

炼化企业危化品仓储装卸全过程智能管控策略

耿汉轩 (山东联合能源管道输送有限公司, 山东 烟台 264000)

吕坤朋 (山东港源管道物流有限公司, 山东 烟台 264000)

李晓鹏 (山东联合能源管道输送有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 面向双碳与产业智能化要求, 针对炼化危化品仓储装卸的安全、效率及风险难题, 本文依托物联网、人工智能等技术, 设计“感知-决策-执行-复盘”全流程智能管控系统, 融合WMS、AI视觉分析等功能, 打通作业数据壁垒, 实现液/固态危化品分类管控, 降低人工依赖与预警滞后问题, 为炼化企业安全生产与精准经营赋能。

关键词: 炼化企业; 危化品; 仓储装卸; 智能管控; 物联网; 全流程闭环

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0160-03

Intelligent Control Strategy for the Whole Process of Hazardous Chemical Storage and Loading/Unloading in Refining and Chemical Enterprises

Geng Hanxuan (Shandong United Energy Pipeline Transportation Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

Lv Kunpeng (Shandong Gangyuan Pipeline Logistics Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

Li Xiaopeng (Shandong United Energy Pipeline Transportation Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

Abstract: To meet the requirements of carbon peaking and carbon neutrality as well as industrial intelligence, and address the challenges of safety, efficiency and risks in the storage and loading/unloading of hazardous chemicals in refining and chemical enterprises, this paper designs a full-process intelligent control system featuring “perception-decision-execution-review” by relying on technologies such as the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI). The system integrates functions including Warehouse Management System (WMS) and AI visual analysis, breaks down the data barriers in operations, realizes the classified control of liquid and solid hazardous chemicals, reduces the reliance on manual work and the problem of early-warning lag, and provides support for the safe production and precise operation of refining and chemical enterprises.

Keywords: Refining and chemical enterprises; Hazardous chemicals; Storage and loading/unloading; Intelligent control; Internet of Things (IoT); Full-process closed loop

石油石化行业危化品仓储装卸涉及基础油、树脂等多类易燃易爆、强腐蚀性物资, 全国近60%化工危化品事故发生于此环节, 诱因集中在泄漏扩散、混存冲突、违章操作等方面。现行人工巡检与纸质台账模式已难满足安全管控要求, 构建全流程智能化管控体系是保障生产安全、降低人工风险、节约运行成本的必然选择。

1 智能管控体系总体架构

1.1 全域数据采集网络

炼化企业危化品仓储装卸作业运用高精度北斗定位终端及集成人脸识别的智能安全帽实现全过程管控。当作业人员进入区域时, 智能安全帽对作业人员的身份权限进行快速识别核验; 当通过北斗定位功能以厘米级精度进行跟踪作业人员轨迹时, 一旦有人员越界就会触发安全帽语音和震动报警。对于关键设备安装防爆传感器, 实时采集压力、温度等参数, 并且

一旦发生异常就进行预警、生成报告; 作业设备加装监测模块, 利用振动、电流分析方法建立故障预测模型, 实现预防性维修。工业PON网络为基础, 为各厂库房及装车点等处提供800路以上监测视频稳定汇聚传输通道并实时分析; 采用视频智能分析技术实现监测人员违章操作、设备异常等情况隐患自动识别。对各区域合理分布气体检测探头、温湿度传感器等环境检测设备, 进行7×24h不间断对各种易燃易爆气体浓度、温湿度等环境指标检测, 当检测到环境参数值越限, 立即触发声光报警并通过联锁机制触动相关报警、警戒、警示装置, 如: 启吹风机、关断阀门等措施, 及时控制防止事态的发生^[1]。

1.2 多域通信保障体系

利用“工业局域网+5G广域网”双网架构。厂区内部署冗余光纤环网, 搭建低时延高可靠性的工业局域网, 并且可以在毫秒级实现实时传输包括罐区液位

传感器、地磅计量设备、高清监控摄像头在内的各种终端的数据以及大带宽的实时视频回传,从而保障生产的数据采集能够得到保证并且准确。使用 5GSA 独立组网方式作为广域网链路,从而形成危化品运输车辆的线上预约管理、GPS 定位跟踪和电子运单数据交互的信息闭环;支持危化品运输车辆全程从入场预约到离厂装货再到出场的安全远程调度。

