

Research on Safety Management and Risk Control of Production Equipment Operation in Refining and Chemical Enterprises

Jiyong Zhang

Sinochem Quanzhou Petrochemical Co., Ltd., Quanzhou, Fujian, 362000, China

Abstract

The production equipment of refining enterprises has significant characteristics such as continuous operation, high temperature and high pressure, flammable and explosive, concentrated toxic and harmful media, complex process flow, and high equipment coupling. Its operational safety level directly affects the stable production of enterprises, personnel life safety, ecological environment protection, and regional public safety. Currently, some refining and chemical enterprises still face problems in the operation of their production facilities, such as insufficient systematic risk identification, weakened system implementation, inadequate equipment integrity management, weak links in on-site operation control, and insufficient digital warning and emergency linkage. This leads to safety management being prone to staying at the level of post correction, making it difficult to achieve source prevention and process control of risks. Supported by equipment integrity management and process discipline execution, we aim to promote the transformation of production equipment safety management from experience management to standardization, refinement, dynamism, and intelligence, thereby enhancing the full cycle safety operation capability of the equipment.

Keywords

refining and chemical enterprises; production equipment; operational safety; safety management; risk control

炼化企业生产装置运行安全管理与风险控制研究

张吉勇

中化泉州石化有限公司, 中国 · 福建 泉州 362000

摘 要

炼化企业生产装置具有连续运行、高温高压、易燃易爆、有毒有害介质集中、工艺流程复杂及设备耦合度高等显著特征, 其运行安全水平直接关系企业稳定生产、人员生命安全、生态环境保护及区域公共安全。当前, 部分炼化企业在生产装置运行过程中仍存在风险辨识不够系统、制度执行存在衰减、设备完整性管理不够精细、现场作业管控存在薄弱环节以及数字化预警及应急联动不足等问题, 导致安全管理易停留在事后纠偏层面, 难以实现风险源头预防与过程控制。本文以设备完整性管理和工艺纪律执行为支撑, 推动生产装置安全管理由经验管理向标准化、精细化、动态化和智能化方向转型, 从而提升装置全周期安全运行能力。

关键词

炼化企业; 生产装置; 运行安全; 安全管理; 风险控制

1 引言

炼化企业是典型的流程工业企业, 其生产系统通常由原料预处理、反应、分离、换热、储运、公用工程及配套控制系统构成, 装置之间关联性强, 任何单一环节的异常都可能沿着工艺链、设备链和管理链传导放大, 最终演化为装置停车、火灾爆炸、中毒窒息或环境污染事故。与一般工业企业相比, 炼化企业安全风险呈现出耦合性、连续性、隐蔽性和突发性并存的特点, 尤其是在高负荷运行、开停工切换、

检维修交叉作业以及异常工况波动条件下, 风险更易集中暴露。基于此, 围绕炼化企业生产装置运行安全管理与风险控制开展系统研究, 既有较强的现实针对性, 也对提升企业本质安全水平和事故预防能力具有重要实践意义。

2 炼化企业生产装置运行中的主要风险类型及成因

2.1 工艺运行风险及其形成机理

工艺运行风险是炼化企业生产装置最核心的风险来源, 主要表现为工艺参数超限、物料配比异常、反应温压波动、换热效率下降、物料堵塞及联锁动作失效等。其形成机理一方面源于原料波动、设备老化和控制系统偏差, 另一方面也

【作者简介】张吉勇(1982-), 男, 中国山东泰安人, 本科, 工程师, 从事炼油化工安全研究。

与工艺纪律执行不严密密切相关。例如，部分岗位在异常工况处置中存在经验化操作倾向，对工艺报警未及时研判，对参数微小波动缺乏前瞻性调整，易使小偏差逐步累积为大风险。而部分企业对工艺包、操作法和控制逻辑的动态修订不够及时，造成现场实际工况与操作规程文件脱节，也会削弱工艺运行控制的有效性。

设备设施风险主要体现在腐蚀减薄、密封失效、疲劳开裂、振动异常、润滑不良、阀门卡涩、仪表漂移以及安全附件失效等方面。炼化装置中大量关键设备长期处于高负荷和复杂介质环境下运行，其性能退化具有渐进性和隐蔽性特点，如果企业在设备巡检、状态监测、预防性维修和完整性评价方面措施不到位，则局部缺陷可能逐步演化为泄漏、着火甚至爆炸事故。特别是在动设备管理中，若未能结合运行工况开展振动、温度、润滑油品质等多参数综合分析，仅依靠定期保养实施维护，往往难以及时发现识别潜在失效征兆。

