

中华人民共和国国家军用标准

FL 6290

GJB 10906-2023

电磁超材料及制品通用要求

General requirements for electromagnetic metamaterials and products

2023-07-17 发布

2023-10-01 实施



中央军委装备发展部 颁布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	2
4 电磁超材料	2
4.1 总则	2
4.2 构成	2
4.2.1 超材料微结构材质	2
4.2.2 超材料基材	3
4.3 分类	4
4.3.1 功能	4
4.3.2 微结构材质	4
4.3.3 空间维度	4
4.3.4 激励源	4
4.4 设计要求	4
4.5 性能	5
4.5.1 总则	5
4.5.2 电性能	5
4.5.3 力学性能	6
4.5.4 外观质量	7
4.5.5 加工质量	7
5 电磁超材料制品	7
5.1 分类	7
5.1.1 功能	7
5.1.2 应用场景	7
5.2 设计要求	7
5.2.1 隐身结构类制品	7
5.2.2 天线罩类制品	7
5.2.3 天线类制品	7
5.3 结构	8
5.3.1 结构设计	8
5.3.2 载荷	8
5.3.3 安全系数	8
5.4 性能	8
5.4.1 总则	8
5.4.2 电性能	8
5.4.3 力学性能	10
5.4.4 保障性	10

5.4.5	可靠性	11
5.4.6	维修性	11
5.4.7	环境适应性	11
5.4.8	运输性	12
5.4.9	电磁兼容性	12
5.4.10	互换性	12
5.4.11	安全性	12
5.4.12	接口	12
5.4.13	抗核加固	13
5.4.14	尺寸	13
5.4.15	重量	13
5.4.16	颜色	13
5.4.17	外观质量	13
5.4.18	加工质量	13



前 言

本标准由空军装备部提出。

本标准起草单位：空军研究院系统工程研究所、深圳光启尖端技术有限责任公司、空军装备部驻深圳地区军事代表室。

本标准主要起草人：杨嘉霖、刘若鹏、王今金、赵治亚、司 维、张美娟、张鲁民、杨俊雅、何 洋、谷颖宏、吴灿伟、代 旻、周 添、扈 杨、杨春辉、付立顺、张青青、汪 洋、李 雪、熊 伟、商院芳、邱红燕、何来发、邢明军、崔 兰。



电磁超材料及制品通用要求

1 范围

本标准规定了电磁超材料及制品的通用技术要求。

本标准适用于电磁超材料及制品的论证、研制、制造与验证。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准，但提倡使用本标准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标准。

- GB/T 1452 夹层结构平拉强度试验方法
- GB/T 1453 夹层结构或芯子平压性能试验方法
- GB/T 1455 夹层结构或芯子剪切性能试验方法
- GB/T 1456 夹层结构弯曲性能试验方法
- GB/T 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法
- GB/T 3355 聚合物基复合材料纵横剪切试验方法
- GB/T 3356 定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法
- GB/T 5258 纤维增强塑料面内压缩性能试验方法
- GB/T 30969 聚合物基复合材料短梁剪切强度试验方法
- GB/T 32005 电磁超材料术语
- GJB 150.2A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第2部分：低气压(高度)试验
- GJB 150.3A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第3部分：高温试验
- GJB 150.4A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第4部分：低温试验
- GJB 150.5A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第5部分：温度冲击试验
- GJB 150.7A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第7部分：太阳辐射试验
- GJB 150.8A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第8部分：淋雨试验
- GJB 150.9A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第9部分：湿热试验
- GJB 150.10A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第10部分：霉菌试验
- GJB 150.11A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第11部分：盐雾试验
- GJB 150.12A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第12部分：砂尘试验
- GJB 150.15A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第15部分：加速度试验
- GJB 150.16A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验
- GJB 150.18A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验
- GJB 150.22A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第22部分：积冰/冻雨试验
- GJB 151 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量
- GJB 368 装备维修性工作通用要求
- GJB 450 装备可靠性工作通用要求
- GJB 900 装备安全性工作通用要求
- GJB 1181 军用装备包装、装卸、贮存和运输通用大纲
- GJB 1874—1994 飞机结构用芳纶纸基蜂窝芯材规范

- GJB 2321—1995 雷达天线罩用蜂窝夹层结构纤维增强塑料通用规范
- GJB 2639 军用飞机雷电防护
- GJB 2730 微晶玻璃导弹天线罩材料规范
- GJB 3567 军用飞机雷电防护鉴定试验方法
- GJB 3872 装备综合保障通用要求
- GJB 8358 导弹用石英陶瓷天线罩罩体通用规范
- GJB 9468—2018 雷达天线罩用纤维增强塑料泡沫夹层结构件规范

3 术语和定义

GB/T 32005 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 超材料 **metamaterials**

一种特种复合材料或结构，通过对材料关键物理尺寸上进行有序结构设计，使其获得常规材料所不具备的超常物理性质。

[GB/T 32005—2015，定义 2.1.1]

3.2 电磁超材料 **electromagnetic metamaterials**

具有超常电磁特性的超材料。

[GB/T 32005—2015，定义 2.1.2]

3.3 超材料微结构 **metamaterial micro-structure**

超材料内部关键物理尺度上的具有特定拓扑形态与几何度量的人工结构。

[GB/T 32005—2015，定义 2.3.2]

3.4 超材料基材 **metamaterial substrates**

除超材料微结构以外组成超材料器件的基础材料，如树脂、纤维、陶瓷、金属及其复合材料等。

[GB/T 32005—2015，定义 2.4.1]

3.5 吸波电磁超材料 **absorption electromagnetic metamaterials**

具有电磁能量吸收特性的电磁超材料。

3.6 超材料电磁调控技术 **metamaterials electromagnetic modulation techniques**

利用电磁超材料的超常电磁特性进行设计，实现电磁波幅度、相位、极化调制的技术。

3.7 电磁超材料制品 **electromagnetic metamaterials products**

使用电磁超材料制造的，具有超常电磁散射特性或电磁辐射特性的制品。

4 电磁超材料

4.1 总则

电磁超材料由超材料微结构与超材料基材组成。通过超材料微结构和超材料基材的选材和详细设计，满足特定的电学、力学性能等需求。

4.2 构成

4.2.1 超材料微结构材质

4.2.1.1 超材料微结构材质分类

超材料微结构材质一般分为：

- a) 金属微结构材质；
- b) 非金属微结构材质。

4.2.1.2 金属微结构材质

金属微结构材质主要有银、铜等高电导率金属及合金。金属超材料微结构不应存在断路、凹陷、缺口、针孔等缺陷。

4.2.1.3 非金属微结构材质

非金属微结构材质主要包括：

- a) 碳基材料；
- b) 半导体材料。

非金属超材料微结构不应存在缺损、溢墨等缺陷。

4.2.2 超材料基材

4.2.2.1 超材料基材分类

超材料基材一般分为：

- a) 聚合物基材；
- b) 陶瓷基材；
- c) 纤维增强复合材料基材；
- d) 芯层基材。

4.2.2.2 聚合物基材

聚合物基材主要包括以下类型：

- a) 环氧树脂；
- b) 氰酸酯树脂；
- c) 双马来酰亚胺树脂；
- d) 聚氨酯树脂；
- e) 酚醛树脂；
- f) 聚酰亚胺树脂；
- g) 不饱和聚酯树脂。

应选取满足产品规范或其他相关技术文件要求的聚合物基材。聚合物基材的各项技术指标应符合 GJB 2321—1995 中 3.2.1 的规定。

4.2.2.3 陶瓷基材

陶瓷基材主要包括以下类型：

- a) 石英陶瓷；
- b) 微晶玻璃；
- c) 氧化铝陶瓷；
- d) 氮化硅陶瓷；
- e) 氮化硼陶瓷。

应选取满足产品规范或其他相关技术文件要求的陶瓷基材。石英陶瓷的各项技术指标应符合 GJB 8358 有关规定，微晶玻璃的各项技术指标应符合 GJB 2730 的有关规定，其他陶瓷基材的技术指标应符合相关详细规范的规定。

4.2.2.4 纤维增强复合材料基材

纤维增强复合材料基材主要包括以下类型：

- a) 碳纤维增强复合材料；
- b) 石英纤维增强复合材料；
- c) 玻璃纤维增强复合材料；
- d) 芳纶纤维增强复合材料。

应选取满足产品规范或其他相关技术文件要求的增强纤维。纤维增强复合材料基材的各项技术指标应符合 GJB 2321—1995 中 3.2.2 的规定。

4.2.2.5 芯层基材

芯层基材主要包括以下类型：

- a) 蜂窝。应选取满足产品规范或其他相关技术文件要求的蜂窝。蜂窝的各项技术指标应符合 GJB 1874—1994 中 3.1~3.12 的规定。
- b) 泡沫。应选取满足产品规范或其他相关技术文件要求的泡沫。泡沫的各项技术指标应符合 GJB 9468—2018 中 3.1.4 的规定。

4.3 分类

4.3.1 功能

按照电磁调制功能特性的不同，电磁超材料主要包括但不限于以下材料：

- a) 频率选择电磁超材料。一种针对指定频段，具有满足设计需求响应特性(透射/吸收/反射)的电磁超材料。
- b) 角域选择电磁超材料。一种针对指定入射角域，具有满足设计需求响应特性(透射/吸收/反射)的电磁超材料。
- c) 行波抑制电磁超材料。一种具有行波电磁能量损耗特性的电磁超材料。
- d) 极化转换电磁超材料。一种具有改变电磁波极化特性的电磁超材料。
- e) 波束偏折电磁超材料。一种具有改变电磁波反射路径特性的电磁超材料。

