

## 目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、符号	1
3.1 术语	1
3.2 符号	1
4 故障树基本结构	2
4.1 基本原则	2
4.2 在预定的解除保险程序开始前引信故障树基本结构	2
4.3 出炮口前引信故障树基本结构	2
4.4 安全距离内引信故障树基本结构	3
4.5 作用时期引信故障树基本结构	3
5 底事件概率基值取值原则及概率计算	4
5.1 在预定的解除保险程序开始前	4
5.2 出炮口前	7
5.3 安全距离内	9
5.4 作用时期	11
6 计算示例	14
附录 A (资料性附录)引信安全性和作用可靠性分析计算示例	15
A.1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险失效率计算	15
A.1.1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树	15
A.1.2 结构函数	15
A.1.3 底事件概率值	16
A.1.4 顶事件概率值	17
A.2 在预定的解除保险程序开始前引信作用失效率计算	18
A.2.1 在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树	18
A.2.2 结构函数	18
A.2.3 底事件概率值	18
A.2.4 顶事件发生的概率值	19
A.3 出炮口前引信解除保险失效率计算	19
A.3.1 出炮口前引信解除保险故障树	19
A.3.2 结构函数	20
A.3.3 底事件概率值	20
A.3.4 顶事件发生的概率值	21
A.4 出炮口前引信作用失效率计算	21
A.4.1 出炮口前引信作用故障树	21
A.4.2 结构函数	21
A.4.3 底事件概率值	21

A.4.4	顶事件发生的概率值	22
A.5	安全距离内引信解除保险失效率计算	22
A.5.1	安全距离内引信解除保险故障树	22
A.5.2	结构函数	23
A.5.3	底事件概率值	23
A.5.4	顶事件发生的概率值	23
A.6	安全距离内引信作用失效率计算	23
A.6.1	安全距离内引信作用故障树	23
A.6.2	结构函数	24
A.6.3	底事件概率值	24
A.6.4	顶事件发生的概率值	25
A.7	引信作用失效率计算	25
A.7.1	引信作用失效故障树	25
A.7.2	结构函数	26
A.7.3	底事件概率	26
A.7.4	顶事件发生的概率值	29

## 前 言

本指导性技术文件由中国兵器工业集团公司提出；

本指导性技术文件由中国兵器工业标准化研究所归口；

本指导性技术文件起草单位：华北工学院、中国兵器工业标准化研究所、石家庄军械工程学院、中国北方机电信息研究所；

本指导性技术文件主要起草人：张 亚、赵河明、任丽萍、董少峰、许爱国、滕 洁。

# 引信故障树底事件数据手册

## 1 范围

本指导性技术文件提供了引信及作为引信子系统的安全和解除保险装置的安全性和作用可靠性故障树分析的基本数据。

本指导性技术文件适用于引信及作为引信子系统的安全和解除保险装置的安全性和作用可靠性故障树分析。

本指导性技术文件不适用于下列弹药引信产品的故障树分析：

- a) 核武器系统及其训练器材；
- b) 手榴弹；
- c) 用手持发射装置发射的照明弹和信号弹；
- d) 人工布置的军械器材；
- e) 烟火干扰装置。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本指导性技术文件的引用而成为本指导性技术文件的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本指导性技术文件，然而，鼓励根据本指导性技术文件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指导性技术文件。

- GJB 4888-85 故障树名词术语
- GJB 7829-87 故障树分析程序
- GB/T 3187-94 可靠性、维修性术语
- GJB 102A-98 弹药系统术语
- GJB 346-87 引信安全系统失效计算方法
- GJB 373A-97 引信安全性设计准则
- GJB/Z 29-92 引信典型故障树手册
- GJB/Z 768A-98 故障树分析指南
- GJB/Z 299B-98 电子设备可靠性预计手册
- GJB/Z 108-98 电子设备非工作状态可靠性预计手册

## 3 术语、符号

### 3.1 术语

GB/T 3187-94、GB 4888-85、GJB 102A-98 确立的以及下列术语和定义适用于本指导性技术文件。

#### 3.1.1

**自发火 Fire-self**

非正常发火激励而引起的火工品发火。

### 3.2 符号

下列符号适用于本指导性技术文件：

- $T_{11}$  ——在预定的解除保险程序开始前引信解除保险；
- $T_{12}$  ——在预定的解除保险程序开始前引信作用；
- $T_{21}$  ——出炮口前引信解除保险；
- $T_{22}$  ——出炮口前引信作用；
- $T_{31}$  ——安全距离内引信解除保险；
- $T_{32}$  ——安全距离内引信作用；
- $T_4$  ——引信作用失效；
- $P$  ——底事件概率；
- $P_1$  ——底事件概率基值。

#### 4 故障树基本结构

##### 4.1 基本原则

顶事件按 GJB 373A-97 中的规定选取,建树方法按 GB 7829-87、GJB/Z 29-92、GJB/Z 768A-98 中规定进行。顶事件概率计算方法按 GJB 346-87 进行。

