

# 空空导弹定延寿技术应用研究

李根成, 陈智芳

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** 介绍了国外典型的定延寿方法, 以美国为代表采用的跟踪监测法和以俄罗斯为代表采用的加速试验法, 之后概述了国内常用的厂内寿命试验法、领先使用法、外场信息法、工程分析法、加速试验法。在此基础上, 总结了适用于国内空空导弹开展定延寿工作的方法, 最后对深入开展空空导弹定延寿技术研究提出了几点建议。

**关键词:** 导弹; 定寿; 延寿

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.05.018

**中图分类号:** TJ760      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2018)05-0090-03

## Application Study of Life Estimation and Prolongation Technique for Air-to-Air Missile

LI Gen-cheng, CHEN Zhi-fang

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**ABSTRACT:** Firstly, typical life estimation and prolongation methods in foreign countries such as following and checking method mainly used by America and accelerated testing method mainly used by Russia were introduced. Then, several common methods such as field life testing, using ahead of time, outfield information collecting, engineering analyzing and accelerated test were briefly introduced. On this basis, several life estimation and prolongation methods suitable for air-to-air missile were summarized. Finally, some suggestion for air-to-air missile life estimation and prolongation technique was proposed.

**KEY WORDS:** missile; life estimation; life prolongation

空空导弹是由载机携带, 从载机上发射、攻击并摧毁敌方各类空中目标的精确制导武器, 其作战效能的高低已成为决定战争胜负的重要因素<sup>[1]</sup>。寿命对空空导弹作战效能影响大, 结合其“长期贮存, 多次挂飞, 一次使用”的特点, 用户通常对其寿命周期不同阶段提出了相应的寿命指标。如除用总寿命外, 还有贮存寿命、挂飞寿命和通电寿命要求<sup>[2-4]</sup>。

合理确定寿命指标是科学规划空空导弹使用维护与修理、降低寿命周期费用、充分发挥作战效能的需要, 故受到用户和承制方的高度关注。定寿是指通过分析试验找到一个期限, 在此期限内产品仍能保持规定要求。由于导弹可维修, 价值昂贵, 在它开始

不满足规定要求时往往表现在一些薄弱环节上, 这时对薄弱环节维修可以使其满足规定要求, 这种维修就是延寿<sup>[5-6]</sup>。

## 1 国内外常用的导弹定延寿方法

导弹贮存寿命的定延寿国际上主要有两种方法: 一是以美国为代表的国家, 主要采用跟踪监测法; 另一种是以俄罗斯为代表的国家, 主要采用加速试验法<sup>[7-8]</sup>。国内对导弹定延寿的典型做法是: 设计定型阶段承制方根据厂内试验、外场信息以及相似产品数据给出寿命预估值, 随着使用数据的积累等逐步给出首翻期、

贮存期限等<sup>[9-10]</sup>。

## 1.1 跟踪监测法

美国认为导弹组成复杂,材料种类繁多,其贮存使用环境也多种多样,长期贮存中失效是多因素作用的结果,并不存在可以计算贮存寿命的准确公式。他们认为确定贮存寿命的有效方法是跟踪监测,即执行贮存可靠性计划,从装备列装起,定期监测导弹老化过程,包括贮存、战场使用、飞行试验等环境下的性能参数监测,进而估计贮存寿命。同时通过分解检查,用无损探伤和破坏性试验来检查零部件有无腐蚀、脆化以及与老化有关的迹象。美军所有贮存可靠性计划都要求对导弹进行飞行试验,之后将遥测数据与交付前的数据对比以寻找变化趋势。如 1968 年美空军拟定的“大力神 II 可靠性和老化趋势监测计划(草案)”中包括理论分析、地面试验和飞行试验。地面试验需对全弹从头到尾全面试验,分析时要对分系统的功能参数建立性能极限和故障判据,对部分分系统建立相应模型,选择相应统计方法以估算可靠性和老化趋势。该计划的实施确保了使用可靠性,使大力神 II 服役期延长至 25 年<sup>[6,9]</sup>。

## 1.2 加速试验法

俄罗斯认为开展加速试验可在有限时间内获得更多的寿命与可靠性信息,20 世纪 80 年代前苏联就用加速贮存试验与加速运输试验来确定导弹寿命,并将其用于延寿。加速贮存试验以描述产品在贮存过程中物理化学失效过程为前提,在此基础上形成用来设计试验方案的软件,该软件运行时需输入贮存环境条件、场所、材料清单、元器件数量及其失效率等。俄罗斯“火炬”设计局对 8000 多发导弹及弹上设备的失效情况进行了统计分析,甄别出影响贮存寿命的薄弱环节,用 6 个月加速试验来模拟导弹 10 年贮存寿命<sup>[9]</sup>。

