

工龄探索技术研究

王池权* 石亮 王俊涛

(中国航空综合技术研究所,北京 100028)

摘要:

工龄探索作为以可靠性为中心的维修的重要部分,一般是指在飞机服役后通过收集飞机使用维修信息从而对飞机初始维修大纲制定时的缺省问题重新回答,以合理地优化飞机预防性维修任务及其间隔的过程。工龄探索过程分为准备阶段、分析阶段和跟踪阶段,针对不同类型及故障后果的预防性维修任务具体分析了开展工龄探索的一般方法及逻辑决断流程,为我国飞机维修大纲适用性与有效性评定和预防性维修任务及间隔持续优化提供依据。

关键词: 工龄探索;以可靠性为中心的维修;在役维修优化;预防性维修;逻辑决断

中图分类号: V267

文献标识码: A

OSID:



0 引言

工龄探索(Age Exploration,以下简称 AE)一词源于以可靠性为中心的维修(Reliability Centered Maintenance,以下简称 RCM)。在采用 RCM 分析制定飞机初始维修大纲的过程中,由于缺少必要的技术支持,在确定预防性维修(Preventive Maintenance,以下简称 PM)任务及其间隔时通常偏于保守,此外,在飞机的实际使用场景中部分维修项目(润滑、检查、翻修、报废等)不适用或无法实施,导致维修大纲存在不够有效和经济的问题,而工龄探索就是指通过分析飞机在实际使用或维修中的数据对预防性维修任务及其间隔进行动态调整和优化,以确保维修大纲能满足飞机的安全性、环境性、使用性和经济性要求。

自 20 世纪 60 年代起,波音、空客等航空制造商就开始对飞机维修大纲中的维修任务及其间隔进行工龄探索,在保证飞机可靠性不降低的前提下显著降低了飞机使用过程中的 PM 任务成本,同时维持甚至改善了产品的可用性^[1-5]。此外,美国海军在 20 世纪 70 年代初也采用工龄探索技术来延长舰队

弹道导弹潜艇定期大修的时间,随后又将工龄探索技术逐渐应用到所有的潜艇、航空母舰等舰船,并取得了良好的效果^[6]。目前,国内外在工龄探索技术方面的研究主要集中在飞机特定预防性维修任务及间隔的优化模型及方法^[7-14],但缺少针对飞机初始维修大纲中的预防性维修任务及间隔开展工龄探索的一般方法及逻辑流程的阐述,与此同时,尽管工龄探索技术在国外相关标准^[1-4,15]中均有涉及,但更偏向于概念性描述,难以直接借鉴。随着国产飞机的下线及大量服役,初始维修大纲中确定的维修任务及其间隔在飞机实际使用过程中的适用性与有效性问题日益突出,因此,开展对工龄探索技术的研究具有重要的现实意义和工程应用价值。

1 工龄探索与 RCM 的关系

工龄探索是 RCM 中的重要部分,在执行 RCM 分析时,常常无法获得最优决策所需的数据,譬如精确的零件或系统工龄-可靠性(即 P-F, Potential failure-Functional failure)曲线,此时设计人员必须根据经验来预估执行预防性维修任务的初始间隔,而为

[基金项目] 国家重点研发计划资助项目(2018YFB1106300)。

* 通信作者。E-mail: 283476285@qq.com

引用格式: 王池权,石亮,王俊涛. 工龄探索技术研究[J]. 民用飞机设计与研究,2019(3):89-93. WANG C Q, SHI L, WANG J T. Research on Age Exploration Technology[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2019(3):89-93 (in Chinese).

了保证可靠性该间隔通常是偏保守的,这就需要开展一个工龄探索任务,即从实际操作和试验环境中收集相关数据,以替代在初始 RCM 分析和预防性维修任务设计时所做的假设。因此,一个产品的 RCM 计划应该提供关于如何开展和实施 AE 任务的详细信息。

RCM 的目标是保持而不是改变产品设计时的固有可靠性,这是因为固有可靠性取决于设计而不是维修,而当产品理论设计寿命与实际设计寿命之间存在差异时,可以利用工龄探索过程中的使用维修数据来改进原始设计,RCM 的分析资料则有助于评估执行 AE 任务的潜在成本和优先级。

