

机电一体化设备运行故障智能化诊断措施研究

朱 远¹, 刘志超²

(1. 衢州光明电力投资集团有限公司, 浙江 衢州 324002;

2. 香山红叶集团有限公司, 山东 日照 276823)

摘 要 本文分析了机电一体化设备常见的故障类型及其诊断难点, 阐述了当前传统诊断方法的局限性, 重点介绍了人工智能、物联网、大数据等新兴技术在故障诊断中的应用, 着重分析了基于机器学习、深度学习算法的故障模式识别与预测技术, 通过多传感器数据融合和智能算法优化, 诊断精度得到了显著提升。研究表明, 智能化故障诊断技术在机电一体化设备中的应用, 提升了设备管理的智能化水平, 提高了故障诊断的精度与效率, 可以实现生产过程中的设备故障预防与智能运维, 确保生产系统的高效、安全稳定运行。

关键词 机电一体化; 设备运行; 故障诊断; 智能化诊断措施

中图分类号: TH-39

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.06.008

0 引言

随着信息技术和人工智能技术的飞速发展, 智能化故障诊断技术逐渐成为解决机电一体化设备故障问题的新途径。智能化诊断技术能够基于海量数据进行分析和预测, 通过深度学习、机器学习等先进算法有效识别设备故障的潜在问题, 显著提高诊断的准确性和实时性。此外, 物联网和大数据技术的结合使得设备的运行状态可以被实时监控, 从而实现远程故障诊断和预测性维护, 进一步降低了设备故障对生产的影响。

1 机电一体化设备的故障类型与诊断问题

1.1 故障类型

1. 机械故障。机械故障通常由设备的运动部件引起, 由于长期使用, 机械零部件如轴承、齿轮等会出现磨损, 影响运动精度和效率^[1]。振动是机械设备常见的故障表现, 由于不平衡、对中不良、松动或部件损坏引起。机械部件的摩擦、过载或不当操作会导致卡滞或堵塞, 影响设备正常运行。

2. 电气故障。电气故障主要涉及设备的电气系统, 如电路、传感器、执行器等。电气元件损坏如电动机、电容、电阻等元件因过载或老化发生故障。电气线路中的短路或断路会导致电力供应中断, 设备无法正常运行。电缆连接处接触不良, 会导致电流不稳定或设备无法启动。

3. 控制系统故障。传感器故障导致反馈信息丢失或不准确, 影响系统的决策与响应。软件故障, 如控制软件或程序的错误, 会导致系统不能执行预期的操作或产生异常输出。控制系统中各组件之间的通信故障会导

致数据丢失或错误, 从而影响整个系统的稳定性。

4. 液压与气动故障。机电一体化设备中常常使用液压系统和气动系统进行能量传输和动力控制。液压油或气体泄漏会导致动力传输效率降低, 严重时会影响设备的正常工作。液压系统中的压力异常或气动系统压力不足, 会导致设备无法完成设计动作。

1.2 诊断难点

设备故障的发生通常是渐进的, 且不同故障的表现相似, 难以通过常规检查及时发现潜在问题。早期故障通常在外观上没有明显的征兆, 因此依赖于人工巡检或简单的传感器监测难以有效地进行故障预警^[2]。缺乏准确的故障预警机制往往导致设备在故障发生时已经处于损坏或失效的阶段, 影响了维修时机和维护效率。

机电一体化设备的故障模式多种多样, 且往往是多种故障因素叠加而成。例如, 机械部件的磨损会导致振动异常, 电气系统中的电气元件损坏会引起控制系统的失灵。故障模式往往具有非线性和多变性, 传统的故障诊断方法难以有效识别这些复杂的故障模式。即使利用先进的信号处理技术, 也难以从海量数据中提取出有价值的故障特征。

在现代工业中, 设备的运行状态需要实时监控, 及时发现并处理潜在的故障。然而, 设备的故障诊断常常需要大量的数据采集与分析, 如何在保证高精度的同时满足实时性的要求, 是当前技术面临的一大挑战。延迟过长的故障检测与诊断不仅影响维修决策的及时性, 还会导致生产线的停滞。

2 传统故障诊断方法分析

2.1 基于模型的诊断方法

物理模型法基于设备的物理特性和故障机制,利用设备运行过程中各项物理量的变化来预测故障。这些方法可以提供准确的故障诊断,但由于设备故障类型复杂,物理模型的建立往往需要大量的先验知识和数据,且难以处理实际运行中的不确定性和复杂性。

数学模型法通过描述系统的动态行为,反映设备在不同状态下的运行特征。在这种方法中,设备的各项性能参数通常被量化,并通过解析或数值求解进行诊断。常见的数学模型如神经网络模型、支持向量机等,也可以用于建立预测性故障诊断系统^[3]。然而,数学模型方法对系统精确度和输入数据的质量有较高要求,一旦出现模型失配或输入数据不准确,诊断结果会产生偏差。

