

民用航空器维修中的新技术应用与效率提升

颜冠群 郭大伟

深圳航空有限责任公司西安分公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要: 随着全球航空运输业的快速发展, 机队规模持续扩大, 民用航空器维修 (MRO) 作为保障飞行安全、维持航班正常运行的核心环节, 面临着维修需求激增、成本压力增大、技术要求提高等多重挑战。传统以定期维护为主的维修模式, 存在过度检查、资源浪费、故障响应滞后等弊端, 已难以适应行业高质量发展的需求。在此背景下, 大数据、人工智能、物联网、AR/VR、数字孪生等新技术的深度应用, 正在推动航空维修行业从“事后处置”“定期维护”向“预测性维修”“精准维修”转型, 为提升维修效率、降低运营成本、强化安全保障提供了全新路径。本文将系统分析民用航空器维修中的核心新技术应用场景, 并提出针对性的效率提升策略, 为行业发展提供参考。

关键词: 航空运输业; 民用航空器; 核心新技术

Application of New Technologies and Efficiency Improvement in Civil Aircraft Maintenance

Yan Guanqun, Guo Dawei

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Xi'an Branch, China Shaanxi Xi'an 710000

Abstract: With the rapid development of the global air transport industry, fleet sizes continue to expand. As a core link in ensuring flight safety and maintaining normal operations, civil aircraft maintenance (MRO) faces multiple challenges such as surging maintenance demands, increasing cost pressures, and rising technical requirements. The traditional maintenance model, primarily based on scheduled maintenance, suffers from excessive inspections, resource wastage, and delayed fault response, making it difficult to meet the demands of high-quality industry development. Against this backdrop, the deep application of new technologies such as big data, artificial intelligence, the Internet of Things, AR/VR, and digital twins is driving the aviation maintenance industry's transition from "post-event handling" and "scheduled maintenance" to "predictive maintenance" and "precision maintenance." This provides a new pathway to enhance maintenance efficiency, reduce operational costs, and strengthen safety assurance. This paper will systematically analyze key new technology application scenarios in civil aircraft maintenance and propose targeted efficiency improvement strategies, offering insights for industry development.

Keywords: Air transport industry; Civil aircraft; Core new technologies

0 引言

新技术的突破与应用是航空维修行业变革的核心驱动力。近年来, 各类前沿技术在维修场景中不断落地, 形成了覆盖故障预测、智能检测、流程管控、资源管理等全链条的技术应用体系, 有效破解了传统维修模式的痛点。

1 民用航空器维修中的核心新技术应用

1.1 预测性维修与健康管理系统: 从“定期”到“按需”的转型核心

预测性维修是基于数据驱动的维修模式革新, 其核心是通过采集航空器各系统运行参数、维修记录、环境数据等多源信息, 借助大数据分析 with 人工智能算法, 实现对潜在故障的提前预警和精准预判, 从而将传统的固定周期维护转变为“按需维护”。其中, 飞机故障预测与健康管理系统 (PHM) 是预测性维修的核心载体。

山航工程技术公司以 APU 滑油量监控项目为切入点,

构建了全生命周期的 APU 健康管理体系, 通过实时采集滑油状态报文数据, 精准探测滑油量降至阈值的时间节点, 智能推送维护任务指令, 有效替代了传统每 15 天一次的固定周期检查模式。数据显示, 该系统在 2024 年 11 月至 2025 年 3 月期间, 共推送 288 条精准维护任务, 较传统模式减少 81.8% 的无效工单, 大幅释放了一线维修资源。同时, 通过分析滑油添加量、消耗率等数据, 系统可自动识别渗漏、内部磨损等异常消耗模式, 并关联传感器状态进行交叉验证, 已提前发现 10 起传感器故障和 7 架次滑油消耗异常飞机, 故障排查效率提升 60%, 有效避免了非计划停场风险。

海航技术自主研发的飞机实时监控与健康管理系统, 集成了故障实时监控、趋势预测、潜在风险预警等功能, 通过定制化程序实现对发动机、空调引气系统、飞控系统等相关键系统的远程监测与大数据分析。该系统已获得国家

发明专利，应用于多种主流机型，推动维修模式从“故障后响应”向“故障前预判”转型，显著提升了航班运行保障效率与安全系数^[1]。

1.2 AI 与大数据技术：赋能故障诊断与流程优化

人工智能与大数据技术在航空维修中的应用，主要集中在故障智能诊断、重复性故障筛查、维修流程优化等场景，有效解决了传统维修中人工分析效率低、误差率高、经验依赖强等问题。