##### 4.2 在预定的解除保险程序开始前引信故障树基本结构

4.2.1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树基本结构见图 1。

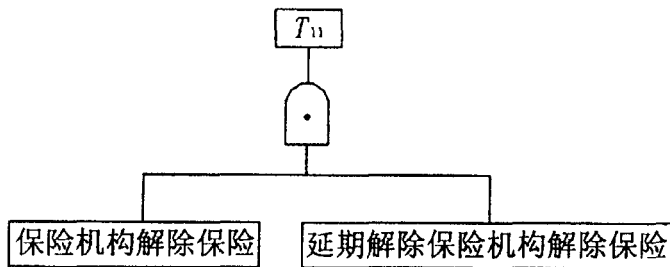


图 1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树基本结构

4.2.2 在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树基本结构见图 2。

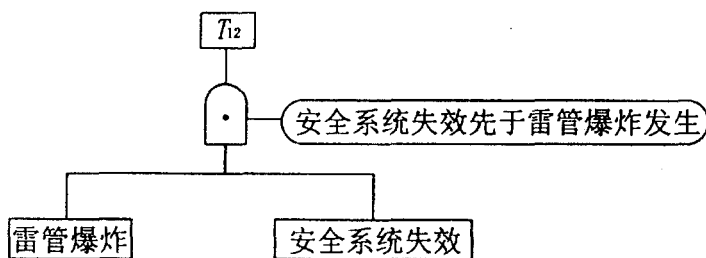


图 2 在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树基本结构

##### 4.3 出炮口前引信故障树基本结构

4.3.1 出炮口前引信解除保险故障树基本结构见图 3。

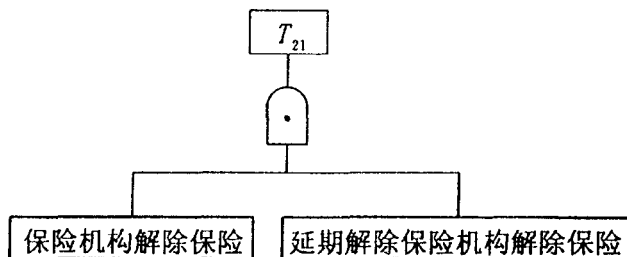


图 3 出炮口前引信解除保险故障树基本结构

4.3.2 出炮口前引信作用故障树基本结构见图 4。

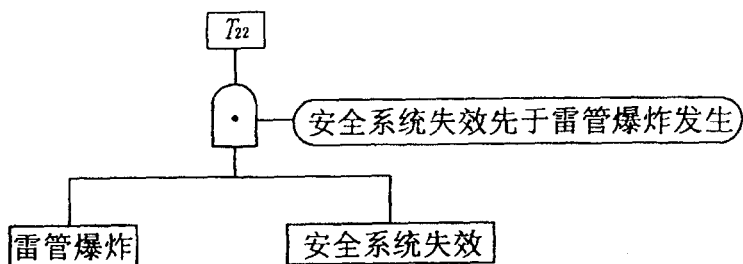


图 4 出炮口前引信作用故障树基本结构

#### 4.4 安全距离内引信故障树基本结构

4.4.1 安全距离内引信解除保险故障树基本结构见图 5。

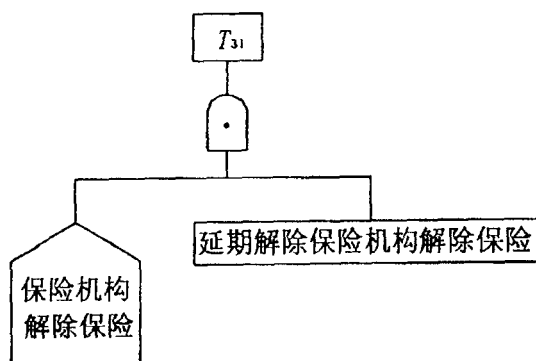


图 5 安全距离内引信解除保险故障树基本结构

4.4.2 安全距离内引信作用故障树基本结构见图 6。

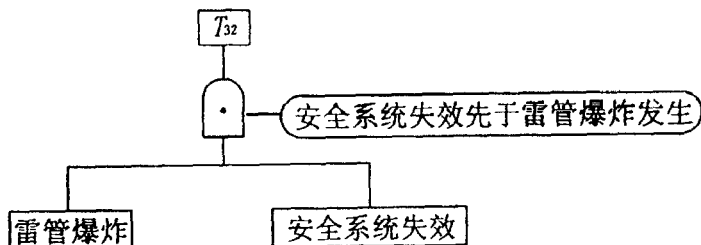


图 6 安全距离内引信作用故障树基本结构

#### 4.5 作用时期引信故障树基本结构

引信作用失效故障树基本结构见图 7。

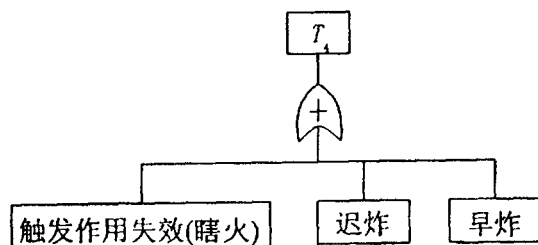


图 7 引信作用失效故障树基本结构

5 底事件概率基值取值原则及概率计算

本章给出了引信在进行安全性分析及作用可靠性分析时故障树底事件概率基值和取值基本原则。

5.1 在预定的解除保险程序开始前

5.1.1 火工品失效

5.1.1.1 底事件概率基值

火工品失效底事件概率基值见表 1。

表 1 火工品失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
电火工品自发火	$5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$
非电火工品自发火	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$

5.1.1.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(1):

$$P = a_1 a_2 P_1 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$a_1$ 、 $a_2$ ——火工品失效底事件概率计算系数。

5.1.1.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值范围内取值,根据火工品的感度高低而定,火工品的感度高的取值大一些;火工品的感度低的取值小一些。

$a_1$  的取值根据是否做了相应的环境试验而定,做了相应的环境试验取值为 1;没有做相应的环境试验取值为 2。

$a_2$  的取值根据火工品在引信中的装配形式而定,火工品在引信中的装配形式为固定的取值为 1;火工品在引信中的装配形式为活动的取值为 2。

5.1.2 零件的保险作用失效

5.1.2.1 底事件概率基值

零件的保险作用失效底事件概率基值见表 2。

表 2 零件的保险作用失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
销、栓、轴类零件强度过低、折断	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
环、片类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
薄筒类零件强度过低	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
簧类零件折断	$1 \times 10^{-6} \sim 9 \times 10^{-6}$
轮系、齿类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$

5.1.2.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(2):

$$P = b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 P_1 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$ 、 $b_5$ ——零件的保险作用失效底事件概率计算系数。

5.1.2.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据被保险件的质量而定,被保险件的质量大的取值大一些;被保险件的质量小的取值小一些。

$b_1$  的取值根据保险件装配状态下的受力状况而定,保险件装配状态下不受力取值为 1;保险件装配状态下受力取值为 2。

$b_2$  的取值根据保险件是否经过应力筛选而定,经过应力筛选取值为 1;没有经过应力筛选取值为 2。

$b_3$  的取值根据是否经过环境试验或仿真而定,经过环境试验或仿真取值为 1;没有经过环境试验或仿真取值为 2。

$b_4$  的取值根据对于簧类零件是否有氰化物处理工艺而定,有氰化物处理工艺取值为 1;没有氰化物处理工艺取值为 3。

$b_5$  的取值根据保险件是否列为关键件、重要件而定,保险件列为关键件、重要件取值为 1;保险件没有列为关键件、重要件取值为 4。

### 5.1.3 配合失效

#### 5.1.3.1 底事件概率基值

配合失效底事件概率基值见表 3。

表 3 配合失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
锁定量过小	$5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
零件脱落	$5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
零件固接松动	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
配合间隙过大、过小	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$

#### 5.1.3.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(3):

$$P = C_1 P_1 \dots \dots \dots (3)$$

式中:

$C_1$  ——配合失效底事件概率计算系数。

#### 5.1.3.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据是否采用成熟技术而定,采用成熟技术取值小一些;没有采用成熟技术取值大一些。

$C_1$  是否经过环境试验或仿真而定,经过环境试验或仿真取值为 1;没有经过环境试验或仿真取值为 3。

### 5.1.4 弹性元件抗力超差

#### 5.1.4.1 底事件概率基值

弹性元件抗力超差底事件概率基值见表 4。

表 4 弹性元件抗力超差底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
弹性元件抗力超差	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$

#### 5.1.4.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(4):

$$P = d_1 d_2 P_1 \dots \dots \dots (4)$$

式中:

$d_1, d_2$ ——弹性元件抗力超差底事件概率计算系数。

5.1.4.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据弹性元件预压(扭)量而定,弹性元件预压(扭)量小的取值小一些;弹性元件预压(扭)量大的取值大一些。

$d_1$  的取值根据是否有氰化物处理工艺而定,有氰化物处理工艺取值为 1;没有氰化物处理工艺取值为 3。

$d_2$  的取值根据是否列为关键件、重要件而定,列为关键件、重要件取值为 1;没有列为关键件、重要件取值为 4。

5.1.5 系统共振失效

5.1.5.1 底事件概率基值

系统共振失效底事件概率基值见表 5。

表 5 系统共振失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
弹性系统共振	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$

5.1.5.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(5):

$$P = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

5.1.5.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据是否经过振动试验或仿真而定,经过振动试验或仿真取值小一些;没有经过振动试验或仿真取值大一些。

5.1.6 人因失效

5.1.6.1 底事件概率基值

人因失效底事件概率基值见表 6。

表 6 人因失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
错装、重装、漏装	$1 \times 10^{-5} \sim 9 \times 10^{-5}$

5.1.6.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(6):

$$P = P_1 \dots\dots\dots (6)$$

5.1.6.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据是否可以 100% 无损检验而定,可以 100% 无损检验的取值小一些;不能 100% 无损检验的取值大一些。

5.1.7 安全系统原发性失效

5.1.7.1 底事件概率基值

安全系统原发性失效底事件概率基值见表 7。

表 7 安全系统原发性失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
隔爆件材料有缺陷	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$
隔爆件材料强度过低	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$
隔爆距离小	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$

## 5.1.7.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(7):

$$P = e_1 e_2 e_3 P_1 \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$e_1, e_2, e_3$ ——隔爆机构原发性失效底事件概率计算系数。

## 5.1.7.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据是否采用成熟技术而定,采用成熟技术取值小一些;没有采用成熟技术取值大一些。

$e_1$  的取值根据隔爆结构中是否有泄爆空间而定,隔爆结构中有泄爆空间取值为 1;隔爆结构中无泄爆空间取值为 2。

$e_2$  的取值根据隔爆介质的结构而定,隔爆介质为复合介质取值为 1;隔爆介质为单介质取值为 2。

$e_3$  的取值根据是否经过充分的试验而定,经过充分的试验取值为 1;没有经过充分的试验取值为 5。

## 5.2 出炮口前

## 5.2.1 火工品失效

## 5.2.1.1 底事件概率基值

火工品失效底事件概率基值见表 8。

表 8 火工品失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
电火工品自发火	$5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$
非电火工品自发火	$1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-3}$
延期药延时过短	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$

## 5.2.1.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.1.2。

## 5.2.1.3 取值原则

取值原则同 5.1.1.3。

## 5.2.2 零件的保险作用失效

## 5.2.2.1 底事件概率基值

零件的保险作用失效底事件概率基值见表 9。

表 9 零件的保险作用失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
销、栓、轴类零件强度过低、折断	$1 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
环、片类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$

表 9(续)

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
薄筒类零件强度过低	$1 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
簧类零件折断	$1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$
轮系、齿类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-3}$

## 5.2.2.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.2.2。

## 5.2.2.3 取值原则

取值原则同 5.1.2.3。

## 5.2.3 配合失效

## 5.2.3.1 底事件概率基值

配合失效底事件概率基值见表 10。

表 10 配合失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
锁定量过小	$5 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$
零件脱落	$5 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$
零件固接松动	$1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$
配合间隙过大、过小	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$

