

某灵巧弹药红外敏感器部件贮存加速寿命 试验应力的研究

郝冲¹, 许路铁¹, 俞卫博¹, 樊文军²

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 中国兵器工业集团晋西工业集团有限责任公司, 太原 030027)

摘要: 对于结构复杂的新型弹药元件, 难以通过传统的统计试验方法来验证其可靠性, 而现阶段基于模型的加速寿命试验方法受到加速模型的限制, 只适应于元器件级及材料级的传统弹药元件。在明确某灵巧弹药红外敏感器部件结构特征的基础上, 以步进加速寿命试验理论与方法为依据, 逐一对各组件进行分层次的贮存失效分析, 归纳出贮存环境中导致红外敏感器部件失效的主要应力类型, 并提出该部件可采取恒定湿度、步进温度的加速寿命试验方法进行可靠性验证。

关键词: 加速寿命试验; 红外敏感器; 加速应力; 贮存寿命

中图分类号: TJ410. 89 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)04-0023-04

Study on Accelerated Storage Life Testing of Infrared Sensor Component of Smart Ammunition

HAO Chong¹, XU Lu-tie¹, YU Wei-bo¹, FAN Wen-jun²

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Jinxi Industries Group Co. LTD., Taiyuan 030027, China)

Abstract: It is difficult to verify the reliability of a new type of ammunition components through traditional statistical testing methods. The model-based accelerated life test method limited by acceleration model, is applicable only to component and material level at present. Based on accelerated life test theories and methods, the structural characteristics of smart ammunition infrared sensor components were determined, and the hierarchical storage failure analysis were carried out one by one on each component. The main types of storage environment stress leading to component failure were summed up, and the point of view of applying step accelerated life test program was put forward.

Key words: accelerated life testing; infrared sensor; accelerated stress; storage life

某灵巧弹药的红外敏感器部件集先进的敏感探测技术、数字信号处理技术和目标红外特征数据库于一体, 具有零部件多、工作过程复杂的特点, 代表着新型弹药元件的发展方向。因其在仓库中的贮存

收稿日期: 2012-05-06

作者简介: 郝冲(1987—), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 主要研究方向为火炮、自动武器与弹药工程。

时间较短,贮存可靠性如何目前尚不明确。为此提出用加速寿命试验方法,对该红外敏感器系统进行一系列高应力水平下的寿命试验,拟在较短的时间内推断出其在正常应力水平下的可靠性特征和失效分布,预测贮存寿命,可为该部件及其他同类新型弹药元件的贮存、使用,乃至生产、设计过程提供科学的质量信息,具有重大的军事和经济意义。

目前的贮存加速寿命试验主要集中于元器件级、材料级等常规弹药元件的单一失效机理研究^[1-2],而新型弹药元器件往往是一个复杂系统,存在多个失效机理,加之缺乏历史故障信息的资料积累,造成在选取加速应力时比较困难,很难确定何种应力在贮存状态下对产品的失效起主导作用。为此,文中着重对红外敏感器部件贮存加速寿命试验的主要应力类型进行了分析。

1 结构特征

1.1 主要组成元件及功能

此红外敏感器系统由光学系统、红外探测器、半导体光电探测器、信号调理模块和数字信号处理软件等组成。光学系统的主要作用是,为红外探测器和半导体光电探测器提供清晰的红外辐射、散射光;红外探测器与半导体光电探测器构成了长、短波共同探测目标的双波段复合体制,实现在复杂地面背景下探测目标;信号调理模块主要是为红外敏感器供电,并将光电及红外探测器转换出的电信号进行放大、处理与识别,它由大量的电阻器与电容器、集成运放和集成稳压电源等电

子元器件构成。

1.2 可靠性框图

根据红外敏感器的作用原理与作用过程可知,它对目标的识别是对长波红外信号和短波红外信号综合判断的结果,两者缺一不可,光电探测器和红外探测器实质上是一串联系统,因此红外敏感器是一串联系统。红外敏感器可靠性框图如图1所示。

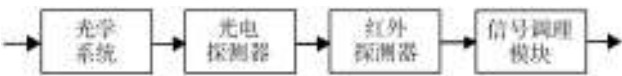


图1 红外敏感器可靠性框图
Fig. 1 Reliability frame of infrared detector

2 加速寿命试验理论与方法

此红外敏感器属于高价值特殊弹药元器件,试验时,可用样品的数量较少。根据不同类型加速寿命试验的特点^[3]可知,恒加速试验虽然较简单,但很难满足其所需样品数的要求;而序进加速试验虽然所需样品数最少,但在数据处理上困难较大。综合考虑,文中采取步进应力加速寿命试验。

2.1 加速贮存寿命试验的理论依据

2.1.1 数学模型

加速寿命试验的基本思想是,利用高应力下的寿命特征去外推正常应力水平下的寿命特征^[4]。建立寿命特征与应力水平之间的关系,是实现这个基本思想的关键,即加速模型,又称为加速方程^[5]。加速寿命试验常用的数学模型见表1。