2 工龄探索任务的主要步骤

工龄探索可以分解成一系列步骤进行,一般可将其分为三个阶段。

1) 准备阶段:主要完成使用维修信息搜集工作,并进行预防性维修任务及间隔的有效性及适用性分析;

2) 分析阶段:对分析任务列表中的每个预防性维修任务及间隔进行详细分析;

3) 跟踪阶段:对预防性维修任务及间隔进行动态调整与持续优化。

下面对三个阶段的分析流程和方法进行详细讨论。

2.1 准备阶段

2.1.1 信息收集

全面准确地收集信息是进行工龄探索的重要前提,因此必须尽可能详细地定义所需的数据,以确定需要收集哪些数据以及执行数据收集的责任人,其中需要搜集的信息主要包括:(1)预防性维修任务信息,包括任务描述(功能故障模式和故障影响)、维修现状和失效数据等;(2)确定收集数据所需的维修和技能水平;(3)相关政策法规文件。

通常可将收集的数据分为两大类:正在收集的数据和必须收集的数据。对于正在收集的数据,只需要定义它将被评估的频率和工作的持续时间。对于必须收集的数据,有必要设置一个任务来收集特定的数据,这包括定义任务的频率和持续时间以及用于向机队支持团队或集成的程序团队传输数据的方法。

信息的来源主要包括:(1)飞机设计资料,如执

行初始 RCM 分析后给出的政策指导手册(Policy and Procedures Handbook,以下简称 PPH)和使用维修计划(Operator Maintenance Plan,以下简称 OMP)以及研制与使用试验结果等;(2)后勤指挥管理数据库或仓库检修数据库;(3)通过实地考察维修活动收集数据,并与维修人员进行沟通交流。

2.1.2 预防性维修任务及间隔的适用性与有效性分析

预防性维修任务的适用性与有效性分析主要包括以下三个方面:

(1)任务分类。明确每一个预防性维修任务类型及对应的故障后果,以便于评估不同类型任务的适用性,维修任务的类型可以是防止一种故障模式,如条件导向、时间导向、保养和润滑任务,也可以是识别一种故障模式,如故障查找任务。维修任务类型的故障后果一般分为安全、法律/环境、任务和经济后果。

(2)适用性分析。如果维修任务可以确保所有已确定的故障模式得到解决,并且可以恢复或维修固有的设备、系统或部件的可靠性,那么该任务是适用的。需要说明的是,不同类型的任务适用性标准不同。如果任务不满足适用性标准,分析人员应给出能使任务满足适用性标准的改进建议,如更改任务类型、修改任务流程或范围及调整任务间隔等。

(3)有效性分析。对于具有安全、法律/环境影响的故障后果,当且仅当维修任务将故障发生的可能性降低至可接受的水平时,任务才是有效的。对于具有任务影响的故障后果,当维修任务能够将故障风险降低至可接受的水平时,任务是有效的。对于具有经济影响的故障后果,当开展预防性维修任务的成本低于修理费以及性能退化的费用时,任务是有效的。如果任务不满足有效性标准,分析人员应给出能使任务满足有效性标准的改进建议,如延长任务周期、修改任务流程等。

(4)结果整理。将符合条件的维修任务及间隔列入分析任务列表中,将不符合条件的维修任务及间隔反馈到 RCM 决断过程中或设计过程中进行替换更改。

2.1.3 信息记录

工作组应该制定一个可审计的信息记录表用于记录 AE 任务收集和分析的数据以及对预防性维修任务及间隔的更改,以支持工作组对主管部门的建议。

首先,应根据开展工龄探索任务的需要成立对应的专家工作组。工作组成员应该由来自利益相关方(运营商、制造商、供应商和监管当局)的专家组成。为了确保工龄探索任务的顺利开展,所有参与分析工作的人员都必须在开始分析工作之前进行培训。

其次,作者一般不超过5人,署名及署名排序应协商一致。姓名的英译采用汉语拼音,姓前名后,姓全大写,名首字母大写。如:ZHANG Ying(张颖),WANG Xilian(王锡联),ZHUGE Hua(诸葛华)。

最后,单位应为论文首次投稿时的作者所在单位,如果作者此后换了单位,可在文末的作者简介中说明并提供新的联系地址。单位的著录一般应到系一级,单位应著录全称,单位名称的英译应统一正确^[3,5]。

