

基于人工智能的工业设备智能运维系统研究与实现

朱元成

酷凌时代科技（浙江）有限公司，浙江绍兴，312000；

摘要：随着工业 4.0 和智能制造的快速发展，工业设备运维面临着效率低下、成本高昂和故障预测能力不足等挑战。传统运维模式已难以满足现代工业生产的需要，基于人工智能的智能运维系统应运而生。本文围绕工业设备智能运维的需求，研究并实现了一种基于人工智能的智能运维系统。文章首先分析了传统运维模式的局限性，探讨了智能化运维的发展趋势和关键技术；随后，详细阐述了系统的技术构建过程，包括数据采集与预处理、设备状态监测、故障诊断和预测性维护模型的构建；最后，总结了系统的应用价值与未来发展方向。研究表明，基于人工智能的智能运维系统能够显著提高设备运维效率，降低运维成本，为工业设备运维提供了全新的解决方案。

关键词：人工智能；工业设备维护；技术路线

DOI：10.69979/3041-0673.25.06.015

引言

工业设备是现代工业生产的核心，其高效、稳定运行是保障生产安全和经济效益的关键。然而，随着工业设备复杂性和规模的不断提升，传统运维模式在效率、成本和预测能力等方面已难以满足现代工业生产的需要。人工巡检和定期维护等传统方法不仅效率低下，还难以实现故障的早期预警和精准预测，导致设备故障频发、维护成本高昂。与此同时，工业 4.0 和物联网技术的快速发展为设备运维带来了新的机遇。通过传感器、大数据和人工智能技术，工业设备运维正朝着智能化、数据驱动的方向转变。基于人工智能的智能运维系统能够实时监测设备状态、精准诊断故障并预测设备剩余使用寿命，为设备运维提供了全新的解决方案。本文旨在研究并实现一种基于人工智能的工业设备智能运维系统，探索其在提高运维效率、降低运维成本方面的应用价值，为工业智能化发展提供理论支持和实践参考。

1 研究背景概述

1.1 工业设备运维的重要性

工业设备是现代工业生产的核心，其运行状态直接影响生产效率、产品质量和企业效益。设备故障不仅会导致生产停滞，造成经济损失，还可能引发安全事故，威胁人员生命和财产安全。随着工业生产的复杂化和设备规模的扩大，传统运维模式已难以满足需求。高效的设备运维能够减少非计划停机时间，延长设备使用寿命，降低维护成本，从而提升企业竞争力。因此，探索智能

化、精准化的设备运维方式，已成为工业领域的重要课题。

1.2 人工智能赋能工业设备运维

人工智能技术的快速发展为工业设备运维带来了革命性变革。通过机器学习、深度学习等技术，人工智能能够从海量设备运行数据中提取特征、识别规律，实现设备状态的实时监测、故障的精准诊断以及剩余使用寿命的预测^[1]。例如，基于传感器数据的异常检测可以提前预警潜在故障，基于历史数据的预测性维护可以优化维护计划，减少非必要停机。人工智能技术的应用不仅提高了运维效率，还降低了运维成本，为工业设备运维提供了智能化、数据驱动的解决方案。

1.3 研究目的与意义

当前，工业设备运维正面临数据利用率低、故障预测能力不足、维护策略单一等问题。本研究旨在构建一种基于人工智能的工业设备智能运维系统，通过分析设备运行数据，实现状态监测、故障诊断和预测性维护等功能。研究的意义在于：一方面，推动人工智能技术在工业领域的深度应用，为工业智能化发展提供理论支持；另一方面，为企业提供高效、低成本的运维解决方案，提升设备运行效率，降低运维成本，助力工业转型升级。

2 工业设备运维现状分析

随着工业 4.0 和智能制造的快速发展，工业设备运维的重要性日益凸显。然而，传统的运维模式在效率、成本和预测能力等方面已难以满足现代工业生产的需

要。本章将从传统运维模式的特点出发,分析其局限性,探讨智能化运维的发展趋势,并总结当前面临的挑战,为后续研究基于人工智能的智能运维系统提供现实依据和理论支持。

2.1 传统运维模式的特点与问题

传统工业设备运维主要依赖于人工巡检和定期维护,其核心特点是基于经验和固定周期的维护策略。人工巡检通过运维人员的现场检查记录设备状态,而定期维护则根据设备使用时间或运行周期制定固定的维护计划。这种模式在过去发挥了重要作用,但随着工业设备复杂性和规模的提升,其局限性日益凸显。首先,人工巡检依赖运维人员的经验和主观判断,难以覆盖设备的全面状态,容易遗漏潜在问题。其次,定期维护缺乏针对性,可能导致过度维护或维护不足,造成资源浪费或设备故障风险增加。此外,传统模式无法充分利用设备运行数据,难以实现故障的早期预警和精准预测,往往在故障发生后才进行维修,导致生产效率下降和成本增加。

