.653	20.038
600 001～1 200 000	双极	13.076	13.447	19.724	22.769	35.053	44.053	22.992	27.052	21.284	28.908	59.867	41.514	72.601	37.801	67.402	44.485	13.224	54.140	41.514
	MOS	6.176	6.359	10.303	11.804	20.877	27.038	11.914	14.633	11.072	15.548	39.893	24.061	49.731	22.231	47.169	25.525	6.249	30.283	24.061
1 200 001～2 400 000	MOS	7.607	7.834	12.692	14.553	25.722	33.323	14.689	18.039	13.645	19.173	49.158	29.670	61.289	27.401	58.112	31.485	7.698	37.384	29.670
2 400 001～4 800 000	MOS	9.315	9.569	15.505	17.587	31.348	40.468	17.740	21.828	16.571	23.098	59.811	35.768	74.441	33.228	70.885	37.799	9.416	44.403	35.768
4 800 001～9 600 000	MOS	11.417	11.704	18.967	21.323	38.275	49.264	21.495	26.493	20.173	27.930	72.926	43.275	90.634	40.401	86.611	45.573	11.532	53.044	43.275

表 364(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
9 600 001～19 200 000	MOS	14.005	14.333	23.229	25.922	46.803	60.093	26.119	32.236	24.608	33.878	89.073	52.517	110.569	49.233	105.972	55.144	14.136	63.682	52.517
19 200 001～38 400 000	MOS	17.192	17.571	28.477	31.584	57.301	73.426	31.811	39.307	30.068	41.202	108.952	63.895	135.112	60.106	129.807	66.927	17.343	76.779	63.895
38 400 001～76 800 000	MOS	21.115	21.556	34.937	38.555	70.227	89.840	38.819	48.013	36.790	50.219	133.426	77.904	165.329	73.492	159.152	81.433	21.291	92.904	77.904
76 800 001～153 600 000	MOS	25.944	26.462	42.891	47.137	86.140	110.048	47.448	58.731	45.066	61.320	163.557	95.150	202.530	89.972	195.280	99.292	26.152	112.755	95.150
153 600 001～307 200 000	MOS	31.891	32.503	52.683	57.703	105.731	134.927	58.070	71.925	55.254	74.986	200.652	116.383	248.329	110.261	239.759	121.280	32.136	137.196	116.383
307 200 001～614 400 000	MOS	39.211	39.940	64.739	70.711	129.851	165.557	71.148	88.170	67.798	91.812	246.322	142.524	304.715	135.241	294.519	148.350	39.503	167.285	142.524

表 365　密封先进先出存储器(FIFO)通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	MOS	0.081	0.108	0.180	0.407	0.463	0.759	0.423	0.479	0.296	0.616	1.029	0.943	1.434	0.667	1.048	1.163	0.092	1.880	0.943
321～576	MOS	0.091	0.120	0.201	0.439	0.514	0.833	0.457	0.519	0.323	0.664	1.142	1.019	1.585	0.729	1.178	1.252	0.102	2.008	1.019
577～1 120	MOS	0.104	0.135	0.227	0.481	0.578	0.929	0.500	0.571	0.357	0.725	1.286	1.117	1.778	0.808	1.344	1.365	0.116	2.171	1.117
1 121～2 240	MOS	0.147	0.184	0.311	0.614	0.779	1.222	0.636	0.733	0.466	0.917	1.718	1.420	2.350	1.052	1.834	1.715	0.162	2.673	1.420
2 241～5 000	MOS	0.173	0.213	0.363	0.691	0.905	1.403	0.715	0.829	0.531	1.029	1.993	1.600	2.716	1.201	2.156	1.920	0.189	2.959	1.600
5 001～11 000	MOS	0.207	0.251	0.430	0.790	1.065	1.635	0.816	0.952	0.614	1.172	2.344	1.830	3.181	1.390	2.566	2.181	0.224	3.324	1.830
11 001～17 001	MOS	0.318	0.375	0.642	1.102	1.558	2.337	1.136	1.336	0.878	1.617	3.385	2.534	4.546	1.973	3.761	2.982	0.341	4.441	2.534
17 001～38 000	MOS	0.388	0.451	0.776	1.289	1.873	2.782	1.326	1.569	1.038	1.882	4.064	2.961	5.437	2.336	4.561	3.461	0.413	5.087	2.961
38 001～74 000	MOS	0.602	0.676	1.162	1.772	2.730	3.944	1.816	2.175	1.474	2.547	5.825	4.025	7.696	3.281	6.654	4.620	0.631	6.555	4.025

表 365（续）

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
74 001～150 000	MOS	0.762	0.854	1.469	2.226	3.449	4.972	2.282	2.736	1.857	3.198	7.356	5.056	9.711	4.132	8.417	5.796	0.799	8.198	5.056
150 001～300 000	MOS	1.196	1.302	2.228	3.095	5.079	7.115	3.159	3.833	2.672	4.362	10.627	6.920	13.841	5.862	12.360	7.766	1.238	10.516	6.920
300 001～600 000	MOS	1.501	1.623	2.782	3.789	6.323	8.804	3.863	4.705	3.298	5.319	13.209	8.460	17.161	7.232	15.441	9.442	1.550	12.635	8.460
600 001～1 200 000	MOS	1.970	2.155	3.683	5.202	8.420	11.852	5.313	6.427	4.461	7.353	17.638	11.642	23.018	9.790	20.426	13.123	2.044	17.938	11.642
1 200 001～2 400 000	MOS	2.464	2.677	4.583	6.329	10.440	14.596	6.456	7.844	5.477	8.908	21.833	14.143	28.412	12.015	25.432	15.846	2.549	21.380	14.143
2 400 001～4 800 000	MOS	3.095	3.343	5.731	7.765	13.014	18.094	7.914	9.650	6.773	10.891	27.178	17.332	35.286	14.850	31.812	19.317	3.194	25.768	17.332
4 800 001～9 600 000	MOS	3.898	4.191	7.193	9.596	16.296	22.553	9.772	11.953	8.424	13.418	33.992	21.395	44.048	18.465	39.944	23.740	4.015	31.360	21.395
9 600 001～16 777 216	MOS	4.922	5.272	9.056	11.930	20.478	28.235	12.140	14.887	10.528	16.639	42.676	26.575	55.215	23.071	50.309	29.378	5.062	38.488	26.575

表 366　MOS 动态随机存储器（DRAM）通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	密封	0.071	0.095	0.157	0.354	0.400	0.656	0.369	0.417	0.258	0.537	0.885	0.819	1.233	0.578	0.896	1.012	0.080	1.637	0.819
	非密封	0.103	0.134	0.221	0.473	0.551	0.886	0.491	0.557	0.350	0.711	1.202	1.085	1.660	0.778	1.230	1.330	0.115	2.128	1.085
321～576	密封	0.079	0.103	0.172	0.374	0.437	0.707	0.389	0.442	0.276	0.565	0.965	0.866	1.337	0.619	0.992	1.063	0.088	1.704	0.866
	非密封	0.116	0.148	0.246	0.502	0.608	0.963	0.521	0.595	0.377	0.752	1.321	1.152	1.813	0.839	1.375	1.402	0.129	2.215	1.152
577～1 120	密封	0.089	0.114	0.192	0.400	0.484	0.773	0.416	0.475	0.299	0.602	1.069	0.926	1.473	0.672	1.117	1.129	0.099	1.790	0.926
	非密封	0.134	0.166	0.278	0.541	0.681	1.062	0.560	0.644	0.413	0.805	1.477	1.239	2.012	0.918	1.564	1.495	0.147	2.327	1.239
1 121～2 240	密封	0.151	0.181	0.305	0.549	0.737	1.120	0.567	0.660	0.430	0.809	1.589	1.255	2.143	0.957	1.726	1.493	0.163	2.267	1.255
	非密封	0.237	0.275	0.459	0.766	1.066	1.578	0.788	0.923	0.616	1.110	2.241	1.717	2.984	1.343	2.460	2.017	0.252	2.990	1.717
2 241～5 000	密封	0.181	0.212	0.360	0.615	0.862	1.288	0.633	0.743	0.490	0.899	1.851	1.401	2.480	1.091	2.046	1.650	0.193	2.457	1.401
	非密封	0.289	0.327	0.549	0.866	1.261	1.833	0.889	1.051	0.711	1.244	2.636	1.934	3.483	1.547	2.941	2.244	0.304	3.249	1.934

表 366(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
5 001～11 000	密封	0.220	0.253	0.432	0.699	1.024	1.506	0.719	0.851	0.569	1.015	2.192	1.592	2.918	1.265	2.461	1.853	0.233	2.702	1.592
	非密封	0.355	0.396	0.666	0.996	1.515	2.165	1.020	1.217	0.835	1.418	3.149	2.216	4.130	1.813	3.566	2.538	0.372	3.586	2.216
11 001～17 001	密封	0.441	0.483	0.815	1.158	1.837	2.583	1.183	1.424	0.991	1.633	3.801	2.565	4.950	2.147	4.364	2.899	0.458	3.986	2.565
	非密封	0.718	0.770	1.273	1.696	2.748	3.765	1.727	2.084	1.490	2.342	5.505	3.645	7.068	3.130	6.346	4.058	0.739	5.399	3.645
17 001～38 000	密封	0.554	0.599	1.014	1.379	2.266	3.144	1.405	1.705	1.201	1.927	4.669	3.041	6.046	2.595	5.422	3.397	0.572	4.554	3.041
	非密封	0.909	0.963	1.595	2.040	3.414	4.617	2.073	2.519	1.823	2.791	6.805	4.359	8.685	3.816	7.925	4.793	0.930	6.204	4.359
38 001～74 000	密封	1.144	1.196	1.984	2.408	4.204	5.590	2.439	2.994	2.201	3.252	8.324	5.102	10.542	4.586	9.819	5.516	1.165	6.859	5.102
	非密封	1.861	1.924	3.117	3.630	6.338	8.253	3.667	4.491	3.379	4.803	12.142	7.426	15.176	6.801	14.300	7.926	1.886	9.552	7.426
74 001～150 000	密封	1.920	1.980	3.207	3.700	6.508	8.449	3.736	4.583	3.460	4.883	12.450	7.554	15.538	6.953	14.696	8.035	1.944	9.597	7.554
	非密封	3.065	3.138	4.966	5.567	9.705	12.378	5.611	6.849	5.274	7.215	17.992	10.979	22.190	10.247	21.165	11.565	3.094	13.468	10.979
150 001～300 000	密封	2.267	2.330	3.776	4.296	7.639	9.871	4.334	5.330	4.042	5.647	14.582	8.743	18.157	8.109	17.269	9.251	2.292	10.901	8.743
	非密封	3.624	3.701	5.856	6.484	11.410	14.489	6.530	7.988	6.177	8.371	21.103	12.742	25.969	11.976	24.897	13.355	3.655	15.345	12.742
300 001～600 000	密封	2.727	2.819	4.566	5.315	9.285	12.088	5.370	6.577	4.950	7.033	17.786	10.874	22.228	9.961	20.950	11.605	2.764	13.980	10.874
	非密封	4.351	4.463	7.062	7.978	13.827	17.683	8.045	9.808	7.531	10.366	25.672	15.770	31.705	14.653	30.142	16.662	4.396	19.565	15.770
600 001～1 200 000	密封	3.219	3.315	5.371	6.160	10.885	14.103	6.218	7.635	5.775	8.117	20.804	12.560	25.939	11.597	24.591	13.330	3.257	15.833	12.560
	非密封	5.142	5.258	8.321	9.276	16.239	20.672	9.346	11.420	8.810	12.003	30.075	18.267	37.055	17.102	35.423	19.199	5.188	22.228	18.267
1 200 001～2 400 000	密封	3.837	3.956	6.409	7.384	13.002	16.871	7.456	9.148	6.908	9.743	24.867	15.072	31.028	13.882	29.362	16.024	3.884	19.118	15.072
	非密封	6.126	6.270	9.923	11.106	19.384	24.710	11.193	13.667	10.529	14.388	35.926	21.895	44.295	20.452	42.275	23.049	6.184	26.801	21.895
2 400 001～4 800 000	密封	4.532	4.658	7.547	8.582	15.268	19.725	8.657	10.648	8.077	11.278	29.141	17.462	36.283	16.201	34.517	18.471	4.582	21.750	17.462
	非密封	7.245	7.396	11.703	12.945	22.798	28.941	13.036	15.950	12.339	16.707	42.158	25.432	51.869	23.918	49.749	26.644	7.306	30.581	25.432
4 800 001～9 600 000	密封	5.359	5.493	8.902	10.007	17.964	23.121	10.088	12.433	9.468	13.107	34.227	20.308	42.537	18.961	40.651	21.386	5.413	24.888	20.308
	非密封	8.576	8.736	13.821	15.133	26.858	33.976	15.229	18.667	14.493	19.467	49.573	29.643	60.881	28.042	58.640	30.923	8.640	35.083	29.643
9 600 001～19 200 000	密封	6.342	6.487	10.514	11.703	21.173	27.163	11.791	14.559	11.123	15.284	40.280	23.697	49.980	22.246	47.949	24.857	6.400	28.629	23.697
	非密封	10.158	10.329	16.341	17.738	31.689	39.966	17.840	21.900	17.056	22.752	58.395	34.654	71.603	32.950	69.218	36.017	10.226	40.447	34.654

表 366(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
19 200 001～38 400 000	密封	7.513	7.670	12.431	13.723	24.990	31.973	13.818	17.089	13.093	17.877	47.482	27.732	58.839	26.156	56.633	28.992	7.576	33.089	27.732
	非密封	12.041	12.224	19.338	20.837	37.436	47.093	20.947	25.748	20.106	26.662	68.891	40.618	84.361	38.789	81.801	42.081	12.114	46.836	40.618
38 400 001～76 800 000	密封	8.904	9.077	14.713	16.128	29.533	37.698	16.232	20.101	15.438	20.965	56.053	32.536	69.381	30.810	66.965	33.917	8.974	38.406	32.536
	非密封	14.280	14.478	22.903	24.526	44.273	55.574	24.645	30.327	23.734	31.316	81.379	47.717	99.541	45.738	96.770	49.301	14.359	54.447	47.717
76 800 001～153 600 000	密封	10.560	10.751	17.427	18.991	34.938	44.512	19.106	23.687	18.228	24.641	66.253	38.258	81.929	36.350	79.258	39.784	10.637	44.744	38.258
	非密封	16.943	17.159	27.144	28.916	52.407	65.665	29.045	35.775	28.051	36.856	96.237	56.167	117.604	54.006	114.578	57.896	17.030	63.514	56.167
153 600 001～307 200 000	密封	12.530	12.743	20.656	22.400	41.369	52.622	22.528	27.956	21.549	29.020	78.391	45.070	96.862	42.943	93.885	46.772	12.615	52.302	45.070
	非密封	20.111	20.349	32.188	34.140	62.084	77.671	34.283	42.260	33.188	43.450	113.914	66.225	139.096	63.845	135.764	68.129	20.206	74.317	66.225
307 200 001～614 400 000	密封	14.873	15.112	24.498	26.459	49.023	62.274	26.602	33.038	25.502	34.234	92.835	53.183	114.636	50.792	111.289	55.096	14.969	61.312	53.183
	非密封	23.879	24.144	38.189	40.357	73.596	91.958	40.516	49.976	39.300	51.298	134.946	78.196	164.669	75.552	160.967	80.312	23.985	87.186	78.196
614 400 001～1 228 800 000	密封	17.660	17.931	29.069	31.291	58.129	73.762	31.453	39.088	30.207	40.443	110.026	62.844	135.790	60.134	131.997	65.011	17.769	72.056	62.844
	非密封	28.361	28.657	45.328	47.757	87.291	108.957	47.935	59.159	46.572	60.640	159.969	92.446	195.098	89.484	190.950	94.816	28.479	102.519	92.446

表 367 密封单片微处理器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～200	双极	0.272	0.382	0.611	1.520	1.545	2.620	1.586	1.761	1.076	2.315	3.371	3.474	4.755	2.366	3.204	4.361	0.316	7.243	3.474
	MOS	0.272	0.379	0.620	1.498	1.594	2.675	1.563	1.748	1.070	2.283	3.528	3.458	4.958	2.387	3.458	4.315	0.315	7.101	3.458
201～800	双极	0.336	0.456	0.728	1.712	1.800	2.992	1.784	1.989	1.232	2.589	3.877	3.888	5.422	2.688	3.742	4.848	0.384	7.968	3.888
	MOS	0.311	0.423	0.697	1.619	1.782	2.948	1.686	1.896	1.169	2.458	3.936	3.737	5.501	2.613	3.928	4.635	0.356	7.557	3.737
801～3 000	双极	0.379	0.505	0.805	1.833	1.963	3.228	1.909	2.134	1.332	2.761	4.200	4.147	5.845	2.892	4.089	5.150	0.429	8.412	4.147
	MOS	0.333	0.449	0.741	1.687	1.888	3.103	1.756	1.980	1.225	2.556	4.167	3.893	5.808	2.741	4.194	4.816	0.379	7.813	3.893
3 001～8 000	双极	0.664	0.872	1.390	3.095	3.360	5.479	3.219	3.606	2.263	4.646	7.152	6.978	9.917	4.899	7.006	8.642	0.747	14.048	6.978
	MOS	0.531	0.720	1.187	2.735	3.029	5.000	2.848	3.207	1.980	4.150	6.690	6.314	9.341	4.426	6.698	7.824	0.607	12.733	6.314

表 367(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
8 001～20 000	双极	0.767	0.985	1.569	3.362	3.738	6.011	3.493	3.926	2.487	5.019	7.887	7.541	10.869	5.355	7.809	9.290	0.854	14.974	7.541
	MOS	0.570	0.764	1.264	2.853	3.215	5.270	2.969	3.352	2.078	4.321	7.095	6.586	9.879	4.649	7.166	8.136	0.648	13.173	6.586
20 001～40 000	双极	0.998	1.239	1.971	3.943	4.574	7.178	4.088	4.624	2.981	5.826	9.507	8.760	12.957	6.354	9.589	10.684	1.094	16.939	8.760
	MOS	0.647	0.851	1.416	3.084	3.581	5.801	3.206	3.638	2.271	4.655	7.894	7.121	10.939	5.087	8.091	8.749	0.729	14.038	7.121
40 001～60 000	双极	1.510	1.947	3.101	6.680	7.402	11.927	6.942	7.799	4.934	9.981	15.638	14.996	21.569	10.631	15.459	18.488	1.685	29.835	14.996
	MOS	1.057	1.449	2.381	5.594	6.094	10.127	5.829	6.545	4.026	8.504	13.470	12.913	18.858	8.994	13.372	16.048	1.214	26.237	12.913
60 001～80 000	双极	1.624	2.070	3.296	6.953	7.804	12.481	7.221	8.127	5.169	10.357	16.411	15.564	22.560	11.104	16.316	19.133	1.802	30.729	15.564
	MOS	1.089	1.485	2.443	5.689	6.245	10.346	5.926	6.662	4.106	8.641	13.799	13.132	19.295	9.174	13.753	16.299	1.247	26.589	13.132
80 001～90 000	双极	1.719	2.173	3.459	7.180	8.139	12.942	7.452	8.400	5.365	10.669	17.055	16.035	23.383	11.497	17.030	19.665	1.900	31.464	16.035
80 001～95 000	MOS	1.114	1.513	2.494	5.765	6.367	10.521	6.004	6.756	4.169	8.751	14.063	13.308	19.644	9.319	14.059	16.499	1.274	26.872	13.308
95 001～200 000	MOS	2.734	3.748	6.101	14.412	15.462	25.738	15.020	16.817	10.358	21.885	33.886	33.099	47.445	22.963	33.255	41.208	3.140	67.561	33.099
200 001～400 000	MOS	2.991	4.021	6.570	15.016	16.520	27.186	15.634	17.574	10.896	22.724	36.086	34.443	50.284	24.142	35.864	42.683	3.403	69.464	34.443
400 001～600 000	MOS	3.136	4.175	6.835	15.357	17.118	28.005	15.981	18.001	11.200	23.197	37.331	35.200	51.889	24.808	37.340	43.514	3.551	70.534	35.200
600 001～800 000	MOS	3.242	4.288	7.030	15.606	17.555	28.602	16.233	18.313	11.422	23.542	38.240	35.753	53.061	25.294	38.418	44.121	3.660	71.314	35.753
800 001～950 000	MOS	3.327	4.378	7.185	15.805	17.906	29.082	16.436	18.563	11.601	23.819	38.969	36.197	54.002	25.685	39.285	44.607	3.748	71.939	36.197
950 001～2 000 000	MOS	4.048	5.237	8.578	18.331	21.101	33.928	19.045	21.559	13.573	27.506	45.575	41.796	62.869	29.902	46.218	51.312	4.523	82.236	41.796
2 000 001～4 000 000	MOS	4.631	5.848	9.619	19.601	23.385	36.996	20.331	23.154	14.732	29.240	50.236	44.567	68.820	32.393	51.778	54.305	5.118	85.956	44.567

表 367（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
4 000 001～6 000 000	MOS	4.961	6.194	10.208	20.318	24.678	38.730	21.058	24.054	15.386	30.219	52.873	46.131	72.186	33.802	54.925	55.994	5.454	88.050	46.131
6 000 001～8 000 000	MOS	5.203	6.447	10.639	20.841	25.623	39.998	21.588	24.712	15.864	30.933	54.800	47.273	74.646	34.830	57.226	57.227	5.701	89.577	47.273
8 000 001～9 500 000	MOS	5.397	6.650	10.985	21.262	26.382	41.016	22.014	25.240	16.248	31.506	56.348	48.189	76.620	35.656	59.074	58.215	5.898	90.801	48.189
9 500 001～10 000 000	MOS	5.482	6.739	11.136	21.446	26.714	41.461	22.200	25.471	16.417	31.757	57.026	48.590	77.485	36.018	59.884	58.648	5.985	91.336	48.590
10 000 001～30 000 000	MOS	8.306	10.136	16.648	31.655	39.473	60.965	32.753	37.571	24.335	46.721	83.585	71.318	113.282	53.016	87.660	85.959	9.038	133.542	71.318
30 000 001～50 000 000	MOS	9.251	11.115	18.296	33.578	43.000	65.618	34.696	39.987	26.123	49.305	90.641	75.426	122.202	56.791	96.112	90.335	9.997	138.788	75.426
50 000 001～70 000 000	MOS	9.885	11.771	19.400	34.864	45.362	68.733	35.995	41.603	27.321	51.032	95.365	78.174	128.174	59.317	101.773	93.260	10.639	142.290	78.174
70 000 001～90 000 000	MOS	10.375	12.278	20.254	35.857	47.188	71.139	36.999	42.852	28.246	52.366	99.016	80.296	132.789	61.268	106.149	95.519	11.136	144.992	80.296
90 000 001～110 000 000	MOS	10.780	12.697	20.959	36.677	48.696	73.127	37.827	43.883	29.010	53.467	102.033	82.049	136.601	62.880	109.765	97.383	11.547	147.221	82.049
110 000 001～130 000 000	MOS	11.128	13.057	21.565	37.382	49.992	74.835	38.539	44.769	29.666	54.413	104.624	83.553	139.876	64.265	112.872	98.984	11.900	149.133	83.553
130 000 001～150 000 000	MOS	11.435	13.374	22.099	38.002	51.134	76.340	39.166	45.549	30.245	55.246	106.908	84.879	142.762	65.485	115.611	100.394	12.211	150.817	84.879
150 000 001～170 000 000	MOS	11.710	13.659	22.579	38.559	52.159	77.691	39.728	46.249	30.764	55.993	108.959	86.068	145.352	66.580	118.069	101.659	12.490	152.328	86.068
170 000 001～190 000 000	MOS	11.961	13.918	23.015	39.066	53.092	78.920	40.240	46.886	31.236	56.673	110.824	87.151	147.709	67.577	120.306	102.810	12.744	153.701	87.151

表 367（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
190 000 001～220 000 000	MOS	12.191	14.156	23.416	39.532	53.950	80.050	40.711	47.472	31.671	57.299	112.539	88.145	149.877	68.493	122.363	103.867	12.977	154.964	88.145
220 000 001～275 000 000	MOS	15.914	18.167	29.841	48.317	67.317	98.367	49.669	58.110	39.304	69.376	138.444	106.522	182.995	83.990	151.451	124.547	16.815	183.129	106.522
275 000 001～300 000 000	MOS	16.260	18.522	30.432	48.982	68.550	99.971	50.340	58.946	39.933	70.257	140.865	107.914	186.030	85.291	154.357	126.013	17.165	184.832	107.914
300 000 001～340 000 000	MOS	16.868	19.236	31.600	51.013	71.234	103.986	52.433	61.371	41.543	73.208	146.439	112.426	193.476	88.752	160.333	131.365	17.815	192.917	112.426
340 000 001～380 000 000	MOS	17.251	19.628	32.253	51.748	72.598	105.759	53.175	62.295	42.239	74.182	149.116	113.965	196.830	90.191	163.546	132.984	18.202	194.797	113.965
380 000 001～500 000 000	MOS	17.603	19.990	32.854	52.425	73.852	107.388	53.857	63.144	42.878	75.077	151.577	115.380	199.914	91.513	166.501	134.473	18.558	196.526	115.380
500 000 001～700 000 000	MOS	19.047	21.471	35.318	55.197	78.997	114.072	56.652	66.626	45.500	78.748	161.673	121.181	212.564	96.937	178.623	140.575	20.017	203.608	121.181
700 000 001～900 000 000	MOS	20.164	22.617	37.222	57.339	82.975	119.238	58.811	69.317	47.526	81.583	169.478	125.662	222.341	101.129	187.995	145.288	21.145	209.073	125.662
900 000 001～1 100 000 000	MOS	21.087	23.564	38.797	59.109	86.262	123.506	60.595	71.539	49.200	83.925	175.927	129.363	230.419	104.592	195.740	149.180	22.077	213.583	129.363
1 100 000 001～1 400 000 000	MOS	21.880	24.377	40.149	60.628	89.086	127.173	62.127	73.449	50.638	85.936	181.467	132.542	237.359	107.567	202.395	152.521	22.879	217.455	132.542

表 368　非密封单片微处理器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～200	双极	0.352	0.502	0.803	2.040	2.049	3.500	2.130	2.361	1.436	3.115	4.491	4.674	6.355	3.166	4.244	5.881	0.412	9.803	4.674
	MOS	0.352	0.499	0.812	2.018	2.098	3.555	2.107	2.348	1.430	3.083	4.648	4.658	6.558	3.187	4.498	5.835	0.411	9.661	4.658

表 368(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
201～800	双极	0.416	0.576	0.920	2.232	2.304	3.872	2.328	2.589	1.592	3.389	4.997	5.088	7.022	3.488	4.782	6.368	0.480	10.528	5.088
	MOS	0.391	0.543	0.889	2.139	2.286	3.828	2.230	2.496	1.529	3.258	5.056	4.937	7.101	3.413	4.968	6.155	0.452	10.117	4.937
801～3 000	双极	0.459	0.625	0.997	2.353	2.467	4.108	2.453	2.734	1.692	3.561	5.320	5.347	7.445	3.692	5.129	6.670	0.525	10.973	5.347
	MOS	0.413	0.569	0.933	2.207	2.392	3.983	2.300	2.580	1.585	3.356	5.287	5.094	7.408	3.541	5.234	6.336	0.475	10.373	5.094
3 001～8 000	双极	0.802	1.079	1.722	3.995	4.232	7.002	4.161	4.644	2.886	6.030	9.090	9.055	12.686	6.283	8.806	11.272	0.913	18.479	9.055
	MOS	0.670	0.928	1.519	3.635	3.901	6.523	3.790	4.245	2.603	5.535	8.629	8.391	12.110	5.811	8.498	10.455	0.773	17.163	8.391
8 001～20 000	双极	0.905	1.193	1.902	4.262	4.610	7.534	4.435	4.964	3.111	6.404	9.825	9.618	13.638	6.740	9.609	11.921	1.020	19.404	9.618
	MOS	0.709	0.972	1.596	3.753	4.087	6.793	3.911	4.390	2.701	5.705	9.034	8.663	12.648	6.033	8.966	10.767	0.814	17.604	8.663
20 001～40 000	双极	1.137	1.446	2.303	4.843	5.446	8.701	5.029	5.662	3.604	7.211	11.445	10.837	15.726	7.739	11.389	13.315	1.260	21.370	10.837
	MOS	0.786	1.058	1.748	3.984	4.454	7.324	4.148	4.676	2.894	6.040	9.833	9.198	13.708	6.471	9.891	11.379	0.895	18.468	9.198
40 001～60 000	双极	1.821	2.413	3.846	8.698	9.358	15.342	9.053	10.127	6.332	13.086	19.985	19.654	27.779	13.736	19.495	24.387	2.057	39.772	19.654
	MOS	1.367	1.915	3.126	7.612	8.051	13.543	7.941	8.873	5.424	11.609	17.817	17.571	25.068	12.099	17.409	21.948	1.586	36.173	17.571
60 001～80 000	双极	1.934	2.536	4.041	8.972	9.760	15.897	9.332	10.456	6.566	13.462	20.758	20.222	28.770	14.209	20.352	25.032	2.175	40.665	20.222
	MOS	1.399	1.950	3.188	7.707	8.202	13.762	8.038	8.991	5.503	11.746	18.146	17.790	25.505	12.279	17.790	22.198	1.620	36.526	17.790
80 001～90 000	双极	2.029	2.638	4.204	9.198	10.095	16.358	9.564	10.729	6.762	13.774	21.402	20.692	29.594	14.602	21.067	25.565	2.273	41.400	20.692
80 001～95 000	MOS	1.425	1.979	3.239	7.783	8.323	13.937	8.116	9.085	5.566	11.856	18.410	17.966	25.855	12.424	18.096	22.399	1.647	36.808	17.966
95 001～200 000	MOS	3.216	4.471	7.258	17.546	18.500	31.042	18.299	20.434	12.528	26.707	40.637	40.332	57.089	27.785	39.524	50.370	3.718	82.992	40.332
200 001～400 000	MOS	3.473	4.744	7.727	18.151	19.558	32.491	18.913	21.190	13.066	27.546	42.837	41.676	59.929	28.964	42.132	51.845	3.981	84.895	41.676
400 001～600 000	MOS	3.618	4.898	7.993	18.492	20.156	33.309	19.260	21.617	13.370	28.019	44.081	42.434	61.533	29.630	43.608	52.676	4.130	85.965	42.434
600 001～800 000	MOS	3.724	5.011	8.187	18.740	20.593	33.907	19.512	21.929	13.592	28.364	44.991	42.987	62.705	30.117	44.687	53.283	4.239	86.745	42.987
800 001～950 000	MOS	3.809	5.102	8.343	18.940	20.944	34.387	19.715	22.179	13.771	28.641	45.720	43.430	63.646	30.507	45.554	53.769	4.326	87.369	43.430
950 001～2 000 000	MOS	4.644	6.132	10.010	22.211	24.861	40.494	23.103	26.036	16.259	33.475	53.931	50.749	74.807	35.871	53.977	62.652	5.240	101.336	50.749

表 368(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
2 000 001～4 000 000	MOS	5.228	6.743	11.051	23.480	27.146	43.561	24.390	27.630	17.417	35.209	58.592	53.520	80.758	38.362	59.537	65.646	5.834	105.056	53.520
4 000 001～6 000 000	MOS	5.558	7.089	11.640	24.197	28.438	45.296	25.116	28.531	18.072	36.187	61.229	55.084	84.123	39.770	62.684	67.335	6.171	107.150	55.084
6 000 001～8 000 000	MOS	5.800	7.342	12.071	24.721	29.383	46.563	25.647	29.188	18.550	36.902	63.156	56.226	86.583	40.799	64.985	68.567	6.417	108.677	56.226
8 000 001～9 500 000	MOS	5.994	7.546	12.417	25.141	30.142	47.581	26.072	29.716	18.934	37.475	64.704	57.142	88.558	41.625	66.834	69.556	6.614	109.900	57.142
9 500 001～10 000 000	MOS	6.079	7.635	12.569	25.325	30.474	48.027	26.259	29.947	19.103	37.726	65.382	57.543	89.423	41.986	67.643	69.988	6.701	110.436	57.543
10 000 001～30 000 000	MOS	9.412	11.796	19.304	38.849	46.446	73.140	40.279	45.871	29.315	57.789	99.081	87.920	135.418	64.084	102.048	106.988	10.366	168.960	87.920
30 000 001～50 000 000	MOS	10.358	12.775	20.953	40.772	49.973	77.793	42.222	48.288	31.104	60.373	106.136	92.028	144.338	67.859	110.500	111.364	11.325	174.206	92.028
50 000 001～70 000 000	MOS	10.992	13.431	22.057	42.058	52.335	80.907	43.521	49.904	32.301	62.100	110.860	94.776	150.310	70.385	116.161	114.289	11.968	177.708	94.776
70 000 001～90 000 000	MOS	11.482	13.938	22.910	43.051	54.160	83.314	44.525	51.153	33.226	63.434	114.512	96.898	154.924	72.336	120.538	116.548	12.464	180.409	96.898
90 000 001～110 000 000	MOS	11.887	14.357	23.616	43.871	55.669	85.302	45.353	52.184	33.990	64.535	117.528	98.651	158.737	73.948	124.154	118.412	12.875	182.638	98.651
110 000 001～130 000 000	MOS	12.235	14.717	24.222	44.576	56.965	87.010	46.065	53.070	34.647	65.481	120.119	100.155	162.011	75.333	127.260	120.013	13.228	184.551	100.155
130 000 001～150 000 000	MOS	12.542	15.034	24.756	45.196	58.107	88.515	46.692	53.850	35.225	66.314	122.404	101.481	164.898	76.553	129.999	121.423	13.539	186.235	101.481
150 000 001～170 000 000	MOS	12.817	15.319	25.235	45.753	59.132	89.866	47.255	54.550	35.744	67.061	124.454	102.670	167.488	77.648	132.457	122.688	13.818	187.745	102.670
170 000 001～190 000 000	MOS	13.068	15.578	25.672	46.260	60.065	91.095	47.766	55.187	36.217	67.741	126.319	103.752	169.845	78.645	134.694	123.839	14.072	189.119	103.752
190 000 001～220 000 000	MOS	13.298	15.817	26.073	46.726	60.923	92.225	48.237	55.773	36.651	68.366	128.035	104.747	172.013	79.561	136.752	124.896	14.305	190.381	104.747
220 000 001～275 000 000	MOS	16.985	19.775	32.413	55.284	74.069	110.157	56.957	66.149	44.127	80.094	153.449	122.599	204.431	94.708	165.385	144.911	18.101	217.427	122.599
275 000 001～300 000 000	MOS	17.332	20.130	33.004	55.949	75.303	111.761	57.628	66.984	44.756	80.975	155.871	123.991	207.466	96.009	168.291	146.377	18.451	219.130	123.991
300 000 001～340 000 000	MOS	17.705	20.490	33.607	56.449	76.502	113.185	58.120	67.643	45.307	81.571	158.147	124.970	210.201	97.115	171.204	147.254	18.819	219.677	124.970

表 368(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
340 000 001～380 000 000	MOS	18.087	20.883	34.260	57.184	77.866	114.958	58.861	68.567	46.002	82.544	160.823	126.509	213.555	98.553	174.417	148.873	19.205	221.558	126.509
380 000 001～500 000 000	MOS	18.439	21.244	34.861	57.860	79.121	116.587	59.543	69.416	46.641	83.440	163.285	127.924	216.639	99.876	177.372	150.362	19.561	223.287	127.924
500 000 001～700 000 000	MOS	19.883	22.726	37.325	60.633	84.266	123.271	62.338	72.898	49.263	87.110	173.381	133.725	229.289	105.300	189.495	156.464	21.020	230.368	133.725
700 000 001～900 000 000	MOS	21.000	23.871	39.229	62.775	88.243	128.437	64.498	75.589	51.289	89.946	181.186	138.206	239.066	109.492	198.867	161.177	22.148	235.833	138.206
900 000 001～1 100 000 000	MOS	21.923	24.818	40.804	64.544	91.530	132.705	66.281	77.811	52.963	92.287	187.634	141.907	247.145	112.955	206.612	165.069	23.081	240.344	141.907
1 100 000 001～1 400 000 000	MOS	22.716	25.631	42.156	66.064	94.354	136.372	67.813	79.721	54.402	94.298	193.175	145.086	254.085	115.930	213.267	168.410	23.882	244.215	145.086

表 369 声表面波通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
滤波器	0.191	0.287	0.382	0.955	1.146	2.292	1.624	0.955	0.860	1.719	3.056	2.865	3.820	1.910	2.483	3.438	0.229	6.112	2.674
振荡器	0.955	1.433	1.910	4.775	5.730	11.460	8.118	4.775	4.298	8.595	15.280	14.325	19.100	9.550	12.415	17.190	1.146	30.560	13.370
延迟线	0.573	0.860	1.146	2.865	3.438	6.876	4.871	2.865	2.579	5.157	9.168	8.595	11.460	5.730	7.449	10.314	0.688	18.336	8.022
其他(谐振器、频率合成器、压缩线)	1.910	2.865	3.820	9.550	11.460	22.920	16.235	9.550	8.595	17.190	30.560	28.650	38.200	19.100	24.830	34.380	2.292	61.120	26.740

表 370　半导体分立器件通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
二极管	普通二极管	整流	0.014	0.017	0.029	0.086	0.122	0.267	0.129	0.084	0.051	0.112	0.404	0.289	0.578	0.156	0.318	0.334	0.007	0.623	0.334
		开关	0.016	0.019	0.032	0.094	0.133	0.291	0.140	0.092	0.056	0.122	0.441	0.315	0.630	0.170	0.347	0.364	0.008	0.679	0.364
		检波	0.015	0.018	0.031	0.091	0.130	0.283	0.136	0.089	0.055	0.119	0.429	0.307	0.613	0.165	0.337	0.354	0.008	0.661	0.354
		瞬态抑制	0.017	0.021	0.035	0.104	0.148	0.323	0.156	0.102	0.062	0.136	0.490	0.350	0.700	0.189	0.385	0.404	0.009	0.755	0.404
	电压调整、电流调整、电压基准		0.033	0.040	0.062	0.182	0.237	0.507	0.273	0.172	0.109	0.230	0.754	0.560	1.077	0.302	0.593	0.647	0.017	1.207	0.647
	微波二极管	微波硅检波	0.234	0.281	0.492	1.230	1.615	4.188	1.844	1.264	0.861	1.769	4.275	4.037	7.328	1.884	3.359	4.037	0.140	7.536	4.037
		微波硅混频	0.293	0.352	0.618	1.544	2.039	5.299	2.316	1.589	1.081	2.225	5.430	5.097	9.309	2.378	4.267	5.097	0.176	9.514	5.097
		变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩	0.191	0.229	0.362	1.063	1.380	2.922	1.595	1.010	0.638	1.347	4.196	3.261	5.995	1.756	3.297	3.762	0.115	7.023	3.762
晶体管	双极型	功率	0.026	0.031	0.058	0.145	0.188	0.397	0.218	0.153	0.102	0.215	0.569	0.512	0.976	0.256	0.488	0.580	0.013	0.956	0.512
		开关	0.028	0.034	0.062	0.155	0.200	0.423	0.232	0.163	0.108	0.228	0.606	0.545	1.040	0.273	0.520	0.618	0.014	1.018	0.545
		达林顿	0.034	0.041	0.076	0.189	0.244	0.516	0.283	0.199	0.132	0.279	0.740	0.665	1.268	0.332	0.634	0.754	0.017	1.241	0.665
	硅场效应		0.184	0.221	0.410	1.026	1.330	2.818	1.538	1.083	0.718	1.516	4.047	3.629	6.938	1.814	3.469	4.112	0.110	6.773	3.629
	微波	微波双极型	0.448	0.537	1.070	2.675	3.729	8.074	4.012	2.893	1.872	4.512	11.844	10.171	20.304	5.085	10.152	11.527	0.269	18.985	10.171
		微波场效应 GaAs MESFET、HBT、pHEMT	0.355	0.231	0.526	1.314	2.538	5.993	1.971	1.603	0.920	2.244	10.589	6.923	18.153	3.461	9.077	7.846	0.006	12.923	6.923
		微波场效应 GaN HEMT	0.030	0.035	0.157	0.392	1.712	5.307	0.588	0.628	0.274	0.879	15.755	4.668	27.008	2.334	13.504	5.291	0.018	8.714	4.668
	单结		0.182	0.218	0.426	1.065	1.481	3.206	1.598	1.151	0.746	1.612	4.802	4.039	8.232	2.019	4.116	4.578	0.109	7.539	4.039
	闸流		0.290	0.348	0.727	1.819	2.868	6.527	2.728	2.248	1.273	2.861	10.985	7.822	18.831	3.911	9.415	8.865	0.174	14.601	7.822

表 371　光电子器件通用工作失效率λ_G

单位为10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
发光二极管		0.002	0.002	0.004	0.007	0.009	0.026	0.009	0.009	0.005	0.013	0.039	0.018	0.038	0.013	0.029	0.039	0.002	0.079	0.049
红外发光二极管		0.015	0.020	0.037	0.061	0.079	0.243	0.081	0.087	0.045	0.119	0.363	0.171	0.354	0.122	0.266	0.367	0.015	0.734	0.458
光敏二极管		0.027	0.035	0.065	0.108	0.141	0.430	0.144	0.153	0.079	0.211	0.643	0.303	0.627	0.216	0.470	0.649	0.027	1.298	0.811
激光二极管		0.058	0.076	0.171	0.285	0.486	1.619	0.380	0.443	0.209	0.611	2.848	1.048	2.779	0.748	2.084	2.245	0.058	4.489	2.806
光电晶体管		0.085	0.111	0.206	0.343	0.446	1.365	0.457	0.486	0.251	0.670	2.040	0.961	1.990	0.686	1.493	2.059	0.085	4.119	2.574
简单式光电耦合器		0.049	0.063	0.126	0.210	0.303	0.956	0.280	0.309	0.154	0.425	1.519	0.652	1.482	0.466	1.111	1.397	0.049	2.795	1.747
复合式光电耦合器		0.194	0.252	0.504	0.840	1.211	3.824	1.120	1.234	0.616	1.701	6.076	2.608	5.927	1.863	4.446	5.589	0.194	11.179	6.987
单位数码管		0.006	0.008	0.016	0.027	0.039	0.122	0.036	0.039	0.020	0.054	0.194	0.083	0.189	0.059	0.142	0.178	0.006	0.356	0.223
双位数码管		0.011	0.014	0.028	0.047	0.068	0.215	0.063	0.069	0.035	0.096	0.342	0.147	0.333	0.105	0.250	0.314	0.011	0.629	0.393
三位数码管		0.013	0.017	0.035	0.058	0.084	0.265	0.078	0.086	0.043	0.118	0.421	0.181	0.411	0.129	0.308	0.388	0.013	0.776	0.485
四位数码管		0.016	0.021	0.042	0.069	0.100	0.315	0.092	0.102	0.051	0.140	0.501	0.215	0.489	0.154	0.367	0.461	0.016	0.922	0.576
五位数码管		0.019	0.024	0.048	0.080	0.116	0.366	0.107	0.118	0.059	0.163	0.581	0.249	0.567	0.178	0.425	0.534	0.019	1.069	0.668
六位数码管		0.021	0.027	0.055	0.091	0.132	0.416	0.122	0.134	0.067	0.185	0.661	0.284	0.645	0.203	0.483	0.608	0.021	1.216	0.760
七位数码管		0.024	0.031	0.061	0.102	0.148	0.466	0.137	0.150	0.075	0.207	0.740	0.318	0.722	0.227	0.542	0.681	0.024	1.362	0.852
八位数码管		0.026	0.034	0.068	0.113	0.163	0.516	0.151	0.167	0.083	0.230	0.820	0.352	0.800	0.252	0.600	0.755	0.026	1.509	0.943
九位数码管		0.029	0.037	0.075	0.124	0.179	0.566	0.166	0.183	0.091	0.252	0.900	0.386	0.878	0.276	0.659	0.828	0.029	1.656	1.035
十位数码管		0.031	0.041	0.081	0.135	0.195	0.617	0.181	0.199	0.099	0.274	0.980	0.421	0.956	0.300	0.717	0.901	0.031	1.803	1.127
光电二极管探测器	单隔离	0.029	0.038	0.076	0.126	0.182	0.574	0.168	0.185	0.092	0.255	0.911	0.391	0.889	0.279	0.667	0.838	0.029	1.677	1.048
	双隔离	0.049	0.063	0.126	0.210	0.303	0.956	0.280	0.309	0.154	0.425	1.519	0.652	1.482	0.466	1.111	1.397	0.049	2.795	1.747
光电晶体管探测器	单隔离	0.010	0.014	0.027	0.045	0.065	0.206	0.060	0.066	0.033	0.091	0.327	0.140	0.319	0.100	0.239	0.300	0.010	0.601	0.376
	双隔离	0.017	0.022	0.044	0.074	0.106	0.335	0.098	0.108	0.054	0.149	0.532	0.228	0.519	0.163	0.389	0.489	0.017	0.978	0.611

表 372 真空电子器件通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
速调管	连续波	32.03	37.85	58.23	232.92	320.27	465.84	407.61	262.04	116.46	291.15	582.30	465.84	640.53	262.04	349.38	1164.60	32.03	3319.11	1455.75
	脉冲	12.36	14.61	22.48	89.92	123.64	179.84	157.36	101.16	44.96	112.40	224.80	179.84	247.28	101.16	134.88	449.60	12.36	1281.36	562.00
行波管		26.3	34.2	52.6	131.5	157.8	289.3	236.7	157.8	65.8	184.1	447.1	420.8	578.6	210.4	315.6	946.8	13.2	1735.8	867.9
磁控管	连续波	26.2	34.1	52.4	131.0	144.1	262.0	235.8	209.6	104.8	248.9	471.6	419.2	576.4	209.6	301.3	1048.0	26.2	3484.6	1703.0
	脉冲	109.1	141.83	218.2	545.5	600.05	1091	981.9	872.8	436.4	1036.45	1963.8	1745.6	2400.2	872.8	1254.65	4364	109.1	14510.3	7091.5

注：表中"环境"为 G_B 至 M_F 各列的总表头。

表 373 电阻器通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
膜电阻器	金属膜	0.0011	0.0012	0.0022	0.0037	0.0058	0.0092	0.0068	0.0049	0.0030	0.0058	0.0173	0.0073	0.0191	0.0036	0.0106	0.0182	0.0005	0.0378	0.0218
	碳膜	0.0075	0.0083	0.0145	0.0241	0.0358	0.0558	0.045	0.0316	0.0201	0.0374	0.1008	0.0447	0.1109	0.0224	0.0615	0.1118	0.0038	0.2326	0.1342
	玻璃釉	0.0025	0.0027	0.0048	0.0081	0.0120	0.0187	0.0151	0.0106	0.0067	0.0126	0.0337	0.0150	0.0370	0.0075	0.0205	0.0376	0.0012	0.0782	0.0451
绕线电阻器	普通线绕	0.054	0.059	0.125	0.209	0.330	0.638	0.447	0.285	0.179	0.317	1.168	0.440	1.265	0.410	1.022	1.077	0.054	2.491	1.099
	精密线绕	0.086	0.095	0.200	0.334	0.528	1.021	0.716	0.457	0.286	0.507	1.868	0.703	2.024	0.656	1.635	1.723	0.086	3.986	1.758
箔式电阻器	普通箔式	0.006	0.007	0.012	0.020	0.030	0.048	0.037	0.029	0.020	0.034	0.111	0.045	0.120	0.038	0.079	0.106	0.006	0.227	0.114
	精密箔式	0.011	0.012	0.021	0.035	0.054	0.087	0.066	0.052	0.035	0.061	0.200	0.082	0.217	0.068	0.142	0.191	0.011	0.409	0.204
功率线绕电阻器		0.056	0.062	0.092	0.183	0.279	0.474	0.416	0.268	0.153	0.287	0.798	0.349	0.958	0.188	0.479	0.948	0.056	2.091	1.046
功率非线绕电阻器		0.052	0.057	0.095	0.159	0.219	0.360	0.349	0.214	0.132	0.241	0.568	0.274	0.681	0.219	0.534	0.766	0.052	1.642	0.821
片式膜电阻		0.006	0.007	0.012	0.019	0.031	0.040	0.037	0.027	0.017	0.030	0.060	0.040	0.069	0.020	0.038	0.086	0.003	0.174	0.090
电阻网络（分立电阻 $N_R=10$）		0.041	0.046	0.106	0.176	0.383	0.669	0.329	0.264	0.147	0.313	1.495	0.478	1.645	0.239	0.912	1.196	0.041	2.487	1.435
电阻网络（膜电阻，$N_R=10$）		0.023	0.025	0.059	0.098	0.213	0.372	0.183	0.147	0.082	0.174	0.831	0.266	0.914	0.133	0.507	0.664	0.023	1.382	0.797

表 374 敏感电阻器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
热敏电阻器	0.027	0.035	0.098	0.176	0.304	0.441	0.269	0.224	0.125	0.314	0.655	0.380	0.819	0.162	0.314	1.014	0.027	1.775	0.761
压敏电阻器	0.023	0.030	0.088	0.158	0.273	0.396	0.242	0.201	0.112	0.282	0.588	0.341	0.735	0.146	0.282	0.910	0.023	1.593	0.683
光敏电阻器	0.051	0.066	0.195	0.351	0.608	0.882	0.538	0.449	0.250	0.628	1.310	0.761	1.638	0.324	0.628	2.028	0.051	3.549	1.521

表 375 电位器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
普通线绕电位器	0.286 6	0.343 9	0.654 8	0.982 2	2.192 3	4.787 8	2.619 1	1.479 4	0.982 2	1.655 5	5.146 7	3.846 8	7.282 0	1.820 0	4.380 1	6.783 6	0.286 6	—	—
精密线绕电位器	0.453 2	0.543 9	1.033 9	1.550 9	2.590 4	5.137 1	3.101 8	2.664 7	1.550 9	3.108 8	9.427 5	6.022 6	11.195 2	3.820 8	8.080 7	16.837 4	0.453 2	34.322 4	12.951 9
微调线绕电位器	0.340 2	0.408 2	0.668 4	1.114 0	1.727 8	2.970 0	2.042 3	1.363 1	0.928 3	1.479 9	3.923 3	2.894 0	6.865 8	1.857 4	4.026 5	7.083 9	0.340 2	14.686 2	6.479 2
有机实芯电位器	0.075 2	0.082 7	0.135 7	0.271 4	0.721 2	1.676 3	0.768 9	0.453 0	0.226 2	0.533 5	2.175 2	1.416 6	3.016 5	0.965 9	1.846 8	2.318 1	0.075 2	6.091 3	2.575 6
合成碳膜电位器	0.132 9	0.146 2	0.240 0	0.479 9	1.273 9	2.958 3	1.359 8	0.978 9	0.479 9	1.192 5	4.838 0	2.820 8	5.957 2	1.933 6	3.682 6	4.549 7	0.132 9	—	—
表玻璃釉电位器	0.056 3	0.067 5	0.119 5	0.209 1	0.240 5	0.509 8	0.358 4	0.216 4	0.119 5	0.234 9	0.586 6	0.447 7	1.289 1	0.227 2	0.849 1	1.269 5	0.056 3	2.719 5	1.336 4
非线绕精密电位器	0.208 4	0.250 1	0.454 9	0.682 4	1.058 3	2.043 2	1.364 7	1.145 0	0.682 4	1.335 9	3.541 5	2.460 6	4.205 5	1.561 0	3.035 6	6.879 2	0.208 4	—	—

表 376 电容器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
纸和薄膜电容器	0.006 4	0.007 0	0.016 9	0.033 9	0.045 5	0.106 9	0.049 4	0.034 2	0.019 8	0.043 3	0.206 6	0.075 8	0.377 2	0.056 9	0.179 6	0.142 1	0.006 4	0.293 7	0.142 1
云母电容器	0.004 1	0.005 0	0.011 9	0.016 5	0.042 5	0.070 5	0.030 4	0.023 3	0.012 5	0.030 9	0.152 6	0.054 5	0.214 1	0.042 5	0.160 6	0.093 1	0.004 1	0.146 3	0.066 5
1 类瓷介电容器	0.002 4	0.002 8	0.007 7	0.013 2	0.023 4	0.045 2	0.022 5	0.015 0	0.007 4	0.017 6	0.082 4	0.034 1	0.096 9	0.017 3	0.060 6	0.053 5	0.002 4	0.086 6	0.040 8

表 376(续)

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
2 类瓷介电容器		0.002 5	0.003 0	0.007 2	0.011 8	0.013 6	0.022 0	0.017 9	0.012 7	0.007 4	0.014 8	0.025 4	0.020 6	0.039 0	0.016 0	0.028 4	0.032 1	0.002 5	0.045 5	0.021 4
铝电解电容器		0.040 9	0.049 0	0.135 4	0.225 7	0.427 0	1.327 9	0.507 7	0.345 0	0.169 2	0.412 6	2.506 3	1.291 1	4.460 4	0.915 0	3.186 0	1.830 0	0.040 9	2.135 0	1.016 7
固体钽电解电容器		0.007 1	0.008 6	0.020 9	0.030 4	0.045 7	0.100 8	0.052 2	0.037 2	0.020 0	0.044 1	0.199 4	0.108 4	0.351 9	0.071 8	0.187 7	0.156 7	0.007 1	0.248 1	0.117 5
非固体钽电解电容器		0.018 6	0.022 3	0.061 1	0.086 0	0.129 1	0.286 6	0.135 7	0.094 3	0.056 6	0.124 9	0.567 7	0.349 9	0.976 7	0.190 3	0.622 7	0.441 7	0.018 6	0.713 5	0.339 7
氧化铌电解电容器		0.002 4	0.002 9	0.007 0	0.011 9	0.020 0	0.039 3	0.020 3	0.013 1	0.006 7	0.015 3	0.079 8	0.029 2	0.093 8	0.014 8	0.058 7	0.045 7	0.002 4	0.074 0	0.034 8
可变电容器	瓷介微调	0.070	0.077	0.168	0.336	0.336	0.672	0.490	0.315	0.196	0.399	0.805	0.560	1.470	0.420	0.700	1.050	—	—	—
	玻璃介质微调	0.150	0.165	0.360	0.720	0.720	1.440	1.050	0.675	0.420	0.855	1.725	1.200	3.150	0.900	1.500	2.250	—	—	—
	空气介质微调	0.230	0.253	0.552	1.104	1.104	2.208	1.610	1.035	0.644	1.311	2.645	1.840	4.830	1.380	2.300	3.450	—	—	—

表 377 感性元件通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电感器	固定电感器	0.002 0	0.002 8	0.004 4	0.013 2	0.020 3	0.042 7	0.021 9	0.016 1	0.006 1	0.018 4	0.050 5	0.038 0	0.059 4	0.030 4	0.047 5	0.048 2	0.002 0	0.101 5	0.038 0
	可变电感器	0.004 0	0.005 6	0.008 8	0.026 3	0.040 6	0.085 4	0.043 8	0.032 2	0.012 3	0.036 8	0.101 0	0.076 1	0.118 8	0.060 9	0.095 1	0.096 4	0.004 0	0.202 9	0.076 1
	扼流圈	0.006 0	0.008 4	0.013 2	0.039 5	0.060 9	0.128 1	0.065 8	0.048 3	0.018 4	0.055 2	0.151 5	0.114 1	0.178 2	0.091 3	0.142 6	0.144 6	0.006 0	0.304 4	0.114 1
片式电感器		0.002 3	0.003 0	0.005 26	0.015 78	0.017 31	0.033 3	0.017 1	0.019 6	0.007 4	0.022 0	0.067 0	0.047 0	0.080 0	0.034 6	0.051 9	0.050 3	0.002	0.125 9	0.047 2
变压器	电源变压器	0.036 3	0.050 9	0.079 3	0.238 0	0.457 0	0.768 7	0.396 7	0.290 7	0.111 1	0.373 8	1.012 7	0.685 5	1.119 3	0.548 4	0.852 8	0.914 1	0.036 3	1.828 1	0.685 5

表 377（续）

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
变压器	小功率脉冲变压器	0.007 2	0.010 1	0.015 8	0.047 5	0.091 1	0.153 3	0.079 1	0.058 0	0.022 2	0.074 5	0.201 9	0.136 7	0.223 1	0.109 4	0.170 0	0.182 3	0.007 2	0.364 5	0.136 7
	小功率脉冲变压器	0.036 2	0.050 7	0.079 1	0.237 3	0.455 6	0.766 3	0.395 6	0.289 9	0.110 8	0.372 7	1.009 4	0.683 5	1.115 6	0.546 8	0.850 0	0.911 3	0.036 2	1.822 6	0.683 5
	音频变压器	0.014 5	0.020 3	0.031 6	0.094 9	0.182 1	0.306 3	0.158 1	0.115 9	0.044 3	0.149 0	0.403 5	0.273 2	0.446 0	0.218 6	0.339 8	0.364 3	0.014 5	0.728 6	0.273 2
	中频变压器	0.014 6	0.020 4	0.031 8	0.095 5	0.183 4	0.308 5	0.159 1	0.116 6	0.044 6	0.150 0	0.406 5	0.275 1	0.449 3	0.220 1	0.342 3	0.366 8	0.014 6	0.733 5	0.275 1
	高压变压器、射频变压器	0.043 4	0.060 8	0.094 8	0.284 5	0.546 1	0.918 4	0.474 2	0.347 5	0.132 8	0.446 7	1.209 8	0.819 2	1.337 1	0.655 4	1.018 7	1.092 3	0.043 4	2.184 6	0.819 2

表 378　继电器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
机电继电器	弱功率	0.171	0.188	0.280	0.560	0.893	2.042	1.120	0.984	0.560	1.181	4.004	1.339	3.146	1.004	2.288	6.917	0.171	10.041	4.909
	中功率	0.116	0.128	0.190	0.381	0.607	1.389	0.762	0.669	0.381	0.803	2.724	0.911	2.140	0.683	1.557	4.706	0.116	6.831	3.340
	强功率	0.523	0.575	0.857	1.714	2.732	6.252	3.428	3.012	1.714	3.615	12.258	4.099	9.631	3.074	7.004	21.176	0.523	30.739	15.028
	灵敏	0.987	1.086	1.619	3.238	5.161	11.810	6.475	5.690	3.238	6.828	23.154	7.742	18.192	5.806	13.231	39.999	0.987	58.063	28.386
	磁保持	0.357	0.392	0.585	1.170	1.865	4.268	2.340	2.056	1.170	2.468	8.368	2.798	6.575	2.098	4.782	14.456	0.357	20.985	10.259
	真空	0.836	0.920	1.371	2.742	4.372	10.004	5.485	4.819	2.742	5.783	19.612	6.558	15.410	4.918	11.207	33.881	0.836	49.183	24.045
	干簧	0.348	0.383	0.571	1.143	1.822	4.168	2.285	2.008	1.143	2.410	8.172	2.732	6.421	2.049	4.670	14.117	0.348	20.493	10.019
	温度	0.759	0.835	1.244	2.489	3.967	9.078	4.977	4.373	2.489	5.248	17.796	5.950	13.983	4.463	10.169	30.744	0.759	44.629	21.818

表 378(续)

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
机电继电器	电子延时	0.302	0.332	0.495	0.990	1.579	3.612	1.981	1.740	0.990	2.088	7.082	2.368	5.565	1.776	4.047	12.235	0.302	17.760	8.683
	射频	1.138	1.252	1.866	3.733	5.950	13.616	7.466	6.560	3.733	7.872	26.695	8.926	20.974	6.694	15.254	46.116	1.138	66.943	32.728
	接触器	2.090	2.299	3.428	6.856	10.929	25.009	13.712	12.049	6.856	14.458	49.031	16.394	38.524	12.296	28.018	84.703	2.090	122.956	60.112
固体电器继电器		0.125	0.150	0.250	0.688	0.750	1.375	0.938	0.788	0.500	1.000	1.750	1.875	2.500	1.063	1.500	2.000	0.100	3.750	1.750

表 379　开关通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
旋转开关	0.047 4	0.061 6	0.094 7	0.165 8	0.303 1	0.378 9	0.331 5	0.189 4	0.142 1	0.236 8	0.521 0	0.284 2	0.426 2	0.156 3	0.251 0	0.757 8	0.047 4	2.131 2	0.047 4
微动开关	0.044 4	0.057 7	0.088 8	0.155 4	0.284 2	0.355 2	0.310 8	0.177 6	0.133 2	0.222 0	0.488 4	0.266 4	0.399 6	0.146 5	0.235 3	0.710 4	0.044 4	1.998 0	0.044 4
钮子开关	0.037 0	0.048 1	0.074 0	0.129 5	0.236 8	0.296 0	0.259 0	0.148 0	0.111 0	0.185 0	0.407 0	0.222 0	0.333 0	0.122 1	0.196 1	0.592 0	0.037 0	1.665 0	0.037 0
按钮开关	0.017 8	0.023 1	0.035 5	0.062 2	0.113 7	0.142 1	0.124 3	0.071 0	0.053 3	0.088 8	0.195 4	0.106 6	0.159 8	0.058 6	0.094 1	0.284 2	0.017 8	0.799 2	0.017 8
滑动开关	0.047 4	0.061 6	0.094 7	0.165 8	0.303 1	0.378 9	0.331 5	0.189 4	0.142 1	0.236 8	0.521 0	0.284 2	0.426 2	0.156 3	0.251 0	0.757 8	0.047 4	2.131 2	0.047 4
行程开关	0.051 8	0.067 3	0.103 6	0.181 3	0.331 5	0.414 4	0.362 6	0.207 2	0.155 4	0.259 0	0.569 8	0.310 8	0.466 2	0.170 9	0.274 5	0.828 8	0.051 8	2.331 0	0.051 8

表 380　电连接器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
低频连接器	圆形及矩形 I	0.004 9	0.006 8	0.009 9	0.019 8	0.039 3	0.074 3	0.034 4	0.019 2	0.013 2	0.030 8	0.160 1	0.044 5	0.134 5	0.026 9	0.089 7	0.170 7	0.004 9	0.144 8	0.062 1
	圆形及矩形 II	0.009 3	0.013 0	0.018 3	0.036 6	0.070 2	0.131 6	0.063 5	0.035 1	0.024 4	0.056 1	0.280 8	0.079 5	0.235 9	0.048 1	0.157 3	0.305 0	0.009 3	0.258 8	0.110 9
	印制电路板 I	0.005 4	0.007 6	0.011 1	0.022 2	0.044 0	0.083 0	0.038 5	0.021 5	0.014 8	0.034 4	0.179 0	0.049 7	0.150 4	0.030 1	0.100 3	0.190 9	0.005 4	0.162 0	0.069 4
	印制电路板 II	0.010 4	0.014 5	0.020 5	0.041 0	0.078 5	0.147 2	0.071 0	0.039 2	0.027 3	0.062 7	0.314 0	0.088 9	0.263 8	0.053 7	0.175 9	0.341 0	0.010 4	0.289 4	0.124 0
射频同轴连接器		0.002 6	0.003 6	0.003 9	0.007 8	0.009 9	0.016 1	0.013 5	0.006 5	0.005 2	0.010 4	0.026 0	0.011 2	0.021 8	0.006 8	0.014 6	0.042 9	0.002 6	0.036 4	0.015 6

表 381　微特电机通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电动机	高速＞10 000r/min	1.07	1.28	1.61	2.68	4.28	10.70	5.89	5.35	2.46	7.28	13.91	5.35	16.05	3.53	10.27	17.12	1.07	23.11	11.77
	1 000r/min≤中速≤10 000r/min	0.99	1.19	1.49	2.48	3.96	9.90	5.45	4.95	2.28	6.73	12.87	4.95	14.85	3.27	9.50	15.84	0.99	21.38	10.89
	低速＜1 000r/min	0.17	0.20	0.26	0.43	0.68	1.70	0.94	0.85	0.39	1.16	2.21	0.85	2.55	0.56	1.63	2.72	0.17	3.67	1.87
	整流式	7.60	9.12	11.40	19.00	30.40	76.00	41.80	38.00	17.48	51.68	98.80	38.00	114.00	25.08	72.96	121.60	7.60	164.16	83.60
风机	高速＞10 000r/min	2.08	2.50	3.12	5.20	8.32	20.80	11.44	10.40	4.78	14.14	27.04	10.40	31.20	6.86	19.97	33.28	2.08	44.93	22.88
	1 000r/min≤中速≤10 000r/min	1.20	1.44	1.80	3.00	4.80	12.00	6.60	6.00	2.76	8.16	15.60	6.00	18.00	3.96	11.52	19.20	1.20	25.92	13.20
	低速＜1 000r/min	0.68	0.82	1.02	1.70	2.72	6.80	3.74	3.40	1.56	4.62	8.84	3.40	10.20	2.24	6.53	10.88	0.68	14.69	7.48
自整角机和旋转变压器		0.15	0.23	0.30	0.75	0.83	2.40	1.65	1.50	0.60	1.80	2.25	2.55	3.75	1.35	1.95	2.70	0.09	4.05	3.45
时间累加器	普通(交直流)	1.37	1.64	2.06	3.43	6.85	16.44	8.22	9.59	4.80	12.06	21.92	10.55	27.40	6.58	17.54	28.77	1.37	41.65	19.18
	可逆驱动	2.10	2.52	3.15	5.25	10.50	25.20	12.60	14.70	7.35	18.48	33.60	16.17	42.00	10.08	26.88	44.10	2.10	63.84	29.40
	直流子式直流	4.90	5.88	7.35	12.25	24.50	58.80	29.40	34.30	17.15	43.12	78.40	37.73	98.00	23.52	62.72	102.90	4.90	148.96	68.60

表 382　磁性器件通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
大功率磁性器件、隔离器、放大器、回转器、调制器、环行器、移相器、耦合器	0.42	0.504	0.63	1.47	1.68	3.36	2.1	1.89	1.26	2.52	5.04	2.73	4.2	1.47	2.31	6.3	0.42	9.24	5.04
小功率磁性器件(接收机用)	0.06	0.072	0.09	0.21	0.24	0.48	0.3	0.27	0.18	0.36	0.72	0.39	0.6	0.21	0.33	0.9	0.06	1.32	0.72

表 383　振荡器和谐振器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
普通振荡器	0.028	0.034	0.042	0.098	0.112	0.336	0.224	0.154	0.084	0.196	0.392	0.420	0.672	0.280	0.504	0.644	0.028	0.896	0.420
温补振荡器	0.031	0.037	0.046	0.108	0.123	0.370	0.246	0.166	0.092	0.216	0.431	0.462	0.739	0.308	0.554	0.678	0.031	0.986	0.462
压控振荡器	0.036	0.044	0.055	0.127	0.146	0.437	0.291	0.197	0.109	0.255	0.510	0.546	0.874	0.364	0.655	0.801	0.036	1.165	0.546
谐振器	0.026	0.031	0.039	0.091	0.104	0.312	0.208	0.140	0.078	0.182	0.364	0.390	0.624	0.260	0.468	0.572	0.026	0.832	0.390

表 384　滤波器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
LC 滤波器	分立电感电容	0.028	0.034	0.042	0.098	0.112	0.224	0.168	0.112	0.084	0.168	0.280	0.252	0.392	0.196	0.308	0.364	0.022	0.700	0.420
	分立电感电容和晶体	0.050	0.060	0.075	0.175	0.200	0.400	0.300	0.200	0.150	0.300	0.500	0.450	0.700	0.350	0.550	0.650	0.040	1.250	0.750
压电陶瓷滤波器		0.038	0.046	0.057	0.133	0.152	0.456	0.304	0.190	0.114	0.266	0.532	0.570	0.912	0.380	0.684	0.722	0.030	1.216	0.570
介电滤波器		0.051	0.061	0.077	0.179	0.204	0.612	0.408	0.255	0.153	0.357	0.714	0.765	1.224	0.510	0.918	0.969	0.041	1.632	0.765
石英晶体滤波器		0.023	0.027	0.034	0.080	0.091	0.274	0.182	0.114	0.068	0.160	0.319	0.342	0.547	0.228	0.410	0.433	0.018	0.730	0.342
机械滤波器		0.049	0.059	0.074	0.173	0.198	0.593	0.395	0.247	0.148	0.346	0.692	0.741	1.186	0.494	0.889	0.939	0.040	1.581	0.741

表 385　电池通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
硅、砷化镓太阳能电池	0.008	0.009	0.011	0.016	0.014	0.024	0.016	0.020	0.012	0.024	0.032	0.024	0.040	0.016	0.028	0.036	0.006	0.096	0.018
氢镍蓄电池	1.15	1.27	1.61	2.30	2.07	3.45	2.30	2.88	1.73	3.45	4.60	3.45	5.75	2.30	4.03	5.18	0.81	13.80	2.65
镉镍蓄电池	0.90	0.99	1.26	1.80	1.62	2.70	1.80	2.25	1.35	2.70	3.60	2.70	4.50	1.80	3.15	4.05	0.63	10.80	2.07

表 385(续)

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
锂离子蓄电池	0.2	0.22	0.28	0.4	0.36	0.6	0.4	0.5	0.3	0.6	0.8	0.6	1	0.4	0.7	0.9	0.14	2.4	0.46
铅酸蓄电池	0.92	1.01	1.29	1.84	1.66	2.76	1.84	2.30	1.38	2.76	3.68	2.76	4.60	1.84	3.22	4.14	0.64	11.04	2.12
锂原电池	1.50	1.65	2.10	3.00	2.70	4.50	3.00	3.75	2.25	4.50	6.00	4.50	7.50	3.00	5.25	6.75	1.05	18.00	3.45

表 386 灯通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
氖灯	0.16	0.18	0.21	0.32	0.35	0.61	0.56	0.40	0.24	0.48	0.66	0.70	0.96	0.51	0.72	0.96	0.16	1.04	0.64
白炽灯	0.42	0.46	0.55	0.84	0.92	1.60	1.47	1.05	0.63	1.26	1.72	1.85	2.52	1.34	1.89	2.52	0.42	2.73	1.68

表 387 激光器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
氦氖激光器	5.0	7.5	10.0	25.0	27.5	80.0	55.0	50.0	20.0	60.0	75.0	85.0	125.0	45.0	65.0	90.0	3.0	135.0	115.0
氦镉激光器	21.0	31.5	42.0	105.0	115.5	336.0	231.0	210.0	84.0	252.0	315.0	357.0	525.0	189.0	273.0	378.0	12.6	567.0	483.0
氩离子激光器	28.0	42.0	56.0	140.0	154.0	448.0	308.0	280.0	112.0	336.0	420.0	476.0	700.0	252.0	364.0	504.0	16.8	756.0	644.0
氧化钕掺杂的钇铝石榴石(ND:YAG)棒激光器	93.0	139.5	186.0	465.0	511.5	1 488.0	1 023.0	930.0	372.0	1 116.0	1 395.0	1 581.0	2 325.0	837.0	1 209.0	1 674.0	55.8	2 511.0	2 139.0
红宝石棒激光器	100.0	150.0	200.0	500.0	550.0	1 600.0	1 100.0	1 000.0	400.0	1 200.0	1 500.0	1 700.0	2 500.0	900.0	1 300.0	1 800.0	60.0	2 700.0	2 300.0
半导体激光器	15.0	22.5	30.0	75.0	82.5	240.0	165.0	150.0	60.0	180.0	225.0	255.0	375.0	135.0	195.0	270.0	9.0	405.0	345.0

表 388 压电陀螺通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																	
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
压电陀螺	0.05	0.07	0.10	0.25	0.30	0.55	0.45	0.30	0.13	0.35	0.85	0.80	1.10	0.40	0.60	1.80	0.03	3.30	1.65

