

文章编号: 1673-4599(2007)02-0054-05

## 机载设备寿命指标的确定与研究

马海峰<sup>1</sup>, 刘松良<sup>2</sup>, 徐 伟<sup>3</sup>

(1. 沈阳飞机设计研究所, 辽宁 沈阳 110035)

(2. 中国人民解放军海军驻沈阳地区航空军事代表室, 辽宁 沈阳 110034)

(3. 中国人民解放军驻沈阳飞机工业(集团)有限公司军事代表室, 辽宁 沈阳 110034)

**摘 要:** 探讨了飞机机载设备寿命的概念与内涵, 机载设备寿命指标确定的原则和方法, 试验、验证与评估的方法, 机载设备寿命指标存在的主要问题与改进建议, 以及寿命指标管理与控制的建议。

**关键词:** 寿命影响要素; 加速寿命试验; 寿命指标管理与控制

中图分类号: V215.7

文献标识码: A

## Determination of Life Targets for Airborne Equipment

MA Hai-feng<sup>1</sup>, LIU Song-liang<sup>2</sup>, XU Wei<sup>3</sup>

(1. Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Shenyang 110035, China)

(2. PLA Military Representative Office in Shenyang Aircraft Corporation, Shenyang 110034, China)

(3. PLA Military Representative Office in Shenyang Aircraft Corporation, Shenyang 110034, China)

**Abstract:** Concepts and contents of airborne equipment life targets, principles and methods for the determination of airborne equipment life, test, verification and evaluation approaches, major problems and improvement propositions in the determination of airborne equipment life targets, and proposed life target management and control are discussed.

**Key words:** life affecting factor; accelerated life test; life target management and control

关于飞机和机载设备寿命指标的控制与要求从 20 世纪 80 年代末期逐步走向规范, 特别是国防科工委颁发了《航空技术装备寿命和可靠性工作暂行规定》(试行)的通知<sup>[1]</sup>和“七五”“八五”国防科工委、空军、航空工业部门开展了航空装备的可靠性、定寿、延寿工作后, 航空装备的寿命工作取得明显的进步, 使寿命工作逐步纳入正轨。

目前在飞机方案论证期间就提出飞机及机载设备的寿命指标与要求, 并在研制期间完成寿命分析报告和耐久性试验(寿命), 在使用期间进行

寿命评估和按时限更换寿命短的机载设备。

由于对飞机和机载设备寿命设计控制和管理认识的不断深化, 要求的明确、试验与考核的完善, 使得飞机及机载设备在寿命期内基本能够完成预定的工作, 在很大程度上提高了飞机的出勤率和战备完好性水平。

但是由于相关的工作与研究不够, 飞机和机载设备寿命指标的设计、试验与评估还存在不少问题, 有待进一步研究解决。

飞机的寿命控制一般分为两部分, 即飞机机体与机载设备, 本文研究的重点是机载设备。

收稿日期: 2006-06-16; 修订日期: 2007-03-20

1 机载设备寿命的概念与内涵(指标体系)

在研究机载设备的寿命时,首先应明确关于机载设备寿命的概念与内涵。

飞机机载设备的寿命是机载设备在规定的条件下,从开始使用到规定报废的工作时间和(或)日历持续时间,总寿命期内包括若干次翻修活动。

对于可修复的机载设备,其寿命为首次翻修期加若干翻修间隔期;

对于不可修复且具有耗损失效特征的机载设备,其寿命即为使用期限。

寿命指标的度量一般用日历年限、飞行小时、发动机工作小时、飞行起落等表示。

在工作中经常涉及并容易混淆的概念是寿命与可靠性,宏观上寿命归属可靠性的一项(在 GJB450A 中,寿命试验归为可靠性试验中的一项,耐久性通过寿命指标度量和寿命试验验证)<sup>[2]</sup>。

