

Design of Condition Monitoring and Maintenance Management System of Refinery Equipment Based on Internet of Things Technology

Chunlai Ye

China Petrochemical Corporation Jingmen Petrochemical Company, Jingmen, Hubei, 448000, China

Abstract

This study is committed to deeply explore the potential of the Internet of Things technology and build a set of innovative management system, targeted to solve the traditional bottleneck of refinery equipment management. The specific goal is to realize the intelligent management of the refinery equipment, reduce the failure rate of the equipment through real-time monitoring, predictive maintenance and other means, and finally improve the production efficiency and safety. The significance of this study is to provide a new management model for the refining industry to achieve digital transformation. In addition, it also contributes valuable case reference and strategic guidance for the practical application of the Internet of Things technology in industrial complex scenarios, and promotes the deep integration of technological innovation and industry practice.

Keywords

Internet of Things; refining plant; equipment monitoring and maintenance; system design

基于物联网技术的炼化装置设备状态监测与维护管理系统设计

叶春来

中国石油化工股份有限公司荆门石化公司, 中国 · 湖北 荆门 448000

摘 要

本研究致力于深度挖掘物联网技术潜能并构建一套革新的管理系统, 针对性解决炼化装置设备管理的传统瓶颈。具体目标是实现对炼化装置设备的智能化管理, 通过实时监测、预测性维护等手段减少设备故障率, 最终提高生产效率和安全性。本研究的意义在于为炼化行业提供一种全新的管理模式以实现数字化转型。此外, 它也为物联网技术在工业复杂场景中的实战应用贡献了宝贵的案例参考与策略指引, 推动技术创新与行业实践的深度融合。

关键词

物联网; 炼化装置; 设备监测与维护; 系统设计

1 引言

长久以来, 炼化产业维系于传统的设备管理模式, 特别依赖人力巡视进行设备监测与保养。然而人工依赖性的巡检模式不仅效率低下且难以达成长时间、全方位的设备状态覆盖, 致使故障预警滞后, 直接威胁生产活动的安全与高效运行^[1]。故而寻求一种新的、更加高效的设备管理方式成为当前炼化行业面临的重要课题。

物联网技术作为工业 4.0 时代的重要组成部分, 正在为各行业带来全新的发展机遇。物联网的基本概念在于实现物体间的互联互通并构建起一个庞大的网络系统, 通过数据的

实时采集、传输和分析实现对设备状态的精准监测和管理。在工业领域内, 物联网技术的渗透与应用已蔚然成风, 技术架构亦日趋成熟和完善, 展现出重塑行业格局、提升运作效能的广阔前景, 因而吸引了业界内外的广泛关注与深入探讨。

2 系统架构设计

2.1 总体架构

该系统的总体架构由感知层、网络层、平台层和服务层四个主要组成部分。感知层是系统与物理世界的桥梁, 通过部署各类高灵敏度传感器来紧密贴合炼化装置的实际需求。这些传感器借助网络层连接到系统的核心平台, 将采集到的数据进行实时传输。比如高温耐腐蚀传感器被安装于关键热交换器内部, 实时追踪温度变化以确保操作安全; 压力传感器则布置于管道节点, 实时监测流体传输的压力波动,

【作者简介】叶春来 (1988-), 男, 中国湖北武汉人, 本科, 工程师, 从事炼油设备研究。

防止过压或欠压造成的安全隐患；而振动传感器紧密附着于旋转机械上，能够捕捉微小的振动异常并预示潜在的机械磨损。平台层被称为整个系统的大脑，负责接收、处理并分析从感知层传来的海量数据。在平台层，数据经过处理与存储并借助大数据分析算法进行深度挖掘，为后续的维护决策提供支持。主要表现为利用时间序列分析预测设备性能衰减趋势，或利用异常检测算法从常态数据中找出隐含的故障征兆。系统在服务层提供了各种维护管理服务（如实时监测、预测性维护等），为用户提供了全方位的智能化管理方案。举例来讲，为达到实时监测的目的，操作界面以图表、警报等形式直观展现设备状态，使操作人员能一目了然地掌握全局；预测性维护模块则基于平台层的分析结果自动生成维护任务单，推荐最佳维护周期与措施进而有效延长设备寿命并优化维护成本。

2.2 安全性设计

在数据加密方面采用先进的加密算法对数据进行加密传输和存储，确保数据的安全性和隐私性。考虑到炼化行业数据的敏感性和重要性，系统采用了 AES（高级加密标准）和 TLS（传输层安全协议）等国际认可的加密算法。所有从感知层采集的设备状态数据在通过网络层传输至平台层时均会被 AES 加密，以保证数据在传输过程中不被窃取或篡改。