表 389 光纤连接器通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

芯数	环境																	
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1	0.060	0.084	0.090	0.180	0.228	0.372	0.312	0.150	0.120	0.240	0.600	0.258	0.504	0.156	0.336	0.990	0.060	0.840	0.480
2	0.065	0.091	0.098	0.195	0.247	0.403	0.338	0.163	0.130	0.260	0.650	0.280	0.546	0.169	0.364	1.073	0.065	0.910	0.520
4	0.072	0.101	0.108	0.216	0.274	0.446	0.374	0.180	0.144	0.288	0.720	0.310	0.605	0.187	0.403	1.188	0.072	1.008	0.576
6	0.080	0.112	0.120	0.240	0.304	0.496	0.416	0.200	0.160	0.320	0.800	0.344	0.672	0.208	0.448	1.320	0.080	1.120	0.640
8	0.095	0.133	0.143	0.285	0.361	0.589	0.494	0.238	0.190	0.380	0.950	0.409	0.798	0.247	0.532	1.568	0.095	1.330	0.760
≥10	0.150	0.210	0.225	0.450	0.570	0.930	0.780	0.375	0.300	0.600	1.500	0.645	1.260	0.390	0.840	2.475	0.150	2.100	1.200

附 录 A
（资料性附录）
电子元器件全寿命状态的可靠性预计

A.1 概述

本附录为电子元器件全寿命状态的可靠性预计提供了基本方法。

A.2 任务剖面

元器件的全寿命状态包括整个任务阶段的使用状态，全寿命状态的可靠性预计应确定产品的任务剖面，明确相应的参数。

任务剖面即设备的实际使用条件，是对影响设备的各种条件、周围环境和影响参数的时序描述，一个任务剖面分为若干个不同性质的阶段，应包含使用期限内工作阶段及非工作(包括关机、贮存/休眠状态)阶段，并需要说明各个阶段的占空比。描述中需重点关注四个因素：

a） 产品集成到系统后所处的平台类型；

b） 应用时产品所处位置；

c） 地理或气候条件；

d） 任务类型。

A.3 可靠性预计模型

A.3.1 元器件全寿命失效率预计模型

元器件全寿命预计模型由任务剖面中各工作阶段失效率、非工作阶段失效率构成，全寿命失效率模型见式(A.1)。

$$\lambda_{\mathrm{P}} = \sum_{i=1}^{x} DC_{\mathrm{Pi}}\lambda_{\mathrm{Pi}} + \sum_{j=1}^{y} DC_{\mathrm{NPj}}\lambda_{\mathrm{NPj}} \qquad (A.1)$$

式中：

λ_{P}——元器件全寿命失效率；

λ_{Pi}——元器件在任务剖面的第 i 个工作阶段的工作失效率，10^{-6}/h；

DC_{Pi}——任务剖面的第 i 个工作阶段的占空比，即单位时间内第 i 个工作阶段的工作时间所占比例；

DC_{P}——总工作状态占空比，$DC_{\mathrm{P}}=\Sigma DC_{\mathrm{Pi}}$；

λ_{NPj}——元器件在任务剖面的第 j 个非工作阶段的非工作状态失效率，10^{-6}/h；

DC_{NPj}——任务剖面的第 j 个非工作阶段的占空比，即单位时间内第 j 个非工作阶段的非工作时间所占比例；

DC_{NP}——总非工作状态占空比，$DC_{\mathrm{NP}}=\Sigma DC_{\mathrm{NPj}}$，有 $DC_{\mathrm{P}}+DC_{\mathrm{NP}}=1$。

A.3.2 元器件工作失效率预计模型

元器件工作失效率预计模型是元器件失效率与影响失效率因素之间的关系表达式。除微电路失效率是由温度、电应力引起的失效率与环境(机械)应力引起的失效率之和来表示外，元器件的工作失效率(λ_{P})一般表示为基本失效率(λ_{b})与其他影响失效率的质量因子、环境因子、材料、工艺、结构因子以及应用因子等一系列修正因子(π系数)的乘积，基本失效率一般仅计温度和电应力对元器件失效率的影响，而工作失效率模型则除反映热、电等基本因素外，还包含其他多种的失效率影响因素。元器件工作失效率预计模型见式(A.2)。

$$\lambda_{\mathrm{P}} = \lambda_{\mathrm{b}}\pi_{\mathrm{E}}\pi_{\mathrm{Q}}\pi_{\mathrm{T}}\pi_{\mathrm{i}} \qquad (A.2)$$

由于任务剖面中各个工作阶段环境、工作模式不同，因此各阶段元器件失效率预计模型中基本失效率、π系数可能存在差异，各类别元器件工作失效率预计模型及参数见本指导性技术文件第5章。

A.3.3 元器件非工作状态失效率预计模型

元器件的非工作失效率（λ_{NP}）一般表示为基本失效率（λ_{Nb}）与其他影响失效率的质量因子、环境因子等的乘积，元器件非工作失效率预计模型见式(A.3)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{NT}\pi_{Ni} \qquad (A.3)$$

由于任务剖面中各个非工作阶段环境不同，因此各阶段元器件失效率预计模型中基本失效率、π系数可能存在差异，各类别非工作元器件失效率预计模型及参数见附录B。

A.4 设备可靠性预计模型

在开展可靠性预计时，需要根据电子设备的工作原理图、功能结构关系、工作流程等，建立基本可靠性模型、任务可靠性模型。由于不同设备的工作原理、工作方式不同，建立的系统可靠性模型也不同，常见的可靠性模型包括串联模型、并联模型、表决模型等。电子设备的任务可靠性模型和基本可靠性模型，以及进行可靠性预计的统一程序和方法，可参照GJB 813—1990。

附 录 B
（规范性附录）
电子元器件非工作状态可靠性预计

B.1 概述

本附录代替 GJB/Z 108A—2006《电子设备非工作状态可靠性预计手册》。

本附录为电子元器件的非工作状态可靠性预计提供了基本的数据和方法。

本附录适用于电子元器件在非工作状态下的可靠性预计，其中元器件非工作应力分析可靠性预计法适用于产品已具有详细的元器件清单的设备研制阶段；元器件非工作计数可靠性预计法适用于产品研制的初步设计阶段。

本指导性技术文件提供的基本失效率数据未考虑核辐射环境，也未考虑电离辐射的影响。

B.2 元器件非工作可靠性详细预计法

B.2.1 概述

本章按元器件种类分别提供其非工作失效率预计模型及模型中所涉及的一系列数据。

B.2.2 微电路

B.2.2.1 概述

本条对半导体集成电路、微波单片集成电路和混合集成电路提供可靠性预计：

a) 半导体集成电路，包括：
   1) 半导体数字集成电路，可分为：
      ① 通用数字集成电路，包括：
         - TTL、ASTTL、ALSTTL、LSTTL、HTTL、FTTL、ECL、IIL 等双极工艺制作的数字电路；
         - MOS 数字集成电路，包括在蓝宝石、多晶硅、单晶硅等各种衬底上采用 NMOS、PMOS、MNOS、CMOS、HCMOS、HCTMOS、FCTMOS、ACTMOS 等 MOS 工艺制作的数字电路。
      ② 微处理器，包括 CPU、数字信号处理器(DSP)、微控制器。
      ③ 存储器，包括双极、MOS 工艺制作的 SRAM、DRAM、ROM、PROM、EPROM、EEPROM、FLASH、FIFO 存储器和电荷耦合(CCD)等器件。
      ④ 可编程逻辑器件，包括 PLA、PAL、PLD、CPLD、FPGA 等。
   2) 半导体模拟集成电路。包括双极、MOS、BiCMOS 工艺的模拟电路。
b) 微波单片集成电路，包括砷化镓(GaAs)、氮化镓(GaN)微波单片集成电路。
c) 混合集成电路。

B.2.2.2 半导体集成电路和微波单片集成电路

半导体集成电路和微波单片集成电路的非工作失效率预计模型见式(B.1)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}(\pi_{NT} + \pi_{NF})\pi_{NL}\pi_{CYC} \quad \text{(B.1)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h，对于 A/D 转换器、D/A 转换器、F/V 转换器、S−D 转换器 R−D 转换器、采样/保持电路等由模拟集成电路和数字集成电路构成的半导体混合信号集成电路，则可由组成电路的模拟集成电路与数字集成电路的非工作失效率求和获得；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，见表 B.1～表 B.5；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.6；
π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.7；
π_{NT}——非工作温度应力系数，见表 B.8；
π_{NF}——封装系数，见表 B.9，对于微波单片集成电路 $\pi_{NF}=0$；
π_{NL}——产品成熟系数，见表 B.10；
π_{CYC}——设备电源通−断循环系数，见表 B.11。

表 B.1　单片数字电路非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

门数 N_G	λ_{Nb}	门数 N_G	λ_{Nb}
50	0.000 8	50 000	0.003 8
100	0.001 0	60 000	0.004 0
200	0.001 1	80 000	0.004 2
300	0.001 2	100 000	0.004 5
400	0.001 3	300 000	0.005 7
500	0.001 4	500 000	0.006 4
600	0.001 4	700 000	0.006 9
700	0.001 5	900 000	0.007 3
800	0.001 5	1000 000	0.007 4
900	0.001 6	2000 000	0.008 7
1 000	0.001 6	3000 000	0.009 5
3 000	0.002 1	4000 000	0.010 1
5 000	0.002 3	5 000 000	0.010 6
7 000	0.002 5	6 000 000	0.011 0
9 000	0.002 6	7 000 000	0.011 4
10 000	0.002 7	8 000 000	0.011 8
20 000	0.003 1	9 000 000	0.012 1
30 000	0.003 4	10 000 000	0.012 4
40 000	0.003 6	–	–

表 B.2　微处理器非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	λ_{Nb}	晶体管数 N_T	λ_{Nb}
50	0.000 7	3 000	0.001 6
100	0.000 8	5 000	0.001 7
200	0.001 0	7 000	0.001 8
300	0.001 0	9 000	0.001 9
400	0.001 1	10 000	0.002 0
500	0.001 1	20 000	0.002 2
600	0.001 2	30 000	0.002 4
700	0.001 2	40 000	0.002 5
800	0.001 2	50 000	0.002 7
900	0.001 3	60 000	0.002 7
1 000	0.001 3	70 000	0.002 8

表 B.2(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	λ_{Nb}	晶体管数 N_T	λ_{Nb}
80 000	0.002 9	80 000 000	0.010 4
100 000	0.003 0	90 000 000	0.010 6
300 000	0.003 7	100 000 000	0.010 8
500 000	0.004 1	120 000 000	0.011 2
700 000	0.004 3	140 000 000	0.011 5
900 000	0.004 5	160 000 000	0.011 8
1 000 000	0.004 6	180 000 000	0.012 0
2 000 000	0.005 2	200 000 000	0.012 3
3 000 000	0.005 7	220 000 000	0.012 5
4 000 000	0.006 0	250 000 000	0.012 8
5 000 000	0.006 2	280 000 000	0.013 0
6 000 000	0.006 4	320 000 000	0.013 4
7 000 000	0.006 6	360 000 000	0.013 7
8 000 000	0.006 8	400 000 000	0.013 9
9 000 000	0.006 9	500 000 000	0.014 5
10 000 000	0.007 1	600 000 000	0.015 0
20 000 000	0.008 0	700 000 000	0.015 5
30 000 000	0.008 6	800 000 000	0.015 8
40 000 000	0.009 1	900 000 000	0.016 2
50 000 000	0.009 5	1 000 000 000	0.016 5
60 000 000	0.009 8	1 200 000 000	0.017 1
70 000 000	0.010 1	—	—

表 B.3 单片模拟电路非工作基本失效率 λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	λ_{Nb}	晶体管数 N_T	λ_{Nb}
50	0.002 5	700	0.006 7
100	0.003 2	800	0.007 0
200	0.004 2	900	0.007 3
300	0.004 9	1 000	0.007 6
400	0.005 4	3 000	0.011 4
500	0.005 9	5 000	0.013 8
600	0.006 3	—	—

表 B.4　存储器非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	λ_{Nb}	位数 N_B	λ_{Nb}
16	0.001 0	65 536	0.007 7
32	0.001 1	131 072	0.009 1
64	0.001 4	262 144	0.010 9
128	0.001 6	524 288	0.012 9
256	0.001 9	1 048 576	0.015 4
320	0.002 0	2 097 152	0.018 3
512	0.002 3	4 194 304	0.021 7
1 024	0.002 7	8 388 608	0.025 8
2 048	0.003 2	16 777 216	0.030 7
2 560	0.003 4	33 554 432	0.036 5
4 096	0.003 8	67 108 864	0.043 5
8 192	0.004 6	134 217 728	0.051 7
9 216	0.004 7	268 435 456	0.061 5
16 384	0.005 4	536 870 912	0.073 1
32 768	0.006 5	1 073 741 824	0.086 9

表 B.5　微波单片集成电路的非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

晶体管结构		封装形式				
		密封的双列直插(DIP)封装		密封的扁平封装	密封的金属壳封装	非密封器件
		熔接或焊接	玻璃密封			
GaAs 微波单片集成电路	MESFET	0.001 2	0.001 1	0.001 1	0.001 1	0.001 3
	HBT	0.001 6	0.001 6	0.001 5	0.001 6	0.001 7
	pHEMT	0.004 7	0.004 7	0.004 6	0.004 7	0.004 8
GaN 微波单片集成电路	HEMT	0.005 0	0.004 9	0.004 7	0.004 8	0.005 5

表 B.6　非工作环境系数 π_{NE}

种类	环境								
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}
密封	1.0	1.5	2.4	6.0	6.3	9.0	6.8	6.7	4.3
非密封	1.0	2.0	4.0	12	10	17	14	12	7.8

种类	环境									
	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
密封	8.5	11	11.4	17	8.0	12	16	1.2	23	10
非密封	15	23	20	33	15	21	30	1.5	46	22

表 B.7　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_3	0.25
	A_4	0.35
	A_5	0.5
	A_6	0.6
B	B_1	0.7
	B_2	1.0
C	C_1	2.0
	C_2	6.0

表 B.8　非工作温度应力系数π_{NT}

T ℃	双极 数字电路	MOS 数字电路	模拟电路	双极 微处理器	MOS 微处理器	双极存储器	MOS 存储器	微波单片 电路
0	0.93	0.81	0.98	1.38	1.27	0.93	0.96	0.92
5	0.94	0.82	1.02	1.41	1.30	0.94	0.98	0.93
10	0.95	0.83	1.07	1.46	1.35	0.95	1.02	0.94
15	0.96	0.84	1.15	1.52	1.42	0.96	1.08	0.97
20	0.98	0.85	1.26	1.60	1.52	0.98	1.15	1.01
25	1.00	0.87	1.40	1.70	1.65	1.01	1.26	1.06
30	1.03	0.90	1.59	1.84	1.83	1.04	1.40	1.14
35	1.06	0.93	1.85	2.01	2.07	1.09	1.60	1.25
40	1.11	0.98	2.20	2.23	2.39	1.14	1.85	1.42
45	1.16	1.03	2.65	2.51	2.82	1.21	2.19	1.65
50	1.22	1.11	3.24	2.87	3.37	1.30	2.64	1.97
55	1.30	1.20	3.99	3.31	4.09	1.41	3.21	2.40
60	1.40	1.32	4.96	3.86	5.01	1.55	3.95	3.00
65	1.52	1.48	6.18	4.53	6.19	1.72	4.89	3.80
70	1.66	1.67	7.72	5.35	7.68	1.92	6.08	4.88
75	1.83	1.90	9.64	6.35	9.55	2.17	7.58	6.30
80	2.02	2.19	12.03	7.56	11.88	2.48	9.44	8.17
85	2.26	2.54	14.98	9.01	14.77	2.84	11.76	10.61
90	2.53	2.96	18.59	10.74	18.33	3.27	14.61	13.76
95	2.85	3.48	22.99	12.79	22.69	3.78	18.09	17.80
100	3.23	4.10	28.32	15.22	28.00	4.39	22.34	22.94

表 B.9 封装系数 π_{NF}

N_P	密封					非密封			
	双列直插(DIP)封装	扁平(FP)封装	插接阵列(含 PGA、BGA、LGA 和其他)封装	表面安装(PLCC、LCC、SO 和其他)封装	金属壳封装	双列直插(DIP)封装	扁平(FP)封装	插接阵列(含 PGA、BGA、LGA 和其他)封装	表面安装(PLCC、LCC、SO 和其他)封装
2	—	—	—	—	0.002 9	—	—	—	—
3	—	0.005 3	—	—	0.005 0	—	0.007 9	—	—
4	0.013 6	0.008 0	0.029 9	0.063 8	0.007 5	0.017 6	0.012 0	0.038 8	0.083 9
6	0.020 5	0.014 2	0.045 1	0.096 5	0.013 1	0.026 7	0.021 3	0.058 5	0.127 4
8	0.027 5	0.021 5	0.060 5	0.129 3	0.019 4	0.035 8	0.032 2	0.078 2	0.171 4
10	0.034 6	0.029 5	0.076 0	0.162 4	0.026 4	0.044 9	0.044 3	0.097 9	0.215 7
12	0.041 6	0.038 3	0.091 6	0.195 6	0.034 0	0.054 1	0.057 4	0.117 7	0.260 3
14	0.048 7	0.047 7	0.107 1	0.228 9	0.042 1	0.063 3	0.071 6	0.137 6	0.305 0
16	0.055 8	0.057 8	0.122 8	0.262 3	0.050 6	0.072 6	0.086 6	0.157 4	0.350 0
18	0.062 9	0.068 3	0.138 5	0.295 8	0.059 6	0.081 8	0.102 5	0.177 3	0.395 2
20	0.070 1	0.079 4	0.154 2	0.329 4	0.068 9	0.091 1	0.119 2	0.197 2	0.440 5
22	0.077 2	0.091 0	0.169 9	0.363 0	0.078 6	0.100 4	0.136 5	0.217 1	0.485 9
24	0.084 4	0.103 1	0.185 7	0.396 7	0.088 6	0.109 7	0.154 6	0.237 1	0.531 4
28	0.098 8	0.128 5	0.217 3	0.464 2	—	0.128 4	0.192 7	0.277 0	0.622 9
36	0.127 6	0.184 0	0.280 8	0.599 8	—	0.165 9	0.275 9	0.357 1	0.806 9
40	0.142 1	0.213 8	0.312 6	0.667 9	—	0.184 7	0.320 8	0.397 2	0.899 4
48	0.171 2	0.277 5	0.376 5	0.804 4	—	0.222 5	0.416 2	0.477 5	1.085 2
64	0.229 5	0.418 5	0.504 9	1.078 7	—	0.298 4	0.627 8	0.638 5	1.459 5
80	0.288 2	0.575 6	0.634 0	1.354 5	—	0.374 6	0.863 5	0.799 9	1.836 7
100	0.361 8	0.791 8	0.796 0	1.700 6	—	0.470 4	1.187 6	1.002 1	2.311 2
120	—	1.027 3	0.958 7	2.048 2	—	—	1.541 0	1.204 7	2.788 7
140	—	1.280 4	1.122 0	2.397 0	—	—	1.920 6	1.407 7	3.268 6
280	—	3.446 7	2.302 7	4.860 9	—	—	5.170 0	2.834 9	6.674 5
320	—	—	2.592 5	5.570 1	—	—	—	3.225 6	7.658 6
432	—	—	3.388 2	—	—	—	—	4.339 9	—
575	—	—	4.369 7	—	—	—	—	5.753 0	—
675	—	—	5.041 4	—	—	—	—	6.739 2	—
728	—	—	5.389 4	—	—	—	—	7.224 1	—
956	—	—	6.871 5	—	—	—	—	9.390 6	—
114 4	—	—	8.058 8	—	—	—	—	11.181 8	—
157 2	—	—	10.698 8	—	—	—	—	14.500 5	—
192 5	—	—	12.691 4	—	—	—	—	16.077 7	—
204 6	—	—	13.166 3	—	—	—	—	16.406 1	—

注：N_P 为引出端数目。

表 B.10 产品成熟系数π_{NL}

成熟程度	符合相应的标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或新投产的初批次产品；设计或工艺有重大变更；长期中断生产或生产线有重大变化
π_{NL}	1	2	5

表 B.11 设备电源通－断循环系数π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	数字电路、微处理器和存储器的 π_{CYC}	模拟电路、微波单片电路的 π_{CYC}
＜1	＞1 000	1.00	1.00
1	1 000	1.02	1.03
2	500	1.04	1.06
3	333	1.06	1.09
4	250	1.08	1.12
5	200	1.10	1.16
10	100	1.20	1.31
20	50	1.40	1.62
50	20	2.00	2.55

B.2.2.3 混合集成电路

混合集成电路的非工作失效率预计模型见式(B.2)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{CYC} \qquad \text{(B.2)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，其值取决于构成该电路的元器件及其数量，见表 B.12；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.13；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.14；

π_{CYC}——设备电源通－断循环系数，见表 B.15。

非工作基本失效率预计模型见式(B.3)。

$$\lambda_{Nb}=A(N_{IC}\lambda_{NIC}+N_T\lambda_{NT}+N_D\lambda_{ND}+N_N\lambda_{NN}) \qquad \text{(B.3)}$$

式中：

A——复杂度调整系数，见表 B.12；

N_{IC}——单片集成电路数；

λ_{NIC}——单片集成电路非工作失效率典型值，见表 B.12；

N_T——晶体管数；

λ_{NT}——晶体管非工作失效率典型值，见表 B.12；

N_D——二极管数；

λ_{ND}——二极管非工作失效率典型值，见表 B.12；

N_N——无源元件数；

λ_{NN}——无源元件非工作失效率典型值，见表 B.12。

表 B.12　非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

复杂度	A	λ_{NIC}	λ_{NT}	λ_{ND}	λ_{NN}
$7N_{IC}+1.5N_T+N_D+N_N \leqslant 31$	1.15	0.015 1	0.003 6	0.001 9	0.001 1
$7N_{IC}+1.5N_T+N_D+N_N > 31$	1.30	0.015 1	0.003 6	0.001 9	0.001 1

表 B.13　非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.5	2.5	6.5	7.0	11	8.0	7.5	5.0	10
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	14	15	20	10	13	19	1.2	32	14	—

表 B.14　质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_2	0.15
	A_3	0.20
	A_4	0.25
	A_5	0.30
	A_6	0.40
	A_7	0.50
B	B_1	0.70
	B_2	1.0
C		4.0

表 B.15　设备电源通-断循环系数 π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
<1	>1 000	1.00
1	1 000	1.03
2	500	1.06
3	333	1.09
4	250	1.12
5	200	1.16
10	100	1.31
20	50	1.62
50	20	2.55

B.2.3　声表面波器件

非工作失效率预计模型见式(B.4)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad \text{(B.4)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.009；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.16；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.17。

表 B.16　非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.5	2.0	5.0	6.0	12	8.0	5.0	4.5	9.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	16	15	20	10	13	18	1.2	32	14	—

表 B.17　质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_{1B}	0.2
	A_{1B1}	0.4
	A_2	0.5
B	B_1	0.7
	B_2	1.0
C		3.0

B.2.4　半导体分立器件

B.2.4.1　概述

半导体分立器件包括二极管、晶体管，其分类见表 B.18。

表 B.18　半导体分立器件的分类

器件种类		分类
二极管	普通二极管	整流二极管
		开关二极管
		检波二极管
		瞬态抑制二极管
	电压调整、电压基准及电流调整二极管	
	微波二极管	检波二极管
		混频二极管
		变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管
晶体管	双极型晶体管	功率晶体管
		开关晶体管
		达林顿晶体管
	硅场效应晶体管	
	单结晶体管	
	微波晶体管(双极型晶体管、场效应晶体管)	
	闸流晶体管	

B.2.4.2　二极管

非工作失效率预计模型见式(B.5)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{NT}\pi_{CYC} \quad \text{(B.5)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.19；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.20；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.21；

π_{NT}——非工作温度应力系数，见表 B.22；

π_{CYC}——设备电源通−断循环系数，见表 B.23。

表 B.19　非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

种类		λ_{Nb}
普通二极管	整流二极管	0.000 7
	开关二极管	0.000 8
	检波二极管	0.000 72
	瞬态抑制二极管	0.000 9
电压调整、电压基准及电流调整二极管		0.002
微波二极管	微波硅检波二极管	0.01
	微波硅混频二极管	0.012
	变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管	0.008 4

表 B.20　非工作环境系数 π_{NE}

环境	GB	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.7	5.0	5.5	11	7.5	4.5	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	−
π_{NE}	14	13	20	7.0	11	15	1.2	28	15	−

表 B.21　质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		整流、开关、检波、瞬态抑制二极管	电流调整、电压调整、电压基准二极管	微波硅检波、微波硅混频二极管	变容、阶跃、隧道、体效应、PIN、雪崩二极管
A	A_2	0.07	0.07	−	0.07
	A_3	0.12	0.12	0.12	0.12
	A_4	0.20	0.20	0.20	0.20
	A_5	0.35	0.35	0.35	0.35
	A_6	0.45	0.45	0.45	0.45
B	B_1	0.60	0.60	0.60	0.60
	B_2	1.00	1.00	1.00	1.00
C		4.00	4.00	4.00	4.00

表 B.22　非工作温度应力系数π_{NT}

T ℃	种类			
	整流、开关、检波、瞬态抑制二极管	电流调整、电压调整、电压基准二极管	微波硅检波、微波硅混频二极管	变容、阶跃、隧道、体效应、PIN、雪崩二极管
0	0.26	0.39	0.43	0.35
10	0.46	0.58	0.62	0.54
20	0.78	0.84	0.86	0.82
25	1.00	1.00	1.00	1.00
30	1.28	1.19	1.17	1.21
40	2.03	1.65	1.56	1.75
50	3.14	2.24	2.06	2.46
55	3.87	2.59	2.35	2.90
60	4.74	2.99	2.68	3.40
65	5.78	3.44	3.04	3.97
70	7.00	3.94	3.44	4.63
75	8.43	4.50	3.89	5.37
80	10.1	5.13	4.40	6.22
85	12.1	5.84	4.97	7.17
90	14.4	6.63	5.61	8.26
95	17.1	7.52	6.34	9.50
100	20.2	8.52	7.18	10.9
注：T为工作环境温度或带散热片功率器件的管壳温度。				

表 B.23　设备电源通–断循环系数π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
<0.6	>1 667	1.00
1	1 000	1.08
2	500	1.17
3	333	1.25
4	250	1.33
5	200	1.42
10	100	1.83
20	50	2.66
50	20	5.15

B.2.4.3　晶体管

非工作失效率预计模型见式(B.6)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{NT}\pi_{Nr}\pi_{CYC} \quad \cdots\cdots (B.6)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.24；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.25；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表表 B.26；

π_{NT}——非工作温度应力系数，见表 B.27；

π_{Nr}——晶体管性能额定值系数，单结晶体管 $\pi_{Nr}=1$，其他见表 B.28～表 B.30；

π_{CYC}——设备电源通－断循环系数，见表 B.31。

表 B. 24　非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

分类号	种类	λ_{Nb}
双极型晶体管	功率晶体管	0.000 91
	开关晶体管	0.001 1
	达林顿晶体管	0.001 7
硅场效应晶体管		0.004 5
微波晶体管(双极型晶体管、场效应晶体管)		0.017 0
单结晶体管		0.004 9
闸流晶体管		0.011 6

表 B. 25　非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.8	5.9	5.5	12	7.5	4.5	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_{NE}	14	13	20	7.5	12	17	1.2	32	15	－

表 B. 26　质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		种类				
		双极型晶体管	硅场效应晶体管	单结晶体管	微波晶体管	闸流晶体管
A	A_1	0.05	－	－	－	－
	A_2	0.07	0.07	－	0.07	－
	A_3	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	A_4	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	A_5	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
	A_6	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
B	B_1	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	B_2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

表 B.27 非工作温度应力系数π_{NT}

T ℃	种类				
	双极型晶体管	硅场效应晶体管	单结晶体管	微波晶体管	闸流晶体管
0	0.36	0.35	0.29	0.24	0.27
10	0.55	0.54	0.49	0.43	0.47
20	0.83	0.82	0.80	0.76	0.79
25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	1.22	1.21	1.26	1.30	1.30
40	1.76	1.75	1.93	2.13	2.07
50	2.47	2.46	2.89	3.41	3.20
55	2.91	2.90	3.50	4.26	3.95
60	3.41	3.40	4.23	5.29	4.85
65	3.99	3.97	5.08	6.54	5.92
70	4.66	4.63	6.07	8.04	7.21
75	5.41	5.37	7.23	9.84	8.73
80	6.27	6.22	8.58	12.0	10.5
85	7.26	7.17	10.2	14.6	12.7
90	8.38	8.26	12.0	17.6	15.2
95	9.67	9.50	14.1	21.4	18.2
100	11.1	10.9	16.5	25.8	21.8

表 B.28 双极型和硅场效应晶体管性能额定值系数π_{Nr}

额定功率 P W	$P<1$	$1\leqslant P\leqslant 5$	$5<P\leqslant 20$	$20<P\leqslant 50$	$P>50$
π_{Nr}	1.0	1.3	1.7	2.3	3.0

表 B.29 微波双极型和砷化镓场效应晶体管性能额定值系数π_{Nr}

额定功率 P W	$P\leqslant 0.1$	$0.1<P\leqslant 1$	$1<P\leqslant 5$	$P>5$
π_{Nr}	1.0	1.3	2.0	3.0

表 B.30 闸流晶体管性能额定值系数π_{Nr}

额定平均通态电流 I A	$I\leqslant 1$	$1<I\leqslant 5$	$5<I\leqslant 25$	$25<I\leqslant 100$	$I>100$
π_{Nr}	1.0	1.5	2.5	3.5	5.0

表 B.31 设备电源通—断循环系数π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
<1	>1 000	1.00
1	1 000	1.05
2	500	1.10

表 B.31（续）

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
3	333	1.15
4	250	1.20
5	200	1.25
10	100	1.50
20	50	2.00
50	20	3.50

B.2.5 光电子器件

非工作失效率预计模型见式（B.7）。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{NT} \quad\cdots\cdots(B.7)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.32；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.33；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.34；

π_{NT}——非工作温度应力系数，见表 B.35。

表 B.32 非工作基本失效率 λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

分类号	种类		λ_{Nb}
1	发光二极管		0.000 065
2	红外发光二极管		0.000 62
3	光电二极管		0.001 3
4	激光二极管		0.001 7
5	光电晶体管		0.004 6
6	光电耦合器	简单式	0.002 6
		复合式	0.008
7	单位数码管		0.000 21
8	多位数码管		0.000 23＋0.000 08×位数
9	光电二极管探测器	单隔离	0.001 6
		双隔离	0.003 0
10	光电晶体管探测器	单隔离	0.000 6
		双隔离	0.000 9

表 B.33 非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.1	1.8	3.0	2.6	7.0	4.0	3.7	2.2	5.1
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	8.2	5.6	8.0	4.0	6.0	12	1.0	16	9.0	—

表 B.34　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_2	0.07
	A_3	0.15
	A_4	0.25
	A_5	0.35
	A_6	0.45
B	B_1	0.70
	B_2	1.0
C		5.0

表 B.35　非工作温度应力系数π_{NT}

T ℃	π_{NT}	T ℃	π_{NT}	T ℃	π_{NT}	T ℃	π_{NT}
0	0.25	30	1.29	60	4.95	90	15.25
5	0.33	35	1.64	65	6.05	95	18.07
10	0.45	40	2.07	70	7.36	100	21.31
15	0.59	45	2.60	75	8.90	–	–
20	0.77	50	3.25	80	10.70	–	–
25	1.00	55	4.02	85	12.81	–	–

B.2.6　真空电子器件

非工作失效率预计模型见式(B.8)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \quad\cdots\cdots\text{(B.8)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.36；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.37；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.38。

表 B.36　非工作基本失效率λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

类型	λ_{Nb}
磁控管	1.13
行波管	0.89
空间电荷控制电子管	
发射管	
超短波	0.07
脉冲	0.11
分米波	0.13
厘米波	0.15

表 B.36(续)

单位为 10^{-6}/h

类型	λ_{Nb}
调制管	
连续波	0.09
脉冲	0.10
整流管	0.19
微波电子管	
速调管	
连续波	0.89
脉冲速调管	1.07
小功率(本机振荡用)	0.73
充气微波开关管	
有源管	0.35
无源管	0.20
返波管	
连续	1.77
脉冲	2.16
正交场放大管	1.2
阴极射线管(真空显示器件)	
显示管	
黑白显示管	0.14
彩色显示管	0.18
示波管	0.93
指示管	0.65
摄像管	1.74
真空离子器件	
闸流管	0.55
触发管	0.30
放电管	
谐振	0.009
非谐振	0.006
计数管	0.72
稳压管	0.059
真空光电子器件	
光电管	0.42
光电倍增管	1.26
像增强管	0.42

表 B.37　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.3	2.0	5.0	6.0	12	9.0	7.0	2.5	8.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	17	16	22	8.0	12	36	1.0	60	25	—

表 B.38　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.30
	A_2	0.70
B		1.0
C		2.5

B.2.7　电阻器

本条对下列类型电阻器的非工作失效率进行预计：

a)　金属膜电阻器；

b)　碳膜电阻器(功率 $P \leqslant 2W$)；

c)　玻璃釉电阻器(功率 $P \leqslant 2W$)；

d)　线绕电阻器：包括普通线绕电阻器、精密线绕电阻器；

e)　箔式电阻器：包括普通金属箔电阻器、精密金属箔电阻器；

f)　功率线绕电阻器(功率 $P > 2W$)；

g)　功率非线绕电阻器；

h)　片式膜电阻器；

i)　电阻网络。

一般地，电阻器的非工作失效率预计模型见式(B.9)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NQ}\pi_{NE}\pi_{CYC} \quad \text{(B.9)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.39；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.40；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.41；

π_{CYC}——设备电源通−断循环系数，见表 B.43。

电阻网络的非工作失效率预计模型见式(B.10)。

$$\lambda_{NP} = N_E\lambda_{Nb}\pi_{NQ}\pi_{NE}\pi_{NT}\pi_{CYC} \quad \text{(B.10)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

N_E——网络电阻数；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.39；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.40；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.41；

π_{NT}——非工作温度应力系数，见表 B.42；

π_{CYC}——设备电源通–断循环系数，见表B.43。

表 B.39　非工作基本失效率λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

种类		λ_{Nb}
金属膜		0.000 1
碳膜(功率 $P \leq 2W$)		0.000 48
玻璃釉(功率 $P \leq 2W$)		0.000 21
线绕电阻器	普通	0.003 4
	精密	0.007 0
箔式电阻器	普通金属箔	0.000 5
	精密金属箔	0.000 8
功率线绕电阻器		0.001 3
功率非线绕电阻器(功率 $P > 2W$)		0.002 7
片式膜电阻器		0.000 4
电阻网络	(单个分立电阻)	0.000 61
	(单个膜电阻)	0.000 25

表 B.40　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

种类	质量等级					
	A_{1P}	A_{1M}	A_2	B_1	B_2	C
金属膜	0.1	0.2	0.4	0.8	1	2.5
碳膜(功率 $P \leq 2W$)	—	—	0.4	0.8	1	3.0
玻璃釉(功率 $P \leq 2W$)	—	—	0.4	0.8	1	2.5
线绕	—	0.2	0.4	0.8	1	2.5
功率线绕	—	0.1	0.2	0.8	1	3.0
箔式	—	0.1	0.4	0.8	1	3.0
功率非线绕	—	0.1	0.2	0.8	1	2.5
片式膜	0.05	0.1	0.2	0.8	1	2.5
电阻网络	0.05	0.1	0.2	0.8	1	3.0

表 B.41　非工作环境系数π_{NE}

种类	环境									
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
金属膜、碳膜、玻璃釉	1.0	1.1	1.8	3.5	4.0	6.0	5.6	3.8	2.5	4.5
线绕	1.0	1.1	2.1	4.0	4.5	8.0	7.5	4.5	3.0	5.0
功率线绕	1.0	1.1	1.5	3.5	4.0	6.5	6.0	4.2	2.5	4.5
箔式	1.0	1.1	1.8	3.5	4.0	6.0	5.6	4.0	3.0	5.0
功率非线绕	1.0	1.1	1.8	3.5	4.0	6.5	6.0	4.0	2.5	4.5

表 B. 41（续）

种类	环境									
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
片式膜	1.0	1.1	2	3.9	5.2	6.7	6.1	4.5	2.8	5
电阻网络	1.0	1.1	1.8	3.5	4.0	6.0	5.6	3.8	2.5	4.5

种类	环境								
	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
金属膜、碳膜、玻璃釉	10	5	11	2.5	6.1	12.5	0.5	26	15
线绕	12	6	13	5.6	10.5	14.7	1.0	34	15
功率线绕	10	5	12	2.7	6	13.6	1.0	30	15
箔式	10	5	11	2.5	6.1	12.5	0.5	26	15
功率非线绕	10	5	12	4	9.4	14	1.0	30	15
片式膜	10	6.6	11.5	3.4	6.4	13	0.5	29	15
电阻网络	10	5	11	2.5	6.1	12.5	1.0	26	15

表 B. 42　电阻网络非工作温度应力系数 π_{NT}

T ℃	π_{NT}	T ℃	π_{NT}	T ℃	π_{NT}
0～25	1.0	55	3.5	85	9.8
30	1.25	60	4.2	90	11.4
35	1.56	65	5.0	95	13.3
40	1.92	70	5.9	100	15.4
45	2.4	75	7.1	—	—
50	2.9	80	8.3	—	—

表 B. 43　设备电源通－断循环系数 π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 t h	π_{CYC}
＜0.8	＞1 250	1.00
1	1 000	1.06
2	500	1.13
3	333	1.19
4	250	1.25
5	200	1.32
10	100	1.63
20	50	2.26
50	20	4.15

B.2.8 敏感电阻器

本条对下列类型敏感电阻器的非工作失效率进行预计：

a) 热敏电阻器；

b) 压敏电阻器；

c) 光敏电阻器。

一般地，敏感电阻器的非工作失效率预计模型见式(B.11)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NQ}\pi_{NE}\pi_{CYC} \quad \text{(B.11)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表B.44；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表B.45；

π_{NE}——非工作环境系数，见表B.46；

π_{CYC}——设备电源通－断循环系数，见表B.47。

表B.44 非工作基本失效率λ_{Nb}

单位为10^{-6}/h

种类	λ_{Nb}
热敏	0.001 6
压敏	0.003 5
光敏	0.001 9

表B.45 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级	A_1	A_2	B_1	B_2	C
π_{NQ}	0.2	0.4	0.8	1.0	3.0

表B.46 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.3	2.5	5.0	5.5	7.0	6.5	5.0	3.2	5.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	8.5	7	11.5	3.2	4.6	17	1.0	31	15	—

表B.47 设备电源通－断循环系数π_{CYC}

循环率N_C 次/10^3时	循环平均间隔时间t h	π_{CYC}
＜0.8	＞1 250	1.00
1	1 000	1.06
2	500	1.13
3	333	1.19

表 B. 47(续)

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 t h	π_{CYC}
4	250	1.25
5	200	1.32
10	100	1.63
20	50	2.26
50	20	4.15

B. 2. 9 电位器

本条对下列电位器的非工作失效率进行预计：

a) 线绕电位器：
   1) 普通线绕电位器；
   2) 精密线绕电位器；
   3) 微调线绕电位器。
b) 非线绕电位器：
   1) 有机实芯电位器；
   2) 合成碳膜电位器；
   3) 玻璃釉电位器；
   4) 非线绕精密电位器(导电塑料电位器)。

电位器的非工作失效率预计模型见式(B.12)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NQ}\pi_{NE}\pi_{CYC} \quad \text{(B.12)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.48；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.49；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.50；

π_{CYC}——设备电源通–断循环系数，见表 B.51。

表 B. 48 非工作基本失效率 λ_{Nb} 单位为 10^{-6}/h

种类	λ_{Nb}
普通线绕	0.020
精密线绕	0.030
微调线绕	0.016
有机实芯	0.005 8
合成碳膜	0.008 2
玻璃釉	0.004
非线绕精密电位器	0.013

表 B.49　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

种类	质量等级				
	A_{1M}	A_2	B_1	B_2	C
普通线绕	0.2	0.4	0.7	1	3
精密线绕	0.2	0.4	0.7	1	3
微调线绕	0.2	0.4	0.7	1	3
有机实芯	0.2	0.4	0.7	1	3
合成碳膜	—	0.4	0.7	1	4
玻璃釉	0.2	0.4	0.7	1	3
非线绕精密	0.2	0.4	0.7	1	3

表 B.50　非工作环境系数π_{NE}

种类	环境								
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}
普通线绕	1.0	1.2	2.0	4.0	5.3	10.6	8.0	4.2	3.0
精密线绕	1.0	1.2	2.0	4.0	5.0	7.3	6.0	4.8	3.0
微调线绕	1.0	1.2	1.8	3.5	4.0	6.5	5.5	3.5	2.5
有机实芯	1.0	1.1	1.5	3.5	5.6	11.3	8.5	4.5	2.5
合成碳膜	1.0	1.1	1.5	3.5	5.6	11.3	8.5	5.5	3.0
玻璃釉	1.0	1.2	2.0	4.0	4.5	7.3	6.0	3.5	2.0
非线绕精密	1.0	1.2	2.0	4.0	5.0	7.3	6.0	4.8	3.0

种类	环境									
	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
普通线绕	4.7	9.4	9.3	13.3	4.4	8.0	16.4	—	—	—
精密线绕	5.0	11.2	9.3	13.3	5.9	9.6	26	—	—	—
微调线绕	3.8	7.6	6.7	13.3	4.3	7.8	16.4	—	—	—
有机实芯	5.3	10.6	11	14.7	7.5	9.0	18	—	—	—
合成碳膜	6.7	13.4	12.4	16.5	8.5	10.2	20	—	—	—
玻璃釉	3.8	7.6	6.7	16.7	3.4	11	19	—	—	—
非线绕精密	5.0	11.2	9.3	13.3	5.9	9.6	26	—	—	—

表 B.51　设备电源通—断循环系数π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
＜0.8	＞1 250	1.00
1	1 000	1.06
2	500	1.13
3	333	1.19
4	250	1.25

表 B. 51（续）

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
5	200	1.32
10	100	1.63
20	50	2.26
50	20	4.15

B. 2. 10　电容器

本条包括下列类型电容器：

a)　纸和薄膜电容器：包括纸介电容器、薄膜电容器和纸－膜复合介质电容器；

b)　瓷介电容器：包括 1 类瓷介电容器、2 类瓷介电容器；

c)　云母电容器；

d)　铝电解电容器；

e)　固体钽电解电容器；

f)　非固体钽电解电容器；

g)　氧化铌电解电容器；

h)　可变电容器：包括瓷介微调、玻璃介质微调和空气介质微调可变电容器；

i)　电容网络。

一般地，电容器的非工作失效率预计模型见式（B.13）。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NQ}\pi_{NE}\pi_{NT}\pi_{Nch}\pi_{CYC} \cdots\cdots (B.13)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.52；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.53；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.54；

π_{NT}——非工作温度应力系数，可变电容器取值为 1，其他电容器见表 B.55；

π_{Nch}——非工作表面贴装系数，非固体钽电解电容器，可变电容器取值为 1，其他电容器见表 B.56；

π_{CYC}——设备电源通－断循环系数，铝电容器取值为 1，其他电容器见表 B.57。

电容网络非工作失效率预计模型见式（B.14）。

$$\lambda_{NP}=N\lambda_{NP(单)} \cdots\cdots (B.14)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

N——网络电容个数；

$\lambda_{NP(单)}$——单个电容器的非工作失效率。

表 B. 52　非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

种类		λ_{Nb}
纸和薄膜电容器	纸介	0.000 56
	薄膜	0.000 41
瓷介电容器	1 类瓷介	0.000 13
	2 类瓷介	0.000 17

表 B.52（续）

单位为 10^{-6}/h

种类		λ_{Nb}
云母电容器		0.000 15
铝电解电容器		0.002 1
固体钽电解电容器		0.000 4
非固体钽电解电容器		0.000 8
氧化铌电解电容器		0.000 23
可变电容器	瓷介微调	0.005 3
	玻璃介质微调	0.008 2
	空气介质微调	0.008 9

表 B.53　质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

种类		质量等级						
		A_1		A_2	B_1	B_2	C	
		A_{1P}	A_{1M}				C_1	C_2
纸和薄膜		0.2	0.3	0.4	0.75	1	2.0	3.4
瓷介	1 类瓷介	0.2	0.3	0.4	0.75	1	3	
	2 类瓷介	0.2	0.3	0.4	0.75	1	3	
云母		0.2	0.3	0.4	0.75	1	3.4	
铝电解		0.2	0.3	0.4	0.75	1	3.4	
固体钽电解		0.15	0.25	0.4	0.75	1	3	
非固体钽电解		0.2	0.3	0.4	0.75	1	3	
氧化铌电解		—	—	0.4	0.75	1	3	
可变		0.3		0.4	0.75	1	3	

表 B.54　非工作环境系数 π_{NE}

种类		环境								
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}
纸和薄膜		1.0	1.1	2.4	4.6	4.8	9.6	7.0	4.5	2.8
瓷介	1 类瓷介	1.0	1.2	2.4	4.1	4.6	7.6	6.0	4.0	2.3
	2 类瓷介	1.0	1.1	2.8	4.6	5.1	8.1	7.0	4.9	2.9
云母		1.0	1.2	1.8	2.5	3.2	4.6	4.2	2.8	1.9
铝电解		1.0	1.2	2.4	4.0	4.2	10.4	7.0	5.1	3.0
固体钽电解		1.0	1.2	2.4	3.5	3.6	6.5	5.0	3.8	2.3
非固体钽电解		1.0	1.2	2.7	3.6	3.8	7.1	6.0	3.7	2.5
氧化铌电解		1.0	1.2	2.4	3.5	3.6	6.5	5.0	3.8	2.3

表 B.54(续)

种类		环境								
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}
可变		1.0	1.1	2.4	4.8	4.8	9.6	7.0	4.5	2.8

种类		环境									
		N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
纸和薄膜		5.7	11.5	8.0	21	6.0	10	14	1.0	31	15
瓷介	1 类瓷介	4.7	10.2	6.7	12	3.4	7.3	10	1.0	17	8.0
	2 类瓷介	5.7	9.1	7.7	14	6.0	9.2	12	1.0	17	8.0
云母		3.7	5.7	4.1	8.0	3.2	5.0	7.0	1.0	11	5.0
铝电解		6.1	12.7	10	21	8.0	14	17	1.0	21	10
固体钽电解		4.5	8.5	8.3	15	5.2	7.5	12	1.0	19	9.0
非固体钽电解		4.9	10.3	9.0	16	5.6	10	13	1.0	21	10
氧化铌电解		4.5	8.5	8.3	15	5.2	7.5	12	1.0	19	9.0
可变		5.7	11.5	8.0	21	6.0	10	15	—	—	—

表 B.55 非工作温度应力系数 π_{NT}

T ℃	π_{NT}					
	纸和薄膜电容器	1 类瓷介电容器	2 类瓷介电容器	云母电容器	铝电解、氧化铌电解电容器	钽电解电容器
0～10	0.95	0.56	0.90	0.51	0.69	0.78
15	0.96	0.68	0.93	0.64	0.78	0.84
20	0.98	0.82	0.96	0.80	0.88	0.91
25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
30	1.03	1.22	1.04	1.25	1.15	1.09
35	1.08	1.48	1.08	1.56	1.35	1.21
40	1.14	1.80	1.12	1.96	1.59	1.35
45	1.23	2.19	1.16	2.44	1.91	1.52
50	1.35	2.66	1.20	3.06	2.32	1.73
55	1.53	3.23	1.25	3.82	2.87	1.97
60	1.80	3.93	1.29	4.78	3.61	2.28
65	2.22	4.78	1.34	5.98	4.61	2.65
70	2.90	5.81	1.39	7.47	6.00	3.13
75	4.09	7.07	1.45	9.34	7.96	3.72
80	6.35	8.59	1.50	11.68	10.79	4.47
85	11.11	10.45	1.56	14.61	14.94	5.44

表 B.56 非工作表面贴装系数表π_{Nch}

电容器类别		π_{Nch}	
		片式	有引线(包含有引线 SMT，通孔式)
薄膜		1.5	1.0
瓷介	1 类瓷介	2.0	1.0
	2 类瓷介	2.0	1.0
云母		1.5	1.0
铝电解		1.5	1.0
固体钽电解		1.5	1.0
氧化铌电解		1.5	1.0

表 B.57 设备电源通−断循环系数π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
<0.3	>3 300	1.00
1	1 000	1.06
2	500	1.12
3	333	1.18
4	250	1.24
5	200	1.30
10	100	1.60
20	50	2.20
50	20	4.00

B.2.11 感性元件

B.2.11.1 概述

本条对下列感性元件提供非工作失效率预计：

a) 电感器：
   1) 固定电感器；
   2) 可变电感器；
   3) 扼流圈。
b) 片式电感器。
c) 变压器：
   1) 电源变压器；
   2) 脉冲变压器；
   3) 高压变压器；
   4) 音频变压器；
   5) 中频变压器；
   6) 射频变压器。

B.2.11.2 电感器

本条对下列类型电感器的非工作失效率进行预计：

a） 固定电感器；

b） 可变电感器；

c） 扼流圈。

电感器的非工作失效率预计模型见式(B.15)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{CYC} \quad \text{(B.15)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.58；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.59；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.60；

π_{CYC}——设备电源通－断循环系数，见表 B.61。

表 B.58 非工作基本失效率 λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

类型	λ_{Nb}
固定电感器	0.000 13
可变电感器	0.000 23
扼流圈	0.000 35

表 B.59 非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.4	2.0	6.0	7.0	14	7.8	7.5	2.8	8.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_{NE}	18	12	16	6.0	8.0	19	0.5	34	15	－

表 B.60 质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_2	0.25
B	B_1	0.70
	B_2	1.0
C		2.5

表 B.61 设备电源通－断循环系数 π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
≤0.1	≥10 000	1.00
0.2	5 000	1.02
0.5	2 000	1.04
1	1 000	1.08

表 B.61（续）

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
2	500	1.16
5	200	1.40
10	100	1.80
20	50	2.60
50	20	5.00

B.2.11.3 片式电感器

片式电感器的非工作失效率预计模型见式（B.16）

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{CYC} \quad \cdots\cdots (B.16)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.000 14；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.62；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.63；

π_{CYC}——设备电源通-断循环系数，见表 B.64。

表 B.62 非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.3	2.0	6.0	5.5	10	6.5	7.0	2.8	8.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	18	12	16	6.0	8.0	15	0.5	34	15	—

表 B.63 质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		π_Q
A	A_1	0.5
	A_2	0.6
B	B_1	0.7
	B_2	1.0
C		2.5

表 B.64 设备电源通-断循环系数 π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
≤0.1	≥10 000	1.0
0.2	5 000	1.01
0.5	2 000	1.03
1	1 000	1.05
2	500	1.10

表 B. 64(续)

循环率 N_C 次/10^3时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
5	200	1.25
10	100	1.50
20	50	2.00
50	20	3.50

B. 2. 11. 4 变压器

本条对下列类型变压器的非工作失效率进行预计：

a) 电源变压器；

b) 脉冲变压器；

c) 高压变压器；

d) 音频变压器；

e) 中频变压器；

f) 射频变压器。

非工作失效率预计模型见式(B.17)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}\pi_{CYC} \qquad \text{(B.17)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.65；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.66；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.67；

π_{CYC}——设备电源通-断循环系数，见表 B.68。

表 B. 65 非工作基本失效率 λ_{Nb} 单位为 10^{-6}/h

类型	λ_{Nb}
小功率脉冲变压器	0.000 4
中频变压器、音频变压器、电源变压器	0.000 9
大功率脉冲变压器	0.001 8
高压变压器、射频变压器	0.002 3

表 B. 66 非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.4	2.0	6.0	7.0	14	8.0	7.5	2.8	9.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	19	12	16	6.0	8.5	20	0.5	34	15	—

表 B.67　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.25
	A_2	0.35
B	B_1	0.70
	B_2	1.00
C		2.50

表 B.68　设备电源通-断循环系数π_{CYC}

循环率 N_C 次/10^3 时	循环平均间隔时间 h	π_{CYC}
≤0.05	≥20 000	1.00
0.1	10 000	1.01
0.2	5 000	1.02
0.5	2 000	1.05
1	1 000	1.10
2	500	1.20
5	200	1.50
10	100	2.00
20	50	3.00
50	20	6.00

B.2.12　继电器

本条对下列类型继电器的非工作失效率进行预计：

a)　机电继电器；

b)　固体继电器。

非工作失效率预计模型见式(B.18)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \quad \text{(B.18)}$$

式中：

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.69；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.70；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.71 和表 B.72。

表 B.69　非工作基本失效率λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

类型			触点电压(工作值)mV	λ_{Nb}
机电继电器	密封	熔焊工艺	–	0.001 8
		铅焊工艺		0.005 5
	非密封		>50	0.013
			≤50	0.026
固体继电器			–	0.012

表 B.70　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.1	1.5	4.5	4.0	8.5	6.0	5.0	3.0	6.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	14	7.0	15	4.5	8.0	22	1.0	37	20	—

表 B.71　机电继电器质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_{1R}	—
	A_{1P}	0.10
	A_{1M}	0.20
	A_{1L}	0.35
	A_2	0.45
B	B_1	0.7
	B_2	1.0
C		4.0

表 B.72　固体继电器质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_{1Y}	0.15
	A_{1W}	0.3
	A_2	0.4
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		4.0

B.2.13　开关

本条对下列类型开关的非工作失效率进行预计：

a)　旋转开关；

b)　微动开关；

c)　钮子开关；

d)　按钮开关；

e)　滑动开关；

f)　行程开关。

开关的非工作失效率预计模型见式(B.19)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \quad \cdots\cdots\cdots (B.19)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.73；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.74；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.75。

表 B.73 非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

触点电压(工作值)	λ_{Nb}
旋转开关	0.002 6
微动开关	0.002 3
钮子开关	0.002 1
按钮开关	0.001 1
滑动开关	0.002 2
行程开关	0.002 9

表 B.74 非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.3	2.0	3.5	6.4	8.0	7.0	4.0	3.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	11	6.0	9.0	3.3	5.3	16	1.0	41	20	—

表 B.75 质量等级与非工作质量系数 π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.35
	A_2	0.5
B	B_1	0.7
	B_2	1.0
C		4.0

B.2.14 电连接器

本条对下列类型电连接器的非工作失效率进行预计：

a) 低频连接器：圆形连接器、矩形连接器、印制电路板用连接器；

b) 射频同轴连接器。

电连接器的非工作失效率预计模型见式(B.20)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad (B.20)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.76；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.77；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.78。

表 B.76 非工作基本失效率 λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

种类	λ_{Nb}
射频同轴连接器、圆形连接器	0.000 35
矩形连接器、印制电路板用连接器	0.000 55

表 B. 77　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.4	1.5	3.0	3.8	6.2	5.2	2.5	2.0	3.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_{NE}	8.0	4.3	8.4	2.6	5.6	10.5	1.0	14	7.0	－

表 B. 78　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.30
	A_2	0.45
B	B_1	0.75
	B_2	1.0
C		3.5

B. 2. 15　微特电机

本条对下列类微特电机的非工作失效率进行预计：

a）普通电动机；

b）风机；

c）自整角机、旋转变压器；

d）时间累加器。

微特电机的非工作效率预计模型见式(B.21)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \tag{B.21}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.79；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.80；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.81、表 B.82。

表 B. 79　非工作基本失效率λ_{Nb}　　单位为10^{-6}/h

类别	λ_{Nb}
电动机	0.04
风机	0.036
旋转变压器、自整角机	0.011
时间累加器	0.15

表 B. 80　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.5	2.5	4.0	10	4.5	5.0	2.3	6.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_{NE}	13	5.0	15	3.3	9.6	16	1.0	21.6	11	－

表 B.81 电动机、风机质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.2
	A_2	0.65
B	B_1	0.8
	B_2	1.0
C		2.5

表 B.82 自整角机、旋转变压器和时间累加器质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.2
	A_2	0.65
B		1.0
C		2.5

B.2.16 印制板、焊接点与 SMT 互连

B.2.16.1 印制板

非工作失效率预计模型见式(B.22)。

$$\lambda_{NP}=(\lambda_{Nb1}N+\lambda_{Nb2})\pi_{NE}\pi_{NQ} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (B.22)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb1}、λ_{Nb2}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，λ_{Nb1}取值 0.000 004，λ_{Nb2}取值 0.000 07；

N——金属化孔数；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.83；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.84。

表 B.83 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.3	2.0	4.0	4.0	8.0	7.0	4.5	3.5	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	13	9.0	20	5.0	10	22	1.0	30	15	—

表 B.84 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.3
	A_2	0.5
B		1.0
C		3.0

B.2.16.2 焊接点

非工作失效率预计模型见式(B.23)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (B.23)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.85；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.86。

表 B.85　非工作基本失效率λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

类型	λ_{Nb}
再流焊	0.000 007 4
浸焊	0.000 022
有绕接烙铁焊	0.000 008
无绕接烙铁焊	0.000 053
印制板的烙铁焊	0.000 017
熔接	0.000 007
绕接	0.000 001
压接	0.000 029
夹接	0.000 014

表 B.86　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.1	1.7	3.5	4.0	7.0	5.5	3.8	3.0	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	10	6.0	8.0	4.0	6.0	12	1.0	25	12	—

B.2.16.3　SMT 互连

非工作状态 SMT 互连可靠性预计模型用于估计表面安装元器件与电路板之间的非工作状态连接失效率，该模型提供了一种关于电路板失效的相对度量方法，“最薄弱连接”的 SMT 由于环境的热循环疲劳失效导致电路板失效。要对电路板上的所有表面安装元器件(SMC/SMD)进行连接可靠性预计，其中最大的失效率值(最薄弱连接)定为由于 SMT 连接导致的失效率。

这种连接的“最薄弱连接”往往出现在电路板中尺寸最大的 SMC/SMD 处，该预计模型假设“最薄弱连接”失效后，电路板报废，本预计模型未考虑焊接缺陷和引线缺陷造成的影响。

λ_{NSMT}是在期望的设备寿命周期中由于“最薄弱连接”的表面贴装器件的热循环疲劳引起的平均失效率。

其预计模型见式(B.24)。

$$\lambda_{NSMT} = A\lambda_{Nb} \quad \cdots\cdots (B.24)$$

式中：

A——失效率水平调整系数，见表 B.87。A 可由 $\lambda_{Nb}L_C$ 确定，其中 L_C 为电路板所在设备的设计寿命周期，h。

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见式(B.25)。

$$\lambda_{Nb} = \frac{\left(\frac{d}{h}\left|\alpha_S\Delta T - \alpha_{CC}\Delta T\right| \times 10^{-6}\right)^{2.26}}{7.5} C_R \pi_C \quad \cdots\cdots (B.25)$$

式中：

d——从器件中心到最远的焊接点的距离，mm；

h——无管脚器件的焊接点高度 mm。对于所有有管脚安装，默认为 0.203 2mm；

α_S——电路板底板热膨胀系数(CTE)，ppm/℃，见表 B.88；

ΔT——使用环境温度极值之间的温差；

α_{CC}——封装材料热膨胀系数(CTE)，ppm/℃，见表 B.89；

C_R——温度循环率系数，见表 B.90；

π_C——元器件引线结构系数，见表 B.91。

表 B. 87　失效率水平调整参数 A

$\lambda_{Nb}L_C$	A
0～0.30	0.13
0.31～0.6	0.31
0.61～0.8	0.51
0.81～0.90	0.6
＞0.90	1.0

表 B. 88　电路板底板热膨胀系数 α_S 缺省值　　单位为百万分率每摄氏度

基座材料	α_S	基座材料	α_S
环氧树脂覆铜箔板	15	陶瓷多层板	7
玻璃布-环氧树脂覆铜(FR-4)叠层板	18	包铜的镍铁合金	5
玻璃布-环氧树脂覆铜(FR-4)多层板	20	包铜的钼	5
玻璃布-环氧树脂覆铜(FR-4)多层板/包铜的镍铁合金	11	碳纤维/环氧合成物	1
耐热玻璃布-环氧树脂覆铜箔板	13	凯夫拉尔纤维(B)	3
玻璃布-聚酰亚胺树脂覆铜箔板	13	石英纤维	1
玻璃布-聚四氟乙烯树脂覆铜箔板	24	玻璃纤维	5
金属芯型金属类基板(Cu)	17	聚酰胺/石英叠层板	8
金属芯型金属类基板(Al)	23.5	聚酰胺/凯夫拉尔纤维叠层板	6
氧化铝陶瓷基板	6.6	环氧/凯夫拉尔纤维叠层板	7
氮化铝陶瓷基板	4.6	环氧芳族聚酰胺纤维	7
碳化硅陶瓷基板	3.8	聚酰胺芳族聚酰胺纤维	6
陶瓷低温共烧制基板	4.5	环氧石英	9
聚酯树脂挠性覆铜箔板	1.8	陶瓷化的包铜的镍铁合金	7
聚酰亚胺挠性覆铜箔板	12	玻璃陶瓷纤维	7

表 B. 89　封装材料热膨胀系数 α_{CC} 缺省值　　单位为百万分率每摄氏度

底座材料	α_{CC}
塑料	6.5
陶瓷	5.5

表 B.90　温度循环率系数 C_R

热循环次数 小时(f)	C_R
$f \leqslant 0.2$	f
$0.2 < f \leqslant 0.6$	0.25
$0.6 < f \leqslant 1$	0.4
$1 < f \leqslant 5$	1.5
$f > 5$	5.0
注：SMT 互连的热循环次数，应尽可能通过在电路板的热分析基础上得到。	

表 B.91　元器件引线结构系数 π_C

管脚结构	π_C
无引线	1.0
BGA	0.50
J 或 S 型引线	0.30
鸥翼型引线	0.06

B.2.17　磁性器件

本条对下列磁性器件的非工作失效率进行预计：

a)　大功率微波磁性器件；
b)　隔离器；
c)　放大器；
d)　回转器；
e)　调制器；
f)　环行器；
g)　移相器；
h)　耦合器；
i)　小功率微波磁性器件。

磁性器件的非工作失效率预计模型见式(B.26)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad (B.26)$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；
λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.92；
π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.93；
π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.94。

表 B.92　非工作基本失效率 λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

种类	大功率磁性器件、隔离器、耦合器、放大器、回转器、调制器、环行器、移相器	小功率磁性器件
λ_{Nb}	0.003 8	0.000 35

表 B.93 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	7.0	5.0	4.5	3.0	6.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	12	6.0	10	3.5	5.5	9.0	1.0	22	12	—

表 B.94 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.45
	A_2	0.5
B	B_1	0.75
	B_2	1.0
C		3.0

B.2.18 振荡器和谐振器

B.2.18.1 振荡器

非工作失效率预计模型见式(B.27)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad \text{(B.27)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.001 2；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.95；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.96。

表 B.95 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	11	8	5.5	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	14	15	23	10	18	22	1.0	30	15	—

表 B.96 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.2
	A_2	0.35
B		1.0
C		3.5

B.2.18.2 谐振器

非工作失效率预计模型见式(B.28)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad \text{(B.28)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，λ_{Nb}取值为 0.000 9；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.97；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.98。

表 B.97　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	11	8.0	5.4	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	14	15	23	10	18	22	1.0	30	15	—

表 B.98　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.20
	A_2	0.35
B		1.0
C		3.5

B.2.19　滤波器

B.2.19.1　概述

本条对下列类型滤波器的非工作失效率进行预计：

a) 压电陶瓷滤波器；

b) 介电滤波器；

c) 石英晶体滤波器；

d) 机械滤波器；

e) LC 滤波器。

B.2.19.2　压电陶瓷、介电、石英晶体和机械滤波器

非工作失效率预计模型见式(B.29)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad \text{(B.29)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.99；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.100；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.101。

表 B.99　非工作基本失效率λ_{Nb}　　单位为 10^{-6}/h

类别	压电陶瓷	介电	石英晶体	机械
λ_{Nb}	0.002 1	0.001 3	0.001 8	0.005 1

表 B.100 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	11	8.0	5.0	3.0	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	14	12	20	7.0	11	17	0.8	32	15	—

表 B.101 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.50
	A_2	0.65
B		1.0
C		3.5

B.2.19.3 LC 滤波器

预计 LC 滤波器非工作失效率较准确的方法是将所有构成 LC 滤波器的单个元器件的非工作失效率相加。而单个元器件的非工作失效率可由本指导性技术文件所提供的模型给出，其确定方法可采用元器件非工作可靠性详细预计法或计数预计法。若信息不充分，可采用式(B.30)的近似模型：

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \tag{B.30}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.102；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.103；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.104。

表 B.102 非工作基本失效率λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

类别	分立电感电容	分立电感电容和晶体
λ_{Nb}	0.002 3	0.004 8

表 B.103 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.2	1.5	3.5	4.0	8.0	6.0	4.0	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	10	9.0	14	5.5	8.5	13	0.8	25	12	—

表 B.104 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.50
	A_2	0.65
B		1.0
C		3.5

B.2.20 电池

电池的非工作失效率预计模型见式(B.31)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ} \quad \text{(B.31)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表B.105；

π_{NE}——非工作环境系数，见表B.106；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表B.107。

表B.105 非工作基本失效率λ_{Nb} 单位为10^{-6}/h

类别	硅太阳能电池、砷化镓太阳能电池	氢镍蓄电池	镉镍蓄电池	锂离子蓄电池	铅酸蓄电池	锂原电池
λ_{Nb}	0.000 43	0.030	0.016	0.009	0.011	0.051

表B.106 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.1	1.4	2.0	1.8	3.0	2.0	2.5	1.5	3.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	4.0	3.0	5.0	2.0	3.5	4.5	0.7	6.0	2.3	—

表B.107 质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.3
	A_2	0.4
B	B_1	0.6
	B_2	1.0
C		3.0

B.2.21 灯

非工作失效率预计模型见式(B.32)。

$$\lambda_{NP}=\lambda_{Nb}\pi_{NE} \quad \text{(B.32)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表B.108；

π_{NE}——非工作环境系数，见表B.109。

表B.108 非工作基本失效率λ_{Nb} 单位为10^{-6}/h

种类	氖灯	白炽灯
λ_{Nb}	0.064	0.18

表 B.109 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.1	1.3	2.0	2.2	3.6	3.2	2.4	1.3	2.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	4.0	4.1	5.5	3.0	4.2	5.5	1.0	6.0	4.0	—

B.2.22 激光器

非工作失效率预计模型见式(B.33)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NL} \quad \text{(B.33)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.110；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.111；

π_{NL}——成熟系数，见表 B.112。

表 B.110 非工作基本失效率λ_{Nb}

单位为 10^{-6}/h

类型		λ_{Nb}
氦氖激光器		0.12
氦镉激光器		0.8
氩离子激光器		0.7
密封二氧化碳激光器		0.5
氧化钕掺杂的钇铝石榴石(ND:YAG)棒激光器		1.7
红宝石棒激光器		2.2
半导体激光器	输出光功率≤90mW	0.23
	90mW＜输出光功率≤150mW	0.41
	输出光功率＞150mW	0.50

表 B.111 非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.5	2.0	5.0	5.5	16	11	10	4.0	12
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	15	17	25	9.0	13	18	0.6	27	13	—

表 B.112 成熟系数π_{NL}

成熟程度	符合生产标准已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或设计、工艺有重大变更的产品
π_{NL}	1.0	2.5	5.0

B.2.23 压电陀螺

非工作失效率预计模型见式(B.34)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NC}\lambda_{NE}\pi_{NL} \quad \text{(B.34)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.003；

π_{NC}——非工作复杂度系数，见表 B.113；

λ_{NE}——非工作环境系数，见表 B.114；

π_{NL}——成熟系数，见表 B.115。

表 B.113 非工作复杂度系数 π_{NC}

类别	单轴	双轴	三轴
π_{NC}	1	1.1	2.2

表 B.114 非工作环境系数 π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.3	2.0	5.0	6.0	11	9.0	6.0	2.5	7.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	17	16	22	8.0	12	36	0.5	66	32	—

表 B.115 成熟系数 π_{NL}

成熟程度	符合相应标准或技术条件，已稳定生产的产品	质量尚未稳定的产品	试制品或设计、工艺有重大变更的产品
π_{NL}	1.0	2.0	4.5

B.2.24 光纤连接器

非工作失效率预计模型见式(B.35)。

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NL}\pi_{NE}\pi_{NQ} \qquad \text{(B.35)}$$

式中：

λ_{NP}——非工作失效率，10^{-6}/h；

λ_{Nb}——非工作基本失效率，10^{-6}/h，见表 B.116；

π_{NL}——非工作连接系数，见表 B.117；

π_{NE}——非工作环境系数，见表 B.118；

π_{NQ}——非工作质量系数，见表 B.119。

表 B.116 基本失效率 λ_{Nb}

芯数 N	1	2	4	6	8	$N \geqslant 10$
λ_b	0.005	0.005 5	0.006 1	0.006 8	0.007 6	0.008 5

表 B.117 非工作连接系数 π_{NL}

连接模式	FC	SC	ST
π_{NL}	1	2.4	1.1

表 B.118　非工作环境系数π_{NE}

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_{NE}	1.0	1.4	1.5	3.0	3.8	6.2	5.2	2.5	2.0	3.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_{NE}	8.0	4.3	8.4	2.6	5.6	10.5	1.0	14	7.0	—

表 B.119　质量等级与非工作质量系数π_{NQ}

质量等级		π_{NQ}
A	A_1	0.3
	A_2	0.6
B		1.0
C		3.0

B.2.25　其他电子元器件

其他电子元器件的非工作失效率见表 B.120。

表 B.120　其他电子元器件的非工作失效率λ_{NP}

单位为 10^{-6}/h

种类				G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
微波元器件	衰减器(固定或可调)			0.003 6	0.004 3	0.005 4	0.012 6	0.018 0	0.043 2	0.039 6	0.019 4	0.010 8	0.025 2	0.050 4	0.054 0	0.086 4	0.036 0	0.064 8	0.079 2	0.003 6	0.126 0	0.054 0
	固定元件	定向耦合器 固定短线 谐振腔		0.001	0.001	0.002	0.004	0.005	0.012	0.011	0.005	0.003	0.007	0.014	0.015	0.024	0.010	0.018	0.022	0.001	0.035	0.001
	可变元件	可调短线 可调谐振器		0.009	0.011	0.014	0.032	0.045	0.108	0.099	0.049	0.027	0.063	0.126	0.135	0.216	0.090	0.162	0.198	0.009	0.315	0.135
		波导开关		0.162	0.194	0.243	0.567	0.810	1.944	1.782	0.875	0.486	1.134	2.268	2.430	3.888	1.620	2.916	3.564	0.162	5.671	2.430
		波导交连	大功率	0.498	0.597	0.747	1.742	2.489	5.973	5.476	2.688	1.493	3.484	6.969	7.467	11.947	4.978	8.960	10.951	0.498	17.422	7.467
			小功率	0.077	0.092	0.115	0.268	0.383	0.919	0.842	0.414	0.230	0.536	1.072	1.149	1.838	0.766	1.378	1.685	0.077	2.680	1.149
	微波集成电路模块	大功率		1.080	1.620	2.592	6.480	6.804	9.720	7.344	7.236	4.644	9.180	11.880	12.312	18.360	8.640	12.960	17.280	1.296	24.840	10.800
		小功率		0.090	0.135	0.216	0.540	0.567	0.810	0.612	0.603	0.387	0.765	0.990	1.026	1.530	0.720	1.080	1.440	0.108	2.070	0.900
温敏元件				0.040	0.052	0.100	0.201	0.221	0.281	0.261	0.201	0.128	0.221	0.341	0.281	0.462	0.128	0.185	0.683	0.040	1.245	0.602
仪表表头				0.057	0.069	0.115	0.218	0.258	0.459	0.344	0.287	0.155	0.344	0.746	1.033	1.148	0.689	1.148	1.262	0.057	1.607	0.746
加热器				0.315	0.347	0.662	1.260	1.418	2.520	2.363	1.418	0.945	1.575	3.780	1.890	4.095	1.764	3.308	4.631	0.315	10.710	4.725
熔断器				0.000 3	0.000 4	0.000 5	0.000 8	0.001 3	0.002 0	0.001 5	0.000 8	0.000 7	0.001 9	0.002 4	0.002 7	0.003 6	0.002 0	0.003 1	0.004 4	0.000 3	0.006 1	0.003 4
延迟线				0.040	0.056	0.080	0.160	0.200	0.360	0.300	0.160	0.120	0.280	0.440	0.340	0.480	0.320	0.360	0.520	0.040	1.280	0.600
电缆(千米/根)				0.025	0.033	0.035	0.063	0.096	0.152	0.114	0.063	0.051	0.139	0.177	0.202	0.265	0.152	0.227	0.329	0.023	0.455	0.253
电声器件	话筒			0.047	0.052	0.095	0.142	0.213	0.426	0.308	0.156	0.332	0.568	0.711	—	0.474	—	0.521	0.047	—	—	—
	电铃			0.054	0.060	0.109	0.163	0.244	0.488	0.353	0.179	0.380	0.651	0.814	—	0.543	—	0.597	0.054	—	—	—
	扬声器			0.039	0.043	0.078	0.118	0.176	0.353	0.255	0.129	0.118	0.275	0.471	0.588	—	0.392	—	0.431	0.039	—	—

