

化工企业双重预防体系的构建与效益分析

王国琴 闫 静 (陕西延长石油(集团)有限公司油田气化工科技公司, 陕西 延安 716000)

摘要: 化工行业因其工艺复杂、物料高危, 安全生产面临严峻挑战。本文针对传统安全管理中制度僵化、隐患排查被动及预防应急脱节等问题, 提出一种融合制度动态优化、隐患根源治理与数据驱动预警的双重预防体系, 并以YC油田下属A化工科技公司为例, 实证分析了该模式在提升风险防控能力的同时所带来的显著经济效益。研究表明, 该体系为实现化工企业安全与效益协同发展提供了可操作的管理路径。

关键词: 化工企业; 双重预防体系; 安全效益; 经济效益

中图分类号: TQ086 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0010-03

Construction and Benefit Analysis of the Dual Prevention System in Chemical Enterprises

Wang Guoqin, Yan Jing (Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Oilfield Gas Chemical Technology Company, Yan' an Shaanxi 716000, China)

Abstract: Due to the complexity of processes and the high risk of materials in the chemical industry, safety production faces severe challenges. This paper addresses issues such as rigid systems, passive hazard investigation, and the disconnect between prevention and emergency response in traditional safety management. It proposes a dual prevention system that integrates dynamic optimization of systems, root cause treatment of hazards, and data-driven early warning. Taking A Chemical Technology Company, a subsidiary of YC Oilfield, as an example, this paper empirically analyzes the significant economic benefits brought by this model while enhancing risk prevention and control capabilities. The research shows that this system provides an operable management path for achieving coordinated development of safety and efficiency in chemical enterprises.

Keywords: chemical enterprise; dual prevention system; safety benefits; economic benefits

化工生产过程伴随着高温、高压、易燃易爆等固有风险, 其连续性与复杂性对安全管理提出了持续的高要求。长期以来, 企业主要依赖周期性的制度检查与事件驱动的隐患排查, 但在装置长期运行、工艺参数动态变化的背景下, 传统模式逐渐显现出响应滞后、协同不足等局限。制度文本与现场风险脱节, 隐患治理难以深入根源, 风险数据亦未能有效支撑应急准备。在此现实背景下, 如何构建更具适应性、系统性的风险防控机制, 成为化工安全管理亟待探索的课题。

1 化工企业安全管理效能的现实瓶颈与典型问题

1.1 制度检查与化工过程动态风险的脱节

当前, 化工企业的安全管理制度多呈现静态化特征, 更新滞后于实际生产变化。基于初始设计建立的规程, 常难以覆盖运行中后期出现的动态风险, 如催化剂活性衰减、设备结垢等。例如, 在催化或合成工艺中, 若关键参数范围未随催化剂生命周期及时调整, 制度指导价值便会衰减。这使得制度检查常沦为文字核对, 而非措施有效性验证, 聚焦记录完整性却忽视了对“氢脆”、“应力腐蚀”等时变失效模式的评估, 形成管理与风险间的实质空隙。

1.2 隐患排查在连续性生产中的被动与滞后

在连续化生产中, 隐患排查多属“响应驱动”而

非“风险驱动”, 依赖事件、报警或行政安排触发, 缺乏基于实时风险的主动机制。例如, 长期运行的裂解炉炉管存在的渗碳、蠕变等隐患, 日常巡检难以发现, 常需待停车时才能检测, 此时隐患已发展多时。排查多集中于“跑冒滴漏”等浅层问题, 对工艺流程中由多因素耦合引发的隐性风险(如精馏塔液泛前兆、反应釜局部热点成因)则缺乏系统性探查手段。

1.3 预防措施与事故应急预案的断层问题

日常安全管理与应急预案之间存在结构性断层, 预防积累的风险数据未能有效转化为应急准备的情景依据。例如, 隐患整改记录(如“机泵振动值偏高已处理”)常被视为终点, 其中包含的设备可靠性趋势、复发频率等信息, 很少被用于修订应急处置方案或优化应急资源配置。演练场景与近期真实异常工况关联度低, 导致演练流于形式, 应急体系未能吸收日常风险信息, 形成“平时”与“战时”相互脱节的管理循环。

1.4 风险信息在跨部门、跨装置间的孤岛现象

风险信息受部门与系统分隔制约, 形成孤岛。生产、设备、安全、工艺等部门的数据存储于不同系统, 缺乏统一关联与深度分析。例如, 储罐区报警记录若不能与防腐作业信息、物料输送日志交叉比对, 可能错过“违规交叉作业致微量泄漏”的早期预警。信息

