

数字化技术在飞机综合保障中的应用

刘文琴 罗武林 殷秀丽

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723000

摘要：传统飞机综合保障模式存在经验依赖度高、数据碎片化、协同效能弱及运维精度不足等诸多弊端，难以适配现代航空装备复杂化的服役保障需求。数字化技术可从数据挖掘、模式转型、协同管控及成本管控等维度优化保障体系，通过状态感知、智能诊断、动态运维、资源优化等落地路径，推动飞机保障从粗放式人工运维转向精细化、智能化全周期保障模式，全面提升航空装备保障质效。

关键词：数字化技术；飞机；综合保障；智能运维；状态管控

引言：飞机综合保障是贯穿装备全服役周期的系统性工程，对航空装备运行安全与服役寿命起到关键支撑作用。现代飞机机载系统集成度与耦合度持续提升，对保障作业的精准性、协同性与时效性提出更高标准。传统粗放型保障模式的短板日益凸显，已无法适配现代化航空保障的发展要求。依托数字化技术重构保障体系、革新作业模式，成为航空保障领域转型升级的必然趋势。

1 飞机综合保障体系核心特征与转型需求

飞机综合保障属于覆盖航空器完整服役周期的系统性工程，业务范围涵盖设备状态监测、故障排查维修、运维方案编制、保障资源调度等多项内容，整体工作具备高精密、不间断、一体化的基本特征。现代化飞机机载系统集成水平较高，各个子系统之间相互关联耦合，对保障作业的精准程度、跨岗位协同能力有着严格约束。传统保障手段以人工巡检、经验判定作为主要方式，配套纸质表单完成信息记录，作业过程主观因素占比偏高，零部件隐性损耗容易出现漏检，各类运行数据分散独立，运维决策缺少充足客观依据，最终造成保障质量波动明显。随着航空装备不断更新换代，航空器实际服役工况愈发复杂，原有粗放式保障模式已经难以适配当前作业标准。引入数字化技术能够补齐传统保障模式存在的短板，助力飞机保障业务走向精细化、智能化升级道路^[1]。

2 数字化技术赋能飞机综合保障的核心优势

2.1 实现保障数据全域采集与价值挖掘

设备运行数据是开展飞机保障业务的基础支撑，完整、准确的运行参数，可以为故障判定、运维计划编制、物资调度提供可靠依据。传统保障手段的数据获取渠道有限，采集范围存在明显局限，仅能够留存

飞机特定运维节点的碎片化信息，设备全程连续运行状态无法完整保存。人工整理处理数据的作业模式，还容易产生数据录入错误、信息传递延迟等一系列问题。数字化技术可以完整采集飞机全部子系统产生的运行参数，经过筛选清洗之后挖掘数据背后潜藏的变化规律，打破传统模式下数据利用程度偏低的现状，充分释放运行数据本身具备的决策价值，提升整套保障工作的数据化基础能力。

2.2 推动保障模式从经验化向精准化转型

早期飞机保障作业大多依托维修人员积累的实操经验执行，普遍采用故障发生后再实施维修、依靠过往使用情况预判零部件损耗的作业方式，运维行为带有明显滞后性与盲目特征。人员主观判断容易引发过度维修或是维修缺失两类问题，既浪费各类保障物资，还会留存设备安全隐患。数字化技术能够改变经验主导的运维格局，借助不间断实时状态监测捕捉设备早期异常信号，提前启动安全预警与防护处置工作，生成适配设备实际损耗情况的运维方案，让飞机保障作业更加精准高效，从根源降低非必要维修行为带来的各类损耗^[2]。

2.3 提升全流程保障协同与管控效率

飞机综合保障业务包含多个作业流程、多个岗位人员协同配合，各个工序之间衔接质量直接决定保障最终效果。传统保障模式下各个岗位业务相对独立，信息传递依靠人工沟通以及纸质单据流转，极易出现信息不对称、工序衔接断层等问题。数字化智能管控平台能够打通不同岗位、不同业务模块之间的信息壁垒，实现全部运维数据实时共享，统一规范整套作业流程，删减重复冗余的工作环节，缩短跨岗位沟通消耗的时间成本，全面提升保障业务协同水平与全过程管控能力。

2.4 降低保障成本与人为失误风险

传统飞机保障工作需要投入大量人力完成日常巡检、信息登记、故障排查等重复性基础工作,人为操作过程中不可避免出现疏漏或是判断偏差,继而形成运维漏洞。不合理的维修方案还会消耗大量人力、备件以及作业时间,抬高飞机长期保障开支。数字化智能平台能够承接绝大多数重复性人工任务,减少人为失误带来的安全风险,标准化管控全部运维操作流程,科学调配各类保障物资,削减无效运维任务。在保障航空装备安全可靠运行的前提之下,持续压低飞机全寿命周期整体保障投入。

