

化工企业智能监控系统在安全管理中的应用

黄大勇¹, 胡海英²

1. 青岛灵符安全技术咨询服务有限公司, 山东 青岛 266199

2. 安德烈斯蒂尔动力工具(青岛)有限公司, 山东 青岛 266113

DOI:10.61369/ERA.2025110023

摘 要 : 本文聚焦化工企业智能监控系统在安全管理中的应用, 系统阐述了化工企业智能监控系统的核心价值与必要性, 深入剖析了其四层技术架构, 并详细探讨了该系统在生产过程安全监控、重大危险源管控、人员作业行为管理、环境与消防安全监控以及应急指挥与事后追溯等五大核心场景的具体应用。研究表明, 智能监控系统通过集成物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术, 实现了对化工生产全要素、全过程的实时感知、智能分析、精准预警和高效协同, 能够变被动响应为主动预防, 显著提升安全管理的科学化、智能化水平, 为化工企业的安全、稳定、可持续发展提供了强有力的技术支撑。

关 键 词 : 化工安全; 智能监控; 物联网; 大数据

Application of Intelligent Monitoring Systems in Safety Management for Chemical Enterprises

Huang Dayong¹, Hu Haiying²

1.Qingdao Lingfu Safety Technology Consulting Service Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266199

2.Andreas Stihl Power Tools (Qingdao) Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266113

Abstract : This paper focuses on the application of intelligent monitoring systems in safety management for chemical enterprises. It systematically elaborates on the core value and necessity of intelligent monitoring systems in chemical enterprises, provides an in-depth analysis of their four-tier technical architecture, and discusses in detail the specific applications of these systems in five key scenarios: safety monitoring of production processes, management and control of major hazard sources, personnel operation behavior management, environmental and fire safety monitoring, as well as emergency command and post-incident tracing. Research indicates that by integrating new-generation information technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence, intelligent monitoring systems enable real-time perception, intelligent analysis, precise early warning, and efficient collaboration across all elements and processes of chemical production. This transforms passive responses into proactive prevention, significantly enhancing the scientific and intelligent levels of safety management, and providing strong technological support for the safe, stable, and sustainable development of chemical enterprises.

Keywords : chemical safety; intelligent monitoring; Internet of Things; big data

引言

随着我国工业化的快速推进, 化工行业规模持续扩大, 生产复杂度日益增加, 传统的以人工巡检、定期检查和事后处理为主要特征的安全管理模式, 已难以适应新形势下对安全生产的更高要求。在此背景下, 以物联网、大数据、云计算、人工智能为代表的新一代信息技术迅猛发展, 为化工安全管理模式的变革带来了历史性机遇。本文旨在系统研究化工企业智能监控系统的构建与应用, 分析传统安全管理模式的痛点, 阐明智能监控系统应用的必要性与核心价值; 详细解读智能监控系统的四层核心技术架构; 结合具体场景, 深入探讨其在化工安全管理各环节的实践应用; 总结智能监控系统的应用成效, 并展望其未来发展方向, 以期为我国化工企业的智能化安全建设提供理论参考和实践指导。

一、化工企业安全管理面临的挑战与智能监控的必要性

（一）传统安全管理模式的痛点分析

化工行业作为国民经济的重要支柱之一，涵盖了从原料生产、化学合成到产品加工等多个环节^[2]。其在现代工业和民生中的作用不可忽视，但由于化学品的高危特性和复杂的生产过程，化工企业的安全管理一直是社会关注的焦点^[1]。传统化工安全管理以人工为主、设备为辅，在复杂环境下短板明显。监测覆盖上，因厂区大、高危区域多，人工巡检受时间、空间、人力限制，无法全区域全时段覆盖，细微隐患易长期处于未监测状态^[3]。风险预警层面，依赖定期检查+故障报修，侧重已发生的异常，预警有延迟，且缺少历史数据关联分析，难以预判故障。数据管理方面，多部门数据存于独立系统，无统一平台，数据难以实时共享，影响决策效率。人员管理上，靠现场监督与事后考核，难以实时管控人员行为，人员定位依赖纸质登记，事故发生时难以快速定位被困人员。

