

文章编号: 1006-9941(2006)02-0144-03

雷管可靠性试验环境系数的确定方法研究

赵 婉, 温玉全, 王 玮

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 借鉴机电类产品进行强化试验确定环境因子的方法, 提出了雷管可靠性评估环境系数的概念, 阐述了确定方法。通过对 51A、76A 两种针刺雷管升降法试验, 验证了该方法的正确性和可行性, 得出雷管环境系数与工作刺激量有关和低温环境明显降低雷管发火可靠度的结论, 为雷管小样本可靠性评估提供了一种新方法。

关键词: 应用统计学; 雷管; 环境系数; 刺激量; 可靠性评估

中图分类号: TJ450.2; O29

文献标识码: A

1 引 言

目前, 在雷管可靠性评估中较为常用的试验方法为 GJB376-87 雷管可靠性评估方法和 GJB/Z377A-94 感度试验用数理统计方法。前者试验样本量大, 后者需要外推确定雷管的可靠度, 偏差较大。这两种方法均没有考虑环境对雷管可靠性的影响, 因此从正常环境条件下雷管的可靠度无法推出低温或其它环境条件下的可靠度。在雷管对环境适应性试验中, 经常要进行高温、低温、震动后锤击试验、温度冲击试验等, 这些试验数据也会提供大量可靠性的信息。现有的雷管可靠性评估方法并没有对这些有效信息进行合理的处理, 而只是作为一般信息加以利用。本文借鉴机械电子类产品进行强化试验, 确定环境因子的方法^[1], 提出了雷管可靠性评估环境系数的概念, 并将其用于雷管可靠性评估, 为雷管小样本可靠性评估提供一种新方法。

2 雷管环境系数的确定方法

雷管环境系数的研究基于以下三个基本假设^[2,3]: 假设 1, 失效机理一致性假设: 在不同温度环境下雷管的失效机理保持不变。假设 2, 分步同族性假设: 在不同环境应力下, 雷管寿命均服从二项分布。假设 3, Nelson 假设: 雷管经受环境试验后的剩余寿命仅依赖于已累积的失效和当前的环境应力, 而与累积方式无关。

2.1 雷管环境系数的定义

设雷管在环境 1(严酷)和环境 2(正常)下的发火

概率分别为 p_1 和 p_2 , 则其环境系数为:

$$k = \frac{1 - p_1}{1 - p_2} \quad (1)$$

k 值是环境的变化对雷管发火可靠性影响大小的度量, k 值越大, 雷管在该环境下的可靠性越低。

2.2 雷管环境系数确定方法

本文以感度分布为对数正态分布的雷管为例, 其它感度分布类型参见文献[4]。试验方法选用升降法^[4], 分别在环境 1(严酷)和环境 2(正常)下进行升降法感度试验。根据升降法试验结果求得正态分布参数估计值 $\hat{\mu}$ 和 $\hat{\sigma}$, 并对刻度参数 $\hat{\sigma}$ 进行纠偏^[5]。

由以上参数可求得雷管在环境 1(严酷)下的响应概率估计量为:

$$\hat{p}_1 = \Phi\left(\frac{\varepsilon_1(\ln x - \hat{\mu}_1)}{\hat{\sigma}_1}\right) \quad (2)$$

在环境 2(正常)下的响应概率估计量为:

$$\hat{p}_2 = \Phi\left(\frac{\varepsilon_2(\ln x - \hat{\mu}_2)}{\hat{\sigma}_2}\right) \quad (3)$$

那么环境系数的估计值为:

$$k = \frac{1 - \hat{p}_1}{1 - \hat{p}_2} = \frac{1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon_1(\ln x - \hat{\mu}_1)}{\hat{\sigma}_1}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon_2(\ln x - \hat{\mu}_2)}{\hat{\sigma}_2}\right)} \quad (4)$$

式中, ε 为纠偏因子; x 代表刺激量; Φ 的分布函数见 GJB4086.1-83 之 2. 正态分布函数表。

由以上环境系数, 就可以对雷管成败型试验数据进行折合。可以将严酷环境下可靠性试验数据折合成正常环境下的试验数据, 然后由二项分布就可以确定雷管的作用可靠性; 也可以由正常条件下的感度试验数据折合成低温条件下的试验数据, 由二项分布式确定严酷环境条件下的作用可靠性。

收稿日期: 2005-09-01; 修回日期: 2005-11-14

作者简介: 赵婉(1976-), 女, 硕士, 从事引信系统可靠性评估研究。

e-mail: zhaowan205@bit.edu.cn

3 试验举例

51A、76A 两种针刺雷管发火上限为 56 g · cm,安全下限为 8 g · cm,可靠度指标要求置信水平 $\gamma = 0.95$,可靠度 $R = 0.999$ 。该产品已经按 GJB/Z377A - 94 规定的试验方法进行了大样本步进法试验,证明其可靠度满足技术指标要求。本研究按提供的环境系数方法对其可靠性进行了评估,以检验本方法的可行性。

3.1 试验内容和步骤

3.1.1 环境试验

51A、76A 针刺雷管各 200 发,分 4 组试验:震动锤击试验、震动锤击后高温试验、震动锤击后低温试验、震动锤击后温度冲击试验,每个试验项各 50 发产品,结果无一发火。

3.1.2 升降法试验

试验设备采用 WC015 型落球式雷管针刺感度仪,落球重 7 g,其余仪器、材料均按有关标准选用。历史信息表明该产品的感度均服从对数正态分布 $\text{Log}N(2.41, 0.64)$ 。因此,对经过三种环境试验的样品确定每次试验初始刺激量 $x_0 = 2.4 \text{ cm}$,步长 $d = 0.6 \text{ cm}$,试验量 $N = 50$,然后进行升降法试验。

3.2 试验结果

按 GJB/Z377A - 94 中升降法试验结果的处理方法分别对试验结果进行计算,得到产品在不同环境下的感度均值估计值 $\hat{\mu}$ 和标准方差估计值 $\hat{\sigma}$,处理结果

见表 1、表 2。表 3 为正常环境下用大样本步进法感度试验的数据处理结果,其中置信水平 $r = 0.95$,可靠度 $R = 0.999$,实际发火条件:落球重 7 g,落高 8 cm。

3.3 环境系数确定

该产品的感度均服从对数正态分布,根据表 1、表 2 和表 3 的处理结果和式(4)可计算出在给定刺激量下的环境系数值,并运用最小二乘法拟合了环境系数估计值 (k) 和刺激量 (x) 的函数关系式,结果如图 1、图 2 所示。

3.4 结果验证

研究表明,在各种温度环境中低温环境对雷管的发火可靠度影响最大,随着温度的降低,发火率相应降低,因而确定雷管在不同温度下的环境系数最有意义。

根据以上试验结果计算,在置信水平 γ 为 0.95、可靠度 R 为 0.999 时,正常条件下:该针刺雷管的工作刺激量为 5.4 cm,环境系数与刺激量关系的函数表达式为 $k = 15.906x^2 - 92.25x + 113.02$ 。

为了对雷管环境系数的实用价值进行考证,笔者进行了如表 4 的常温、低温试验对比试验(试验条件同以前的环境试验)。结果表明,在试验温度 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 、保温时间 24 h 的条件下,51A 针刺雷管试验 37 发、76A 针刺雷管试验 25 发均一次击发成功,没有发生失效,初步证明了本方法的可行性。由该试验方法,通过在某一刺激量下进行低温可靠性试验,就可由二项分布式求出该产品在同一刺激量水平下在正常条件下的

表 1 51A 针刺雷管环境可靠性升降法试验结果

Table 1 Results of environmental reliability test for 51A stab detonator by up-and-down method

test item	mean $\log(\mu/\text{cm})$	mean μ/cm	standard deviation $\log(\sigma/\text{cm})$	σ^* /cm	standard deviation σ/cm	standard deviation* /cm	$X_{0.999,U}$ /cm	result (true value $\leq 8 \text{ cm}$)
low temperature	1.02	2.85	0.333	0.356	1	1.428	7.46	$R \geq 0.999$
high temperature	0.862	2.41	0.282	0.369	0.708	1.446	6.62	$R \geq 0.999$
temperature shock	0.985	2.75	0.314	0.335	0.904	1.398	6.76	$R \geq 0.999$

表 2 76A 针刺雷管环境可靠性升降法试验结果

Table 2 Results of environmental reliability test for 76A stab detonator by up-and-down method

test item	mean $\log(\mu/\text{cm})$	mean μ/cm	standard deviation $\log(\sigma/\text{cm})$	σ^* /cm	standard deviation σ/cm	standard deviation* /cm	$X_{0.999,U}$ /cm	result (true value $\leq 8 \text{ cm}$)
low temperature	1.01	2.82	0.322	0.344	0.954	1.41	7.1	$R \geq 0.999$
high temperature	0.983	2.77	0.385	0.323	1.15	1.381	6.49	$R \geq 0.999$
temperature shock	1.082	2.99	0.230	0.301	0.706	1.351	4.86	$R \geq 0.999$

Note: 1) $X_{0.999,U}$ represents the upper limit of fire stimulus with a confidence level 0.95 when R equals 0.999; 2) * represents the value after correction.

表 3 51A、76A 针刺雷管步进法感度试验结果

Table 3 Results of the sensitivity test for 51A、76A stab detonator by run-down method

item	mean $\log(\mu/\text{cm})$	mean, μ/cm	standard deviation, $\log(\sigma/\text{cm})$	$X_{0.999,U}$ (true value)	result (true value $\leq 8 \text{ cm}$)
51A	0.864	2.45	0.257	5.38	$R \geq 0.999$
76A	0.816	2.34	0.254	5.13	$R \geq 0.999$

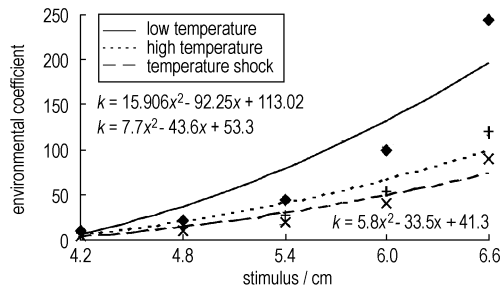


图1 51A 针刺雷管环境系数与刺激量的关系

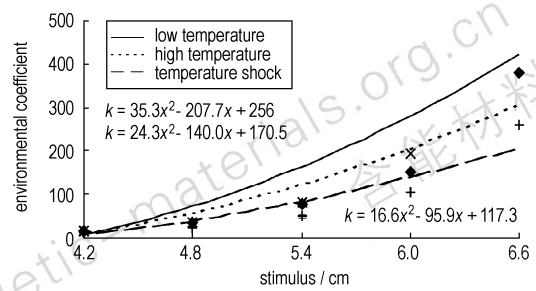


图2 76A 针刺雷管环境系数与刺激量的关系

Fig.1 Curve of environmental coefficient vs stimulus for 51A stab detonator

Fig.2 Curve of environmental coefficient vs stimulus for 76A stab detonator

表4 51A、76A 针刺雷管环境试验

Table 4 Environmental test for 51A、76A stab detonator

No.	γ	test condition	reliability R	failure number	total number	stimulus/cm	enviromental coefficient
51A	0.95	normal temperature	0.999	$F = 0$	2996	5.4	78.7
		low temperature	0.921	$F = 0$	37		
76A	0.95	normal temperature	0.999	$F = 0$	2996	5.1	115
		low temperature	0.885	$F = 0$	25		

可靠度,而不用进行外推刺激量试验,试验方法简便。

4 结论

(1) 严酷环境会使雷管的发火可靠性降低,因此在确定雷管的可靠性指标时,应标明使用条件。

(2) 从所求出的各种条件下雷管可靠性试验的环境系数来看,低温条件下雷管的环境系数最大,这与雷管的性质是相符的。因为低温条件下雷管的发火感度较低,若要发火就应当增加试验刺激量。

(3) 利用所求出的雷管的环境系数,可以将产品对环境适应性检验数据转化为某一条件下的可靠性试验数据,在较少试验样本量的条件下,就能利用二项分布对产品进行可靠性评估。

(4) 雷管环境系数的确定不仅可以对小样本可靠性进行评估,也可为火工产品的环境适应性检验提供理论依据,具有较大的实用参考价值。

参考文献:

- [1] 周源泉,翁朝曦. 可靠性评定[M]. 北京: 科学出版社,1990.
ZHOU Yuan-quan, WENG Zhao-xi. Principles of Reliability Assessment[M]. Beijing: Science Press, 1990.
- [2] 胡斌. 环境因子的定义及研究现状[J]. 信息与电子工程, 2003 (1): 88-91.
HU Bin. The definition and research status of environmental factor [J]. Information and Electronic Engineering, 2003 (1): 88-91.
- [3] Nelson W B. Accelerated life testing-step-stress models and data analysis[J]. IEEE Trans on Reliability, 1980(29): 73-81.
- [4] GJB/Z377A-94. 感度试验用数理统计方法[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1994.
GJB/Z377A-94. Statistical methods for ensitivity test[S]. Beijing: Military Standard Press of Commission of Science Technology and Industry for National Defense, 1994.
- [5] 张天飞. 航空火箭弹射座椅火工系统可靠性评估方法研究[D]. 博士学位论文. 北京理工大学, 2004.
ZHANG Tian-fei. Studies on reliability assessment method for initiating devices of ejector seat of plane[D]. Beijing Institute of Technology, 2004.

Determination Method for the Environmental Coefficient of Detonators in Reliability Test

ZHAO Wan, WEN Yu-quan, WANG Wei

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Making reference to the method for determining the environmental factors for mechanical and electrical products by intensifying test, the concept for environmental coefficient of detonators in reliability evaluation is put forward. The correctness and feasibility of this method is tested and verified by up-and-down test. The results show that the environmental coefficient of detonators is relevant to stimulus and low temperature reduces the response reliability of detonators obviously.

Key words: applied statistical mathematics; detonator; environmental coefficient; stimulus; reliability evaluation