

Application Research of New Quality Productivity in Chemical Safety

Cong Wang

Sheneng Environmental Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

This paper addresses challenges in traditional safety management models within the chemical industry, including inefficiency, delayed risk identification, and information silos, while exploring transformation pathways for production safety driven by new productive forces. Selected benchmark enterprises demonstrate significant improvements in safety management efficiency through key technologies such as intelligent monitoring and inspection, AI-based risk alerts, digital twin platforms, and smart emergency response systems. These implementations resulted in an average 65% reduction in accident rates and over 87.5% enhancement in inspection efficiency. The study concludes with phased implementation strategies, top-level design, and data governance as critical success factors, demonstrating how new productive forces can shift chemical safety management from reactive responses to a closed-loop paradigm encompassing proactive prevention and intelligent in-process control.

Keywords

New quality productivity; Chemical safety; Artificial intelligence; Internet of Things; Intelligent inspection

新质生产力在化工安全领域的应用研究

王聪

申能环境科技有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

本文针对化工行业传统安全管理模式存在的效率低下、风险识别滞后及信息孤岛等问题,探讨了新质生产力驱动下的安全生产转型路径。文章中列举的部分优秀标杆企业通过智能监测巡检、AI风险预警、数字孪生平台及智能应急响应的关键技术的应用显著提升了安全管理效能,如事故发生率平均下降65%、巡检效率提升超87.5%。研究最后提出了分阶段实施策略与顶层设计、数据治理等关键成功因素,论证了新质生产力能够推动化工安全管理从被动应对向事前预防、事中智能管控的全流程闭环范式转变。

关键词

新质生产力; 化工安全; 人工智能; 物联网; 智能巡检

1 引言

化工行业作为国民经济的重要支柱产业,其安全生产关系到社会稳定。其高温、高压、易燃、易爆、有毒有害等风险特性,使得传统的人防、物防、技防手段已难以应对日益复杂的形势。当前,以人工智能、物联网、机器人技术为代表的新质生产力正在深刻改变各行业的管理模式。本文将从新质生产力的概念内涵出发,分析其在化工企业安全生产中的具体应用场景、技术实现路径和实施效果,旨在为化工企业安全数字化转型提供理论指导和实践参考。

2 新质生产力的概念内涵与技术体系

2.1 新质生产力的核心内涵

新质生产力是技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级的产物,其核心特征体现在高科技、高效能、高质量三个方面。在化工安全领域,新质生产力的应用具有三个显著特点:一是技术融合性,通过人工智能、物联网、大数据等多种技术的深度融合,形成协同效应;二是数据驱动性,以海量数据为基础,通过智能算法实现安全风险的精准确识和预测;三是自主适应性,系统能够根据环境变化自主调整运行策略,实现动态安全管控^[1]。

2.2 化工安全领域的技术体系架构

基于新质生产力的化工安全技术体系采用分层架构,通常可分为感知层(负责数据采集)、网络层(负责数据传输)、平台层(负责数据处理与分析)和应用层(负责安全应用与决策),形成完整的技术生态系统。

【作者简介】王聪(1990—),男,中国湖北天门人,本科,注册安全工程师,一级注册消防工程师,从事化工安全管理研究。

感知层的核心技术以传感器技术、机器视觉、气体检测为核心代表，主要功能涵盖数据采集、环境感知、状态监测等，典型设备及系统包括智能传感器、巡检机器人、无人机等。

网络层的核心技术以5G通信、工业物联网、边缘计算为关键支柱，主要功能涉及数据传输、设备互联、实时通信等，典型设备及系统包括工业网关、边缘服务器、通信基站等。

平台层的核心技术以云计算、大数据平台、数字孪生为核心支撑，主要功能聚焦数据处理、模型训练、仿真模拟等，典型设备及系统包括云平台、AI训练平台、数字孪生系统等。

应用层的核心技术以AI算法、智能决策、应急指挥为核心驱动，主要功能强调风险预警、智能管控、应急响应等，典型设备及系统包括智能管控平台、应急指挥系统等。

3 化工企业安全生产现状与挑战

3.1 传统安全管理模式的局限性

中国化工企业传统安全管理模式多依赖人工巡检与经验判断，存在明显的局限性：一是巡检效率低且覆盖不全，人工巡检难以实现全天候、全区域覆盖；二是风险识别滞后性强，依赖事后分析与经验总结，缺乏对潜在风险的提前预判能力；三是信息协同不足，各部门数据孤立，安全信息传递存在延迟或失真，导致应急决策缺乏全面数据支撑。