1.3 智能决策中枢

该中枢包含三大核心模块:一是搭建企业级数据中台,打通 WMS、MES、ERP 系统实现数据实时互通,构建危化品 SDS 信息库,依托智能分析校验功能完成账物卡一致性清理与全流程追溯,夯实数据支撑;二是部署 AI 智能分析引擎与多维隐患识别算法,结合计算机视觉识别人员违章行为,通过深度学习模型检测物料堆放“五距”合规性并实时报警,利用机器学习挖掘设备运行数据,实现故障预警与预防性维修;三是打造智能调度管理平台,接入 EFMS 与电子围栏,基于车辆电子标签定位信息,结合装卸任务优先级与装卸台状态,通过智能算法实现车辆排队优化与路径规划,动态匹配车辆与装卸台,提升装卸作业的安全性与效率^[2]。

1.4 全流程业务落地

针对液态和固态危化品属性的不同设计差异化应用模块,涵盖从入库—存储—装卸—出库全流程,在此当中,对于液态危化品由智能验收模块通过光谱分析、密度检测等方式实现液态危化品的成分纯度、含水量检测,在液态危化品毫秒级完成检测的同时也会自动生成对应的电子质检报告;固态危化品主要通过 AI 图像识别进行是否是完整的包装、标签是否符合标准、批次溯源信息是否完整的自主检查工作。对于分类储存来说,则是采用了立体智能货架结合了温湿度分区管理方案,液态危化品存放在有防泄漏托盘以及液位实时监测系统的防爆库区中,并且会将危化品按照危化品种类的危险级别分别保存到不同的储位中,同时会使用 RFID 实现危化品的精准定位以及存取路径的规划。

无人装卸采用了 AGV 智能搬运机器人+机械臂组合方式,并且对于液态危化品可以使用密闭管道全自动充装,避开了人工操作的风险;固态危化品采用吸盘式机械臂代替人工作业方式码垛、拆垛,其误差可控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内。精准发运结合 GPS 定位以及交通大数据等方式分析各种不同类型的危化品的最佳运输路线,并将此条最佳路线对接到电子运单上形成“入库—存储—装卸—出库”,同时对接电子运单对接下一个环节。

1.5 两大支撑体系

采用“五双”管理制度(双人验收、双人保管、双人发货、双把锁、双本账),将危化品全生命周期纳入权限分离控制;按照安监部门的要求自动生成危化品入库、出库的电子台账,作业数据可追溯的时间周期达到 5 年以上,从而保证企业全部流程符合《危险化学品安全管理条例》的要求。依据事件场景建立突发事件专项预案,包括泄漏、火灾、爆炸等 28 个典型场景的预案库,并借助贝叶斯网络计算算法开展风险智能研判。当检测到系统硫化氢浓度过高或温度瞬时升高时,系统可在 30s 之内做出应急响应,并自动生成与该泄漏点相对应的三维处置指令,其中包括现场负责人泄漏源定位、应急疏散路线、物资调配方案等内容,并以多模态告警方式(短信、语音、APP 推送)通知企业法人、安全总监、属地应急管理部门人员做好应急救援准备工作。系统无缝对接消防指挥调度平台以及周边急救资源,支持无人机应急巡检、智能消防车应急路线规划、附近医疗机构人员接驳等一系列协同作战,并实现从监测到预警再到应急处置到最后复盘的应急管理闭环管理^[3]。

2 全流程智能管控关键策略

2.1 入库验收

预约核验数字化,司机可提前一天通过 APP 上传车辆资质、司机证件、提货单等信息到系统中,系统根据相关要求自动检验合格,并给相应的人员分配预约时间来入园,减少了厂区车辆聚集情况。中安联合利用这种模式将车辆入场效率提高了 40% 左右。验收检测自动化,液态物料用自动取样化验系统结合密度传感器实现灌装量检测,固态物料用视觉识别检测包装完整性及标签是否清晰,不合格品自动发出退货指令。无纸化信息录入,所有危化品信息通过 RFID 标签扫二维码后,可自动生成危化品信息台账,取代传统的手工记录方式,减少了人工出错的概率。其中数据录入出错率下降超过 90%,且容易找到错误原因所在,简单有效。

2.2 存储保管

首先,对于需要液态物料的安全存储(例如桶装基础油,化学溶剂),要建设 T4 级防爆立体库,并设置防爆堆垛机及防爆泄漏检测装置,利用智能码垛机实现堆叠,并且当出现挥发性气体时,能够联动温湿度传感器开启通风设备;实现了存储过程中的泄漏及时被发现。比如:某化工光伏胶生产企业利用液态物料安全存储方案以后,其存储环节的泄漏检出时间由原来需要数小时降为小于 1min。在固态物料高效存储方面,通过运用袋装树脂、颗粒料等物料的托盘单元化,

