

Research on intelligent monitoring and fault diagnosis technology of mechanical thermal equipment

Fengtao Wang

Xinjiang Railway Vocational and Technical College, Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract

This paper focuses on the intelligent monitoring and fault diagnosis technology of mechanical and thermodynamic equipment. The technology is born due to economic losses and security threats caused by equipment failure, and its foreign application is mature, while domestic development is fast but there is a gap. Intelligent monitoring includes sensors, data acquisition, transmission, processing and analysis, vibration and other monitoring technologies have their own advantages, and multi-parameter fusion is better. There are three types of fault diagnosis methods based on model, data and knowledge, machine learning and deep learning to improve diagnosis ability, and realize networked and multidisciplinary integration. The combination of the two can improve equipment reliability and cost reduction, and the case of power plants and chemical plants has been verified. The current technology is facing challenges such as data processing, and solutions such as optimizing collection and processing are proposed accordingly. In the future, the integration of multiple technologies will promote its wide application and help industrial intelligence

Keywords

mechanical and thermodynamic equipment; intelligent monitoring; fault diagnosis; Internet of Things

机械热动设备的智能监测与故障诊断技术研究

王峰涛

新疆铁道职业技术学院, 中国 · 新疆 哈密 839000

摘 要

本文聚焦机械热动设备的智能监测与故障诊断技术。该技术因设备故障致经济损失、安全威胁而生, 国外应用成熟, 国内发展快但有差距。智能监测含传感器、数据采集传输及处理分析, 振动等监测技术各有优势, 多参数融合更优。故障诊断有基于模型、数据、知识三类方法, 机器学习和深度学习提升诊断力, 且实现网络化、多学科融合。二者联用可提设备可靠性、降成本等, 电厂和化工厂案例已验证。当前技术面临数据处理等挑战, 相应提出优化采集处理等方案。未来, 多技术融合将促其广泛应用, 助力工业智能化

关键词

机械热动设备; 智能监测; 故障诊断; 物联网

1 引言

在现代工业中, 机械热动设备应用广泛, 但长期运行易因高温、高压等出现故障, 造成经济损失, 威胁人员安全与环境。为此, 智能监测与故障诊断技术应运而生。

国外在该领域起步早, 传感器技术创新不断, 无线传感器网络广泛应用。基于人工智能与数据驱动的故障诊断方法成熟, 众多企业已实现技术深度应用。国内近年来发展迅速, 传感器性能提升, 物联网助力数据采集传输, 机器学习与深度学习推动故障诊断研究, 部分大型企业开始应用相关技术, 但与国外仍有差距。未来, 该技术将向智能化、多参数融合与大数据分析、网络化与远程诊断方向发展, 并与

VR、区块链等技术融合, 为工业智能化提供支撑。

2 机械热动设备智能监测技术原理

机械热动设备智能监测技术由传感器技术、数据采集传输及处理分析构成。

传感器技术是监测基础, 温度、压力、振动、流量等传感器感知设备物理量变化, 转化为电信号, 像锅炉炉膛用热电偶测温度, 反应釜用电容式压力传感器测压力, 助力设备运行监测。数据采集系统收集传感器信号, 经调理、模数转换后传至计算机, 采集方式分连续和定时两种。数据传输有有线、无线两类, 前者稳定可靠, 后者灵活便捷, 但信号易受干扰。数据处理则先经清洗、滤波、归一化等预处理, 再用时域、频域、时频分析提取运行特征。

常见监测技术包括振动、温度、压力监测及多参数融合监测。振动监测用于旋转机械故障诊断, 如轴承、齿轮、

【作者简介】王峰涛(1993-), 男, 中国河南信阳人, 本科, 工程师, 从事机械设计制造及其自动化研究。

轴故障会引起振动信号变化,某石化企业压缩机组借此及时发现叶片断裂。温度监测可察觉设备过热,电机、变压器等超温时能报警,钢铁企业热风炉借此保障稳定运行。压力监测能检测管道堵塞、泄漏及设备内部压力异常,热电厂蒸汽管道借此避免超压事故。多参数融合监测综合多个参数分析,弥补单一参数监测不足,化工反应釜和风力发电机组运用该技术,全面了解设备运行状态,准确诊断故障^[1]。

3 机械热动设备故障诊断技术

3.1 故障诊断技术分基于模型、数据和知识三类

基于模型的方法,构建设备数学模型,对比模型与实际输出的偏差诊断故障,常用状态估计法和参数估计法。航空发动机和机器人手臂因模型易建,常借此法监测故障。基于数据的方法,借助统计分析、聚类分析、主成分分析挖掘数据特征,诊断设备故障。以电力变压器为例,综合运用这些方法,能定位内部绕组局部短路故障。基于知识的方法,利用专家经验、设备原理和历史案例构建知识库,通过推理诊断故障。专家系统和模糊逻辑是典型应用,在航空航天和汽车制造领域发挥重要作用。该方法适应性强,但知识获取和更新存在难题,常与其他方法结合使用。

