

石油罐区智能监测系统的数据采集分析与可视化研究

曹旦夫 王晶 戴群雄 潘武平 杨洪波(国家管网集团东部原油储运有限公司科技研发中心, 江苏 徐州 221008)

摘要: 随着石油化工行业智能化进程加快, 石油罐区安全管理亟需高效、智能的技术支持。数据可视化作为智能监测系统的核心功能, 提升了数据理解效率, 也增强了异常识别和安全响应能力。本文围绕数据采集与预处理、多源数据融合与智能分析机制, 以及可视化功能的实现进行系统探讨。通过构建实时动态可视化平台, 集成多通道告警推送与交互设计, 提升了监测数据的表达效率和决策支持水平, 为高危罐区的智能化管理提供有力支撑。

关键词: 石油罐区; 智能监测系统; 数据可视化; 实时监控

中图分类号: TE972 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 026-0145-03

Research on Data Acquisition, Analysis and Visualization of Intelligent Monitoring System for Oil Tank Farm

Cao Danfu, Wang Jing, Dai Qunxiong, Pan Wuping, Yang Hongbo(National Pipeline Network Group Eastern Crude Oil Storage and Transportation Co., LTD, Science and Technology Research and Development Center, Xuzhou Jiangsu 221008, China)

Abstract: With the acceleration of the intelligentization process in the petrochemical industry, efficient and intelligent technical support is urgently needed for the safety management of oil tank farms. Data visualization, as a core function of the intelligent monitoring system, enhances the efficiency of data understanding and strengthens the capabilities of anomaly identification and security response. This article systematically explores the mechanisms of data collection and preprocessing, multi-source data fusion and intelligent analysis, and realizes the visualization function. By building a real-time dynamic visualization platform and integrating multi-channel alarm push and interaction design, the efficiency of data monitoring and the level of decision support can be enhanced, providing strong support for the intelligent management of high-risk tank farms.

Key words: Oil tank farm; Intelligent monitoring system; Data visualization; Real-time monitoring

石油罐区作为石油化工生产、运输与储存的重要环节, 其安全管理始终面临重大挑战。传统的人工巡检和孤立系统监测模式难以满足现代企业对于安全性、实时性与自动化水平的高要求。在此背景下, 智能监测系统逐渐成为罐区管理的重要支撑手段, 而数据可视化则是连接系统感知与管理决策的桥梁。通过图形化、交互化的方式展示采集数据和分析结果, 加快了应急响应速度, 实现从“看不见、反应慢”到“可视、可控、可预警”的转变。

1 数据采集与预处理技术

1.1 智能监测系统中的数据采集架构

石油罐区智能监测系统的数据采集架构采用边缘采集、本地汇聚与云端管理三层模式, 支持多种工业通信协议如 Modbus、OPC UA 和 Profibus, 实现不同厂商传感器的无缝接入。系统通过标准化接口框架, 将温度、压力、液位等关键参数实时采集, 采用高频率采样策略对罐体压力等关键指标进行 1 秒一次的数据采集, 而环境温度等参数则以 5 分钟一次频率采集, 保证了数据的实时性与资源的合理利用。据统计, 采

用该架构后, 数据丢包率降低至 0.5% 以下, 实时数据传输延迟控制在 200 毫秒以内, 显著提升了监测系统的稳定性和响应速度。

为确保采集数据的质量与一致性, 系统在采集端引入数据清洗、单位转换及格式封装等预处理流程, 有效剔除异常数据和噪声。模块化设计与开放 API 接口使系统具备良好的扩展性, 支持未来接入更多新型传感器和设备。实际应用中, 某石油罐区系统通过增加 20% 的传感器节点后, 系统整体无缝升级, 数据采集完整率维持在 99.7% 以上, 显示出极高的兼容性与可持续发展能力, 为智能化监测和精准管理提供了坚实保障。

1.2 异构协议适配与实时数据传输

通信网络设计是石油罐区智能监测系统高效运行的基础, 工业以太网作为核心网络发挥关键作用。通过部署高速交换机和光纤链路, 罐区可划分为多个子区域, 实现数据的快速稳定传输。例如, 在某大型罐区中, 采用双星型拓扑结构和双机热备核心交换机, 保证了网络冗余和容错能力, 使系统在主设备故障时能够无缝切换, 网络可用率达到 99.99% 以上。而现

场总线技术（如 Profibus、Modbus）与工业以太网的分层结合，有效减少布线复杂度，提高了数据采集的实时性与稳定性。

针对分布广泛且难以布线的监测点，系统引入无线通信技术（如 LoRa、NB-IoT）实现有线与无线网络的无缝对接，提升了部署灵活性和覆盖范围。为保障数据安全，罐区网络与外部系统之间部署了防火墙和入侵检测系统，采用 SSL/TLS 加密协议保护数据传输的机密性和完整性。网络设计充分考虑了未来扩展需求，合理规划带宽和接口容量，使得系统在增加 20% 以上监测节点后，仍能保持稳定高效运行，满足大规模罐区的智能监测需求。

