

文章编号: 1006-9941(2008)05-0539-04

## 某火工品贮存老化效应分析研究

涂小珍, 李敬明, 韦兴文, 周阳, 王培, 李伟

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川绵阳 621900)

**摘要:** 在恒定温度、相对湿度(60℃、95%和71℃、95%)的双因素和恒定温度(71℃)的单因素条件下,对某火工品在加速寿命试验后各个不同时间的性能变化情况进行了研究。研究结果表明,该火工品电阻在加速老化试验过程中未发生显著性变化,但其单发作用时间、质量以及药剂的撞击感度都发生了显著性变化。在71℃、95%的加速老化试验条件下加速老化14天,其单发作用时间超出了设计技术指标,表现为不合格;同时随着老化时间的延长,该火工品质量损失量也增加,药剂撞击感度也不断提高。

**关键词:** 物理化学; 火工品; 加速寿命试验; 电阻; 单发作用时间

**中图分类号:** TJ45<sup>+2</sup>; TQ560

**文献标识码:** A

### 1 引言

对于高可靠性产品,在正常应力条件下,其寿命可达数十年,甚至可能更长。如果采用通常在正常应力试验条件下寿命试验的方法来估计其可靠寿命特征及性能变化机理,则需要消耗很长时间,不能满足实际需要。为了快速评定产品的可靠寿命特征及性能变化状况,通常采用提高试验温度和湿度的方法,促使产品加速失效,缩短试验时间<sup>[1-3]</sup>。

火工品作为武器系统初始能源的提供者,其在贮存过程中的性能变化,对库存武器的作战性能具有重要影响。在生产过程中,为了保证安全,火工品的生产环境湿度常常很高,通常不低于65%,同时火工品用药剂为精细炸药,具有一定的吸湿性。因此,在贮存过程中,除了环境温度外,生产过程中存留的湿气也会影响其性能。目前,火工品贮存寿命评估所采用的加速试验模型分为加速寿命试验(ALT)和加速退化试验(ADT)。根据加在产品上的应力情况,ALT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)。CSALT试验方法简单有效,在实际中广泛采用,统计方法较成熟<sup>[4-8]</sup>。本工作采用CSALT方法,在不同的老化温度和湿度条件下,研究了某火工品在贮存过程中的老化效应。

### 2 加速寿命试验

采用恒温恒湿箱和油浴烘箱,在双因素加速老化条

件(温度60℃、相对湿度95%和温度71℃、相对湿度95%)和单因素加速老化条件(温度为71℃)下,对各项技术指标都严格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各项性能测试。其中,该火工品是利用电能使桥丝高速气化而爆炸,直接引爆雷管中单一猛炸药泰安的桥丝式电雷管。该雷管要求发火电流大,上升速率较快,以使桥丝在很短时间内气化而形成高温高压气体(等离子体)。等离子体气体向四周膨胀形成冲击波将炸药引爆。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 加速老化试验条件下的电阻变化

电阻是该火工品的一个重要性能技术指标<sup>[9]</sup>。因此,在每个老化时间点上取样观察并对其电阻进行测试发现,随着老化时间的延长,该雷管管壳的光泽度明显降低,且每个样品的管壳都有轻微腐蚀,脚线根部也出现变色现象,图1为在温度60℃、相对湿度95%和温度71℃、相对湿度95%以及单因素71℃条件下、不同老化时间点上所测试的样品电阻变化百分量的均值结果。

从图1中可以看出,在不同的加速老化试验条件下,随着老化时间的延长,受试样品的电阻都发生了变化。且加速老化试验的条件越严酷(如温度71℃、相对湿度95%),其电阻变化量也越显著。

为了进一步研究老化条件对该雷管桥丝电阻的影响是否显著,用*t*检验法对71℃、相对湿度95%条件下(因为该条件下电阻变化量较大)不同老化时间受试火工品老化前后电阻均值进行显著性检验,以检验其老化前后是否发生显著性变化。

