

航线维修故障管控系统的建立研究

拜向洲, 王超辉

深圳航空有限责任公司, 广东 深圳 518128

DOI:10.61369/ERA.2026030013

摘要 : 航空运输业迅猛发展, 机队规模持续扩展, 航班密度不断增加, 飞机系统集成度以及智能化水平明显增强, 以往依赖人工经验以及分散式管理的航线维修故障管控模式无法满足高运行密度、严适航要求与海量数据环境下故障的快速反应、精准处理及前瞻性防控的需求。基于此, 本文首先阐释航线维修故障管控系统在保障飞行安全、提升运营效率方面的重要意义, 其次分析它的重难点, 并给出相应的航线维修故障管控系统构建办法, 实现了故障信息的实时汇集与分享、排故流程的规范与高效、人为差错的系统防控以及故障风险的提前预判, 提升了航线维修故障管控的及时程度和可靠程度。

关键词 : 航线维修; 故障管控系统; 信息整合; 故障排除; 人为

Research on the Establishment of an Airline Maintenance Fault Control System

Bai Xiangzhou, Wang Chaohui

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

Abstract : The aviation transportation industry is experiencing rapid development, with continuously expanding fleet sizes and increasing flight density. The integration level and intelligence of aircraft systems have significantly improved. The traditional fault management model for line maintenance, which relied on manual experience and decentralized management, can no longer meet the demands of high operational density, stringent airworthiness requirements, and the need for rapid response, precise handling, and proactive prevention in a data-intensive environment. Based on this, the paper first explains the significance of the line maintenance fault management system in ensuring flight safety and enhancing operational efficiency. It then analyzes its key challenges and proposes corresponding methods for constructing such a system. The system achieves real-time aggregation and sharing of fault information, standardization and efficiency in troubleshooting processes, systematic prevention of human errors, and early prediction of fault risks, thereby improving the timeliness and reliability of line maintenance fault management.

Keywords : airline maintenance; fault management system; information integration; troubleshooting; artificial

前言

尝试搭建科学高效的航线维修故障管理系统, 实现对故障从头到尾的系统化、智能化管理, 是增强维修效能的必然举措, 也是保障民航高质量发展的内在要求, 具备关键的理论价值以及实践意义。

一、航线维修故障管控系统的重要性

民航运输体系中, 飞行安全是绝对不能跨越的界限, 同时航空公司的持续发展, 关键靠运营效率; 二者一同构成了航线维修工作的核心。因目前航空运输量持续上涨, 机队规模随之扩大, 航线维修需在有限的过站时间中将故障找出并处理, 其管控的质量对

飞机适航性与航班运行秩序有直接的影响。传统分散形式的维修管理模式, 难以招架高频率、快节奏的运行需求, 所以需靠系统化手段来整合资源、规范流程, 提高管控的精准度与有效性^[1]。

保障飞行安全方面, 航线维修故障管控系统可对机载监测系统数据、机组报告信息及地面检测结果进行全范围汇集, 利用统一平台开展实时分析与异常辨认工作, 防止因信息不连贯造成故

作者简介:

拜向洲 (1986.02-), 男, 甘肃庆阳人, 汉族, 本科, 航线维修资深工程师, 从事飞机飞控系统和动力装置维修研究;

王超辉 (1993.05-), 男, 浙江金华人, 汉族, 本科, 航线维修工程师, 从事飞机飞控系统和动力装置维修研究。

障漏判或错判，让飞机在满足适航标准的情况下投入运营。

从提高运营工作效率方面分析，航线维修故障管控系统可优化故障信息传送途径与排故逻辑，削减因信息延迟或流程多余造成的停场时长损耗，提高飞机中途停靠维修的效率，进而提升航班准点程度和机队利用效率；二者的协作功效，可使航线维修满足安全合规方面的要求，并推动运营效益增长。

二、航线维修故障管控的重难点

当航线面临运行环境动态多变、参与主体多元多样以及技术系统复杂难测的问题，其重难点点体现为信息传递过程、流程执行环节、人因管控以及风险预判这四个维度的系统性约束中。

（一）故障信息分散难整合

航线维修的故障相关信息来自机组报告、机载传感器、地面检测设备以及维修记录等多个方面，这些数据在格式、传输协议以及存储方式方面存在明显差别，仍未形成标准化的集成接口及实时交互机制；鉴于航班过站的时间限制，信息需通过多个环节予以传递及转换，易于引发时序错误或内容遗漏，造成维修决策不能凭借完整的故障状态描述产出，使得故障识别在及时性与准确性方面变差，增加了后续管控的不稳定性^[2]。

