

基于累积退化量的电子部件SSADT可靠性评估

范志锋, 齐杏林, 崔平

(军械工程学院弹药工程系, 石家庄 050003)

摘要: 为快速评估新型弹药中电子部件的储存可靠性, 提出了使用步进应力加速退化试验(SSADT)的方法。首先给出了电子部件SSADT方案, 接着提出了基于累积退化量的电子部件SSADT可靠性评估的基本假设, 然后详细分析了基于累积退化量的电子部件SSADT可靠性评估思路和方法。该方法实现了“零失效”情况下弹药电子部件的储存可靠性评估。

关键词: 弹药; 电子部件; 累积退化量; 加速退化试验; 步进应力; 恒定应力; 可靠性评估

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2013.05.029

中图分类号: TB114.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)05-0130-04

Reliability Assessment of Electronic Parts Based on Cumulative Degradation by SSADT

FAN Zhi-feng, QI Xing-lin, CUI Ping

(Department of Ammunition Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 05003, China)

Abstract: In order to assess the storage reliability of electronic parts of new ammunition quickly, the method of step-stress accelerated degradation testing (SSADT) was put forward. First the scheme of electronic parts by SSADT was expatiated. Then the basic hypothesis of reliability assessment of electronic parts based on cumulative degradation by SSADT was brought forward. The train of thought and method of the reliability assessment method was analyzed particularly. The method achieved storage reliability assessment of ammunition electronic parts under the condition of "zero failure".

Key words: ammunition; electronic parts; cumulative degradation amount; accelerated degradation testing (ADT); step-stress; constant-stress; reliability assessment

基于加速退化试验的可靠性评估已经得到了广泛的应用^[1-5],但在弹药领域开展加速退化试验的研究较少。近年来,随着内部含有电子部件的复杂弹药系统列装于部队,评估此类复杂弹药系统的储存可靠性是弹药质量监控领域的重点课题。过去,对

弹药一般都是采取常规储存、抽样、试验等方法对其储存可靠性进行评估。这种质量监测方法尽管比较真实,但往往要经过很多年后才能知道弹药的储存寿命,而且需投入大量的人力、物力、财力。当前,部队质量监测机构考核弹药及其元件最节省时间的方

收稿日期: 2013-06-07

作者简介: 范志锋(1978—),男,汉族,湖北武穴人,博士,讲师,主要研究方向为弹药保障技术。

法是采用加速寿命试验,但目前弹药加速寿命试验中施加的最高应力有限,试验所需样本较大,时间较长。对于新研制的内部含有电子部件的复杂弹药系统,采用这种方法显得力不从心。电子部件是复杂弹药系统的薄弱环节,为快速评估新型弹药中电子部件的储存可靠性,文中提出了基于累积退化量的电子部件SSADT可靠性评估方法。

1 SSADT 方案

与弹药加速寿命试验选择的试验应力相同^[6],文中研究的电子部件SSADT选择温度和恒定湿度作为试验应力,即电子部件SSADT的应力施加方式为恒定湿度、步进温度。

SSADT先选定一组加速应力水平 $T_1 < T_2 < \dots < T_n$ (不少于3个),它们均高于正常储存条件下应力水平 T_0 。试验开始时,将一定数量(不少于3个)的样品置于应力水平 T_1 进行试验,经过时间 t_1 后,把应力水平提高到 T_2 上继续进行试验。如此下去,直到在最高应力水平完成一定时间试验为止,其应力施加的顺序如图1所示。

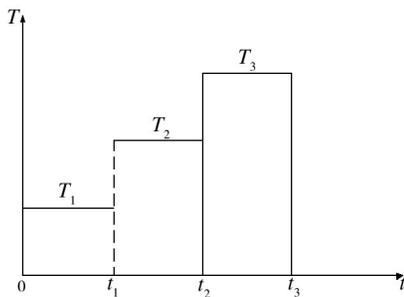


图1 SSADT的应力施加过程
Fig. 1 Stressing process of SSADT

电子部件SSADT不要求在试验过程中被试样品出现失效,只要求观测电子部件性能的变化规律,因此,试验总时间相对加速寿命试验可以大大缩短。由于没有任何电子部件SSADT的经验,试验总时间 $t_{总}$ 的上限暂定为设计储存寿命的1/40。根据实际试验中电子部件性能的变化趋势,试验总时间 $t_{总}$ 可以进行适当调整。对于具有3个应力水平的电子部件SSADT,各个应力水平的试验时间可以按照 $\Delta t_1=5/10 \cdot t_{总}$, $\Delta t_2=3/10 \cdot t_{总}$, $\Delta t_3=2/10 \cdot t_{总}$ 进行估算。