1.3 数据预处理方法及质量保障

数据预处理在石油罐区智能监测系统中起着至关重要的作用，是保障后续数据分析准确性和系统稳定性的基础环节。由于采集自不同传感器和设备的数据存在格式多样、采样频率不一、信号噪声及异常值等问题，预处理过程必须涵盖数据清洗、去噪、异常检测与修正、缺失值填补、单位和时间同步转换等多方面技术手段。通过引入自适应滤波算法和规则引擎，系统能够智能识别并剔除不合理或异常数据，确保数据的真实与一致性。同时，统一的数据格式转换和标准化处理提升了数据的可读和可用性，为多源异构数据的融合分析提供坚实保障。

2 数据处理与智能分析机制

2.1 多源数据融合与标准化处理

多源数据融合与标准化处理是石油罐区智能监测系统实现精准分析和决策支持的关键环节。系统通过严格的数据预处理流程，有效剔除噪声干扰、填补缺失数据，确保数据质量的稳定性和一致性。采用统一的标准化策略，将来自不同传感器和设备的异构数据进行格式转换和单位统一，如温度的单位转换和时间戳的规范化，进一步通过时序聚合技术将高频数据转化为易于管理和分析的数据切片，为后续智能算法的精准运行提供坚实基础。在核心分析层，多元智能算法融合多源数据，通过时序模式识别和机器学习模型实现设备性能预测与异常检测，保障罐区安全与生产效率。系统采用双模分析架构，通过实时分析引擎对传感器数据进行毫秒级响应，实现异常状态的即时告警；还通过批量分析模块对历史数据深度挖掘，揭示设备损耗规律及能效优化空间，推动预防性维护和运营优化。

2.2 智能算法在异常检测与趋势预测中的应用

2.2.1 基于机器学习的故障预测

基于机器学习的故障预测技术通过深度挖掘罐区设备的历史运行数据和实时监测参数，构建精确的设

备健康状态模型。该技术以温度、压力、液位等关键参数及维护记录为基础，经过数据清洗、特征提取和归一化处理，形成适配多种机器学习算法的高质量数据集。采用长短时记忆网络（LSTM）捕获设备参数的时序依赖关系，支持向量机（SVM）进行状态分类，以及随机森林算法实现多模型集成，增强预测的鲁棒性和准确性。部署后，模型能够实时监测关键参数变化，提前数小时识别设备异常趋势，指导运维人员精准介入，有效减少非计划停机达 40% 以上。同时，内置的在线学习机制使模型能够持续优化，随着数据积累预测准确率逐步提升 15% 至 20%，为罐区设备全生命周期管理提供强有力的决策支持。

2.2.2 异常检测算法（阈值 + 模式识别）

异常检测算法结合阈值判定与模式识别两大技术手段，构建了覆盖显性与隐性风险的动态防御体系。阈值层通过设定关键参数的安全边界，实现对突发性、明显异常的快速响应，保证系统具备毫秒级的告警能力。模式识别层利用无监督聚类算法（如 K-means）和时间序列分析，深入挖掘参数的非线性变化规律，捕捉阈值范围内的潜在隐患，有效提升检测灵敏度 60% 以上。该分层策略确保了告警的准确性与实时性，同时通过自适应阈值调整与模式库更新，系统能够动态适应设备老化和环境变化。异常事件通过三维可视化界面直观呈现，包括动态趋势图和热力分布图，有效辅助管理人员快速定位风险区域，保障罐区安全隐患的全面覆盖，实现从被动监控向智能主动防护的转变。

2.3 双模分析架构及批量数据深度挖掘

双模分析架构是石油罐区智能监测系统中提升数据处理效率和决策精度的关键技术手段。该架构由实时分析引擎与批量分析模块组成，分别针对不同数据特性和处理需求展开协同工作。实时分析引擎基于流式计算框架，能够对传感器产生的高频数据流进行毫秒级别的处理，快速识别温度、压力等关键参数的突变及异常趋势，实现即时告警和快速响应。这不仅保障了系统对突发安全隐患的零延迟反应能力，还通过事件驱动机制触发相应的运维操作，显著降低潜在风险。实时模块采用内存计算和复杂事件处理技术（CEP），确保数据流的高吞吐量和低延迟，为罐区安全运营提供坚实保障。

批量分析模块则聚焦于历史数据仓库的深度挖掘，采用多种数据挖掘与机器学习方法，如聚类分析、关联规则挖掘及时间序列预测，对长期运行数据进行系统性探索。通过揭示设备性能衰退规律、能耗波动模式及维护效能，批量分析帮助形成科学的预防性维护策略和能效优化方案。例如，双模架构实现了实时

