

文章编号: 1006-9941(2012)01-0117-03

电爆管失效模式及影响因素研究

涂小珍, 韦兴文, 王培, 周筱雨, 王翕

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 采用加速老化试验技术, 在温度为 71 °C 和温度为 71 °C、相对湿度分别为 50% 和 80% 条件下, 对某电爆管在老化过程中的失效模式进行了研究。结果表明, 老化后, 该电爆管压敏电压值均较老化前降低, 尤其是经含有湿度的双因素加速老化试验后, 其压敏电压值下降更明显, 而其电阻、发火时间、输出气体压力等性能指标却无明显变化。通过对电爆管压敏电压下降影响因素研究, 结果发现, 灌封胶配制不均是导致其压敏电压值在湿度环境中下降的主要原因。

关键词: 军事化学与烟火技术; 失效模式; 压敏电压; 加速寿命试验

中图分类号: TJ45; TQ560; O69

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.01.028

1 引言

失效模式是对产品发生的、能被观察或测量到的失效现象的规范描述, 它是产品失效现象的表现。通过开展失效分析, 可以获得产品的失效模式及影响因素, 为其设计改进、再生产、勤务处理、贮存环境条件选择和使用控制提供参考依据和指导作用。目前, 关于火工品失效模式的研究报道不多。文献[1]通过对火工品作用全过程的分析, 并结合案例中火工品所表现出的失效现象, 将火工品失效确定为输入失效、作用过程失效和输出失效三种类型, 同时根据火工品零部件在火工品中所起的作用和案例表现, 将零部件失效确定为自身失效、人因失效和配合失效三种。严楠^[2]在总结火工品作用原理、特点和已发生过的各种失效案例基础上, 提出了火工品失效分析的一般思路和分析程序。与国内相比, 国外对火工烟火系统失效研究较早。如文献[3]指出, 1991年, Mulville 博士提出了解决火工烟火问题及失效的项目计划。随后 10 年时间, 完成了对火工烟火装置进行服务寿命试验, 建立了航空航天局火工烟火系统数据库, 从设计、研制、制造和试验方面提高了航空航天局用火工烟火系统的能力, 降低了火工烟火系统的失效。但由于火工烟火系统的使用常常涉及武器系统的关键技术和机密, 在国内外文献上未见到具体的火工品失效分析理论体系报

道。目前, 火工品所采用的加速试验模型, 通常分为加速寿命试验(ALT)和加速退化试验(ADT)。而根据加在产品上的应力情况, ALT 又可分为恒定应力加速寿命试验(CSALT)、步进应力加速寿命试验(SSALT)和序进应力加速寿命试验(PSALT)。其中, CSALT 试验方法简单有效, 在实际中广泛采用, 统计方法较成熟^[4-8]。为了掌握某电爆管在贮存过程中的失效模式及失效影响因素, 确定其库存环境条件并及时了解其在贮存过程中的有效性变化, 本研究采用加速寿命试验方法和 CSALT 模型, 对该电爆管在贮存过程中的性能变化及失效影响因素进行了探索。

2 电爆管加速老化试验过程中失效模式研究

2.1 加速寿命试验

采用恒温恒湿试验箱和油浴烘箱, 对各项性能均合格的某电爆管进行加速寿命试验, 试验后测试电阻、压敏电压、发火时间和输出气体压力。其中, 加速寿命试验条件为: (1) 在单因素 71 °C 条件下, 加速老化 94 d; (2) 在温度 71 °C、相对湿度 50% 条件下, 加速老化 90 d、100 d、120 d; (3) 在温度 71 °C、相对湿度 80% 条件下, 加速老化 60 d、90 d、120 d。

2.2 试验结果

表 1 为该电爆管经不同加速老化试验作用后, 测得的桥丝电阻、压敏电压、作用时间、时间前沿和输出气体压力均值。其中, 每个老化试验条件所用样品均为 6 发, 所有性能测试条件均参照该电爆管设计要求。

收稿日期: 2011-03-17; 修回日期: 2011-04-25

作者简介: 涂小珍(1976-), 女, 助研, 硕士, 从事含能材料库存老化研究工作。e-mail: zbtzx602@163.com

表 1 电爆管经不同加速老化试验作用后测得性能数据均值

Table 1 Mean value of squib's performances after life test at different aging conditions

aged condition	mean resistance/ Ω		breakdown voltage/V		active time/ms	leading edge time/ μ s	pressure peak /MPa
	unaged	aged	unaged	aged			
71 $^{\circ}$ C, 94 d	1.024 \pm 0.0379	1.025 \pm 0.0415	314 \pm 5.7	311 \pm 5.8	6.8 \pm 0.34	42 \pm 1.7	285 \pm 11.7
71 $^{\circ}$ C, 50% RH, 90 d	1.026 \pm 0.0528	1.027 \pm 0.0564	313 \pm 0.9	283 \pm 22.0	6.6 \pm 0.28	41 \pm 1.7	279 \pm 11.7
71 $^{\circ}$ C, 50% RH, 100 d	1.026 \pm 0.0404	1.027 \pm 0.0406	315 \pm 0.9	291 \pm 28.8	6.7 \pm 0.45	41 \pm 1.9	280 \pm 12.3
71 $^{\circ}$ C, 50% RH, 120 d	0.998 \pm 0.0401	0.996 \pm 0.0416	314 \pm 0.4	304 \pm 8.7	6.8 \pm 0.36	41 \pm 1.5	284 \pm 11.1
71 $^{\circ}$ C, 80% RH, 60 d	1.019 \pm 0.0347	1.044 \pm 0.0397	313 \pm 5.4	225 \pm 103.5	6.4 \pm 0.27	42 \pm 2.7	275 \pm 5.7
71 $^{\circ}$ C, 80% RH, 90 d	1.013 \pm 0.0481	1.015 \pm 0.0482	315 \pm 1.7	266 \pm 53.5	6.2 \pm 0.32	40 \pm 0.7	275 \pm 16.8
71 $^{\circ}$ C, 80% RH, 120 d	1.024 \pm 0.0417	1.029 \pm 0.0403	315 \pm 1.3	209 \pm 121.1	6.4 \pm 0.33	43 \pm 2.1	283 \pm 18.2

从表 1 中可以看出,该电爆管经加速老化试验后,其压敏电压值均较老化前有所降低,尤其是经含有湿度的双因素加速老化试验后,其压敏电压值较老化前变化更明显,且湿度越大,测得的压敏电压均值偏差也越大;但是,在该加速老化试验过程中,该电爆管桥丝电阻、作用时间、输出气体压力及压力上升前沿时间均满足要求,没有发生较明显变化。另外,肉眼观察老化后样品外观发现,经双因素加速老化试验后,该电爆管灌密封胶颜色加深。这说明,在该加速老化试验过程中,该电爆管桥丝电阻、作用时间及输出气体压力均无明显变化,而其压敏电压在老化过程中受环境因素,尤其湿度影响很大。因此,可以将该电爆管压敏电压作为其在贮存过程中性能变化最敏感参量,压敏电压下降是其在贮存过程中首先表现出的失效模式。

3 电爆管压敏电压下降原因

电爆管压敏电阻器装配工艺过程:先将压敏电阻器焊在金属底座上,通过金属底座与管壳导通,然后在另一端面焊上康铜丝,通过康铜丝与脚线连接,构成回路,最后采用配置的灌密封胶将其封装在电爆管管壳内部。为了找出该电爆管压敏电压在上述加速老化试验过程中发生变化的影响因素,主要研究灌密封胶在老化过程中对其压敏电压的影响。

3.1 实验方案

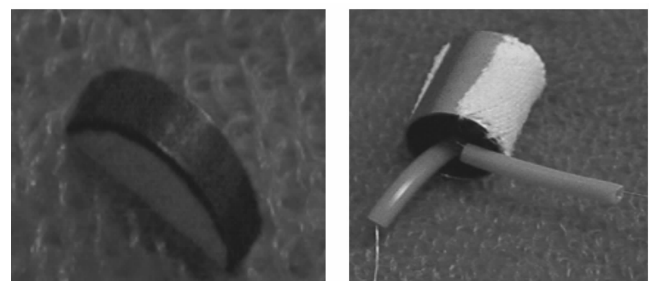
该电爆管用灌密封胶主要由环氧树脂和四乙烯五胺按一定的比例配置而成。具体实验方案是,先模拟压敏电阻器焊入该电爆管的状态,在压敏电阻器两端面各焊接一根康铜丝,其目的是为了便于测试其压敏电压并模拟该电爆管压敏电阻器的焊接过程;然后将焊好的压敏电阻器采用以下灌胶方式封入管壳中: I 配灌密封胶的两种成分不混合在一起,而是先将四乙烯五胺灌入管壳内,再灌环氧树脂; II 在四乙烯五胺与环氧树脂混合不均匀条件下将压敏电阻器封入管壳内; III 将压敏电阻器在灌封

胶充分混合均匀的条件下封入管壳内。然后将实验样品分别放入红外烘箱中固化 24 h 取出,最后在温度为 71 $^{\circ}$ C 的单因素加速老化试验条件下和温度为 71 $^{\circ}$ C、相对湿度为 50% 的双因素加速老化试验条件下老化相同时间,取出待恢复室温状态后测其压敏电压值。

3.2 实验结果及分析

图 1a 为电爆管用压敏电阻器的实物,图 1b 为压敏电阻器被灌封于管壳中实物。表 2、表 3 分别为压敏电阻器在不同灌胶工艺条件下经 71 $^{\circ}$ C 和 71 $^{\circ}$ C、50% RH 加速老化试验后所测得的压敏电压结果。且表 2、表 3 中压敏电压均值均是 5 发样品测得结果。

从表 2 中可以看出,在温度为 71 $^{\circ}$ C 的单因素加速老化试验条件下,随着老化时间的延长,压敏电阻器的压敏电压值均降低,但均在允许误差范围内,且各样品中的灌密封胶均无明显变化。而表 3 中结果却表明,在含有湿度的双因素加速老化试验条件下,第 I 和第 II 种灌胶方式中的样品压敏电压值在加速老化过程中均出现了明显下降,且各压敏电压均值偏差也很大;但是,在灌密封胶配制均匀的第 III 方式下,即使老化 20 d 压敏电压也无明显变化。同时在观察样品灌胶颜色时还发现,加速老化到 10 d,除了第 III 种灌胶方式样品的胶颜色无变化外,其余两种灌胶方式样品中的胶均发黑。



a. piezo-resistor

b. piezo-resistor fixing in the pipe with epoxy resin

图 1 不同状态的压敏电阻器

Fig. 1 The piezo-resistor of squib at different status

表 2 不同状态压敏电阻器经 71 °C 加速老化试验后压敏电压值

Table 2 Voltage of different status piezo-resistor after aging at 71 °C

the mode of filling exopoxide-resin glue	unaged	aged 30 d	aged 60 d
I	309 ± 1.0	307 ± 1.0	303 ± 1.5
II	303 ± 1.7	302 ± 0.6	300 ± 1.2
III	306 ± 0	304 ± 0	302 ± 2.3

表 3 不同状态压敏电阻器经 71 °C、50% RH 加速老化试验后的压敏电压值

Table 3 Voltage of different status piezo-resistor after aging at 71 °C and 50% RH

the mode of filling exopoxide-resin glue	unaged	aged 10 d	aged 20 d
I	303 ± 1.5	193 ± 94.7	-
II	300 ± 1.2	293 ± 13.6	275 ± 41.4
III	303 ± 2.3	303 ± 0.6	303 ± 1.2

初步分析认为,四乙烯五胺作为一种强碱,在灌密封胶配制过程中主要起固化剂作用,当与环氧树脂混合不均匀时,在有湿度的环境条件下,灌密封胶就显碱性,对压敏电阻器产生腐蚀,影响压敏电压值。这说明,在没有湿度的环境条件下,无论哪种灌胶方式均对压敏电阻器的压敏电压值影响不大,但是,在有湿度的环境条件下,当灌密封胶混合不均匀时,在老化过程中,压敏电压值随老化时间的延长,会出现降低现象。因此,为了防止灌密封胶配制不均对压敏电阻器产生腐蚀影响其压敏电压,在贮存过程中应严格控制环境湿度。

4 结 论

(1) 压敏电压是电爆管在贮存过程中性能敏感参量,是电爆管在老化过程中首先表现出的失效模式。

(2) 除了压敏电阻器自身性能老化外,灌密封胶配

制不均是导致电爆管在湿度环境条件下压敏电压下降的主要影响因素。

(3) 在电爆管贮存过程中,应严格控制环境湿度,以防因灌密封胶组分混合不均匀而导致其压敏电阻器压敏电压值偏低。

参考文献:

- [1] 涂小珍. 火工品失效分析[D]. 北京:北京理工大学,2005.
TU Xiao-zhen. Analysis of failure mode and effect factor for pyrotechnic devices[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology,2005.
- [2] 严楠. 火工品失效分析概论[J]. 失效分析与预防,2006(1): 10-14.
YAN Nan. Generality of analysis on initiating explosive device failure[J]. *Journal of Failure Analysis and Prevention*,2006(1): 10-14.
- [3] Laurence J Bement. Pyrotechnic system failure: Causes and Prevention. NASA Technical Memorandum 100633[R],1988: 1-40.
- [4] 杨宇航,周源泉. 加速寿命试验的理论基础[J]. 推进技术,2001(4): 276-278.
YANG Yu-hang,ZHOU Yu-quan. The oretical foundation of accelerate life testing[J]. *Journal of Propulsion Technology*,2001(4): 276-278.
- [5] John D Glass. Uses and abuses of accelerated age testing of pyrotechnic devices[C]//40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit 11-14 July 2004, Fort Lauderdale, Florida.
- [6] 张春华,温熙林,陈循. 加速寿命试验技术综述[J]. 兵工学报,2004(4): 485-490.
ZHANG Chun-hua,WEN Xi-lin,CHEN Xun. A comprehensive review of accelerated life testing[J]. *Journal of Acta Armamentarii*,2004(4): 485-490.
- [7] Russakov Loren S,Whalley Ian A. Accelerated aging testing of energetic components-A current assessment of methodology[C]//36th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Conference and Exhibit, Huntsville, July 2000.
- [8] 李健,王金华,陆培永. 温度步进应力加速寿命试验研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验,2007(1): 1-4.
LI Jian,WANG Jin-hua,LU Pei-yong. Research of temperature ateped stress accelerated life testing[J]. *Journal of Electronic Product Reliability and Environment Testing*,2007(1): 1-4.

Failure Modes of Electric Squib and Its Effect Factor

TU Xiao-zhen, WEI Xing-wen, WANG Pei, ZHOU Xiao-yu, WANG Xi

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The failure modes of electric squib were studied during accelerated life test. The conditions of the aging test were temperature 71 °C and temperature 71 °C, relative humidity 50% and 80%. The results show that the resistanc, fire time and output gass pressure did not change obviously, but the breakdown voltage dropped after accelerated life test. Especially, in the condition of humidity, the breakdown voltage of electric squib dropped significantly. By studying the effect factor to electric squib's breakdown voltage, the reason was the inhomogeneous mixing of epoxy resin at the condition of humidity.

Key words: military chemisty and pyrotechnics; failure mode; breakdown voltage; accelerate life test

CLC number: TJ45; TQ560; O69

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.01.028