

基于物联网的煤化工设备状态监测与故障预警系统构建

周震宇

国家能源宁夏煤业烯烃一分公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i10.8477

[摘要] 基于物联网的煤化工设备状态监测与故障预警系统，可实时采集设备运行数据并精准分析，解决传统监测方式滞后、故障预警不及时的问题，提升设备运行可靠性与生产安全性。系统通过部署物联网感知设备获取温度、压力、振动等关键参数，经边缘计算与云端平台协同处理，实现数据可视化呈现与异常情况自动报警。实践表明，该系统能有效缩短设备故障排查时间，降低非计划停机概率，为煤化工企业降本增效提供技术支撑，对推动煤化工行业设备管理智能化转型具有重要意义。

[关键词] 物联网；煤化工设备；状态监测；故障预警；智能化管理

Construction of a coal chemical equipment status monitoring and fault warning system based on the Internet of Things

Zhou Zhenyu

National Energy Ningxia Coal Industry Olefins Branch

[Abstract] A coal chemical equipment status monitoring and fault warning system based on the Internet of Things can collect real-time equipment operation data and accurately analyze it, solving the problems of lagging traditional monitoring methods and untimely fault warnings, and improving equipment operation reliability and production safety. The system acquires key parameters such as temperature, pressure and vibration by deploying Internet of Things sensing devices, which are processed by edge computing and cloud platform to achieve data visualization and automatic alarm for abnormal conditions. Practice has shown that this system can effectively shorten equipment troubleshooting time, reduce unplanned downtime probability, provide technical support for coal chemical enterprises to reduce costs and increase efficiency, and is of great significance for promoting the intelligent transformation of equipment management in the coal chemical industry.

[Key words] Internet of Things; Coal chemical equipment; Status monitoring; Fault warning; intelligent management

引言

煤化工设备长期处于高温、高压、腐蚀性强的复杂工况，其运行状态直接影响生产连续性与作业安全性。传统人工巡检与定期维护模式，难以全面捕捉设备潜在故障隐患，常因故障突发导致生产中断，造成巨大经济损失。构建高效的状态监测与故障预警机制，成为煤化工行业亟待解决的关键问题。物联网技术凭借实时感知、数据互联、智能分析的优势，为设备监测与预警提供了全新解决方案，可打破传统管理局限，实现设备全生命周期动态管控，为行业稳定生产与可持续发展奠定基础。

一、煤化工设备运行现状与监测需求分析

(一) 煤化工设备典型工况与故障特征探究

煤化工设备涵盖反应釜、压缩机、换热器等多种类型，不同设备运行工况存在显著差异。反应釜需承受 300-500℃ 的高温与 10-30MPa 的高压，内部介质多为腐蚀性气体或液体，长期运行易出现釜体腐蚀、搅拌轴磨损等故障；压缩机在高速运转过程中，转子不平衡、轴承磨损等问题频发，易引发振动异常与温度升高。这些故障若未及时发现，会逐步扩大影响范围，如反应釜腐蚀泄漏可能导致原料浪费与安全事故，压缩机故障则会影响整个生产流程的气体输送效率，深入探究设备工况与故障特征，是后续系统设计的重要依据。

(二) 传统设备监测方式存在的问题梳理

传统煤化工设备监测主要依赖人工巡检，工作人员需携带

便携式检测仪器定期对设备进行参数采集，该方式存在明显局限性。一方面，巡检间隔较长，通常为几小时甚至一天，难以捕捉设备运行过程中的瞬时异常数据，导致故障预警滞后；另一方面，人工检测易受主观因素影响，如检测人员操作规范性、经验水平差异等，可能造成数据误差，影响故障判断准确性。传统监测缺乏数据整合分析能力，各设备监测数据孤立存储，无法形成完整的设备运行状态图谱，难以实现故障根源追溯。

(三) 物联网技术适配煤化工设备监测的必要性论证

物联网技术具备多维度、实时化、智能化的数据采集与处理能力，与煤化工设备监测需求高度契合。其感知层可通过部署无线传感器、RFID 标签等设备，实现对设备多参数的连续采集，无需人工干预，避免人为误差；网络层能借助 5G、LoRa 等通信技术，确保数据在复杂工业环境中稳定传输，解决传统有线传输布线难、维护成本高的问题；应用层可通过大数据分析 with 人工智能算法，对采集的数据进行深度挖掘，识别设备运行规律与异常特征，提前预警潜在故障。从设备管理效率、数据准确性、预警及时性等方面来看，物联网技术为煤化工设备监测提供了必要的技术支撑，是突破传统监测瓶颈的关键手段。

