

制导弹药火工品单应力水平加速寿命试验研究

刘朝阳, 赵晓利, 杨岩峰, 崔亮

(军械工程学院, 石家庄 050003)

摘要: 准确判定火工品的剩余寿命, 对制导弹药维修工作至关重要。从制导弹药储存的实际情况出发, 阐述了适时对火工品实施加速寿命试验的必要性, 分析了加速寿命试验中的加速应力、寿命分布、加速系数、应力水平和试验时间, 最后结合火工品具有一定储存期和试验为单一应力水平的特点, 从不同角度对试验数据处理进行了探讨, 从而得出了更为准确的试验结果。

关键词: 单应力水平; 长储; 制导弹药; 加速寿命试验; 火工品

中图分类号: TJ760.7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)05-0029-03

Study on Single Stress Level Accelerated Life Test of Guided Ammunition Initiating Device

LIU Chao-yang, ZHAO Xiao-li, YANG Yan-feng, CUI Liang

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Estimating the residual life of initiating device exactly is very important for guided ammunition servicing. The necessity of accelerated life test of initiating device was introduced from the storage reality of guided ammunition. Accelerated stress, life distribution, accelerated coefficient, stress level and test time in accelerated life test of initiating device were analyzed. Considering the single stress level characteristic of long-term storage test of initiating device, the data treatment method was discussed from different aspects, so as to get more accurate result.

Key words: single stress level; long-term storage; guided ammunition; accelerated life test; initiating device

火工品是弹药易失效件之一。当前大力发展的制导弹药结构更加复杂, 火工品品种类型更趋多样, 数量越来越多。因此, 掌握这些火工品的寿命信息对延长此类弹药的可靠储存寿命尤为重要。适时地对储存期制导弹药的火工品实施加速寿命试验, 一

方面可以获得其正常储存条件下的寿命信息, 为系统研究火工品可靠性积累准确数据; 另一方面也可以掌握同一批次火工品的剩余寿命, 为制导弹药的修理提供理论依据。当前, 制导弹药火工品性能相关数据相对缺乏, 因此, 充分利用有限的的数据得出更

收稿日期: 2012-04-12

作者简介: 刘朝阳(1988—), 男, 河北晋州人, 硕士研究生, 主要研究方向为弹药技术与保障。

为可靠的结论十分必要。

1 试验原理

1.1 确定加速试验应力

正确选择加速试验应力,是火工品在试验条件和自然储存条件下失效机理保持一致的重要保证,两个条件下失效机理一致,加速寿命试验才有意义。自然储存条件下,火工品除主要受温度、湿度影响外,还有机械应力、电应力等。虽然多应力试验效果更好,但当储存过程中采取了防水分侵蚀措施后,可简化为单一温度应力的储存问题^[1]。

1.2 确定寿命分布

制导弹药火工品属于新型火工品,储存寿命服从对数正态分布^[2]。其密度函数表达式为:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right], t \geq 0 \quad (1)$$

式中: t 为火工品储存时间(月,后同); μ 为对数均值; σ 为对数标准差。

1.3 确定加速系数

试验采用修正的阿伦尼乌斯方程^[3],见式(2),由高温下的试验时间推算出常温下的储存时间为:

$$t_0 = \tau t_1 \quad (2)$$

式中: t_0 为常温下的储存时间; t_1 为高温下的储存时间; τ 为加速系数。其中:

$$\tau = k^{(T_1 - T_0)/A} \quad (3)$$

式中: k 为反应速度温度系数; T_1 为高温试验热力学温度; T_0 为常温试验热力学温度, $T_0=294$ K; A 为与反应温度系数对应的温度变化。

2 试验的组织与实施

2.1 确定应力水平

制导弹药火工品加速寿命试验中,温度应力水平应根据其特性、作用原理等确定。一般情况下,最高应力水平不高于 353 K,最低应力水平不低于 323 K。具体应力水平可综合考虑弹药已储存的时间、试

验的条件需求等因素后选定。

2.2 确定试验时间

应力水平的大小和试验样品本身的质量直接决定试验时间的取值:选定的时间过长,可能导致全部失效,这将难以确定样品的失效时间;选定的时间过短,则可能出现零失效的情况,失去了试验意义。因此,试验时间的确定应充分考虑试验应力水平和样品实际已储存年限之间的关系。一般情况下,试验时间与正常储存时间累积起来比生产厂家给出的火工品寿命略长。

2.3 抽样

样本量的大小是寿命试验结果可靠度的决定性因素之一,具体到制导弹药火工品上,还需要考虑反映火工品性能的灵敏参量。通常情况下,平均发火感度测量需样本 50 发,作用时间测量需样本 15 发,点火压力测量需样本 10 发。

