

适航安全与运营效率双目标驱动的智能航材保障模式研究

祁宇

北京飞机维修工程有限公司, 中国·北京 100621

摘要: 随着民航业竞争激烈且成本压力大, 航材供应链管理影响航空公司经济效益与安全。传统管理模式难满足现代民航业需求。本文探讨如何借助物联网、智能仓储、人工智能与数字孪生等技术, 实现航材库房与物流系统优化, 构建完整框架。研究显示, 实施智慧库房、全程可视化追踪与预测性分析等策略, 能有效优化库存结构等。本研究为民航企业推进航材精细化管理与数字化转型提供解决方案。

关键词: 航材管理; 智能库房; 物流协同; 数字化; 物联网技术

Research on Intelligent Aviation Material Support Model Driven by Dual Objectives of Airworthiness Safety and Operational Efficiency

Qi Yu

Ameco, China Beijing 100621

Abstract: With fierce competition and increasing cost pressure in the civil aviation industry, aviation material supply chain management directly affects the economic benefits and operational safety of airlines. Traditional management models can hardly meet the requirements of the modern civil aviation industry. This paper discusses how to optimize aviation material warehouses and logistics systems and construct a complete framework by using technologies such as the Internet of Things, intelligent warehousing, artificial intelligence, and digital twin. Research shows that strategies such as smart warehouses, full-process visual tracking, and predictive analysis can effectively optimize inventory structure. This study provides solutions for civil aviation enterprises to promote refined management and digital transformation of aviation materials.

Keywords: Aviation material management; Intelligent warehouse; Logistics collaboration; Digitalization; Internet of things technology

0 引言

民航业的安全与正常运行依赖于机务维修体系, 航材管理呈现出显著特征。许多航空企业仍沿用传统的航材仓库管理模式, 普遍面临信息化孤岛、自动化水平低、溯源效率低下以及安全合规风险高等问题。随着航空市场竞争加剧与成本压力持续攀升, 航材库存所占用的巨额资金已成为航空公司沉重的财务负担。为满足持续适航的强制性要求, 企业必须在“储备足量航材以防范飞机停场风险”与“避免过度采购导致资金无效沉淀”之间寻求精妙平衡, 这一矛盾构成了当前航材管理的核心挑战。本文立足于机务维修对航材保障的实际需求, 在符合适航安全条件下, 通过数据驱动决策、流程智能重构以及全程可视可控, 最终实现保障能力提升、库存结构优化与供应链整体效能的跨越式升级。

1 机务维修航材保障体系的特性与现存管理瓶颈

1.1 航材保障在维修场景下的核心需求特性

民航航材供应链承载着支撑飞行安全与航班正点的特殊使命, 其在维修应用场景下表现出若干固有特性。首先, 航材具有高价值与高不确定性的双重特点, 例如发动机、起落架等核心部件单件价值极高, 且其故障发生具有强随机性, 导致需求预测异常困难。其次, 保障的时效性要求极高, 维修计划尤其是定检工作具有严格的时间窗口, 飞机停场待修状况下更要求数小时内完成紧急件的调拨与送达, 响应速度直接关系到飞机复飞时间。第三, 整个流通过程受到法规与适航管理的刚性约束, 航材的采购、保管、流转与安装必须全程符合适航规章和技术文件规定, 确保全程可追溯性, 这是航空安全运行的法定底线。最后, 航

材的全生命周期管理极为复杂,其状态涉及新品、可用件、在修件、报废件等多重转换,管理链条长,且需要与原始制造商、第三方维修单位等多方进行高效协同。

这些特性决定了航材管理绝非普通的物资管理。例如,在执行一次主流机型的定检时,保障团队必须提前精确梳理出涵盖数百乃至上千项的关键航材清单,并对每一件航材的件号、序号、批次号及适航状态进行多次交叉核验,确保“一项不漏、一项不错”,其管理精度与复杂性要求远高于一般工业领域。

1.2 当前保障体系面临的主要运行瓶颈

尽管航材保障至关重要,但许多航空企业在实际运行中仍面临一系列系统性的管理瓶颈。在库存结构方面,常备件与非常备件的界定往往模糊不清,缺乏基于维修历史数据的科学分类方法,导致高价值、慢周转的部件大量积压,占用巨额流动资金,而某些常用消耗件却时常面临缺货风险,直接影响日常维修工作的效率。

在信息化建设方面,计划、采购、仓储、财务与维修车间等各部门间的信息系统常常互不联通,形成了信息孤岛。需求信息在传递过程中容易产生失真与延迟,导致采购计划与维修实际需求严重脱节,预测偏差大,决策响应缓慢。物流配送模式也相对僵化,多采用固定的订货点和经济订货量模型,难以灵活响应因机队状况变化、季节性波动或突发故障导致的动态需求,无法实现库存持有成本与订货成本的整体最优。此外,航材配送中心的网络布局也往往未能充分考虑全国机队分布与各维修基地的联动需求。

