

Research on the application of artificial intelligence in chemical equipment maintenance fault diagnosis

Fukang Guo

China Pingmei Shenma Group Nylon Technology Co., Ltd., Shenma Operation and Maintenance Company, Pingdingshan, Henan, 467000, China

Abstract

This study focuses on the application of artificial intelligence in the field of chemical equipment maintenance fault diagnosis. The purpose of this study is to explore how to use artificial intelligence to improve the accuracy and efficiency of fault diagnosis of chemical equipment and ensure the safety and stability of chemical production. By analyzing the technical characteristics of artificial intelligence, combined with the common fault types of chemical equipment, the application points are discussed in depth. The study found that the use of multi-modal data fusion and feature extraction technology can fully perceive the state of the equipment; fault pattern recognition driven by deep learning can realize the leap from anomaly detection to fault location. Knowledge graph-enabled fault reasoning can construct an interpretable decision-making system. The real-time diagnosis of edge computing and federated learning collaboration meets the high reliability requirements of chemical production. Artificial intelligence provides a systematic solution for fault diagnosis of chemical equipment and promotes the transformation of the industry to intelligent and preventive maintenance.

Keywords

artificial intelligence; chemical industry; equipment maintenance; fault diagnosis

人工智能在化工设备维修故障诊断中的应用研究

郭福康

中国平煤神马集团尼龙科技有限公司神马运维公司, 中国·河南 平顶山 467000

摘要

本研究聚焦人工智能在化工设备维修故障诊断领域的应用。研究目的在于探索如何借助人工智能提升化工设备故障诊断的精准度与效率,保障化工生产安全稳定。通过分析人工智能相关技术特性,结合化工设备常见故障类型,深入探讨其应用要点。研究发现,利用多模态数据融合与特征提取技术可全面感知设备状态;深度学习驱动的故障模式识别能实现从异常检测到故障定位的跨越;知识图谱赋能的故障推理可构建可解释的决策体系;边缘计算与联邦学习协同的实时诊断则满足化工生产高可靠性需求。人工智能为化工设备故障诊断提供了系统性解决方案,推动行业向智能化、预防性维修方向转型。

关键词

人工智能;化工;设备维修;故障诊断

1 引言

化工行业身为国民经济的关键支柱产业,其设备可稳定运行对于生产安全以及效率而言非常关键,然而化工设备长时间处于高温、高压以及腐蚀等极为恶劣的环境之中,故障频繁发生并且成因复杂多样,传统的诊断方法依靠人工经验,存在效率较为低下、准确性欠佳等一系列问题,随着人工智能技术迅速发展,它在数据处理、模式识别以及智能决策等方面所有的优势,为化工设备故障诊断给予了全新的机遇。

2 人工智能概述

人工智能属于计算机科学里颇为关键的一个分支,主要希望能够对可模拟、延伸以及扩展人类智能的理论、方法、技术以及应用系统展开研究与开发工作,它的核心目的在于让机器拥有类似人类的智能行为,比如感知、学习、推理、决策、识别、理解语言甚至创造等,自从20世纪50年代该概念被提出以后,人工智能历经了好几次发展浪潮,近些年来在大数据、高性能计算以及深度学习算法的带动下取得了突破性的进步^[1]。当下的主流技术有机器学习、自然语言处理、计算机视觉、智能语音识别、强化学习等,已经在医疗、金融、交通、教育、制造、安防等诸多领域得到广泛应用,比如说,智能客服、自动驾驶、医学影像分析、个性化推荐系统等都是人工智能得以落地的典型场景,虽然人工智能呈

【作者简介】郭福康(1992-),男,中国河南漯河人,本科,助理工程师,从事化工设备检维修研究。

现出巨大的潜力,然而还是面临着可解释性不足、数据隐私、伦理安全以及就业结构冲击等诸多挑战。未来人工智能会朝着更加高效、安全、可信以及普惠的方向发展,与人类社会深度融合,成为推动科技进步以及经济社会变革的关键力量。

3 化工设备常见故障

化工设备在长时间的运行进程当中,会受到物料腐蚀、高温高压环境、机械磨损以及操作不当等诸多因素的影响,大多时候出现各种各样的故障,其中腐蚀属于化工设备最为常见的故障类型之一,像反应釜的内壁由于接触强酸强碱或者氧化性物质,很容易发生均匀腐蚀或者点蚀的情况,最终致使设备的壁厚变薄甚至出现穿孔现象,换热器管束因为氯离子、硫化物等介质而引发应力腐蚀开裂,会影响换热效率,还会引发泄漏问题。另外高温高压的环境会加快设备材料的疲劳速度,比如蒸汽锅炉会因为局部过热而产生鼓包变形,压力容器会因为频繁地升压降压而致使疲劳裂纹扩展,在机械磨损方面,泵类设备的叶轮、轴套会因为介质冲刷或者密封失效而出现磨损,离心机转鼓会因为不平衡振动而引发轴承损坏,这些情况都会对设备运行的稳定性产生影响。操作故障同样不能被忽视,例如阀门误操作会导致系统超压,温度控制不当会引发物料聚合结焦,未按照规定进行排污会导致管道堵塞等,这些都有可能引发设备停机甚至安全事故^[2]。