在具体实施上,机载设备耐久性的指标是寿命,重点适用有耗损型故障的设备;而可靠性则是设备在规定条件和规定时间内,完成规定功能的能力。

寿命所采用的指标通常为:首翻期、翻修间隔期、总寿命(工作时间或日历持续时间)、使用期限(用于不可修复且具有耗损特征的设备)。

可靠性采用的指标通常为:平均故障间隔时间(MTBF)、失效前平均时间(MTTF)、使用期限(用于不可修复且具有偶然失效特征的设备)。

寿命强调的是耗损性,可靠性关注的是故障发生的概率。

根据机载设备的构成及工作特征的差异,有些机载设备宜用寿命指标控制,有些机载设备则宜用可靠性指标要求。其一般选用原则见表 1。

表 1 设备指标选用原则

序号	设备类别	首翻期	总寿命	使用期限	可靠性	贮存期
1	机械类 (结构)	√	√	○	○	√
2	机电类	√	√	○	○	√
3	电气类	○	○	○	○	○
4	电子类	×	×	×	√	○
5	火工品	×	×	√	○	√
6	塑料、 橡胶类	×	×	√	×	√

说明:√ 应选项目;○ 可选项目;× 不选项目

2 设计与分析方法

2.1 机载设备寿命指标的特征与寿命影响要素研究

在研究和解决机载设备寿命问题之前,应首先研究影响机载设备寿命的因素,机载设备或产品的寿命主要呈现下列特征:

(1) 耗损型寿命,如作动筒、摇臂、轴承、轮胎等,耗损型寿命的模型以电动机为例,是

$$F(t)=1-e^{-[(v/t)^{m\beta}+(w/t)^{m\omega}]}$$

耗损型寿命与产品的工作载荷、工作频率密切相关;

(2) 疲劳型寿命,如弹簧、传感器的膜片等,疲劳型的寿命模型以弹簧为例,是:

$$F(t)=f(\sigma)(f)$$

疲劳型寿命与产品的工作应力、工作频率密切相关;

(3) 高温老化型寿命,如发动机舱的橡胶件、非金属材料器件等,高温老化型的寿命模型以非金属材料为例,是

$$F(t)=f(T)$$

高温老化型寿命与产品的温度场密切相关;

(4) 日历老化型寿命,如塑料管、轮胎、橡胶件、减速伞等,日历老化型的寿命模型以橡胶件为例,是

$$F(t)=f(\sigma)$$

日历老化型寿命与产品所处的应力环境密切相关;

(5) 热负荷型寿命,如熔断器、断路器、灯泡等,热负荷型的寿命模型以熔断器为例,是

$$F(t)=f(T)(L)$$

热负荷型寿命与产品的工作负荷、环境的温度密切相关;

(6) 电化反应型寿命,如蓄电池等,电化反应型的寿命模型以蓄电池为例,是

$$F(t)=f(\xi)(m)$$

电化反应型寿命与极板活性化物质的老化密切相关。

凡具有上述特征的产品应确定其寿命指标,并按指标进行寿命控制。

以上述 6 种寿命类型分析,为延长产品的寿命有两种途径,其一尽量降低影响寿命的因素,如降低高温区的环境温度,为产品所处的环境改善条件,如进行通风和温度控制;其二提高产品

抗寿命影响因素的固有能力和提高材质的耐高温能力, 润滑轴承选择耐高温的油脂, 选择熔点高的金属材料作热负荷型产品。

2.2 指标确定的原则

(1) 与飞机机体寿命指标相同, 即机载设备与飞机同时到寿, 这种结果飞机的寿命周期费用最合理, 并使飞机的战备完好性达到期望的水平;

(2) 若不能与机体同寿, 应与飞机的翻修期相同, 这种情况可在飞机翻修时更换到寿的机载设备。对于构成不很复杂, 造价不很昂贵的机载设备, 可在飞机翻修期更换;

(3) 若上述两条均无法达到, 则应根据机载设备的实际状况确定寿命指标, 此指标最好能与飞机的定期工作周期协调, 以便尽可能兼顾飞机的战备完好性, 不过此类指标的机载设备应严格控制, 数量应尽量少;