在供应链协同层面,与上游制造商、分销商以及第三方维修厂之间普遍缺乏有效的信息共享与业务协同机制,无法充分利用外部库存资源和维修能力来平滑自身的保障压力,导致整个供应链的韧性不足。上述瓶颈共同导致了航材保障总成本居高不下、资金周转效率低下,并可能因关键航材缺件而延误维修工期,进而影响航班正常率与公司的整体运营效益。因此,借助智能化技术打通关键堵点、重构业务流程,已成为提升航材保障体系整体效能的必然选择。

2 面向维修保障的智慧航材库房关键技术体系

2.1 构建符合适航要求的智慧库房系统框架

为系统应对航材管理的复杂挑战并满足机务维修的精准保障需求,我国航空运输业正积极推动相关标准的建设与落地。2025年6月,中国航空运输协会正式批准发布的团体标准《航空器材智慧仓库系统建设要求》,标志着航

材仓储管理向数字化、智能化与标准化的深度融合迈出了关键一步。该标准构建了“终端感知层-网络通信层-运行资源层-应用服务层”的四级系统架构,为核心要素与技术要求提供了明确指引。

这一架构旨在实现航材从入库、存储、盘点、拣选到出库的全流程数字化闭环管理。通过标准化与自动化的作业流程,能够显著提升仓储作业效率与准确性,减少对人力的依赖,从而降低操作成本与差错率。更为重要的是,系统内嵌的实时监控、智能预警机制以及严格的权限与数据安全管控,能够有效防范库区安全风险,确保航材在仓储环节的物理状态与信息记录符合适航法规的追溯要求。该框架不仅为航材智慧库房的规划与建设提供了清晰的技术实施路径,也填补了国内在该领域系统性建设标准的空白。

2.2 物联网及智能装备在库房作业中的应用实践

在智慧库房的具体建设中,物联网技术与智能化仓储装备构成了实现高效、精准作业的物理基础。射频识别技术作为物联网感知层的核心之一,在航材库存管理中发挥着革命性作用。传统依赖人工条码扫描的管理方式存在效率低、易出错、信息更新滞后等问题。通过为每一件航材赋予唯一的RFID标签,系统能够实现对航材的远距离、批量化、非接触式自动识别,实时采集其身份、位置与状态信息。这极大地提升了库存可视性与盘点效率,使库存准确性接近100%,为维修计划的顺利执行提供了可靠的实物信息保障。

除RFID外,一系列自动化仓储设备共同构成了智慧库房的执行体系。高层立体货架、自动存取系统、穿梭车、智能搬运机器人以及自动分拣线等设备的集成应用,通过仓库管理系统进行统一调度与协同。这些设备能够替代大量重复性、高强度的人工操作,实现物料的自动存储、搬运与分拣,不仅大幅提升了仓储空间的利用率和作业效率,也降低了人员劳动强度与安全事故风险。国内领先的航空公司和MRO企业,如深圳航空、GAMECO(广州飞机维修工程有限公司),通过建设自动化立体仓库项目,已经验证了该模式在提升航材响应速度与仓储管理精细化水平方面的显著成效。

2.3 人工智能与数字孪生驱动的预测与决策优化

随着技术的深入发展,数字孪生与人工智能等前沿技术正为航材库房管理注入更强的预测与优化能力。数字孪生技术通过构建与物理库房完全映射的虚拟模型,实现了仓储空间、设备、流程与库存状态的实时可视化与同步。

管理人员可以在数字孪生体中进行库房布局仿真、作业流程模拟、人员与设备动线优化,乃至应对突发情况的预案推演,从而在投入实际改造或调整前,以极低成本验证方案可行性并规避潜在风险。例如,通过为关键设备加装定位模块,可在数字孪生平台上实现对其位置的实时监控与历史轨迹回溯,增强了设备管理与调度能力。

人工智能技术的应用则使航材管理从被动响应转向主动预测与智能决策。在需求预测方面,通过应用 LASSO 等算法筛选影响航材消耗的关键因素,并利用 K-means 聚类将历史数据划分为具有相似特征的子集,进而构建基于支持向量机等机器学习算法的精准预测模型,能够显著提高对不同类别航材未来消耗量的预见性。在风险识别与决策支持方面,基于神经网络等算法可以对历史缺件停飞事件进行深度分析,挖掘背后的根本原因与关联规律,帮助管理者提前识别供应链薄弱环节,优化库存策略与采购计划。这些智能技术的综合应用,正在推动航材保障模式由经验驱动向数据驱动和模型驱动的科学决策阶段演进。