加速运输试验是通过分析实际运输数据,弄清哪些频段影响最大,之后提出试验方法,适用于导弹、结构系统、电子设备和零件等。通过建立一些定律和方程得到材料疲劳、老化过程,且要运用两个假设:应力变化是线性的;故障是可累加的。通过试验台试验大幅缩短了时间,如进行 10 000 km 的实地运输一般要 1 个月,而加速试验只需 6 天<sup>[11]</sup>。

## 1.3 国内常用的导弹定延寿方法<sup>[12-14]</sup>

常用的有厂内寿命试验法、领先使用法、外场信息法、工程分析法、加速试验法等。厂内寿命试验法是利用设备尽量模拟外场使用条件对产品进行试验,通过分析处理试验数据确定产品寿命。领先使用法是根据使用时间最长产品的外场信息进行工程判断和(或)统计分析,来确定产品寿命。外场信息法是利用产品现场使用中的信息确定产品寿命,根据统计分

析方法的不同又分为残存比率法和平均秩次法。工程分析法有薄弱环节法、相似法和折算法,薄弱环节法是通过分析产品中的寿命短板来确定寿命,相似法是利用相似产品寿命来确定或给定新产品寿命,折算法是将产品一种寿命单位折算为飞行小时或起落次数。加速试验法是在失效机理不变的基础上,通过寻找产品寿命与应力之间的物理化学关系(加速模型),利用加速应力水平下的数据去外推或评估正常应力水平下的寿命,有加速寿命试验法和加速退化试验法之分,前者得到的是加速应力下的寿命数据,而后者得到的是加速应力下的性能退化数据。

## 2 国内空空导弹定延寿现状

### 2.1 厂内寿命试验法

空空导弹通电寿命和挂飞寿命的定延寿常用此方法,试验条件采用模拟实际使用中对产品寿命影响较大的敏感应力,按工程经验法对数据分析处理。以某红外空空导弹为例,在对其通电寿命延寿时,采用温度应力+振动应力+湿度应力+电应力的综合环境试验剖面,结合延寿目标取经验系数 1.5 设计延寿试验时间。在对该导弹挂飞寿命延寿时,采用挂飞耐久振动+机动飞振动+横向冲击+纵向冲击进行考核,以充分模拟空中挂飞、带弹起降过程,并取得经验系数 1.5 处理试验数据。

### 2.2 工程分析法

#### 2.2.1 薄弱环节法

空空导弹贮存寿命、通电寿命、挂飞寿命的定延寿可用此方法。首先找出产品薄弱环节,并进行试验以确定其寿命,进而确定高一层次产品的寿命。延寿时先重点论证薄弱环节是否具有延寿潜力,如有则开展原位延寿,即结合薄弱环节所用元器件原材料特性、仿真分析结果等初步分析延寿潜力,然后设计试验以验证,进而给出比初始寿命更长的指标。若无潜力则进行修理延寿。以某导弹发动机为例,研制阶段分析认为装药、橡胶密封圈为贮存寿命薄弱环节,通过对装药、橡胶密封圈进行寿命试验表明可满足首翻期要求。达到首翻期时,根据实际使用情况分析认为装药寿命尚有一定余量,而橡胶密封圈的延寿潜力较小,故对已到首翻期的发动机先更换橡胶密封圈,之后对装药贮存寿命进行延寿试验。

#### 2.2.2 相似产品法

空空导弹贮存寿命、通电寿命、挂飞寿命的定延寿可用此方法。如某弹载计算机与另一型弹载计算机模块 A 相比,工作原理基本相同,选用的元器件类同,印制板生产工艺也基本相同,A 模块自交付十多

年来正常, 类比分析认为该弹载计算机的贮存寿命能达 10 年以上。再如某探测器是在另一型探测器 B 的基础上改进的, 针对探测器 B 实际使用中的问题从配套器件、工艺等进行了改进, 探测器 B 已实际挂飞 150 次, 类比分析认为该型探测器的挂飞寿命能达到 150 次。

### 2.2.3 折算法

常用此方法进行空空导弹挂飞寿命的定延寿。按照 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》, 当挂飞寿命为 150 飞行小时, 试验量值为 1.6 倍功能试验量值时, 耐久试验持续时间为每个轴向 46 min<sup>[15]</sup>。产品研制总要求中常按起落次数明确挂飞寿命要求, 如不小于 70 起落, 所以对空空导弹挂飞寿命定延寿时, 首先按载机的平均携弹留空时间将起落次数折算为总的留空时间, 再按 46 min 地面振动试验相当于空中 150 h 飞行的比例进行相应试验。

## 2.3 加速试验法

空空导弹贮存寿命定延寿常用此方法, 即在分析并确定薄弱环节的基础上开展加速试验。如对某型加速度计开展了加速退化试验, 从而预估出正常应力下的贮存寿命可达 17.1 年。对某型电雷管、扩爆管、火药拔销器等火工品开展了 71 °C 的加速寿命试验, 预估了正常应力下的贮存寿命。采用加速寿命试验法对某型发动机延寿时, 既有针对装药(薄弱环节)的试验, 又有针对发动机整机的试验。

## 3 建议

定延寿技术在空空导弹中的应用促进了其战斗力的形成与保持。随着导弹日益集成化、系统化, 其寿命与可靠性要求也不断提高, 当前的定延寿技术在日益增长的工程需求面前逐渐显得力不从心。另外受研制周期、成本等因素制约, 一些基础工作仍有待加强。

1) 加强厂内试验技术研究。实验室试验的真实程度决定了厂内试验结果的可信程度。空空导弹使用地域广, 配装多型载机, 应重视空空导弹列装后运输、装卸、贮存、起降、挂飞等阶段环境数据的收集分析。特别是尽可能利用科研靶试、批检靶试、战训等机会实测导弹实际工作环境, 以指导厂内试验条件的制定。同时应加强试验方法研究, 包括产品装夹、控制点选择、多输入多输出控制、极限控制、弹内外传递特性等, 以尽可能模拟实际环境。

2) 重视失效机理研究。加速试验的前提是失效机理不变, 即产品在不同应力水平下的失效机理是相同的。应加强对导致产品失效的物理化学过程研究, 利用材料学、物理学、化学、失效分析技术等找出失效原因,

进而设计合理的方案, 促进加速试验在空空导弹上的广泛应用, 并为基于失效物理的可靠性虚拟试验方法的应用与发展奠定基础。

3) 推广可靠性虚拟试验。可靠性虚拟试验是通过建立产品的物理模型、材料模型、设计分析模型、失效机理模型和其他工程分析模型, 将产品预期承受的工作应力与产品的潜在故障发展联系起来, 从而定量预计产品的可靠性与寿命。如在产品早期设计阶段, 可利用软件进行温度应力和振动应力的仿真计算, 应用失效物理模型进行应力损伤分析, 以获取潜在的故障信息。实践表明, 可靠性虚拟试验可有效避免可靠性和寿命试验的盲目性, 节约研制经费, 缩短研制周期<sup>[5-6]</sup>。

4) 系统开展自然贮存试验。加速试验具有时间短、成本低等优点, 但依赖大量的元器件原材料基础数据, 且加速试验的可信度得不到充分保证。相比而言, 自然贮存试验可信度高。可参照美国成功经验, 制定并实施贮存可靠性计划, 通过跟踪监测及时掌握产品老化趋势, 识别薄弱环节并尽可能改进, 充分挖掘产品寿命潜力。

### 参考文献:

- [1] 樊会涛, 吕长起, 林忠贤, 等. 空空导弹系统总体设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 周育才. 可靠性工程设计手册[M]. 洛阳: 中国空空导弹研究院, 2001.
- [3] 李根成, 姜同敏. 空空导弹可靠性指标体系研究[J]. 中国惯性技术学报, 2006, 14(4): 88-92.
- [4] 肖军, 余保民, 吴洪涛. 空空导弹的寿命研究[J]. 航空兵器, 2009(2): 61-64.
- [5] 姜同敏. 可靠性与寿命试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [6] 康锐. 可靠性维修性保障性工程基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [7] ONAR A, PADGETT W J. Accelerated Test Models with the Inverse Gaussian Distribution[J]. Journal of Statistical Planning and Inference, 2000, 64: 233-247.
- [8] 郝冲, 许路铁, 吕帅. 加速寿命试验技术在弹药贮存可靠性工程中的应用[J]. 装备环境工程, 2012, 9(5): 48-51.
- [9] 黄瑞松. 飞航导弹贮存可靠性分析[M]. 北京: 中国航天科工集团三院, 2003.
- [10] (1985)科六字第 1325 号. 航空技术装备寿命和可靠性工作暂行规定(试行).
- [11] 刘松, 温世经, 侯希久, 等. 如何确定导弹的贮存寿命[J]. 质量与可靠性, 1998(5): 15-18.
- [12] 赵宇. 可靠性数据分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [13] 赵保平, 孙建亮, 张韬, 等. 产品定寿与延寿中的几个环境问题[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 21-25.
- [14] 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.
- [15] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].