

民航适航维修成本控制与资源优化配置策略研究

吴晶晶 徐申

长龙（杭州）航空维修工程有限公司，浙江杭州，311200；

摘要：在全球航空业竞争加剧与盈利压力下，本研究旨在探讨民航业如何在保障适航安全的同时，有效控制维修成本并优化资源配置。维修成本作为运营关键支出，其精细化管理是提升企业核心竞争力的核心。本文首先剖析维修成本的构成与挑战，进而深入研究基于全生命周期管理、数据驱动预测性维修、精益流程改进，以及人力与航材资源协同优化等策略。研究认为，通过整合技术创新、管理优化与战略协同，航空公司可构建科学高效的成本控制与资源配置体系，从而兼顾航空安全与可持续经济效益。

关键词：民航维修；适航性；资源优化；预测性维修；精益管理

DOI：10.64216/3080-1508.25.09.041

引言

民航运输业属于技术密集型和资本密集型产业，它的安全，高效运作是国民经济发展的重要支撑，适航性是民航安全管理的根基，航空器及其部件在整个使用期间必须一直处在安全可用的状态，要达到这个要求，航空公司就得投入大量资金来开展飞机的定时检修，查找故障，替换部件，更新技术，所以维修费用成了仅次于燃油和人力成本的第三大运营开支，不过，在市场竞争愈发激烈，全球经济形势存在诸多不确定因素的情况下，传统的粗放式维修成本管理方式已经无法继续下去。怎样在完全符合适航法规，保障绝对安全的基础上，合理控制维修成本，有效安排维修资源，这是每一个航空公司都要面对而且急需解决的大问题，本研究从当下的民航维修领域实际状况和难题出发，全面探究成本控制和资源安排的可行办法，希望给航空公司的精细管理给予理论参照和操作指引。

1 民航适航维修成本构成及控制挑战

1.1 维修成本的核心构成要素

民航适航维修成本一般可划分成直接成本和间接成本两大类。直接成本属于直接和维修任务有关的支出，包含航材成本，人工成本以及外委维修成本，航材成本是维修时所用的各种备件，周转件，消耗品和原材料的花费，它是整个维修成本当中占比最重的部分，常常超过一半，发动机，起落架这些高价值部件的更换和修理，直接影响到航材成本的多少。人工成本主要指维修人员薪酬、福利、培训等开支，拥有专业资质且具备丰富经验的机务人员人力成本不断攀升，这部分支出也愈发明显。外委维修成本是航空公司把部分或全部维修工作（如发动机大修、附件深度修理）交由第三方维修单位

（MRO）执行而产生的费用，这是航空公司基于自身维修能力及成本效益考量做出的战略决策^[1]。

间接成本则不然，它不是直接归属于某个特定维修任务的费用，而是为了维持整个维修系统正常运转所必需的开支，主要包含工具设备折旧及维护费，机库，厂房等基础设施的租赁或者折旧费，维修管理信息系统的开发与运维费用，质量审核，安全管理费用以及行政管理人员的开销等，这些成本虽不直接出现在单次维修活动之中，但其总额十分庞大，对航空公司的整体盈利水平有着举足轻重的影响，各个成本要素彼此联系，共同形成了民航维修成本的全貌，任何一个环节的成本变动都有可能给总体成本带来明显的影响。

1.2 新形势下的维修成本控制挑战

当下民航业快速向前迈进，新技术不断涌现的情况下，给维修成本控制带来不少新的麻烦，一是，新型号飞机像 B787，A350 这样的，更多使用复合材料，并且把大量设备整合到航电系统中去，它们的维修理念，技术标准以及所需设备与旧式机型大不一样，这就使得公司得做不少前期投入以培训员工，买工具设备，更新维修方法，短时间内成本飞速上涨，另外一点就是新的材质加上复杂的系统带来的维修数据积累较少，这样就让准确预估并控制维修开支变得更加困难。二是，由于全球供应链存在一些不确定的因素，在这方面，航空公司面对着诸多风险以及高昂的成本，在采购关键航材方面常常会遭遇长时间的采购期，价格起伏较大还有可能出现物流中断等情况出现的时候，这些因素都会促使公司必须提升安全库存量，这样一来就占用掉很多流动资金，而随之来的仓储以及管理方面也相应地产生了不少额外费用。

其二，数据孤岛问题仍然存在。现代飞机可以产生

大量的飞行数据和状态监控数据,但是许多航空公司飞行、维修、航材、财务等系统之间并没有完全打通,数据没有得到有效的整合和深入分析,导致基于数据的预测性维修能力无法充分发挥,大量的维修活动仍然停留在基于固定时间间隔的预防性维修模式上,导致维修资源的浪费或维修不足的风险。而且,日益严格的环保法例对维修活动的要求也在变高,像化学品用法,废弃物处置之类的地方要采用更新的环保方法,可是这些办法也许成本会高些,这也成了成本控制里要考量的新要素,这些挑战一齐起作用,就使得民航维修成本控制变成了一项繁杂的体系工程,要靠体系化的战略思路和革新化的经营办法来应付。

