

基于可靠性的民航维修计划优化研究

乔博华

深圳航空有限责任公司西安分公司 陕西西安 710000

摘要：本文针对民航维修计划的现行模式进行分析，提出了基于可靠性的数据驱动优化方案。通过对故障数据的实时监测和分析，优化维修计划有效减少了非计划停机时间，降低了运营成本，并提升了设备的可靠性和安全性。本文结合具体案例，探讨了关键部件的维护优先级、维修计划的实时调整机制及其对延长设备使用寿命的作用，展示了维修优化带来的综合效益，包括资源的合理利用和安全保障的提升。基于可靠性的维修策略在民航行业具有显著的应用价值。

关键词：民航维修；可靠性分析；维护优化；运营成本；安全性

引言

随着航空运输业的迅速发展，飞机维护的效率与准确性对运营安全和经济效益至关重要。传统的固定周期维修计划由于无法有效反映设备的实际健康状态，常常导致过度维修或故障处理延迟。为应对这一挑战，基于可靠性的维修优化方法逐渐引起关注。通过故障数据的深入分析和实时监测技术的应用，维修计划可以根据设备的实际状态进行动态调整，避免资源浪费并提升飞行安全。本文围绕一个航空公司案例，探讨了如何通过优化维修策略来实现运营效率和安全性的双重提升。

一、民航维修计划现状与挑战

（一）现行维修计划的主要模式及其局限性

当前民航维修计划主要采用基于时间或使用周期的预防性维护策略。这种维修模式主要以日历时间或飞行小时数为依据，目的是减少设备故障并保障航班安全与时间的准确性。然而，此方法存在明显局限，如常常导致仍处于良好状态的零部件被提前更换，增加不必要的维护成本和资源浪费。此外，缺乏对潜在故障的有效预测也增加了设备故障风险^[1]。

（二）基于可靠性分析的维修需求变化

随着设备可靠性要求的增强，维修需求发展至基于可靠性分析的方法。此策略利用故障数据和设备健康状况进行深入分析，实现对潜在问题的预警和诊断。该方法考虑了部件的故障率、工作强度及其重要性，提供了更灵活的维修策略。维修计划依据实际情况调整，减少了不必要的维护。

（三）传统与基于可靠性方法的对比

传统维修模式依靠厂商手册，按预定周期进行，未考虑设备的实际运行差异。与此相反，基于可靠性的维修方法强调数据驱动的决策，根据各设备的实际情况定制维护方案。这种策略避免了传统方法的过度或不足维护问题，节约了资源并减少了设备故障风险。此法通过分析历史故障数据和监控运行状态，提出了科学的维修优化措施。

二、基于可靠性的维修优化模型

（一）故障数据的收集与分析方法

在基于可靠性的民航维修计划中，故障数据的收集与分析是至关重要的一步。主要依靠飞机运行过程中传感器实时监测的数据，这些传感器能够记录发动机、飞行控制系统、液压系统等关键部件的运行状态与性能变化^[2]。在这个过程中，使用历史故障数据和正常运行数据进行比对，识别出潜在的异常信号或异常趋势。数据的收集不仅仅包括物理参数，还涉及运行环境、飞行路线、气候条件等多重因素，这些因素可能对设备的使用寿命和性能产生影响。

（二）可靠性模型的建立与应用

可靠性模型的建立是优化维修计划的核心环节。根据收集到的历史故障数据，采用统计建模技术构建设备的可靠性模型，以预测未来可能发生的故障事件。常见的模型包括概率失效模型、加速寿命模型以及贝叶斯更新模型等，这些模型能够评估设备在特定运行条件下的故障率。通过这些模型，可以确定关键部件的平均故障间隔期，并结合实际运行中的健康状态，对维修时间点