（二）智能监控系统的核心价值与必要性

针对传统管理痛点，智能监控系统借技术创新实现主动预防、精准管控、高效协同。监测覆盖上，依托传感器、摄像头等设备，24 小时监测关键参数与人员信息，消除安全盲区，灵敏度远超人工^[4]。风险预警方面，集成大数据分析 with AI 算法，动态建模分析数据，参数超标时即时报警，还能通过历史数据预判风险，大幅缩短预警响应时间、降低事故发生率。数据与决策协同上，构建统一数据平台整合多维度数据，形成一张图管理界面，可同步显示关键信息、自动生成处置方案与安全报表，提升管理效率。

二、化工企业智能监控系统的核心技术架构

（一）感知层：全面的数据采集网络

感知层作为系统的神经末梢，负责采集各类数据为后续分析奠基^[5]。核心设备上，部署温度、压力、液位、流量等工艺参数传感器，实时保障工艺稳定；高危区域，设有毒/可燃气、火焰、烟雾等安全状态传感器，及设备振动、温度传感器，预防隐患与故障；人员管理方面，关键区域布高清防爆夜视摄像头识别违规行为，人员配高精度 UWB 定位标签，越界即报警；环境监测上，厂区内外设气象站及噪声、粉尘、水质传感器，实时监测指标，为应急处置提供支持。

（二）网络层：稳定可靠的数据传输

网络层作为系统的通信中枢，负责将感知层数据实时安全传输至平台层，满足高可靠性、安全性与广覆盖需求^[6]。厂区核心区域用工业以太网，实现设备与平台高速传输，且抗干扰、稳定性强，保障数据不中断；偏远区域或移动设备用 5G 工业专网、LoRaWAN、Wi-Fi 6 等无线技术补充覆盖，适配不同数据传输需求；同时构建多重安全防护，通过加密协议、VLAN 划分、工业防火墙及入侵检测系统，确保数据传输安全。

（三）平台层：智能分析与数据处理中心

平台层作为系统的大脑中枢，负责数据存储、清洗、分析建模，实现数据-信息-决策转化。数据存储管理上，构建分布式架构，用实时与关系型数据库分别存储高频实时数据和静态、统计数据，并设容灾备份机制防数据丢失；数据处理方面，通过 ETL 工具清洗、标准化、融合多格式数据，形成结构化数据资产；分析建模上，集成大数据与 AI 算法，建安全预警、行为识别、风险评估等模型，实现预警、违规识别与风险评级；同时提供标准化 API 接口，对接企业现有系统与第三方应用，打破信息孤岛、扩展功能。

（四）应用层：面向用户的安全管理功能

应用层作为系统的交互窗口，基于平台层分析结果，通过 Web 端、移动端、大屏等形式，为不同角色提供个性化功能^[7]。实时监控中心以厂区电子地图整合多类信息，实现一张图可视化，管理人员可实时掌握设备、区域安全、人员状态；隐患触发时启动多维度报警，按严重程度分级推送、多渠道通知，并跟踪处置形成闭环；隐患管理实现从上报、分派、整改到验收的全流程数字化，留存台账；设备管理基于数据优化维护，生成提醒、记录档案并辅助故障分析；人员管理统计作业时长、记录违规，还提供移动端安全培训与考试；事故时，应急指挥可快速定位、评估事故、调度资源、规划疏散路线，事后追溯数据形成报告。