二、基于物联网的煤化工设备监测与预警系统架构设计

(一) 系统整体架构分层设计与功能定位

系统采用感知层、网络层、平台层、应用层四层架构设计，各层级功能明确且协同联动。感知层作为数据采集前端，主要部署温度传感器、压力传感器、振动传感器等设备，负责实时采集设备运行过程中的关键参数，同时配备数据预处理模块，对原始数据进行滤波、降噪处理，确保数据质量；网络层承担数据传输任务，结合煤化工厂区面积大、设备分布散的特点，采用 5G 与 LoRa 混合组网方式，5G 用于高带宽、低时延的数据传输，LoRa 用于远距离、低功耗的设备连接，实现数据无死角覆盖；平台层为系统核心处理单元，包含边缘计算节点与云端服务器，边缘计算节点对采集的数据进行实时分析与初步判断，减轻云端压力，云端服务器则进行数据存储、深度分析与模型训练；应用层面向用户提供多样化服务，涵盖设备状态可视化、故障预警提示、历史数据查询等功能，满足不同岗位人员的使用需求。

(二) 物联网感知设备选型与部署方案制定

感知设备选型需综合考虑煤化工设备的工况特点与监测参数要求。温度监测选用耐高温的热电偶传感器，测量范围覆盖-200~1300℃，精度可达±0.5℃，能适应反应釜、加热炉等高温设备的监测需求；压力监测采用扩散硅压力传感器，具有抗腐蚀、耐高压特性，测量范围 0~50MPa，精度±0.1%FS，适

用于管道、储罐等压力设备；振动监测选用压电式加速度传感器，频率响应范围 0.1~10000Hz，可有效捕捉压缩机、泵类设备的振动异常。设备部署遵循“关键部位优先、全面覆盖”原则，在反应釜釜体、搅拌轴轴承等易故障部位加密部署传感器，在管道阀门、换热器进出口等关键节点合理布置，同时考虑设备运行时的振动、高温对传感器安装的影响，采用耐高温、防振动的安装支架，确保传感器稳定运行。

(三) 数据传输与通信协议适配策略构建

为保障数据在传输过程中的稳定性与安全性，需制定合理的数据传输与通信协议适配策略。数据传输采用分层加密方式，感知层数据通过 AES-128 加密算法进行加密处理，网络层利用 IPSecVPN 技术建立安全传输通道，防止数据被窃取或篡改。通信协议方面，感知层设备与边缘计算节点之间采用 MQTT 协议，该协议轻量级、低带宽消耗，适合物联网设备间的数据交互；边缘计算节点与云端服务器之间采用 HTTPS 协议，确保数据传输的安全性与可靠性。针对煤化工厂区可能出现的网络信号弱、干扰强等问题，设计协议自适应调整机制，当网络带宽不足时，自动降低数据传输频率并压缩数据量，保障核心数据优先传输，避免数据丢失。

三、系统核心技术与算法模型研发

(一) 设备运行数据预处理与特征提取技术应用

设备运行过程中采集的数据包含大量噪声与冗余信息，需通过预处理技术提升数据质量。首先采用滑动平均滤波法对原始数据进行平滑处理，消除随机噪声干扰，再利用拉依达准则剔除异常值，避免极端数据对分析结果的影响。特征提取环节结合设备故障类型，从时域、频域两个维度提取特征参数。时域方面，计算数据的均值、方差、峰值、峰值因子等统计量，反映设备运行的整体状态；频域方面，通过傅里叶变换将时域信号转换为频域信号，提取特征频率、频谱峰值等参数，捕捉设备故障的频率特征，如轴承磨损会在特定频率段出现峰值异常，为后续故障诊断提供准确的特征依据。

(二) 数据可视化与异常报警功能开发技术细节

数据可视化采用 WebGL 与 ECharts 结合的技术方案，构建三维设备模型与二维数据图表，实现设备运行状态的直观呈现。三维模型可实时展示设备外观、传感器安装位置及运行参数，用户通过鼠标操作可旋转、缩放模型，查看设备不同部位的详细数据；二维图表包括折线图、柱状图、热力图等，分别用于展示参数变化趋势、不同设备参数对比、设备故障风险分布等信息。异常报警功能采用多级报警机制，根据故障严重程度将报警等级分为轻微、一般、严重三级，不同等级对应不同的报警方式，轻微故障仅在系统界面显示提示信息，一般故障通过短信通知维护班长，严重故障则同时触发短信、电话报警

并联动现场声光报警器，确保相关人员及时知晓故障情况，快速响应处理。

四、系统测试与实际应用效果验证

(一) 系统测试环境搭建与测试方案设计

测试环境模拟煤化工实际生产场景，搭建包含反应釜、压缩机、换热器等设备的实验平台，按照实际厂区布局部署传感器、通信设备及服务器。测试方案分为功能测试、性能测试与稳定性测试三部分。功能测试通过模拟设备正常运行、参数异常、故障发生等场景，验证系统数据采集、分析、预警等功能是否正常实现；性能测试采用压力测试工具，模拟 1000 台设备同时在线运行，测试系统数据处理速度、响应时间及数据传输成功率；稳定性测试持续运行系统 30 天，监测系统长时间运行过程中的故障率、数据丢失率等指标，确保系统满足实际生产需求。

