

基于信息化技术的石油化工企业生产与储存安全管理研究

——以扬子石化 2000 万 t/a 炼化一体化项目为例

李 昂 (中海油能源发展股份有限公司安全环保分公司, 天津 300450)

摘要: 石油化工企业生产与储存环节因涉及高温、高压、易燃易爆介质, 安全风险极高。本文以扬子石化 2000 万 t/a 炼化一体化项目为研究对象, 围绕信息化技术在该项目生产与储存安全管理中的应用展开研究。通过分析项目中物联网、大数据、人工智能、数字孪生等技术的具体落地方式, 结合实际运行数据与安全指标, 验证信息化技术对提升生产与储存安全管理效率、降低安全风险的作用。研究表明, 信息化技术可实现生产与储存过程的实时监测、智能预警、精准管控, 为石油化工企业安全管理提供可靠技术支撑, 具有较强的专业性与实用性。

关键词: 信息化技术; 石油化工; 生产安全管理; 储存安全管理; 扬子石化炼化一体化项目

中图分类号: TQ086.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0130-03

Research on Production and Storage Safety Management of Petrochemical Enterprises Based on Information Technology

—— A Case Study of Yangzi Petrochemical's 20 Million Ton/Year Refining and Chemical Integration Project

Li Ang (Safety and Environmental Protection Branch of CNOOC Energy Development Co.,Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: The production and storage links of petrochemical enterprises involve high-temperature, high-pressure, flammable and explosive media, leading to extremely high safety risks. This paper takes Yangzi Petrochemical's 20 million ton/year refining and chemical integration project as the research object, focusing on the application of information technology in the production and storage safety management of the project. By analyzing the specific implementation methods of technologies such as the Internet of Things, big data, artificial intelligence, and digital twin in the project, combined with actual operation data and safety indicators, the effect of information technology on improving the efficiency of production and storage safety management and reducing safety risks is verified. The research results show that information technology can realize real-time monitoring, intelligent early warning, and precise control of the production and storage processes, providing reliable technical support for the safety management of petrochemical enterprises, and having strong professionalism and practicality.

Keywords: Information technology; Petrochemical industry; Production safety management; Storage safety management; Yangzi Petrochemical's refining and chemical integration project

石油化工产业作为国民经济的支柱产业, 其生产流程涵盖原料加工、产品合成等多个环节, 储存系统则涉及原油、成品油、化工中间体等多种危险化学品。扬子石化 2000 万 t/a 炼化一体化项目作为国内大型炼化项目之一, 生产装置涵盖常减压蒸馏、催化裂化、乙烯裂解等, 储存区包含 20 座 10 万 m³ 原油储罐、30 座 5000m³ 成品油储罐及 15 座化工中间体储罐, 具有装置规模大、介质种类多、安全风险集中的特点。

传统安全管理模式依赖人工巡检、纸质记录与经验判断, 存在监测滞后、数据碎片化、预警不及时等问题。随着信息化技术的快速发展, 将物联网、大数据等技术融入石油化工生产与储存安全管理, 成为解决传统管理痛点、提升安全管理水平的关键路径。本文结合扬子石化该项目的实际应用场景, 深入研究信息化技术在安全管理中的具体应用与实施效果。

1 石油化工企业生产与储存安全管理现状及痛点

1.1 生产安全管理现状及痛点

扬子石化炼化一体化项目生产环节中, 传统管理模式下, 工作人员需对常减压蒸馏装置的温度、压力, 催化裂化装置的反应深度, 乙烯裂解装置的裂解炉工况等参数进行人工巡检, 巡检周期通常为 1-2h/次。这种模式存在明显不足: 一是参数监测滞后, 当装置出现压力骤升、温度异常等情况时, 人工发现时可能已接近安全临界值; 二是数据记录不规范, 纸质记录易出现错填、漏填, 且数据无法实时共享, 各装置间数据割裂, 难以实现全局协同管控; 三是风险预警依赖经验, 对于装置潜在的设备故障、工艺波动等风险, 无法通过数据关联分析提前预判, 导致故障处理被动。

1.2 储存安全管理现状及痛点

储存区传统管理中, 储罐液位、温度、压力及周

边可燃气体浓度等参数主要通过人工读取储罐压力表、液位计及手持检测仪获取。一方面,人工巡检存在盲区,如储罐顶部、管线接口等隐蔽位置的泄漏难以及时发现;另一方面,库存管理依赖人工统计,易出现储罐超装、错装等问题,且当发生泄漏时,无法快速定位泄漏点及评估泄漏范围,可能导致事故扩大。据项目前期统计,传统管理模式下,储存区年均出现2-3次轻微泄漏预警延迟,生产装置因参数监测滞后导致的工艺调整不及时事件年均1-2起。