## 5.2.3.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.3.2。

## 5.2.3.3 取值原则

取值原则同 5.1.3.3。

## 5.2.4 弹性元件抗力超差

## 5.2.4.1 底事件概率基值

弹性元件抗力超差底事件概率基值见表 11。

表 11 弹性元件抗力超差底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
弹性元件抗力超差	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$

## 5.2.4.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.4.2。

## 5.2.4.3 取值原则

取值原则同 5.1.4.3。

## 5.2.5 运动受阻

## 5.2.5.1 底事件概率基值

运动受阻底事件概率基值见表 12。

表 12 运动受阻底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
运动件运动受阻	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$

## 5.2.5.2 底事件概率计算公式:

底事件概率计算按公式(8):

$$P = f_1 f_2 f_3 f_4 P_1 \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$f_1, f_2, f_3, f_4$  ——运动件运动受阻底事件概率计算系数。

## 5.2.5.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据配合表面的粗糙度而定,配合表面的粗糙度高的取值大一些;配合表面的粗糙度低的取值小一些。

$f_1$  的取值根据零件配合尺寸长径比而定,零件配合尺寸长径比大于 1.5 取值为 1;零件配合尺寸长径比小于 1.5 取值为 2。

$f_2$  的取值根据相邻材料间相容性而定,相邻材料间相容性好的取值为 1;相邻材料间相容性差的取值为 2。

$f_3$  的取值根据零件是否容易变形而定,零件不容易变形取值为 1;零件容易变形取值为 2。

$f_4$  的取值根据零件配合部位的毛刺是否容易去干净而定,容易去干净的取值为 1;不容易去干净的取值为 2。

## 5.3 安全距离内

## 5.3.1 火工品失效

## 5.3.1.1 底事件概率基值

火工品失效底事件概率基值见表 13。

表 13 火工品失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
电火工品自发火	$5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$
非电火工品自发火	$5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$
延期药延时过短	$5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$

## 5.3.1.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.1.2。

## 5.3.1.3 取值原则

取值原则同 5.1.1.3。

## 5.3.2 零件的保险作用失效

## 5.3.2.1 底事件概率基值

零件的保险作用失效底事件概率基值见表 14。

表 14 零件的保险作用失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
销、栓、轴类零件强度过低、折断	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
环、片类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$

表 14(续)

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
薄筒类零件强度过低	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
簧类零件折断	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
轮系、齿类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$

## 5.3.2.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.2.2。

## 5.3.2.3 取值原则

取值原则同 5.1.2.3。

## 5.3.3 配合失效

## 5.3.3.1 底事件概率基值

配合失效底事件概率基值见表 15。

表 15 配合失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
锁定量过小	$5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
零件脱落	$5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
零件固接松动	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
配合间隙过大、过小	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$

## 5.3.3.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.3.2。

## 5.3.3.3 取值原则

取值原则同 5.1.3.3。

## 5.3.4 弹性元件抗力超差

## 5.3.4.1 底事件概率基值

弹性元件抗力超差底事件概率基值见表 16。

表 16 弹性元件抗力超差底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
弹性元件抗力超差	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$

## 5.3.4.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.4.2。

## 5.3.4.3 取值原则

取值原则同 5.1.4.3。

## 5.3.5 环境失效

## 5.3.5.1 底事件概率基值

环境失效底事件概率基值见表 17。

表 17 环境失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
外部(电磁)干扰	$1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$
内部(电源、线路)干扰	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
弹道上障碍物	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$

## 5.3.5.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(9):

$$P = P_1 \dots\dots\dots (9)$$

## 5.3.5.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据电路设计有无抗干扰而定,电路有抗干扰设计时,失效概率值选小一些;电路没有抗干扰设计时,失效概率值选大一些。

## 5.3.6 其它失效

## 5.3.6.1 底事件概率基值

其它失效底事件概率基值见表 18。

表 18 其它失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
定时电路延时过短	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$
短路接触电阻过大	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
开关 <sup>a</sup> 意外导通	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
<sup>a</sup> 电路中起开关作用的任何元器件。	

## 5.3.6.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式按公式(10):

$$P = P_1 \dots\dots\dots (10)$$

## 5.3.6.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据有无经过环境试验而定,经过环境试验失效概率值选小一些;没有经过环境试验失效概率值选大一些。

## 5.4 作用时期

## 5.4.1 火工品失效

## 5.4.1.1 底事件概率基值

火工品失效底事件概率基值见表 19。

表 19 火工品失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
火工品自发火	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$
火工品作用失效	$2 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-3}$

## 5.4.1.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.1.2。

## 5.4.1.3 取值原则

取值原则同 5.1.1.3。

#### 5.4.2 零件的保险作用失效

##### 5.4.2.1 底事件概率基值

零件的保险作用失效底事件概率基值见表 20。

表 20 零件的保险作用失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
销、栓、轴类零件强度过大、变形、折断	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
环、片类零件变形、折断	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
薄筒类零件强度过大	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$
簧类零件折断	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-5}$
轮系、齿类零件折断	$5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
其它零件变形	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$

##### 5.4.2.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.2.2。

##### 5.4.2.3 取值原则

取值原则同 5.1.2.3。

#### 5.4.3 配合失效

##### 5.4.3.1 底事件概率基值

配合失效底事件概率基值见表 21。

表 21 配合失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
锁定量过小	$5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
定位不可靠	$5 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-5}$
配合间隙过大、过小	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$

##### 5.4.3.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.3.2。

##### 5.4.3.3 取值原则

取值原则同 5.1.3.3。

#### 5.4.4 弹性元件抗力超差

##### 5.4.4.1 底事件概率基值

弹性元件抗力超差底事件概率基值见表 22。

表 22 弹性元件抗力超差底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
弹簧抗力超差	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$

##### 5.4.4.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.4.2。

##### 5.4.4.3 取值原则

取值原则同 5.1.4.3。

#### 5.4.5 环境失效

##### 5.4.5.1 底事件概率基值

环境失效底事件概率基值见表 23。

表 23 环境失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
激励环境过小	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$
弹道环境过大	$5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$

##### 5.4.5.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(11)：

$$P = P_1 \dots\dots\dots (11)$$

##### 5.4.5.3 取值原则

$P_1$  在底事件概率基值内取值,根据目标性质而定,对于坚硬目标概率值取小一些,对于松软目标概率值取大一些;对于弹道环境大的取大一些,对于弹道环境小的取小一些。

#### 5.4.6 运动受阻

##### 5.4.6.1 底事件概率基值

运动受阻底事件概率基值见表 24。

表 24 运动受阻底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
运动件运动受阻	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$

##### 5.4.6.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.2.5.2。

##### 5.4.6.3 取值原则

取值原则同 5.2.5.3。

#### 5.4.7 人因失效

##### 5.4.7.1 底事件概率基值

人因失效底事件概率基值见表 25。

表 25 人因失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_1$ )
错装、重装、漏装	$1 \times 10^{-5} \sim 9 \times 10^{-5}$

##### 5.4.7.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算公式同 5.1.6.2。

##### 5.4.7.3 取值原则

取值原则同 5.1.6.3。

#### 5.4.8 电路失效

电路失效底事件概率按 GJB/Z 299B-98 和 GJB/Z 108-98 进行计算。

#### 5.4.9 其它失效

##### 5.4.9.1 底事件概率基值

其它失效底事件概率基值见表 26。

表 26 其它失效底事件概率基值

失效事件	底事件概率基值( $P_i$ )
通道被堵	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$
电源失效	$1 \times 10^{-5} \sim 9 \times 10^{-5}$

5.4.9.2 底事件概率计算公式

底事件概率计算按公式(12):

$$P = P_i \dots\dots\dots (12)$$

5.4.9.3 取值原则

$P_i$  在底事件概率基值内取值,根据有无经过相关试验而定,做过相关试验概率值取小一些,没做过相关试验概率值取大一些。

6 计算示例

引信安全性和作用可靠性分析计算示例参见附录 A。

## 附录 A

(资料性附录)

