

人工智能技术在工业自动化设备故障诊断与预测性维护中的实践

费冰鑫¹ 蓝国添² 沈佳²

1.天通智能装备有限公司 浙江 嘉兴 314000

2.天通新环境技术有限公司 浙江 嘉兴 314000

【摘要】：人工智能技术在工业自动化领域的应用不断深化，设备运行过程中产生的大量数据为故障诊断与预测性维护提供了重要基础。基于机器学习与深度学习算法，构建高效的数据分析模型，实现对设备运行状态的实时监测与异常识别。通过对历史数据的挖掘与特征提取，能够提前预测潜在故障并制定维护策略，从而减少突发停机与维护成本。结合实际工业场景，对典型算法模型及其应用效果进行分析，验证人工智能在提升设备可靠性、优化维护决策中的实际价值。研究结果表明，智能化维护模式有助于推动工业系统向高效、安全与可持续方向发展。

【关键词】：人工智能；故障诊断；预测性维护；工业自动化；机器学习

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.055

引言

工业自动化设备在现代制造体系中占据核心地位，其运行状态直接影响生产效率与产品质量。传统维护方式多依赖经验判断与定期检修，难以及时发现潜在故障，易造成设备停机与经济损失。随着传感器技术与数据采集能力的提升，设备运行数据呈现出规模化与多样化特征，为智能分析提供了条件。人工智能技术的发展使得从复杂数据中提取有效信息成为可能，为故障诊断与维护决策提供新的技术路径。本研究围绕人工智能在设备故障识别与预测维护中的应用展开，旨在探索其在工业场景中的实际效果与应用价值。

1 工业自动化设备故障诊断与维护面临的现实问题

1.1 传统故障诊断方式的局限性

传统工业设备故障诊断依赖人工巡检与经验判断，诊断结果易受主观因素影响，准确性与一致性难以保证。设备运行状态复杂且动态变化，经验难以及时识别潜在异常。传统方法以事后分析为主，缺乏对设备全过程的持续监测，无法有效识别早期隐性故障。随着设备结构复杂化与故障类型多样化，传统诊断方式在数据处理与分析深度方面逐渐难以满足现代工业需求。

1.2 设备维护滞后对生产效率与成本的影响

设备维护滞后通常在故障发生后才进行检修，缺乏前瞻性策略，导致设备在异常状态下运行，增加故障扩大的风险。突发停机会中断生产，影响生产线与交付周期，频繁非计划停机还会增加紧急维修成本，缩短设备使用寿命^[1]。缺乏科学依据的维护安排可能导致过度或不足维修，造成资源浪费。在大规模自动化环境中，这种滞后维护模式难以适应高效与高稳定性要求，持续影响企业经济效益。

1.3 工业自动化场景下故障数据利用不足的表现

工业自动化系统生成大量传感器数据、运行日志和控制信

息，包含丰富的设备状态信息。然而，数据通常仅用于监测或存储，缺乏系统化分析与深度挖掘。数据来源多样且格式不统一，质量参差不齐，难以直接用于建模。部分企业缺乏统一的数据管理标准，存在数据孤岛现象，导致系统间无法有效共享与融合。缺乏有效的数据处理与特征提取方法，潜在故障规律无法识别，制约了智能诊断与预测性维护的应用。

2 人工智能技术在设备故障诊断中的应用路径

2.1 基于数据采集的设备运行状态识别

设备运行状态识别依赖于多源数据的持续采集与整合，通过传感器对温度、振动、电流、压力等关键参数进行实时监测，形成反映设备工况的动态数据流。结合工业物联网技术，实现设备运行信息的在线传输与集中管理，为后续分析提供基础数据支撑。通过对采集数据进行预处理与标准化，能够消除噪声干扰并提升数据质量，使状态特征更加清晰。在此基础上，构建状态识别模型，对设备运行的正常与异常模式进行区分，为故障诊断提供可靠依据。

2.2 基于机器学习的故障特征提取与分类诊断

机器学习方法通过对历史运行数据的学习，实现对设备故障特征的自动提取与模式识别。利用监督学习算法对已标注的故障数据进行训练，建立分类模型，将不同类型的故障进行准确划分。通过特征工程提取关键参数，如频域特征、时域特征及统计特征，增强模型对故障差异的识别能力^[2]。在实际应用中，常见算法包括支持向量机、决策树及随机森林等，这些方法在处理中等规模数据时具有较高的稳定性与可解释性，能够有效提升故障诊断的准确程度。

2.3 基于深度学习的复杂故障智能识别方法

深度学习技术在处理高维度与复杂结构数据方面具有显著优势，适用于多变量耦合与非线性特征明显的工业设备故障识别。通过构建多层神经网络模型，如卷积神经网络与循环神经网络，实现对原始数据的自动特征学习，减少对人工特征设

计的依赖。模型能够从海量数据中提取深层次模式，对隐蔽性故障及复合型故障进行识别。结合大规模训练数据与优化算法，不断提升模型的泛化能力，使其在复杂工业环境中保持较高的识别精度与稳定性。

3 人工智能驱动预测性维护的实现机制

3.1 设备故障预测模型的构建逻辑

设备故障预测模型基于历史数据与实时监测数据，通过数据清洗、特征选择和时间序列分析，构建设备健康状态的指标体系。引入剩余使用寿命预测与故障概率评估，将设备状态量化为风险指标。利用机器学习或深度学习算法对运行趋势进行预测，识别性能退化规律。通过持续训练与模型更新，提升预测精度与适应性，实现对潜在故障的提前判断。

