

数字化背景下航材需求预测与库存优化策略研究

张 平

北京飞机维修工程有限公司航材与采购部武汉分部 北京 430000

摘要：在全球航空运输业加速复苏与数字化转型深度融合的背景下，航材作为保障飞行安全、维持航班正常运营的核心资源，其需求预测的准确性与库存管理的科学性直接决定航空公司的运营效率与成本控制水平。传统航材管理模式依赖经验判断，存在需求预判偏差大、库存积压与短缺并存等问题，难以适应现代航空业的发展需求。本文以数字化技术为核心支撑，系统探讨航材需求预测的优化路径与库存管理的创新策略。首先分析数字化技术在航材管理中的应用价值，随后构建融合多源数据的需求预测体系，包括历史数据挖掘、实时状态监测等维度，重点引入预测性维护理论提升预测精准度；进而从库存结构、协同机制、成本管控三方面提出库存优化方案。研究旨在通过数字化手段破解航材管理难题，实现需求预测的精准化与库存资源的高效配置，为航空企业提升核心竞争力提供理论参考与实践路径。

关键词：数字化转型；航材需求预测；库存优化；预测性维护；数据驱动

引言

航空运输业作为技术密集型与资金密集型行业，安全与效率是其发展的核心诉求，而航材管理正是连接两者的关键环节。据国际航空运输协会（IATA）数据显示，全球航空客运量预计2024年恢复至疫情前水平，随之而来的是航材需求的持续增长与波动加剧。航材种类繁多，既包含高价值的发动机零部件，也涵盖易耗的标准件，其需求受航班量、机型老化、维修计划、突发故障等多重因素影响，呈现出强不确定性特征。传统航材管理模式，人工记录与经验预测导致需求判断滞后，库存管理陷入“多存怕积压、少存怕短缺”的困境——库存过剩占用企业大量流动资金，有数据显示航空公司因航材积压造成的资金占用平均占其流动资金的15%–20%；而库存短缺则可能导致航班延误或停飞，单次延误给航空公司带来的直接经济损失可达数万元至数十万元。数字化技术的迅猛发展为破解这一难题提供了契机，大数据、物联网、人工智能等技术能够实现航材全生命周期数据的实时采集与深度分析，为需求预测提供精准依据。在此背景下，深入研究数字化背景下航材需求预测与库存优化策略，不仅能够帮助航空企业降低运营成本，更能提升航材保障的及时性与可靠性，对推动航空业高质量发展具有重要的现实意义。

一、数字化背景下航材需求预测的优化路径

（一）基于多源数据融合的需求预测基础构建

数字化背景下，航材需求预测的核心在于打破数据孤岛，构建涵盖多维度、全周期的数据采集与整合体系，为精准预测提供坚实数据支撑。传统预测模式仅依赖历史需求数据，忽略了航班计划、维修记录、设备状态等关键信息，导致预测结果与实际需求偏差较大。而多源数据融合模式下，数据来源涵盖三个核心层面：一是历史运营数据，包括过往3–5年的航材消耗数量、消耗频率、消耗时段，以及对应时期的航班起降架次、航线分布、载客率等关联数据，这些数据是分析需求规律的基础，通过趋势挖掘可识别航材需求的周期性特征；二是实时运行数据，借助物联网技术在飞机关键部件安装传感器，实时采集设备振动、温度、压力等运行参数，同时整合航班动态监控系统的实时数据，捕捉可能引发航材消耗的突发因素；三是关联辅助数据，包括飞机制造商提供的零部件设计寿命、推荐维修周期，航空维修企业的检修报告，行业监管政策调整（如适航指令更新），气象部门的极端天气预警，以及航材供应商的产能、交货周期等外部信息，这些数据能够帮助预判需求波动的潜在诱因。数据整合过程中，需通过数据清洗技术剔除传感器故障、人工录入错误等导致的异常值，利用标准化处理将不同系统、不同格式的数据（如Excel表格、数据库文件、文本报告）转化为统一格式，最终构建集中