收稿日期: 2008-03-12; 修回日期: 2008-07-21

作者简介: 涂小珍(1976-),女,助研,硕士,主要从事火工品库存老化研究工作。e-mail: zbtzx602@163.com

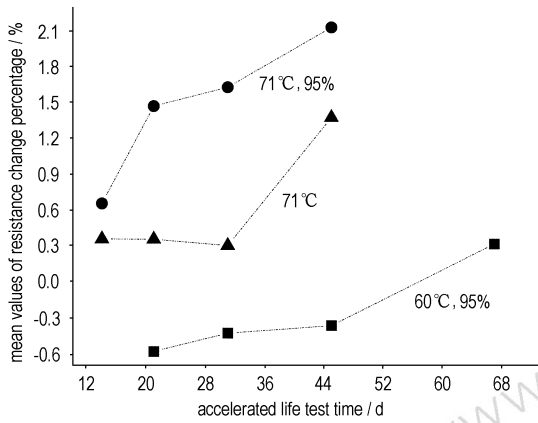


图1 不同老化条件下不同老化时间电阻变化

Fig.1 The mean value of resistance change percentage at different time under different accelerated life test condition

取显著性水平  $\alpha = 0.05$ 。

假设  $H_0$  (原假设):  $\mu_1 = \mu_2, H_1$  (备择假设):  $\mu_1 \neq \mu_2$ 。

构造统计量:

$$t = \frac{\overline{R_1} - \overline{R_2}}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

式中,  $\overline{R_1}, \overline{R_2}$  为老化前后雷管电阻均值;  $S_1, S_2$  为老化前后雷管电阻的标准差;  $n_1, n_2$  为老化前后雷管个数。

若  $|t| > t_{1-\alpha/2}(n_1 + n_2 - 2)$  则认为  $H_1$  成立, 两组数据的均值有显著差异, 否则,  $H_0$  成立, 认为两组数据无显著差异。其中  $t_{1-\alpha/2}(n_1 + n_2 - 2)$  是根据显著性水平  $\alpha$  查得的自由度为  $n_1 + n_2 - 2$  的  $t$  分布的  $1 - \alpha/2$  分位数 (查表得  $t_{1-\alpha/2}(n_1 + n_2 - 2) = 2.3060$ )。根据所构造的统计量所计算的检验结果见表1。

表1 71°C, 95%相对湿度条件下受试火工品老化前后电阻均值的  $t$ -检验结果

Table 1 The results of detonator's resistance mean at temperature 71°C and humidity 95% by  $t$ -test

performance parameter	$\overline{R_1}$ / mΩ	$\overline{R_2}$ / mΩ	$n_1$	$n_2$	$S_1^2$	$S_2^2$	$ t $	test result
the 14th day of the life test	33.66	33.88	5	5	0.26077	0.2388	1.3914	no significant change
the 21st day of the life test	33.52	34.02	5	5	1.01341	1.0208	0.7773	no significant change
the 31st day of the life test	33.64	33.76	5	5	0.37815	0.4827	0.4376	no significant change
the 45th day of the life test	34.8	35.54	5	5	0.8124	0.6656	1.5755	no significant change

从表1可以看出, 该火工品桥丝电阻在老化前后未发生显著性变化。以上结果说明, 在一定老化条件

下, 环境温度和湿度对该火工品的电阻具有影响<sup>[9]</sup>, 但其影响并不显著。

### 3.2 加速老化试验条件下该火工品的单发作用时间变化

图2为在温度60°C、相对湿度95%和温度71°C、相对湿度95%以及单因素71°C条件下、不同老化时间所测试样的单发作用时间与老化时间关系。

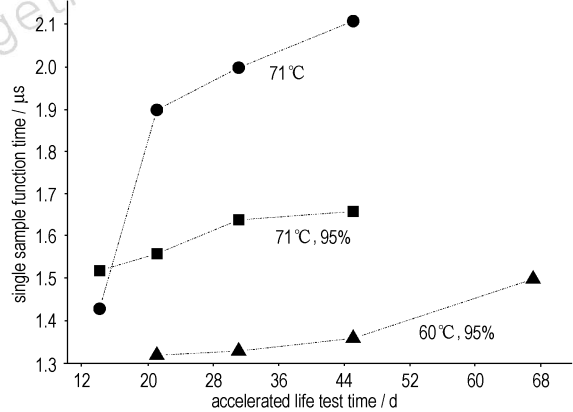


图2 不同加速老化试验条件下单发作用时间与老化时间关系

Fig.2 The relationship between single sample's function time and the aging time under different accelerated life test condition

