

文章编号:1674-8190(2020)02-147-12

S5000F 介绍及在民用飞机运行可靠性分析 反馈中的应用

冯蕴雯¹, 路成¹, 薛小锋¹, 马小骏²

(1. 西北工业大学 航空学院, 西安 710072)

(2. 中国商用飞机有限责任公司 科技委, 上海 200241)

摘要: 运行可靠性是保障民用飞机安全经济营运的基础, S5000F《在役数据反馈国际规范》为民用飞机运行可靠性分析与反馈以及全寿命周期管理的系统研究提供了一个契机。对 S5000F 规范进行解读, 首先, 阐述 S5000F 编制的背景和目的; 然后, 介绍 S5000F 规范的主要内容以及相关的业务流程; 最后, 探讨 S5000F 规范在民用飞机运行可靠性分析与反馈中的应用。基于 S5000F 规范梳理民用飞机运行数据采集的业务流程, 形成基于数据的运行可靠性分析框架, 为全寿命周期管理提供有效的指导性建议。

关键词: S5000F; 运行可靠性; 分析与反馈; 民用飞机; 全寿命周期

中图分类号: V221+.91

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.02.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Introduction of S5000F Specification and Its Application on Operational Reliability Analysis and Feedback of Civil Aircraft

FENG Yunwen¹, LU Cheng¹, XUE Xiaofeng¹, MA Xiaojun²

(1. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2. Science and Technology Commission, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: Operational reliability is the basis of ensuring the safe and economic operation of civil aircraft, S5000F (international code for in service data and feedback) provides an opportunity for the systematic study of reliability analysis and feedback and life cycle management of civil aircraft. This paper interprets the S5000F specification. Firstly, the background and purpose of S5000F are described. Then, the main content of S5000F specification and related business process are introduced. Finally, the application of S5000F specification in reliability analysis and feedback of civil aircraft operation is discussed. Based on S5000F specification, the business process of civil aircraft operation data collection is sorted out, and a data-based operation reliability analysis framework is formed, which provides effective guidance for life cycle management.

Key words: S5000F; operational reliability; analysis and feedback; civil aircraft; life cycle

收稿日期: 2019-07-29; 修回日期: 2019-09-02

基金项目: 国家自然科学基金(51875465)

通信作者: 冯蕴雯, fengyunwen@nwpu.edu.cn

引用格式: 冯蕴雯, 路成, 薛小锋, 等. S5000F 介绍及在民用飞机运行可靠性分析反馈中的应用[J]. 航空工程进展, 2020, 11(2): 147-158, 166.

FENG Yunwen, LU Cheng, XUE Xiaofeng, et al. Introduction of S5000F specification and its application on operational reliability analysis and feedback of civil aircraft[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(2): 147-158, 166. (in Chinese)

0 引言

运行可靠性是衡量装备是否正常运行的一个重要指标,直接关系到装备全寿命周期的经济性和安全性。此外,运行可靠性分析与反馈主要通过运行数据实现装备运行过程中可靠性评估和预测,依据分析结果反馈指导装备全寿命周期的优化设计以及维修工程分析。

为了有效指导装备全寿命周期运行可靠性分析与反馈,欧洲航空航天与防务工业协会(Aerospace and Defence Industries Association of Europe,简称 ASD)综合后勤保障规范委员会联合美国航空工业学会(Aerospace Industries Association,简称 AIA)共同制定了 S5000F《在役数据反馈国际规范》^[1-2],并与 ASD 其他 S 系列规范联合使用,例如 S1000D《基于公共源数据库技术出版物国际规范》^[3]、S2000M《军用设备综合数据处理物资管理国际规范》^[4]、S3000L《后勤保障分析国际程序规范》^[5-6]、S4000P《计划维修制定国际程序手册》^[7]、S6000T《培训国际程序规范》^[8]、SX000I《S 系列综合后勤保障规范使用指南》^[9]等,实现装备全寿命周期管理。此外,波音、空客等民用飞机制造商运用 S5000F 规范并结合其他 S 系列 ILS 规范搭建了用于自主研发机型的运行可靠性分析与反馈平台,例如波音的 AnalytX、空客的 Skywise,实现了产品运行过程中的可靠性分析,并将分析结果用于指导全寿命周期管理,在保证满足持续适航的要求下,达到提高签派可靠性、降低运营支持成本的目的。

近年来,随着民用飞机行业迅猛发展,国产民用飞机型号陆续投产并步入运营阶段,尽管国内民航组织制定了一系列相关的民用飞机可靠性管理要求,例如 MD-FS-AEG006《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》^[10]、AC-121-54R1《可靠性方案》^[11]、CCAR-21-R5《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》^[12]等,但是与国外民用飞机可靠性管理相比,国内在该方面仍存在较大差距。造成该现象的主要原因有:国产民用飞机事业起步相对较晚,加之缺乏民用飞机运营经验,尚未形成体系化的可靠性管理和运营支持方案;国内现有的民用飞机可靠性管理要求与国际规范存在差异,无法有效对标可靠性管理要求,构建的全寿命

周期可靠性管理体系不完善;基于数据的全寿命周期管理已成为民用飞机发展的必然趋势,然而国产民用飞机在全寿命周期可靠性管理方面目前正处在起步阶段,尚未基于有效的标准规范形成可靠性管理框架,无法为建立健全完善且适用于国产民用飞机全寿命周期可靠性管理体系提供有效指导。

为了解决上述问题,基于 ASD 组织制定的 S5000F《在役数据反馈国际规范》,本文对其进行全方位解读;进而探究 S5000F 规范在民用飞机运行可靠性分析与反馈中的应用,给出基于 S5000F 的民用飞机运行可靠性分析与反馈研究思路;在此基础上,进一步分析运行可靠性分析结果在民用飞机研制和服务阶段所起的作用。

1 S5000F 编制背景、目的及概述

随着新技术引进和装备日趋复杂,需要对装备运行参数进行实时监测,监控其运行性能,确保装备在全寿命周期内能够以最大效能被利用。因此,数据反馈作为保障装备全寿命周期安全经济运行不可或缺的重要环节,用以描述利益攸关方相关数据流,通过数据采集及处理流程,执行装备的性能分析,并将分析结果反馈给利益攸关方,为复杂系统及装备全寿命周期改进设计、运行控制、维修保障等方面提供全方位指导。为了有效指导装备全寿命周期管理,ASD 于 2008 年联合 AIA 共同成立工作小组筹备 S5000F 规范编制工作,该工作小组主要成员构成如表 1 所示。

表 1 S5000F 规范编制工作小组成员

Table 1 Working group members of S5000F specification

成员公司	国家
AgustaWestland	United Kingdom
Airbus Defense and Space	Spain(former Airbus Military) and Germany(former Cassidian)
Andromeda Systems, Inc.	USA
Boeing	USA
Dassault Aviation	France
Bundeswehr	Germany
ESG	Germany
OCCAR	European(based in Germany)
Rolls-Royce	United Kingdom
Saab AB	Sweden
UK MoD	United Kingdom