在故障诊断方面，Ameco 杭州分公司开发的基于 AI 的智能化重复性故障筛查系统，运用大语言模型自然语言处理技术，将故障信息转化为空间向量并计算余弦相似度，实现了自动化的重复性故障识别。该系统投入使用后，针对现有 54 架飞机，平均每天可节省 3 小时人工工时，一年节省的工时相当于 0.5 名全职员工的工作量，同时显著提升了故障筛查准确性，降低了航班延误风险。南航工程技术分公司河南基地则通过训练安全信息多标签分类模型，实现了安全信息的自动分类与可视化展示，模型精准度超 90%，确保安全信息分析在事件触发后 0.5 小时内完成，为及时采取安全措施提供了有力支撑^[2]。

在流程优化方面，东航数科自主研发的机务维修手册管控平台，基于 AI 大模型微调技术的翻译引擎，实现全机型维修手册精准中文化，打破了行业专业术语壁垒；同时打通工卡与维修手册的数据链路，建立智能关联机制，实现维修操作流程“连得顺”，有效提高了维修手册的应用效率。南航机务推出的 TAOIX 系统航线排班模块，借助智能算法综合考量人员资质与工作任务，生成最优排班方案，实现任务与人员的精准匹配，面对航班变动可自动推送预警信息，推动排班模式从“凭经验、靠喊话”向“看数据、靠系统”转型。

1.3 AR/VR 与智能检测技术：革新现场维修与故障排查模式

增强现实（AR）、虚拟现实（VR）技术与智能检测设备的结合，正在重塑航空维修的现场操作场景，通过提供可视化指引、远程技术支持、虚拟仿真训练等功能，降低了维修人员的操作难度，提升了故障排查的精准度与效率。

南航机务深度定制 AR 眼镜，结合云机务系统、AR 工卡、AI 算法和智慧语音支持，为维修人员提供“以人为中心”的智能化工作环境。维修人员佩戴 AR 眼镜后，签署、拍照、测量等工具“挥手即来”，手册、经验、指引等知识“挥手触达”，有效解决了传统维修中纸质工卡查阅繁琐、操作依赖经验的问题。南航机务与 GAMECO 联合打造的基于 AR 底座的完整解决方案，融合物联网、知

识图谱等多种技术，具备强大的融合交互与环境感知能力，赋予维修人员和管理者全新的工作视野。

在智能检测领域，海航技术正在研发的发动机孔探导管，相当于给发动机配上“肠胃镜”，可引导插入管准确到达目标区域并实现 360 度周向穿绕检查，既保护了插入管，又使孔探操作更简便，大幅提升了航空发动机内部故障的检测效率。东航智慧机库则利用 AI 技术和智能摄像头，可快速准确地识别飞机表面损伤及零部件安装状态，并对损伤程度进行评估，替代了传统人工目视检测的方式，提升了检测效率与准确性。

1.4 智慧机库与数字化管理系统：实现资源协同与全流程管控

以 5G、物联网、数字孪生为核心技术支撑的智慧机库，通过整合智能互联设备、自动化仓储、数字化管控平台，实现了机库内人员、设备、航材等要素的高效协同与透明化管理，推动航空维修从“劳动密集型”向“技术密集型”转型。

东航技术联合菜鸟集团推出的全球首个智慧机库整体解决方案，首次将“黑灯工厂”理念引入航空机库场景。该方案整合了智能互联机库、智能维修系统、自动化仓储机器人、智能工具间等多个应用场景，通过统一的平台架构和数据交互标准，实现不同维修场景的深度协同。其中，自动导向车（AGV）可根据维修工单需求，自动从航材库提取所需航材并运输到指定位置；超宽带（UWB）技术实现对库内人员和工装的高精度定位；数字孪生技术对维修机库进行数字化还原，整合人流、物流、数据流等信息，增强了生产场景的应用支撑能力。

在航材管理方面，Ameco 通过数字仿真方案优化航材计划制定，计划员可批量处理航材计划设定原则，系统抓取匹配生产计划及数据变化内容，核算出最优计划方案并回溯至 SAP HANA 系统，实现航材计划业务的动态优化。同时，Ameco 利用智能货柜提供 7×24 小时不间断航材保障服务，在成都天府国际机场，SAP HANA 平台作为智能货柜的主控大脑，负责无人仓中控制器材的存储、架位管理、发料、补货等业务，实现了航材服务向生产一线的自动化、集成化延伸。海航技术研发的电子飞行记录本（ELB），将纸版记录转移到网络端，实现飞行、客舱和维修各岗位间信息的高效传递，形成数字化维修记录档案，大幅提升了维修记录的使用效率与数据保密性。

2 民用航空器维修效率提升的核心策略

2.1 深化技术融合应用，构建全链条智慧维修体系

单一技术的应用难以实现维修效率的最大化提升，需推动多技术深度融合，构建覆盖“数据采集—分析预警—

决策执行—效果反馈”的全链条智慧维修体系。一方面，要强化数据互通共享，打破不同系统、不同环节的数据壁垒，整合 QAR/DAR 数据流、维修记录、航材数据、人员资质数据等多源信息，为人工智能算法提供高质量的数据支撑。