从图2可以看出, 在不同的老化条件下, 随着老化时间的延长, 该火工品的单发作用时间都发生了变化, 且在相同湿度条件下, 老化温度越高, 样品的单发作用时间在较短的时间内就超出了设计值。如在温度71°C、相对湿度95%的加速老化试验条件下老化14天, 受试的5发样品的单发作用时间均值超出了该设计技术指标的上限值; 而在温度60°C、相对湿度95%的加速老化试验条件下, 加速老化到67天, 受试的5发样品中才出现单发作用时间超标现象。另外, 从图2中还可以看出, 在温度为71°C、相对湿度为95%的加速老化试验条件下, 加速老化试验14天后受试样品的单发作用时间比同温度条件下相同老化时间后样品的单发作用时间短。

从该火工品的作用过程分析, 导致其在老化过程中单发作用时间变化的影响因素主要有桥丝电阻、药剂及其结构的密封性。由于该火工品为非全密封性火工品, 且其装药为单一的精细PETN炸药, 同时, 其桥丝电阻在加速老化试验过程中受温湿度的影响较小。因此, 初步分析认为, 导致该火工品单发作用时间发生上述变化的原因是: 在老化初期, 由于该火工品药剂的吸湿, 其感度降低, 导致其作用时间偏长, 随着老化时间的延长, 火工品中药剂发生热分解, 且在单温度条件下, 药剂的分解大于既有温度又有湿度的双因素条件下药剂的分解, 使其内部装药密度降低, 从而导致该



种变化也越明显。说明药片在老化过程中发生了热分解反应。这样该火工品在老化过程中就可能因药剂的热分解,导致其质量减少和密度降低,进而影响其发火时间,使得老化时间越长,质量减少越多,药柱密度降低也越大,其单发作用时间也越长。

参照《GJB772.206-89 炸药试验方法 撞击感度测定 炸药概率法》,对在71℃下加速老化21天、31天和45天后的PETN药片进行感度试验,结果见表3。从表3可以看出,该火工品药剂在老化过程中,随着老化时间的延长,其撞击感度提高了,这同时也说明该火工品在老化过程中,其安全性降低了。

表3 不同老化时间药剂的撞击感度

Table 3 The impact sensitivity of PETN at different ageing times

ageing time/d	explosion probability <sup>1)</sup> /%
21	70
31	80
45	90

Note: 1) confidence level is 0.95.

#### 4 结论

(1) 在加速老化试验过程中,环境温度和湿度对该火工品电阻影响不是十分显著。

(2) 该火工品单发作用时间、质量和药剂的撞击感度在老化过程中,受环境温湿度的影响较显著,且环境条件越严酷,其变化也越快。

(3) 初步分析认为,该火工品性能变化与其内部装药的热分解密切相关。

#### 参考文献:

- [1] 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 acceler-

ated life testing[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2001(4): 276-278.

- [2] 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.
- [3] 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]. *Acta Armamentarii*, 2004(4): 485-490.
- [4] 李桂荃. 火工品[M]. 南京: 华东工程学院, 1981.
- [5] Russakov, Loren S, Whalley, et al. Accelerated aging testing of energetic components: A current assessment of methodology [C] // 36th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Conference and Exhibit, Huntsville, July 2000.
- [6] 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.
- [7] 张亚,安晓红. 火工品贮存寿命评估方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006(2): 74-76.  
ZHANG Ya, AN Xiao-hong. The evaluation method study on storage life of initiating explosive device life testing [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2006(2): 74-76.
- [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 stepped stress accelerated life testing [J]. *Journal of Electronic Product Reliability and Environment Testing*, 2007(1): 1-4.
- [9] 惠宁利,候丽霞. 环境条件对电火工品电阻的影响[J]. 火工品, 1997(2): 27-31.  
HUI Ning-li, HOU Li-xia. The effect of environmental conditions on resistance of electrical initiators [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 1997(2): 27-31.

### Study on the Aging Effect of a Detonator

TU Xiao-zhen, LI Jing-ming, WEI Xing-wen, ZHOU Yang, WANG Pei, LI Wei

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

**Abstract:** The properties of a detonator were studied by accelerated life test at the conditions of temperature 60℃ and 71℃, relative humidity 95%. Results show that the changes occur on the single function time, mass and the impact sensitivity of inner charge of the detonator, while the resistances have no significant change. The single function time was unqualified when the samples were aged at the condition of temperature 71℃, relative humidity 95% for 14 days. The tested sample's mass was lost more and more and the impact sensitivity of inner charge became more sensitive when the aging time continued.

**Key words:** physical chemistry; detonator; accelerated life test; resistance; single function time