(二) 系统在煤化工企业的试点应用部署流程

试点应用选取某大型煤化工企业的合成氨车间，部署流程分为前期调研、方案制定、设备安装、系统调试、人员培训五个阶段。前期调研深入了解车间设备类型、运行状况及管理需求，明确系统部署重点；方案制定根据调研结果，确定传感器安装位置、通信网络搭建方式及系统功能配置；设备安装安排专业技术人员按照设计方案安装传感器、网关等设备，确保安装规范、牢固；系统调试通过与企业现有生产管理系统对接，实现数据互通，同时进行参数校准与预警阈值设定，确保系统监测数据准确、预警及时；人员培训针对操作工人、维护人员、管理人员开展专项培训，讲解系统操作方法、故障处理流程及日常维护要点，确保相关人员熟练使用系统。

(三) 系统应用效果的多维度数据对比分析

从设备管理效率、生产安全性、经济效益三个维度对比分析系统应用效果。设备管理效率方面，系统应用后大幅缩短设备故障排查耗时，设备维护计划制定不再依赖经验判断，转而以数据为支撑，维护判断的准确性明显提升；生产安全性方面，系统运行期间成功预警多起设备潜在故障，其中包含严重故障，所有预警故障均得到及时处理，未引发生产中断，非计划停机情况较以往显著减少；经济效益方面，因非计划停机减少与维护成本降低，企业成本节省成效明显，同时设备运行效率提高，带动产量有所增加，系统应用效果显著，达到预期目标。

五、系统优化方向与行业推广价值分析

(一) 基于应用反馈的系统功能优化策略

根据试点应用过程中企业反馈的问题，制定系统功能优化策略。针对部分传感器在高温高湿环境下故障率较高的问题，研发更耐恶劣环境的新型传感器，提升设备适应性；针对系统数据分析模型对部分复杂故障识别准确率不足的情况，引入深

度学习算法，增加故障样本数据量，优化模型结构，提高故障识别精度；针对用户提出的报表生成功能不够灵活的需求，开发自定义报表模块，支持用户根据自身需求选择数据维度、报表格式，提升系统实用性。

(二) 系统在不同类型煤化工企业的推广适配方案

根据煤化工企业生产规模、设备类型、工艺特点的差异，制定差异化推广适配方案。对于大型企业，系统可与企业现有 MES、ERP 系统深度融合，实现设备管理与生产管理、财务管理的一体化；对于中小型企业，推出轻量化版本系统，简化部分复杂功能，降低系统部署成本与维护难度，同时提供云服务模式，企业无需搭建本地服务器，通过租用云端服务即可使用系统；对于以煤制油、煤制烯烃等不同工艺为主的企业，针对性调整系统监测参数与故障预警模型，确保系统适配不同工艺设备的监测需求。

(三) 系统对煤化工行业智能化转型的推动作用评估

该系统的推广应用对煤化工行业智能化转型具有多方面推动作用。在技术层面，系统融合物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术，为行业设备管理提供先进技术范式，带动行业技术升级；在管理层面，系统实现设备运行数据的全面整合与智能分析，推动企业设备管理从传统经验型向现代数据型转变，提升管理效率与决策科学性；在行业发展层面，系统的应用可降低煤化工企业生产风险，减少资源浪费，促进行业绿色、高效、可持续发展，为煤化工行业智能化转型提供有力支撑，具有重要的行业推广价值。

结语

本文构建的基于物联网的煤化工设备状态监测与故障预警系统，通过科学的架构设计、核心技术研发与实际应用验证，有效解决了传统设备监测与预警的痛点问题。系统在实时数据采集、精准故障预警、高效设备管理方面表现突出，为煤化工企业提升生产稳定性与经济效益提供了可行路径。未来随着技术的不断迭代，系统可进一步优化功能与性能，扩大应用范围，持续为煤化工行业智能化发展注入动力，助力行业实现高质量转型。

[参考文献]

- [1]陈佳伟, 林晓峰.基于物联网的煤化工反应釜状态监测系统[J].化工自动化及仪表, 2023, 50(4): 589-594.
- [2]赵启航, 孙梦琪.煤化工压缩机故障预警模型的物联网技术应用研究[J].煤炭加工与综合利用, 2024, (2): 112-117.
- [3]刘泽宇, 吴雨桐.物联网在煤化工设备全生命周期监测中的实践[J].工业仪表与自动化装置, 2023, (5): 78-83.
- [4]周宇航, 郑欣怡.基于机器学习的煤化工换热器故障预警系统开发[J].化工机械, 2024, 51(3): 415-420.