3 数字化技术在飞机综合保障中的具体应用路径

3.1 数字化状态监测,实现设备动态感知

设备状态监测属于飞机综合保障流程当中前置性的核心环节,真实、及时的设备运行信息,是后续各项维修保障工作顺利开展的重要前提。传统人工巡检模式监测频次偏低,监测覆盖维度较为单一,动态感知能力存在明显短板,无法满足飞机全天候、高频次运行监测需求,难以捕捉零部件瞬时异常变化以及缓慢性能衰减现象。依托高精度传感元件、物联网传输手段搭建而成的数字化监测体系,全面革新原有巡检作业方式。各类智能传感器布置在飞机动力组件、航电单元、液压管路、起落机构等关键零部件位置,不间断采集运行温度、介质压力、振动幅值、电气信号等物理参数,同步收录飞行工况、外部环境温湿度等环境信息。采集得到的全部数据借助无线传输链路实时推送至数字化保障管控平台,完成飞机各子系统不间断在线监测。系统对照设备出厂标定的标准运行阈值,精准识别微小参数偏移、性能逐步衰减等隐性异常,结合零部件重要等级与风险等级设置多级预警机制,提前排查潜在安全隐患,降低突发性故障出现概率,保障飞机全程运行稳定可靠^[3]。

3.2 智能化故障诊断研判,提升隐患处置精准度

飞机机载系统整体构造复杂,各个子系统之间存在较强耦合关联,绝大多数设备故障并非单一零部件失效造成,而是多项运行因素互相作用引发的系统性问题。传统故障排查工作依靠维修人员实操经验完成判定,故障定位耗时较长,故障诱因分析精度不足,深层次隐蔽隐患排查不够彻底,经常出现故障误判、漏判情况,造成同类故障反复出现,直接影响飞机日常运维质量与长期使用效率。数字化智能诊断技术融合大数据挖掘、智能判定规则、故障比对模型等多项技术手段,构建一套科学完备的智能故障研判体系,全方位改善飞机故障

诊断的准确度与处置效率。系统整合飞机长年累积的运维记录、各类典型故障案例、设备出厂标准运行参数,搭建专业化故障数据库与智能比对模型,梳理不同故障对应的外部特征、形成机理、连锁影响以及标准处置流程。一旦设备运行参数产生波动或是状态出现异常,管控平台自动调取实时监测数据,和存量故障模型、历史运维记录开展智能比对,快速锁定故障点位、故障类型以及核心诱发因素,同步预判故障演化趋势、影响范围以及风险等级,弥补人工排查自带的主观偏差与能力局限。针对多系统联动形成的复杂隐蔽故障,平台依靠多维度数据关联分析理清系统交互逻辑,精准锁定故障根源,自动匹配对应的维修处置方案,摆脱人工逐一试错排查的低效模式,切实加快故障处置速度,减少重复性故障发生概率。

3.3 数字化运维规划,构建主动式保障体系

传统飞机运维管理普遍执行固定周期检修制度,运维计划编制仅参考设备累计使用时长,统一制定检修保养以及零部件更换方案。该模式不会结合设备真实运行损耗情况、实际作业工况做出差异化调整,具备粗放运维的典型特征。部分运行工况平稳、损耗速率较慢的零部件,会迎来过度检修或是提前更换,直接造成航空保障资源无谓消耗;长期处于高强度复杂工况运行、损耗速度更快的零部件,受固定检修周期约束无法得到及时维护,极易诱发各类设备故障,这套固化运维管理模式已经无法适配现代飞机精细化保障的发展目标。数字化运维规划机制以设备全生命周期运行数据作为核心判定依据,建立由设备健康状态主导的动态运维模式,将以往按照固定周期执行的被动维修,转变为贴合设备真实损耗状态的按需精准维护。整套系统整合设备出厂基础指标、累计服役时长、实际飞行工况、实时损耗数据、过往维修档案以及故障统计资料,搭建零部件性能衰减预测模型,定量判断单台设备损耗变化规律与剩余可靠使用时长,客观评估设备实时健康水平。基于精准健康评估结论生成差异化运维方案,明确不同零部件最佳检修时间、保养项目以及配件更换节点,真正实现匹配实际工况的精准运维。数字化管控体系对运维全流程实施动态监管,提前梳理不同阶段运维重点任务,合理排布各项作业先后顺序,规避运维任务堆积、遗漏或是延期等问题。针对高频使用、工况严苛的航空部件,系统自动缩短检修间隔,强化管控力度;针对运行平稳、损耗较低的设备,适度精简检修频次,削减无效运维作业。科学的数字化运维方案,在守住设备安全底线的基础之上理顺整体运维节奏,提升飞机综合保障精细化水平,