2.2 分析阶段

在分析阶段,首先根据分析任务列表中的预防性维修任务对应的功能故障影响后果(Functional Failure Effect Consequence,以下简称 FFEC)进行工龄探索任务设计,以确定在线或定期状态监控的方法并执行成本-效益分析,然后根据在线或定期状态监控信息,对预防性维修任务及间隔进行逻辑决断,以确定需要扩展、缩短或在某些情况下建立或消除的预防性维修任务和(或)间隔。

2.2.1 工龄探索任务设计

工龄探索任务需要根据预防性维修任务对应的功能故障影响后果进行分类设计。

当AE任务的目的是收集会造成安全/环境后果影响的维修项目的数据时,AE任务必须以确保安全/环境符合性不受损害的方式进行,譬如在AE任务收集数据的过程中可能达到对操作人员造成危害的功能故障状态时,该任务可以在实验室环境中进行。这种设计为工程测试-失效过程类型的AE任务通常是用来确定定期维修项目的安全寿命极限,但也可以用来确定PF间隔。当正在操作使用中的具有安全/环境后果的项目已经设置了潜在的故障和功能故障限制,那么AE任务可以用来收集抗损伤性能降低或项目退化的数据。譬如,在操作环境中可以使用AE任务来确定一个损伤容限结构的裂纹扩展速率,前提是可以确保该项目永远不会到达功能故障状态。

当AE任务的目的是收集可能对预期任务或经

济造成重大影响的维修项目的数据时,这些项目的AE任务通常可以在产品使用时或通过例行的维修信息系统监测执行。该类任务通过分析技术(譬如精算分析或允许被抽样的项目在服役中失效)来确定定期替换任务的有效性,也可用于评估设备的物理特性,譬如可观察的故障指示,以评估PM任务的技术可行性或确定设备故障的真实后果。

AE任务中的抽样数量应由统计方法如超几何、威布尔或泊松分布等确定,以确保所收集的数据足以准确地代表总体。此外,在保证置信度与可靠性要求的前提下样本应该尽可能少,以降低成本和操作影响。

将AE任务中的任务描述、初始检查间隔、任务间隔、任务持续时间和样本数量等信息记录在AE信息记录表中,以便在将来的分析中检索和使用。

2.2.2 工龄探索任务成本-收益分析

在开展一个AE任务前应对其进行成本-收益分析,首先应确定AE任务对维修资源的需求,资源的消耗至少应与AE任务的预期收益相当。因此,在设计AE任务时应尽量减少对特殊设备和专业技术培训的需要,并尽可能地利用现有的设备设施、人员和技术方法,以减少开展AE任务的成本,此外,还可将具有类似周期性的任务组合在一起,以减少在工作站点上花费的时间和停机时间。

2.2.3 工龄探索逻辑决断

在进行逻辑决断前,应该准备有关预防性维修任务及间隔的所有数据和参数文件,以便分析人员进行后续分析。逻辑决断流程通常是由多个模块构成的,但这些模块应涵盖所有的维修任务类型分析,根据维修任务类型,必须回答有关保养任务、检查/功能测试、定期更换项目/定期检修、重要结构项或区域检查的问题。

根据在线或定期状态监控信息,对预防性维修任务及间隔进行逻辑决断,逻辑决断结果可以为删除维修任务及间隔、提出新的或额外的维修任务及间隔、维持维修任务类型并减少间隔、将维修任务间隔维持在上限、延长维修任务间隔、建议更改设计等,最后由工作组提出需要扩展、缩短或在某些情况下建立或消除的预防性维修任务和(或)间隔的建议。当主管部门批准这些建议后,所有相关证据和分析应在需要时被合并成一个最终报告提交给相关监管部门。

2.3 跟踪阶段

在 AE 分析阶段以系统化的方式对预防性维修任务的初始间隔进行优化,从而提高了任务间隔的准确性,但工龄探索是一个不断趋近于最佳维修间隔的过程,不可能只进行一次就能达到最佳状态,因此需要在跟踪阶段对其进行持续优化。该过程将会一直重复直到检查表明现有间隔下产品出现老化或磨损撕裂等特征,此时停止 AE 进程并确定最终的任务间隔。

此外,在工龄探索过程中也可能会根据实际情况对现有的 AE 任务进行修改,譬如更改需要分析的样本数量或者重写检查任务和数据记录过程。此外,有效的 RCM 程序必然会对 AE 程序进行频繁的更改,譬如添加新的 AE 候选项、删除已完成的或无效的任务、更改样本大小或调整任务间隔。