2.2 智能化运维的兴起与发展

随着工业 4.0 和物联网技术的普及,智能化运维逐渐成为工业设备运维的主流趋势。智能化运维通过传感器、物联网和大数据技术,实时采集设备运行数据,并利用人工智能算法对数据进行分析 and 挖掘,从而实现设备状态的实时监测、故障的精准诊断和预测性维护^[2]。例如,基于机器学习的异常检测算法可以从海量数据中识别设备运行中的异常模式,提前预警潜在故障;基于深度学习的预测模型可以分析设备的历史数据,预测其剩余使用寿命,优化维护计划。智能化运维不仅提高了运维效率,还降低了运维成本,为工业设备运维提供了全新的解决方案。

2.3 智能化运维的关键技术

智能化运维的实现离不开多项关键技术的支持。首先,物联网技术为设备数据的实时采集和传输提供了基础,通过传感器和通信网络,设备运行数据可以高效地传输到云端或边缘计算节点。其次,大数据技术为海量数据的存储、处理和分析提供了支持,使得从复杂数据中提取有价值的信息成为可能^[3]。此外,人工智能技术,特别是机器学习和深度学习,是智能化运维的核心。机器学习算法可以从历史数据中学习设备运行规律,实现

故障诊断和预测;深度学习算法则能够处理更复杂的非线性关系,提高预测的准确性。最后,云计算和边缘计算技术为智能化运维提供了强大的计算能力和灵活的部署方式,支持实时数据处理和决策。

2.4 智能化运维面临的挑战

尽管智能化运维具有广阔前景,但其发展仍面临诸多挑战。首先,数据质量问题直接影响智能化运维的效果。设备运行数据的准确性、完整性和一致性是算法模型训练和预测的基础,但实际生产中数据往往存在噪声、缺失或不一致等问题。其次,算法模型的优化是一个复杂的过程,如何构建高效、准确的模型,实现对设备状态的精准预测和故障诊断,仍需进一步研究。此外,智能化运维系统需要与现有工业系统和设备进行集成,涉及技术兼容性和数据安全问题。最后,智能化运维需要跨学科的专业人才,包括工业自动化、数据科学和人工智能等领域,但目前相关人才短缺问题较为突出。

3 基于人工智能的工业设备智能运维系统技术构建

随着工业设备复杂性和规模的不断提升,传统运维模式已难以满足现代工业生产的需要。基于人工智能的智能运维系统通过数据驱动和智能化技术,为设备运维提供了全新的解决方案。本章将详细阐述智能运维系统的技术构建过程,包括系统总体架构设计、数据采集与预处理、设备状态监测模型构建、故障诊断模型构建以及预测性维护模型构建,为后续系统的实现和应用奠定理论基础。

3.1 系统总体架构设计

基于人工智能的工业设备智能运维系统是一个多层次、多模块的复杂系统,其核心目标是通过数据驱动和智能化技术实现设备状态的实时监测、故障诊断和预测性维护。系统总体架构分为四层:数据采集层、数据处理层、模型构建层和应用层。数据采集层通过传感器、物联网设备等实时采集设备运行数据,包括振动、温度、压力、电流等多维度数据,为后续分析提供基础。数据处理层对原始数据进行清洗、去噪、归一化等预处理操作,并提取关键特征,确保数据质量。模型构建层利用机器学习、深度学习等算法,构建设备状态监测、故障诊断和预测性维护模型,实现智能化分析。应用层则将训练好的模型部署到实际运维场景中,提供实时监测、

故障预警、维护建议等功能，为用户提供决策支持。通过这种分层架构设计，系统能够实现数据的高效流动和模型的实时更新，为工业设备运维提供全面的智能化支持。

3.2 数据采集与预处理

数据是智能运维系统的基础，高质量的数据是模型准确性的关键。数据采集阶段需要部署多种传感器，实时获取设备运行状态数据，包括振动、温度、压力、电流等多维度信息。这些数据能够全面反映设备的运行状态，为后续分析提供丰富的信息源^[4]。然而，原始数据往往包含噪声、异常值和缺失值，直接使用会影响模型的准确性。因此，数据预处理是至关重要的一步。预处理阶段包括数据清洗、数据归一化和特征提取三个主要步骤。数据清洗通过算法去除数据中的噪声和异常值，填补缺失值，确保数据的完整性和一致性。数据归一化将不同量纲的数据转换为统一标准，便于模型处理。特征提取则从原始数据中提取能够反映设备状态的关键特征，例如频域特征、时域特征等，为模型训练提供高质量输入。通过数据采集与预处理，系统能够为后续模型构建提供可靠的数据基础。