延长机载零部件可靠服役周期^[4]。

3.4 数字化资源管控, 优化保障资源配置

飞机综合保障物资包含备件耗材、维修工装、作业人力、仓储物料等多个类别, 保障资源科学调配、标准化管控、高效利用, 是提升整体保障效能的关键环节。传统物资管控依靠手工登记、纸质台账记录、人员经验调配, 经常出现库存数量统计失真、物资管理混乱、调配响应滞后、物资和任务匹配度偏低等问题, 容易发生备件短缺延误维修进度、物料长期积压闲置、人力分配不合理等现象, 制约保障工作高效落地。数字化资源管控平台实现全部保障资源可视化、动态化管理, 搭建物资全流程管控链条。平台为每一件备件耗材、维修工装、仓储物料建立独立数字化档案, 实时同步物资入库、领用、消耗、剩余库存等信息, 自动刷新库存台账, 消除手工登记失误、信息更新滞后带来的库存统计偏差。系统结合当下运维任务安排、设备维修需求、故障预警信息, 智能预判后续物资消耗规模, 提前规划物资储备与补给计划, 规避备件短缺延误维修工作。在资源调度层面, 数字化平台依照运维任务优先级、作业环境、故障风险等级智能生成最优资源分配方案, 精准匹配备件物料、维修人员、作业设备和对应保障任务, 避免物资闲置浪费、资源错配等情况发生。完整留存全部物资使用轨迹与消耗特征, 依托数据分析总结物资消耗规律, 持续优化采购、储备、调度整套管理机制, 搭建科学化物资管控体系, 提高保障资源整体利用效率, 为飞机综合保障业务顺利推进筑牢物资保障根基。

4 数字化技术的实际应用

国内多家航空维修单位已经逐步落地数字化综合保障改造项目, 搭建一体化航空保障管控平台, 实现运维业务线上闭环管理。某维修基地部署超过 1200 套机载与地面传感采集终端, 实时采集整机运行参数, 故障智能诊断模块能够将平均故障定位时长由原来的 120 分钟压

缩至 35 分钟以内, 大幅缩短故障排查耗时。物资管控模块接入智能仓储管理设备, 备件库存盘点周期由 7 个工作日缩短至当日完成, 备件缺件延误维修的发生概率下降 62%。依托仿真推演工具完成近 80 套典型维修作业流程模拟优化, 梳理删减 16 项重复作业工序, 单次定检作业整体耗时得到有效压缩。整套数字化保障系统长期积累海量运维样本数据, 持续优化故障识别算法与损耗预测模型, 保障决策的客观性与准确性不断提升。实际运行数据表明, 数字化改造完成之后, 装备完好率实现稳步上涨, 全周期保障开支得到合理控制, 充分验证数字化技术在飞机综合保障场景当中具备显著落地价值, 为后续大范围推广应用积累完整实操经验^[5]。

结束语: 数字化技术为飞机综合保障体系升级提供了核心技术支撑, 有效破解了传统运维模式的各类痛点问题。通过全域数据采集、智能故障研判、动态运维规划、智能资源调配等多元化应用, 实现了保障模式、管控效率与资源利用率的全方位提升。数字化、智能化的保障新模式, 能够为航空装备长效安全运行提供坚实保障, 具备广阔的行业推广与应用价值。

参考文献

- [1] 官平. 飞机复材主承力结构数字化高性能装配协调技术在机翼装配中的应用研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2026, (3): 009-012.
- [2] 蒋正强, 邢祥云. 数字化技术在飞机装配中的应用分析 [J/OL]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2026, (1): 093-096.
- [3] 吴宁. 数字化技术在飞机结构装配质量控制中的应用研究 [J]. 微型计算机, 2026, (4): 187-189.
- [4] 吕阳杰. 智能制造技术在飞机部件数字化装配中的应用 [J/OL]. 中国科技期刊数据库工业 B, 2026, (8): 070-073.
- [5] 刘媛媛, 王成龙. 飞机数字化装配技术的发展应用与分析 [J]. 模具制造, 2026, 26(1): 153-155.