(4) 机载设备寿命指标的体系应与飞机与机体的指标相协调, 即日历年限、飞行小时(或发动机工作小时)、飞行起落, 也可以两者同时使用, 例如: 飞行小时/日历年, 此时以先达到的指标为准, 在可行时特别推荐以日历年限确定寿命指标, 因其方便用户控制;

(5) 要单独使用工作次数作为寿命指标, 因其实施中不便控制, 此时工作次数指标应转换成日历年限、飞行小时或飞行起落; 或工作次数与日历年限、飞行小时或飞行起落同时提出。

2.3 机载设备寿命指标确定的方法

在机载设备设计初期, 由于刚刚确定设备构成的方案, 进行了初步功能、性能的分析与计算, 因此推荐采用工程分析法确定设备的寿命指标, 工程分析法通常有下述 3 种方法:

(1) 薄弱环节法

薄弱环节法即通过产品(设备)中寿命最短的主要零部件确定产品的寿命。一般应通过产品的故障模式、影响和致命性分析(FMECA)确定产品的薄弱环节, 再由薄弱环节的寿命确定整个产品的寿命。

薄弱环节法举例: 某飞机环控系统的空气-空气散热器, 产品的原型机为某飞机上的产品, 采用薄弱环节法对寿命进行分析。经过对产品进行 FMECA 分析, 可知影响该产品寿命的主要因素是散热管元件和散热芯体的焊接质量。散热管所选材料为耐高温的 1Cr18Ni9Ti, 具有较高的耐蚀性, 焊接性能良好, 广泛应用于航空散热器的生产,

无外场使用问题, 所以认为散热管可以满足寿命要求。在散热芯体的焊接中, 采用先进的真空钎焊, 严格按工艺规程执行, 保证散热体的寿命要求。该产品最主要和寿命最短的元件可以满足寿命要求, 故认为该产品可以满足寿命要求。

(2) 相似法

相似法即利用已知的相似产品的寿命确定新产品寿命的方法, 相似产品是指在设计制造、材料及功能上确实相似的产品。

相似法举例: 某飞机雷达组件冷却系统中的泵, 采用相似法对其寿命进行评估, 其类比因素和评分见表 2。

表 2 相似法评分表

序号	类比因素	评分结果	平均值
1	产品结构	1.0	1.0
2	产品性能	1.0	1.0
3	制造工艺	1.0	1.0
4	材料	0.8	1.0
5	任务剖面	1.2	1.0
6	使用维护	1.0	1.0
7	管理水平	1.0	1.0

因为评分平均值为 1.0, 故此产品的寿命指标可按相似产品即某泵的寿命指标确定。

(3) 折算法

折算法即将将一种寿命单位(如工作小时数、次数、循环次数等)折算为飞行小时或起落次数确定寿命的一种方法; 也可以将其他机种上的产品的寿命指标乘以折算系数确定本机产品的寿命, 此时折算系数应通过使用条件的差异分析来确定。

3 试验、验证与评估

机载设备寿命指标的试验、验证与评估应分为 3 个阶段, 即工程研制阶段、飞机设计定型阶段、飞机寿命评估阶段。

3.1 工程研制阶段

3.1.1 资料审查

此阶段是飞机方案论证、打样设计和详细设计阶段, 而产品则处于 C 型件、S 型件研制阶段, 正式的装机产品 D 型件尚未生产, 产品的寿命试验或未进行或刚刚开始, 因而此阶段对产品寿命指标的控制关键在于审查产品协议(或技术规范)寿命指标的科学性、合理性和依据的充分性, 审查的主要文件应是设计报告的寿命分析报告, 并据此给出评价意见或提出问题质询及修改建议。