2 基本假设

结合国内外加速退化试验的研究情况^[7-9],考虑电子部件的特性,便于采用基于累积退化量对SSADT数据进行可靠性评估,提出基于累积退化量的电子部件SSADT可靠性评估的几点基本假设。

1) 电子部件的性能退化过程具有单调性,即性能发生的退化不可逆,同时任何一种电子部件的性能退化轨迹均符合下列模型的一种,则性能退化轨迹可以用线性或线性化的模型来进行有效地拟合。

$$y(t) = \alpha + \beta \cdot t \tag{1}$$

$$y(t) = \alpha \cdot \exp(\beta \cdot t) \tag{2}$$

$$y(t) = \exp(-\beta \cdot t^\alpha) \tag{3}$$

$$y(t) = \beta \cdot t^\alpha \tag{4}$$

2) 电子部件的各个性能参数的退化是相互独立的,每个性能参数的退化对应一种失效机理,保证退化敏感参数不止一个的情况下,分别求出每个退化敏感参数对应的储存寿命,将寿命最低者作为该电子部件的储存寿命。

3) 在各加速应力水平下,产品的失效机理不变,加速退化数据在不同应力水平下具有相同的分布形式。

4) 在SSADT中,电子部件的性能退化轨迹是连续的,不存在间断点,即第一个应力水平结束时的性能参数值与下一个应力水平开始时的性能参数值相等,保证步进应力条件下的累积退化量与正常应力水平下的性能退化量具有等效效果。

5) 电子部件的残余寿命仅依赖于当时已累积失效部分和当时应力水平,而与累积方式无关。

6) 电子部件的储存寿命服从指数分布。

假设4和假设5可用图2表示。

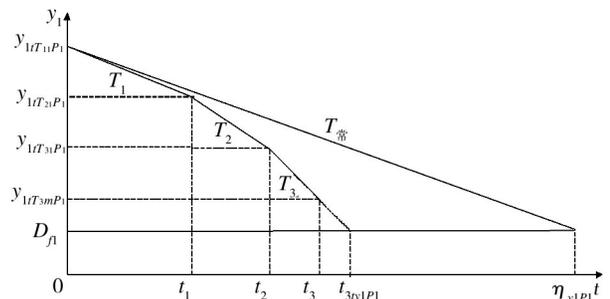


图2 步进应力累积退化与常温退化关系
Fig. 2 Relation chart between step-stress cumulative degradation and normal temperature degradation

图2给出的是步进应力累积退化与常温退化之间的关系。假设退化敏感参数 y_1 与时间 t 之间呈线性关系,若不是线性关系,可以将之线性化。试验结束时,由于退化敏感参数 y_1 没有达到失效阈值 D_{f1} ,将应力水平 T_3 下的退化轨迹延长,得到失效阈值 D_{f1} 对应的时间 T'_3 ,将时间 T'_3 视为伪SSADT时间(Pseudo SSADT Time, PST)。

3 基于累积退化量的电子部件SSADT可靠性评估思路和方法

3.1 电子部件SSADT数据的结构

根据电子部件SSADT方案,初步预计电子部件SSADT数据的结构。

假设从一批电子部件中抽取3发样本(编号为 p_1, p_2, p_3)进行SSADT,试验的应力水平个数为3个($T_1=70\text{ }^\circ\text{C}, T_2=80\text{ }^\circ\text{C}, T_3=100\text{ }^\circ\text{C}$)。在3个应力水平之间的转换时刻为 t_1, t_2 ,试验终止时刻为 t_3 。