图像处理技术是一种较为新颖的基于模型的诊断方法,广泛应用于机械设备的检测与监控中。通过高精度相机或红外成像仪获取设备部件的图像,运用图像识别、边缘检测、模式识别等技术分析设备的状态,能够发现诸如裂纹、腐蚀、磨损等物理损伤。例如,计算机视觉技术已广泛应用于机械部件的表面缺陷检测。但图像处理技术对设备环境要求较高,如光照、视角等因素,且图像数据处理复杂,需要较高的计算能力。

2.2 基于信号处理的诊断方法

振动分析是最常见的信号处理方法之一,主要用于诊断机械设备中的故障。设备运转时,故障会导致不同频率的振动信号发生变化,通过对振动信号进行频谱分析,可以识别出故障的特征。例如,齿轮、轴承、皮带等机械部件的故障通常伴随着特定频率的振动波动。然而,振动分析受设备工作环境的影响较大,且复杂的振动信号会掩盖故障的真实特征,导致诊断精度降低。

声波检测方法通过分析设备在运行过程中发出的声音或噪声来诊断故障。设备的正常运转通常发出特定频率和幅度的声音,而当发生故障时,声音的频谱、强度或音调会发生变化。声波检测可以用于识别电动机、压缩机等设备的故障^[4]。然而,声波信号的获取需要高质量的传感器,且环境噪声的干扰也会影响信号的准确性。

设备的温度变化是故障诊断中常用的信号之一。通过在设备关键部位安装温度传感器,可以实时监控设备的温度波动,判断是否存在过热现象。温度过高通常意味着设备内部存在摩擦、过载或电气问题。例如,电机过热表明存在电气故障或负荷过重。尽管温度监测是一种简单有效的手段,但其仅能检测设备的表面

问题,无法深入潜在的故障根源,且对于较小的故障或早期故障难以及时发现。

2.3 传统方法的不足之处

传统的诊断方法在处理复杂故障时往往表现不佳。尤其是在设备故障模式复杂、非线性强的情况下,传统方法很难准确识别故障。例如,机械部件的磨损、润滑不良、负载变化等因素往往同时影响设备的振动信号,导致诊断结果的误差。而基于物理模型和数学模型的诊断方法,在面对系统的复杂性和不确定性时,往往难以提供高精度的诊断结果。

传统诊断方法一般依赖于数据的后期处理和分析,难以满足工业生产对实时性的要求。特别是振动分析和声波检测等方法,数据的采集和处理通常需要较长的时间,无法及时反馈设备的故障信息。实时故障诊断是现代智能制造的基本需求,而传统方法往往无法在设备发生故障的初期就及时发现并提供预警。

传统的故障诊断方法通常依赖于人工经验或预设的数学模型,缺乏对设备运行环境变化的自适应能力。例如,振动信号分析往往受到设备负载、工作环境和外部干扰等因素的影响^[5]。环境因素的变化使得传统方法的诊断结果不再准确,尤其在多变量复杂环境下,传统方法的适应性显得尤为薄弱。

3 智能化故障诊断措施的创新与应用

3.1 人工智能技术

机器学习作为人工智能的一个重要分支,通过让计算机从大量的数据中自动学习和提取规律,已经在故障诊断中得到了广泛应用。通过训练数据集,机器学习算法能够从设备的运行数据中识别出故障模式,发现不同类型的故障信号并进行分类。例如,支持向量机、决策树、随机森林等算法,已被应用于机械设备故障的分类和预测中。机器学习模型能够通过不断学习、调整和优化,提高故障诊断的准确性,适应不同设备的运行状态^[6]。

深度学习作为机器学习的一个高级分支,利用深度神经网络、卷积神经网络等算法,能够处理和分析更加复杂的高维数据。通过对大量设备运行数据进行深层次的特征提取,深度学习可以自动识别设备故障的复杂模式。深度学习在振动分析、声波检测、图像识别等领域的应用,能够提供比传统方法更高的准确度和更强的泛化能力,尤其适用于复杂的、非线性的故障模式。

在智能故障诊断系统中,应用自适应学习和增强学习算法,可以使模型随着设备运行状态的变化进行动态调整。自适应学习算法能够基于当前运行条件自

动调整模型参数,提高在动态环境下的诊断能力。增强学习则通过与环境的交互,持续优化诊断决策,在复杂系统和多变量环境中表现出强大的自我改进能力。

3.2 物联网技术与大数据分析

物联网技术通过将传感器和设备连接起来,实现了设备数据的实时采集、传输和远程监控。在机电一体化设备的故障诊断中,物联网技术通过嵌入在设备中的传感器网络,实时获取设备的运行状态数据,如温度、压力、振动等,并通过无线网络传输至云端或本地系统进行处理与分析。这使得设备的故障诊断不仅可以在设备现场进行,还可以通过远程平台进行实时监控和诊断。

