

试论飞机维修生产计划与控制优化

赵立娜 郭增波

国网电力空间技术有限公司 北京 100000

摘要: 飞机维修生产计划与控制优化对保障航空安全、提升运营效率意义重大,航材管理是其中关键环节。本文围绕飞机维修生产计划,剖析不同维修任务类型与航材需求关联,探讨航材管理对生产计划的影响。提出需求预测与库存优化、维修方案与航材协同设计等生产计划优化策略,以及过程控制与航材跟踪等生产控制优化策略。还阐述了数字化技术、新型航材管理技术在航材管理创新中的应用,为飞机维修生产计划与控制优化提供全面思路与实用方法。

关键词: 飞机维修; 生产计划; 航材管理; 优化策略; 技术创新

引言:在航空运输业高速发展的当下,飞机维修作为保障飞行安全与运营效率的关键环节,其生产计划与控制的科学性和有效性愈发重要。航材作为飞机维修的核心资源,其供应的及时性、适配性以及库存管理的合理性,直接影响着维修计划的执行进度与质量。当前,飞机维修面临着维修任务复杂多样、供应链不确定性增加等诸多挑战。因此,深入探讨飞机维修生产计划与控制优化,尤其是如何紧密结合航材管理,成为提升航空企业竞争力、保障航空运输安全稳定运行的迫切需求。

1 飞机维修生产计划的核心要素与航材关联

1.1 维修任务分类与航材需求

飞机维修任务依据作业场景与周期特征可分为航线维修、定检及非例行维修三类,不同任务类型对航材的需求模式存在显著差异。航线维修聚焦于航班运行期间突发故障的快速处置,作业范围通常限于飞机表面检查、简单部件更换等小范围操作,具有高频次、短周期的特点^[1]。此类任务要求航材供应具备即时响应能力,所需物资以消耗性部件为主,如各类滤芯、密封件、标准件等,这些航材的库存需贴近维修现场,以缩短故障处置时间。定检作为周期性系统维护的核心环节,涵盖A检、C检、D检等不同深度级别,涉及飞机结构、系统、动力装置的全面检查与部件更换。此类任务需提前规划航材储备,重点配置周期性更换部件,例如轴承、液压组件、传动部件等,其库存管理需结合维修周期与部件寿命周期,确保在检期间关键航材的可用性。非例行维修主要针对突发故障或适航指令要求的专项任务,具有不可预测性与技术复杂性。此类任务对航材的依赖集中于高价值、长采购周期的部件,如发动机叶片、航电设备、复合材料结构件等,其供应能力直接决定维修进度,需通过建立紧急采购通道或战略储备机制保障需求。

1.2 航材管理对生产计划的影响

航材库存水平是平衡供应保障与成本控制的矛盾体。高库存策略虽能降低缺货风险,但会占用大量流动资金,增加仓储管理成本;低库存模式依赖供应链的快速响应能力,需通过优化供应商布局、缩短采购周期等方式弥补库存不足。供应链可靠性涵盖供应商交货准时率、物流运输效率等维度,直接影响维修计划的可调整空间,稳定的供应链可增强计划弹性,应对突发需求变动。航材适配性需考虑机型差异化需求,窄体机与宽体机在部件尺寸、性能参数等方面存在显著差异,需通过模块化库存设计或机型专用储备策略,确保航材与维修对象的精准匹配,避免因适配问题导致计划延误。

2 飞机维修生产计划优化策略

2.1 需求预测与库存优化

航材需求预测需以数据为支撑,通过整合历史维修记录、部件故障率、季节性运营特征等多维度信息,构建动态需求模型。该模型可捕捉航材消耗的周期性规律与突发波动,为库存策略提供量化依据。库存管理需实施分层分类控制,针对不同价值与使用频率的航材制定差异化策略。高价值低使用率的A类航材,如航电设备、发动机关键部件,宜采用“按需采购”模式,通过与供应商签订紧急供货协议或引入供应商管理库存机制,在降低库存成本的同时保障供应及时性;中等价值中等使用率的B类航材,如液压组件、标准轴承,需设置安全库存阈值,结合再订货点模型,当库存降至预设水平时触发补货流程,平衡缺货风险与持有成本;低价值高使用率的C类航材,如密封件、紧固件,可通过批量采购降低单位成本,利用经济订货量模型优化采购频次。库存计划需建立动态调整机制,通过实时监控维修现场航材消耗速度与任务进度偏差,对预测模型进行滚动修正,确

