

面向大数据的智慧机电设备健康监测及寿命预测技术研究

杨文斌, 张 恒*

(山东省工业设备安装集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 本研究分析了机电设备在实际应用中的健康监测需求, 指出传统监测方法的局限性, 强调了大数据技术在数据采集、处理和分析中的优势, 打造依托物联网技术的健康监测网络体系, 利用传感器网络实时收集设备运行数据, 应用数据挖掘和机器学习技术进行数据分析, 可实现对设备状态的实时监控, 并通过案例研究验证了所提出技术的有效性, 展示了在实际工业环境中应用这一技术的潜力和前景。研究结果显示, 智慧机电设备健康监测及寿命预测技术能够显著降低设备故障率, 提高生产效率, 为企业的设备管理提供科学依据。

关键词 大数据; 智慧机电; 健康监测; 寿命预测

中图分类号: TP311.13; TP183; TH17 文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.06.011

0 引言

随着工业 4.0 和智能制造的快速发展, 机电设备在各个行业中的应用日益广泛。传统的设备管理模式已无法满足日益增长的生产效率和设备可靠性的要求。因此, 开展机电设备的健康监测和寿命预测研究显得尤为重要。健康监测技术能够即时捕捉设备运作状况, 迅速识别出隐藏的故障隐患, 有效减少设备的停工时间和保养费用。而预测寿命的方法, 通过对过往及当前数据的综合分析, 为设备保养提供了合理的参考, 进而使得设备的使用周期得到延长, 提高经济效益。

智慧机电设备的健康监测与寿命预测不仅具有重要的学术价值, 还具有显著的社会和经济意义。在工业领域, 生产设备的稳定性提升, 不仅促进了生产效率的增长, 同时也实现了资源的高效利用及环境负担的减轻, 助力了可持续发展的进程。此外, 企业在设备管理方面的优化, 能够显著提升其竞争力, 增强市场应对能力。因此, 基于大数据的智慧机电设备健康监测及寿命预测技术研究, 具有深远的现实意义和广阔的应用前景。

1 智慧机电设备健康监测技术

1.1 健康监测系统架构

健康监测系统架构是智慧机电设备健康监测技术的核心环节, 其设计与实现直接影响监测的有效性和准确性。该系统通常由多个关键模块构成, 主要包括

数据采集模块、数据传输模块、数据处理与分析模块、监测结果展示模块以及预警模块。数据采集模块负责通过各种传感器实时获取机电设备的运行状态数据, 例如温度、压力、振动、声学信号等。这些数据是健康监测的基础, 传感器的选择和布局直接关系到监测精度与覆盖范围。普遍应用的传感器种类涵盖了加速度传感器、温度感应器以及压力感应装置等, 依据设备特性进行合理配置, 确保数据采集的全面性和准确性。

数据传输模块则负责将采集到的数据实时传送到处理中心。此模块通常采用无线通信技术, 如 Wi-Fi、蓝牙或物联网 (IoT) 协议, 以实现数据的快速传输。对于大规模的机电设备集群, 数据传输的稳定性和安全性至关重要, 需要通过加密传输和信号增强技术来保障数据在传输过程中的完整性与安全性。数据的处理和分析是整个系统的关键, 主要负责对收集到的数据进行预处理、特征提取和分析。初步处理流程涵盖了信息的净化、降噪以及标准化等措施, 这些步骤旨在为后续的精准确探打下坚实的基础^[1]。

1.2 传感器技术及数据采集

在智慧机电设备健康监测领域, 传感器技术发挥了不可或缺的作用。这些传感器能够即时捕获机械的运作信息, 并且为深入的数据处理和问题诊断工作提供了必要的支撑。当前, 在机电设备健康监测系统中广泛采用的传感器种类繁多, 其中包括温度感应

*本文通信作者, E-mail: 15668468326@163.com。

器、振动感应器、压力感应器和流量感应器等。温度感应器主要担负着监控机械工作温度的任务,以防止过热导致的设备故障。常见的温度感应器包括热电偶和热敏电阻等类型。通过在关键部位安装多个温度传感器,能够实现对设备温度的全面监测,及时发现异常情况。振动传感器则用于检测设备的振动状态,能够有效识别设备的故障隐患。在振动感应器中,加速度感应器和速度感应器是两种常用的类型。通过分析振动信号的频谱,可以识别出设备的失衡、松动或轴承故障等问题。压力传感器在液压和气动系统中应用广泛。通过实时监测压力变化,可以判断系统是否正常运行,及时发现泄漏或堵塞等故障。不同类型的压力传感器,如应变式和电容式传感器,各自具有不同的优缺点,适用于不同的工作环境^[2]。

