

Research on the fault diagnosis technology of mechatronics equipment

Liming Jin

Guangzhou Light Industry Technician College, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

In this paper, the electromechanical integration equipment fault diagnosis technology has been thoroughly discussed, the modern fault diagnosis method in improving equipment reliability and maintenance efficiency application is discussed, the advantages and disadvantages of the traditional and modern fault diagnosis technology analysis, highlights the fault diagnosis system based on artificial intelligence in the actual industrial scenarios. Based on the comparison of experimental data, the obvious advantages of intelligent diagnosis system in accuracy and response speed are confirmed. The results show that the intelligent diagnosis system integrates multi-sensor data and machine learning algorithm, which can achieve the fault identification accuracy of more than 95%, and the average diagnosis time is shortened by 60% compared with the traditional methods. This paper also discusses the challenges of the current technology and the future development trend, which provides the theoretical support and the technical reference for the intelligent maintenance of the electromechanical integration equipment.

Keywords

mechatronics; fault diagnosis; artificial intelligence; sensor technology; predictive maintenance

机电一体化设备故障诊断技术研究

金黎明

广州市轻工技师学院, 中国 · 广东 广州 510000

摘要

本文围绕机电一体化设备故障诊断技术进行了深入探讨, 对现代故障诊断方法在提升设备可靠性、维护效率方面的应用进行了探讨, 研究对传统和现代这两种故障诊断技术的优缺点做了分析, 重点说明了基于人工智能的故障诊断系统在实际工业场景下的应用实例。凭借实验数据对比得出, 证实了智能诊断系统在准确率与响应速度上的明显优势。研究结果说明, 智能诊断系统把多传感器数据和机器学习算法融合起来, 可实现95%以上的故障识别准确率, 平均诊断时间跟传统方法相比缩短了60%。本文还讨论了当前技术面临的挑战及未来发展趋势情况, 为机电一体化设备的智能维护提供了理论支撑以及技术方面的借鉴。

关键词

机电一体化; 故障诊断; 人工智能; 传感器技术; 预测性维护

1 引言

伴随工业 4.0 时代来临, 机电一体化设备在现代工业生产里的意义愈发重大, 这些设备把机械、电子、控制、计算机等技术融合为一体, 其复杂性与集成度提高, 导致设备故障诊断面临新挑战, 传统的定期维护与事后维修方法, 无法契合现代工业对设备可靠性和生产效率的要求^[1]。开展高效、准确的故障诊断技术研究, 具有重要理论意义与实用价值, 机电一体化设备故障诊断技术的发展走过了从简单到复杂、从单一到综合的阶段, 早期进行诊断主要依靠技术人员的经验以及简单仪表测量, 诊断的效率与准确性均不高, 伴

随传感器技术、信号处理和计算机相关技术的发展, 基于振动分析、温度监测等多样物理量测量的诊断方法渐趋成熟。当人工智能和大数据技术被引入, 故障诊断出现了突破性的变化, 使预测性维护成为可达成的目标, 本研究要对机电一体化设备故障诊断技术的发展现状进行系统分析, 比较各类诊断方法的长处与短处, 且借助实验来验证智能诊断系统的性能, 研究发现可为工业现场设备维护决策提供科学参考, 对增加设备运行可靠性、降低维护成本存在重要实践意义。

2 机电一体化设备故障特点分析

机电一体化设备鉴于其复杂的结构与工作原理, 展现出独特的故障特性, 这类设备一般是由机械传动系统、电气控制系统、液压/气动系统以及计算机控制系统等多个子系统所组成, 各子系统彼此间存在紧密的耦合关联, 基于这种

【作者简介】金黎明(1977-), 男, 中国江西赣州人, 硕士, 从事机电一体化专业方向的教学研究。

多学科交叉的特性,故障往往具备连锁反应,某个子系统的故障也许会迅速蔓延至其他系统,引起复杂的故障现象出现。

从故障呈现出来的表现形式看,机电一体化设备出现的故障可分为机械故障、电气故障、控制系统故障三大范畴,机械故障主要涉及轴承磨损、齿轮断裂、轴不对中这些方面;电气故障牵扯到电机绕组短路、绝缘老化、接触不良等问题;控制系统故障呈现出传感器失效、控制算法错误以及通信中断等状况,这些故障或许会单独现身,也或许相互影响生成复合故障,大幅提高了诊断的困难系数。