2013 年 12 月, S5000F 规范草案(第 0.1 版本)在工作小组内部公布, 仅供组内成员组织和公司的专家参阅并提出改进意见; 2014 年 6 月, 该小组向公众发布了第二份规范草案(第 0.2 版本), 更广泛地征集建议以完善 S5000F 规范; 2016 年 3 月, 依据收集的建议和意见, 第三份规范草案(第 0.3 版本)正式发布; 规范编制工作组历经多年改进并完善迭代流程, 于 2016 年 9 月正式公布了 S5000F 规范正式版(第 1.0 版本)。

数据反馈是装备全寿命周期安全经济运营的重要支持手段, S5000F 规范旨在通过运行数据采集处理和反馈, 使制造商、运营商、维修商、供应商等利益攸关方对装备运行和维护性能进行透彻分析, 用以指导装备改进设计和综合后勤保障(Integrated Logistic Support, 简称 ILS), 提高整体运行性能, 降低运营支持成本。此外, 在役数据分析结果可以应用于以下方面: 加强维护和支持的概念和理念; 通过改进活动提升产品性能; 指导和完善运行计划。

S5000F 规范总体预期目标是提高装备和产品的可用性, 优化整体运行效能, 该规范可单独使用或与其他 S 系列 ILS 规范联合使用, S 系列 ILS 规范之间的关系如图 1 所示。

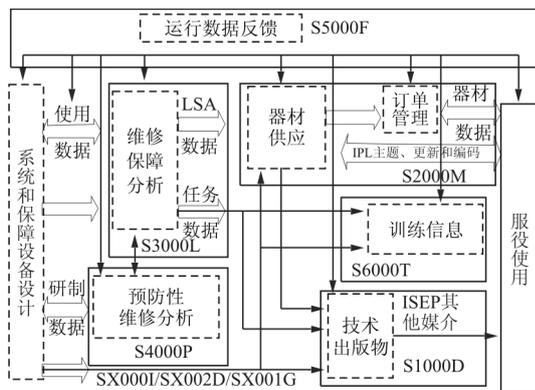


图 1 S5000F 规范与其他 S 系列规范之间的关系

Fig. 1 The relationship between S5000F specification and other S series specifications

从图 1 可以看出: S5000F 规范在装备全寿命周期管理中占据重要地位, 其主要作用是作为 ASD 其他 S 系列规范的媒介, 对装备运行数据进行采集与处理, 实现装备运行过程中的相关分析, 并将数据和结果反馈给其他 S 系列 ILS 规范, 用

以指导装备全寿命周期的性能分析、优化改进、维修工程分析等一系列活动, 保障装备安全可靠经济地运行。

S5000F 规范描述了数据反馈的基本流程、运行过程中所需执行的活动以及所需的数据信息, 为装备数据采集与处理、运行性能分析、维修保障提供可行思路, 为复杂系统和产品全寿命周期管理体系完善提供建设性方案。该规范内容共包括 20 章, 其组成结构如表 2 所示, 表中 RAMCT 为可靠性(Reliability), 可用性(Availability), 维修性(Maintainability), 功能性(Capability)和测试性(Testability)。

表 2 S5000F 规范组成结构
Table 2 Composition of S5000F specification

章节号	章节标题
Chap. 1	规范使用介绍
Chap. 2	运行数据反馈业务流程
Chap. 3	RAMCT 分析数据反馈
Chap. 4	维修分析数据反馈
Chap. 5	安全性数据反馈
Chap. 6	供应保障数据反馈
Chap. 7	寿命周期成本分析数据反馈
Chap. 8	担保分析数据反馈
Chap. 9	产品健康与使用监测数据反馈
Chap. 10	报废管理数据反馈
Chap. 11	综合产品群管理数据反馈
Chap. 12	配置管理数据反馈
Chap. 13	服务合同管理数据反馈
Chap. 14	非预定义信息反馈
Chap. 15	数据模型
Chap. 16	数据交换
Chap. 17	数据元素
Chap. 18	S5000F 剪裁
Chap. 19	不同用例所需数据
Chap. 20	术语和缩略语

2 S5000F 规范介绍

结合 S5000F 规范 20 个章节内容, 依据各章节之间的关系和联系, 对该规范进行全方位解读, 用以指导装备和产品全寿命周期管理活动。S5000F 规范各章节之间的关系和联系如图 2 所示, 可以看出: 按照“总—分—总”模式, 本文从

S5000F 规范使用及数据反馈流程,全寿命周期管理相关活动数据反馈,以及数据、剪裁及术语(包括数据模型、交换准则及属性和剪裁、用例数据和术语)三个方面,对 S5000F 规范内容进行介绍。其中,S5000F 规范使用及数据反馈流程涵盖规范使用介绍和运行数据反馈业务流程共 2 章内容,全寿命周期管理相关活动数据反馈涵盖 RAMCT 分析数据反馈至非预定义信息反馈共 12 章内容,数据、剪裁及术语涵盖数据模型至术语和缩略语共 6 章内容。

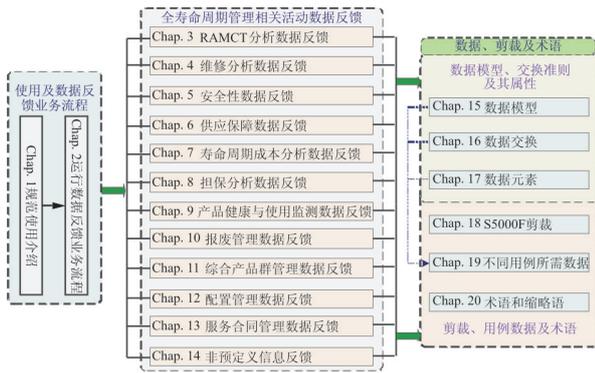


图 2 S5000F 规范各章节之间的关系和联系

Fig.2 The relationship of S5000F specification chapters

2.1 S5000F 规范使用及数据反馈业务流程

第 1 章“规范使用介绍”针对 S5000F 规范的适用范围进行了介绍,明确了该规范主要用于运营商、制造商、维修商等利益攸关方之间传递和反馈产品运行信息。数据反馈贯穿于产品设计、制造、运行、服务等各阶段全寿命周期,其工作重点是产品运行和服务阶段的数据反馈,同时也可对产品其他阶段数据反馈相关工作提供支持。

基于 S5000F 规范的数据传递与反馈框架如图 3 所示,可以看出:基于 S5000F 规范数据交换的具体流程为:依据研究对象,结合客户/用户使用过程中获取的数据信息,将其按照 S5000F 规范要求传递并集成到制造商、供应商、维修商等构建的使用数据库,进而联合其他 S 系列 ILS 规范实现装备和产品的性能分析、设计改进、维修保障等,并将其反馈到客户/用户的使用数据库,为其进行全寿命周期管理提供借鉴。