3.3 设备状态监测模型构建

设备状态监测是智能运维系统的核心功能之一，其目标是实时判断设备是否处于正常运行状态，及时发现潜在问题。传统的状态监测方法主要依赖于阈值判断和统计分析，难以应对复杂设备的多样化运行状态。基于人工智能的状态监测模型能够从海量数据中学习设备运行规律，实现更精准的状态判断。常用的方法包括基于统计模型的方法、基于机器学习的方法和基于深度学习的方法。基于统计模型的方法利用均值、方差、峰值因子等统计指标对设备运行数据进行分析，适用于简单的状态监测任务。基于机器学习的方法使用支持向量机（SVM）、随机森林（RF）等算法，对设备运行数据进行分类，识别异常状态。基于深度学习的方法则利用卷积神经网络（CNN）、长短期记忆网络（LSTM）等模型，从时序数据中学习设备状态的变化规律，适用于复杂设备的监测任务。通过构建高效的状态监测模型，系统能够实现对设备运行状态的实时监控，为故障诊断和预测性维护提供基础。

3.4 故障诊断模型构建

故障诊断是智能运维系统的另一核心功能，其目标是根据设备运行数据，判断设备是否存在故障，并确定故障类型和位置。传统的故障诊断方法主要依赖于专家经验和规则库，难以应对复杂设备的多样化故障模式。基于人工智能的故障诊断模型能够从海量数据中学习故障特征，实现更精准的诊断。常用的方法包括基于规则的方法、基于机器学习的方法和基于深度学习的方法。基于规则的方法根据专家经验制定故障诊断规则，适用于简单、明确的故障类型^[5]。基于机器学习的方法使用决策树、朴素贝叶斯等算法，对设备运行数据进行分类，识别故障类型。基于深度学习的方法则利用深度神经网络（DNN）、图神经网络（GNN）等模型，从复杂数据中学习故障特征，实现精准诊断。通过构建高效的故障诊断模型，系统能够快速定位故障原因，为设备维修提供科学依据。

3.5 预测性维护模型构建

预测性维护是智能运维系统的最终目标，其目的是根据设备运行状态和故障诊断结果，预测设备的剩余使用寿命，并制定合理的维护计划。传统的维护策略主要基于固定周期或事后维修，缺乏针对性和预见性。基于人工智能的预测性维护模型能够从历史数据中学习设备退化规律，实现精准预测。常用的方法包括基于统计模型的方法、基于机器学习的方法和基于深度学习的方法。基于统计模型的方法利用回归分析、时间序列分析等方法，预测设备的剩余使用寿命。基于机器学习的方法使用支持向量回归（SVR）、随机森林回归（RFR）等算法，对设备运行数据进行回归分析，预测剩余使用寿命。基于深度学习的方法则利用长短期记忆网络（LSTM）、Transformer 等模型，从时序数据中学习设备退化规律，实现精准预测。通过构建高效的预测性维护模型，系统能够优化维护计划，减少非必要停机，降低运维成本。

4 结语

本文研究并构建了一种基于人工智能的工业设备智能运维系统，通过数据驱动和智能化技术，实现了设备状态的实时监测、故障的精准诊断和预测性维护。研究表明，该系统能够显著提高设备运维效率，降低运维成本，为工业设备运维提供了全新的解决方案。然而，智能化运维的实现仍面临数据质量、算法优化、系统集成和人才短缺等挑战。未来，随着人工智能技术的不断

进步和工业应用场景的不断拓展,智能运维系统将在更多领域发挥重要作用。我们期待通过进一步的研究和实践,推动工业设备运维向更高效、更智能的方向发展,为工业智能化转型升级提供有力支持。

参考文献

- [1]吴鹏.人工智能技术在电力设备运维中的应用及未来发展探析[J].现代工业经济和信息化,2025,15(01):273-275. DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2025.01.090.
- [2]徐欧琚,吕佳芮.人工智能技术在配电网电力设备运维检修中的应用[J].中国机械,2024,(29):48-51.
- [3]陈宸,刘速,瞿宾业,等.基于工业互联网的关键设备智能运维研究[C]//中国机械工业联合会,中国机电

装备维修与改造技术协会.2024 中国工业设备智能运维技术大会论文集(下).昆仑数智科技有限责任公司;中石油(北京)数智研究院有限公司;中国石油天然气集团有限公司;,2024:422-430. DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.058938.

[4]侍海将.人工智能技术在电力设备运维检修中的应用[J].电子技术,2023,52(04):352-353.

[5]余烈均.智能技术在电力设备运维检修中的应用[J].电子技术,2024,53(11):230-231.

作者简介:朱元成,1987.08,男,民族:汉,籍贯:安徽黄山,学历:本科,职称:工程师,研究方向:计算机智能控制系统集成。