

基于物联网的危化品智能装卸系统

钱飞同¹, 王瑞², 吴金俊凯¹, 王振华^{1*}

¹浙江建设职业技术学院建筑设备学院 浙江杭州

²浙江科技大学自动化与电气工程学院 浙江杭州

【摘要】本文针对危化品装卸过程中存在的安全管理漏洞、人工操作风险高、系统自动化水平低及信息孤岛等问题,提出了一套基于物联网的危化品智能装卸系统。该系统通过集成智能传感设备、边缘计算、工业以太网、RFID 识别、大数据平台等物联网技术,构建了涵盖现场仪表层、控制层、车间管理层及集团信息化层的多层架构,实现了从订单下发、身份验证、装卸控制、状态监控到数据追溯的全流程自动化与无人化作业。系统具备防篡改、安全联锁、远程诊断与多终端数据融合等功能,有效提升了装卸作业的安全性、精确性与管理效率,为危化品物流智能化转型提供了可行方案。

【关键词】危化品智能装卸系统;物联网技术;无人值守;自动化控制;数据追溯

【基金项目】“浙江建设职业技术学院大学生创新训练计划”资助项目

【收稿日期】2026 年 2 月 15 日

【出刊日期】2026 年 3 月 17 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20260002

Intelligent loading and unloading system for hazardous chemicals based on IoT

Feitong Qian¹, Rui Wang², Jinjunkai Wu¹, Zhenhua Wang^{1*}

¹School of Architectural Equipment, Zhejiang Construction Vocational College, Hangzhou, Zhejiang

²School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】To address critical challenges in hazardous chemical handling—including inadequate safety management protocols, elevated risks associated with manual operations, insufficient automation capabilities, and fragmented information ecosystems—this study proposes an IoT-enabled intelligent loading and unloading system with distinct technical innovations. Leveraging a synergistic integration of IoT-centric technologies (e.g., smart sensing modules with real-time hazard detection, edge computing nodes for low-latency data processing, industrial Ethernet for deterministic communication, RFID-based asset identification, and a cloud-native big data analytics platform), the system establishes a hierarchical four-layer architecture: field instrument layer, control execution layer, workshop management layer, and enterprise-level information integration layer. This architecture enables end-to-end automated and unattended operation workflows, encompassing order initiation, multi-factor identity authentication, closed-loop loading/unloading process control, real-time status monitoring (e.g., temperature, pressure, and leakage detection), and full-life-cycle data traceability. Notably, the system incorporates core functional modules such as anti-tampering mechanisms, dual-channel safety interlocking, remote predictive diagnostics, and cross-terminal data fusion—effectively enhancing the safety, precision, and operational efficiency of hazardous chemical handling processes. This research provides a feasible and scalable technical solution for advancing the intelligent transformation of hazardous chemical logistics, with implications for industrial safety compliance and supply chain optimization.

【Keywords】Intelligent hazardous chemical loading and unloading system; IoT technology; Unattended operation; Automated control; Data traceability

1 引言

2018 年 7 月,南京六合区某化工企业司机与司磅

员合伙勾结从工厂里偷出了近 7 吨的环氧丙烷;2019 年 3 月 21 日下午江苏响水天嘉宜化工发生特别重大爆

*通讯作者:王振华

炸事故。这些事故的发生一再引起了我们对危化品安全管控的重视。从生产与安防角度出发, 如何利用技术手段最大程度减少此类事故的发生, 已经成为行业内共同需要解决的问题。随着物联网与大数据技术的发展, 进一步推进炼化企业智能化工厂实施, 采取先进、稳定可靠的智能管控系统来保障危化品安全生产、安全转运已经成为危化行业近年来迫切需要解决的问题。目前危化品装卸行业主要痛点如下: (1) 企业生产业务量大、地磅点与装卸点多, 使得对司磅员及装卸操作工责任心要求很高, 多数安全事故往往是操作工误操作造成的。(2) 当前的装卸作业需要装卸工操作下进行, 装卸效率低, 安全风险高。(3) 当前装卸系统自动化水平低, 装卸系统与进出厂提货系统独自运行, 目前信息部门与计量部门在企业的财务结算与对账过程中手工核对, 工作繁琐, 易出现统计错误而导致企业经济损失。(4) 当前危化行业的进出厂物流的发展趋

势由有人值守向无人值守转移, 原先在室内的由司磅员操作的设备要移动室外, 由司机自主操作。设备的防爆要求, 司机自主操作的防篡改问题是无人值守成功实施的基本要求。