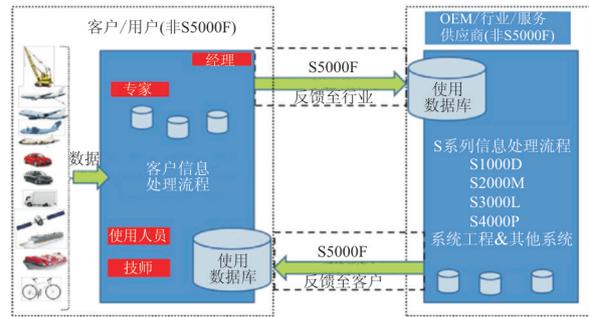


图 3 基于 S5000F 规范的数据交换框架

Fig.3 Outline of data exchange based on S5000F specification

此外,该章还给出了 S5000F 规范在运行和服务阶段相关活动以及与其他 S 系列 ILS 规范相关活动之间的关系,如图 4 所示。

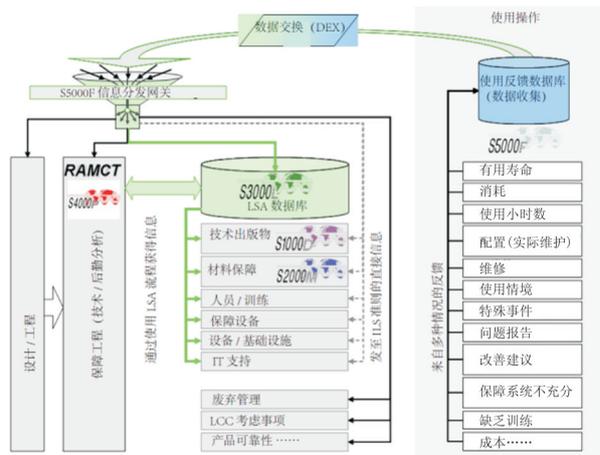


图 4 S5000F 规范与其他 S 系列规范 ILS 过程中相关活动之间的关系

Fig.4 Relationship between S5000F specification and other S series specifications related activities in ILS process

从图 4 可以看出:基于 S5000F 规范中涉及的相关活动采集数据,通过数据处理清洗数据,并将其存储在使用反馈数据库,依据数据交换规则通过 S5000F 信息分发网关反馈给工程设计、后勤保障等部门;工程设计部门依据反馈信息实现装备和产品的改进设计,优化运行效能;而后勤保障部门依据反馈信息并结合其他 S 系列规范实现装备和产品的全寿命周期管理,结合 S3000L 规范建立后勤保障分析 LSA(Logistic Support Analysis)数据库,进而参照 S1000D、S2000M 和 S4000P 规范,分

别进行技术出版物编制、航材供应保障、维修任务制定与优化等研究。

第 2 章“运行数据反馈业务流程”概述了 S5000F 规范数据反馈业务框架, 主要包括运行数据反馈过程和运行数据采集流程。其中, 运行数据反馈过程如图 5 所示, 涵盖准备、定义、说明、数据处理和分析 5 个阶段, 图中实线框为相关技术任务, 虚线框为合同任务, 该过程是以有效和标准化的方式支持数据采集, 从不同的运营人接收数据进行分析处理, 使参与者进行装备和产品性能分析, 旨在通过数据传递支持运营需求。运行数据采集流程如图 6 所示, 采集流程包括指导会议、合同拟定、定义相关分析、定义请求数据元素、定义反馈利益攸关方、定义数据反馈格式、请求的数据规范、合并的数据规范、数据访问规范、数据传输规范、数据生成、数据采集、数据准备、执行分析、生成结果、结果反馈、审查会议、更新流程

果反馈、审查会议和更新流程 18 个流程, 其中指导会议明确数据采集需求并执行相关准备工作, 准备工作包括全局分析策略、运行数据初步需求、初步分析任务、替代方案和权衡分析、分析工作评估等。

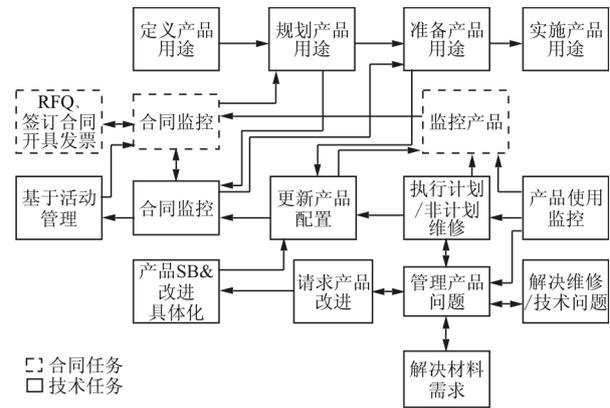


图 5 运行数据反馈过程

Fig. 5 In-service data feedback process



图 6 运行数据采集流程

Fig. 6 In-service data acquisition process

2.2 全寿命周期管理相关活动数据反馈

第 3 章“RAMCT 分析数据反馈”介绍了 RAMCT 分析收集数据涉及的常见活动、基本定义和基本数据。可靠性、可用性、维修性、功能性和测试性是装备和产品的五大性能特征, 其关系如图 7 所示。测试性直接关系到维修性, 维修性和可靠性直接决定了装备和产品的可用性, 而可用性是衡量装备和产品功能完善与否的关键。此外, 五大性能特征还影响装备和产品全寿命周期的安全性、经济性等方面。RAMCT 分析数据反馈涉及可靠性、可用性、维修性、功能性和测试性分析活动, 以及相关活动所需数据类别, 本节仅以可靠性为例进行说明。可靠性分析的目的是结合数据监测装备和产品的可靠性, 识别失效模式、原因和机理, 预测可靠性发展趋势, 合理化维修间隔和支持后勤供应保障, 指导产品改进设计、优化运行计划及新型号研制。关于运行可靠性分析方法, 本章给出了适用

于结构系统层面的工程分析方法, 例如仿真、Pareto、故障树分析、FMECA、Markov 等, 其中部分方法及分析流程可以参照 SAE ARP 4754A^[13] 和 SAE ARP 4761^[14]。此外, 针对可靠性分析所需的数据类型, 通过性能分析、改进设计影响分析和趋势、FMECA、根本原因分析、损坏和事件分析 3 个案例, 列出可靠性分析相关活动所需的数据信息。