### 3.1.2 确定试验方案

对于重点项目审查寿命试验要求、寿命试验剖面(载荷谱)、审查试验方案,方案的可行性,试验结果的置信度等。

### 3.2 飞机设计定型阶段

此阶段是飞机设计定型阶段,产品应完成研制的全过程,此阶段应审查产品(重点是A、B类)的厂内寿命试验报告并予以评价。对于未进行厂内试验的产品,应审查其领先试飞、或试飞试用报告给出评价意见。对于未达到寿命指标的产品,应责令其改进直至满足指标要求,对于虽经改进仍达不到指标要求的,应提出专项报告,经专家和使用方认可后可按暂定指标要求。

### 3.3 寿命期评估

在飞机的首翻期或全寿命期阶段,应与飞机寿命考核一起全面审查和评估机载设备的寿命指标,对于满足指标要求的,给出寿命结论,对于未达到寿命指标要求的,应进行问题分析并提出处理意见。

(1) 按产品的重要度分类(A、B、C)进行寿命指标的考核、评估

对于机载设备首翻期指标的评估应视其重要度类别有所区别:

对于重要度分类为A类的项目,应提供寿命试验报告并进行专项评估给出其寿命指标的结论;

对于B类的项目应提供寿命试验报告或分析报告,并进行评估给出其寿命指标的结论;

对于C类的项目应提供相关文件并给出评估意见。

(2) 按产品的选用类别(新研产品、改进产品、选用产品)进行寿命指标的考核、评估

对于新研产品应按技术协议的要求全面、严格考核评估其寿命指标;

对于改进产品分两种情况,其一为材料或与寿命指标相关要素的改进按新研产品要求,其二,其余情况按选用产品要求;

对于选用产品则按其原寿命指标要求。

## 4 存在的主要问题与改进建议

(1) 概念混淆,有的产品不应有寿命指标,如某机的照明控制盒是由电子元器件组成的,通常不用寿命指标控制,因而不提寿命指标要求。同样,有的设备应给出寿命指标却未提出指标要求;

(2) 某些产品的寿命指标不合理,无法实施寿命控制,如一些电气类成品(开关、继电器、接触器等)只给出工作次数,在使用中不便控制;又如开关盒、继电器盒的寿命指标如何确定较为混乱;

(3) 橡胶件的寿命问题,橡胶件的寿命普遍低于设备的寿命指标要求,如某飞机机载设备的首翻期为12年,相应设备橡胶件的总寿命为:

总寿命 = 仓库保管期 + 随部、附件的油封期 + 使用年限

总寿命 = 2年 + 3年 + 12年 = 17年

根据文件规定,航空橡胶制品总寿命,从硫化之日起:丁晴橡胶10年,氟橡胶15年。且橡胶制品的使用寿命随部、附件首次大修期。由此可见橡胶制品寿命实际上达不到机载设备的指标要求,这是目前存在的一个共性问题;

(4) 部、附件的寿命指标与零部件指标不协调,用户单位难于实施,或指标失控;

(5) 寿命试验的剖面不合理,试验应力与实际使用差别较大,不能满足指标要求;或加速寿命试验的加速因子难以确定;

(6) 改进的建议应是针对上述问题开展专题研究,科学合理确定寿命指标。

## 5 寿命指标管理与控制的建议

机载设备的寿命直接影响飞机的使用、维修,影响飞机的战备完好性,因而有必要对机载设备寿命指标的管理与控制开展有效的工作,为此提出建议如下:

(1) 在飞机的方案论证阶段,在确定机载设备及签定成品协议时,必须按飞机的总体要求全面合理地提出机载设备的寿命要求,并签定成品协议的寿命指标;

(2) 在机载设备研制的过程中进行寿命指标的审查与控制,及时解决与协调重要成品寿命薄弱的环节,确定和延长部分成品或自制件的寿命指标;

(3) 与有关方面协同解决制约机载设备寿命的瓶颈问题,如橡胶材料的寿命问题;

(4) 开展厂内寿命试验技术的研究,推荐采用加速寿命试验的方法,合理确定加速因子;

(5) 进一步开展寿命试验方法研究,合理确定寿命试验的剖面 and 寿命试验的载荷;

