

智能技术在直升机维修中的应用

冯 超

61902部队 四川 宜宾 644000

摘 要：直升机机载设备结构精密、运维条件复杂，传统人工维修模式存在判断偏差、流程僵化、数据利用率低等诸多短板，难以适配现代化航空装备的运维标准。本文结合直升机维修作业体系与实操特点，梳理适配航空维修场景的各类智能技术，全面普及智能技术在状态监测、故障研判、维保调度、航材管理等全流程的落地形式，结合行业运维痛点提出技术适配、数据整合、规范搭建及人才培养的优化路径，为直升机智能运维体系的完善提供科学参考。

关键词：直升机；航空维修；智能技术；状态监测；运维体系

引言：航空装备迭代升级与多元化作业场景拓展，持续提升直升机运维保障的精细化要求。直升机集成大量精密机械构件与智能机载系统，内部结构排布紧凑、故障诱因隐蔽，对检修精度与作业规范性有着严苛标准。传统依托人工经验的维修模式，存在运维效率低、隐患排查不全面、资源配置不合理等问题。引入各类智能技术改造现有运维模式，革新传统维修作业流程，能够适配现代直升机复杂的运维需求，推动航空维修工作向精细化、智能化、标准化方向转型。

1 直升机维修基础体系与智能化转型背景

1.1 直升机常规维修作业构成

直升机维修是支撑飞行器长期稳定服役的核心保障工作，覆盖机身结构、动力传动装置、机载电气设备、飞行操控系统等全部核心组成部分^[1]。完整的维修工作包含日常例行检查、阶段性深度检修、老化损伤构件更换以及整机状态复盘梳理多个板块。例行检查重点观测机身外部结构、基础设备功能状态，记录常规运行参数，快速识别表层缺陷与轻微异常问题。深度检修针对发动机、旋翼、起落架等关键受力及动力构件，开展细致查验，排查长期运行产生的结构疲劳与性能衰减。构件更换针对损耗严重、达到服役限值的零部件进行更替，维持整机机械性能稳定。各类作业层层衔接，构成系统化的直升机运维保障体系。

1.2 直升机机载系统维修作业特点

直升机机载系统集成程度高，导航传感、电气控制、数据传输、智能操控等功能模块相互交织，整体构造精密复杂。各个功能模块关联性强，任一模块出现异常都会干扰整机运行状态，大幅提升检修开展难度。机载设备大多收纳于机身狭小内部空间，线路密集、构件排布紧凑，作业开展空间有限，拆装与复位流程工序繁杂。设备运行隐患多体现在细微数据波动中，单纯依靠

人工目视检查无法完成全方位排查。精密电子组件对作业环境洁净度、操作规范程度有着严格要求，检修容错空间极小，整体维修作业门槛较高。

1.3 传统直升机维修作业局限

传统直升机维修模式以人工实操和经验判断为核心，故障甄别、隐患排查、工序安排都依托运维人员积累的实操认知。运维人员专业水平参差不齐，故障判定尺度难以统一，容易出现隐患漏查、故障误判的情况。检修工作按照固定周期开展，作业模式僵化固定，无法结合设备实际损耗程度、运行负荷动态调整检修节奏。固定周期检修会产生大量无效运维工作，浪费运维资源，也会让部分隐性故障长期留存。人工统计和整理运维数据的作业方式效率偏低，数据存储零散、整合难度大，难以形成系统化的运维参考体系，制约维修质量提升。

1.4 直升机维修智能化转型内在需求

现代直升机作业场景持续拓展，服役环境复杂多变，机载精密电子构件与智能功能模块不断迭代更新，设备运行状态更加多变。传统人工运维模式精度不足、效率偏低的问题逐步凸显，无法匹配现代化航空装备的运维标准。航空行业对飞行安全、设备稳定运行的管控标准持续提升，运维工作需要更加精细、高效的隐患排查与状态管控手段。各类智能技术可完成自动化数据采集、智能分析与故障研判，补齐传统运维模式的各类短板。运维体系向智能化方向升级，能够适配航空装备迭代节奏，满足现代直升机运维保障的发展需求。

2 直升机维修适配的主流智能技术体系

2.1 状态感知与数据采集技术

状态感知与数据采集技术，是直升机智能维修体系的底层核心支撑。主要负责采集整机结构、动力单元及各类机载设备的全维度运行信息。高精度传感设备布设于机身框架、动力总成、传动结构与电气系统关键点

位,不间断捕捉振动、温度、压力等核心运行参数。监测维度兼顾机身静态结构状态与机载系统动态运行变化,全面覆盖各类重点服役构件。自动化采集模式可以规避人工记录的疏漏与滞后问题,维持稳定连续的数据获取能力,为后续数据分析、状态研判和故障排查储备充足的原始数据资源^[2]。

2.2 智能数据挖掘与分析技术

直升机长期服役会产生体量庞大、类型繁杂的运维数据,原始数据夹杂大量冗余信息,无法直接用于维修指导工作。智能数据挖掘与分析技术可对海量运维数据开展专业化、系统化处理。通过数据清洗、分类筛选、趋势提取等多重手段,提纯具备应用价值的有效信息。深度梳理各项参数的波动规律,总结设备性能衰减的演变特征,精准捕捉工况变化中的细微异常,从杂乱的数据资源中提炼能够真实反映设备运行状态的关键线索,为维修筹划与隐患排查提供扎实的数据支撑。

2.3 智能识别与研判技术

智能识别与研判技术依托成熟的算法模型,实现直升机故障隐患的自动化甄别与状态判定。结合直升飞机机械构造特点与机载系统运行规律,搭建高度适配的专属识别逻辑,清晰区分设备正常运行工况与异常故障状态。人工巡检难以识别的细微结构损伤、隐性电路缺陷以及缓慢性能偏移,都可以通过该技术精准筛查。有效弱化人工经验差异带来的判断偏差,依托多维数据特征完成故障分类、点位定位与异常等级判别,让维修判定工作更加规范、精准。

2.4 自动化运维与智能管控技术

自动化运维与智能管控技术,推动直升机维修全流程走向标准化与精细化。整套技术体系覆盖工序规划、作业监管、状态把控等核心运维环节,彻底改变传统人工主导的粗放运维模式。结合设备实时运行状态梳理运维侧重点,科学排布各项作业流程,统一各工序操作规范。最大程度减少人工疏漏、操作不规范引发的运维偏差,简化繁琐的现场管控流程。持续优化现场作业秩序,稳步提升直升机维修工作的规范性与整体作业效率。

2.5 数据互联与协同运维技术

传统直升机运维模式普遍存在明显的信息孤岛问题,运行数据、检修台账、构件状态资料分散存储,各作业环节信息流通受阻,不利于整体运维统筹。数据互联与协同运维技术能够有效破解这类行业痛点。通过搭建一体化数据交互架构,实现各类运维资料的集中汇总与资源共享。打通不同岗位、不同作业工序之间的信息壁垒,整合原本零散分布的运维资源,完成多维度数据

的统筹利用,搭建出高效联动、协同推进的现代化直升机运维工作模式。

3 智能技术在直升机维修全流程的应用

3.1 飞行装备动态状态监测应用

飞行装备动态状态监测依靠智能感知设备,实现直升机整机运行状态的持续跟踪。监测范围涵盖动力系统、传动结构、机载电气与飞行操控等核心装备,全程采集飞行阶段的各类运行参数。系统能够实时掌握机身结构形变、部件振动幅度、设备工作温度等关键工况,动态更新装备服役状态。传统定时检查存在明显滞后性,智能监测模式可以提前识别各类初期隐患,为维修处置预留充足时间,有效提升飞行装备运行稳定性^[3]。

3.2 设备故障智能甄别与研判应用

设备故障智能甄别与研判,依托数据分析算法完成精细化故障筛查。系统深度处理直升飞机载设备与机械构件的运行数据,从细微参数波动中挖掘隐藏的故障诱因。很多隐性缺陷、轻微性能偏移和缓慢结构损伤,很难通过人工巡检有效识别。智能技术可以精准锁定各类异常问题,依托数据变化特征区分故障类别、判定缺陷等级、定位故障点位,为检修工作提供清晰指向,减少故障误判与漏判的情况。

3.3 周期性智能维保作业应用

周期性智能维保作业打破传统固定周期维保的固化模式,以装备实际服役状态为依据调整维保方案。综合参考设备运行时长、实际工况负荷、性能衰减速率等多重因素,灵活调整维保开展时机和作业内容。重点构件长期承受高强度负荷、损耗速度更快,维保力度会针对性加强。状态稳定、损耗较小的设备可精简冗余维保环节。这种动态维保模式更适配装备真实工况,提升维保资源利用率,维持装备长期平稳服役状态。

3.4 航材资源智能管理应用

航材资源智能管理体系,对直升机维修所需零部件、消耗材料及配套设备开展系统化管控。智能平台自动统计各类航材的库存余量、存放状态和剩余服役寿命,规范物资入库、存储与取用的全流程。结合设备维保规律和构件损耗节奏,预判物资消耗趋势,辅助工作人员提前规划补给工作。有效规避物资短缺耽误维修进度,也能避免大量航材长期堆积闲置,为各类维修作业平稳推进提供可靠物资保障。

3.5 维修工序智能统筹调度应用

维修工序智能统筹调度,依托智能化管控逻辑优化现场作业排布方式。结合直升机故障分布、检修难度、场地条件及人员配置,科学界定各作业环节的优先级。

合理排布维修工序顺序,精准调配现场作业人员与设备资源,梳理清晰、顺畅的检修流程。有效规避工序错乱、作业交叉干扰等常见问题,压缩无效作业时长。规整的现场作业模式能够提升维修工作有序度,加快整体检修进度,提高直升机运维保障的整体质量。

4 直升机智能维修体系优化与完善路径

4.1 智能维修技术适配优化方式

市面通用智能技术大多面向通用工业设备研发,技术设计逻辑较为宽泛,难以完全适配直升机精密化、专业化的维修场景。直升机整机结构精密,动力系统、传动部件与机载电气设备运维要求具备独特性,通用技术模式容易出现功能冗余或适配不足的问题。结合航空运维场景特点,对智能感知、数据解析、故障识别等核心技术开展专项调校^[4]。结合不同构件的损耗规律与检修要求,调整算法判别逻辑与数据采集维度,删减无效功能模块,补齐各类构件检修工况下存在的技术适配短板。

4.2 维修数据资源整合建设

数据资源是支撑智能维修稳定运行的重要基础,完整规范的数据储备能够保障各项智能技术高效落地。现阶段直升机运维数据分散在各个作业环节,数据分类杂乱、标准不一,整体利用价值难以充分发挥。需要搭建统一的数据归集平台,集中收纳设备运行参数、故障记录、检修台账以及航材消耗资料。统一数据录入、分类存储、筛选调用的执行标准,清理重复、失效的冗余信息。建立常态化的数据更新与审核机制,规范全流程数据管理模式,夯实智能运维工作的数据基础。

4.3 智能维修作业规范构建

传统维修作业规范依托人工运维模式制定,无法适配智能设备操作、数据化检修的全新作业模式。智能化维修涉及设备感知、数据分析、智能研判等新型工序,原有管理条款存在明显空白。需要结合智能化维修流程,搭建全新的标准化作业体系。明确智能巡检、故障甄别、工序调度等各个环节的操作准则,细化岗位工作内容与作业要求。通过标准化制度约束现场作业行为,有效规避人工操作偏差带来的各类运维问题。

4.4 智能维修专业队伍建设

智能化维修模式交叉融合航空运维与信息技术,对

一线维修人员的知识结构与实操能力提出更高要求。传统维修人员熟悉机械检修流程,但普遍缺乏数据处理、智能设备操作与算法解读的专业能力。需要搭建系统化、常态化的人才培训机制,围绕智能设备操作、数据研判、系统运维等内容开展专项教学。针对性补齐现有人员的技术短板,强化智能化场景下的实操能力,完善适配智能运维场景的人才培养体系。

4.5 维修智能化体系升级方向

直升机维修智能化发展是长期迭代、持续完善的系统工程。现阶段智能化应用多停留在单一技术独立落地的层面,各技术模块相互独立,缺少联动衔接,整体运维架构不够完整。技术应用场景覆盖面有限,精细化运维、小众构件维保等环节仍存在智能化空白。后续体系升级需要聚焦多类智能技术的深度融合,打通各技术模块的运行壁垒。搭建数据管控、智能研判、工序调度一体化的联动运维架构,拓展智能技术在各类细分检修场景的应用范围。紧跟航空装备迭代节奏持续优化运维模式,持续提升直升机维修工作的精细化与智能化水平。

结束语

智能技术与直升机维修作业的深度融合,能够有效弥补传统运维模式的各类短板,解决复杂工况下航空装备检修难度大、管控不规范的问题。通过梳理各类智能技术的适配场景与应用方式,针对性完善技术适配、数据建设、作业规范及人才培养等配套体系,搭建适配直升机专属特征的智能化运维模式。整套优化思路可完善航空维修工作流程,提升直升机运维保障的专业化水平,为同类航空装备智能运维建设提供成熟的参考思路。

参考文献

- [1]王亚楠,张柯,姜斌.无人直升机集群协同维修智能决策优化[J].航空科学技术,2024,35(10):26-34.
- [2]张云松,孙毅,余志强,等.直升机维修保障体系数字化转型路径研究[J].航空维修与工程,2026(5):29-33.
- [3]沈志广,丁盛.直升机机械故障诊断技术的应用[J].航空维修与工程,2025(4):71-73.
- [4]刘益宁.直升机电气系统故障诊断与维修技术[J].中国航班,2026(7):40-42.