

航空器机械故障排除效率提升与流程优化

黄凯 阳昌钊

深圳航空有限责任公司, 中国·广东 深圳 518128

摘要: 航空器机械故障的快速高效诊断对于保证飞行安全以及降低运营成本至关重要。当前航空器机械故障排除流程的诊断耗时较长、信息缺乏协同性、严重依赖专家经验等问题, 基于此, 本文从故障树分析 (FTA)、大数据诊断技术、流程再造理论维度出发, 聚焦优化故障排除流程、提高工作效率角度, 以解决传统流程存在的主要问题为切入点, 搭建出基于数据驱动及标准化流程的数据处理方式。并基于故障处理全流程各环节的技术要求以及工作重点, 分别从技术工具升级、完善人员培训体系优化管理模式三个方面提出了具体的实施方案, 旨在提高航空器维修保障的能力水平, 促进我国航空维修行业的发展。

关键词: 航空器机械故障; 故障排除流程; 流程优化; 效率提升; 数据驱动

Efficiency Improvement and Process Optimization in Aircraft Mechanical Fault Diagnosis

Huang Kai, Yang Changzhao

Shenzhen Airlines Co., Ltd., China Guangdong Shenzhen 518128

Abstract: Rapid and efficient diagnosis of aircraft mechanical faults is crucial for ensuring flight safety and reducing operational costs. The current fault diagnosis process for aircraft mechanical issues suffers from prolonged diagnosis time, lack of information coordination, and heavy reliance on expert experience. Addressing these issues, this paper focuses on optimizing the fault diagnosis process and improving work efficiency. Starting from the main problems of traditional processes, it establishes a data-driven and standardized data processing approach based on Fault Tree Analysis (FTA), big data diagnostic technology, and process reengineering theory. Additionally, considering the technical requirements and key tasks at each stage of the fault handling process, it proposes specific implementation plans in three aspects: technological tool upgrades, improvement of personnel training systems, and optimization of management models. These measures aim to enhance the capability of aircraft maintenance support and promote the development of China's aviation maintenance industry.

Keywords: Aircraft mechanical failure; Fault troubleshooting process; Process optimization; Efficiency improvement; Data-driven

0 引言

近年来, 随着物联网、大数据和人工智能等技术的应用, 航修行业故障诊断正朝着智能化、精准化的方向发展。在这种形势下, 展开对航空器机械类故障排除流程的优化与效率的提升的相关研究, 打破传统的思路和模式, 建立起一套科学、合理、准确并行快速、简捷方便的故障处理流程, 具有十分重大的现实意义和理论价值。

1 航空器机械类故障及传统排除流程概述

1.1 航空器机械类故障的类型与特点

航空器机械类故障是由于航空器机械部分的磨损、疲劳、变形、腐蚀或装配不当等原因而引起的故障, 按其影响范围分为关键故障和非关键故障。前者, 例如发动机叶片断裂、起落架收放失效等, 一旦发生就会影响飞行安全, 需要立即停机处理; 后者如液压管路轻微渗漏、仪表指示异常等, 并不会直接影响到飞行安全, 但是却会导致系统工作可靠性下降, 必须按规定的时限予以修理。

航空器机械故障具有以下三个特征: 一是隐蔽性, 部分故障在产生早期并无明显的故障征兆, 不容易被人工目视检查出来, 如发动机内部的轴承疲劳损伤; 二是关联性, 某一子系统故障可能会影响到其他子系统乃至整个航空器的安全性能问题, 比如液压系统故障后可能导致起落架收放、飞行控制系统不能正常工作; 三是随机性, 故障的发生时间和发生部位无法预知, 使得航后对故障排查有很高的要求^[1]。

1.2 传统故障排除流程的主要环节

传统的航空器机械故障排除流程主要包括五个核心环节: 一是故障现象采集, 维修人员通过飞行员的故障报告、地面检查等方式记录故障表现, 如异响、仪表告警、系统功能失效等; 二是故障初步定位, 依据维修手册和个人经验, 判断故障可能涉及的部件或子系统; 三是部件拆解与检测, 对疑似故障部件进行拆解, 采用量具、检测仪等设备进行性能测试; 四是替换测试, 更换疑似故障部件后进

行系统试车, 验证故障是否消除; 五是故障复盘, 记录故障原因与处置过程, 形成维修档案^[2]。

1.3 传统流程存在的痛点分析

尽管传统流程在航空维修发展历程中发挥了重要作用, 但面对现代航空器复杂的系统结构与高效的运营需求, 其局限性日益凸显。

第一, 依维经验较高, 但判读精度较差。传统的检修流程过于依赖于维修人员以往的经验积累, 不同的技术水平水平会使得判定的结果有较大的差别, 容易产生“误判”或“漏判”, 致使反复拆解测试, 延长了故障排除的时间。