4.3.2 微结构材质

按照电磁超材料微结构层的基础物理材料不同，电磁超材料主要包括但不限于以下种类：

- a) 金属电磁超材料；
- b) 非金属电磁超材料。

4.3.3 空间维度

按照电磁超材料实体占据的空间维度，电磁超材料主要包括但不限于以下种类：

- a) 二维电磁超材料；
- b) 三维电磁超材料。

4.3.4 激励源

按照电磁超材料的工作状态是否需要外加激励源，电磁超材料主要包括但不限于以下种类：

- a) 无源电磁超材料。
- b) 有源电磁超材料。在外部调制信号的作用下，电磁性能可发生变化的电磁超材料。按照外部调制方式的不同，可分为：
 - 1) 电控电磁超材料；
 - 2) 热控电磁超材料；
 - 3) 光控电磁超材料；
 - 4) 机械控制电磁超材料等。

4.4 设计要求

电磁超材料设计宜考虑以下因素：

- a) 超材料微结构与基材的选材：
 - 1) 电磁超材料微结构材质包括金属和非金属，应符合 4.2.1 的规定；
 - 2) 电磁超材料微结构需加载超材料基材以实现完整的功能，主要设计参数宜包括结构形式、材质及厚度等。
- b) 物理模型。建立材料级的物理模型对电磁超材料的电磁响应特性进行表征，如有效电磁参数模型、等效电路模型、等效阻抗模型等。
- c) 超材料微结构设计：
 - 1) 在工作频段内，电磁超材料的微结构单元尺寸应小于半波长，一般在 $1/50$ 波长到 $1/5$ 波长之间；
 - 2) 电磁超材料微结构单元应在二维或三维空间内进行有序排列，设计中应提供以参数化或

数模形式描述的排列规律；

- 3) 电磁超材料微结构分为二维结构(如孔隙型、贴片型结构)与三维结构(如 E 型结构)等,其拓扑构型主要包括但不局限于正多边形、圆形、线形及其组合或衍生构型;
 - 4) 电磁超材料微结构设计应输出具体结构参数或数模,参数主要包括:微结构单元尺寸、几何图形参数、线宽线距等,且应规定上述参数的容差范围。
- d) 阻抗匹配设计:
- 1) 超材料微结构与基材相互间的阻抗匹配关系;
 - 2) 多层超材料微结构之间,相对空间位置关系及阻抗匹配关系;
 - 3) 多种基材叠层间的阻抗匹配关系。
- e) 超材料的激励源加载方式设计(适用时)。
- f) 幅相调控设计(适用时)。

单层超材料微结构内,平面/曲面内的幅度、相位调制梯度变化关系。

示例:某相位调控超材料通过微结构在平面内的排列改变其反射相位分布,如图 1 所示。

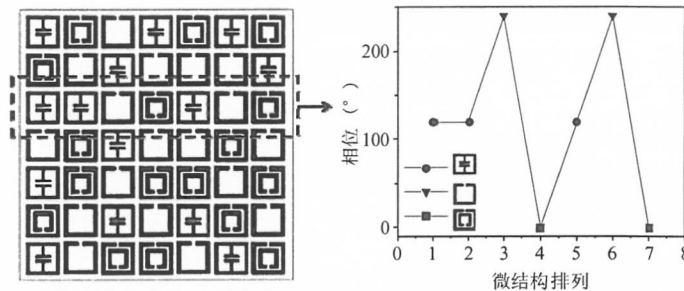


图 1 相位调制超材料微结构的排列与其对应的相位分布示意图

4.5 性能

4.5.1 总则

电磁超材料应符合本标准和相关详细规范的规定。本标准规定了电磁超材料的通用性能要求,具体性能要求由相关详细规范规定。

4.5.2 电性能

4.5.2.1 通则

电磁超材料的电性能技术参数宜从下列项目中选择。

4.5.2.2 工作频段

电磁超材料的工作频段主要包括微波、毫米波等,其中常用频段包括 VHF、UHF、L、S、C、X、Ku、K、Ka 等。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.3 工作角域

电磁超材料的工作角域主要包括正入射(电磁波入射方向与电磁超材料界面法向一致),斜入射(电磁波入射方向与电磁超材料界面法向不一致)。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.4 工作极化

电磁超材料的工作极化主要包括线极化(垂直极化与水平极化)、圆极化等。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.5 反射特性

电磁超材料的反射特性主要包括工作角域内的反射系数和反射相位,应在指定频段和极化内满足反射特性要求。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.6 传输特性

电磁超材料的传输特性主要包括工作角域内的传输系数和传输相位,应在指定频段和极化内满足传输特性的要求。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.7 行波抑制特性

电磁超材料的行波抑制特性指在指定频段和极化内对激励的表面行波抑制的特性。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.8 波束偏折角

电磁超材料的波束偏折角指在相同入射角情况下,电磁波在金属面上的反射角与在波束偏折超材料面上的反射角的差值。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.9 电性能参数变化范围

电磁超材料的电性能参数变化范围指有源电磁超材料在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数(主要包括工作频段、工作角域、工作极化、反射特性、传输特性、行波抑制特性和波束偏折角)可实现的变化范围。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.2.10 电性能参数变换响应时间

电磁超材料的电性能参数变换响应时间指有源电磁超材料在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数产生变换的响应时间。具体要求由相关详细规范规定。

4.5.3 力学性能

4.5.3.1 拉伸性能

聚合物基及陶瓷基电磁超材料拉伸性能指标应符合相关详细规范的规定,拉伸性能宜采用GB/T 3354方法测定。

4.5.3.2 压缩性能

聚合物基及陶瓷基电磁超材料压缩性能指标应符合相关详细规范的规定,压缩性能可采用GB/T 5258方法测定。

4.5.3.3 层间剪切性能

聚合物基及陶瓷基电磁超材料层间剪切性能指标应符合相关详细规范的规定,层间剪切性能可采用GB/T 30969方法测定。

4.5.3.4 面内剪切性能

聚合物基及陶瓷基电磁超材料面内剪切性能指标应符合相关详细规范的规定,面内剪切性能可采用GB/T 3355方法测定。

4.5.3.5 弯曲性能

聚合物基及陶瓷基电磁超材料弯曲性能指标应符合相关详细规范的规定,弯曲性能可采用GB/T 3356方法测定。

4.5.3.6 平面拉伸性能

芯层基材电磁超材料平面拉伸性能指标应符合相关详细规范的规定,平面拉伸性能可采用GB/T 1452方法测定。

4.5.3.7 平面压缩性能

芯层基材电磁超材料平面压缩性能指标应符合相关详细规范的规定,平面压缩性能可采用GB/T 1453方法测定。

4.5.3.8 平面剪切性能

芯层基材电磁超材料平面剪切性能指标应符合相关详细规范的规定,平面剪切性能可采用GB/T 1455方法测定。

4.5.3.9 夹层弯曲性能

芯层基材电磁超材料夹层弯曲性能指标应符合相关详细规范的规定,夹层弯曲性能可采用

GB/T 1456 方法测定。

4.5.4 外观质量

电磁超材料外观质量应符合相关详细规范的规定，表面应平整、均匀、完好，无污渍、异物。

4.5.5 加工质量

电磁超材料加工质量应符合相关详细规范的规定，微结构线宽、线距与设计要求的偏差应不超过设计容差范围。

5 电磁超材料制品

5.1 分类

5.1.1 功能

根据制品功能的不同，电磁超材料制品主要包括但不限于以下功能：

- a) 隐身结构件类制品。利用超材料电磁调控技术实现低散射/结构一体化功能。
- b) 天线罩类制品。利用超材料电磁调控技术实现带内高透波/带外截止/幅相一致性等功能。
- c) 天线类制品。利用超材料电磁调控技术实现低散射/辐射一体化功能。

5.1.2 应用场景

根据应用场景的不同，电磁超材料制品可分为：

- a) 机载电磁超材料制品；
- b) 弹载电磁超材料制品；
- c) 舰载(水面/水下)电磁超材料制品；
- d) 车载电磁超材料制品；
- e) 单兵电磁超材料制品等。

5.2 设计要求

5.2.1 隐身结构类制品

电磁超材料隐身结构类制品应满足产品规范的具体要求。为实现宽频高隐身等功能，设计宜考虑以下因素：

- a) 内部物理赋形设计。在不改变外形的情况下，应通过在指定设计空间内部进行低散射物理赋形的优化设计，将入射电磁波反射至非威胁角域，实现低散射特性。
- b) 材料设计。针对应用部位以及散射机理，应采用吸波电磁超材料、吸波透波一体化超材料、行波抑制电磁超材料、波束偏折电磁超材料以及极化转换电磁超材料等技术手段进行隐身设计，设计过程中可采用传统吸波材料进行辅助设计。
- c) 表面设计。针对台阶、缝隙等表面不连续部位和介质不连续部位进行电磁连续设计，应确保在要求的限度内减少或抑制散射。

5.2.2 天线罩类制品

电磁超材料天线罩类制品应满足相关产品规范的具体要求。为实现电性能及隐身功能，设计宜考虑以下因素：

- a) 色散特性设计。应通过超材料微结构与基材的叠加，设计超材料色散特性，实现满足具体项目要求的高透波、幅相一致性等功能。
- b) 频段截止设计。应通过多层级联或单层超材料微结构优化设计，实现在规定频段内有效截止特性。
- c) 低散射设计。应通过超材料微结构设计、基材选择、成型工艺设计、天线罩附件设计等手段实现低散射特性。

5.2.3 天线类制品

电磁超材料天线类制品应满足相关产品规范的具体要求。为实现宽频/多频化、小型化、隐身化、

高增益、低剖面、低雷达散射截面等特性，设计宜考虑以下因素：

- a) 辐射结构设计。应将电磁超材料单元按一定规律排列构成天线辐射结构，实现宽频/多频化、小型化、隐身化、高增益、低剖面等特性要求。
- b) 基板结构设计。应在基板结构(如反射面地板结构)中全部或部分加载电磁超材料，实现天线小型化、提高前向增益、降低天线单元间的互耦、消除扫描盲区、缩减天线雷达散射截面等特性要求。
- c) 覆层结构设计。应将电磁超材料放置于天线口径上方、前方或周围组成天线的覆层结构，实现宽频/多频化、小型化、低剖面、最大功率传输和最优匹配、低副瓣电平、高增益、窄波束、缩减雷达散射截面等特性要求。
- d) 馈电结构设计。应在馈电结构中全部或部分加载电磁超材料，实现小型化、高增益、高指向性等特性要求。