2 危化品智能装卸系统总体方案设计

本文中利用基于物联网的自动化设备远程控制系统如图 1 所示, 按照危化行业工厂架构, 分层设计。集团信息化管理层使用 IC 卡电子提货系统, 并进行企业层面的生产资源调度, 为企业的 ERP 系统提供数据接口。控制中心服务层由 SCADA 服务软件、视频管理系统、自动化组件库和数据库服务器等组成, 主要负责用户的身份认证, 面对所有经授权的合法用户, 合法用户经过身份验证后, 可以选择需远程监测和控制的设备, 实现对设备进行集中管理、生产控制。实时数据库服务器存储自动化加工设备的名称或编号、设备运行状态、历史监控数据、用户数据等信息。

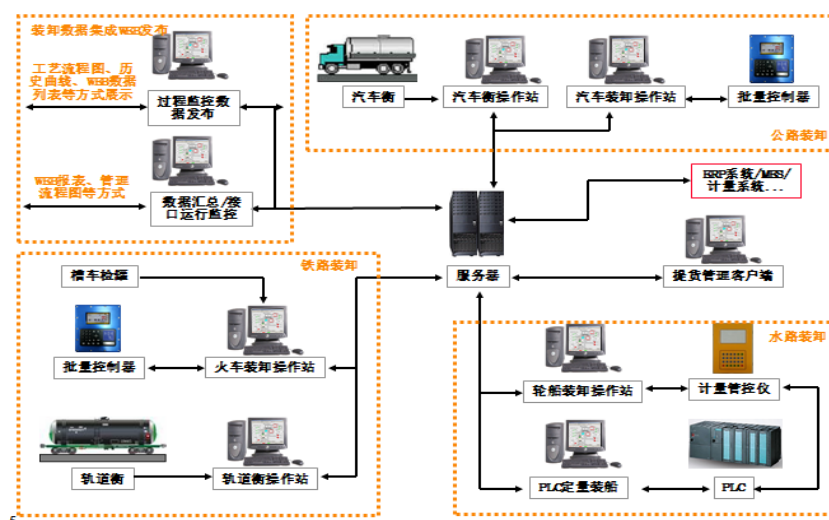


图 1 基于物联网的危化品智能装卸系统总体方案

该系统可用于物料的装车计量控制, 无人值守称重系统用于公路运输中的进出称重校验, 各个地磅点和装卸点配备智能称重平台和装车监控平台, 各个厂区平台相互独立, 可通过企业网络为工厂控制服务中心层提供监控数据。现场仪表与执行层作为直接接触物料的终端, 全部选用符合相应防爆等级(如 Ex d IIC T4 Gb)的智能传感器与执行机构, 包括防爆型流量计、液位开关、静电接地监测仪及气动切断阀等。该层通过本安防爆设计的工业总线或以太网进行信号传输, 确保在危险区域数据采集与指令执行的安全可靠。

2.1 危化品智能装卸系统硬件结构

该系统主要包括新型传感器、智能设备、智能控制

系统、管控一体化信息集成平台、基于数据驱动的设备智能诊断决策技术等, 可针对在建或运营石化工厂装卸系统提供数字化系统的新建或改造相关技术服务。智能装卸系统原理是采用智能控制、边缘计算、物联网、互联网+、大数据处理、云服务等先进信息技术与传统的装卸业务相结合, 对物流部资产进行全自动化控制系统构建, 形成管控一体化运维平台, 不仅能够降低管理成本, 提高管理水平, 而且精细化管理手段提高了作业效率, 降低人员投入成本, 杜绝偷油漏油等作弊行为, 确保装卸精度和高效安全装卸, 实现油库储运、控制、销售和管理的一体化。

智能装卸系统网络控制结构如图 2 所示, 主要分

为五个控制层: 现场仪表检测执行层、分布式控制层、智能车间层(含监控管理及业务管理软件系统)、集团信息化管理层和大数据及云端。

2.2 危化品智能装卸系统软件结构

该系统软件系统采用模块化设计架构, 如图 3 所示, 针对智能生产中的智能管理和智能物流方向, 建立地磅称重无人值守系统和装卸车收发油监控管理系统, 通过条形码、二维码或无线射频识别 (RFID) 卡、身