2 信息化技术在扬子石化项目生产与储存安全管理中的应用

2.1 物联网技术构建全场景感知网络

为解决传统监测滞后、盲区问题,项目部署了物联网感知系统,覆盖生产装置区与储存区。在生产装置区,针对常减压蒸馏装置的加热炉,安装SHT30高精度温湿度传感器、PT100压力传感器,传感器采样频率设为1次/min,数据通过LoRa无线通信技术实时传输至中控系统;催化裂化装置的反应器、再生器等关键设备上,安装振动传感器与超声波探伤传感器,实时监测设备运行振动频率与设备壁厚变化,预防设备疲劳损坏。

在储存区,每座储罐顶部安装雷达液位计,精度达 $\pm 1\text{mm}$,实时采集储罐液位数据;储罐外壁安装分布式光纤温度传感器,沿储罐高度方向每隔10cm布设一个监测点,监测储罐不同高度的温度分布;储存区周边每隔50m布设一台MQ-2可燃气体传感器,当可燃气体浓度超过阈值,如汽油蒸气浓度超过0.3%时,传感器自动触发本地声光报警并上传数据。物联网感知系统的部署实现了生产与储存环节关键参数的实时、全面感知,消除了监测盲区。^[1]

2.2 大数据技术实现数据整合与智能预警

项目搭建基于Hadoop分布式架构的大数据平台,整合物联网感知系统采集的实时数据、生产执行系统(MES)的工艺数据、设备管理系统的设备台账数据及历史安全事故数据,形成统一的数据仓库。平台采用SparkStreaming实时计算框架,对数据进行清洗、转换与关联分析,构建多维度安全预警模型。

在生产安全预警方面,针对乙烯裂解装置,平台通过分析裂解炉出口温度、进料量、稀释蒸汽量等参数的历史关联数据,建立LSTM(长短期记忆网络)预测模型,提前2h预测裂解炉出口温度波动趋势。当模型预测温度偏差超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ 时,自动向中控室发出预警,并推送可能的原因分析(如进料组分变化、燃烧器故障)。在储存安全预警方面,平台通过分析储罐液位变化速率与历史充装记录,当液位上升速率

超过正常充装速率的1.5倍时,判断可能存在超装风险,立即触发储罐进料阀门的联锁控制信号,同时提醒操作人员核查充装流程。

根据项目运行数据统计,大数据预警系统投用后,生产装置工艺参数异常预警响应时间从传统的30min缩短至5min,储存区超装风险预警准确率达98%,有效避免了2起潜在的储罐超装事故。

2.3 数字孪生技术实现可视化管控与模拟推演

项目针对储存区的20座原油储罐,构建数字孪生模型。模型以Unity3D为开发平台,通过激光扫描获取储罐实际尺寸数据,还原储罐的外观结构、内部构件及周边管线布局;同时,将物联网感知系统采集的实时液位、温度、压力数据与数字孪生模型关联,实现储罐运行状态的3D可视化展示。管理人员在中控室通过数字孪生平台,可直观查看每座储罐的实时运行参数,点击模型中的任意部件(如进料阀门、液位计),即可调取该部件的设备台账、维护记录及历史运行数据。

此外,数字孪生模型还具备模拟推演功能。当储存区发生可燃气体泄漏时,管理人员可在模型中输入泄漏点位置(如储罐进料口)、泄漏速率等参数,模型基于流体力学算法模拟泄漏气体的扩散路径与浓度分布,预测不同风向、风速下泄漏气体到达周边装置区的时间,为应急救援提供决策支持。在一次模拟演练中,数字孪生模型预测泄漏气体在东风3级的情况下,20min后将扩散至相邻的泵区,与实际烟雾模拟试验结果偏差仅5%,验证了模型的可靠性。^[2]

2.4 人工智能技术优化设备维护与风险评估

在设备维护方面,项目采用AI图像识别技术对生产装置的仪表读数进行自动识别。通过在常减压蒸馏装置的仪表盘上安装高清摄像头,摄像头每5min拍摄一次仪表图像,AI算法对图像中的压力表、流量计读数进行识别,并与物联网传感器采集的数据进行比对,当两者偏差超过5%时,判断可能存在仪表故障或传感器异常,自动生成设备维护工单并分配给维修人员。该技术减少了人工核查仪表的工作量,仪表故障发现时间从传统的8h缩短至1h。

在安全风险评估方面,项目构建基于BP神经网络的安全风险评估模型,将生产装置的工艺复杂度、设备老化程度、操作人员技能水平、环境因素(如温度、湿度)等12项指标作为输入变量,输出装置的安全风险等级(低、中、高、极高)。模型通过历史风险评估数据与实际事故数据进行训练,风险等级预测准确率达92%。每月通过模型对各生产装置与储存区进行风险评估,针对高风险区域(如乙烯裂解装置区)