物联网技术所采集到的大量数据为故障诊断提供了丰富的依据。大数据分析技术通过对海量设备运行数据进行处理、清洗、融合和建模,能够识别设备运行中的异常模式,及时发现潜在的故障风险。通过数据挖掘和分析,系统能够生成故障预测模型,提供基于历史数据的趋势分析和未来故障预测。这种数据驱动的预测性维护,有助于提前识别故障,减少突发性故障,提高设备可靠性。

物联网和大数据的结合不仅使得设备状态可以被实时监控,还可以通过远程诊断技术实现对设备故障的即时识别。通过云平台和边缘计算技术,诊断系统可以实时获取和处理设备数据,甚至可以远程调取故障数据和监控信息,帮助工程师做出快速、准确的决策。特别是对于分布广泛的设备或远程无法直接操作的设备,远程诊断技术显得尤为重要。

3.3 数据融合与传感技术

设备故障诊断往往依赖于多个传感器的数据,这些传感器包括温度传感器、振动传感器、压力传感器、声音传感器等,每种传感器所提供的数据往往具有不同的特性和尺度。多传感器数据融合技术通过对不同来源的传感器数据进行有效整合,提升了故障诊断的准确性和鲁棒性。通过数据融合,可以消除单一传感器的噪声和误差,提高诊断系统对故障的敏感度和响应速度。

随着传感器技术的发展,新型传感器如无线传感器、智能传感器等的应用为故障诊断提供了更多数据来源。这些传感器不仅具有更高的精度和灵敏度,还能够在更为恶劣的环境下工作^[7]。通过将这些传感器集成到设备中,实时采集关键部件的状态数据,能够为故障诊断提供更加全面、准确的信息。

3.4 智能算法优化

在智能故障诊断中,优化算法发挥着至关重要的作用。常见的优化算法如遗传算法、粒子群优化等,

可以用于优化诊断模型的参数和结构。通过智能优化算法,能够在大量的设备数据和复杂的故障模式中找到最优的故障诊断策略,提升诊断效率和精度。例如,遗传算法可以用于在多变量环境中优化故障诊断模型的特征选择,提高故障模式识别的准确性。

自学习算法通过对诊断过程中的历史数据进行持续学习和调整,能够不断优化诊断策略。例如,基于强化学习的算法能够通过与设备运行环境的不断互动,逐步调整故障诊断模型,以适应新的工作条件和故障模式。智能算法优化不仅提高了故障诊断的精度,还能大大缩短诊断所需的时间,提升实时监控和预警能力。

优化算法还在故障诊断后的决策支持系统中扮演着重要角色。基于故障诊断结果,系统可以根据优化算法推荐最合适的维修方案,如维修或更换部件的时间、维护人员的调配等。通过这些优化决策,可以提高维修效率,减少不必要的设备停机时间和维护成本^[8]。

4 结束语

智能化故障诊断技术能够显著提升设备运行的稳定性和可靠性,减少停机时间,降低维修成本,优化维护资源配置,推动了故障模式的早期预警和预测性维护。本文研究了智能化故障诊断技术在机电一体化设备中的应用,分析了传统故障诊断方法的局限性,并提出了基于人工智能、大数据和物联网的智能诊断技术的创新应用。智能化故障诊断技术在机电一体化设备维护中具有广阔的应用前景,将为工业领域的智能制造和设备管理带来深远影响。

参考文献:

- [1] 杜启鑫,李博,靳凯峰,等.机电一体化设备的故障诊断与维护策略[J].高科技与产业化,2024,30(07):14-15.
- [2] 熊贵兵.机电一体化设备故障诊断技术研究[J].冶金与材料,2023,43(06):91-93.
- [3] 英鹏程.机电一体化设备的故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2023,40(04):306-308.
- [4] 罗康.机电一体化设备故障诊断技术研究[J].造纸装备及材料,2022,51(09):120-122.
- [5] 姚非非.机电一体化设备的故障诊断技术分析[J].农业工程与装备,2022,49(04):31-33.
- [6] 蔡琪琳.机电一体化设备故障诊断技术探讨[J].光源与照明,2022(01):183-185.
- [7] 黄诚壬.机电一体化设备故障诊断系统设计与应用研究[J].中国设备工程,2021(24):191-192.
- [8] 郝强.机电一体化设备故障诊断系统设计与应用[J].内燃机与配件,2021(14):133-134.