

军用飞机机载设备日历时限控制

刘进成, 冯金富, 崔 功

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘 要:根据军用飞机机载设备故障的统计规律,分析了设备的故障概率与工龄的关系,提出了确定日历寿命的技术途径,给出了控制日历时限的逻辑决断方法;并提出了控制日历时限的建议。

关键词:机载设备;日历寿命;日历时限控制

中图分类号:V241 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)01-0022-04

提出军用飞机机载设备的日历寿命并控制使用的日历时限,是对腐蚀、老化等与日历寿命有关因素的重视。但确定机载设备的日历寿命十分复杂,工程上还没有一套成熟的确定方法。目前给出的机载设备的日历寿命时间普遍偏短,而且参差不齐,与飞机机体的翻修间隔也不协调,部队维护使用十分不便。按这样的寿命控制维修,不仅维修工作量大,而且带来了较高的早期故障率,增大了人为差错的可能。本文在日历时限控制理论和工程实践研究基础上,提出了大部分机载设备日历寿命的确定及控制原则、方法。

1 日历时限控制的可行性研究

机载设备中绝大部分都是复杂产品,一般都有多个故障模式,很少有“浴盆曲线”那样简单的规律,除非有一种故障模式在所有故障模式中占支配地位。图1是经统计分析得到的典型故障率曲线,纵轴表示故障的条件概率,横轴表示新的、翻修或修理后算起的工龄,百分数表示具有某种曲线样式的设备在所研究设备总数中所占的比例。

可靠性分析表明,所有被分析的设备都具有图1所示的这种或那种工龄—可靠性特性。曲线A和曲线B存在明显的耗损区,曲线C和曲线F的故障率呈缓慢上升趋势,但没有可鉴别的耗损工龄,曲线D和曲线E显示的故障率几乎为常数。

对存在明显耗损区的设备,在刚要进入耗损区之前采取措施,总的故障率就会下降,控制使用的日历时限具有良好的效果。但出现明显耗损区的情况并不是普遍的,在所分析的设备中,只有6%显示有

明显的耗损特性(曲线A和B),5%没有明显的耗损区(曲线C),大约89%没有耗损区。在一定的工龄之后,故障的条件概率几乎保持为常数(曲线D、E和F),给它们硬规定一个工龄期限并不能改进它们的性能。

一般假定浴盆曲线代表大多数设备的情况,但只有4%是属于这种样式的(曲线A)。在图1的6条曲线中,只有A和B表现了耗损特性。而这两条曲线刚好是与大量单体或简单设备联系在一起的,如飞机的轮胎、活塞式发动机的气缸、刹车片、涡轮发动机的压缩器叶片以及飞机结构的所有部件。大部分复杂设备的条件概率是由曲线C至F所表示的,即它们未表现出直接与工龄有关的故障集中现象。