式的航材需求数据仓库，并通过数据加密、权限管控等措施保障数据安全，为后续预测模型的运行提供高质量、高可信度的数据输入，从源头上提升预测的可靠性与准确性。

（二）预测性维护理论的融入与应用拓展

预测性维护基于设备实时状态数据预判故障相比传统预防性维护可节约30%~40%成本，Ameco研发的APCM平台通过监控飞机性能趋势实现故障预测，使预防性维护向精准化转型，为航材需求的提前预判提供了技术支撑。传统预防性维护采用“定期检修”模式，无论设备状态如何均按固定周期更换部件，易造成航材浪费与需求误判；而预测性维护则以“状态监测”为核心，通过实时采集飞机发动机、航电系统等关键设备的运行数据，运用算法模型分析设备性能变化趋势，精准识别故障隐患并预判部件剩余寿命，从而提前确定航材更换需求。这种模式将航材需求预测从“事后响应”转变为“事前预判”，大幅提升了需求预测的前瞻性与准确性。在数字化实践中，预测性维护与航材需求预测的融合需实现两个层面的协同：一是数据协同，将APCM等预测性维护平台的设备状态数据与航材需求数据仓库实时对接，实现故障预警信息向航材需求信号的快速转化；二是决策协同，当预测性维护系统发出部件故障预警时，需求预测模型立即计算该部件的更换时间窗口与数量需求，同步推送至库存管理系统，为航材采购与调配预留充足时间，避免因突发故障导致的航材短缺。

（三）人工智能算法驱动预测模型优化

数据基础与理论支撑完善后，预测模型的优化成为提升航材需求预测精度的关键，人工智能算法凭借强大的非线性拟合与复杂数据处理能力，成为数字化预测的核心工具。传统预测方法如时间序列分析、回归分析等难以应对航材需求多因素耦合的复杂特征，而人工智能算法能够通过自主学习挖掘数据间的潜在关联，提升预测模型的适应性与精准度。实践中可采用“特征筛选-模型优化-结果校验”的三阶优化路径：首先运用灰色关联分析（GRA）筛选影响航材需求的核心因素，剔除相关性低的冗余变量，降低模型计算成本；随后引入改进粒子群优化（IPSO）算法对支持向量机（SVM）等核心预测模型进行参数寻优，解决传统模型参数设置依赖经验的问题，提升模型的收敛速度与预测精度——有研究表明，基于GRA-IPSO-SVM的预测方法较传统方法，平均绝对百分比误差可下降2.18%，预测时间减少0.7

秒；最后建立动态校验机制，实时对比预测结果与实际需求数据，计算误差并反馈至模型，通过持续迭代调整参数，使模型适应航材需求的动态变化。同时，针对不同类型航材的需求特征，需构建差异化预测模型：对高价值、低消耗的关键部件，采用深度学习模型提升预测精度；对易耗、需求稳定的标准件，采用简化的机器学习模型保障预测效率，实现精度与效率的平衡。

二、数字化背景下航材库存优化的核心策略

（一）基于需求分层的库存结构动态调整

航材库存优化的首要任务是打破“一刀切”的库存管理模式，结合数字化需求预测结果，按航材重要性及需求特征进行分层分类管理，实现库存结构的动态优化。传统库存管理常因对各类航材采用统一管理标准，导致关键航材储备不足、普通航材积压严重。数字化背景下，可基于ABC分类法与需求预测精度构建二维分层体系：A类航材为高价值关键部件（如发动机叶片、航电核心模块），此类航材需求预测精度较高（得益于预测性维护的提前预判），但一旦短缺后果严重，库存策略应采用“最低安全库存+应急调配预案”模式，通过数字化平台实时监控库存水平，当低于安全阈值时自动触发采购流程，同时与周边航空公司或供应商建立应急共享机制；B类航材为中价值常规部件（如起落架附件、液压系统零件），需求兼具规律性与波动性，采用“经济订货批量（EOQ）+动态补货”策略，结合预测模型输出的需求周期与数量，计算最优订货批量，避免频繁采购增加成本；C类航材为低价值易耗件（如密封件、紧固件），需求稳定但消耗量大，采用“集中采购+循环补货”策略，通过数字化系统自动统计消耗速度，设定固定补货周期与批量，降低管理成本。同时，利用数字化平台建立库存结构动态监测仪表盘，实时展示各类航材的库存周转率、积压率等指标，定期生成优化报告，为库存结构调整提供数据支撑。