保库存水平与实际需求保持动态匹配。

2.2 维修方案与航材协同设计

维修任务组包需强化航材关联性分析，将依赖相同航材或工具的任务整合为标准化模块，例如将涉及同一液压系统的检查、更换任务合并执行，减少航材往返调拨次数，提升作业效率。这种整合方式不仅能降低人力和时间的浪费，还能减少因频繁调拨航材可能带来的损坏风险^[2]。针对长采购周期航材，需开发功能等效的替代方案，包括符合适航标准的翻新件、改进型部件或跨机型通用件，通过技术验证纳入维修方案，缩短供应等待时间。在开发替代方案时，要严格遵循相关标准和规范，确保替代航材的质量和性能与原航材相当。预装配航材包设计需结合任务类型特征，例如为航线维修准备包含常用滤芯、密封件的标化工具箱，为定检任务提前组装结构件、传动部件套装，通过空间整合与标识管理缩短现场准备时间，降低人为配置错误风险。合理设计的预装配航材包能够使维修人员快速获取所需航材，提高维修工作的准确性和效率。

2.3 供应链协同与应急管理

供应商管理需建立分级合作机制，与核心供应商签订长期战略合作协议，通过信息共享、联合库存管理等方式确保关键航材的优先供应权，同时定期评估供应商交货准时率、质量稳定性等指标，优化合作资源分配。长期稳定的合作关系有助于供应商更好地了解企业的需求，提前做好生产和供应准备。多源供应渠道开发需覆盖不同地域、不同技术路线的供应商，例如同时引入原厂件与PMA（零部件制造人批准）件供应商，分散供应链中断风险。不同地域的供应商可以在面对自然灾害、地区政治冲突等突发情况时，提供更可靠的供应保障。应急航材保障需构建行业协同机制，联合航空公司、维修企业建立共享航材库，通过数字化平台实现库存可视化与快速调配，针对突发故障或大规模检修任务，快速调集所需航材，缩短非计划停机时间。共享航材库能够整合行业内的资源，提高航材的利用效率，在紧急情况下发挥重要作用。

2.4 计划与控制的动态衔接机制

维修生产计划的落地需建立计划执行与过程控制的实时反馈通道，通过设定10个以上关键进度节点的动态校验阈值，实现计划调整的敏捷响应。这些关键进度节点涵盖了维修工作的各个重要环节，能够全面监控维修计划的执行情况。当维修现场出现航材供应延迟、任务难度升级等偏差时，系统自动触发计划重排流程，同步更新航材需求清单与库存调配指令，确保计划调整与资

源保障的协同联动。及时的计划重排能够避免因偏差积累导致更大的问题，保证维修工作能够按照新的合理计划顺利进行。衔接机制需明确计划部门与控制部门的权责划分，计划部门负责基准计划制定与偏差评估，控制部门聚焦现场执行数据每2小时一次的采集与异常上报，通过标准化信息流转流程，减少跨部门协同滞后。清晰的权责划分和标准化的流程能够提高部门之间的协作效率，确保信息传递的准确性和及时性。

2.5 多任务并行下的资源调度优化

多架飞机同期维修或同一飞机多系统检修时，需构建基于优先级的资源调度模型，综合考量航班恢复紧迫性、维修任务复杂度、航材稀缺程度等因素，确定任务执行顺序。合理的优先级设定能够确保重要的维修任务优先得到资源支持，保障航班的正常运行。针对共享资源（如专用工具、稀缺航材），采用分时复用策略，通过精准计算任务所需资源时长，合理分配资源使用窗口，避免资源冲突导致的计划延误。分时复用策略能够提高资源的利用效率，使有限的资源发挥最大的作用。调度优化需与航材库存状态实时联动，当高优先级任务触发航材需求时，自动调整低优先级任务的资源分配方案，确保核心任务的资源保障优先级。实时联动的机制能够根据实际情况及时调整资源分配，保证维修工作的高效进行。

3 飞机维修生产控制优化策略

3.1 过程控制与航材跟踪

航材动态追踪需依托物联网技术构建实时监控网络，通过在库存区域部署传感器与射频识别设备，自动采集航材位置信息、使用状态及剩余寿命数据^[3]。系统可对航材全生命周期状态进行可视化呈现，例如标记在库、领用、维修中、报废等不同阶段，为生产调度提供精准资源定位。维修工单与航材清单的绑定需通过数字化系统实现强制关联，当工单生成时自动关联所需航材型号、数量及库存位置，避免因人工匹配错误导致任务延误。异常预警机制需设定动态阈值，例如根据历史消耗数据计算航材日均使用量，当实际消耗速度超过基准值一定比例时，系统自动触发补货申请或跨基地调配指令，同时向采购、库存管理部门推送预警信息，确保航材供应与维修进度保持动态平衡。