3 结论

目前,工龄探索技术在国外的航空、航天、航海等工程领域得到了大量应用,并且应用范围还在不断扩展。工龄探索技术可以指导人们如何正确收集产品在实际使用维修中的信息,并在保证产品可靠性和安全性不降低的前提下对初始维修大纲中的预防性维修任务及间隔进行持续优化,从而确保维修大纲能满足产品的安全性、使用性和经济性等要求。

参考文献:

- [1] Air Transport Association of America. Operator/manufacturer scheduled maintenance development: ATA MSG-3[S]. [S. l.]:2007.
- [2] International specification for developing and continuously improving preventive maintenance:ASD S4000P[S]. [S. l.]:2014.
- [3] Reliability-centered Maintenance (RCM) Process; MIL-STD-3034A [S]. [S. l.]:2011.
- [4] NASA. Reliability-centered Maintenance Guide, NASA_RCM_DUIGE[S]. [S. l.]:2008.
- [5] LINDSAY G F. Statistical aspects of The F/a-18 age exploration program [D]. California: Naval Postgraduate School, 1986.
- [6] Naval Air Systems Command; Guidelines for the naval aviation reliability-centered maintenance process, NAVAIR 00-25-403 (2005) [M]. Naval Air Systems

Command,2005.

- [7] TSAI Y. , WANG K. , TENG H. Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithm[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2001 , 74:89-97.
- [8] VINTR Z. and HOLUB R. Preventive maintenance optimization on the basis of operating data analysis [C]// Proceedings Annual Reliability And Maintainability Symposium (RAMS), 2003, Tampa, USA.
- [9] XIE J, WANG H. Joint optimization of condition-based preventive maintenance and spare ordering policy[C]// 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM'08. IEEE, 2008: 1-5.
- [10] LI H, LI M, LIU Q, et al. Integrated optimization research on preventive maintenance planning and production scheduling[C]// 2010 International Conference on Management and Service Science (MASS). IEEE, 2010: 1-5.
- [11] JIAO Y. T. , FENG X. D. , LYU C. , GUO Z. . Research on preventive maintenance strategy optimization based on reliability threshold[C]//Prognostics and System Health Management Conference (PHM-2014 Hunan), 2014. IEEE, 2014: 589-592.
- [12] 冯福来. 新的航空维修思想中工龄探索理论的浅析 [J]. 民用飞机设计与研究,1990 (3): 43-47.
- [13] 黄敏,王维. 利用外场数据对产品工龄—可靠性特性的研究[J]. 航空工程与维修, 2002 (1): 34-35.
- [14] 潘光,毛昭勇,宋保维,等. 预防性维修周期优化决策研究[J]. 机械科学与技术,2007, 26(4): 518-520.
- [15] International Electro technical Commission. Dependability management-Part 3-11: Application guide-Reliability centred maintenance, IEC 60300-3-11[S]. [S. l.]: International Electro technical Commission,2009.

作者简介

王池权 男,博士,工程师。主要研究方向:以可靠性为中心的维修(RCM),飞机结构腐蚀疲劳及裂纹扩展。E-mail: 283476285@qq.com

石亮 男,博士,工程师。主要研究方向:金属结构损伤评价。E-mail: luckyshiliang@126.com

王俊涛 男,博士,研究员。主要研究方向:航空维修工程,特殊过程审核。E-mail: wangjuntao74@163.com

Research on Age Exploration Technology

WANG Chiquan * SHI Liang WANG Juntao

(China Aero Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

Abstract: Age exploration(AE), which is an important part of the reliability centered maintenance (RCM), generally refers to the process of reasonably optimizing preventive maintenance task with intervals by collecting aircraft service and maintenance information while formulating the aircraft initial maintenance outline. This paper divides age exploration process into preparation stage, analysis stage and tracking stage. The general method and logical decision process of age exploration were analyzed in detail according to the type and the failure consequence of different preventive maintenance tasks, which will provide the basis for the suitability and effectiveness evaluation for aircraft maintenance outline and the continuous optimization of preventive maintenance task with intervals.

Keywords: age exploration; reliability centered maintenance; in-service maintenance optimization; preventive maintenance; logical decisions

* Corresponding author. E-mail: 283476285@qq.com