

低空经济视域下航空装备维修领域数字化转型路径研究

李锦雄

广州理工学院, 广东 广州 510800

DOI: 10.61369/VDE.2026010046

摘要 : 在新一轮科技革命和产业变革背景下, 凭借广阔的市场前景、技术创新与产业链之间的深度融合, 低空经济取得迅速发展, 逐步成为国民经济发展的新引擎。航空装备维修是低空经济发展的重要支撑, 推动航空装备维修领域数字化转型, 构建适应数字时代的维修保障体系, 成为低空经济高质量发展的重要问题。本文结合低空经济发展需求, 从需求端与供给端分析航空装备维修面临的挑战, 围绕技术赋能、流程重塑、生态协同、质量管控四个方面, 探讨低空经济视域下航空装备维修领域的数字化转型路径, 为提升低空航空装备维修保障能力、赋能低空经济高质量发展提供理论参考与实践指引。

关键词 : 低空经济; 航空装备维修; 数字化转型; 路径

Research on the Digital Transformation Path of Aviation Equipment Maintenance from the Perspective of Low-Altitude Economy

Li Jinxiong

Guangzhou Institute of Science and Technology Guangzhou, Guangdong 510800

Abstract : Against the backdrop of a new round of scientific and technological revolution and industrial transformation, low-altitude economy has witnessed rapid development thanks to its broad market prospects and deep integration of technological innovation and industrial chains, gradually becoming a new engine for national economic growth. As an important support for the development of low-altitude economy, promoting the digital transformation of aviation equipment maintenance and building a maintenance support system adapted to the digital era have become key issues for the high-quality development of low-altitude economy. Based on the development needs of low-altitude economy, this paper analyzes the challenges faced by aviation equipment maintenance from the demand side and supply side. It explores the digital transformation path of aviation equipment maintenance under the vision of low-altitude economy from four aspects: technology empowerment, process restructuring, ecological collaboration, and quality control. The study provides theoretical references and practical guidelines for improving the maintenance support capability of low-altitude aviation equipment and empowering the high-quality development of low-altitude economy.

Keywords : low-altitude economy; aviation equipment maintenance; digital transformation; path

引言

低空经济是一种以低空飞行活动为核心的综合性经济形态, 主要由低空制造、低空飞行、低空保障与综合服务组成, 涉及传统固定翼飞机、直升机、无人机等产品, 覆盖农植保护、物流配送、交通出行等多个应用场景。相较于民航运输装备, 低空飞行器具有造价成本较低、服务应用场景多样、技术延展性强的优势。随着低空经济产业的爆发式增长, 低空飞行器尤其是无人机设备的运维需求随之增加, 对维修响应速度、服务水平与成本控制提出了更高要求^{[1][2]}。2025年10月, 国家发展改革委、国家数据局、财政部、住房城乡建设部、自然资源部印发《深化智慧城市发展推进全域数字化转型行动计划》, 明确提出推进数据产业与低空经济融合, 支持超前布局低空数据基础设施。低空经济的运行与管理已步入全链条、全要素的数字化阶段。但是, 低空装备维修仍面临信息化维修标准缺失、维修资源分布不均衡、预测性维修能力弱等问题, 难以保证维修的全域性、精准性和高效性。由此, 深度融合数字孪生、人工智能、大数据等技术, 推动航空设备维修领域数字化转型, 对实现维修要素数字化、作业流程智能化、保障资源协同化、管理决策科学化具有重要意义。

一、低空经济视域下航空装备维修面临的挑战

低空经济的兴起重塑了航空装备维修的需求结构，既带来维修任务激增，也凸显传统维修模式的现存不足，构成数字化转型的现实动因，具体可从需求端挑战与供给端困境两方面分析：

（一）需求端：维修任务激增与需求差异化凸显

1. 航空器保有量激增，维修任务压力剧增。随着低空经济规模化发展，航空器保有量呈现指数级增长。在无人机领域，政企用户的设备保有量已大幅攀升，直接导致维修任务量激增，对维修效率的提升提出迫切需求^[9]，传统维修模式难以应对海量维修任务。

2. 应用场景多元化，维修需求差异化明显。低空经济应用场景持续拓展，从物流配送到农业植保，从电力巡检到应急救援，不同场景的作业环境、任务强度差异显著，对航空装备的可靠性、耐用性提出差异化要求，进而导致装备故障特征、维修标准各不相同，传统维修模式难以适配实际需求^[10]。

（二）供给端：传统维修模式面临三重突出困境

1. 维修流程标准化不足，质量管控难度大。传统维修流程缺乏统一标准，设备巡检、故障申报、配件更换等环节常存在记录缺失、流程不规范问题，不仅导致维修质量难以管控，还会造成责任界定困难，影响维修效率^[11]。