5.3 结构

5.3.1 结构设计

电磁超材料制品的结构设计应遵循以下原则：

- a) 设计应简单，并能满足强度刚度要求；
- b) 规定结构装配基准，满足装配精度要求；
- c) 结构在工作状态下，不与其他器件或设备发生干涉；
- d) 检测、使用、维护方便；
- e) 满足环境适应性要求；
- f) 实现承载功能一体化；
- g) 应充分考虑可制造性。

5.3.2 载荷

电磁超材料制品的载荷状态应由产品规范确定，为确保结构强度能按照最大受力情况进行设计，主要考虑的载荷类型包括但不限于以下要求：

- a) 结构在加减速、转向、俯仰等变加速运动下产生的惯性载荷；
- b) 自重，其他附件、附着物的质量力；
- c) 振动载荷；
- d) 冲击载荷；
- e) 在规定风速条件下的风压载荷(适用时)；
- f) 结构在飞行状态下的气动载荷(适用时)。

5.3.3 安全系数

除另有规定外，机载电磁超材料制品的安全系数应不低于以下要求：

- a) 在 1.5 倍载荷系数下，安全裕度应大于 0；
- b) 在 1.15 倍载荷系数下，最大变形位移应符合相关详细规范的规定。

其他类型电磁超材料制品的安全系数应符合相关详细规范的规定。

5.4 性能

5.4.1 总则

电磁超材料制品应符合本标准和相关详细规范的规定。本标准的规定与相关详细规范不一致时，应按相关详细规范的规定执行。

5.4.2 电性能

5.4.2.1 隐身结构件类制品

电磁超材料隐身结构件类制品的隐身性能技术参数宜从以下选择：

- a) 工作频段。高频工作频段主要包括 C、X、Ku、K、Ka，低频工作频段主要包括 VHF、UHF、

- L、S。具体要求由相关详细规范规定。
- b) 工作角域。工作角域主要包括方位角范围、俯仰角范围、横滚角范围等。具体要求由相关详细规范规定。
 - c) 工作极化。工作极化主要包括线极化(垂直极化与水平极化)、圆极化等。具体要求由相关详细规范规定。
 - d) 反射率。反射率主要包括正入射和斜入射时的反射率特性,应在指定频段和极化内满足反射率性能。具体要求由相关详细规范规定。
 - e) 雷达散射截面(RCS)。雷达散射截面主要包括制品装载在低散射载体上的 RCS 特性,应在指定频段、角域和极化内满足隐身性能。具体要求由相关详细规范规定。
 - f) 电性能参数变化范围。电性能参数变化范围指有源电磁超材料隐身结构件类制品在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数(主要包括工作频段、工作角域、工作极化、雷达散射截面等)可实现的变化范围。具体要求由相关详细规范规定。
 - g) 电性能参数变换响应时间。电性能参数变换响应时间指有源电磁超材料隐身结构件类制品在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数产生变换的响应时间。具体要求由相关详细规范规定。

5.4.2.2 天线罩类制品

电磁超材料天线罩类制品应满足所配套天线的电性能工作需求,其电性能的技术参数宜从以下选择:

- a) 截止频段。对于有频率选择功能需求的电磁超材料天线罩类制品,应在指定频段内具备对外来电磁波的截止功能。具体要求由相关详细规范规定。
- b) 截止性能。在指定的截止频带内,对外来电磁波的截止性能应符合相关详细规范的规定。
- c) 功率传输效率。在指定工作频段内,功率传输效率的要求应符合相关详细规范的规定。
- d) 波束偏转。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的波束偏转应符合相关详细规范的规定。
- e) 波束偏转变化率。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的波束偏转变化率应符合相关详细规范的规定。
- f) 主瓣波束宽度变化。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的主瓣波束宽度变化应满足相关详细规范的规定。
- g) 近区副瓣电平抬高。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的天线近区副瓣电平抬高应符合相关详细规范的规定。
- h) 镜像波瓣电平。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的镜像波瓣电平应符合相关详细规范的规定。
- i) 远区 RMS 副瓣电平抬高。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的远区 RMS 副瓣电平抬高应满足相关详细规范的规定。
- j) 差波束零深电平抬高。在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的天线差波束零深电平抬高应满足相关详细规范的规定。
- k) 交叉极化电平。对于线极化天线,在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的交叉极化应符合相关详细规范的规定。
- l) 轴比变化。对于圆极化天线,在指定工作频段内,由电磁超材料天线罩类制品引起的轴比变化应符合相关详细规范的规定。
- m) 幅相一致性。在指定工作频段、角域范围内,由电磁超材料天线罩类制品引起的天线阵列单元的幅度差和相位差应符合相关详细规范的规定。
- n) 宽波束方向图起伏。在指定工作频段、角域范围内,由电磁超材料天线罩类制品引起的天线宽波束方向图起伏应满足相关详细规范的规定。

- o) 功率容量。功率容量具体要求应由相关详细规范规定。
- p) 雷达散射截面(RCS)。对于有雷达隐身需求的电磁超材料天线罩类制品,应在指定频段、角域和极化内满足隐身性能,具体要求应由相关详细规范的规定。
- q) 电性能参数变化范围。电性能参数变化范围指有源电磁超材料天线罩类制品在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数(主要包括工作频段、功率传输效率、截止频段、截止性能、幅相一致性等)可实现的变化范围。具体要求应由相关详细规范规定。
- r) 电性能参数变换响应时间。电性能参数变换响应时间指有源电磁超材料天线罩类制品在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数产生变换的响应时间。具体要求应由相关详细规范规定。

5.4.2.3 天线类制品

电磁超材料天线类制品电性能的技术参数宜从以下选择:

- a) 工作频段。工作频段具体要求应由相关详细规范规定。
- b) 方向图覆盖范围。方向图覆盖范围主要指电磁超材料天线类制品工作时电磁波束作用区域,一般分为空域内方位面和俯仰面覆盖。具体要求应由相关详细规范规定。
- c) 极化。极化方式包括线极化(垂直极化、水平极化、斜极化)和圆极化(左旋圆极化、右旋圆极化)。具体要求应由相关详细规范规定。
- d) 电压驻波比。电压驻波比具体要求应由相关详细规范规定。
- e) 增益。增益宜包括最大增益、最小增益、平均增益等。具体要求应由相关详细规范规定。
- f) 波束宽度。波束宽度具体要求应由相关详细规范规定。
- g) 副瓣电平。副瓣电平具体要求应由相关详细规范规定。
- h) 前后比。前后比具体要求应由相关详细规范规定。
- i) 交叉极化。交叉极化具体要求应由相关详细规范规定。
- j) 幅度一致性。电磁超材料天线阵列内不同位置天线单元在指定工作频段、角域范围内的幅度差,通常用RMS值规定。具体要求应由相关详细规范规定。
- k) 相位一致性。电磁超材料天线阵列内不同位置天线单元在指定工作频段、角域范围内的相位差,通常用RMS值规定。具体要求应由相关详细规范规定。
- l) 和差波束。单脉冲体制电磁超材料天线阵列和差波束方向图具体要求应由相关详细规范规定。
- m) 功率容量。功率容量具体要求由相关详细规范规定。
- n) 雷达散射截面(RCS)。对于有雷达隐身需求的电磁超材料天线类制品,应在指定频段、角域和极化内满足隐身性能,具体要求应由相关详细规范规定。
- o) 电性能参数变化范围。电性能参数变化范围指有源电磁超材料天线类制品在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数(主要包括工作频段、方向图覆盖范围、极化、电压驻波比、增益、雷达散射截面等)可实现的变化范围。具体要求应由相关详细规范规定。
- p) 电性能参数变换响应时间。电性能参数变换响应时间指有源电磁超材料天线类制品在外部调制信号的作用下,指定的电性能参数产生变换的响应时间。具体要求应由相关详细规范规定。

5.4.3 力学性能

除另有规定外,电磁超材料制品力学性能可以通过典型元件级试验进行测试。若产品规范有规定时,制品力学性能可以通过静力试验、疲劳试验等全尺寸件试验进行测试。

电磁超材料制品力学性能应满足相关详细规范或产品规范,并根据相关详细规范或产品规范进行测试。

5.4.4 保障性

电磁超材料制品的保障性应符合GJB 3872及相关标准和产品规范的要求。保障性要求宜包含以下指标项目,具体指标应在产品规范中规定:

- a) 备件保障概率;

- b) 故障修复比;
- c) 年均维修保障费用。

5.4.5 可靠性

电磁超材料制品的可靠性应符合 GJB 450 及相关标准和产品规范的要求。可靠性要求宜包含以下指标项目,具体指标应在产品规范中规定:

- a) 致命故障间隔的任务时间(MTBCF);
- b) 平均故障间隔时间(MTBF);
- c) 平均更换间隔时间(MTBR)。

5.4.6 维修性

电磁超材料制品的维修性应符合 GJB 368 及相关标准和产品规范的要求。维修性要求宜包含以下指标项目,具体指标应在产品规范中规定:

- a) 平均修复时间(MTTR);
- b) 单位工作时间所需平均修复时间(MTUT);
- c) 平均预防性维修间隔时间(MTBPM);
- d) 平均预防性维修时间(MPMT)。

5.4.7 环境适应性

5.4.7.1 通则

环境适应性的项目应由相关详细规范规定。根据电磁超材料制品在实际使用中所遇到的环境试验条件,详细规范所规定的项目可在此标准的基础上进行增减。

环境适应性试验前后,电磁超材料制品外观质量应符合 5.4.17 的规定,同时电磁超材料制品的功能性能应满足相关详细规范的要求。

5.4.7.2 低气压(高度)

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.2A—2009 中程序 I、程序 II 规定的低气压条件下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.3 高温试验

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.3A—2009 中程序 I、程序 II 规定的高温条件下的贮存要求和工作要求进行试验。

5.4.7.4 低温试验

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.4A—2009 中程序 I、程序 II 规定的低温条件下的贮存要求和工作要求进行试验。