表 B. 120(续)

单位为 10^{-6}/h

种类	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
拉杆天线	0.036	0.043	0.054	0.198	0.270	0.468	0.324	0.252	0.090	0.270	0.504	0.468	0.648	0.396	0.432	0.612	0.036	1.080	0.540
环形天线	0.012	0.014	0.018	0.066	0.090	0.156	0.108	0.084	0.030	0.090	0.168	0.156	0.216	0.132	0.144	0.204	0.012	0.360	0.180
仿真负载	0.011	0.014	0.015	0.027	0.037	0.064	0.053	0.027	0.019	0.037	0.051	0.053	0.149	0.037	0.069	0.149	0.011	0.170	0.096
仿真终端(厚、薄膜负载)	0.005 2	0.006 7	0.007 3	0.013 0	0.018 1	0.031 1	0.025 9	0.013 0	0.009 3	0.018 1	0.051 8	0.025 9	0.072 5	0.018 1	0.033 7	0.072 5	0.005 2	0.082 9	0.046 6
断路器(每个电极)	0.04	0.04	0.06	0.12	0.16	0.34	0.24	0.20	0.12	0.24	0.56	0.24	0.44	0.18	0.32	0.96	0.04	1.20	0.60
光纤激光模块	0.80	1.04	1.20	2.40	2.00	5.60	3.20	2.80	1.76	4.08	6.40	4.48	6.40	3.20	4.80	8.00	0.80	14.40	9.60
光纤发光二极管模块	0.064	0.083	0.095	0.191	0.159	0.445	0.255	0.223	0.140	0.325	0.509	0.356	0.509	0.255	0.382	0.636	0.064	1.145	0.764
光纤探测器模块	0.333	0.433	0.500	1.000	0.833	2.333	1.333	1.167	0.733	1.700	2.667	1.867	2.667	1.333	2.000	3.333	0.333	6.000	4.000
光纤耦合器	0.050	0.065	0.075	0.150	0.125	0.350	0.200	0.175	0.110	0.255	0.400	0.280	0.400	0.200	0.300	0.500	0.050	0.900	0.600
波分复用器	0.417	0.542	0.750	1.250	1.042	2.917	1.667	1.458	0.917	2.125	3.333	2.333	3.333	1.667	2.500	4.167	0.417	7.500	5.000
光电滤波器	1.364	1.773	2.045	4.091	3.409	9.545	5.455	4.773	3.000	6.955	10.909	7.636	10.909	5.455	8.182	13.636	1.364	24.545	16.364

B.3 非工作状态的元器件计数可靠性预计法

元器件非工作计数可靠性预计法所需要的信息是：

a） 所用元器件的种类及数量；

b） 所用元器件质量等级；

c） 设备非工作环境。

对于可靠性模型为串联结构的设备，计算其非工作失效率的数学表达式见式(B.36)。

$$\lambda_{\mathrm{NGS}}=\sum_{i=1}^{n}N_{\mathrm{Ni}}\lambda_{\mathrm{NGi}}\pi_{\mathrm{NQi}} \qquad \text{(B.36)}$$

式中：

λ_{NGS}——设备总非工作失效率，10^{-6}/h；

n——设备所包含元器件的种类数目；

N_{Ni}——第 i 种元器件的数量；

λ_{NGi}——第 i 种元器件的非工作通用失效率，10^{-6}/h；

π_{NQi}——第 i 种元器件的非工作通用质量系数。

上述表达式适用于在同一环境类别的设备。如果设备所包含的 n 个单元是在不同环境中工作(如机载设备有的单元在座舱，有的单元在无人舱)，则表达式就应该分别按不同环境考虑，然后，将这些“环境-单元”非工作失效率相加即为设备的总失效率。环境分类见表 1。

本章给出了各种类元器件的非工作通用失效率 λ_{NG} (见表 B.121～表 B.149)，未提供混合集成电路的非工作通用失效率。因为此器件不是标准化的，所以不能按它们的名称或功能来确定它们的复杂度。如果在设计中使用了混合集成电路，则可采用 B.2.2.3 的预计模型进行计算。此外，还有下列元器件需按 B.2 的模型进行预计：

a） 印制板、焊接点与 SMT 互连见 B.2.16；

b） 其他电子元器件见 B.2.25。

表 B.121　密封单片数字集成电路通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	双极	0.000 7	0.001 0	0.001 8	0.004 4	0.005 4	0.008 3	0.005 0	0.005 1	0.003 1	0.006 5	0.011 9	0.009 8	0.018 4	0.006 9	0.013 0	0.013 7	0.000 8	0.019 8	0.008 6
	MOS	0.000 6	0.000 9	0.001 6	0.003 9	0.005 0	0.007 8	0.004 4	0.004 6	0.002 8	0.005 8	0.012 0	0.009 1	0.018 5	0.006 4	0.013 1	0.012 7	0.000 7	0.018 3	0.008 0
21～50	双极	0.000 9	0.001 3	0.002 2	0.005 5	0.006 8	0.010 3	0.006 2	0.006 4	0.003 9	0.008 1	0.014 9	0.012 2	0.023 0	0.008 6	0.016 2	0.017 2	0.001 0	0.024 7	0.010 7
	MOS	0.000 8	0.001 1	0.002 0	0.004 9	0.006 3	0.009 8	0.005 5	0.005 8	0.003 5	0.007 3	0.014 9	0.011 3	0.023 1	0.007 9	0.016 3	0.015 9	0.000 9	0.022 9	0.009 9
51～100	双极	0.001 0	0.001 5	0.002 6	0.006 4	0.007 9	0.012 1	0.007 3	0.007 5	0.004 6	0.009 5	0.017 4	0.014 3	0.026 9	0.010 1	0.019 0	0.020 1	0.001 2	0.028 9	0.012 6
	MOS	0.000 9	0.001 3	0.002 3	0.005 7	0.007 3	0.011 5	0.006 5	0.006 8	0.004 1	0.008 6	0.017 5	0.013 3	0.027 0	0.009 3	0.019 1	0.018 6	0.001 1	0.026 8	0.011 7
101～500	双极	0.001 5	0.002 2	0.003 7	0.009 4	0.011 5	0.017 6	0.010 6	0.010 9	0.006 7	0.013 9	0.025 2	0.020 8	0.038 9	0.014 6	0.027 5	0.029 2	0.001 8	0.041 9	0.018 2
	MOS	0.001 3	0.001 9	0.003 3	0.008 4	0.010 7	0.016 7	0.009 5	0.009 8	0.006 0	0.012 5	0.025 3	0.019 3	0.039 1	0.013 5	0.027 6	0.027 1	0.001 5	0.038 9	0.016 9
501～1 000	双极	0.001 7	0.002 6	0.004 4	0.010 9	0.013 4	0.020 5	0.012 4	0.012 8	0.007 8	0.016 2	0.029 4	0.024 2	0.045 4	0.017 0	0.032 0	0.034 0	0.002 0	0.048 9	0.021 3
	MOS	0.001 5	0.002 3	0.003 9	0.009 7	0.012 4	0.019 4	0.011 0	0.011 5	0.007 0	0.014 6	0.029 5	0.022 5	0.045 5	0.015 8	0.032 1	0.031 6	0.001 8	0.045 4	0.019 7
1 001～2 000	双极	0.002 1	0.003 1	0.005 3	0.013 4	0.016 3	0.024 8	0.015 1	0.015 6	0.009 6	0.019 7	0.035 4	0.029 4	0.054 7	0.020 7	0.038 6	0.041 3	0.002 5	0.059 4	0.025 8
	MOS	0.001 9	0.002 8	0.004 8	0.012 0	0.015 1	0.023 6	0.013 6	0.014 1	0.008 6	0.017 8	0.035 5	0.027 4	0.054 8	0.019 2	0.038 7	0.038 4	0.002 2	0.055 3	0.024 0
2 001～3 000	双极	0.002 3	0.003 5	0.005 9	0.014 7	0.018 0	0.027 4	0.016 7	0.017 2	0.010 6	0.021 8	0.039 0	0.032 5	0.060 3	0.022 8	0.042 6	0.045 6	0.002 8	0.065 6	0.028 5
	MOS	0.002 0	0.003 1	0.005 3	0.013 2	0.016 7	0.026 0	0.015 0	0.015 5	0.009 5	0.019 7	0.039 2	0.030 2	0.060 5	0.021 2	0.042 7	0.042 4	0.002 5	0.061 0	0.026 5
3 001～5 000	双极	0.003 3	0.004 9	0.008 2	0.020 6	0.024 4	0.036 7	0.023 4	0.023 8	0.014 8	0.030 2	0.051 1	0.044 1	0.079 0	0.031 0	0.055 7	0.061 9	0.003 9	0.089 0	0.038 7
	MOS	0.003 0	0.004 5	0.007 6	0.018 9	0.023 0	0.035 2	0.021 4	0.022 0	0.013 5	0.027 9	0.051 2	0.041 6	0.079 2	0.029 2	0.055 9	0.058 4	0.003 6	0.084 0	0.036 5
5 001～7 500	双极	0.003 6	0.005 5	0.009 2	0.022 9	0.027 1	0.040 9	0.026 0	0.026 5	0.016 4	0.033 6	0.056 9	0.049 1	0.087 9	0.034 5	0.062 1	0.068 9	0.004 4	0.099 1	0.043 1
	MOS	0.003 3	0.005 0	0.008 4	0.021 0	0.025 6	0.039 2	0.023 9	0.024 5	0.015 1	0.031 0	0.057 1	0.046 3	0.088 2	0.032 5	0.062 2	0.065 0	0.004 0	0.093 5	0.040 6
7 501～10 000	双极	0.003 9	0.005 9	0.009 9	0.024 7	0.029 2	0.044 0	0.027 9	0.028 5	0.017 7	0.036 1	0.061 1	0.052 8	0.094 5	0.037 0	0.066 7	0.074 1	0.004 7	0.106 5	0.046 3
	MOS	0.003 6	0.005 3	0.009 0	0.022 6	0.027 5	0.042 2	0.025 6	0.026 3	0.016 2	0.033 3	0.061 3	0.049 8	0.094 8	0.034 9	0.066 9	0.069 9	0.004 3	0.100 5	0.043 7
10 001～15 000	双极	0.004 8	0.007 2	0.012 0	0.030 0	0.035 1	0.052 6	0.034 1	0.034 6	0.021 5	0.043 9	0.072 4	0.063 5	0.111 9	0.044 6	0.079 0	0.089 2	0.005 7	0.128 2	0.055 7
	MOS	0.004 4	0.006 6	0.011 1	0.027 8	0.033 3	0.050 7	0.031 5	0.032 2	0.019 9	0.040 8	0.072 6	0.060 3	0.112 1	0.042 3	0.079 2	0.084 6	0.005 3	0.121 6	0.052 9
15 001～20 000	双极	0.005 1	0.007 7	0.012 9	0.032 3	0.037 7	0.056 6	0.036 6	0.037 1	0.023 1	0.047 1	0.077 8	0.068 3	0.120 2	0.047 9	0.084 9	0.095 8	0.006 2	0.137 8	0.059 9
	MOS	0.004 7	0.007 1	0.012 0	0.029 9	0.035 8	0.054 5	0.033 9	0.034 6	0.021 4	0.043 9	0.078 0	0.064 8	0.120 5	0.045 5	0.085 1	0.090 9	0.005 7	0.130 7	0.056 8
20 001～30 000	双极	0.005 5	0.008 3	0.013 9	0.034 7	0.040 6	0.060 8	0.039 4	0.040 0	0.024 9	0.050 7	0.083 7	0.073 4	0.129 3	0.051 5	0.091 3	0.103 1	0.006 6	0.148 1	0.064 4
	MOS	0.005 1	0.007 7	0.012 9	0.032 2	0.038 5	0.058 6	0.036 5	0.037 2	0.023 1	0.047 2	0.083 9	0.069 7	0.129 6	0.048 9	0.091 5	0.097 8	0.006 1	0.140 6	0.061 1

表 B. 121（续）

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
30 001～60 000	双极	0.007 1	0.010 6	0.017 7	0.044 3	0.051 3	0.076 6	0.050 2	0.050 8	0.031 7	0.064 4	0.104 5	0.092 8	0.161 4	0.065 1	0.114 0	0.130 2	0.008 5	0.187 2	0.081 4
	MOS	0.006 6	0.009 9	0.016 5	0.041 3	0.048 9	0.074 0	0.046 8	0.047 6	0.029 6	0.060 4	0.104 7	0.088 4	0.161 8	0.062 0	0.114 2	0.124 1	0.007 9	0.178 4	0.077 6
60 001～90 000	MOS	0.007 3	0.010 9	0.018 3	0.045 8	0.054 2	0.082 1	0.051 9	0.052 8	0.032 8	0.067 0	0.116 2	0.098 1	0.179 6	0.068 8	0.126 8	0.137 7	0.008 8	0.197 9	0.086 1
90 001～200 000	MOS	0.007 7	0.011 5	0.019 3	0.048 1	0.057 0	0.086 2	0.054 6	0.055 5	0.034 5	0.070 4	0.122 1	0.103 1	0.188 7	0.072 3	0.133 2	0.144 7	0.009 2	0.208 0	0.090 4
200 001～400 000	MOS	0.009 8	0.014 7	0.024 6	0.061 4	0.072 7	0.110 0	0.069 6	0.070 8	0.044 0	0.089 8	0.155 7	0.131 5	0.240 6	0.092 3	0.169 9	0.184 5	0.011 7	0.265 2	0.115 3
400 001～600 000	MOS	0.011 0	0.016 4	0.027 5	0.068 7	0.081 4	0.123 1	0.077 9	0.079 2	0.049 3	0.100 5	0.174 3	0.147 2	0.269 4	0.103 3	0.190 2	0.206 6	0.013 1	0.297 0	0.129 1
600 001～800 000	MOS	0.011 8	0.017 7	0.029 6	0.074 1	0.087 6	0.132 7	0.083 9	0.085 4	0.053 1	0.108 3	0.187 8	0.158 6	0.290 3	0.111 3	0.204 9	0.222 6	0.014 2	0.320 0	0.139 1
800 001～950 000	MOS	0.012 5	0.018 7	0.031 3	0.078 3	0.092 7	0.140 2	0.088 7	0.090 3	0.056 1	0.114 5	0.198 6	0.167 7	0.306 9	0.117 7	0.216 6	0.235 3	0.015 0	0.338 3	0.147 1
950 001～1 500 000	MOS	0.012 8	0.019 2	0.032 1	0.080 1	0.094 8	0.143 6	0.090 8	0.092 4	0.057 4	0.117 2	0.203 3	0.171 6	0.314 1	0.120 4	0.221 7	0.240 9	0.015 3	0.346 3	0.150 5
1 500 001～2 500 000	MOS	0.014 9	0.022 3	0.037 4	0.093 4	0.110 6	0.167 4	0.105 9	0.107 7	0.067 0	0.136 7	0.237 0	0.200 1	0.366 2	0.140 4	0.258 5	0.280 8	0.017 9	0.403 7	0.175 5
2 500 001～3 500 000	MOS	0.016 3	0.024 4	0.040 9	0.102 2	0.121 0	0.183 1	0.115 8	0.117 8	0.073 3	0.149 5	0.259 2	0.218 9	0.400 6	0.153 6	0.282 8	0.307 2	0.019 5	0.441 6	0.192 0
3 500 001～4 500 000	MOS	0.017 4	0.026 0	0.043 6	0.108 9	0.128 9	0.195 1	0.123 5	0.125 6	0.078 1	0.159 3	0.276 3	0.233 3	0.427 0	0.163 7	0.301 4	0.327 4	0.020 8	0.470 6	0.204 6
4 500 001～5 000 000	MOS	0.018 2	0.027 4	0.045 8	0.114 5	0.135 4	0.205 0	0.129 7	0.131 9	0.082 0	0.167 4	0.290 3	0.245 1	0.448 6	0.172 0	0.316 7	0.344 0	0.021 9	0.494 5	0.215 0
5 000 001～6 000 000	MOS	0.019 0	0.028 5	0.047 7	0.119 2	0.141 0	0.213 5	0.135 1	0.137 4	0.085 4	0.174 3	0.302 2	0.255 2	0.467 1	0.179 1	0.329 7	0.358 2	0.022 8	0.514 8	0.223 8
6 000 001～7 000 000	MOS	0.019 6	0.029 5	0.049 3	0.123 3	0.145 9	0.220 9	0.139 7	0.142 1	0.088 4	0.180 3	0.312 7	0.264 0	0.483 3	0.185 3	0.341 1	0.370 6	0.023 6	0.532 7	0.231 6
7 000 001～8 000 000	MOS	0.020 2	0.030 4	0.050 8	0.127 0	0.150 3	0.227 5	0.143 9	0.146 4	0.091 0	0.185 7	0.322 1	0.272 0	0.497 8	0.190 9	0.351 4	0.381 7	0.024 3	0.548 7	0.238 6
8 000 001～9 000 000	MOS	0.020 8	0.031 2	0.052 1	0.130 4	0.154 3	0.233 5	0.147 7	0.150 3	0.093 4	0.190 7	0.330 6	0.279 2	0.510 9	0.195 9	0.360 7	0.391 8	0.024 9	0.563 2	0.244 9
9 000 001～10 000 000	MOS	0.021 3	0.031 9	0.053 4	0.133 4	0.157 9	0.239 0	0.151 2	0.153 8	0.095 6	0.195 2	0.338 4	0.285 7	0.523 0	0.200 5	0.369 2	0.401 0	0.025 5	0.576 5	0.250 7

表 B.122 非密封单片数字集成电路通用工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	双极	0.000 7	0.001 4	0.003 0	0.008 9	0.008 7	0.015 8	0.010 4	0.009 3	0.005 8	0.011 6	0.025 1	0.017 4	0.036 1	0.013 0	0.023 0	0.026 0	0.001 0	0.039 9	0.019 1
	MOS	0.000 6	0.001 2	0.002 6	0.007 9	0.008 0	0.015 0	0.009 2	0.008 4	0.005 1	0.010 4	0.025 2	0.016 1	0.036 2	0.012 1	0.023 0	0.024 1	0.000 9	0.037 0	0.017 7
21～50	双极	0.000 9	0.001 7	0.003 7	0.011 1	0.010 9	0.019 8	0.013 0	0.011 7	0.007 2	0.014 6	0.031 4	0.021 7	0.045 1	0.016 3	0.028 7	0.032 6	0.001 3	0.050 0	0.023 9
	MOS	0.000 8	0.001 5	0.003 3	0.009 9	0.010 1	0.018 7	0.011 6	0.010 5	0.006 4	0.013 1	0.031 5	0.020 1	0.045 2	0.015 1	0.028 8	0.030 2	0.001 1	0.046 3	0.022 2
51～100	双极	0.001 0	0.002 0	0.004 4	0.013 1	0.012 7	0.023 2	0.015 3	0.013 7	0.008 5	0.017 1	0.036 8	0.025 5	0.052 8	0.019 1	0.033 6	0.038 2	0.001 5	0.058 6	0.028 0
	MOS	0.000 9	0.001 8	0.003 9	0.011 7	0.011 8	0.022 0	0.013 6	0.012 3	0.007 6	0.015 4	0.036 9	0.023 6	0.053 0	0.017 7	0.033 7	0.035 5	0.001 3	0.054 4	0.026 0
101～500	双极	0.001 5	0.003 0	0.006 4	0.019 1	0.018 6	0.033 7	0.022 3	0.020 0	0.012 4	0.025 0	0.053 4	0.037 1	0.076 7	0.027 9	0.048 8	0.055 7	0.002 2	0.085 4	0.040 9
	MOS	0.001 3	0.002 6	0.005 7	0.017 1	0.017 3	0.032 0	0.020 0	0.018 0	0.011 1	0.022 5	0.053 6	0.034 5	0.076 9	0.025 9	0.048 9	0.051 8	0.002 0	0.079 4	0.038 0
501～1 000	双极	0.001 7	0.003 5	0.007 4	0.022 3	0.021 7	0.039 3	0.026 0	0.023 3	0.014 5	0.029 1	0.062 3	0.043 3	0.089 4	0.032 5	0.056 9	0.065 0	0.002 6	0.099 6	0.047 6
	MOS	0.001 5	0.003 1	0.006 6	0.019 9	0.020 1	0.037 3	0.023 3	0.021 0	0.013 0	0.026 3	0.062 5	0.040 2	0.089 7	0.030 2	0.057 1	0.060 3	0.002 3	0.092 5	0.044 3
1 001～2 000	双极	0.002 2	0.004 3	0.009 2	0.027 6	0.026 6	0.048 1	0.032 2	0.028 8	0.018 0	0.036 0	0.075 7	0.053 2	0.108 6	0.039 9	0.069 1	0.079 7	0.003 2	0.122 3	0.058 5
	MOS	0.001 9	0.003 9	0.008 3	0.024 9	0.024 8	0.045 8	0.029 0	0.026 1	0.016 2	0.032 6	0.075 9	0.049 6	0.109 0	0.037 2	0.069 3	0.074 4	0.002 9	0.114 0	0.054 5
2 001～3 000	双极	0.002 4	0.004 8	0.010 2	0.030 5	0.029 3	0.053 1	0.035 6	0.031 8	0.019 8	0.039 7	0.083 6	0.058 7	0.119 9	0.044 0	0.076 3	0.088 0	0.003 6	0.135 0	0.064 6
	MOS	0.002 1	0.004 3	0.009 1	0.027 4	0.027 4	0.050 6	0.032 0	0.028 8	0.017 8	0.036 0	0.083 8	0.054 7	0.120 3	0.041 0	0.076 5	0.082 1	0.003 2	0.125 9	0.060 2
3 001～5 000	双极	0.003 6	0.007 1	0.015 0	0.044 9	0.041 7	0.074 6	0.052 4	0.046 3	0.029 2	0.057 8	0.113 9	0.083 5	0.163 4	0.062 6	0.104 0	0.125 2	0.005 4	0.192 0	0.091 8
	MOS	0.003 3	0.006 6	0.013 8	0.041 5	0.039 6	0.071 7	0.048 4	0.043 0	0.027 0	0.053 7	0.114 2	0.079 1	0.163 8	0.059 3	0.104 2	0.118 7	0.004 9	0.182 0	0.087 0
5 001～7 500	双极	0.004 0	0.007 9	0.016 7	0.050 0	0.046 5	0.083 1	0.058 3	0.051 5	0.032 5	0.064 4	0.126 8	0.093 0	0.181 9	0.069 7	0.115 8	0.139 5	0.006 0	0.213 8	0.102 3
	MOS	0.003 7	0.007 3	0.015 4	0.046 2	0.044 0	0.079 9	0.053 9	0.047 9	0.030 0	0.059 8	0.127 1	0.088 1	0.182 4	0.066 1	0.116 1	0.132 1	0.005 5	0.202 6	0.096 9
7 501～10 000	双极	0.004 3	0.008 5	0.017 9	0.053 7	0.050 0	0.089 3	0.062 7	0.055 4	0.034 9	0.069 2	0.136 3	0.099 9	0.195 5	0.074 9	0.124 4	0.149 9	0.006 4	0.229 8	0.109 9
	MOS	0.003 9	0.007 9	0.016 5	0.049 6	0.047 3	0.085 8	0.057 9	0.051 5	0.032 3	0.064 3	0.136 6	0.094 7	0.196 0	0.071 0	0.124 7	0.142 0	0.005 9	0.217 7	0.104 1
10 001～15 000	双极	0.005 3	0.010 7	0.022 3	0.066 8	0.061 3	0.109 0	0.078 0	0.068 6	0.043 4	0.085 8	0.164 2	0.122 7	0.235 7	0.092 0	0.150 0	0.184 0	0.008 0	0.282 2	0.135 0
	MOS	0.005 0	0.010 0	0.020 8	0.062 4	0.058 5	0.105 3	0.072 8	0.064 4	0.040 6	0.080 5	0.164 6	0.117 0	0.236 2	0.087 7	0.150 3	0.175 5	0.007 5	0.269 1	0.128 7
15 001～20 000	双极	0.005 7	0.011 5	0.023 9	0.071 8	0.065 9	0.117 1	0.083 8	0.073 8	0.046 7	0.092 2	0.176 5	0.131 8	0.253 3	0.098 9	0.161 2	0.197 8	0.008 6	0.303 2	0.145 0
	MOS	0.005 3	0.010 7	0.022 4	0.067 1	0.062 9	0.113 1	0.078 2	0.069 2	0.043 6	0.086 5	0.176 9	0.125 7	0.253 9	0.094 3	0.161 6	0.188 6	0.008 0	0.289 2	0.138 3
20 001～30 000	双极	0.006 2	0.012 4	0.025 7	0.077 2	0.070 9	0.125 9	0.090 1	0.079 3	0.050 2	0.099 2	0.189 8	0.141 8	0.272 4	0.106 3	0.173 3	0.212 7	0.009 3	0.326 1	0.156 0
	MOS	0.005 8	0.011 5	0.024 0	0.072 1	0.067 6	0.121 7	0.084 1	0.074 4	0.046 9	0.093 0	0.190 3	0.135 2	0.273 0	0.101 4	0.173 7	0.202 8	0.008 6	0.311 0	0.148 7

表 B.122(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
30 001～60 000	双极	0.008 0	0.016 1	0.033 3	0.099 9	0.090 8	0.160 8	0.116 5	0.102 3	0.064 9	0.127 9	0.240 2	0.181 7	0.344 6	0.136 3	0.219 3	0.272 5	0.012 0	0.417 9	0.199 9
	MOS	0.007 5	0.015 0	0.031 3	0.093 9	0.087 0	0.155 8	0.109 6	0.096 6	0.061 0	0.120 7	0.240 7	0.174 0	0.345 3	0.130 5	0.219 8	0.261 0	0.011 3	0.400 2	0.191 4
60 001～90 000	MOS	0.008 3	0.016 7	0.034 7	0.104 2	0.096 6	0.172 8	0.121 6	0.107 2	0.067 7	0.134 0	0.267 1	0.193 1	0.383 2	0.144 8	0.243 9	0.289 7	0.012 5	0.444 1	0.212 4
90 001～200 000	MOS	0.008 8	0.017 5	0.036 5	0.109 5	0.101 4	0.181 6	0.127 7	0.112 6	0.071 2	0.140 8	0.280 6	0.202 9	0.402 6	0.152 2	0.256 2	0.304 3	0.013 2	0.466 6	0.223 2
200 001～400 000	MOS	0.011 2	0.022 4	0.046 5	0.139 6	0.129 4	0.231 6	0.162 9	0.143 6	0.090 8	0.179 5	0.357 9	0.258 7	0.513 5	0.194 1	0.326 8	0.388 1	0.016 8	0.595 1	0.284 6
400 001～600 000	MOS	0.012 5	0.025 1	0.052 1	0.156 4	0.144 9	0.259 3	0.182 4	0.160 8	0.101 6	0.201 0	0.400 7	0.289 7	0.575 0	0.217 3	0.365 9	0.434 6	0.018 8	0.666 4	0.318 7
600 001～800 000	MOS	0.013 5	0.027 0	0.056 2	0.168 5	0.156 1	0.279 4	0.196 5	0.173 3	0.109 5	0.216 6	0.431 7	0.312 1	0.619 4	0.234 1	0.394 2	0.468 2	0.020 2	0.717 9	0.343 4
800 001～950 000	MOS	0.014 3	0.028 5	0.059 4	0.178 1	0.165 0	0.295 4	0.207 8	0.183 2	0.115 8	0.229 0	0.456 4	0.330 0	0.654 9	0.247 5	0.416 7	0.495 0	0.021 4	0.759 0	0.363 0
950 001～1 500 000	MOS	0.014 6	0.029 2	0.060 8	0.182 3	0.168 9	0.302 4	0.212 7	0.187 5	0.118 5	0.234 4	0.467 2	0.337 8	0.670 3	0.253 3	0.426 6	0.506 7	0.021 9	0.776 9	0.371 6
1 500 001～2 500 000	MOS	0.017 0	0.034 1	0.070 8	0.212 5	0.196 9	0.352 5	0.248 0	0.218 6	0.138 2	0.273 2	0.544 7	0.393 8	0.781 5	0.295 4	0.497 3	0.590 7	0.025 5	0.905 8	0.433 2
2 500 001～3 500 000	MOS	0.018 6	0.037 2	0.077 5	0.232 5	0.215 4	0.385 6	0.271 3	0.239 1	0.151 1	0.298 9	0.595 8	0.430 8	0.854 9	0.323 1	0.544 0	0.646 2	0.027 9	0.990 8	0.473 9
3 500 001～4 500 000	MOS	0.019 8	0.039 7	0.082 6	0.247 8	0.229 6	0.411 0	0.289 1	0.254 9	0.161 1	0.318 6	0.635 0	0.459 1	0.911 1	0.344 3	0.579 8	0.688 7	0.029 8	1.056 0	0.505 0
4 500 001～5 000 000	MOS	0.020 9	0.041 7	0.086 8	0.260 3	0.241 2	0.431 8	0.303 7	0.267 8	0.169 2	0.334 7	0.667 2	0.482 4	0.957 3	0.361 8	0.609 2	0.723 6	0.031 3	1.109 5	0.530 6
5 000 001～6 000 000	MOS	0.021 7	0.043 4	0.090 4	0.271 1	0.251 1	0.449 6	0.316 2	0.278 8	0.176 2	0.348 5	0.694 7	0.502 3	0.996 7	0.376 7	0.634 3	0.753 4	0.032 6	1.155 2	0.552 5
6 000 001～7 000 000	MOS	0.022 5	0.044 9	0.093 5	0.280 5	0.259 8	0.465 2	0.327 2	0.288 5	0.182 3	0.360 6	0.718 8	0.519 7	1.031 3	0.389 8	0.656 3	0.779 5	0.033 7	1.195 3	0.571 7
7 000 001～8 000 000	MOS	0.023 1	0.046 3	0.096 3	0.288 9	0.267 6	0.479 1	0.337 0	0.297 1	0.187 8	0.371 4	0.740 3	0.535 3	1.062 2	0.401 5	0.676 0	0.802 9	0.034 7	1.231 2	0.588 8
8 000 001～9 000 000	MOS	0.023 8	0.047 5	0.098 8	0.296 5	0.274 7	0.491 8	0.346 0	0.305 0	0.192 7	0.381 2	0.759 9	0.549 4	1.090 3	0.412 1	0.693 8	0.824 1	0.035 6	1.263 7	0.604 4
9 000 001～10 000 000	MOS	0.024 3	0.048 6	0.101 2	0.303 5	0.281 2	0.503 4	0.354 1	0.312 2	0.197 3	0.390 2	0.777 8	0.562 4	1.116 0	0.421 8	0.710 2	0.843 6	0.036 5	1.293 5	0.618 6

表 B.123　密封单片微处理器通用工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～200	双极	0.001 8	0.002 7	0.005 2	0.012 9	0.019 3	0.031 7	0.014 6	0.016 0	0.009 2	0.020 3	0.052 6	0.034 8	0.081 3	0.024 4	0.057 4	0.048 9	0.002 2	0.070 3	0.030 6
	MOS	0.001 8	0.002 7	0.005 5	0.013 7	0.023 4	0.040 4	0.015 5	0.017 7	0.009 8	0.022 4	0.074 1	0.042 3	0.114 6	0.029 7	0.080 9	0.059 4	0.002 2	0.085 4	0.037 1
201～800	双极	0.002 4	0.003 7	0.006 9	0.017 3	0.025 9	0.042 6	0.019 6	0.021 5	0.012 4	0.027 3	0.070 8	0.046 9	0.109 4	0.032 9	0.077 2	0.065 8	0.002 9	0.094 6	0.041 1
	MOS	0.002 4	0.003 6	0.007 4	0.018 4	0.031 5	0.054 4	0.020 9	0.023 8	0.013 2	0.030 2	0.099 7	0.056 9	0.154 2	0.040 0	0.108 8	0.079 9	0.002 9	0.114 9	0.050 0
801～3 000	双极	0.002 8	0.004 2	0.007 9	0.019 7	0.029 4	0.048 4	0.022 3	0.024 4	0.014 1	0.031 0	0.080 4	0.053 3	0.124 3	0.037 4	0.087 7	0.074 8	0.003 3	0.107 5	0.046 7
	MOS	0.002 8	0.004 1	0.008 4	0.020 9	0.035 8	0.061 8	0.023 7	0.027 0	0.015 0	0.034 3	0.113 4	0.064 7	0.175 2	0.045 4	0.123 7	0.090 8	0.003 3	0.130 6	0.056 8
3 001～8 000	双极	0.004 1	0.006 1	0.011 4	0.028 5	0.041 7	0.068 2	0.032 3	0.035 1	0.020 4	0.044 5	0.111 9	0.075 5	0.172 9	0.053 0	0.122 1	0.106 0	0.004 9	0.152 3	0.066 2
	MOS	0.004 1	0.006 1	0.012 1	0.030 2	0.050 2	0.086 2	0.034 2	0.038 6	0.021 6	0.049 0	0.156 2	0.090 9	0.241 4	0.063 8	0.170 4	0.127 6	0.004 9	0.183 4	0.079 7
8 001～20 000	双极	0.004 6	0.006 9	0.013 0	0.032 4	0.047 4	0.077 5	0.036 7	0.039 9	0.023 2	0.050 6	0.127 2	0.085 8	0.196 5	0.060 2	0.138 7	0.120 4	0.005 5	0.173 1	0.075 3
	MOS	0.004 6	0.006 9	0.013 7	0.034 3	0.057 1	0.097 9	0.038 9	0.043 9	0.024 6	0.055 7	0.177 5	0.103 3	0.274 4	0.072 5	0.193 7	0.145 0	0.005 5	0.208 4	0.090 6
20 001～40 000	双极	0.005 7	0.008 5	0.015 9	0.039 7	0.058 1	0.094 9	0.045 0	0.048 9	0.028 4	0.062 0	0.155 7	0.105 1	0.240 7	0.073 7	0.169 9	0.147 5	0.006 8	0.212 0	0.092 2
	MOS	0.005 6	0.008 5	0.016 8	0.042 0	0.069 9	0.119 9	0.047 6	0.053 8	0.030 1	0.068 2	0.217 4	0.126 5	0.336 0	0.088 8	0.237 2	0.177 5	0.006 8	0.255 2	0.111 0
40 001～60 000	双极	0.007 6	0.011 4	0.020 7	0.051 9	0.072 5	0.116 7	0.058 8	0.062 9	0.037 2	0.079 8	0.186 3	0.131 2	0.287 9	0.092 1	0.203 2	0.184 1	0.009 1	0.264 7	0.115 1
	MOS	0.007 6	0.011 4	0.021 8	0.054 4	0.085 5	0.144 2	0.061 7	0.068 3	0.039 0	0.086 6	0.254 1	0.154 7	0.392 7	0.108 6	0.277 2	0.217 1	0.009 1	0.312 1	0.135 7
60 001～80 000	双极	0.008 1	0.012 1	0.022 1	0.055 2	0.077 1	0.124 1	0.062 5	0.067 0	0.039 6	0.085 0	0.198 2	0.139 6	0.306 3	0.098 0	0.216 2	0.195 9	0.009 7	0.281 6	0.122 4
	MOS	0.008 1	0.012 1	0.023 2	0.057 9	0.091 0	0.153 4	0.065 6	0.072 7	0.041 5	0.092 2	0.270 3	0.164 6	0.417 8	0.115 5	0.294 9	0.231 0	0.009 7	0.332 1	0.144 4
800 01～90 000	双极	0.008 5	0.012 7	0.023 1	0.057 8	0.080 8	0.130 0	0.065 5	0.070 1	0.041 4	0.089 0	0.207 6	0.146 2	0.320 9	0.102 6	0.226 5	0.205 2	0.010 2	0.295 0	0.128 3
800 01～95 000	MOS	0.008 4	0.012 7	0.024 3	0.060 6	0.095 3	0.160 7	0.068 7	0.076 1	0.043 5	0.096 6	0.283 2	0.172 4	0.437 6	0.121 0	0.308 9	0.242 0	0.010 1	0.347 9	0.151 3
95 001～200 000	MOS	0.012 4	0.018 6	0.033 8	0.084 5	0.120 9	0.197 8	0.095 8	0.102 9	0.060 5	0.130 6	0.330 3	0.218 9	0.510 4	0.153 6	0.360 3	0.307 2	0.014 9	0.441 6	0.192 0
200 001～400 000	MOS	0.015 2	0.022 7	0.041 4	0.103 5	0.148 1	0.242 3	0.117 3	0.126 0	0.074 2	0.159 9	0.404 5	0.268 0	0.625 1	0.188 1	0.441 2	0.376 2	0.018 2	0.540 8	0.235 1
400 001～600 000	MOS	0.016 7	0.025 0	0.045 5	0.113 7	0.162 8	0.266 2	0.128 9	0.138 5	0.081 5	0.175 7	0.444 4	0.294 5	0.686 9	0.206 7	0.484 8	0.413 4	0.020 0	0.594 2	0.258 4
600 001～800 000	MOS	0.017 7	0.026 6	0.048 4	0.121 0	0.173 2	0.283 3	0.137 1	0.147 4	0.086 7	0.187 0	0.472 9	0.313 4	0.730 9	0.219 9	0.515 9	0.439 8	0.021 3	0.632 3	0.274 9
800 001～950 000	MOS	0.018 6	0.027 9	0.050 7	0.126 7	0.181 4	0.296 7	0.143 6	0.154 4	0.090 8	0.195 8	0.495 4	0.328 3	0.765 5	0.230 4	0.540 4	0.460 7	0.022 3	0.662 3	0.288 0

表 B. 123(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
950 001～2 000 000	MOS	0.020 5	0.030 7	0.055 4	0.138 4	0.194 6	0.316 3	0.156 9	0.167 7	0.099 2	0.212 7	0.521 9	0.352 2	0.806 6	0.247 1	0.569 4	0.494 3	0.024 6	0.710 5	0.308 9
2 000 001～4 000 000	MOS	0.025 1	0.037 6	0.067 8	0.169 5	0.238 4	0.387 4	0.192 1	0.205 3	0.121 5	0.260 5	0.639 2	0.431 3	0.987 9	0.302 7	0.697 3	0.605 3	0.030 1	0.870 2	0.378 3
4 000 001～6 000 000	MOS	0.027 5	0.041 3	0.074 5	0.186 2	0.261 9	0.425 7	0.211 1	0.225 6	0.133 5	0.286 2	0.702 4	0.473 9	1.085 5	0.332 6	0.766 2	0.665 2	0.033 1	0.956 2	0.415 7
6 000 001～8 000 000	MOS	0.029 3	0.044 0	0.079 3	0.198 2	0.278 7	0.453 0	0.224 6	0.240 1	0.142 0	0.304 6	0.747 4	0.504 3	1.155 0	0.353 9	0.815 3	0.707 8	0.035 2	1.017 4	0.442 4
8 000 001～9 500 000	MOS	0.030 7	0.046 1	0.083 0	0.207 6	0.291 9	0.474 5	0.235 3	0.251 5	0.148 8	0.319 0	0.782 8	0.528 2	1.209 8	0.370 7	0.854 0	0.741 4	0.036 8	1.065 7	0.463 3
9 500 001～10 000 000	MOS	0.031 3	0.047 0	0.084 7	0.211 7	0.297 6	0.483 8	0.239 9	0.256 4	0.151 7	0.325 3	0.798 2	0.538 6	1.233 6	0.378 0	0.870 8	0.755 9	0.037 6	1.086 6	0.472 4
10 000 001～30 000 000	MOS	0.046 3	0.069 4	0.121 9	0.304 8	0.405 7	0.646 2	0.345 4	0.363 1	0.218 4	0.460 7	1.024 9	0.734 1	1.583 9	0.515 2	1.118 1	1.030 4	0.055 5	1.481 2	0.644 0
30 000 001～50 000 000	MOS	0.052 6	0.078 9	0.138 5	0.346 4	0.461 1	0.734 3	0.392 6	0.412 7	0.248 2	0.523 5	1.164 7	0.834 3	1.800 0	0.585 5	1.270 6	1.170 9	0.063 1	1.683 2	0.731 8
50 000 001～70 000 000	MOS	0.056 7	0.085 0	0.149 3	0.373 3	0.496 9	0.791 4	0.423 0	0.444 7	0.267 5	0.564 2	1.255 2	0.899 1	1.939 8	0.631 0	1.369 3	1.261 9	0.068 0	1.814 0	0.788 7
70 000 001～90 000 000	MOS	0.059 8	0.089 7	0.157 4	0.393 6	0.524 0	0.834 5	0.446 1	0.469 0	0.282 1	0.594 9	1.323 6	0.948 1	2.045 6	0.665 3	1.443 9	1.330 7	0.071 7	1.912 9	0.831 7
90 000 001～110 000 000	MOS	0.062 3	0.093 4	0.164 1	0.410 2	0.546 0	0.869 6	0.464 9	0.488 7	0.294 0	0.620 0	1.379 2	0.988 0	2.131 5	0.693 3	1.504 6	1.386 6	0.074 7	1.993 3	0.866 6
110 000 001～130 000 000	MOS	0.064 4	0.096 6	0.169 7	0.424 2	0.564 7	0.899 3	0.480 8	0.505 4	0.304 0	0.641 2	1.426 4	1.021 8	2.204 5	0.717 0	1.556 1	1.434 1	0.077 3	2.061 5	0.896 3
130 000 001～150 000 000	MOS	0.066 3	0.099 4	0.174 6	0.436 4	0.580 9	0.925 3	0.494 6	0.520 0	0.312 8	0.659 7	1.467 6	1.051 2	2.268 1	0.737 7	1.601 0	1.475 4	0.079 5	2.120 9	0.922 1
150 000 001～170 000 000	MOS	0.067 9	0.101 9	0.178 9	0.447 3	0.595 4	0.948 4	0.507 0	0.532 9	0.320 6	0.676 1	1.504 2	1.077 5	2.324 6	0.756 1	1.640 9	1.512 2	0.081 5	2.173 8	0.945 1
170 000 001～190 000 000	MOS	0.069 4	0.104 1	0.182 9	0.457 1	0.608 5	0.969 2	0.518 1	0.544 6	0.327 6	0.691 0	1.537 2	1.101 1	2.375 7	0.772 7	1.677 0	1.545 4	0.083 3	2.221 6	0.965 9
190 000 001～220 000 000	MOS	0.070 8	0.106 2	0.186 4	0.466 1	0.620 5	0.988 2	0.528 3	0.555 3	0.334 1	0.704 5	1.567 4	1.122 7	2.422 3	0.787 9	1.709 9	1.575 8	0.084 9	2.265 2	0.984 9
220 000 001～275 000 000	MOS	0.082 3	0.123 5	0.214 9	0.537 2	0.700 6	1.107 0	0.608 8	0.636 2	0.385 0	0.807 1	1.727 6	1.267 7	2.670 0	0.889 6	1.884 7	1.779 3	0.098 8	2.557 7	1.112 0
275 000 001～300 000 000	MOS	0.084 1	0.126 1	0.219 4	0.548 5	0.715 4	1.130 4	0.621 7	0.649 6	0.393 1	0.824 1	1.764 1	1.294 5	2.726 4	0.908 4	1.924 5	1.816 9	0.100 9	2.611 8	1.135 5
300 000 001～340 000 000	MOS	0.090 7	0.136 0	0.235 7	0.589 2	0.761 6	1.199 1	0.667 8	0.695 9	0.422 3	0.882 9	1.857 6	1.378 1	2.870 9	0.967 1	2.026 5	1.934 2	0.108 8	2.780 4	1.208 9

表 B.123（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
340 000 001～380 000 000	MOS	0.092 7	0.139 0	0.240 9	0.602 2	0.778 3	1.225 4	0.682 4	0.711 2	0.431 5	0.902 3	1.898 4	1.408 4	2.934 0	0.988 3	2.071 0	1.976 7	0.111 2	2.841 5	1.235 4
380 000 001～500 000 000	MOS	0.094 5	0.141 7	0.245 6	0.614 0	0.793 6	1.249 4	0.695 8	0.725 2	0.440 0	0.920 0	1.935 7	1.436 0	2.991 6	1.007 7	2.111 7	2.015 5	0.113 4	2.897 2	1.259 7
500 000 001～700 000 000	MOS	0.101 8	0.152 7	0.264 7	0.661 7	0.855 2	1.346 5	0.749 9	0.781 5	0.474 2	0.991 5	2.086 1	1.547 6	3.223 9	1.086 0	2.275 7	2.172 0	0.122 2	3.122 3	1.357 5
700 000 001～900 000 000	MOS	0.107 4	0.161 1	0.279 1	0.697 7	0.901 9	1.419 9	0.790 8	0.824 1	0.500 0	1.045 5	2.199 8	1.631 9	3.399 7	1.145 2	2.399 8	2.290 4	0.128 9	3.292 5	1.431 5
900 000 001～1 100 000 000	MOS	0.111 9	0.167 8	0.290 8	0.727 1	0.939 8	1.479 6	0.824 0	0.858 8	0.521 1	1.089 5	2.292 2	1.700 5	3.542 6	1.193 3	2.500 6	2.386 7	0.134 3	3.430 9	1.491 7
1 100 000 001～1 400 000 000	MOS	0.115 7	0.173 6	0.300 8	0.751 9	0.971 9	1.530 2	0.852 2	0.888 1	0.538 9	1.126 7	2.370 7	1.758 7	3.663 7	1.234 2	2.586 2	2.468 3	0.138 9	3.548 2	1.542 7

表 B.124　非密封单片微处理器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～200	双极	0.001 9	0.003 8	0.008 9	0.026 6	0.031 3	0.061 0	0.031 0	0.029 5	0.017 3	0.036 8	0.111 6	0.062 6	0.160 1	0.046 9	0.101 9	0.093 8	0.002 8	0.143 9	0.068 8
	MOS	0.001 9	0.003 8	0.009 4	0.028 2	0.037 8	0.077 5	0.032 9	0.032 5	0.018 4	0.040 7	0.156 6	0.075 7	0.224 7	0.056 7	0.143 0	0.113 5	0.002 8	0.174 0	0.083 2
201～800	双极	0.002 5	0.005 1	0.011 9	0.035 8	0.042 1	0.082 1	0.041 8	0.039 7	0.023 3	0.049 6	0.150 2	0.084 2	0.215 5	0.063 1	0.137 1	0.126 3	0.003 8	0.193 6	0.092 6
	MOS	0.002 5	0.005 1	0.012 7	0.038 0	0.050 9	0.104 4	0.044 3	0.043 8	0.024 7	0.054 7	0.210 8	0.101 8	0.302 4	0.076 4	0.192 4	0.152 7	0.003 8	0.234 2	0.112 0
801～3 000	双极	0.002 9	0.005 8	0.013 6	0.040 7	0.047 8	0.093 3	0.047 5	0.045 1	0.026 5	0.056 3	0.170 7	0.095 7	0.244 9	0.071 7	0.155 8	0.143 5	0.004 3	0.220 0	0.105 2
	MOS	0.002 9	0.005 7	0.014 4	0.043 2	0.057 9	0.118 6	0.050 4	0.049 7	0.028 1	0.062 2	0.239 5	0.115 7	0.343 7	0.086 8	0.218 7	0.173 6	0.004 3	0.266 1	0.127 3
3 001～8 000	双极	0.004 3	0.008 6	0.019 9	0.059 8	0.068 6	0.132 7	0.069 8	0.065 7	0.038 9	0.082 1	0.239 3	0.137 1	0.343 3	0.102 8	0.218 5	0.205 7	0.006 4	0.315 4	0.150 8
	MOS	0.004 3	0.008 6	0.021 0	0.063 1	0.082 0	0.166 7	0.073 6	0.072 0	0.041 0	0.089 9	0.332 0	0.164 1	0.476 3	0.123 1	0.303 1	0.246 1	0.006 4	0.377 4	0.180 5
8 001～20 000	双极	0.004 9	0.009 8	0.022 7	0.068 0	0.077 9	0.150 8	0.079 3	0.074 6	0.044 2	0.093 3	0.271 9	0.155 8	0.390 2	0.116 9	0.248 3	0.233 7	0.007 3	0.358 4	0.171 4
	MOS	0.004 9	0.009 7	0.023 9	0.071 7	0.093 2	0.189 5	0.083 7	0.081 8	0.046 6	0.102 2	0.377 3	0.186 5	0.541 3	0.139 9	0.344 5	0.279 7	0.007 3	0.428 9	0.205 1
20 001～40 000	双极	0.006 0	0.012 0	0.027 7	0.083 2	0.095 4	0.184 7	0.097 1	0.091 4	0.054 1	0.114 3	0.333 0	0.190 8	0.477 8	0.143 1	0.304 1	0.286 2	0.009 0	0.438 9	0.209 9
	MOS	0.006 0	0.011 9	0.029 3	0.087 9	0.114 2	0.232 0	0.102 5	0.100 2	0.057 1	0.125 2	0.462 0	0.228 4	0.662 9	0.171 3	0.421 9	0.342 6	0.008 9	0.525 3	0.251 2

表 B. 124(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
40 001～60 000	双极	0.008 3	0.016 6	0.037 4	0.112 1	0.122 0	0.232 2	0.130 8	0.121 1	0.072 9	0.151 3	0.405 5	0.244 1	0.581 8	0.183 0	0.370 2	0.366 1	0.012 4	0.561 3	0.268 5
	MOS	0.008 3	0.016 5	0.039 1	0.117 2	0.142 7	0.284 2	0.136 7	0.130 7	0.076 2	0.163 3	0.547 2	0.285 3	0.785 2	0.214 0	0.499 6	0.428 0	0.012 4	0.656 3	0.313 9
60 001～80 000	双极	0.008 8	0.017 6	0.039 8	0.119 3	0.129 8	0.247 0	0.139 1	0.128 8	0.077 5	0.161 0	0.431 5	0.259 7	0.619 0	0.194 8	0.393 9	0.389 5	0.013 2	0.597 3	0.285 7
	MOS	0.008 8	0.017 6	0.041 6	0.124 7	0.151 8	0.302 4	0.145 5	0.139 0	0.081 0	0.173 8	0.582 3	0.303 6	0.835 4	0.227 7	0.531 6	0.455 4	0.013 2	0.698 3	0.334 0
800 01～90 000	双极	0.009 2	0.018 5	0.041 6	0.124 9	0.136 0	0.258 8	0.145 7	0.134 9	0.081 2	0.168 7	0.451 9	0.272 0	0.648 4	0.204 0	0.412 6	0.408 0	0.013 9	0.625 6	0.299 2
800 01～95 000	MOS	0.009 2	0.018 4	0.043 5	0.130 6	0.159 0	0.316 7	0.152 4	0.145 6	0.084 9	0.182 1	0.609 9	0.318 0	0.875 1	0.238 5	0.556 9	0.477 0	0.013 8	0.731 4	0.349 8
95 001～200 000	MOS	0.014 1	0.028 1	0.063 1	0.189 2	0.208 9	0.402 4	0.220 8	0.204 6	0.123 0	0.255 7	0.729 4	0.417 7	1.046 5	0.313 3	0.666 0	0.626 6	0.021 1	0.960 8	0.459 5
200 001～400 000	MOS	0.017 2	0.034 5	0.077 3	0.231 8	0.255 8	0.492 8	0.270 4	0.250 6	0.150 6	0.313 2	0.893 3	0.511 6	1.281 6	0.383 7	0.815 6	0.767 4	0.025 9	1.176 7	0.562 8
400 001～600 000	MOS	0.018 9	0.037 9	0.084 9	0.254 7	0.281 1	0.541 5	0.297 1	0.275 3	0.165 5	0.344 1	0.981 5	0.562 2	1.408 3	0.421 6	0.896 2	0.843 2	0.028 4	1.293 0	0.618 4
600 001～800 000	MOS	0.020 2	0.040 3	0.090 3	0.271 0	0.299 1	0.576 2	0.316 1	0.292 9	0.176 1	0.366 2	1.044 4	0.598 2	1.498 5	0.448 6	0.953 6	0.897 2	0.030 2	1.375 8	0.658 0
800 001～950 000	MOS	0.021 1	0.042 2	0.094 6	0.283 8	0.313 3	0.603 6	0.331 1	0.306 9	0.184 5	0.383 6	1.094 0	0.626 5	1.569 6	0.469 9	0.998 9	0.939 8	0.031 7	1.441 1	0.689 2
950 001～2 000 000	MOS	0.023 4	0.046 8	0.104 0	0.312 1	0.338 3	0.647 5	0.364 1	0.335 5	0.202 8	0.419 4	1.158 9	0.676 6	1.662 8	0.507 5	1.058 1	1.014 9	0.035 1	1.556 2	0.744 3
2 000 001～4 000 000	MOS	0.028 7	0.057 3	0.127 4	0.382 2	0.414 3	0.793 0	0.445 9	0.410 9	0.248 4	0.513 7	1.419 3	0.828 7	2.036 4	0.621 5	1.295 9	1.243 0	0.043 0	1.905 9	0.911 5
4 000 001～6 000 000	MOS	0.031 5	0.063 0	0.140 0	0.420 0	0.455 3	0.871 4	0.490 0	0.451 5	0.273 0	0.564 4	1.559 6	0.910 6	2.237 6	0.682 9	1.424 0	1.365 8	0.047 3	2.094 3	1.001 6
6 000 001～8 000 000	MOS	0.033 5	0.067 0	0.149 0	0.446 9	0.484 4	0.927 2	0.521 3	0.480 5	0.290 5	0.600 6	1.659 5	0.968 9	2.381 0	0.726 7	1.515 2	1.453 3	0.050 3	2.228 4	1.065 8
8 000 001～9 500 000	MOS	0.035 1	0.070 2	0.156 0	0.468 1	0.507 4	0.971 2	0.546 1	0.503 3	0.304 2	0.629 1	1.738 2	1.014 9	2.493 9	0.761 1	1.587 1	1.522 3	0.052 7	2.334 2	1.116 3
9 500 001～10 000 000	MOS	0.035 8	0.071 6	0.159 1	0.477 3	0.517 4	0.990 3	0.556 8	0.513 1	0.310 2	0.641 4	1.772 3	1.034 8	2.542 9	0.776 1	1.618 2	1.552 2	0.053 7	2.380 0	1.138 2
10 000 001～30 000 000	MOS	0.053 9	0.107 7	0.233 5	0.700 4	0.719 6	1.349 2	0.817 1	0.741 1	0.455 2	0.926 4	2.316 9	1.439 3	3.324 3	1.079 5	2.115 5	2.158 9	0.080 8	3.310 3	1.583 2
30 000 001～50 000 000	MOS	0.061 2	0.122 4	0.265 3	0.795 9	0.817 8	1.533 2	0.928 6	0.842 3	0.517 3	1.052 8	2.633 0	1.635 6	3.777 8	1.226 7	2.404 1	2.453 4	0.091 8	3.761 9	1.799 2

表 B.124(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
50 000 001～70 000 000	MOS	0.066 0	0.131 9	0.285 9	0.857 7	0.881 3	1.652 3	1.000 7	0.907 7	0.557 5	1.134 6	2.837 6	1.762 7	4.071 3	1.322 0	2.590 8	2.644 0	0.098 9	4.054 1	1.938 9
70 000 001～90 000 000	MOS	0.069 5	0.139 1	0.301 5	0.904 5	0.929 4	1.742 4	1.055 2	0.957 2	0.587 9	1.196 4	2.992 2	1.858 8	4.293 2	1.394 1	2.732 0	2.788 1	0.104 3	4.275 1	2.044 6
90 000 001～110 000 000	MOS	0.072 5	0.144 9	0.314 2	0.942 5	0.968 4	1.815 6	1.099 6	0.997 4	0.612 6	1.246 7	3.118 0	1.936 9	4.473 6	1.452 7	2.846 9	2.905 3	0.108 7	4.454 8	2.130 6
110 000 001～130 000 000	MOS	0.074 9	0.149 9	0.324 9	0.974 7	1.001 6	1.877 7	1.137 2	1.031 5	0.633 6	1.289 4	3.224 7	2.003 1	4.626 7	1.502 4	2.944 3	3.004 7	0.112 4	4.607 2	2.203 5
130 000 001～150 000 000	MOS	0.077 1	0.154 2	0.334 3	1.002 9	1.030 5	1.931 9	1.170 0	1.061 3	0.651 9	1.326 6	3.317 7	2.060 9	4.760 2	1.545 7	3.029 2	3.091 4	0.115 7	4.740 1	2.267 0
150 000 001～170 000 000	MOS	0.079 0	0.158 1	0.342 6	1.027 9	1.056 2	1.980 1	1.199 2	1.087 7	0.668 1	1.359 7	3.400 4	2.112 3	4.878 9	1.584 2	3.104 7	3.168 5	0.118 6	4.858 4	2.323 6
170 000 001～190 000 000	MOS	0.080 8	0.161 5	0.350 2	1.050 5	1.079 4	2.023 6	1.225 5	1.111 6	0.682 8	1.389 5	3.475 1	2.158 7	4.986 1	1.619 1	3.173 0	3.238 1	0.121 2	4.965 1	2.374 6
190 000 001～220 000 000	MOS	0.082 4	0.164 7	0.357 0	1.071 1	1.100 6	2.063 3	1.249 6	1.133 5	0.696 2	1.416 8	3.543 4	2.201 1	5.083 9	1.650 8	3.235 2	3.301 7	0.123 5	5.062 6	2.421 2
220 000 001～275 000 000	MOS	0.096 3	0.192 7	0.414 1	1.242 3	1.252 0	2.328 9	1.449 4	1.307 3	0.807 5	1.634 2	3.934 2	2.504 0	5.644 8	1.878 0	3.592 1	3.756 0	0.144 5	5.759 2	2.754 4
275 000 001～300 000 000	MOS	0.098 4	0.196 7	0.422 9	1.268 6	1.278 5	2.378 1	1.480 0	1.334 9	0.824 6	1.668 7	4.017 4	2.556 9	5.764 0	1.917 7	3.668 0	3.835 4	0.147 6	5.880 9	2.812 6
300 000 001～340 000 000	MOS	0.106 3	0.212 7	0.455 4	1.366 3	1.365 5	2.531 1	1.594 1	1.434 4	0.888 1	1.793 0	4.244 3	2.730 9	6.089 6	2.048 2	3.875 2	4.096 4	0.159 5	6.281 1	3.004 0
340 000 001～380 000 000	MOS	0.108 7	0.217 3	0.465 5	1.396 4	1.395 4	2.586 7	1.629 1	1.465 9	0.907 6	1.832 4	4.337 5	2.790 9	6.223 4	2.093 2	3.960 4	4.186 3	0.163 0	6.419 1	3.070 0
380 000 001～500 000 000	MOS	0.110 8	0.221 6	0.474 6	1.423 8	1.422 8	2.637 5	1.661 1	1.494 7	0.925 4	1.868 3	4.422 7	2.845 7	6.345 6	2.134 3	4.038 1	4.268 5	0.166 2	6.545 1	3.130 2
500 000 001～700 000 000	MOS	0.119 4	0.238 8	0.511 5	1.534 4	1.533 4	2.842 3	1.790 1	1.610 8	0.997 3	2.013 4	4.766 2	3.066 7	6.838 5	2.300 0	4.351 8	4.600 1	0.179 1	7.053 5	3.373 4
700 000 001～900 000 000	MOS	0.125 9	0.251 8	0.539 3	1.618 0	1.616 9	2.997 3	1.887 7	1.698 6	1.051 7	2.123 2	5.026 0	3.233 9	7.211 3	2.425 4	4.589 0	4.850 8	0.188 9	7.438 0	3.557 3
900 000 001～1 100 000 000	MOS	0.131 2	0.262 4	0.562 0	1.686 0	1.684 9	3.123 2	1.967 0	1.770 0	1.095 9	2.212 4	5.237 3	3.369 8	7.514 4	2.527 4	4.781 9	5.054 7	0.196 8	7.750 6	3.706 8
1 100 000 001～1 400 000 000	MOS	0.135 7	0.271 4	0.581 2	1.743 7	1.742 5	3.230 1	2.034 3	1.830 5	1.133 4	2.288 1	5.416 5	3.485 1	7.771 4	2.613 8	4.945 5	5.227 6	0.203 6	8.015 7	3.833 6

表 B.125　单片模拟电路通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	密封	0.002 6	0.004 0	0.008 7	0.021 7	0.040 9	0.072 4	0.024 6	0.029 1	0.015 5	0.036 9	0.137 4	0.074 0	0.212 3	0.052 0	0.149 8	0.103 9	0.003 2	0.149 4	0.064 9
	非密封	0.002 7	0.005 3	0.014 5	0.043 6	0.065 2	0.137 2	0.050 9	0.052 3	0.028 4	0.065 4	0.287 8	0.130 3	0.412 9	0.097 8	0.262 7	0.195 5	0.004 0	0.299 8	0.143 4
21～50	密封	0.003 8	0.005 7	0.012 5	0.031 3	0.058 9	0.104 2	0.035 4	0.041 9	0.022 4	0.053 1	0.197 7	0.106 6	0.305 5	0.074 8	0.215 6	0.149 6	0.004 6	0.215 1	0.093 5
	非密封	0.003 9	0.007 7	0.021 0	0.063 0	0.093 9	0.197 6	0.073 5	0.075 5	0.040 9	0.094 4	0.414 2	0.187 8	0.594 3	0.140 9	0.378 2	0.281 7	0.005 8	0.432 0	0.206 6
51～100	密封	0.005 0	0.007 4	0.016 2	0.040 5	0.076 3	0.134 9	0.045 9	0.054 3	0.029 0	0.068 9	0.255 7	0.138 0	0.395 2	0.096 9	0.278 9	0.193 7	0.005 9	0.278 5	0.121 1
	非密封	0.005 0	0.010 0	0.027 2	0.081 7	0.121 6	0.255 8	0.095 4	0.097 9	0.053 1	0.122 4	0.535 9	0.243 3	0.768 9	0.182 5	0.489 3	0.364 9	0.007 5	0.559 6	0.267 6
101～500	密封	0.009 1	0.013 6	0.029 7	0.074 2	0.139 1	0.245 8	0.084 1	0.099 3	0.053 2	0.125 9	0.465 2	0.251 8	0.718 9	0.176 7	0.507 5	0.353 3	0.010 9	0.507 9	0.220 8
	非密封	0.009 2	0.018 5	0.050 0	0.150 1	0.222 2	0.466 6	0.175 1	0.179 4	0.097 6	0.224 3	0.975 8	0.444 4	1.400 0	0.333 3	0.890 9	0.666 6	0.013 9	1.022 2	0.488 9
501～1 000	密封	0.011 8	0.017 6	0.038 4	0.095 9	0.179 8	0.317 7	0.108 7	0.128 3	0.068 8	0.162 8	0.601 2	0.325 4	0.929 1	0.228 3	0.655 9	0.456 7	0.014 1	0.656 5	0.285 4
	非密封	0.011 9	0.023 9	0.064 7	0.194 0	0.287 2	0.603 1	0.226 3	0.231 9	0.126 1	0.289 9	1.261 1	0.574 4	1.809 5	0.430 8	1.151 5	0.861 6	0.017 9	1.321 1	0.631 8
1 001～2 000	密封	0.015 7	0.023 6	0.050 9	0.127 1	0.235 7	0.415 3	0.144 1	0.169 3	0.091 1	0.214 8	0.782 8	0.426 5	1.209 7	0.299 3	0.853 9	0.598 6	0.018 9	0.860 5	0.374 1
	非密封	0.016 1	0.032 2	0.086 3	0.258 9	0.378 0	0.791 0	0.302 0	0.307 9	0.168 3	0.384 9	1.645 6	0.755 9	2.361 0	0.567 0	1.502 5	1.133 9	0.024 2	1.738 7	0.831 5
2 001～3 000	密封	0.018 5	0.027 8	0.060 0	0.150 0	0.278 0	0.489 9	0.170 0	0.199 7	0.107 5	0.253 4	0.923 3	0.503 1	1.427 0	0.353 0	1.007 3	0.706 1	0.022 3	1.015 0	0.441 3
	非密封	0.019 0	0.038 0	0.101 8	0.305 4	0.445 9	0.933 1	0.356 3	0.363 2	0.198 5	0.454 0	1.941 1	0.891 7	2.785 1	0.668 8	1.772 3	1.337 6	0.028 5	2.050 9	0.980 9
3 001～4 000	密封	0.022 1	0.033 1	0.070 5	0.176 2	0.321 5	0.564 4	0.199 7	0.233 3	0.126 3	0.296 0	1.057 4	0.581 8	1.634 2	0.408 3	1.153 6	0.816 6	0.026 5	1.173 9	0.510 4
	非密封	0.022 9	0.045 8	0.120 8	0.362 4	0.518 7	1.080 2	0.422 8	0.427 8	0.235 5	0.534 8	2.230 1	1.037 4	3.199 7	0.778 1	2.036 2	1.556 2	0.034 3	2.386 1	1.141 2
4 001～5 000	密封	0.024 2	0.036 3	0.077 3	0.193 4	0.352 9	0.619 4	0.219 1	0.256 0	0.138 6	0.324 8	1.160 5	0.638 6	1.793 5	0.448 1	1.266 0	0.896 2	0.029 1	1.288 3	0.560 1
	非密封	0.025 1	0.050 2	0.132 6	0.397 7	0.569 3	1.185 5	0.464 0	0.469 5	0.258 5	0.586 9	2.447 5	1.138 6	3.511 6	0.853 9	2.234 7	1.707 8	0.037 7	2.618 7	1.252 4

表 B.126　密封存储器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
8～64	双极	0.001 2	0.001 9	0.003 3	0.008 2	0.010 5	0.016 4	0.009 3	0.009 7	0.005 9	0.012 3	0.024 8	0.019 0	0.038 3	0.013 3	0.027 0	0.026 7	0.001 5	0.038 4	0.016 7
	MOS	0.001 7	0.002 5	0.005 2	0.013 0	0.023 4	0.041 1	0.014 8	0.017 1	0.009 3	0.021 8	0.077 0	0.042 4	0.119 0	0.029 8	0.084 0	0.059 5	0.002 0	0.085 6	0.037 2

表 B. 126(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
65～320	双极	0.002 1	0.003 2	0.005 5	0.013 8	0.017 8	0.027 7	0.015 7	0.016 3	0.009 9	0.020 7	0.041 8	0.032 1	0.064 6	0.022 6	0.045 6	0.045 1	0.002 5	0.064 9	0.028 2
	MOS	0.002 8	0.004 2	0.008 8	0.022 0	0.039 5	0.069 2	0.024 9	0.028 9	0.015 8	0.036 7	0.129 6	0.071 5	0.200 3	0.050 2	0.141 4	0.100 4	0.003 4	0.144 3	0.062 7
321～576	双极	0.002 5	0.003 8	0.006 6	0.016 4	0.021 1	0.033 0	0.018 6	0.019 4	0.011 8	0.024 6	0.049 7	0.038 2	0.076 9	0.026 8	0.054 2	0.053 7	0.003 0	0.077 1	0.033 5
	MOS	0.003 3	0.005 0	0.010 5	0.026 2	0.047 0	0.082 3	0.029 7	0.034 4	0.018 8	0.043 6	0.154 2	0.085 0	0.238 3	0.059 7	0.168 2	0.119 3	0.004 0	0.171 6	0.074 6
577～1 120	双极	0.003 0	0.004 5	0.007 8	0.019 5	0.025 1	0.039 2	0.022 1	0.023 1	0.014 0	0.029 3	0.059 1	0.045 5	0.091 4	0.031 9	0.064 5	0.063 8	0.003 6	0.091 7	0.039 9
	MOS	0.004 0	0.005 9	0.012 4	0.031 1	0.055 9	0.097 9	0.035 3	0.040 9	0.022 3	0.051 9	0.183 3	0.101 1	0.283 3	0.071 0	0.200 0	0.141 9	0.004 8	0.204 0	0.088 7
1 121～2 240	双极	0.003 6	0.005 4	0.009 3	0.023 4	0.030 0	0.046 9	0.026 5	0.027 6	0.016 7	0.035 0	0.070 6	0.054 3	0.109 1	0.038 1	0.077 0	0.076 3	0.004 3	0.109 6	0.047 7
	MOS	0.004 7	0.007 1	0.014 9	0.037 1	0.066 6	0.116 6	0.042 1	0.048 8	0.026 6	0.061 9	0.218 3	0.120 5	0.337 3	0.084 6	0.238 1	0.169 2	0.005 7	0.243 2	0.105 7
2 241～5 000	双极	0.004 3	0.006 4	0.011 1	0.027 8	0.035 7	0.055 7	0.031 5	0.032 8	0.019 9	0.041 7	0.083 9	0.064 6	0.129 7	0.045 3	0.091 6	0.090 7	0.005 1	0.130 4	0.056 7
	MOS	0.005 6	0.008 4	0.017 7	0.044 2	0.079 2	0.138 7	0.050 1	0.058 0	0.031 7	0.073 6	0.259 6	0.143 3	0.401 2	0.100 6	0.283 2	0.201 2	0.006 8	0.289 2	0.125 7
5 001～11 001	双极	0.005 1	0.007 6	0.013 2	0.033 1	0.042 5	0.066 3	0.037 5	0.039 1	0.023 7	0.049 6	0.099 8	0.076 8	0.154 3	0.053 9	0.108 9	0.107 8	0.006 1	0.155 0	0.067 4
	MOS	0.006 7	0.010 0	0.021 0	0.052 5	0.094 2	0.164 9	0.059 5	0.069 0	0.037 6	0.087 6	0.308 7	0.170 4	0.477 1	0.119 6	0.336 8	0.239 2	0.008 0	0.343 9	0.149 5
11 001～17 000	双极	0.006 1	0.009 1	0.015 9	0.039 8	0.051 0	0.079 5	0.045 1	0.047 0	0.028 5	0.059 6	0.119 6	0.092 3	0.184 8	0.064 7	0.130 4	0.129 5	0.007 3	0.186 1	0.080 9
	MOS	0.008 0	0.012 1	0.025 2	0.062 9	0.112 5	0.196 8	0.071 3	0.082 6	0.045 1	0.104 8	0.367 9	0.203 6	0.568 6	0.142 9	0.401 4	0.285 7	0.009 7	0.410 7	0.178 6
17 001～38 000	双极	0.007 2	0.010 9	0.018 9	0.047 3	0.060 6	0.094 6	0.053 6	0.055 9	0.033 9	0.070 9	0.142 2	0.109 7	0.219 7	0.077 0	0.155 1	0.154 0	0.008 7	0.221 4	0.096 2
	MOS	0.009 6	0.014 3	0.029 9	0.074 8	0.133 8	0.234 0	0.084 8	0.098 2	0.053 6	0.124 6	0.437 6	0.242 1	0.676 2	0.169 9	0.477 3	0.339 8	0.011 5	0.488 4	0.212 4
38 001～74 000	双极	0.008 7	0.013 0	0.022 6	0.056 6	0.072 5	0.113 0	0.064 1	0.066 8	0.040 5	0.084 7	0.169 7	0.131 1	0.262 2	0.092 0	0.185 1	0.184 0	0.010 4	0.264 5	0.115 0
	MOS	0.011 4	0.017 1	0.035 7	0.089 3	0.159 5	0.278 8	0.101 2	0.117 2	0.064 0	0.148 7	0.521 0	0.288 5	0.805 1	0.202 5	0.568 3	0.405 0	0.013 7	0.582 1	0.253 1
74 001～150 000	双极	0.010 4	0.015 7	0.027 2	0.068 1	0.087 0	0.135 5	0.077 1	0.080 3	0.048 8	0.101 9	0.203 2	0.157 4	0.314 1	0.110 5	0.221 7	0.220 9	0.012 5	0.317 6	0.138 1
	MOS	0.013 7	0.020 6	0.042 8	0.107 0	0.190 4	0.332 8	0.121 3	0.140 2	0.076 7	0.177 9	0.621 0	0.344 6	0.959 7	0.241 8	0.677 4	0.483 7	0.016 5	0.695 3	0.302 3
150 001～300 000	双极	0.012 4	0.018 6	0.032 4	0.080 9	0.103 4	0.161 2	0.091 7	0.095 5	0.058 0	0.121 2	0.241 7	0.187 2	0.373 5	0.131 4	0.263 7	0.262 7	0.014 9	0.377 7	0.164 2
	MOS	0.016 3	0.024 5	0.050 9	0.127 3	0.226 5	0.395 7	0.144 2	0.166 8	0.091 2	0.211 6	0.738 5	0.409 8	1.141 3	0.287 6	0.805 6	0.575 2	0.019 6	0.826 8	0.359 5
300 001～600 000	双极	0.015 3	0.023 0	0.039 8	0.099 6	0.126 5	0.196 7	0.112 9	0.117 3	0.071 4	0.148 9	0.293 6	0.229 0	0.453 7	0.160 7	0.320 3	0.321 4	0.018 4	0.462 0	0.200 9
	MOS	0.020 0	0.030 0	0.061 9	0.154 7	0.272 9	0.475 6	0.175 3	0.202 1	0.110 9	0.256 4	0.884 4	0.493 7	1.366 7	0.346 5	0.964 7	0.693 0	0.024 0	0.996 2	0.433 1

