

【武器装备】

基于加速寿命试验的导弹寿命预估方法^{*}

陈海建¹, 李波², 顾钧元¹, 魏勇¹

(1. 海军航空工程学院 研究生管理大队, 山东 烟台 264001; 2. 总后军事交通运输研究所, 天津 300161)

摘要:针对导弹常规寿命试验复杂、寿命评定不准确的情况,通过分析导弹服役环境,确定主要环境应力,设计相应的加速寿命试验,提出了基于加速寿命试验的导弹寿命预估方法的技术途径,从而在较短时间内得到导弹正常应力水平下寿命的解决方案,为以后进行全弹的加速寿命试验、估计导弹寿命提供了一种思路。

关键词:加速寿命试验;寿命预估;导弹

中图分类号:TJ765.4

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2010)04-0011-02

导弹是我军武器装备中的重要成员,担负着重要的作战使命。准确评判导弹的实际使用寿命,及时开展导弹型号的延寿工作,是保持其战备完好性,充分发挥其作战效能的必然需求。导弹服役后要经历库房贮存、运输和战备值班等各种任务剖面环境,其实际使用寿命应当根据具体环境条件的实际影响作用加以合理的评判与界定^[1]。

但是,目前国内对导弹实际使用寿命的评定,所能依据的准则仅有生产方提供的标准环境条件下的贮存寿命或贮存可靠度指标,缺乏严谨性、合理性与客观性。这种情况导致了导弹寿命评判的不确定性,甚至是误判,影响了导弹的延寿工作。对于导弹这种高可靠性的产品,如果采用常规寿命试验的方法来估计导弹的寿命特征,往往需要耗费很长的时间。西方发达国家(特别是美、俄)通过系统、全面的长期研究,已建立了比较成熟的加速寿命试验方法,即通过加大应力进行试件的寿命试验,缩短试验时间,提高试验效率,降低试验成本,使产品的快速寿命评定成为可能^[2]。

1 加速寿命试验

美国罗姆航空中心^[3]于1967年首次给出了加速寿命试验的统一定义,即加速寿命试验(ALT, accelerated life test)是在进行合理工程及统计假设的基础上,利用与物理失效规律相关的统计模型,对在超出正常应力水平的加速环境下获得的寿命信息进行转换,得到试件在额定应力水平下寿命特征的可复现的数值估计的一种试验方法。根据试验应力施加历程的不同,可将加速寿命试验分为4种类型,即恒定应力加速寿命试验、步进应力加速寿命试验、

序进应力加速寿命试验和变应力加速寿命试验。

加速寿命试验实施的前提是不改变产品的失效机理,目的是用加强应力的办法,加快产品故障,缩短试验时间,以便在较短的时间内预测出产品在正常应力作用下的寿命特征。目前,加速寿命试验技术理论方法也得到了快速的发展^[4-8],在军事、航空、航天、机械、电子等诸多领域得到广泛应用^[9-12]。

2 导弹服役环境及环境应力分析

导弹武器在投入部队使用后,需要经历各种各样的使用环境。综合来看,主要有3种典型的使用环境:在储备库房中进行长期存放的贮存环境、进行空间转移的运输环境与承担作战执勤的战备值班环境。

2.1 贮存环境

贮存环境是指导弹在贮存过程中所能遇到的环境,是贮存过程中影响导弹的诸因素的总和。贮存环境按性质可分为自然贮存环境与人工贮存环境,按场所可分为库房环境、棚库环境、露天环境等,此外还可分为野战贮存环境(如码头存放等)与后勤贮存环境。贮存中对导弹武器产生影响的环境因素主要有温度、湿度、霉菌、气压、腐蚀介质等,其中以温度和湿度的影响最大。可以认为,温度应力、湿度应力是导弹贮存环境中的主要环境应力。

2.2 运输环境

导弹在从出厂到部队、从贮存地点到技术阵地、从技术阵地到使用平台等转移过程中,不可避免地要受到运输环境的影响。

运输环境是指在运输过程中对产品产生直接或间接

* 收稿日期:2010-02-03

作者简介:陈海建(1983—),男,博士研究生,主要从事导弹装备综合保障方面的研究。

影响的诸因素的总和。运输工具、装卸固定情况、道路条件等的不同,对运输状态下的导弹所产生的影响也不同。运输环境对导弹的影响,主要取决于运输过程中的诱发因素,有振动、冲击等。可以认为,振动应力、冲击应力是导弹运输环境中的主要环境应力。

