 DOI: https://doi.org/10.12345/gcjsygl.v9i20.33377

Aircraft mechanical maintenance errors and preventive measures

Bingshuai Yang

Henan Aircraft Maintenance Engineering Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000. China

Abstract

Aviation mechanical maintenance serves as the cornerstone of flight safety assurance, with its quality directly impacting operational stability and safety. This study explores error manifestations in aviation maintenance, including latent human errors, system interaction failures, and repetitive disassembly-induced damage. Through analysis of four dimensions—cognitive load, technical documentation, team communication, and defense mechanisms—we examine root causes of errors. By integrating modern technological applications and management innovations, the paper proposes preventive measures such as implementing cognitive aids, establishing dynamic knowledge databases, adopting structured communication protocols, and building resilient safety networks. These practical recommendations aim to enhance maintenance quality, reduce error rates, and strengthen flight safety defenses.

Keywords

aviation mechanical maintenance; maintenance errors; preventive measures; safety protection; cognitive assistance

航空机械维修差错及预防措施

杨兵帅

河南飞机维修工程技术有限公司，中国 · 河南 郑州市 450000

摘　要

航空机械维修是保障飞行安全的核心环节，其质量直接关系到航空运营的稳定性与安全性。本文深入航空机械维修领域，分析隐性人为失误、复合系统交互失效、重复性拆装损伤等差错表现，从认知负荷、技术资料、团队沟通、防御体系四个维度剖析差错成因。结合现代技术应用与管理创新，提出引入认知辅助工具、构建动态知识数据库、推行结构化沟通机制、打造韧性安全防护网络等预防措施，为提升航空机械维修质量、降低差错发生率、筑牢飞行安全防线提供实践参考。

关键词

航空机械维修；维修差错；预防措施；安全防护；认知辅助

1 引言

航空运输业的持续增长与机型技术的不断升级，对航空机械维修的精准性、可靠性提出更高要求。维修工作作为航空安全链的关键一环，随着自动化检测技术的广泛应用，传统显性技术故障逐渐减少，但新的维修场景催生出更为隐蔽的差错类型，给飞行安全带来潜在威胁。发生维修差错不仅可能导致航班延误、维修成本增加，更可能引发严重的飞行安全事故，造成人员伤亡与财产损失。当前航空机械维修领域面临人员认知负荷加重、系统交互复杂度提升、信息传递效率不足等多重挑战，如何精准识别新型维修差错特征、深挖成因并制定针对性预防策略，成为航空业亟待解决的重要问题。基于此，本文围绕航空机械维修差错的具体表现、核心成因及有效预防措施展开深入分析，为推动航空维修行业高质量发展提供支撑。

2 航空机械维修差错情况

2.1 隐性人为失误增多

自动化检测设备在航空机械维修中的普及，显著降低了纯技术性操作错误的发生概率。这类设备能够精准定位多数显性故障，减少人工检测的偏差与疏漏。但与此同时，维修人员的工作重心逐渐从单纯的技术操作转向程序解读、数据判断与决策执行。部分维修人员对复杂维修程序的理解存在偏差，未能充分结合飞机实际工况与环境因素调整操作思路，导致判断失误。而且长期依赖自动化设备使得部分人员情境意识弱化，对维修过程中出现的异常信号敏感度不足，容易遗漏潜在问题。这类隐性失误往往难以通过常规检测发现，在特定飞行工况下可能引发设备故障，形成安全隐患 [1]。

【作者简介】杨兵帅（1991–），男，中国河南南阳人，助理工程师，本科，从事机械研究。

2.2 复合系统交互失效

现代民航飞机是集成多个子系统的复杂综合体，各子系统之间通过软硬件紧密关联、协同工作。单一零部件的制造与设计工艺不断成熟，使得单一部件独立故障的发生率持续下降。但随着系统集成度的提升，由多个子系统交叉作用、软硬件匹配偏差及人员操作不当共同引发的耦合性差错日益突出。这类差错并非由单一因素导致，而是多环节、多要素相互影响的结果，故障现象具有极强的隐蔽性。例如航电系统与液压系统的信号交互异常，可能导致设备响应延迟或误动作，维修人员在排查时往往难以快速定位问题根源，容易陷入单一系统检测的误区，延误故障排除时机。