表 B.126(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
600 001～1 200 000	双极	0.018 2	0.027 3	0.047 4	0.118 5	0.150 5	0.233 9	0.134 3	0.139 5	0.084 9	0.177 0	0.349 1	0.272 3	0.539 5	0.191 1	0.380 9	0.382 2	0.021 9	0.549 4	0.238 9
	MOS	0.023 7	0.035 6	0.073 6	0.184 0	0.324 5	0.565 6	0.208 5	0.240 3	0.131 8	0.304 9	1.051 7	0.587 2	1.625 3	0.412 0	1.147 3	0.824 1	0.028 5	1.184 6	0.515 1
1 200 001～2 400 000	MOS	0.028 8	0.043 2	0.088 8	0.222 0	0.389 2	0.677 4	0.251 5	0.289 4	0.159 1	0.367 1	1.256 5	0.704 3	1.941 9	0.494 3	1.370 7	0.988 5	0.034 5	1.421 0	0.617 8
2 400 001～4 800 000	MOS	0.034 2	0.051 3	0.105 6	0.263 9	0.462 9	0.805 6	0.299 1	0.344 1	0.189 2	0.436 6	1.494 2	0.837 6	2.309 3	0.587 8	1.630 1	1.175 5	0.041 1	1.689 8	0.734 7
4 800 001～9 600 000	MOS	0.040 7	0.061 0	0.125 6	0.313 9	0.550 4	0.958 0	0.355 7	0.409 2	0.225 0	0.519 2	1.777 0	0.996 0	2.746 2	0.699 0	1.938 5	1.398 0	0.048 8	2.009 6	0.873 7
9 600 001～19 200 000	MOS	0.048 4	0.072 6	0.149 3	0.373 3	0.654 6	1.139 3	0.423 1	0.486 6	0.267 5	0.617 4	2.113 2	1.184 5	3.265 8	0.831 2	2.305 3	1.662 5	0.058 1	2.389 8	1.039 0
19 200 001～38 400 000	MOS	0.057 5	0.086 3	0.177 6	0.443 9	0.778 5	1.354 9	0.503 1	0.578 7	0.318 1	0.734 2	2.513 0	1.408 6	3.883 7	0.988 5	2.741 5	1.977 0	0.069 0	2.842 0	1.235 6
38 400 001～76 800 000	MOS	0.068 4	0.102 6	0.211 2	0.527 9	0.925 7	1.611 2	0.598 3	0.688 2	0.378 3	0.873 1	2.988 5	1.675 1	4.618 6	1.175 5	3.260 2	2.351 1	0.082 1	3.379 7	1.469 4
76 800 001～153 600 000	MOS	0.081 4	0.122 1	0.251 1	0.627 8	1.100 9	1.916 0	0.711 5	0.818 4	0.449 9	1.038 3	3.553 9	1.992 1	5.492 4	1.398 0	3.877 0	2.795 9	0.097 6	4.019 1	1.747 5
153 600 001～307 200 000	MOS	0.096 8	0.145 2	0.298 6	0.746 6	1.309 2	2.278 6	0.846 1	0.973 3	0.535 0	1.234 8	4.226 3	2.369 0	6.531 6	1.662 5	4.610 6	3.324 9	0.116 1	4.779 6	2.078 1
307 200 001～614 400 000	MOS	0.115 1	0.172 6	0.355 1	0.887 8	1.556 9	2.709 7	1.006 2	1.157 4	0.636 3	1.468 4	5.026 0	2.817 3	7.767 5	1.977 0	5.482 9	3.954 0	0.138 1	5.683 9	2.471 3
614 400 001～1 228 800 000	MOS	0.136 9	0.205 3	0.422 3	1.055 8	1.851 5	3.222 4	1.196 6	1.376 4	0.756 7	1.746 2	5.977 0	3.350 3	9.237 1	2.351 1	6.520 3	4.702 2	0.164 2	6.759 4	2.938 9

表 B.127　非密封存储器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
8～64	双极	0.001 3	0.002 5	0.005 5	0.016 5	0.016 9	0.031 3	0.019 3	0.017 5	0.010 7	0.021 9	0.052 2	0.033 7	0.074 9	0.025 3	0.047 6	0.050 6	0.001 9	0.077 5	0.037 1
	MOS	0.001 7	0.003 3	0.008 8	0.026 3	0.037 4	0.077 9	0.030 6	0.030 9	0.017 1	0.038 6	0.161 4	0.074 8	0.231 5	0.056 1	0.147 3	0.112 1	0.002 5	0.172 0	0.082 2
65～320	双极	0.002 1	0.004 3	0.009 3	0.028 0	0.028 5	0.053 0	0.032 7	0.029 6	0.018 2	0.037 0	0.088 2	0.057 0	0.126 5	0.042 8	0.080 5	0.085 6	0.003 2	0.131 2	0.062 8
	MOS	0.002 8	0.005 7	0.014 8	0.044 4	0.063 0	0.131 3	0.051 8	0.052 2	0.028 9	0.065 3	0.271 8	0.126 1	0.390 0	0.094 6	0.248 2	0.189 1	0.004 3	0.290 0	0.138 7
321～576	双极	0.002 5	0.005 1	0.011 1	0.033 3	0.033 9	0.063 0	0.038 9	0.035 2	0.021 7	0.044 1	0.104 9	0.067 8	0.150 4	0.050 9	0.095 7	0.101 8	0.003 8	0.156 0	0.074 6
	MOS	0.003 4	0.006 7	0.017 6	0.052 8	0.075 0	0.156 1	0.061 6	0.062 1	0.034 3	0.077 6	0.323 2	0.150 0	0.463 8	0.112 5	0.295 1	0.224 9	0.005 1	0.344 9	0.164 9

表 B.127(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
577～1 120	双极	0.003 0	0.006 1	0.013 2	0.039 6	0.040 3	0.074 9	0.046 2	0.041 9	0.025 8	0.052 4	0.124 7	0.080 7	0.178 9	0.060 5	0.113 9	0.121 0	0.004 5	0.185 6	0.088 7
	MOS	0.004 0	0.008 0	0.020 9	0.062 8	0.089 2	0.185 7	0.073 2	0.073 8	0.040 8	0.092 3	0.384 4	0.178 3	0.551 5	0.133 7	0.351 0	0.267 5	0.006 0	0.410 1	0.196 2
1 121～2 240	双极	0.003 6	0.007 3	0.015 8	0.047 5	0.048 3	0.089 6	0.055 4	0.050 2	0.030 9	0.062 8	0.149 0	0.096 5	0.213 8	0.072 4	0.136 0	0.144 8	0.005 5	0.222 0	0.106 2
	MOS	0.004 8	0.009 6	0.025 0	0.075 0	0.106 3	0.221 3	0.087 5	0.088 2	0.048 8	0.110 2	0.457 8	0.212 7	0.656 8	0.159 5	0.418 0	0.319 0	0.007 2	0.489 1	0.233 9
2 241～5 000	双极	0.004 3	0.008 6	0.018 8	0.056 5	0.057 4	0.106 5	0.065 9	0.059 7	0.036 7	0.074 6	0.177 2	0.114 8	0.254 2	0.086 1	0.161 8	0.172 2	0.006 5	0.264 0	0.126 3
	MOS	0.005 7	0.011 4	0.029 7	0.089 2	0.126 4	0.263 2	0.104 1	0.104 8	0.058 0	0.131 0	0.544 4	0.252 9	0.781 1	0.189 7	0.497 1	0.379 3	0.008 6	0.581 7	0.278 2
5 001～11 001	双极	0.005 1	0.010 3	0.022 4	0.067 1	0.068 3	0.126 7	0.078 3	0.071 0	0.043 6	0.088 8	0.210 7	0.136 5	0.302 3	0.102 4	0.192 4	0.204 8	0.007 7	0.314 0	0.150 2
	MOS	0.006 8	0.013 6	0.035 4	0.106 1	0.150 4	0.313 0	0.123 8	0.124 7	0.069 0	0.155 8	0.647 4	0.300 7	0.928 9	0.225 6	0.591 1	0.451 1	0.010 2	0.691 7	0.330 8
11 001～17 000	双极	0.006 2	0.012 4	0.027 0	0.081 1	0.082 2	0.152 4	0.094 6	0.085 6	0.052 7	0.107 1	0.252 9	0.164 4	0.362 8	0.123 3	0.230 9	0.246 6	0.009 3	0.378 1	0.180 8
	MOS	0.008 2	0.016 3	0.042 5	0.127 4	0.179 8	0.373 9	0.148 6	0.149 5	0.082 8	0.186 8	0.772 2	0.359 7	1.108 0	0.269 8	0.705 1	0.539 5	0.012 3	0.827 2	0.395 6
17 001～38 000	双极	0.007 4	0.014 8	0.032 1	0.096 4	0.097 7	0.181 2	0.112 5	0.101 9	0.062 7	0.127 3	0.300 7	0.195 5	0.431 5	0.146 6	0.274 6	0.293 2	0.011 1	0.449 6	0.215 0
	MOS	0.009 7	0.019 4	0.050 5	0.151 5	0.213 9	0.444 6	0.176 7	0.177 7	0.098 4	0.222 2	0.918 4	0.427 7	1.317 6	0.320 8	0.838 5	0.641 6	0.014 6	0.983 8	0.470 5
38 001～74 000	双极	0.008 9	0.017 7	0.038 5	0.115 5	0.116 9	0.216 7	0.134 7	0.122 0	0.075 1	0.152 5	0.359 3	0.233 9	0.515 5	0.175 4	0.328 0	0.350 8	0.013 3	0.538 0	0.257 3
	MOS	0.011 6	0.023 2	0.060 3	0.181 0	0.255 0	0.530 0	0.211 1	0.212 2	0.117 6	0.265 3	1.093 8	0.510 1	1.569 3	0.382 6	0.998 6	0.765 1	0.017 4	1.173 2	0.561 1
74 001～150 000	双极	0.010 7	0.021 4	0.046 5	0.139 4	0.140 8	0.260 6	0.162 6	0.147 1	0.090 6	0.183 9	0.431 2	0.281 6	0.618 6	0.211 2	0.393 7	0.422 3	0.016 1	0.647 6	0.309 7
	MOS	0.014 0	0.028 0	0.072 4	0.217 3	0.305 0	0.633 2	0.253 5	0.254 4	0.141 2	0.318 1	1.304 6	0.610 0	1.871 9	0.457 5	1.191 2	0.915 0	0.021 0	1.403 0	0.671 0
150 001～300 000	双极	0.012 7	0.025 5	0.055 3	0.165 8	0.167 4	0.309 9	0.193 4	0.174 9	0.107 7	0.218 7	0.512 7	0.334 8	0.735 7	0.251 1	0.468 2	0.502 2	0.019 1	0.770 1	0.368 3
	MOS	0.016 6	0.033 3	0.086 1	0.258 4	0.362 7	0.752 9	0.301 4	0.302 6	0.167 9	0.378 2	1.551 5	0.725 4	2.226 0	0.544 1	1.416 6	1.088 1	0.025 0	1.668 5	0.798 0
300 001～600 000	双极	0.015 9	0.031 7	0.068 6	0.205 8	0.206 4	0.380 9	0.240 2	0.216 8	0.133 8	0.271 0	0.626 5	0.412 7	0.898 9	0.309 6	0.572 0	0.619 1	0.023 8	0.949 3	0.454 0
	MOS	0.020 5	0.041 0	0.105 3	0.316 0	0.438 6	0.907 8	0.368 7	0.368 6	0.205 4	0.460 7	1.861 8	0.877 2	2.671 2	0.657 9	1.699 9	1.315 9	0.030 8	2.017 6	0.965 0
600 001～120 000	双极	0.018 9	0.037 8	0.081 6	0.244 8	0.245 4	0.453 0	0.285 6	0.257 8	0.159 1	0.322 2	0.745 0	0.490 8	1.069 0	0.368 1	0.680 3	0.736 3	0.028 3	1.128 9	0.539 9
	MOS	0.024 4	0.048 8	0.125 3	0.375 8	0.521 6	1.079 5	0.438 4	0.438 3	0.244 3	0.547 9	2.214 0	1.043 2	3.176 6	0.782 4	2.021 5	1.564 8	0.036 6	2.399 4	1.147 5
1 200 001～2 400 000	MOS	0.029 7	0.059 4	0.151 7	0.455 2	0.627 2	1.295 5	0.531 0	0.529 5	0.295 9	0.661 9	2.648 8	1.254 4	3.800 5	0.940 8	2.418 5	1.881 6	0.044 6	2.885 1	1.379 8
2 400 001～4 800 000	MOS	0.035 3	0.070 7	0.180 4	0.541 3	0.745 9	1.540 7	0.631 5	0.629 7	0.351 8	0.787 1	3.150 0	1.491 7	4.519 5	1.118 8	2.876 1	2.237 6	0.053 0	3.431 0	1.640 9
4 800 001～9 600 000	MOS	0.042 0	0.084 0	0.214 6	0.643 7	0.887 0	1.832 2	0.751 0	0.748 8	0.418 4	0.936 1	3.746 0	1.774 0	5.374 7	1.330 5	3.420 2	2.661 0	0.063 0	4.080 2	1.951 4

表 B.127（续）

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
9 600 001～19 200 000	MOS	0.050 0	0.099 9	0.255 2	0.765 5	1.054 8	2.178 8	0.893 1	0.890 5	0.497 6	1.113 2	4.454 7	2.109 6	6.391 6	1.582 2	4.067 4	3.164 5	0.074 9	4.852 2	2.320 6
19 200 001～38 400 000	MOS	0.059 4	0.118 8	0.303 4	0.910 3	1.254 4	2.591 1	1.062 0	1.059 0	0.591 7	1.323 8	5.297 6	2.508 8	7.600 9	1.881 6	4.836 9	3.763 2	0.089 1	5.770 2	2.759 7
38 400 001～76 800 000	MOS	0.070 7	0.141 3	0.360 9	1.082 6	1.491 7	3.081 3	1.263 0	1.259 4	0.703 7	1.574 2	6.300 0	2.983 5	9.039 1	2.237 6	5.752 1	4.475 2	0.106 0	6.862 0	3.281 8
76 800 001～153 600 000	MOS	0.084 0	0.168 1	0.429 1	1.287 4	1.774 0	3.664 3	1.502 0	1.497 7	0.836 8	1.872 1	7.492 0	3.548 0	10.749 3	2.661 0	6.840 5	5.322 0	0.126 0	8.160 3	3.902 8
153 600 001～307 200 000	MOS	0.099 9	0.199 8	0.510 3	1.531 0	2.109 6	4.357 6	1.786 1	1.781 1	0.995 1	2.226 3	8.909 5	4.219 3	12.783 2	3.164 5	8.134 7	6.328 9	0.149 9	9.704 3	4.641 2
307 200 001～614 400 000	MOS	0.118 8	0.237 7	0.606 9	1.820 7	2.508 8	5.182 1	2.124 1	2.118 0	1.183 4	2.647 6	10.595 2	5.017 6	15.201 8	3.763 2	9.673 9	7.526 4	0.178 2	11.540 5	5.519 4
614 400 001～1 228 800 000	MOS	0.141 3	0.282 6	0.721 7	2.165 1	2.983 5	6.162 6	2.526 0	2.518 8	1.407 3	3.148 5	12.599 9	5.967 0	18.078 1	4.475 2	11.504 3	8.950 4	0.212 0	13.724 0	6.563 7

表 B.128　微波单片集成电路通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
GaAs MMIC (MESFET)	密封	0.001 4	0.002 1	0.004 2	0.010 4	0.018 4	0.032 7	0.011 8	0.013 5	0.007 5	0.017 1	0.064 8	0.033 3	0.100 1	0.023 3	0.070 7	0.046 7	0.001 7	0.067 1	0.029 2
	非密封	0.001 5	0.003 1	0.007 6	0.022 7	0.031 7	0.067 1	0.026 5	0.026 2	0.014 7	0.032 8	0.147 0	0.063 4	0.210 9	0.047 6	0.134 2	0.095 1	0.002 3	0.145 9	0.069 8
GaAs MMIC (HBT)	密封	0.001 9	0.002 8	0.005 5	0.013 9	0.024 5	0.043 6	0.015 7	0.017 9	0.009 9	0.022 8	0.086 4	0.044 3	0.133 5	0.031 1	0.094 2	0.062 2	0.002 2	0.089 5	0.038 9
	非密封	0.002 0	0.004 0	0.009 9	0.029 6	0.041 5	0.087 7	0.034 6	0.034 3	0.019 3	0.042 9	0.192 2	0.082 9	0.275 8	0.062 2	0.175 5	0.124 4	0.003 0	0.190 8	0.091 2
GaAs MMIC (pHEMT)	密封	0.005 5	0.008 2	0.016 3	0.040 8	0.072 0	0.128 1	0.046 2	0.052 7	0.029 2	0.066 9	0.253 7	0.130 3	0.392 1	0.091 4	0.276 8	0.182 8	0.006 6	0.262 8	0.114 3
	非密封	0.005 6	0.011 3	0.027 9	0.083 7	0.117 1	0.247 8	0.097 7	0.096 9	0.054 4	0.121 1	0.542 7	0.234 2	0.778 7	0.175 6	0.495 5	0.351 3	0.008 5	0.538 7	0.257 6
GaN MMIC (HEMT)	密封	0.005 8	0.008 8	0.017 3	0.043 4	0.076 6	0.136 3	0.049 1	0.056 1	0.031 1	0.071 2	0.269 9	0.138 6	0.417 1	0.097 3	0.294 4	0.194 5	0.007 0	0.279 6	0.121 6
	非密封	0.006 5	0.012 9	0.032 0	0.095 9	0.134 2	0.283 9	0.111 9	0.111 1	0.062 3	0.138 8	0.621 8	0.268 4	0.892 2	0.201 3	0.567 8	0.402 5	0.009 7	0.617 2	0.295 2

表 B.129 声表面波器件通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
声表面波器件	0.009	0.013 5	0.018	0.045	0.054	0.108	0.072	0.045	0.040 5	0.081	0.144	0.135	0.18	0.09	0.117	0.162	0.010 8	0.288	0.126

表 B.130 半导体分立器件通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
普通二极管	整流	0.000 9	0.001 1	0.002 4	0.007 1	0.014 9	0.036 5	0.010 7	0.008 0	0.004 3	0.010 7	0.068 6	0.035 2	0.098 0	0.019 0	0.053 9	0.040 7	0.001 1	0.075 9	0.040 7
	开关	0.001 0	0.001 2	0.002 8	0.008 1	0.017 0	0.041 7	0.012 2	0.009 1	0.004 9	0.012 2	0.078 4	0.040 3	0.112 0	0.021 7	0.061 6	0.046 5	0.001 2	0.086 8	0.046 5
	检波	0.000 9	0.001 1	0.002 5	0.007 3	0.015 3	0.037 6	0.011 0	0.008 2	0.004 4	0.011 0	0.070 5	0.036 3	0.100 8	0.019 5	0.055 4	0.041 8	0.001 1	0.078 1	0.041 8
	瞬态抑制	0.001 1	0.001 4	0.003 1	0.009 1	0.019 2	0.047 0	0.013 7	0.010 3	0.005 5	0.013 7	0.088 2	0.045 3	0.126 0	0.024 4	0.069 3	0.052 3	0.001 4	0.097 6	0.052 3
电压调整、电流调整、电压基准二极管		0.002 4	0.002 9	0.005 6	0.016 5	0.028 5	0.065 8	0.024 7	0.017 3	0.009 9	0.023 1	0.110 3	0.067 4	0.157 6	0.036 3	0.086 7	0.077 7	0.002 9	0.145 1	0.077 7
微波二极管	微波硅检波	0.011 7	0.014 0	0.026 6	0.078 2	0.129 3	0.294 4	0.117 3	0.080 9	0.046 9	0.107 9	0.482 0	0.305 7	0.688 5	0.164 6	0.378 7	0.352 7	0.014 0	0.658 4	0.352 7
	微波硅混频	0.014 0	0.016 8	0.031 9	0.093 8	0.155 2	0.353 3	0.140 7	0.097 1	0.056 3	0.129 4	0.578 4	0.366 8	0.826 2	0.197 5	0.454 4	0.423 3	0.016 8	0.790 1	0.423 3
	变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩	0.010 2	0.012 2	0.024 9	0.073 3	0.133 9	0.314 2	0.110 0	0.078 5	0.044 0	0.104 7	0.544 2	0.316 5	0.777 5	0.170 4	0.427 6	0.365 2	0.012 2	0.681 7	0.365 2
双极型晶体管	功率	0.001 1	0.001 3	0.002 9	0.009 4	0.014 6	0.037 3	0.012 0	0.008 5	0.004 8	0.013 3	0.059 3	0.034 4	0.084 7	0.019 9	0.050 8	0.045 0	0.001 3	0.084 7	0.039 7
	开关	0.001 3	0.001 6	0.003 5	0.011 4	0.017 6	0.045 1	0.014 5	0.010 3	0.005 8	0.016 1	0.071 7	0.041 6	0.102 4	0.024 0	0.061 5	0.054 4	0.001 6	0.102 4	0.048 0
	达林顿	0.002 1	0.002 5	0.005 4	0.017 6	0.027 2	0.069 7	0.022 4	0.016 0	0.009 0	0.024 8	0.110 8	0.064 3	0.158 3	0.037 1	0.095 0	0.084 1	0.002 5	0.158 3	0.074 2
硅场效应晶体管		0.005 5	0.006 6	0.014 1	0.046 4	0.071 7	0.183 6	0.058 9	0.042 1	0.023 6	0.065 4	0.291 5	0.169 6	0.416 5	0.097 8	0.249 9	0.221 7	0.006 6	0.417 4	0.195 6
微波晶体管		0.022 1	0.026 5	0.065 3	0.214 1	0.398 1	1.079 4	0.272 2	0.207 0	0.108 9	0.321 9	1.913 3	0.940 9	2.733 2	0.542 9	1.639 9	1.230 5	0.026 5	2.316 2	1.085 7
单结晶体管		0.006 2	0.007 4	0.017 0	0.055 8	0.094 4	0.248 6	0.070 9	0.052 2	0.028 4	0.081 2	0.416 5	0.223 1	0.595 1	0.128 7	0.357 0	0.291 8	0.007 4	0.549 2	0.257 4
闸流晶体管		0.015 1	0.018 1	0.043 1	0.141 3	0.251 9	0.674 8	0.179 7	0.134 6	0.071 9	0.209 3	1.170 3	0.595 4	1.671 8	0.343 5	1.003 1	0.778 6	0.018 1	1.465 6	0.687 0

表 B.131　光电子器件通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
发光二极管		0.000 08	0.000 09	0.000 24	0.000 40	0.000 68	0.002 25	0.000 54	0.000 63	0.000 30	0.000 86	0.003 92	0.001 46	0.003 83	0.001 04	0.002 87	0.003 13	0.000 08	0.004 18	0.002 35
红外发光二极管		0.000 8	0.000 9	0.002 3	0.003 9	0.006 5	0.021 5	0.005 1	0.006 0	0.002 8	0.008 2	0.037 4	0.014 0	0.036 5	0.010 0	0.027 4	0.029 9	0.000 8	0.039 9	0.022 4
光敏二极管		0.001 7	0.001 8	0.004 8	0.008 1	0.013 6	0.045 0	0.010 8	0.012 5	0.005 9	0.017 3	0.078 4	0.029 3	0.076 5	0.020 9	0.057 4	0.062 7	0.001 7	0.083 6	0.047 0
激光二极管		0.002 2	0.002 4	0.006 3	0.010 6	0.017 8	0.058 9	0.014 1	0.016 4	0.007 7	0.022 6	0.102 5	0.038 3	0.100 0	0.027 3	0.075 0	0.082 0	0.002 2	0.109 3	0.061 5
光电晶体管		0.005 9	0.006 5	0.017 2	0.028 6	0.048 1	0.159 3	0.038 1	0.044 3	0.021 0	0.061 0	0.277 5	0.103 5	0.270 7	0.074 0	0.203 0	0.221 9	0.005 9	0.295 8	0.166 4
简单式光电耦合器		0.003 3	0.003 7	0.009 7	0.016 2	0.027 2	0.090 0	0.021 6	0.025 0	0.011 9	0.034 5	0.156 8	0.058 5	0.153 0	0.041 8	0.114 8	0.125 4	0.003 3	0.167 2	0.094 0
复合式光电耦合器		0.010 3	0.011 3	0.029 8	0.049 7	0.083 6	0.277 0	0.066 3	0.077 0	0.036 5	0.106 2	0.482 6	0.180 1	0.470 8	0.128 6	0.353 1	0.385 8	0.010 3	0.514 4	0.289 4
单位数码管		0.000 27	0.000 30	0.000 78	0.001 31	0.002 19	0.007 27	0.001 74	0.002 02	0.000 96	0.002 79	0.012 67	0.004 73	0.012 36	0.003 38	0.009 27	0.010 13	0.000 27	0.013 50	0.007 60
双位数码管		0.000 50	0.000 55	0.001 45	0.002 42	0.004 08	0.013 50	0.003 23	0.003 76	0.001 78	0.005 18	0.023 53	0.008 78	0.022 95	0.006 27	0.017 21	0.018 81	0.000 50	0.025 08	0.014 11
三位数码管		0.000 60	0.000 66	0.001 75	0.002 92	0.004 91	0.016 27	0.003 90	0.004 53	0.002 14	0.006 24	0.028 35	0.010 58	0.027 66	0.007 56	0.020 75	0.022 67	0.000 60	0.030 22	0.017 00
四位数码管		0.000 71	0.000 78	0.002 05	0.003 42	0.005 75	0.019 04	0.004 56	0.005 30	0.002 51	0.007 30	0.033 18	0.012 38	0.032 37	0.008 84	0.024 28	0.026 53	0.000 71	0.035 37	0.019 89
五位数码管		0.000 81	0.000 89	0.002 35	0.003 92	0.006 58	0.021 81	0.005 22	0.006 07	0.002 87	0.008 36	0.038 00	0.014 18	0.037 08	0.010 13	0.027 81	0.030 38	0.000 81	0.040 51	0.022 79
六位数码管		0.000 91	0.001 00	0.002 65	0.004 41	0.007 42	0.024 58	0.005 89	0.006 84	0.003 24	0.009 42	0.042 83	0.015 98	0.041 78	0.011 41	0.031 34	0.034 24	0.000 91	0.045 66	0.025 68
七位数码管		0.001 01	0.001 12	0.002 95	0.004 91	0.008 26	0.027 35	0.006 55	0.007 61	0.003 60	0.010 48	0.047 65	0.017 78	0.046 49	0.012 70	0.034 87	0.038 10	0.001 01	0.050 80	0.028 58
八位数码管		0.001 12	0.001 23	0.003 25	0.005 41	0.009 09	0.030 12	0.007 21	0.008 38	0.003 97	0.011 55	0.052 48	0.019 58	0.051 20	0.013 99	0.038 40	0.041 96	0.001 12	0.055 95	0.031 47
九位数码管		0.001 22	0.001 34	0.003 54	0.005 91	0.009 93	0.032 89	0.007 87	0.009 15	0.004 33	0.012 61	0.057 31	0.021 38	0.055 91	0.015 27	0.041 93	0.045 82	0.001 22	0.061 09	0.034 36
十位数码管		0.001 32	0.001 46	0.003 84	0.006 40	0.010 76	0.035 66	0.008 54	0.009 92	0.004 70	0.013 67	0.062 13	0.023 18	0.060 62	0.016 56	0.045 46	0.049 68	0.001 32	0.066 23	0.037 26
光电二极管探测器	单隔离	0.002 1	0.002 3	0.006 0	0.009 9	0.016 7	0.055 4	0.013 3	0.015 4	0.007 3	0.021 2	0.096 5	0.036 0	0.094 2	0.025 7	0.070 6	0.077 2	0.002 1	0.102 9	0.057 9
	双隔离	0.003 9	0.004 2	0.011 2	0.018 6	0.031 3	0.103 9	0.024 9	0.028 9	0.013 7	0.039 8	0.181 0	0.067 5	0.176 6	0.048 2	0.132 4	0.144 7	0.003 9	0.192 9	0.108 5
光电晶体管探测器	单隔离	0.000 8	0.000 8	0.002 2	0.003 7	0.006 3	0.020 8	0.005 0	0.005 8	0.002 7	0.008 0	0.036 2	0.013 5	0.035 3	0.009 6	0.026 5	0.028 9	0.000 8	0.038 6	0.021 7
	双隔离	0.001 2	0.001 3	0.003 4	0.005 6	0.009 4	0.031 2	0.007 5	0.008 7	0.004 1	0.011 9	0.054 3	0.020 3	0.053 0	0.014 5	0.039 7	0.043 4	0.001 2	0.057 9	0.032 6

表 B.132　真空电子器件通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
磁控管			1.13	1.47	2.27	5.67	6.80	13.60	10.20	7.94	2.83	9.07	19.27	18.14	24.94	9.07	13.60	40.81	1.13	68.02	28.34
行波管			0.89	1.16	1.78	4.45	5.34	10.67	8.00	6.23	2.22	7.12	15.12	14.23	19.57	7.12	10.67	32.02	0.89	53.37	22.24
空间电荷控制电子管	发射管	超短波	0.07	0.10	0.15	0.37	0.45	0.90	0.67	0.52	0.19	0.60	1.27	1.20	1.65	0.60	0.90	2.70	0.07	4.50	1.87
		脉冲	0.11	0.15	0.23	0.57	0.68	1.36	1.02	0.79	0.28	0.91	1.93	1.81	2.49	0.91	1.36	4.08	0.11	6.80	2.83
		分米波	0.13	0.17	0.26	0.65	0.78	1.57	1.18	0.92	0.33	1.05	2.22	2.09	2.88	1.05	1.57	4.71	0.13	7.85	3.27
		厘米波	0.15	0.19	0.30	0.74	0.89	1.78	1.33	1.04	0.37	1.19	2.52	2.37	3.26	1.19	1.78	5.34	0.15	8.89	3.71
	调制管	连续波	0.09	0.11	0.17	0.43	0.52	1.04	0.78	0.60	0.22	0.69	1.47	1.38	1.90	0.69	1.04	3.11	0.09	5.18	2.16
		脉冲	0.10	0.14	0.21	0.52	0.63	1.26	0.94	0.73	0.26	0.84	1.78	1.67	2.30	0.84	1.26	3.77	0.10	6.28	2.62
	整流管		0.19	0.25	0.38	0.96	1.15	2.30	1.73	1.34	0.48	1.53	3.26	3.07	4.22	1.53	2.30	6.91	0.19	11.51	4.80
阴极射线管(真空显示器件)	黑白显像管		0.14	0.18	0.28	0.70	0.84	1.67	1.26	0.98	0.35	1.12	2.37	2.23	3.07	1.12	1.67	5.02	0.14	8.37	3.49
	彩色显像管		0.18	0.24	0.37	0.92	1.10	2.20	1.65	1.28	0.46	1.46	3.11	2.93	4.03	1.46	2.20	6.59	0.18	10.99	4.58
	示波管		0.93	1.21	1.87	4.67	5.60	11.20	8.40	6.53	2.33	7.46	15.86	14.93	20.53	7.46	11.20	33.59	0.93	55.98	23.33
	指示管		0.65	0.85	1.31	3.27	3.92	7.85	5.89	4.58	1.64	5.23	11.12	10.46	14.39	5.23	7.85	23.54	0.65	39.24	16.35
	摄像管		1.74	2.26	3.47	8.68	10.41	20.82	15.62	12.15	4.34	13.88	29.50	27.76	38.18	13.88	20.82	62.47	1.74	104.12	43.38
真空离子器件	闸流管		0.55	0.71	1.10	2.75	3.30	6.59	4.94	3.85	1.37	4.39	9.34	8.79	12.09	4.39	6.59	19.78	0.55	32.96	13.73
	触发管		0.30	0.39	0.59	1.48	1.78	3.56	2.67	2.08	0.74	2.37	5.04	4.74	6.52	2.37	3.56	10.67	0.30	17.79	7.41
	放电管	谐振	0.009	0.011	0.017	0.044	0.052	0.105	0.078	0.061	0.022	0.070	0.148	0.140	0.192	0.070	0.105	0.314	0.009	0.523	0.218
		非谐振	0.006	0.008	0.012	0.031	0.037	0.073	0.055	0.043	0.015	0.049	0.104	0.098	0.134	0.049	0.073	0.220	0.006	0.366	0.153
	计数管		0.72	0.94	1.45	3.62	4.34	8.69	6.51	5.07	1.81	5.79	12.30	11.58	15.92	5.79	8.69	26.06	0.72	43.43	18.09
	稳压管		0.06	0.08	0.12	0.30	0.36	0.71	0.53	0.42	0.15	0.47	1.01	0.95	1.30	0.47	0.71	2.13	0.06	3.56	1.48
真空光电子器件	光电管		0.42	0.54	0.84	2.09	2.51	5.02	3.77	2.93	1.05	3.35	7.12	6.70	9.21	3.35	5.02	15.07	0.42	25.11	10.46
	光电倍增管		1.26	1.64	2.53	6.32	7.59	15.17	11.38	8.85	3.16	10.12	21.49	20.23	27.82	10.12	15.17	45.52	1.26	75.86	31.61
	像增强管		0.42	0.54	0.84	2.09	2.51	5.02	3.77	2.93	1.05	3.35	7.12	6.70	9.21	3.35	5.02	15.07	0.42	25.11	10.46

表 B.132（续）

单位为 10^{-6}/h

种类			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
微波电子管	连续波速调管		0.89	1.16	1.78	4.45	5.34	10.67	8.00	6.23	2.22	7.12	15.12	14.23	19.57	7.12	10.67	32.02	0.89	53.37	22.24
	脉冲速调管		1.07	1.39	2.15	5.36	6.44	12.87	9.65	7.51	2.68	8.58	18.23	17.16	23.60	8.58	12.87	38.61	1.07	64.35	26.81
	小功率速调管（本机振荡用）		0.73	0.95	1.46	3.66	4.39	8.79	6.59	5.13	1.83	5.86	12.45	11.72	16.11	5.86	8.79	26.37	0.73	43.95	18.31
	充气微波开关管	有源管	0.35	0.45	0.70	1.74	2.09	4.19	3.14	2.44	0.87	2.79	5.93	5.58	7.67	2.79	4.19	12.56	0.35	20.93	8.72
		无源管	0.20	0.26	0.40	1.00	1.20	2.41	1.81	1.40	0.50	1.60	3.41	3.21	4.41	1.60	2.41	7.22	0.20	12.03	5.01
	返波管	连续	1.77	2.30	3.54	8.85	10.62	21.24	15.93	12.39	4.43	14.16	30.09	28.32	38.94	14.16	21.24	63.73	1.77	106.21	44.25
		脉冲	2.16	2.81	4.33	10.81	12.98	25.95	19.46	15.14	5.41	17.30	36.76	34.60	47.58	17.30	25.95	77.85	2.16	129.75	54.06
	正交场放大管		1.20	1.56	2.41	6.02	7.22	14.44	10.83	8.42	3.01	9.63	20.46	19.25	26.47	9.63	14.44	43.32	1.20	72.20	30.08

表 B.133　电阻器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
膜电阻器	金属膜	0.000 10	0.000 11	0.000 18	0.000 35	0.000 40	0.000 60	0.000 56	0.000 38	0.000 25	0.000 45	0.001 00	0.000 50	0.001 10	0.000 25	0.000 61	0.001 25	0.000 05	0.002 60	0.001 50
	碳膜	0.000 48	0.000 53	0.000 86	0.001 68	0.001 92	0.002 88	0.002 69	0.001 82	0.001 20	0.002 16	0.004 80	0.002 40	0.005 28	0.001 20	0.002 93	0.006 00	0.000 24	0.012 48	0.007 20
	玻璃釉	0.000 21	0.000 23	0.000 38	0.000 74	0.000 84	0.001 26	0.001 18	0.000 80	0.000 53	0.000 95	0.002 10	0.001 05	0.002 31	0.000 53	0.001 28	0.002 63	0.000 11	0.005 46	0.003 15
绕线电阻器	普通线绕	0.003 40	0.003 74	0.007 14	0.013 60	0.015 30	0.027 20	0.025 50	0.015 30	0.010 20	0.017 00	0.040 80	0.020 40	0.044 20	0.019 04	0.035 70	0.049 98	0.003 40	0.115 60	0.051 00
	精密线绕	0.007 0	0.007 7	0.014 7	0.028 0	0.031 5	0.056 0	0.052 5	0.031 5	0.021 0	0.035 0	0.084 0	0.042 0	0.091 0	0.039 2	0.073 5	0.102 9	0.007 0	0.238 0	0.105 0
箔式电阻器	普通箔式	0.000 5	0.000 6	0.000 9	0.001 8	0.002 0	0.003 0	0.002 8	0.002 0	0.001 5	0.002 5	0.005 0	0.002 5	0.005 5	0.001 3	0.003 1	0.006 3	0.000 3	0.013 0	0.007 5
	精密箔式	0.000 8	0.000 9	0.001 4	0.002 8	0.003 2	0.004 8	0.004 5	0.003 2	0.002 4	0.004 0	0.008 0	0.004 0	0.008 8	0.002 0	0.004 9	0.010 0	0.000 4	0.020 8	0.012 0
功率线绕电阻器		0.001 3	0.001 4	0.002 0	0.004 6	0.005 2	0.008 5	0.007 8	0.005 5	0.003 3	0.005 9	0.013 0	0.006 5	0.015 6	0.003 5	0.007 8	0.017 7	0.001 3	0.039 0	0.019 5
功率非线绕电阻器		0.002 70	0.002 97	0.004 86	0.009 45	0.010 80	0.017 55	0.016 20	0.010 80	0.006 75	0.012 15	0.027 00	0.013 50	0.032 40	0.010 80	0.025 38	0.037 80	0.002 70	0.081 00	0.040 50
片式膜电阻		0.000 40	0.000 44	0.000 80	0.001 56	0.002 08	0.002 68	0.002 44	0.001 80	0.001 12	0.002 00	0.004 00	0.002 64	0.004 60	0.001 36	0.002 56	0.005 20	0.000 20	0.011 60	0.006 00
电阻网络（单个分立电阻）		0.000 6	0.000 7	0.001 1	0.002 1	0.002 4	0.003 7	0.003 4	0.002 3	0.001 5	0.002 7	0.006 1	0.003 1	0.006 7	0.001 5	0.003 7	0.007 6	0.000 6	0.015 9	0.009 2
电阻网络（单个膜电阻）		0.000 3	0.000 3	0.000 5	0.000 9	0.001 0	0.001 5	0.001 4	0.001 0	0.000 6	0.001 1	0.002 5	0.001 3	0.002 8	0.000 6	0.001 5	0.003 1	0.000 3	0.006 5	0.003 8

表 B.134 敏感电阻器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																	
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
热敏电阻器	0.001 6	0.002 1	0.004 0	0.008 0	0.008 8	0.011 2	0.010 4	0.008 0	0.005 1	0.008 8	0.013 6	0.011 2	0.018 4	0.005 1	0.007 4	0.027 2	0.001 6	0.049 6	0.024 0
压敏电阻器	0.003 5	0.004 6	0.008 8	0.017 5	0.019 3	0.024 5	0.022 8	0.017 5	0.011 2	0.019 3	0.029 8	0.024 5	0.040 3	0.011 2	0.016 1	0.059 5	0.003 5	0.108 5	0.052 5
光敏电阻器	0.001 9	0.002 5	0.004 8	0.009 5	0.010 5	0.013 3	0.012 4	0.009 5	0.006 1	0.010 5	0.016 2	0.013 3	0.021 9	0.006 1	0.008 7	0.032 3	0.001 9	0.058 9	0.028 5

表 B.135 电位器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																	
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
普通线绕电位器	0.020 0	0.024 0	0.040 0	0.080 0	0.106 0	0.212 0	0.160 0	0.084 0	0.060 0	0.094 0	0.188 0	0.186 0	0.266 0	0.088 0	0.160 0	0.328 0	—	—	—
精密线绕电位器	0.030 0	0.036 0	0.060 0	0.120 0	0.150 0	0.219 0	0.180 0	0.144 0	0.090 0	0.150 0	0.336 0	0.279 0	0.399 0	0.177 0	0.288 0	0.780 0	—	—	—
微调线绕电位器	0.016 0	0.019 2	0.028 8	0.056 0	0.064 0	0.104 0	0.088 0	0.056 0	0.040 0	0.060 8	0.121 6	0.107 2	0.212 8	0.068 8	0.124 8	0.262 4	—	—	—
有机实芯电位器	0.005 8	0.006 4	0.008 7	0.020 3	0.032 5	0.065 5	0.049 3	0.026 1	0.014 5	0.030 7	0.061 5	0.063 8	0.085 3	0.043 5	0.052 2	0.104 4	—	—	—
合成碳膜电位器	0.008 2	0.009 0	0.012 3	0.028 7	0.045 9	0.092 7	0.069 7	0.045 1	0.024 6	0.054 9	0.109 9	0.101 7	0.135 3	0.069 7	0.083 6	0.164 0	—	—	—
玻璃釉电位器	0.004 0	0.004 8	0.008 0	0.016 0	0.018 0	0.029 2	0.024 0	0.014 0	0.008 0	0.015 2	0.030 4	0.026 8	0.066 8	0.013 6	0.044 0	0.076 0	—	—	—
非线绕精密电位器	0.013 0	0.015 6	0.026 0	0.052 0	0.065 0	0.094 9	0.078 0	0.062 4	0.039 0	0.065 0	0.145 6	0.120 9	0.172 9	0.076 7	0.124 8	0.338 0	—	—	—

表 B.136 电容器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
有机介质电容器	纸介	0.000 58	0.000 63	0.001 53	0.002 94	0.004 11	0.009 68	0.004 47	0.003 10	0.001 79	0.003 93	0.018 68	0.006 85	0.034 10	0.005 14	0.016 24	0.012 00	0.000 58	0.026 56	0.012 85
	薄膜	0.000 42	0.000 46	0.001 12	0.002 15	0.003 01	0.007 08	0.003 27	0.002 27	0.001 31	0.002 87	0.013 67	0.005 02	0.024 97	0.003 76	0.011 89	0.008 78	0.000 42	0.019 45	0.009 41
瓷介电容器	1 类瓷介	0.000 16	0.000 19	0.000 56	0.000 96	0.001 93	0.003 88	0.001 40	0.001 14	0.000 54	0.001 34	0.007 70	0.002 81	0.009 06	0.001 43	0.005 51	0.004 20	0.000 16	0.007 14	0.003 36
	2 类瓷介	0.000 18	0.000 19	0.000 53	0.000 88	0.001 08	0.001 78	0.001 33	0.000 97	0.000 55	0.001 12	0.002 15	0.001 64	0.003 31	0.001 28	0.002 17	0.002 55	0.000 18	0.003 61	0.001 70
云母电容器		0.000 19	0.000 23	0.000 53	0.000 74	0.001 83	0.003 30	0.001 23	0.001 02	0.000 56	0.001 35	0.006 39	0.002 35	0.008 96	0.001 83	0.005 60	0.004 01	0.000 19	0.006 30	0.002 87
铝电解电容器		0.002 4	0.002 9	0.008 0	0.013 4	0.025 3	0.078 8	0.023 4	0.020 5	0.010 0	0.024 5	0.160 0	0.060 3	0.264 6	0.048 2	0.176 4	0.102 5	0.002 4	0.126 6	0.060 3
固体钽电解电容器		0.000 4	0.000 5	0.001 3	0.001 9	0.002 8	0.005 9	0.002 7	0.002 3	0.001 2	0.002 7	0.010 6	0.006 5	0.018 8	0.004 1	0.009 4	0.009 5	0.000 4	0.015 0	0.007 1

表 B.136(续)

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
非固体钽电解电容器		0.000 9	0.001 0	0.002 9	0.003 9	0.006 0	0.013 0	0.006 5	0.004 5	0.002 7	0.006 0	0.025 8	0.014 2	0.040 1	0.008 8	0.025 0	0.020 5	0.000 9	0.033 1	0.015 8
氧化铌电解电容器		0.000 26	0.000 32	0.000 88	0.001 28	0.002 38	0.005 40	0.001 83	0.001 67	0.000 84	0.001 98	0.011 73	0.005 48	0.020 70	0.003 43	0.010 35	0.007 92	0.000 26	0.012 54	0.005 94
可变电容器	瓷介微调	0.005 3	0.005 8	0.012 7	0.025 4	0.025 4	0.050 9	0.037 1	0.023 9	0.014 8	0.030 2	0.061 0	0.042 4	0.111 3	0.031 8	0.053 0	0.079 5	—	—	—
	玻璃介质微调	0.008 2	0.009 0	0.019 7	0.039 4	0.039 4	0.078 7	0.057 4	0.036 9	0.023 0	0.046 7	0.094 3	0.065 6	0.172 2	0.049 2	0.082 0	0.123 0	—	—	—
	空气介质微调	0.008 9	0.009 8	0.021 4	0.042 7	0.042 7	0.085 4	0.062 3	0.040 1	0.024 9	0.050 7	0.102 4	0.071 2	0.186 9	0.053 4	0.089 0	0.133 5	—	—	—

表 B.137 感性元件通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电感器	固定电感器	0.000 13	0.000 18	0.000 26	0.000 78	0.000 91	0.001 82	0.001 01	0.000 98	0.000 36	0.001 11	0.002 34	0.001 56	0.002 08	0.000 78	0.001 04	0.002 47	0.000 07	0.004 42	0.001 95
	可变电感器	0.000 23	0.000 32	0.000 46	0.001 38	0.001 61	0.003 22	0.001 79	0.001 73	0.000 64	0.001 96	0.004 14	0.002 76	0.003 68	0.001 38	0.001 84	0.004 37	0.000 12	0.007 82	0.003 45
	扼流圈	0.000 35	0.000 49	0.000 70	0.002 10	0.002 45	0.004 90	0.002 73	0.002 63	0.000 98	0.002 98	0.006 30	0.004 20	0.005 60	0.002 10	0.002 80	0.006 65	0.000 18	0.011 90	0.005 25
片式电感器		0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.000 8	0.001 0	0.002 0	0.001 1	0.001 1	0.000 4	0.001 2	0.002 5	0.001 7	0.002 2	0.000 8	0.001 1	0.002 7	0.000 1	0.004 8	0.002 1
变压器	小功率脉冲变压器	0.000 4	0.000 6	0.000 8	0.002 4	0.002 8	0.005 6	0.003 1	0.003 0	0.001 1	0.003 4	0.007 2	0.004 8	0.006 4	0.002 4	0.003 2	0.007 6	0.000 2	0.013 6	0.006 0
	中频、音频、电源变压器	0.000 9	0.001 3	0.001 8	0.005 4	0.006 3	0.012 6	0.007 0	0.006 8	0.002 5	0.007 7	0.016 2	0.010 8	0.014 4	0.005 4	0.007 2	0.017 1	0.000 5	0.030 6	0.013 5
	大功率脉冲变压器	0.001 8	0.002 5	0.003 6	0.010 8	0.012 6	0.025 2	0.014 0	0.013 5	0.005 0	0.015 3	0.032 4	0.021 6	0.028 8	0.010 8	0.014 4	0.034 2	0.000 9	0.061 2	0.027 0
	高压变压器、射频变压器	0.002 3	0.003 2	0.004 6	0.013 8	0.016 1	0.032 2	0.017 9	0.017 3	0.006 4	0.019 6	0.041 4	0.027 6	0.036 8	0.013 8	0.018 4	0.043 7	0.001 2	0.078 2	0.034 5

表 B.138 继电器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类			环境																		
			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
机电继电器	密封	熔焊	0.001 8	0.002 0	0.002 7	0.008 1	0.007 2	0.015 3	0.010 8	0.009 0	0.005 4	0.011 7	0.025 2	0.012 6	0.027 0	0.008 1	0.014 4	0.039 6	0.001 8	0.066 6	0.036 0
		铅焊	0.005 5	0.006 1	0.008 3	0.024 8	0.022 0	0.046 8	0.033 0	0.027 5	0.016 5	0.035 8	0.077 0	0.038 5	0.082 5	0.024 8	0.044 0	0.121 0	0.005 5	0.203 5	0.110 0
	非密封，触点电压＞50mV（工作值）		0.013	0.014	0.020	0.059	0.052	0.111	0.078	0.065	0.039	0.085	0.182	0.091	0.195	0.059	0.104	0.286	0.013	0.481	0.260

表 B.138（续）

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
机电继电器	非密封，触点电压≤50mV（工作值）	0.026	0.029	0.039	0.117	0.104	0.221	0.156	0.130	0.078	0.169	0.364	0.182	0.390	0.117	0.208	0.572	0.026	0.962	0.520
固体继电器		0.012	0.013	0.018	0.054	0.048	0.102	0.072	0.060	0.036	0.078	0.168	0.084	0.180	0.054	0.096	0.264	0.012	0.444	0.240

表 B.139　开关通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
旋转开关	0.002 6	0.003 4	0.005 2	0.009 1	0.016 6	0.020 8	0.018 2	0.010 4	0.007 8	0.013 0	0.028 6	0.015 6	0.023 4	0.008 6	0.013 8	0.041 6	0.002 6	0.106 6	0.052 0
微动开关	0.002 3	0.003 0	0.004 6	0.008 1	0.014 7	0.018 4	0.016 1	0.009 2	0.006 9	0.011 5	0.025 3	0.013 8	0.020 7	0.007 6	0.012 2	0.036 8	0.002 3	0.094 3	0.046 0
钮子开关	0.002 1	0.002 7	0.004 2	0.007 4	0.013 4	0.016 8	0.014 7	0.008 4	0.006 3	0.010 5	0.023 1	0.012 6	0.018 9	0.006 9	0.011 1	0.033 6	0.002 1	0.086 1	0.042 0
按钮开关	0.001 1	0.001 4	0.002 2	0.003 9	0.007 0	0.008 8	0.007 7	0.004 4	0.003 3	0.005 5	0.012 1	0.006 6	0.009 9	0.003 6	0.005 8	0.017 6	0.001 1	0.045 1	0.022 0
滑动开关	0.002 2	0.002 9	0.004 4	0.007 7	0.014 1	0.017 6	0.015 4	0.008 8	0.006 6	0.011 0	0.024 2	0.013 2	0.019 8	0.007 3	0.011 7	0.035 2	0.002 2	0.090 2	0.044 0
行程开关	0.002 9	0.003 8	0.005 8	0.010 2	0.018 6	0.023 2	0.020 3	0.011 6	0.008 7	0.014 5	0.031 9	0.017 4	0.026 1	0.009 6	0.015 4	0.046 4	0.002 9	0.118 9	0.058 0

表 B.140　电连接器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
射频同轴连接器、圆形连接器	0.000 35	0.000 49	0.000 53	0.001 05	0.001 33	0.002 17	0.001 82	0.000 88	0.000 70	0.001 05	0.002 80	0.001 51	0.002 94	0.000 91	0.001 96	0.003 68	0.000 35	0.004 90	0.002 45
矩形连接器、印制电路板用连接器	0.000 55	0.000 77	0.000 83	0.001 65	0.002 09	0.003 41	0.002 86	0.001 38	0.001 10	0.001 65	0.004 40	0.002 37	0.004 62	0.001 43	0.003 08	0.005 78	0.000 55	0.007 70	0.003 85

表 B.141　微特电机通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电动机	0.040	0.048	0.060	0.100	0.160	0.400	0.180	0.200	0.092	0.272	0.520	0.200	0.600	0.132	0.384	0.640	0.040	0.864	0.440

表 B.141（续）

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
风机	0.036	0.043	0.054	0.090	0.144	0.360	0.162	0.180	0.083	0.245	0.468	0.180	0.540	0.119	0.346	0.576	0.036	0.778	0.396
自整角机和旋转变压器	0.011	0.013	0.017	0.028	0.044	0.110	0.050	0.055	0.025	0.075	0.143	0.055	0.165	0.036	0.106	0.176	0.011	0.238	0.121
时间累加器	0.150	0.180	0.225	0.375	0.600	1.500	0.675	0.750	0.345	1.020	1.950	0.750	2.250	0.495	1.440	2.400	0.150	3.240	1.650

表 B.142　磁性器件通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
大功率磁性器件、隔离器、放大器、回转器、调制器、环行器、移相器、耦合器	0.003 8	0.004 6	0.005 7	0.013 3	0.015 2	0.026 6	0.019 0	0.017 1	0.011 4	0.024 7	0.045 6	0.022 8	0.038 0	0.013 3	0.020 9	0.034 2	0.003 8	0.083 6	0.045 6
小功率磁性器件（接收机用）	0.000 35	0.000 42	0.000 53	0.001 23	0.001 40	0.002 45	0.001 75	0.001 58	0.001 05	0.002 28	0.004 20	0.002 10	0.003 50	0.001 23	0.001 93	0.003 15	0.000 35	0.007 70	0.004 20

表 B.143　振荡器和谐振器通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
振荡器	0.001 2	0.001 4	0.001 8	0.004 2	0.004 8	0.013 2	0.009 6	0.006 6	0.003 6	0.008 4	0.016 8	0.018 0	0.027 6	0.012 0	0.021 6	0.026 4	0.001 2	0.036 0	0.018 0
谐振器	0.000 9	0.001 1	0.001 4	0.003 2	0.003 6	0.009 9	0.007 2	0.004 9	0.002 7	0.006 3	0.012 6	0.013 5	0.020 7	0.009 0	0.016 2	0.019 8	0.000 9	0.027 0	0.013 5

表 B.144　滤波器通用非工作失效率λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
LC滤波器	分立电感电容	0.002 3	0.002 8	0.003 5	0.008 1	0.009 2	0.018 4	0.013 8	0.009 2	0.006 9	0.013 8	0.023 0	0.020 7	0.032 2	0.012 7	0.019 6	0.029 9	0.001 8	0.057 5	0.027 6
	分立电感电容和晶体	0.004 8	0.005 8	0.007 2	0.016 8	0.019 2	0.038 4	0.028 8	0.019 2	0.014 4	0.028 8	0.048 0	0.043 2	0.067 2	0.026 4	0.040 8	0.062 4	0.003 8	0.120 0	0.057 6
压电陶瓷滤波器		0.002 1	0.002 5	0.003 2	0.007 4	0.008 4	0.023 1	0.016 8	0.010 5	0.006 3	0.014 7	0.029 4	0.025 2	0.042 0	0.014 7	0.023 1	0.035 7	0.001 7	0.067 2	0.031 5

表 B.144(续)

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
介电滤波器	0.001 3	0.001 6	0.002 0	0.004 6	0.005 2	0.014 3	0.010 4	0.006 5	0.003 9	0.009 1	0.018 2	0.015 6	0.026 0	0.009 1	0.014 3	0.022 1	0.001 0	0.041 6	0.019 5
石英晶体滤波器	0.001 8	0.002 2	0.002 7	0.006 3	0.007 2	0.019 8	0.014 4	0.009 0	0.005 4	0.012 6	0.025 2	0.021 6	0.036 0	0.012 6	0.019 8	0.030 6	0.001 4	0.057 6	0.027 0
机械滤波器	0.005 1	0.006 1	0.007 7	0.017 9	0.020 4	0.056 1	0.040 8	0.025 5	0.015 3	0.035 7	0.071 4	0.061 2	0.102 0	0.035 7	0.056 1	0.086 7	0.004 1	0.163 2	0.076 5

表 B.145 电池通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
硅、砷化镓太阳能电池	0.000 43	0.000 47	0.000 60	0.000 86	0.000 77	0.001 29	0.000 86	0.001 08	0.000 65	0.001 29	0.001 72	0.001 29	0.002 15	0.000 86	0.001 51	0.001 94	0.000 30	0.002 58	0.000 99
氢镍蓄电池	0.030	0.033	0.042	0.060	0.054	0.090	0.060	0.075	0.045	0.090	0.120	0.090	0.150	0.060	0.105	0.135	0.021	0.180	0.069
隔镍蓄电池	0.016	0.018	0.022	0.032	0.029	0.048	0.032	0.040	0.024	0.048	0.064	0.048	0.080	0.032	0.056	0.072	0.011	0.096	0.037
锂离子蓄电池	0.009	0.010	0.013	0.018	0.016	0.027	0.018	0.023	0.014	0.027	0.036	0.027	0.045	0.018	0.032	0.041	0.006	0.054	0.021
铅酸蓄电池	0.011	0.012	0.015	0.022	0.020	0.033	0.022	0.028	0.017	0.033	0.044	0.033	0.055	0.022	0.039	0.050	0.008	0.066	0.025
锂原电池	0.051	0.056	0.071	0.102	0.092	0.153	0.102	0.128	0.077	0.153	0.204	0.153	0.255	0.102	0.179	0.230	0.036	0.306	0.117

表 B.146 灯通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
氖灯	0.064	0.070	0.083	0.128	0.141	0.230	0.205	0.154	0.083	0.179	0.256	0.262	0.352	0.192	0.269	0.352	0.064	0.384	0.256
白炽灯	0.180	0.198	0.234	0.360	0.396	0.648	0.576	0.432	0.234	0.504	0.720	0.738	0.990	0.540	0.756	0.990	0.180	1.080	0.720

表 B.147 激光器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
氦氖激光器	0.12	0.18	0.24	0.60	0.66	1.92	1.32	1.20	0.48	1.44	1.80	2.04	3.00	1.08	1.56	2.16	0.07	3.24	1.56
氦镉激光器	0.80	1.20	1.60	4.00	4.40	12.80	8.80	8.00	3.20	9.60	12.00	13.60	20.00	7.20	10.40	14.40	0.48	21.60	10.40
氩离子激光器	0.70	1.05	1.40	3.50	3.85	11.20	7.70	7.00	2.80	8.40	10.50	11.90	17.50	6.30	9.10	12.60	0.42	18.90	9.10

表 B.147（续）

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
密封二氧化碳激光器	0.50	0.75	1.00	2.50	2.75	8.00	5.50	5.00	2.00	6.00	7.50	8.50	12.50	4.50	6.50	9.00	0.30	13.50	6.50
氧化钕掺杂的钇铝石榴石（ND：YAG）棒激光器	1.70	2.55	3.40	8.50	9.35	27.20	18.70	17.00	6.80	20.40	25.50	28.90	42.50	15.30	22.10	30.60	1.02	45.90	22.10
红宝石棒激光器	2.20	3.30	4.40	11.00	12.10	35.20	24.20	22.00	8.80	26.40	33.00	37.40	55.00	19.80	28.60	39.60	1.32	59.40	28.60
半导体激光器 输出光功率≤90mW	0.23	0.35	0.46	1.15	1.27	3.68	2.53	2.30	0.92	2.76	3.45	3.91	5.75	2.07	2.99	4.14	0.14	6.21	2.99
半导体激光器 90mW＜输出光功率≤150mW	0.41	0.62	0.82	2.05	2.26	6.56	4.51	4.10	1.64	4.92	6.15	6.97	10.25	3.69	5.33	7.38	0.25	11.07	5.33
半导体激光器 输出光功率＞150mW	0.50	0.75	1.00	2.50	2.75	8.00	5.50	5.00	2.00	6.00	7.50	8.50	12.50	4.50	6.50	9.00	0.30	13.50	6.50

表 B.148　压电陀螺通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
压电陀螺	0.0030	0.0039	0.0060	0.0150	0.0180	0.0330	0.0270	0.0180	0.0075	0.0210	0.0510	0.0480	0.0660	0.0240	0.0360	0.1080	0.0015	0.1980	0.0960

表 B.149　光纤连接器通用非工作失效率 λ_{NG}

单位为 10^{-6}/h

芯数	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1	0.005 0	0.007 0	0.007 5	0.015 0	0.019 0	0.031 0	0.026 0	0.012 5	0.010 0	0.015 0	0.040 0	0.021 5	0.042 0	0.013 0	0.028 0	0.052 5	0.005 0	0.070 0	0.035 0
2	0.005 5	0.007 7	0.008 3	0.016 5	0.020 9	0.034 1	0.028 6	0.013 8	0.011 0	0.016 5	0.044 0	0.023 7	0.046 2	0.014 3	0.030 8	0.057 8	0.005 5	0.077 0	0.038 5
4	0.006 1	0.008 5	0.009 2	0.018 3	0.023 2	0.037 8	0.031 7	0.015 3	0.012 2	0.018 3	0.048 8	0.026 2	0.051 2	0.015 9	0.034 2	0.064 1	0.006 1	0.085 4	0.042 7
6	0.006 8	0.009 5	0.010 2	0.020 4	0.025 8	0.042 2	0.035 4	0.017 0	0.013 6	0.020 4	0.054 4	0.029 2	0.057 1	0.017 7	0.038 1	0.071 4	0.006 8	0.095 2	0.047 6
8	0.007 6	0.010 6	0.011 4	0.022 8	0.028 9	0.047 1	0.039 5	0.019 0	0.015 2	0.022 8	0.060 8	0.032 7	0.063 8	0.019 8	0.042 6	0.079 8	0.007 6	0.106 4	0.053 2
≥10	0.008 5	0.011 9	0.012 8	0.025 5	0.032 3	0.052 7	0.044 2	0.021 3	0.017 0	0.025 5	0.068 0	0.036 6	0.071 4	0.022 1	0.047 6	0.089 3	0.008 5	0.119 0	0.059 5

附　录　C
（资料性附录）
采用进口电子元器件的电子设备可靠性预计

C.1　概述

C.1.1　主题内容

目前，国产电子设备采用了部分进口电子元器件，由于国产电子设备在设计、工艺、质量控制、考核试验等方面与国外相比有不少的差异，因此，需要有适用于国产电子设备中进口电子元器件的可靠性预计方法。本附录是在分析了多种国外电子设备可靠性预计手册，统计了大量进口电子元器件在国产电子设备上的使用数据后编制而成的。

本附录为国产电子设备和系统可靠性预计提供了进口电子元器件的可靠性预计方法。

C.1.2　适用范围

本附录适用于进口电子元器件在国产电子设备中使用时的可靠性预计。由于它充分考虑了进口电子元器件在国产电子设备使用实际的可靠性水平，它将比直接采用国外手册的可靠性预计结果更为切合我国实际，且更简便易行。

本附录所提供的电子元器件失效率数据仅适用于在正常工作条件下工作的电子设备可靠性预计；凡过应力使用，超过基本失效率表所列值的任何外推(如超过规定的温度范围，或电应力比大于 1 或等于 0)都是无效的。

本附录中表面贴装元器件的基本失效率预计与传统封装工艺元器件的失效率预计一致，除非有特别指明不同封装形式的差别时，可依据不同封装进行预计。

C.1.3　元器件质量等级

元器件质量等级是指元器件装机使用之前，在制造、检验及筛选过程中其质量的控制等级。详细说明见各类元器件的质量系数π_Q表。

C.1.4　采用进口电子元器件的电子设备可靠性预计方法

当同一设备中同时采用进口电子元器件和国产电子元器件时，需用本指导性技术文件对国产电子元器件进行预计，获得其失效率$\lambda_{国产}$；然后用本附录对进口元器件进行预计，获得其失效率$\lambda_{进口}$，再依据电子设备的可靠性模型计算其总的失效率。

C.2　进口电子元器件的可靠性预计

C.2.1　概述

除微电路（见 C.2.2)外，多数进口电子元器件的工作失效率预计模型都为λ_b与π_Q、π_E等一系列π系数相连乘法的形式，在元器件种类条文中提供了λ_b值和有关的π系数值。预计时，首先根据元器件的信息查得λ_b值，然后根据所确定的设备工作环境类别和元器件质量等级等，查其相应的π系数值，进而计算元器件工作失效率λ_p。

C.2.2　微电路

C.2.2.1　概述

本条对半导体集成电路、微波单片集成电路和混合集成电路提供可靠性预计：

a)　半导体集成电路，包括：

　1)　半导体数字集成电路，可分为：

　　①　通用数字集成电路，包括：

　　　● TTL、ASTTL、ALSTTL、LSTTL、HTTL、FTTL、ECL、IIL 等双极工艺制作的数字电路；

- MOS 数字集成电路。包括在蓝宝石、多晶硅、单晶硅等各种衬底上采用 NMOS、PMOS、MNOS、CMOS、HCMOS、HCTMOS、FCTMOS、ACTMOS 等 MOS 工艺制作的数字电路；

② 微处理器，包括 CPU、数字信号处理器(DSP)、微控制器；

③ 存储器，包括双极、MOS 工艺制作的 SRAM、DRAM、ROM、PROM、EPROM、EEPROM、FLASH、FIFO 存储器和电荷耦合(CCD)等器件；

④ 可编程逻辑器件，包括 PLA、PAL、PLD、CPLD、FPGA 等。

2) 半导体模拟集成电路。包括双极、MOS、BiCMOS 工艺的模拟电路。

b) 微波单片集成电路，包括砷化镓(GaAs)、氮化镓(GaN)微波单片集成电路。

c) 混合集成电路。

C.2.2.2 半导体集成电路和微波单片集成电路

半导体集成电路的工作失效率预计模型见式(C.1)。

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q \quad \text{(C.1)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h，对于 A/D 转换器、D/A 转换器、F/V 转换器、S—D 转换器、R—D 转换器、采样/保持电路等由模拟集成电路和数字集成电路构成的半导体混合信号集成电路，则可由组成电路的模拟集成电路与数字集成电路的工作失效率求和获得；

C_1——电路复杂度失效率，10^{-6}/h，见表 C.1～表 C.8；

π_T——温度应力系数，见表 C.9～表 C.12；

C_2——封装复杂度失效率，见表 C.13；

π_E——环境系数，见表 C.14；

π_Q——质量系数，见表 C.15。

微波单片集成电路(MMIC)工作失效率预计模型见式(C.2)。

$$\lambda_P = (C_1\pi_T\pi_P\pi_A + C_2\pi_E)\pi_Q \quad \text{(C.2)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

C_1——电路复杂度失效率，见表 C.16；

π_T——温度应力系数，见表 C.17；

π_P——微波芯片工艺系数，见表 C.18；

π_A——微波应用系数，见表 C.19；

C_2——封装复杂度失效率，见表 C.13；

π_E——环境系数，见表 C.14；

π_Q——质量系数，见表 C.15。

表 C.1 半导体数字集成电路复杂度失效率 C_1 单位为 10^{-6}/h

门数 N_G	双极	MOS
50	0.001 0	0.000 42
100	0.001 2	0.000 48
200	0.001 4	0.000 54
300	0.001 6	0.000 59
400	0.001 7	0.000 62
500	0.001 8	0.000 65

表 C.1（续）

单位为 10^{-6}/h

门数 N_G	双极	MOS
600	0.001 9	0.000 67
700	0.002 0	0.000 69
800	0.002 0	0.000 71
900	0.002 1	0.000 72
1 000	0.002 2	0.000 74
3 000	0.002 9	0.000 91
5 000	0.003 3	0.001 00
7 000	0.003 6	0.001 07
9 000	0.003 8	0.001 12
10 000	0.003 9	0.001 14
20 000	0.004 7	0.001 30
30 000	0.005 2	0.001 40
40 000	0.005 7	0.001 48
50 000	0.006 0	0.001 55
60 000	0.006 3	0.001 60
80 000	0.006 8	0.001 69
100 000	0.007 2	0.001 76
300 000	—	0.002 17
500 000	—	0.002 40
700 000	—	0.002 55
900 000	—	0.002 68
1 000 000	—	0.002 73
2 000 000	—	0.003 12
3 000 000	—	0.003 37
4 000 000	—	0.003 56
5 000 000	—	0.003 71
6 000 000	—	0.003 84
7 000 000	—	0.003 95
8 000 000	—	0.004 06
9 000 000	—	0.004 15
10 000 000	—	0.004 23
50 000 000	—	0.005 74
100 000 000	—	0.006 55
500 000 000	—	0.008 89
1 000 000 000	—	0.010 15

表 C.2　半导体模拟集成电路的复杂度失效率 C_1　　单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1
50	0.001 8
100	0.002 3
200	0.002 9
300	0.003 3
400	0.003 6
500	0.003 9
600	0.004 1
700	0.004 3
800	0.004 5
900	0.004 7
1 000	0.004 9
1 200	0.005 2
1 400	0.005 4
1 600	0.005 7
1 800	0.005 9
2 000	0.006 1
2 500	0.006 5
3 000	0.006 9
3 500	0.007 3
4 000	0.007 6
4 500	0.007 9
5 000	0.008 2

表 C.3　微处理器类型及其复杂度

	处理器类型	晶体管数	制造商
第一代	4004	2 300	INTEL
	8008	3 500	INTEL
第二代	8080	6 000	INTEL
	8085	9 000	INTEL
第三代	8086	29 000	INTEL
	80286	134 000	INTEL
第四代	80386	275 000	INTEL
	80486	1 250 000	INTEL
	80486BL2	1 400 000	IBM
	80486BL3	1 400 000	IBM
第五代	Pentium(80501)	3 100 000	INTEL
	K6 MMX(Nx686)	4 300 000	AMD
	Pentium II(80522)	7 500 000	INTEL
	Pentium III Coppermine	28 000 000	INTEL
	K7 Athlon	22 000 000	INTEL
	Pentium 4 Northwood	55 000 000	INTEL