建立自动化立体库系统,通过堆垛机+RGV/AGV的方式可以极大地提高存储效率^[4]。

2.3 装卸作业

①车辆调度精细化。借助智能交通管理系统打造以GPS高精度定位为基础、电子围栏动态引导、AI智能路径规划为核心三合一的一体化调度管理模式:车载终端实时上传位置信息,智能调度平台自动生成最佳行车路线并启动电子围栏引导功能,将槽车引导至指定装卸位置进行装卸操作;依托一体式的工作新模式由“车等人”的被动服务转变为“人等车”的主动服务,大大提高了现场作业秩序。

②装卸操作无人化。液态物料装卸应用集成质量流量计、电动控制阀、PLC控制系统来搭建定量装车系统,在系统中设置预设灌装参数,能实现全过程的自动化操作;在系统中加入防超装的保护装置,当液位到达限位位置后,控制阀门自动关闭,并且精准度能达到 $\pm 0.5\%$;若出现泄漏,则会启动泄漏检测传感器矩阵,及时监控装卸区,如检测到有异常则触发声光报警同时切断物料输送。固态物料运输:采用“无人叉车+AGV小车+视觉识别”的“无人叉车+AGV小车+视觉识别”智能物流模式,以激光导航和机器视觉相结合的方式完成对物料的精确定位抓取。无人叉车的高精度位移传感器保证作业的精准度可达到 $\pm 5\text{mm}$,基于AGV小车的柔性调度系统,可以在提高仓储周转率的同时完成两种状态之间的装卸任务。

③管线对接安全化。采用近场射频识别(RFID)和物联网感知技术建立管线智能对接管理系统,在管线接头上加装具有唯一编码的RFID标签,包含物料类型、压力等级、流向等内容。在作业时由安装在装卸臂上的读写器对RFID标签读取后,经三重校验(物料匹配性、设备兼容性、操作权限),判断满足对接要求后,才允许执行对接操作。

2.4 出库发运

①智能复核与称重。根据AI图像识别和大数据分析技术,实现从出库环节的全自动化复核称重,接收提货单之后,会调用ERP系统数据进行对比分析,包含货物名称、规格、批次、数量等重要信息,以此来保证账目准确无误;此外,基于地磅系统实现无人值守智能称重,使用高精度传感器以及动态称重算法进行实时车辆皮重、毛重的数据采集,并且能过运用跨磅数据交互技术使不同地磅之间做到数据传输无缝对接,这样便不需要在磅与磅之间往返,车辆的过磅称重的时间将会得到相应的节约,车辆整体过磅称重效率提高到原来的60%以上,避免车辆多次往返而造成的车辆排队等待的情况发生以及减少人工干预产生

误差的风险^[5]。

②全程轨迹监控。建立“GPS定位+电子封条+物联网”的三位一体运输监控网络,在车辆离场前给车辆绑定防拆报警功能的智能电子封条,借助RFID与车载GPS,形成唯一的身份证标号。通过运输过程中的GPS系统实时回传分钟级更新车辆位置、行驶速度等内容,运输线路设定好最优运输路线之后,以分钟为单位实时跟踪运输路线,如偏离最路径500m或者异常停车时间大于10min以上,就自动触发三级预警,通过短信及APP的形式将车辆异常信息推送给负责人员,并生成异常事件信息记录和保存影像资料,以保证运途中物料可管可控。

③数据追溯闭环化。基于区块链和数字孪生技术打造全流程数据追溯平台。危化品入库自动采集入库时间、操作人、验收数据、存放货位等内容;存储阶段实时记录温湿度、压力等环境参数及货位变化情况;装卸过程由智能终端记录了操作步骤和设备运行数据;出库时候将提货单、称重记录、运输车辆等数据全部记录下来并保存,以时间为顺序记录整个过程中所有数据,并用私钥加密存储。形成了完整的“入库-存储-装卸-出库”全流程的不可篡改的数字档案,能够在第一时间对监管单位进行快速溯源调查,能够随时对企业内部的业务状况进行审核把控,帮助企业把控风险,实现自身的发展需要。

3 结束语

炼化企业危化品仓储装卸智能管控是行业数字化转型的重点和难点所在,就是通过技术应用实现“安全、效率、合规”协同统一;数字孪生、区块链等新技术的发展,必将使危化品管控实现“全要素数字化映射、全流程自主决策”;炼化企业应不断加强技术创新、管理变革,注重数据安全和合规建设,以“感知全面、决策智能、响应快速、协同高效”为主线建设智能管控生态,为行业高质量发展打牢安全基座。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 应急管理部赴山东调研危化品安全风险集中治理和重大安全风险防范工作 [J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(07): 177.
- [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] 房春珍. 人员智能管理系统在原油装卸港口的研究与应用 [J]. 设备管理与维修, 2025, (14): 22-25.
- [5] 桑宝林. 原油装卸过程中自动化控制技术的应用与优化 [J]. 化学工程与装备, 2025, (04): 93-95.