

浅析航空装备健康监测技术

卢士超 郭奇 王洪伟* 张东方 高潮 周磊 何海生 黄凯超 苏一
北京航空工程技术研究中心
DOI:10.12238/pe.v3i3.13622

[摘要] 航空装备健康监测技术是保障飞行安全和提高装备使用效率的关键技术。本文首先概述了传感器技术、数据采集与传输、数据分析与处理的研究现状,探讨航空装备健康监测技术面临的主要挑战,展望了航空装备健康监测技术的未来发展方向,以推动航空装备健康监测技术的持续进步。

[关键词] 航空装备; 健康监测技术; 未来发展方向

中图分类号: F407.5 文献标识码: A

Analysis of Health Monitoring Technology for Aviation Equipment

Shichao Lu Qi Guo Hongwei Wang* Dongfang Zhang Chao Gao Lei Zhou
Haisheng He Kaichao Huang Yi Su
Beijing Aeronautical Technology Research Center

[Abstract] Aviation equipment health monitoring technology is a key technology to ensure flight safety and improve the efficiency of equipment utilization. This article first summarizes the research status of sensor technology, data acquisition and transmission, data analysis and processing, explores the main challenges faced by aviation equipment health monitoring technology, and looks forward to the future development direction of aviation equipment health monitoring technology to promote the continuous progress of aviation equipment health monitoring technology.

[Key words] aviation equipment; Health monitoring technology; Future development direction

引言

随着航空装备复杂程度不断提升,传统基于故障后维修的模式已难以满足现代航空装备高可靠性、长寿命、低维护成本的需求。因此,发展先进的航空装备健康监测技术,实现装备状态的实时监测、故障预测和健康管理,已成为航空领域亟待解决的关键问题。航空装备健康监测技术是指利用各种传感器、信号处理、数据分析等技术手段,对航空装备运行过程中的状态参数进行实时监测和分析,以评估装备的健康状态,预测潜在故障,并提供维护决策支持的一门综合性技术。本文将对航空装备健康监测技术的研究现状、关键技术以及未来发展趋势进行简要分析,以期对相关领域的研究人员和工程技术人员提供参考。

1 研究现状

1.1 传感器技术

传感器技术是航空装备健康监测技术的核心,其性能直接决定了监测系统精度,航空装备健康监测系统要采集参数种类繁多,包括温度、压力、振动、噪声、应力、位移、速度、加速度、电流、电压、气体浓度等。因此,要根据不同的监测需求选择合适的传感器类型和性能指标。近年来,随着微电子技术、材

料科学和制造工艺的快速发展,传感器技术取得了长足进步,涌现出许多新型传感器,如MEMS传感器具有体积小、重量轻、功耗低、灵敏度高等优点,广泛应用于振动、加速度、压力等参数的监测;光纤传感器具有抗电磁干扰、耐高温、耐腐蚀等优点,广泛应用于温度、应力、位移等参数监测;无线传感器无需布线,便于安装和维护,适用于复杂环境下的参数监测;智能传感器集成了信号调理、数据处理、通信功能,能够实现参数的实时采集、处理和传输。

1.2 数据采集与传输

数据采集与传输核心任务是获取反映装备运行状态的各类数据,并将其安全、可靠、高效地传输至数据处理中心。目前,航空装备健康监测常用的传感器包括振动传感器、温度传感器、压力传感器、应变传感器、加速度传感器等。近年来,随着MEMS技术快速发展,微型化、低功耗、高精度传感器不断涌现,为航空装备健康监测提供各种选择。数据采集系统负责将传感器采集到的模拟信号转换为数字信号,并进行预处理,如滤波、放大、去噪等,现代数据采集系统通常具备高采样率、高精度、多通道、便携式等特点,能够满足不同类型航空装备健康监测的需求。在数据传输中,有线传输方式主要包括机载有线网络、光纤传输、

机载存储介质等,无线传输方式通常采用无线射频遥测、卫星通信、数据链系统、北斗、GPS等方式传输。为了兼顾有线传输和无线传输的优点,航空装备健康监测系统采用混合传输方式,以实现数据的高效、可靠传输。

1.3 数据分析与处理

航空装备健康监测涉及的数据类型多样,包括振动、温度、压力、电流、电压等,数据采集系统要具备高精度、高可靠性、实时性等特征,预处理阶段主要包括数据清洗、去噪、归一化等操作,有效消除噪声干扰,提高数据质量。特征提取是从原始数据中提取能够表征装备健康状态的关键特征,常用特征提取方法包括时域分析、频域分析、时频分析、小波变换等,特征选择则是从提取的特征中筛选出最具代表性的特征,科学降低数据维度,提高模型效率。状态评估是根据提取的特征对装备当前健康状态进行评估,一般采用基于规则方法、基于统计方法、基于机器学习方法,预测则是根据历史数据和当前状态预测装备未来健康状态,常用的预测模型包括时间序列分析、回归分析、神经网络、支持向量机等。

2 技术挑战

2.1 传感器精度与可靠性

航空装备健康监测技术旨在通过实时监测装备的运行状态,及时发现潜在故障隐患,实现预测性维护,从而提高装备的可靠性,降低维护成本,延长使用寿命。但想要实现上述目标,航空装备健康监测技术面临着诸多挑战,其中传感器精度与可靠性问题尤为突出。传感器作为健康监测系统的重要环节,其性能直接决定了监测数据的可靠性,然而航空装备运行环境复杂多变,传感器面临着高温、高压、强振动、强电磁干扰等恶劣条件,极易出现性能退化、数据失真等问题,严重影响监测结果的准确性。为了应对上述挑战,需要从传感器的设计、制造、测试、维护等多个环节入手,采用新材料、新工艺、新技术,提高传感器精度。例如:采用耐高温、耐腐蚀的材料,优化传感器结构设计,提高抗干扰能力;利用先进的制造工艺,提高传感器的加工精度;应用严格的测试标准,评估传感器的性能测试;建立完善的维护体系,定期对传感器进行校准和维护,控制其长期稳定运行^[1]。