孤岛导致风险认知碎片化,阻碍全流程系统性风险评估与大数据预警应用,从技术上制约了安全管理效能提升。

2 面向化工过程安全的双重预防体系构建

2.1 基于化工过程风险辨识的制度动态优化

双重预防体系的基础是实现制度与动态风险的同步。制度的设计与修订须植根于系统的风险辨识活动(如HAZOP、LOPA)。当工艺条件变更时,相关规程必须通过变更管理(MOC)流程及时更新。企业需定期对重点工艺规程进行再分析,并依据设备腐蚀数据、催化剂性能曲线等量化结果,动态调整关键参数的报警与联锁值,形成“风险辨识-评估-修订-落实”的闭环,使制度从静态文本转化为能感知过程变化的“运行宪法”,主动引导操作与设防。

2.2 针对装置与工艺特性的根源性隐患治理

隐患治理必须超越“就事论事”的层面,深入追溯至管理、技术与设计的根源。针对裂解炉炉管表面温度局部超限的隐患,治理行动不应止于调整燃烧器或清焦,而需进一步分析,是炉管材质选型不当,还是辐射段流量分配不均,抑或是清焦规程的周期设定不合理。应用故障树分析(FTA)等方法,可以将具体的设备失效、参数偏离,关联至巡检标准、预防性维护计划、乃至原始工艺设计假设的缺陷。例如,对一台离心泵密封频繁泄漏的治理,最终可能追溯到泵选型时对介质中微量固体颗粒含量的考虑不足,从而推动将“进口过滤器的目数规格与更换频率”纳入设备技术管理规程。这种根源性治理模式,推动隐患整改单转化为技术改造方案、操作规程修订项或培训需求表,实现了从单点整改到系统改进的升华。

2.3 连接日常预防与应急响应的数据驱动触发机制

制度检查与隐患排查所产生的数据流,应被系统性地转化为驱动应急准备状态升级的明确信号。该机制的建立,依赖于设定科学的数据阈值与关联规则。当某套加氢装置的“紧急切断阀(ESDV)月度测试不合格率连续两次超过10%”,或同一工艺片区“涉及可燃气体探测器(GDS)报警的同类隐患季度内出现3次以上”时,系统应自动生成预警,并触发一系列强制动作:复核该装置区的火灾爆炸应急预案有效性,核查相应消防泡沫储量与喷射系统完好性,甚至组织一次针对性的桌面推演。关键绩效指标,如“安全仪表系统(SIS)的旁路率”、“高危作业许可证的延期比例”,均可作为评估应急准备充分性的前置指标。通过将日常管理数据与应急资源、预案、演练进行强制性关联,安全管理的“常态”与“非常态”被有效贯通,应急体系得以始终保持对真实风险的指向性。

2.4 支撑化工安全一体化管理的数字平台构建机制

构建统一、集成的数字化平台,是实现双重预防体系高效运行与数据联动的技术必需。此平台需能够整合来自分布式控制系统(DCS)、制造执行系统(MES)、实验室信息管理系统(LIMS)、设备状态监测系统以及人工巡检录入的多源异构数据。平台的核心功能之一,是建立风险矩阵与数据库的映射关系,自动将一次“换热器E-101管程出口温度逼近工艺上限”的报警记录,与设备历史维修数据、最近一次的腐蚀测厚报告进行关联分析,辅助判断其属于偶发波动还是劣化趋势,并自动生成相应的检查任务或隐患提示。该平台还应提供可视化工具,将全厂风险分布、隐患趋势、制度关联度以动态仪表盘形式呈现,支持管理决策。数字平台的构建,在技术上溶解了信息孤岛,使风险得以被全景式洞察、追溯与预警,为双重预防体系提供了坚实的“数字孪生”底座。

3 基于YC油田下属A化工科技公司安全管理升级的经济效益融合分析

3.1 案例对象介绍

本案例研究对象为A化工公司(YC油田下属的大型综合性炼化企业)。该公司生产装置密集,工艺流程复杂,涉及大量高危物料与危险工艺,安全生产压力巨大。为破解传统安全管理中制度执行僵化、隐患治理被动、预防与应急脱节等共性难题,公司于2023年率先在其核心的烯烃联合装置区推行“制度检查与隐患排查双重应急预防模式”的数字化重构试点。该装置区包含裂解、压缩、分离等多套关键生产单元,设备总数超过500台(套),联锁报警点近千个,其风险动态演变快、管理复杂度高,具备检验新模式效能的典型性与挑战性。