为了保障系统不被未经授权访问，系统实施了 RBAC（基于角色的访问控制）模型。系统根据用户的角色（如操作员、工程师、管理员等）自动分配不同的访问权限和操作权限。例如，一线操作员仅能查看实时监测数据和接收到的警报信息，而高级工程师则可访问历史数据分析报告并执行设备参数的调整操作。

系统还采取了设备认证等安全措施来确保系统的稳定运行和数据的完整性。新部署的振动传感器在首次接入系统时需要通过预先配置的设备密钥与平台进行双向认证，一旦验证通过，其唯一标识符和证书信息将被记录在系统数据库中，后续每次通信都会验证这些信息，从而确保设备身份的真实性及数据来源的可靠性。

3 设备状态实时监测模块

3.1 数据采集策略

针对不同类型的设备应设计相应的传感器布局方案。以热交换器为例，因其在炼化过程中的核心地位，为此需要设计多点温度传感器网络，并将这一传感器网络布置在进出口以监测流体温度，还需在壳程与管程的关键节点设置温度探头来实时捕获局部过热现象，预防热应力损伤。鉴于炼化装置设备运行状态的动态变化，数据采集频率需具备灵活性。在夏季高温时段，对关键旋转设备的振动与温度监测频率会自动增加，以更精细地追踪可能因高温引起的性能衰退，反之在设备平稳运行期则适当降低采样频率，达到平衡

监测精度与资源消耗的目的^[2]。此外，还对采集到的原始数据进行了必要的预处理，包括数据清洗、滤波等，数据的预处理能够消除数据中的噪声和干扰，提高了监测数据的质量和可靠性。

3.2 实时监测界面设计

作为系统与操作人员交互的最前线，实时监测界面设计不仅要美观直观，还需高度实用，确保信息传递的高效与准确。在界面设计中采用直观的图表和指示灯等元素来展示设备各项关键参数的实时变化情况。通过色彩、图标等视觉元素的设计直观地反映了设备状态的良好与否，便于用户及时发现异常情况。界面还提供了历史数据查询和分析功能以帮助用户了解设备运行趋势和历史状态，为后续的故障诊断和预测性维护提供参考。针对不同用户的需求差异，界面提供个性化配置模块并允许用户根据自己的监控偏好自由选择显示哪些参数、调整显示顺序或定制预警阈值，提升用户体验。

3.3 异常检测算法

在算法选择上采用机器学习或深度学习等先进技术，通过对大量历史数据的分析和学习，建立设备正常工作状态的模型。一旦监测到异常数据系统即可通过比对模型进行自动识别和报警，提醒用户进行及时处理。同时为了提高异常检测的准确性和可靠性，算法还考虑了设备工作环境的变化和数据的动态特性，实现对不同情况下的异常状态的有效检测和识别。以炼化装置中的大型泵为例，系统通过长期监测发现某泵的振动幅度在某一特定频率下突然增加，而该变化在常规阈值外并未触发警报。随后集成学习算法通过分析振动频谱的细微变化并结合其他参数的异常波动，准确识别出了泵轴承初期磨损的迹象，及时发出了预警，最终避免了因轴承失效导致的生产中断，这体现了算法在复杂工况下的优越性。

4 预测性维护模型构建

4.1 数据驱动维护理念

预测性维护策略的核心是利用物联网技术捕获的海量历史数据，通过深度分析与机器学习算法准确预测炼化装置设备的故障概率和时间点，从而提前采取维护行动并减少意外停机和维修成本。在炼化装置设备的预测性维护模型构建中，首先需要收集并分析大量的历史数据，包括设备运行数据、维护记录等。这些数据对于建立设备状态的模型具有重要意义，能够帮助系统准确地把握设备运行的规律和特点，进而提高预测的准确性和可靠性。

在炼化装置的环境中，数据的全面整合是预测性维护的基础。对于一个炼油装置而言，历史数据可能包括了设备的运行时间、温度、压力、液位等参数，以及维护记录、故障信息等。通过对这些数据的深入分析，系统可以发现设备在特定工况下的故障模式和趋势，如在高温高压条件下，

设备的磨损速度会加快,容易导致润滑不良或部件疲劳而引发故障。基于这些数据和发现,系统可以建立相应的预测模型,预测未来的故障发生时间和类型,为维护决策提供重要依据。