（二）故障排除流程不规范

航线维修做排故作业要依据机型维护手册与故障代码逻辑推演，但目前部分航司的航线故障维修中缺乏针对不同故障状况的规范化操作步骤，实际执行过程中易受维修人员个体经验的干扰，有步骤取舍不同、关键检查项遗漏或验证标准模糊这类问题，因执行不规范，排故耗时波动十分显著，而且可能因为处理不全面让故障隐患遗留，使管控过程的稳定性及结果的一致性受到影响。

（三）人为差错防控难

维修作业的质量取决于人员的技能高低和注意力是否集中，作业疲劳、环境干扰以及对工卡信息认知偏差等情况，均会引发漏检、错装或是接线错误等的操作性差错，目前的管控方式主要是在出现差错后进行纠正并追溯责任，没有作业过程的实时防错设计以及风险预警机制，让差错于操作环节没法及时被识别和阻挡，差错成因的记录与分析欠缺系统性，类似问题易重复出现，增添了故障管控里的不稳定状况。

（四）故障趋势难预测

以往的故障数据大多以非结构化或孤立的样式存于维修记录、部件台账以及运行日志中，未依据部件类型、服役周期、航线环境以及季节特征这些维度来构建关联分析模型。数据的离散情况导致故障发生的统计规律以及共性致难以提取，无法预先识别高失效风险部件或典型运行场景，导致维修计划只能按照已发生的故障被动去调整，无法顺利实现从事后维修到事先防控的转变，限制了管控的前瞻性与主动性。

三、航线维修故障管控系统的建立策略

（一）集成多源数据，实时汇总信息

为使航线维修故障管控系统实现数据跨系统的同步与一致，

技术人员需先创立统一的数据接入及治理架构，清除信息孤岛，为航司管理人员的快速决策提供支撑。

技术人员首先需界定清楚飞行运行、机载健康、维修执行、航材保障、人员资质、质量适航六大块内容，明确各领域的核心实体以及关键属性，做出能进行计算的最小数据项清单，使得不同来源的数据都能映射进同一语义框架。同时技术人员应制定企业级的数据字典与主数据，针对这些对象实行统一编码与版本把控，让同一实体在不同业务系统中的标识与含义始终相同，为后续关联分析建立可靠根基^[3]。

技术人员可建立消息总线与事件驱动架构，以航班相关事件、故障发出的告警、工卡状态的变更、资源状态的变化作为关键事件，明确标准化事件结构及主题分区办法，并应用至少一次语义的可靠投递和幂等消费机制，保证从头到尾的时间顺序与一致性。技术人员需连接多种来源不同的接口，涉及航班计划和动态变化，统一运用RESTful API与WebService皆有的接入方式，清晰界定鉴权、限流、重试与熔断的规则，并输出统一的JSON数据协议。

（二）制定标准流程，规范故障排除步骤

为确保不同人员于各种情形下开展排故作业，结果一致且可回溯，技术人员应以工程手册及适航规章为准绳，建立能实施的流程模式与操作规范。对此，技术人员需开展任务拆分以及流程构建，以故障的现象作为起始；以故障隔离、临时措施、根因确认、永久性修复、功能测试、放行条件复核为基础构建端到端流程图，借助BPMN对任务节点、网关、事件与泳道予以定义，厘清输入、输出和异常处理的途径，同时技术人员需编写出情景化标准作业规程，将飞机维护手册、故障隔离手册、结构修理手册、最低设备清单同构型偏离清单分解成可操作步骤卡片，并建立覆盖不同机型及系统的SOP库。

同时进行流程规划与部署，在流程引擎中设置任务的先后顺序、并行程度、时间限制、回退及升级办法，作为流程门禁，若未达成前置条件，自动阻断并给出解决途径，而且技术人员应将任务包与电子工卡关联起来，使流程节点与电子工卡、签署项、质检点一一相匹配，支持线上或线下双模式签署及自动归档，保证人员、事件、证据相符。技术人员要明确时限管理及升级办法，给接报、到场、隔离、修复、验证、放行设定时限门槛和升级路线，到时间未处理完成便自动通知维修控制中心和技术支援，且记录处置流程；技术人员还要纳入质量节点及见证点，在关键环节设立自检、互检、专人检验这三级把控点，此过程必须拍照或录像或记录读数予以留存，形成证据关联。

为实现协同运转，需在流程里预先设置机组沟通、签派协调、航材保障、外站支援这些协同任务，明确联系人及沟通样式，从而减少信息传递的偏差。技术人员应实施版本区分管理，对SOP及流程配置的版本号、变更单、生效范围予以管理，保存历史版本与差异对照，可依据机型、站点、季节迅速切换。航司管理人员应进行培训与考核的闭环操作，以流程和SOP为基础制作课件、仿真脚本与实操考核，依据通过率、返工率、超时率评估掌握程度，未达标准的限制授权。同时，技术人员应搭建持