三、智能监控系统在化工安全管理中的具体应用场景

（一）生产过程安全监控

化工生产中，智能监控系统通过实时监测与智能分析保障安全稳定^[8]。工艺参数监测调控上，关键设备部署传感器采集数据，与安全阈值对比，接近阈值时预警调整，超阈值则自动联动系统紧急操作；物料泄漏监测定位方面，易泄漏部位设传感器与探测器，泄漏时快速检测并通过多传感器融合定位，触发报警；异常工况诊断上，平台层基于历史数据建诊断模型，出现异常时识别类型与原因，推送报告及处置建议。

（二）重大危险源智能监控

化工重大危险源（储罐区、反应装置等）管控中，智能监控系统通过全方位监测与评估实现精准管控^[9]。储罐区监控上，多设备协同监测储罐液位、温度、压力等状态，部署泄漏探测器与消防设施监控，确保风险早发现、设施可用；反应装置管控构建参数监测-风险评估-应急联动体系，除常规参数外还监测搅拌速度等关键项，动态评估风险等级，极高风险时自动联动紧急停车系统；同时系统可自动采集数据生成标准化报表，对接政府应急监管平台，实现政企数据互通，形成企业自主管控与政府监督的双重保障。

（三）人员作业安全与行为管理

智能监控系统通过定位、识别与管理，实现人员作业安全全流程管控。人员定位与电子围栏方面，为人员配备防爆、防水 UWB 定位标签，实时追踪位置并划定电子围栏，人员未经授权进入高危区域（禁止围栏）或靠近预警围栏时，分别触发报警与提

醒,管理人员可及时干预;作业行为识别上,作业区域部署高清防爆摄像头,通过算法识别人员是否规范佩戴防护装备、有无吸烟等违规行为及特种作业流程是否合规,违规时抓拍报警并通知整改;作业许可管理实现数字化,作业人员移动端提交申请,系统自动流转审批,作业时监控监护人员在岗情况,超时前推送提醒,避免超时风险。

（四）环境与消防安全监控

化工企业的生产活动易对周边环境造成影响,且火灾、爆炸事故频发,智能监控系统通过环境监测与消防设施管控,实现环境安全+消防安全双重保障。环境污染物实时监测与预警方面,在厂区内与周边敏感区域部署环境监测设备,实时监测大气污染物、水污染物、噪声与振动,系统将监测数据与国家环保标准对比,若超标则触发预警,同时自动联动环保处理设施,并生成环保监测报表,辅助企业应对环保监管^[10]。消防设施状态监控与联动上,化工企业的消防设施是应对火灾事故的关键,设施状态监测在消防水泵房部署压力传感器监测消防水压,在泡沫罐部署液位传感器监测泡沫储量,在灭火器、消防栓上粘贴 RFID 标签,通过巡检人员的手持终端读取设施状态,确保设施完好有效。火灾自动报警与联动在火焰传感器、烟雾传感器检测到火灾时,系统立即触发火灾报警,同时自动联动消防设施:开启消防水泵、启动泡沫灭火系统、关闭事故区域的通风阀门、切断易燃物料输送管道的阀门,防止火势蔓延。消防疏散引导根据火灾位置与风向,生成人员疏散路线,通过厂区 LED 屏、APP 推送至人员,指导人员快速撤离。系统还支持消防演练的数字化组织与预案管理,演练计划制定环节管理人员通过系统制定消防演练计划,并推送至参与人员,演练过程记录通过视频监控与人员定位,记录演练过程中的人员行动、设施启动情况,演练结束后生成演练评估报告,分析存在的问题,应急预案管理将企业的消防应急预案录入系统,当发生火灾时,系统自动调取对应预案,辅助指挥人员决策。

（五）应急指挥与事后追溯

化工安全事故的应急处置效率直接影响事故后果,智能监控系统通过数据支撑与流程优化,提升应急指挥能力,同时实现事故的事后追溯。事故快速定位与态势评估方面,当发生事故时,系统基于传感器数据与视频监控,快速确定事故位置与范围,并