5.4.7.5 温度冲击

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.5A—2009 中程序 I 规定的周围大气急剧变化的温度冲击下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.6 太阳辐射

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.7A—2009 中程序 II 规定的太阳辐射条件下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.7 淋雨

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.8A—2009 规定的淋雨条件下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.8 湿热

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.9A—2009 规定的高温高湿环境条件下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.9 霉菌

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.10A—2009 规定的霉菌试验条件下的工作适应性要求进行试验，菌种可在 GJB 150.10A—2009 中 4.3.2 的表 1 中选择。

5.4.7.10 盐雾

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.11A—2009 规定的抗盐雾大气条件下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.11 砂尘

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.12A—2009 中程序 I、程序 II 规定的砂尘条件下的工作适应性要求进行试验。

5.4.7.12 加速度

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.15A—2009 中程序 I、程序 II 规定的抗加速度要求进行试验。

5.4.7.13 振动

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.16A—2009 规定的运输、使用环境中的抗振性要求进行试验。

5.4.7.14 冲击

应符合相关详细规范的规定。可按照 GJB 150.18A—2009 中程序 I、程序 IV 规定的抗跌落和使用条件下的抗冲击要求进行试验。

5.4.7.15 防雷击

电磁超材料制品应符合相关国军标和详细规范所规定的防雷击要求，如机载超材料制品应按照 GJB 2639 的要求进行设计，按照 GJB 3567 的要求进行雷电防护鉴定测试。

5.4.7.16 防结冰

电磁超材料制品应符合相关国军标和详细规范所规定的防结冰要求，如无具体要求，可按照 GJB 150.22A—2009 的要求进行积冰/冻雨试验。

5.4.8 运输性

电磁超材料制品的运输性应符合 GJB 1181 及相关标准和产品规范的要求。

5.4.9 电磁兼容性

电磁超材料制品的电磁兼容性应符合 GJB 151 的规定，并满足产品规范具体要求。

5.4.10 互换性

同一型号的电磁超材料制品应具有互换性。替换的电磁超材料制品性能指标、接口条件、机械条件等应与原制品一致。电磁超材料制品互换后，可进行必要的技术状态调整、测试，产品性能应能满足实际使用要求。必要时，可补充完成数据装订等工作。

电磁超材料制品互换与替换检查工作应包含以下内容：

- a) 连接交点的配合情况及同轴度；
- b) 部件(或组件)的各种配合，如：结构间隙、安装尺寸、角度及公差等；
- c) 活动件的运动灵活性和操纵灵活性；
- d) 封严件的密封性；
- e) 部件(或组件)互换检查前的称重。

5.4.11 安全性

电磁超材料制品的安全性应符合 GJB 900 及相关详细规范的规定。产品应有足够的机械强度与刚度，使其能在规定的环境中正常使用；应满足安装载体(飞机、舰船、火箭、车辆等)的安全要求。

5.4.12 接口

电磁超材料制品的接口由相关详细规范确定，接口要求包括但不限于：

- a) 接口类型：主要为机械接口与电气接口；
- b) 接口连接方式：主要为螺栓连接、胶接、焊接等；
- c) 接口尺寸。

5.4.13 抗核加固

必要时，电磁超材料制品应进行抗核加固，相关性能应满足相关详细规范的具体要求。

5.4.14 尺寸

电磁超材料制品的尺寸应满足使用限制，通常由相关详细规范具体规定。

5.4.15 重量

电磁超材料制品的重量应满足使用限制，通常由相关详细规范具体规定。

5.4.16 颜色

电磁超材料制品的颜色应满足使用要求，通常由相关详细规范具体规定。

5.4.17 外观质量

电磁超材料制品的外观质量应符合相关详细规范的规定。通常应满足下列要求：

- a) 外表面应平整、光滑、均匀、完好，不允许有裂纹、破损、涂镀层脱落、划痕等明显缺陷；
- b) 连接件、紧固件无锈蚀、损伤、松动、永久变形等异常，其中铆钉、螺栓的排布应整齐合理且无歪斜。

5.4.18 加工质量

电磁超材料制品的内部缺陷如分层、脱粘、弥散性缺陷、夹杂、架桥等应符合相关详细规范的规定。

中华人民共和国
国家军用标准
电磁超材料及制品通用要求
GJB 10906—2023

*

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
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1½ 字数 38 千字
2023年9月第1版 2023年9月第1次印刷

*

军标出字第 15351 号



中华人民共和国国家军用标准

FL 0112

GJB 10918-2023

底板数据总线测试要求

The requirement of test for backplane data bus

2023-07-17 发布

2023-10-01 实施

中央军委装备发展部 颁布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	1
4 一般要求	1
4.1 测试内容	1
4.2 测试设备	1
5 电气特性	2
5.1 测试拓扑	2
5.2 测试项目	3
6 数据链路层	10
6.1 测试拓扑	10
6.2 测试项目	10

前 言

本标准由中国人民解放军空军装备部提出。

本标准起草单位：空军研究院系统工程所、中国航空综合技术研究所、西安航空计算技术研究所。

本标准主要起草人：冯彦辉、田 泽、曹鑫巍、绍 刚、王炜信、邓 轲、郭 威、邓 瑛、纪大壮。

底板数据总线测试要求

1 范围

本标准规定了底板数据总线电气特性和数据链路层的测试要求。

本标准适用于底板数据总线(以下简称底板总线)及其相关设备的研制和试验。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准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标准。

GJB 10919—2023 底板数据总线通用要求

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GJB 10919—2023 确立的术语和定义适用于本标准。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

BIU——bus interface unit, 总线接口单元;

BTL——backplane transceiver logic, 底板收发器逻辑;

DUT——device under test, 被测设备;

GTLTP——gunning transceiver logic plus, 射电收发逻辑;

LRM——line replaceable module, 现场可更换模块;

LVTTL——low voltage transistor-transistor logic, 低压晶体管-晶体管逻辑电平;

TDR——time domain reflector, 时域反射计。

4 一般要求

4.1 测试内容

底板总线测试应包含电气特性测试和数据链路层测试。

4.2 测试设备

底板总线测试时使用的仪器参数应满足:

- a) 数字万用表: 具备电阻测试功能, 量程不小于 $1\text{k}\Omega$, 测量精度小于 0.1% ;
- b) 多通道实时示波器: 实时示波器带宽不小于 500MHz , 采样率不小于 4GSa/s , 包含抖动分析软件;
- c) 网络分析仪: 测试频率不小于 500MHz , 频率稳定度小于 20ppm , 带有 TDR 选件, 测试端口数不小于 4 个;
- d) TDR 测试仪: 采样速率不小于 12.5GSa/s , TDR 带宽不小于 20GHz , 反射上升、下降时间不大于 20ps ;
- e) 信号发生器: 数据速率不小于 100Mb/s , 路径延迟分辨率不大于 10ps , 输出幅度不小于 2.5Vpp ;
- f) 温箱: 温度范围应涵盖型号专用规范规定的温度范围。

5 电气特性

5.1 测试拓扑

底板总线测试使用的 LRM 包含 1 个总线节点，以实现宿主机与总线的交互。在设计中应预留测试点，以开展信号完整性测试。

底板总线系统和底板/LRM 示意图如图 1 所示。测试点 A 位于 LRM 上的总线收发器处，包括收发器芯片的接收引脚和发送引脚。测试点 B 位于远端 LRM 和底板的连接器引脚上。测试点 A 和测试点 B 间距离不应超过 25mm。测试应在底板总线系统 LRM 满载的条件下进行，若 LRM 间距过小导致仪器探头无法探测到测试点时，非测试 LRM 宜使用只包含收发器的负载 LRM。

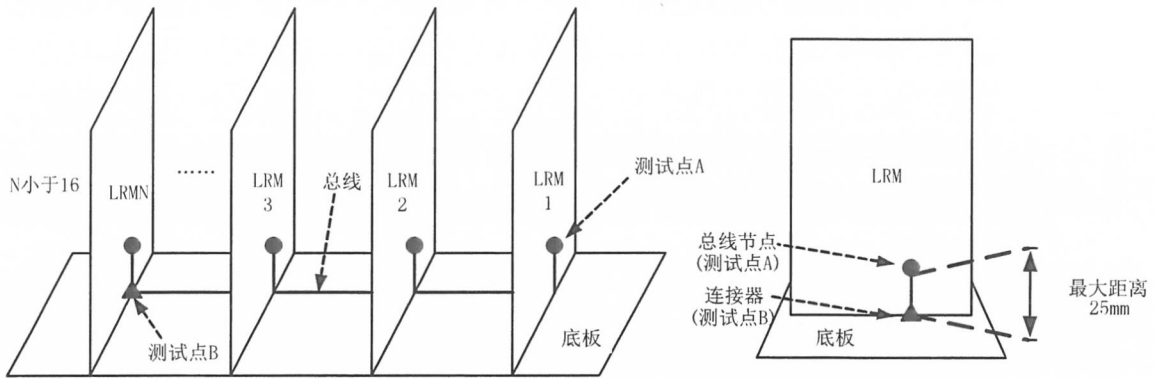
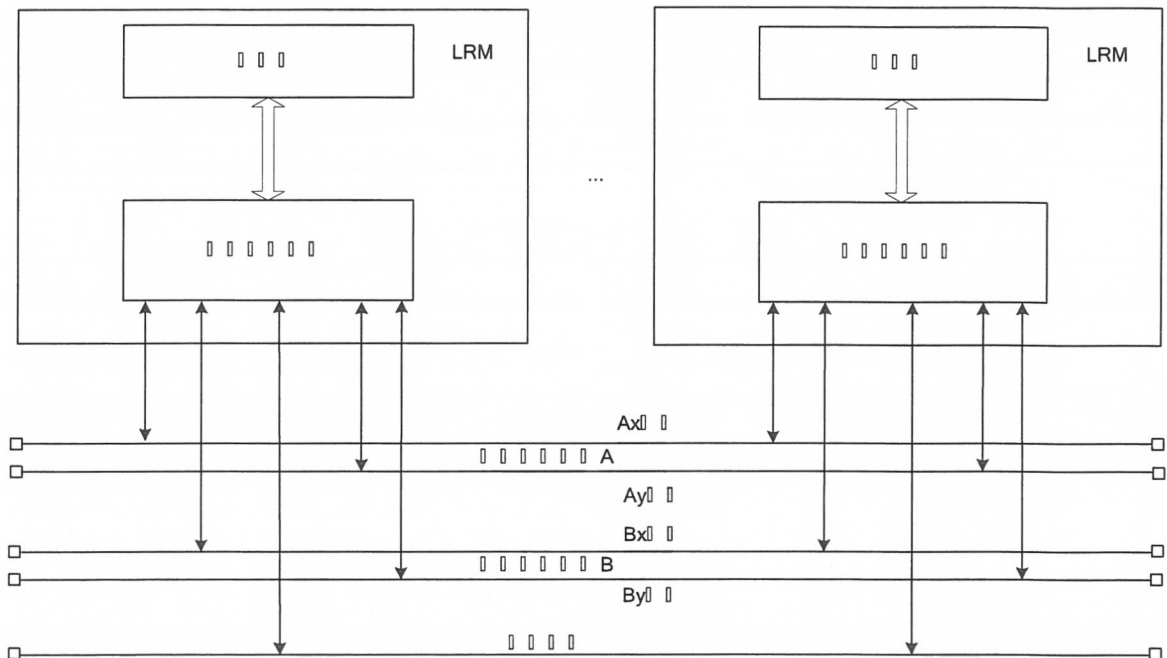