表 C.4　微处理器的电路复杂度失效率 C_1

单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	双极	MOS
1 000	0.008 1	0.002 50
5 000	0.013 2	0.002 75
10 000	0.016 3	0.002 87
30 000	0.022 8	0.003 07
50 000	0.026 7	0.003 16
70 000	0.029 5	0.003 23
90 000	0.031 9	0.003 28
100 000	—	0.003 30
500 000	—	0.003 63
900 000	—	0.003 76
1 000 000	—	0.003 79
2 000 000	—	0.003 95
3 000 000	—	0.004 05
4 000 000	—	0.004 12
5 000 000	—	0.004 17
6 000 000	—	0.004 22
7 000 000	—	0.004 26
8 000 000	—	0.004 29
9 000 000	—	0.004 32
10 000 000	—	0.004 35
20 000 000	—	0.004 53
40 000 000	—	0.004 73
60 000 000	—	0.004 85
80 000 000	—	0.004 93
100 000 000	—	0.005 00
120 000 000	—	0.005 05
140 000 000	—	0.005 10
160 000 000	—	0.005 14
180 000 000	—	0.005 18
200 000 000	—	0.005 21
220 000 000	—	0.005 24
240 000 000	—	0.005 27
260 000 000	—	0.005 29
280 000 000	—	0.005 32
300 000 000	—	0.005 34
320 000 000	—	0.005 36
340 000 000	—	0.005 38
360 000 000	—	0.005 40
400 000 000	—	0.005 43

表 C.4(续) 单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	双极	MOS
500 000 000	—	0.005 50
600 000 000	—	0.005 57
700 000 000	—	0.005 62
800 000 000	—	0.005 66
900 000 000	—	0.005 70
1 000 000 000	—	0.005 74
1 200 000 000	—	0.005 80
1 400 000 000	—	0.005 86
1 700 000 000	—	0.005 93

表 C.5 静态随机存储器(SRAM)的电路复杂度失效率 C_1 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	双极	MOS
16	0.008 2	0.000 4
32	0.009 8	0.000 5
64	0.011 8	0.000 6
128	0.014 2	0.000 7
256	0.017 0	0.000 8
512	0.020 4	0.001 0
1 024	0.024 5	0.001 2
2 048	0.029 5	0.001 4
4 096	0.035 4	0.001 7
8 192	0.042 5	0.002 0
16 384	0.051 0	0.002 4
32 768	0.061 3	0.002 9
65 536	0.073 6	0.003 5
131 072	0.088 4	0.004 2
262 144	0.106 2	0.005 0
524 288	0.127 5	0.006 0
1 048 576	0.153 2	0.007 2
2 097 152	0.183 9	0.008 6
4 194 304	0.220 9	0.010 3
8 388 608	0.265 3	0.012 3
16 777 216	0.318 6	0.014 8
33 554 432	0.382 7	0.017 7
67 108 864	0.459 6	0.021 2
134 217 728	0.551 9	0.025 4
268 435 456	0.662 8	0.030 5
536 870 912	—	0.036 5

表 C.6 动态随机存储器(DRAM)的电路复杂度失效率 C_1 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1
16	0.000 5
32	0.000 6
64	0.000 6
128	0.000 7
256	0.000 8
512	0.000 9
1 024	0.001 0
2 048	0.001 1
4 096	0.001 2
8 192	0.001 4
16 384	0.001 5
32 768	0.001 7
65 536	0.001 9
131 072	0.002 1
262 144	0.002 3
524 288	0.002 6
1 048 576	0.002 9
2 097 152	0.003 2
4 194 304	0.003 6
8 388 608	0.004 0
16 777 216	0.004 5
33 554 432	0.005 0
67 108 864	0.005 6
134 217 728	0.006 2
268 435 456	0.006 9
536 870 912	0.007 7
1 073 741 824	0.008 6
2 147 483 648	0.009 5
4 294 967 296	0.010 6
8 589 934 592	0.011 8
17 179 869 184	0.013 2

表 C.7 先进先出存储器(FIFO)的电路复杂度失效率 C_1 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1
16	0.000 30
32	0.000 36
64	0.000 44
128	0.000 53
256	0.000 64

表 C.7(续) 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	C_1
512	0.000 78
1 024	0.000 95
2 048	0.001 15
4 096	0.001 40
8 192	0.001 70
16 384	0.002 07
32 768	0.002 51
65 536	0.003 05
131 072	0.003 70
262 144	0.004 49
524 288	0.005 45
1 048 576	0.006 62
2 097 152	0.008 04
4 194 304	0.009 76
8 388 608	0.011 85
16 777 216	0.014 39

表 C.8 ROM、PROM、UVEPROM、EEPROM、FLASH 的电路复杂度失效率 C_1 单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	双极型	MOS 型
16	0.001 35	0.000 07
32	0.001 58	0.000 08
64	0.001 85	0.000 09
128	0.002 16	0.000 11
256	0.002 53	0.000 13
512	0.002 95	0.000 15
1 024	0.003 45	0.000 18
2 048	0.004 04	0.000 22
4 096	0.004 72	0.000 26
8 192	0.005 51	0.000 30
16 384	0.006 44	0.000 36
32 768	0.007 53	0.000 42
65 536	0.008 80	0.000 50
131 072	0.010 29	0.000 60
262 144	0.012 03	0.000 71
524 288	0.014 06	0.000 84
1 048 576	0.016 43	0.000 99
2 097 152	0.019 20	0.001 17
4 194 304	0.022 44	0.001 39

表 C. 8（续）

单位为 10^{-6}/h

位数 N_B	双极型	MOS 型
8 388 608	0.026 23	0.001 64
16 777 216	0.030 66	0.001 95
33 554 432	—	0.002 30
67 108 864	—	0.002 73
134 217 728	—	0.003 23
268 435 456	—	0.003 83
536 870 912	—	0.004 53
1 073 741 824	—	0.005 37
2 147 483 648	—	0.006 35
4 294 967 296	—	0.007 53

表 C. 9 半导体数字电路温度应力系数 π_T

T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T	
	双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS
25	0.100	0.100	53	0.252	0.352	81	0.547	1.014	115	1.207	2.984
27	0.107	0.110	55	0.267	0.382	83	0.575	1.087	120	1.341	3.443
29	0.115	0.122	57	0.283	0.414	85	0.605	1.164	125	1.485	3.958
31	0.124	0.134	59	0.300	0.448	87	0.636	1.245	130	1.641	4.534
33	0.132	0.147	61	0.318	0.485	89	0.668	1.331	135	1.809	5.177
35	0.142	0.161	63	0.337	0.524	91	0.701	1.422	140	1.989	5.892
37	0.152	0.176	65	0.356	0.566	93	0.735	1.518	145	2.182	6.686
39	0.162	0.193	67	0.377	0.611	95	0.771	1.620	150	2.389	7.563
41	0.173	0.211	69	0.398	0.658	97	0.808	1.727	155	2.609	8.531
43	0.184	0.230	71	0.420	0.709	99	0.847	1.840	160	2.845	9.597
45	0.196	0.251	73	0.444	0.763	101	0.887	1.959	165	3.095	10.766
47	0.209	0.274	75	0.468	0.820	103	0.928	2.085	170	3.361	12.046
49	0.223	0.298	77	0.493	0.881	105	0.971	2.217	175	3.643	13.445
51	0.237	0.324	79	0.519	0.945	110	1.084	2.577	—	—	—

表 C. 10 半导体模拟集成电路温度应力系数 π_T

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
25	0.100	37	0.220	49	0.456	61	0.898
27	0.115	39	0.249	51	0.513	63	1.001
29	0.131	41	0.282	53	0.575	65	1.114
31	0.149	43	0.319	55	0.644	67	1.238
33	0.170	45	0.360	57	0.721	69	1.374
35	0.194	47	0.406	59	0.805	71	1.523

表 C.10（续）

T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T	T_j ℃	π_T
73	1.687	89	3.662	105	7.446	145	34.607
75	1.866	91	4.015	110	9.182	150	41.087
77	2.061	93	4.398	115	11.262	155	48.584
79	2.274	95	4.813	120	13.742	160	57.228
81	2.507	97	5.262	125	16.684	165	67.158
83	2.761	99	5.747	130	20.159	170	78.526
85	3.036	101	6.271	135	24.245	175	91.499
87	3.336	103	6.836	140	29.029	—	—

表 C.11　微处理器温度应力系数π_T

T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T	
	双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS
25	0.100	0.100	53	0.297	0.415	81	0.744	1.376	115	1.898	4.676
27	0.109	0.112	55	0.319	0.455	83	0.790	1.489	120	2.148	5.499
29	0.118	0.124	57	0.342	0.499	85	0.839	1.609	125	2.424	6.439
31	0.128	0.139	59	0.367	0.546	87	0.889	1.737	130	2.727	7.512
33	0.139	0.154	61	0.393	0.597	89	0.942	1.874	135	3.060	8.729
35	0.151	0.171	63	0.420	0.652	91	0.998	2.020	140	3.423	10.108
37	0.163	0.190	65	0.449	0.711	93	1.056	2.175	145	3.819	11.663
39	0.177	0.210	67	0.479	0.775	95	1.117	2.341	150	4.251	13.411
41	0.191	0.233	69	0.512	0.843	97	1.181	2.517	155	4.718	15.372
43	0.206	0.257	71	0.546	0.917	99	1.248	2.704	160	5.225	17.564
45	0.222	0.284	73	0.581	0.997	101	1.318	2.903	165	5.773	20.007
47	0.239	0.312	75	0.619	1.082	103	1.390	3.115	170	6.364	22.724
49	0.257	0.344	77	0.659	1.174	105	1.466	3.339	175	7.000	25.736
51	0.277	0.378	79	0.700	1.272	110	1.671	3.960	—	—	—

表 C.12　存储器温度应力系数π_T

T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T	
	双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS
25	0.100	0.100	39	0.177	0.211	53	0.298	0.416	67	0.480	0.776
27	0.109	0.112	41	0.191	0.233	55	0.320	0.456	69	0.512	0.845
29	0.118	0.125	43	0.206	0.257	57	0.343	0.500	71	0.546	0.919
31	0.129	0.139	45	0.222	0.284	59	0.367	0.547	73	0.582	0.999
33	0.140	0.154	47	0.240	0.313	61	0.393	0.598	75	0.620	1.084
35	0.151	0.172	49	0.258	0.345	63	0.421	0.653	77	0.660	1.176
37	0.164	0.190	51	0.277	0.379	65	0.450	0.712	79	0.702	1.274

表 C.12（续）

T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T		T_j ℃	π_T	
	双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS		双极	MOS
81	0.745	1.379	95	1.119	2.345	115	1.901	4.683	150	4.257	13.430
83	0.792	1.491	97	1.183	2.521	120	2.151	5.507	155	4.725	15.393
85	0.840	1.611	99	1.250	2.709	125	2.428	6.449	160	5.233	17.588
87	0.891	1.740	101	1.320	2.908	130	2.732	7.523	165	5.781	20.035
89	0.944	1.877	103	1.393	3.120	135	3.064	8.742	170	6.373	22.754
91	1.000	2.023	105	1.469	3.344	140	3.428	10.122	175	7.010	25.770
93	1.058	2.179	110	1.674	3.966	145	3.825	11.679	—	—	—

表 C.13　集成电路封装复杂度失效率 C_2

N_P	密封器件					非密封器件			
	双列直插（DIP）封装	扁平（FP）封装	插接阵列（含 PGA、BGA、LGA 和其他）封装	表面安装（PLCC、LCC、SO 和其他）封装	金属壳封装	双列直插（DIP）封装	扁平（FP）封装	插接阵列（含 PGA、BGA、LGA 和其他）封装	表面安装（PLCC、LCC、SO 和其他）封装
2	—	—	—	—	0.000 02	—	—	—	—
3	—	0.000 03	—	—	0.000 03	—	0.000 05	—	—
4	0.000 10	0.000 05	0.000 19	0.000 41	0.000 05	0.000 12	0.000 07	0.000 26	0.000 54
6	0.000 14	0.000 07	0.000 28	0.000 60	0.000 08	0.000 18	0.000 11	0.000 38	0.000 78
8	0.000 19	0.000 11	0.000 36	0.000 78	0.000 11	0.000 24	0.000 16	0.000 50	0.001 01
10	0.000 23	0.000 14	0.000 44	0.000 96	0.000 14	0.000 30	0.000 21	0.000 62	0.001 24
12	0.000 28	0.000 17	0.000 51	0.001 13	0.000 18	0.000 36	0.000 26	0.000 73	0.001 46
14	0.000 32	0.000 21	0.000 59	0.001 30	0.000 21	0.000 42	0.000 31	0.000 84	0.001 68
16	0.000 37	0.000 25	0.000 67	0.001 46	0.000 25	0.000 48	0.000 37	0.000 96	0.001 90
18	0.000 41	0.000 28	0.000 74	0.001 63	0.000 29	0.000 54	0.000 42	0.001 07	0.002 12
20	0.000 46	0.000 32	0.000 82	0.001 79	0.000 33	0.000 59	0.000 48	0.001 18	0.002 33
22	0.000 50	0.000 36	0.000 89	0.001 96	0.000 37	0.000 65	0.000 54	0.001 28	0.002 54
24	0.000 55	0.000 40	0.000 96	0.002 12	0.000 42	0.000 71	0.000 60	0.001 39	0.002 75
28	0.000 63	0.000 49	0.001 10	0.002 44	0.000 50	0.000 82	0.000 73	0.001 61	0.003 16
36	0.00081	0.000 66	0.001 38	0.003 06	0.000 68	0.001 05	0.000 99	0.002 03	0.003 98
40	0.000 90	0.000 75	0.001 52	0.003 37	0.000 78	0.001 16	0.001 13	0.002 24	0.004 38
48	0.001 07	0.000 94	0.001 79	0.003 98	0.000 97	0.001 39	0.001 41	0.002 65	0.005 17
64	0.001 41	0.001 33	0.002 32	0.005 17	0.001 39	0.001 84	0.002 00	0.003 47	0.006 71
80	0.001 75	0.001 75	0.002 84	0.006 34	0.001 83	0.002 28	0.002 62	0.004 27	0.008 22
100	0.002 18	0.002 30	0.003 47	0.007 76	0.002 40	0.002 83	0.003 44	0.005 25	0.010 08
120	—	0.002 87	0.004 09	0.009 16	—	—	0.004 30	0.006 22	0.011 89
140	—	0.003 46	0.008 09	0.010 54	—	—	0.005 19	0.007 18	0.013 69
280	—	0.008 06	0.010 39	0.019 81	—	—	0.012 09	0.013 68	0.025 71
320	—	—	0.011 56	0.022 37	—	—	—	0.015 49	0.029 04

表 C.13（续）

N_P	密封器件					非密封器件			
	双列直插（DIP）封装	扁平（FP）封装	插接阵列（含 PGA、BGA、LGA 和其他）封装	表面安装（PLCC、LCC、SO 和其他）封装	金属壳封装	双列直插（DIP）封装	扁平（FP）封装	插接阵列（含 PGA、BGA、LGA 和其他）封装	表面安装（PLCC、LCC、SO 和其他）封装
432	—	—	0.014 70	—	—	—	—	0.019 27	—
575	—	—	0.018 47	—	—	—	—	0.024 76	—
675	—	—	0.020 87	—	—	—	—	0.028 68	—
728	—	—	0.022 02	—	—	—	—	0.030 75	—
956	—	—	0.027 55	—	—	—	—	0.038 68	—
1144	—	—	0.031 80	—	—	—	—	0.045 42	—
1572	—	—	0.041 00	—	—	—	—	0.060 08	—
1925	—	—	0.047 48	—	—	—	—	0.070 77	—
2046	—	—	0.049 84	—	—	—	—	0.073 84	—

注：N_P 为引出端数目。

表 C.14　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.8	4.2	4.1	7.0	4.6	4.5	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	9.5	13	5.8	10	11	1.0	18	9.0	—

表 C.15　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	说明	π_Q
S	符合军用集成电路制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格产品目录（QPL）或军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有标准军用图纸号或详细规范号的宇航级产品或类宇航级产品	0.25
B	符合军用集成电路制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格产品目录（QPL）或军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有标准军用图纸号或详细规范号的军级产品	1.0
B−1	符合军用集成电路制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有标准军用图纸号的非塑料封装的其他质量等级的产品	2.0
B−2	符合军用集成电路制造总规范（性能规范），且列入军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有标准军用图纸号的塑料封装的产品 制造商按照军用微电路试验方法标准中相关规定要求组织生产的非军级产品 工作温度范围达到−55～125℃或覆盖此范围的更宽温度范围的产品	2.5
B−3	按照军用集成电路制造总规范（性能规范）、军用微电路试验方法标准中的试验要求进行筛选的 C−1 级产品	4.0
C−1	按照制造商规定的生产和试验流程制造和试验的工业级产品。工业级产品为符合下列质量要求的产品： a）已经采取了保证元器件设计和制造工艺质量的步骤； b）具备有效的反馈和纠正措施大纲，能够很快确定并解决制造及现场出现的问题； c）采购规范应明确重要的性能（电性能、机械性能、热性能和环境性能）及其可接受的批控制质量水平（例如：AQLs、DPMs 等）； d）产品及产品制造商应认证并且标明在合格清单中； e）生产批有足够的 AQLs/DPMs，保证产品质量一致性	6.0
C−2	其他民用或未知筛选等级的产品	10

表 C.16　微波单片集成电路芯片复杂度失效率 C_1　　单位为 10^{-6}/h

晶体管数 N_T	C_1
1～10	0.004 35
11～50	0.010 85
51～100	0.019 0
101～1 000	0.026 0

表 C.17　微波单片集成电路的温度应力系数 π_T

T_{ch} ℃	π_T	T_{ch} ℃	π_T	T_{ch} ℃	π_T	T_{ch} ℃	π_T
25	0.100	53	1.307	81	9.927	115	37.698
27	0.111	55	1.555	83	10.920	120	41.468
29	0.136	57	1.846	85	12.012	125	47.688
31	0.166	59	2.187	87	13.213	130	54.842
33	0.203	61	2.586	89	14.534	135	63.068
35	0.247	63	3.051	91	15.988	140	72.528
37	0.301	65	3.593	93	17.587	145	83.407
39	0.364	67	4.223	95	19.345	150	95.919
41	0.440	69	4.954	97	21.280	155	110.306
43	0.531	71	5.801	99	23.408	160	126.852
47	0.766	75	7.458	103	28.323	170	167.762
49	0.918	77	8.204	105	31.156	175	192.927
51	1.096	79	9.025	110	34.271	—	—
注：T_{ch} 为沟道温度。							

表 C.18　微波单片集成电路工艺系数 π_P

晶体管结构	GaAs MMIC			GaN MMIC
	MESFET	HBT	pHEMT	HEMT
π_P	1.0	1.2	3.8	0.2

表 C.19　微波单片集成电路应用系数 π_A

应用状态	π_A
小功率、开关、低噪声、驱动器	1.0
功率型	3.0

C.2.2.3　混合集成电路

混合集成电路是非标准的，并且也不能从它们的名称或功能上确定它们的复杂度。可使用以下方法来预计其失效率。

混合集成电路的工作失效率预计模型见式(C.3)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_F \quad \cdots\cdots (C.3)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h；

π_E——环境系数，见表 C.20；

π_Q——质量系数，见表 C.21；

π_T——温度应力系数，见表 C.22；

π_F——电路功能系数，见表 C.23。

基本失效率 λ_b 模型见式（C.4）。

$$\lambda_b = A_S\lambda_C + \lambda_{RT}N_{RT} + \sum\lambda_{DC}N_{DC} + \lambda_{SF} \quad \cdots\cdots (C.4)$$

式中：

$A_S\lambda_C + \lambda_{RT}N_{RT}$——衬底因素；

$A_S\lambda_C$——网络复杂度与衬底面积所导致的失效率，A_S 为衬底面积，cm^2；λ_C 为网络复杂度失效率，其值见表 C.24；

$\lambda_{RT}N_{RT}$——膜电阻总失效率；

λ_{RT}——单个膜电阻器失效率，10^{-6}/h，取值为 0.000 15；

N_{RT}——膜电阻数；

$\sum\lambda_{DC}N_{DC}$——外贴元器件失效率之和。外贴元器件包括封装的或未封装的半导体分立器件、半导体集成电路、电容器、电阻器以及感性元件等；

λ_{DC}——外贴元器件失效率，其值见表 C.25；

N_{DC}——外贴某一种类元器件数；

λ_{SF}——工艺和封装失效率，其值见表 C.26。

如果混合集成电路包括任何类型的连接器，连接器应当作附加元件。

表 C.20　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.9	4.2	4.5	7.0	4.8	5.0	3.2	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	9.5	13	5.8	10	11	1.0	18	9.0	—

表 C.21　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	说明	π_Q
S	符合军用混合集成电路制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有标准军用图纸号的宇航级产品	0.25
B	符合军用混合集成电路制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有标准军用图纸号的军级产品	1
B−1	符合军用混合集成电路制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），但备有的标准军用图纸号后缀中没有质量等级标记的产品	2
B−2	制造商按照军用微电路试验方法标准中相关规定要求组织生产的非军级产品 工作温度范围达到−55℃～125℃或覆盖此范围的更宽温度范围的产品	2.5
B−3	符合军用混合集成电路制造总规范（性能规范），属军级的降级，且工作温度范围一般为−40℃～85℃或者更宽的产品 符合军用混合集成电路制造总规范（性能规范），但在宇航级、军级、军级的降级三个等级的基础上增加特别规定和要求的产品	3

表 C.21(续)

质量等级	说明	π_Q
B−4	符合军用混合集成电路制造总规范(性能规范)，但质量等级由销售商规定，且工作温度范围一般为 0℃～70℃或者更宽的产品 按照军用混合集成电路制造总规范(性能规范)、军用微电路试验方法标准中的试验要求进行筛选的 C−1 级产品	4
C−1	按照制造商规定的生产和试验流程制造和试验的工业级产品。工业级产品为符合下列质量要求的产品： a) 已经采取了保证元器件设计和制造工艺质量的步骤； b) 具备有效的反馈和纠正措施大纲，能够很快确定并解决制造及现场出现的问题； c) 采购规范应明确重要的性能(电性能、机械性能、热性能和环境性能)及其可接受的批控制质量水平(例如：AQLs、DPMs 等)； d) 产品及产品制造商应认证并且标明在合格清单中； e) 生产批有足够的 AQLs/DPMs，保证产品质量一致性	6
C−2	其他民用或未知筛选等级的产品	10

表 C.22　温度应力系数 π_T

T ℃	π_{T1}	π_{T2}	T ℃	π_{T1}	π_{T2}
35	0.71	0.24	110	6.36	2.76
40	0.84	0.30	115	7.15	3.14
45	1.00	0.36	120	8.01	3.56
50	1.19	0.44	125	8.95	4.02
55	1.40	0.52	130	—	4.52
60	1.64	0.62	135	—	5.08
65	1.91	0.73	140	—	5.69
70	2.22	0.87	145	—	6.35
75	2.57	1.02	150	—	7.07
80	2.95	1.19	155	—	7.86
85	3.39	1.38	160	—	8.71
90	3.87	1.60	165	—	9.63
95	4.40	1.84	170	—	10.62
100	5.00	2.11	175	—	11.69
105	5.65	2.42	—	—	—
注：若 T 为电路封装底座的温度，则取 π_{T1} 的数值；若 T 为封装内的最高温度，则取 π_{T2} 的数值。					

表 C.23　电路功能系数 π_F

电路类型	π_F
数字	1.0
高频	1.1
微波	1.5
线性	2.0
功率	2.6

表 C.24　网络复杂度失效率 λ_C　　单位为 10^{-6}/h·cm^2

工艺	薄膜	厚膜
λ_C	0.001 3	0.001 6

表 C.25　混合集成电路外贴元器件的失效率 λ_{DC}　　单位为 10^{-6}/h

外贴元器件	λ_{DC}
微电路	
半导体集成电路与微波集成电路	当单片半导体集成电路作为外贴元器件时，λ_{DC} 为从 C.2.2.2 中算出的相应 λ_p，在计算时，取 $T_C=35$℃，$\pi_E=1$，质量等级及 π_Q 值见表 C.15
半导体分立器件	
整流二极管	0.000 33
开关二极管	0.00 35
瞬态抑制二极管	0.000 31
电压调整、电流调整、电压基准二极管	0.000 50
变容，阶跃、隧道、体效应、PIN 与雪崩二极管	0.000 94
微波硅检波二极管	0.004 2
微波硅混频二极管	0.001 3
功率晶体管	0.000 5
开关晶体管	0.000 6
达林顿晶体管	0.000 64
硅场效应晶体管	0.001 5
微波双极型晶体管	0.021
微波场效应晶体管	0.010
单结晶体管	0.003 4
闸流晶体管	0.006
电阻器	
膜电阻器	0.000 08
功率膜电阻器	0.000 29
普通线绕电阻器	0.001 30
精密线绕电阻器	0.003 04
功率线绕电阻器	0.000 42
片式膜电阻器	0.000 45
敏感电阻器	
热敏电阻器	0.002 04
压敏电阻器	0.000 45
光敏电阻器	0.001 38

表 C.25（续） 单位为 10^{-6}/h

外贴元器件	λ_{DC}
电位器	
普通线绕电位器	0.015 8
精密线绕电位器	0.040 5
微调线绕电位器	0.015 1
有机实芯电位器	0.001 1
低精密碳膜电位器	0.003 8
玻璃釉电位器	0.001 1
非线绕精密电位器	0.005 6
非线绕微调电位器	0.001 9
电容器	
纸和薄膜电容器	0.000 31
云母电容器	0.00014
1 类瓷介电容器	0.000 07
2 类瓷介电容器	0.000 1
固体钽电解电容器	0.000 43
非固体钽电解电容器	0.001 05
铝电解电容器	0.003 07
感性元件	
固定电感器	0.000 05
片式电感器	0.000 18
变压器	0.000 45

表 C.26 工艺和封装失效率 λ_{SF} 单位为 10^{-6}/h

工艺	厚膜	薄膜	厚膜−薄膜混合
λ_{SF}	0.01	0.01	0.015

C.2.3 声表面波器件

工作失效率预计模型见式(C.5)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \text{(C.5)}$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.27；

π_E——环境系数，见表 C.28；

π_Q——质量系数，见表 C.29。

表 C.27 基本失效率 λ_b 单位为 10^{-6}/h

类别	λ_b
声表面波器件(滤波器、振荡器、延迟线)	0.037

表 C.28 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.4	1.5	4.0	5.0	8.0	7.5	4.0	3.0	7.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	9.0	13	7.0	9.5	16	1.0	—	—	—

表 C.29 质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1.0
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.4 半导体分立器件

本条对下列类型半导体分立器件的工作失效率进行预计：

a) 二极管：
   1) 普通二极管：整流二极管、开关二极管、检波二极管、瞬态抑制二极管；
   2) 电压调整、电压基准及电流调整二极管；
   3) 微波二极管：微波硅检波、硅混频二极管；
   4) 变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管。

b) 晶体管：
   1) 双极型晶体管：功率晶体管、开关晶体管与达林顿晶体管；
   2) 硅场效应晶体管；
   3) 单结晶体管；
   4) 微波晶体管：微波双极型晶体管与微波场效应晶体管；
   5) 闸流晶体管。

一般半导体分立器件的工作失效率预计模型见式(C.6)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \cdots\cdots (C.6)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；
λ_b——基本失效率，见表 C.30；
π_E——环境系数，见表 C.31；
π_Q——质量系数，见表 C.32；
π_T——温度应力系数，见表 C.33；
π_S——应力系数，见表 C.34～表 C.36。

表 C.30 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

种类			λ_b
二极管	普通二极管	整流二极管	0.000 74
		开关二极管	0.000 77
		检波二极管	0.000 75
		瞬态抑制二极管	0.000 70

表 C.30（续）

单位为 10^{-6}/h

种类			λ_b
二极管	电压调整、电压基准及电流调整二极管		0.001 08
	微波二极管	检波二极管	0.008 87
		混频二极管	0.002 79
	变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管		0.001 98
晶体管	双极型晶体管	功率晶体管	0.001 13
		开关晶体管	0.001 30
		达林顿晶体管	0.001 42
	硅场效应晶体管		0.003 40
	微波晶体管	双极型晶体管	0.051 3
		场效应晶体管	0.025 6
	单结晶体管		0.007 53
	闸流晶体管		0.012 50

表 C.31　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.6	3.8	4.0	8.5	6.0	4.0	2.7	5.4
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11.5	10.5	18	5.8	9.0	15	0.45	20	10	—

表 C.32　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	说明	π_Q
JANS	符合军用半导体器件制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有相应详细规范号的宇航级产品	0.1
JANJ	符合军用半导体器件制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有相应详细规范号的准宇航级产品	0.15
JANTXV	符合军用半导体器件制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有相应详细规范号的超特军级产品	0.5
JANTX	符合军用半导体器件制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有相应详细规范号的特军级产品	1
JAN	符合军用半导体器件制造总规范（性能规范），且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录（QML），并备有相应详细规范号的军级产品	2
B−1	按照军用半导体器件制造总规范（性能规范）、军用半导体器件试验方法标准中的试验要求进行筛选的 B−2 级产品	3
B−2	按照制造商规定的生产和试验流程制造和试验的工业级产品	6
C	其他民用或未知筛选等级的产品	10

表 C.33　温度应力系数π_T

类别	T ℃																		
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
普通二极管	0.90	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65	1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.55	2.70	2.90	3.15
电压调整、电压基准及电流调整二极管	0.95	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.45	1.50	1.60	1.65	1.70	1.80	1.90	1.95	2.05
微波二极管	0.95	0.98	1.00	1.03	1.05	1.08	1.10	1.13	1.15	1.18	1.23	1.25	1.30	1.33	1.35	1.40	1.45	1.48	1.53
变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管	0.95	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.45	1.50	1.60	1.65	1.70	1.80	1.90	1.95	2.05
双极型晶体管	0.90	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65	1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.55	2.70	2.90	3.15
场效应晶体管	0.90	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65	1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.55	2.70	2.90	3.15
单结晶体管	0.90	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65	1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.55	2.70	2.90	3.15
微波晶体管	0.80	0.90	1.00	1.15	1.30	1.50	1.70	2.00	2.35	2.70	3.20	3.70	4.35	5.10	6.05	6.90	8.00	9.30	10.70
闸流晶体管	0.90	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.30	1.40	1.50	1.65	1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.55	2.70	2.90	3.15

表 C.34　普通二极管应力系数π_S

S_I [a]	S_V [b]								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.33	0.33	0.36	0.39
0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.44	0.44	0.48	0.52
0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.66	0.66	0.72	0.78
0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.77	0.77	0.84	0.91
0.5	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.2	1.3
0.6	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.43	1.43	1.56	1.69
0.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.98	1.98	2.16	2.34
0.8	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.64	2.64	2.88	3.12
0.9	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.52	3.52	3.84	4.16

[a] 电流负荷率：$S_I = \dfrac{I_{工作}}{I_{额定}}$；

[b] 电压负荷率：$S_V = \dfrac{V_{工作}}{V_{额定}}$。

表 C.35　普通双极型晶体管应力系数π_S

S_V [a]	S_P [b]								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.16	0.2	0.24	0.32	0.4	0.52	0.64	0.84	1.04
0.2	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.65	0.8	1.05	1.3
0.3	0.24	0.3	0.36	0.48	0.6	0.78	0.96	1.26	1.56

表 C.35(续)

S_V [a]	S_P [b]								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.4	0.32	0.4	0.48	0.64	0.8	1.04	1.18	1.68	2.08
0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.3	1.6	2.1	2.6
0.6	0.52	0.65	0.78	1.04	1.3	1.69	2.08	2.73	3.38
0.7	0.64	0.8	0.96	1.28	1.6	2.08	2.56	3.36	4.16
0.8	0.84	1.05	1.26	1.68	2.1	2.73	3.36	4.41	5.46
0.9	1.04	1.3	1.56	2.08	2.6	3.38	4.16	5.46	6.76

[a] 电压负荷率：$S_V = \frac{V_{工作}}{V_{额定}}$；

[b] 功率负荷率：$S_P = \frac{P_{工作}}{P_{额定}}$。

表 C.36　其他晶体管和二极管的应力系数π_S

类别	S								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
电压调整、电压基准及电流调整二极管	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6
微波二极管	0.3	0.4	0.6	0.7	1.0	1.3	1.8	2.4	3.2
变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩二极管	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	1.5	2.3	3.4	5.2
硅场效应晶体管	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6
单结晶体管	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6
微波晶体管	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6
闸流晶体管	0.3	0.4	0.6	0.7	1.0	1.3	1.8	2.4	3.2

C.2.5　光电子器件

本条对下列类型光电子器件的工作失效率进行预计：

a)　发光二极管；
b)　红外发光二极管；
c)　光电二极管；
d)　激光二极管；
e)　光电晶体管；
f)　简单式光电耦合器；
g)　复合式光电耦合器；
h)　数码管；
i)　光电二极管探测器；
j)　光电晶体管探测器；
k)　光纤发光二极管模块；
l)　光纤激光模块；
m)　光纤探测器模块。

光电子器件的工作失效率预计模型见式(C.7)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \tag{C.7}$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.37；

π_E——环境系数，见表 C.38；

π_Q——质量系数，见表 C.39；

π_T——温度应力系数，见表 C.40。

表 C.37 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

种类		λ_b
发光二极管		0.000 03
红外发光二极管		0.000 26
光电二极管		0.000 69
激光二极管		0.000 01
光电晶体管		0.002 6
简单式光电耦合器		0.001 23
复合式光电耦合器		0.004 93
单位数码管		0.000 3
多位数码管		0.000 1＋0.000 27×位数
光电二极管探测器	单隔离	0.000 85
	双隔离	0.001 33
光电晶体管探测器	单隔离	0.000 38
	双隔离	0.000 65
光纤发光二极管模块		0.02
光纤激光模块		0.18
光纤探测器模块		0.12
注：数码管应按内含芯片数计算其失效率，表内系指单个芯片的数据。 模块定义为包括发光二极管或探测器的小封装组件，其电连接和光耦合的方式较简易。如果模块中包含其他的电子器件或混合电路，此时失效率应加上附加的失效率。		

表 C.38 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3.0	2.4	6.5	4.0	3.7	2.2	5.1
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	7.5	5.6	13.0	4.0	6.0	12	1.0	20	12	—

表 C.39　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	说明	π_Q
JANS	符合军用半导体器件制造总规范(性能规范)，且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录(QML)，并备有相应详细规范号的宇航级产品	0.15
JANJ	符合军用半导体器件制造总规范(性能规范)，且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录(QML)，并备有相应详细规范号的准宇航级产品	0.2
JANTXV	符合军用半导体器件制造总规范(性能规范)，且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录(QML)，并备有相应详细规范号的超特军级产品	0.75
JANTX	符合军用半导体器件制造总规范(性能规范)，且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录(QML)，并备有相应详细规范号的特军级产品	1
JAN	符合军用半导体器件制造总规范(性能规范)，且列入制造国军用电子元器件合格制造商目录(QML)，并备有相应详细规范号的军级产品	3
B−1	按照军用半导体器件制造总规范(性能规范)、军用半导体器件试验方法标准中的试验要求进行筛选的B−2级产品	4.5
B−2	按照制造商规定的生产和试验流程制造和试验的工业级产品	6
C	其他民用或未知筛选等级的产品	10

表 C.40　温度应力系数π_T

T ℃	类型			
	光电耦合器、光电探测器、光纤探测器模块	激光二极管	发光二极管、红外发光二极管、光纤发光二极管模块	其他
30	0.920	0.900	0.900	0.850
32	0.950	0.925	0.900	0.875
34	0.950	0.925	0.920	0.900
36	0.975	0.950	0.950	0.920
38	0.975	0.975	0.975	0.950
40	1.000	1.000	1.000	1.000
42	1.025	1.025	1.025	1.050
44	1.025	1.050	1.050	1.100
46	1.050	1.075	1.100	1.150
48	1.075	1.100	1.125	1.225
50	1.100	1.150	1.175	1.30
52	1.125	1.175	1.225	1.400
54	1.150	1.225	1.250	1.500
56	1.175	1.275	1.325	1.625
58	1.200	1.30	1.375	1.775
60	1.225	1.35	1.425	1.950
65	1.300	1.50	1.60	2.450
70	1.375	1.675	1.825	3.175
75	1.450	1.850	2.100	4.150
80	1.55	2.10	2.400	4.475
85	1.675	2.350	2.775	6.275

表 C.40（续）

T ℃	类型			
	光电耦合器、光电探测器、光纤探测器模块	激光二极管	发光二极管、红外发光二极管、光纤发光二极管模块	其他
90	1.800	2.675	3.225	8.650
95	1.925	3.050	3.775	12.825
100	2.075	3.475	4.400	16.975
105	2.250	3.950	5.150	22.400
110	2.425	4.500	6.025	29.400
115	2.600	5.150	7.025	38.425
120	2.825	5.850	8.200	50.150
130	3.300	7.600	11.125	82.825
140	3.575	9.800	14.925	109.450
150	4.225	12.55	19.875	211.075

C.2.6 真空电子器件

工作失效率预计模型见式（C.8）。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad \text{(C.8)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.41；

π_E——环境系数，见表 C.42；

π_Q——质量系数，见表 C.43。

表 C.41 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别		λ_b
速调管	连续波	1.6
	脉冲	0.79
行波管		1.4
磁控管	连续波	1.55
	脉冲	6.3

表 C.42 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.4	3.2	3.8	7.0	8.0	5.5	2.5	5.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11	10	14	4.5	11.5	17	1.0	20	10	—

表 C.43　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.7　电阻器

本条对下列类型电阻器的工作失效率进行预计：

a)　膜电阻器，包括碳膜、氧化物膜、金属膜电阻器和功率膜电阻器；

b)　线绕电阻器，包括普通线绕电阻器、精密线绕电阻器；

c)　功率线绕电阻器；

d)　片式膜电阻器；

e)　电阻网络。

一般电阻器的工作失效率预计模型见式(C.9)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \tag{C.9}$$

其中电阻网络的工作失效率预计模型见式(C.10)。

$$\lambda_p = N \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \tag{C.10}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，表 C.44；

π_E——环境系数，见表 C.45；

π_Q——质量系数，见表 C.46；

π_T——温度应力系数，见表 C.47；

π_S——电应力系数，见表 C.48；

N——网络电阻数。

表 C.44　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型			λ_b
膜电阻器	碳膜、氧化物膜、金属膜电阻器(P≤1W)	≤1MΩ	0.000 08
		＞1MΩ	0.000 25
	功率膜电阻器(P＞1W)	≤1MΩ	0.000 3
		＞1MΩ	0.000 62
线绕电阻器	普通线绕电阻器		0.001 37
	精密线绕电阻器	≤1MΩ	0.003 2
		＞1MΩ	0.008 2
功率线绕电阻器			0.000 47
片式膜电阻器			0.000 5
电阻网络	每个分立元件		0.000 43
	厚薄膜		0.000 26

表 C.45　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.4	2.8	3.1	4.5	4.5	3.3	2.0	3.9
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	8.3	4.0	8.4	2.6	4.6	9.5	0.5	17	9.0	—

表 C.46　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
	P	0.3
	M	1
执行军用规范但无可靠性指标的产品		3
其他民用或未知筛选等级的产品		10

表 C.47　温度应力系数π_T

类别		T ℃																		
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
膜电阻器	碳膜、氧化物膜、金属膜电阻器（P≤1W）	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
	功率膜电阻器（P>1W）	0.95	1.0	1.0	1.0	1.05	1.05	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1	1.15	1.15	1.15	1.15	1.2	1.2	1.2	1.25
线绕电阻器		0.95	0.95	1.0	1.05	1.05	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.25	1.3	1.35	1.35	1.4	1.45	1.5	1.5	1.55
功率线绕电阻器		0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
片式膜电阻器		0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
电阻网络		0.85	0.9	1.0	1.1	1.25	1.4	1.6	1.8	2.05	2.35	2.65	3.05	3.5	4.0	4.55	5.15	5.85	6.65	7.5

表 C.48　电应力系数π_S

类别	S								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
膜电阻器(碳膜、氧化物膜、金属膜电阻器)、片式膜电阻器	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
功率膜电阻器	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
线绕电阻器、功率线绕电阻器	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
注：电阻网络π_S=1。									

C.2.8 敏感电阻器

本条对下列类型敏感电阻器的工作失效率进行预计：

a） 热敏电阻器；

b） 压敏电阻器；

c） 光敏电阻器。

一般敏感电阻器的工作失效率预计模型见式（C.11）。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \qquad (C.11)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，表 C.49；

π_E——环境系数，见表 C.50；

π_Q——质量系数，见表 C.51；

π_T——温度应力系数，见表 C.52。

表 C.49 基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
热敏电阻器	0.002 55
压敏电阻器	0.000 56
光敏电阻器	0.001 73

表 C.50 环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.4	2.8	3.1	4.5	4.5	3.3	2.0	3.9
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	－
π_E	8.3	4.0	8.4	2.6	4.6	9.5	0.5	17	9.0	－

表 C.51 质量等级与质量系数 π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
有可靠性指标	P	0.3
	M	1
执行军用规范但无可靠性指标的产品		3
其他民用或未知筛选等级的产品		10

表 C.52 温度应力系数 π_T

T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T
30	0.8	55	1.5	80	3.2	105	6.9
35	0.9	60	1.7	85	3.7	110	8.0
40	1.0	65	2.0	90	4.35	115	9.3
45	1.15	70	2.35	95	5.1	120	10.7
50	1.3	75	2.7	100	5.95		

C.2.9 电位器

本条对下列类型电位器的工作失效率进行预计：

a) 线绕电位器：
   1) 普通线绕电位器；
   2) 精密线绕电位器；
   3) 微调线绕电位器。

b) 非线绕电位器：
   1) 有机实芯电位器；
   2) 合成碳膜电位器；
   3) 玻璃釉电位器；
   4) 非线绕精密电位器；
   5) 非线绕微调电位器。

电位器的工作失效率预计模型见式(C.12)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \quad \text{(C.12)}$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.53；

π_E——环境系数，见表 C.54；

π_Q——质量系数，见表 C.55；

π_T——温度应力系数，见表 C.56；

π_S——电应力系数，见表 C.57。

表 C.53 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别		λ_b
线绕电位器	普通线绕	0.017 6
	精密线绕	0.045 0
	微调线绕	0.015 9
非线绕电位器	有机实芯	0.001 2
	低精密碳膜	0.004 2
	玻璃釉	0.001 27
	精密	0.006 2
	微调	0.002 0

表 C.54 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3	3.3	6.5	5.5	3.2	1.8	3.3
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	7.0	6.0	11	3.0	7.8	16.4	1.0	—	—	—

表 C.55　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
有可靠性指标	P	0.3
	M	1
执行军用规范但无可靠性指标的产品		6
其他民用或未知筛选等级的产品		10

表 C.56　温度应力系数π_T

类别		T ℃																		
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
线绕电位器	普通	0.9	0.95	1.0	1.05	1.15	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65	1.75	1.9	2.05	2.2	2.35	2.55	2.7	2.9	3.15
	精密	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
	微调	0.95	0.95	1.0	1.05	1.05	1.1	1.1	1.15	1.2	1.25	1.25	1.3	1.35	1.35	1.4	1.45	1.5	1.5	1.55
非线绕电位器	有机实芯	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
	低精密碳膜	0.9	0.95	1.0	1.05	1.15	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65	1.75	1.9	2.05	2.2	2.35	2.55	2.7	2.9	3.15
	玻璃釉	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
	精密	0.9	0.95	1.0	1.05	1.15	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65	1.75	1.9	2.05	2.2	2.35	2.55	2.7	2.9	3.15
	微调	0.95	0.95	1.0	1.05	1.05	1.1	1.1	1.15	1.2	1.25	1.25	1.3	1.35	1.35	1.4	1.45	1.5	1.5	1.55

表 C.57　电应力系数π_S

类别		S								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
线绕电位器	普通	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
	精密	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
	微调	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
非线绕电位器	有机实芯	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
	低精密碳膜	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
	玻璃釉	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
	精密	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
	微调	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3

C.2.10　电容器

本条对下列类型电容器的工作失效率进行预计：

a)　纸和薄膜电容器，包括：纸介电容器、纸−膜复合介质、薄膜电容器；

b)　云母电容器；

c)　瓷介电容器；

d)　铝电解电容器；

e) 固体钽电解电容器；

f) 非固体钽电解电容器；

g) 氧化铌电解电容器；

h) 可变电容器，包括瓷介微调、玻璃介质、空气介质和真空可变电容器；

i) 电容网络。

一般固定电容器和可变电容器的工作失效率预计模型见式(C.13)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \pi_{ch} \quad \text{(C.13)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.58；

π_E——环境系数，见表 C.59；

π_Q——质量系数，见表 C.60；

π_T——温度应力系数，见表 C.61；

π_S——应力系数，见表 C.62；

π_{ch}——表面贴装系数，见表 C.63。

电容网络工作失效率预计模型见式(C.14)。

$$\lambda_P = N \lambda_{P(单)} \quad \text{(C.14)}$$

式中：

N——电容器个数；

$\lambda_{p(单)}$——单个电容器的工作失效率，10^{-6}/h。

表 C.58 基本失效率 λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别		λ_b
纸和薄膜电容器	纸介	0.001 59
	纸－膜复合介质	0.000 58
	薄膜	0.000 33
云母电容器		0.000 18
瓷介电容器		0.000 08
铝电解电容器	＜400μF	0.000 19
	≥400μF	0.003 84
固体钽电解电容器	密封	0.000 48
	非密封	0.000 10
非固体钽电解电容器		0.001 17
氧化铌电解电容器		0.000 70
可变电容器	瓷介微调	0.002 27
	玻璃介质	0.001 29
	空气介质	0.003 07
	真空	0.011

表 C.59　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.08	1.5	2.5	2.8	4.6	4.2	2.8	1.9	3.7
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	5.5	4.0	8.0	3.1	4.8	7	1.0	11	6	—

表 C.60　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
	P	0.3
	M	1
执行军用规范但无可靠性指标的产品		3
其他民用或未知筛选等级的产品		10

表 C.61　温度应力系数π_T

类别		T ℃																		
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
纸和薄膜电容器	纸介、纸−膜复合介质	0.95	0.95	1.0	1.05	1.05	1.1	1.1	1.15	1.2	1.25	1.25	1.3	1.35	1.35	1.4	1.45	1.5	1.5	1.55
	薄膜	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
云母电容器		0.8	0.9	1.0	1.15	1.3	1.5	1.6	2.0	2.35	2.7	3.2	3.7	4.35	5.1	5.95	6.9	7.0	8.3	10.7
瓷介电容器		0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
铝电解电容器		0.8	0.9	1.0	1.15	1.3	1.5	1.6	2.0	2.35	2.7	3.2	3.7	4.35	5.1	5.95	6.9	7	8.3	10.7
固体钽电解电容器		0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
非固体钽电解电容器		0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
氧化铌电解电容器		0.8	0.9	1.0	1.15	1.3	1.5	1.6	2.0	2.35	2.7	3.2	3.7	4.35	5.1	5.95	6.9	7	8.3	10.7
可变电容器	瓷介	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.45	1.5	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	1.95	2.05
	玻璃介质、空气介质	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.45	1.6	1.65	1.9	2.1	2.35	2.6	2.85	3.15	3.5	3.85	4.2	4.65
	真空	0.95	0.95	1.0	1.05	1.05	1.1	1.1	1.15	1.2	1.25	1.25	1.3	1.35	1.35	1.4	1.45	1.5	1.5	1.55

表 C.62　电应力系数π_S

类别		S								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
纸和薄膜电容器		0.1	0.2	0.3	0.6	1.0	1.8	3.3	5.9	10.6
云母电容器		0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4	2.0	2.9	4.1
瓷介电容器		0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	1.5	2.3	3.4	5.2
铝电解电容器		0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6
固体钽电解电容器		0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4	2.0	2.9	4.1
非固体钽电解电容器		0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4	2.0	2.9	4.1
氧化铌电解电容器		0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6
可变电容器	瓷介微调	0.1	0.2	0.3	0.6	1.0	1.8	3.3	5.9	10.6
	玻璃介质	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	1.5	2.3	3.4	5.2
	空气介质	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	1.5	2.3	3.4	5.2
	真空	0.2	0.3	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3

表 C.63　表面贴装系数π_{ch}

电容器种类	π_{ch}	
	片式	有引线(包含有引线 SMT，通孔式)
薄膜电容器	1.1	1.0
云母电容器	1.3	1.0
瓷介电容器	1.3	1.0
铝电解电容器	1.1	1.0
固体钽电解电容器	1.1	1.0
氧化铌电解电容器	1.1	1.0

C.2.11　感性元件

C.2.11.1　概述

本条主要对以下感性元件的工作失效率进行预计：

a)　电感器，包括：固定电感器、可变电感器、扼流圈；

b)　片式电感器；

c)　变压器，包括：电源变压器、脉冲变压器、高压变压器、音频变压器、中频变压器、射频变压器。

C.2.11.2　电感器

本条对下列类型电感器的工作失效率进行预计：

a)　固定电感器；

b)　可变电感器；

c)　扼流圈。

电感器的工作失效率预计模型见式(C.15)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \quad \text{(C.15)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.64；

π_E——环境系数，见表 C.65；

π_Q——质量系数，见表 C.66；

π_T——温度应力系数，见表 C.67。

表 C.64 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
固定电感器	0.000 11
可变电感器	0.000 93
扼流圈	0.002 40

表 C.65 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	4.0	3.8	8.0	5.0	3.5	2.2	4.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	13	7.5	15	6.0	8.0	14	1.0	20	12	—

表 C.66 质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
有可靠性指标	P	0.3
	M	1.0
执行军用规范但无可靠性指标的产品		1.0
民品或未知筛选等级的产品		3.0

表 C.67 温度应力系数π_T

T ℃	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120
π_T	0.95	0.975	1.0	1.025	1.05	1.075	1.1	1.125	1.15	1.175	1.2	1.225	1.25	1.3	1.35	1.4	1.5

C.2.11.3 片式电感器

工作失效率预计模型见式(C.16)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \qquad (C.16)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，取值为 0.000 39；

π_E——环境系数，见表 C.68；

π_Q——质量系数，见表 C.69；

π_T——温度应力系数，见表 C.70。

表 C. 68　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	4.0	3.0	6.0	4.0	3.5	2.2	4.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	12.5	7.5	16	5.5	7.0	13	1.0	20	12	—

表 C. 69　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
	P	0.3
	M	1.0
执行军用规范但无可靠性指标的产品		1.0
其他民用或未知筛选等级的产品		3.0

表 C. 70　温度应力系数π_T

T ℃	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120
π_T	0.95	0.975	1.0	1.025	1.05	1.075	1.1	1.125	1.15	1.175	1.2	1.225	1.25	1.3	1.35	1.4	1.5

C. 2. 11. 4　变压器

本条对下列类型变压器的工作失效率进行预计：

a)　电源变压器；

b)　脉冲变压器，包括：小功率脉冲变压器和大功率脉冲变压器；

c)　高压变压器；

d)　音频变压器；

e)　中频变压器；

f)　射频变压器。

变压器的工作失效率预计模型见式(C.17)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \quad \text{(C.17)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.71；

π_E——环境系数，见表 C.72；

π_Q——质量系数，见表 C.73；

π_T——温度应力系数，见表 C.74。

表 C.71　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别	λ_b
电源变压器	0.003 10
小功率脉冲变压器	0.000 90
大功率脉冲变压器	0.003 12
音频变压器	0.000 62
中频变压器	0.000 64
高压变压器、射频变压器	0.001 33

表 C.72　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	4.0	3.8	8.0	5.0	3.5	2.2	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	14.5	7.5	16	6.0	8.0	15	1.0	22	12	—

表 C.73　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	3

表 C.74　温度应力系数π_T

T ℃	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120
π_T	0.95	0.975	1.0	1.025	1.05	1.075	1.1	1.125	1.15	1.175	1.2	1.225	1.25	1.3	1.35	1.4	1.5

C.2.12　继电器

本条对下列类型继电器的工作失效率进行预计：

a)　机电继电器：
  1)　通用(电磁)继电器；
  2)　真空继电器；
  3)　簧管式继电器；
  4)　热延时，双金属继电器；
  5)　接触器式继电器。

b)　固体继电器。

继电器的工作失效率预计模型见式(C.18)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \quad \text{(C.18)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.75；

π_E——环境系数，见表 C.76；

π_Q——质量系数，见表 C.77；

π_T——温度应力系数，见表 C.78；

π_S——电应力系数，见表 C.79。

表 C.75　基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

类型		λ_b
机电继电器	通用(电磁)继电器	0.004 4
	真空继电器	0.007 0
	簧管式继电器	0.006 8
	热延时，双金属继电器	0.008 0
	接触式继电器	0.042 3
固体继电器		0.007 5

表 C.76　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.5	3.0	4.0	8.5	6.0	5.0	3.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11	6.0	11	4.0	8.0	13	0.7	25	12.5	—

表 C.77　质量等级与质量系数π_Q

质量等级		π_Q
有可靠性指标	S	0.03
	R	0.1
	P	0.3
	M	1.0
	L	1.5
执行军用规范但无可靠性指标的产品		1.5
民品或未知筛选等级的产品		3.0

表 C.78　温度应力系数π_T

$\frac{T}{℃}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120
π_T	0.95	0.975	1.0	1.025	1.05	1.125	1.15	1.175	1.2	1.225	1.275	1.3	1.35	1.375	1.4	1.5	1.575

表 C.79　电应力系数π_S

S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
π_S	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5
注：电应力比为实际接触电流与额定电流的比。								

C.2.13　开关

本条对下列类型开关的工作失效率进行预计：

a) 旋转开关；
b) 微动开关；
c) 钮子开关；
d) 按钮开关；
e) 滑动开关；
f) 行程开关。

开关的工作失效率预计模型见式(C.19)。

$$\lambda_p = (\lambda_{b1} + \lambda_{b2})\pi_E\pi_Q\pi_T\pi_S \tag{C.19}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；
λ_{b1}——开关驱动机构的基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.80；
λ_{b2}——开关有源接点的基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.81；
π_E——环境系数，见表 C.82；
π_Q——质量系数，见表 C.83；
π_T——温度应力系数，见表 C.84；
π_S——电应力系数，见表 C.85。

表 C.80　基本失效率 λ_{b1}　　单位为 10^{-6}/h

类型	λ_{b1}
旋转开关	0.003 26
微动开关	0.000 80
钮子开关	0.000 47
按钮开关	0.000 18
滑动开关	0.000 53
行程开关	0.000 64

表 C.81　开关有源接点的基本失效率 λ_{b2}　　单位为 10^{-6}/h

N	2	3	4	6	8	9	10	12	18	N
λ_{b2}	0.001 6	0.002 4	0.003 2	0.004 8	0.006 4	0.007 2	0.008 0	0.009 6	0.014 4	0.000 8N
注：N 为有源接点数，指实际接通电流的动触点数。										

表 C.82　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.6	3.1	4.9	6.0	5.5	3.5	2.3	4.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	7.5	4.6	6.0	2.5	3.6	12	1.0	33	17	—

表 C.83　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	π_Q
完全按军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2

表 C.84 温度应力系数π_T

T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T
30	0.95	55	1.125	80	1.550	105	2.500
35	0.975	60	1.175	85	1.690	110	2.750
40	1.00	65	1.250	90	1.838	115	3.125
45	1.040	70	1.375	95	2.025	120	3.500
50	1.075	75	1.475	100	2.250	125	4.125

表 C.85 电应力系数π_S

S	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
π_S	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
注：电应力比为实际接触电流与额定电流的比。									

C.2.14 电连接器

本条对下列类型连接器的工作失效率进行预计：

a) 低频连接器：圆形连接器、矩形连接器、印制电路板用连接器；

b) 射频同轴连接器。

电连接器的工作失效率预计模型见式(C.20)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_P \quad \text{(C.20)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，表 C.86；

π_E——环境系数，见表 C.87；

π_Q——质量系数，见表 C.88；

π_T——温度应力系数，见表 C.89；

π_P——接触件系数，见表 C.90。

表 C.86 基本失效率λ_b　　单位为 10^{-6}/h

类别		λ_b
低频连接器	圆形及矩形	0.000 05
	印制电路板	0.000 24
射频同轴连接器	射频同轴	0.000 08

表 C.87 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.4	2.8	3.0	5.6	4.2	2.0	1.8	3.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	8.0	3.2	6.0	2.1	5.0	14	1.0	12	5.5	—

表 C.88 质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
完全按照商用识别图纸采购的产品	2
其他民用或未知筛选等级的产品	4

表 C.89 温度应力系数π_T

T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T	T ℃	π_T
30	0.8	55	1.5	80	3.2	105	7.0	130	14.5
35	0.9	60	1.7	85	3.75	110	8.0	135	16.5
40	1.0	65	2.0	90	4.85	115	9.5	140	18.5
45	1.15	70	2.35	95	5.1	120	11	145	21.5
50	1.3	75	2.75	100	6.0	125	13.5	150	24.5

表 C.90 接触件系数π_P

n	1	2	3	4	5	6
π_P	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51
n	7	8	9	10	11	12
π_P	1.62	1.72	1.82	1.92	2.02	2.13
n	13	14	15	16	17	18
π_P	2.23	2.33	2.43	2.53	2.64	2.74
n	19	20	25	30	35	40
π_P	2.84	2.94	3.45	3.96	4.47	4.98
n	45	50	55	60	65	70
π_P	5.49	6.00	6.51	7.02	7.53	8.04
n	75	80	85	90	95	100
π_P	8.55	9.06	9.57	10.08	10.59	11.10
注：n 为实际使用的接触件数，$n>100$ 时，$\pi_P=15$。						

C.2.15 微特电机

本条对下列类型微特电机的工作失效率进行预计：

a) 电动机和风机；

b) 自整角和旋转变压器；

c) 时间累加器。

微特电机的工作失效率预计模型见式(C.21)。

$$\lambda_P = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad \text{(C.21)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.91；

π_E——环境系数，见表 C.92；

π_Q——质量系数，见表 C.93。

表 C.91 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类型		λ_b
电动机	高速 ＞10 000r/min	0.016
	中速 ≥1 000r/min ≤10 000r/min	0.008
	低速＜1 000r/min	0.005
	整流式	0.056
风机	高速＞10 000r/min	0.06
	中速 ≥1 000r/min ≤10 000r/min	0.028
	低速 ＜1 000r/min	0.02
自整角和旋转变压器		0.01
时间累加器	普通(交直流)	0.22
	可逆驱动	0.37
	整流子式直流	1.2

表 C.92 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.2	1.5	3.5	3.0	8.0	4.0	3.5	1.8	4.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	4.0	12	2.5	7.4	13	1.0	21.6	11	—

表 C.93 质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.16 磁性器件

工作失效率预计模型见式(C.22)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \cdots\cdots (C.22)$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.94；

π_E——环境系数，见表 C.95；

π_Q——质量系数，见表 C.96。

表 C.94 基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别	λ_b
大功率磁性器件、隔离器、放大器、回转器、调制器、环行器、移相器、耦合器	0.05
小功率磁性器件(接收机用)	0.02

表 C.95　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1	1.1	1.4	3.2	3.8	7	4.5	4	2.5	5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	11	6	10	3.5	5.5	13	1	20	10	—

表 C.96　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.17　振荡器和谐振器

工作失效率预计模型见式(C.23)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad \text{(C.23)}$$

式中：

λ_p——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.97；

π_E——环境系数，见表 C.98；

π_Q——质量系数，见表 C.99。

表 C.97　基本失效率λ_b

单位为 10^{-6}/h

类别		λ_b
振荡器	通用	0.002 6
	压控	0.004 5
	温补	0.004 0
谐振器		0.005 2

表 C.98　环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1.0	1.1	1.3	3.3	3.5	10	7.5	5.0	2.0	6.0
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	12	13	20	8.0	14	17	0.6	26	13	—

表 C.99　质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.18 滤波器

本条对下列类型滤波器的工作失效率进行预计：

a) LC 滤波器；
b) 压电陶瓷滤波器；
c) 介电滤波器；
d) 石英晶体滤波器；
e) 机械滤波器。

工作失效率预计模型见式(C.24)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad \text{(C.24)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，表 C.100；

π_E——环境系数，见表 C.101；

π_Q——质量系数，见表 C.102。

表 C.100 基本失效率λ_b 单位为 10^{-6}/h

类型	λ_b
LC 滤波器	0.005 0
压电陶瓷滤波器	0.002 9
介电滤波器	0.005 5
石英晶体滤波器	0.002 0
机械滤波器	0.003 7

表 C.101 环境系数π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1	1.1	1.4	3.2	3.8	7	4.5	4	2.5	5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	10	8	11	5	6.5	10.5	1	20	10.8	—

表 C.102 质量等级与质量系数π_Q

质量等级	π_Q
完全按军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2

C.2.19 电池

工作失效率预计模型见式(C.25)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad \text{(C.25)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.103；

π_E——环境系数，见表 C.104；

π_Q——质量系数，见表 C.105。

表 C.103　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

种类	硅太阳能电池、砷化镓太阳能电池	氢镍蓄电池	镉镍蓄电池	锂离子蓄电池	铅酸蓄电池
λ_b	0.002	0.092	0.051	0.025 5	0.04

表 C.104　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1	1.1	1.2	1.8	2	3.5	3	2	1.5	2.5
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	4	4.2	5	3	4.3	5	1	4	4.2	—

表 C.105　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.20　灯

工作失效率预计模型见式(C.26)。

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \qquad \text{(C.26)}$$

式中：

λ_P——工作失效率，10^{-6}/h；

λ_b——基本失效率，10^{-6}/h，见表 C.106；

π_E——环境系数，见表 C.107；

π_Q——质量系数，见表 C.108。

表 C.106　基本失效率 λ_b　　单位为 10^{-6}/h

类别	λ_b
氖灯	0.04
白炽灯	0.12

表 C.107　环境系数 π_E

环境	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}
π_E	1	1.1	1.2	2	2.2	3.6	3.2	2.4	1.3	2.8
环境	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F	—
π_E	4	4.1	5	3	4.2	5	1	4	4	—

表 C.108　质量等级与质量系数 π_Q

质量等级	π_Q
完全按照军用规范采购的产品	1
其他民用或未知筛选等级的产品	2.5

C.2.21 其他电子元器件

进口元器件的其他电子元器件见表 C.109。

表 C.109 其他元器件工作失效率 λ_P

单位为 10^{-6}/h

其他器件类型			环境																		
			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
陀螺仪			0.414	0.497	0.745	1.863	2.277	4.140	3.519	2.070	0.994	2.691	6.210	5.796	8.280	2.898	4.554	13.662	0.207	24.840	11.178
光纤连接器			0.008 4	0.010 1	0.011 8	0.023 5	0.025 2	0.047 0	0.035 3	0.016 8	0.015 1	0.025 2	0.067 2	0.026 9	0.050 4	0.017 6	0.042 0	0.117 6	0.008 4	0.100 8	0.046 2
振子	60Hz		7.7	9.24	13.09	33.11	42.35	73.15	65.45	38.5	18.48	50.05	107.8	100.1	146.3	53.9	84.7	254.1	3.85	446.6	207.9
	120Hz		10	12	17	43	55	95	85	50	24	65	140	130	190	70	110	330	5	580	270
	400Hz		21	25.2	35.7	90.3	115.5	199.5	178.5	105	50.4	136.5	294	273	399	147	231	693	10.5	1218	567
陶瓷共鸣器			0.013	0.013	0.013	0.035	0.039	0.108	0.082	0.048	0.022	0.065	0.13	0.143	0.217	0.087	0.152	0.173	0.009	0.282	0.143
断路器	保护用(每个电极)		0.05	0.06	0.08	0.15	0.20	0.43	0.30	0.25	0.15	0.30	0.55	0.30	0.55	0.20	0.40	0.65	0.04	1.25	0.63
	电源开关用(每个电极)		0.87	0.97	1.33	2.61	3.48	7.42	5.22	4.35	2.61	5.22	9.57	5.22	9.57	3.48	6.96	11.31	0.61	21.75	10.90
保险丝	≤30A		0.000 4	0.000 5	0.000 6	0.001 1	0.001 3	0.001 8	0.001 8	0.001 4	0.000 8	0.001 6	0.003 4	0.001 6	0.003 4	0.001 0	0.001 8	0.003 8	0.000 2	0.006 8	0.003 6
	>30A		0.000 8	0.001 0	0.001 1	0.002 2	0.002 6	0.003 7	0.003 5	0.002 7	0.001 6	0.003 2	0.006 7	0.003 2	0.006 7	0.002 1	0.003 7	0.007 7	0.000 5	0.013 6	0.007 2
仪表			0.15	0.18	0.3	0.45	0.81	1.2	0.84	0.81	0.36	0.81	1.2	1.95	2.7	1.65	2.25	3	0.15	4.2	1.95
微波元件	同轴线及波导管负载		0.007 7	0.008 5	0.010 8	0.024 6	0.029 3	0.053 9	0.034 9	0.030 8	0.019 5	0.038 5	0.084 7	0.046 2	0.077 0	0.027 2	0.042 6	0.100 1	0.007 7	0.154 0	0.077 0
	衰减器(固定或可调)		0.003 8	0.004 2	0.005 3	0.012 2	0.014 4	0.026 6	0.017 2	0.015 2	0.009 6	0.019 0	0.041 8	0.022 8	0.038 0	0.013 4	0.021 0	0.049 4	0.003 8	0.076 0	0.038 0
	固定元件	定向耦合器	0.001 1	0.001 2	0.001 6	0.003 6	0.004 2	0.007 8	0.005 0	0.004 4	0.002 8	0.005 6	0.012 2	0.006 7	0.011 1	0.003 9	0.006 1	0.014 4	0.001 1	0.022 2	0.011 1
		固定短线 腔体	0.005 1	0.005 6	0.007 1	0.016 3	0.019 4	0.035 7	0.023 1	0.020 4	0.012 9	0.025 5	0.056 1	0.030 6	0.051 0	0.018 0	0.028 2	0.066 3	0.005 1	0.102 0	0.051 0
	可变元件	可调短线	0.051	0.056	0.071	0.163	0.194	0.357	0.231	0.204	0.129	0.255	0.561	0.306	0.510	0.180	0.282	0.663	0.051	1.020	0.510
		可调腔体	0.011	0.012	0.015	0.035	0.042	0.077	0.050	0.044	0.028	0.055	0.121	0.066	0.110	0.039	0.061	0.143	0.011	0.220	0.110
热电致冷(<2W)			0.004 9	0.006 4	0.007 4	0.022 1	0.024 5	0.073 5	0.049 0	0.044 1	0.017 2	0.053 9	0.073 5	0.078 4	0.112 7	0.044 1	0.058 8	0.083 3	0.002 9	0.122 5	0.098 0
泵浦激光器			0.54	0.70	0.92	1.89	2.43	5.13	4.59	3.78	2.16	4.86	5.94	6.48	8.10	4.05	5.40	7.56	0.54	—	—

C.3 元器件计数可靠性预计法

采用这种方法所需要的信息是：

a) 所用元器件的种类及数量；

b) 所用元器件的质量等级；

c) 设备工作环境。

对于可靠性模型为串联结构的电子设备，其失效率的计算见式(C.27)。

$$\lambda_{GS}=\sum_{i=1}^{n}N_i\lambda_{Gi}\pi_{Qi} \tag{C.27}$$

式中：

λ_{GS}——设备总失效率，10^{-6}/h；

n——设备所用元器件的种类数目；

N_i——第 i 种元器件的数量；

λ_{Gi}——第 i 种元器件的通用失效率，10^{-6}/h；

π_{Qi}——第 i 种元器件的通用质量系数。

本条给出了各种类元器件的通用失效率 λ_G（见表 C.110～表 C.139），但未提供混合集成电路通用失效率，因为混合集成电路不是标准化的，所以不能按它们的名称或功能来确定它们的复杂度。如果在设计中使用了混合集成电路，则可采用 C.2.2.3 的预计模型进行计算或采纳生产单位或制造商提供的数据。

表 C.110　密封单片数字集成电路通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	双极	0.000 46	0.000 53	0.000 77	0.001 55	0.001 62	0.002 60	0.001 68	0.001 68	0.001 16	0.002 16	0.003 67	0.003 37	0.004 69	0.002 17	0.003 72	0.003 85	0.000 46	0.006 11	0.003 20
	MOS	0.000 38	0.000 45	0.000 68	0.001 45	0.001 50	0.002 47	0.001 58	0.001 57	0.001 06	0.002 06	0.003 54	0.003 25	0.004 56	0.002 05	0.003 59	0.003 73	0.000 38	0.005 99	0.003 08
21～50	双极	0.000 55	0.000 62	0.000 91	0.001 79	0.001 89	0.003 01	0.001 94	0.001 94	0.001 35	0.002 50	0.004 24	0.003 88	0.005 42	0.002 51	0.004 32	0.004 43	0.000 55	0.007 00	0.003 69
	MOS	0.000 44	0.000 52	0.000 78	0.001 66	0.001 72	0.002 83	0.001 81	0.001 80	0.001 22	0.002 35	0.004 05	0.003 71	0.005 22	0.002 34	0.004 11	0.004 26	0.000 44	0.006 83	0.003 52
51～100	双极	0.000 63	0.000 71	0.001 04	0.002 03	0.002 15	0.003 41	0.002 20	0.002 20	0.001 53	0.002 82	0.004 80	0.004 37	0.006 12	0.002 85	0.004 89	0.004 99	0.000 63	0.007 88	0.004 17
	MOS	0.000 50	0.000 58	0.000 87	0.001 86	0.001 93	0.003 18	0.002 03	0.002 02	0.001 37	0.002 64	0.004 54	0.004 16	0.005 86	0.002 63	0.004 62	0.004 78	0.000 50	0.007 67	0.003 95
101～500	双极	0.000 93	0.001 04	0.001 51	0.002 81	0.003 03	0.004 72	0.003 03	0.003 06	0.002 16	0.003 88	0.006 61	0.005 97	0.008 40	0.003 96	0.006 76	0.006 79	0.000 93	0.010 61	0.005 70
	MOS	0.000 68	0.000 79	0.001 18	0.002 49	0.002 60	0.004 26	0.002 71	0.002 70	0.001 84	0.003 52	0.006 08	0.005 55	0.007 84	0.003 53	0.006 20	0.006 36	0.000 68	0.010 18	0.005 27
501～1 000	双极	0.001 01	0.001 12	0.001 61	0.002 92	0.003 19	0.004 90	0.003 14	0.003 18	0.002 26	0.004 00	0.006 84	0.006 13	0.008 66	0.004 11	0.007 02	0.006 95	0.001 01	0.010 77	0.005 86
	MOS	0.000 69	0.000 80	0.001 21	0.002 52	0.002 65	0.004 32	0.002 74	0.002 73	0.001 86	0.003 55	0.006 17	0.005 60	0.007 94	0.003 58	0.006 30	0.006 41	0.000 69	0.010 23	0.005 32
1 001～2 000	双极	0.001 55	0.001 72	0.002 48	0.004 63	0.004 97	0.007 74	0.004 99	0.005 03	0.003 55	0.006 37	0.010 83	0.009 80	0.013 75	0.006 49	0.011 06	0.011 15	0.001 55	0.017 41	0.009 36
	MOS	0.001 09	0.001 27	0.001 91	0.004 06	0.004 20	0.006 90	0.004 41	0.004 39	0.002 98	0.005 73	0.009 86	0.009 03	0.012 71	0.005 72	0.010 02	0.010 38	0.001 09	0.016 64	0.008 59
2 001～3 000	双极	0.001 74	0.001 92	0.002 73	0.004 88	0.005 33	0.008 14	0.005 24	0.005 31	0.003 81	0.006 65	0.011 33	0.010 16	0.014 30	0.006 85	0.011 61	0.011 50	0.001 74	0.017 77	0.009 71
	MOS	0.001 14	0.001 31	0.001 97	0.004 12	0.004 31	0.007 04	0.004 48	0.004 47	0.003 05	0.005 81	0.010 04	0.009 15	0.012 93	0.005 84	0.010 24	0.010 49	0.001 14	0.016 76	0.008 70
3 001～5 000	双极	0.002 37	0.002 65	0.003 81	0.007 20	0.007 66	0.012 00	0.007 76	0.007 80	0.005 50	0.009 92	0.016 81	0.015 29	0.021 37	0.010 06	0.017 13	0.017 41	0.002 37	0.027 29	0.014 58
	MOS	0.001 67	0.001 96	0.002 94	0.006 33	0.006 49	0.010 73	0.006 89	0.006 84	0.004 63	0.008 96	0.015 32	0.014 12	0.019 77	0.008 90	0.015 53	0.016 24	0.001 67	0.026 13	0.013 42
5 001～7 500	双极	0.002 50	0.002 78	0.003 98	0.007 37	0.007 92	0.012 29	0.007 94	0.008 00	0.005 68	0.010 12	0.017 17	0.015 54	0.021 77	0.010 32	0.017 54	0.017 66	0.002 50	0.027 55	0.014 84
	MOS	0.001 70	0.001 98	0.002 98	0.006 37	0.006 56	0.010 81	0.006 93	0.006 88	0.004 67	0.009 00	0.015 43	0.014 19	0.019 90	0.008 96	0.015 67	0.016 31	0.001 70	0.026 19	0.013 48
7 501～10 000	双极	0.002 94	0.003 29	0.004 72	0.008 93	0.009 51	0.014 89	0.009 63	0.009 68	0.006 83	0.012 31	0.020 85	0.018 98	0.026 51	0.012 49	0.021 25	0.021 61	0.002 94	0.033 88	0.018 10
	MOS	0.002 06	0.002 41	0.003 62	0.007 83	0.008 01	0.013 26	0.008 53	0.008 45	0.005 72	0.011 08	0.018 93	0.017 48	0.024 44	0.010 99	0.019 18	0.020 11	0.002 06	0.032 39	0.016 60
10 001～15 000	双极	0.003 48	0.003 92	0.005 64	0.010 87	0.011 48	0.018 13	0.011 74	0.011 77	0.008 26	0.015 04	0.025 43	0.023 24	0.032 40	0.015 18	0.025 87	0.026 50	0.003 48	0.041 74	0.022 15
	MOS	0.002 51	0.002 94	0.004 42	0.009 64	0.009 81	0.016 30	0.010 51	0.010 40	0.007 03	0.013 67	0.023 27	0.021 57	0.030 07	0.013 51	0.023 53	0.024 83	0.002 51	0.040 07	0.020 48
15 001～20 000	双极	0.004 02	0.004 54	0.006 56	0.012 79	0.013 43	0.021 33	0.013 83	0.013 84	0.009 67	0.017 74	0.029 96	0.027 46	0.038 24	0.017 85	0.030 44	0.031 36	0.004 02	0.049 55	0.026 16
	MOS	0.002 95	0.003 47	0.005 20	0.011 44	0.011 59	0.019 31	0.012 48	0.012 34	0.008 32	0.016 23	0.027 57	0.025 62	0.035 66	0.016 01	0.027 86	0.029 52	0.002 95	0.047 71	0.024 32
20 001～30 000	双极	0.004 56	0.005 17	0.007 48	0.014 72	0.015 40	0.024 55	0.015 93	0.015 92	0.011 10	0.020 45	0.034 51	0.031 70	0.044 09	0.020 53	0.035 03	0.036 22	0.004 56	0.057 35	0.030 19
	MOS	0.003 39	0.003 99	0.005 99	0.013 24	0.013 37	0.022 32	0.014 44	0.014 26	0.009 61	0.018 79	0.031 87	0.029 67	0.041 22	0.018 50	0.032 17	0.034 19	0.003 39	0.055 32	0.028 16