（二）基于供应链协同的库存资源共享机制

数字化技术打破了航空企业间、企业与供应商间的信息壁垒，为构建跨主体的库存资源共享机制提供了可能，这是解决航材库存积压与短缺矛盾的有效路径。传统航材库存管理呈现“各自为战”的局面，各航空公司独立储备航材，导致全行业库存总量过剩但局部资源短缺。数字化背景下的库存共享机制需构建“平台中枢-主体协同-利益共享”的三维体系：首先搭建行业级航材库存共享数字化平台，整合航空公司、维修企业、航

材供应商等多方主体的库存数据，实现航材规格、数量、存放位置等信息的实时共享，同时开发智能匹配功能，当某企业出现航材短缺时，平台自动筛选周边可用资源并生成调配方案；其次建立协同响应机制，明确各方在航材调配中的责任与流程——供应商负责保障长期库存供应，航空公司间建立临时调配绿色通道，维修企业提供航材质量检测支持，通过数字化平台实现需求申报、资源匹配、物流跟踪、费用结算的全流程线上化，缩短调配周期；最后设计利益共享与风险共担机制，通过平台记录各主体的资源贡献度与使用量，采用积分兑换或费用减免等方式平衡各方利益，同时引入保险机制覆盖航材调配过程中的运输损耗与质量风险，降低协同阻力。这种共享模式能够将分散的航材库存转化为“虚拟集中库存”，既减少单个企业的库存积压，又提升全行业的航材保障能力。

（三）基于全生命周期的库存成本精准管控

航材库存成本不仅包括采购成本与仓储成本，还涵盖积压损耗、短缺损失等隐性成本，数字化背景下的库存优化需实现全生命周期的成本精准管控，而非单一环节的成本压缩。传统成本管理因数据分散难以全面核算各类成本，导致决策偏向“采购成本最低”而忽略整体成本最优。数字化管控需构建“成本核算-动态分析-优化决策”的闭环体系：在成本核算环节，通过数字化平台追踪航材从采购、入库、存储、领用至报废的全流程数据，精准核算各环节成本——采购成本关联供应商报价与批量折扣数据，仓储成本涵盖库房租金、人工管理、设备折旧等费用，隐性成本则通过历史数据测算航材积压的资金占用利息、短缺导致的航班延误损失等；在动态分析环节，运用成本结构分析模型识别成本管控薄弱环节，例如若某类航材的仓储成本过高，可结合需求预测结果调整库存水平，或通过共享平台减少储备量；在优化决策环节，建立成本-效益评估模型，当面临采购方案选择时，综合测算不同方案的全生命周期成本与保障效益，而非仅考虑采购价格。例如对于需求波动大的航材，可选择“小批量多频次采购+应急共享”

的组合方案，虽然采购成本略有上升，但能大幅降低积压风险与隐性成本，实现整体成本最优。同时，通过数字化平台实时监控成本动态，当某类成本超出阈值时自动预警，确保成本管控的及时性。

总结

数字化转型为航材需求预测与库存优化提供了全新的技术路径与管理思路，有效破解了传统航材管理中需求预判不准、库存结构失衡、成本管控低效等核心难题。本文研究表明，航材管理的数字化升级需实现“数据-理论-算法-策略”的全链条协同：在需求预测层面，通过多源数据融合构建基础数据体系，融入预测性维护理论实现需求的事前预判，借助人工智能算法优化预测模型，三者共同支撑预测精度的提升；在库存优化层面，以需求分层为基础调整库存结构，以供应链协同为核心构建资源共享机制，以全生命周期管控为目标优化成本决策，形成全方位的库存优化体系。数字化背景下的航材管理本质是数据驱动的精化管理，其核心价值在于通过实时数据采集与深度分析，实现航材需求与库存资源的动态匹配，既保障飞行安全与航班正常运营，又最大限度降低管理成本。未来，随着5G、数字孪生等技术的进一步应用，航材需求预测将向“实时化、可视化”升级，库存管理将实现“全链条智能化协同”，航空企业需持续加大数字化投入，完善数据治理体系，推动航材管理模式的不断创新，以适应航空业高质量发展的时代要求。

参考文献

- [1] 王勇. 浅析东航技术航材管理的数字化路径[J]. 航空维修与工程, 2024, (09): 14-17.
- [2] 云冀涛, 张逸俊, 王晓宇. 基于数字化手册工卡提升航材高效准备的策略研究[J]. 民航学报, 2023, 7(06): 115-117+26.
- [3] 康鸣翠, 陆轶. 教学用小型航材与工具库数字化管理方法[J]. 智库时代, 2019, (36): 204-205.