2. 维修资源分布分散，规模效应难以形成。当前维修资源布局分散，不同区域、不同类型的维修站点各自为战，资源利用率偏低，无法快速响应低空装备分散化的维修需求，难以形成规模效应^[12]。

3. 预测性维修能力薄弱，非计划停机频发。维修决策过度依赖维修人员经验，缺乏数据支撑，多采用“事后维修”“定期维修”模式，预测性维修能力不足，导致装备非计划停机频发，影响低空装备常态化运行^[13]。

上述供需矛盾表明，低空经济的规模化发展必须建立在维修保障体系数字化重构的基础之上，数字化转型成为破解困境、适配需求的必然选择。

二、低空经济视域下航空装备维修领域数字化转型路径

（一）技术赋能：搭建适配低空经济的智能化维修平台，筑牢转型基础

数字化转型的首要任务是建立覆盖维修全流程的智能化平台，核心在于打通数据孤岛，将维修全要素数字化，结合低空装备维修需求，构建“感知层-数据层-模型层-应用层”四层技术架构，构建智能感知与运维体系^[14]。

1. 感知层，构建全域化数据采集网络。依托物联网、传感器、RFID等技术，在装备关键部件、维修工具、保障站点部署感知设备，实时采集装备运行、故障、资源状态及作业环境数据；采用5G+卫星通信技术，实现偏远地区数传覆盖，统一数据接口标准，保障数据兼容采集。

2. 数据层，搭建一体化数据管理平台。搭建统一的低空装备维修数据管理平台，全面汇集装备制造制造、运行监测、故障维修、资源调度等数据，建立标准化数据资源库^[15]。引入数据预处理技术，经过数据清洗、去重、标准化处理环节，提高数据质量。构建基于云计算的弹性算力架构，提高数据处理与计算效率。建立数据安全体系，采用分级授权与加密存储手段，保障数据安全^[16]。

3. 模型层，构建多维度分析模型。基于低空飞行器的维修特征，构建性能分析、故障诊断、资源调配等模型。对于不同低空装备故障规律，借助知识图谱与图像识别技术，建构智能故障诊断模型，精准识别与检验故障类型。根据航空设备的作业场景，建立寿命预测模型，精准预测关键部件的剩余寿命。根据低空装备与维修站点布局，建立资源调度模型，提高维修资源调度的合理性。

4. 应用层，开发多场景数字化应用系统。借鉴天津航大雄鹰自研机务保障系统经验，开发装备状态实时监控模块，推动维修从“事后处置”向“状态监控”转变；根据九亿通航维保系统的经验，嵌入保险条款库与标准作业程序，实现报修、定损等全链路数字化，打造一体化平台实现维修全流程线上化^[17]。

（二）流程重塑：建立预测性维修体系，提升维修作业智能化水平

在数据采集与平台搭建基础上，建立预测性维修体系，推动维修模式从“故障-修复”向“状态-预测-干预”演进，推进核心模块数字化升级，提高智能运维水平^[18]。

1. 维修保障要素数字化。采用分类管理方式，对低空装备维修中人、机、料、法、环等全要素进行数字化编码管理。建立维修人员数字档案，实时更新专业证书、维修经验、培训经历等关键信息，便于匹配对应难度的维修任务。构建低空装备数字孪生模型，复刻装备关键结构、性能参数、故障类型，便于开展远程诊断与数字化维修。借助RFID技术建立数字化维修物料追溯体系，上传物料采购、入库和使用信息，保障物料符合质量要求。建立健全维修数字化标准库，实时监测维修环境数据，形成规范化的维修流程。

2. 维修保障作业数字化。依托低代码平台，建立数字化维修工作流程，设置故障申报、诊断分析、方案制定、作业执行、质量验收等数字化处理节点，统一上传线上工作平台，提高故障响应速度与问题解决效率。面向重要作业项目，额外设置突发性故障维修模块，建立一键申报-快速派单-远程指导的应急维修响应体系，提升作业标准化水平^[19]。

3. 构建预测性维修体系。低空经济高质量发展需要建立高精度的预测性维修体系。借鉴北航智慧民航科创中心与龙维合作经验，通过AI与数字孪生结合，实时监测低空装备健康状态，预测剩余寿命及关键影响因素。科研院所应加强与高校、企业的合作，联合攻关预测性维修技术，建立专家型维修预测系统，降低设备停机风险，延长设备使用寿命。