表 C.110(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
30 001～60 000	双极	0.005 29	0.005 98	0.008 64	0.016 88	0.017 71	0.028 15	0.018 26	0.018 26	0.012 76	0.023 42	0.039 55	0.036 26	0.050 48	0.023 55	0.040 17	0.041 41	0.005 29	0.065 46	0.034 54
	MOS	0.003 86	0.004 55	0.006 82	0.015 07	0.015 22	0.025 41	0.016 44	0.016 24	0.010 95	0.021 39	0.036 28	0.033 77	0.046 93	0.021 06	0.036 62	0.038 92	0.003 86	0.062 97	0.032 05
60 001～90 000	双极	0.005 95	0.006 72	0.009 71	0.018 95	0.019 89	0.031 60	0.020 49	0.020 50	0.014 33	0.026 28	0.044 39	0.040 69	0.056 65	0.026 44	0.045 09	0.046 46	0.005 95	0.073 42	0.038 76
	MOS	0.004 31	0.005 08	0.007 63	0.016 87	0.017 03	0.028 45	0.018 41	0.018 18	0.012 25	0.023 96	0.040 61	0.037 83	0.052 55	0.023 58	0.040 99	0.043 60	0.004 31	0.070 56	0.035 90
90 001～200 000	双极	0.006 07	0.006 84	0.009 87	0.019 12	0.020 14	0.031 88	0.020 66	0.020 69	0.014 50	0.026 47	0.044 74	0.040 93	0.057 04	0.026 69	0.045 49	0.046 71	0.006 07	0.073 67	0.039 01
	MOS	0.004 33	0.005 10	0.007 66	0.016 90	0.017 09	0.028 51	0.018 44	0.018 22	0.012 28	0.023 99	0.040 71	0.037 88	0.052 65	0.023 63	0.041 10	0.043 66	0.004 33	0.070 61	0.035 95
200 001～400 000	MOS	0.004 86	0.005 71	0.008 58	0.018 81	0.019 09	0.031 77	0.020 52	0.020 29	0.013 70	0.026 69	0.045 36	0.042 12	0.058 64	0.026 34	0.045 85	0.048 52	0.004 86	0.078 37	0.039 99
400 001～600 000	MOS	0.004 92	0.005 77	0.008 67	0.018 91	0.019 25	0.031 97	0.020 61	0.020 40	0.013 79	0.026 80	0.045 63	0.042 28	0.058 97	0.026 50	0.046 17	0.048 68	0.004 92	0.078 53	0.040 15
600 001～800 000	MOS	0.005 38	0.006 31	0.009 48	0.020 71	0.021 06	0.035 00	0.022 58	0.022 34	0.015 09	0.029 36	0.049 96	0.046 32	0.064 57	0.029 01	0.050 54	0.053 34	0.005 38	0.086 09	0.043 98
800 001～950 000	MOS	0.005 41	0.006 35	0.009 53	0.020 76	0.021 15	0.035 11	0.022 63	0.022 40	0.015 14	0.029 42	0.050 12	0.046 41	0.064 75	0.029 10	0.050 72	0.053 43	0.005 41	0.086 18	0.044 07
950 001～1 500 000	MOS	0.005 84	0.006 86	0.010 29	0.022 51	0.022 88	0.038 04	0.024 55	0.024 28	0.016 40	0.031 92	0.054 31	0.050 37	0.070 19	0.031 53	0.054 92	0.058 00	0.005 84	0.093 63	0.047 82
1 500 001～2 500 000	MOS	0.005 94	0.006 96	0.010 45	0.022 67	0.023 16	0.038 38	0.024 71	0.024 48	0.016 56	0.032 11	0.054 78	0.050 65	0.070 76	0.031 82	0.055 48	0.058 29	0.005 94	0.093 92	0.048 10
2 500 001～3 500 000	MOS	0.006 83	0.008 02	0.012 03	0.026 22	0.026 71	0.044 34	0.028 59	0.028 30	0.019 13	0.037 17	0.063 30	0.058 63	0.081 79	0.036 76	0.064 06	0.067 50	0.006 83	0.108 88	0.055 68
3 500 001～4 500 000	MOS	0.007 29	0.008 56	0.012 85	0.028 02	0.028 53	0.047 37	0.030 55	0.030 23	0.020 43	0.039 72	0.067 63	0.062 66	0.087 39	0.039 27	0.068 43	0.072 14	0.007 29	0.116 38	0.059 50
4 500 001～5 000 000	MOS	0.007 74	0.009 09	0.013 65	0.029 80	0.030 32	0.050 37	0.032 49	0.032 15	0.021 72	0.042 24	0.071 91	0.066 65	0.092 93	0.041 75	0.072 74	0.076 74	0.007 74	0.123 85	0.063 29
5 000 001～6 000 000	MOS	0.010 68	0.012 58	0.018 87	0.041 64	0.042 05	0.070 17	0.045 43	0.044 87	0.030 25	0.059 10	0.100 16	0.093 28	0.129 55	0.058 17	0.101 09	0.107 51	0.010 68	0.173 92	0.088 53
6 000 001～7 000 000	MOS	0.010 72	0.012 61	0.018 92	0.041 69	0.042 14	0.070 28	0.045 48	0.044 93	0.030 30	0.059 16	0.100 31	0.093 37	0.129 74	0.058 27	0.101 28	0.107 60	0.010 72	0.174 01	0.088 63
7 000 001～8 000 000	MOS	0.010 75	0.012 65	0.018 97	0.041 74	0.042 22	0.070 38	0.045 53	0.044 99	0.030 35	0.059 22	0.100 45	0.093 45	0.129 90	0.058 35	0.101 44	0.107 68	0.010 75	0.174 09	0.088 71
8 000 001～9 000 000	MOS	0.010 78	0.012 67	0.019 01	0.041 78	0.042 30	0.070 47	0.045 57	0.045 04	0.030 40	0.059 27	0.100 58	0.093 53	0.130 05	0.058 43	0.101 59	0.107 76	0.010 78	0.174 17	0.088 78
9 000 001～10 000 000	MOS	0.010 80	0.012 70	0.019 05	0.041 82	0.042 37	0.070 55	0.045 61	0.045 09	0.030 43	0.059 32	0.100 69	0.093 60	0.130 19	0.058 49	0.101 73	0.107 83	0.010 80	0.174 24	0.088 85

表 C.110(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
10 000 001～100 000 000	MOS	0.011 27	0.013 17	0.019 75	0.042 52	0.043 61	0.072 03	0.046 32	0.045 94	0.031 14	0.060 17	0.102 78	0.094 84	0.132 64	0.059 73	0.104 18	0.109 07	0.011 27	0.175 48	0.090 09
100 000 001～1 000 000 000	MOS	0.012 25	0.014 15	0.021 22	0.043 99	0.046 19	0.075 12	0.047 79	0.047 73	0.032 61	0.061 96	0.107 11	0.097 42	0.137 74	0.062 32	0.109 28	0.111 65	0.012 25	0.178 06	0.092 68

表 C.111 非密封单片数字集成电路通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	双极	0.000 56	0.000 65	0.000 95	0.001 96	0.002 02	0.003 28	0.002 13	0.002 11	0.001 45	0.002 74	0.004 64	0.004 29	0.005 96	0.002 73	0.004 69	0.004 92	0.000 56	0.007 86	0.004 08
	MOS	0.000 48	0.000 57	0.000 85	0.001 86	0.001 90	0.003 15	0.002 03	0.002 01	0.001 36	0.002 64	0.004 51	0.004 17	0.005 82	0.002 61	0.004 56	0.004 80	0.000 48	0.007 74	0.003 96
21～50	双极	0.000 66	0.000 76	0.001 11	0.002 26	0.002 34	0.003 78	0.002 45	0.002 44	0.001 68	0.003 16	0.005 35	0.004 93	0.006 85	0.003 15	0.005 42	0.005 64	0.000 66	0.008 99	0.004 69
	MOS	0.000 55	0.000 65	0.000 98	0.002 12	0.002 17	0.003 60	0.002 32	0.002 29	0.001 55	0.003 01	0.005 15	0.004 76	0.006 65	0.002 98	0.005 22	0.005 47	0.000 55	0.008 82	0.004 52
51～100	双极	0.000 75	0.000 86	0.001 26	0.002 55	0.002 65	0.004 28	0.002 76	0.002 76	0.001 91	0.003 56	0.006 04	0.005 55	0.007 73	0.003 57	0.006 12	0.006 36	0.000 75	0.010 11	0.005 28
	MOS	0.000 62	0.000 73	0.001 10	0.002 38	0.002 44	0.004 04	0.002 60	0.002 57	0.001 74	0.003 38	0.005 78	0.005 33	0.007 47	0.003 35	0.005 86	0.006 14	0.000 62	0.009 89	0.005 07
101～500	双极	0.001 10	0.001 24	0.001 80	0.003 50	0.003 70	0.005 87	0.003 79	0.003 79	0.002 65	0.004 86	0.008 25	0.007 53	0.010 52	0.004 91	0.008 40	0.008 59	0.001 10	0.013 56	0.007 17
	MOS	0.000 84	0.000 98	0.001 48	0.003 18	0.003 27	0.005 40	0.003 46	0.003 44	0.002 33	0.004 50	0.007 72	0.007 10	0.009 96	0.004 48	0.007 84	0.008 16	0.000 84	0.013 13	0.006 75
501～1 000	双极	0.001 18	0.001 32	0.001 90	0.003 61	0.003 86	0.006 05	0.003 89	0.003 92	0.002 76	0.004 98	0.008 48	0.007 69	0.010 78	0.005 06	0.008 66	0.008 75	0.001 18	0.013 71	0.007 33
	MOS	0.000 86	0.001 00	0.001 50	0.003 21	0.003 32	0.005 46	0.003 49	0.003 47	0.002 36	0.004 53	0.007 81	0.007 15	0.010 07	0.004 53	0.007 94	0.008 21	0.000 86	0.013 18	0.006 80
1 001～2 000	双极	0.001 81	0.002 05	0.002 96	0.005 76	0.006 07	0.009 62	0.006 22	0.006 23	0.004 36	0.007 98	0.013 52	0.012 35	0.017 24	0.008 05	0.013 75	0.014 10	0.001 81	0.022 25	0.011 77
	MOS	0.001 36	0.001 59	0.002 39	0.005 18	0.005 30	0.008 78	0.005 65	0.005 60	0.003 79	0.007 34	0.012 54	0.011 59	0.016 20	0.007 28	0.012 71	0.013 33	0.001 36	0.021 48	0.011 00
2 001～3 000	双极	0.002 01	0.002 24	0.003 22	0.006 01	0.006 43	0.010 02	0.006 47	0.006 52	0.004 61	0.008 26	0.014 01	0.012 71	0.017 79	0.008 41	0.014 30	0.014 46	0.002 01	0.022 60	0.012 13
	MOS	0.001 40	0.001 64	0.002 46	0.005 25	0.005 42	0.008 92	0.005 72	0.005 68	0.003 85	0.007 42	0.012 73	0.011 70	0.016 42	0.007 39	0.012 93	0.013 45	0.001 40	0.021 59	0.011 12
3 001～5 000	双极	0.002 79	0.003 16	0.004 57	0.008 98	0.009 40	0.014 97	0.009 71	0.009 71	0.006 78	0.012 46	0.021 04	0.019 32	0.026 87	0.012 52	0.021 37	0.022 07	0.002 79	0.034 92	0.018 40
	MOS	0.002 10	0.002 47	0.003 70	0.008 11	0.008 23	0.013 70	0.008 84	0.008 74	0.005 90	0.011 50	0.019 55	0.018 15	0.025 28	0.011 35	0.019 77	0.020 90	0.002 10	0.033 75	0.017 23
5 001～7 500	双极	0.002 92	0.003 29	0.004 74	0.009 15	0.009 65	0.015 26	0.009 88	0.009 91	0.006 95	0.012 66	0.021 41	0.019 57	0.027 28	0.012 78	0.021 77	0.022 32	0.002 92	0.035 18	0.018 65
	MOS	0.002 12	0.002 49	0.003 74	0.008 15	0.008 30	0.013 78	0.008 88	0.008 79	0.005 94	0.011 55	0.019 67	0.018 21	0.025 41	0.011 42	0.019 90	0.020 97	0.002 12	0.033 82	0.017 30

表 C.111（续）

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_I	M_F
7 501～10 000	双极	0.003 46	0.003 92	0.005 67	0.011 14	0.011 66	0.018 58	0.012 05	0.012 05	0.008 41	0.015 47	0.026 12	0.023 97	0.033 35	0.015 54	0.026 51	0.027 39	0.003 46	0.043 35	0.022 83
	MOS	0.002 59	0.003 04	0.004 57	0.010 04	0.010 17	0.016 94	0.010 95	0.010 82	0.007 30	0.014 24	0.024 19	0.022 48	0.031 28	0.014 04	0.024 44	0.025 90	0.002 59	0.041 86	0.021 34
10 001～15 000	双极	0.004 13	0.004 70	0.006 82	0.013 61	0.014 16	0.022 70	0.014 75	0.014 71	0.010 22	0.018 96	0.031 96	0.029 44	0.040 89	0.018 97	0.032 40	0.033 69	0.004 13	0.053 50	0.028 03
	MOS	0.003 16	0.003 72	0.005 59	0.012 38	0.012 49	0.020 87	0.013 52	0.013 34	0.008 99	0.017 59	0.029 80	0.027 77	0.038 56	0.017 30	0.030 07	0.032 02	0.003 16	0.051 83	0.026 36
15 001～20 000	双极	0.004 80	0.005 47	0.007 96	0.016 07	0.016 63	0.026 79	0.017 42	0.017 35	0.012 01	0.022 42	0.037 76	0.034 87	0.048 37	0.022 37	0.038 24	0.039 94	0.004 80	0.063 59	0.033 18
	MOS	0.003 73	0.004 40	0.006 61	0.014 72	0.014 79	0.024 77	0.016 07	0.015 84	0.010 66	0.020 91	0.035 37	0.033 03	0.045 79	0.020 53	0.035 66	0.038 10	0.003 73	0.061 74	0.031 34
20 001～30 000	双极	0.005 47	0.006 25	0.009 11	0.018 52	0.019 11	0.030 88	0.020 09	0.019 99	0.013 82	0.025 88	0.043 57	0.040 30	0.055 86	0.025 78	0.044 09	0.046 18	0.005 47	0.073 64	0.038 33
	MOS	0.004 29	0.005 08	0.007 62	0.017 04	0.017 08	0.028 66	0.018 61	0.018 34	0.012 33	0.024 22	0.040 92	0.038 27	0.052 99	0.023 75	0.041 22	0.044 15	0.004 29	0.071 61	0.036 30
30 001～60 000	双极	0.006 32	0.007 21	0.010 49	0.021 21	0.021 94	0.035 36	0.023 00	0.022 90	0.015 85	0.029 60	0.049 85	0.046 05	0.063 88	0.029 53	0.050 48	0.052 75	0.006 32	0.084 01	0.043 82
	MOS	0.004 89	0.005 78	0.008 68	0.019 40	0.019 45	0.032 62	0.021 18	0.020 88	0.014 04	0.027 57	0.046 58	0.043 56	0.060 33	0.027 04	0.046 93	0.050 26	0.004 89	0.081 52	0.041 33
60 001～90 000	双极	0.007 10	0.008 10	0.011 79	0.023 80	0.024 63	0.039 68	0.025 80	0.025 70	0.017 79	0.033 21	0.055 94	0.051 66	0.071 66	0.033 14	0.056 65	0.059 17	0.007 10	0.094 21	0.049 16
	MOS	0.005 47	0.006 47	0.009 71	0.021 73	0.021 77	0.036 53	0.023 73	0.023 38	0.015 72	0.030 89	0.052 17	0.048 80	0.067 57	0.030 28	0.052 55	0.056 31	0.005 47	0.091 35	0.046 30
90 001～200 000	双极	0.007 23	0.008 23	0.011 95	0.023 97	0.024 88	0.039 96	0.025 97	0.025 89	0.017 96	0.033 40	0.056 29	0.051 91	0.072 06	0.033 39	0.057 04	0.059 42	0.007 23	0.094 46	0.049 41
	MOS	0.005 49	0.006 49	0.009 74	0.021 76	0.021 82	0.036 60	0.023 76	0.023 42	0.015 75	0.030 93	0.052 26	0.048 86	0.067 67	0.030 33	0.052 65	0.056 36	0.005 49	0.091 41	0.046 35
200 001～400 000	MOS	0.006 14	0.007 25	0.010 88	0.024 19	0.024 33	0.040 73	0.026 41	0.026 05	0.017 53	0.034 36	0.058 15	0.054 27	0.075 28	0.033 76	0.058 64	0.062 59	0.006 14	0.101 40	0.051 50
400 001～600 000	MOS	0.006 20	0.007 31	0.010 97	0.024 28	0.024 49	0.040 92	0.026 50	0.026 16	0.017 63	0.034 48	0.058 43	0.054 44	0.075 60	0.033 92	0.058 97	0.062 75	0.006 20	0.101 57	0.051 66
600 001～800 000	MOS	0.006 78	0.008 00	0.012 00	0.026 60	0.026 81	0.044 82	0.029 03	0.028 66	0.019 30	0.037 78	0.064 00	0.059 65	0.082 82	0.037 15	0.064 57	0.068 78	0.006 78	0.111 35	0.056 61
800 001～950 000	MOS	0.006 82	0.008 03	0.012 06	0.026 65	0.026 90	0.044 93	0.029 08	0.028 72	0.019 35	0.037 84	0.064 15	0.059 75	0.083 00	0.037 24	0.064 75	0.068 87	0.006 82	0.111 44	0.056 71
950 001～1 500 000	MOS	0.007 37	0.008 69	0.013 04	0.028 92	0.029 14	0.048 73	0.031 57	0.031 16	0.020 98	0.041 08	0.069 58	0.064 87	0.090 04	0.040 39	0.070 19	0.074 80	0.007 37	0.121 12	0.061 57
1 500 001～2 500 000	MOS	0.007 47	0.008 79	0.013 20	0.029 08	0.029 42	0.049 07	0.031 73	0.031 35	0.021 14	0.041 28	0.070 05	0.065 16	0.090 61	0.040 67	0.070 76	0.075 08	0.007 47	0.121 41	0.061 85
2 500 001～3 500 000	MOS	0.008 61	0.010 14	0.015 23	0.033 67	0.033 98	0.056 76	0.036 74	0.036 28	0.024 45	0.047 81	0.081 04	0.075 48	0.104 85	0.047 05	0.081 79	0.087 01	0.008 61	0.140 80	0.071 64
3 500 001～4 500 000	MOS	0.009 19	0.010 83	0.016 26	0.035 98	0.036 30	0.060 65	0.039 27	0.038 77	0.026 12	0.051 09	0.086 59	0.080 67	0.112 04	0.050 27	0.087 39	0.093 00	0.009 19	0.150 51	0.076 56

表 C.111(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
4 500 001～5 000 000	MOS	0.009 76	0.011 51	0.017 28	0.038 27	0.038 59	0.064 50	0.041 77	0.041 23	0.027 78	0.054 35	0.092 09	0.085 83	0.119 17	0.053 46	0.092 93	0.098 95	0.009 76	0.160 18	0.081 45
5 000 001～6 000 000	MOS	0.013 53	0.015 99	0.023 99	0.053 59	0.053 71	0.090 09	0.058 52	0.057 67	0.038 79	0.076 17	0.128 62	0.120 31	0.166 55	0.074 68	0.129 55	0.138 81	0.013 53	0.225 15	0.114 15
6 000 001～7 000 000	MOS	0.013 56	0.016 03	0.024 04	0.053 64	0.053 81	0.090 20	0.058 58	0.057 74	0.038 84	0.076 24	0.128 77	0.120 41	0.166 74	0.074 78	0.129 74	0.138 91	0.013 56	0.225 24	0.114 24
7 000 001～8 000 000	MOS	0.013 59	0.016 06	0.024 09	0.053 69	0.053 89	0.090 30	0.058 62	0.057 79	0.038 89	0.076 29	0.128 91	0.120 49	0.166 90	0.074 86	0.129 90	0.138 99	0.013 59	0.225 32	0.114 32
8 000 001～9 000 000	MOS	0.013 62	0.016 09	0.024 13	0.053 73	0.053 97	0.090 39	0.058 67	0.057 85	0.038 93	0.076 35	0.129 04	0.120 57	0.167 05	0.074 93	0.130 05	0.139 07	0.013 62	0.225 40	0.114 40
9 000 001～10 000 000	MOS	0.013 65	0.016 12	0.024 17	0.053 77	0.054 04	0.090 48	0.058 71	0.057 89	0.038 97	0.076 39	0.129 16	0.120 64	0.167 19	0.075 00	0.130 19	0.139 14	0.013 65	0.225 47	0.114 47
10 000 001～100 000 000	MOS	0.014 12	0.016 59	0.024 88	0.054 48	0.055 28	0.091 96	0.059 41	0.058 75	0.039 68	0.077 25	0.131 24	0.121 88	0.169 64	0.076 24	0.132 64	0.140 38	0.014 12	0.226 71	0.115 71
100 000 001～1 000 000 000	MOS	0.015 10	0.017 56	0.026 35	0.055 95	0.057 86	0.095 04	0.060 88	0.060 53	0.041 15	0.079 03	0.135 57	0.124 46	0.174 74	0.078 83	0.137 74	0.142 96	0.015 10	0.229 29	0.118 29

表 C.112 密封 ROM、PROM、EPROM、UVEPROM、EEPROM、FLASH 通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.000 93	0.001 00	0.001 47	0.002 35	0.002 85	0.004 14	0.002 50	0.002 62	0.001 91	0.003 17	0.005 80	0.004 83	0.007 24	0.003 47	0.006 14	0.005 39	0.000 93	0.007 96	0.004 65
	MOS	0.000 40	0.000 47	0.000 71	0.001 59	0.001 60	0.002 69	0.001 74	0.001 72	0.001 15	0.002 27	0.003 85	0.003 59	0.004 99	0.002 23	0.003 89	0.004 14	0.000 40	0.006 72	0.003 41
321～576	双极	0.001 03	0.001 10	0.001 61	0.002 49	0.003 07	0.004 41	0.002 64	0.002 78	0.002 05	0.003 33	0.006 16	0.005 06	0.007 66	0.003 70	0.006 55	0.005 61	0.001 03	0.008 19	0.004 88
	MOS	0.000 40	0.000 48	0.000 72	0.001 60	0.001 62	0.002 71	0.001 75	0.001 73	0.001 16	0.002 28	0.003 88	0.003 61	0.005 03	0.002 24	0.003 93	0.004 16	0.000 40	0.006 73	0.003 42
577～1 120	双极	0.001 14	0.001 21	0.001 77	0.002 65	0.003 34	0.004 72	0.002 80	0.002 97	0.002 21	0.003 52	0.006 58	0.005 32	0.008 14	0.003 96	0.007 04	0.005 88	0.001 14	0.008 45	0.005 14
	MOS	0.000 41	0.000 48	0.000 73	0.001 61	0.001 64	0.002 74	0.001 76	0.001 74	0.001 17	0.002 29	0.003 92	0.003 63	0.005 08	0.002 26	0.003 97	0.004 18	0.000 41	0.006 76	0.003 44
1 121～2 240	双极	0.001 49	0.001 57	0.002 28	0.003 27	0.004 19	0.005 81	0.003 43	0.003 67	0.002 77	0.004 29	0.008 05	0.006 42	0.009 88	0.004 90	0.008 64	0.007 04	0.001 49	0.009 93	0.006 22
	MOS	0.000 47	0.000 56	0.000 84	0.001 83	0.001 88	0.003 12	0.002 00	0.001 98	0.001 34	0.002 60	0.004 47	0.004 11	0.005 78	0.002 58	0.004 55	0.004 73	0.000 47	0.007 62	0.003 90
2 241～5 000	双极	0.001 67	0.001 76	0.002 54	0.003 53	0.004 62	0.006 30	0.003 69	0.003 98	0.003 03	0.004 60	0.008 71	0.006 85	0.010 64	0.005 32	0.009 41	0.007 46	0.001 67	0.010 35	0.006 64
	MOS	0.000 49	0.000 57	0.000 86	0.001 85	0.001 92	0.003 17	0.002 01	0.002 00	0.001 35	0.002 62	0.004 54	0.004 15	0.005 86	0.002 62	0.004 62	0.004 76	0.000 49	0.007 65	0.003 94

表 C.112(续)

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
5 001～11 000	双极	0.001 89	0.001 97	0.002 84	0.003 83	0.005 11	0.006 88	0.003 99	0.004 34	0.003 33	0.004 95	0.009 48	0.007 34	0.011 54	0.005 81	0.010 30	0.007 96	0.001 89	0.010 85	0.007 13
	MOS	0.000 50	0.000 58	0.000 88	0.001 87	0.001 96	0.003 22	0.002 04	0.002 03	0.001 38	0.002 65	0.004 61	0.004 19	0.005 95	0.002 66	0.004 72	0.004 81	0.000 50	0.007 69	0.003 98
11 001～17 001	双极	0.002 56	0.002 66	0.003 80	0.005 00	0.006 72	0.008 92	0.005 20	0.005 67	0.004 40	0.006 42	0.012 23	0.009 42	0.014 79	0.007 57	0.013 29	0.010 18	0.002 56	0.013 68	0.009 17
	MOS	0.000 63	0.000 73	0.001 11	0.002 31	0.002 44	0.003 98	0.002 51	0.002 51	0.001 71	0.003 26	0.005 71	0.005 15	0.007 36	0.003 30	0.005 85	0.005 90	0.000 63	0.009 41	0.004 90
17 001～38 000	双极	0.002 91	0.003 01	0.004 29	0.005 49	0.007 50	0.009 84	0.005 69	0.006 24	0.004 89	0.006 99	0.013 44	0.010 21	0.016 19	0.008 36	0.014 69	0.010 96	0.002 91	0.014 47	0.009 96
	MOS	0.000 65	0.000 75	0.001 15	0.002 35	0.002 52	0.004 07	0.002 55	0.002 56	0.001 75	0.003 31	0.005 84	0.005 22	0.007 51	0.003 37	0.006 01	0.005 97	0.000 65	0.009 48	0.004 97
38 001～74 000	双极	0.003 89	0.004 00	0.005 64	0.006 95	0.009 63	0.012 37	0.007 17	0.007 91	0.006 30	0.008 73	0.016 76	0.012 58	0.020 02	0.010 56	0.018 38	0.013 39	0.003 89	0.017 21	0.012 30
	MOS	0.000 77	0.000 88	0.001 34	0.002 65	0.002 90	0.004 63	0.002 87	0.002 90	0.001 99	0.003 72	0.006 63	0.005 85	0.008 50	0.003 83	0.006 87	0.006 67	0.000 77	0.010 48	0.005 58
74 001～150 000	双极	0.004 54	0.004 67	0.006 59	0.008 11	0.011 24	0.014 43	0.008 36	0.009 23	0.007 35	0.010 18	0.019 55	0.014 66	0.023 35	0.012 32	0.021 45	0.015 61	0.004 54	0.020 04	0.014 34
	MOS	0.000 90	0.001 03	0.001 56	0.003 08	0.003 39	0.005 39	0.003 34	0.003 38	0.002 32	0.004 33	0.007 73	0.006 81	0.009 91	0.004 46	0.008 01	0.007 76	0.000 90	0.012 19	0.006 49
150 001～300 000	双极	0.006 04	0.006 17	0.008 60	0.010 12	0.014 28	0.017 89	0.010 37	0.011 55	0.009 36	0.012 50	0.024 00	0.017 70	0.028 36	0.015 36	0.026 46	0.018 65	0.006 04	0.023 08	0.017 38
	MOS	0.001 04	0.001 16	0.001 76	0.003 28	0.003 73	0.005 81	0.003 54	0.003 61	0.002 52	0.004 56	0.008 31	0.007 15	0.010 59	0.004 81	0.008 69	0.008 10	0.001 04	0.012 54	0.006 84
300 001～600 000	双极	0.007 21	0.007 39	0.010 33	0.012 48	0.017 33	0.022 00	0.012 83	0.014 19	0.011 40	0.015 54	0.029 60	0.022 16	0.035 16	0.018 85	0.032 48	0.023 50	0.007 21	0.029 77	0.021 71
	MOS	0.001 37	0.001 55	0.002 35	0.004 50	0.005 02	0.007 89	0.004 85	0.004 93	0.003 42	0.006 28	0.011 30	0.009 85	0.014 43	0.006 54	0.011 74	0.011 19	0.001 37	0.017 46	0.009 40
600 001～1 200 000	双极	0.008 28	0.008 46	0.011 80	0.013 95	0.019 63	0.024 65	0.014 30	0.015 91	0.012 87	0.017 25	0.033 08	0.024 46	0.039 13	0.021 15	0.036 45	0.025 81	0.008 28	0.032 07	0.024 02
	MOS	0.001 46	0.001 64	0.002 48	0.004 63	0.005 26	0.008 19	0.004 99	0.005 10	0.003 56	0.006 44	0.011 73	0.010 10	0.014 95	0.006 79	0.012 26	0.011 44	0.001 46	0.017 71	0.009 65
1 200 001～2 400 000	双极	0.009 70	0.009 92	0.013 83	0.016 39	0.023 03	0.028 97	0.016 82	0.018 69	0.015 11	0.020 30	0.038 88	0.028 80	0.046 02	0.024 85	0.042 82	0.030 41	0.009 70	0.037 88	0.028 27
	MOS	0.001 74	0.001 95	0.002 96	0.005 52	0.006 27	0.009 76	0.005 95	0.006 08	0.004 24	0.007 68	0.013 97	0.012 04	0.017 81	0.008 08	0.014 60	0.013 64	0.001 74	0.021 12	0.011 50
2 400 001～4 800 000	双极	0.011 16	0.011 37	0.015 84	0.018 40	0.026 18	0.032 59	0.018 83	0.021 04	0.017 12	0.022 64	0.043 64	0.031 95	0.051 45	0.028 00	0.048 24	0.033 55	0.011 16	0.041 03	0.031 42
	MOS	0.001 86	0.002 08	0.003 15	0.005 71	0.006 62	0.010 18	0.006 14	0.006 31	0.004 43	0.007 91	0.014 58	0.012 38	0.018 53	0.008 43	0.015 32	0.013 99	0.001 86	0.021 47	0.011 85
4 800 001～9 600 000	双极	0.011 04	0.011 25	0.015 80	0.018 37	0.026 41	0.032 96	0.018 80	0.021 07	0.017 09	0.022 67	0.044 37	0.032 18	0.052 41	0.028 23	0.049 21	0.033 78	0.011 04	0.041 26	0.031 65
	MOS	0.002 01	0.002 22	0.003 37	0.005 93	0.007 03	0.010 68	0.006 36	0.006 59	0.004 65	0.008 19	0.015 29	0.012 80	0.019 38	0.008 84	0.016 18	0.014 40	0.002 01	0.021 88	0.012 26
9 600 001～19 200 000	双极	0.012 72	0.012 93	0.018 15	0.020 71	0.030 13	0.037 26	0.021 14	0.023 82	0.019 43	0.025 42	0.050 06	0.035 90	0.058 91	0.031 95	0.055 71	0.037 50	0.012 72	0.044 98	0.035 37
	MOS	0.002 18	0.002 39	0.003 64	0.006 20	0.007 52	0.011 27	0.006 63	0.006 92	0.004 92	0.008 52	0.016 14	0.013 28	0.020 39	0.009 33	0.017 19	0.014 89	0.002 18	0.022 37	0.012 75

表 C.112（续）

单位为 10^{-6}/h

门数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
19 200 001～38 400 000	MOS	0.002 39	0.002 60	0.003 95	0.006 52	0.008 09	0.011 97	0.006 94	0.007 30	0.005 24	0.008 91	0.017 15	0.013 86	0.021 59	0.009 91	0.018 39	0.015 46	0.002 39	0.022 94	0.013 33
38 400 001～76 800 000	MOS	0.002 63	0.002 84	0.004 33	0.006 89	0.008 78	0.012 80	0.007 32	0.007 76	0.005 61	0.009 37	0.018 34	0.014 55	0.023 01	0.010 59	0.019 81	0.016 15	0.002 63	0.023 63	0.014 01
76 800 001～153 600 000	MOS	0.002 92	0.003 13	0.004 77	0.007 33	0.009 59	0.013 77	0.007 76	0.008 31	0.006 05	0.009 91	0.019 75	0.015 36	0.024 69	0.011 40	0.021 49	0.016 96	0.002 92	0.024 44	0.014 82
153 600 001～307 200 000	MOS	0.003 26	0.003 47	0.005 30	0.007 86	0.010 55	0.014 94	0.008 29	0.008 96	0.006 58	0.010 56	0.021 42	0.016 32	0.026 68	0.012 36	0.023 48	0.017 92	0.003 26	0.025 40	0.015 78
307 200 001～614 400 000	MOS	0.003 66	0.003 87	0.005 92	0.008 48	0.011 68	0.016 31	0.008 91	0.009 72	0.007 20	0.011 32	0.023 40	0.017 45	0.029 04	0.013 50	0.025 84	0.019 05	0.003 66	0.026 53	0.016 92
614 400 001～1 228 800 000	MOS	0.004 14	0.004 35	0.006 65	0.009 22	0.013 03	0.017 94	0.009 64	0.010 62	0.007 93	0.012 23	0.025 75	0.018 80	0.031 83	0.014 84	0.028 63	0.020 40	0.004 14	0.027 88	0.018 26
1 228 800 001～2 457 600 000	MOS	0.004 70	0.004 92	0.007 52	0.010 09	0.014 62	0.019 86	0.010 52	0.011 70	0.008 81	0.013 30	0.028 52	0.020 39	0.035 14	0.016 44	0.031 94	0.021 99	0.004 70	0.029 47	0.019 86
2 457 600 001～4 915 200 000	MOS	0.005 37	0.005 59	0.008 56	0.011 12	0.016 51	0.022 15	0.011 55	0.012 97	0.009 84	0.014 57	0.031 81	0.022 28	0.039 06	0.018 32	0.035 85	0.023 88	0.005 37	0.031 36	0.021 74

表 C.113 非密封 ROM、PROM、EEPROM、UVEPROM、EEPROM、FLASH 通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.001 62	0.001 71	0.002 43	0.003 58	0.004 42	0.006 18	0.003 77	0.003 98	0.003 00	0.004 70	0.008 50	0.007 00	0.010 45	0.005 23	0.009 02	0.007 72	0.001 62	0.011 07	0.006 76
	MOS	0.000 54	0.000 63	0.000 95	0.002 10	0.002 13	0.003 56	0.002 29	0.002 27	0.001 53	0.002 99	0.005 09	0.004 72	0.006 59	0.002 95	0.005 15	0.005 44	0.000 54	0.008 79	0.004 48
321～576	双极	0.001 81	0.001 90	0.002 69	0.003 84	0.004 83	0.006 66	0.004 03	0.004 29	0.003 27	0.005 01	0.009 12	0.007 42	0.011 17	0.005 65	0.009 73	0.008 13	0.001 81	0.011 48	0.007 18
	MOS	0.000 55	0.000 64	0.000 97	0.002 12	0.002 17	0.003 60	0.002 31	0.002 29	0.001 55	0.003 01	0.005 15	0.004 75	0.006 65	0.002 98	0.005 22	0.005 47	0.000 55	0.008 82	0.004 51

表 C.113(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
577～1 120	双极	0.002 62	0.002 72	0.003 76	0.004 91	0.006 40	0.008 42	0.005 10	0.005 51	0.004 34	0.006 23	0.011 35	0.008 98	0.013 65	0.007 21	0.012 22	0.009 70	0.002 62	0.013 05	0.008 74
	MOS	0.000 61	0.000 70	0.001 06	0.002 21	0.002 32	0.003 78	0.002 40	0.002 39	0.001 63	0.003 11	0.005 39	0.004 90	0.006 94	0.003 13	0.005 51	0.005 62	0.000 61	0.008 97	0.004 66
1 121～2 240	双极	0.003 04	0.003 15	0.004 36	0.005 64	0.007 38	0.009 68	0.005 86	0.006 34	0.005 00	0.007 14	0.013 04	0.010 28	0.015 66	0.008 30	0.014 05	0.011 09	0.003 04	0.014 84	0.010 01
	MOS	0.000 69	0.000 80	0.001 20	0.002 49	0.002 62	0.004 26	0.002 70	0.002 70	0.001 84	0.003 50	0.006 09	0.005 52	0.007 83	0.003 53	0.006 22	0.006 32	0.000 69	0.010 08	0.005 25
2 241～5 000	双极	0.004 50	0.004 61	0.006 25	0.007 53	0.010 09	0.012 72	0.007 75	0.008 47	0.006 89	0.009 28	0.016 82	0.012 99	0.019 86	0.011 01	0.018 25	0.013 80	0.004 50	0.017 55	0.012 72
	MOS	0.000 81	0.000 92	0.001 38	0.002 66	0.002 92	0.004 61	0.002 88	0.002 91	0.002 02	0.003 72	0.006 56	0.005 81	0.008 38	0.003 83	0.006 77	0.006 62	0.000 81	0.010 37	0.005 55
5 001～11 000	双极	0.005 17	0.005 28	0.007 14	0.008 42	0.011 43	0.014 23	0.008 64	0.009 50	0.007 78	0.010 30	0.018 75	0.014 32	0.022 04	0.012 34	0.020 43	0.015 13	0.005 17	0.018 88	0.014 06
	MOS	0.000 86	0.000 97	0.001 45	0.002 74	0.003 05	0.004 77	0.002 96	0.003 00	0.002 10	0.003 81	0.006 78	0.005 95	0.008 64	0.003 96	0.007 03	0.006 75	0.000 86	0.010 50	0.005 68
11 001～17 001	双极	0.007 86	0.007 99	0.010 64	0.012 20	0.016 54	0.020 21	0.012 46	0.013 72	0.011 42	0.014 70	0.026 27	0.020 06	0.030 57	0.017 65	0.028 61	0.021 03	0.007 86	0.025 60	0.019 73
	MOS	0.001 23	0.001 36	0.002 01	0.003 58	0.004 09	0.006 24	0.003 84	0.003 94	0.002 80	0.004 92	0.008 83	0.007 61	0.011 17	0.005 20	0.009 21	0.008 59	0.001 23	0.013 15	0.007 29
17 001～38 000	双极	0.009 08	0.009 21	0.012 24	0.013 80	0.018 88	0.022 85	0.014 06	0.015 54	0.013 02	0.016 52	0.029 60	0.022 40	0.034 29	0.019 99	0.032 34	0.023 37	0.009 08	0.027 94	0.022 07
	MOS	0.001 34	0.001 47	0.002 17	0.003 73	0.004 36	0.006 55	0.003 99	0.004 12	0.002 95	0.005 10	0.009 25	0.007 87	0.011 67	0.005 46	0.009 71	0.008 85	0.001 34	0.013 41	0.007 55
38 001～74 000	双极	0.010 56	0.010 70	0.014 21	0.015 91	0.021 85	0.026 34	0.016 19	0.017 92	0.015 06	0.018 99	0.034 07	0.025 68	0.039 40	0.023 05	0.037 27	0.026 74	0.010 56	0.031 70	0.025 32
	MOS	0.001 52	0.001 66	0.002 46	0.004 16	0.004 90	0.007 32	0.004 44	0.004 60	0.003 31	0.005 67	0.010 33	0.008 73	0.013 00	0.006 11	0.010 87	0.009 79	0.001 52	0.014 76	0.008 38
74 001～150 000	双极	0.012 34	0.012 50	0.016 59	0.018 57	0.025 51	0.030 75	0.018 90	0.020 93	0.017 58	0.022 16	0.039 77	0.029 96	0.045 98	0.026 91	0.043 51	0.031 20	0.012 34	0.036 96	0.029 55
	MOS	0.001 78	0.001 95	0.002 88	0.004 85	0.005 74	0.008 55	0.005 18	0.005 38	0.003 87	0.006 61	0.012 07	0.010 18	0.015 18	0.007 14	0.012 71	0.011 42	0.001 78	0.017 18	0.009 77
150 001～300 000	双极	0.014 28	0.014 45	0.019 15	0.021 12	0.029 25	0.034 96	0.021 45	0.023 83	0.020 13	0.025 07	0.045 09	0.033 70	0.051 93	0.030 65	0.049 46	0.034 93	0.014 28	0.040 70	0.033 28
	MOS	0.001 96	0.002 12	0.003 14	0.005 11	0.006 17	0.009 07	0.005 44	0.005 68	0.004 12	0.006 92	0.012 78	0.010 62	0.016 01	0.007 57	0.013 54	0.011 85	0.001 96	0.017 62	0.010 21
300 001～600 000	双极	0.016 89	0.017 13	0.022 74	0.025 53	0.035 01	0.042 27	0.026 00	0.028 76	0.024 14	0.030 51	0.054 71	0.041 30	0.063 32	0.036 99	0.059 83	0.043 04	0.016 89	0.051 19	0.040 72
	MOS	0.002 51	0.002 74	0.004 05	0.006 85	0.008 08	0.012 06	0.007 31	0.007 58	0.005 45	0.009 33	0.017 02	0.014 37	0.021 41	0.010 06	0.017 92	0.016 11	0.002 51	0.024 26	0.013 79
600 001～1 200 000	双极	0.019 55	0.019 78	0.026 22	0.029 02	0.040 12	0.048 03	0.029 48	0.032 73	0.027 62	0.034 48	0.061 98	0.046 40	0.071 45	0.042 10	0.067 96	0.048 15	0.019 55	0.056 29	0.045 82
	MOS	0.002 76	0.002 99	0.004 41	0.007 21	0.008 69	0.012 78	0.007 67	0.008 01	0.005 81	0.009 76	0.018 02	0.014 98	0.022 57	0.010 67	0.019 08	0.016 72	0.002 76	0.024 87	0.014 40
1 200 001～2 400 000	双极	0.017 52	0.017 79	0.023 99	0.027 32	0.037 83	0.046 22	0.027 88	0.030 91	0.025 66	0.033 00	0.060 51	0.045 33	0.070 51	0.040 19	0.066 34	0.047 41	0.017 52	0.057 14	0.044 63
	MOS	0.003 28	0.003 55	0.005 25	0.008 58	0.010 34	0.015 21	0.009 13	0.009 54	0.006 91	0.011 62	0.021 44	0.017 84	0.026 87	0.012 70	0.022 70	0.019 92	0.003 28	0.029 65	0.017 15

表 C.113(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
2 400 001～4 800 000	双极	0.020 24	0.020 52	0.027 62	0.030 95	0.043 25	0.052 38	0.031 50	0.035 07	0.029 28	0.037 16	0.068 38	0.050 75	0.079 36	0.045 61	0.075 19	0.052 84	0.020 24	0.062 56	0.050 06
	MOS	0.003 62	0.003 90	0.005 75	0.009 09	0.011 20	0.016 22	0.009 64	0.010 14	0.007 42	0.012 23	0.022 83	0.018 70	0.028 49	0.013 56	0.024 32	0.020 78	0.003 62	0.030 50	0.018 00
4 800 001～9 600 000	双极	0.023 42	0.023 70	0.031 85	0.035 19	0.049 59	0.059 57	0.035 74	0.039 94	0.033 52	0.042 02	0.077 57	0.057 09	0.089 70	0.051 95	0.085 54	0.059 18	0.023 42	0.068 90	0.056 40
	MOS	0.004 04	0.004 31	0.006 35	0.009 68	0.012 21	0.017 42	0.010 24	0.010 86	0.008 02	0.012 94	0.024 48	0.019 71	0.030 41	0.014 57	0.026 25	0.021 79	0.004 04	0.031 52	0.019 02
9 600 001～19 200 000	双极	0.027 14	0.027 42	0.036 81	0.040 14	0.057 00	0.067 99	0.040 70	0.045 63	0.038 48	0.047 71	0.088 32	0.064 50	0.101 80	0.059 36	0.097 63	0.066 58	0.027 14	0.076 31	0.063 81
	MOS	0.004 52	0.004 80	0.007 06	0.010 39	0.013 41	0.018 83	0.010 95	0.011 71	0.008 73	0.013 79	0.026 43	0.020 91	0.032 69	0.015 77	0.028 52	0.022 99	0.004 52	0.032 72	0.020 22
19 200 001～38 400 000	MOS	0.005 10	0.005 38	0.007 90	0.011 23	0.014 83	0.020 51	0.011 79	0.012 72	0.009 57	0.014 80	0.028 75	0.022 33	0.035 39	0.017 19	0.031 22	0.024 42	0.005 10	0.034 14	0.021 64
38 400 001～76 800 000	MOS	0.005 79	0.006 06	0.008 90	0.012 23	0.016 52	0.022 50	0.012 79	0.013 91	0.010 56	0.015 99	0.031 48	0.024 02	0.038 58	0.018 88	0.034 41	0.026 10	0.005 79	0.035 82	0.023 32
76 800 001～153 600 000	MOS	0.006 60	0.006 87	0.010 07	0.013 41	0.018 51	0.024 85	0.013 96	0.015 32	0.011 74	0.017 40	0.034 73	0.026 01	0.042 36	0.020 87	0.038 19	0.028 09	0.006 60	0.037 82	0.025 31
153 600 001～307 200 000	MOS	0.007 55	0.007 83	0.011 47	0.014 80	0.020 87	0.027 64	0.015 36	0.016 99	0.013 14	0.019 07	0.038 56	0.028 37	0.046 84	0.023 23	0.042 67	0.030 45	0.007 55	0.040 18	0.027 68
307 200 001～614 400 000	MOS	0.008 69	0.008 97	0.013 12	0.016 46	0.023 67	0.030 94	0.017 01	0.018 97	0.014 79	0.021 05	0.043 11	0.031 17	0.052 14	0.026 03	0.047 98	0.033 25	0.008 69	0.042 97	0.030 47
614 400 001～1 228 800 000	MOS	0.010 04	0.010 31	0.015 08	0.018 41	0.026 98	0.034 85	0.018 97	0.021 31	0.016 75	0.023 40	0.048 50	0.034 48	0.058 42	0.029 34	0.054 26	0.036 56	0.010 04	0.046 28	0.033 78
1 228 800 001～2 457 600 000	MOS	0.011 63	0.011 91	0.017 40	0.020 73	0.030 90	0.039 49	0.021 29	0.024 09	0.019 07	0.026 17	0.054 87	0.038 40	0.065 86	0.033 26	0.061 70	0.040 48	0.011 63	0.050 21	0.037 71
2 457 600 001～4 915 200 000	MOS	0.013 52	0.013 79	0.020 15	0.023 48	0.035 55	0.044 97	0.024 03	0.027 37	0.021 81	0.029 46	0.062 43	0.043 05	0.074 67	0.037 91	0.070 51	0.045 13	0.013 52	0.054 85	0.042 35

表 C.114　单片双极、MOS 模拟电路通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～20	密封	0.000 77	0.000 83	0.001 38	0.002 15	0.003 11	0.004 56	0.002 28	0.002 50	0.001 76	0.002 99	0.006 97	0.004 85	0.008 93	0.003 66	0.007 96	0.005 34	0.000 77	0.007 60	0.004 69
	非密封	0.000 86	0.000 95	0.001 55	0.002 56	0.003 51	0.005 24	0.002 73	0.002 94	0.002 05	0.003 57	0.007 94	0.005 78	0.010 19	0.004 22	0.008 93	0.006 41	0.000 86	0.009 35	0.005 57

表 C.114(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
21～50	密封	0.000 98	0.001 05	0.001 76	0.002 64	0.003 96	0.005 74	0.002 79	0.003 10	0.002 20	0.003 65	0.008 83	0.005 95	0.011 29	0.004 59	0.010 19	0.006 50	0.000 98	0.009 08	0.005 77
	非密封	0.001 09	0.001 18	0.001 95	0.003 10	0.004 42	0.006 51	0.003 29	0.003 60	0.002 53	0.004 31	0.009 94	0.007 00	0.012 73	0.005 23	0.011 29	0.007 72	0.001 09	0.011 07	0.006 76
51～100	密封	0.001 18	0.001 26	0.002 11	0.003 10	0.004 77	0.006 86	0.003 27	0.003 67	0.002 61	0.004 29	0.010 59	0.007 00	0.013 52	0.005 47	0.012 29	0.007 62	0.001 18	0.010 51	0.006 79
	非密封	0.001 30	0.001 41	0.002 34	0.003 62	0.005 28	0.007 72	0.003 84	0.004 22	0.002 98	0.005 03	0.011 82	0.008 17	0.015 13	0.006 19	0.013 52	0.008 98	0.001 30	0.012 73	0.007 91
101～500	密封	0.002 29	0.002 40	0.004 04	0.005 35	0.008 95	0.012 41	0.005 57	0.006 46	0.004 70	0.007 28	0.019 26	0.011 90	0.024 41	0.009 88	0.022 78	0.012 71	0.002 29	0.016 53	0.011 62
	非密封	0.002 45	0.002 59	0.004 34	0.006 04	0.009 62	0.013 56	0.006 32	0.007 20	0.005 19	0.008 26	0.020 89	0.013 45	0.026 54	0.010 83	0.024 41	0.014 51	0.002 45	0.019 48	0.013 10
501～1 000	密封	0.002 73	0.002 84	0.004 82	0.006 13	0.010 66	0.014 60	0.006 35	0.007 48	0.005 47	0.008 30	0.022 76	0.013 60	0.028 81	0.011 58	0.027 18	0.014 42	0.002 73	0.018 24	0.013 33
	非密封	0.002 89	0.003 03	0.005 11	0.006 82	0.011 33	0.015 74	0.007 10	0.008 22	0.005 97	0.009 28	0.024 40	0.015 16	0.030 94	0.012 53	0.028 81	0.016 22	0.002 89	0.021 18	0.014 80
1 001～2 000	密封	0.004 54	0.004 72	0.007 91	0.010 06	0.017 19	0.023 45	0.010 42	0.012 22	0.008 99	0.013 56	0.036 20	0.022 02	0.045 62	0.018 71	0.042 94	0.023 37	0.004 54	0.029 63	0.021 57
	非密封	0.004 81	0.005 04	0.008 40	0.011 19	0.018 29	0.025 33	0.011 66	0.013 43	0.009 79	0.015 17	0.038 88	0.024 57	0.049 11	0.020 27	0.045 62	0.026 32	0.004 81	0.034 47	0.023 99
2 001～3 000	密封	0.005 11	0.005 29	0.008 90	0.011 05	0.019 31	0.026 15	0.011 41	0.013 50	0.009 98	0.014 85	0.040 47	0.024 14	0.050 95	0.020 83	0.048 27	0.025 49	0.005 11	0.031 75	0.023 70
	非密封	0.005 38	0.005 61	0.009 39	0.012 18	0.020 41	0.028 03	0.012 65	0.014 71	0.010 78	0.016 46	0.043 16	0.026 70	0.054 45	0.022 39	0.050 95	0.028 44	0.005 38	0.036 59	0.026 11
3 001～4 000	密封	0.006 12	0.006 40	0.010 68	0.014 07	0.023 25	0.032 08	0.014 64	0.016 93	0.012 38	0.019 05	0.049 30	0.030 87	0.062 24	0.025 65	0.058 01	0.032 99	0.006 12	0.042 88	0.030 17
	非密封	0.006 54	0.006 91	0.011 44	0.015 85	0.024 98	0.035 05	0.016 58	0.018 84	0.013 65	0.021 59	0.053 54	0.034 90	0.067 75	0.028 10	0.062 24	0.037 65	0.006 54	0.050 50	0.033 98
4 001～5 000	密封	0.006 52	0.006 81	0.011 38	0.014 77	0.024 74	0.033 98	0.015 33	0.017 83	0.013 07	0.019 95	0.052 31	0.032 37	0.066 00	0.027 14	0.061 76	0.034 48	0.006 52	0.044 37	0.031 66
	非密封	0.006 95	0.007 31	0.012 14	0.016 55	0.026 48	0.036 94	0.017 28	0.019 74	0.014 34	0.022 49	0.056 55	0.036 39	0.071 50	0.029 60	0.066 00	0.039 14	0.006 95	0.052 00	0.035 47

表 C.115 微波单片集成电路通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管结构	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
GaAs MMIC (MESFET)	密封	0.002 10	0.002 14	0.005 11	0.005 56	0.018 19	0.026 58	0.005 64	0.008 68	0.005 34	0.008 97	0.045 11	0.019 21	0.059 06	0.018 51	0.058 49	0.019 49	0.002 10	0.020 80	0.019 11
	非密封	0.003 58	0.003 63	0.008 48	0.009 07	0.029 31	0.037 44	0.009 16	0.014 16	0.008 77	0.014 53	0.059 99	0.030 63	0.079 39	0.029 72	0.078 66	0.030 99	0.003 58	0.032 70	0.030 51
GaAs MMIC (HBT)	密封	0.002 49	0.002 52	0.006 07	0.006 52	0.021 67	0.031 63	0.006 59	0.010 25	0.006 29	0.010 53	0.053 76	0.022 69	0.070 38	0.021 99	0.069 82	0.022 97	0.002 49	0.024 29	0.022 60
	非密封	0.004 25	0.004 30	0.010 09	0.010 67	0.034 97	0.044 58	0.010 77	0.016 78	0.010 38	0.017 14	0.071 49	0.036 29	0.094 63	0.035 39	0.093 90	0.036 66	0.004 25	0.038 37	0.036 17

表 C.115（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管结构	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
GaAs MMIC (pHEMT)	密封	0.007 47	0.007 51	0.018 48	0.018 93	0.066 97	0.097 32	0.019 00	0.030 63	0.018 70	0.030 92	0.166 16	0.067 98	0.217 58	0.067 29	0.217 02	0.068 26	0.007 47	0.069 58	0.067 89
	非密封	0.012 92	0.012 97	0.030 99	0.031 58	0.108 57	0.137 48	0.031 67	0.050 75	0.031 28	0.051 11	0.221 10	0.109 89	0.292 78	0.108 99	0.292 05	0.110 26	0.012 92	0.111 97	0.109 77
GaN MMIC (HEMT)	密封	0.000 57	0.000 61	0.001 29	0.001 74	0.004 25	0.006 37	0.001 82	0.002 41	0.001 52	0.002 70	0.010 53	0.005 27	0.013 77	0.004 57	0.013 20	0.005 55	0.000 57	0.006 87	0.005 18
	非密封	0.000 91	0.000 96	0.002 05	0.002 63	0.006 66	0.008 86	0.002 73	0.003 71	0.002 34	0.004 08	0.013 95	0.007 98	0.018 42	0.007 08	0.017 69	0.008 35	0.000 91	0.010 06	0.007 86

表 C.116　密封静态随机存储器（SRAM）通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.004 15	0.004 23	0.006 10	0.006 98	0.010 51	0.013 13	0.007 13	0.008 12	0.006 54	0.008 67	0.017 97	0.012 50	0.021 31	0.011 14	0.020 21	0.013 05	0.004 15	0.015 63	0.012 32
	MOS	0.000 55	0.000 62	0.000 96	0.001 84	0.002 09	0.003 30	0.001 99	0.002 03	0.001 40	0.002 58	0.004 76	0.004 08	0.006 10	0.002 72	0.005 00	0.004 63	0.000 55	0.007 21	0.003 89
321～576	双极	0.004 91	0.004 99	0.007 19	0.008 08	0.012 32	0.015 25	0.008 22	0.009 42	0.007 64	0.009 97	0.020 84	0.014 31	0.024 63	0.012 95	0.023 53	0.014 86	0.004 91	0.017 44	0.014 13
	MOS	0.000 58	0.000 66	0.001 02	0.001 90	0.002 21	0.003 44	0.002 05	0.002 10	0.001 46	0.002 65	0.004 98	0.004 19	0.006 36	0.002 83	0.005 26	0.004 75	0.000 58	0.007 32	0.004 01
577～1 120	双极	0.005 83	0.005 90	0.008 51	0.009 39	0.014 50	0.017 79	0.009 54	0.010 98	0.008 95	0.011 53	0.024 29	0.016 48	0.028 62	0.015 12	0.027 52	0.017 03	0.005 83	0.019 61	0.016 30
	MOS	0.000 63	0.000 70	0.001 09	0.001 97	0.002 34	0.003 61	0.002 12	0.002 19	0.001 53	0.002 74	0.005 23	0.004 33	0.006 67	0.002 97	0.005 57	0.004 88	0.000 63	0.007 46	0.004 15
1 121～2 240	双极	0.008 29	0.008 38	0.011 94	0.012 93	0.019 96	0.024 20	0.013 10	0.015 11	0.012 44	0.015 73	0.032 75	0.022 19	0.038 34	0.020 67	0.037 11	0.022 81	0.008 29	0.025 70	0.021 99
	MOS	0.000 81	0.000 89	0.001 38	0.002 37	0.002 93	0.004 41	0.002 54	0.002 66	0.001 88	0.003 28	0.006 39	0.005 16	0.008 10	0.003 63	0.006 86	0.005 78	0.000 81	0.008 67	0.004 95
2 241～5 000	双极	0.009 88	0.009 96	0.014 19	0.015 18	0.023 64	0.028 48	0.015 35	0.017 77	0.014 69	0.018 39	0.038 51	0.025 86	0.044 97	0.024 34	0.043 73	0.026 48	0.009 88	0.029 37	0.025 66
	MOS	0.000 89	0.000 97	0.001 51	0.002 50	0.003 18	0.004 71	0.002 67	0.002 82	0.002 01	0.003 44	0.006 84	0.005 40	0.008 65	0.003 88	0.007 41	0.006 02	0.000 89	0.008 91	0.005 20
5 001～11 000	双极	0.011 78	0.011 86	0.016 90	0.017 89	0.028 05	0.033 63	0.018 05	0.020 97	0.017 39	0.021 59	0.045 42	0.030 27	0.052 93	0.028 75	0.051 69	0.030 89	0.011 78	0.033 78	0.030 07
	MOS	0.000 99	0.001 07	0.001 66	0.002 65	0.003 47	0.005 08	0.002 82	0.003 01	0.002 16	0.003 63	0.007 38	0.005 70	0.009 30	0.004 17	0.008 06	0.006 32	0.000 99	0.009 21	0.005 49
11 001～17 001	双极	0.016 82	0.016 92	0.023 85	0.025 06	0.038 97	0.046 38	0.025 26	0.029 27	0.024 45	0.030 02	0.062 14	0.041 68	0.072 08	0.039 82	0.070 57	0.042 43	0.016 82	0.045 94	0.041 43
	MOS	0.001 38	0.001 48	0.002 29	0.003 49	0.004 68	0.006 71	0.003 69	0.003 98	0.002 89	0.004 73	0.009 73	0.007 38	0.012 19	0.005 53	0.010 68	0.008 14	0.001 38	0.011 64	0.007 13
17 001～38 000	双极	0.020 10	0.020 20	0.028 47	0.029 67	0.046 39	0.055 00	0.029 87	0.034 70	0.029 07	0.035 45	0.073 62	0.049 10	0.085 25	0.047 24	0.083 75	0.049 85	0.020 10	0.053 36	0.048 85
	MOS	0.001 55	0.001 65	0.002 56	0.003 76	0.005 20	0.007 35	0.003 96	0.004 32	0.003 16	0.005 07	0.010 66	0.007 90	0.013 31	0.006 05	0.011 81	0.008 66	0.001 55	0.012 17	0.007 65

表 C.116(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
38 001～74 000	双极	0.028 53	0.028 64	0.039 95	0.041 26	0.064 08	0.075 34	0.041 47	0.048 11	0.040 60	0.048 92	0.100 02	0.067 02	0.115 22	0.065 00	0.113 58	0.067 84	0.028 53	0.071 66	0.066 75
	MOS	0.002 13	0.002 24	0.003 46	0.004 76	0.006 84	0.009 42	0.004 98	0.005 52	0.004 11	0.006 33	0.013 60	0.009 79	0.016 84	0.007 77	0.015 20	0.010 60	0.002 13	0.014 42	0.009 51
74 001～150 000	双极	0.034 24	0.034 37	0.047 94	0.049 46	0.076 86	0.090 33	0.049 71	0.057 68	0.048 70	0.058 63	0.119 90	0.080 28	0.138 10	0.077 94	0.136 20	0.081 23	0.034 24	0.085 67	0.079 97
	MOS	0.002 53	0.002 66	0.004 10	0.005 63	0.008 11	0.011 14	0.005 88	0.006 52	0.004 86	0.007 47	0.016 09	0.011 53	0.019 92	0.009 19	0.018 02	0.012 48	0.002 53	0.016 92	0.011 22
150 001～300 000	双极	0.048 38	0.048 50	0.066 98	0.068 51	0.105 76	0.123 27	0.068 76	0.079 65	0.067 74	0.080 60	0.162 29	0.109 18	0.185 95	0.106 83	0.184 05	0.110 13	0.048 38	0.114 56	0.108 86
	MOS	0.003 49	0.003 61	0.005 54	0.007 06	0.010 64	0.014 16	0.007 31	0.008 26	0.006 30	0.009 21	0.020 34	0.014 06	0.024 92	0.011 71	0.023 02	0.015 01	0.003 49	0.019 44	0.013 74
300 001～600 000	双极	0.057 97	0.058 10	0.080 22	0.081 74	0.126 49	0.147 16	0.081 99	0.095 08	0.080 98	0.096 03	0.193 64	0.129 91	0.221 66	0.127 56	0.219 76	0.130 86	0.057 97	0.135 29	0.129 59
	MOS	0.004 05	0.004 18	0.006 41	0.007 93	0.012 23	0.016 08	0.008 18	0.009 33	0.007 17	0.010 28	0.023 11	0.015 65	0.028 23	0.013 31	0.026 33	0.016 60	0.004 05	0.021 03	0.015 33
600 001～1 200 000	双极	0.069 93	0.070 14	0.096 89	0.099 46	0.153 17	0.178 89	0.099 88	0.115 58	0.098 18	0.117 18	0.235 63	0.158 94	0.270 21	0.154 99	0.267 01	0.160 54	0.069 93	0.168 02	0.158 40
	MOS	0.005 17	0.005 38	0.008 24	0.010 80	0.015 93	0.021 44	0.011 23	0.012 57	0.009 52	0.014 18	0.030 79	0.021 69	0.037 85	0.017 74	0.034 64	0.023 30	0.005 17	0.030 78	0.021 16
1 200 001～2 400 000	双极	0.083 77	0.083 98	0.115 98	0.118 54	0.183 07	0.213 33	0.118 97	0.137 84	0.117 26	0.139 44	0.280 84	0.188 84	0.321 73	0.184 89	0.318 52	0.190 44	0.083 77	0.197 92	0.188 31
	MOS	0.005 98	0.006 19	0.009 49	0.012 05	0.018 22	0.024 21	0.012 48	0.014 11	0.010 77	0.015 72	0.034 78	0.023 99	0.042 60	0.020 03	0.039 40	0.025 59	0.005 98	0.033 07	0.023 45
2 400 001～4 800 000	双极	0.100 39	0.100 60	0.138 90	0.141 47	0.218 98	0.254 71	0.141 89	0.164 57	0.140 18	0.166 18	0.335 13	0.224 75	0.383 59	0.220 80	0.380 39	0.226 35	0.100 39	0.233 83	0.224 22
	MOS	0.006 95	0.007 17	0.010 99	0.013 56	0.020 96	0.027 53	0.013 98	0.015 96	0.012 27	0.017 56	0.039 56	0.026 73	0.048 30	0.022 78	0.045 09	0.028 33	0.006 95	0.035 81	0.026 20
4 800 001～9 600 000	双极	0.120 35	0.120 57	0.166 43	0.168 99	0.262 11	0.304 39	0.169 42	0.196 68	0.167 71	0.198 29	0.400 33	0.267 88	0.457 89	0.263 93	0.454 69	0.269 48	0.120 35	0.276 96	0.267 35
	MOS	0.008 12	0.008 33	0.012 79	0.015 35	0.024 25	0.031 51	0.015 78	0.018 17	0.014 07	0.019 78	0.045 29	0.030 02	0.055 12	0.026 07	0.051 92	0.031 62	0.008 12	0.039 10	0.029 48
9 600 001～19 200 000	双极	0.144 32	0.144 54	0.199 49	0.202 05	0.313 91	0.364 06	0.202 48	0.235 24	0.200 77	0.236 85	0.478 64	0.319 68	0.547 12	0.315 72	0.543 92	0.321 28	0.144 32	0.328 76	0.319 14
	MOS	0.009 52	0.009 73	0.014 95	0.017 51	0.028 19	0.036 27	0.017 94	0.020 82	0.016 23	0.022 43	0.052 16	0.033 96	0.063 30	0.030 01	0.060 10	0.035 56	0.009 52	0.043 04	0.033 43
19 200 001～38 400 000	双极	0.173 11	0.173 33	0.239 19	0.241 76	0.376 11	0.435 72	0.242 19	0.281 55	0.240 48	0.283 16	0.572 69	0.381 88	0.654 29	0.377 93	0.651 08	0.383 48	0.173 11	0.390 96	0.381 35
	MOS	0.011 20	0.011 41	0.017 53	0.020 09	0.032 92	0.041 99	0.020 52	0.024 00	0.018 81	0.025 60	0.060 39	0.038 68	0.073 11	0.034 73	0.069 90	0.040 29	0.011 20	0.047 77	0.038 15
38 400 001～76 800 000	双极	0.207 69	0.207 90	0.286 88	0.289 44	0.450 82	0.521 79	0.289 87	0.337 17	0.288 16	0.338 77	0.685 63	0.456 59	0.782 99	0.452 63	0.779 78	0.458 19	0.207 69	0.465 67	0.456 05
	MOS	0.013 20	0.013 42	0.020 63	0.023 19	0.038 58	0.048 83	0.023 62	0.027 81	0.021 91	0.029 41	0.070 25	0.044 35	0.084 86	0.040 39	0.081 65	0.045 95	0.013 20	0.053 43	0.043 81
76 800 001～153 600 000	双极	0.249 56	0.249 84	0.344 77	0.348 16	0.541 95	0.627 55	0.348 72	0.405 51	0.346 46	0.407 63	0.824 71	0.549 58	0.942 02	0.544 35	0.937 78	0.551 69	0.249 56	0.561 58	0.548 87
	MOS	0.019 52	0.019 81	0.030 11	0.033 50	0.055 35	0.069 51	0.034 06	0.040 06	0.031 80	0.042 18	0.099 17	0.062 98	0.119 23	0.057 75	0.114 99	0.065 09	0.019 52	0.074 98	0.062 27
153 600 001～307 200 000	双极	0.299 43	0.299 71	0.413 54	0.416 93	0.649 70	0.751 69	0.417 50	0.485 73	0.415 24	0.487 85	0.987 62	0.657 33	1.127 65	0.652 10	1.123 41	0.659 45	0.299 43	0.669 33	0.656 62
	MOS	0.023 12	0.023 40	0.035 58	0.038 97	0.065 18	0.081 34	0.039 53	0.046 75	0.037 27	0.048 87	0.116 04	0.072 81	0.139 24	0.067 58	0.135 00	0.074 93	0.023 12	0.084 81	0.072 10

表 C.116(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
307 200 001～614 400 000	MOS	0.027 42	0.027 71	0.042 13	0.045 52	0.076 96	0.095 51	0.046 08	0.054 76	0.043 83	0.056 88	0.136 26	0.084 59	0.163 22	0.079 36	0.158 98	0.086 71	0.027 42	0.096 59	0.083 88

