

军用飞机无维修待命时间预计分析

田笑¹, 李察², 胡伟¹

(1. 中国航空工业集团公司 沈阳飞机设计研究所;

2. 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: 沈阳 110035)

摘要: 针对目前军用飞机无维修待命时间指标尚未开展详细预计的问题, 通过对影响无维修待命时间的因素分析, 提出非电子产品的非工作失效率外场评估方法, 结合电子产品的非工作失效率预计值, 对军用飞机的无维修待命时间进行了详细预计, 并分析了薄弱环节, 提出了相应的设计准则。

关键词: 军用飞机; 无维修待命时间; 非电子产品; 失效率; 评估

中图分类号: V271.4; V215.7

文献标志码: A

文章编号: 1673-1379(2016)03-0337-04

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2016.03.019

Estimation and analysis of maintenance-free time for military aircraft

Tian Xiao¹, Li Cha², Hu Wei¹

(1. Shenyang Aircraft Design & Research Institute, Aviation Industry Corporation of China;

2. Military Representative Office of China PLA in Shenyang Aircraft Industry (Group) Co. Ltd.:
Shenyang 110035, China)

Abstract: The estimation of the maintenance-free time for military aircraft is an issue that has not been well studied. In this paper, according to the analysis of the influencing factors, a method is adopted for estimating the failure rate of the non-electrical product. Combined with the failure rate of the electrical products, the maintenance-free time for military aircraft is obtained, the weak factor is identified, and the related design criteria are established.

Key words: military aircraft; maintenance-free time; non-electrical products; failure rate; prediction

0 引言

为保障飞机的战备完好率, 无维修待命时间已经成为军用飞机的一项技术指标^[1-2]。它作为度量军用飞机整机使用可靠性的一个参数, 是一种使用评价的综合性指标, 取决于产品的设计、执行的任务、维修保障条件、产品初始状态等, 要求在规定的使用条件下(包括飞机使用的自然环境, 飞机停放条件等), 飞机能做好准备, 保持良好并处于待命状态而无须任何维修时间。国家军用标准^[3-4]也将“无维修待命时间(t_{al})”列入考核飞机维修品质的重要指标之一。军用飞机无维修待命时间过短会导致许多非计划维修工作的产生, 造成飞机的可用性降低甚至贻误战机^[5-6]。目前为止, 工程上对

该指标尚未展开全面分析和详细预计, 其内涵也处于探讨阶段, 一般通过外场试验进行验证, 现本文对其展开探索性研究。

1 无维修待命时间影响因素

军用飞机无维修待命时间的影响因素主要有设计、工艺水平和使用维护。

如果飞机在设计过程中就考虑到非工作状态由自然环境、气候和停放条件等引起的环境应力作用, 在规定相应的机载产品环境考核条件时予以落实解决, 并且对于停放期间实际出现的主要故障模式, 如油液渗漏、接触不良, 在相关系统设计时就采取相应的设计更改或补偿措施, 则可从设计上改善飞机的无维修待命能力; 反之飞机在设计上就不

具备较高的无维修待命能力。

工艺水平也是影响飞机无维修待命时间的重要因素。如管路连接密封性、电气连接接触是否良好、机械连接件是否松动都与工业部门的零件加工、部件组装水平直接相关。

定期的检查、维护和保养对任何一类装备的正常使用都很重要,军用飞机在一定的日历时间和飞行时间段内都需要周期性的检查和维护,季节更替、转换机场时也都需要做特定的检查,按照维护规程高质量地完成这些工作对保持飞机良好的无维修待命能力作用很大。

2 无维修待命时间预计方法

无维修待命时间指飞机以规定的概率进入正常的飞行状态且无须任何维修的时间。在本文中定义为飞机停放一段时间后能够进入正常飞行状态的可靠度,可由无维修待命失效密度函数 $f(t)$ 得到。通过分析飞机无维修待命期间的主要故障模式,发现失效原因可分为电子产品元器件、接口等接触不良,非电子产品(结构部件、机械部件、机电产品等)的油液渗漏、堵塞等。