第二, 信息不畅, 资源分配率不高。故障排除过程中维修、航材和调度等多部门间的信息往往通过人工方式传递, 信息可能存在迟滞的情况, 也容易存在一些沟通上的偏差, 这样会导致出现航材的供不应求或者供过于求的情况, 造成资源的浪费。

第三, 缺少预防性诊断, 以被动维修为主。传统的维修管理方式, 是“故障发生后处置”, 没有针对机械设备运行情况进行实时监测, 不能提前预知机械系统的故障隐患, 造成设备故障频发, 设备设施管理水平较差。

第四, 低利用率、缺少知识继承性; 大多是纸质的维修档案, 没有系统的分类及检索机制, 因而不能把单个故障处置的经验转变成通用的知识而供维修团队使用, 降低了维修团队的技术水平。

2 航空器机械类故障排除流程优化的理论基础与技术支撑

2.1 流程优化的核心理论

2.1.1 业务流程再造(BPR)理论

业务流程再造是指“从顾客的角度来看问题, 不断地反思现有的流程并作出彻底地修改, 在大幅地降低成本的同时提高产品和服务的质量及生产率”^[3]。将业务流程再造理论应用到航空器故障排除业务流程优化中, 以打破原有的“部门导向型”流程, 快速消缺为目标, 重新整合流程节点, 去繁就简, 减少不必要的工作环节, 做到全流程各专业人员的协同联动。

2.1.2 故障树分析(FTA)理论

故障树分析是自顶向下进行故障的查找与判断的方法。它以系统故障为顶事件, 逐层去查找引起系统故障的直接原因或间接原因, 并建立逻辑关系较为清楚的故障树模型, 通过对故障树进行故障诊断, 并提供一种科学的诊断手段和方法来完成维修工作的开展。

2.1.3 数据驱动决策理论

数据驱动决策是以数据为依据开展决策工作的方法, 利用获取的系统运行数据, 从中获取背后蕴含的规律性信息和趋势信息, 用于指导决策。故障排除过程中, 采集航空器机械系统运行时数据来构建故障预测模型, 能够

使故障的排除从被动维修变成主动预防, 提升故障排除流程的效率^[4]。

2.2 流程优化的技术支撑

2.2.1 物联网与状态监测技术

通过物联网技术, 在航空器的机械部件上安装传感器采集其运行过程中温度压力、振动、转速等参数, 再利用状态监测技术对所采集的数据进行实时分析, 一旦发现采集数据的某些参数数值超过阈值, 则立刻发出警告信息, 帮助维修人员及时发现故障隐患, 实现预防性诊断。

2.2.2 大数据与人工智能诊断技术

大数据技术能将航空器全生命过程的运行数据、维修数据、故障数据收集汇总到故障数据库中; 人工智能技术中的机器学习、深度学习等技术能够通过学习故障数据形成“故障现象-故障原因”之间的关联性, 并以此为基础形成故障诊断模型, “故障现象-故障原因”快速匹配, 使诊断准确性得到提高。例如, 基于深度学习的发动机故障诊断模型通过对发动机振动数据的学习能够发现发动机叶片的早期磨损故障。

2.2.3 数字化维修手册与协同平台

数字化维修手册将传统的纸质手册转化为可检索的电子文档, 维修人员可通过关键词快速查询故障处置方案; 协同平台则能实现维修、航材、调度等部门的信息共享, 实时更新故障处置进度、航材库存状态, 实现资源的最优配置。

3 航空器机械类故障排除流程的优化设计

3.1 流程优化的目标与原则

3.1.1 优化目标

本次流程优化的核心目标包括三个方面: 一是缩减故障处理时间, 将故障平均排除时间压缩至目前平均值的 70% 以下; 二是提高诊断准确性, 使故障误判率低于 5%; 三是降低维修成本, 减少额外不必要的拆装, 降低航材损耗率。

3.1.2 优化原则

流程优化需遵循四项原则: 第一是科学性原则, 通过运用故障树分析法和大数据等相关理论作为指导思想来制定此流程; 第二是实用性原则, 从维修现场出发, 简化流程, 方便一线维修人员使用; 第三是协同性原则, 破除内部工作界限, 建立不同部分间的信息互通和协同配合机制; 第四是前瞻性原则, 在方案设计中, 提供今后对接修车智能装备的端口, 以便以后应用及扩展。

3.2 优化后的故障排除流程设计

基于上述理论与技术支撑, 本文构建了“监测预警-智能诊断-协同处置-验证复盘-知识沉淀”的五阶段故障排除流程。

3.2.1 监测预警阶段

通过物联网传感器获取航空器机械系统的运行参数,

在地面监控平台上实现实时数据采集和数据分析，在数据出现异常情况之后发出预警信息，并且通过地面监控平台将预警信息发布给维修人员终端。同时将历史故障数据与当前采集到的数据一同输入到故障预测模块中，根据故障发展的轨迹判断故障的发展趋势并将其作为维修决策依据之一，将传统“故障后处置”模式改为“故障前预警的模式，以此来降低故障的发生率。