表 C.117　非密封静态随机存储器(SRAM)通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	双极	0.004 26	0.004 36	0.006 30	0.007 45	0.010 97	0.013 90	0.007 64	0.008 62	0.006 87	0.009 34	0.019 07	0.013 55	0.022 75	0.011 78	0.021 31	0.014 27	0.004 26	0.017 62	0.013 31
	MOS	0.000 66	0.000 76	0.001 16	0.002 30	0.002 54	0.004 07	0.002 50	0.002 53	0.001 73	0.003 24	0.005 87	0.005 13	0.007 54	0.003 36	0.006 10	0.005 85	0.000 66	0.009 19	0.004 89
321～576	双极	0.005 02	0.005 12	0.007 39	0.008 54	0.012 77	0.016 02	0.008 73	0.009 92	0.007 97	0.010 64	0.021 95	0.015 36	0.026 07	0.013 59	0.024 63	0.016 08	0.005 02	0.019 43	0.015 12
	MOS	0.000 70	0.000 79	0.001 21	0.002 36	0.002 66	0.004 21	0.002 55	0.002 60	0.001 79	0.003 32	0.006 08	0.005 24	0.007 80	0.003 47	0.006 36	0.005 96	0.000 70	0.009 31	0.005 00
577～1 120	双极	0.005 94	0.006 03	0.008 71	0.009 85	0.014 95	0.018 56	0.010 05	0.011 48	0.009 28	0.012 20	0.025 39	0.017 53	0.030 06	0.015 76	0.028 62	0.018 25	0.005 94	0.021 60	0.017 29
	MOS	0.000 74	0.000 83	0.001 28	0.002 43	0.002 80	0.004 38	0.002 62	0.002 69	0.001 86	0.003 41	0.006 34	0.005 38	0.008 11	0.003 61	0.006 67	0.006 10	0.000 74	0.009 45	0.005 14
1 121～2 240	双极	0.008 42	0.008 52	0.012 17	0.013 45	0.020 47	0.025 07	0.013 67	0.015 66	0.012 81	0.016 47	0.033 99	0.023 37	0.039 95	0.021 38	0.038 34	0.024 17	0.008 42	0.027 93	0.023 10
	MOS	0.000 94	0.001 04	0.001 61	0.002 89	0.003 44	0.005 28	0.003 11	0.003 22	0.002 25	0.004 02	0.007 63	0.006 33	0.009 71	0.004 35	0.008 10	0.007 14	0.000 94	0.010 89	0.006 07
2 241～5 000	双极	0.010 00	0.010 11	0.014 42	0.015 70	0.024 14	0.029 35	0.015 92	0.018 33	0.015 06	0.019 13	0.039 74	0.027 04	0.046 58	0.025 06	0.044 97	0.027 85	0.010 00	0.031 60	0.026 77
	MOS	0.001 01	0.001 12	0.001 73	0.003 02	0.003 68	0.005 58	0.003 24	0.003 38	0.002 38	0.004 18	0.008 08	0.006 58	0.010 26	0.004 60	0.008 65	0.007 38	0.001 01	0.011 14	0.006 31
5 001～11 000	双极	0.011 90	0.012 01	0.017 12	0.018 41	0.028 55	0.034 49	0.018 62	0.021 52	0.017 76	0.022 33	0.046 65	0.031 45	0.054 54	0.029 47	0.052 93	0.032 26	0.011 90	0.036 01	0.031 18
	MOS	0.001 11	0.001 22	0.001 89	0.003 17	0.003 98	0.005 94	0.003 39	0.003 57	0.002 53	0.004 37	0.008 62	0.006 87	0.010 91	0.004 89	0.009 30	0.007 68	0.001 11	0.011 43	0.006 61
11 001～17 001	双极	0.016 97	0.017 10	0.024 12	0.025 69	0.039 59	0.047 44	0.025 95	0.029 95	0.024 91	0.030 93	0.063 64	0.043 11	0.074 03	0.040 70	0.072 08	0.044 09	0.016 97	0.048 65	0.042 78
	MOS	0.001 53	0.001 66	0.002 56	0.004 12	0.005 29	0.007 77	0.004 38	0.004 66	0.003 34	0.005 63	0.011 23	0.008 81	0.014 14	0.006 40	0.012 19	0.009 79	0.001 53	0.014 35	0.008 49
17 001～38 000	双极	0.020 25	0.020 38	0.028 74	0.030 30	0.047 01	0.056 05	0.030 56	0.035 38	0.029 52	0.036 35	0.075 12	0.050 53	0.087 21	0.048 12	0.085 25	0.051 50	0.020 25	0.056 07	0.050 20
	MOS	0.001 70	0.001 83	0.002 83	0.004 39	0.005 81	0.008 40	0.004 66	0.005 00	0.003 61	0.005 97	0.012 17	0.009 33	0.015 27	0.006 92	0.013 31	0.010 31	0.001 70	0.014 87	0.009 01
38 001～74 000	双极	0.028 69	0.028 83	0.040 24	0.041 94	0.064 75	0.076 49	0.042 23	0.048 84	0.041 09	0.049 91	0.101 65	0.068 57	0.117 35	0.065 95	0.115 22	0.069 64	0.028 69	0.074 60	0.068 22
	MOS	0.002 29	0.002 44	0.003 75	0.005 45	0.007 51	0.010 56	0.005 74	0.006 25	0.004 60	0.007 32	0.015 23	0.011 34	0.018 97	0.008 72	0.016 84	0.012 40	0.002 29	0.017 37	0.010 99
74 001～150 000	双极	0.034 43	0.034 60	0.048 28	0.050 25	0.077 64	0.091 66	0.050 58	0.058 53	0.049 27	0.059 77	0.121 80	0.082 09	0.140 57	0.079 04	0.138 10	0.083 32	0.034 43	0.089 09	0.081 68
	MOS	0.002 72	0.002 89	0.004 45	0.006 42	0.008 89	0.012 47	0.006 75	0.007 37	0.005 43	0.008 61	0.017 99	0.013 34	0.022 39	0.010 29	0.019 92	0.014 57	0.002 72	0.020 34	0.012 93

表 C.117(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_I	M_F
150 001～300 000	双极	0.048 57	0.048 73	0.067 33	0.069 30	0.106 53	0.124 60	0.069 63	0.080 50	0.068 32	0.081 74	0.164 19	0.110 98	0.188 42	0.107 93	0.185 95	0.112 22	0.048 57	0.117 98	0.110 57
	MOS	0.003 68	0.003 84	0.005 88	0.007 85	0.011 41	0.015 49	0.008 18	0.009 11	0.006 87	0.010 35	0.022 24	0.015 86	0.027 39	0.012 81	0.024 92	0.017 10	0.003 68	0.022 86	0.015 45
300 001～600 000	双极	0.058 16	0.058 33	0.080 56	0.082 54	0.127 27	0.148 49	0.082 87	0.095 94	0.081 55	0.097 17	0.195 54	0.131 71	0.224 13	0.128 67	0.221 66	0.132 95	0.058 16	0.138 71	0.131 30
	MOS	0.004 24	0.004 41	0.006 75	0.008 73	0.013 01	0.017 41	0.009 06	0.010 19	0.007 74	0.011 42	0.025 01	0.017 46	0.030 70	0.014 41	0.028 23	0.018 69	0.004 24	0.024 46	0.017 04
600 001～1 200 000	双极	0.070 25	0.070 53	0.097 47	0.100 80	0.154 48	0.181 13	0.101 36	0.117 02	0.099 14	0.119 10	0.238 83	0.161 98	0.274 38	0.156 84	0.270 21	0.164 07	0.070 25	0.173 79	0.161 29
	MOS	0.005 49	0.005 76	0.008 81	0.012 15	0.017 24	0.023 68	0.012 70	0.014 02	0.010 48	0.016 10	0.034 00	0.024 74	0.042 01	0.019 60	0.037 85	0.026 82	0.005 49	0.036 55	0.024 05
1 200 001～2 400 000	双极	0.084 09	0.084 37	0.116 56	0.119 89	0.184 38	0.215 58	0.120 45	0.139 28	0.118 22	0.141 36	0.284 04	0.191 89	0.325 89	0.186 75	0.321 73	0.193 97	0.084 09	0.203 69	0.191 19
	MOS	0.006 30	0.006 58	0.010 07	0.013 40	0.019 53	0.026 45	0.013 96	0.015 56	0.011 73	0.017 64	0.037 99	0.027 03	0.046 77	0.021 89	0.042 60	0.029 11	0.006 30	0.038 84	0.026 34
2 400 001～4 800 000	双极	0.100 71	0.100 99	0.139 48	0.142 81	0.220 30	0.256 95	0.143 37	0.166 02	0.141 14	0.168 10	0.338 33	0.227 80	0.387 76	0.222 66	0.383 59	0.229 88	0.100 71	0.239 60	0.227 10
	MOS	0.007 27	0.007 55	0.011 57	0.014 90	0.022 27	0.029 77	0.015 46	0.017 40	0.013 23	0.019 49	0.042 77	0.029 77	0.052 46	0.024 64	0.048 30	0.031 86	0.007 27	0.041 58	0.029 08
4 800 001～9 600 000	双极	0.102 23	0.102 51	0.142 91	0.146 24	0.228 53	0.267 45	0.146 80	0.170 76	0.144 58	0.172 84	0.354 64	0.236 03	0.407 70	0.230 89	0.403 54	0.238 11	0.102 23	0.247 84	0.235 34
	MOS	0.008 44	0.008 72	0.013 37	0.016 70	0.025 56	0.033 75	0.017 26	0.019 62	0.015 03	0.021 70	0.048 50	0.033 06	0.059 29	0.027 92	0.055 12	0.035 15	0.008 44	0.044 87	0.032 37
9 600 001～19 200 000	双极	0.122 49	0.122 77	0.171 13	0.174 46	0.273 31	0.319 25	0.175 02	0.203 82	0.172 79	0.205 90	0.423 12	0.280 81	0.486 01	0.275 68	0.481 85	0.282 90	0.122 49	0.292 62	0.280 12
	MOS	0.009 84	0.010 12	0.015 52	0.018 86	0.029 51	0.038 52	0.019 41	0.022 27	0.017 19	0.024 35	0.055 36	0.037 01	0.067 47	0.031 87	0.063 30	0.039 09	0.009 84	0.048 81	0.036 31
19 200 001～38 400 000	双极	0.146 83	0.147 11	0.205 02	0.208 35	0.327 10	0.381 45	0.208 91	0.243 52	0.206 68	0.245 61	0.505 37	0.334 60	0.580 06	0.329 46	0.575 89	0.336 68	0.146 83	0.346 40	0.333 90
	MOS	0.011 52	0.011 79	0.018 11	0.021 44	0.034 23	0.044 23	0.022 00	0.025 44	0.019 77	0.027 53	0.063 59	0.041 73	0.077 27	0.036 59	0.073 11	0.043 81	0.011 52	0.053 54	0.041 04
38 400 001～76 800 000	双极	0.176 06	0.176 34	0.245 72	0.249 05	0.391 69	0.456 16	0.249 61	0.291 21	0.247 38	0.293 29	0.604 14	0.399 19	0.693 00	0.394 05	0.688 84	0.401 27	0.176 06	0.411 00	0.398 50
	MOS	0.013 52	0.013 80	0.021 20	0.024 54	0.039 89	0.051 08	0.025 09	0.029 25	0.022 87	0.031 34	0.073 45	0.047 39	0.089 02	0.042 25	0.084 86	0.049 47	0.013 52	0.059 20	0.046 70
76 800 001～153 600 000	双极	0.249 98	0.250 35	0.345 53	0.349 94	0.543 69	0.630 52	0.350 67	0.407 42	0.347 73	0.410 18	0.828 95	0.553 60	0.947 53	0.546 81	0.942 02	0.556 35	0.249 98	0.569 21	0.552 68
	MOS	0.019 95	0.020 32	0.030 87	0.035 28	0.057 09	0.072 48	0.036 01	0.041 97	0.033 07	0.044 72	0.103 41	0.067 00	0.124 73	0.060 21	0.119 23	0.069 75	0.019 95	0.082 61	0.066 08
153 600 001～307 200 000	双极	0.299 85	0.300 22	0.414 31	0.418 71	0.651 44	0.754 65	0.419 45	0.487 64	0.416 51	0.490 39	0.991 85	0.661 35	1.133 16	0.654 56	1.127 65	0.664 11	0.299 85	0.676 96	0.660 43
	MOS	0.023 54	0.023 91	0.036 34	0.040 75	0.066 92	0.084 30	0.041 48	0.048 65	0.038 54	0.051 41	0.120 28	0.076 83	0.144 75	0.070 04	0.139 24	0.079 59	0.023 54	0.092 44	0.075 91
307 200 001～614 400 000	MOS	0.027 85	0.028 21	0.042 89	0.047 30	0.078 70	0.098 48	0.048 03	0.056 67	0.045 10	0.059 42	0.140 50	0.088 62	0.168 73	0.081 82	0.163 22	0.091 37	0.027 85	0.104 22	0.087 70

表 C.118　密封先进先出存储器(FIFO)通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～320	MOS	0.000 62	0.000 72	0.001 09	0.002 24	0.002 42	0.003 92	0.002 43	0.002 45	0.001 67	0.003 17	0.005 64	0.005 00	0.007 26	0.003 23	0.005 82	0.005 72	0.000 62	0.009 07	0.004 77
321～576	MOS	0.000 65	0.000 75	0.001 14	0.002 29	0.002 52	0.004 04	0.002 48	0.002 51	0.001 72	0.003 23	0.005 82	0.005 10	0.007 48	0.003 33	0.006 05	0.005 82	0.000 65	0.009 17	0.004 86
577～1 120	MOS	0.000 69	0.000 78	0.001 20	0.002 35	0.002 64	0.004 19	0.002 54	0.002 59	0.001 78	0.003 30	0.006 04	0.005 22	0.007 75	0.003 45	0.006 32	0.005 94	0.000 69	0.009 29	0.004 98
1 121～2 240	MOS	0.000 86	0.000 97	0.001 49	0.002 78	0.003 22	0.005 01	0.002 99	0.003 07	0.002 14	0.003 88	0.007 22	0.006 11	0.009 22	0.004 13	0.007 61	0.006 92	0.000 86	0.010 67	0.005 84
2 241～5 000	MOS	0.000 93	0.001 04	0.001 60	0.002 89	0.003 43	0.005 27	0.003 11	0.003 22	0.002 25	0.004 02	0.007 62	0.006 33	0.009 70	0.004 35	0.008 10	0.007 14	0.000 93	0.010 89	0.006 06
5 001～11 000	MOS	0.001 02	0.001 13	0.001 74	0.003 03	0.003 70	0.005 60	0.003 24	0.003 39	0.002 39	0.004 19	0.008 11	0.006 60	0.010 29	0.004 61	0.008 68	0.007 40	0.001 02	0.011 16	0.006 33
11 001～17 000	MOS	0.001 40	0.001 53	0.002 35	0.003 92	0.004 91	0.007 30	0.004 18	0.004 40	0.003 14	0.005 38	0.010 54	0.008 43	0.013 32	0.006 02	0.011 36	0.009 41	0.001 40	0.013 97	0.008 10
17 001～38 000	MOS	0.001 56	0.001 69	0.002 61	0.004 17	0.005 39	0.007 89	0.004 43	0.004 72	0.003 39	0.005 70	0.011 41	0.008 91	0.014 35	0.006 50	0.012 40	0.009 89	0.001 56	0.014 45	0.008 58
38 001～74 000	MOS	0.002 10	0.002 24	0.003 45	0.005 15	0.006 94	0.009 87	0.005 43	0.005 88	0.004 30	0.006 94	0.014 23	0.010 77	0.017 77	0.008 15	0.015 64	0.011 84	0.002 10	0.016 80	0.010 42
74 001～150 000	MOS	0.002 51	0.002 68	0.004 12	0.006 09	0.008 28	0.011 72	0.006 42	0.006 97	0.005 10	0.008 20	0.016 91	0.012 72	0.021 09	0.009 68	0.018 62	0.013 96	0.002 51	0.019 72	0.012 31
150 001～300 000	MOS	0.003 39	0.003 56	0.005 44	0.007 42	0.010 61	0.014 52	0.007 75	0.008 57	0.006 43	0.009 81	0.020 84	0.015 06	0.025 72	0.012 01	0.023 25	0.016 29	0.003 39	0.022 06	0.014 65
300 001～600 000	MOS	0.004 28	0.004 51	0.006 90	0.009 69	0.013 56	0.018 77	0.010 16	0.011 15	0.008 30	0.012 89	0.026 94	0.019 84	0.033 36	0.015 54	0.029 87	0.021 59	0.004 28	0.029 74	0.019 26
600 001～1 200 000	MOS	0.004 95	0.005 18	0.007 93	0.010 72	0.015 44	0.021 05	0.011 19	0.012 41	0.009 33	0.014 16	0.030 22	0.021 72	0.037 27	0.017 42	0.033 78	0.023 47	0.004 95	0.031 62	0.021 14
1 200 001～2 400 000	MOS	0.005 99	0.006 26	0.009 58	0.012 92	0.018 65	0.025 39	0.013 47	0.014 96	0.011 25	0.017 05	0.036 45	0.026 15	0.044 94	0.021 01	0.040 77	0.028 23	0.005 99	0.037 95	0.025 45
2 400 001～4 800 000	MOS	0.006 97	0.007 25	0.011 10	0.014 44	0.021 42	0.028 74	0.014 99	0.016 83	0.012 77	0.018 91	0.041 29	0.028 92	0.050 70	0.023 78	0.046 53	0.031 01	0.006 97	0.040 73	0.028 23
4 800 001～9 600 000	MOS	0.008 17	0.008 44	0.012 94	0.016 28	0.024 79	0.032 82	0.016 83	0.019 10	0.014 61	0.021 18	0.047 15	0.032 29	0.057 69	0.027 15	0.053 52	0.034 38	0.008 17	0.044 10	0.031 60
9 600 001～16 777 216	MOS	0.009 62	0.009 90	0.015 18	0.018 52	0.028 88	0.037 76	0.019 07	0.021 85	0.016 85	0.023 93	0.054 28	0.036 38	0.066 18	0.031 24	0.062 01	0.038 47	0.009 62	0.048 19	0.035 69

表 C.119 MOS 动态随机存储器(DRAM)通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_I	M_F
1～320	密封	0.000 67	0.000 75	0.001 22	0.002 11	0.002 82	0.004 29	0.002 25	0.002 41	0.001 66	0.002 96	0.006 54	0.004 81	0.008 43	0.003 45	0.007 33	0.005 36	0.000 67	0.007 94	0.004 62
	非密封	0.000 78	0.000 88	0.001 42	0.002 57	0.003 27	0.005 06	0.002 76	0.002 90	0.002 00	0.003 62	0.007 64	0.005 86	0.009 87	0.004 09	0.008 43	0.006 57	0.000 78	0.009 92	0.005 62
321～576	密封	0.000 71	0.000 78	0.001 29	0.002 17	0.002 97	0.004 48	0.002 32	0.002 49	0.001 73	0.003 04	0.006 86	0.004 96	0.008 85	0.003 60	0.007 75	0.005 51	0.000 71	0.008 09	0.004 77
	非密封	0.000 82	0.000 91	0.001 49	0.002 63	0.003 42	0.005 26	0.002 83	0.002 99	0.002 06	0.003 71	0.007 97	0.006 01	0.010 29	0.004 24	0.008 85	0.006 72	0.000 82	0.010 07	0.005 77
577～1 120	密封	0.000 75	0.000 82	0.001 36	0.002 24	0.003 14	0.004 70	0.002 39	0.002 59	0.001 80	0.003 14	0.007 23	0.005 12	0.009 32	0.003 76	0.008 21	0.005 68	0.000 75	0.008 25	0.004 94
	非密封	0.000 86	0.000 95	0.001 56	0.002 71	0.003 59	0.005 48	0.002 90	0.003 08	0.002 13	0.003 80	0.008 33	0.006 17	0.010 75	0.004 40	0.009 32	0.006 89	0.000 86	0.010 24	0.005 93
1 121～2 240	密封	0.001 19	0.001 27	0.002 12	0.003 11	0.004 76	0.006 84	0.003 28	0.003 67	0.002 62	0.004 29	0.010 53	0.006 99	0.013 45	0.005 46	0.012 21	0.007 61	0.001 19	0.010 50	0.006 78
	非密封	0.001 31	0.001 42	0.002 34	0.003 63	0.005 27	0.007 71	0.003 85	0.004 23	0.002 99	0.005 03	0.011 77	0.008 17	0.015 06	0.006 18	0.013 45	0.008 97	0.001 31	0.012 73	0.007 90
2 241～5 000	密封	0.001 28	0.001 36	0.002 28	0.003 27	0.005 11	0.007 29	0.003 43	0.003 88	0.002 77	0.004 50	0.011 27	0.007 34	0.014 37	0.005 81	0.013 13	0.007 96	0.001 28	0.010 85	0.007 13
	非密封	0.001 40	0.001 51	0.002 50	0.003 79	0.005 62	0.008 16	0.004 00	0.004 43	0.003 14	0.005 24	0.012 50	0.008 52	0.015 98	0.006 53	0.014 37	0.009 32	0.001 40	0.013 08	0.008 25
5 001～11 000	密封	0.001 38	0.001 46	0.002 45	0.003 44	0.005 50	0.007 79	0.003 61	0.004 11	0.002 95	0.004 73	0.012 08	0.007 73	0.015 40	0.006 20	0.014 16	0.008 35	0.001 38	0.011 24	0.007 52
	非密封	0.001 50	0.001 61	0.002 68	0.003 96	0.006 01	0.008 66	0.004 18	0.004 67	0.003 32	0.005 47	0.013 32	0.008 91	0.017 01	0.006 92	0.015 40	0.009 71	0.001 50	0.013 47	0.008 64
11 001～17 000	密封	0.002 41	0.002 51	0.004 18	0.005 38	0.009 04	0.012 37	0.005 58	0.006 50	0.004 78	0.007 25	0.019 03	0.011 74	0.023 98	0.009 89	0.022 48	0.012 50	0.002 41	0.016 01	0.011 49
	非密封	0.002 56	0.002 69	0.004 45	0.006 01	0.009 65	0.013 42	0.006 27	0.007 18	0.005 23	0.008 16	0.020 53	0.013 17	0.025 94	0.010 76	0.023 98	0.014 15	0.002 56	0.018 71	0.012 85
17 001～38 000	密封	0.002 62	0.002 72	0.004 55	0.005 76	0.009 83	0.013 38	0.005 96	0.006 99	0.005 15	0.007 74	0.020 63	0.012 54	0.025 98	0.010 69	0.024 47	0.013 29	0.002 62	0.016 80	0.012 29
	非密封	0.002 77	0.002 91	0.004 82	0.006 39	0.010 45	0.014 44	0.006 65	0.007 66	0.005 61	0.008 64	0.022 13	0.013 97	0.027 93	0.011 56	0.025 98	0.014 95	0.002 77	0.019 51	0.013 64
38 001～74 000	密封	0.004 61	0.004 72	0.007 76	0.009 07	0.016 11	0.021 22	0.009 29	0.011 12	0.008 42	0.011 94	0.032 32	0.019 06	0.040 20	0.017 04	0.038 56	0.019 88	0.004 61	0.023 70	0.018 79
	非密封	0.004 78	0.004 92	0.008 06	0.009 76	0.016 79	0.022 36	0.010 04	0.011 86	0.008 91	0.012 92	0.033 96	0.020 61	0.042 33	0.017 99	0.040 2	0.021 68	0.004 78	0.026 64	0.020 26
74 001～150 000	密封	0.008 19	0.008 32	0.013 4	0.014 92	0.026 75	0.034 37	0.015 17	0.018 31	0.014 16	0.019 26	0.051 56	0.030 17	0.063 4	0.027 83	0.061 5	0.031 12	0.008 19	0.035 56	0.029 86
	非密封	0.008 38	0.008 55	0.013 74	0.015 72	0.027 53	0.035 7	0.016 05	0.019 17	0.014 73	0.020 4	0.053 46	0.031 98	0.065 87	0.028 93	0.063 4	0.033 21	0.008 38	0.038 98	0.031 57
150 001～300 000	密封	0.009 05	0.009 18	0.014 80	0.016 32	0.029 51	0.037 79	0.016 57	0.020 08	0.015 56	0.021 03	0.056 72	0.032 93	0.069 70	0.030 59	0.067 80	0.033 88	0.009 05	0.038 32	0.032 62
	非密封	0.009 24	0.009 41	0.015 14	0.017 12	0.030 29	0.039 12	0.017 45	0.020 93	0.016 13	0.022 17	0.058 62	0.034 74	0.072 17	0.031 69	0.069 70	0.035 97	0.009 24	0.041 74	0.034 33
300 001～600 000	密封	0.010 28	0.010 46	0.016 83	0.018 98	0.033 66	0.043 43	0.019 34	0.023 22	0.017 90	0.024 57	0.065 10	0.038 49	0.080 12	0.035 18	0.077 44	0.039 84	0.010 28	0.046 10	0.038 05
	非密封	0.010 55	0.010 78	0.017 31	0.020 11	0.034 76	0.045 31	0.020 57	0.024 43	0.018 71	0.026 18	0.067 78	0.041 04	0.083 61	0.036 74	0.080 12	0.042 79	0.010 55	0.050 94	0.040 46

表 C.119(续)

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
600 001～1 200 000	密封	0.011 35	0.011 53	0.018 57	0.020 72	0.037 08	0.047 67	0.021 08	0.025 42	0.019 64	0.026 76	0.071 51	0.041 92	0.087 94	0.038 60	0.085 26	0.043 26	0.011 35	0.049 53	0.041 47
	非密封	0.011 62	0.011 85	0.019 05	0.021 85	0.038 18	0.049 55	0.022 31	0.026 63	0.020 45	0.028 37	0.074 19	0.044 47	0.091 43	0.040 16	0.087 94	0.046 21	0.011 62	0.054 36	0.043 89
1 200 001～2 400 000	密封	0.012 72	0.012 93	0.020 82	0.023 38	0.041 61	0.053 61	0.023 81	0.028 64	0.022 10	0.030 24	0.080 38	0.047 38	0.098 91	0.043 42	0.095 70	0.048 98	0.012 72	0.056 46	0.046 84
	非密封	0.013 04	0.013 31	0.021 39	0.024 73	0.042 92	0.055 85	0.025 28	0.030 08	0.023 06	0.032 16	0.083 59	0.050 42	0.103 07	0.045 28	0.098 91	0.052 51	0.013 04	0.062 23	0.049 73
2 400 001～4 800 000	密封	0.014 05	0.014 26	0.022 97	0.025 54	0.045 86	0.058 88	0.025 97	0.031 36	0.024 26	0.032 96	0.088 34	0.051 63	0.108 61	0.047 68	0.105 41	0.053 23	0.014 05	0.060 71	0.051 10
	非密封	0.014 37	0.014 64	0.023 55	0.026 88	0.047 17	0.061 12	0.027 44	0.032 80	0.025 22	0.034 89	0.091 55	0.054 67	0.112 78	0.049 54	0.108 61	0.056 76	0.014 37	0.066 48	0.053 98
4 800 001～9 600 000	密封	0.015 53	0.015 74	0.025 38	0.027 94	0.050 60	0.064 75	0.028 37	0.034 39	0.026 66	0.035 99	0.097 21	0.056 37	0.119 43	0.052 41	0.116 23	0.057 97	0.015 53	0.065 45	0.055 83
	非密封	0.015 85	0.016 13	0.025 95	0.029 29	0.051 91	0.066 99	0.029 84	0.035 83	0.027 62	0.037 92	0.100 42	0.059 41	0.123 60	0.054 27	0.119 43	0.061 49	0.015 85	0.071 22	0.058 72
9 600 001～19 200 000	密封	0.017 18	0.017 39	0.028 06	0.030 62	0.055 87	0.071 29	0.031 05	0.037 77	0.029 34	0.039 37	0.107 09	0.061 64	0.131 48	0.057 69	0.128 28	0.063 25	0.017 18	0.070 73	0.061 11
	非密封	0.017 50	0.017 78	0.028 63	0.031 97	0.057 19	0.073 53	0.032 52	0.039 21	0.030 30	0.041 30	0.110 30	0.064 69	0.135 65	0.059 55	0.131 48	0.066 77	0.017 50	0.076 49	0.063 99
19 200 001～38 400 000	密封	0.019 02	0.019 23	0.031 04	0.033 60	0.061 75	0.078 57	0.034 03	0.041 53	0.032 32	0.043 14	0.118 10	0.067 52	0.144 91	0.063 57	0.141 71	0.069 13	0.019 02	0.076 61	0.066 99
	非密封	0.019 34	0.019 62	0.031 62	0.034 95	0.063 07	0.080 82	0.035 51	0.042 98	0.033 28	0.045 06	0.121 31	0.070 57	0.149 08	0.065 43	0.144 91	0.072 65	0.019 34	0.082 37	0.069 87
38 400 001～68 000 000	密封	0.021 07	0.021 28	0.034 37	0.036 93	0.068 31	0.086 69	0.037 36	0.045 73	0.035 65	0.047 33	0.130 37	0.074 08	0.159 87	0.070 12	0.156 67	0.075 68	0.021 07	0.083 16	0.073 54
	非密封	0.021 39	0.021 67	0.034 94	0.038 28	0.069 62	0.088 94	0.038 83	0.047 17	0.036 61	0.049 25	0.133 57	0.077 12	0.164 04	0.071 98	0.159 87	0.079 20	0.021 39	0.088 93	0.076 43
68 000 001～136 000 000	密封	0.023 35	0.023 57	0.038 07	0.040 63	0.075 61	0.095 74	0.041 06	0.050 40	0.039 35	0.052 00	0.144 03	0.081 38	0.176 55	0.077 42	0.173 34	0.082 98	0.023 35	0.090 46	0.080 84
	非密封	0.023 67	0.023 95	0.038 65	0.041 98	0.076 92	0.097 98	0.042 54	0.051 84	0.040 31	0.053 93	0.147 24	0.084 42	0.180 71	0.079 28	0.176 55	0.086 50	0.023 67	0.096 23	0.083 73
136 000 001～272 000 000	密封	0.025 90	0.026 11	0.042 20	0.044 76	0.083 74	0.105 82	0.045 19	0.055 61	0.043 48	0.057 21	0.159 26	0.089 51	0.195 12	0.085 56	0.191 91	0.091 11	0.025 90	0.098 59	0.088 97
	非密封	0.026 22	0.026 50	0.042 78	0.046 11	0.085 05	0.108 06	0.046 66	0.057 05	0.044 44	0.059 13	0.162 47	0.092 55	0.199 29	0.087 41	0.195 12	0.094 64	0.026 22	0.104 36	0.091 86
272 000 001～614 400 000	密封	0.028 73	0.028 95	0.046 80	0.049 36	0.092 80	0.117 05	0.049 79	0.061 41	0.048 08	0.063 01	0.176 23	0.098 57	0.215 82	0.094 62	0.212 61	0.100 17	0.028 73	0.107 65	0.098 04
	非密封	0.029 05	0.029 33	0.047 37	0.050 71	0.094 12	0.119 29	0.051 26	0.062 85	0.049 04	0.064 93	0.179 43	0.101 62	0.219 98	0.096 48	0.215 82	0.103 70	0.029 05	0.113 42	0.100 92
614 400 001～1 228 800 000	密封	0.031 89	0.032 10	0.051 92	0.054 49	0.102 90	0.129 56	0.054 91	0.067 87	0.053 20	0.069 47	0.195 13	0.108 67	0.238 87	0.104 71	0.235 67	0.110 27	0.031 89	0.117 75	0.108 13
	非密封	0.032 21	0.032 49	0.052 50	0.055 83	0.104 21	0.131 80	0.056 39	0.069 31	0.054 17	0.071 40	0.198 34	0.111 71	0.243 04	0.106 57	0.238 87	0.113 80	0.032 21	0.123 52	0.111 02
1 228 800 001～2 457 600 000	密封	0.035 41	0.035 62	0.057 63	0.060 20	0.114 15	0.143 50	0.060 62	0.075 07	0.058 91	0.076 68	0.216 19	0.119 92	0.264 57	0.115 97	0.261 36	0.121 52	0.035 41	0.129 00	0.119 38
	非密封	0.035 73	0.036 01	0.058 21	0.061 54	0.115 46	0.145 74	0.062 10	0.076 51	0.059 87	0.078 60	0.219 40	0.122 96	0.268 73	0.117 82	0.264 57	0.125 05	0.035 73	0.134 77	0.122 27

表 C.119（续）

单位为 10^{-6}/h

位数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
2 457 600 001～4 915 200 000	密封	0.039 33	0.039 55	0.063 99	0.066 56	0.126 68	0.159 03	0.066 98	0.083 10	0.065 27	0.084 70	0.239 66	0.132 45	0.293 19	0.128 50	0.289 99	0.134 06	0.039 33	0.141 53	0.131 92
	非密封	0.039 65	0.039 93	0.064 57	0.067 90	0.128 00	0.161 27	0.068 46	0.084 54	0.066 24	0.086 62	0.242 87	0.135 50	0.297 36	0.130 36	0.293 19	0.137 58	0.039 65	0.147 30	0.134 80
4 915 200 000～9 830 400 000	密封	0.043 70	0.043 92	0.071 08	0.073 64	0.140 65	0.176 34	0.074 07	0.092 04	0.072 36	0.093 64	0.265 81	0.146 42	0.325 09	0.142 47	0.321 88	0.148 02	0.043 70	0.155 50	0.145 89
	非密封	0.044 02	0.044 30	0.071 66	0.074 99	0.141 96	0.178 58	0.075 55	0.093 48	0.073 32	0.095 56	0.269 02	0.149 46	0.329 25	0.144 33	0.325 09	0.151 55	0.044 02	0.161 27	0.148 77
9 830 400 001～19 660 800 000	密封	0.048 57	0.048 78	0.078 98	0.081 54	0.156 21	0.195 62	0.081 97	0.102 00	0.080 26	0.103 60	0.294 94	0.161 98	0.360 62	0.158 03	0.357 42	0.163 58	0.048 57	0.171 06	0.161 45
	非密封	0.048 89	0.049 17	0.079 55	0.082 89	0.157 52	0.197 86	0.083 44	0.103 44	0.081 22	0.105 52	0.298 15	0.165 03	0.364 79	0.159 89	0.360 62	0.167 11	0.048 89	0.176 83	0.164 33

表 C.120　密封单片微处理器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～200	双极	0.003 03	0.003 34	0.004 85	0.008 50	0.009 58	0.014 52	0.009 10	0.009 31	0.006 67	0.011 60	0.020 33	0.017 80	0.025 62	0.012 17	0.021 06	0.020 08	0.003 03	0.030 73	0.017 04
	MOS	0.002 20	0.002 51	0.003 82	0.007 47	0.008 32	0.013 20	0.008 08	0.008 20	0.005 65	0.010 48	0.018 99	0.016 53	0.024 34	0.010 90	0.019 77	0.018 81	0.002 20	0.029 46	0.015 77
201～800	双极	0.004 00	0.004 30	0.006 18	0.009 84	0.011 71	0.016 97	0.010 44	0.010 88	0.008 01	0.013 17	0.023 58	0.019 92	0.029 34	0.014 29	0.024 78	0.022 20	0.004 00	0.032 85	0.019 16
	MOS	0.002 27	0.002 57	0.003 93	0.007 58	0.008 53	0.013 46	0.008 19	0.008 34	0.005 76	0.010 62	0.019 38	0.016 74	0.024 80	0.011 12	0.020 24	0.019 03	0.002 27	0.029 68	0.015 98
801～3 000	双极	0.004 58	0.004 88	0.007 00	0.010 65	0.013 00	0.018 47	0.011 26	0.011 84	0.008 82	0.014 12	0.025 55	0.021 21	0.031 60	0.015 58	0.027 03	0.023 49	0.004 58	0.034 14	0.020 45
	MOS	0.002 30	0.002 61	0.003 98	0.007 64	0.008 63	0.013 58	0.008 24	0.008 40	0.005 81	0.010 69	0.019 55	0.016 84	0.025 01	0.011 21	0.020 45	0.019 12	0.002 30	0.029 77	0.016 08
3 001～8 000	双极	0.007 32	0.007 79	0.011 15	0.016 72	0.020 58	0.029 04	0.017 65	0.018 61	0.013 93	0.022 10	0.040 13	0.033 12	0.049 52	0.024 53	0.042 56	0.036 60	0.007 32	0.052 86	0.031 96
	MOS	0.003 18	0.003 65	0.005 55	0.011 13	0.012 15	0.019 49	0.012 06	0.012 17	0.008 34	0.015 65	0.028 00	0.024 69	0.035 96	0.016 10	0.028 99	0.028 18	0.003 18	0.044 43	0.023 53
8 001～20 000	双极	0.008 51	0.008 97	0.012 79	0.018 36	0.023 19	0.032 06	0.019 29	0.020 54	0.015 58	0.024 02	0.044 12	0.035 73	0.054 09	0.027 14	0.047 12	0.039 21	0.008 51	0.055 47	0.034 57
	MOS	0.003 22	0.003 68	0.005 61	0.011 19	0.012 27	0.019 62	0.012 11	0.012 24	0.008 40	0.015 72	0.028 21	0.024 81	0.036 21	0.016 21	0.029 24	0.028 29	0.003 22	0.044 55	0.023 65
20 001～40 000	双极	0.010 97	0.011 44	0.016 23	0.021 80	0.028 64	0.038 37	0.022 73	0.024 56	0.019 01	0.028 05	0.052 46	0.041 18	0.063 63	0.032 59	0.056 66	0.044 67	0.010 97	0.060 92	0.040 02
	MOS	0.003 28	0.003 74	0.005 71	0.011 28	0.012 45	0.019 85	0.012 21	0.012 36	0.008 50	0.015 85	0.028 55	0.024 99	0.036 62	0.016 40	0.029 65	0.028 48	0.003 28	0.044 73	0.023 83

表 C.120(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
40 001～60 000	双极	0.014 45	0.015 31	0.021 88	0.032 28	0.040 12	0.056 19	0.034 02	0.036 00	0.027 08	0.042 50	0.077 52	0.063 52	0.095 42	0.047 49	0.082 42	0.070 02	0.014 45	0.100 36	0.061 35
	MOS	0.005 32	0.006 19	0.009 38	0.019 78	0.020 79	0.034 05	0.021 51	0.021 47	0.014 58	0.027 97	0.048 83	0.044 19	0.062 96	0.028 16	0.049 96	0.050 69	0.005 32	0.081 03	0.042 03
60 001～80 000	双极	0.015 54	0.016 41	0.023 41	0.033 81	0.042 54	0.058 99	0.035 54	0.037 79	0.028 61	0.044 29	0.081 22	0.065 94	0.099 66	0.049 91	0.086 66	0.072 44	0.015 54	0.102 78	0.063 78
	MOS	0.005 34	0.006 21	0.009 41	0.019 81	0.020 85	0.034 12	0.021 54	0.021 51	0.014 61	0.028 01	0.048 94	0.044 26	0.063 10	0.028 22	0.050 10	0.050 76	0.005 34	0.081 09	0.042 09
80 001～95 000	双极	0.016 44	0.017 30	0.024 66	0.035 06	0.044 52	0.061 28	0.036 79	0.039 25	0.029 86	0.045 75	0.084 25	0.067 92	0.103 12	0.051 89	0.090 12	0.074 42	0.016 44	0.104 76	0.065 75
	MOS	0.005 36	0.006 22	0.009 43	0.019 84	0.020 90	0.034 18	0.021 57	0.021 54	0.014 63	0.028 04	0.049 03	0.044 30	0.063 20	0.028 27	0.050 20	0.050 80	0.005 36	0.081 14	0.042 14
95 001～200 000	MOS	0.012 27	0.014 35	0.021 60	0.046 53	0.047 89	0.079 13	0.050 68	0.050 31	0.034 06	0.065 90	0.113 12	0.103 99	0.146 05	0.065 55	0.114 89	0.119 57	0.012 27	0.192 29	0.098 80
200 001～400 000	MOS	0.012 40	0.014 48	0.021 80	0.046 73	0.048 26	0.079 57	0.050 88	0.050 56	0.034 26	0.066 14	0.113 75	0.104 35	0.146 80	0.065 92	0.115 64	0.119 93	0.012 40	0.192 65	0.099 16
400 001～600 000	MOS	0.012 46	0.014 54	0.021 89	0.046 82	0.048 43	0.079 78	0.050 98	0.050 68	0.034 36	0.066 26	0.114 06	0.104 53	0.147 17	0.066 09	0.116 01	0.120 11	0.012 46	0.192 83	0.099 33
600 001～800 000	MOS	0.012 50	0.014 58	0.021 96	0.046 89	0.048 55	0.079 93	0.051 05	0.050 76	0.034 42	0.066 34	0.114 27	0.104 65	0.147 42	0.066 21	0.116 25	0.120 23	0.012 50	0.192 95	0.099 45
800 001～950 000	MOS	0.012 54	0.014 61	0.022 01	0.046 94	0.048 64	0.080 04	0.051 10	0.050 82	0.034 47	0.066 40	0.114 42	0.104 74	0.147 61	0.066 30	0.116 44	0.120 32	0.012 54	0.193 04	0.099 55
950 001～2 000 000	MOS	0.014 25	0.016 56	0.024 90	0.052 65	0.054 76	0.089 78	0.057 27	0.057 03	0.038 77	0.074 36	0.128 23	0.117 18	0.165 26	0.074 41	0.130 59	0.134 52	0.014 25	0.215 43	0.111 40
2 000 001～4 000 000	MOS	0.014 44	0.016 75	0.025 18	0.052 93	0.055 26	0.090 38	0.057 55	0.057 37	0.039 05	0.074 71	0.129 10	0.117 68	0.166 29	0.074 91	0.131 61	0.135 02	0.014 44	0.215 94	0.111 90
4 000 001～6 000 000	MOS	0.014 53	0.016 84	0.025 32	0.053 06	0.055 51	0.090 68	0.057 69	0.057 54	0.039 19	0.074 87	0.129 52	0.117 93	0.166 79	0.075 16	0.132 11	0.135 27	0.014 53	0.216 18	0.112 15
6 000 001～8 000 000	MOS	0.014 59	0.016 90	0.025 41	0.053 15	0.055 67	0.090 88	0.057 78	0.057 65	0.039 28	0.074 99	0.129 81	0.118 09	0.167 13	0.075 33	0.132 45	0.135 43	0.014 59	0.216 35	0.112 31
8 000 001～9 500 000	MOS	0.014 63	0.016 94	0.025 48	0.053 23	0.055 80	0.091 03	0.057 85	0.057 73	0.039 35	0.075 07	0.130 02	0.118 22	0.167 38	0.075 45	0.132 71	0.135 56	0.014 63	0.216 47	0.112 44
9 500 001～10 000 000	MOS	0.014 65	0.016 96	0.025 51	0.053 25	0.055 85	0.091 10	0.057 88	0.057 77	0.039 38	0.075 11	0.130 11	0.118 27	0.167 49	0.075 51	0.132 82	0.135 61	0.014 65	0.216 53	0.112 49
10 000 001～30 000 000	MOS	0.019 98	0.023 18	0.034 78	0.073 15	0.076 17	0.124 63	0.079 55	0.079 24	0.053 96	0.103 22	0.177 84	0.162 50	0.229 05	0.103 35	0.181 09	0.186 48	0.019 98	0.298 40	0.154 51
30 000 001～50 000 000	MOS	0.020 15	0.023 35	0.035 03	0.073 41	0.076 62	0.125 17	0.079 80	0.079 55	0.054 22	0.103 54	0.178 61	0.162 95	0.229 96	0.103 80	0.181 99	0.186 94	0.020 15	0.298 85	0.154 96

表 C.120(续)

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
50 000 001～70 000 000	MOS	0.020 25	0.023 45	0.035 19	0.073 56	0.076 89	0.125 49	0.079 96	0.079 74	0.054 37	0.103 72	0.179 07	0.163 23	0.230 50	0.104 07	0.182 54	0.187 21	0.020 25	0.299 13	0.155 23
70 000 001～90 000 000	MOS	0.020 33	0.023 52	0.035 30	0.073 67	0.077 09	0.125 73	0.080 07	0.079 88	0.054 49	0.103 86	0.179 40	0.163 43	0.230 90	0.104 27	0.182 93	0.187 41	0.020 33	0.299 33	0.155 43
90 000 001～110 000 000	MOS	0.020 38	0.023 58	0.035 39	0.073 76	0.077 25	0.125 92	0.080 16	0.079 98	0.054 58	0.103 97	0.179 67	0.163 58	0.231 21	0.104 43	0.183 25	0.187 56	0.020 38	0.299 48	0.155 59
110 000 001～130 000 000	MOS	0.020 43	0.023 63	0.035 46	0.073 83	0.077 38	0.126 07	0.080 23	0.080 07	0.054 65	0.104 06	0.179 89	0.163 71	0.231 47	0.104 56	0.183 50	0.187 69	0.020 43	0.299 61	0.155 72
130 000 001～150 000 000	MOS	0.020 47	0.023 67	0.035 52	0.073 90	0.077 49	0.126 20	0.080 29	0.080 15	0.054 71	0.104 13	0.180 07	0.163 82	0.231 69	0.104 67	0.183 72	0.187 80	0.020 47	0.299 72	0.155 83
150 000 001～170 000 000	MOS	0.026 83	0.031 29	0.046 96	0.100 50	0.103 50	0.170 58	0.109 43	0.108 67	0.073 73	0.142 13	0.243 46	0.223 98	0.314 07	0.141 43	0.247 14	0.257 45	0.026 83	0.413 62	0.212 83
170 000 001～190 000 000	MOS	0.026 86	0.031 33	0.047 01	0.100 55	0.103 59	0.170 68	0.109 48	0.108 72	0.073 78	0.142 19	0.243 60	0.224 07	0.314 24	0.141 52	0.247 31	0.257 53	0.026 86	0.413 71	0.212 91
190 000 001～220 000 000	MOS	0.026 89	0.031 36	0.047 05	0.100 60	0.103 67	0.170 77	0.109 52	0.108 78	0.073 82	0.142 24	0.243 73	0.224 14	0.314 40	0.141 59	0.247 47	0.257 61	0.026 89	0.413 78	0.212 99
220 000 001～275 000 000	MOS	0.036 67	0.043 08	0.064 64	0.141 51	0.143 68	0.239 00	0.154 32	0.152 62	0.103 07	0.200 67	0.341 20	0.316 64	0.441 07	0.198 13	0.344 98	0.364 68	0.036 67	0.588 88	0.300 62
275 000 001～300 000 000	MOS	0.036 71	0.043 11	0.064 69	0.141 56	0.143 76	0.239 10	0.154 37	0.152 68	0.103 12	0.200 73	0.341 34	0.316 72	0.441 24	0.198 21	0.345 15	0.364 76	0.036 71	0.588 97	0.300 71
300 000 001～340 000 000	MOS	0.046 02	0.054 28	0.081 43	0.180 56	0.181 88	0.304 13	0.197 08	0.194 48	0.130 99	0.256 43	0.434 24	0.404 91	0.561 98	0.252 09	0.438 08	0.466 86	0.046 02	0.755 97	0.384 26
340 000 001～380 000 000	MOS	0.046 05	0.054 31	0.081 48	0.180 61	0.181 97	0.304 23	0.197 13	0.194 54	0.131 05	0.256 49	0.434 39	0.405 00	0.562 16	0.252 18	0.438 25	0.466 95	0.046 05	0.756 06	0.384 35
380 000 001～500 000 000	MOS	0.046 08	0.054 34	0.081 53	0.180 65	0.182 05	0.304 33	0.197 17	0.194 59	0.131 09	0.256 55	0.434 52	0.405 08	0.562 32	0.252 26	0.438 41	0.467 03	0.046 08	0.756 14	0.384 43
500 000 001～700 000 000	MOS	0.046 20	0.054 46	0.081 71	0.180 83	0.182 36	0.304 71	0.197 35	0.194 81	0.131 27	0.256 76	0.435 06	0.405 39	0.562 95	0.252 58	0.439 04	0.467 35	0.046 20	0.756 46	0.384 74
700 000 001～900 000 000	MOS	0.046 28	0.054 54	0.081 84	0.180 96	0.182 59	0.304 98	0.197 48	0.194 97	0.131 40	0.256 92	0.435 44	0.405 62	0.563 40	0.252 80	0.439 50	0.467 57	0.046 28	0.756 68	0.384 97
900 000 001～1 100 000 000	MOS	0.046 35	0.054 61	0.081 94	0.181 06	0.182 77	0.305 19	0.197 58	0.195 09	0.131 50	0.257 04	0.435 74	0.405 80	0.563 76	0.252 98	0.439 85	0.467 75	0.046 35	0.756 86	0.385 15
1 100 000 001～1 400 000 000	MOS	0.046 41	0.054 67	0.082 02	0.181 14	0.182 92	0.305 37	0.197 66	0.195 19	0.131 58	0.257 14	0.435 99	0.405 95	0.564 06	0.253 13	0.440 15	0.467 90	0.046 41	0.757 01	0.385 30
1 400 000 001～1 700 000 000	MOS	0.046 50	0.054 76	0.082 15	0.181 28	0.183 16	0.305 66	0.197 80	0.195 36	0.131 72	0.257 31	0.436 40	0.406 19	0.564 53	0.253 37	0.440 62	0.468 14	0.046 50	0.757 25	0.385 53

表 C.121 非密封单片微处理器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
1～200	双极	0.003 75	0.004 20	0.006 14	0.011 51	0.012 53	0.019 55	0.012 41	0.012 55	0.008 83	0.015 91	0.027 51	0.024 62	0.034 97	0.016 34	0.028 25	0.027 98	0.003 75	0.043 66	0.023 50
	MOS	0.002 92	0.003 37	0.005 12	0.010 49	0.011 26	0.018 23	0.011 39	0.011 44	0.007 80	0.014 80	0.026 18	0.023 36	0.033 68	0.015 07	0.026 96	0.026 72	0.002 92	0.042 40	0.022 24
201～800	双极	0.004 71	0.005 16	0.007 48	0.012 85	0.014 65	0.022 01	0.013 75	0.014 12	0.010 17	0.017 48	0.030 76	0.026 75	0.038 68	0.018 46	0.031 96	0.030 11	0.004 71	0.045 79	0.025 63
	MOS	0.002 99	0.003 44	0.005 23	0.010 60	0.011 48	0.018 49	0.011 50	0.011 57	0.007 92	0.014 93	0.026 56	0.023 57	0.034 14	0.015 28	0.027 42	0.026 93	0.002 99	0.042 61	0.022 45
801～3 000	双极	0.005 30	0.005 75	0.008 29	0.013 67	0.015 94	0.023 50	0.014 56	0.015 07	0.010 98	0.018 43	0.032 74	0.028 04	0.040 94	0.019 75	0.034 22	0.031 40	0.005 30	0.047 08	0.026 92
	MOS	0.003 02	0.003 47	0.005 28	0.010 65	0.011 57	0.018 61	0.011 55	0.011 64	0.007 97	0.015 00	0.026 74	0.023 67	0.034 36	0.015 38	0.027 64	0.027 03	0.003 02	0.042 71	0.022 55
3 001～8 000	双极	0.008 47	0.009 16	0.013 21	0.021 53	0.025 28	0.037 06	0.022 92	0.023 77	0.017 37	0.028 97	0.051 59	0.044 00	0.064 42	0.031 17	0.054 01	0.049 20	0.008 47	0.073 48	0.042 27
	MOS	0.004 33	0.005 02	0.007 62	0.015 94	0.016 85	0.027 51	0.017 33	0.017 32	0.011 78	0.022 53	0.039 46	0.035 58	0.050 85	0.022 75	0.040 45	0.040 78	0.004 33	0.065 06	0.033 84
8 001～20 000	双极	0.009 65	0.010 34	0.014 85	0.023 18	0.027 88	0.040 08	0.024 56	0.025 69	0.019 01	0.030 90	0.055 58	0.046 61	0.068 98	0.033 78	0.058 58	0.051 81	0.009 65	0.076 09	0.044 88
	MOS	0.004 36	0.005 06	0.007 67	0.016 00	0.016 96	0.027 64	0.017 38	0.017 40	0.011 84	0.022 60	0.039 67	0.035 69	0.051 10	0.022 86	0.040 70	0.040 89	0.004 36	0.065 17	0.033 96
20 001～40 000	双极	0.012 12	0.012 81	0.018 29	0.026 61	0.033 34	0.046 39	0.028 00	0.029 72	0.022 45	0.034 92	0.063 92	0.052 07	0.078 52	0.039 23	0.068 12	0.057 27	0.012 12	0.081 54	0.050 33
	MOS	0.004 43	0.005 12	0.007 77	0.016 10	0.017 15	0.027 87	0.017 48	0.017 52	0.011 93	0.022 72	0.040 01	0.035 88	0.051 51	0.023 05	0.041 11	0.041 08	0.004 43	0.065 36	0.034 14
40 001～60 000	双极	0.016 72	0.018 04	0.025 98	0.041 83	0.049 44	0.072 11	0.044 48	0.046 23	0.033 91	0.056 15	0.100 26	0.085 12	0.124 99	0.060 68	0.105 16	0.095 03	0.016 72	0.141 29	0.081 82
	MOS	0.007 60	0.008 92	0.013 47	0.029 33	0.030 12	0.049 96	0.031 97	0.031 71	0.021 40	0.041 62	0.071 57	0.065 80	0.092 53	0.041 35	0.072 70	0.075 71	0.007 60	0.121 96	0.062 49
60 001～80 000	双极	0.017 82	0.019 14	0.027 50	0.043 36	0.051 86	0.074 91	0.046 00	0.048 02	0.035 43	0.057 93	0.103 96	0.087 54	0.129 22	0.063 10	0.109 40	0.097 46	0.017 82	0.143 71	0.084 24
	MOS	0.007 62	0.008 94	0.013 50	0.029 36	0.030 18	0.050 04	0.032 00	0.031 75	0.021 43	0.041 66	0.071 68	0.065 86	0.092 66	0.041 41	0.072 84	0.075 77	0.007 62	0.122 02	0.062 55
80 001～95 000	双极	0.018 71	0.020 03	0.028 75	0.044 61	0.053 84	0.077 19	0.047 25	0.049 48	0.036 68	0.059 39	0.106 99	0.089 52	0.132 68	0.065 08	0.112 86	0.099 43	0.018 71	0.145 69	0.086 22
	MOS	0.007 63	0.008 95	0.013 53	0.029 39	0.030 22	0.050 10	0.032 03	0.031 78	0.021 46	0.041 69	0.071 77	0.065 90	0.092 76	0.041 46	0.072 94	0.075 82	0.007 63	0.122 07	0.062 60
95 001～200 000	MOS	0.015 57	0.018 30	0.027 53	0.060 37	0.061 41	0.102 20	0.065 84	0.065 14	0.043 95	0.085 67	0.146 07	0.135 30	0.188 89	0.084 67	0.147 84	0.155 82	0.015 57	0.251 60	0.128 45
200 001～400 000	MOS	0.015 69	0.018 43	0.027 73	0.060 57	0.061 77	0.102 64	0.066 04	0.065 39	0.044 15	0.085 91	0.146 70	0.135 66	0.189 64	0.085 03	0.148 59	0.156 18	0.015 69	0.251 97	0.128 82
400 001～600 000	MOS	0.015 76	0.018 49	0.027 83	0.060 67	0.061 94	0.102 85	0.066 14	0.065 51	0.044 25	0.086 03	0.147 01	0.135 84	0.190 01	0.085 21	0.148 96	0.156 36	0.015 76	0.252 14	0.128 99

表 C.121（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																	
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
600 001～800 000	MOS	0.015 80	0.018 54	0.027 89	0.060 73	0.062 06	0.102 99	0.066 20	0.065 59	0.044 31	0.086 11	0.147 22	0.135 95	0.190 26	0.085 33	0.149 21	0.156 48	0.015 80	0.252 26	0.129 11
800 001～950 000	MOS	0.015 83	0.018 57	0.027 94	0.060 78	0.062 16	0.103 10	0.066 25	0.065 65	0.044 36	0.086 17	0.147 38	0.136 05	0.190 45	0.085 42	0.149 40	0.156 57	0.015 83	0.252 35	0.129 20
950 001～2 000 000	MOS	0.018 18	0.021 28	0.031 98	0.069 17	0.070 89	0.117 31	0.075 36	0.074 73	0.050 58	0.097 97	0.167 57	0.154 55	0.216 40	0.097 22	0.169 92	0.177 79	0.018 18	0.286 24	0.146 80
2 000 001～4 000 000	MOS	0.018 37	0.021 47	0.032 26	0.069 45	0.071 39	0.117 92	0.075 64	0.075 07	0.050 86	0.098 31	0.168 43	0.155 05	0.217 43	0.097 73	0.170 95	0.178 29	0.018 37	0.286 74	0.147 31
4 000 001～6 000 000	MOS	0.018 46	0.021 56	0.032 40	0.069 58	0.071 64	0.118 21	0.075 78	0.075 24	0.050 99	0.098 48	0.168 86	0.155 30	0.217 93	0.097 97	0.171 45	0.178 54	0.018 46	0.286 99	0.147 55
6 000 001～8 000 000	MOS	0.018 52	0.021 62	0.032 49	0.069 68	0.071 80	0.118 41	0.075 87	0.075 35	0.051 08	0.098 59	0.169 14	0.155 46	0.218 26	0.098 14	0.171 79	0.178 70	0.018 52	0.287 15	0.147 72
8 000 001～9 500 000	MOS	0.018 57	0.021 66	0.032 56	0.069 75	0.071 93	0.118 57	0.075 94	0.075 44	0.051 15	0.098 67	0.169 36	0.155 59	0.218 52	0.098 27	0.172 04	0.178 83	0.018 57	0.287 28	0.147 84
9 500 001～10 000 000	MOS	0.018 59	0.021 68	0.032 59	0.069 78	0.071 98	0.118 63	0.075 97	0.075 47	0.051 18	0.098 71	0.169 45	0.155 64	0.218 63	0.098 32	0.172 15	0.178 88	0.018 59	0.287 33	0.147 90
10 000 001～30 000 000	MOS	0.026 58	0.031 10	0.046 66	0.100 87	0.103 23	0.170 83	0.109 91	0.108 94	0.073 77	0.142 83	0.243 85	0.225 21	0.314 86	0.141 63	0.247 09	0.259 09	0.026 58	0.417 21	0.213 91
30 000 001～50 000 000	MOS	0.026 75	0.031 27	0.046 92	0.101 13	0.103 68	0.171 37	0.110 16	0.109 26	0.074 02	0.143 14	0.244 61	0.225 66	0.315 76	0.142 08	0.248 00	0.259 54	0.026 75	0.417 66	0.214 37
50 000 001～70 000 000	MOS	0.026 85	0.031 37	0.047 07	0.101 28	0.103 95	0.171 70	0.110 32	0.109 44	0.074 18	0.143 33	0.245 07	0.225 93	0.316 31	0.142 36	0.248 54	0.259 82	0.026 85	0.417 94	0.214 64
70 000 001～90 000 000	MOS	0.026 93	0.031 44	0.047 18	0.101 40	0.104 15	0.171 94	0.110 43	0.109 58	0.074 29	0.143 46	0.245 41	0.226 13	0.316 71	0.142 55	0.248 94	0.260 02	0.026 93	0.418 14	0.214 84
90 000 001～110 000 000	MOS	0.026 98	0.031 50	0.047 27	0.101 48	0.104 31	0.172 12	0.110 52	0.109 69	0.074 38	0.143 57	0.245 67	0.226 29	0.317 02	0.142 71	0.249 25	0.260 17	0.026 98	0.418 29	0.214 99
110 000 001～130 000 000	MOS	0.027 03	0.031 55	0.047 34	0.101 56	0.104 44	0.172 28	0.110 59	0.109 78	0.074 45	0.143 66	0.245 89	0.226 42	0.317 28	0.142 84	0.249 51	0.260 30	0.027 03	0.418 42	0.215 12
130 000 001～150 000 000	MOS	0.027 07	0.031 59	0.047 41	0.101 62	0.104 55	0.172 41	0.110 65	0.109 85	0.074 51	0.143 73	0.246 08	0.226 53	0.317 50	0.142 95	0.249 73	0.260 41	0.027 07	0.418 53	0.215 23
150 000 001～170 000 000	MOS	0.037 80	0.044 45	0.066 70	0.146 56	0.148 46	0.247 33	0.159 87	0.158 01	0.106 63	0.207 92	0.353 11	0.328 14	0.456 61	0.205 03	0.356 79	0.378 06	0.037 80	0.610 98	0.311 51
170 000 001～190 000 000	MOS	0.037 83	0.044 48	0.066 74	0.146 60	0.148 54	0.247 43	0.159 91	0.158 07	0.106 67	0.207 98	0.353 25	0.328 23	0.456 78	0.205 11	0.356 96	0.378 14	0.037 83	0.611 07	0.311 59
190 000 001～220 000 000	MOS	0.037 86	0.044 51	0.066 79	0.146 65	0.148 62	0.247 52	0.159 96	0.158 12	0.106 72	0.208 03	0.353 38	0.328 31	0.456 94	0.205 19	0.357 11	0.378 22	0.037 86	0.611 15	0.311 67

表 C.121（续）

单位为 10^{-6}/h

晶体管数	工艺	环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
220 000 001～275 000 000	MOS	0.055 31	0.065 44	0.098 18	0.219 76	0.220 07	0.369 42	0.240 03	0.236 47	0.158 97	0.312 46	0.527 52	0.493 64	0.683 28	0.306 19	0.531 30	0.569 63	0.055 31	0.924 26	0.468 31
275 000 001～300 000 000	MOS	0.055 34	0.065 47	0.098 22	0.219 81	0.220 15	0.369 52	0.240 07	0.236 53	0.159 02	0.312 52	0.527 66	0.493 72	0.683 45	0.306 28	0.531 47	0.569 71	0.055 34	0.924 34	0.468 39
300 000 001～340 000 000	MOS	0.072 80	0.086 41	0.129 64	0.293 04	0.291 68	0.491 60	0.320 27	0.314 99	0.211 34	0.417 12	0.702 05	0.659 33	0.910 14	0.407 42	0.705 89	0.761 46	0.072 80	1.238 04	0.625 29
340 000 001～380 000 000	MOS	0.072 83	0.086 45	0.129 69	0.293 09	0.291 77	0.491 70	0.320 32	0.315 06	0.211 39	0.417 18	0.702 20	0.659 42	0.910 32	0.407 51	0.706 07	0.761 55	0.072 83	1.238 13	0.625 38
380 000 001～500 000 000	MOS	0.072 86	0.086 48	0.129 74	0.293 13	0.291 85	0.491 80	0.320 37	0.315 11	0.211 43	0.417 24	0.702 34	0.659 50	0.910 48	0.407 59	0.706 23	0.761 63	0.072 86	1.238 21	0.625 46
500 000 001～700 000 000	MOS	0.072 98	0.086 60	0.129 91	0.293 31	0.292 17	0.492 18	0.320 55	0.315 33	0.211 61	0.417 45	0.702 87	0.659 82	0.911 10	0.407 91	0.706 86	0.761 94	0.072 98	1.238 52	0.625 77
700 000 001～900 000 000	MOS	0.073 06	0.086 68	0.130 04	0.293 44	0.292 39	0.492 45	0.320 67	0.315 48	0.211 74	0.417 61	0.703 25	0.660 04	0.911 56	0.408 14	0.707 31	0.762 17	0.073 06	1.238 75	0.626 00
900 000 001～1 100 000 000	MOS	0.073 13	0.086 75	0.130 14	0.293 54	0.292 57	0.492 66	0.320 78	0.315 61	0.211 84	0.417 73	0.703 56	0.660 22	0.911 92	0.408 32	0.707 67	0.762 35	0.073 13	1.238 93	0.626 18
1 100 000 001～1 400 000 000	MOS	0.073 19	0.086 80	0.130 23	0.293 63	0.292 72	0.492 84	0.320 86	0.315 71	0.211 93	0.417 83	0.703 81	0.660 37	0.912 21	0.408 46	0.707 96	0.762 50	0.073 19	1.239 08	0.626 33
1 400 000 001～1 700 000 000	MOS	0.073 28	0.086 89	0.130 36	0.293 76	0.292 96	0.493 13	0.320 99	0.315 87	0.212 06	0.418 00	0.704 21	0.660 61	0.912 69	0.408 70	0.708 44	0.762 73	0.073 28	1.239 31	0.626 57

表 C.122　声表面波通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
声表面波器件	0.037	0.052	0.056	0.148	0.185	0.296	0.278	0.148	0.111	0.278	0.370	0.333	0.481	0.259	0.352	0.592	0.037	–	–

表 C.123 半导体分立器件通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类			G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_I	M_F
二极管	普通二极管	整流	0.000 67	0.000 73	0.001 18	0.002 81	0.003 70	0.008 18	0.004 44	0.003 11	0.002 00	0.004 20	0.012 77	0.009 71	0.019 98	0.005 37	0.009 99	0.013 88	0.000 30	0.018 50	0.009 25
		开关	0.000 69	0.000 76	0.001 23	0.002 93	0.003 85	0.008 51	0.004 62	0.003 23	0.002 08	0.004 37	0.013 28	0.010 11	0.020 79	0.005 58	0.010 40	0.014 44	0.000 31	0.019 25	0.009 63
		检波	0.000 68	0.000 74	0.001 20	0.002 85	0.003 75	0.008 29	0.004 50	0.003 15	0.002 03	0.004 25	0.012 94	0.009 84	0.020 25	0.005 44	0.010 13	0.014 06	0.000 30	0.018 75	0.009 38
		瞬态抑制	0.000 63	0.000 69	0.001 12	0.002 66	0.003 50	0.007 74	0.004 20	0.002 94	0.001 89	0.003 97	0.012 08	0.009 19	0.018 90	0.005 08	0.009 45	0.013 13	0.000 28	0.017 50	0.008 75
	电压调整、电流调整、电压基准		0.001 03	0.001 13	0.001 73	0.004 10	0.004 97	0.011 02	0.006 48	0.004 54	0.002 92	0.006 12	0.016 15	0.013 04	0.025 27	0.007 20	0.012 64	0.018 63	0.000 46	0.024 84	0.012 42
	微波二极管	微波硅检波	0.008 43	0.009 27	0.014 19	0.033 71	0.038 14	0.082 93	0.053 22	0.036 37	0.023 95	0.049 10	0.117 31	0.100 12	0.183 61	0.055 30	0.091 80	0.143 03	0.003 79	0.190 71	0.095 35
		微波硅混频	0.002 65	0.002 92	0.004 46	0.010 60	0.012 00	0.026 09	0.016 74	0.011 44	0.007 53	0.015 44	0.036 90	0.031 49	0.057 75	0.017 40	0.028 88	0.044 99	0.001 19	0.059 99	0.029 99
		变容，阶跃，隧道，体效应，PIN，雪崩	0.001 88	0.002 07	0.003 17	0.007 52	0.009 11	0.020 20	0.011 88	0.008 32	0.005 35	0.011 23	0.029 60	0.023 91	0.046 33	0.013 21	0.023 17	0.034 16	0.000 85	0.045 54	0.022 77
晶体管	双极型	功率	0.001 02	0.001 12	0.001 81	0.004 29	0.005 65	0.012 49	0.006 78	0.004 75	0.003 05	0.006 41	0.019 49	0.014 83	0.030 51	0.008 19	0.015 26	0.021 19	0.000 46	0.028 25	0.014 13
		开关	0.001 17	0.001 29	0.002 08	0.004 94	0.006 50	0.014 37	0.007 80	0.005 46	0.003 51	0.007 37	0.022 43	0.017 06	0.035 10	0.009 43	0.017 55	0.024 38	0.000 53	0.032 50	0.016 25
		达林顿	0.001 28	0.001 41	0.002 27	0.005 40	0.007 10	0.015 69	0.008 52	0.005 96	0.003 83	0.008 05	0.024 50	0.018 64	0.038 34	0.010 30	0.019 17	0.026 63	0.000 58	0.035 50	0.017 75
	硅场效应		0.003 06	0.003 37	0.005 44	0.012 92	0.017 00	0.037 57	0.020 40	0.014 28	0.009 18	0.019 28	0.058 65	0.044 63	0.091 80	0.024 65	0.045 90	0.063 75	0.001 38	0.085 00	0.042 50
	微波	双极型	0.041 04	0.045 14	0.082 08	0.194 94	0.307 80	0.741 29	0.307 80	0.235 98	0.138 51	0.318 57	1.386 38	0.807 98	2.169 99	0.446 31	1.085 00	1.154 25	0.018 47	1.539 00	0.769 50
		场效应	0.020 48	0.022 53	0.040 96	0.097 28	0.153 60	0.369 92	0.153 60	0.117 76	0.069 12	0.158 98	0.691 84	0.403 20	1.082 88	0.222 72	0.541 44	0.576 00	0.009 22	0.768 00	0.384 00
	单结		0.006 78	0.007 45	0.012 05	0.028 61	0.037 65	0.083 21	0.045 18	0.031 63	0.020 33	0.042 70	0.129 89	0.098 83	0.203 31	0.054 59	0.101 66	0.141 19	0.003 05	0.188 25	0.094 13
	闸流		0.011 25	0.012 38	0.020 00	0.047 50	0.062 50	0.138 13	0.075 00	0.052 50	0.033 75	0.070 88	0.215 63	0.164 06	0.337 50	0.090 63	0.168 75	0.234 38	0.005 06	0.312 50	0.156 25

表 C.124 光电子器件通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
发光二极管	0.000 03	0.000 03	0.000 05	0.000 09	0.000 10	0.000 28	0.000 12	0.000 12	0.000 07	0.000 17	0.000 41	0.000 22	0.000 71	0.000 16	0.000 33	0.000 48	0.000 03	0.000 80	0.000 48
红外发光二极管	0.000 23	0.000 26	0.000 39	0.000 78	0.000 83	0.002 41	0.001 04	0.001 06	0.000 57	0.001 46	0.003 56	0.001 93	0.006 17	0.001 38	0.002 85	0.004 13	0.000 23	0.006 89	0.004 13
光敏二极管	0.000 59	0.000 65	0.001 04	0.002 07	0.002 69	0.008 75	0.002 76	0.002 94	0.001 52	0.004 05	0.016 43	0.006 28	0.028 48	0.004 49	0.013 14	0.013 46	0.000 59	0.022 43	0.013 46
激光二极管	0.000 01	0.000 01	0.000 02	0.000 03	0.000 03	0.000 09	0.000 04	0.000 04	0.000 02	0.000 05	0.000 13	0.000 07	0.000 22	0.000 05	0.000 10	0.000 15	0.000 01	0.000 26	0.000 15

表 C.124(续)