2.3 战备值班环境

战备值班环境是指导弹在战斗执勤状态下所处的环境,包括导弹布防与作战地域、场所的自然因素和诱发因素的总和。因此,从横向看,战备值班环境对导弹技术的影响是最为复杂、最为恶劣的。此时,导弹所受的环境应力,既有温度、湿度、气压等战备存放环境应力的影响,又有振动、冲击、撞击等使用平台运载环境应力,还可能有电磁、冲击波等战场环境应力的影响。

3 加速寿命方程

针对不同类型的应力设计的加速寿命试验,通过加速寿命试验所得到的受试部件的寿命数据,可建立部件寿命特征与环境应力的关系模型,它反映了不同应力对部件寿命的影响,这种关系模型又被称为加速寿命方程。

加速寿命方程是受测部件的寿命特征与环境应力的关系模型,反映了不同应力对部件寿命的影响,是进行试验设计、数据处理的判据。

3.1 Arrhenius 模型

当环境应力为温度时,一般认为寿命特征与应力之间的关系符合 Arrhenius 模型:

$$\xi = Ae^{E/KT} \quad (1)$$

式中: ξ 是某种寿命特征如平均寿命、中位寿命等; A 是与装备特性、几何形状、试验方法有关的正常数; E 为激活能,与材料有关,单位是电子伏特 eV; $K=8.617 \times 10^{-5}$ eV/°C 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度。

3.2 T-NT 模型

当环境应力一个是温度应力,另一个是温度以外的应力时,一般认为寿命特征与应力之间的关系符合温度-非温(T-NT)模型:

$$\xi = \frac{C}{U^n} \exp\left(\frac{B}{T}\right) \quad (2)$$

式中: T 为温度应力,是 U 温度以外应力; B, C, n 是常数。

3.3 复合应力模型

当有多个环境应力时,可建立复合应力模型:

$$\xi(X) = \exp\left(a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i\right) \quad (3)$$

式中: α_i 为未知参数; X 为应力矢量。

4 加速寿命试验及寿命预估

4.1 加速寿命试验设计思想

导弹加速寿命试验设计思想:

1) 将导弹的部器件或分系统分为电子部件、机械部件、机电一体化部件和其他部件等 4 种类型,分别设计针对不同对象的加速寿命试验。

2) 分析部件或分系统在贮存、运输和战备值班等不同环境中所受的综合应力,确定一种或几种对其寿命影响较大的应力,分析这些应力单独作用或综合作用的影响。

3) 因技术封锁及试验数据缺失,加速试验的应力水平暂无确定性数据,可根据 GJB 确定加速试验的应力水平范围。在此范围内,设计应力水平组合不同的加速试验方案进行试验,将试验得到的失效数据和部队(或工厂)历年收集到的数据对比,其中较吻合实际情况的应力水平可确定为加速寿命试验的应力水平,并最终明确试验应力变化的规律,求得加速寿命和实际寿命之间的折算关系。

4.2 实例分析

复合固体推进剂在其整个寿命周期内,温度应力对其寿命的影响较大,故设计以温度作为应力的加速寿命试验,加速模型为 Arrhenius 模型^[13]。

1) 试件。单向拉伸试样采用 120 mm × 130 mm × 10 mm 薄片;燃速试样采用 120 mm × 30 mm × 5 mm 薄片。

2) 应力及水平。老化试验温度不少于 3 个,相邻温度间隔不少于 10 °C。

最高老化试验温度视推进剂的种类而定。丁羟、丁羟聚醚推进剂,一般不超过 90 °C;丁羟、聚醚聚氨酯推进剂,一般不超过 80 °C。

最低老化温度不超过 50 °C,温度外推幅度不超过 25 °C。

3) 测试周期(时间、次数)。每个老化试验温度下的取样次数应不少于 8 次。测试间隔时间,一般前期时间间隔要短,以后逐渐加长;高温下时间间隔要短,低温下可长。

4) 截尾时间。各种温度应力下的试验时间,一般应延续到试件的老化性能评定指标下降到规定的极限值以下为止。

由于寿命特征 ξ 与温度应力 T 符合 Arrhenius 模型,故可将温度应力 T 以及通过加速寿命试验得到的寿命特征 ξ 带入式(1),求得其中的常数 A 。然后将正常状态下的温度 T_0 带入式(1),可预估到复合固体推进剂在常态下的寿命 ξ_0 。

5 结束语

相对于导弹的常规寿命试验,开展基于加速寿命试验的导弹寿命预估技术研究,可以在较短时间、较准确地得到导弹的寿命,具有重大的军事、经济意义。目前,国内的加速寿命试验的相关研究开展时间不长,水平不高,和发达国家可进行整弹级加速寿命试验的水平相比,仍有很大差距。因此,我们应积极探索加速寿命试验的相关理论,总结经验,缩小差距,迎头赶上。 (下转第 24 页)