## 引信安全性和作用可靠性分析计算示例

## A.1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险失效率计算

## A.1.1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树

在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树见图 A.1。

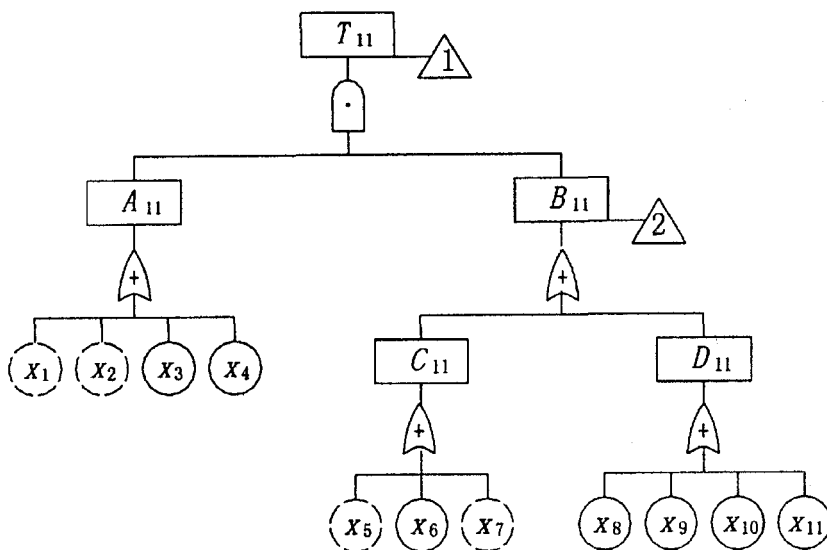
 $T_{11}$ ——在预定的解除保险程序开始前引信解除保险； $A_{11}$ ——离心保险机构失效； $B_{11}$ ——延期离心保险机构失效； $C_{11}$ ——火药保险机构失效； $D_{11}$ ——侧发火机构失效； $x_1$ ——离心销漏装； $x_2$ ——离心销簧漏装； $x_3$ ——离心销簧折断； $x_4$ ——离心销簧抗力过小； $x_5$ ——延期药漏装； $x_6$ ——钢珠卡入量不足； $x_7$ ——钢珠漏装； $x_8$ ——漏装侧击针簧； $x_9$ ——侧火帽自发起； $x_{10}$ ——侧击针簧抗力过小； $x_{11}$ ——侧击针簧折断。

图 A.1 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树

## A.1.2 结构函数

在预定的解除保险程序开始前引信解除保险结构函数见公式(A.1)。

$$T_{11} = A_{11} \cdot B_{11} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \cdot (C_{11} + D_{11})$$

$$\begin{aligned}
 &= (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \cdot (x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11}) \\
 &= x_1 \cdot x_5 + x_1 \cdot x_6 + x_1 \cdot x_7 + x_1 \cdot x_8 + x_1 \cdot x_9 + x_1 \cdot x_{10} + x_1 \cdot x_{11} + x_2 \cdot x_5 + x_2 \cdot x_6 + \\
 &x_2 \cdot x_7 + x_2 \cdot x_8 + x_2 \cdot x_9 + x_2 \cdot x_{10} + x_2 \cdot x_{11} + x_3 \cdot x_5 + x_3 \cdot x_6 + x_3 \cdot x_7 + \\
 &x_3 \cdot x_8 + x_3 \cdot x_9 + x_3 \cdot x_{10} + x_3 \cdot x_{11} + x_4 \cdot x_5 + x_4 \cdot x_6 + x_4 \cdot x_7 + x_4 \cdot x_8 + \\
 &x_4 \cdot x_9 + x_4 \cdot x_{10} + x_4 \cdot x_{11} \dots\dots\dots (A.1)
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.1。

**A.1.3 底事件概率值**

在预定的解除保险程序开始前引信解除保险故障树底事件概率值计算如下：

按 5.1.6 计算  $x_1$  的概率  $P(x_1)$ ：

由于离心销装配时进行 100% 检验，所以  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ；

$$P(x_1) = P_1 = 2 \times 10^{-5}$$

按 5.1.6 计算  $x_2$  的概率  $P(x_2)$ ：

由于离心销簧装配时进行 100% 检验，所以  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ；

$$P(x_2) = P_1 = 2 \times 10^{-5}$$

按 5.1.2 计算  $x_3$  的概率  $P(x_3)$ ：

由于离心子质量并不是由离心簧承受且质量较小，所以： $P_1$  取  $2 \times 10^{-6}$ ；

由于离心簧处在压缩状态，所以： $b_1$  取 2；

离心簧经过应力筛选，所以： $b_2$  取 1；

离心簧经过环境试验，所以： $b_3$  取 1；

离心簧未经过氰化物处理，所以： $b_4$  取 3；

离心簧被列为关键件，所以： $b_5$  取 1；

$$\begin{aligned}
 P(x_3) &= b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 \\
 &= 1.2 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

按 5.1.4 计算  $x_4$  的概率  $P(x_4)$ ：

由于离心簧预压量较小，所以： $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ；

由于离心簧未经过氰化物处理，所以： $d_1$  取 3；

由于离心簧被列为关键件，所以： $d_2$  取 1；

$$\begin{aligned}
 P(x_4) &= d_1 \cdot d_2 \cdot P_1 \\
 &= 6 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

按 5.1.6 计算  $x_5$  的概率  $P(x_5)$ ：

由于延期药装配时进行 100% 检验，所以： $P_1$  取  $1 \times 10^{-5}$ ；

$$P(x_5) = P_1 = 1 \times 10^{-5}$$

按 5.1.3 计算  $x_6$  的概率  $P(x_6)$ ：

由于采用的是成熟技术，所以： $P_1$  取  $8 \times 10^{-7}$ ；

由于未经过环境试验，所以： $c_1$  取 3；

$$\begin{aligned}
 P(x_6) &= c_1 \cdot P_1 \\
 &= 2.4 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

按 5.1.6 计算  $x_7$  的概率  $P(x_7)$ ：

由于钢珠装配时进行 100% 检验，所以  $P_1$  取  $1 \times 10^{-5}$

$$P(x_7) = P_1 = 1 \times 10^{-5}$$

按 5.1.6 计算  $x_8$  的概率  $P(x_8)$  :

由于侧击针簧装配时进行 100% 检验, 所以  $P_1$  取  $1 \times 10^{-5}$

$$P(x_8) = P_1 = 1 \times 10^{-5}$$

按 5.1.1 计算  $x_9$  的概率  $P(x_9)$  :

由侧火帽的感度选取,  $P_1$  取  $10^{-5}$  ;

由于做了相应的环境试验,  $d_1$  取 1 ;

由于侧火帽的安装方式为活动的, 所以:  $d_2$  取 2 ;

$$\begin{aligned} P(x_9) &= d_1 \cdot d_2 \cdot P_1 \\ &= 2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

按 5.1.4 计算  $x_{10}$  的概率  $P(x_{10})$  ;

由于侧击针簧预压量较小, 所以:  $P_1$  取  $6 \times 10^{-6}$  ;

由于侧击针簧经过氰化物处理, 所以:  $a_1$  取 1 ;

由于侧击针簧被列为关键件, 所以:  $a_2$  取 1 ;

$$\begin{aligned} P(x_{10}) &= a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 \\ &= 6 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

按 5.1.2 计算  $x_{11}$  的概率  $P(x_{11})$  ;

侧击针质量并不是由侧击针簧承受且质量较小, 所以:  $P_1$  取  $1 \times 10^{-6}$  ;

由于侧击针簧处在压缩状态, 所以:  $b_1$  取 2 ;

侧击针簧经过应力筛选, 所以:  $b_2$  取 1 ;

侧击针簧经过环境试验, 所以:  $b_3$  取 1 ;

侧击针簧经过氰化物处理, 所以:  $b_4$  取 1 ;

侧击针簧被列为关、重件, 所以:  $b_5$  取 1 ;

$$\begin{aligned} P(x_{11}) &= b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 \\ &= 2 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

#### A.1.4 顶事件概率值

顶事件概率值即在预定的解除保险程序开始前引信解除保险的概率, 根据结构函数式(A.1), 采用首项近似公式计算如下:

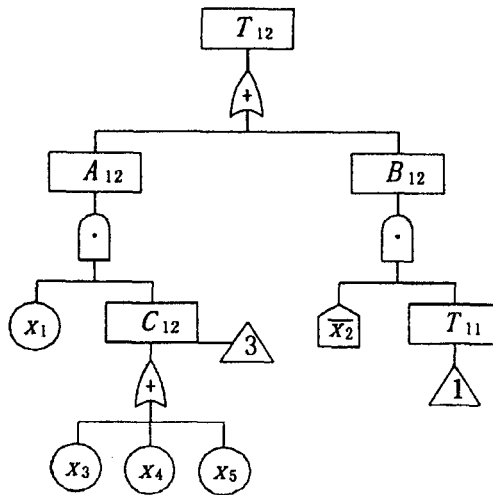
$$\begin{aligned} P(T_{11}) &= P(x_1) \cdot P(x_5) + P(x_1) \cdot P(x_6) + P(x_1) \cdot P(x_7) + P(x_1) \cdot P(x_8) \\ &\quad + P(x_1) \cdot P(x_9) + P(x_1) \cdot P(x_{10}) + P(x_1) \cdot P(x_{11}) + P(x_2) \cdot P(x_5) \\ &\quad + P(x_2) \cdot P(x_6) + P(x_2) \cdot P(x_7) + P(x_2) \cdot P(x_8) + P(x_2) \cdot P(x_9) \\ &\quad + P(x_2) \cdot P(x_{10}) + P(x_2) \cdot P(x_{11}) + P(x_3) \cdot P(x_5) + P(x_3) \cdot P(x_6) \\ &\quad + P(x_3) \cdot P(x_7) + P(x_3) \cdot P(x_8) + P(x_3) \cdot P(x_9) + P(x_3) \cdot P(x_{10}) \\ &\quad + P(x_3) \cdot P(x_{11}) + P(x_4) \cdot P(x_5) + P(x_4) \cdot P(x_6) + P(x_4) \cdot P(x_7) \\ &\quad + P(x_4) \cdot P(x_8) + P(x_4) \cdot P(x_9) + P(x_4) \cdot P(x_{10}) + P(x_4) \cdot P(x_{11}) \\ &= 2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \cdot 2.4 \times 10^{-6} + 2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \cdot 6 \times 10^{-6} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-6} + 2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \cdot 2.4 \times 10^{-6} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-5} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} \cdot 6 \times 10^{-6} + 2 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-6} + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 6 \times 10^{-6} \\ &\quad + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 2.4 \times 10^{-6} + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} \\ &\quad + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-5} + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 6 \times 10^{-6} + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 6 \times 10^{-5} \cdot 6 \times 10^{-6} + 6 \times 10^{-5} \cdot 2.4 \times 10^{-6} + 6 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} \\
 &+ 6 \times 10^{-5} \cdot 1 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-5} \cdot 6 \times 10^{-6} \\
 &+ 6 \times 10^{-5} \cdot 2 \times 10^{-6} \\
 &= 5.32 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

A.2 在预定的解除保险程序开始前引信作用失效率计算

A.2.1 在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树

在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树见图 A.2。



- $T_{12}$ — 在预定的解除保险程序开始前引信作用；
- $A_{12}$ — 雷管自炸导致引信炸；
- $B_{12}$ — 雷管被引炸导致引信炸；
- $C_{12}$ — 回转体隔爆机构原发性失效；
- $T_{11}$ — 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险；
- $x_1$ — 雷管自炸；
- $\bar{x}_2$ — 击针运动不受阻；
- $x_3$ — 隔爆件材料有缺陷；
- $x_4$ — 隔爆件材料强度过低；
- $x_5$ — 隔爆距离小。

图 A.2 在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树

A.2.2 结构函数

在预定的解除保险程序开始前引信作用结构函数见公式(A.2)。

$$\begin{aligned}
 T_{12} &= A_{12} + B_{12} = x_1 \cdot C_{12} + \bar{x}_2 \cdot T_{11} = x_1 \cdot (x_3 + x_4 + x_5) + \bar{x}_2 \cdot T_{11} \dots\dots\dots (A.2) \\
 &= x_1 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_5 + \bar{x}_2 \cdot T_{11}
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.2。

A.2.3 底事件概率值

在预定的解除保险程序开始前引信作用故障树底事件概率值计算如下：

$T_{11}$  在预定的解除保险程序开始前引信解除保险,  $P(T_{11}) = 5.32 \times 10^{-9}$

按 5.1.1 计算  $x_1$  的概率  $P(x_1)$ ：

由雷管的感度选取,  $P_1$  取  $9 \times 10^{-5}$ ；

由于做了相应的环境试验,  $a_1$  取 1；

由于雷管的安装方式为固定的,  $a_2$  取 1;

$$\begin{aligned} P(x_1) &= a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 \\ &= 9 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$\overline{x_2}$  击针运动不受阻,  $P(\overline{x_2}) = 1$

按 5.1.7 计算  $x_3$  的概率  $P(x_3)$  :

由于采用成熟技术, 所以,  $P_1$  取  $1 \times 10^{-4}$  ;

由于隔爆结构中有泄爆空间, 所以,  $e_1$  取 1;

由于隔爆介质为单介质, 所以,  $e_2$  取 2;

由于经过充分试验, 所以,  $e_3$  取 1;

$$\begin{aligned} P(x_3) &= e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot P_1 \\ &= 2 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

按 5.1.7 计算  $x_4$  的概率  $P(x_4)$  :

由于采用成熟技术, 所以,  $P_1$  取  $5 \times 10^{-5}$  ;

由于隔爆结构中有泄爆空间, 所以,  $e_1$  取 1;

由于隔爆介质为单介质, 所以,  $e_2$  取 2;

由于经过充分试验, 所以,  $e_3$  取 1;

$$\begin{aligned} P(x_4) &= e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot P_1 \\ &= 1 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

按 5.1.7 计算  $x_5$  的概率  $P(x_5)$  :

由于采用成熟技术, 所以,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-4}$  ;

由于隔爆件中有泄爆孔, 所以,  $e_1$  取 1;

由于隔爆介质为单介质, 所以,  $e_2$  取 2;

由于经过充分试验, 所以,  $e_3$  取 1;

$$\begin{aligned} P(x_5) &= e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot P_1 \\ &= 4 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

#### A.2.4 顶事件发生的概率值

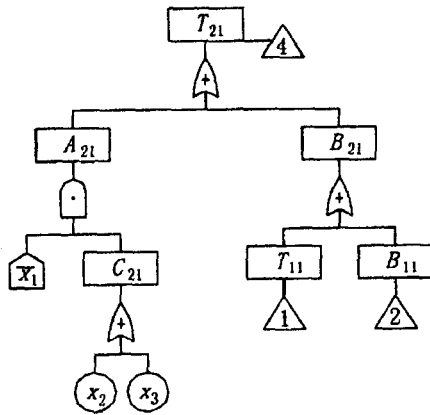
顶事件发生的概率值即在预定的解除保险程序开始前引信作用的概率根据结构函数式(A.2)采用首项近似公式计算如下:

$$\begin{aligned} P(T_{12}) &= P(x_1) \cdot P(x_3) + P(x_1) \cdot P(x_4) + P(x_1) \cdot P(x_5) + P(\overline{x_2}) \cdot P(T_{11}) \\ &= 9 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-5} \times 1 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-5} \times 4 \times 10^{-5} + 1 \times 5.32 \times 10^{-9} \\ &= 6.83 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

### A.3 出炮口前引信解除保险失效率计算

#### A.3.1 出炮口前引信解除保险故障树

出炮口前引信解除保险故障树见图 A.3。



- T<sub>21</sub>— 出炮口前引信解除保险;
- A<sub>21</sub>— 出炮口前保险机构解除保险;
- B<sub>21</sub>— 在预定的解除保险程序开始前保险机构解除保险;
- C<sub>21</sub>— 出炮口前火药保险机构解除保险;
- T<sub>11</sub>— 在预定的解除保险程序开始前引信解除保险;
- B<sub>11</sub>— 延期保险机构在预定的解除保险程序开始前失效;
- $\overline{x_1}$ — 离心保险解除;
- x<sub>2</sub>— 延期药燃烧过快;
- x<sub>3</sub>— 保险钢珠卡入量不足。

图 A.3 出炮口前引信解除保险故障树

A.3.2 结构函数

出炮口前引信解除保险结构函数见公式(A.3)。

$$\begin{aligned}
 T_{21} &= A_{21} + B_{21} = \overline{x_1} \cdot C_{21} + (T_{11} + B_{11}) \\
 &= \overline{x_1} \cdot (x_2 + x_3) + A_{11} \cdot B_{11} + B_{11} \\
 &= \overline{x_1} \cdot (x_2 + x_3) + B_{11} \\
 &= \overline{x_1} \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot x_3 + B_{11} \dots\dots\dots (A.3)
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.3。

A.3.3 底事件概率值

出炮口前引信解除保险的底事件概率计算如下:

$\overline{x_1}$  离心保险解除,  $P(\overline{x_1}) = 1$

按 5.2.1 计算 x<sub>2</sub> 的概率 P(x<sub>2</sub>):

根据火工品的感度, P<sub>1</sub> 取 1 × 10<sup>-5</sup>;

由于做了相应的环境试验, 所以, a<sub>1</sub> 取 1;

由于火工品的装配形式为固定的, 所以, a<sub>2</sub> 取 1;

$$P(x_2) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 1 \times 10^{-5}$$

按 5.2.3 计算 x<sub>3</sub> 的概率 P(x<sub>3</sub>):