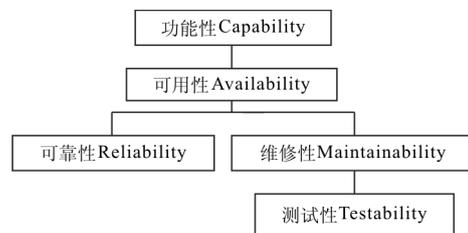


图 7 RAMCT 之间的关系

Fig. 7 The relationship between among RAMCT

第 4 章“维修分析数据反馈”定义了维修数据反馈过程, 其目的是为维修数据传递和交换提供参

考,实现装备和产品全寿命周期维修管理,提升维修保障能力。维修活动旨在保持或恢复某个项目或使其能够执行其所需功能状态的行动,通常分为计划/预防性维修和非计划维修两大类,这些维修活动对于确保装备和产品的安全性、可靠性、舒适性和使用寿命至关重要。维修基础数据是执行装备和产品全寿命周期分析,维护装备和产品性能所必需的基本信息,通过这些信息收集处理和分析,可将得到的结果反馈到利益攸关方,优化维修活动,提升签派可靠性和安全性,降低运营支持成本。此外,针对维修数据类型,本章通过 6 个分析案例对其进行了详细阐述,并分别从制造商、运营商、维修商等利益攸关方的角度说明了装备和产品全寿命周期中所需执行的维修活动。

第 5 章“安全性数据反馈”用于捕获影响装备和产品安全性的事件信息,并涵盖了向制造商和维修商反馈分析结果,提供安全问题的底层诱因和安全问题的解决途径。安全性数据反馈的目的是试图通过数据分析装备和产品在任何阶段(从概念设计直至退役)发生的事件或潜在危险,将其反馈给利益攸关方并及时作出应对策略,进而保障装备和产品全寿命周期的安全性。安全性数据反馈最终目标是向利益攸关方报告影响装备和产品的安全事件和造成安全事件的根本原因,其涉及的重要组织、安全事件来源以及数据反馈参与者如图 8~图 9 所示,可以看出:装备和产品安全性事件来源于全寿命周期多项活动,且相关数据传递与反馈过程中涉及多个对象,即运营商、供应商、维修商等利益攸关方。此外,本章还给出了 3 个案例分析用以说明安全性数据类别。

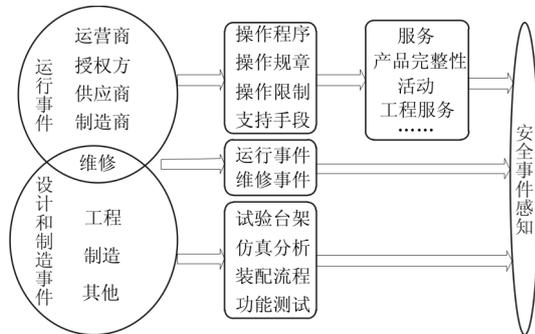


图 8 重要组织和安全事件来源
Fig. 8 Major organizations and sources reporting safety events

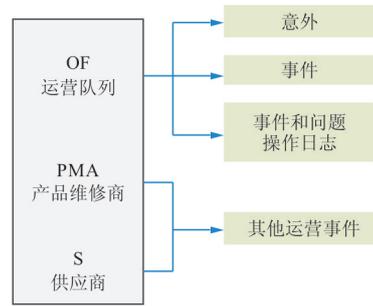


图 9 安全性数据反馈参与者
Fig. 9 Safety data feedback participants

第 6 章“供应保障数据反馈”通过供应保障相关数据支持供应保障策略方面的工作,在保障可用度的前提下,合理规划备件库存数量,实现物流链管理,最大限度地提升资产可用性、降低运营支持成本。供应保障作为产品支持策略的 ILS 要素之一,其目的是规划采购、及时供应装备和产品维修所需的备件,以合理的维修设备和工程人员支持产品正常运行,最小化生命周期成本。供应保障数据是实现装备和产品全寿命周期维修保障管理的重要信息,通过相关数据采集、处理和分析,可为运营过程中的支持策略制定提供参考,在满足持续适航的要求下,使装备和产品能够安全经济地运行。对于供应保障数据类别,本章通过 5 个案例分析列出了相关活动所需的数据。

第 7 章“寿命周期成本分析数据反馈”主要着眼点在于装备和产品全寿命周期中成本分析并实现成本数据信息的反馈。寿命周期成本分析主要包括的内容有成本要素定义、识别各阶段的成本要素及全寿命周期成本计算。成本数据不仅可用于服务阶段的维修费用估算和评估维修方案,还可用于后续供应保障费用的优化,改进维修策略,指导航材配置。此外,在充分了解实际运营的情况下用以支持决策者预测未来成本,管理现有预算并进行决策分析,为有效调动资金奠定了基础。寿命周期成本分析数据是有效衡量装备和产品全寿命周期费用的基础,为有效指导全寿命周期成本研究,本章详细介绍了分析过程中所需的数据类型,并结合 S3000L 规范中的成本分析模型,实现装备和产品的运营支持成本计算。

第 8 章“担保分析数据反馈”对产品担保内容的合理性和管理缺陷进行了分析,主要内容和目的为:记录系统故障并实施隔离措施,确定故障是否

在担保范围内;研究费用成本、实际补偿费用、故障费用数据交换等活动,为收集成本信息提供可行路径;记录超出保修范围故障,识别不合理的担保项目等,分析担保内容的合理性;通过组件故障率是否超过预算损失率评估、有效识别风险项目;通过利益攸关方之间的沟通管理改进担保分析,提高担保制定流程和规则。产品担保分析是利益攸关方之间的博弈过程,其反馈过程如图 10 所示,可以看出:产品出现故障时,运营商结合担保内容和附加

信息(故障原因、故障数据)形成文件提交给制造商,而制造商则依据合同有效性进行检查,确定是否在担保范围内,如果属于担保范围则接受申请,交由维修商进行维修;如果不属于担保范围则拒绝申请,并将最终决定反馈给运营商,由运营商内部决定是否提供新的支撑文件说服制造商接受担保服务。此外,S5000F 第 8 章 3.2 节给出了 5 个担保分析的实例,并明确了担保分析需求的数据类型。

