 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i9.11796

The Digital Maintenance Process Shortens the Fault Resolution Cycle for Airborne Equipment

Yong Li

Beijing Aircraft Maintenance Co., Ltd. Wuhan Branch, Wuhan, Hubei, 430048, China

Abstract

As the scale of civil aviation transportation has grown continuously, so too have the integration level and complexity of airborne equipment; therefore, the old way of dealing with faults is no longer suitable for high-efficiency operation and maintenance. Digital Maintenance Workflows are taken as the research object in this paper; existing problems in airborne equipment fault handling are identified, a full-process digital maintenance system is proposed, and based on real-world cases from the front line of maintenance, the implementation path and application results of key technologies are demonstrated to offer practical implementation strategies for reducing fault resolution time and optimising maintenance support efficiency.

Keywords

onboard equipment; digital maintenance; fault handling; process optimization; maintenance support

数字化检修流程缩短机载设备故障处置周期

李勇

北京飞机维修有限公司武汉分公司，中国 · 湖北 武汉 430048

摘　要

民航运输规模持续扩张，机载设备集成度与复杂程度不断攀升，传统故障处置方式无法满足高效运维的实际需要。本文以数字化检修流程为研究方向，梳理机载设备故障处置现存问题，搭建覆盖全流程的数字化检修框架，结合维修一线实际场景说明关键技术的实施方式与应用效果，为压缩故障处理时长、优化维修保障效能提供可落地的实施思路。

关键词

机载设备；数字化检修；故障处置；流程优化；维修保障

1 引言

机载设备作为航空器安全运行的核心支撑，运行状态直接关联航班运行秩序与飞行安全。机载系统精密化、集成化程度持续攀升，故障诱因呈现多元、隐蔽且跨系统耦合的特点，依赖人工经验、纸质工单与串行审批的传统检修模式，在故障定位、资源调度与流程协同层面的不足愈发突出。数字化技术的深度应用为检修流程重构带来技术支撑，信息流转线上化、故障分析智能化与资源配置动态化，可压缩故障排查与处置的时间成本。本文从维修实操视角梳理数字化检修的落地路径与应用价值，为机载设备维修体系升级提供参考。

2 机载设备数字化检修的核心内涵与理论基础

2.1 数字化检修的内涵与核心特征

数字化检修依托维修业务全流程线上化运作，整合设备状态数据、维修工艺标准、备件资源以及人员能力等各类要素，搭建一体化信息平台，实现故障处置全环节的数字化管控与可视化追踪。流程可追溯、信息可实时共享、决策可依托数据支撑，是数字化检修的核心特质。传统检修模式存在明显的岗位信息壁垒，数字化检修能够打通各环节数据通道，让故障响应、排查、修复、验证等工作紧密衔接形成完整闭环，规避信息传递滞后引发的时间浪费，沉淀各类故障处置的有效经验与数据资源，形成可复用的维修知识体系，助力维修工作水平持续优化升级。

2.2 故障处置周期的构成与影响逻辑

故障处置整体流程包含故障上报、原因定位、方案制定、物料调配、现场实施及验证放行等核心环节，各环节交织存在串行依存与并行协作的运行特点，单个环节出现延误都会拖累整体处置进度。维修过程中由于产品故障发生的不确定性带来整个维修过程的高不确定性，使得维修严重依赖个人经验和知识。以某型任务系统为例，存在系统多且系统间耦合度高、涉及专业广的问题，只有实现跨学科知识的融会贯通，才能真正做好复杂装备的维修工作。维修级别越深，维

【作者简介】李勇（1986–），男，中国四川宜宾人，本科，工程师，从事飞机维修与数字化检修流程综合论证研究。

修成本越低，但对知识的要求越高 [1]。

2.3 流程优化的底层支撑逻辑

对原有串行化、层级化作业模式开展扁平化改造，维修手册、故障树逻辑、历史处置案例等知识内容嵌入数字化系统后，一线维修人员可直接获取标准化处置方案，降低对专家经验的依赖与逐级请示产生的时间消耗，流程优化以价值流为导向，剔除冗余审批与重复记录环节，维修资源向核心故障处置动作集中，从流程设计层面减少无效耗时，实现维修效率的本质提升。

3 当前机载设备故障处置流程的现存痛点

3.1 故障信息传递损耗大、效率低

故障上报多依靠机组人工记录与电话汇报，信息从一线传递至维修决策端存在明显时间差与信息损耗，故障现象描述受人员经验与表述习惯影响，易出现关键特征遗漏或表述模糊。后端诊断人员无法快速建立准确故障画像，跨部门、跨场地信息沟通多借助即时通讯或电话开展，缺少结构化信息留存与同步机制，同一故障信息需在调度、维修、备件等岗位间重复转述，提升沟通成本并易产生理解偏差，拉长故障初步研判的时间。