3.2 预测性维护决策的流程设计

预测性维护决策基于数据分析，围绕设备健康评估与风险等级划分。通过分级处理预测结果，确定设备维护优先级与干预时机，精准安排维护活动。结合生产计划与设备负荷，制定合理的维护时间窗口，避免影响生产^[3]。系统集成数据分析平台与管理系统，实现决策自动化与信息化，提高管理效率。反馈机制优化决策规则，使维护策略更加符合实际需求。

3.3 智能预警在降低停机风险中的作用

智能预警机制依托实时监测数据与预测模型，对设备运行状态进行持续评估，当关键指标接近异常阈值时自动触发预警信号。通过多级预警机制，对不同风险程度的故障进行分层提示，使维护人员能够及时采取干预措施。预警信息通常结合可视化界面进行展示，便于快速识别问题来源与影响范围。通过提前干预潜在故障，有效避免设备突发性停机，降低生产中断风险，同时减少因故障扩散带来的连锁影响，保障生产系统的连续稳定运行。

4 人工智能在工业自动化设备维护中的实践成效

4.1 提升设备运行可靠性的实际表现

人工智能技术通过持续监测与分析设备运行数据，及时捕捉与识别设备状态变化。基于数据驱动的诊断模型能准确判断设备是否偏离正常范围，减少误判与漏检。长期跟踪关键部件运行特征，能够发现性能退化趋势并提前干预。设备在稳定运行状态下的时间延长，异常波动得到控制。智能诊断系统提升设备的可控性与稳定性，为工业生产提供可靠的技术支持。

4.2 降低维护成本与提高生产效率的效果分析

在引入人工智能技术后，维护活动逐步由经验驱动转向数据驱动，使维护资源配置更加合理。通过对设备运行状态的精准评估，能够避免不必要的定期检修，减少人力与物料的投入。故障预测能力的提升使维护工作能够提前安排，减少紧急维修带来的额外成本。设备非计划停机次数明显下降，生产过程连

续性得到保障，生产节奏更加稳定^[4]。维护效率的提升带动整体生产效率的增长，使企业在降低运营成本的同时提升产出能力。

4.3 推动工业设备管理模式智能化转型的价值

人工智能推动设备管理从传统人工管理向智能化、信息化转型。通过构建集数据采集、分析与决策的管理平台，实现设备全生命周期的动态管理，提升管理透明度与协同效率。设备运行信息与维护记录集中存储与共享，基于数据分析优化决策，减少人为判断的不确定性。智能化管理模式使设备管理由被动响应转向主动调控，推动工业系统向数字化与智能化方向发展。

5 人工智能技术应用中的关键难点与优化方向

5.1 数据质量与模型训练面临的问题

工业设备运行数据来源复杂，存在采集误差、缺失值与噪声干扰等情况，直接影响模型训练效果。不同设备与系统之间的数据标准不统一，导致数据难以进行有效整合与对比分析。在模型训练过程中，标注数据不足或标注不准确，会降低模型的学习能力与预测精度。部分故障属于低频事件，样本数量有限，使模型难以充分学习其特征规律。数据分布不均衡问题也较为突出，容易造成模型偏向于正常状态识别，降低对异常情况的敏感性，从而影响整体诊断与预测效果。

5.2 算法落地与工业场景适配的障碍

人工智能算法在实验环境中表现良好，但在实际工业场景中面临诸多适配问题。工业环境复杂多变，设备运行状态受多种因素影响，模型泛化能力受到挑战。算法对计算资源与响应时间有一定要求，而部分工业系统对实时性要求较高，增加了部署难度。现有生产系统与智能算法之间的接口兼容性不足，导致集成过程复杂^[5]。设备种类多样与运行工况差异明显，使统一模型难以覆盖所有应用场景，增加了模型调整与维护的难度，影响实际应用效果。

5.3 提升故障诊断与预测性维护效果的改进路径

提升应用效果需要从数据处理、模型优化与系统集成等方面进行综合改进。通过建立统一的数据标准与质量管理机制，提高数据的完整性与一致性，为模型训练提供可靠基础。引入多模型融合与在线学习方法，增强模型对复杂工况的适应能力，使诊断结果更加稳定。结合边缘计算与云平台技术，实现数据处理与模型推理的协同优化，提高系统响应效率。在实际应用中不断进行模型校正与参数优化，使系统能够适应不同设备与运行环境变化，提升整体故障诊断与预测能力。

6 结语

人工智能技术在工业自动化设备的故障诊断与预测性维护中展现了显著潜力。通过智能化的监测与数据分析，不仅能

够提前预测设备故障，降低维护成本，还能提高生产效率并延长设备使用寿命。然而，数据质量、模型训练与实际应用中的适配问题依然是亟待解决的挑战。未来，随着技术不断进步与

实践经验的积累，人工智能将在设备管理与维护领域发挥更大的作用，推动工业系统向更高效、智能的方向发展。

参考文献:

- [1] 牛冲丽,卢凯杰.人工智能技术在工业设备预测性维护中的应用[J].电子技术与软件工程,2022,(17):226-229.
- [2] 李佳铖,程刚.人工智能在工业自动化系统中的应用[J].科技创新与应用,2024,14(15):177-180.
- [3] 刘洋.面向工业设备故障诊断的知识图谱推理决策方法研究[D].南京航空航天大学,2023.
- [4] 戴认之.人工智能技术在工业设备和系统智能运营维护的应用[J].中国信息化,2020,(07):52-53.
- [5] 袁焯,张永,丁汉.工业人工智能的关键技术及其在预测性维护中的应用现状[J].自动化学报,2020,46(10):2013-2030.