3.2 数据孤岛与信息碎片化问题

化工企业在长期信息化建设过程中，因缺乏统一的数据标准与顶层设计，不同业务系统间形成了明显的数据壁垒：生产控制系统（如DCS、PLC）、安全监测系统（如SIS、气体检测系统）、设备管理系统（如EAM）等各自独立运行，数据格式不兼容、接口不开放，关键数据无法跨系统实时共享。

3.3 高风险作业的安全管控难题

化工企业的高风险作业类型多样，涵盖动火、受限空间、高处、吊装、盲板抽堵等关键作业环节，是安全事故的高发区。当前高风险作业管控面临多重难题：一是作业许可管理流程化繁为简难，在传统纸质审批或半电子化审批模式下，作业前的风险辨识依赖人工经验，易忽略隐蔽性风险点，审批流转周期长，难以适应紧急作业需求；二是作业过程动态监控能力不足，人工巡检难以实时追踪作业人员位置、生理状态及环境参数变化，难以及时发现并干预；三是多因素耦合风险的预测能力缺失，传统管理手段无法实现对这些变量的实时采集与耦合分析，难以提前预判连锁性风险。

4 新质生产力在化工安全生产中的应用实践

4.1 智能监测与巡检系统

智能监测与巡检系统以物联网技术为核心支撑，整合智能传感终端、移动巡检机器人、无人机及边缘立体监测网

络，基于大数据分析 with AI模型，对监测数据进行多维度融合处理，通过时序预测模型分析设备运行趋势，识别早期故障征兆。

镇海炼化——为1.2万平方米球罐区构建“三位一体”AI智能巡检系统：

(1) 高空瞭望：球罐顶部部署无线防爆传感器与AI智能摄像头，50米外精准探测气体分布，漏点识别率高达99%；

(2) 中段巡航：应用中国石化首套飞索机器人，搭载OGI光谱成像仪与声学探测器，2秒内生成高精度3D云团图像（误差<2%）；

(3) 地面守卫：运用360°旋转式云台OGI设备结合声波监测，构筑无死角监控网络，实现全方位气体泄漏侦测。

4.2 AI大模型与风险预警平台

工业AI大模型的应用为化工安全带来了革命性变化，已拓展至22个应用场景化工安全智能体可实现化工企业从“人、机、物、环、管”多维度、多指标来实现系统化、可量化的安全专业诊断，量化分析出企业安全相关薄弱项及符合度情况^[2]。同时，基于安全诊断结果，实现对关键安全风险指标的动态预警，提升企业本质安全能力。

湖北三宁化工在其硫酸装置中植入工业AI大模型，构建了“感知—分析—决策—执行”全自主系统，融合5G与物联网技术。常规运行时，通过多变量预测控制实现关键参数自主协同，操作频次下降99.5%；同时，实现毫秒级风险识别并自动干预，有效降低非计划停车风险。此外，工艺合格率提升5.9%，产能提高15.4%，员工角色从“消防员”转型为“监督员”。

4.3 智能化管控平台与数字孪生

智能化工厂一体化管控平台，基于化工厂全生命周期理念，以数字工厂设计为源头，充分利用工厂运行数据，将物联网、大数据、人工智能等技术与专家知识系统融合，构建起化工厂业务高效运转的核心引擎^[3]。平台包括智能运营中心、高级报警管理、智能巡检、智能设备管理及故障诊断、特殊作业许可与过程管理等多个应用系统。

山东恒信集团构建覆盖从战略规划到设备细节的煤化工数字孪生平台，深度融合VR沉浸式体验，超高精度三维建模与动态仿真，1:1精准还原高危场景，VR“透视”工厂，直观呈现设备内部精细结构，虚拟实训系统高效模拟20+种标准化流程及应急预案。培训周期缩短30%，员工风险感知与操作熟练度显著提升；50万吨/年乙醇项目优化产线布局，直接节省55%投资，减少47%占地面积；成功实现设备AI健康诊断、工艺参数智能优化、风险毫秒级精准预警。

4.4 应急响应与救援系统

新质生产力在应急响应方面的应用主要体现在快速定位、智能决策、高效救援三个环节。

依托物联网感知网络、GIS地理信息系统与数字孪生

平台的深度融合,可实现事故场景的实时映射与动态追踪并标记受困人员的实时坐标,为救援行动提供毫米级的空间信息支撑。通过AI大模型驱动的应急指挥系统实现智能决策,系统整合历史应急处置案例库、化工安全法规库、物质危险性数据库等多源知识,结合实时事故数据快速生成最优救援方案,大幅缩短决策周期。借助AR/VR远程协作技术、防爆机器人与无人机等智能装备提升救援效能,可在真实场景中叠加数字孪生模型的设备内部结构、危险区域边界等信息,后方专家通过AR实时远程指导操作。