续改进体制，手机返工原因、流程偏差、质量事件，列成问题清单，按 PDCA 循环完善 SOP 与流程参数，使排故过程实现标准化、结构化以及可量化，保证不同人员执行结果一致与合规。

（三）嵌入防错机制，降低人为操作风险

为防范漏检、错装、误签等操作风险，技术人员应在流程、界面、设备以及监督方面系统设置防错设计，让错误在出现前就被察觉或拦截；任务启动时，技术人员应做前置条件的校验工作，例如下达排故任务时，对人员资质有效性、所需工具及航材可用情况、相关设备运行正常状况、适用适航指令和服务通告符合性进行批量审核，只要有一个条件不满足，则不允许开工，并说明具体原因和可行的替代办法。同时技术人员应于电子工卡内构建步骤级的强制排序，按照看一项、做一项、查一项、签一项的规范组织作业环节，系统的前序步骤未完成或未通过验证时，确定后续步骤与签署按键，避免步骤跳跃或内容遗漏。

技术人员应运用唯一性约束与装配防错规则，要对部件件号、序列号、批次号、安装站位、安装方向、保险方式等关键属性，进行唯一性校验与装配逻辑校验，并利用条码或射频识别的读取结果，与防错工装治具协同工作，杜绝错件、漏件的安装和部件的反向安装。技术人员可以部署传感器和计量闭环控制，对扭矩扳手、张力计、压力传感器这些量具的输出实时采集，然后与目标值比对，超差情况出现时即刻报警且禁止进入下一步，让关键紧固与连接参数契合工程要求。数据校验方面则实行双人交叉核验，当进行安全关键部件的装卸、系统的通电检测以及飞行操纵面的调校时，设定必须由另一名具备相应资质的人员现场核实并电子签署。

（四）构建预测模型，预判故障趋势

为将航线故障维修从被动应对转为主动预防，技术人员要凭借历史数据建立可量化、可优化的预测模型，发现故障频发部件与运行情形

技术人员首先需进行数据准备与特征工程，集合历史维修记录、部件更换台账、运行日志、环境因素、航班剖面与载荷谱，按照部件类型、服役时间长短、运行循环数目的多少、运行环境的温湿度与气压状况、航线的特征实施标签化处理，使用时长、

故障间隔时间、维修频次、工况强度等特征变量，清理并平滑缺失值以及异常值。技术人员要划分数据集并选取建模方法，按照时间次序划分成训练集、验证集与测试集，针对故障发生与否、剩余使用时间、故障类别等不同的预测目标，选取生存分析、时间序列预测、分类算法同回归算法等适宜模型，凭借领域知识构造工况与维护行为的因果特点。

同时，技术人员应当开展模型训练与参数调优事宜，训练期间引入交叉验证及网格搜索以优化超参数，按照任务选取准确率、召回率、均方误差、C 指数等当作评估指标，保证模型在未知数据里具有稳定的泛化性能；并落实模型部署与在线推理，将训练后模型转变为微服务，实现实时数据流和工单系统的接通，实时给新出现的部件状态、运行参数进行评分，划分风险等级，以便于航司管理人员按照预先设定的阈值，启动高、中、低三个等级的预警。为保证故障预警的持续准确性，技术人员可以搭建模型监控及迭代的机制，持续跟踪预测结果的命中比例与误报比例，留意输入特征分布的变动态势，性能一旦降至设定界限，便自动启动再训练流程，并且更新模型版本以保障预测有效，为维修资源配置与风险防控提供定量依据，从而实现前瞻性管控。

四、结束语

当下航空运输的高频率运行和苛刻适航要求，让航线维修故障的快速响应、精准处置与前瞻防控成为关键需求，航司需用系统化手段重新构建管控能力。本文针对性地提出四项策略，即集成多源数据以实现信息实时汇聚、制定标准流程来规范排故操作步骤、嵌入防错机制来降低人为操作风险、构建设模分析以达成故障趋势预判，可从整体上提升航线维修故障管控的时效与可靠程度。相关人员未来应持续推进系统智能化演进与跨主体数据共用，促进人因工程跟大数据技术的融合运用，完善法规适配以及人员培训的体系，让航线维修故障管控朝着更智能、高效、可靠的方向发展，为保障民航安全运行和实现高质量发展提供坚实后盾。

参考文献

- [1] 张兆民, 潘张磊, 付维方. 基于 BiLSTM-Attention 改进的航线维修知识图谱构建研究 [J]. 航空维修与工程, 2025, (07): 71-74.
- [2] 胡怡春, 裴琼阁. 国际航线维修标准协议实用技巧 [J]. 航空维修与工程, 2025, (07): 119-120.
- [3] 张蓉, 朱赟, 王甦. 航线维修故障管控系统的建立 [J]. 航空维修与工程, 2020, (09): 55-57.