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
光电晶体管	0.002 21	0.002 43	0.003 90	0.007 80	0.010 14	0.032 96	0.010 40	0.011 06	0.005 72	0.015 25	0.061 91	0.023 66	0.107 32	0.016 90	0.049 53	0.050 70	0.002 21	0.084 50	0.050 70
简单式光电耦合器	0.001 13	0.001 24	0.001 85	0.003 69	0.003 47	0.009 79	0.004 92	0.004 78	0.002 71	0.006 59	0.012 68	0.008 09	0.021 99	0.005 78	0.010 15	0.017 34	0.001 13	0.028 91	0.017 34
复合式光电耦合器	0.004 54	0.004 99	0.007 40	0.014 79	0.013 90	0.039 26	0.019 72	0.019 15	0.010 85	0.026 40	0.050 84	0.032 44	0.088 12	0.023 17	0.040 67	0.069 51	0.004 54	0.115 86	0.069 51
单位数码管	0.000 26	0.000 28	0.000 45	0.000 90	0.001 17	0.003 80	0.001 20	0.001 28	0.000 66	0.001 76	0.007 14	0.002 73	0.012 38	0.001 95	0.005 72	0.005 85	0.000 26	0.009 75	0.005 85
双位数码管	0.000 54	0.000 60	0.000 96	0.001 92	0.002 50	0.008 11	0.002 56	0.002 72	0.001 41	0.003 75	0.015 24	0.005 82	0.026 42	0.004 16	0.012 19	0.012 48	0.000 54	0.020 80	0.012 48
三位数码管	0.000 77	0.000 85	0.001 37	0.002 73	0.003 55	0.011 53	0.003 64	0.003 87	0.002 00	0.005 34	0.021 67	0.008 28	0.037 56	0.005 92	0.017 34	0.017 75	0.000 77	0.029 58	0.017 75
四位数码管	0.001 00	0.001 10	0.001 77	0.003 54	0.004 60	0.014 96	0.004 72	0.005 02	0.002 60	0.006 92	0.028 10	0.010 74	0.048 70	0.007 67	0.022 48	0.023 01	0.001 00	0.038 35	0.023 01
五位数码管	0.001 23	0.001 36	0.002 18	0.004 35	0.005 66	0.018 38	0.005 80	0.006 17	0.003 19	0.008 50	0.034 53	0.013 20	0.059 85	0.009 43	0.027 62	0.028 28	0.001 23	0.047 13	0.028 28
六位数码管	0.001 46	0.001 61	0.002 58	0.005 16	0.006 71	0.021 80	0.006 88	0.007 32	0.003 78	0.010 09	0.040 96	0.015 65	0.070 99	0.011 18	0.032 77	0.033 54	0.001 46	0.055 90	0.033 54
七位数码管	0.001 69	0.001 86	0.002 99	0.005 97	0.007 76	0.025 22	0.007 96	0.008 47	0.004 38	0.011 67	0.047 39	0.018 11	0.082 14	0.012 94	0.037 91	0.038 81	0.001 69	0.064 68	0.038 81
八位数码管	0.001 92	0.002 11	0.003 39	0.006 78	0.008 81	0.028 65	0.009 04	0.009 62	0.004 97	0.013 25	0.053 82	0.020 57	0.093 28	0.014 69	0.043 05	0.044 07	0.001 92	0.073 45	0.044 07
九位数码管	0.002 15	0.002 37	0.003 80	0.007 59	0.009 87	0.032 07	0.010 12	0.010 77	0.005 57	0.014 84	0.060 25	0.023 02	0.104 43	0.016 45	0.048 20	0.049 34	0.002 15	0.082 23	0.049 34
十位数码管	0.002 38	0.002 62	0.004 20	0.008 40	0.010 92	0.035 49	0.011 20	0.011 91	0.006 16	0.016 42	0.066 68	0.025 48	0.115 57	0.018 20	0.053 34	0.054 60	0.002 38	0.091 00	0.054 60
光电二极管探测器 单隔离	0.000 78	0.000 86	0.001 28	0.002 55	0.002 40	0.006 77	0.003 40	0.003 30	0.001 87	0.004 55	0.008 77	0.005 59	0.015 19	0.004 00	0.007 01	0.011 99	0.000 78	0.019 98	0.011 99
光电二极管探测器 双隔离	0.001 22	0.001 35	0.002 00	0.003 99	0.003 75	0.010 59	0.005 32	0.005 17	0.002 93	0.007 12	0.013 72	0.008 75	0.023 77	0.006 25	0.010 97	0.018 75	0.001 22	0.031 26	0.018 75
光电晶体管探测器 单隔离	0.000 35	0.000 38	0.000 57	0.001 14	0.001 07	0.003 03	0.001 52	0.001 48	0.000 84	0.002 03	0.003 92	0.002 50	0.006 79	0.001 79	0.003 14	0.005 36	0.000 35	0.008 93	0.005 36
光电晶体管探测器 双隔离	0.000 60	0.000 66	0.000 98	0.001 95	0.001 83	0.005 18	0.002 60	0.002 53	0.001 43	0.003 48	0.006 70	0.004 28	0.011 62	0.003 06	0.005 36	0.009 17	0.000 60	0.015 28	0.009 17
光纤发光二极管模块	0.018	0.020	0.030	0.060	0.064	0.185	0.080	0.081	0.044	0.112	0.274	0.148	0.475	0.106	0.219	0.318	0.018	0.530	0.318
光纤激光模块	0.153	0.168	0.270	0.540	0.702	2.282	0.720	0.766	0.396	1.056	4.286	1.638	7.430	1.170	3.429	3.510	0.153	5.850	3.510
光纤探测器模块	0.110	0.121	0.180	0.360	0.338	0.956	0.480	0.466	0.264	0.643	1.238	0.790	2.145	0.564	0.990	1.692	0.110	2.820	1.692

表 C.125　真空电子器件通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
速调管	连续波	1.60	1.92	2.24	5.12	6.08	11.20	12.80	8.80	4.00	8.00	17.60	16.00	22.40	7.20	18.40	27.20	1.60	32.00	16.00
	脉冲	0.79	0.95	1.11	2.53	3.00	5.53	6.32	4.35	1.98	3.95	8.69	7.90	11.06	3.56	9.09	13.43	0.79	15.80	7.90
行波管		1.4	1.7	2.0	4.5	5.3	9.8	11.2	7.7	3.5	7.0	15.4	14.0	19.6	6.3	16.1	23.8	1.4	28.0	14.0
磁控管	连续波	1.55	1.86	2.17	4.96	5.89	10.85	12.40	8.53	3.88	7.75	17.05	15.50	21.70	6.98	17.83	26.35	1.55	31.00	15.50
	脉冲	6.30	7.56	8.82	20.16	23.94	44.10	50.40	34.65	15.75	31.50	69.30	63.00	88.20	28.35	72.45	107.10	6.30	126.00	63.00

注：表头“环境”横跨 G_B 至 M_F 各列。

表 C.126　电阻器通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
膜电阻器	碳膜、氧化物膜、金属膜电阻器≤1MΩ	0.000 07	0.000 08	0.000 11	0.000 22	0.000 29	0.000 43	0.000 36	0.000 28	0.000 16	0.000 33	0.000 86	0.000 37	0.000 87	0.000 24	0.000 48	0.000 87	0.000 04	0.001 56	0.000 83
	碳膜、氧化物膜、金属膜电阻器＞1MΩ	0.000 23	0.000 25	0.000 35	0.000 70	0.000 89	0.001 35	0.001 13	0.000 87	0.000 50	0.001 02	0.002 70	0.001 15	0.002 73	0.000 75	0.001 50	0.002 73	0.000 11	0.004 89	0.002 59
	功率膜电阻器≤1MΩ	0.000 29	0.000 31	0.000 42	0.000 84	0.000 98	0.001 42	0.001 35	0.000 99	0.000 60	0.001 17	0.002 74	0.001 26	0.002 77	0.000 82	0.001 52	0.002 99	0.000 14	0.005 36	0.002 84
	功率膜电阻器＞1MΩ	0.000 59	0.000 65	0.000 87	0.001 74	0.002 02	0.002 93	0.002 79	0.002 05	0.001 24	0.002 42	0.005 66	0.002 60	0.005 73	0.001 69	0.003 14	0.006 18	0.000 29	0.011 07	0.005 86
绕线电阻器	普通线绕	0.001 30	0.001 43	0.001 92	0.003 84	0.004 46	0.006 78	0.006 17	0.004 75	0.002 74	0.005 61	0.013 65	0.005 75	0.013 81	0.003 74	0.007 56	0.013 67	0.000 65	0.024 45	0.012 95
	精密线绕电阻器≤1MΩ	0.003 04	0.003 34	0.004 48	0.008 96	0.010 42	0.015 84	0.014 40	0.011 09	0.006 40	0.013 10	0.031 87	0.013 44	0.032 26	0.008 74	0.017 66	0.031 92	0.001 52	0.057 12	0.030 24
	精密线绕电阻器＞1MΩ	0.007 79	0.008 57	0.011 48	0.022 96	0.026 69	0.040 59	0.036 90	0.028 41	0.016 40	0.033 58	0.081 67	0.034 44	0.082 66	0.022 39	0.045 26	0.081 80	0.003 90	0.146 37	0.077 49
功率线绕		0.000 42	0.000 47	0.000 66	0.001 32	0.001 68	0.002 54	0.002 12	0.001 63	0.000 94	0.001 92	0.005 07	0.002 16	0.005 13	0.001 41	0.002 81	0.005 13	0.000 21	0.009 19	0.004 86
片式膜电阻		0.000 45	0.000 50	0.000 70	0.001 40	0.001 78	0.002 70	0.002 25	0.001 73	0.001 00	0.002 05	0.005 40	0.002 30	0.005 46	0.001 50	0.002 99	0.005 46	0.000 23	0.009 78	0.005 18

表 C.126（续）

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电阻网络	每个分类元件(N=10)	0.003 66	0.000 40	0.000 60	0.001 20	0.001 67	0.003 10	0.001 94	0.001 56	0.000 86	0.001 84	0.009 46	0.002 41	0.009 57	0.001 57	0.005 24	0.005 72	0.000 18	0.010 23	0.005 42
	厚薄膜(N=10)	0.002 21	0.000 24	0.000 36	0.000 73	0.001 01	0.001 87	0.001 17	0.000 94	0.000 52	0.001 12	0.005 72	0.001 46	0.005 79	0.000 95	0.003 17	0.003 46	0.000 11	0.006 19	0.003 28

表 C.127 敏感电阻器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
热敏电阻器	0.002 04	0.002 24	0.003 57	0.007 14	0.011 86	0.019 51	0.011 48	0.009 68	0.005 10	0.011 44	0.049 74	0.015 30	0.050 34	0.009 95	0.027 57	0.036 34	0.001 02	0.065 03	0.034 43
压敏电阻器	0.000 45	0.000 49	0.000 78	0.001 57	0.002 60	0.004 28	0.002 52	0.002 13	0.001 12	0.002 51	0.010 92	0.003 36	0.011 05	0.002 18	0.006 05	0.007 98	0.000 22	0.014 28	0.007 56
光敏电阻器	0.001 38	0.001 52	0.002 42	0.004 84	0.008 04	0.013 23	0.007 79	0.006 57	0.003 46	0.007 76	0.033 74	0.010 38	0.034 15	0.006 75	0.018 70	0.024 65	0.000 69	0.044 12	0.023 36

表 C.128 电位器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
线绕电位器	普通	0.015 8	0.017 4	0.026 4	0.052 8	0.072 6	0.148 7	0.096 8	0.059 1	0.031 7	0.061 0	0.184 8	0.132 0	0.290 4	0.066 0	0.205 9	0.360 8	0.015 8	—	—
	精密	0.040 5	0.044 6	0.067 5	0.135 0	0.170 8	0.351 0	0.247 5	0.151 2	0.081 0	0.155 9	0.409 5	0.310 5	0.643 5	0.155 3	0.456 3	0.848 7	0.040 5	—	—
	微调	0.015 1	0.016 6	0.023 9	0.047 7	0.057 7	0.113 7	0.087 5	0.053 4	0.028 6	0.055 1	0.133 6	0.104 9	0.209 9	0.052 5	0.148 8	0.286 8	0.015 1	—	—
非线绕电位器	有机实芯	0.001 1	0.001 2	0.001 8	0.003 6	0.004 6	0.009 4	0.006 6	0.004 0	0.002 2	0.004 2	0.010 9	0.008 3	0.017 2	0.004 1	0.012 2	0.022 6	0.001 1	—	—
	低精密碳膜	0.003 8	0.004 2	0.006 3	0.012 6	0.017 3	0.035 5	0.023 1	0.014 1	0.007 6	0.014 6	0.044 1	0.031 5	0.069 3	0.015 8	0.049 1	0.086 1	0.003 8	—	—
	玻璃釉	0.001 1	0.001 3	0.001 9	0.003 8	0.004 8	0.009 9	0.007 0	0.004 3	0.002 3	0.004 4	0.011 6	0.008 8	0.018 2	0.004 4	0.012 9	0.024 0	0.001 1	—	—
	精密	0.005 6	0.006 1	0.009 3	0.018 6	0.025 6	0.052 4	0.034 1	0.020 8	0.011 2	0.021 5	0.065 1	0.046 5	0.102 3	0.023 3	0.072 5	0.127 1	0.005 6	—	—
	微调	0.001 9	0.002 1	0.003 0	0.006 0	0.007 3	0.014 3	0.011 0	0.006 7	0.003 6	0.006 9	0.016 8	0.013 2	0.026 4	0.006 6	0.018 7	0.036 1	0.001 9	—	—

表 C.129 电容器通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
纸和薄膜电容器	纸介	0.001 51	0.001 63	0.002 39	0.003 98	0.004 90	0.008 05	0.006 68	0.004 67	0.003 02	0.006 18	0.010 49	0.007 00	0.015 26	0.005 42	0.009 16	0.012 24	0.001 51	0.019 24	0.010 49
	纸—膜复合介质	0.000 55	0.000 60	0.000 87	0.001 45	0.001 79	0.002 93	0.002 44	0.001 71	0.001 10	0.002 25	0.003 83	0.002 55	0.005 57	0.001 98	0.003 34	0.004 47	0.000 55	0.007 02	0.003 83
	薄膜	0.000 30	0.000 32	0.000 50	0.000 83	0.001 06	0.001 82	0.001 39	0.000 97	0.000 63	0.001 28	0.002 36	0.001 52	0.003 43	0.001 18	0.002 06	0.002 66	0.000 30	0.004 17	0.002 28
云母电容器		0.000 14	0.000 16	0.000 27	0.000 45	0.000 76	0.001 32	0.000 76	0.000 58	0.000 34	0.000 77	0.002 33	0.001 08	0.003 38	0.000 84	0.002 03	0.001 89	0.000 14	0.002 97	0.001 62
瓷介电容器		0.000 07	0.000 08	0.000 12	0.000 20	0.000 25	0.000 40	0.000 34	0.000 22	0.000 15	0.000 30	0.000 53	0.000 35	0.000 77	0.000 27	0.000 46	0.000 62	0.000 07	0.000 97	0.000 53
铝电解电容器	<400μF	0.000 15	0.000 16	0.000 29	0.000 48	0.000 80	0.001 40	0.000 80	0.000 61	0.000 36	0.000 81	0.002 46	0.001 14	0.003 57	0.000 88	0.002 14	0.002 00	0.000 15	0.003 14	0.001 71
	≥400μF	0.003 07	0.003 32	0.005 76	0.009 60	0.016 13	0.028 26	0.016 13	0.012 36	0.007 30	0.016 34	0.049 63	0.023 04	0.072 19	0.017 86	0.043 32	0.040 32	0.003 07	0.063 36	0.034 56
固体钽电解电容器	密封	0.000 43	0.000 47	0.000 72	0.001 20	0.001 55	0.002 65	0.002 02	0.001 41	0.000 91	0.001 86	0.003 43	0.002 21	0.004 99	0.001 71	0.003 00	0.003 86	0.000 43	0.006 07	0.003 31
	非密封	0.000 09	0.000 10	0.000 15	0.000 25	0.000 32	0.000 55	0.000 42	0.000 29	0.000 19	0.000 39	0.000 72	0.000 46	0.001 04	0.000 36	0.000 62	0.000 81	0.000 09	0.001 27	0.000 69
非固体钽电解电容器		0.001 05	0.001 14	0.001 76	0.002 93	0.003 77	0.006 46	0.004 91	0.003 44	0.002 22	0.004 55	0.008 37	0.005 38	0.012 17	0.004 17	0.007 30	0.009 42	0.001 05	0.014 80	0.008 07
氧化铌电解电容器		0.000 56	0.000 60	0.001 05	0.001 75	0.002 94	0.005 15	0.002 94	0.002 25	0.001 33	0.002 98	0.009 05	0.004 20	0.013 16	0.003 26	0.007 90	0.007 35	0.000 56	0.011 55	0.006 30
可变电容器	瓷介微调	0.002 04	0.002 21	0.003 41	0.005 68	0.007 31	0.012 53	0.009 53	0.006 67	0.004 31	0.008 82	0.016 23	0.010 44	0.023 61	0.008 09	0.014 16	0.018 27	0.002 04	0.028 72	0.015 66
	玻璃介质	0.001 03	0.001 11	0.001 94	0.003 23	0.004 70	0.008 60	0.005 42	0.003 97	0.002 45	0.005 25	0.011 71	0.006 71	0.017 03	0.005 20	0.010 22	0.011 74	0.001 03	0.018 45	0.010 06
	空气介质	0.002 46	0.002 65	0.004 61	0.007 68	0.011 17	0.020 48	0.012 89	0.009 46	0.005 83	0.012 49	0.027 86	0.015 96	0.040 52	0.012 37	0.024 31	0.027 94	0.002 46	0.043 90	0.023 95
	真空	0.010 5	0.011 3	0.016 5	0.027 5	0.033 9	0.055 7	0.046 2	0.032 3	0.020 9	0.042 7	0.072 6	0.048 4	0.105 6	0.037 5	0.063 4	0.084 7	0.010 5	0.133 1	0.072 6

表 C.130 感性元件通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电感器	固定电感器	0.000 10	0.000 13	0.000 17	0.000 44	0.000 45	0.000 97	0.000 55	0.000 39	0.000 24	0.000 45	0.001 64	0.000 89	0.001 90	0.000 71	0.001 06	0.001 66	0.000 10	0.002 37	0.001 42
	可变电感器	0.000 88	0.001 06	0.001 40	0.003 72	0.003 80	0.008 18	0.004 65	0.003 34	0.002 05	0.003 81	0.013 90	0.007 50	0.016 04	0.006 00	0.008 93	0.014 00	0.000 88	0.020 00	0.012 00
	扼流圈	0.002 28	0.002 74	0.003 60	0.009 60	0.009 80	0.021 12	0.012 00	0.008 61	0.005 28	0.009 84	0.035 88	0.019 35	0.041 40	0.015 48	0.023 04	0.036 12	0.002 28	0.051 60	0.030 96
片式电感器		0.000 37	0.000 41	0.000 59	0.001 56	0.001 26	0.002 57	0.001 56	0.001 40	0.000 86	0.001 60	0.005 61	0.003 14	0.007 18	0.002 31	0.003 14	0.005 45	0.000 37	0.008 39	0.005 03

表 C.130(续)

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
变压器	电源变压器	0.002 95	0.003 53	0.004 65	0.012 40	0.012 66	0.027 28	0.015 50	0.011 12	0.006 82	0.014 30	0.051 69	0.024 99	0.057 04	0.020 00	0.028 52	0.049 99	0.002 95	0.073 32	0.039 99
	小功率脉冲变压器	0.000 86	0.001 03	0.001 35	0.003 60	0.003 68	0.007 92	0.004 50	0.003 23	0.001 98	0.004 15	0.015 01	0.007 26	0.016 56	0.005 81	0.008 28	0.014 51	0.000 86	0.021 29	0.011 61
	大功率脉冲变压器	0.002 96	0.003 56	0.004 68	0.012 48	0.012 75	0.027 46	0.015 60	0.011 19	0.006 86	0.014 39	0.052 03	0.025 16	0.057 41	0.020 12	0.028 70	0.050 31	0.002 96	0.073 79	0.040 25
	音频变压器	0.000 59	0.000 71	0.000 93	0.002 48	0.002 53	0.005 46	0.003 10	0.002 22	0.001 36	0.002 86	0.010 34	0.005 00	0.011 41	0.004 00	0.005 70	0.010 00	0.000 59	0.014 66	0.008 00
	中频变压器	0.000 61	0.000 73	0.000 96	0.002 56	0.002 61	0.005 63	0.003 20	0.002 30	0.001 41	0.002 95	0.010 67	0.005 16	0.011 78	0.004 13	0.005 89	0.010 32	0.000 61	0.015 14	0.008 26
	高压变压器、射频变压器	0.001 26	0.001 52	0.002 00	0.005 32	0.005 43	0.011 70	0.006 65	0.004 77	0.002 93	0.006 13	0.022 18	0.010 72	0.024 47	0.008 58	0.012 24	0.021 45	0.001 26	0.031 45	0.017 16

表 C.131 继电器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
机电继电器	电磁继电器	0.004 2	0.004 6	0.006 6	0.013 2	0.019 8	0.043 0	0.026 4	0.022 6	0.013 2	0.027 1	0.058 1	0.029 7	0.058 1	0.019 8	0.042 2	0.064 4	0.002 9	0.126 5	0.061 9
	真空继电器	0.006 7	0.007 3	0.010 5	0.021 0	0.031 5	0.068 4	0.042 0	0.035 9	0.021 0	0.043 1	0.092 4	0.047 3	0.092 4	0.031 5	0.067 2	0.102 4	0.004 7	0.201 3	0.098 4
	簧管式继电器	0.006 5	0.007 1	0.010 2	0.020 4	0.030 6	0.066 5	0.040 8	0.034 9	0.020 4	0.041 8	0.089 8	0.045 9	0.089 8	0.030 6	0.065 3	0.099 5	0.004 5	0.195 5	0.095 6
	热延时,双金属继电器	0.007 6	0.008 4	0.012 0	0.024 0	0.036 0	0.078 2	0.048 0	0.041 0	0.024 0	0.049 2	0.105 6	0.054 0	0.105 6	0.036 0	0.076 8	0.117 0	0.005 3	0.230 0	0.112 5
	接触式继电器	0.040 2	0.044 2	0.063 5	0.126 9	0.190 4	0.413 5	0.253 8	0.216 8	0.126 9	0.260 1	0.558 4	0.285 5	0.558 4	0.190 4	0.406 1	0.618 6	0.028 1	1.216 1	0.594 8
固体继电器		0.007 1	0.007 8	0.011 3	0.022 5	0.033 8	0.073 3	0.045 0	0.038 4	0.022 5	0.046 1	0.099 0	0.050 6	0.099 0	0.033 8	0.072 0	0.109 7	0.005 0	0.215 6	0.105 5

表 C.132 开关通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
旋转开关	0.004 62	0.005 08	0.007 78	0.015 07	0.026 79	0.034 26	0.026 73	0.017 69	0.011 18	0.020 22	0.050 12	0.025 15	0.040 10	0.013 67	0.024 06	0.065 61	0.004 62	0.180 43	0.092 95
微动开关	0.002 28	0.002 51	0.003 84	0.007 44	0.013 23	0.016 92	0.013 20	0.008 74	0.005 52	0.009 98	0.024 75	0.012 42	0.019 80	0.006 75	0.011 88	0.032 40	0.002 28	0.089 10	0.045 90
钮子开关	0.001 97	0.002 16	0.003 31	0.006 42	0.011 41	0.014 59	0.011 39	0.007 53	0.004 76	0.008 61	0.021 35	0.010 71	0.017 08	0.005 82	0.010 25	0.027 95	0.001 97	0.076 85	0.039 59
按钮开关	0.001 69	0.001 86	0.002 85	0.005 52	0.009 81	0.012 55	0.009 79	0.006 48	0.004 09	0.007 40	0.018 36	0.009 21	0.014 69	0.005 01	0.008 81	0.024 03	0.001 69	0.066 08	0.034 04
滑动开关	0.002 02	0.002 23	0.003 41	0.006 60	0.011 74	0.015 02	0.011 72	0.007 75	0.004 90	0.008 86	0.021 97	0.011 02	0.017 57	0.005 99	0.010 54	0.028 76	0.002 02	0.079 08	0.040 74
行程开关	0.002 13	0.002 34	0.003 58	0.006 94	0.012 35	0.015 79	0.012 32	0.008 15	0.005 15	0.009 32	0.023 10	0.011 59	0.018 48	0.006 30	0.011 09	0.030 24	0.002 13	0.083 16	0.042 84

表 C.133 电连接器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
低频	圆形及矩形	0.000 12	0.000 14	0.000 21	0.000 41	0.000 66	0.001 40	0.000 62	0.000 34	0.000 26	0.000 51	0.002 76	0.000 71	0.002 07	0.000 46	0.001 73	0.003 09	0.000 12	0.002 65	0.001 21
	印制电路板	0.000 96	0.001 15	0.001 67	0.003 35	0.005 38	0.011 38	0.005 02	0.002 75	0.002 15	0.004 12	0.022 47	0.005 74	0.016 85	0.003 76	0.014 04	0.025 10	0.000 96	0.021 51	0.009 86
射频同轴连接器		0.000 07	0.000 09	0.000 12	0.000 25	0.000 40	0.000 85	0.000 37	0.000 20	0.000 16	0.000 31	0.001 67	0.000 43	0.001 25	0.000 28	0.001 04	0.001 86	0.000 07	0.001 60	0.000 73

表 C.134 微特电机通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
电动机	高速＞10 000r/min	0.016	0.019	0.024	0.056	0.048	0.128	0.064	0.056	0.029	0.072	0.160	0.064	0.192	0.040	0.118	0.208	0.016	0.346	0.176
	中速≥1 000r/min，≤10 000r/min	0.008	0.010	0.012	0.028	0.024	0.064	0.032	0.028	0.014	0.036	0.080	0.032	0.096	0.020	0.059	0.104	0.008	0.173	0.088
	低速＜1 000r/min	0.005	0.006	0.008	0.018	0.015	0.040	0.020	0.018	0.009	0.023	0.050	0.020	0.060	0.013	0.037	0.065	0.005	0.108	0.055
	整流式	0.056	0.067	0.084	0.196	0.168	0.448	0.224	0.196	0.101	0.252	0.560	0.224	0.672	0.140	0.414	0.728	0.056	1.210	0.616
风机	高速＞10 000r/min	0.038	0.072	0.090	0.210	0.180	0.480	0.240	0.210	0.108	0.270	0.600	0.240	0.720	0.150	0.444	0.780	0.060	1.296	0.660
	中速≥1 000r/min，≤10 000r/min	0.014	0.034	0.042	0.098	0.084	0.224	0.112	0.098	0.050	0.126	0.280	0.112	0.336	0.070	0.207	0.364	0.028	0.605	0.308
	低速＜1 000r/min	0.020	0.024	0.030	0.070	0.060	0.160	0.080	0.070	0.036	0.090	0.200	0.080	0.240	0.050	0.148	0.260	0.020	0.432	0.220
自整角机和旋转变压器		0.01	0.012	0.015	0.035	0.03	0.08	0.04	0.035	0.018	0.045	0.1	0.04	0.12	0.025	0.074	0.13	0.01	0.216	0.11

表 C.134(续)

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
时间累加器	普通(交直流)	0.22	0.26	0.33	0.77	0.66	1.76	0.88	0.77	0.40	0.99	2.20	0.88	2.64	0.55	1.63	2.86	0.22	4.75	2.42
	可逆驱动	0.37	0.44	0.56	1.30	1.11	2.96	1.48	1.30	0.67	1.67	3.70	1.48	4.44	0.93	2.74	4.81	0.37	7.99	4.07
	整流子式直流	1.20	1.44	1.80	4.20	3.60	9.60	4.80	4.20	2.16	5.40	12.00	4.80	14.40	3.00	8.88	15.60	1.20	25.92	13.20

表 C.135 磁性器件通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_I	M_F
大功率磁性器件、隔离器、放大器、回转器、调制器、环行器、移相器、耦合器	0.05	0.06	0.07	0.16	0.19	0.35	0.23	0.20	0.13	0.25	0.55	0.30	0.50	0.18	0.28	0.65	0.05	1.00	0.50
小功率磁性器件(接收机用)	0.02	0.02	0.03	0.06	0.08	0.14	0.09	0.08	0.05	0.10	0.22	0.12	0.20	0.07	0.11	0.26	0.02	0.40	0.20

表 C.136 振荡器和谐振器通用工作失效率 λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类		环境																		
		G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
振荡器	通用	0.002 6	0.002 9	0.003 4	0.008 6	0.009 1	0.026 0	0.019 5	0.013 0	0.005 2	0.015 6	0.031 2	0.033 8	0.052 0	0.020 8	0.036 4	0.044 2	0.001 6	0.067 6	0.033 8
	压控	0.004 5	0.005 0	0.005 9	0.014 9	0.015 8	0.045 0	0.033 8	0.022 5	0.009 0	0.027 0	0.054 0	0.058 5	0.090 0	0.036 0	0.063 0	0.076 5	0.002 7	0.117 0	0.058 5
	温补	0.004 0	0.004 4	0.005 2	0.013 2	0.014 0	0.040 0	0.030 0	0.020 0	0.008 0	0.024 0	0.048 0	0.052 0	0.080 0	0.032 0	0.056 0	0.068 0	0.002 4	0.104 0	0.052 0
谐振器		0.005 2	0.005 7	0.006 8	0.017 2	0.018 2	0.052 0	0.039 0	0.026 0	0.010 4	0.031 2	0.062 4	0.067 6	0.104 0	0.041 6	0.072 8	0.088 4	0.003 1	0.135 2	0.067 6

表 C.137　滤波器通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
LC 滤波器	0.005 00	0.005 50	0.007 00	0.015 00	0.019 00	0.035 00	0.030 00	0.020 00	0.012 50	0.025 00	0.050 00	0.040 00	0.055 00	0.025 00	0.032 50	0.052 50	0.005 00	0.100 00	0.054 00
压电陶瓷滤波器	0.002 90	0.003 19	0.004 06	0.008 70	0.011 02	0.020 30	0.017 40	0.011 60	0.007 25	0.014 50	0.029 00	0.023 20	0.031 90	0.014 50	0.018 85	0.030 45	0.002 90	0.058 00	0.031 32
介电滤波器	0.005 50	0.006 05	0.007 70	0.016 50	0.020 90	0.038 50	0.033 00	0.022 00	0.013 75	0.027 50	0.055 00	0.044 00	0.060 50	0.027 50	0.035 75	0.057 75	0.005 50	0.110 00	0.059 40
石英晶体滤波器	0.002 00	0.002 20	0.002 80	0.006 00	0.007 60	0.014 00	0.012 00	0.008 00	0.005 00	0.010 00	0.020 00	0.016 00	0.022 00	0.010 00	0.013 00	0.021 00	0.002 00	0.040 00	0.021 60
机械滤波器	0.003 70	0.004 07	0.005 18	0.011 10	0.014 06	0.025 90	0.022 20	0.014 80	0.009 25	0.018 50	0.037 00	0.029 60	0.040 70	0.018 50	0.024 05	0.038 85	0.003 70	0.074 00	0.039 96

表 C.138　电池通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
硅、砷化镓太阳能电池	0.002 0	0.002 2	0.002 4	0.003 6	0.004 0	0.007 0	0.006 0	0.004 0	0.003 0	0.005 0	0.008 0	0.008 4	0.010 0	0.006 0	0.008 6	0.010 0	0.002 0	0.008 0	0.008 4
氢镍蓄电池	0.092	0.101	0.110	0.166	0.184	0.322	0.276	0.184	0.138	0.230	0.368	0.386	0.460	0.276	0.396	0.460	0.092	0.368	0.386
隔镍蓄电池	0.051	0.056	0.061	0.092	0.102	0.179	0.153	0.102	0.077	0.128	0.204	0.214	0.255	0.153	0.219	0.255	0.051	0.204	0.214
锂离子蓄电池	0.026	0.028	0.031	0.046	0.051	0.089	0.077	0.051	0.038	0.064	0.102	0.107	0.128	0.077	0.110	0.128	0.026	0.102	0.107
铅酸蓄电池	0.040	0.044	0.048	0.072	0.080	0.140	0.120	0.080	0.060	0.100	0.160	0.168	0.200	0.120	0.172	0.200	0.040	0.160	0.168

表 C.139　灯通用工作失效率λ_G

单位为 10^{-6}/h

种类	环境																		
	G_B	G_{MS}	G_{F1}	G_{F2}	G_{M1}	G_{M2}	M_P	N_{SB}	N_{S1}	N_{S2}	N_U	A_{IF}	A_{UF}	A_{IC}	A_{UC}	A_{RW}	S_F	M_L	M_F
氖灯	0.04	0.04	0.05	0.08	0.09	0.14	0.13	0.10	0.05	0.11	0.16	0.16	0.20	0.12	0.17	0.20	0.04	0.24	0.16
白炽灯	0.12	0.13	0.14	0.24	0.26	0.43	0.38	0.29	0.16	0.34	0.48	0.49	0.60	0.36	0.50	0.60	0.12	0.72	0.48

附　录　D
（资料性附录）
基于失效物理的电子设备可靠性预计方法

D.1　概述

失效物理（PoF，Physics-of-Failure）属于一种分析方法，除用于评估产品可靠性外，还可以用于指导产品设计、测试、筛选等生产环节。该方法通过识别失效诱因并针对性改善设计和制造过程，从而达到失效预防的目的，其中失效诱因识别包括：明确潜在失效机理、失效部位和失效模式；恰当的失效模型及模型参数；设计参数的波动情况等。

失效物理分析的目标，是通过对特定应用环境下的特定组件各失效机理逐一进行分析，如电迁移、焊点开裂等，预测影响其寿命的某特定失效发生时间，该分析方法需明确材料特性、结构参数及环境条件等详细信息。本附录对常见失效物理模型进行介绍，并对基于失效物理的可靠性预计过程进行说明。

D.2　常见失效物理模型

D.2.1　电迁移（EM，ElectroMigration）

电迁移是电场下导电电子与组成导体的金属原子之间发生动量交换，从而使金属原子发生移动的现象。电迁移的发生可能会造成导体局部短路或断路，其失效时间与材料特性、电流密度和温度有关，由电迁移引发的失效率可用 Black 方程进行表征，见式（D.1）。

$$\lambda_{\mathrm{EM}} = A_{\mathrm{EM}} \int^{n} \exp\left(\frac{-E_{\mathrm{aEM}}}{\mathrm{k}T}\right) \cdots\cdots (\mathrm{D.1})$$

式中：

λ_{EM}——由电迁移引发的失效率，10^{-6}/h；

A_{EM}——常量，与材料和工艺相关；

n——对 Al 金属化而言，取值与互连线中电流密度有函数关系，比较近似的处理是对宽线（平均晶粒度小于线宽）而言 $n=2$，对窄线（平均晶粒度大于线宽）而言 $n=1$；

E_{aEM}——特定温度下扩散对应的激活能；

k——波尔兹曼常数；

T——绝对温度。

激活能 E_{aEM} 与材料、特征尺寸、晶粒大小和温度范围有关，表 D.1 给出了一些金属激活能的参考值。

表 D.1　部分金属材料激活能参考值

金属材料	晶格尺寸 μm	E_{aEM} eV	n
体铝（Bulk Al）	–	1.4	–
铝（Al）	0.1～2	0.35～0.6	2～4
铝铜合金（Al/0.3～5%Cu）	1～6	0.5～0.8	2
铝铜硅合金（Al−Cu−Si）	0.25～0.6	0.25～0.86	1.7
金（Au）	0.2～0.5	0.7～0.9	3.3～4

D. 2. 2 热载流子注入(HCI, Hot Carrier Injection)

热载流子是具有较高能量的载流子，其动能高于平均热运动能量，并具有较高的运动速度，一般出现在 MOSFET 器件中。热载流子注入是指，当载流子获得足够能量时，越过金属－氧化物界面势垒注入到栅氧化层中，导致电荷陷阱和界面态的产生，引起器件特性参数的漂移。热载流子注入失效率可用幸运电子模型来描述，见式(D.2)。

$$\lambda_{\mathrm{HCI}} = A_{\mathrm{HCI}}\left(\frac{I_{\mathrm{sub}}}{W}\right)^{\mathrm{m}} \exp\left(\frac{-E_{\mathrm{aHCI}}}{\mathrm{k}T}\right) \cdots\cdots \text{(D.2)}$$

式中：

λ_{HCI}——由热载流子注入引发的失效率，10^{-6}/h；

A_{HCI}——特性相关因子；

I_{sub}——峰值衬底电流(NMOS)或峰值栅极电流(PMOS)；

W——沟道宽度；

m——取值范围为 2～4；

E_{aHCI}——激活能，取值范围为－0.1eV～－0.2eV；

k——波尔兹曼常数；

T——绝对温度。

D. 2. 3 与时间相关的介质击穿(TDDB, Time Dependent Dielectric Breakdown)

TDDB 是 CMOS 器件一种较为常见的失效机理，是指栅氧化层上电压较大时，有可能被隧穿造成大电流通过，从而使器件发生失效。该失效机理在小特征尺寸器件、高电压工作的情况下较为常见，其失效率预计模型见式(D.3)。

$$\lambda_{\mathrm{TDDB}} = A_{\mathrm{TDDB}} A^{\frac{1}{\beta}} V_{\mathrm{gs}}^{\mathrm{a+bt}} \exp\left(\frac{c}{T}+\frac{d}{T^2}\right) \cdots\cdots \text{(D.3)}$$

式中：

λ_{TDDB}——由介质击穿引发的失效率，10^{-6}/h；

A_{TDDB}、A——材料常数；

β——形状参数；

V_{gs}——栅源电压；

a、b、c、d——拟合参数；

T——绝对温度。

D. 2. 4 腐蚀(Corrosion)

金属化材料的腐蚀失效时间与多方面因素有关：封装类型、侵蚀材料、制造和装配工艺以及存储和使用环境条件，由 M.Pecht 和 W.Ko 提出的腐蚀时间定量表征模型见式(D.4)。

$$t_{\mathrm{C}} = \frac{K_1 K_2 K_3}{K_4} \frac{w^2 hnd\,\mathrm{F}}{4MV} \frac{\rho}{z} \cdots\cdots \text{(D.4)}$$

式中：

t_{C}——失效时间；

K_1——目标材料的物理特性指数，见表 D.2；

K_2——金属化涂覆度指数，见表 D.3；

K_3——任务剖面修正因子，见式(D.5)；

K_4——环境修正因子，见式(D.6)；

w ——导体宽度；
h ——导体高度；
n ——化合价；
d ——金属导体密度；
F ——法拉第常量，965 00 库仑；
M ——金属导体原子重量；
V ——导线之间电压；
ρ ——介质电阻率，正常环境下为 7.3，腐蚀环境下为 2.3，单位 106ohm-cm；
z ——介质厚度。

表 D.2 给出了常见金属化材料的物理特性，表 D.3 给出了金属化涂覆集成指数。

表 D.2　常见金属化材料的物理特性

材料	K_1	M	E	n
铝	0.1	27	2.7	3
铜	0.7	64	8.9	2
金	1.0	197	19.32	3

表 D.3　金属化涂覆度指数

涂覆类型	K_2
无	1
部分键合	10～50
完全键合	100

$$K_3 = \frac{1}{(1-DC)^{10DC-1}} \quad \cdots\cdots (D.5)$$

式中：
DC ——占空比(%)。

$$K_4 = \frac{(RH_R)^n \exp(E_a/kT_R)}{(RH)^n \exp(E_a/kT)} \quad \cdots\cdots (D.6)$$

式中：
RH_R ——参考相对湿度；
n ——指数项；
E_a ——激活能(eV)；
RH ——相对湿度($0 \leqslant RH \leqslant 1$)；
k ——波尔兹曼常数；
T_R ——参考温度；
T ——温度。

D.2.5　振动疲劳(Vibration Fatigue)

鉴于可以更好的描述电子设备的工作环境，随机振动通常被用来进行产品的鉴定和筛选试验，随机振动包含在一定带宽内的一系列连续频率，其疲劳循环暴露量(fatigue cycle exposure)可以用功率谱密度(PSD)来表征，见式(D.7)。

$$P = \lim_{\Delta f \to 0} \frac{G^2}{\Delta f} \quad \cdots\cdots (D.7)$$

式中：

P ——谐振频率下的输入功率密度谱（G^2/Hz）；

G ——加速度的均方根（重力单位，G）；

Δf ——频率带宽（Hz）。

疲劳与输入 PSD 剖面和响应 PSD 剖面有关，振动中（尤其是垂直于板面方向的振动）板的形变引发 PCB 疲劳。在 PSD 剖面中一阶固有频率是疲劳最主要的诱发因素，随机振动的输出响应通常用加速度均方根表示，见式（D.8）。

$$G_{\mathrm{RMS}} = \sqrt{\frac{\pi}{2} P f_{\mathrm{n}} Q} \quad \text{(D.8)}$$

式中：

G_{RMS} ——输入 P 下的 PCB 输出响应；

P ——谐振频率下的输入功率密度谱（G^2/Hz）；

f_{n} ——谐振频率（Hz）；

Q ——谐振频率的可传送性，见式（D.9）。

$$Q = A\sqrt{f_{\mathrm{n}}} \quad \text{(D.9)}$$

对应不同的谐振频率 f_{n}，A 有以下取值情况：

A＝1/2，当 f_{n}＜100Hz；

A＝1，当 200Hz＜f_{n}＜300Hz；

A＝2，当 f_{n}＞400Hz。

而对于 100Hz～200Hz 和 300Hz～400Hz 的频率范围，可以认为 A 线性递增。

板位移均方根见式（D.10）。

$$Z_{\mathrm{RMS}} = \left(\frac{g}{4\pi^2} \frac{G_{\mathrm{RMS}}}{f_{\mathrm{n}}^{\ 2}} \right) \quad \text{(D.10)}$$

式中：

Z_{RMS} ——板位移的均方根；

g ——重力加速度；

G_{RMS} ——尖峰输入加速度；

f_{n} ——谐振频率。

典型的加速度分布服从高斯分布，最大位移由均方根位移乘以 3 获取，见式（D.11）。

$$Z_{\mathrm{MAX}} = 3Z_{\mathrm{RMS}} \quad \text{(D.11)}$$

对由振动引发的失效见式（D.12）。

$$N_{\mathrm{u}} = N_{\mathrm{t}} \left(\frac{S_{\mathrm{t}}}{S_{\mathrm{u}}} \right)^{\mathrm{b}} \quad \text{(D.12)}$$

式中：

N_{u} ——使用环境下失效所需循环数；

N_{t} ——测试环境下失效所需循环数；

S_{t} ——测试环境下应力等级；

S_{u} ——使用环境下应力等级；

b ——材料 S−N 疲劳曲线斜率，对许多材料而言 b＝6.4，对 SAC305 而言 b＝7.8。

当N_t和S_t难以获取(测试实验难以开展)的时候，按式(D.13)计算失效需要的振动周期数。

$$N_f = N_r\left(\frac{Z_C}{Z_{MAX}}\right)^b \quad \text{(D.13)}$$

式中：

N_r——20 000 000；

Z_C——元器件最大位移；

Z_{MAX}——板最大位移；

b——材料 S－N 疲劳曲线斜率，取 6.4(SnPb 材料的典型疲劳常量)。

其中如果板可以当做简单弹性体处理的话，则Z_C见式(D.14)。

$$Z_C = \frac{0.00022B}{Chr\sqrt{L}} \quad \text{(D.14)}$$

式中：

Z_C——元器件最大位移；

B——与元器件长边平行的板边缘长度；

C——元器件系数；

h——板的厚度；

r——元器件在板上的相对位置系数；

L——板的长度。

表 D.4 和表 D.5 列出了元器件系数和相对位置系数。

表 D.4　元器件系数的取值情况

C	元器件封装类型
1.0	标准 DIP
1.26	DIP(具有侧铜焊引脚线)
1.26	PGA(具有平行双列引线，引自底表面)
1.0	PGA(具有环绕引线，引自底表面)
2.25	LCCC
1.0	有引脚芯片载体，引脚长度与标准 DIP 相等
1.75	BGA
0.75	轴向引脚电阻、电容和细间距半导体

表 D.5　相对位置系数的取值情况

γ	电子组件在 PCB 板上相对位置
1.0	中间位置$\left(\frac{1}{2}X、\frac{1}{2}Y\right)$
0.707	$\left(\frac{1}{2}X、\frac{1}{4}Y\right)$处
0.50	$\left(\frac{1}{4}X、\frac{1}{4}Y\right)$处

需要说明的是以上取值仅针对形状规则简单的 PCB 板，当形状更为复杂时，更为合理的处理方式是采用有限元分析，得到其曲率和位移信息。另外上述模型只适用于平面外的板效应(垂直板面的振动)，并不包括平行板面和板内的效应，在振动和冲击下平面外的板效应是印制电路板互连失效的主要诱因，传统的表贴元件由于比较薄(low profile)受此类效应影响更为明显，而嵌入式和新型表贴技术则更易于发生板内移动。

D. 2. 6　热循环(Thermal Fatigue)

热循环过程中，基板和元器件热膨胀系数失配会引起焊点上应力聚集，进而诱发疲劳失效，美国ANSI/VITA 51.2－2011 采用改进的 Coffin－Manson 模型对其失效进行表征，见式(D.15)。

$$N_f = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta\gamma}{2\varepsilon_f}\right)^{1/C} \cdots\cdots (D.15)$$

式中：

N_f——失效所需热循环次数；

$\Delta\gamma$——拐角焊点周期内剪切应变；

ε_f——疲劳延性系数，对共晶焊料 ε_f ＝0.325；

c——疲劳延性指数。

对共晶焊料疲劳延性指数，见式(D.16)。

$$C = -0.442 - 6\times10^{-4} T_{Sj} + 1.74\times10^{-2}\ln\left(1+\frac{360}{t_D}\right) \cdots\cdots (D.16)$$

式中：

T_{Sj}——循环周期内焊点平均温度$=\frac{1}{4}(T_C + T_S + T_{C,O} + T_{S,O})$；

t_D——最高温度的持续时间(min)；

T_C，T_S——元器件和基板高温阶段的稳态工作温度；

$T_{C,O}$，$T_{S,O}$——元器件和基板低温阶段的稳态工作温度，对非工作态，有 $T_{C,O} = T_{S,O}$。

对于共晶焊料(63/37, 60/40)引脚互连，见式(D.17)。

$$\Delta\gamma = \frac{F}{2(200\text{psi or }1.39\text{MPa})}\frac{K_D}{Ah}(\Delta\alpha L\Delta T_S - \Delta\alpha L\Delta T_C) \cdots\cdots (D.17)$$

而对共晶焊料无引脚互连，见式(D.18)。

$$\Delta\gamma = \frac{F}{2h}(\Delta\alpha L\Delta T_S - \Delta\alpha L\Delta T_C) \cdots\cdots (D.18)$$

式中：

F——经验修正因子；

200—— 63/37 和 60/40SnPb 焊料的剪切强度(psi)；

1.39—— 63/37 和 60/40SnPb 焊料的剪切强度(MPa)；

K_D——基于 Kotlowitz 方程的自由元器件引脚的弯曲刚度；

A——(2/3)×被焊引脚面积；

h——焊点表观高度；

$\Delta\alpha$——元器件与基板热膨胀系数之差；

L——(1/2)×引脚最大间距。

对无铅焊接 SMT 应用，由于其硬度更高，故需对前面公式进行修改，SAC(SnAgCu)无铅焊料承受的应变见式(D.19)。

$$\Delta\gamma = C\frac{L_D}{h_s}\Delta\alpha\Delta T \cdots\cdots (D.19)$$

式中：

C——0.5，经验修正因子；

L_D——1/2 组件长度；

h_s——焊点高度，典型值为 4mils；

$\Delta\alpha\Delta T$——元器件与基板之间热膨胀差。

D.2.7　湿气(Moisture)

湿气入侵会造成粘合剂膨胀，从而在粘合剂和金属界面之间产生张力，有可能造成接触失效。另外，湿气入侵造成的电学短路和金属组件的腐蚀目前已成为主要可靠性问题。湿气对封装的损伤还包括模塑料的老化、界面分层、由材料 CTE 变化引发的热疲劳和制造过程中高的初始应力。考虑以上因素，封装设计特点，比如几何形状、材料和装载等，都会对其失效率产生影响。

美国 ANSI/VITA 51.2－2011 中给出与湿度相关的失效模型为 Hallberg and Peck 模型，由 Arrhenius 模型(温度)和 Peck 模型(湿度)演变而来，见式(D.20)。

$$A_F = [(RH_{test}/RH_{use})^{-3}]\exp[E_a/k(1/T_{use}-1/T_{test})] \cdots\cdots (D.20)$$

式中：

A_F——加速因子；

RH_{test}——测试中相对湿度；

RH_{use}——使用中相对湿度；

E_a——激活能；

k——波尔兹曼常数；

T_{use}——使用温度；

T_{test}——测试温度。

Hallberg and Peck 模型的限制在于当相对湿度大于 85%、接近 100%的时候 AF 会急速增长，此时加速失去合理性。

D.3　失效物理预计一般流程

基于失效物理的可靠性预计方法一般流程如下。

a)　输入产品的数据化样机、寿命周期环境条件、使用条件和设计信息等；

b)　按照产品的任务剖面输入热、电、振动、机械等应力条件，并进行仿真；

c)　应用失效物理模型库和相应的仿真软件工具，进行故障模式及机理分析、累积损伤分析和蒙特卡洛仿真分析，预测产品的平均首次故障时间，找出相应主故障机理；

d)　综合运用故障分布拟合、故障聚类、多分布综合和可靠性综合评估等手段，评估产品的可靠性水平；

e)　输出基于失效物理的可靠性预计结果，主要包括产品的可靠性薄弱环节及建议的改进措施，可靠性综合评估结果等。

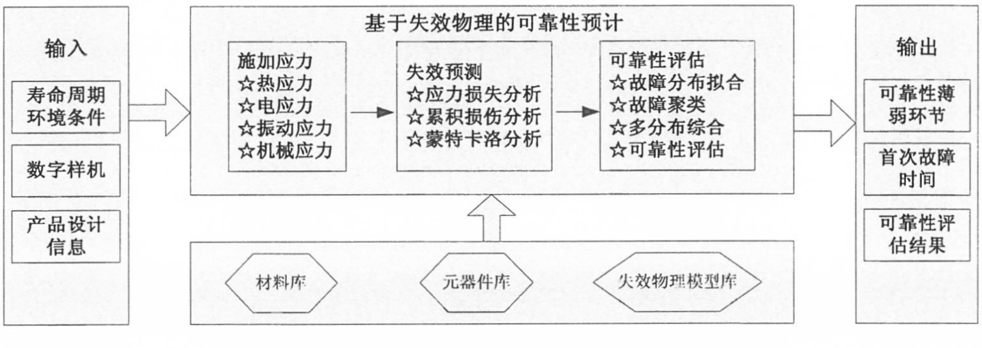

图 D.1　基于失效物理的可靠性预计一般流程

D.4 基于失效物理的可靠性预计方法应用注意事项

基于失效物理的可靠性预计方法十分适用于产品的薄弱环节查找与设计的定向改善，但目前在工程应用推广方面仍面临以下问题：

a) 操作较为复杂、成本高；

b) 无法描述缺陷驱动的产品失效，在产品本身缺陷较多的情况下，其实际故障前时间可能会明显短于采用失效物理预计法得到的时间值；

c) 失效物理模型的有效性有待进一步验证，特别是考虑到国内外甚至不同厂家之间产品的差异性。

鉴于失效物理模型的适用性问题尚未得到有效验证，因此建议在利用失效物理方法对电子元器件/设备尤其是国产元器件/设备进行可靠性预计时，要建立有较可靠的数据基础，以支撑失效物理模型的验证与调整。

附　录　E
（资料性附录）
预计失效率修正方法

本指导性技术文件给出的预计参数及通用失效率水平多基于数理统计获得，反映的是各类别元器件行业的整体失效率水平，因此在对具体元器件进行预计时，预计结果很难与其实际失效率水平完全吻合。当用户已积累有部分经验信息时，如产品的测试数据、现场使用数据等，则建议采用贝叶斯理论对其失效率结果进行修正优化，结合可靠性预计值，采用用户积累的经验信息修正优化，使其预计结果更接近产品的真值，其修正优化见式(E.1)。

$$\lambda_2 = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_{\mathrm{i}}}{\frac{a_0}{\lambda_1} + \sum_{i=1}^{n} b_{\mathrm{i}}} \qquad \text{(E.1)}$$

式中：

λ_2——优化后的预计失效率；

a_0——与初始失效率预计值相对应的有效失效数；

n——测试或现场使用数据的组数；

a_{i}——第 i 组测试或现场使用数据的产品失效数；

λ_1——初始失效率预计值；

b_{i}——第 i 组测试或现场使用数据的累积元器件小时数。

对于测试数据，如果测试是在加速条件下进行，则需通过加速因子将加速条件下的元器件小时数转化为非加速条件下的元器件小时数，见式(E.2)。

$$b = b_{\mathrm{i}} \times AF_{\mathrm{i}} \qquad \text{(E.2)}$$

式中：

b_{i}——加速条件下的累积器件小时数；

AF_{i}——对应的加速因子。

式(E.1)下标 i 表示了可能的不同数据来源，比如不同的装备使用单位、不同的测试机构、不同的测试环境、不同的测试批数等。

a_0/λ_1 表示初始失效率预计值 λ_1 对应的等效元器件小时数。一般情况下，在无法获知与初始失效率预计值相对应的有效失效数时，则 a_0 可取默认值 0.5。

附　录　F
（资料性附录）
电子元器件失效模式及频数比

F.1　概述

本附录提供了部分电子元器件的失效模式及频数比情况，旨在为开展设备可靠性设计和FMECA提供了更多的信息支持。

F.2　失效模式及频数分布

电子元器件失效模式及频数比见表F.1～F.20。

表 F.1　微电路失效模式及其频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
单片双极与MOS模拟集成电路		
线性集成电路	参数超差	77.0%
	无输出	23.0%
开关集成电路	参数超差	73.4%
	短路（漏电）	2.2%
	机械损伤	10.4%
	功能失效（不开关或无输出等）	14.0%
通用放大器	导线故障	4.8%
	短路	23.2%
	参数漂移（增益减小等）	4.0%
	开路	29.6%
	机械损伤	16.8%
	参数超差	21.6%
运算放大器	参数漂移/超差	68.1%
	功能失效	1.5%
	机械损伤	19.2%
	开路	11.2%
电压基准	参数漂移	55.3%
	电压不连续	3.4%
	机械损伤	6.8%
	功能失效	34.5%
电压调整器	开路	14.8%
	参数漂移/超差	76.3%
	机械损伤	4.3%
	短路	4.6%

表 F.1(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
比较器	参数漂移	81.0%
	短路	2.6%
	机械损伤	13.9%
	开路	2.5%
振荡器	起泡/脱皮	8.0%
	引线故障(断裂/短路)	8.0%
	功能失效	16.0%
振荡器	参数漂移	12.0%
	漏电	40.0%
	其他	16.0%
控制器	引线故障(断裂/短路)	3.4%
	功能失效	10.6%
	开路	20.8%
	参数超差	28.4%
	短路	34.9%
	其他	1.9%
接收/发射器	引线故障(断裂/短路)	17.1%
	功能失效	10.0%
	漏电	2.9%
	开路	5.7%
	参数超差	5.7%
	短路	58.6%
接口集成电路		
接口集成电路	输出钳制	58.0%
	开路	42.0%
A/D 转换器	参数漂移	21.6%
	功能失效	24.9%
	漏电	10.3%
	参数超差	29.2%
	其他	14.1%
D/A 转换器	腐蚀	33.1%
	参数漂移	8.7%
	参数超差(输出过低等)	2.9%
	开路	21.8%
	短路	30.0%
	封装失效	3.5%

表 F.1(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
存储器电路		
RAM	数据溢出	12.9%
	参数漂移	35.2%
	功能失效	18.7%
	机械失效	3.7%
	短路	29.5%
ROM	数据丢失	24.4%
	数据溢出	10.5%
	解码失效	18.2%
	漏电	13.4%
	行/列失效	12.0%
ROM	短路	21.5%
单片双极与 MOS 数字电路、PLA、PAL、PLD 和 FPGA 电路		
阵列	引线故障(断裂/短路)	13.6%
	参数漂移	13.1%
	功能失效	14.4%
	机械损伤(裂纹)	10.2%
	开路	12.2%
	短路	36.5%
寄存器	功能失效	40.5%
	参数漂移	35.7%
	漏电	13.1%
	参数超差	9.5%
	其他	1.2%
门电路	参数漂移	24.5%
	漏电	8.4%
	开路	21.8%
	短路	22.7%
	功能失效	22.6%
反相器	参数漂移	24.1%
	功能失效	24.9%
	机械损伤	27.0%
	开路	24.0%
触发器	参数漂移	54.3%
	机械损伤	10.0%
	开路	35.7%

表 F.1(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
解码器	参数漂移	42.3%
	功能失效	9.5%
	机械损伤	26.7%
	开路	4.3%
	高电平不足	11.2%
	其他	6.0%
驱动器	参数漂移	10.4%
	功能失效	5.5%
	低电平输出钳制	1.6%
	短路	15.1%
	其他(定时失效、定时错误等)	67.4%
计数器/分配器	参数漂移	74.2%
	功能失效	16.2%
	开路	5.0%
	高电平不足	2.3%
	低电平不足	2.3%
缓冲器/变送器/驱动器	参数漂移	41.3%
	功能失效	28.0%
	机械损伤	13.1%
	开路	11.9%
	短路	5.7%
计时器	参数漂移	61.6%
	参数超差	16.2%
	功能失效	2.0%
	机械损伤	3.3%
	开路	14.9%
	短路	2.0%
收发器	数据错位	2.4%
	参数漂移	49.0%
	机械损伤	31.6%
	开路	8.3%
	短路	2.9%
	其他	5.8%

表 F.1(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
混合集成电路		
混合集成电路	参数漂移	9.3%
	封装失效	30.8%
	功能失效	14.2%
	开路	13.1%
	短路	9.3%
	其他(输出异常等)	23.3%
微波集成电路		
微波滤波器	参数漂移(中心频率漂移等)	80.0%
	无输出	20.0%
微波放大器(含 GaAs MMIC)	无输出	90.0%
	电压增益被限	10.0%
微波振荡器	功能失效(无输出、频率未能调谐等)	90.0%
	其他	10.0%
检波器	功率损耗	90.0%
	无输出	10.0%
混频器	功率降低	90.0%
	参数漂移(中频损失等)	10.0%
调制器	功率损耗	90.0%
	无输出	10.0%
衰减器	参数超差(衰减增大、非线性、隔离度变小、RF 输出变小等)	41.2%
	参数漂移	50.5%
	输出错误	8.3%
压控振荡器	功能失效(无输出、频率未调谐等)	95.0%
	功率降低	5.0%

表 F.2　声表面波滤波器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
声表面波滤波器	短路	38.1%
	开路	47.2%
	参数漂移	14.5%

表 F.3　半导体分立器件失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
二极管		
普通二极管(综合)	短路	17.0%
	开路	50.0%
	参数漂移	33.0%
整流二极管	短路	51.0%
	开路	29.0%
	参数漂移	20.0%
可控硅整流二极管	短路	98.0%
	开路	2.0%
开关二极管	烧毁	9.1%
开关二极管	工作不连续	22.7%
	参数漂移	4.5%
	开路	9.1%
	短路	41%
	其他	13.6%
电压基准二极管(齐纳)	参数漂移	69.0%
	开路	18.0%
	短路	13.0%
电压调整二极管(齐纳)	开路	45.0%
	参数漂移	35.0%
	短路	20.0%
微波二极管	开路	80.0%
	参数漂移	11.0%
	短路	9.0%
变容、阶跃、隧道、PIN、体效应、雪崩二极管	参数漂移	43.0%
	开路	50.0%
	短路	7.0%
晶体管		
双极型晶体管	短路	36.0%
	开路	44.0%
	性能退化(增益下降等)	20.0%
硅场效应晶体管	短路	35.0%
	参数漂移	25.0%
	开路	40.0%
微波场效应晶体管	短路	61.0%
	开路	26.0%
	参数漂移	13.0%

表 F.3(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
闸流晶体管	不断开	45.0%
	短路	40.0%
	开路	10.0%
	不闭合	5.0%

表 F.4　光电子器件失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
发光二极管	开路	35.0%
	短路	24.0%
	焊接失效	20.0%
发光二极管	壳体脱落	6.0%
	其他(锈蚀等)	15.0%
光电耦合器	引线故障(断路/短路等)	3.9%
	参数漂移(电流传输比下降、隔离电压下降等)	54.8%
	功能失效(不能切换等)	33.4%
	开路	7.9%
光电传感器	短路	50.0%
	开路	50.0%
数码管	开路	15.0%
	短路	9.0%
	亮度不一致、不稳定	42.0%
	断条	34.0%

表 F.5　真空电子器件失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
普通电子管	机械损伤(破裂等)	5.1%
	烧毁	5.1%
	失控	25.6%
	参数超差	12.8%
	性能退化	15.4%
	电源故障	36.0%
微波电子管	阴极发射下降	31.0%
	热丝短路/断路	16.0%
	管内放电打火	11.0%
	材料老化	9.0%
	收集极击穿	7.0%

表 F.5(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
微波电子管	真空度下降	4.0%
	自激振荡	4.0%
	螺旋线电流大	4.0%
	其他(栅极失效、频响差、振动损坏等)	14.0%
行波管	输出功率下降	71.0%
	螺旋线电流大	11.0%
	螺旋线开路	9.0%
	其他	9.0%

表 F.6　电阻器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
金属膜电阻器	开路	76.9%
	短路	15.0%
	参数漂移	8.1%
碳膜电阻器	开路	83.4%
	参数漂移	16.6%
线绕电阻器	开路	65.0%
	短路	9.0%
	参数漂移	26.0%
功率线绕电阻器	开路	97.1%
	参数漂移	2.9%
电阻网络	开路	92.0%
	短路	8.0%

表 F.7　敏感电阻器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
热敏电阻器	短路	31.7%
	开路	31.2%
	参数漂移	14.6%
	其他	22.5%

表 F.8　电位器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
电位器(综合)	开路	53.0%
	输出不稳定	40.0%
	短路	7.0%

表 F.8(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
普通线绕电位器	开路	48.6%
	短路	12.1%
	接触不良	39.3%
精密线绕电位器	开路	48.0%
	输出不稳定	40.0%
	短路	12.0%
非线绕精密电位器	开路	40.0%
	输出不稳定	55.0%
	参数漂移	5.0%
微调线绕电位器	开路	10.0%
	短路	10.0%
	接触不良	80%
有机实芯电位器	开路	60.6%
	短路	5.6%
	接触不良	33.8%
合成碳膜电位器	开路	34.2%
	短路	8.7%
	参数漂移	17.1%
	接触不良	40.0%

表 F.9　电容器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
纸和薄膜电容器	短路	74.0%
	开路	13.0%
	参数漂移	13.0%
云母电容器	短路	83.0%
	参数漂移	7.0%
	开路	10.0%
1 类瓷介电容器	短路	73.0%
	参数漂移	11.0%
	开路	16.0%
2 类瓷介电容器	短路	73.0%
	参数漂移	11.0%
	开路	16.0%

表 F.9(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
固体铝电解电容器	短路	53.0%
	开路	40.0%
	参数漂移	7.0%
非固体铝电解电容器	短路	53.0%
	开路	35.0%
	漏液	10.0%
	参数漂移	2.0%
固体钽电解电容器	短路	57.0%
	开路	32.0%
	参数漂移	11.0%
非固体钽电解电容器	短路	64.0%
	开路	17.0%
	参数漂移	14.0%
	漏液	5.0%
可变电容器	参数漂移	60.0%
	短路	30.0%
	开路	10.0%

表 F.10　感性元件失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
电感器	短路	18.3%
	开路	39.4%
	参数漂移	25.4%
	其他	16.9%
变压器	开路	40.2%
	短路	28.0%
	参数漂移	8.4%
	其他	23.4%

表 F.11　继电器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
机电继电器	接点断开	20.0%
	接点粘结	27.5%
	线圈短路/断路	5.0%
	参数漂移	21.7%
	动作延迟或卡滞	12.5%
	其他	13.3%

表 F.11(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
固体继电器	开路	31.2%
	短路	45.6%
	参数漂移	23.2%

表 F.12　开关失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
普通开关	开路	65.0%
	卡紧	19.0%
	短路	16.0%
旋转开关	位置错位	53.0%
	接触不良	47.0%
按钮开关	开路	60.0%
	卡紧	33.0%
	短路	7.0%
滑动开关	开路	65.0%
	卡紧	19.0%
	短路	16.0%

表 F.13　电连接器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
低频电连接器	开路	25%
	接触不良	23%
	短路	16%
	参数漂移	10%
	绝缘不良	15%
	机械损伤	11%
射频电连接器	参数漂移(插损高)	80.0%
	开路	20.0%
连接器插针	倾斜	5.0%
	污染	15.0%
	不连续	5.0%
	不对准	30.0%
	开路	15.0%
	缺针	30.0%
端接装置	断裂	61.5%
	输出错误	30.8%
	参数漂移	7.7%

表 F. 13(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
接触件	机械失效(引线断裂、插针倾斜)	18.5%
	参数漂移(插损偏高等)	37.1%
	开路	14.8%
	短路	7.4%
	其他	22.2%

表 F. 14　微特电机失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
同步电机	线圈短路/断路	45.0%
	轴承故障	33.0%
	电刷故障(断开、磨损、老化等)	22.0%
感应电机	运行能力退化	2.2%
	功能失效(启动后不运行或不启动)	97.8%
交流电动机	线圈短路/断路	31.0%
	轴承故障	28.0%
	功能失效(启动后不运行或不启动等)	41.0%
发电机	运行能力退化	60.0%
	功能失效(无输出、启动后不运行等)	31.0%
	运行失控	9.0%
时间累加器	指示器失效(无指示或指示错误等)	54.7%
	工作不连续	12.9%
	功能失效(无输出、不工作等)	16.2%
	开路	9.7%
	参数超差	6.5%
电刷	断开	25.0%
	机械损伤(破裂或磨损等)	25.0%
	调不准	16.7%
	参数超差	16.7%
	短路	8.3%
	材料老化	8.3%

表 F. 15　印制板失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
印制板	开路	76.0%
	短路	24.0%

表 F.16　滤波器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
LC 滤波器	上升时间不当	31.7%
	泄露	9.3%
	无电流	11.0%
	开路	15.9%
	短路	17.9%
	开关时间故障	14.2%
石英晶体滤波器	引线故障(断裂或其他)	26.2%
	断开	6.6%
石英晶体滤波器	疲劳	11.5%
	开路	19.7%
	汽孔	26.2%
	其他	9.8%
机械滤波器	泄漏	67.0%
	阻塞	33.0%

表 F.17　电池失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
蓄电池	漏液	47.0%
	失灵	23.0%
	老化	20.0%
	其他	10.0%
锂离子蓄电池	输出能力减退	78.0%
	启动慢	14.0%
	短路	6.0%
	开路	2.0%
铅酸蓄电池	输出能力减退	70.0%
	短路	20.0%
	工作不连续	10.0%
镉镍蓄电池	输出能力减退	72.0%
	无输出	28.0%

表 F.18　灯失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
灯	不亮	67.0%
	亮度不够	33.0%

表 F.19 激光器失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
激光器	镉损耗	34.9%
	冷凝器阻塞 m	42.3%
	机械损伤(裂缝)	9.6%
	氦损耗	3.6%
	功能失效	4.8%
	电子管过压	3.6%
	其他	1.2%

表 F.20 其他电子元器件失效模式及频数比

元器件或部件名称	失效模式	比例
多芯电缆	短路	38.0%
	松动	8.0%
	开路	1.0%
	电磁影响	10.0%
	导体氧化	20.0%
	材料老化或磨损	23.0%
带接头电缆	断开	10.0%
	输出不当	35.0%
	松动/工作不连续	25.0%
	开路	5.0%
	短路	25.0%
柔性电缆	短路	25.0%
	开路	1.0%
	电磁影响	5.0%
	导体氧化	15.0%
	材料老化或磨损	20.0%
柔性电缆	柔性不足	20.0%
	松动	15.0%
射频电缆	机械损伤	5.0%
	插损高	25.0%
	连接器不匹配	20.0%
	松动/不连续	2.0%
	开路	1.0%
	短路	1.0%
	驻波突变	22.0%
	指标不稳定	24.0%

表 F.20(续)

元器件或部件名称	失效模式	比例
导线	卡紧	0.9%
	断开	26.8%
	接头故障	12.1%
	标识有误	20.5%
	短路	36.2%
	材料老化	3.5%
延迟线	整体退化	28.0%
	功能退化	22.8%
	RF 输出偏低	10.5%
	噪声	21.1%
	焊接故障	8.8%
	导线故障	8.8%
保险丝	断不开	49.0%
	断开慢	43.0%
	提前断开	8.0%
天线	无发射信号	54.0%
	虚假发射信号	25.0%
	信号泄露	21.0%
断路器	无激励下开路	51.0%
	断不开	49.0%

附　录　G
（资料性附录）
失效率计算示例

G.1　工作失效率计算示例

已知按 GJB 597B－2012 的筛选要求进行筛选的 B_2 质量等级的 MOS 型 16 位微处理器，含晶体管约 50 万个，有 40 个引出端的陶瓷扁平封装，用于平稳地面移动，是成熟产品。其实际工作电压 V_S＝5V，功耗 P＝1.5W，计算其工作失效率。

第一步　查表 2 查出该类电路的失效率预计模型为：

$$\lambda_P = \pi_Q[C_1\pi_T\pi_V + (C_2 + C_3)\pi_E]\pi_L$$

第二步　查表 3 得：$\pi_Q=0.5$；

第三步　查表 29 得：$\pi_L=1.0$；

第四步　查表 28 得：平稳地面移动 $\pi_E=6.3$；

第五步　查表 24 和表 25，根据式 2：$T_j=T_C+R_{th(j-c)}P$

得 T_j＝93℃，查表 20 得：$\pi_T=5.32$；

第六步　查表 8 得：$C_1=1.116\,8\times10^{-6}$/h，$C_2=0.165\,7\times10^{-6}$/h；

第七步　查表 27 得：$C_3=0.284\,8\times10^{-6}$/h；

第八步　查表 26 得：$\pi_V=0.77$；

第九步　计算工作失效率：

$$\begin{aligned}\lambda_P &= \pi_Q[C_1\pi_T\pi_V + (C_2 + C_3)\pi_E]\pi_L \\ &= 0.5\times[1.116\,8\times5.32\times0.77+(0.165\,7+0.284\,8)\times6.3]\times1.0\times10^{-6}/\text{h} \\ &= 3.706\,5\times10^{-6}/\text{h}\end{aligned}$$

G.2　全寿命状态失效率计算示例

已知一只按照 GB/T 5729 生产的金属膜电阻器，其额定温度为 70℃，额定功率为 0.25W，阻值为 20kΩ，使用在一般固定地面环境，耗散功率为 0.1W，电阻器的全寿命周期任务剖面如表 G.1，求其全寿命状态失效率。

表 G.1　任务剖面

环境类型	工作状态			非工作状态	
	T_{AO} ℃	DC_P	耗散功率 W	T_{AE} ℃	DC_{NP}
一般地面固定（G_{F1}）	50	0.6	0.1	30	0.4

（1）工作状态失效率

第一步　由 5.6.2 可知：$\lambda_P = \lambda_b\pi_E\pi_Q\pi_R$；

第二步　计算应力比：S＝工作功率/额定功率＝0.1/0.25＝0.4；

第三步　T_{AO}＝50℃、S＝0.4 时，由表 125 查得：$\lambda_b=0.001\,64\times10^{-6}$/h；

第四步　当阻值为 20kΩ，由表 129 查得：$\pi_R=1$；

第五步　查表 127 得：$\pi_E=1.8$；

第六步　查表 128 得：$\pi_Q=1$；

第七步　计算工作失效率：

$$\lambda_{P} = \lambda_{b}\pi_{E}\pi_{Q}\pi_{R}$$
$$= 0.001\,64 \times 1.8 \times 1 \times 1 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$$
$$= 0.002\,952 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$$

(2) 非工作状态失效率

第一步　由 B.2.7 可知：$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}$；

第二步　由表 B.39 查得：$\lambda_{Nb} = 0.000\,1 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$；

第三步　查表 B.41 得：$\pi_{NE} = 1.8$；

第四步　查表 B.40 得：$\pi_{NQ} = 1$；

第五步　计算非工作失效率：

$$\lambda_{NP} = \lambda_{Nb}\pi_{NE}\pi_{NQ}$$
$$= 0.000\,1 \times 1.8 \times 1 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$$
$$= 0.000\,18 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$$

(3) 全寿命状态失效率

由式 A.1 得，全寿命状态失效率为：

$$\lambda = \sum_{i=1}^{x} DC_{P}\lambda_{Pi} + \sum_{j=1}^{x} DC_{NPj}\lambda_{NPj}$$
$$= 0.002\,952 \times 0.6 \times 10^{-6}/\mathrm{h} + 0.000\,18 \times 0.4 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$$
$$= 0.001\,843 \times 10^{-6}/\mathrm{h}$$

GJB/Z 299D—2024

中 华 人 民 共 和 国

国家军用标准

电子设备可靠性预计手册

GJB/Z 299D—2024

*

国家军用标准出版发行部出版

（北京东外京顺路 7 号）

国家军用标准出版发行部印刷车间印刷

国家军用标准出版发行部发行

*

开本 880×1230 1/16 印张 24¾ 字数 828 千字

2024 年 9 月第 1 版 2024 年 9 月第 1 次印刷

*

军标出字第 16173 号