假设每个应力水平下等间隔测试 m 次,则3个应力水平下的测试时刻分别为:

$$t_{T_1} = 0, \dots, t_{T_1, m} = \frac{(m-1)t_1}{m-1} = t_1$$

$$t_{T_2} = t_1, \dots, t_{T_2, m} = t_1 + \frac{(m-1)(t_2 - t_1)}{m-1} = t_2$$

$$t_{T_3} = t_2, \dots, t_{T_3, m} = t_2 + \frac{(m-1)(t_3 - t_2)}{m-1} = t_3$$

设被试电子部件共有 n 个测试参数,分别为 y_1, y_2, \dots, y_n 。

根据以上假设,电子部件SSADT数据结构见表1。

表1 电子部件SSADT数据结构

Table 1 SSADT data structure of electronic parts

应力水平	测试时间	样本	测试参数		
			y_1	...	y_n
T_1	t_{T_1}	p_1	$y_{1t_{T_1}p_1}$	...	$y_{nt_{T_1}p_1}$
		p_2	$y_{1t_{T_1}p_2}$	...	$y_{nt_{T_1}p_2}$
		p_3	$y_{1t_{T_1}p_3}$	...	$y_{nt_{T_1}p_3}$
	t_{T_m}	p_1	$y_{1t_{T_m}p_1}$	...	$y_{nt_{T_m}p_1}$
		p_2	$y_{1t_{T_m}p_2}$	...	$y_{nt_{T_m}p_2}$
		p_3	$y_{1t_{T_m}p_3}$	...	$y_{nt_{T_m}p_3}$

表1列出的是在应力水平 T_1 下的测试数据。在应力水平 T_2, T_3 下,测试数据结构与表1类似。例如在应力水平 T_2 下,在 t_{T_2} 时刻,测得样品 p_2 的性能数值 y_1 记为 $y_{1t_{T_2}p_2}$ 。

3.2 可靠性评估思路

基于退化量累积的电子部件SSADT可靠性评估的思路是:根据SSADT试验数据,选择合适的退化敏感参数和退化轨迹模型,求出退化敏感参数对应的激活能,外推退化敏感参数的PST,依据PST累积退化量与正常应力水平下退化量相同,求出正常应力水平下电子部件的寿命和可靠度。

3.3 可靠性评估步骤

1) 根据已知的电子部件SSADT数据,在直角坐标系中作每个样品(p_1, p_2, p_3)在每个应力水平(T_1, T_2, T_3)下的性能参数值与试验时间的散点图,选择退化趋势明显的性能参数作为退化敏感参数。

2) 对每个样品在每个应力水平下退化敏感参数的SSADT数据按照假设1中的模型运用最小二乘法进行拟合,根据拟合优度选择最合适的退化轨迹模型,得到每个样品在每个应力水平下退化敏感参数的退化轨迹方程。

3) 根据步骤2得到的每个样品在每个应力水平下每个退化敏感参数的退化速度,求出每个样品每个退化敏感参数对应的激活能和PST。

4) 根据在PST内SSADT每个样品对应退化敏感参数的累积退化量与正常应力水平下退化量相等这一条件,求出在正常应力水平下每个样品退化敏感参数对应的电子部件储存寿命。

5) 求正常应力水平下每个样品退化敏感参数对应的电子部件平均储存寿命的点估计值和区间估计值。

6) 若有多个退化敏感参数,取电子部件退化敏感参数对应常温 T_0 下储存寿命的平均值中较小者作为整个电子部件在常温储存条件下的储存寿命平均值 $\bar{\eta}_y$ 。同样得到置信度为 $1-\alpha$ 的整个电子部件在常温储存条件下的平均储存寿命的置信下限 $\bar{\eta}_{yL\alpha}$ 。