表1 常见加速参数模型
Table 1 Common acceleration models and parameters

模型名称	加速应力	公式	线性化形式	备注
Arrhenius	温度	$\theta = A \cdot e^{E/(kT)}$		θ 为母体参数;
逆幂律	非热应力 (电压、荷重等)	$\theta = A \cdot V^{-E}$	$\ln \theta = a + b\varphi(S)$	E 为激活能;
单应力 Eyring	温度	$\theta = \frac{A}{T} \cdot e^{E/(kT)}$		T 为绝对温度;
广义 Eyring	温度与 非热应力	$\theta = \frac{A}{T} \cdot e^{E/(kT)} \cdot e^{CV+DV/(kT)}$	$\ln \theta = a + b\varphi_1(T) + c\varphi_2(V) + d\varphi_1(T)\varphi_2(V)$	V 为非热应力;
				$\varphi(S)$ 为应力 S 的已知函数;
				k 为 Boltzmann 常数;
				a, b, c, d 为待估常数。

2.1.2 累积效应模型

累积效应模型是步进加速试验数据处理的理论基础,它认为样品的剩余寿命仅依赖于当时的应力水平和当时已积累的失效部分,而与积累的方式无关。可量化为如下数学含义:在应力水平 S_i 下,产品试验时间为 t_i 的累积失效概率 $F_i(t_i)$,相当于该产品在应力水平 S_j 下,试验时间为 t_{ij} 所达到的累积失效概率 $F_j(t_{ij})$,即:

$$F_i(t_i) = F_j(t_{ij}) \quad (1)$$

根据这一原理,可求得产品在步进应力加速试验条件下的寿命折算分布,进而用极大似然法或最小二乘法估计加速寿命方程的待估计参数。折算分布是将不同应力水平下的分布函数,根据 Nelson 原理折算到同一应力水平下的分布函数 $F_0(t)$ 中,即折算分布函数。如多应力水平下的寿命分布均为威尔分布,即 $F_i = 1 - \exp[-(\lambda_i t)^{\beta}]$,则折算分布为:

$$F_0(t) = 1 - \exp \left\{ - \left[\lambda_i (t - t_{i-1}) + \sum_{k=1}^{i-1} \lambda_k (t_k - t_{k-1}) \right]^{\beta} \right\} \quad (2)$$

式中: $t_{i-1} < t < t_i, i=1, 2, \dots, n$ (n 为应力水平)。由此所得的试验数据可看作是来分布函数 $F_0(t)$ 的母体,利用分布函数就可以进行参数估计^[6]。

2.2 一般程序及注意事项

加速寿命试验的程序一般分为三个阶段:试验方案设计阶段、试验实施阶段、数据处理及结果推断阶段。在每个阶段均有一些要注意的事项。特别是在方案设计程序中,要尽可能满足一些有利于试验效果的原则,如:对于应力类型,应选择便于人为控制且对试验对象起主要作用的应力类型;对于应力水平,最高应力水平在不改变试验对象失效机理的前提下尽量高选,最低应力水平在起到加速效果的前提下尽量接近正常贮存应力水平;对于测量参数,一般选择能有效反映试验对象贮存失效特性,且与试验时间呈灵敏单一变化的参数。

3 主要加速应力类型分析

进行加速寿命试验的首要问题就是加速应力类型的选取,这取决于所选元器件或设备的失效机理及其在正常贮存状态下的贮存环境^[7]。红外敏感器

不同于常规弹药元器件,它集光、电于一体,由多种类型部件组成,失效机理也不尽相同,在对红外敏感器进行贮存失效分析的基础上,分析每个部件失效的主要影响应力,可归纳得出贮存环境中对红外敏感器系统失效起主导作用的应力类型。

信号调理模块的内部结构主要是集成电路和大量的电子元器件,其基本失效模式是电路或电子元器件的损坏失效。在贮存过程中,可能受到温度与湿度、机械振动、电磁辐射与脉冲、生物条件及化工组分等环境应力的影响。分析电子元器件的失效机理及贮存环境下信号调理模块的失效模式与影响因素,可知信号调理模块失效主要是温度、湿度的长期积累,造成元器件内部发生物理、化学反应。故认为,贮存期引起信号调理模块失效的环境因素主要考虑温度应力和湿度应力。

红外敏感器中光学系统的失效模式主要体现在:1)冲击应力、锈蚀、热应力膨胀等机械损伤引起壳体、镜架变形;2)因环境温度、湿度、霉菌等产生的雾气或污染引起光学镜片的光学性能变差。通过对光学系统中各光学元件的物化失效机理进行分析,并依据光学系统的失效模式与影响分析,综合考虑认为,在正常贮存环境下,对红外敏感器光学系统产生影响的主要应力为冲击应力、温度和湿度应力,而最可能的失效模式为光学玻璃表面产生雾气或污染使像质变差,造成无输出信号或输出信号变差,以及响应灵敏度降低。