机电一体化设备的故障还体现出渐进性发展的属性,多数故障并非一下子就出现了,而是要走过一个从量变到质变的阶段,举轴承故障这个例子,大多会历经开始时微小的磨损、中间时期可察觉的振动增大,最终完全失去作用的三个阶段,该特性为基于状态监测开展预测性维护提供了机会,并且也对诊断技术的灵敏度以及早期预警能力提出了更高的标准^[2]。

3 传统故障诊断技术

传统的机电一体化设备故障诊断技术主要是依靠定期检查以及事后维修,定期检查是按照预定的时间间隔来对设备进行检测与保养,该办法简单好实施,可有着明显的局限,频繁开展的检查会使维护成本上扬;两次检查的时间间隔里,设备故障无法被及时发现,事后维修是等设备出现故障之后才开展维修工作,该方法往往会引发生产中断和较高的维修成本。

基于振动分析的诊断方法属于传统技术中相对成熟的一种,借助安装在设备关键位置的加速度传感器采集振动信号,之后采用快速傅里叶变换等信号处理技术将时域信号转换为频域的信号,依靠分析频谱特征判断设备所处状态,此方法对旋转机械故障诊断十分有效,能识别诸如轴承损坏、转子不平衡等多种典型故障,振动分析依赖专业设备与人员,而且对非旋转部件故障诊断的效果欠佳。

温度监测是常用传统诊断方法里的另外一种,采用红外测温仪或埋入式温度传感器监测设备关键部位的温度改变情况,可以迅速发现过热等异常情形,温度监测既简单又直观,尤其适用于电气系统和润滑系统开展故障预警工作,温度变化是故障发展到一定阶段后的体现,不容易做到早期的预警工作,环境因素对温度测量的影响同样不容小觑,说不定会降低诊断的准确水平。

油液分析在机械系统故障诊断这一领域同样得到广泛应用,借助定期采集润滑油的样本,对其中的磨损颗粒、污染物以及油品性能参数进行分析,可判定机械部件的磨损情形,该方法可以拿到设备内部状态的直接证据,但分析所花费的周期偏长,一般需把样本送至专业实验室,难以实时察觉突发性故障。

4 现代智能故障诊断技术

伴随人工智能与大数据技术的进步,机电一体化设备故障诊断迈入了智能化阶段,采用机器学习的诊断方法对历史故障数据进行分析以建立预测模型,可自动识别设备状态并预估潜在故障,诸如支持向量机、随机森林的监督学习算法可以对标注好的故障样本进行处理,实现精准度高的故障分类;无监督学习可发掘数据里潜藏的异常模式,适用于欠缺充分故障样本的场景^[3]。

深度学习技术在故障诊断范畴展现出强大的优势,卷积神经网络可自动从原始振动信号或者图像里提取特征,消除了传统方法中繁琐的特征工程麻烦;递归神经网络对处理时间序列数据有专长,可捕捉故障发展的动态变化,凭借强大的表示学习能力,深度学习在复杂机电系统的故障诊断中表现出色,尤其是在高维、非线性数据处理方面优势明显。

现代智能诊断系统的另一个关键特点为多传感器信息融合,机电一体化设备往往配备多种传感器,诸如振动、温度、电流、压力等参数,采用融合这些异构传感器数据的方法,可得到更全面的设备状态信息,数据融合可以在特征层与决策层处实施,前者先将各传感器信号特征提取,然后实施融合,后者先分别对各传感器数据进行分析,随后综合决策,智能融合算法会自动权衡各个传感器的可靠性,增进诊断的鲁棒性。

数字孪生技术为故障诊断开创了新的思路途径,利用搭建设备的虚拟数字模型,实时实现物理设备运行状态的同步,能在虚拟空间里进行故障的模拟与预测,数字孪生可对故障诊断起到辅助作用,还可用来对维修方案开展验证与优化,有效提高了维护决策的科学水平,与增强现实技术相结合,数字孪生还可实现故障位置的可视化呈现效果,方便维护人员迅速定位故障位置。

5 实验研究与数据分析

为证实智能故障诊断系统的性能,本研究搞出了机电一体化设备实验平台,包含诸如电机、减速器、传送带等典型部件,进而安装了振动、温度、电流等多种样式的传感器,实验开展了对轴承外圈损伤、齿轮齿面磨损、电机绕组短路等常见故障的模拟,采集到正常工况以及各类故障工况下的多源数据。