2.2 人员作业风险与管理失效风险

炼化企业装置运行期间，除正常生产操作外，还涉及巡检、取样、切换、排凝、放空、盲板抽堵、设备检维修等多种现场作业。这些作业往往具有高危性和交叉性，如果作业票管理不严、监护责任不落实、安全交底流于形式或承包商作业能力参差不齐，极易引发违章作业和事故事件^[1]。与此同时，部分企业虽然建立了较为完整的制度体系，但在基层执行层面仍存在标准传导不足、责任划分模糊、考核约束偏弱和闭环整改滞后等问题，形成典型的管理失效风险。事实上，许多事故并非仅由设备故障或工艺异常直接引起，而是由人的不安全行为与管理缺陷共同作用所导致。

2.3 生产装置运行主要风险表现

为更加清晰地识别炼化企业生产装置运行中的主要风险类型及控制要点，可将其归纳为表1所示内容。该表从风险来源、典型表现、后果影响及控制重点四个方面进行概括，有助于为企业实施分级管控提供参考框架。

表1 炼化企业生产装置运行主要风险类型及控制重点

风险类别	典型表现	控制重点
工艺参数风险	温度、压力、流量、液位偏离控制范围，反应波动，报警频发	严格执行工艺卡片，强化DCS参数监控与报警管理，开展异常工况分析
设备完整性风险	管道腐蚀、法兰泄漏、泵机振动异常、阀门失灵、安全附件失效	开展状态监测、腐蚀监测、预防性检维修与完整性评价
仪表联锁风险	变送器失准、联锁误动或拒动、报警失真、控制回路波动	定期校验仪表，验证SIS功能，优化报警优先级
特殊作业风险	动火、受限空间、高处、吊装、临时用电、盲板抽堵管理不严	严格作业票审批，落实气体检测、现场监护和过程复核
人员行为风险	巡检不到位、违章操作、交接班信息遗漏、应急处置不及时	强化岗位培训、标准化操作、班组建设与行为观察
管理协同风险	责任界面不清、隐患整改闭环不严、承包商管控薄弱	完善责任链条，推进双重预防机制和闭环考核

表1表明，炼化企业生产装置运行安全风险并非孤立存在，而是由工艺、设备、仪表、作业、人员和管理等因素叠加形成。企业在实施风险控制时，不能仅关注事故暴露出的直接问题，而应沿着风险传导链条向前追溯，从参数偏差、设备退化、制度执行和组织协同等层面进行综合治理，才能真正提升生产装置的稳定运行能力。

3 炼化企业生产装置运行安全管理的关键环节

3.1 以工艺纪律为核心的运行控制

工艺纪律是炼化装置安全稳定运行的基础，其本质在于确保装置始终按照设计的工艺条件和操作规则运行。企业应围绕工艺指标控制、操作步骤标准化、报警处置规范化和异常工况分级响应等内容，建立全过程工艺纪律执行体系。在日常生产中，应强化班组对关键参数波动趋势的动态分析，不仅关注是否超限，更应关注接近控制边界的变化趋势，从而实现由结果控制向趋势控制转变。对于原料波动、负荷调整、设备切换和系统开停车等重点环节，应编制针对性操作方案，明确参数控制范围、联锁投用要求及应急处置逻辑，避免因临场经验判断取代规范操作而放大运行风险^[2]。

3.2 以设备完整性为基础的本质保障

设备完整性管理是炼化企业安全管理体系中的重要支柱。生产装置长期稳定运行有赖于设备设施处于受控和可靠状态，因此企业应推动设备管理由故障后维修向状态预警和寿命周期管理转变。具体而言，应结合装置特点建立关键设备清单，对反应器、加热炉、换热器、压力容器、机泵、储罐、工艺管线及安全阀、爆破片等重点设施实施分级管理，并依据失效后果和失效概率确定差异化监测策略。对于易发生腐蚀、冲蚀、结焦、泄漏和疲劳损伤的部位，应加强在线监测与定点检测联动，形成设备设施台账档案，为检维修计划制定和风险评估提供依据。通过设备完整性管理前移风险控制关口，可显著降低装置突发性故障对生产安全造成的冲击。

3.3 以现场作业为重点的过程管控

炼化企业生产装置运行期间的风险，不仅存在于连续工艺流程中，也大量集中在现场特殊作业活动中。动火、受限空间、临时用电、吊装、盲板抽堵、设备检维修及交叉作业，是装置运行安全管理中最容易发生人因失误和管理失控的环节。对此，企业应以作业许可制度为抓手，强化作业前风

险辨识、过程监护和作业后恢复确认三个关键环节。作业许可不能停留于票证填写层面，而要严格落实作业风险识别、措施确认和责任落实闭环链条。特别是当装置处于不停工检修、边生产边施工或多承包商并行交叉作业状态时，更需要通过区域隔离、作业冲突辨识、可燃有毒气体动态检测以及现场管理人员驻点监督等方式，防止局部作业风险对运行装置造成扰动。