和维修策略进行优化。

（三）优化方案的设计原则

在设计基于可靠性的维修优化方案时，需要综合考虑多方面因素，确保方案的科学性与可操作性。优化方案应以故障风险和设备的重要性为基础，优先考虑对飞行安全有重大影响的关键部件。还需要平衡维修资源的分配，避免过度维护或资源浪费。优化的核心在于实时调整和灵活应对，方案应具有足够的弹性，能够根据设备的实际状态和运行环境的变化进行调整。除了硬件维护，还应涵盖操作人员的培训和维修流程的改进，以提高整体维护的效率。

三、维修资源的合理分配与动态调整

（一）关键部件的维护优先级

在制定维修计划时，关键部件的优先级至关重要，特别是在复杂的民航系统中，某些部件的故障可能直接影响飞行安全。通常，这些关键部件包括发动机、飞行控制系统、导航系统等，任何故障都可能导致飞行中断或事故发生。基于可靠性的维修策略中，优先对这些关键部件进行健康监控，通过故障预测模型确定其最佳维修时机^[3]。在实际操作中，可以参考故障发生的历史数据、部件的使用频率和运行环境等因素，设定维护优先级。某一航空公司通过对其多架飞机发动机的监控数据进行分析，发现其中几架发动机的异常振动频率逐渐上升，随后立即调整了维修计划，避免了发动机潜在故障带来的风险。

（二）维修计划的实时调整机制

在动态运行环境下，维修计划需要具备灵活的实时调整机制。传统的固定周期维修方式难以适应设备状态的变化，而基于可靠性的维修计划则要求通过对运行数据的持续监控，及时发现设备的异常表现，迅速作出调整。在某航空公司的具体案例中，机组人员发现飞机在飞行中某些传感器数据出现异常波动，系统自动分析后建议缩短相关设备的维护周期，随后地面维护团队根据建议立即调整了下一次检修的内容和时间表。这一实时调整机制确保了维修计划的灵活性，能够根据设备的实时健康状态进行精确的维护安排，避免了不必要的停机时间，同时保障了设备的运行效率和安全性。

（三）延长设备使用寿命的策略

延长设备使用寿命的核心策略是通过精准的维护和有效的资源管理，减少设备的过度磨损和突然失效。在某航空公司实施的案例中，通过对飞机液压系统的实时

监测，发现系统的压力传感器存在轻微异常，但尚未影响正常运行。维护团队通过调整系统运行参数，减轻了液压系统的负荷，避免了该传感器进一步恶化的风险，同时延长了整体系统的使用寿命。类似的策略还包括优化部件的工作环境、定期更新操作软件以提升设备效率，以及针对特定高负荷部件采取预防性更换措施。

四、基于可靠性优化的实施与评估

（一）优化方案的实际应用案例

在某航空公司实施基于可靠性的维修优化方案后，一架主要用于国内航线的波音737飞机成为优化项目的试点。通过对该飞机的发动机、飞行控制系统和起落架系统等关键部件的实时监控，优化方案通过数据驱动的预测性维护取代了传统的固定周期维护^[4]。通过对发动机故障模式的深入分析，系统识别出发动机涡轮叶片的潜在磨损问题，并在实际故障发生前提前进行了更换。根据这一优化方案，飞机的非计划性停机时间减少了约40%，并且飞行安全性得到了显著提高。该公司的维修成本也因此下降了约15%，这直接表明了可靠性优化方案在实际应用中的有效性。

（二）实施过程中遇到的问题及解决方案

在实施优化方案过程中，航空公司遇到的主要问题之一是数据的完整性和质量不达标。部分飞机的传感器老化或工作不稳定，导致实时监控数据出现偏差，进而影响了系统对故障的精准预测。维护人员对于新系统的操作流程不熟悉，也一度拖延了维修计划的调整。为了解决这些问题，航空公司首先升级了飞机的传感器系统，确保数据采集的准确性和及时性。与此针对维护人员进行了多轮的专项培训，重点讲解了如何使用新系统分析故障数据以及调整维修计划的具体步骤。

