

探析化工生产技术管理措施与化工安全的关系

任继龙

西安高新区应急管理局, 陕西 西安 710117

[摘要] 化工行业的可持续发展依托于技术管理与安全防控的深度融合创新。本文系统阐释技术标准体系、工艺安全设计与管理制度执行间的协同作用机制, 揭示当前行业在技术规程弱化、风险防控滞后、制度闭环失效等维度的治理短板。研究提出以智能感知网络建设重构风险识别体系, 通过工艺本质安全技术创新压缩风险存在空间, 运用数字治理平台贯通管理执行链条, 形成技术革新驱动安全升级、制度刚性保障技术落地的双向促进格局。研究成果为破解化工安全治理中的系统脆弱性问题提供方法论创新, 推动行业构建具有自我进化能力的安全治理新范式。

[关键词] 化工生产; 技术管理; 管理措施; 化工安全; 关系

DOI: 10.33142/ec.v8i4.16333

中图分类号: TQ086

文献标识码: A

Exploration on the Relationship between Chemical Production Technology Management Measures and Chemical Safety

REN Jilong

Xi'an High-tech Zone Bureau of Emergency Management, Xi'an, Shaanxi, 710117, China

Abstract: The sustainable development of the chemical industry relies on the deep integration and innovation of technology management and safety prevention and control. This article systematically explains the collaborative mechanism between the technical standard system, process safety design, and management system implementation, revealing the governance shortcomings in the current industry in terms of weakened technical regulations, lagging risk prevention and control, and ineffective institutional closed-loop. The study proposes to reconstruct the risk identification system through the construction of an intelligent perception network, compress the space for risk existence through technological innovation in process intrinsic safety, and use a digital governance platform to connect the management and execution chain, forming a two-way promotion pattern of technological innovation driving safety upgrading and institutional rigidity ensuring the implementation of technology. The research results provide methodological innovation for solving the system vulnerability problem in chemical safety governance, and promote the construction of a new paradigm of safety governance with self evolving capabilities in the industry.

Keywords: chemical production; technical management; management measures; chemical safety; relationship

引言

全球化工产业正处于技术迭代与安全范式重构的关键转型期, 技术管理措施与安全生产的协同演进已成为制约行业高质量发展的核心命题。当前化工生产系统呈现装置集成化、工艺连续化、控制智能化的显著特征, 传统基于经验判断与分段管控的安全治理模式在应对多物理场耦合风险、跨系统失效传导等新型挑战时暴露出系统性短板。部分企业存在技术规程执行弱化、风险防控技术代际断层、管理制度闭环失效等深层矛盾, 致使安全事故诱因从显性设备故障向隐性系统脆弱性演变。本文基于复杂系统理论视角, 揭示技术标准体系、风险防控能力、制度执行效能间的动态耦合关系, 构建“技术-管理-制度”三位一体的化工安全治理分析框架。通过解构技术管理失范引发的风险传导链条, 提出涵盖智能感知网络构建、工艺本质安全强化、数字治理平台搭建的创新路径, 为破解化工安全治理中的技术滞后性、管理碎片化、制度悬浮化等顽疾提供理论支撑, 推动化工产业向更高能级的安全发展形态跃迁。

1 化工生产技术与化工安全生产的关系

1.1 技术是安全生产的基础与保障

化工安全生产的实现本质上依托于系统性技术体系的构建与完善, 先进技术手段通过多维度协同作用形成立体化安全屏障。工艺流程的精准设计从源头上控制反应动力学参数, 通过物料平衡计算与热力学模拟消除能量积聚风险; 设备完整性管理技术运用振动频谱分析、腐蚀速率监测等手段, 构建起覆盖全生命周期的可靠性保障体系。自动化控制系统集成工艺参数联锁保护与安全仪表功能, 借助模糊逻辑算法实时调节操作变量, 确保生产装置始终处于安全运行窗口。标准化作业规程的数字化改造将操作经验转化为可执行的程序逻辑, 通过增强现实技术实现关键步骤的防错验证。技术管理体系的持续迭代不仅强化本质安全设计能力, 更通过数字孪生技术构建虚拟调试环境, 预先验证技术改造方案的安全可行性。这种技术驱动的安全治理模式, 将被动防御转变为主动预防, 为化工生产构筑起动态适应的安全防护网络。