5 应用效果评估与案例分析

5.1 实施效果量化分析

从事故防控、巡检效能、设备管理等多维度量化分析显示,新质生产力的应用为化工安全带来显著改善:

(1) 行业内应用新质生产力解决方案的企业,一般生产安全事故发生率平均下降65%以上,重大及以上事故发生率下降90%。如镇海炼化球罐区启用AI智能巡检系统后,连续18个月未发生气体泄漏相关事故;湖北三宁化工硫酸装置非计划停车次数从每年5次降至0次,非计划停车风险降低60%。

(2) 智能巡检覆盖率达100%,单区域巡检时间从人工的4小时缩短至30分钟内,效率提升87.5%;漏点识别响应速度从30分钟缩至2秒内,准确率稳定在99%,人工巡检工作量减少70%。

(3) AI设备健康诊断模型使设备非计划停机率平均下降50%—70%,设备综合效率(OEE)提升22%;山东恒信集团数字孪生平台的设备故障预警准确率超95%,提前预警时间从小时级缩至分钟级。

5.2 成本效益分析

尽管新质生产力技术的初期投入较高,但其长期效益却极为显著。以智能巡检为例,传统人工巡检每人每年的成本约为15万元;相比之下,巡检机器人一次性投入约50万元,使用寿命超过5年,每年维护费用约为5万元。以一个化工厂需要20个巡检岗位进行计算:

5年内的总成本比传统人工模式低1220万元,投资回报率达到44.4%,如果考虑事故减少带来的间接效益(如品牌价值、社会声誉等),实际回报率更高。

6 实施路径与发展建议

6.1 分阶段实施策略

为有效推动新质生产力在化工安全领域的应用,需采取循序渐进、重点突破的实施策略。建议分为三个阶段推进:

第一阶段(1—2年):基础建设与试点示范

重点推进传感器网络、通信基础设施及数据平台等基础建设。选择风险较高的工艺环节或区域开展试点,例如重大危险源监控和受限空间作业。同时,建立标准规范体系,

为全面推广奠定坚实基础。

第二阶段(3—4年):系统集成与全面推广

在试点成功的基础上,推进各系统间的集成融合,构建统一的智能化管控平台。扩大应用范围,覆盖主要生产装置和作业环节。加强人员培训,提升全员数字化素养。

第三阶段(5年以上):智能化升级与持续优化

引入更先进的AI算法、数字孪生、自主决策等技术,实现安全管理的智能化升级。并建立持续改进机制,根据运行数据和反馈不断优化系统性能。

6.2 关键成功因素

确保新质生产力成功应用的关键因素包括:

顶层设计与战略支持。企业高层必须将数字化安全转型提升到战略高度,提供必要的资源保障和政策支持。

技术融合与创新应用。不能简单地将新技术叠加到旧体系上,而要通过技术融合创造新的应用场景和价值。

数据治理与标准统一。建立完善的数据治理体系,确保数据的准确性、完整性和及时性,制定统一的技术标准和接口规范,实现不同系统间的互联互通。

人才培养与组织变革。培养既懂化工工艺又懂数字技术的复合型人才,推动组织架构和管理流程的变革,适应数字化管理的要求。

7 结语

本文通过理论分析和案例验证,得出以下主要结论:

新质生产力为化工安全生产转型提供了系统性解决方案,能够有效突破传统安全管理模式的被动性、经验依赖性局限,破解数据孤岛、信息碎片化及高风险作业管控难题,推动安全管理范式从“事后处置”向“事前预防、事中管控、事后优化”的全流程智能闭环转变。

智能监测与巡检系统、AI大模型风险预警平台、数字化管控平台与数字孪生技术、智能化应急响应与救援系统等应用实践,已在试点企业中展现出显著成效,可实现安全监测覆盖率提升至95%以上、风险预警准确率提高30%—50%、应急响应时间缩短40%左右,大幅降低了安全生产事故发生率及损失程度。

分阶段实施策略及关键成功因素是新质生产力落地见效的核心保障,需在技术融合的同时强化管理协同,确保应用效果最大化。

参考文献

- [1] 路念明. 打造新质生产力赋能化工行业安全[J].《劳动保护》,2024(6):22-23
- [2] 芦存博,左璇,金博,等. 大模型在工业安全领域的应用研究与探索[J]. 新型工业化,2024,14(07):85-95.
- [3] 李红梅. 新形势下的化工园区安全管理规划研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2023,43(03):76-78.