3.2 本案例面临的具体问题与挑战

在推行新模式前,该装置区虽已建立完整的安全管理体系,但在实际运行中逐渐暴露出若干深层问题,如管理制度呈现静态化特征,操作规程与维护标准未能随设备老化、催化剂活性衰减等动态风险及时更新,致使制度检查多停留于纸面合规,另一方面,隐患排查亦趋于浅层化,大量精力集中于“跑冒滴漏”等显性问题,对炉管蠕变、微裂纹扩展等隐性风险缺乏主动探测手段,且整改往往仅针对表面现象。此外,各类风险信息处于碎片化状态,工艺、设备与安全数据分散于不同系统,形成“数据孤岛”,难以构建全景视图,无法对复杂耦合风险进行有效预警。应急准备也呈现出形式化倾向,演练场景与日常真实风险关联较弱,应急资源的储备与配置亦未能依据实时风险动态优化。

表 1 A 公司双重预防模式实施前后核心经济效益指标对比

效益维度	关键绩效指标 (KPI)	实施前 (基准期)	实施后 (评估期)	变化率	经济价值内涵解析
直接损失规避	非计划停车次数	7 次 / 年	3 次 / 年	-57%	单次停车平均损失约 500 万元, 年化避免直接产值损失约 2000 万元。
	重大工艺安全事件	潜在高风险	零发生	100%	避免了可能高达数千万元的事故直接损失、停产及追责成本。
运营成本优化	紧急维修费用	基准值 100%	下降 41%	-41%	维修模式从被动抢修转向预测性维护, 大幅节约高溢价外包及备件成本。
	综合能源单耗	基准值 100%	降低 2.5%	-2.5%	生产平稳性提升, 优化了能源利用效率, 降低了单位产品可变成本。
资产效能提升	装置综合运行效率 (OEE)	91.5%	93.6%	+2.1 个百分点	有效生产时间增加, 相当于年化释放产能价值超 600 万元。

3.3 应用实践与多维经济效益量化分析

A 公司通过构建“安全风险智能管控平台”, 切实推动了管理模式的系统性转变。该平台将 HAZOP 分析结论、设备完整性数据与管理制度条款进行动态关联, 一旦监测数据触及预设阈值, 系统便自动提示并驱动相关制度的复审与修订, 从而实现了制度的动态化更新。

在此基础上, 平台进一步推动隐患排查向根源深化, 对高频次、同类型隐患强制启动根源分析 (RCA), 并将分析结论自动转化为设计标准、采购规范或培训内容的改进项, 形成了治理闭环。

同时, 平台通过设定关键风险指标 (如安全仪表系统旁路率、特定报警频次) 的预警规则, 在条件触发时自动启动对应应急预案的复核与针对性演练, 从而将日常预防与应急准备紧密融合, 确保了应急体系始终与真实风险同步。经过一年的系统化运行, 该模式不仅在风险管控上成效显著, 更产生了切实、可量化的经济效益, 核心对比如下表 1 所示。

A 公司的实践表明, 双重预防模式通过数字化赋能实现了安全管理与经济效益的深度融合。其初期投入在约 2 年内即可通过综合效益收回。

4 结语

本文构建了制度检查与隐患排查相融合的双重预防体系标准, 并通过企业实践对其经济效益进行了验证, 结果表明该安全管理模式的数字化转型不仅有效提高了风险防控的精准性和主动性, 还通过减少非计划停车、降低运维成本、提升资产效益等直接提高了

企业的可持续经济价值。该模式打破了安全与效益不能同时实现的传统观念, 推动了化工企业管理从“合规驱动”转向“价值驱动”。未来, 随着工业互联网和人工智能技术的进一步发展, 石油化工行业双重预防体系有望进一步向智慧化、自适应方向演进, 为行业的高质量发展构建坚实的基石。

参考文献:

- [1] 陈海莲. 双重预防机制下化工企业安全管理优化研究 [J]. 品牌与标化, 2025,(06):158-160.
- [2] 刘闻天, 肖博, 李金辉. 化工生产过程安全隐患识别与预防技术研究 [J]. 化工管理, 2025,(22):121-124
- [3] 袁亮, 肖文东, 蒋洋, 等. 基于双重预防机制的化工园区信息系统研究与设计 [J]. 现代化工, 2025,45(S1): 370-374+380
- [4] 孙亚洲, 彭涛. 基于双控预防机制的化工安全生产管理研究 [J]. 天津化工, 2025,39(02):85-87.
- [5] 张彩霞. 双重预防机制在化工安全管理中的系统化应用研究 [J]. 化工管理, 2025,(08):107-110

作者简介:

闫静 (1988-), 女, 陕西省延长县人, 汉族, 大学本科, 陕西延长石油 (集团) 有限公司油田气化工科技公司化验中心安全管理人员, 注册安全工程师, 研究方向: 安全管理。

王国琴 (1988-), 女, 陕西省榆林市人, 汉族, 大学本科, 陕西延长石油 (集团) 有限公司安全员, 工程师, 研究方向: 安全、环保、应急和职业健康。