

新航行技术背景下民航适航维修流程重构与效率提升研究

马博 夏志强

长龙（杭州）航空维修工程有限公司，浙江杭州，311200；

摘要：伴随 GNSS、PBN、ADS-B 这类新的航行技术在全球民航界的大规模运用，全球航空运输体系运作方式正处在巨大改变之中，这些技术改善了飞行的精准度和安全性，而且前所未有地产生出大量飞行状态数据，这给民航适航维修领域带来了颠覆性的机会和困难，传统的以固定的时延间隔为中心的“计划性维修”观念，面对新航行技术提倡的“视情维修”以及“预测性维修”，它所存在的局限愈发明显，这篇文章想要找出新航行技术环境下民航适航维修流程的重新构建路径及效率改善策略，论文首先分析了新航行技术怎样促使适航维修观念从被动、依循规则的模式朝着积极、依靠数据的模式转变。接着着重研究了依靠 ADS-B 等数据链技术的维修信息流整合，探讨了从故障诊断，维修决定到资源调配全进程的数字化，一体化再造，最后分析了流程再造之后，借助智能化分析工具，改良人力资源分配等途径来达成维修效率改进的详细路径，而且指出了在此进程中碰到的数据标准化，人员技能转型，组织管理改变等难点，本论文希望给航空公司和维修单位（MRO）在新技术浪潮下，创建起更为高效，精确，智能的适航维修体系给予理论参照和操作引导。

关键词：新航行技术；民航维修；效率提升；ADS-B；预测性维修

DOI：10.64216/3080-1508.25.08.039

引言

民航业的发展一直与技术革新相伴随，飞行安全和运行效率是它始终追求的两大目标，适航维修是保证飞行安全，维护航空器价值的重要环节，其科学性和前瞻性直接影响航空公司的核心竞争力，传统的民航维修体系大多基于“硬时间”的维修大纲，即不论部件实际健康状况如何，都要在规定飞行小时或日历时间到达时执行强制性检查，修理或更换，这种模式在以前确实起到了保障飞行安全的重要作用，但它的“一刀切”预防策略也带来了一些问题，比如维修成本高，维修资源浪费，因为不必要的拆装而产生的潜在风险等。近几年，以性能导航（PBN）和广播式自动相关监视（ADS-B）为代表的新生代航行技术正在颠覆天空的运行规则，PBN 需要航空器具备在特定空域内精确飞行的能力，对机载导航系统的性能要求极高，而 ADS-B 让航空器能够实时、准确地广播自身的位置、速度、高度等状态信息，大大提升了空域监视的精度和覆盖面，这些技术的关键不光是导航和监视能力的提高，更是把航空器从一个信息孤岛变成了一个可以实时生成并交互海量数据的网络节点。这些高密度、高价值的数据流，给洞察航空器各个系统即时健康状况赋予了前无古人的可能，也给传统的适航维修流程带来了深刻的考验，并且创建了重构与升级这种历史机遇，本文将会针对这个关键的改变，细致地剖析新航行技术怎样冲击民航维修观念，探究维修流程到底

该如何重新构造，并考察怎样在此基础上达成维修效率的飞跃式进步。

1 新航行技术引领适航维修理念革新

1.1 从“计划性”到“预测性”：数据驱动的维修决策转变

传统维修模式的要点在于依靠历史数据统计与工程经验制订的维修大纲，它的基本逻辑就是“时间推动”，不论是发动机，关键系统还是机体结构，它们的维修活动都要按照事先设定好的日历期限或者飞行循环次数来进行，这种模式的好处在于它的确定性和强制性，可以有效地防止由于部件老化磨损而引发的系统性风险，但是它的缺点也很突出，那就是不能区分各个航空器以及各个部件的实际状况差异，常常会造成“过度维修”或者“维修不足”的情况，对状态良好的部件进行更换是一种浪费，而在维修间隔期内就出现早期性能衰退的部件，也许潜藏着安全上的危险。新航行技术，尤其是 ADS-B 的出现，打破了这种局面。ADS-B 系统每秒都会广播包含准确位置、三维速度、气压高度在内的详尽飞行参数，而这些信息又会与机载传感器网络如 ACMS、AHM 系统所产生的数据结合在一起，从而形成起每一架飞机每次飞行的完整数字肖像，通过对这些海量飞行数据展开深入挖掘并加以分析之后，维修工程师就可以及时监测到发动机性能参数发生细微变化的情况、判定机体结

构在各个飞行阶段所承受的负载情况,并且还能发现电子设备在某些特定环境下存在异常表现。这种依赖于实际运行数据的健康状态评判,把维修决定的根基从固定的“时间”变成动态的“状态”,维修不再死板地执行预定计划,而是依照数据的警报和走向推测,准确预估部件的剩余有用寿命(RUL),在最合适的时机干预,这种从“计划修”向“预测修”的改变,这是维修概念上一次革命性的跨越,这表明民航维修踏入了以数据为主导的精准化,智能化时代。