3.2.2 智能诊断阶段

当故障发生时，维修人员记录故障情况至数字协同平台后，借助人工智能诊断模型搜索故障数据库，生成基础的故障原因分析报告。而后根据故障树分析模型逐步分解故障诱因，准确定位故障部件。比起单凭经验和感觉找出问题根源，这里经过“数据+模型”和“数据+模型”两个环节的判断，把结果告诉维修工和调度员，可以大大提高判定准确率。

3.2.3 协同处置阶段

协同平台根据故障诊断结果自动生成维修方案，提出所需航材、设备及人员需求信息，并能随时调阅查询航材库存状态，如航材库存充足，则平台自动下发领料指令。如航材库存不足，则启动航材紧急调配流程。调度部门根据故障处置时间及时调配航班计划，减少因航线计划不合理而导致的航班延误损失，通过各相关部室之间的协同配合，确保故障处置的资源最优配比，保证第一时间开展故障处置工作，尽可能压缩故障处置时间。

3.2.4 验证复盘阶段

故障部件更换完后系统试车验证故障是否消，试车数据实时上传到协同平台如果故障没消，则启动故障诊断二次流程，如故障消除了则由维修人员记录好此次故障的处置全过程，包括故障的原因、处置步骤及消耗资源等，在通过闭环验证达到消除故障的目的，以免下次运行时出现同样的故障现象。

3.2.5 知识沉淀阶段

将本次故障处置的全部数据录入故障数据库，由专业人员对数据进行分类、整理与分析，提炼出可复用的故障诊断与处置经验，更新数字化维修手册。同时，将典型故障案例纳入维修人员培训体系，实现知识的有效传承。此阶段将单次故障处置经验转化为团队共享知识，持续提升维修团队的整体技术水平。

4 航空器机械故障排除效率提升的保障措施

4.1 技术工具升级

一是构建智能化监测与诊断平台，整合物联网、大数据、人工智能等技术，实现故障数据的采集、分析、诊断与协同处置一体化；二是推广便携式检测设备，如手持振动分析仪、超声波探伤仪等，提升维修人员现场检测能力；三是引入数字孪生技术，构建航空器机械系统的数字

孪生模型，通过模拟故障场景，优化故障处置方案^[5]。

4.2 人员培训体系完善

一是搭建分层次的培训模式，对于初级维修员，重点是开展标准化操作流程以及基本诊断技术的培训；对于高级维修员来说，侧重于其人工智能模型使用复杂故障的分析方面的培训。另外一方面，要加强对维修员案例教学和模拟演练把一些典型的故障案例放到培训课当中来，让维修员能够操作出现的故障进行演练，提高应对突发情况的能力。此外还要建立一套技能考核认证制度，不定期地对维修人员进行技能考核，考核合格才能上岗。

4.3 管理机制优化

一是建立流程绩效考核体系，将故障处置时长、诊断精准度、航材消耗率等指标纳入绩效考核，激励维修人员提升工作效率；二是完善跨部门协同机制，成立故障处置专项小组，明确各部门职责，定期召开协同会议，解决流程运行中的问题；三是制定预防性维修计划，基于故障数据库的分析结果，对易损部件制定定期维护计划，降低故障发生率。

5 结语

本文从航空器机械类故障排除流程优化着手，提出了“监测预警-智能诊断协同处置-验证复盘-知识沉淀”的五阶段闭环运行过程，结合流程优化、故障树分析理论和物联网、人工智能等方法，针对原流程过于依赖经验和缺乏信息协同及处置流程低效等问题，进行了相关改进，对于提高目前运行流程的技术、人员和制度措施做出了探索，能够为后续更进一步完善提出的流程提供一定的参考和借鉴。展望未来，随着人工智能和数字孪生等新技术的发展进步，航空器故障排除流程势必往“全生命周期智能化管理”方向发展。因此，可凭借今后一系列的技术创新以及对故障排除流程的不断完善，使得整个维修保障体系向着更高效、更优质的方向发展。

参考文献：

- [1] 吴斌. 浅谈航空器故障排除的方法及技巧[J]. 军民两用技术与产品, 2016,0(22):1.
- [2] 张维嘉. 机场机械风传感器工作原理与故障分析[J]. 中国航班, 2020(5):38-38.
- [3] 张立涛, 吕纪平. 谈电喷机械故障的检查[J]. 汽车与配件, 2000(42):42-42.
- [4] 汪永琴. 浅谈航空装备机械故障主要特点及预防措施[J]. 中国设备工程, 2024(3):156-158.
- [5] 吕果, 高智勇, 孙艳波. 某型襟翼空气舵机械舵角指示器零位故障分析及修复[J]. 广东造船, 2025,44(2):109-112+101.

作者简介：黄凯（1998.06-），男，汉族，广东河源人，本科，航线维修工程师，研究方向：从事飞机维修研究。