3.2 故障诊断依赖经验、排查效率不稳

机载设备覆盖电子、机械、液压等多个专业领域，各类故障诱因繁杂且存在相互耦合的特点，整体诊断难度偏大。现阶段多数故障排查工作仍旧依托维修人员个人经验开展逐项试错作业，配套的系统化智能辅助工具较为匮乏，罕见故障与跨系统关联故障出现时，往往需要逐级报备并联合多专业人员协同会诊，诊断时长难以把控。行业内资深维修专家资源相对稀缺，难以全面覆盖各类故障处置场景，多架航空器同步出现故障问题时，专家资源调度会出现供需矛盾，进一步拉长整体处置时长，让故障排查工作的效率处于不稳定状态。

3.3 维修资源协同滞后、无效等待多

故障处置过程中备件、工具、人员与场地的匹配状况直接作用于作业效率，传统模式下备件库存信息更新滞后，维修人员提交领用申请后方可核实库存情况，缺件时需临时协调调拨易造成作业中断 [2]。维修任务分配多依赖人工排班，难以结合故障等级、人员技能及场地使用状况完成动态优化，人员闲置与任务堆积情况时常并存，资源调度滞后使得有效作业时长占比较低，大量时间耗费在物料等候、人员协调与工位衔接过程中。

4 机载设备数字化检修的体系架构与落地技术

4.1 全链路数字化管控平台的场景化搭建

集成并采集维修业务的全要素数据，实现技术体系、支撑体系和执行环节的贯通。完成 AI 基础数据体系建设，部署知识管理系统（基于知识图谱的维修工艺管理系统）和维修专用智能体，实现维修方案的智能化辅助生成 [3]。机组可在故障发生后借助移动终端录入故障代码、现象特征与关联系统信息，上传部件状态影像及故障界面截图，平台依托机型数据自动匹配对应维修规范与同类故障历史记录，生成标准化维修工单。调度端结合故障等级、人员技能标签、机位分布与工位使用状态智能筛选最优维修人员，工单同步推送至作业人员终端与备件仓库，仓库可提前筹备航线可更换部件与专用维修工具，维修人员抵达作业现场后扫码核验设备信息，调取标准化作业指导内容开展维修工作，作业完成后上传测试数据与完工资料，质控人员依托线上流程完成审核放行，全流程节点状态可实时溯源，消除各流程信息偏差与作业等待空档。平台可实现故障处置进度的全局可视化展示，管理人员能够实时掌握各类在修故障的推进阶段、耗时进度及待办事项，及时介入处置流程卡顿问题，规避单点进度滞后拖累整体维修工作的情况。

4.2 智能故障诊断与前置预判的实操应用

结合机载设备系统类别搭建结构化故障案例库，囊括通信导航、大气数据、惯性导航、客舱电子、液压控制等主流故障场景，整合历年排故工作中的排查思路、验证手段、换件台账，完成与各类故障代码、故障表征的精准对应。设备出现故障后，系统可依托录入的现场故障信息，智能匹配相似度最高的历史处置案例，结合现场实操逻辑输出分级验证方案，指导维修人员优先完成外部连接件、天线馈线、插头插座等简易部位的核查工作，再逐步开展核心部件的深度检测，规避盲目试错带来的无效作业。后台数据云平台采用大数据技术和机器学习算法，对 RFID 数据和传感器数据进行融合和分析。通过数据挖掘和模式识别，发现设备运行的潜在问题和趋势。系统同步对接机载设备下行运行数据，持续监测关键部件的性能变化规律，关键运行参数偏离标准区间时，可提前生成预警工单，依托航后检修、航班过站等空余作业窗口开展预防性排查与部件更换，转变传统被动抢修的作业模式，通过前置干预手段缩减突发故障造成的航空器停场时长。维修数据的智能分析能够帮助我们发现并解决问题，优化设计流程。以飞机制造为例，其生产过程漫长且迭代设计持续 [4]。

4.3 远程协同与增强现实辅助的现场支撑

一线运维人员能够借助智能眼镜、防爆移动终端等设备，将现场作业第一视角画面实时同步至后端技术专家端口，现场处置遭遇跨系统疑难故障时，专家端可直接在实时画面中标注测试点位、线路排布规律与部件安装位置，同步推送标准化操作规范与安全注意事项，替代传统电话口述、静态图文传输的沟通形式，减少信息不对称引发的操作返工问题。机载计算机、精密传感器等结构繁复的机载设备拆装作业，可依托增强现实技术将拆解流程顺序、紧固件标准扭矩参数、静电防护规范等关键信息叠加至实物设备视野中，维修人员对照可视化立体指引分步完成作业，无需反复查阅纸质作业手册。多专业交叉的复杂故障处置场景，可接入多