4 人工智能在化工设备维修故障诊断中的应用要点

4.1 多模态数据融合与特征提取

化工设备在运行期间所产生的数据有多源异构的特性,其中包含了像温度、压力、振动、声纹以及热成像等各类物理参数,同时以及工艺流程、操作记录等过程方面的信息,传统的诊断方法一般依靠单一传感器的数据,很难全面地捕捉到设备故障的特征,人工智能借助多模态数据融合技术,把不同类型传感器采集到的异构数据进行时空对齐以及关联分析,形成对设备状态的立体化感知^[3]。比如说,振动信号可反映机械部件的动态特性,声纹分析可以捕捉设备运行过程中的异常噪声,热成像技术则可定位局部过热的区域,人工智能算法依靠构建特征提取模型,从海量的原始数据里自动筛选出与故障相关的关键特征,像是振动频谱中的特征频率、声纹信号里的异常谐波成分、热成像图中的温度梯度变化等。这种多维度的特征提取方式打破了传统方法对人工经验的依赖,使得故障诊断从单一参数监测转变为综合状态评估。

多模态数据融合的关键要点就是解决不同数据源之间存在的语义鸿沟难题,人工智能借助深度学习里的注意力机制,可以自行学习不同模态数据在故障诊断方面的权重分配情况,比如说,在旋转机械的故障诊断过程中,振动信号对于轴承故障较为敏感,而声纹分析针对齿轮啮合异常更为有

效,人工智能模型可动态调节这两种数据的融合比例,以此提高诊断的准确性。另外人工智能还可运用迁移学习技术,把某一类设备的诊断经验转移到类似设备上,解决新设备数据不足所引发的模型训练险阻问题,借助搭建跨设备、跨工况的通用特征提取框架,人工智能让故障诊断模型拥有更强的适应性及泛化能力,为化工企业达成设备群的智能化管理给予技术支持^[4]。

4.2 深度学习驱动的故障模式识别

化工设备故障模式呈现出复杂且多样的特点,其中包含机械磨损、电气故障等传统故障类型,同时还存在因工艺波动而引发的软故障,传统的诊断方法一般是基于阈值比较或者简单规则匹配来进行的,然而这种方式很难应对非线性、非平稳的故障特征,深度学习借助构建多层非线性映射网络,可自动去学习设备状态与故障模式之间复杂的映射关系,达成从原始数据到故障类型的端到端识别。卷积神经网络也就是 CNN,它擅长处理时空数据,可以针对振动信号、热成像图像等二维数据开展特征提取工作,循环神经网络即 RNN 以及其变体长短期记忆网络 LSTM,它们适用于时间序列数据分析,可捕捉设备状态随着时间演变的动态规律^[5]。

在故障定位领域,人工智能借助构建设备三维数字孪生模型,把深度学习所识别出的故障特征与物理空间位置给予关联映射,比如说,当模型检测到某个区域出现振动异常情况时,可结合设备的结构参数以及传感器布局,迅速定位到具体的轴承或者齿轮部件,这种“数据-模型-物理”的闭环诊断机制,让故障定位精度从传统方法的米级提升到了厘米级,有效缩短了维修时间。人工智能还可依靠生成对抗网络模拟设备故障的演化过程,预测故障的发展趋势,为维修决策给予前瞻性支持,例如对于化工反应釜的腐蚀故障,人工智能模型依据当前的腐蚀速率预测剩余使用寿命,指导企业合理安排检修计划,避免出现非计划停机的损失。

4.3 知识图谱赋能的故障推理

化工设备故障诊断工作,除了要识别故障类型之外,还要对故障根源展开分析,评估其影响范围,制定出维修策略,传统的方法依靠专家经验,面对复杂故障场景时很难做到系统化处理,人工智能借助构建设备故障知识图谱,把设备结构、工艺参数以及历史故障案例等知识进行结构化呈现,形成可用于推理的决策支持系统。知识图谱按照实体-关系-实体的三元组形式来组织知识,像“轴承出现磨损会导致振动异常”“反应釜超压会使安全阀启跳”等,凭借语义关联达成故障链的自动追溯,当有新故障出现时,人工智能可依据知识图谱开展路径推理,从症状表现追溯到潜在根源,并且推荐出最优的维修方案。