由于采用了成熟技术, 所以: P<sub>1</sub> 取 2 × 10<sup>-6</sup>;

经过环境试验, 所以: c<sub>1</sub> 取 1;

$$\begin{aligned}
 P(x_3) &= c_1 \cdot P_1 \\
 &= 2 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

$B_{11}$  延期保险机构在预定的解除保险程序开始前失效,  $P(B_{11}) = 7.6 \times 10^{-5}$

**A.3.4 顶事件发生的概率值**

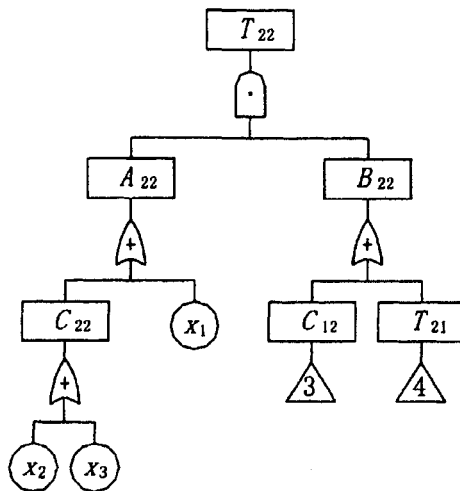
顶事件发生的概率值即出炮口前引信解除保险的概率根据结构函数式(A.3)采用首项近似公式计算如下:

$$\begin{aligned}
 P(T_{21}) &= P(\bar{x}_1) \cdot P(x_2) + P(\bar{x}_1) \cdot P(x_3) + P(B_{11}) \\
 &= 1 \times 10^{-5} + 1 \times 2 \times 10^{-6} + 7.6 \times 10^{-5} \\
 &= 8.8 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

**A.4 出炮口前引信作用失效率计算**

**A.4.1 出炮口前引信作用故障树**

出炮口前引信作用故障树见图 A.4。



- $T_{22}$ — 出炮口前引信作用;
- $A_{22}$ — 雷管炸;
- $B_{22}$ — (出炮口前) 安全系统失效;
- $C_{22}$ — 雷管被引炸;
- $T_{21}$ — 出炮口前引信解除保险;
- $C_{12}$ — 回转体隔爆机构原发性失效;
- $x_1$ — 雷管自炸;
- $x_2$ — 自炸簧抗力过大;
- $x_3$ — 导套强度不足。

图 A.4 出炮口前引信作用故障树

**A.4.2 结构函数**

出炮口前引信作用结构函数见公式(A.4)。

$$\begin{aligned}
 T_{22} &= A_{22} \cdot B_{22} \\
 &= (C_{22} + x_1) \cdot (C_{12} + T_{21}) \\
 &= (x_1 + x_2 + x_3) \cdot (C_{12} + T_{21}) \\
 &= x_1 \cdot C_{12} + x_2 \cdot C_{12} + x_3 \cdot C_{12} + x_1 \cdot T_{21} + x_2 \cdot T_{21} + x_3 \cdot T_{21} \dots\dots\dots (A.4)
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.4。

**A.4.3 底事件概率值**

出炮口前引信作用故障树底事件概率计算如下:

按 5.2.1 计算  $x_1$  的概率  $P(x_1)$  :

由雷管的感度选取,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-4}$  ;

由于做了相应的环境试验,  $a_1$  取 1 ;

由于雷管的安装方式为固定的, 所以:  $a_2$  取 1 ;

$$\begin{aligned} P(x_1) &= a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 \\ &= 2 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

按 5.2.4 计算  $x_2$  的概率  $P(x_2)$  :

自炸簧有一定预压量, 所以:  $P_1$  取  $5 \times 10^{-5}$  ;

经过氰化物处理, 所以:  $d_1$  取 1 ;

自炸簧被列为关键件, 所以:  $d_2$  取 1 ;

$$\begin{aligned} P(x_2) &= d_1 \cdot d_2 \cdot P_1 \\ &= 5 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

按 5.2.2 计算  $x_3$  的概率  $P(x_3)$  :

被保险件质量较小, 所以:  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$  ;

由于导套装配状态受力, 所以:  $b_1$  取 2 ;

导套经过应力筛选, 所以:  $b_2$  取 1 ;

导套经过环境试验, 所以:  $b_3$  取 1 ;

导套经过氰化物处理, 所以:  $b_4$  取 1 ;

导套被列为关键件, 所以:  $b_5$  取 1 ;

$$\begin{aligned} P(x_3) &= b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 \\ &= 4 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$T_{21}$  出炮口前引信解除保险  $P(T_{21}) = 8.8 \times 10^{-5}$

$C_{12}$  回转体隔爆机构原发性失效,  $P(C_{12}) = 6 \times 10^{-4}$

#### A.4.4 顶事件发生的概率值

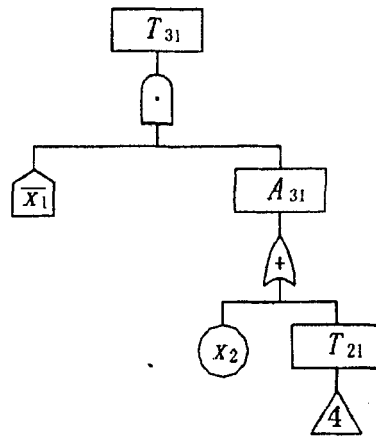
顶事件发生的概率值即出炮口前引信作用的概率根据结构函数式(A.4)采用首项近似公式计算如下:

$$\begin{aligned} P(T_{22}) &= P(x_1) \cdot P(C_{12}) + P(x_2) \cdot P(C_{12}) + P(x_3) \cdot P(C_{12}) \\ &\quad + P(x_1) \cdot P(T_{21}) + P(x_2) \cdot P(T_{21}) + P(x_3) \cdot P(T_{21}) \\ &= 2 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-5} \times 6 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-5} \times 6 \times 10^{-4} \\ &\quad + 2 \times 10^{-4} \times 8.8 \times 10^{-5} + 5 \times 10^{-5} \times 8.8 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5} \times 8.8 \times 10^{-5} \\ &= 2.00 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

#### A.5 安全距离内引信解除保险失效率计算

##### A.5.1 安全距离内引信解除保险故障树

安全距离内引信解除保险故障树见图 A.5。



- $T_{31}$ —安全距离内引信解除保险；  
 $A_{31}$ —延期保险机构失效；  
 $T_{21}$ —出炮口前引信解除保险；  
 $\overline{x_1}$ —离心保险机构解除保险；  
 $x_2$ —延期药延时过短。

图 A.5 安全距离内引信解除保险故障树

### A.5.2 结构函数

安全距离内引信解除保险结构函数见公式(A.5)。

$$\begin{aligned}
 T_{31} &= \overline{x_1} \cdot A_{31} \\
 &= \overline{x_1} \cdot (x_2 + T_{21}) \\
 &= \overline{x_1} \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot T_{21} \dots\dots\dots (A.5)
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.5。

### A.5.3 底事件概率值

安全距离内引信解除保险故障树底事件概率计算如下：

$\overline{x_1}$  离心保险机构解除保险,  $P(\overline{x_1}) = 1$ ；

按 5.3.1 计算  $x_2$  的概率  $P(x_2)$ ：

由于延期药延期不足, 所以:  $P(x_2) = 5 \times 10^{-5}$ ；

$T_{21}$  出炮口前引信解除保险,  $P(T_{21}) = 8.8 \times 10^{-5}$ 。

### A.5.4 顶事件发生的概率值

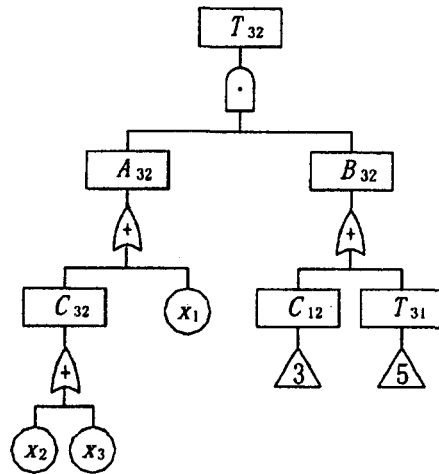
顶事件发生的概率值即安全距离内引信解除保险的概率根据结构函数式(A.5)采用首项近似公式计算如下：

$$\begin{aligned}
 P(T_{31}) &= P(\overline{x_1}) \cdot P(x_2) + P(\overline{x_1}) \cdot P(T_{21}) \\
 &= 1 \times 5 \times 10^{-5} + 1 \times 8.8 \times 10^{-5} \\
 &= 1.38 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

## A.6 安全距离内引信作用失效率计算

### A.6.1 安全距离内引信作用故障树

安全距离内引信作用故障树见图 A.6。



- $T_{32}$ —安全距离内引信作用；
- $A_{32}$ —雷管炸；
- $B_{32}$ —安全系统失效；
- $C_{32}$ —雷管被引炸；
- $T_{31}$ —安全距离内引信解除保险；
- $C_{12}$ —安全系统原发性失效；
- $x_1$ —雷管自炸；
- $x_2$ —碰障碍物；
- $x_3$ —自炸簧抗力过大。

图 A.6 安全距离内引信作用故障树

A.6.2 结构函数

安全距离内引信作用结构函数见公式(A.6)。

$$\begin{aligned}
 T_{32} &= A_{32} \cdot B_{32} \\
 &= (C_{32} + x_1) \cdot (C_{12} + T_{31}) \\
 &= (x_1 + x_2 + x_3) \cdot (C_{12} + T_{31}) \\
 &= x_1 \cdot C_{12} + x_2 \cdot C_{12} + x_3 \cdot C_{12} + x_1 \cdot T_{31} + x_2 \cdot T_{31} + x_3 \cdot T_{31} \dots\dots\dots (A.6)
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.6。

A.6.3 底事件概率值

安全距离内引信作用故障树底事件计算如下：

- 按 5.3.1 计算  $x_1$  的概率  $P(x_1)$ ：
- 由雷管的感度选取， $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ；
- 由于做了相应的环境试验， $a_1$  取 1；
- 由于雷管的安装方式为固定的，所以： $a_2$  取 1；

$$\begin{aligned}
 P(x_1) &= a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 \\
 &= 2 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

- 按 5.3.5 计算  $x_2$  的概率  $P(x_2)$ ， $P(x_2)$  取  $5 \times 10^{-5}$ ；
- 按 5.3.4 计算  $x_3$  的概率  $P(x_3)$ ：
- 自炸簧有一定的预压量，所以： $P_1$  取  $5 \times 10^{-5}$ ；
- 经过氰化物处理，所以： $d_1$  取 3；

自炸簧被列为关键件,所以:  $d_2$  取 1;

$$P(x_3) = d_1 \cdot d_2 \cdot P_1 = 1.5 \times 10^{-4}$$

$T_{31}$  安全距离内引信解除保险,  $P(T_{31}) = 1.38 \times 10^{-4}$

$C_{12}$  回转体隔爆机构原发性失效,  $P(C_{12}) = 6 \times 10^{-4}$

#### A.6.4 顶事件发生的概率值

顶事件发生的概率值即安全距离内引信作用的概率根据结构函数式 A.6 采用首项近似公式计算如下:

$$\begin{aligned} P(T_{32}) &= P(x_1) \cdot P(C_{12}) + P(x_2) \cdot P(C_{12}) + P(x_3) \cdot P(C_{12}) \\ &\quad + P(x_1) \cdot P(T_{31}) + P(x_2) \cdot P(T_{31}) + P(x_3) \cdot P(T_{31}) \\ &= 2 \times 10^{-5} \times 6 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-5} \times 6 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-4} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} \times 1.38 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-5} \times 1.38 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-4} \times 1.38 \times 10^{-4} \\ &= 4.94 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

#### A.7 引信作用失效率计算

##### A.7.1 引信作用失效故障树

引信作用失效故障树见图 A.7。

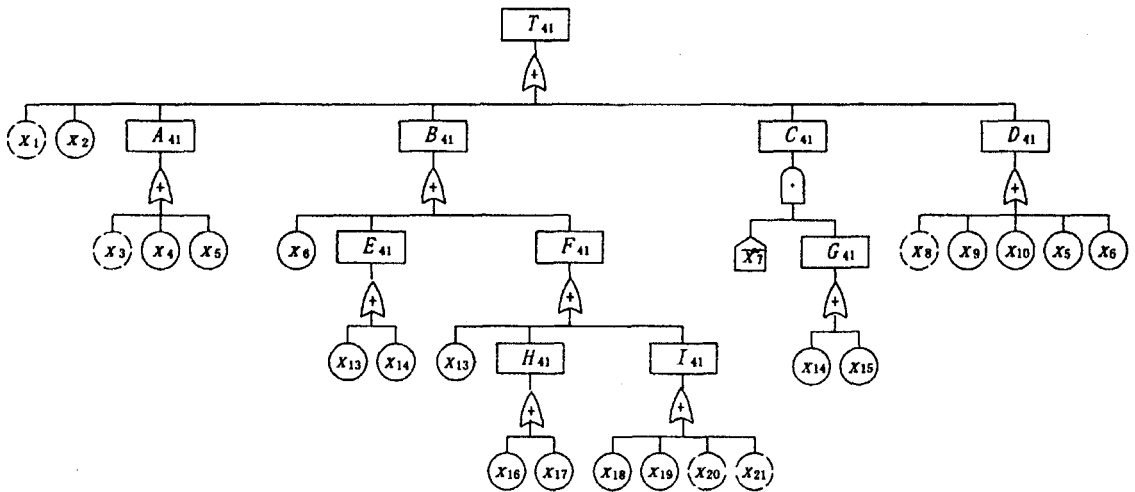


图 A.7 引信作用失效故障树

- $T_{41}$ — 引信瞎火;
- $A_{41}$ — 雷管未被引炸;
- $B_{41}$ — 引信未解除隔爆;
- $C_{41}$ — 引信解除隔爆前雷管炸;
- $D_{41}$ — 引信未自炸;
- $E_{41}$ — 离心保险机构未解除保险;
- $F_{41}$ — 延期保险机构未解除保险;
- $G_{41}$ — 雷管自炸;
- $H_{41}$ — 延期药柱失效;
- $I_{41}$ — 侧发火机构未发火;
- $x_1$ — 雷管漏装;

- $x_2$ —雷管瞎火;
- $x_3$ —雷管反装;
- $x_4$ —击针折断;
- $x_5$ —击针变形或头部太钝;
- $x_6$ —回转体运动受阻;
- $\overline{x_7}$ —隔爆机构正常隔爆;
- $x_8$ —自炸簧漏装;
- $x_9$ —自炸簧抗力过小;
- $x_{10}$ —自炸簧折断;
- $x_{11}$ —离心保险簧抗力过大;
- $x_{12}$ —离心销运动受阻;
- $x_{13}$ —保险钢珠运动受阻;
- $x_{14}$ —在预定的解除保险程序开始前雷管自炸;
- $x_{15}$ —出炮口前雷管自炸;
- $x_{16}$ —延期药柱未燃烧;
- $x_{17}$ —延期药柱中途熄灭;
- $x_{18}$ —侧击针变形或太钝;
- $x_{19}$ —火帽瞎火;
- $x_{20}$ —漏装火帽;
- $x_{21}$ —漏装侧击针。

**A.7.2 结构函数**

引信作用失效结构函数见公式(A.7)。

$$\begin{aligned}
 T_{41} &= x_1 + x_2 + A_{41} + B_{41} + C_{41} + D_{41} \\
 &= x_1 + x_2 + (x_3 + x_4 + x_5) + (x_6 + E_{41} + F_{41}) + \overline{x_7} \cdot G_{41} + (x_8 + x_9 + x_{10} + x_5 + x_6) \\
 &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + (x_{11} + x_{12}) + (x_{13} + H_{41} + I_{41}) \\
 &\quad + \overline{x_7} \cdot (x_{14} + x_{15}) + x_8 + x_9 + x_{10} + x_5 + x_6 \\
 &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} \\
 &\quad + \overline{x_7} \cdot (x_{14} + x_{15}) + x_8 + x_9 + x_{10} + x_5 + x_6 \\
 &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{16} + x_{17} + x_{18} \\
 &\quad + x_{19} + x_{20} + x_{21} + \overline{x_7} \cdot x_{14} + \overline{x_7} \cdot x_{15} \dots\dots\dots (A.7)
 \end{aligned}$$

式中符号同图 A.7。

**A.7.3 底事件概率**

引信作用失效故障树底事件概率计算如下:

按 5.4.8 计算  $x_1$  的概率  $P(x_1)$  :  
 由于雷管进行 100% 检验,  $P_1$  取  $5 \times 10^{-5}$  ,  
 $P(x_1) = P_1 = 5 \times 10^{-5}$  ;

按 5.4.2 计算  $x_2$  的概率  $P(x_2)$  :  
 由雷管感度可取  $P_1 = 4 \times 10^{-3}$  ;  
 由于做了环境试验, 取  $a_1 = 1$  ;  
 由于雷管的装配形式为固定的, 所以,  $a_2$  取 1 ;

$$P(x_2) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 4 \times 10^{-3} ;$$