2.3 重复性拆装损伤

航线维护与定期检修是航空机械维修的常规工作，在这些工作中，部件的拆装操作频繁发生。卡箍、线缆、连接器等小型零部件在高频次拆装过程中，容易出现磨损、变形、松动等物理损伤。部分维修人员在操作时未严格遵循规范流程，过度依赖经验进行暴力拆装，或未及时更换老化的紧固件，导致损伤累积。这类损伤在短期内可能不会影响设备正常运行，但长期使用后会逐渐降低部件的结构强度与连接可靠性。尤其是在高空、高压、高振动的飞行环境中，受损部件极易发生失效，引发连锁反应，成为威胁飞行安全的重要隐患。通过统计近三年某航空维修基地的统计数据，直观呈现差错类型与故障的关联特征（见表 1）。

表 1 典型维修差错故障情况

维修差错类型	机械故障情况	窄体机发生率（%）	宽体机发生率（%）	平均排查时长（h）
隐性人为失误	航电系统误报警、参数漂移	18.7	23.2	4.2
复合系统交互失效	液压 - 航电协同响应异常	12.3	17.9	7.8
重复性拆装损伤	线缆绝缘破损、连接器松动	21.5	16.4	2.5

3 航空机械维修差错的常见原因

3.1 认知负荷与决策偏差

航空机械维修工作往往面临时间紧迫、任务繁重的压力，维修人员需在有限时间内处理多项工作任务。高压力环境下，人员的信息处理能力下降，容易出现信息过载现象，无法快速筛选关键信息。因多任务并行导致注意力分散，难以集中精力应对复杂维修场景。部分维修人员在长期工作中形成思维定式，过度依赖经验捷径进行决策，忽视飞机型号差异、工况变化等关键因素。这种决策偏差可能导致操作流程简化、关键步骤遗漏，进而引发维修差错。

3.2 技术资料与实况脱节

维修手册、工卡等技术资料是维修人员开展工作的重要依据，其准确性与时效性直接影响维修质量。当前机型更新换代速度加快，飞机改装升级频繁，但部分技术资料的更新未能跟上实际变化。一些维修手册仍沿用旧机型的操作规范，与现有飞机的构型、系统状态不符。再加上部分技术资料的表述过于笼统，缺乏针对特殊工况、复杂故障的详细说明，维修人员在实际操作中难以准确参照。依据滞后或不符的技术资料开展工作，极易导致操作失误，引发维修差错[2]。

3.3 团队协作与沟通壁垒

航空机械维修往往需要跨班组、跨部门的团队协作，信息的有效传递是保障工作衔接顺畅的关键。实际工作中部分团队缺乏规范的沟通机制，工作交接时信息传递不完整、不清晰。例如前序班组未详细说明设备故障排查进展、已采取的维修措施等关键信息，后续班组只能重新开展排查工作，不仅降低工作效率，还可能因信息缺失导致操作冲突。

3.4 系统防御体系薄弱

现有的航空机械维修安全质量管控体系中，虽设置安全质量审核、互检终检等制度，但部分制度未能有效落地执行，流于形式。互检过程中，部分人员责任心不足，仅进行表面检查，未深入核实关键操作步骤的规范性与准确性。安全质量审核缺乏常态化、精细化管理，难以及时发现维修过程中的潜在问题。再加上现有防御体系缺乏针对性，未能根据不同维修场景、不同差错类型制定差异化的防控措施，无法形成层层拦截差错的有效屏障，使得部分潜在差错最终转化为实际故障。

4 航空机械维修差错的预防措施

4.1 引入认知辅助与决策支持

通过引入现代科技手段开发认知辅助工具，能够有效降低维修人员的认知负荷，提升决策准确性。比如 AR 智能眼镜可实现维修程序、标准线束、故障排查指引等关键信息的可视化呈现，将虚拟信息与实物场景精准叠加，维修人员无需频繁查阅手册，即可直观获取操作指导。电子工卡系统可根据飞机型号、故障类型自动生成个性化操作流程，实时提示关键步骤、注意事项，避免操作遗漏。同时构建维修决策支持系统，整合海量故障案例、维修数据，通过算法分析为维修人员提供最优解决方案建议。这样一旦遇到复杂故障时，系统可快速匹配相似案例，展示排查思路与解决方法，辅助人员做出科学决策，减少因经验不足或判断偏差引发的差错。针对不同维修岗位的工作特点，开展专项认知训练，提升人员的情境意识与信息处理能力。通过模拟高压力、多任务的维修场景，训练维修人员在复杂环境下的注意力分配、关键信息筛选能力。