图 1 底板总线系统和底板/LRM 示意图

底板总线系统架构如图 2 所示，为两个 LRM 单元与底板数据总线的连接关系。一个 LRM 引出的总线应包含自检测总线对 A、自检测总线对 B，可包含维护总线。



注：□ BTL 接 2.1V 的端接上拉电阻；GTL接 1.5V 的端接上拉电阻。

图 2 底板总线系统架构图

LRM 到底板总线的示意图如图 3 所示。测试点 A 为节点收发器的 BTL/GTLP 输出端，测试点 B 为底板母板上两个连接器中点，测试点位置如图 3 所示。

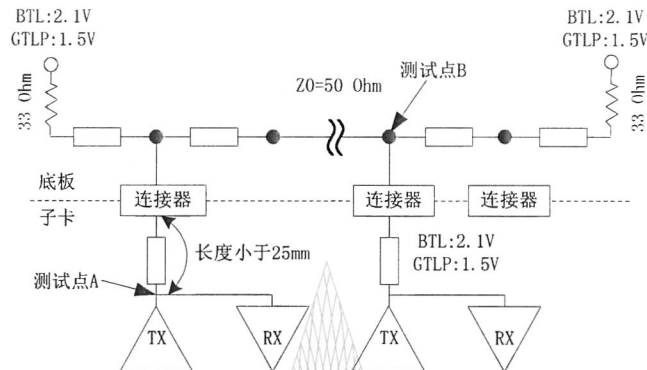


图 3 LRM 到底板总线示意图

5.2 测试项目

5.2.1 通则

底板总线电气特性的测试项目包括总线节点电气特性和总线底板电气特性两部分，总线节点的电气特性测试的内容包括直流特性和时钟稳定性；总线底板电气特性验证的内容包括阻抗特性和交流特性。电气特性测试应完成表 1、表 2 列出的所有项目。

表 1 总线节点电气特性测试项目表

编号	项目名称	对应条款
1	寄生参数	5.2.2
2	BTL 输出电压	5.2.3
3	GTLP 输出电压	5.2.4
4	时钟稳定性	5.2.5
5	模块时钟漂移量	5.2.6

表 2 总线底板电气特性测试项目表

编号	项目名称	对应条款
1	特征阻抗	5.2.7
2	直流阻抗	5.2.8
3	建立保持时间	5.2.9
4	传输延迟	5.2.10
5	通道间延迟	5.2.11
6	信号过冲及振铃	5.2.12

5.2.2 寄生参数

5.2.2.1 测试目的

测试各节点寄生的电容值、电感值。

5.2.2.2 测试方法

输入电容测试连接图如图 4 所示，测试方法如下：

- a) 将网络分析仪的扫描范围设置为 10MHz~1.2GHz，并使用校准探头对网络分析仪进行仪器误差校准；
- b) 将 LRM 测试点 A 和底板测试点 B 接入网络分析仪测试接口，记录网络分析仪显示数值，换算为电感 L、电容 C。

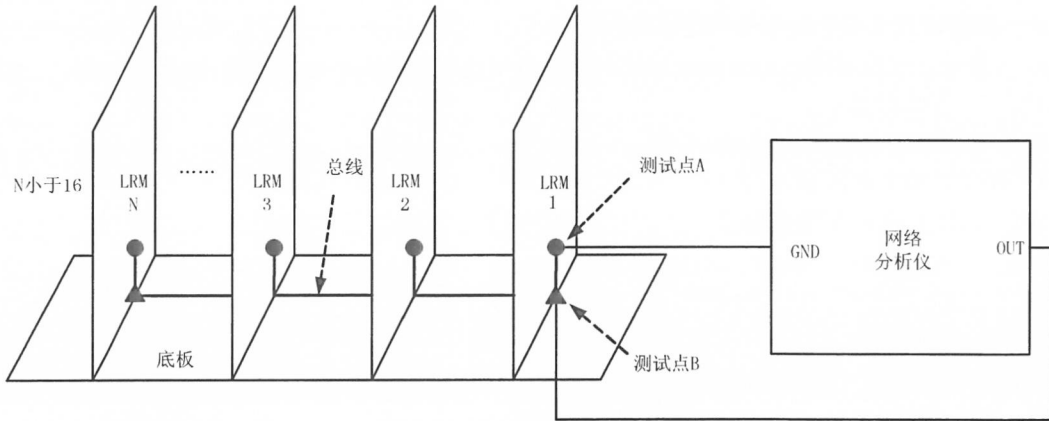


图 4 寄生参数测试连接图

5.2.2.3 合格判据

若输入电容数值 C 小于 22pF，电感值 L 小于 15nH 时，则通过测试。

5.2.3 BTL 输出电压 (V_{BTL})

5.2.3.1 BTL 高电平输出电压

5.2.3.1.1 测试目的

测试 BTL 高电平输出电压阈值。

5.2.3.1.2 测试方法

测试连接图如图 5 所示，测试方法如下：

- a) 配置测试 LRM 命令表为发送态；
- b) 使用示波器测量并记录底板总线测试点 B 和 LRM 测试点 A 的 BTL 输出端电压。

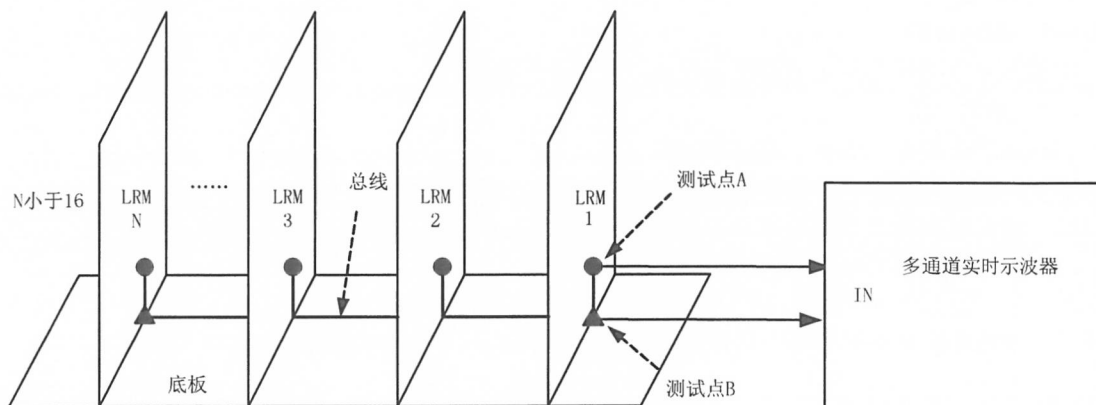


图 5 电压测试连接图

5.2.3.1.3 合格判据

BTL 输出端高电平应符合 $2.0V \leq V_{BTL} \leq 2.2V$ 。

5.2.3.2 BTL 低电平输出电压

5.2.3.2.1 测试目的

测试 BTL 低电平输出电压阈值。

5.2.3.2.2 测试方法

测试连接图如图 5 所示，测试方法如下：

- a) 配置测试 LRM 命令表为持续发送态；
- b) 使用示波器测量并记录底板总线测试点 B 和 LRM 测试点 A 的 BTL 输出端电压。

5.2.3.2.3 合格判据

BTL 输出低电压应符合 $0.75\text{V} \leq V_{\text{BTL}} \leq 1.2\text{V}$ 。

5.2.4 GTLP 输出电压 (V_{GTLP})

5.2.4.1 GTLP 高电平输出电压

5.2.4.1.1 测试目的

测试 GTLP 高电平输出电压阈值。

5.2.4.1.2 测试方法

测试连接图如图 5 所示，测试方法如下：

- a) 配置测试 LRM 命令表为发送态；
- b) 使用示波器测量并记录底板总线测试点 B 和 LRM 测试点 A 的 GTLP 输出端电压。

5.2.4.1.3 合格判据

GTLP 输出端高电平应符合 $1.45\text{V} \leq V_{\text{GTLP}} \leq 1.55\text{V}$ 。

5.2.4.2 GTLP 电平输出电压

5.2.4.2.1 测试目的

测试 GTLP 低电平输出电压阈值。

5.2.4.2.2 测试方法

测试连接图如图 5 所示，测试方法如下：

- a) 配置测试 LRM 命令表为持续发送态；
- b) 使用示波器测量并记录底板总线测试点 B 和 LRM 测试点 A 的 GTLP 输出端电压。

5.2.4.2.3 合格判据

GTLP 输出低电压应符合 $V_{\text{GTLP}} \leq 0.95\text{V}$ 。

5.2.5 时钟稳定性

5.2.5.1 测试目的

测试型号专用规范规定的温度范围内，时钟运行稳定。

5.2.5.2 测试方法

测试连接图如图 6 所示，测试方法如下：

- a) 对 LRM(时钟频率 30MHz) 上电，使之处于正常工作状态；
- b) 将测试底板置于温箱中，温度范围从室温到型号规定工作温度的上限值；
- c) 以示波器测试时钟波形的抖动数值；
- d) 以示波器记录不少于 10^{10} 个周期的时钟波形抖动数值；
- e) 调整温箱温度至型号专用规范规定的温度下限值，重复步骤 c) 和 d)。