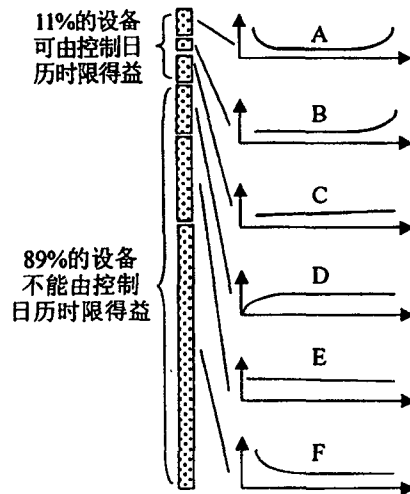


图1 典型的故障率曲线

复杂和简单设备的故障模型之间的这种基本差别,对维修有重要的影响。通常复杂设备的条件概率曲线会显示出有早期故障区,但条件概率并未显示出随着工龄的增加而增加的明显特征;故障概率也许是逐渐增加或者保持不变的,没有一个可以鉴别的工龄作为耗损区的起点。因此,除非有一种支配性的故障型式,否则工龄期限对于复杂设备的总的故障率的改善没有或几乎没有什么作用。事实上,在许多情况下,定期翻修给本来稳定的系统带来了高的早期故障率,从而实际上增大了总的故障率。相反,单体的或简单的设备通常确实显示出可靠性与工龄增加之间有直接的关系。对于会有金属疲劳或机械磨损的零件,以及设计时作为消耗件的更是这样。在这种情况下,对它们按某个最大的使用工龄或应力循环数规定一个工龄期限,对于改进复杂设备总的可靠性也许是有效的。这种工龄限制事实上对于危险性故障型式的控制上起了主要的作用,因而可对产生某种故障的部件或零件加以工龄限制。

2 日历寿命的确定

寿命是对于存在明显耗损规律的设备而言,日历寿命则是针对与日历耗损相关的故障模式的。与日历耗损相关的故障模式主要是金属件的腐蚀和非金属件的老化。

由于还没有类似于疲劳定寿的 Palmgren - Miner 法则的累积腐蚀损伤法则^[1],要科学确定产品的日历寿命在技术上是困难的。计算金属机件腐蚀损伤的日历寿命必须有相应腐蚀环境的 T - H 曲线和使用环境的温度-时间腐蚀谱^[2],而我国地域辽阔,南、北跨纬度近 50°,东西跨经度约 61°,各地区的大气污染、空气 中含盐量、温度、湿度等差别也很大,要准确地给出各地区的腐蚀环境比较困难,到目前为止,还没有一套成熟的确定日历寿命的理论和工程方法。

2.1 金属腐蚀日历寿命

金属(如铝合金 LYCZ12)一般都有表面防护层,只有防护层失效后,金属才开始腐蚀。一般而言,防护层修后的日历有效期 Y_0 小于修前的防护层日历有效期 Y_0 ,二者之比为防护层翻修系数 R

$$R = Y_0/Y_0 \quad (1)$$

1) 金属件日历首翻期定义: Y_1 为金属件能达到的安全而不必修理的最大(或最优)服役日历寿命。

$$Y_1 = Y_0 + Y_c \quad (2)$$

式中, Y_0 为防护层的日历有效期; Y_c 为防护层失效处金属腐蚀扩展日历寿命。

2) 金属件总日历寿命定义: Y_T 为金属件能达到的安全而经济的最大(或最优)服役日历寿命。

$$Y_T = Y_1 + \sum_{i=1}^N Y_i + NY_s = (Y_0 + Y_c) + [(Y_0R + Y_c) + \dots + (Y_0R^N + Y_c)] + NY_s \quad (3)$$

即

$$Y_T = Y_0(1 + R + \dots + R^N) + (N + 1)Y_c + NY_s \quad (4)$$

式中, N 为翻修次数; Y_i 为各次翻修间隔; Y_s 为停修时间(在厂大修时间); R^N 为 N 次翻修后的防护层翻修系数。

要从技术上确定金属腐蚀日历寿命,必须进行以下工作:建立和完善日历寿命的理论;全面收集我军主要机场的环境数据,分析环境对金属表面防护层和金属的影响,编制环境谱;飞机常用材料的环境当量化;加速腐蚀试验的定量研究;腐蚀与疲劳交互作用下的加速试验技术研究;腐蚀损伤的检测与评定技术研究。有了这些研究基础后,可以采取以下技术途径确定日历寿命:

确定腐蚀的关键部件(主要承力件)→关键部件在当量环境谱下做加速腐蚀试验→测量评定腐蚀损伤尺寸及腐蚀损伤尺寸的累积变化规律→根据腐蚀损伤容限估算日历寿命→根据外场使用经验数据进行验证和修正。

2.2 非金属件老化日历寿命

除金属腐蚀外,设备日历寿命主要决定于非金属件的老化过程。因此,确定机载设备日历寿命,还应研究机载设备中非金属材料的老化速度。

航空非金属件所用的固体材料,如塑料、橡胶、复合材料及部件连接用的胶粘剂都是高分子材料^[4]。引起其老化的环境因素有物理因素(包括光、热、高能辐射和机械应力的作用)、化学因素(如氧、臭氧、水、酸、碱、油等)和生物因素(如微生物和昆虫作用)。