光电及红外探测器的主要失效模式分为四类:1)壳体破损,造成输出信号有严重的电磁干扰;2)探测窗口的光选择识别性能降低,造成响应信号变弱;3)探测器的光电转换功能失效;4)前置放大器电路失效。其中,引起壳体破损的主要是冲击应力、锈蚀或热应力膨胀等;探测窗口选择性能下降的主要原因是窗口受到污染;光电转换功能失效的主要原因是冲击应力和热应力造成晶片损坏或导电胶失效;前置放大器的失效主要是电阻器、电容器等电子元器件因温湿度积累,发生物理化学反应造成的。依据光电及红外探测器的失效模式与影响分析,考虑到贮存环境条件,认为贮存阶段引起光电及红外探测器失效的环境因素主要为冲击应力、温度和湿度应力。

综上所述,红外敏感器各部件的主要影响应力

见表2。经分析可知,贮存环境中对红外敏感器系统失效起主导作用的应力主要为温度、湿度、冲击与霉菌。考虑到试验实现的难易程度,笔者认为在进行红外敏感器贮存加速寿命试验时,应首选温度与湿度应力作为步进应力加速试验的加速应力,又考虑到有关湿度的加速寿命模型和理论尚不成熟,认为

试验中湿度应作为一个不变的应力来施加。一般情况下,湿热加速老化试验也总是将湿度固定在当地平均湿度这个点上^[8],所以可以不考虑湿度变化这个因素。基于此,笔者提出对此红外敏感器部件采取恒定相对湿度应力、步进温度应力的步进加速寿命试验方法。

表2 红外敏感器各部件的主要影响应力

Table 2 Main influencing stress of infrared sensor components

部件名称	温度	湿度	冲击	霉菌	电载荷	盐度
光学系统	●	●	●	●	○	○
光电及红外探测器	●	●	●	●	○	○
信号调理模块	●	●	○	○	○	○

注:●表示主要影响应力;○表示无影响或可忽略的应力。

4 结语

文中运用逐层分析、归纳总结的方法,确定了某红外敏感器部件贮存加速寿命试验应力类型,为类似产品的加速寿命试验应力选取方法提供了参考。随着高可靠性、长寿命新型弹药产品的不断更新换代,为快速、准确地评价产品在实际贮存环境中的可靠性水平,今后应进一步加强对综合应力水平加速寿命试验的研究。

参考文献:

- [1] 张春华,温熙森,陈循. 加速寿命试验技术综述[J]. 兵工学报,2004,25(4):485—490.

- [2] 葛广平. 我国加速寿命试验研究的现状与展望[J]. 数理统计与管理,2000,19(1):25—28.
- [3] 张志华. 加速寿命试验及其统计分析[M]. 北京:北京工业大学出版社,2002:30—32.
- [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,2008:302—303.
- [5] 黄婷婷,姜同敏. 加速寿命试验中统计加速模型综述[J]. 装备环境工程,2010,7(4):57—62.
- [6] 郭芳筠,王德润,李海昌,等. 军械装备贮存可靠性工程[M]. 北京:解放军出版社,1999:234—235.
- [7] 张生鹏,王晓红,李晓钢. 电子整机加速贮存试验方案设计[J]. 质量与可靠性,2011,152(2):24—28,49.
- [8] 骆燕燕. 电磁继电器贮存加速寿命试验方法的研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2005.

(上接第18页)

- 展和展望[J]. 海军航空工程学院学报,2006,21(5):35—37.
- [2] 唐国金,周建平. 某装填式固体发动机药柱的寿命预估[C]//国防科技大学校庆40周年论文集.长沙:国防科技大学,1993.
- [3] 刘军虎. EB固体火箭发动机药柱的寿命预估[D]. 长沙:国防科技大学,1997.
- [4] 袁端才,唐国金,李海阳,等. 基于加速老化与三维黏弹性有限元分析的固体导弹发动机寿命预估[J]. 兵工学

报,2006,27(4):685—689.

- [5] 周堃,罗天元,张伦武. 弹药贮存寿命预测预报技术综述[J]. 装备环境工程,2005,2(2):6—11.
- [6] 赵方超,罗天元,李超,等. 某型固体云爆剂加速老化试验与贮存寿命预测研究[J]. 装备环境工程,2011,8(6):34—37.
- [7] 鲁国林,罗怀德. 定应变下丁羟推进剂贮存寿命预估[J]. 推进技术,2000,21(1):79—81.
- [8] 张昊,罗怀德,杜娟. 线性活化能法预估推进剂贮存寿命研究[J]. 固体火箭技术,2002,25(2):56—58.