表 1: 信息化技术投用前后安全管理指标对比表

安全管理指标	信息化技术投用前 (年均)	信息化技术投用后 (年均)	提升幅度
生产装置轻微事故发生率	1.2 起 / 千万 t 原料加工量	0.3 起 / 千万 t 原料加工量	75%
储存区泄漏事故发生率	0.8 起 / a	0.1 起 / a	87.5%
工艺参数异常预警响应时间	30min	5min	83.3%
储存区风险预警响应时间	25min	4min	84%
生产装置人工巡检工作量	120 人 · h / 天	40 人 · h / 天	66.7%
储存区人工巡检工作量	80 人 · h / 天	25 人 · h / 天	68.75%

制定专项管控措施,如增加巡检频次、强化操作人员培训等。

3 信息化技术应用效果分析

为直观体现信息化技术的应用效果,本文从安全事故发生率、预警响应时间、巡检效率三个维度,对扬子石化项目信息化技术投用前后的安全管理指标进行对比分析,具体数据如表 1 所示。

从表中数据可知,信息化技术投用后,生产装置与储存区的事故发生率显著下降,预警响应时间大幅缩短,人工巡检工作量明显减少,充分验证了信息化技术在提升石油化工企业生产与储存安全管理水平中的有效性。同时,通过数字孪生技术与 AI 风险评估模型的应用,项目实现了安全管理从“事后处理”向“事前预防”的转变。例如,在 2024 年夏季高温期间,AI 风险评估模型预测乙烯裂解装置区因环境温度升高,设备运行风险等级上升为“高”,项目据此提前调整装置负荷,增加设备冷却系统的运行效率,避免了因设备过热导致的停机事故。^[3]

4 存在问题与优化建议

4.1 存在问题

尽管信息化技术在扬子石化项目中取得了良好应用效果,但仍存在一些问题。一是系统兼容性不足,物联网感知系统采用的部分传感器来自不同厂商,数据通信协议存在差异,导致部分传感器数据需通过中间件转换后才能接入大数据平台,增加了数据传输延迟;二是数据安全风险,生产与储存环节的关键数据(如工艺参数、储罐液位)在传输与存储过程中,存在被网络攻击、数据泄露的风险;三是人员操作能力不足,部分年长的操作人员对数字孪生平台、AI 预警系统的操作不熟练,在紧急情况下难以快速利用信息化系统开展应急处置。^[4]

4.2 优化建议

针对上述问题,提出以下优化建议:一是统一数据通信协议,后续项目新增传感器需采用 MQTT 标准通信协议,对现有非标准协议传感器进行固件升级,实现传感器数据的直接接入,减少数据传输延迟;二是加强数据安全防护,在大数据平台部署防火墙、入侵检测系统(IDS),对关键数据采用 AES-256 加密算法进行加密存储,定期开展网络安全漏洞扫描与渗透测试;三是开展分层培训,针对操作人员制定信息

化系统操作培训计划,基础培训涵盖系统日常操作与预警处理,进阶培训针对应急场景下的系统应用,通过理论教学与模拟演练相结合的方式,提升操作人员的信息化应用能力。^[5]

5 结论

本文以扬子石化 2000 万 t/a 炼化一体化项目为实际案例,系统研究了物联网、大数据、人工智能、数字孪生等信息化技术在石油化工企业生产与储存安全管理中的应用路径与实施效果。研究证实,信息化技术通过构建全场景感知网络、实现数据整合与智能预警、提供可视化管控与模拟推演、优化设备维护与风险评估,有效解决了传统安全管理中监测滞后、数据碎片化、预警不及时等痛点。项目运行数据显示,信息化技术投用后,生产与储存环节的事故发生率显著下降,预警响应时间大幅缩短,人工巡检工作量明显减少,推动安全管理从“事后处理”向“事前预防”转变,为石油化工企业安全管理提供了可靠的技术支撑。

从行业推广角度而言,扬子石化项目的成功经验可为国内其他石油化工企业提供参考,通过制定行业标准、搭建技术交流平台等方式,推动信息化技术在石油化工安全管理领域的规模化应用。同时,需加强跨行业技术协同,借鉴智能制造、智慧城市等领域的先进技术与管理理念,不断丰富石油化工安全管理的技术手段与方法体系。

参考文献:

- [1] 胡瑾秋,张来斌,武胜男.油气生产复杂系统风险早期智慧预警理论、方法及应用[M].北京:石油工业出版社,2022.
- [2] 王强,李建明,刘芳.物联网感知网络在炼化企业储罐区安全监测中的应用[J].石油化工安全环保技术,2023,39(2):45-51.
- [3] 中国石化新闻网.系统推进风控内控保障高质量发展[EB/OL].(2025-07-11)[2025-11-04].http://www.sinopecnews.com.cn/xnews/content/2025-07/11/content_7128896.html.
- [4] 张伟,陈静,赵磊.基于 LSTM 模型的炼化装置工艺参数预警系统研究[J].中国安全生产科学技术,2024,20(5):89-95.
- [5] 李明华.数字孪生技术在石油化工储存设施风险管控中的实践[D].青岛:中国石油大学(华东),2023.