1.2 安全生产是技术管理的目标

化工技术管理的核心使命在于构建以安全为导向的技术创新体系,通过全生命周期的技术要素优化实现风险防控能力的系统化提升。在工艺开发阶段,采用本质安全设计原则,通过反应路径优化降低工艺过程的热力学风险,开发原位分离技术减少危险中间存量;设备选型决策中建立安全效能评价矩阵,综合评估材料耐腐蚀性、结构抗疲劳性、密封可靠性等关键指标,优先选用具备故障自诊断功能的智能装备。技术改造工程实施前,系统开展保护层分析与安全完整性等级评估,构建涵盖工艺偏差、设备失效、人为操作的多维风险屏障。技术管理流程中嵌入安全决策树模型,在工艺包设计环节预设安全联锁逻辑,在装置布局规划阶段实施多米诺效应模拟,在操作规程编制时融合人因工程学原理^[1]。这种目标导向的管理方式推动企业建立技术安全融合创新机制,将HAZOP分析成果转化为智能控制系统的联锁参数,把风险辨识结果物化为安全仪表系统的功能要求。通过构建技术标准与安全规范的协同演进机制,实现技术创新成果向安全防护效能的持续转化,形成技术先进性支撑安全可靠性、安全需求牵引技术升级的双向促进格局。

2 新时期化工生产技术与化工安全生产存在的问题

2.1 未按照化工安全生产技术标准进行操作

部分化工企业在技术标准执行层面存在系统性偏差,主要表现为工艺安全分析程序虚置、关键控制参数擅自变更、设备维护规程缩水等技术治理效能衰减现象。技术管理失范直接导致设计安全系数被实际运行损耗,形成工艺偏离与设备劣化的风险叠加效应。更深层次的问题在于技术代际更替过程中标准体系迭代滞后,新旧装置接口管理缺乏统一规范,数字化控制系统与传统机械装备的协同运行存在保护层失效隐患。

2.2 缺乏完善的安全生产方式

化工行业作为典型的高危行业,其安全生产问题始终备受社会各界关注。然而,目前许多化工企业仍存在安全生产管理方式不完善的问题,已成为行业发展的突出难题。在化工生产过程中,专职安全管理人员配置不足,导致安全生产管理体系不健全,员工的安全生产意识也有待提升。具体来看,化工企业在现场管理方面普遍存在漏洞排查机制不完善、工艺控制流程不严密、检测手段缺失的问题,难以及时发现和消除潜在安全隐患。此外,不少企业缺乏系统化的应急预案,安全设备的日常维护和检测工作也不到位,一旦发生突发事件,难以及时有效地应对和处置,进一步加剧了安全风险。

2.3 安全管理制度没有全面落实

化工安全管理制度的实践效能受制于执行层面的系统性缺陷,表现为制度设计与现场操作的衔接断层^[2]。安全责任体系存在岗位分解颗粒度不足问题,导致技术管理责任与安全监管权限在交叉领域产生管理真空;隐患排查治理闭环

未实现数字化穿透,整改过程缺乏时间戳标记与效果评估机制;应急预案体系建设偏离工艺风险特征,演练场景与真实事故演化路径失配,应急资源配置未建立动态优化模型。

3 化工生产技术与化工安全生产的有效措施

3.1 加强对设备的更新与管理

化工设备安全管理需构建覆盖设计、运行、维护、退役的全生命周期管理体系,重点推进高风险设备的智能化升级与可靠性保障。基于设备失效机理研究,开发融合声波特征分析、热力学参数追踪的多模态诊断技术,建立关键动设备的数字孪生模型,实现裂纹扩展趋势预测与密封性能退化评估。部署智能传感网络实时采集旋转机械的振动频谱、温度梯度及润滑状态数据,通过边缘计算节点进行异常模式识别与故障溯源分析。构建设备健康度评价指数系统,依据劣化程度动态调整预防性维护周期,推行以可靠性为中心的维护策略(RCM)。同步完善安全仪表系统的功能安全验证体系,开发虚拟调试平台验证联锁逻辑的完备性,建立安全阀、爆破片等保护装置的智能校验机制。通过设备档案电子化、维护记录区块链存证等技术手段,实现设备管理数据的可追溯性与决策支持可视化,形成“状态感知-智能诊断-精准维护”的闭环管控模式,全面提升设备本质安全水平。