7) 根据假设6,求出电子部件在常温 T_0 条件下可靠度的点估计值。

$$R(t, T_0) = \exp\left(-\frac{t}{\eta_y}\right) \quad (5)$$

同样,也可以给出置信度为 $1-\alpha$ 的电子部件在常温 T_0 条件下可靠度的置信下限。

$$R_L(t, T_0) = \exp\left(-\frac{t}{\eta_{yL}}\right) \quad (6)$$

3.4 失效机理一致性分析

电子部件SSADT失效机理的一致性可以从2个方面进行考虑。

1) 各个应力水平下性能退化轨迹模型的一致性。

2) 在保证性能退化轨迹模型一致性的基础上,判断激活能 E_a 是否发生改变。

上述第1个条件是要求所有试验样品在不同应力水平下,同一退化敏感参数的退化轨迹模型只能是1种。假如在高应力水平下退化轨迹模型是幂律退化模型,而低应力水平下退化轨迹模型是线性退化模型,说明高应力水平下失效机理发生了改变,此时,应剔除高应力水平的试验数据,再按照3.2的步骤进行可靠性评估。

至于高应力水平下试验样品的激活能 E_a 是否发生改变,需要进行相关分析。以样品 p_1 和线性退化模型为例,要使失效机理保持一致,在直角坐标系上画出 $(-1/T_1, \ln \beta_1)$, $(-1/T_2, \ln \beta_2)$, $(-1/T_3, \ln \beta_3)$ 这3个点的散点图,这3个点应该大致在一条直线上。其中 β_1 , β_2 , β_3 为退化速度。

4 结语

主要探讨了基于累积退化量的电子部件SSADT

可靠性评估方法,该方法为新型弹药中电子部件“零失效”情况下开展储存可靠性评估提供了一个新的思路。另外,要进一步在弹药领域开展加速退化试验,还应在试验应力水平、试验总时间和样本量等试验方案进行优化。

参考文献:

- [1] 邓爱民,陈循,张春华,等. 加速退化试验技术综述[J]. 兵工学报,2007(8):1002—1007.
 - [2] 王召斌,任万滨,翟国富. 加速退化试验与加速寿命试验技术综述[J]. 低压电器,2010(9):1—6.
 - [3] 贾占强,蔡金燕,梁玉英,等. 步进加速退化试验及其在电子产品可靠性评估中的应用[J]. 军械工程学院学报,2009,21(5):14—19.
 - [4] 郑德强,张正平,李海波,等. 加速退化试验技术研究、应用与发展[J]. 装备环境工程,2011,8(2):100—104.
 - [5] 麻连净,李晓钢,姚金勇. 基于Wiener过程的DRO加速退化试验方法研究[J]. 装备环境工程,2010,7(3):18—21.
 - [6] GJB 5103-2004, 弹药元件加速寿命试验方法[S].
 - [7] MEEKER W Q, ESCOBAR L A, LU J C. Accelerated Degradation Tests: Modeling and Analysis[J]. Technometrics, 1998,40(2):89—99.
 - [8] 邓爱民. 高可靠长寿命产品可靠性技术研究[D]. 长沙:国防科技大学研究生院,2006.
 - [9] ZHAO Wen-biao, ELSAYED E A. An Accelerated Life Testing Model Involving Performance Degradation[C]//Norman Butler Annual Reliability and Maintainability Symposium. Los Angeles: IEEE, 2004:324—329.
-
- (上接第125页)
- [1] vanced Concepts for Near-Space Systems[R]. AIAA-2009-4805, 2009.
 - [4] 蔡明辉,张振龙,封国强,等. 临近空间中子环境及其对电子设备的影响研究[J]. 装备环境工程,2007,4(5):23—29.
 - [5] COLOZZA A. Initial Feasibility Assessment of a High Altitude Long Endurance Airship[R]. NASA CR-2003-212724, 2003.
 - [6] LOBBIA M A, GONG R H. A Modular Sizing Model for High-altitude/Long-endurance Airships[R]. AIAA 2006-821, 2006.
 - [7] 聂营,王生. 2007年中国浮空气大会论文集[C]. 北京:航空工业出版社,2007.
 - [8] 南向谊,王拴虎,李平. 空气涡轮火箭发动机研究的进展及展望[J]. 火箭推进,2008,34(6):31—35.
 - [9] 于达仁,吕晓武,姚战立,等. 2008年全国博士生学术论坛(航空宇航科学与技术)论文集[C]. 南京,2008.