

基于设备监理的 X 型直升机试飞安全性提升策略

张真帅, 陈仙保, 冯华锦

湖南省长沙五七一二飞机工业有限责任公司 湖南长沙

【摘要】X 型直升机试飞面临复杂的飞行环境和高动态负载, 设备监理是确保其安全性和任务可靠性的关键技术。本文围绕 X 型直升机试飞过程中设备监理的安全性提升策略, 探讨了引入实时数据监控、应用智能分析工具、优化设备监理流程以及加强数据共享与协同机制的必要性与实施方法, 旨在采用全方位的设备监理体系增强直升机在复杂飞行环境下的安全性和可靠性。

【关键词】实时数据监控; 故障预测; 设备监理

【收稿日期】2024 年 8 月 12 日

【出刊日期】2024 年 9 月 27 日

【DOI】10.12208/j.jer.20240029

Strategies for enhancing the safety of x-type helicopter test flights based on equipment supervision

Zhenshuai Zhang, Xianbao Chen, Huajin Feng

Hunan Changsha 5712 Aircraft Industry Co., Ltd., Changsha, Hunan

【Abstract】The test flight of the X-type helicopter faces complex flight environments and high-dynamic loads, and equipment supervision is a key technology to ensure its safety and mission reliability. This paper discusses the strategies for enhancing safety in the equipment supervision process during the test flight of the X-type helicopter, exploring the necessity and implementation methods of introducing real-time data monitoring, applying intelligent analysis tools, optimizing equipment supervision processes, and strengthening data sharing and collaboration mechanisms. The aim is to enhance the safety and reliability of helicopters in complex flight environments through a comprehensive equipment supervision system.

【Keywords】Real-time Data Monitoring; Fault Prediction; Equipment Supervision

引言

X 型直升机作为现代航空技术的集成体, 具备复杂的动力系统、飞行控制系统及多余度设计, 试飞过程中面对极高的运行负荷和环境挑战, 设备监理的有效性直接决定其飞行安全性与任务可靠性^[1]。现行设备监理体系在实时监测、故障预测及数据共享等方面存在诸多不足, 无法满足 X 型直升机在复杂飞行环境下的高动态安全需求^[2]。因此, 必须构建基于设备监理的安全性提升策略, 利用引入实时数据监控、智能分析工具和优化的协同机制, 以实现关键设备的全生命周期动态监控, 确保试飞过程中设备的稳定性与安全性。

1 X 型直升机的技术特性

X 型直升机具备高度集成化的航空技术与复杂的机械结构, 适用于多种恶劣环境下的飞行任务^[3]。其主要结构材料采用了复合材料与高强度合金, 确

保了整体轻量化的同时增加了耐久性与抗冲击能力。主旋翼采用五叶设计, 结合大曲率机翼剖面, 有效增加了升力系数, 在高海拔地区和低速条件下维持稳定的垂直升力。动力系统配置双涡轮轴发动机, 功率输出稳定, 最大连续功率为 1350 千瓦, 能够保证飞行器在满载情况下持续工作数小时。尾桨采用对置桨设计, 显著降低了抗扭力需求, 提高了气动效率。机身设计符合流体力学标准, 最大巡航速度为 280 公里/小时。飞行控制系统采用三级冗余设计, 确保在主控制系统失效时, 备份系统能即刻接管操作, 提升了整体的飞行安全性。该直升机的电气系统集成高精度惯性导航系统与卫星定位系统, 能够实现精准的航路规划与自动驾驶。同时, X 型直升机配备了多频雷达与红外成像设备, 确保在复杂气象条件下具备优异的侦测与识别能力, 提升了全方位任务执行的可靠性。

表 1 X 型直升机的技术参数

技术参数	数值	单位
主旋翼叶片数量	5	枚
最大连续功率	1350	千瓦
最大巡航速度	280	公里/小时
翼载荷	30	千克/平方米
最大起飞重量	6000	千克
燃油容量	1100	升
飞行控制系统冗余等级	三级	—
尾桨抗扭力	2000	牛顿·米
机身长度	12.5	米
作战半径	600	公里