电子产品的故障一般为偶发故障, GJB/Z 108A—2006《电子设备非工作状态可靠性预计手册》^[3]给出了元器件在非工作状态下的失效率。它通常由非工作基本失效率与非工作质量系数、环境系数、温度系数、设备电源通-断循环系数等调整系数的乘积来表示。假定电子产品的寿命服从指数分布,且各产品的失效是独立的,则其无维修待命失效密度函数 $f(t)$ 可由产品的失效率预计值得出。一般程序如下:

1) 先划分可靠性预计单元,后建立系统可靠性模型。所划分的预计单元在电路功能上相对独立,其可靠性模型一般为串联结构。

2) 计算元器件的非工作失效率。对于采用“元器件非工作可靠性详细预计法”的元器件,按提供的非工作失效率预计模型计算其非工作失效率;对于采用“元器件非工作计数可靠性预计法”的元器件,由非工作通用失效率乘以非工作质量系数得到其非工作失效率。

3) 将预计单元中各种类元器件的非工作失效率相加,得出预计单元的非工作失效率。

4) 按产品、系统的可靠性模型,逐级预计产品、系统的非工作状态可靠性。

对于非电子产品,目前没有相应的国家军用标准或设计手册进行非工作状态可靠性预计,可参考飞机可靠性评估方法,根据相似机型外场故障数据,对其按产品进行无维修待命总体失效率评估。非电子产品无维修待命失效的主要原因是泄漏、耗损、退化等,其显著特征是失效率随时间递增,因此失效分布可假定为正态分布或 $m > 1$ 的威布尔分布,得出产品、系统的失效密度函数后,先将规定的可靠度合理分配到各系统,求出各系统的 t_{ali}^* ,最后用“最小寿命准则”确定全机的 t_{al}^* 。

假定失效分布为正态分布时的计算公式^[1]为

$$f(t) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma) \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2], (t \geq 0), \quad (1)$$

$$1 - \Phi\left(\frac{t_{ali}^* - \mu_i}{\sigma_i}\right) = g[R(t_{ali}^*)]. \quad (2)$$

假定失效分布为 $m > 1$ 的威布尔分布时的计算公式^[1]为

$$f(t) = [m(t-\gamma)^{m-1}/\eta^m] \exp[-(t-\gamma)^{m/\eta}], \quad (m \geq 1, t \geq 0), \quad (3)$$

$$t_{ali}^* = \eta_i^m \sqrt[m]{-\ln R(t_{ali}^*)} + \gamma_i. \quad (4)$$

3 非电子产品的非工作状态失效率评估

非电子产品在飞机无维修待命期间的非工作状态失效率评估的数据来源和选取说明如下:

1) 对于新研军用飞机,缺少外场故障数据,并且其非电子产品在以往型号基础上继承性较强,绝大多数的基本原理、工艺水平和材料体系变化不大,故可采用以往型号的外场故障数据进行非工作状态失效率评估。

2) 数据来源于外场统计的故障信息及飞行信息,由于影响无维修待命时间的主要因素是自然环境、气候和停放条件,可分别选取属于空军部队、寒冷地区的外场,属于空军部队、昼夜温差大于干燥地区的外场,属于海军航空兵部队、海洋气候的外场,以保证基本覆盖飞机所装备部队的典型自然环境、气候和机棚(机库)停放条件。

3) 数据选取时间范围建议为飞机装备部队的成熟使用期,并且样本量应足够大。相比于飞机装备部队早期使用阶段,成熟期故障数据所包含的因

早期设计问题引起的故障和非关联故障较少,并且样本量更为丰富,能够更好地对非工作状态失效率给出评价。

表1为某型飞机外场故障数据示例,故障发现时机有特定检查、预先机务准备、直接机务准备、机械日、飞行中、飞行后检查和再次出动,去掉与飞行有关的故障发现时机:飞行中、飞行后检查和再次出动,共有4类非工作状态故障。