知识图谱构建需借助多源数据融合以及自然语言处理技术,人工智能可从设备手册、维修记录、行业报告等文本数据里提取结构化知识,再结合传感器实时数据来动态更新图谱内容,比如对于某类化工泵频繁出现的泄漏故障,知识

图谱可关联“密封件老化”“安装偏差”“介质腐蚀”等多个可能引发故障的原因,并且依靠贝叶斯网络计算出各个原因的概率权重,以此辅助维修人员迅速锁定关键因素。知识图谱还可与强化学习相结合,构建故障处置的智能决策框架,当面临多设备联动故障时,人工智能可以依据图谱中的工艺流程关系,评估不同维修策略对生产系统产生的影响,选择最优处置路径,达成从单一设备维修到系统级优化的升级。

4.4 边缘计算与联邦学习协同的实时诊断

在化工生产这种有高风险性且连续性很强的工业场景中,故障诊断系统所有的实时性、可靠性以及安全性是十分关键关键的,传统那种基于云计算的集中式诊断架构,虽说有着较为强大的计算能力,然而却面临着网络延迟比较高、带宽压力比较大以及数据隐私出现泄露等瓶颈问题,很难契合化工过程对于毫秒级响应以及敏感信息保护的那种非常严苛的要求。边缘计算与联邦学习的协同融合可为构建新一代智能诊断体系给出创新的解决办法。

边缘计算把计算资源下沉到靠近数据源的设备端或者边缘节点,在本地开展数据采集、预处理以及初步推理,使得诊断响应时间大幅缩短,就像在化工园区的危险气体泄漏监测里,布置在现场的边缘设备可运行轻量化的计算机视觉模型,对高清监控视频实施实时分析,一旦辨认出管道破裂、烟雾扩散或者异常喷溅等泄漏征兆,系统可在数百毫秒内触发声光报警并且联动应急装置,整个过程不需要把原始视频上传到云端。这样规避了因网络拥堵产生的延迟风险,又有效防止了包含工艺布局、设备参数等核心商业信息的敏感数据泄露,达成了“就地感知、就地决策、就地响应”的闭环控制。

然而单个企业会受到设备种类有限、故障样本稀少、工况覆盖不全面等因素的限制,其在本地训练的诊断模型一般泛化能力欠佳,在这个时候,联邦学习技术呈现出独特的优势,这项技术构建了一种“数据不动、模型动”的分布式协同训练机制,各化工企业在本地运用自身的运行数据来训练专属模型,并且只把加密后的模型参数,比如梯度更新,上传到中央服务器,服务器聚合多方参数之后生成全局优化模型,接着下发给各参与方进行下一轮迭代。整个过程中原

始数据一直保留在企业内部,切实达成了“数据不出域”,比如说,多家石化企业可联合开展压缩机故障诊断模型的联邦训练,A企业在高温高压工况下的振动分析方面较为擅长,B企业积累了大量低温腐蚀环境下的声学数据,C企业拥有丰富的启停阶段故障样本,凭借联邦协作,各方贡献不同的知识,共同打造出一个覆盖多种设备类型、多种运行条件、多种故障模式的高鲁棒性通用模型。

边缘计算和联邦学习深度融合后,形成了一种新型架构,即“边缘智能+协同进化”,在这种架构里,边缘侧负责保障实时性以及安全性,联邦侧则希望能够提升模型的泛化能力和适应性,此模式成功解决了化工行业长期以来存在的数据孤岛和隐私壁垒问题,还推动了跨企业、跨区域的智能化诊断生态建设。未来随着5G、可信计算以及AI芯片技术成熟,该协同框架有望在更多高危工业场景中得以应用,为安全生产构建起坚实的技术防线。

5 结语

人工智能在化工设备维修故障诊断中的应用,实现了从数据感知、模式识别到决策推理的全链条智能化升级。多模态数据融合突破单一传感器局限,深度学习提升故障识别精度,知识图谱构建可解释的推理体系,边缘计算与联邦学习保障实时性与安全性。未来,随着人工智能与物联网、数字孪生等技术的深度融合,化工设备故障诊断将迈向自主化、预防性新阶段,为化工行业高质量发展提供坚实技术保障。

参考文献

- [1] 辛学辉,李兆凯,郑昊,等. 人工智能技术在机械设备远程监测与维修中的应用[J]. 中国机械, 2025, (25): 78-81+85.
- [2] 李建龙. 化工机械设备管理及维修保养技术标准[J]. 大众标准化, 2025, (16): 28-30.
- [3] 王日强. 基于维修保养周期的化工设备生命周期成本分析[J]. 化工管理, 2025, (22): 140-142.
- [4] 李维芳. 化工设备可靠性分析与维护管理策略研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45 (14): 78-80.
- [5] 尚亚平. 人工智能与化工设备与维修专业学科融合的教育模式探究[J]. 化工管理, 2020, (26): 19-20.