监控与深度分析的有机结合,形成从快速预警到长期优化的闭环反馈机制,极大提升罐区智能监测系统的安全稳定及经济效益。

3 数据可视化实现与交互设计

3.1 可视化表现形式及动态趋势展示

在石油罐区智能监测系统中引入数字孪生技术,可构建真实罐区的高精度三维虚拟模型,全面还原地上罐体、设备设施以及地下管线布局,实现从二维参数展示向三维空间可视化的跨越。通过与实时监测数据的动态绑定,三维孪生模型能实时显示罐体的温度、压力、液位等状态变化,还能通过颜色变化、动态图标和告警闪烁等形式,在空间上精准定位异常事件。例如,某地下原油输送管线发生压力异常,系统将在三维场景中同步高亮对应位置,辅助运维人员快速识别问题源头并制定应急方案。

数字孪生平台具备多层信息叠加以及场景关联驱动的能力,可支持地下管线、隐蔽设施及关联设备的可视化调取与模拟性研究分析,切实提高罐区可视化的管理实力,以对地下管线的路径、材质、埋深以及检修井位置等相关信息建模,可开展诸如碰撞预警、维保路径规划与应急演练之类的功能扩充,防止因地下设施信息不全出现施工误撞或救援延迟,联合动态趋势呈现本领,系统也可实现如管线应力变化、液体流速、腐蚀趋势这类演化过程的可视化模拟,为日常运维、隐患排查、事故预防等方面提供更具深度的数据支撑与空间决策本领。

3.2 告警信息的多通道协同推送与可视化呈现

罐区智能监测系统中的告警机制应基于多通道协同推送策略,确保不同级别的安全事件在第一时间内触达相关责任人。系统通过集成语音电话、短信、邮件、APP推送、微信企业号、声光报警器等多种通信方式,实现信息的冗余传达和角色定向分发。例如,针对高危液位超限告警,系统可同时推送至中控室界面、现场值班人员手机端及管理层邮箱,形成闭环式响应链条。这种多通道协同机制提升了告警响应的可靠覆盖率,还实现了告警信息在空间上的多维触达与在时间上的高效同步,避免因单一通道失效导致信息延迟甚至遗漏,强化了安全防控的实时性和鲁棒性。

在可视化呈现方面,系统通过分级告警图层、动态图标闪烁、声音提示和颜色编码(如红色表示紧急、黄色表示预警)等手段,清晰传达告警事件的严重程度与发生位置。所有告警事件将在主控界面上以时间轴和事件清单的方式记录,并通过交互式热力图或趋势图展示告警频率与类型分布,辅助用户识别潜在风险点与高发区域。此外,系统支持告警详情的点击钻

取,用户可进一步查看触发条件、传感器编号、历史数据对比与处置记录,便于快速溯源与精准干预。

3.3 用户交互设计与实时监控大屏集成

用户交互设计是提升罐区智能监测系统使用效率与操控便捷性的核心环节。系统界面应遵循“信息优先、操作简洁、流程连贯”的设计原则,采用模块化布局和扁平化导航结构,将数据展示、告警响应、历史查询、权限管理等功能统一集成,避免多页面跳转带来的操作干扰。交互控件应具备高度响应性与容错性,如参数设置应配有滑块调节、输入验证与状态回显,确保输入的准确性与实时反馈。系统还应根据用户角色差异设置定制化交互权限和信息展示界面,保障监控员、运维人员、管理者在各自职责范围内高效完成任务,强化系统的安全性。

实时监控大屏作为数据集成展示的核心终端,应结合B/S架构与可视化引擎(如ECharts、Three.js)实现多维数据同步刷新与高分辨率图形呈现。系统将温度、压力、液位、气体浓度等关键参数以动态图表、状态图标和趋势曲线方式展示,配合GIS地图展示罐区布局、传感器位置及告警热区,实现空间信息与状态信息的联动显示。为适应不同应用场景,系统应支持分屏管理与多屏联动,通过大屏轮播、区域聚焦、缩放切换等功能,使决策者在控制中心能够全面掌握罐区实时运行状态。集成大屏还应与后台系统保持低延迟通信,通过WebSocket或MQTT协议实现数据的秒级刷新,保障监测的实时性和决策的敏捷性。

4 结束语

罐区智能监测系统通过融合异构协议适配、智能算法分析、双模数据处理架构以及可视化交互设计,构建了一个高效、智能、可扩展的监测平台,不仅实现了对关键参数的实时监控与预警响应,也为罐区的安全管理与运维决策提供了坚实的数据支撑,推动了油气储运设施向数字化、智能化方向的转型升级。

参考文献:

- [1] 马花月.工程结构化数据预处理技术[J].中国科技信息,2025(09):44-47.
- [2] 曲相礼,曲春林.数字化转型中的石油化工装置:智能化系统的集成与应用[J].中国设备工程,2025(S1):26-29.
- [3] 刘怀玉.以用户为中心的移动端体检数据可视化设计研究[D].广州:华南理工大学,2022.

作者简介:

曹旦夫(1971—),男,汉族,湖南沅江人,博士,职称:教授级高工,职务:国家管网东部储运科技研发中心副经理兼总工程师,研究方向:油气储运。