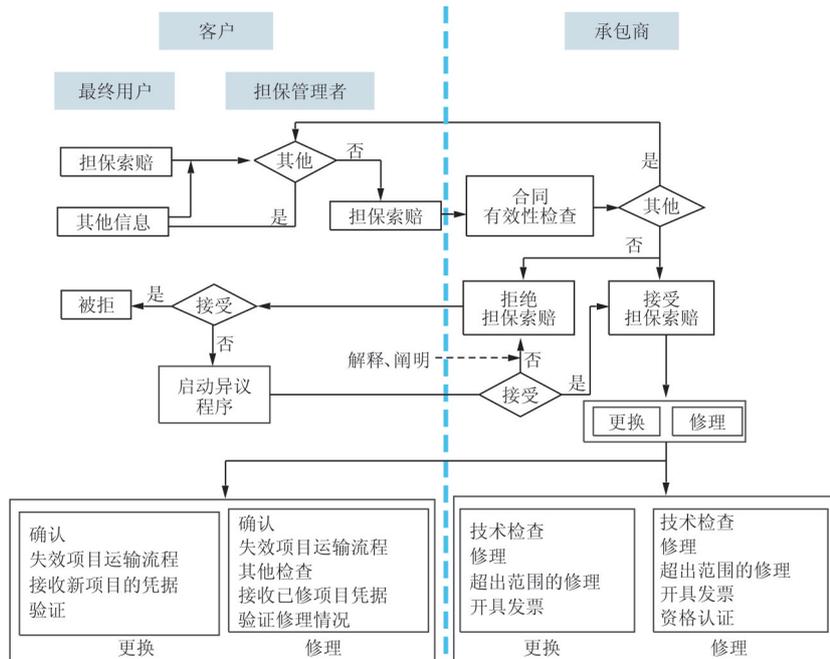


图 10 担保分析数据反馈流程

Fig. 10 Warranty analysis data feedback process

第 9 章“产品健康与使用监测数据反馈”介绍了收集和反馈健康和监测数据所涉及的常见活动、基本定义和基本数据字段。产品健康和监测是结合数据收集和分析技术,用来确保和改进可靠性、可用性和安全性,提升产品的整体性能。产品健康和监测依据利益攸关方的需求,即监测产品的部位、监测措施、采集数据、数据提取、报告数据、验证数据、数据分析传输、数据访问等,结合数据输入、存储、传输、分析等流程,实现产品运行监控、故障诊断、性能预测,最终实时反馈产品的运行状态,进而确定 ILS 需求,保障产品安全性,

降低维修成本。此外,本章最后通过 5 个案例分析阐述了产品健康与使用监测数据类别。

第 10 章“报废管理数据反馈”针对全寿命周期报废管理相关活动和数据进行了说明。报废管理作为影响装备和产品的设计、制造、运营和服务阶段安全性和经济性的重要环节,是确保全寿命周期得到合理支持的必要流程,其对于在整个产品寿命周期内实现最佳成本效益至关重要。为了最大程度地降低因报废产生的成本和影响,在装备和产品的整个生命周期必须建立一个适用的报废管理流程,如图 11 所示。

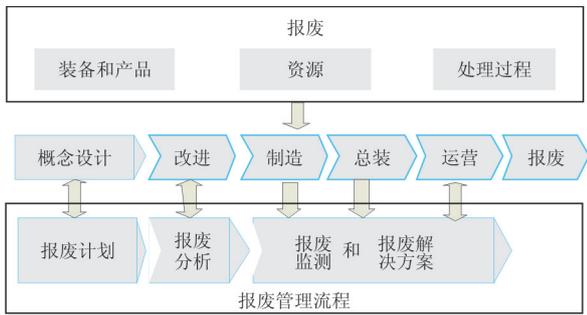


图 11 报废管理流程

Fig. 11 Obsolescence management process

第 11 章“综合产品群管理数据反馈”概述了综合车队管理流程以及所需的数据,同时考虑到必要的维护、产品配置和满足运营需求的所有可用性因素,用以规划产品运营,满足产品的可用性和功能性,适用于利益攸关方单个和多个产品运营综合管理。综合产品群管理流程如图 12 所示,可以看出:其流程主要包括产品需求管理、产品使用、运行管理、产品管理、产品维修、产品设计、供应支持等。此外,本章给出了 7 个案例分析,从不同角度罗列出综合产品群管理所需的数据类别。

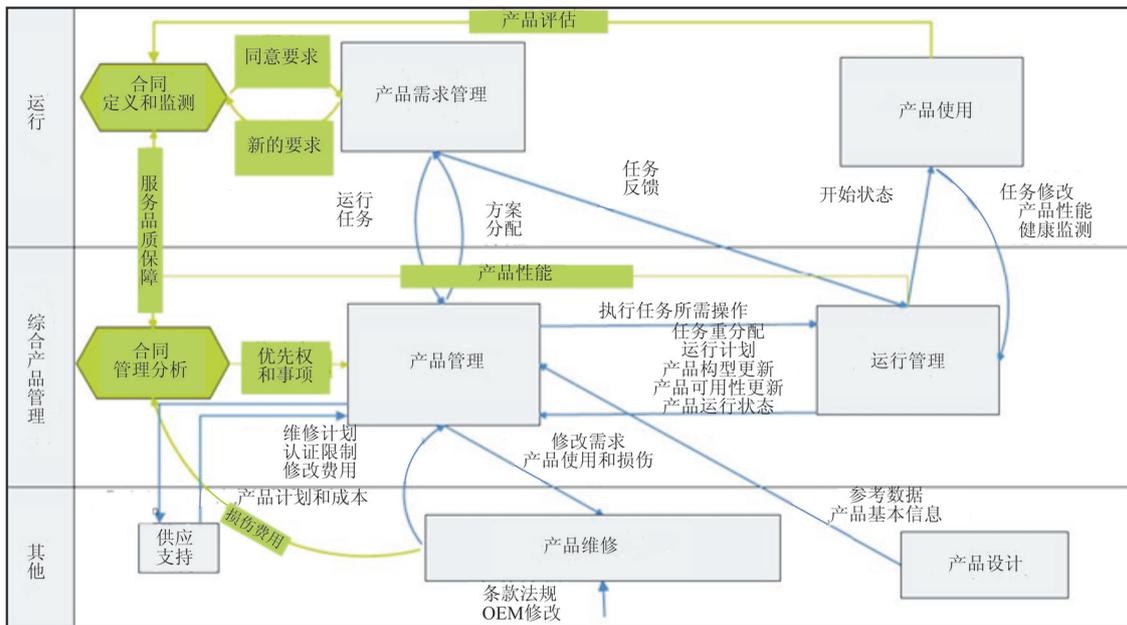


图 12 综合产品群管理流程

Fig. 12 Integrated fleet management process

第 12 章“配置管理数据反馈”提供了不同产品配置管理方面所需的必要信息,其目的是确保产品安全可靠地运行以及符合产品相关法规(例如适航法规)要求。配置管理数据是执行产品全寿命周期配置管理的基础信息,其相关数据类别通过 5 个案例分析给出了详细的说明。此外,配置管理数据传递与交换涉及制造商、运营商、维修商等,其数据反馈流程如图 13 所示,可以看出:制造商主要负责功能配置,运营商职责操作和运行,而维修商进行维修维护;其中,与可靠性相关的为交付配置和升级配置,交付配置是制造商在交付给运营商的产品配置,升级配置是由制造商(Original Equipment Manufacturer, 简称 OEM)提供的允许配置演变