3.2 改善生产工艺

化工生产工艺的优化升级应以本质安全为核心导向,通过技术创新重构生产过程的风险控制范式。在反应工程领域,开发微型化、模块化的过程强化装备,例如微通道反应器采用多级串联结构实现反应-分离一体化,将传统釜式反应数立方米的物料存量压缩至升级别,显著降低失控反应的能量释放风险。连续流合成技术的应用突破间歇式操作的固有缺陷,通过精密计量泵与静态混合器的协同控制,建立物料瞬时平衡的连续处理模式,消除中间体暂存环节的燃爆隐患。绿色工艺路线的研发聚焦于危险化学品的替代与减量,开发光催化氧化技术实现有机溶剂的原位矿化,采用酶催化生物转化路径替代重金属催化体系,从反应机理层面阻断剧毒副产物的生成链条。工艺安全信息管理体系的构建需整合反应热力学数据、设备腐蚀图谱、失控场景模拟结果等多维度信息,形成动态更新的工艺安全边界条件数据库。该数据库通过机器学习算法挖掘历史工艺偏差与事故案例的关联规律,为新型工艺开发提供安全约束参数库,指导工程师在设计阶段规避传质受限、热量积聚等潜在风险^[3]。同时建立工艺变更的数字化审查流程,运用数字孪生技术对新工艺方案进行虚拟试车与极端工况推演,预判可能引发的联锁风险并优化控制策略。

3.3 规范安全生产方式

化工安全生产方式的规范化革新需以数字技术深度赋能为突破口,构建智能感知、动态评估与精准控制的现代化治理体系。数字化安全管控平台通过工业互联网架构整合DCS、SCADA、MES等多源系统数据,建立覆盖工艺参数、设备状态、环境指标的三维风险监测矩阵,实现异常

工况的早期预警与多系统协同响应。在风险评估层面,HAZOP-LOPA-SIL 技术链的深化应用形成多层防护的量化决策模型,通过蒙特卡洛模拟验证独立保护层的失效概率,优化安全仪表系统的冗余配置方案。智能巡检系统融合增强现实(AR)与机器学习技术,开发具备自主路径规划能力的巡检机器人集群,通过热成像视觉识别设备表面温度异常,利用声纹分析捕捉泵阀内漏特征,构建设备健康状态的动态数字画像。特殊作业监管体系创新应用数字孪生与物联网融合技术,建立受限空间作业的智能准入机制,集成人员体征监测手环与气体探测装置,实时评估作业环境安全裕度;高空作业环节部署智能安全绳与定位锚点系统,通过超宽带(UWB)定位技术实现坠落预警与自动制动。电子作业许可系统嵌入区块链存证功能,将作业申请、风险交底、条件确认等流程上链固化,通过智能合约自动验证作业条件符合性,构建不可篡改的全流程追溯链条。

3.4 全方位落实安全管理制度

化工安全管理制度效能的全面释放依赖于制度体系与技术体系的深度融合创新,需构建具有自我进化能力的动态治理框架。基于业务流程再造理论重构安全管理制度架构,开发智能合约驱动的制度执行引擎,将安全规程条款转化为可自动校验的逻辑规则,嵌入生产控制系统实现制度条款的刚性执行。岗位安全技术说明书的数字化转型依托知识图谱技术,构建多维度岗位胜任力模型,通过虚拟现实仿真系统验证操作人员对规程要点的掌握程度,建立“培训-考核-授权”的数字化认证链条。双预防机制升级聚焦风险分级管控与隐患治理的闭环联动,运用贝叶斯网络构建动态风险评估模型,根据设备劣化程度、工艺偏差趋势实时调整风险等级,同步生成定制化的管控措施清单。区块链技术的深度应用突破传统安全绩效管理的信任瓶颈,建立不可篡改的安全行为存证体系,通过共识机制实现跨部门的安全责任追溯,智能合约自动触发对违规操作的经济惩戒与合规行为的激励反馈。制度体系的持续优化引入敏捷管理理念,建立基于PDCA循环的制度效能评估系统,通过自然语言处理技术分析事故调查报告中的制度失效根源,动态修订制度条款的约束边界与执行标准。