1.2 PBN 对维修系统精度的新要求

PBN 的实施,对航空器的导航、通信及监视系统提出了前所未有的性能要求。PBN 的核心思想就是不要求航空器必须使用哪种具体的导航设备,如 VOR、DME 等,而是要求航空器在某一条特定的航路或者某个特定的进近程序上,其导航性能必须达到某个特定的精度、完好性、可用性、连续性的标准,也就是常说的 RNP/RNAV 规范。比如 RNPAPCH (具有机载性能监视和告警能力的精密进近程序)程序要求飞机在整个进近过程中的导航系统横向误差要控制在一个很小的范围内,这就要求我们不能像以往那样仅仅关心导航接收机是否通电、自检是否通过了,而是要验证整个导航系统是否达到了某个特定的运行规范。这就需要维修活动不仅能够修复已有的故障,更要有能力对系统性能指标进行量化的评价,如定位精度漂移、告警灵敏度等等。其次就是 PBN 运行的持续适航,对维修流程闭环管理与可追溯性的要求更加严苛,无论是对导航数据库的更新,还是对软件、硬件以及相关线路的维修工作,都需要经过严格的性能测试和验证,并且要有完整的文档记录证明,在维修之后航空器仍具有执行特定 PBN 程序的能力,这种要求促使维修单位必须建立更细致、更严谨的质量控制和构型管理流程,使得每一次维修操作都能够对航空器的导航性能产生明确、可控并可追溯的影响。

2 数据链驱动的民航适航维修流程优化重构

2.1 维修流程中 ADS-B 数据的整合与应用研究

ADS-B 数据的精髓在于它提供了不同于以往的通信手段的独立而持续的高精度航空器状态信息,重排维修流程的第一项任务就是搭建一个能将这些外部数据流与机载系统内部数据流有效融合的平台,以往的维修资料主要由飞行员故障报告(PilotReport),内置测试告警(BITE)及定期维修检查中的问题组合而成,它们

往往具有一定的滞后、主观和片面,而 ADS-B 数据则能给予我们客观整体的视角,譬如,经过一段时间的跟踪观察,如果从高度和速度等角度分析某架飞机的 ADS-B 飞行记录,并借助气象信息判断出它的发动机在各高度层上的推力性能情况,从中找出潜藏的性能衰退走向,远要比等发动机传感器自身产生告警更为积极主动。同样的,通过对飞机遇到颠簸时 ADS-B 的垂直速度变化进行研究与分析就可以得知机体结构受到的冲击,进而可以用于对于某区域的结构加强进行检查。而具体的重构流程表现为在维修控制中心(MCC)建立一个集中的健康监控系统。其主要作用是对从各个传感器如 ADS-B, ACARS,以及其他源获取的信息进行实时接收、分析并进行解码。然后通过预先设置的算法模型对获取的信息进行智能分析,在存在异常情况或者趋势向不好的情况下会自动生成对维修活动进行预警,并且初步判定可能存在的问题及其所需物资。而这样维修的起点就不再是被动接收到的故障报,而是通过数据的提前预警对维修过程进行预知,使得整个维修过程中响应时间短、准备工作精准、决策准确的程度都得到极大的提高。

2.2 维修信息流的数字化与一体化重塑

传统的维修流程里,信息传递往往依靠纸质工卡,口头交接,分散在各个系统的电子表格,信息断点多,流转慢,还容易出错。新航行技术带来的数据驱动模式,要创建一个无缝,闭环的数字化维修信息生态系统,流程重构的关键之处在于打通从“空中”到“地面”,从“工程”到“执行”的全部信息链路。空中数据平台发出维修预警以后,信息就该自动流入维修计划和工程系统,系统依照预警内容,结合飞机未来航班计划,航站维修能力,航材库存,自动生成包含工卡,必要工具,备件以及人员资质要求的电子维修工作包,这个工作包随后会被推送到执行维修任务的一线工程师的移动终端上。工程师在执行任务的时候,可以在现场记录操作步骤,更换件信息,测试结果,而且可以随时查阅电子化的维修手册和图纸。干完活,签上名字,电子工卡上的信息就立时返回给公司的维修管理系统(MMS/MRO 系统),飞机的维修记录和技术档案也得到更新,这样的一体化流程再造,原本分散又串起来的工作环节,变成了一张互相联结的协同网络,信息传递的延迟和失真消失了,维修全过程变得可以立刻掌握,更重要的是,每次维修留下的数据都被完全且结构化地沉淀下来,给以后改进维修方案、分析故障模式和更新预测模型提供养