3 智能航材物流与协同管理创新

3.1 智能物流系统与物流优化

物流系统(WMS)是航材保障体系的重要组成部分。通过物流系统,可以实现消耗件、周转件、大件航材的分类存储及信息化管理。这种分类存储策略不仅提高了仓储空间利用率,还能根据不同类型航材的特性,采取最合适的存储和搬运方式,提高整体物流效率。智能化物流系统即部署智能验收、存储和分拣设备,无人搬运车,自动导引运输车等硬件,实现货物从入库到出库的关键主链路自动化操作,同时集成物联网覆盖航材全链条,实时采集器材存储情况信息,如温湿度、库存位置、库寿情况等准确数据,确保航材的高时效性精准监控。

在物流优化方面,基于多阶响应的约束和流量限制特点,可以建立多物资整体规划选址模型,为航材仓库选址提供科学依据。针对就近航材配送决策,综合考虑多种因素,得出更合理的选址方案。这些优化方法的应用,可以有效提高航材物流效率和经济性,确保航材能够及时、准确地送达需要的地点。例如,有些航材库房位于机坪管制区内,提前规划航材所在库房选取与配送决策,可以有效地规避器材需要长时间调配的问题,更好地保障适航维修。

3.2 协同管理模式创新

航材管理的协同模式正在不断创新,其中最具代表性的是“航材超市”模式。近日,在海南自贸港一站式飞机

维修产业基地内,海航技术牵头推进与空中客车集团旗下的全资子公司欧航航材合作的航材超市项目正式投入使用,标志着海南自贸港首家飞机制造商参与合作打造的航材超市正式运营。该模式融合了欧航航材的全球库存资源与海航技术的本地化服务能力,实现了“零库存占用+即时响应”的创新服务模式。

航材超市模式的突出优势在于,供应商以寄售方式存放航材,使用后按实际消耗结算,有效降低航材投资成本。这种模式通过优化采购策略、缩短订货周期,形成覆盖约3000个件号,年交易额约7000万元的航材储备规模,同时大幅降低库存资金占用。此外,依托自贸港政策红利,该项目在海口空港保税库实现了“境内关外”的特殊监管模式,使航材进口环节享受免税政策,降低综合保障成本,提高资金利用率。

3.3 全程可视化与智能预警

智能化的航材物流系统实现了从需求到入库的全流程状态可视化,使管理及操作人员实时掌握在途、在检、在修等环节信息,提升跨部门协作效率。以国航系航空公司为例,在航材保障任务中,依托“一物一档”的数字化追溯体系,对每项航材的件号、序号、批次等关键信息进行多轮交叉核验,并结合历史保障数据进行智能预判潜在需求。

在定检实施期间,团队通过“专人专岗跟进+分区精准投送”的高效机制,确保航材“即需即达”。安排专职调员实时对接检修进度,按照“急用优先、批次匹配”的原则动态优化配送计划。针对精密航材对温湿度、防震等特殊运输要求,严格执行“全程轨迹记录、环境参数监控”的标准,通过定制化包装、专用转运设备及数字化监控平台,实时追踪航材的流转路径及存储环境,规避运输过程中的损耗风险。

Ameco(北京飞机维修工程有限公司)通过航材运输可视化监控追踪项目,实现航材物流信息透明化。在符合适航规定安全架构与规范内,开发航材移动运输小程序,实施航材物流全流程安全监测。公司运输部门将内网航材管理系统(HANA)中的订单状态、运输车辆、用户需求数据等航材存在的各个生产环节深度融合,准确完成航材定位。它标志着航材运输保障全面进入可视化管理,是驱动航材物流智能化数字化的关键项目。

4 结语

在民航业走向高质量发展与精细化运营的背景下,航材供应链管理已从辅助保障职能演进为影响公司竞争力的

战略环节。推进航材库房与物流管理的智能化与数字化转型，不仅是提升保障效率和降低成本的手段，更是构建企业核心竞争力的关键战略。对于民航企业而言，抓住智能化发展机遇，构建智慧航材保障体系，将在未来的行业竞争中占据领先地位。

参考文献：

[1] 周丽华, 谢福哲. 航材供应链管控能力提升方案研究 [J]. 中国航务周刊, 2025, (43): 60-62.

[2] 柳青岑, 张岩, 仇义霞. “双碳”目标下通用航空产业绿色发展趋势与路径探析 [J]. 成都航空职业技术学院

学报, 2025, 41 (03): 62-66.

[3] 李江, 陈俊. 航空业外委航材配送至控制区的效率优化与安全协同管理 [J]. 中国航务周刊, 2025, (36): 78-80.

[4] 甄年昌. 浅析航空运营人对航材分销的管理 [J]. 航空维修与工程, 2024, (11): 47-49.

[5] 廖浩源. 航空公司航材供应链保障体系策略分析 [J]. 中国航务周刊, 2023, (25): 64-66.

作者简介：祁宇（1991.02-），男，汉族，北京人，大学本科，助理工程师，研究方向：机务维修、航材管理。