1.3 数据预处理与特征提取

数据预处理与特征提取是智慧机电设备健康监测过程中至关重要的步骤,对随后的故障诊断与寿命预报精度有直接的影响。数据预处理旨在提高数据质量,为特征提取提供可靠的基础。以下将详细探讨这一过程的主要内容和方法。

在进行数据准备工作时,涵盖了数据净化、填补缺失数据、异常值检测等多个环节。数据清洗的目的是去除冗余信息,以保持数据集的精确性和统一性。常规手段包括消除重复记录、修正不规范的数据格式等。在缺失值处理方面,可以采用均值填补、插值法等技术来补充缺失数据,确保数据集的完整性。异常值检测则可以通过统计方法(如Z-score)或基于模型的方法(如孤立森林)来识别并处理那些不符合正常范围的观测值,以防对分析结果产生负面影响。

特征提取是指从原始资料中筛选出有助于分析的关键要素。在智慧机电设备的健康监测中,传感器采集的数据通常具有高维特征和强噪声,直接使用原始数据进行分析往往效果不佳。可以采用多种方法进行特征提取。特征提取法涵盖了平均值、方差、最大值、均方根等统计指标,这些统计特征能够反映设备在正常工作状态下的运行特性。频域特征提取则通过快速傅里叶变换(FFT)等技术,分析设备的振动信号,提取频率成分和幅值信息。

1.4 故障诊断方法

故障诊断方法是智慧机电设备健康监测技术中的关键环节,旨在及时发现和识别设备的潜在故障,进而有效缩短设备暂停运作的时长及控制保养费用。在故障检测与诊断领域,常用的技术手段涵盖了建模分析法、信号处理技术以及数据驱动型策略。基于模型的故障诊断方法通常依赖于设备的物理模型。这种方

法通过建立设备的数学模型,监测实际运行数据与模型预测数据之间的差异来判断设备是否出现故障。例如,机器系统动力学特性的状态空间建模,通过对比实际状态与模型状态,可以识别出故障发生的时间及性质。这种方法的优点在于可以明确故障原因,但缺点在于模型建立复杂且需要准确的参数。信号处理方法则侧重于对设备运行过程中产生的信号进行分析。一般的信号处理方法有:时域、频域和时域^[3]。

2 寿命预测技术

2.1 寿命预测的基本原理

寿命预测的基本原理主要涉及通过对机电设备的历史运行数据和当前状态进行分析,以估计其未来的使用寿命。这一过程通常基于物理模型、统计模型以及机器学习模型等多种方法,结合设备的特性和使用环境,形成综合的寿命预测方案。在物理模型中,通常运用材料疲劳、磨损和老化等理论,通过建立数学模型来描述设备在不同工作条件下的失效机制。这些模型能够提供设备在特定负载和环境条件下的预期寿命。例如,对于轴承的寿命预测,可以利用临界应力、温度和润滑条件等因素,结合已有的疲劳理论,预测其失效时间。统计模型则依赖于历史数据,通过分析设备在不同时间段内的故障记录,提取相关特征,建立生存分析模型,或者采用回归分析方法,来推断设备的寿命。

2.2 基于机器学习的寿命预测模型

机器学习作为一种强大的数据分析技术,已广泛应用于寿命预测领域。此技术依托于对过往数据的模式与法则的深入分析,实现了对机械电子设备使用寿命期限的准确预测。基于机器学习的寿命预测模型通常包括数据准备、特征选择、模型训练和模型评估几个关键步骤。数据准备阶段首先需要收集相关设备的运行数据与故障信息^[4]。这些数据来源于传感器监测、操作记录和维护日志等。数据质量的高低直接关系到预测结果的精确度,因此在此阶段需要进行数据清洗,包括去除缺失值和异常值。同时,数据的标准化处理也是必要的,目的是减少不同量纲对训练过程的干扰。属性筛选过程对于建立高效的机器学习模型至关重要,选取恰当的属性可以增强模型的预测精度和适用范围。通常,特征可以从设备的运行状态、环境条件、历史故障记录等多个维度进行提取。例如,可以采用统计特征(如均值、标准差)、频域特征(如频率成分)、时域特征(如最大值、最小值)等多种方法进行综合分析。

2.3 基于物理模型的寿命预测方法

基于物理模型的寿命预测方法通过建立机电设备

的物理特性和失效机制,为寿命预测提供了理论基础。该方法通常基于设备材料的疲劳特性、磨损规律以及环境因素的影响,以进行寿命评估。首先,物理模型的构建需要深入理解机电设备的工作原理及其内部结构。例如,电动机的寿命预测可以利用材料的疲劳强度和应力一应变关系,通过建立应力分析模型,评估在特定工作条件下可能导致的失效模式。通过使用有限元分析软件,对电动机的关键部件进行建模,可以在不同工况下模拟应力分布,进而预测其疲劳寿命。其次,磨损过程也是影响机电设备寿命的重要因素。机械部件如齿轮和轴承在长期运转中会发生磨损,构建磨损模型往往依据材料的磨损原理,如阿基米德磨损定律或 Archard 磨损方程。通过对磨损速率的研究,可以预测设备在正常使用条件下的剩余寿命。