4.2 构建动态知识数据库

依托大数据与云技术，建立与飞机实际状态实时同步的动态维修知识库，实现技术资料的精准管理与高效共享。

数据库应整合飞机设计资料、维修手册、工卡、改装记录、故障案例等多维度信息，根据飞机的构型变化、改装升级情况及时更新内容。通过给每架飞机建立专属数字档案，将技术资料与飞机个体精准绑定，维修人员可通过扫码等便捷方式快速获取对应飞机的详细技术信息。同时，数据库应具备智能检索功能，维修人员可根据故障现象、部件名称等关键词快速定位相关资料，提升信息获取效率。建立技术资料更新的长效机制，明确资料更新的责任主体、更新周期与审核流程。安排专人跟踪机型迭代、改装升级动态，及时收集相关技术信息，对维修手册、工卡等资料进行修订完善。鼓励维修人员参与技术资料的优化工作，结合实际维修经验提出修改建议，增强资料的实用性与针对性。此外，通过线上平台开展技术资料培训，帮助维修人员快速掌握资料的使用方法与核心内容，确保技术资料能够真正发挥指导实践的作用 [3]。

4.3 推行结构化交接与闭环沟通

建立标准化的结构化沟通机制，能够有效规范信息传递流程，消除沟通壁垒。强制推行 SBAR 沟通工具，即按照状况、背景、评估、建议的逻辑框架进行信息传递。工作交接时移交方需清晰说明设备当前状况、相关背景信息、已开展的评估分析及后续工作建议，接收方需逐点复述确认，确保信息完全理解。通过结构化沟通，实现信息传递的完整、准确、高效，避免因信息缺失或歧义引发的工作衔接问题。通过搭建一体化的沟通协作平台，整合即时通讯、工作流转、信息归档等功能，实现跨班组、跨部门的高效沟通。平台可实时显示工作进度、任务分配、人员状态等信息，方便团队成员及时了解工作动态。建立沟通反馈机制，要求接收方在完成工作后及时反馈执行情况。通过定期开展沟通技能培训，统一专业术语标准，提升团队成员的沟通表达能力与倾听理解能力，营造开放、顺畅的沟通氛围。

4.4 打造韧性安全防护网络

突破传统互检终检的局限，引入人类绩效工具，构建多层次、全方位的韧性安全防护网络。推行自我检查制度，要求维修人员在完成每一项关键操作后，对照操作规范进行自我核查，确认步骤无误后再进入下一环节。实施任务前简报机制，在开展复杂维修任务前，团队成员共同明确工作目标、操作流程、风险点及防控措施，确保每个人都清晰了解工作要求。完善安全质量审核体系，建立常态化、精细化的审核机制。根据不同维修场景、不同任务类型制定差异化的审核标准与流程，明确审核要点与责任分工（见图 2）。以及随机抽查与重点核查相结合的方式，加强对关键维修环节、高风险操作的监督检查，并建立差错追溯与分析机制，对已发生的维修差错进行深入剖析，查找制度漏洞、管理缺陷等深层原因，针对性地优化防护措施。另外建立安全激励机制，加强维修人员的安全意识与责任意识培养，将安全文化建设融入日常工作。通过安全培训、事故案例警示、安全知识竞赛等多种形式，强化维修人员的安全理念，使其充分认识到维修差错的严重危害。

图 2 航空器 A 检分工

5 结语

总之，航空机械维修差错的预防是一项系统性、长期性的工作，当前航空机械维修差错呈现隐性人为失误增多、复合系统交互失效、重复性拆装损伤等情况。通过引入认知辅助与决策支持工具，能够有效降低人员认知压力，提升决策科学性。构建动态知识数据库，可确保技术资料的准确性与时效性，为维修工作提供可靠依据；推行结构化交接与闭环沟通机制，能够消除沟通壁垒，保障团队协作顺畅；打造韧性安全防护网络，可形成多层次的差错防控屏障，有效降低差错发生率。

参考文献

[1] 谢祥.航空机械维修差错及预防措施研究[J].中国高新科技,2021,(07):159-160.

[2] 蔡锋.航空机械维修差错及预防措施探析[J].中国机械,2024,(35):124-127.

[3] 陈国俊.航空维修差错风险质量管理模型的构建[J].产品可靠性报告,2024,(09):49-51.