而来。

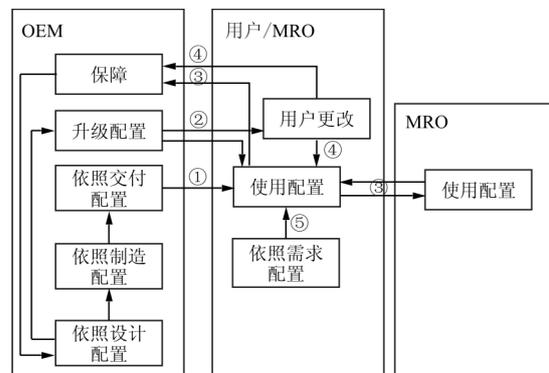


图 13 配置信息反馈流程

Fig. 13 Configuration information feedback process

第 13 章“服务合同管理数据反馈”主要是围绕基于效能的物流 PBL(Performance Based Logistics)管理,对服务合同中不同参与者之间信息交换的必要数据进行定义,其目的是支持装备和产品全寿命周期服务合同管理。PBL 类型合同涵盖运营商和供应商之间基于物流指标的长期合作协议(例如服务合同),关注的是运营商的需求,即拥有一个可操作、可靠、有效的系统,以合理的成本将物流成本降至最低。此外,为了说明服务合同管理过程中涉及的相关必要活动,本章结合 12 个案例分析对其进行了论述。

第 14 章“非预定义信息反馈”主要针对 S5000F 规范未定义的数据范畴问题,补充了相关需求的数据信息,明确了非预定义信息为结构化和非结构化数据两大类,用以支持装备和产品全寿命周期管理。其中,非预定义结构化数据是指涵盖了数据元素的数据结构,虽然不是该规范的一部分,但是与数据反馈过程密切相关;非预定义非结构化数据是指与操作和维护相关的信息,由于这些数据自身的性质,无法将这些数据信息进行结构化。本章还给出了该规范其他章节所需的非预定义数据类别及相关的案例分析。

2.3 数据、剪裁及术语

2.3.1 数据模型、交换准则及属性

第 15 章“数据模型”定义了一个通用的数据模型——公共数据模型 CDM(Common Data Model),用以指导装备和产品全寿命周期管理中相关业务流程的数据交换和反馈。CDM 是 S 系列 ILS 规范的核心,其为所有规范之间的互通性提供了有效途径。在不影响数据完整性的前提下,CDM 结合功能单元 UOF(Units of Functionality),将整个数据拆分为多组较小的数据模型,用以简化整个数据模型,方便数据交换和反馈流程。此外,针对装备和产品全寿命周期管理活动中所需的 UOF 进行了详细说明。

第 16 章“数据交换”制定了基于可扩展标记语言(Extensible Markup Language,简称 XML)模式数据交换准则,为实施数据交换提供了可行的指导策略,处理的数据结合 UOF 及 CDM,并依据相关数据交换准则反馈给其他 S 系列规范用于相关分析,相关活动如图 4 所示。此外,本章给出了

ASD XML 模式与产品寿命周期支持 PLCS(Product Life Cycle Support)的映射关系,如图 14 所示。

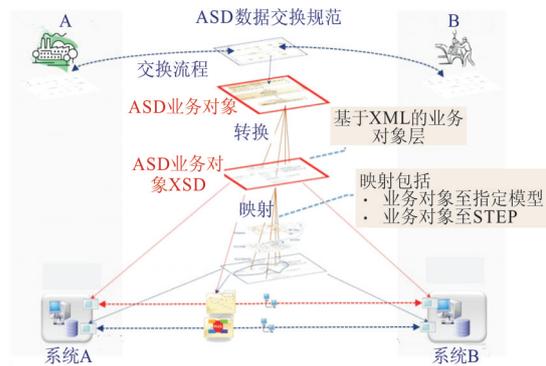


图 14 ASD XML 模式与 PLCS 映射关系

Fig. 14 ASD XML schema to PLCS implementation mapping

第 17 章“数据元素”针对 S5000F 规范装备和产品全寿命周期管理相关活动数据模型涉及的所有数据元素进行了定义,主要包括数据元素名称、类型、文本及有效值、类/接口名称、UOF 等。

2.3.2 剪裁、用例数据和术语

第 18 章“S5000F 剪裁”主要用于指导不同使用者依据该规范针对不同的装备和产品制定适用于工程实际的指导性文件,提供利益攸关方之间的相互交流和沟通途径,有效提高装备和产品全寿命周期管理质量。

第 19 章“不同用例所需数据”针对 S5000F 规范第 15 章中描述的数据模型涉及的数据类别和数据元素与其他章节中描述的用例之间的映射,目的是为了快速确定装备和产品执行全寿命周期管理活动所需信息。

第 20 章“术语和缩略语”对 S5000F 规范涉及的术语进行了定义并说明了该规范中相关缩略语的含义,以便能够让使用者准确定位相关术语和缩略语的含义,统一规范使用流程和行业认知。

3 S5000F 规范在民用飞机运行可靠性分析反馈中的应用

民用飞机产业是影响全球战略地位的重要产业之一,逐渐受到世界各国的重视。对于民用飞机而言,可靠性主要用以衡量其结构、机构、系统及整机的性能是否能够满足预定功能需求,是全寿命周期安全运行的保障指标之一,也是利润增长点的决

定性因素之一。因此,可靠性分析对于民用飞机安全经济运行起到关键作用,并且可靠性分析贯穿于民用飞机设计、制造、运行、服务等阶段全寿命周期。

民用飞机设计阶段主要依据研究对象的概念模型和预定义工作载荷开展其可靠性分析,进而结合试验验证其可靠性指标,并进一步基于可靠性分析结果指导优化设计。关于民用飞机设计阶段可靠性分析的理论目前已相对完善,并且广泛应用于工程实际;此外,西北工业大学冯蕴雯课题组针对民用飞机典型系统(例如起落架、舱门等)结构机构的设计阶段可靠性进行了系统研究,并将其推广至国产民用飞机型号研制^[15-20]。民用飞机运行阶段的可靠性研究(运行可靠性分析与反馈)着重分析实际工况作用下分析对象的性能指标是否与设计可靠性一致以及满足运行要求,其结果不仅能够反映当前民用飞机运行状态的可靠性指标,而且能够

用于指导设计阶段的目标对象优化设计、运行阶段的操作控制以及服务阶段的维修保障。对于民用飞机运行可靠性分析与反馈,通常做法是结合有效的运行数据建立可靠性分析模型,基于该模型确定运行状况下的可靠性水平,进而将分析结果用于民用飞机全寿命周期管理。当前,随着大数据理论的发展,运行可靠性分析与反馈理论研究方兴未艾,工程方面已在轨道交通、转子轴承等方面进行了初步应用^[21-23],然而在民用飞机领域尚未系统应用。针对 S5000F 规范,目前上海飞机客户服务有限公司已着手开展其翻译工作,中国航空综合技术研究所针对数据单元进行了初步研究。本课题组在民用飞机运行可靠性分析方面进行了初步探究^[24-27],并初步形成了基于 S5000F 规范在民用飞机运行可靠性分析与反馈中的思路框架,如图 15 所示。