3 关键技术探讨

3.1 数据质量保障技术

数据质量保障技术是智慧机电设备健康监测与寿命预测的基础,确保数据的准确性、完整性和一致性对后续分析至关重要。随着大数据技术的快速发展,数据来源日益多样化,如何有效保证数据质量成为研究的重要课题。数据质量保障的首要任务是数据的准确性。这一方面需要在数据采集环节进行严格控制,采用高精度的传感器和设备,保障机电装备运行数据的真实性较为关键,它直接关联到设备状态监测的准确性。例如,选用高精度温度传感器来实时监控设备的工作温度,能够及时发现异常情况,避免因数据偏差导致的错误判断。完整性是数据质量的另一关键指标,缺失的数据会直接影响分析结果。在数据采集过程中,可以通过冗余设计和多通道数据采集来提高数据的完整性^[5]。

3.2 实时监测与预警机制

实时监测与预警机制在智慧机电设备的健康监测中扮演着至关重要的角色。该机制能够及时获取设备的运行状态,通过对实时数据的分析,快速识别潜在的故障风险,从而采取相应措施避免设备损坏和生产中断。实现实时监测的关键在于传感器的部署。高精度的传感器能够对机电设备的温度、振动、电流等参数进行实时采集。这些数据通过无线网络传输至中央处理系统,形成一个完整的信息流。以风力发电机为例,传感器可以实时监测叶片的振动情况,若振动幅度超出正常范围,系统会立即进行故障预警。数据处理是实时监测的另一重要环节。通过数据分析与处理技术,能从大量的资料中提炼出有用的资讯。采用流数据处理技术,系统能够实现对数据的实时分析。在预警机

制方面,基于设定的阈值模型和机器学习算法,系统能够有效识别异常状态。

3.3 多源数据融合方法

多源数据融合方法在智慧机电设备健康监测与寿命预测中扮演着至关重要的角色。随着传感器技术的进步,不同来源的数据日益丰富,包括设备内部传感器的数据、环境监测数据、用户操作数据等。这些数据各自具有不同的特征和维度,直接影响到设备的健康状态及其寿命预测的准确性。多源数据的集成核心宗旨在于实现不同渠道信息的精准合并,以提取出更具价值的信息。常用的融合策略涉及数据层面的整合、特征层面的整合以及决策层面的整合。数据级融合在数据采集阶段进行,将所有源的数据合并为一个统一的数据集。这种方法需要对数据进行清洗和标准化,以确保不同来源数据的一致性。例如,在机电设备的健康监测中,来自温度传感器、震动传感器和压力传感器的数据可以通过插值等技术进行融合,从而获得更全面的设备状态信息^[6]。

4 结束语

本研究针对大数据环境下智能机电设备的健康监测及寿命预测技术进行了深度探讨,结合实际应用案例和理论分析,提出了一系列创新的方法和技术。研究的重点是如何借助于大数据技术增强智能机电设备的健康监测及寿命预测技术的准确性,为设备管理和维护提供科学依据。总体而言,本研究为智慧机电设备的健康监测与寿命预测提供了系统性的方法论,旨在为推动相关领域的技术进步提供参考。未来,可以在更广泛的应用场景中验证和优化本研究所提出的技术,为智能机电设备的管理智能化打下更加牢固的理论与实践基础。

参考文献:

- [1] 蔡启发, 邓同辉. 基于 ITSS 标准的高速公路机电设备智慧运维管理平台建设[J]. 中国交通信息化, 2024, 30(11): 31-34.
- [2] 赵同龙. 集中监控模式下高速公路机电系统设备运维管理[J]. 设备管理与维修, 2024(20): 10-12.
- [3] 王安民. 景电泵站机电设备运行管理中常见问题及策略[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(09): 163-165.
- [4] 沈于腾. 智能箱在高速公路机电系统智慧运维中的应用[J]. 中国交通信息化, 2024(09): 141-143.
- [5] 邓国红. 机电设备智慧运维管理系统在高速公路工程中的应用研究[J]. 通讯世界, 2024, 31(06): 193-195.
- [6] 曾旺. 基于智慧运维的高速公路机电设备管理研究[J]. 中国设备工程, 2024(09): 26-28.