3.2 跨部门协同与信息共享

维修、航材、采购三部门的数据贯通需建立统一信息平台，通过5个以上标准化接口实现维修需求提交、航材库存查询、采购订单跟踪等功能的集成化操作。例如维修部门在系统中提交工单时，系统自动比对库存数

据,若库存不足则直接生成采购申请并推送至采购模块,减少人工流转环节。数字化工具的应用需覆盖航材管理全流程,维修人员通过移动终端扫描航材条码即可完成领用登记、使用反馈与归还确认,系统自动更新库存数量并记录操作日志,单条操作耗时控制在30秒内,提升数据采集效率与准确性。可视化看板需整合多维度数据指标,通过动态仪表盘展示航材库存周转率、缺货率、库存周转天数等关键参数,支持按机型、航材类别、仓库位置等维度进行钻取分析,为管理层提供决策支持。

3.3 质量控制与航材追溯

航材全生命周期管理需记录从采购验收、入库存、领用出库到维修使用、报废处理的完整信息链,例如记录供应商名称、批次号、适航认证文件、验收检测结果等10项以上核心数据,确保每件航材来源可溯、去向可查。质量追溯链条的构建需依托唯一标识技术,为每件航材分配二维码或射频标签,通过扫描即可快速调取其维修历史记录、更换次数、剩余寿命等信息,满足适航监管部门审计要求。不合格航材的管控需建立闭环处理流程,当检测发现航材性能不达标时,系统立即锁定该航材状态并标记为“不可用”,同时生成不合格品处理工单,指定专人在24小时内负责隔离存放、原因分析、返修或报废处置,防止不合格航材流入维修环节影响飞行安全。

4 技术赋能与航材管理创新

4.1 数字化技术应用

大数据技术为航材管理提供量化决策支持,通过整合历史维修记录、航材消耗数据、季节性运营特征等多源信息,构建航材需求预测模型。该模型可识别不同机型、不同航线的航材消耗差异,动态调整库存参数,例如根据发动机运行小时数预测滤芯更换周期,或结合航线气候条件调整密封件储备量,实现库存水平与实际需求的精准匹配^[4]。人工智能算法的应用进一步提升了决策效率,机器学习模型可分析航材消耗趋势与维修任务关联性,自动生成补货时间、数量及供应商选择的最优方案,减少人工规划的主观偏差。区块链技术的引入重构

了航材供应链信任机制,通过分布式账本记录航材全生命周期信息,包括采购来源、维修历史、适航认证等数据,确保信息不可篡改且可追溯,有效遏制假冒伪劣航材流入市场,提升供应链透明度与合规性。

4.2 新型航材管理技术

3D打印技术为航材供应开辟了柔性制造路径,针对非标件、紧急件或低频使用航材,可通过数字化建模快速打印符合适航标准的部件,例如定制化支架、特殊形状密封件等,显著缩短供应链周期,降低库存成本。智能仓储系统通过AGV机器人与自动化货架的协同作业,实现航材从入库到出库的全流程无人化操作,机器人根据系统指令自动完成航材定位、抓取与运输,结合射频识别技术实时更新库存状态,提升仓储空间利用率与分拣效率。预测性维护与航材管理的深度融合,依托飞机健康管理系统(AHM)实时监测部件性能参数,当系统检测到潜在故障风险时,自动触发航材预调配指令,将所需航材提前运输至预计维修基地,缩短故障处置时间,提升维修计划执行可靠性。

结束语

飞机维修生产计划与控制优化是一个涉及多环节、多要素的系统工程,航材管理贯穿其中,起着至关重要的作用。通过实施需求预测与库存优化、维修方案与航材协同设计等策略,以及借助数字化技术和新型航材管理技术,能够有效提升航材管理效率,保障维修计划的顺利执行。这些优化措施不仅有助于降低维修成本、提高维修质量,更能增强航空企业应对各种挑战的能力,为航空运输业的持续稳定发展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]韩成杰.飞机维修生产计划与控制优化分析[J].中国设备工程,2022(2):45-46.
- [2]张华强.飞机定检维修延误分析与探讨[J].航空维修与工程,2023(3):67-69.
- [3]何镡.飞机维修生产计划的智能编排[J].航空维修与工程,2023(3):27-29.
- [4]史有军.航空公司飞机大修生产计划管理研究[J].模型世界,2024(3):177-179.