2.4 失效时间测定

产品技术规范是确定参试样品失效与否的判断标准,若有自动检测设备,应尽量记录每个失效样品的准确失效时间。但实际操作中,火工品的试验往往难以找出其准确失效时间,因此,需要采用定周期测试的方法来确定其概略失效时间^[4]。步骤如下。

1) 确定若干测试时间: $0 = \tau_0 < \tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_r$,该时间应与产品失效规律吻合,时间间隔应与产品可能失效的概率相关,即失效多则间隔短,失效少则间隔长。

2) 采用等间隔方式估计 r_i 个失效样品在 (τ_{i-1}, τ_i) 的失效时间,间隔公式为:

$$\tau_{ih} = \tau_{i-1} + \frac{\tau_i - \tau_{i-1}}{r_i + 1} h, h=1, 2, \dots, r_i \quad (4)$$

3 试验数据处理

3.1 显著性检验

t 检验:假设 $\mu = \mu_0$,

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S} \quad (5)$$

式中: t 为统计量; \bar{x} 为被试样品参数的算术平均值, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; S 为 \bar{x} 的标准差, $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$; μ_0 为试验前样品参数的算术平均值; n 为样本量。

当 $|t| > t_\alpha$ 时, 说明样品质量发生了显著性变化, 否定假设 $\mu = \mu_0$, 其中 α 为显著性水平, t_α 由查表得出。

3.2 数据的复处理

由加速寿命试验的假设可以知道, 产品在应力水平 S_i 下工作 κ_i 时间的累积失效概率 $F_i(\kappa_i)$ 等于此

$$\sum_{i=0}^k \sum_{j=1}^{r_i} \frac{t'_{ij}(\hat{b})}{t_{ij}(\hat{b})} + \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} [\ln t_{ij}(\hat{b}) - \ln t(\hat{b}) - \hat{b}(\varphi_i - \bar{\varphi})] \left[\frac{t'_{ij}(\hat{b})}{t_{ij}(\hat{b})} - \varphi_i \right]}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} [\ln t_{ij}(\hat{b}) - \ln t(\hat{b}) - \hat{b}(\varphi_i - \bar{\varphi})]^2} = 0 \quad (8)$$

可以通过数值迭代的方法求得 \hat{b} (b 的估计值), 其中 $\varphi_i = \varphi(S_i)$, $t'_{ij}(\hat{b})$ 为 $t_{ij}(\hat{b})$ 关于 b 的导数, $\bar{\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k r_i \varphi_i$, $\ln t(\hat{b}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{r_i} \ln t_{ij}(\hat{b})$ 。

由于 $\hat{a} = \ln t(\hat{b}) - \hat{b}\bar{\varphi}$, 故通过 \hat{b} 可以得出 \hat{a} , 此时就可由式(9)求得正常应力水平 S_0 下的寿命 t 。

$$\ln t = \ln \hat{t} = \hat{a} + \hat{b}\varphi(S_0) \quad (9)$$

4 结语

若通过显著性检验, 所得结果在接受范围内, 则 $t_0 = \tau t_1$, 且所得火工品寿命 $t' = t_0 + t_{0r_0}$ 在其真实寿命以内, 而通过对试验数据的复处理可得到被试品寿命 t , 有 $t \geq t'$, 真实寿命为 t ; 若通过显著性检验, 所得结果在接受范围外, 则 $t_0 = \tau t_1$, 且 $t' = t_0 + t_{0r_0}$ 超过了其真实寿命, 而通过对试验数据的复处理可得到被试品寿命 t , 有 $t \leq t'$, 真实寿命为

产品在应力水平 S_j 下工作某一段时间 κ_j 的累积失效概率 $F_j(\kappa_j)$, 故有:

$$\kappa_{ij} = \kappa_i \exp\{b[\varphi(S_j) - \varphi(S_i)]\} \quad (6)$$

式中: b 为加速寿命试验假设中的一个未知参量; $\varphi(S)$ 为与加速应力相关的已知函数。考虑到样本已有一定时间的储存期 t_{0r_0} , 将其转换为试验所定的高温下时间, 可得到试验温度下的折算寿命:

$$t_{ij}(b) = \sum_{l=1}^i \kappa_l \exp\{b[\varphi(S_i) - \varphi(S_l)]\} + t_{ij} \quad (7)$$

式中: $i=0, k$ (单应力条件下 $k=1$); $j=1, 2, \dots, r_i$ 。由式(8):

$[t, t']$ 内某一数值。因此, 通过对试验数据的综合处理, 提高了对试验数据的利用率, 同时也提高了试验结果的准确度。

参考文献:

- [1] 刘传模. 弹药可靠性工程基础[M]. 石家庄: 军械工程学院出版社, 1996: 78—85.
- [2] 赵然. 有已知寿命相似产品陪试的加速寿命试验方法[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2009: 23—27.
- [3] GJB 736.8—90, 火工品试验方法[S].
- [4] 茆诗松, 汤银才, 王玲玲. 可靠性统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 295—305.