任何制度和技术措施最终都需要依靠人员去执行，炼化企业生产装置运行安全管理成效在很大程度上取决于岗位员工和基层管理人员的安全能力。企业应构建覆盖岗位认知、工艺理解、设备原理、异常识别、应急处置和事故复盘的全链条培训体系，使员工不仅“知道怎么做”，更“知道为什么这样做”^[1]。尤其对主操、外操、班长、值班工程师等关键岗位，应通过情景模拟、事故推演和实操演练提升其对复杂工况和突发事件的处置能力。

4 炼化企业生产装置运行风险控制的优化路径

4.1 构建分级分类的风险识别与动态评估机制

炼化企业要提升生产装置运行安全水平，首先应建立科学的风险识别与评估机制。传统安全管理往往侧重静态检查，难以及时反映装置运行过程中风险状态的动态变化。为此，企业应以生产单元、设备节点、工艺控制回路和现场作业区域为基本对象，系统识别火灾爆炸风险、中毒窒息风险、设备失效风险、控制失灵风险和管理失效风险，并结合发生概率、后果严重程度、可检测性和可控性进行分级评价。在此基础上，建立风险台账和动态更新机制，使风险识别结果与日常巡检、工艺报警、设备监测、隐患整改及检修计划实现联动。风险评估不能一劳永逸，而应随着工况变化、装置改造、季节变化和人员调整不断修订，从而实现风险始终处于可知、可控、可追踪状态。

4.2 推动双重预防机制与装置运行管理深度融合

双重预防机制的实质是把风险分级管控与隐患排查治理嵌入企业日常运行管理全过程。对于炼化企业而言，关键在于单独建立一套形式化台账，而在于使其真正进入装置运行的实际控制链条。具体来看，应将岗位巡检、班组交接班、装置月度分析会、设备状态评价、特殊作业审批及领导带班检查等管理活动与风险管控和隐患治理直接挂钩，实现“岗位有清单、装置有分级、异常有响应、问题有闭环”。对于频繁出现的共性问题，要从制度、工艺、设备和培训层面分析深层原因，避免重复性隐患长期存在。通过双重预防

机制与装置运行管理的深度融合，可以推动企业由“查问题”向“控风险”、由“治表象”向“治根源”转变。

4.3 强化数字化监测预警与智能化辅助决策

在大型炼化企业生产装置中，依靠人工巡检和经验判断已难以满足高强度、连续化、复杂化的安全管理需求。因此，推动数字化监测与智能化预警是未来风险控制的重要方向。企业可依托 DCS、SIS、GDS、机泵在线监测、腐蚀监测、视频智能识别和人员定位等系统，构建覆盖工艺参数、设备状态、环境气体和人员行为的多源数据感知体系。在数据采集基础上，通过建立异常阈值模型、趋势分析模型和故障预测模型，实现对关键风险征兆的提前识别。

即使企业建立了较完善的预防体系，也无法完全消除所有风险，因此应急联动能力仍是装置运行安全管理不可缺少的重要内容。炼化企业应依据装置特点和事故场景，建立覆盖泄漏、火灾、爆炸、中毒、停电停仪表风及公用工程异常等情形的专项应急处置方案，并通过桌面推演与实战演练验证其可操作性。在应急管理实践中，最关键的是形成生产、设备、仪表、安全、消防、环保和医疗救援等多专业协同机制，确保异常发生后能够快速完成信息传递、现场隔离、介质切断、连锁投用和人员疏散等关键动作。

5 结语

炼化企业生产装置运行安全管理是一项系统工程，其本质在于通过组织、技术、制度与人员能力的协同作用，将复杂工艺系统中的不确定风险控制在可接受范围内。面对装置大型化、工况复杂化和运行连续化的发展趋势，企业必须突破传统以经验为主、事后处置为主的安全管理模式，转而以风险预防为核心，以工艺纪律、设备完整性、现场作业管控和人员能力建设为抓手，构建动态化、精细化和智能化的运行安全管理体系。只有把风险识别前移、把控制措施做实、把管理责任压紧、把数字化支撑用好，才能真正提升炼化企业生产装置的本质安全水平和持续稳定运行能力，为企业高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 高鑫,邱海兵,李柯韧.石油炼化企业循环冷却水系统泄漏分析[J].工业水处理,2025,45(1):193-198.
- [2] 叶晓林,赵玥,孙飞.炼化企业污水回用至循环水系统的分析研究[J].给水排水,2024,50(5):66-72.
- [3] 郑家乐,蔡磊,崔柳华,等.典型炼化企业污水处理厂VOCs治理技术改造及分析[J].现代化工,2022,42(8):229-233.