

文章编号: 1006-9941(2010)02-0209-04

某火工品老化性能评估研究

涂小珍, 韦兴文, 王 培

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 在温度为 60 °C、相对湿度为 95% 的加速老化试验条件下, 对某火工品的单发作用时间变化情况进行了研究。研究结果表明, 随着老化时间的延长, 其单发作用时间均值也延长, 且在加速老化 21 天、35 天和 45 天, 被测样品的单发作用时间最大值呈线性增长; 当加速老化到 56 天, 该火工品被测样品的可靠度降低为 98.98%, 当老化到 67 天, 其可靠度降低为 15.06%。

关键词: 军事化学与烟火技术; 雷管; 加速寿命试验; 可靠性评估

中图分类号: TJ45; O213.2

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.019

1 引言

贮备一定数量的武器装备, 对维护一个国家主权和领土的安全是非常必要的。火工品作为武器系统初始能源的提供者, 其性能对武器系统的可靠性和安全性具有重要的影响。通常在火工品性能参数设计过程中, 均要求具有一定的设计裕度。且该裕度不能过大或过小, 如果过小, 随着系统参数的变化将会出现意外失效; 如果过大, 则可能出现类似阿波罗工程中意外驱动阀门等其它问题和给武器系统的小型化结构设计带来困难^[1-3]。因此, 实际生产出的产品性能指标值与其设计战术技术指标值相比均有一定的实际裕度。然而在火工品贮存过程中, 由于环境应力的影响以及材料自身的变质老化, 该实际裕度会随着贮存时间的延长而不断缩小, 当缩小到零时, 产品也就到了寿命终点。如何有效预测这种裕度缩小到零的贮存时间点, 是目前火工品库存研究工作者最关注的问题。虽然在生产过程中, 由于原材料、工艺、操作者、设备、测量手段方法以及环境因素等的影响, 生产出的产品质量不是一个固定不变的恒值, 而是在一定范围内波动变化的。但是大量的试验观察分析表明, 产品质量在个别试验中虽然表现出很大的不确定性, 然而在大量重复试验中却又具有一定的统计规律性, 且这种规律性在数理统计上大多服从正态分布或变换正态分布^[4-5]。

收稿日期: 2009-05-26; 修回日期: 2009-10-30

作者简介: 涂小珍(1976-), 女, 从事火工品库存老化研究工作。

e-mail: zbtzx602@163.com

某火工品是一种可靠性要求较高的产品, 在正常应力下研究其贮存性能变化需要较长的时间, 不利于其结构设计性能改进研究和武器延寿方案的制定。本文采用加速寿命试验^[6-9], 根据该火工品性能敏感参量在加速老化过程中的变化情况, 利用其分布特点, 对其在加速老化过程中的性能进行了评估研究。

2 加速寿命试验

考虑到火工品在自然条件下贮存受环境温度和湿度的影响, 采用恒温恒湿箱, 在温度为 60 °C、相对湿度为 95% 的双因素加速老化试验条件下, 对各项技术指标均合格的该火工品进行加速寿命试验, 并在不同的老化时间上取样, 待其恢复室温状态后进行性能测试。

3 试验结果及分析

3.1 老化过程中敏感参量变化及分析

单发作用时间、爆炸同步性和输出威力是该火工品最主要的性能可靠性指标, 也是性能测试中的主要测试项目。为了确定该火工品的敏感参量, 在该加速寿命试验前, 本研究预先在 71 °C 的加速老化试验条件下, 对该火工品进行加速老化试验 31 天。试验结果表明, 被试验的所有产品的单发作用时间均远远超出了设计技术指标值, 但每发产品的桥丝电阻及所测样品的输出威力却仍在技术指标范围内。这说明, 在加速老化试验过程中, 单发作用时间的变化比其输出威力的变化更敏感。另外, 文献[10]表明, 要达到技术条件所规定的爆炸同步性要求, 关键在于样品单发

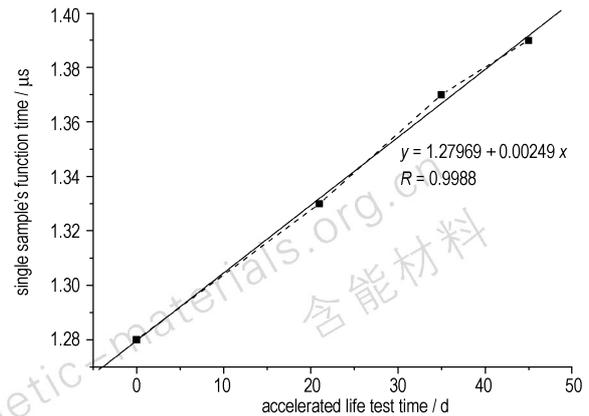
作用时间分布的高度均匀性。单发作用时间分布均匀性越高,同步分散性就越好,时间偏差就越小。因此,本文以单发作用时间作为该火工品的敏感参量,并通过对其在不同老化时间的测试结果,研究该火工品在贮存过程中的性能变化。表1为在该加速老化试验条件下,不同老化时间测得的该火工品的单发作用时间结果。

表 1 60 °C、RH 95% 条件下不同时间火工品单发作用时间结果
Table 1 The results of single sample's function time at 60 °C and relative humidity 95%

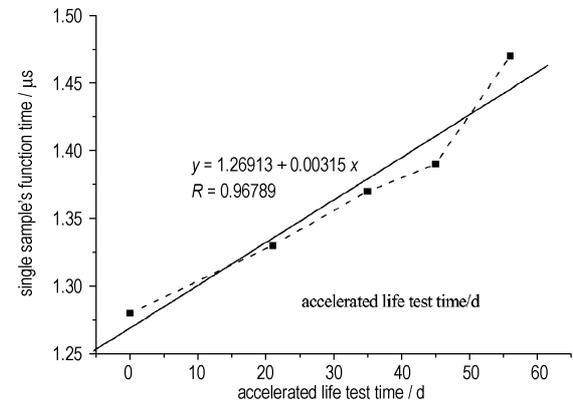
aged time /d	single function time/s			
	mean value	maximum value	minimum value	S. D(σ)
0	1.26	1.28	1.24	0.01483
21	1.32	1.33	1.30	0.01581
35	1.35	1.37	1.32	0.01581
45	1.36	1.39	1.34	0.01817
56	1.42	1.47	1.40	0.02915
67	1.49	1.60	1.43	0.05276

从表1可以看出,在温度为60 °C、相对湿度为95%的加速老化试验条件下,随着老化时间的延长,其单发作用时间也延长。且被试验的每组样品中,其均值、最大值和最小值均随老化时间的延长而增大。当加速老化到56天,样品的单发作用时间分散性也开始变大,单发作用时间最长的为1.47 μs 。当加速老化到67天,其单发作用时间标准差为0.05276 μs ,其分散性较56天的样品大,且单发作用时间最长已达到1.60 μs 。若以单发作用时间超出1.50 μs ,极差(单发作用时间最大值与最小值之差)大于等于0.15 μs 作为该火工品的失效判据。表1中数据表明,该火工品在该加速老化试验条件下加速老化67天就已达到寿命终点。

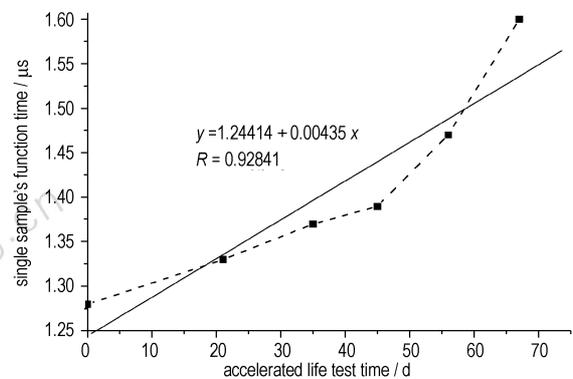
图1是该火工品在该加速老化试验条件下,不同老化时间点单发作用时间最大值与老化时间的关系及曲线拟合。从图1可以看出,在加速老化时间分别为0天、21天、35天和45天所测得的样品的单发作用时间最大值与老化时间具有较好的线性相关性($R = 0.9988$),且随着老化时间的延长,单发作用时间最大值呈线性增长。当加速老化到56天和67天,拟合曲线的线性相关性越来越差,如老化到56天的相关系数 $R = 0.96789$,老化到67天的相关系数 $R = 0.92841$,均比老化到45天的相关系数 $R = 0.9988$ 低。这说明,在该加速老化试验条件下,该火工品在加速老化时间分别为21天、35天和45天的老化速度基本上是一致的;当老化时间继续延长,其老化速度也逐渐加快。



a. accelerated life time less than 45 days



b. accelerated life time less than 56 days



c. accelerated life time less than 67 days

图 1 单发作用时间最大值与老化时间关系及拟合曲线

Fig. 1 Curves of the maximum value of single sample's function time vs accelerated life time and linear fitting curve

3.2 敏感参量统计分布确定及可靠性预估研究

在产品库存研究中,每个抽样时间点能抽取的试验样品数量往往都是有限的,加之产品性能分布的随机性,在抽样中往往很难确定是否将性能变化最大的样品抽取到,这就给有效确定产品性能变化带来一定的困难。但是,对于同种状态下的同批产品,如果能确定其性能分布规律,就可以在一定的置信概率下对其性

能状态进行有效预估。表2是利用单样本柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验对该火工品同批次产品老化前单发作用时间进行正态分布检验的结果。

表2 同批次该火工品未老化样品单发作用时间 K-S 检验

Table 2 Results of function time by one-sample Kolmogorov-Smirnov test to the same batch unaged sample's function time

check parameters	check results	
N	42	
normal parameters	mean	1.25
	standard deviation	0.01957
Most Extreme Differences	Absolute	0.154
	positive	0.154
	negative	-0.125
Kolmogorov-Smirnov Z	0.995	
asympt. Sig. (2-tailed) P	0.275	

表2的检验结果显示:检验的双侧显著性水平 $P = 0.275 > 0.05$ 。因此可以认为该火工品初始单发作用时间服从正态分布。如果该火工品在该加速老化试验条件下,其在老化过程中的老化机理不发生改变,则在每个老化时间点该火工品的单发作用时间分布类型不会发生改变,若初始是正态分布,则老化过程中仍服从正态分布,变化的只是该正态分布的位置和形状,即均值 μ 和标准差 σ 发生改变。从表1中的数据也可以看出,在该加速老化试验条件下,随着老化时间的延长,均值 μ 和标准差 σ 均在增大。

根据正态分布的特点,如果该火工品的单发作用时间均分布在某一范围内,且该范围满足该火工品的设计技术指标要求,那么就可以确定出该火工品单发作用时间在该正态分布状态下、在某一分布区间的可靠度。用公式可以表示成以下形式:

$$R = 1 - F(t) = P\{\mu - \mu_p \sigma \leq t \leq \mu + \mu_p \sigma\} = \Phi(\mu_p) - \Phi(-\mu_p) = 2\Phi(\mu_p) - 1 \quad (1)$$

式中, μ 为该正态分布函数的均值; σ 为该正态分布函数的标准差; μ_p 就是需要确定的参变量。只要知道了该火工品在贮存过程中的 μ_p , 就可以根据(1)式求出其在贮存过程中的可靠性变化情况。

同时,在该火工品单发作用时间满足正态分布情况下,其失效判据可以用(2)式和(3)式表示:

$$\mu + \mu_p \sigma \leq 1.5 \quad (2)$$

$$(\mu + \mu_p \sigma) - (\mu - \mu_p \sigma) \leq 0.15 \quad (3)$$

将(2)式、(3)式化简得:

$$\mu_p \leq \frac{1.5 - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

$$\mu_p \leq \frac{0.15}{2\sigma} \quad (5)$$

因此,在贮存过程中,要使该火工品满足设计技术要求,就必须要求其同时满足(4)式和(5)式。将该火工品在不同贮存时间点的 μ_p 代入(1)式,就可以确定该火工品在某一贮存时间点的可靠度。

表3是根据上述思路对该火工品在温度为60℃、相对湿度为95%条件下、不同老化时间点进行可靠性评估结果。

表3 不同老化时间点该火工品可靠性评估结果

Table 3 The reliability assessment of a detonator at different accelerated life times

reliability parameter	0d	21d	35d	45d	56d	67d
μ_p	5.06	4.74	4.74	4.13	2.57	0.19
R	>99.996%		99.996%	98.98%	15.06%	

从表3的评估结果可以看出,在温度为60℃、相对湿度为95%的加速老化试验条件下,该火工品加速老化到45天,被测试样品的单发作用时间可靠度均不低于99.996%;当加速老化到56天,在满足设计技术指标要求情况下,被测试样品的单发作用时间可靠度降低为98.98%;到67天,被测试样品的单发作用时间可靠度降低为15.06%。这说明,在该加速老化试验条件下,该火工品被加速老化到一定时间后,其单发作用时间可靠度才开始降低,且随着老化时间的延长,其可靠度降低的也越来越快。

对于该火工品在自然贮存可靠性研究过程中,由于在贮存初期,其老化速度较慢,性能变化不是十分明显,因此可以延长抽检时间间隔、减少抽检样品数量;随着贮存时间的延长,一旦发现其老化速度开始加快,就应该增加抽样频次和抽样数量。

4 结论

(1) 在温度为60℃、相对湿度为95%的加速老化试验条件下,随着老化时间的延长,该火工品的单发作用时间也延长;当加速老化到56天,该火工品被测样品的单发作用时间的分散性开始偏大,但作用时间仍满足指标要求;当加速老化到67天,被测样品中出现单发作用时间超出指标要求,且其分散性明显偏大。

(2) 在该加速老化试验条件下,加速老化到45天前的不同老化时间点,火工品被测样品中单发作用时间最大值与老化时间具有较好的线性相关性;但当

加速老化到 56 天和 60 天, 这种线性相关性降低。这说明, 在该加速老化试验条件下, 火工品在加速老化时间分别为 21 天、35 天和 45 天的老化速度基本上是一致的; 当老化时间继续延长, 其老化速度也逐渐加快。

(3) 在该加速老化试验条件下, 当加速老化到 56 天, 该火工品被测样品的可靠度由老化 45 天的 100% 降低为 98.98%, 当加速老化到 67 天, 其可靠度降低为 15.06%。这说明, 老化到一定时间, 其可靠度降低的速度越来越快。

参考文献:

- [1] Laurence J Bement. Pyrotechnic system failure: Causes and Prevention[R]. NASA Technical Memorandum 100633, 1988: 1-40.
- [2] William H Simmons. Apollo spacecraft pyrotechnics[C] // proceedings of the 6th Symposium on Electroexplosive Devices. San Francisco, Calif.: The Franklin Institute Research Laboratories, 1969: 2-7.
- [3] Laurence J Bement. Manual for pyrotechnic design: Development and Qualification[R]. N95-31358, 1995.
- [4] 王汉功, 徐远国, 张玉民, 等. 装备全面质量管理. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] 泸州化工厂. 火工品可靠性分析[R]. GF-A0033777, 1998.
- [6] 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 Yuan-quan. Theoretical foundation of accelerated life testing[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2001, (4): 276-278.
- [7] 林震, 张爱民, 沈朝晖, 等. 谈谈高加速寿命试验[J]. 环境技术, 2002(4): 5-9.
- LIN Zhen, ZHANG Ai-min, SHEN Zhao-hui, et al. Talk about highly accelerated life test[J]. *Journal of Environment Technology*, 2002(4): 5-9.
- [8] 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-sen, CHEN Xun. A comprehensive review of accelerated life testing[J]. *Journal of Acta Armamentall*, 2004(4): 485-490.
- [9] 涂小珍, 李敬明, 韦兴文, 等. 某火工品贮存老化效应分析研究[J]. 含能材料, 2008(5): 539-542.
- TU Xiao-zhen, LI Jing-ming, WEI Xing-wen, et al. Study on the aging effect of a detonator[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao)*, 2008(5): 539-542.
- [10] 冯国田, 刘伟钦. 火工技术与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.

Property Assessment of a Initiating Device by Accelerated Life Test

TU Xiao-zhen, WEI Xing-wen, WANG Pei

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

Abstract: The change of an initiating device's function time was studied by accelerated life test at 60 °C, and relative humidity 95%. Results show that the mean value of the detonator's single function time prolongs when the time of life test continues. And at the ageing time of 0, 21, 35 and 45 days, the maximum value of function time and the ageing time have good linear relationship. The reliability value of the tested sample falls to 98.98% when the ageing time is 56 days, and falls to 15.06% when the ageing time is 67 days.

Key words: military chemistry and pyrotechnics; detonator; accelerated life test; reliability assessment

CLC number: TJ45; O213.2

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.02.019



特别策划: 高品质 HMX 与 RDX 专栏

高品质 HMX 与 RDX 的制备及相关研究, 为研制新型低感(钝感)高能炸药、弹药、推进剂提供了一条有效的技术途径。为促进高品质 HMX 与 RDX 的研究, 本刊于 2010 年 10 月第五期特别推出专栏——高品质 HMX 与 RDX。敬请关注, 欢迎赐稿。

《含能材料》编辑部