（三）优化效果的定量评估

为了评估优化方案的效果，航空公司对维修数据进行了详细的定量分析。比较了优化方案实施前后飞机非计划性停机时间和故障率的变化情况。数据显示，优化方案实施后，试点飞机的非计划停机时间从每年320小时减少到190小时，降幅达40.6%。故障率下降了约25%，使得该飞机的飞行准点率提高了3.8%。维修成本也从每年680万元人民币降至580万元人民币，节省了15%左右的运营开支。这些数据表明，基于可靠性的维修优化方案在降低故障率和维修成本方面具有显著的优势。

表1 波音737飞机基于可靠性优化的效果分析

项目	优化前	优化后	变化(%)	数据来源
非计划停机时间(小时/年)	320	190	-40.6%	航空公司内部年度运行报告
飞机故障率(次/千小时)	1.2	0.9	-25%	维修部门监测数据
飞行准点率(%)	89.7	93.5	+3.8%	航班数据分析系统
年度维修成本(万元人民币)	680	580	-14.7%	财务部年度预算与实际对比报告
数据精度提升(%)	-	+10%	+10%	传感器系统升级报告

五、优化后的经济效益与安全性提升

(一) 运营成本的下降与资源节约

在民航维修计划的优化过程中,运营成本的下降主要体现在维修频率的减少和资源利用的高效化。某航空公司在实施基于可靠性的维修优化后,发现其发动机维护周期得到了显著延长,减少了非必要的拆检次数和部件更换频率。这不仅节省了大量的工时费用,还大幅降低了备件的库存压力^[5]。设备的实时监控系統有效减少了人为检查的频率,使得维修团队能够更有针对性地分配资源。

(二) 设备可靠性与安全性的提升

通过优化维修计划,设备的可靠性和安全性得到明显提升。某航空公司通过引入故障预测和健康监测技术,能够在设备出现故障前及时预判问题,并迅速安排维护工作。这一措施在飞机起落架系统上取得了显著成效,原本可能引发飞行中断的小故障被提前识别和处理,确保了设备在高强度运行下的稳定性。在日常运行中,这种基于可靠性的维护模式有效减少了设备的突发故障,使得飞机的运行更为平稳。与此飞行安全性也得到了大幅度提升,飞行任务的完成率显著提高,进一步验证了优化方案的可靠性。

(三) 维修计划优化带来的综合效益

维修计划的优化不仅带来了直接的维护成本节省,还在多个层面提升了公司的整体运营效益。在某航空公司的案例中,随着维修方案的精确性和执行效率的提升,飞机的可用时间大幅延长,增加了航班的调度灵活性,避免了航班因维修问题而取消或延误。优化后的维修模

式减少了不必要的停机和维护等待时间,使得地面维护人员能够更有效地完成其他任务。在长期运营中,优化方案带来的持续性效益不仅反映在财务表现上,还体现在整体运营效率、设备利用率和客户满意度的全面提升。

结语

本文通过对民航维修计划的优化研究,展示了基于可靠性分析的维修策略在实际应用中的显著成效。通过对关键部件的监测和维修方案的灵活调整,航空公司显著降低了维修成本和非计划停机时间,并在设备可靠性和安全性上取得了显著提升。这一优化策略不仅提高了运营效率,还延长了设备的使用寿命,充分体现了数据驱动的维护模式的优势。该研究为民航行业的维修管理提供了新的思路和实践依据,有助于推动航空公司提升整体运营能力。

参考文献

- [1] 曲辉.综合交通运输体系对民航发展的影响[J].中国航务周刊,2024,(40):59-61.
- [2] 宗剑,李继伟,毛鞠盛.民航类飞机维护课程思政教学[J].学园,2024,17(20):17-19.
- [3] 蔡纯兰.关于提升民航维修人员培训效能的思考[J].运输经理世界,2023,(34):40-42.
- [4] 卞菁.民航飞机维修质量管理数字化建设几点思考[J].产品可靠性报告,2023,(11):46-48.
- [5] 冯梦桥,赵程远,徐可.民航飞机维修的风险管理工作研究[J].中国设备工程,2023,(21):80-82.