3.5 加大化工生产技术研发投入力度

化工行业安全阈值的持续提升亟需构建以技术创新为驱动的安全研发体系,通过系统性技术攻关突破传统风险防控瓶颈。设立前沿技术专项基金,重点支持过程强化装备研发,开发超重力反应器、微界面传质设备等新型装置,通过物理场强化实现反应效率与安全性能的协同提升。在智能监测领域,突破多模态感知融合技术瓶颈,研发具有自校准功能的分布式光纤传感网络,实现设备应力分布与腐蚀速率的全维度解析;开发基于边缘计算的智能诊断终端,构建声-热-振多源信号的特征提取模型,提升隐性故障的早期识别精度^[4]。事故模拟技术攻关聚焦复杂耦合

场景推演,构建融合计算流体力学与群体行为学事故后果仿真平台,实现泄漏扩散、爆炸冲击、人员疏散的跨尺度动态模拟。安全培训系统的数字化转型依托高保真数字孪生技术,开发具有触觉反馈的虚拟现实训练舱,集成多物理场仿真引擎,精确还原压力容器爆裂、管线泄漏等典型事故场景,通过人机交互式演练强化操作人员的应急处置肌肉记忆。危险化学品防控材料研发聚焦自适应堵漏技术,开发具有形状记忆效应的智能凝胶材料,能够根据泄漏孔径自主调整膨胀系数;研制纳米级疏水吸附剂,实现油性化学品的高效回收与无害化处理。应急救援装备创新重点突破复杂环境适应性难题,研发多足仿生消防机器人,集成红外/气体双模探测系统与自主导航算法,可在高温、浓烟、有毒环境中执行阀门关闭、伤员搜救等任务;开发模块化应急堵漏装置,通过磁吸附与真空密封技术实现带压堵漏作业。工艺安全基础研究领域建立极端工况模拟实验室,构建涵盖超高温、深冷、强腐蚀等极端条件的实验平台,系统研究设备材料在极限状态下的失效机理与预警特征。同步推进安全技术的工程转化体系建设,构建“实验室-中试基地-工业化应用”的三级验证机制,通过半实物仿真系统验证新技术的工程适用性。设立产学研协同创新中心,推动高校理论研究成果与企业工程经验的深度融合,形成从基础研究到产业应用的全链条创新生态。

4 结语

化工生产技术管理与安全生产的协同创新是行业高质量发展的核心路径。通过构建本质安全工艺体系、智能风险防控平台与自适应制度框架,系统破解技术标准执行偏差、防护手段更新迟滞、管理效能衰减等治理难题。未来需深化工艺安全基础理论研究,发展人机协同的预测性安全维护技术,推动风险防控从经验判断向数字推演转型、从被动响应向主动免疫升级。加速工业元宇宙、量子传感等前沿技术与安全管理的融合应用,构建虚实联动的智能应急决策中枢,实现安全治理能力的代际跨越,为化工行业可持续发展构筑坚实屏障。

【参考文献】

- [1]陈珊珊,钮晓青.化工生产技术管理与化工安全生产的关系探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(13):29-31.
- [2]刘锋,汤德忠,田显锋,等.化工生产技术管理与化工安全生产关系研究[J].当代化工研究,2024,(4):194-196.
- [3]苏朝正.化工生产技术管理与化工安全生产之间的关系初探[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(10):24-26.
- [4]范文正,刘鹏,邢力文,等.化工生产技术管理与化工安全生产关系研究[J].天津化工,2022,36(5):116-119.

作者简介:任继龙(1993.6—),男,汉族,专业:环境科学,中级职称。