另一方面，要推动预测性维修与 AR/VR、数字孪生等技术的协同应用，构建“感知—分析—决策—验证”的闭环体系。通过数字孪生技术对航空器进行虚拟建模，模拟故障发生场景与维修流程，为维修方案制定提供仿真支持；借助 AR 技术将虚拟维修指引叠加到实体操作场景中，提升维修操作的精准度与效率；通过预测性维修系统提前预警潜在故障，结合智能检测设备快速定位故障点，实现故障处置的全流程高效衔接。东航智慧机库通过整合多种智能化应用场景，形成有机整体，正是技术融合应用的典型案例^[3]。

2.2 推动维修流程再造，实现管理模式数字化转型

新技术的应用需要与之匹配的流程与管理模式，否则难以充分发挥技术效能。需以数字化转型为契机，对传统维修流程进行系统性再造，优化从维修计划制定、任务分配、现场操作到质量检验、记录归档的全流程管理。

在维修计划制定环节，要摒弃传统固定周期模式，基于预测性维修系统的数据分析结果，结合航班运行计划，制定“一机一策”的精准维修方案。例如，山航 APU 滑油量监控项目引入“软时限”管理理念，对高频触发维护信号的 APU，系统自动缩短监控周期并生成专项检查工卡，实现精准管控。在任务分配与排班环节，推广南航 TAOIX 系统航线排班模块的经验，借助智能算法实现人员与任务的精准匹配，应对航班变动时快速调整方案，提高人力资源利用效率。

在现场操作与质量管控环节，要推广电子工卡、AR 工卡等数字化工具，替代传统纸质工卡，实现维修操作的标准化、可视化管理；建立维修过程实时监控机制，通过智能摄像头、UWB 定位等技术，对维修操作流程进行全程追溯，降低人为差错风险。在航材管理环节，要借鉴 Ameco 的经验，通过数字仿真优化航材计划，利用智能货柜、AGV 等设备实现航材的自动化存储、调配与配送，缩短航材周转时间，避免因航材短缺导致的维修延误。

2.3 强化人才队伍建设，培育复合型技术技能人才

一方面，要加强人才培养体系建设，优化院校人才培养方案，增设智能化维修相关课程，结合 VR 仿真训练系统，开展沉浸式、场景化教学，提升学生的实践操作能力与技术应用能力。另一方面，要强化企业内部培训，建立

常态化的技术培训机制，邀请技术专家开展新技术、新设备应用培训，组织维修人员参与智能化项目实践，积累实操经验。

同时，要搭建人才创新平台，激发一线维修人员的创新活力。海航技术通过成立“刘永庆创新工作室”“易从涛创新工作室”等，由优秀人才牵头开展技术攻关，形成了一系列提升维修效能的创新成果，构建了“科技创新—专利保护—产业竞争力提升”的正向循环。企业应借鉴这一模式，鼓励维修人员结合岗位实际需求开展技术创新，对优秀创新成果给予奖励并推广应用，形成全员参与创新的良好氛围。

2.4 完善标准规范体系，营造良好产业发展环境

当前，智慧维修技术在航空维修领域的应用仍处于快速发展阶段，相关标准规范尚不完善，存在技术应用不统一、数据格式不规范、质量管控标准不明确等问题，制约了行业整体效率的提升。需加快完善相关标准规范体系，明确预测性维修、智能检测、数字孪生等技术的应用标准、数据接口标准、质量检验标准，推动行业技术应用的规范化、标准化发展。

政府与行业协会应发挥引导作用，出台支持智慧维修发展的政策措施，鼓励企业开展技术创新与应用试点。

3 结语

综上所述，新技术的应用正在深刻改变民用航空器维修行业的发展格局，预测性维修、人工智能、AR/VR、智慧机库等技术的落地，为解决传统维修模式的痛点、提升维修效率提供了强大支撑。但要实现行业的高质量发展，还需从技术融合、流程再造、人才培养、标准完善等多个维度制定系统性策略，推动技术优势转化为产业效能。未来，随着技术的不断创新与应用的持续深化，民航维修企业应主动拥抱技术变革，积极探索创新实践，不断提升核心竞争力，助力“中国智修”品牌走向全球。

参考文献：

- [1] 邱斌. 民用航空器维修标准化体系构建与适航安全管理优化研究[J]. 中国品牌与防伪, 2025,(14):124-126.
- [2] 屈博训. 关于民用航空器维修质量与适航管理的思考[J]. 中国设备工程, 2021,(23):69-70.
- [3] 王冕. 关于民用航空器维修质量管理的思考[J]. 中国设备工程, 2021,(14):77-78.

作者简介：颜冠群（1996.02—），男，山东济南人，汉族，本科，助理工程师，研究方向：从事民用航空器维修研究。