按 5.4.8 计算  $x_3$  的概率  $P(x_3)$  :

由于进行 100% 检验,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ,

$$P(x_3) = P_1 = 2 \times 10^{-5};$$

按 5.4.2 计算  $x_4$  的概率  $P(x_4)$ :

由于被保险件质量不大,  $P_1$  取  $5 \times 10^{-6}$ ;

击针装配状态不受力, 取  $b_1 = 1$ ;

经过应力筛选, 取  $b_2 = 1$ ;

经过环境试验, 取  $b_3 = 1$ ;

经过氰化物处理, 取  $b_4 = 1$ ;

被列为关键件, 取  $b_5 = 1$ ;

$$P(x_4) = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 = 5 \times 10^{-6};$$

按 5.4.2 计算  $x_5$  的概率  $P(x_5)$ :

由于被保险件质量不大,  $P_1$  取  $3 \times 10^{-5}$ ;

击针装配状态不受力, 取  $b_1 = 1$ ;

经过应力筛选, 取  $b_2 = 1$ ;

经过环境试验, 取  $b_3 = 1$ ;

经过氰化物处理, 取  $b_4 = 1$ ;

被列为关键件, 取  $b_5 = 1$ ;

$$P(x_5) = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 = 3 \times 10^{-5};$$

按 5.4.6 计算  $x_6$  的概率  $P(x_6)$ :

由于配合表面粗糙度高,  $P_1$  取  $6 \times 10^{-5}$ ;

由回转体长径比决定, 取  $f_1 = 1$ ;

由于相邻材料相容性好, 取  $f_2 = 1$ ;

由于零件不容易变形, 取  $f_3 = 1$ ;

由于毛刺容易去干净, 取  $f_4 = 1$ ;

$$P(x_6) = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot P_1 = 6 \times 10^{-5};$$

$\overline{x_7}$  隔爆机构正常隔爆,  $P(\overline{x_7}) = 1$ ;

按 5.4.7 计算  $x_8$  的概率  $P(x_8)$ :

由于自炸簧进行 100% 检验,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ,

$$P(x_8) = 2 \times 10^{-5};$$

按 5.4.4 计算  $x_9$  的概率  $P(x_9)$ :

由于离心保险簧预压量小,  $P_1$  取  $1 \times 10^{-4}$ ;

有氰化物处理工艺, 取  $d_1 = 1$ ;

被列为关键件, 取  $d_2 = 1$ ;

$$P(x_9) = d_1 \cdot d_2 \cdot P_1 = 1 \times 10^{-4}$$

按 5.4.2 计算  $x_{10}$  的概率  $P(x_{10})$ :

由于被保险件质量不大,  $P_1$  取  $4 \times 10^{-6}$ ;

自炸簧装配状态受力, 取  $b_1 = 2$ ;

经过应力筛选, 取  $b_2 = 1$ ;

经过环境试验, 取  $b_3 = 1$ ;

有氰化物处理工艺, 取  $b_4 = 1$ ;

被列为关键件,取  $b_5 = 1$ ;

$$P(x_{10}) = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 = 8 \times 10^{-6};$$

按 5.4.4 计算  $x_{11}$  的概率  $P(x_{11})$ :

由于离心保险簧预压量小,  $P_1$  取  $1 \times 10^{-4}$ ;

有氰化物处理工艺,取  $d_1 = 1$ ;

被列为关键件,取  $d_2 = 1$ ;

$$P(x_{11}) = d_1 \cdot d_2 \cdot P_1 = 1 \times 10^{-4}$$

按 5.4.6 计算  $x_{12}$  的概率  $P(x_{12})$ :

由于配合表面粗糙度高,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ;

由离心销长径比决定,取  $f_1 = 1$ ;

由于相邻材料相容性好,取  $f_2 = 1$ ;

由于零件不容易变形,取  $f_3 = 1$ ;

由于毛刺容易去干净,取  $f_4 = 1$ ;

$$P(x_{12}) = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot P_1 = 2 \times 10^{-5};$$

按 5.4.6 计算  $x_{13}$  的概率  $P(x_{13})$ :

由于配合表面粗糙度高,  $P_1$  取  $1 \times 10^{-5}$ ;

由保险钢珠长径比决定,取  $f_1 = 1$ ;

相邻材料相容性好,取  $f_2 = 1$ ;

零件不容易变形,取  $f_3 = 1$ ;

没有毛刺,取  $f_4 = 1$ ;

$$P(x_{13}) = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot P_1 = 1 \times 10^{-5};$$

按 5.1.1 计算  $x_{14}$  的概率  $P(x_{14})$ :

由雷管的感度选取,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ;

由于做了相应的环境试验,  $a_1$  取 1;

由于雷管的装配方式为固定的,  $a_2$  取 1;

$$P(x_{14}) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 2 \times 10^{-5};$$

按 5.2.1 计算  $x_{15}$  的概率  $P(x_{15})$ :

由雷管的感度选取,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$ ;

由于做了相应的环境试验,  $a_1$  取 1;

由于雷管的装配方式为固定的,  $a_2$  取 1;

$$P(x_{15}) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 2 \times 10^{-5};$$

按 5.4.1 计算  $x_{16}$  的概率  $P(x_{16})$ :

由延期药柱感度,可取  $P_1 = 3 \times 10^{-3}$ ;

由于做了环境试验,取  $a_1 = 1$ ;

由于延期药柱的装配形式为固定,所以,取  $a_2 = 1$ ;

$$P(x_{16}) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 3 \times 10^{-3};$$

按 5.4.1 计算  $x_{17}$  的概率  $P(x_{17})$ :

由延期药柱感度,可取  $P_1 = 3 \times 10^{-3}$ ;

由于做了环境试验,取  $a_1 = 1$ ;

由于延期药柱的装配形式为固定,所以,取  $a_2 = 1$ ;

$$P(x_{17}) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 3 \times 10^{-3};$$

按 5.4.2 计算  $x_{18}$  的概率  $P(x_{18})$ :

由于被保险件质量,  $P_1$  取  $1 \times 10^{-5}$ ;

侧击针装配状态不受力, 取  $b_1 = 1$ ;

经过应力筛选, 取  $b_2 = 1$ ;

经过环境试验, 取  $b_3 = 1$ ;

经过氰化物处理, 取  $b_4 = 1$ ;

被列为关键件, 取  $b_5 = 1$ ;

$$P(x_{18}) = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_4 \cdot b_5 \cdot P_1 = 1 \times 10^{-5};$$

按 5.4.1 计算  $x_{19}$  的概率  $P(x_{19})$ ;

由火帽感度, 可取  $P_1 = 3 \times 10^{-3}$ ;

由于做了环境试验, 取  $a_1 = 1$ ;

由于延期药柱的装配形式为固定, 所以, 取  $a_2 = 1$ ;

$$P(x_{19}) = a_1 \cdot a_2 \cdot P_1 = 3 \times 10^{-3};$$

按 5.4.7 计算  $x_{20}$  的概率  $P(x_{20})$ ;

由于火帽进行 100% 检验,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$

$$P(x_{20}) = P_1 = 2 \times 10^{-5};$$

按 5.4.7 计算  $x_{21}$  的概率  $P(x_{21})$ ;

由于侧击针进行 100% 检验,  $P_1$  取  $2 \times 10^{-5}$

$$P(x_{21}) = P_1 = 2 \times 10^{-5};$$

#### A.7.4 顶事件发生的概率值

顶事件发生的概率值即引信作用失效的概率根据结构函数式(A.7)采用首项近似公式计算如下:

$$\begin{aligned} P(T_{41}) &= P(x_1) + P(x_2) + P(x_3) + P(x_4) + P(x_5) + P(x_6) + P(x_8) + P(x_9) \\ &\quad + P(x_{10}) + P(x_{11}) + P(x_{12}) + P(x_{13}) + P(x_{16}) + P(x_{17}) + P(x_{18}) \\ &\quad + P(x_{19}) + P(x_{20}) + P(x_{21}) + P(\overline{x_7}) \cdot P(x_{14}) + P(\overline{x_7}) \cdot P(x_{15}) \\ &= 5 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-5} + 5 \times 10^{-6} + 3 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-5} \\ &\quad + 8 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-5} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} + 3 \times 10^{-3} + 3 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-5} + 3 \times 10^{-3} \\ &\quad + 2 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-5} + 1 \times 2 \times 10^{-5} + 1 \times 4 \times 10^{-3} \\ &= 1.35 \times 10^{-2} \end{aligned}$$