2 全生命周期管理视角下的维修成本控制策略

2.1 飞机引进阶段的成本源头管控

航空器维修成本很大程度上由其引进时的决策决定。在机队规划和飞机选型阶段就要前瞻性地考虑不同机型的维修经济性,而不仅仅是飞机的购买价格,还要深入研究其设计可靠性、维修接近性、主要部件尤其是发动机的预期维修成本、航材通用性以及制造商提供的售后支持方案等。比如,选择与现有主力机队通用性较高的机型,能在航材储备、人员培训、工具设备等方面实现规模效应,大幅降低后续运营成本。购机合同谈判时,要积极争取更优的保修条款,技术支持服务包以及初始备件打包方案,这些都是在源头上把控未来维修成本的关键环节,同时,融资租赁的飞机,其租赁合同中有关飞机状况、维修储备金的条款对航空公司现金流及最终维修支出有直接而重要的影响,一定要精算并展开谈判,防止因为条款不合理而在飞机退租时产生大量的额外费用。

2.2 运营期维修方案的优化与执行监控

飞机进入航线运营后,主要工作就是围绕维修方案不断改进。最初维修方案是由飞机制造商提供,但通常比较保守,都是基于普遍性假设,航空公司需要建立强大的工程技术团队,以自身机队实际运行数据(如飞机日利用率、循环比、航线环境等)、可靠性数据(如部件故障率、非计划更换率)和最新的服务通告(SB)和适航指令(AD)为基础,对维修方案进行科学、慎重的调整。利用可靠性分析合理延长部分检查间隔、优化维修任务内容,在不影响安全水平的前提下,减少不必要的停场时间及维修成本。比如从传统的硬时限维修模式转向视情维修和状态监控维修,这是减少预防性维修成本的有效方法。还要加强对维修执行过程的监控,保证

所有维修工作都能按照标准来进行,不能因为维修质量不好而出现重复修理或者非计划停场的情况,这些事情都会直接造成航班延误,旅客赔偿等一系列高昂的额外损失^[2]。

2.3 飞机退役阶段的成本管控与价值优化

飞机要接近退役或者退租的时候,它的维修成本管理策略就应该集中在怎样用最少的钱达成合同需求或者把资产价值最大化上,对于租赁来的飞机,必须事先规划好并且坚决执行退租检修的工作,保证机身,发动机,起落架以及各个重要部件的状态符合租赁协议里规定的条件,不能等到最后时刻才急急忙忙地赶工或者部件状态不合格就产生巨额的罚金或者赔偿费用,这涉及到维修,工程,合同等部门的密切配合,从好几年前就要开始细致地筹划和准备。自有产权的飞机如果要出售,就需按照潜在市场的需要做些合适的整修和记录文件准备,好让它的市场价值得到提高,要是想拆解,就要仔细规划高价值部件的拆解,修理和认证过程,让这些部件能成为二手航材重新投入市场流通,这样就能回收一些残值,在这个阶段,精确的成本预算和有效的项目管理成了控制最后花费,做到资产处置收益最大化的重要环节^[3]。

3 数据驱动的预测性维护与资源优化配置

3.1 大数据技术在故障预测与健康管理中的应用研究

现代航空器装有成千上万个传感器,在飞行期间可以即时获取诸如发动机参数,液压系统压力,振动数值,电子部件温度等很多数据,然后通过 ACARS(飞机通信寻址与报告系统),QAR(快速存取记录器)之类的途径传送到地面,大数据分析平台可把这些庞大的飞行参数数据,以前的维修记录,部件替换信息,环境数据等全部整合起来,借助机器学习算法(比如回归分析,神经网络,支持向量机等)创建飞机系统及其关键部件的健康状况评价模型。这些模型可以察觉正常运转时微小的参数偏移和异常走向,于是能够在故障出现之前好几个飞行循环甚至几周便发出警报,拿发动机排气温度(EGT)的趋势监测来说,就能预估其内部零件可能存在的衰退情况,进而提前安排内窥镜检测或者性能恢复性质的水洗作业,防止突发的性能下滑造成航班中断并产生更昂贵的修复费用,这种从“被动应付”到“预先看见”的改变,正是提升维修效率并削减非计划性停场的关键技术途径。