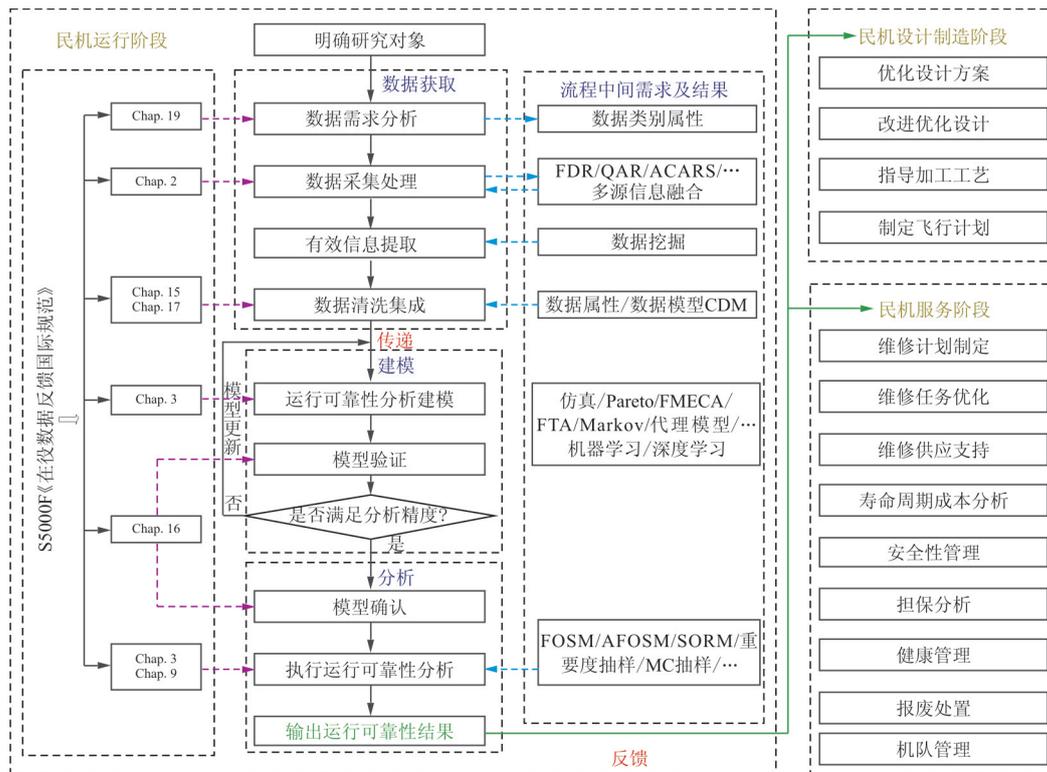


图 15 基于 S5000F 规范在民用飞机运行可靠性分析与反馈思路框架

Fig. 15 Framework of operational reliability analysis and feedback for civil aircraft based on S5000F specification

从图 15 可以看出:民用飞机运行可靠性分析与反馈主要是基于民用飞机运行数据,结合大数据理论,以 S5000F 为引,实现民用飞机运行阶段的

可靠性分析,并将分析结果反馈至民用飞机设计、制造、服务等阶段,为民用飞机全寿命周期管理提供有效支持。基于 S5000F 规范,民用飞机运行可

可靠性分析与反馈包括运行可靠性分析和分析结果反馈两大流程。

运行可靠性分析主要包括数据获取、建模及分析,其具体流程为:明确研究对象及分析目标;基于 S5000F 规范相关章节,开展数据需求分析,梳理分析所需的数据类别属性,通过飞行数据记录器(Flight Data Recorder,简称 FDR)、快速存取记录器(Quick Access Recorder,简称 QAR)、飞机通信寻址与报告系统(Aircraft Communications Addressing and Reporting System,简称 ACARS)等收集的运行数据,运用多源信息融合对数据进行处理,进而结合数据挖掘技术提取有效信息,进一步采用数据模型实现数据集成;在此基础上,通过数据传输规则调用训练数据,依据 S5000F 规范中提及的仿真、Pareto、故障模式、影响及危害性分析(Failure Mode Effects and Criticality Analysis,简称 FMECA)、故障树分析(Fault Tree Analysis,简称 FTA)、Markov、代理模型等可靠性建模方法,机器学习、深度学习理论建立运行可靠性分析模型,利用测试数据对模型进行验证,若不满足精度分析要求,则对所建立的模型进行修正,直至满足预设要求;基于确认的可靠性分析模型,结合一次二阶矩(First Order Second Moment,简称 FOSM)、改进一次二阶矩(Advanced First Order Second Moment,简称 AFOSM)、二次可靠度方法(Second Order Reliability Method,简称 SORM)、重要度抽样、蒙特卡洛(Monte Carlo,简称 MC)抽样等方法完成运行可靠性分析,输出分析结果。

对于运行可靠性分析反馈,则是基于运行可靠性分析的结果,分别将其作为输入反馈给民用飞机设计制造和服务阶段利益相关方,用以指导民用飞机设计制造和服务阶段相关涉及活动的分析:在民用飞机设计制造阶段,运行可靠性分析结果可以用于新研机型和现有机型设计阶段的设计方案制定和改进优化设计,指导制造阶段的零部件加工工艺,以及运行阶段制定适当的飞行计划等;在民用飞机服务阶段,运行可靠性分析结果可以有效指导维修计划制定、维修任务优化、维修供应支持、寿命周期成本分析、安全性管理、担保分析、健康管理、报废处置、机队管理(优化机队管理方案)等。

综上所述,S5000F 规范为民用飞机运行可靠性分析与反馈提供指导,规范民用飞机运行阶段的

可靠性分析流程,完善民用飞机运行可靠性管理体系;S5000F 规范与其他 S 系列 ILS 规范联合使用,为民用飞机运行可靠性反馈提供思路,将运行可靠性分析贯穿于民用飞机从设计直至退役的全寿命周期管理,进而为民用飞机安全经济运行提供合理的方案。

4 结束语

近年来,随着民用飞机行业的迅猛发展,对民用飞机安全性和经济性提出了更高的要求,而运行可靠性是保障民用飞机安全经济营运的基础,加之大数据理论的兴起和民用飞机运行数据的积累,S5000F 规范的面世为民用飞机运行可靠性分析与反馈,以及全寿命周期管理的系统研究提供了一个契机。S5000F 规范不仅有助于加强和完善民用飞机运行可靠性管理体系和运行维护理念,而且有助于推动国产民用飞机乃至整个民用飞机行业运行可靠性、ILS 等领域的进步。