分,这是一个持续改进的好循环。

3 维修流程重构中的效率提升与挑战路径

3.1 智能化工具与维修资源优化配置研究

重构之后的维修流程把数据当作核心,它能否有效提升,很大程度上取决于有没有强大的数据分析和决策支持工具。一方面要大力培育并应用依靠人工智能(AI)和机器学习的故障诊断和预测模型,这些模型可以从海量历史飞行数据和维修记录中学习,自动找出复杂故障模式和性能衰退规律,给出比传统工程分析更准确的预测性维修建议,像依靠算法去分析发动机振动数据,滑油数据以及飞行参数之间的联系,就能提前几周察觉某个轴承可能存在的故障,把一次非计划的发动机更换变成一次从容的计划性维修,免除航班中断和昂贵的AOG(飞机趴窝)费用。另一方面,在流程再造基础上得到的精确预估能力让优化维修资源成为现实,当维修需求提前得到预估后,航材部可以制定更加合理的进货与库存策略,避免出现重要备件短缺或是储备过剩的情况;人力资源部亦可根据预估好的维修高峰期和平常期,动态地给各个机场安排员工人数以达到最大化利用工作时间的目的。“运筹帷幄,扬长补短”,把一切控制在数据手里,胜算才握在自己手中,这也是将维修变得高效化的根本之道。

3.2 人员技能转型与组织管理的适应性变革研究

技术和流程的革新最终要靠人去实施和管理,新航行技术背景下的维修流程重塑,给从业者及管理模式带来了全新要求,对于一线维修工程师来说,以往的“手册工匠”角色需转型为“技术诊断师”,他们不仅要有良好的动手能力,还要学会解读数据,操作新型诊断设备以及掌握系统软件逻辑,对航电系统,数据网络和软件构型的认识,将会变得同机械和结构知识一样重要,这就要求人员培训体系里大幅扩充关于数据分析,软件基础和新航行系统原理的内容,就维修管理层而言,传统的经验主导型管理模式要转向数据主导型管理模式。组织的绩效考核不能只看维修的及时率和返工率,要关注预测性维修的准确率、机队整体的非计划停场率等更能反映体系能力的指标,流程重构往往牵涉到工程、计划、控制、航材、执行等多个部门的深度合作,这就要求打破部门墙,形成跨职能的协作团队和更扁平的沟通方式,以适应快速响应、不断改进的新工作节奏,如何引导组织文化,让员工接受变革、拥抱数据、持续学习,

这是决定流程重构能否成功的软实力。

4 结束语

新航行技术的浪潮正在以前所未有的程度改变民航业的整体生态环境。对于像适航维修这样传统的、但又极其重要的一项业务来讲,这就是一场严峻考验同时也是一种前所未有的跨越式机遇。“计划维修”到“预测性维修”的思维转变是对新技术环境的适应需求,需要彻底转变对于航空器健康状况管理的方式和认知;而对于依托ADS-B等数据链技术实现维修流程上的数字化改造、一体化集成,则成为了把上述先进理念变为现实生产力的具体路径。构建起这样一个数据驱动型、智能决策式、高效协同式的全新维修体系架构之后,航空公司将不仅能够大幅度缩减自身运营中的财务开支并提升整个机队的整体可用率,并且最重要的是可以真正意义上将“安全第一”的管理关口前移到故障发生之前——也就是从单纯的对已出现故障做出被动反应转变为一种更为主动性的风险管理行为。这场变革不会轻易发生,企业要在数据基础设施、智能分析工具、人员技能培训、组织管理模式等方面不断投入,只有那些能看清趋势、敢于变革、把技术优势变成流程优势和管理优势的先行者,才能在技术推动的产业升级浪潮中抢占先机,建立起面向未来的竞争优势。

参考文献

- [1]王建民,&陈志杰.(2020).基于大数据的民航飞机预测性维修研究综述.航空维修与工程,(3),1-5.
- [2]李强,&张伟.(2021).ADS-B技术在飞机状态监控与维修中的应用研究.中国民航大学学报,39(4),28-33.
- [3]赵东,刘畅,&王晓东.(2019).PBN运行对航空器持续适航维修管理的影响分析.航空学报,40(S1),60-67.
- [4]陈峰.(2022).数字化转型背景下航空公司维修体系的重构与发展.民航管理,(6),45-49.
- [5]吴迪,&孙博.(2018).面向视情维修的民机PHM系统技术发展研究.航空计算技术,48(2),1-6.

第一作者简介:马博(1990-),男,汉族,陕西渭南人,本科,助理工程师,主要研究方向:生产资源调度与成本控制。

第二作者简介:夏志强(1991-),男,汉族,天津市人,学士学位,研究方向:适航维修。