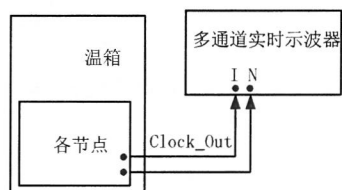


图 6 时钟测试连接图

5.2.5.3 合格判据

若记录周期内时钟波形抖动的 RMS 在 1.66ps 以下，则通过测试。

5.2.6 模块时钟漂移

5.2.6.1 测试目的

测试底板总线节点上每个 BIU 独立总线时钟的整体漂移量。

5.2.6.2 测试方法

测试连接图如图 6 所示，测试方法如下：

- 对 LRM(时钟频率 30MHz) 上电，使之处于正常工作状态；
- 将测试底板置于温箱中，温度范围从室温到型号专用规范规定的温度上限值；
- 配置 LRM 发送最长帧，以示波器测试各总线接口单元的波特率；
- 调整温箱温度至型号专用规范规定的温度下限值，重复步骤 b) 和 c)；
- 记录各总线接口单元不同温度下的波特率，计算整体漂移量。

5.2.6.3 合格判据

若计算得到的整体漂移量在 0.5% 以内，则通过测试。

5.2.7 特征阻抗

5.2.7.1 测试目的

测试底板总线系统中底板信号通路阻抗。

5.2.7.2 测试方法

特征阻抗测试连接图如图 7 所示，测试方法如下：

- 将底板的端接电阻与信号总线断开，移除底板上所有功能模块；
- 将底板输入端测试点 B 通过 TDR 探头连接到测试设备输入端，将底板输出端开路；
- 打开 TDR 测试功能，测试并记录总线底板不同位置阻抗变化曲线；
- 计算底板的阻抗数值。

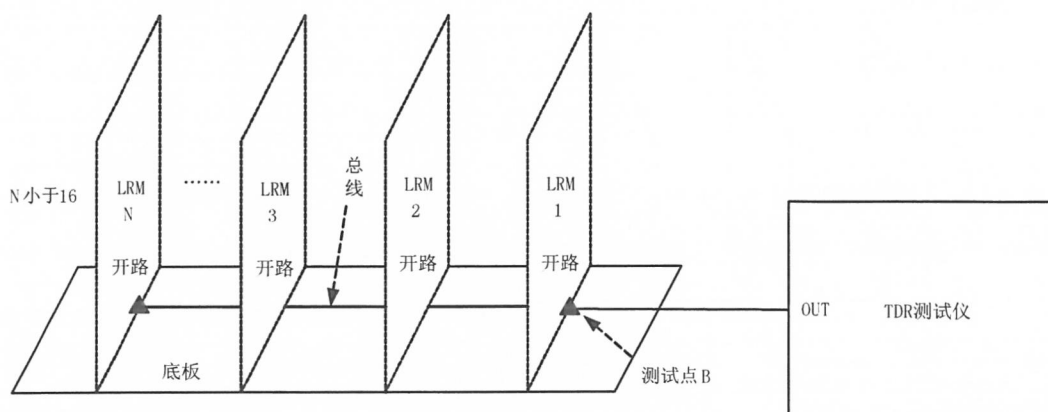


图 7 特征阻抗测试连接图

5.2.7.3 合格判据

若阻抗数值在 $62\Omega \sim 72\Omega$ 范围内，则通过测试。

5.2.8 直流电阻

5.2.8.1 测试目的

测试底板总线系统中任意节点收发器输出端到该输出端对应的 2 个端接电阻中任意节点的直流电阻。

5.2.8.2 测试方法

直流电阻测试连接图如图 8 所示，测试方法如下：

- 将数字万用表调节到欧姆档；
- 使用表笔依次测量并记录，各收发输出端到其对应的端接电阻之间的引线电阻。

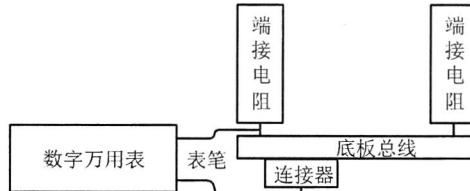


图 8 直流阻抗测试连接图

5.2.8.3 合格判据

若所有测试数值均小于 1Ω ，则通过测试。

5.2.9 建立保持时间

5.2.9.1 测试目的

测试底板总线系统中在时钟信号由高到低的转变时，每个数据信号应满足相对时钟的时序最小时间。

5.2.9.2 测试方法

建立保持时间测试连接图如图 9 所示，测试方法如下：

- 将 LRM 接入底板总线系统中，使系统正常通信；
- 将信号发生器接入系统，以信号发生器生成底板数据总线波形；
- 以示波器分别测试并记录总线节点接收端波形；
- 测量并记录建立时间 t_{su} 和保持时间 t_h ， t_{su} 和 t_h 定义如图 10 所示；
- 更换测试点并重复步骤 d)，直至完成 LRM 与底板连接器处、所有 LRM 的总线节点的接收端波形测试。

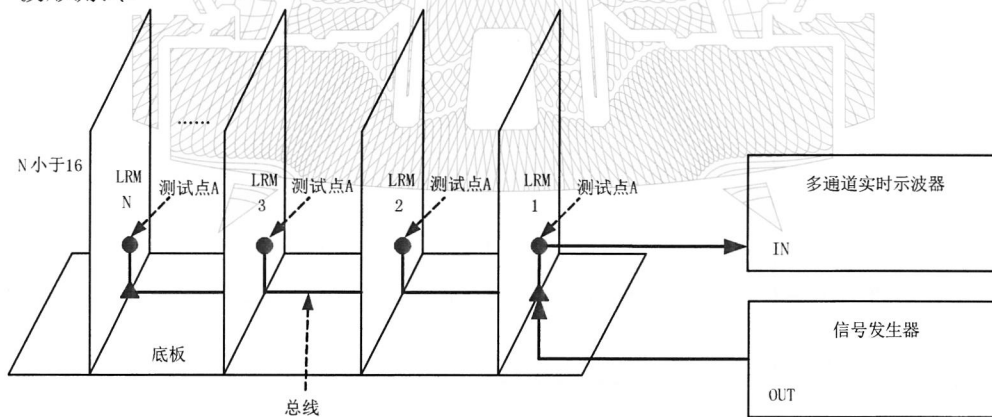


图 9 建立保持时间测试连接图

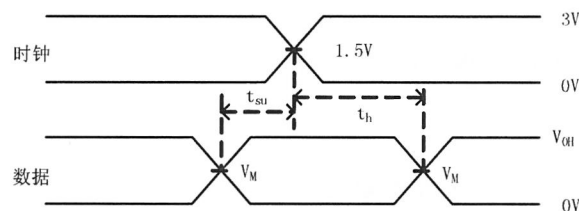


图 10 建立保持时间示意图

5.2.9.3 合格判据

若所有测试点处 t_{su} 均大于 6ns, t_h 均大于 6ns, 则通过测试。

5.2.10 传输延迟

5.2.10.1 测试目的

测试在底板总线最长路径上的传输延迟时间。

5.2.10.2 测试方法

测试方法如下, 传输延迟测试连接图如图 11 所示。

- 将 LRM 接入底板总线系统中, 使系统正常通信;
- 将 TDR 测试设备测试接口与连接线连接牢固, 保持连接线另一端开路, 设置测试设备处于稳定触发状态;
- 运行 TDR 功能进行测量, 记录连接线传输延迟, 时长为 $2T_r$;
- 将底板输入端测试点 B 通过 TDR 探头连接到测试设备输入端, 并保持底板 LRM N 连接器开路;
- 设置 TDR 测试设备向测试通路发送阶跃信号, 测量因终端开路而返回的反射信号, 记录被测底板与配套探头的总传输延迟, 时长为 $2T_d$;
- 以总延迟 T_d 减去连接线的延迟 T_r , 计算被测底板信号的传输延迟时间。

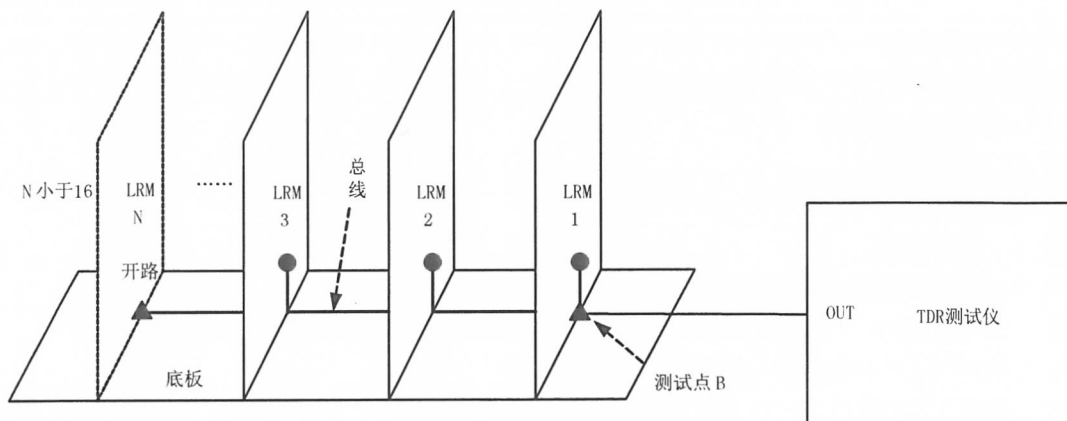


图 11 传输延迟测试连接图

5.2.10.3 合格判据

若计算的传输延时数值不大于 5ns, 则通过测试。

5.2.11 通道间延迟

5.2.11.1 测试目的

测试在底板总线 LRM 间最长传输通道的延迟。

5.2.11.2 测试方法

通道间延时测试连接图如图 12 所示, 测试方法如下:

- 将 LRM 接入底板总线系统中, 使系统正常通信;
- 使用差分连接线将 LRM1 连接器输入端与网络分析仪测试端口 1、2 相连, LRM2 连接器输入端与网络分析仪测试端口 3、4 相连, 保持测试回路连接牢固, 测试并记录 LRM1 连接器与 LRM2 连接器间的传输延迟, 时长为 T_c ;
- 使用差分连接线将 LRM1 连接器输入端与网络分析仪测试端口 1、2 相连, LRM N 连接器输入端与网络分析仪测试端口 3、4 相连, 保持测试回路连接牢固, 测试并记录 LRM1 连接器与 LRM N 连接器间的传输延迟, 时长为 T_s ;

d) 计算 T_s 与 T_c 的差值，得到底板通道间最大延迟。

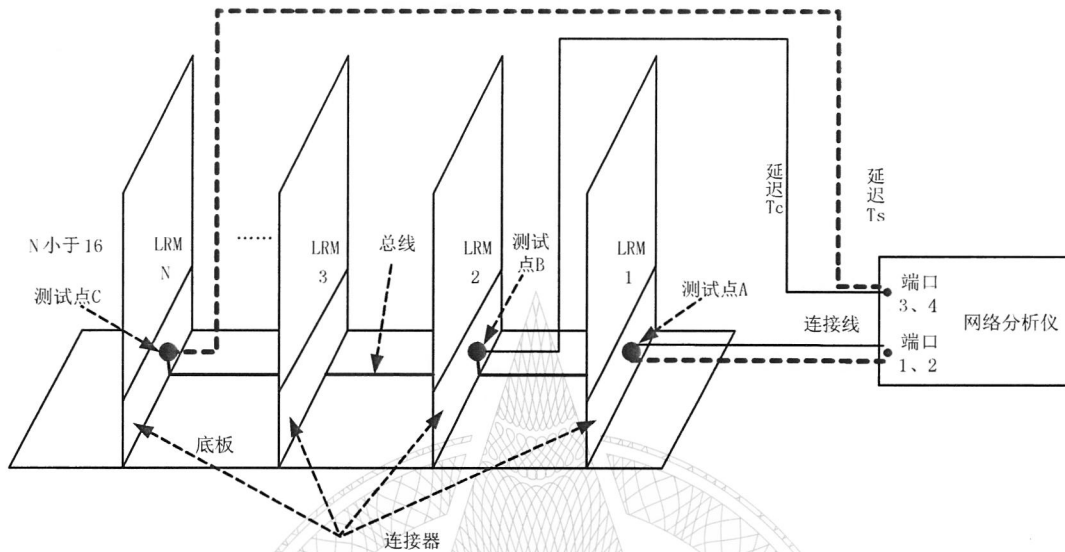


图 12 通道间延迟测试连接图

5.2.11.3 合格判据

若通道间延迟不大于 2ns，则通过测试。

5.2.12 信号过冲及振铃

5.2.12.1 测试目的

测试接收端波形的信号过冲及振铃的参数。

5.2.12.2 测试方法

信号过冲及振铃测试连接图如图 13 所示，测试方法如下：

- 将测试 LRM 命令表配置为发送态，非测试 LRM 配置为接受态或使用负载 LRM；
- 测试点选择 LRM 测试点 A 和底板测试点 B；
- 测量并记录信号电平状态维持最小时间 τ 、过冲电压值 α 、振铃幅度 ρ 、振铃宽度 δ 的数值，参数定义如图 14 所示；
- 波形趋于稳定时，测量并记录稳定电压差 ϕ ，即输入信号的相对于参考电压的最终稳定差值，参数定义如图 15 所示；
- 更换测试点并重复步骤 b) 和 d)，直至完成所有 LRM 节点的波形测试。

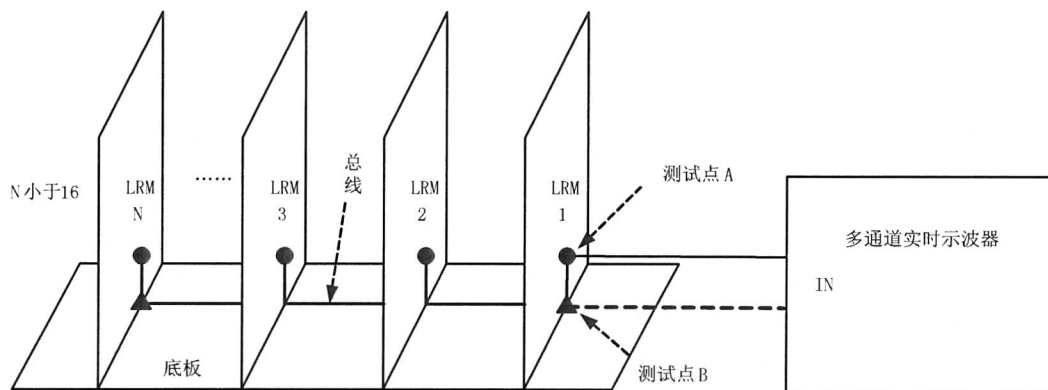


图 13 信号过冲及振铃测试连接图

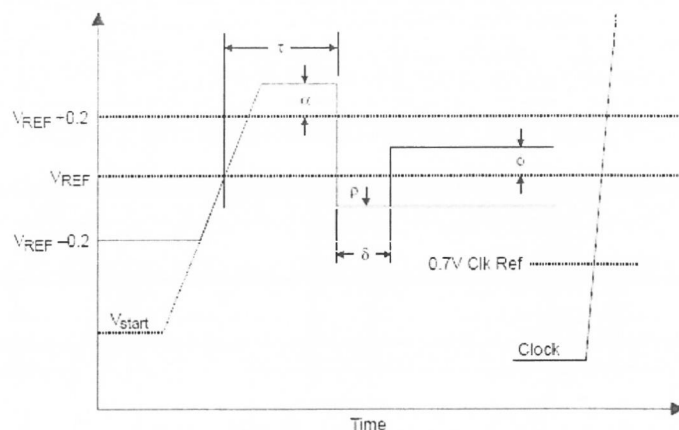


图 14 信号过冲以及铃振的参数示意图(低电平—高电平)

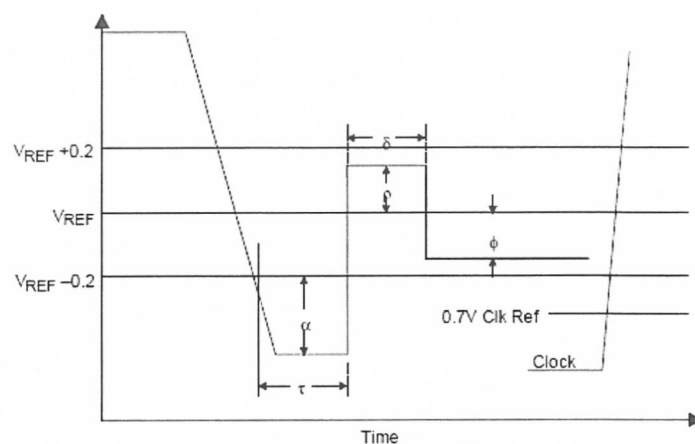


图 15 信号过冲以及铃振的参数示意图(高电平—低电平)

5.2.12.3 合格判据

若各测试点处过冲电压值 α 不大于 100mV、电平状态维持最小时间 τ 不大于 1.5ns、振铃幅度 ρ 不大于-250mV、稳定电压差 ϕ 不大于 250mV、振铃宽度 δ 不大于 2ns，则通过测试。