对比试验表明,与美国(波音 707)、英国(三叉戟)、原苏联(伊尔 - 62)等飞机的密封胶圈材料相比,在

常温下抗拉强度、伸长率和高温(90℃ × 24 h 及 100℃ × 24 h)老化情况下的抗拉强度、伸长率以及压缩永久变形、压力松弛系数等方面,国产橡胶材料的性能与美、英、苏的相差不多^[5]。

对已使用一个寿命期返厂大修的动作筒“O”型密封胶圈的性能测试表明,胶圈仍能满足一次大修期的使用寿命。

对外场 × × 架飞机橡胶制品寿命的调研,发现“从实际使用情况来看,还未发现橡胶制品的故障是在飞行中产生的”。“根据外场使用制定出的一些橡胶制品的寿命不是最终寿命,潜力还很大”。

这些试验研究和统计数据表明,虽不能立即给出所有非金属件老化日历寿命的准确数值,但橡胶垫圈的日历寿命控制在 × × 年,与机体同寿是没有问题的。

2.3 确定日历寿命的原则

科学合理地解决日历寿命问题,应综合技术、经济和管理等因素。飞机的寿命是一个指标体系,一定要考虑指标之间的匹配:日历寿命与工作寿命要匹配,机体寿命与机载设备寿命要匹配;确定日历寿命要综合安全性和经济性两方面因素;机群在外场的长期使用,是一次大子样的真实环境试验,置信度很高,试验确定日历寿命后,还须根据外场的使用情况进行检验和修正;我国幅员辽阔,环境差别很大,因此,即便机群给出了日历寿命,也必须加强对腐蚀、老化情况的监控;确定日历寿命应与防腐蚀、抗老化设计相结合,加强维修过程的防腐蚀措施,提高防腐蚀和抗老化能力^[6]。

为了解决日历寿命影响部队使用的问题,可以从部队使用者的角度考虑,日历寿命问题不仅是技术问题,更重要的是管理控制问题。如橡胶油箱的日历寿命是 15 a 还是 18 a 并不重要,因为飞机到 × × 年要进厂翻修,油箱必须更换,多于 × × 年就可以了。因此,日历寿命问题就转化成了日历年限的控制问题。

3 控制日历年限的原则及方法

3.1 日历年限控制的原则

按照以可靠性为中心的维修理论(Reliability - Centered Maintenance, 简记为 RCM 理论),对于复杂设备,除非有一种占支配地位的故障模式,其总的可靠性不随或几乎不随工龄的增加而下降。即使有占支配地位的故障模式,也应该首先选择是否适用视情维修方式,其次才考虑采用定时维修方式。因此复杂设备一般不定寿命(含日历年限)。结合我国的实际情况,提出如下控制日历年限的原则:机载设备中的复杂设备一般不定寿命,包括日历年限;鉴于我国航空产品的设计和制造水平所限,机载设备若需制定日历年限,原则上应与飞机、发动机的翻修期、翻修间隔期相匹配;只有同时具备以下条件的设备,才需要单独控制日历年限:

- 1) 故障会直接影响飞行安全或任务完成(即重要度为 A、B 类的设备^[7]);
- 2) 故障模式与日历年耗损相关,即该故障是由金属件的腐蚀或非金属材料的老化引起的,并在该设备的各类故障中占有支配地位;
- 3) 设备不能按视情维修方式进行维修。