名不同领域专家同步开展远程协同会诊，结合现场工况研判故障诱因、敲定针对性处置方案，改变传统线下集中会诊的作业模式，大幅压缩方案研讨与落地筹备时长，这套作业体系打破技术专家资源的地域局限，异地技术指导无需人员跨区域出差，有效缩短复杂故障的技术等待时长，也能降低基层运维人员实操过程中的失误概率。

5 数字化检修的应用成效与落地优化路径

5.1 故障处置全周期的多点位时效压缩

数字化检修流程落地后，故障处置各核心环节耗时均实现精准压缩，故障上报与研判环节依托结构化信息录入与自动初诊模式替代人工转述与经验判断，故障信息从机组传递至维修执行端的时长有效缩短，故障初步排查方向的准确度得到提升，减少信息模糊带来的多次确认环节。资源调度环节实现工单与备件、工具、工位的自动匹配，省去人工查询库存、协调排班的中间流程，维修人员抵达现场即可领取物料开展作业，规避作业中途缺件造成的停工等待。工序衔接环节可将前序作业完成状态实时同步至后续节点，质量复核与放行工作可提前筹备，作业结束后迅速完成验证放行流程，消除传统模式下各环节串行等待的空档，整体故障处置节奏更为紧凑。多班组配合的故障处置工作中，平台可将任务同步推送至各专业班组，明确作业时序与衔接要点，保障并行作业有序开展，减少交叉作业产生的等待与冲突，进一步提升整体处置效率。

5.2 维修作业规范性与知识复用效率提升

数字化流程能够对维修作业标准化形成刚性约束，各项操作严格对应系统内置的工艺规范，关键作业节点必须上传验证数据或现场影像资料，流程方可向下推进，有效规范人员操作行为，杜绝工序遗漏等常见问题，稳定维持维修工作的一次合格水平。各类故障处置的全过程数据均可自动归档，关联设备件号、装机位置与对应机型信息，构建可随时调取查阅的维修知识资源库。同类故障再次出现时，工作人员能够直接参照历史排查路径与处置方案开展工作，不用重复梳理排查逻辑 [5]。不断积累的维修数据与案例，也能为一线人员技能培训提供真实场景素材，新入职人员依托典型故障案例快速熟悉排故思路与作业标准，缩短技能成长周期，助力维修团队整体处置能力稳步提升，完整的数字化留存数据可为故障复盘提供全面依据，通过拆解分析典型故障处置过程，梳理作业流程中的冗余步骤与优化空间，持续完善现有维修作业体系，搭建可自我优化、持续增效的运维闭环机制。

5.3 落地推进的实操要点与持续优化方向

数字化检修体系的落地推行需要贴合维修现场实际作业特点稳步推进，优先选取故障高发、处置流程相对成熟的航线可更换件故障场景开展试点应用，在完整打通工单流转、备件协同、完工放行等整套作业链路后，再逐步覆盖复杂系统故障以及各类深度维修场景。体系建设过程中持续吸纳一线维修人员的实操反馈，针对系统界面、操作链路进行精简优化，防止繁琐操作增加现场作业压力。原有各类独立业务系统的数据壁垒逐步打通，让维修管理、备件库存、设备状态等各类数据实现互通共享，杜绝新型信息孤岛的产生。作业现场网络条件与终端防护配置同步完善，适配机库、远机位、外站等差异化作业环境，保障数字化作业模式在各类场景中稳定运行，配套的数字化作业标准与考核制度同步搭建，帮助维修人员适应全新作业模式，统一流程执行标准，弱化人员操作习惯带来的执行偏差，让数字化检修的实际应用价值得到充分发挥。

6 结语

数字化检修为机载设备故障处置效率提升提供切实可行的落地路径，通过流程重构、技术赋能与资源协同，压缩故障定位、资源调度与现场作业的时间成本，实现处置周期的系统性缩短。相关技术持续成熟与应用场景不断拓展，数字化检修将逐步向更智能、更精准的方向演进，成为航空维修保障体系升级的重要支撑。后续需进一步深化技术融合与流程打磨，完善数字化检修的应用生态，为航空器安全高效运行提供坚实的维修保障。

参考文献

[1] 郝建锋.航空电子设备故障全生命周期运维技术研究[J].航空维修与工程,2025(7):58-61.

[2] 马超,邹子炀,顾正柏,等.融合多源异构数据的飞机故障诊断方法研究进展[J].航空工程进展,2025,16(1):139-150.

[3] 袁湘萍.装备维修业务智能化转型研究及实践[J].航空维修与工程,2026(3):71-74.

[4] 杜辙,赵健,冯俊.机载计算机间断性故障排查决策树的设计与应用[J].信息记录材料,2026,27(5):99-102.

[5] 阎国军,刘伟,张飚,等.航空维修保障数智化转型策略浅析[J].长沙航空职业技术学院学报,2026,26(2):12-16.