2 X 型直升机的监理系统现状

2.1 设备监测缺乏实时性支持

X 型直升机在设备监理系统中, 设备监测的实时性严重不足, 无法有效适应现代航空工程要求的动态飞行数据采集与反馈机制^[4]。现行监理系统依赖于传统的定期巡检与人工读取设备状态, 这种监控模式无法对飞行过程中关键部件的工作状态进行实时监测, 特别是动力系统、飞控系统与导航系统等核心设备, 常出现数据滞后和信息断层问题, 难以及时捕捉运行过程中的瞬时变化与故障征兆, 直接影响到飞行安全性。现有监测手段多依靠有限的模拟信号传输技术, 数据传输速率低, 信息频段单一, 难以满足复杂飞行环境下的多维度信息需求。数据采集点位布设不合理, 监控系统缺乏对高风险部位的重点关注, 导致局部设备在高负荷运行条件下无法获得有效监控数据, 设备失效风险增大。与此同时, 设备监测过程中缺乏自动化监控与远程实时传感技术的应用, 使得飞行状态数据的连续性与完整性受到严重限制, 无法实现对飞行任务中突发故障的预先识别与干预。缺乏高频次的数据更新与智能化监控算法, 导致设备在长时间运行或极端环境下的安全风险倍增。

2.2 故障预测缺乏有效预防机制

现有故障预测技术多依赖基于经验的统计模型与有限的故障数据库, 无法对飞行中关键部件进行准确的健康评估与失效分析^[5]。疲劳损伤累积效应、热应力以及高频震动等多因素叠加作用下的非线性故障模式无法利用传统方法有效捕捉和分析, 导致

潜在故障隐患难以及时识别。在高动载环境中, 动力系统、传动机构的材料疲劳、磨损、腐蚀等损伤机制复杂, 现行监理系统无法有效利用飞行器生命周期内的全息数据进行设备劣化趋势建模与失效时间估算, 增加了试飞过程中的设备失效风险。现行的故障预测模型难以集成高频数据流与多源传感信息, 不能有效整合各子系统之间的交互影响, 导致预测精度与时效性大幅降低, 无法实现对故障的早期预警与主动预防。

2.3 监理体系环节监理缺失

现有监理体系在发动机、旋翼系统、飞行控制系统等核心部件的监控中存在明显的盲区, 未能覆盖所有高风险节点, 在动力传输链条、液压系统和电气控制模块等复杂系统中, 监理工作不到位, 难以对潜在故障进行全流程、全方位的识别和管控^[6]。缺乏针对关键部件的独立监理策略, 使得在高动态负载、极端气象条件下, 设备运行的安全裕度无法得到有效验证。同时, 飞控系统的多冗余设计虽然在理论上提升了系统可靠性, 但监理体系未能有效覆盖其冗余通道切换的全过程监控, 导致冗余系统失效时的响应时间难以评估。旋翼系统作为直升机升力的核心来源, 其振动监控、叶片应力监测以及润滑系统状态监控在现有体系中存在数据采集不足的情况, 难以提供实时性、高精度的设备健康评估。

2.4 数据传输与共享机制薄弱

X 型直升机的试飞过程中, 数据传输与共享机制存在严重缺陷, 直接影响了设备监理的有效性与试飞安全性。现行系统中, 数据传输链路多依赖传统有线或低频无线通信技术, 导致在高动态飞行状态下的数据传输速率较低, 信号衰减和数据包丢失现象频繁出现, 无法保障关键设备状态数据的完整性与实时性。各子系统之间的数据交互有限, 如动力系统、飞控系统、导航系统的传感器采集数据未能形成统一的集成信息流, 导致设备间的协同效应难以准确评估。由于缺乏多源异构数据的共享与融合, 设备的工作负荷、环境参数以及故障隐患等信息未能在各监控环节间高效传递, 阻碍了对故障预警的准确识别和处理决策的及时执行。

3 基于设备监理的试飞安全性提升策略

3.1 引入实时数据监控

实时数据监控系统采用高精度传感器阵列和嵌

入式数据采集模块,能够对直升机的动力系统、飞控系统、旋翼系统等关键部件进行动态监测,实现高频次、多维度的数据采集与处理。该系统依托先进的无线数据传输技术,可在飞行过程中实时传输设备运行状态数据至地面监控中心,确保监理人员能够即时获取飞行器的工况信息,并对潜在故障进行快速响应。实时数据监控涵盖旋翼叶片的振动幅度、发动机的转速与温度,还可监测液压系统的工作压力、飞控系统的舵面偏角及电气系统的电压、电流等多项参数,确保各子系统的运行状态处于安全范围内。

3.2 应用智能分析工具

智能分析工具利用人工智能、机器学习和大数据技术对海量飞行数据进行多层次、多维度地处理与分析。构建基于深度学习的故障预测模型使智能分析工具能够识别直升机关键设备在不同运行工况下的异常状态,对发动机转速、燃油消耗、主旋翼振动频率等参数进行动态分析,并自动生成故障趋势预测曲线,判断设备劣化速度及潜在失效风险。结合历史数据与实时监测信息,智能分析系统能够从振动信号、噪声水平、温度变化等细微参数中提取设备健康状况的核心特征,实现对动力系统、飞控系统、传动机构的精准评估,形成智能化健康管理方案。与此同时,智能分析工具具备多源数据融合能力,能够将来自不同传感器的数据流整合在统一平台上,实现飞行姿态、航向调整、气动负荷等多项飞行参数的关联分析,建立设备之间的交互影响模型。

3.3 优化设备监理流程

优化流程需要对关键设备的全生命周期监理,构建分层次、分阶段的监控机制,实现设备状态的全程可视化。针对不同飞行阶段的设备负载变化和工作模式差异,监理流程应根据任务需求动态调整监控频率和数据采集点的配置,确保在关键节点进行精准监控。优化后的监理流程应当引入故障树分析(FTA)技术(图1),针对可能的设备故障隐患建立标准化的监理方案,确保能够实时捕捉设备异常迹象并快速作出响应。监理流程需强化预防性维护策略,基于设备状态监测数据实施按需维护,替代传统的定期维护模式,降低设备的非计划停机时间。流程优化还应整合智能分析工具与大数据平台,

利用数据驱动的方式实现设备运行健康状况的精准评估和预测性维护,为设备监理提供数据支持与决策依据。

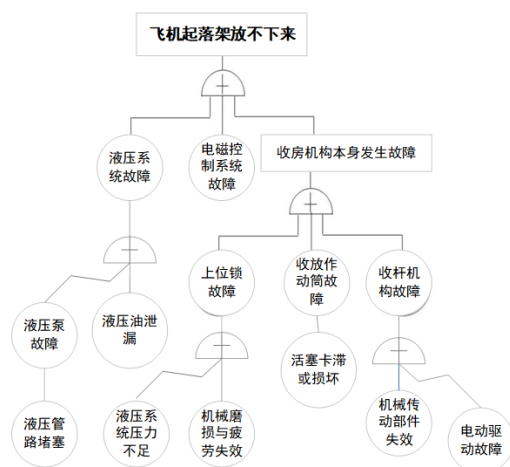


图1 故障树分析(FTA)技术图

3.4 加强数据共享与协同机制

现有系统中的数据孤岛现象严重,各子系统间的运行数据未能实现互联互通,导致关键设备的运行状态难以综合分析。为此,建立统一的数据共享平台,整合动力系统、飞控系统、传动机构以及导航系统的实时运行数据至一个集中监控中心,能够实现各子系统间的信息同步和协同监控。引入云计算与大数据技术使数据共享平台能够将多源异构数据流进行统一存储与管理,实时监测直升机的整体运行状态,同时对各个关键部件的工作负荷进行精确评估,确保能够实时获取各系统的健康状况。协同机制的加强还需要依托先进的通信网络技术,实现机载与地面控制中心的数据高速互联,减少数据传输延迟和信息丢失,确保地面维护人员与飞行员能够基于同一套实时数据做出快速、精准的决策。

4 结语

X型直升机的试飞安全性直接关系到其整体作战能力和任务执行的可靠性,基于设备监理的安全性提升策略为其提供了全方位的保障。这些措施的综合应用,提升了X型直升机试飞过程中的安全性,还为未来更加复杂的飞行任务提供了坚实的技术支持。

在直升机的高动态飞行环境中,设备监理体系的完善将持续为飞行器的安全性和可靠性提供保障,显著降低事故率,提升整体飞行效能。

参考文献

- [1] 范平.某型直升机动力装置启动特性试飞研究[J].工程与试验,2024,64(02):36-40.
- [2] 王之瑞,孙光,陆永杰,等.某型直升机重量重心包线拓展试飞技术[J].直升机技术,2021,(01):52-58.
- [3] 顾文标,陈圆,陈敏,等.某型直升机新构型尾桨抗侧风能力验证试飞[J].直升机技术,2020,(01):38-41+31.
- [4] 杨永刚.某型直升机试飞模拟器视景系统方案的设计与实现[J].系统仿真技术,2018,14(03):211-215.
- [5] 焦琳,乔野.设备监理过程中的数字化检测[J].设备监理,2023,(04):53-55.
- [6] 程晓飞.基于三维信息模型的设备监理服务[J].智能城市,2019,5(11):146-147.