3.2 确定日历年限控制的逻辑决断方法

根据上述原则,可以编制成“机载设备日历年限控制逻辑决断图”,如图 2 所示。

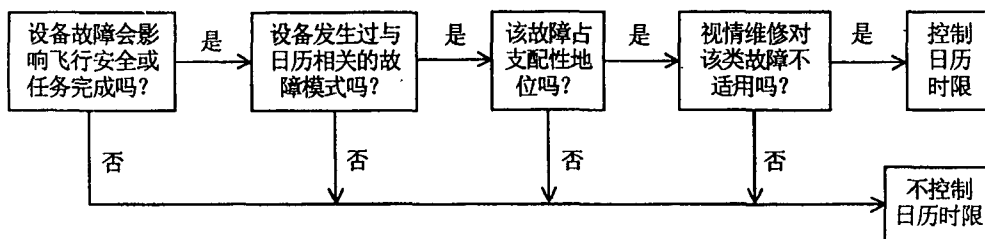


图2 机载设备日历年限控制逻辑决断图

逻辑决断图将需要控制日历年限的三个必要条件分解为 4 个框图,都回答“是”后,才决断为需要控制日历年限的第 5 个框图。任何一个条件不具备,都可以决断为“在飞机的一个翻修周期内,不控制设备的日历年限”。各框图说明如下:

- 1) 该设备故障会影响飞行安全或任务完成吗?

根据机载设备的重要度分类结果,如果是A类或B类设备判为“是”,C类判为“否”。

2) 设备发生过与日历相关的故障模式吗?

统计设备在整机的一个翻修周期内,如果没有发生过与日历耗损相关的故障模式,就决断为“在飞机的一个翻修周期内,不控制其日历时限”。对在部队服役时间较短的新机型,可统计与设备型号基本相同且服役超过一个飞机翻修周期的类似机型上的设备,做出相应决断。

3) 该故障占支配性地位吗?

占支配性地位,在RCM理论中是指“如果一种特定的故障模式在设备的所有故障中占有很大的比例,这样的故障模式称为支配性的故障模式”。如在部队调研中,主管该设备的专业人员一致反映该设备的故障主要是由金属材料的腐蚀或非金属材料的老化引起的,则这项故障模式就可认为是本逻辑决断图中的占支配性地位的故障模式。

4) 视情维修对具有该类故障的设备不适用吗?

机载设备具有占支配性地位的故障,但如果能以可行的检查周期来发现该设备的潜在故障,确保在可能即将发生功能故障之前进行更换或修理,则应优先考虑用视情维修方式。

4 建议

通过对设备的结构、使用环境、外场故障情况进行统计分析,根据RCM理论,做出如下建议:取消不影响飞行安全、不影响任务完成的设备(即C类设备)的日历时限控制;取消可以采取视情维修的设备的日历时限控制;取消日历寿命超过机体翻修间隔的设备的日历时限控制,然后集中精力对剩下的个别设备进行日历寿命研究。这样虽然没有准确回答究竟能用多少日历年的问题,但却基本上可以解决日历寿命影响使用的问题。

参考文献:

- [1] 张栋. 确定飞机机体日历寿命的方法[J]. 航空学报,1999,20(6):559-561.
- [2] 张福泽. 金属机件腐蚀损伤日历寿命的计算模型和确定方法[J]. 航空学报,1999,20(1):75-79.
- [3] 董登科,王俊扬. 关于军用飞机服役日历年限评定用的当量环境谱[J]. 航空学报,1998,19(4):451-455.
- [4] 许凤和,邸祥发,过梅丽. 航空非金属件失效分析[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [5] 朱绒霞,那静彦,郭生武,等. 硫酸盐还原菌的腐蚀机理[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(3):10-12.
- [6] 何宇廷,杨少华,郭志辉. LY12-BCZYU 板材纵向裂纹扩展性能研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(2):11-14.
- [7] 马绍民,章国栋. 综合保障工程[M]. 北京:国防工业出版社,1995. 12

(编辑:姚树峰)

A Study of Calendar Time Control of Military Airborne Equipment

LIU Jin - cheng, FENG Jin - fu, CUI Gong

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: According to the statistic disciplines of failure of military airborne equipment, this paper analyses the relationships between the probability of failure of equipment and work time, with the presentation of the technological approaches of determining calendar life and of the logic - determining methods and suggestions of controlling calendar time limit.

Key words: airborne equipment; calendar life; control of calendar time limit