表1 外场故障数据实例
Table 1 Examples of failure data

日期	故障件	故障现象	发现时机
2012-12-05	产品1	油液渗漏	特定检查
2012-11-23	产品2	泄压	预先机务准备
2012-11-21	产品3	松动	直接机务准备
2012-11-17	产品4	堵塞	机械日
2012-11-17	产品5	接触不良	飞行中
2012-11-17	产品6	脱胶	飞行后检查
2012-11-12	产品7	油液渗漏	再次出动

非电子产品的非工作状态失效率采用产品的平均故障率来衡量,工程应用中“故障率”的定义为:在规定的条件和期间内,产品的故障总数与寿命单位总数之比,实际上指平均故障率;平均故障间隔时间则是寿命单位总数与产品的故障总数之比。非工作状态失效率($\lambda_{\text{非工作}}$)点估计值为

$$\lambda_{\text{非工作}} = r / (365 \times 24 \times Y - D_1 - M \times D_1 - Y \times D_2), \quad (5)$$

式中: r 为无维修待命期间故障次数; Y 为故障统计时间范围; a ; M 为每飞行小时直接维修工时,工时/飞行小时; D_1 为飞行时间, h ; D_2 为飞机每自然年定期检查维护时间, h 。

其中, M 可根据飞机试飞或外场实际使用的点估计值,一般取为25(维修时间×人数)/飞行小时;飞机定期检查维护包括周期性工作、定期检修工作、特殊检查和飞机的保管工作。由于外场实际工作时,定期检查维护工作与每飞行小时直接维修工时重叠较多,定期检修工作相对独立,可按外场实际工作天数估算,加上其他相对独立的维护工作, D_2 保守估计一般为20d(480h)。

4 某型军用飞机无维修待命时间预计

某型军用飞机由5个系统组成,系统1为以电子产品占绝大多数的航空电子系统,系统2~5为以非电子产品占绝大多数的飞控、武器、机电等系统。如前文所述,系统1的无维修待命时间服从指

数分布,失效率预计值为0.018182个/d;系统2、3、4的无维修待命时间服从正态分布,根据以往机型相似产品的外场故障数据按照式(5)进行评估,分别为 $N_1(52.21, 1.31^2)$ 、 $N_2(80.09, 2.01^2)$ 、 $N_3(40.78, 1.02^2)$,系统5的无维修待命时间服从威布尔分布,形状参数为3,尺度参数为131.58,平均寿命查伽马函数表为117.50。

预计该型飞机给定可靠度为0.95时的无维修待命时间。首先按照“等分配法”,给各系统分配可靠度为0.99。系统1的无维修待命时间根据指数分布的可靠度计算公式计算为 $t_{\text{al1}}^* = 18.09 \text{ d}$;系统2~5按照式(2)和式(4)计算为: $t_{\text{al2}}^* = 31.84 \text{ d}$; $t_{\text{al3}}^* = 50.05 \text{ d}$; $t_{\text{al4}}^* = 13.78 \text{ d}$; $t_{\text{al5}}^* = 62.12 \text{ d}$ 。整机的无维修待命时间取各系统无维修待命时间的最短者,即 $\min\{18.09, 31.84, 50.05, 13.78, 62.12\} = 13.78 \text{ d}$ 。

从以上计算可看出,飞机的无维修待命时间取决于各系统的最低水平,而系统4主要包括以液压、燃油为主的机电产品,如何提高这一部分的无维修待命期间的非工作可靠性将是增长全机无维修待命时间的关键。

5 增长军用飞机无维修待命时间的一般措施

5.1 设计准则

针对飞机无维修待命期间的一些主要故障,如液压、燃油系统产品的跑冒滴漏、卡箍断裂等故障模式,本文定性地给出一些设计准则,以便在工程上应用:

1) 产品均应满足飞机环境技术要求中的有关要求,并通过环境适应性试验。

2) 所有管路、附件应能经受-55~125℃环境温度温度的作用。

3) 氟塑料软管安装时必须保证有适当的弯曲半径,避免扭曲变形,并应保证与周围机件、设备有足够的空间,防止产生摩擦。

4) 凡在高温区和附近可能存在火源的液压附件与管路均须有隔热、防火设计措施。

5) 液压管路不能作为其他系统设备、自制附件及其连接件的支撑物。

6) 金属材料和非金属材料都应耐煤油;镁、铜、铬及其合金制件禁止用于与煤油直接接触的燃油系统产品;除经防电解腐蚀处理外,异种金属不

准用于相互紧密接触处。

7) 金属材料应耐腐蚀, 或经过处理能够承受由于燃料、盐雾、潮湿及大气条件而引起的腐蚀。

8) 燃油导管的设计和安装必须保证在允许的变形和拉伸条件下不漏油; 安装金属导管时, 不允许弯曲、硬拉或强行装配。

9) 系统中除永久的封严外, 不应采用锥型螺纹; 所有螺纹连接都应正确防松或保险, 禁止使用防松垫片、打销钉和打冲眼; 油箱内禁止安装铅封。

10) 应严防燃油系统附件和导管内结冰, 并防止机械杂质和水经通气管进入油箱。

5.2 工艺措施

生产工艺方面, 针对一些电缆和连接器接触不良, 插座插针腐蚀或电性能下降, 元器件损坏等故障模式, 建议采取的措施如下:

1) 为保证运输和存储, 航空电子产品在出厂时应按有关标准进行包装, 做到防潮、防雨、防振、防霉菌等;

2) 电子设备的接地应避免与信号和电源电路共用接地回路, 并应对信号提供有效屏蔽, 避免电磁干扰的影响, 或将其影响减到可以接受的程度;

3) 装有电气元器件的仪表, 应充以惰性气体气密, 以提高工作的可靠性;

4) 仪表系统(尤其是对电磁干扰敏感的仪表)的信号线布线应尽量避开电磁干扰较强系统的布线, 并应采取屏蔽、扭绞措施, 以减少电磁干扰;

5) 设备和零件应按 GJB/Z 457—2001《机载电子设备通用规范》^[7]之要求进行表面处理, 不应使用油漆, 同时接地和搭接部位应进行处理以保证无任何不导电保护层。

5.3 使用维护

使用维护方面, 一是要严格按照飞机的维护规程, 做好定期维护检查工作; 二是在环境改变, 如季节更替、机场转换时分析环境变化可能造成的影响, 并落实相应的检查维护; 三是尝试建立故障预测手段, 在非工作状态多发故障外场统计的基础上, 定期对飞机相关系统和产品做特定检查。

6 结束语

本文对军用飞机无维修待命时间的预计方法进行了探索性研究, 给出了非电子产品非工作失效率的一种评估方法, 结合电子产品的非工作失效率预计值, 按照最小寿命法计算得到了给定可靠度时的军用飞机无维修待命时间, 并针对薄弱环节给出设计建议和措施。

参考文献 (References)

- [1] 彭海鑫, 周巨元. 直升机无维修待命时间的理论研究[J]. 航空学报, 1991, 10(12): 514-517
Peng Haixin, Zhou Juyuan. A theoretical study on helicopter alert time without maintenance[J]. Aeronautical Journal, 1991, 10(12): 514-517
- [2] GJB 312.1—1987 飞机维修品质规范[S], 1987
- [3] GJB/Z 108A—2006 电子设备非工作状态可靠性预计手册[S], 2006
- [4] 邱振汉. 浅析直升机无维修待命时间[J]. 航空科学技术, 1995(2): 25-28
Qiu Zhenhan. Analysis of helicopter maintenance free time[J]. Aeronautical Technology, 1995(2): 25-28
- [5] Chew S P, Dunnett S J. Phased mission modeling of systems with maintenances[J]. Progress in Aircraft Maintenance, 2008, 93(5): 980-994
- [6] Kabashkin I. Discrete event model of maintenance free operating time for aerospace basd telematics systems[C]//MMA2004, 2004: 29-31
- [7] GJB/Z 457—2001 机载电子设备通用规范[S], 2001

(编辑: 冯 妍)