4.2 特征选择与工程

在建立预测性维护模型时,需要对影响设备状态的关键因素进行分析和提取,即特征选择与工程。这些特征包括但不限于设备的运行时间、负载情况、环境温度等。对特征进行提取和分析后可以建立设备状态与特征之间的映射关系,为后续的预测模型构建提供了数据基础和理论支持。举例来说,炼化装置设备的寿命往往与其运行时间密切相关。系统对设备运行时间的分析后可以了解设备的使用频率和工作强度,从而预测出设备的寿命和可能发生的故障类型^[3]。另外,还可以考虑其他因素(如设备的负载情况、环境温度等),这些因素对设备的运行状态和寿命都有一定的影响,需要在特征选择和工程中进行综合考虑。

4.3 预测模型开发

人工智能算法主要是通过对历史数据的学习和训练建立设备状态的预测模型,能够准确地预测设备的故障时间和类型。为提高模型的预测能力和泛化能力,还对模型进行了反复的验证和优化以确保在实际应用中的有效性和可靠性。

神经网络是一种可以学习和拟合复杂非线性关系的强大工具。系统可以通过训练神经网络模型,并借助历史数据中的模式和规律,建立设备状态与各种特征之间的复杂映射关系。经过训练和验证,神经网络模型得以准确地预测出设备未来的状态和可能发生的故障类型,为预测性维护提供了可靠的预测工具。这里举一个炼化装置中反应釜的例子,该例子详细阐述了一个预测模型的构建过程。首先基于物联网传感器记录的累计运行时长并结合设备手册推荐的维护周期,确定反应釜的维护频次和潜在风险时段。然后连续监测反应釜内的温度、压力变化以及反应物的注入速率,评估设备承受的动态负载,识别负载突变对设备的影响。监测反应釜周围环境的温度、湿度和可能的腐蚀性气体浓度,将这些环境变量与设备性能数据相结合,建立多因素影响的神经网络模型。最后对模型进行反复训练和调参,直到模型达到所需要的精度。

5 智能决策支持系统

5.1 维护策略生成

维护策略生成是智能决策支持系统的核心功能之一,主要根据设备状态监测数据和预测模型的分析结果,为用户提供相应的维护建议或计划。系统可以根据监测到的设备运

行数据和预测到的故障趋势进而生成针对性的维护计划,包括定期检查、润滑、更换易损部件等。举例来说,当系统监测到某一设备的振动频率异常升高并根据预测模型分析判断可能存在轴承故障的风险时,系统会自动生成相应的维护建议,建议用户在下一个维护周期内对轴承进行检查和维护以避免可能的故障发生。

5.2 效果评估与反馈机制

构建一套全面的效果评估与反馈机制是确保系统持续优化、高效运行的关键。这一机制不仅关乎技术性能的评判,也涉及用户满意度和系统适应性的长期提升。系统定期统计和分析维护计划的执行情况,评估维护效果和成本效益,及时发现和解决存在的问题和不足。系统应内置用户反馈接口,支持即时通讯、问卷调查、在线评价等多种形式,确保用户反馈的便捷性与多样性。例如,设置一键反馈按钮,操作人员在遇到系统操作不便或预测不准确时可以快速提交问题或建议。基于评估结果和用户反馈,系统需定期进行版本迭代,推出新功能或优化现有功能。比如根据用户对预测性分析的高需求,系统在下一版本中增加了基于 AI 的故障根源分析功能,提升故障预测的准确性和深度。

6 结语

本研究设计的基于物联网技术的智能决策支持系统能够有效提升炼化装置设备的监测效率和维护管理水平。系统内的实时监控模块确保设备异常的即刻识别,并能主动输出维护指导方案。预测性维护模型的构建使得系统能够预测设备可能出现的故障类型和时间,在减少维护成本和生产停机时间的同时提高了设备的利用率和生产效率。

在未来,随着物联网技术的不断发展和智能化水平的提升,炼化装置设备状态监测与维护管理将迎来更加广阔的发展空间和前景。未来的发展方向可能包括进一步优化智能决策支持系统的算法和模型,提高其预测能力和准确性;或是深化与工业互联网生态的对接整合来促进设备间信息的无缝流通和协同作业,全面升级炼化装置的管理效能与生产效率。总的来说,物联网技术作为创新引擎,将持续驱动炼化行业的设备管理革新,为确保装置安全、稳定运行与可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 刘跃先,徐晓光.大型炼化装置机组在线监测系统的设计与选型[J].压缩机技术,2012(1):23-26.
- [2] 祁天军.炼化装置自动控制系统中的仪表抗干扰措施研究[J].石化技术,2023,30(6):34-36.
- [3] 王珠,吴岩松,王少贤,等.炼化装置中检测仪表与执行机构的异常诊断[J].化工自动化及仪表,2023,50(1):88-94.