在电子地图上标注,平台层整合事故区域的参数数据、人员分布、环境数据,生成事故态势图,预测事故发展趋势,通过人员定位确定被困人员位置与数量,通过视频监控观察设备损坏情况,为指挥人员制定救援方案提供依据。应急资源智能调度上,系统构建应急资源数据库,存储企业内部与外部的应急资源信息。当发生事故时,系统根据事故类型与需求,自动匹配最优资源,如泄漏事故调度堵漏队伍与防护用品,火灾事故调度消防队伍与灭火设备,并通过 APP 推送调度指令至资源负责人,同时实时跟踪资源运输进度,确保资源快速抵达现场。应急处置流程化管理中,系统将应急处置流程录入平台,当发生事故时,系统自动推送处置步骤至指挥人员与现场人员,指导人员按流程操作,避免因慌乱导致的处置失误,同时系统实时记录处置过程中的关键信息,形成应急处置台账,处置结束后自动生成应急处置报告,总结经验教训。事故事后追溯与分析环节,事故发生后,系统调取事故发生前后的所有数据,包括实时参数变化、视频监控录像、人员行动轨迹、处置步骤记录,还原事故发生过程。平台层通过数据分析,辅助调查人员确定事故原因,根据人员行动轨迹与操作记录,明确事故相关人员的责任;基于事故原因,系统生成改进建议,辅助企业完善安全管理体系,避免同类事故再次发生。

四、结束语

通过在生产过程、重大危险源、人员作业行为、环境与消防及应急指挥等关键场景的深度应用,智能监控系统不仅实现了对安全风险的实时监测、精准预警和快速响应,更重要的是构建了一个数据驱动、协同高效的安全管理新范式。它将分散的监测数据转化为有价值的决策信息,将被动的应急处置流程优化为主动的风险防控体系,将孤立的岗位管理整合为全局的协同作战平台,从而显著提升了企业的本质安全水平和综合防灾减灾救灾能力。企业应充分认识其战略价值,结合自身实际,科学规划、分步实施,持续推进系统的迭代升级与深化应用,从而构筑起坚实可靠的安全生产防线,为我国化工行业的健康、可持续发展保驾护航。

参考文献

[1] 朱磊,李帅,邬永利,等.化工企业安全管理存在的问题及对策[J].内蒙古石油化工,2025,51(4):53-56.DOI:10.3969/j.issn.1006-7981.2025.04.011.
[2] 刘素艳,迟峻嵩,张笑萌.化工企业安全管理困局及对策[J].现代企业文化,2024(15):22-24.DOI:10.3969/j.issn.1674-1145.xdqywh202415008.
[3] 徐保林.大数据技术在化工企业安全管理中的应用[J].中国公共安全,2025(2):184-186.DOI:10.3969/j.issn.1672-2396(x).2025.02.062.
[4] 李玉光.大型化工企业安全管理智能化建设实践[J].化工管理,2024(11):4-6.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.11.002.
[5] 赵海清.浅谈化工企业安全管理[J].化工管理,2015(23):266.DOI:10.3969/j.issn.1008-4800.2015.23.216.
[6] 张春迎,张英.计算机控制系统在现代化工企业安全管理中的应用与创新[J].天津化工,2025,39(4):142-145.DOI:10.3969/j.issn.1008-1267.2025.04.037.
[7] 赵冰.智能监控系统在化工企业中的应用研究[J].中国新通信,2018,20(6):214.DOI:10.3969/j.issn.1673-4866.2018.06.171.
[8] 朱小杨.物联网技术在化工企业智能消防监控系统中的应用[J].化工管理,2023(28):117-120.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2023.28.034.
[9] 颜作标.智能化技术在化工企业安全管理中的应用探究[J].安徽化工,2024,50(4):91-94.DOI:10.3969/j.issn.1008-553X.2024.04.022.
[10] 姚達.智能监控在石化企业数字化转型中的应用[J].化工管理,2024(13):64-66.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.13.017.