3.2 智能化故障诊断技术正不断发展

机器学习中,支持向量机在高维空间寻找分类超平面,能对旋转机械故障精准分类,且适应小样本;神经网络模拟大脑神经元,可学习故障规律,诊断电机多种故障。化工压缩机借助二者,诊断准确率提升超 20%。深度学习里,卷积神经网络自动提取局部特征,有效诊断旋转机械故障;循环神经网络及改进的 LSTM 处理时间序列数据,提前预警汽轮机故障。风力发电机组结合二者,诊断准确率提升超 25%,预警提前 3 - 5 天。随着物联网发展,故障诊断实现网络化,化工企业借此远程管理设备。同时,故障诊断融合信号处理、模式识别和人工智能多学科技术。

4 智能监测与故障诊断技术的联合应用

4.1 智能监测与故障诊断技术的联合应用,对现代工业意义重大

在价值层面,二者联合大幅提升设备可靠性。旋转机械依靠振动传感器监测振动,诊断技术分析数据,能及时察觉轴承磨损等隐患。同时,实现预防性维护,化工反应釜借助运行数据预测零部件寿命,延长设备使用寿命超 20%。此外,及时预警故障降低维修成本,电力企业应用后维修成本降低 30% 以上,还避免生产中断,汽车制造企业借此提升 15% 生产效率。在应用方法上,先通过高精度传感器采集数据,如火力发电厂汽轮机安装压电式振动、铂电阻温度和电容式压力传感器。接着集成传感器技术,化工反应釜利用无线传感器网络,同步采集多参数数据。随后采用先进算法处理数据,清洗去除噪声、缺失值,结合时域、频域分析提取特征,运用机器学习算法预测故障。之后,构建预警和

诊断系统,电力企业变压器监测系统在油温、气体含量异常时报警,并给出故障分析和处理建议。

4.2 应用案例分析

某电厂引入智能监测与故障诊断技术,保障汽轮机稳定运行。在传感器布置上,依据汽轮机结构,在轴承座、进排汽管道、润滑油系统分别安装振动、压力、温度及油质传感器。数据采集与分析采用高速采集卡,以毫秒级频率采集数据,经光纤传输至处理中心。利用数据清洗、时域频域分析及小波变换,对数据进行预处理与深入分析,提取关键特征参数。故障诊断模型融合支持向量机、神经网络等机器学习算法,结合深度学习与专家系统,借助大量数据训练,实现精准诊断。该技术应用成效显著。一次监测中,系统发现轴承振动异常,经诊断确定为磨损故障,及时检修避免故障扩大。此外,汽轮机维修成本降低 30% 以上,停机时间减少 40% 左右,发电效率提高 5%。

某化工厂压缩机智能监测与故障诊断,化工厂为保障压缩机稳定运行,引入智能监测与故障诊断技术。在压缩机缸体、进出口管道、润滑油系统布置振动、压力、温度及油液传感器。数据采集系统以高频率采集数据,通过无线传输至监控中心。利用专业软件进行数据清洗、滤波,运用统计分析与相关性分析挖掘数据信息。故障诊断模型采用决策树、随机森林等机器学习算法训练,结合专家经验建立规则系统。应用过程中,监测系统发现压缩机振动、温度异常及压力波动,诊断为活塞环磨损,及时检修恢复运行。应用后,压缩机运行效率提高 25% 以上,生产中断次数减少 60% 左右,维修成本降低 40% 以上,有力保障了化工厂安全生产与经济效益^[2]。

5 技术挑战与解决方案

5.1 面临的挑战

数据采集与处理难题:机械热动设备运行环境恶劣,构造和原理复杂,数据采集难度大。以大型船舶动力系统为例,主机、辅机及传动装置运行时会产生转速、扭矩等多种物理量。采集这些数据,不仅要在关键部位合理部署传感器,还需兼顾选型、安装位置和兼容性。工业现场的电磁、机械振动等干扰,易造成数据失真。如钢铁厂轧钢车间,大型电机和电焊机产生的电磁干扰,会严重影响传感器精度,给后续分析带来阻碍。此外,设备产生的数据量呈爆发式增长,大型化工企业反应釜每日数据可达数 GB。传统数据处理方法难以应对海量数据,不仅处理速度慢,且数据中冗余和噪声多,有效信息提取难度大。

故障诊断精度问题:机械热动设备的复杂性和不确定性影响故障诊断精度。设备由众多零部件组成,不同故障可能表现出相似症状,同一故障在不同工况下表现也不尽相同。以汽轮机为例,轴承和叶片故障都会导致振动异常,但原因和特征差异明显,仅依据振动症状难以准确诊断。现有

的故障诊断方法存在局限性。基于模型的方法需深入了解设备结构和运行特性,模型参数确定困难,且实际运行环境多变,诊断准确率不高。基于数据的方法在处理小样本或新型故障数据时,容易出现过拟合或欠拟合问题,诊断精度受限。