本文研究工作的主要意义是结合 S5000F 规范探索民用飞机运行数据采集的业务流程,形成基于数据的运行可靠性分析框架,为大数据背景下的民用飞机运行可靠性管理提供合理有效指导,为健全完善民用飞机全寿命周期管理体系提供支持,进而缩小国内外民用飞机全寿命周期管理的差距,达到提升民用飞机日利用率和签派可靠性,降低飞机停场(Aircraft on Ground,简称 AOG)时间和维修成本的目标。

当前国产民用飞机正处在稳步发展阶段,其运行可靠性分析与反馈以及全寿命周期管理体系也在逐步完善中,为了能够占据有利的未来民用飞机市场地位,有必要借鉴 S5000F 规范建立健全可持续发展的运行数据反馈流程,规范民用飞机运行可靠性分析与反馈业务,实现国产民用飞机单机及机群运营阶段性能分析与监控,搭建具有自主知识产权和符合行业规范的民用飞机运行可靠性管理体系,进而结合其他 S 系列 ILS 规范实现国产民用飞机全寿命周期活动管理,以及健全完善国产民用飞机 ILS 体系的建设,为民用飞机安全、可靠、经济地运行提供有力保障,最终目标是在保障满足持续适航要求的条件下,有效提升国产民用飞机运行可靠性能力,提高日利用率和签派可靠性,降低 AOG 和全寿命周期运营支持成本。

参考文献

- [1] 凌云霞. ASD 及其航空航天标准[J]. 航空标准化与质量, 2009(6): 47-49.
LING Yunxiao. ASD and its aerospace standards[J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2009(6): 47-49. (in Chinese)
- [2] ASD/AIA. International specification for in-service data feedback: S5000F[S]. Europe: ASD/AIA, 2016.
- [3] ASD/AIA/ATA. International specification for technical publications using a common source database: S1000D[S]. Europe: ASD/AIA/ATA, 2016.
- [4] ASD/AIA. International specification for material management: S2000M[S]. Europe: ASD/AIA, 2017.
- [5] ASD/AIA. International procedure specification for logistic support analysis (LSA): S3000L[S]. Europe: ASD/AIA, 2014.
- [6] 庚桂平. S3000L《后勤保障分析国际程序规范》介绍[J]. 航空标准化与质量, 2013(3): 49-53.
GENG Guiping. Introduction of S3000L "International Procedure Specification for Logistic Support Analysis (LSA)" [J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2013(3): 49-53. (in Chinese)
- [7] ASD. International specification for developing and continuously improving preventive maintenance: S4000P[S]. Europe: ASD, 2014.
- [8] ASD/AIA. International procedure specification for training/TNA: S6000T[S]. Europe: ASD/AIA, 2014.
- [9] ASD/AIA. International guide for the use of the S-series integrated logistics support(ILS) specifications: SX000I[S]. Europe: ASD/AIA, 2016.
- [10] 中国民用航空局. 航空器制造厂家运行支持体系建设规范: MD-FS-AEG006[S]. 北京: 中国民用航空局, 2014.
Civil Aviation Administration of China. Standard for construction of operational support system of aircraft manufacturers: MD-FS-AEG006 [S]. Beijing: CAAC, 2014. (in Chinese)
- [11] 中国民用航空局. 可靠性方案: AC-121-54R1[S]. 北京: 中国民用航空局, 2005.
Civil Aviation Administration of China. Reliability schemes: AC-121-54R1[S]. Beijing: CAAC, 2005. (in Chinese)
- [12] 中国民用航空局. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则: CCAR-21-R5 [S]. 北京: 中国民用航空局, 2017.
Civil Aviation Administration of China. Rules for operational qualification authentication of large aircraft public air transport carriers: CCAR-21-R5 [S]. Beijing: CAAC, 2017. (in Chinese)
- [13] SAE. Guidelines for development of civil aircraft and systems: ARP 4754A[S]. USA: SAE, 2010.
- [14] SAE. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment: ARP 4761[S]. USA: SAE, 1996.
- [15] 冯蕴雯, 朱铮铮, 姚雄华, 等. 民用飞机起落架安全性分析方法研究[J]. 西北工业大学学报, 2016, 34(6): 969-975.
FENG Yunwen, ZHU Zhengzheng, YAO Xionghua, et al. An effective safety analysis method of civil aircraft landing gear[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2016, 34(6): 969-975. (in Chinese)
- [16] 秦强, 李婷婷, 冯蕴雯, 等. 考虑间隙磨损的机构过中心锁定可靠性分析[J]. 机械强度, 2015, 37(5): 874-879.
QIN Qiang, LI Tingting, FENG Yunwen, et al. Reliability analysis of mechanism over-center locking considering wear and clearance[J]. Journal of Mechanical Strength, 2015, 37(5): 874-879. (in Chinese)
- [17] 秦强, 冯蕴雯, 薛小锋. 改进布谷鸟算法在结构可靠性分析中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(4): 979-984.
QIN Qiang, FENG Yunwen, XUE Xiaofeng. Improved cuckoo search algorithm for structural reliability analysis [J]. Systems Engineering and Electronics, 2015, 37(4): 979-984. (in Chinese)
- [18] 高有道, 李婷婷, 冯蕴雯, 等. 垂直收放式起落架提升机构设计及可靠性分析[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(11): 1763-1767.
GAO Youdao, LI Tingting, FENG Yunwen, et al. Design and reliability analysis for vertical lifting type landing gear retraction mechanism[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2014, 33(11): 1763-1767. (in Chinese)
- [19] 赵劲彪, 郑香伟, 冯蕴雯, 等. 飞机起落架应急放机构可靠性分析[J]. 机械设计与制造, 2014(8): 31-33.
ZHAO Jinbiao, ZHENG Xiangwei, FENG Yunwen, et al. Reliability analysis of landing gear mechanism during emergency extending[J]. Machinery Design and Manufacture, 2014(8): 31-33. (in Chinese)
- [20] 冯蕴雯, 薛小锋, 冯元生. 多点多锁复杂系统可靠性设计、分析及试验评估[J]. 西北工业大学学报, 2007, 25(1): 42-45.
FENG Yunwen, XUE Xiaofeng, FENG Yuansheng. On exploring reliability design and analysis of and evaluating through tests complex lock system with multiple point joints and multiple locks[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2007, 25(1): 42-45. (in Chinese)
- [21] 赵惠祥. 城市轨道交通系统的运营安全性与可靠性研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
ZHAO Huixiang. Study on operational safety and reliability of urban mass transit system[D]. Shanghai: Tongji University, 2006. (in Chinese)
- [22] HONG S, ZHOU Z, ZIO E, et al. Condition assessment for the performance degradation of bearing based on a combinatorial feature extraction method[J]. Digital Signal Processing, 2014, 27: 159-166.
- [23] HONG S, ZHOU Z, ZIO E, et al. An adaptive method for