2.2 数据传输的实时性与安全性

近年来,随着航空技术飞速发展,航空装备复杂性和集成度不断提升,对健康监测技术提出了更高要求,健康监测技术旨在实时监控航空装备的运行状态,及时发现潜在故障,保障飞行安全,提高运营效率。而在实际应用中,航空装备健康监测技术面临着诸多挑战,其中数据传输的实时性与安全性尤为突出。航空装备运行环境复杂多变,传感器采集的数据量庞大且种类繁多,如温度、压力、振动、应力等,这些数据要实时传输到地面监控中心进行分析处理,以便及时发现异常情况,并采取相应措施。但航空装备通常飞行在高空或偏远地区,卫星通信存在带宽有限、延迟较高等传统数据传输方式存在各种问题,难以满足实时性要求。因此,如何突破数据传输瓶颈,实现高效、低延迟的数据传输,是航空装备健康监测技术亟待解决的难题^[2]。

2.3 复杂系统的故障诊断与预测

近年来,随着人工智能技术快速发展,基于机器学习、深度学习等技术的故障诊断与预测方法逐渐兴起,并在某些领域取得了一定的成果,但这些方法在应用于航空装备健康监测时,仍然面临着数据获取困难、模型训练复杂、解释性不足等挑战。在航空装备健康监测技术发展中,要构建高效的传感器网络,实现对装备运行状态的全面、实时监测;发展先进的信号处理和数据分析技术,从海量监测数据中提取出有价值的特征信息;研究基于人工智能的故障诊断与预测模型,提高诊断精度和预测准确性;开发智能化的健康管理系统,实现对装备健康状态的实时评估、预警和维护决策^[3]。

3 未来展望

3.1 智能化发展

未来,航空装备健康监测技术将朝着更加智能化、自主化的方向发展,传感器技术将朝着微型化、集成化、多功能化方向发展,实现对航空装备运行状态的全面感知,边缘计算和云计算技术的结合将大幅提升数据处理效率,实现实时数据分析和预测。人工智能技术,尤其是深度学习、机器学习等算法,将在故障诊断和预测中发挥越来越重要的作用,通过学习海量历史数据,人工智能模型能够识别出复杂的故障模式,并实现对潜在故障的早期预警,从而将传统的“事后维修”转变为“预测性维护”。基于物联网和大数据技术,构建航空装备健康管理平台,实现对多源异构数据的可视化,智能化的健康管理系统能够为维护人员提供决策支持,优化维护策略,提高维护效率^[4]。

3.2 网络化协同

随着信息技术的飞速发展,航空装备健康监测技术正朝着网络化协同方向迈进,未来航空装备健康监测将打破信息孤岛,实现不同平台、不同系统、不同层级数据的互联互通,通过构建全域监测网络,将地面站、卫星、无人机等监测平台有机结合,实现对航空装备运行状态的全方位、立体化监控,为故障诊断和预测提供更全面的数据支撑。机器学习和深度学习将在航空装备健康监测中发挥越来越重要的作用,通过分析海量历史数据,人工智能算法可以实现对装备故障的精准预测和智能诊断,并根据实时数据动态调整预测模型,提高预测的准确性^[5]。

3.3 轻量化与低功耗

在航空装备健康监测技术发展过程中,轻量化与低功耗始终是备受关注的焦点,航空器对重量和能耗有着极为严苛的要求,任何额外重量和能耗都会对飞行性能造成不利影响。因此,开发轻量化、低功耗的健康监测系统,是未来技术发展的重要方向。未来将探索更多轻质、高强度的材料,例如碳纤维复合材料、纳米材料等,用于制造传感器和数据采集设备,以减轻系统重量;MEMS技术发展将推动传感器向微型化、集成化方向发展,在保证监测精度的同时,大幅降低系统重量和功耗^[6]。

4 总结

综上所述,航空装备健康监测技术发展对于提升航空装备可靠性具有重要意义,随着传感器技术、数据采集与传输技术、

数据分析与处理技术不断进步,航空装备健康监测系统正朝着智能化方向发展。然而,面对复杂多变的航空装备运行环境,传感器精度与可靠性、数据传输的实时性与安全性、复杂系统的故障诊断与预测仍然是亟待解决的技术挑战。未来,通过技术创新和跨学科融合,航空装备健康监测技术将进一步提升其监测能力和预测精度,为航空装备的安全运行提供更加坚实的保障。

[参考文献]

[1]张岚云,何彦,杨静怡,等.航空装配作业疲劳监测机理研究及其装备设计应用[J].包装工程,2022,43(16):3,1-9.

[2]张昌福,王飞飞,李琳,等.数据驱动的航空装备健康管理平台设计与应用[J].制造业自动化,2024,46(6):19-28.

[3]车畅通.直升机航空施药作业监测系统设计及雾滴飘移模型研究[D].吉林:吉林大学,2024.

[4]汪进超,林毅,宋平,等.航空涡轮盘拉削刀具健康监测系统设计[J].工业控制计算机,2024,37(1):66-68.

[5]张浩驰,张星一.基于数据驱动的航空装备生产系统PHM方法与应用系统设计[J].航空科学技术,2023,34(11):81-86.

[6]胡明辉,高金吉,江志农,等.航空发动机振动监测与故障诊断技术研究进展[J].航空学报,2024,45(4):1-29.

作者简介:

卢士超(1989--),男,汉族,山东济南人,博士,北京航空工程技术研究中心,主要从事飞行安全方面的研究工作。