实验借助三种诊断方法开展对比工作:常规振动频谱分析、依托特征工程的机器学习方法以及端到端的深度学习途径,振动频谱分析凭借专家经验识别频谱中的特征频率点;机器学习方法采用人工提取的时域、频域特征训练随机森林分类器;深度学习方法直接把原始振动信号加载到一维卷积神经网络^[4]。

诊断性能的对比结果如下表 1 所示,实验的结果说明,深度学习方法在准确率、速度以及早期预警能力方面显著强于传统方法,尤其是在复合故障诊断情形下,深度学习模型

可自动学习故障特征间的复杂关联，而传统方法大多需要人工去设计复杂的诊断逻辑，伴随训练数据的增多，智能诊断系统的性能可以持续上扬，凸显出不错的可扩展性。

表 1 三种诊断方法性能对比

诊断方法	准确率 (%)	平均诊断时间 (ms)	早期预警能力
振动频谱分析	82.3	1200	一般
机器学习方法	91.7	800	较好
深度学习方法	96.2	350	优秀

6 技术挑战与发展趋势

智能故障诊断技术的持续发展，在工业领域当中的应用愈发普遍，虽然取得了一定程度的成果，该技术在实际开展应用时依然面临着一系列挑战，主要囊括数据质量问题、模型可解释性以及小样本学习能力等方面，数据质量问题乃是制约故障诊断技术发展的一个关键阻碍。在工业生产的现场，所采集的数据往往出现噪声、缺失值等状况，这造成诊断算法在实际应用里难以拿到理想的效果，怎么提升算法的抗干扰能力，让算法在应对复杂、不完整的数据时，依旧可以准确地开展故障诊断，成了一个亟待攻克的问题。另一个关键问题是模型的可解释性，伴随深度学习等复杂算法大规模应用，诸多诊断模型已达成了令人瞩目的成效，这些模型往往被当作“黑箱”，其内部工作原理是难以被悟透的，致使在实际应用里难以给维护人员提供可靠解释，尤其在对安全性要求较高的工业场景里，该问题的突出程度进一步加剧^[5]。

为处理这些问题，可改善算法的鲁棒性，采用优化算法设计、引入数据预处理方法等办法，提高算法面对噪声、缺失值这类复杂数据时的诊断水平，提高小样本学习能力，针对故障样本稀少这一问题，探寻能够有效借助少量样本开展故障诊断的途径，诸如迁移学习、主动学习等途径。提高模型的可解读性，开展对可解释性强的诊断算法的探索，诸如基于规则的诊断办法、集成学习办法等，让诊断过程更具透明度，方便维护人员理解与接受，实现多源数据的融合，把传感器数据、历史数据、专家知识等多源信息融合起来，增强故障诊断的准确性及全面性，实现智能化的诊断决策支

持，依靠构建智能化诊断决策支持系统，为维护人员即时提供精准无误的故障诊断结果和决策意见。

就未来发展而言，机电一体化设备故障诊断技术发展将呈现如下走向：边缘计算和云计算协同的分布式诊断架构会被普遍采用，既让实时性得到保证，又具备强大计算能力；诸如联邦学习的隐私保护技术将促进不同企业间诊断知识的分享，同时捍卫各自的数据隐私；把物理模型与混合智能诊断方法结合起来，可提高在未知故障场景下的泛化能力；自主诊断和自修复系统的研究可推动设备维护实现更高层次的自动化。

7 结论

本研究系统分析了机电一体化设备故障诊断技术的发展现状，比较了传统方法与现代智能方法的优缺点。实验结果表明，基于深度学习的智能诊断系统在准确率、速度和早期预警能力方面都具有明显优势，能够满足现代工业对设备可靠性和维护效率的更高要求。然而，智能诊断技术的广泛应用仍面临数据质量、模型解释性等挑战，需要进一步的研究和创新。未来，随着人工智能、物联网等技术的不断发展，机电一体化设备故障诊断将向着更智能、更自主的方向演进，为工业设备的预测性维护提供强有力的技术支持。智能诊断技术的成熟应用将显著提高设备运行可靠性，降低维护成本，为制造业的数字化转型奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 范梅林.机电一体化设备故障智能诊断技术探讨[J].模具制造,2024,24(12):230-232.
- [2] 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.
- [3] 郝中波,李晓南,刘姣.人工智能背景下机电一体化设备的故障诊断技术优化[J].信息与电脑(理论版),2024,36(07):146-148.
- [4] 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.
- [5] 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.