实时监测与预警要求:机械系统运行状态变化迅速,对实时监测和预警要求高。但目前实现该目标存在诸多困难。数据传输延迟是一大难题,大型工业企业设备分布广,长距离传输易受网络带宽和信号干扰,偏远地区的风力发电场常出现传输延迟问题。同时,实时分析大量复杂数据,并准确判断设备状态难度较大,当前数据分析技术在计算速度和分析精度上有待提升。此外,实时监测与预警系统的可靠性和稳定性至关重要,系统故障或误报可能导致严重后果,如航空发动机监测与预警系统的故障或误报会危及飞行安全。跨学科知识整合困境:智能监测与故障诊断技术涉及机械工程、计算机科学等多个学科,跨学科知识整合难度大。不同学科知识体系和研究方法差异显著,缺乏统一理论框架,机械工程与计算机科学的结合存在一定难度。当前,跨学科人才培养不足,高校学科设置相对独立,学生跨学科知识和实践能力欠缺。在实际工作中,不同学科背景人员沟通协作困难,影响技术发展。此外,跨学科研究在管理和组织上存在挑战,不同学科研究团队目标和资源分配易出现分歧,难以形成合力。

5.2 解决方案探讨

优化数据采集与处理技术:选用高精度传感器,能够显著提升数据质量。比如,高精度加速度计振动传感器,测量精度可达 $\pm 0.001g$; K 型热电偶传感器适用于 $0 - 1300^{\circ}\text{C}$ 的高温环境;陶瓷电容式压力传感器则可在化工生产中测量腐蚀性介质压力。同时,运用降噪技术与滤波算法,能有效排除噪声干扰。均值滤波通过计算数据窗口平均值,抑制随机噪声,中值滤波选取中值输出,去除脉冲噪声。此外,借助并行计算技术,如 Apache Spark 框架,利用多核或分布式计算资源,可大幅缩短数据处理时间,搭配 Hadoop、Hive 等大数据分析工具,实现海量数据的存储与分析。

提升故障诊断精度:引入深度学习技术,能够有效提高故障诊断的精度。以卷积神经网络(CNN)诊断旋转机械故障为例,将振动信号转化为二维图像输入模型,模型可自动学习故障特征,相比传统方法,准确率能提高 15% - 20%。此外,结合基于模型、数据和知识的多种故障诊断方法,能发挥各方法优势。以电力变压器故障诊断为例,先基

于模型初步判断,再借助数据方法深入分析,最后用知识方法验证补充。

完善实时监测与预警系统:优化硬件与软件,能够增强实时监测的准确性与响应速度。硬件上,选用 NI 公司 USB - 6363 数据采集卡、Intel Xeon 系列处理器;软件方面,采用 VxWorks、RT - Linux 等实时操作系统,搭配快速傅里叶变换(FFT)、小波变换等算法。同时,设定合理预警阈值,采用声光报警、短信通知、邮件提醒等多种方式,确保维护人员及时获取警报信息。

加强跨学科合作:推动信号处理、模式识别、机器学习等多学科合作,有利于技术发展。各学科分别研究先进算法,提升设备信号处理、故障模式识别、诊断模型性能。通过多学科团队协作,研发如物联网智能监测系统等创新技术。此外,高校、科研机构与企业需加强跨学科课程设置与员工培训,培养跨学科人才^[3]。

6 结语

本研究聚焦机械热动设备,对智能监测与故障诊断技术展开深入探索。在智能监测层面,传感器采集设备运行参数,经由数据采集传输系统,送达处理中心分析,为故障诊断筑牢根基。振动、温度等监测技术各有优势,多参数融合监测成效更优。故障诊断包含基于模型、数据和知识的多元方法,机器学习和深度学习算法大幅提升诊断智能化程度。智能监测与故障诊断联合运用,可实现预防性维护,降低运维成本。但目前,该技术在数据采集处理、诊断精度等方面仍存挑战。对此,本研究提出采用高精度传感器、深度学习等应对策略。展望未来,人工智能、物联网、大数据技术的深度融合,将推动这项技术迈向新高度,实现更智能的诊断、远程设备管控和精准故障预测,助力航空航天、能源和制造业等领域的智能化转型,加速工业现代化进程。

参考文献

- [1] 刘雨,范怀伟,黄沛林,等. 施工现场大型机械设备智能监测系统的应用[J]. 工程技术研究,2019,4(5):123-124. DOI:10.3969/j.issn.1671-3818.2019.05.063.
- [2] 王楠. 浅谈机械设备故障诊断与监测的常用方法及其发展趋势[J]. 中国设备工程,2024(1):159-161. DOI:10.3969/j.issn. 1671-0711.2024.01.066.
- [3] 黄国虎. 机械设备的管理和维修措施及故障诊断分析[J]. 机电产品开发与创新,2025,38(02):133-136.