6 数据链路层

6.1 测试拓扑

数据链路层测试环境一般由总线接口底板，CPU 信号处理板和底板总线连接板三部分组成，结构如图 16 所示。

底板总线连接板由 4 路总线、总线终端器供电电路、主机板引出端口、底板总线终端器供电电路、复位设置电路、线路故障注入电路等组成。

总线接口底板的整体结构为：2 个独立的 BIU 单元，分别为 BIUX 和 BIUY，BIU 通过主机接口完成同子系统主机间的信息交换，实现节点间的数据通信。

6.2 测试项目

6.2.1 通则

数据链路层测试应完成表 3 列写的所有项目。

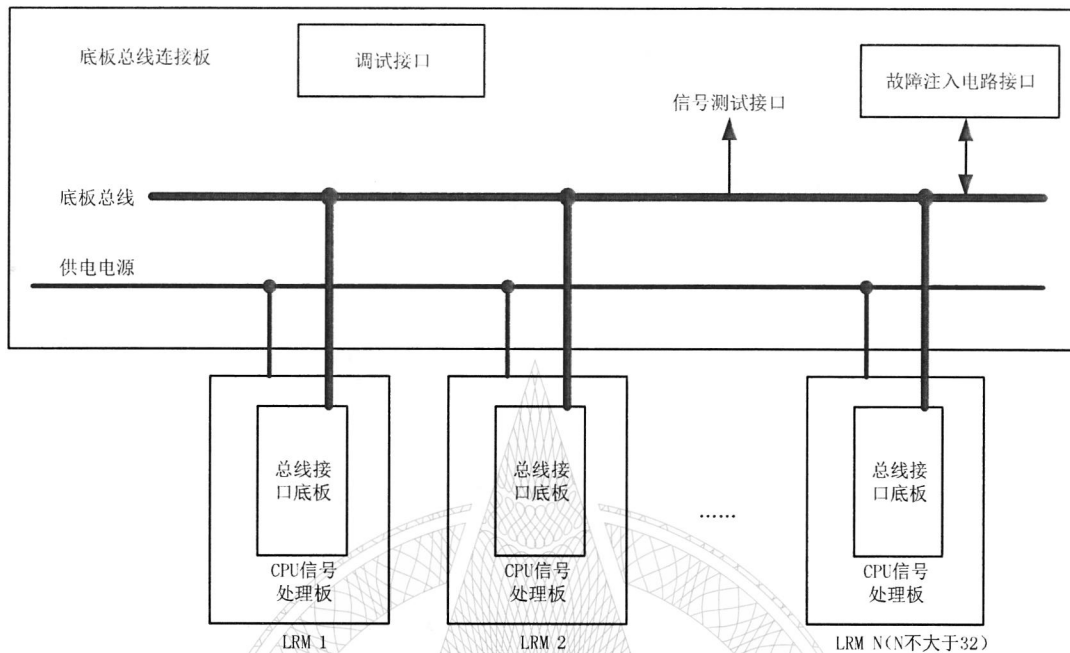


图 16 数据链路层符合性测试环境

表 3 数据链路层测试项目表

编号	项目名称	对应条款	编号	项目名称	对应条款
1	初始化同步测试	6.2.2	10	噪声滤除测试	6.2.11
2	长重同步测试	6.2.3	11	故障注入功能测试	6.2.12
3	模块号测试	6.2.4	12	帧切换测试	6.2.13
4	机架号测试	6.2.5	13	表兼容性测试	6.2.14
5	基本消息收发功能测试	6.2.6	14	机架号校验错误测试	6.2.15
6	主后备消息收发功能测试	6.2.7	15	模块号校验错误测试	6.2.16
7	不同数据长度消息收发功能测试	6.2.8	16	BIU 出错指示功能测试	6.2.17
8	GAP(消息间隙)测试	6.2.9	17	BIU 激活功能测试	6.2.18
9	DELTA(主/备步长)测试	6.2.10			

6.2.2 初始化同步测试

6.2.2.1 测试目的

测试未同步状态的 BIU 能够根据初始化同步消息完成同步。

6.2.2.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 命令表中设置不同的初始化同步等待时间；
- c) 在等待状态下激活 LRM；
- d) 失步状态下的 LRM 接收初始化同步脉冲，根据初始化同步脉冲进行同步；
- e) 宿主机读取 BIU 的状态同步标志。

6.2.2.3 合格判据

若失步状态的 BIU 根据初始化同步消息同步成功，则通过测试。

6.2.3 长重同步测试

6.2.3.1 测试目的

测试失步状态的 BIU 能够根据长重同步消息完成同步。

6.2.3.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 命令表中设置长重同步命令；
- c) 在等待状态下激活 LRM；
- d) 部分 LRM 处于同步状态，部分 LRM 处于失步状态下；
- e) 根据命令表的设置，同步状态下的某个 LRM 发出长重同步消息；
- f) 宿主机读取 BIU 的状态同步标志。

6.2.3.3 合格判据

若失步状态的 BIU 根据长重同步消息同步成功，则通过测试。

6.2.4 模块号测试

6.2.4.1 测试目的

测试宿主机获取的 LRM 模块号。

6.2.4.2 测试方法

测试方法如下：

- a) 系统设置 LRM 的模块号；
- b) LRM 上电复位；
- c) 主机读取 LRM 模块号的值。

6.2.4.3 合格判据

若宿主机获取的 LRM 模块号与电路预设值相一致，则通过测试。

6.2.5 机架号测试

6.2.5.1 测试目的

测试宿主机获取的 LRM 机架号。

6.2.5.2 测试方法

测试方法如下：

- a) 系统设置 LRM 所在的机架号；
- b) LRM 上电复位；
- c) 主机读取 LRM 机架号的值。

6.2.5.3 合格判据

若宿主机获取 LRM 机架号由四位表示，且机架号与电路预设值相一致，则通过测试。

6.2.6 基本消息收发功能测试

6.2.6.1 测试目的

测试 LRM 基本消息收发功能。

6.2.6.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 发送 LRM 根据命令表的配置发送数据，命令表可配置为点对点或广播消息窗口，读取接收 LRM 根据命令表的配置接收到的数据。

6.2.6.3 合格判据

若发送的数据和接收的数据一致，则通过测试。

6.2.7 主后备消息收发功能测试

6.2.7.1 测试目的

测试 LRM 主后备消息收发功能。

6.2.7.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 发送 LRM 根据命令表的配置发送数据，命令表依次配置为主发送、后备 1 发送、后备 2 发送、后备 3 发送，读取接收 LRM 根据命令表的配置接收数据。

6.2.7.3 合格判据

若 LRM(主模块、后备 1 模块、后备 2 模块、后备 3 模块)发送的数据和接收的数据相一致，则通过验证。

6.2.8 不同数据长度消息收发功能测试

6.2.8.1 测试目的

测试 LRM 能正确发送、接收不同数据长度的消息。

6.2.8.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 发送 LRM 根据命令表的配置发送数据，依次发送 1 个数据、128 个数据、256 个数据，数据是 32 位数据，读取接收 LRM 根据命令表的配置接收数据。

6.2.8.3 合格判据

若 LRM 在 1 个数据、128 个数据、256 个数据，数据是 32 位数据条件下发送的数据和接收的数据相一致，则通过测试。

6.2.9 GAP(消息间隙)测试

6.2.9.1 测试目的

测试 LRM 在不同 GAP 间隙下能够实现数据正常收发。

6.2.9.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 发送 LRM 根据命令表配置的 GAP 值发送数据，读取接收 LRM 根据命令表的配置接收数据。

6.2.9.3 合格判据

若 GAP 被配置为 2 位~9 位消息间隙条件下时，发送的数据和接收的数据相一致，则通过测试。

6.2.10 DELTA(主/备步长)测试

6.2.10.1 测试目的

测试 LRM 在不同 DELTA 值下能够实现数据正常收发。

6.2.10.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 发送 LRM 根据命令表配置的 DELTA 值的发送数据，读取接收 LRM 根据命令表的配置接收数据。

6.2.10.3 合格判据

若 DELTA 在配置为 3 位~10 位主/后备步长时，发送的数据和接收的数据相一致，则通过测试。

6.2.11 噪声滤除测试

6.2.11.1 测试目的

测试 LRM 能够滤除噪声实现数据收发功能正确。

6.2.11.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 在数据正常传输过程中，向总线上注入不大于 6ns 的随机故障；
- e) 读取接收 LRM 根据命令表的配置接收数据。

6.2.11.3 合格判据

若注入不大于 6ns 的随机故障，LRM 发送的数据和接收的数据相一致，则通过测试。

6.2.12 故障注入功能测试

6.2.12.1 测试目的

测试在 LRM 在故障条件下数据收发功能。

6.2.12.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 在数据正常传输过程中，向总线上注随机故障(选择 LRM 任意一路，两路，三路，四路注入总线故障，包括数据总线和时钟总线故障)。

6.2.12.3 合格判据

依据 GJB 10919—2023 中 BIU 状态标志和出错指示分析故障注入的结果。

6.2.13 帧切换测试

6.2.13.1 测试目的

测试 BIU 帧切换与帧切换命令间的一致性。

6.2.13.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 在数据正常传输过程中，主机在命令表的帧切换窗口到来前写入帧切换使能；
- e) 读取接收 LRM 根据命令表的配置接收数据。

6.2.13.3 合格判据

若帧切换操作发生时，BIU 能跟据帧切换命令进行正确的帧切换，则通过测试。

6.2.14 表兼容性测试

6.2.14.1 测试目的

测试表版本兼容性。

6.2.14.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 所有 LRM 处于同步状态；
- d) 配置 LRM 模块 1 的次版本号与其他不同模块不同；
- e) 在 LRM 模块 1 空闲命令时间段内，其他模块命令表对应时间段写入收发命令，包括基本收发和主后备；
- f) 检测 LRM 运行状态。

6.2.14.3 合格判据

若表主版本一致，次版本不一致情况下，命令表可以正常执行，则通过测试。

6.2.15 机架号校验错误测试

6.2.15.1 测试目的

测试 LRM 机架号校验错误识别功能。

6.2.15.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 注入机架号校验错误；
- d) 监控 LRM 状态。

6.2.15.3 合格判据

若注入机架号校验错误后 LRM 初始化同步失败，则通过测试。

6.2.16 模块号校验错误测试

6.2.16.1 测试目的

测试 LRM 模块号校验错误识别功能。

6.2.16.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位；
- b) 在等待状态下激活 LRM；
- c) 注入模块号校验错误；
- d) 监控 LRM 状态。

6.2.16.3 合格判据

若注入模块号校验错误后 LRM 初始化同步失败，则通过测试。

6.2.17 BIU 出错指示功能测试

6.2.17.1 测试目的

测试 BIU 出错指示功能。

6.2.17.2 测试方法

测试方法如下：

- a) LRM 上电复位;
- b) 在等待状态下激活 LRM;
- c) LRM 处于同步状态;
- d) 在正常传输过程中注入可校正错误, 见 GJB 10919—2023 附录 B;
- e) 读取 BIU 出错指示标识。

6.2.17.3 合格判据

若 BIU 指示一条或多条总线(Ax, Ay, Bx, By)上发生了可校正错误, 则通过测试。

6.2.18 BIU 激活功能测试

6.2.18.1 测试目的

测试 BIU 激活功能。

6.2.18.2 测试方法

测试方法如下:

- a) LRM 上电复位;
- b) 在等待状态下激活 LRM;
- c) 监控 BIU 状态。

6.2.18.3 合格判据

主机在等待状态下激活 BIU, 若 BIU 成功连接到总线上, 则通过测试。



中 华 人 民 共 和 国
国 家 军 用 标 准
底 板 数 据 总 线 测 试 要 求
GJB 10918—2023

*

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
版 权 专 有 不 得 翻 印

*

开 本 880×1230 1/16 印 张 1½ 字 数 42 千 字
2023 年 9 月 第 1 版 2023 年 9 月 第 1 次 印 刷

*

军 标 出 字 第 15368 号