3.2 预测性维修导向的航材与人力资源精确配置

预测性维修取得成功应用之后,给航材和人力等关键维修资源的有效调配带来可能性,传统航材库存管理大多依靠根据以往消耗率来统计,很容易造成某些航材储存太多,有些却不足,但在预测性维修模式当中,当系统预估某个部件将在不久的将来发生故障时,就会自动启动航材需求计划,航材管理部门能够依照这个需求计划提前订购或者调拨必要备件,保证它们在预定的维修窗口之前就位,做到“即时化”(Just-in-Time)的航材供应,库存资金占用和仓储成本因而被大大缩减。同样地,对于人力资源的调配,预测性维修使得维修控制中心(MCC)能够将未来的工作从“不确定”变成“相对确定”。维修工作可以根据故障预测结果提前安排,将维修工作纳入飞机的短停或者例行检查工作当中,提前安排好有相应资格的维修人员以及相应的工具设备。从而避免了因为突发故障而产生的紧急派工,也避免了因为人员技能不匹配而产生的人员技能错配,实现了维修人员工作负荷的均衡化,减少了加班,提高了劳动生产率,降低了因为人员疲劳而产生的人为差错^[4]。

4 维修流程中精益化管理的应用与优化

4.1 维修流程中的价值流分析与浪费识别研究

运用精益化管理的第一步就是价值流图(Value Stream Mapping, VSM)分析,对从故障报告、维修计划、工卡准备、航材领取、工具到位、维修实施、质量放行等整个流程进行分析,把每一步的活动进行识别并分类,将直接的修理和安装、安全检查这些必要的活动作为增值活动,将那些纯粹的浪费和非增值活动区分开来。在民航维修中常见的浪费有:等待(等待航材、工具、技术指令或决策)、移动(人员和设备在机库内来回跑动)、过量库存(超出即时需求的航材储备)、流程(审批手续繁琐)、重复(质量问题导致的返工)、员工智慧(没有被充分利用)。通过价值流分析,流程中的瓶颈与浪费之处便可被暴露出来,这有益于后续流程再造及持续改良朝着更明确的方向推进,改进目的会变得更为集中与量化。

4.2 持续改进与标准化作业的推行

找到流程中的浪费后,就需要用一系列精益工具进行针对性改善,比如对机库和工具库房进行“5S”管理(整理、整顿、清扫、清洁、素养),让维修人员可以快速、准确地拿到需要的工具和航材,减少找寻时间;推行标准化作业,把最好的维修方法、最好的操作步骤变成标准,让每一个维修人员都能按照最有效、最安全

的方法完成工作,减少操作上的差异,降低质量波动和安全隐患。同时建立持续改进文化,鼓励一线员工主动发现并提出改进建议,通过定期召开班组会议及改善提案制度形成自下而上全员参与改进氛围,比如对于某项重复性高维修任务,成立专项改善小组,通过流程优化、工装改进等方式,或许能使原先要花4小时的工作缩短到3小时,这些点滴改进累积起来,就会使飞机停放时间及维修总成本大幅下降,从而提高整个维修系统的工作效率^[5]。

5 结束语

《民航适航维修成本控制与资源优化配置策略研究》既是航空公司应对当前复杂市场环境、提高自身盈利能力的现实需要,又是民航业向更高质量、更可持续发展方向的必然要求。本文研究表明,有效的成本控制与资源优化不是简单的“节流”,而是一个涉及战略、技术、管理和文化等多方面的系统工程,需要航空公司跳出传统思维,树立全生命周期成本管理理念,积极拥抱数字化转型,运用大数据分析实现从被动维修到预测性维护的转变,将精益思想渗透到维修流程的每个环节。以后的研究可持续探究人工智能在维修决定帮助系统里深入应用,供应链协同经营的更新形式,以及绿色维修技术给成本和环境效益带来的全方位影响,从而为营造更安全,更省事,也更高效的一流民航维修保障体系奉献更多脑力和力量。

参考文献

- [1] 王维嘉,张军. 基于大数据的民航飞机预测性维修策略研究[J]. 航空计算技术, 2021, 51(3): 1-6.
- [2] 李明,陈志杰. 航空公司航材库存优化与成本控制研究[J]. 中国民航大学学报, 2019, 37(4): 45-50.
- [3] 张强. 精益管理在航空维修企业中的应用探讨[J]. 航空维修与工程, 2020(6): 23-25.
- [4] 赵东,刘伟. 基于全生命周期成本的民用飞机维修方案优化模型[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(11): 2933-2942.
- [5] 吴迪,孙有朝. 航空公司维修人力资源优化配置模型与算法研究[J]. 工业工程与管理, 2017, 22(2): 110-116.

作者简介: 吴晶晶(1985-),女,汉族,浙江宁波人,助理职称,主要研究方向民航适航维修。

徐申(1992-),男,汉族,浙江桐乡人,初级职称,工学学位,主要研究方向民航适航维修。