份证等识别技术, 可查看每个生产运输过程的订单信息、报工信息、批次号、工作中心、设备信息、人员信息实现生产运输数据跟踪, 产品档案可按批次进行生产过程和使用物料的追溯, 自动采集质量检测设备参数, 产品质量实现在线自动检测、报警和诊断分析, 提升质量检验效率与准确率, 生产过程数据实时更新实现从进场管控、装卸计量、出场管控等一系列自动化控制和数据监管, 保证安全生产及计量全程追溯。

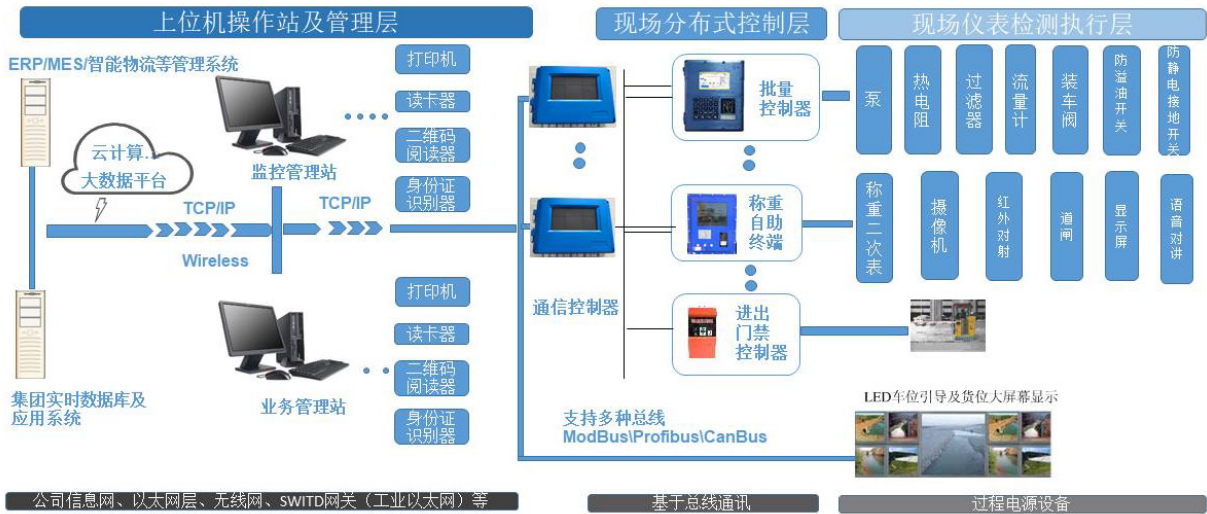


图 2 危化品智能装卸系统网络控制结构

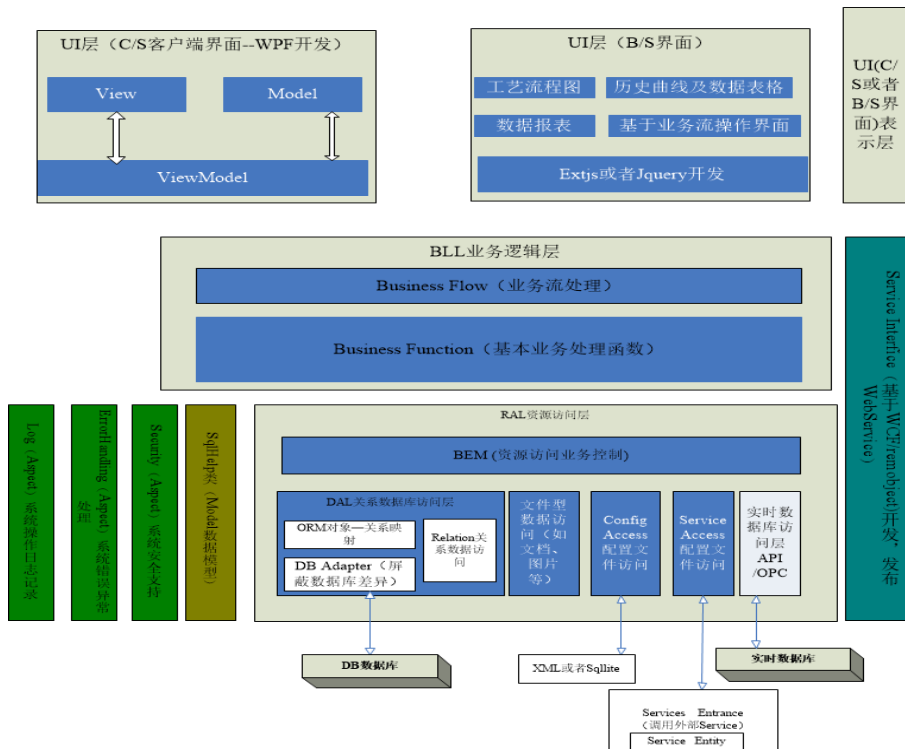


图 3 危化品智能装卸系统软件架构图

3 项目创新点与特色

3.1 基于订单直联与行为联锁的无人化装卸控制

传统装卸作业依赖纸质单据流转与人工现场监督, 存在信息滞后、人为失误风险高、安全联锁依赖人工判断等问题。本系统通过物联网平台将企业提货系统与现场装卸控制器直接对接, 实现电子订单自动下发与解析, 取代传统纸质单据, 杜绝信息传递误差。装卸前, 系统通过 RFID 或二维码识别车辆与司机身份, 并自动检测关键安全条件(如车钥匙归位、人体静电释放完成), 若未达标则禁止启动作业。作业过程中, 系统实时监测静电、溢油、流量等关键参数, 并依据预设安全阈值自动调节流速或触发联锁停机, 同时将报警信息实时推送至安监平台。该方式将安全管控从“人防”转为“技防”, 实现了全过程闭环联锁控制, 较现有半自动化或人工监控方案具有更高的可靠性与响应速度。

3.2 边缘存储与云端协同的数据追溯与诊断机制

现有系统多采用集中式数据存储, 网络异常时易导致数据丢失, 且故障诊断依赖现场排查。本系统在装卸控制器本地嵌入高可靠存储模块, 支持实时作业数据、报警记录及设备状态的边缘缓存, 确保在网络中断时仍可完整保存过程数据。同时, 通过轻量级通信协议将数据同步至云端大数据平台, 形成“边缘+云端”双备份架构。该设计不仅提升了数据完整性, 还支持历史作业的全程回溯与远程故障诊断, 克服了传统系统数据单点依赖、追溯效率低的局限性。

3.3 多路并行的嵌入式智能称重终端