（三）生态协同：推动全生命周期数据治理，重构数字化维修流程体系

在低空经济产业生态中，打破企业边界，构建“研发-制造-维修-运营”全链条数据治理生态，打造“内部标准化、外

部协同化”流程架构，满足低空经济全链条协同发展需求^[10]。

1. 企业内部流程数字化重构。基于低空装备维修企业业务需求特点，依托低代码平台，构建一体化运维流程体系，实现财务、采购、质控等部门业务流程互联互通。在接到维修任务后，依托数字化平台，自动分析装备制造信息和结构，诊断故障类型与物料需求，快速协调和调配资源。构建业务流程反馈机制，定期采集一线维修人员的需求和建议，及时优化内部流程，提高整体工作效率。

2. 产业链协同数字化互通。基于低空经济产业链，研发机构、制造企业、运营企业、维修企业等应联合搭建数字化维修平台，统一数据标准，建立协同处理流程^[4]。借鉴长春净月高新区与吉林航空维修公司的合作模式，建设低空装备维修中心，共享装备设计、运行与故障数据。设计端与运营端可将数据推送到维修端，维修端精准开展故障评估，提高维修工作效率。设计端与运营端可通过平台，获取装备的维修信息，根据维修中出现的问题优化设计方案。

3. 应急维修快速响应流程构建。针对物流运输与应急救援出现的突发性故障，构建快速响应流程^[8]。根据作业场景需求，设置应急维修专项通道，提供优先申报和处理的服务。在区域出现应急维修需求时，数字化平台自动整合周边维修人员、中心、设备与物料等要素，形成快速支援方案，快速解决应急故障。借鉴云南空港机务“夯实基础”与“布局未来”双轮驱动战略，加强智慧设施建设的投入，建设面向无人机货运、城市空中交通的数字化服务平台，提供配套维修服务^[4]。

（四）质量管控：优化数字化质量体系，守住低空维修安全底线

结合低空装备维修特征，构建全流程、多维度数字化质量管

控体系，破解传统质量管控薄弱、责任界定困难的问题^[7]。

1. 建立数字化质量标准体系。结合装备类型与应用场景，构建覆盖全环节的质量标准体系，分解质量指标实现精细化管控，融入国家、行业标准，建立分级体系适配个性化需求。

2. 实现维修过程数字化监控。在各维修环节设置质量检测节点，要求维修人员上传作业资料并经线上审核；利用视频监控、传感器实时监测关键作业，建立质量预警机制，及时制止不合格作业^[10]。

3. 构建质量数字化追溯体系。为每台装备建立全生命周期维修质量档案，通过唯一识别码实现质量问题逆向追溯，基于维修质量数据统计分析，优化流程与操作标准，实现持续改进。

三、结论与展望

综上所述，在低空经济规模化发展视域下，低空装备在越来越多场景中得到应用和推广，起降频次不断增加，根据低空装备高频率、高可靠性的维修需求，推动航空装备维修数字化转型，构建适应不同场景的智能运维体系，是低空经济高质量发展的必然需要。因此，从技术、流程、生态、质量四个维度探索转型路径。在技术层面，搭建基于感知层-数据层-模型层-应用层的数字化平台，构建智能监测与维护体系；流程层面，运用数字技术，转化维修保障要素，建立数字化维修保障作业流程与预测性维修体系；生态层面，企业内部生态建立基于数字化平台的运维流程，产业生态构建多元协同运维流程与应急响应流程；质量层面，制定数字化质量标准，建立数字化监控与追溯体系，促进维修领域数字化转型将向更深层次推进，未来有望实现维修保障智能化、全域化运行，为低空经济高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 李俊杰, 马宁, 孟梦. 航空装备维修管理数字化转型研究 [J]. 现代防御技术, 2025, 53(04): 140-147.
- [2] 郭统中. 基于低代码平台的航空装备维修企业流程体系建设案例研究 [J]. 航空维修与工程, 2025, (03): 118-120.
- [3] 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, (07): 58-61.
- [4] 陈曦, 李炜. 航空装备维修企业数字化转型实践与思考 [J]. 航空维修与工程, 2024, (12): 14-18.
- [5] 杨朔, 卜旌旆. 航空装备维修信息化现状及发展探讨 [J]. 航空维修与工程, 2024, (S1): 168-170.
- [6] 曹平, 吴超, 潘鑫, 等. 航空装备标准数字化应用实践与展望 [J]. 信息技术与标准化, 2024, (08): 56-61.
- [7] 韩振超, 何逸冕, 张冠堂, 等. 航空装备数字化修理质量监督思考 [J]. 航空维修与工程, 2024, (04): 65-67.
- [8] 彭晖, 朱涛, 凌海风, 等. 数据可视化在航空装备维修保障中的应用探析 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(07): 145-149+153.
- [9] 侯建, 王礼沅. 航空装备维修保障模式数字化转型 [J]. 测控技术, 2020, 39(12): 16-21.
- [10] 蔡长海, 刘文新, 许朋, 等. 航空复合材料维修数字化技术的展望 [J]. 航空维修与工程, 2020, (10): 21-23.