(6) 解决机载设备寿命指标的评估与评价问

题,根据不同设备应分别采取寿命分析(从结构疲劳或磨损的观点确定修理或更换的间隔期)、寿命试验、经济寿命分析(从费效观点确定最佳修理或更换期)或寿命的权衡影响分析的方法评估与评价寿命指标,从而完成从指标要求到指标兑现的闭环过程;

(7) 编制全机机载设备及主机厂自制件有寿命目录,以方便用户及时监控和更换重要的设备与自制件;

(8) 通过使用和飞机翻修中的信息反馈,修改和进一步合理确定某些机载设备的指标。

### 参考文献

- [1] 航空航天工业部第六〇一研究所. 航空技术装备寿命和可靠

性文件汇编[Z]. 沈阳: 航空航天工业部第六〇一研究所, 1988. 5—12.

- [2] GJB450A-2004. 装备可靠性工作通用要求[S]

- [3] 曾天翔. 电动机的寿命模型[A]. 见: 航空技术装备寿命和可靠性论文选编[C]. 北京: 国防科工委情报研究所, 1990. 298—303

### 作者简介

马海峰(1945—), 男, 高级工程师, 主要从事可靠性工程方面的研究工作。

刘松良(1979—), 男, 山东宁津人, 助理工程师, 主要从事航空产品的检测工作。

徐伟(1978—), 男, 辽宁黑山人, 满族, 助理工程师, 主要从事航空产品的检测工作。

(上接第36页)

(2) 采用直接搜索法和正交试验法相结合来优化分层厚度大大减少了搜索次数, 提高了优化效率;

(3) 文中的优化方法不仅可以用来优化稳定性, 同时也可以将刚度和固定频率等作为目标来优化。

### 参考文献

- [1] Chen W F, Liu E M. Structural Stability—Theory and Implementation[M]. New York: Elsevier, 1987.
- [2] 梁斌, 乐金朝. 弹性圆柱壳的稳定性优化设计[J]. 机械强度, 2002, 24(3): 463—465.
- [3] 李烁, 徐元铭, 张俊. 基于神经网络响应面的复合材料结构优化设计[J]. 复合材料学报, 2005, 22(5): 134—140.

- [4] 修英姝, 崔德刚. 复合材料层合板稳定性的铺层优化设计[J]. 工程力学, 2005, 22(6): 212—216.

- [5] 隋永康, 杜家政, 彭细荣. MSC. Nastran 有限元动力分析与优化设计实用教程[M]. 北京: 科学出版社, 2004

- [6] 中国航空研究院. 复合材料结构稳定性分析指南[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.

### 作者简介

常楠(1982—), 男, 安徽萧县人, 硕士研究生, 主要研究方向: 飞机总体设计、结构优化、复合材料结构优化、有限元建模与仿真等。

赵美英(1962—), 女, 山西太原人, 教授. 主要研究方向: 飞机总体设计, 结构设计。

王伟(1983—), 男, 安徽萧县人, 硕士研究生, 主要研究方向: 飞机总体设计、结构优化、有限元建模与仿真等。

(上接第40页)

- [2] Samuels M F. Structural Weight Comparison of a Joined Wing and a Conventional Wing[J]. Journal of Aircraft, 1982, 19(6): 485—490.

- [3] 潘家正, 吕庆凤. 联结翼布局低速纵向气动特性研究[J]. 空气动力学学报, 1996, 14(1): 81—82.

- [4] 项可风, 吴启光. 试验设计与数据分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989. 469—475.

- [5] 徐华舫. 空气动力学基础[M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1987.

- [6] 熊海泉, 刘昶, 郑本武. 飞机飞行动力学[M]. 北京: 航空工业出版社, 1990.

### 作者简介

郭卫刚(1976—), 男, 山东烟台人, 讲师, 硕士, 研究方向为飞行器设计。

贾忠湖(1964—), 男, 山东栖霞人, 副教授, 研究方向为空气动力学、飞行力学。