传统称重系统常采用工控机或 PLC 作为控制核心, 成本高、扩展性有限, 且多站点管理需部署多套独立系统。本系统基于嵌入式 Linux 平台与 ARM9 处理器开发专用称重终端, 内嵌轻量级数据库(SQLite)实现实时数据存储与处理。终端支持多线程调度与网络通信, 可同时接入并管理 6 个装卸地磅点, 实现称重任务的并行处理与集中监控。该方案在保证实时性与稳定性的同时, 显著降低了硬件成本与运维复杂度, 实现了从“一机一点”到“一机多点”的管控模式升级。

3.4 基于工业物联网的多源数据融合与业务集成平台

现有系统往往独立运行, 装卸、称重、订单等业务系统之间缺乏高效数据互通, 形成“信息孤岛”。本系

统构建基于工业物联网协议的统一数据采集与传输框架, 通过 OPC UA、Modbus TCP 等标准协议集成现场仪表、控制系统与业务系统数据, 实现多源异构数据的实时汇聚与融合。在此基础上, 采用 Web Service 与 Restful API 等技术对接企业 ERP、物流管理等上层系统, 实现从订单下发、车辆调度、装卸作业到结算核对的全程数据联动。该平台以“业务驱动、数据融合”为核心, 推动了危化品装卸从局部自动化向全流程智能化的转变。

4 结论

本文从解决液态危化品进出厂的装卸计量问题出发, 研发了一套基于计量装卸与无人值守进出厂物流管理的危化品智能装卸系统。为进一步提高系统的自动化与智能化水平, 本项目拟以先进的检测仪表和控制设备为基础, 以大数据分析为核心, 采用主流的计算机与自动化技术, 构建网络系统框架, 将控制系统和管理系统有机地结合起来, 确保装卸精度和高效安全装卸, 实现油库储运、控制、销售和管理的一体化。

参考文献

- [1] 王荣俊.NJ 化工园区危化品物流安全管理研究[D].南京农业大学,2022.
- [2] 张成德.石化企业危化品汽车装卸安全智能管控平台建设与实践[J].安全管理,2024年第24卷第7期:69-72.
- [3] 毛青青.液态危化品仓储安全智能化管理关键技术研究[D].南京航空航天大学,2023.
- [4] 范斌.危化品物流业的特性及消防管理措施[J].消防技术与产品信息,2017年第1期:65-68.
- [5] 彭振峰.液态危化品智能储运管理系统研究[D].南京航空航天大学,2022.
- [6] 孙华.智能化在危化品码头船舶安全管理中的应用[J].科学管理,2019年第11期:391-392.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS