

飞机有寿件延寿综合决策方法

蔡增杰, 韩笑

(海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要:目的 决策飞机有寿件延寿方法。方法 通过 RCM 理论判断设备作为有寿件控制的必要性,对于有必要进行延寿的设备,需按照寿命指标的原则选取合适的寿命指标。根据设备的特点和延寿方法的适用性,选取适当的方法对其进行延寿。结果 得出飞机有寿件延寿的决策方法。结论 通过此决策方法能够较好地解决机载设备延寿的问题。

关键词: RCM; 有寿件; 延寿指标; 延寿方法

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.04.010

中图分类号: V241 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)04-0049-05

Comprehensive Decision Method for Aircraft Life-limiting Components Prolonging Life

CAI Zeng-jie, HAN Xiao

(Qingdao Branch, Naval Aeronautical and Astronautical University, Qingdao 266041, China)

ABSTRACT: Objective To determine the prolong-life methods for the life-limited components of aircraft. **Methods** Based on the RCM theory, the necessity of the devices of life-limited components control was determined. It should be selected in accordance with the principles of endurance index to select appropriate endurance index. It should be selected the appropriate methods to prolong the life of components according to the characteristics of components and the applicability of prolong-life methods. **Results** The prolong life decision methods of aircraft life-limited components were worked out. **Conclusion** It can solve the problem of prolonging life of airborne equipment better by this decision.

KEY WORDS: RCM; life-limiting components; prolong-life index; prolong-life method

使用中的飞机存在有寿件控制项目多且寿命指标分散,不能与机体的翻修周期相协调的情况,导致在翻修期内拆卸更换,不仅影响飞机完好率,而且浪费维修经费。要解决这个问题应当从两个方面入手,一是解决有寿件控制的必要性;二是如果确定有

必要控制,则应优选延寿方法,合理确定有寿件的寿命指标。

文中应用 RCM 理论判断维修方式,从而确定有寿件控制项目,针对不同的机载设备选用不同的方法进行延寿,结合延长寿命指标的原则,得出最为合

收稿日期: 2014-04-18; 修订日期: 2014-06-08

Received: 2014-04-18; Revised: 2014-06-08

作者简介: 蔡增杰(1964—),男,山东文登人,硕士,副教授,主要研究领域为飞机机械系统,航空装备维修方式、飞机有寿件控制。

Biography: CAI Zeng-jie(1964—), Male, from Wendeng Shandong, Master, Associate professor, Research focus: aircraft mechanical systems, aviation equipment maintenance mode, the control of life-limited components of aircraft.

理的延寿指标。

1 采用 RCM 理论判断设备作为有寿命控制项目的必要性

利用以可靠性为中心的维修理论 (RCM) 的基本观点制定逻辑决断图,通过逻辑决断,重新确定机载设备的维修方式。定时维修的设备需要有首翻期、翻修间隔期、总寿命指标;视情维修、事后维修的设备原则上可以不定寿命指标。

按照 RCM 理论的基本观点,只有具备以下全部条件的机载设备,才需要执行定时维修策略。

1) 设备功能故障会直接影响飞行安全(A类设备),或影响任务完成(B类设备),或故障后有重大经济损失(重要的C类设备)。判断重要度等级应重视利用故障信息,进行机载设备功能故障模式、影响及危害性分析(FMECA),参照文献[2]中的方法进行。

2) 设备故障模式与日历耗损或工作时间耗损相关,即该故障是由于非金属材料老化、磨损或金属材料腐蚀、磨损、疲劳引起的。

3) 设备不能按视情维修方式进行维修。为了便于操作和使逻辑决断流程的思路更加清晰,将设备需要定时维修的3条必备条件分解为若干个框图,如图1所示。把有初始寿命指标的机载设备从第1个框图进行决断,当决断到没有有效的视情维修方式时,才需要采用定时维修的方式。

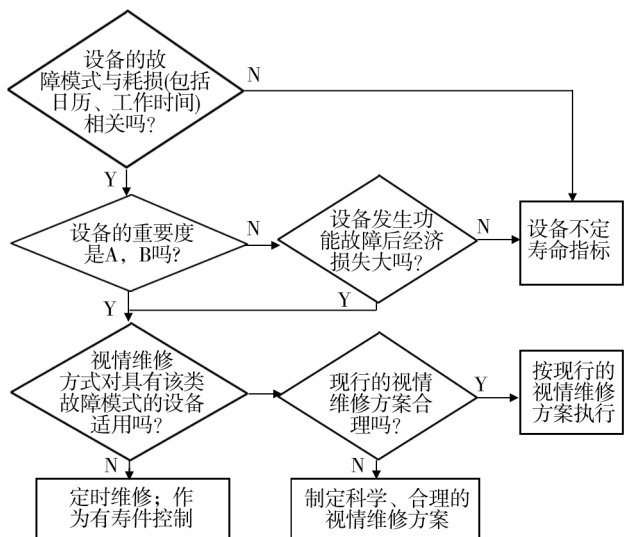


图1 定时维修逻辑决断图

2 延长寿命指标的原则

飞机机体都有相关的寿命指标(首翻期、翻修间隔期、总寿命等),作为有寿命的机载设备一般也应具有首翻期、翻修间隔期、总寿命等寿命指标,二者相协调,则最为合理。延长机载设备寿命指标应采取以下原则:

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,并使飞机的完好率达到期望的水平。比如飞机机体的首翻期为1200飞行小时,翻修间隔期为900飞行小时,900飞行小时,总寿命为3000飞行小时。机载设备最为理想的寿命为首翻期为1200飞行小时,翻修间隔期为900飞行小时,900飞行小时,总寿命为3000飞行小时。

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。对于构成不是很复杂,造价不是很昂贵的机载设备,可在飞机翻修期更换。在机载设备寿命不能满足总寿命3000飞行小时的情况下,寿命指标为1200飞行小时(与首翻期一致)、2100飞行小时(1个首翻期+1个翻修间隔期)等较为合理。

3) 若上述两条均无法达到,则寿命指标最好能与飞机的定期工作间隔期协调,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。若机载设备无法满足以上寿命指标,而飞机定期工作间隔期为每400飞行小时,则寿命指标应为800飞行小时(2个定期工作间隔期)、1600飞行小时(首翻期+一个定期工作间隔期)、2500飞行小时(首翻期+1个翻修间隔期+1个定期工作间隔期)等。如果通过各种方法得出寿命指标为1700飞行小时,则设备寿命不合理,需要通过改进设计、改进工艺、更换材料等方式对机载设备进行延寿;若仍无法延寿的,应将寿命定为1600飞行小时。

4) 机载设备工作寿命(飞行小时)与日历寿命(日历年限)两者同时使用时,以先达到的指标为准,但两者应当相协调。例如:某设备的寿命指标为1200飞行小时/8年,而在实际使用中统计出平均每年的使用时间仅为120飞行小时左右,则日历寿命指标与工作寿命指标不协调,应将寿命指标确定为1200飞行小时/10年更为合理。

Fig. 1 Logic diagram of planned maintenance decisions

5) 单独使用工作次数作为寿命指标的机载设备,因在实施中不便于控制,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次数。例如,某电磁开关的寿命指标为 20000 次工作循环,根据实际使用情况可将其指标转换为 1200 飞行小时/10 年。

3 延寿方法选用优化

机载设备延寿常用的方法可分为厂内试验类、现场信息类和工程分析类等 3 类 8 种,如图 2 所示。

目前,这些方法大多已经广泛地应用于机载设备延寿的工程实践中,并且取得了大量的成果。然而,采用不同方法得出的延寿指标有所不同,如果选用不适当的方法,可能发挥不出机载设备的寿命潜力,会造成浪费。

上述各种方法都存在自身的优点和不足,应当根据设备本身的特点来选用合理的 1 种或几种延寿方法。在某型飞机延寿工程中确定了以下原则,按图 3 选择延寿方法:

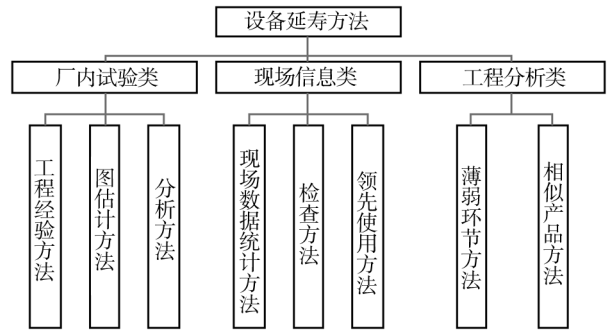


图 2 设备延寿方法分类

Fig. 2 Classification of equipment prolong-life methods

1) 厂内试验可以得出可信度最高的寿命指标,对于重要设备(A类设备),优先选用厂内试验法。由于厂内试验费用较高,一般常选用 1~2 个样品作为被试设备。若是现役型号设备,可选用现场使用时间达到或接近初始寿命指标的设备作为样品,节省试验时间和经费。

2) 领先使用的方法是一种较好的延寿方法,且对设备的正常使用影响也较小,在条件允许的情况下,应当通过领先使用的方法对延寿值进行验证。

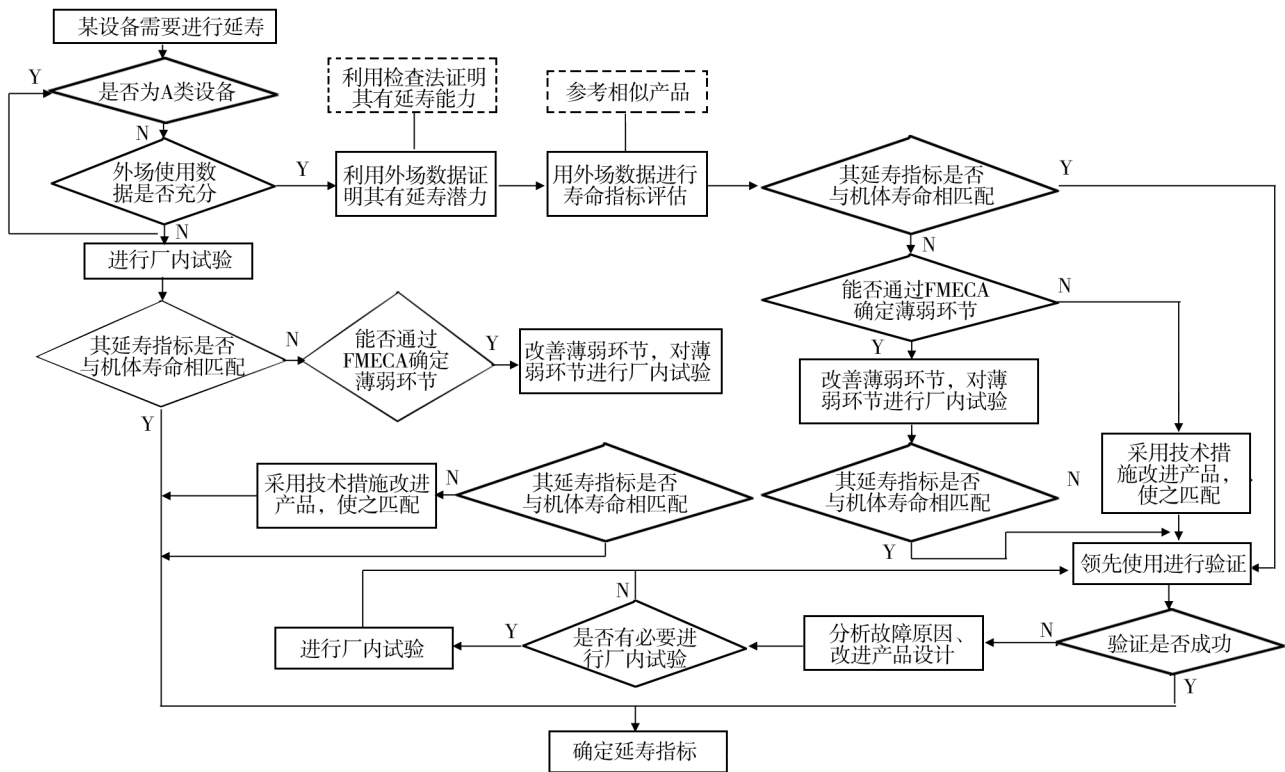


图 3 机载有寿件综合决策图

Fig. 3 Comprehensive decision diagram of aircraft life-limiting component

领先使用进行延寿的设备,原寿命值为 t_1 ,延寿至 t_2 ($t_2 > t_1$)。考虑到经济性、安全性和管理方便等因素,可给出临时翻修期 t_3 ($t_1 < t_3 < t_2$)。按此方式,不断延长直至达到预期的寿命水平。

3) 若设备有足够的使用数据,考虑到经济性,可以选用外场数据统计的方法。

4) 检查方法可以证明设备的延寿潜力,但是很难给出具体数值,可作为辅助的方法与其他方法结合使用。

5) 对于有相似产品的设备,参考相似产品给出延寿指标。

6) 某些具有薄弱环节的设备,通过改善薄弱环节的方法延寿设备,改善薄弱环节后进行厂内试验。

7) 对无法满足延寿要求的设备可采用更改设计、改善工艺、更换材料等技术措施延长设备寿命。

根据以上几点,可以得出延寿的决策逻辑如图3所示。

4 工程实例

某型飞机的延寿即是通过决策图选取的延寿方法,举例如下。

4.1 某型飞机燃油增压泵的延寿

对某型飞机开展延寿工程,将机体首翻期从1000飞行小时延长到1500飞行小时,燃油增压泵的原规定总寿命为1400飞行小时,延寿目标1500飞行小时。

首先判断燃油增压泵的重要度等级为A,因此需要进行厂内试验,选用已经到寿的2个燃油增压泵进行试验。试验得出可以延寿至1500飞行小时的结论。

4.2 某型飞机液压柱塞泵的延寿

某型飞机柱塞泵原寿命指标首翻期为350飞行小时,拟延寿至400飞行小时。

该设备的重要度等级为B,有充分的外场使用数据。故障数据统计结果如图4和图5所示。

可以初步判断故障呈对数正态分布,该设备故障数与装备总数的比值 $h = r/n = 0.2717$,该数据可视为定时截尾数据。用对数正态分布的参数点估计

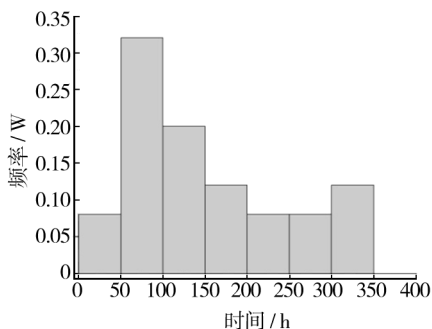


图4 故障频率分布

Fig. 4 Failure frequency distribution

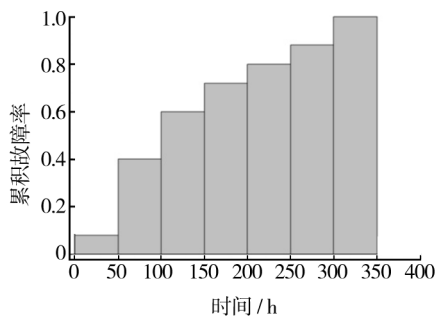


图5 累积故障频率直方图

Fig. 5 Cumulative failure frequency histogram

的方法求出参数 μ 和 σ 。

将故障数据取对数,求平均值为: $\bar{X} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_{(i)}$
 $\ln t_{(i)} = 4.7805$ 。

方差为: $S^2 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r (\ln t_{(i)} - \bar{X})^2 = 0.9906$ 。

求两个参数: $d = X_r - \bar{X} = 1.0774$,

$D = \frac{d^2}{d^2 + S^2} = 0.5396$ 。

由 $D = 0.5396$ 和 $h = 0.2717$ 查正态分布参数极大似然估计表得 $g(Z) = 0.7488$ 。

由此求得:

$\hat{\sigma} = \frac{d}{g(Z)} = 2.1262$

$\hat{\mu} = \bar{X} + \frac{\hat{\sigma}^2 - S^2}{d} = 8.0569$

得出故障概率密度分布函数为:

$f(t) = \frac{1}{2.1262 * \sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{(\ln t - 8.0569)^2}{2.1262^2}}$

$$F(t) = 1 - \Phi\left(\frac{8.0569 - \ln t}{2.1262}\right)$$

该柱塞泵在 350 飞行小时时的可靠性为 $F(350) = 0.85$, 由于在一架飞机上有 2 个泵体, 当一个泵发生故障时, 飞机仍然能够完成飞行任务, 系统可靠度为 $R_{N=2}(350) = 0.98$, 计算 $R_{N=2}(400) = 0.97$ 。由于该泵要求的可靠性水平即为大于 0.98, 因此, 将该泵的首翻期定为 350 飞行小时是合理的, 该设备不适合延寿至 400 飞行小时。

5 结语

机载设备的延寿工作是一项复杂的系统工程, 应充分考虑设备的特点和延寿方法的适用性, 选取恰当的延寿方法进行延寿。针对延寿方法繁多且适用条件不同的情况, 文中充分考虑各种延寿方法的优劣、适用范围以及设备使用维修特点, 提出了此决策方法。该方法首先考虑重要度等级, 保证设备使用的安全性, 然后通过选用外场数据统计、相似产品、薄弱环节的方法进行延寿, 对不符合寿命指标要求的设备通过改善薄弱环节和采用技术措施进行延寿。为飞机有寿件的延寿提供了一种程序化的方法, 能够较好地解决机载设备的延寿问题, 具有较广泛的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 何钟武. 以可靠性为中心的维修[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2003.
HE Zhong-wu. Reliability Centered Maintenance-RCM [M]. Beijing: China Aerospace Press, 2003.
- [2] 康锐, 石荣德. FMECA 技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
KANG Rui, SHI Rong-de. The Technology and Application of FMECA [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [3] 康锐, 石荣德, 肖波平, 等. RMS 型号可靠性维修性保障性技术规范[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
KANG Rui, SHI Rong-de, XIAO Bo-ping, et al. The Technical Specification of RMS Programs for Materiel [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010.
- [4] 龚庆祥. 型号可靠性工程手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
GONG Qing-xiang. Handbook of Programs for Materiel Reliability Engineering [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [5] 邵青, 何宇廷, 魏鹏. 机载产品延长日历寿命综合分析决策方法[J]. 航空维修与工程, 2010(6): 64—66.
SHAO Qing, HE Yu-ting, WEI Peng. Synthetically Decision-Making Method on Calendar Life Extension of Airborne Products [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2010(6): 64—66.
- [6] 马海峰, 刘松良, 徐伟. 机载设备寿命指标的确定与研究[J]. 飞机设计, 2007, 27(2): 54—58.
MA Hai-feng, LIU Song-liang, XU Wei. Determination of Life Targets for Airborne Equipment [J]. Aircraft Design, 2007, 27(2): 54—58.
- [7] 陈圣斌, 郝宗敏. 直 11 型机机载设备维修改革和延寿问题的研究[J]. 直升机技术, 2005, 143(3): 18—23.
CHEN Sheng-bin, HAO Zong-min, The Research About Maintenance Innovation and Use - life Extension of A-board Equipment for Z11 Helicopter [J]. Helicopter Technique, 2005, 143(3): 18—23.
- [8] 王再兴. 民用航空器外场维修[M]. 北京: 中国民航出版社, 2000.
WANG Zai-xing. Field Maintenance of Civil Aircraft [M], Beijing: China Civil Aircraft Press, 2000.
- [9] 董立宁, 阮拥军, 李震, 等. 基于状态的维修——信息化环境下精确维修的利刃[J]. 装备环境工程, 2012, 9(5): 71—74.
DONG Li-ning, RUAN Yong-jun, LI Zhen, et al. Condition Based Maintenance-Blade of Precision Maintenance in Informatization Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(5): 71—74.
- [10] 惠宝聚, 杨茂胜. 基于可靠性为中心的航空保障系统特种装置维修决策研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 116—120.
HUI Bao-ju, YANG Mao-sheng. Research on RCM-based Maintenance Decision Making for Special Equipment of the Aircraft Guarantee System [J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(1): 116—120.