

# 基于 HAZOP 分析的化工工厂安全设施优化设计研究

刘敏

江苏汉达工程设计有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i2.8744

**[摘要]** 化工工厂生产流程具有复杂性、连续性特征，涉及多种易燃易爆、有毒有害危险介质，生产过程中易因工艺参数波动、设备故障等引发安全事故，安全设施作为防范生产安全风险、遏制事故扩大的核心载体，其设计的科学性与合理性直接关系到化工生产全流程的安全稳定。危险与可操作性分析（HAZOP）作为一种系统性、前瞻性的风险评估方法，通过围绕生产工艺参数偏差展开全面分析，能够精准识别生产过程中的潜在安全隐患，明确现有安全设施的不足，为安全设施优化设计提供科学、精准的技术支撑。本文结合化工工厂生产实际，系统运用 HAZOP 分析方法，梳理当前化工工厂安全设施设计的现状及存在的突出问题，深入挖掘隐患产生的核心根源，提出针对性的优化设计方案，完善安全设施防护体系，为提升化工工厂安全生产管理水平、防范各类安全事故、推动化工行业安全有序发展提供理论支撑与实践参考。研究表明，通过 HAZOP 分析精准定位生产全流程风险点，优化安全设施的选型、布局与联动逻辑，可有效提升安全设施的防护效能，构建全方位、多层次、闭环式的安全防护体系，实现化工生产从被动防控向主动预警、精准防控的转型，保障化工生产全流程安全稳定运行。

**[关键词]** HAZOP 分析；化工工厂；安全设施；优化设计；风险防控；生产安全

## Research on Optimization Design of Safety Facilities in Chemical Plants Based on HAZOP Analysis

Liu Min

Jiangsu Handa Engineering Design Co., Ltd.

**[Abstract]** Chemical plant production processes are characterized by complexity and continuity, involving various flammable, explosive, toxic, and hazardous media. Fluctuations in process parameters and equipment failures during production can easily trigger safety accidents. As the core mechanism for preventing production safety risks and containing accident escalation, the scientific rationality of safety facility design directly impacts the safety and stability of the entire chemical production process. Hazard and Operability Analysis (HAZOP), as a systematic and forward-looking risk assessment method, conducts comprehensive analysis around deviations in production process parameters. It accurately identifies potential safety hazards, clarifies deficiencies in existing safety facilities, and provides scientific and precise technical support for optimizing safety facility design. This paper systematically applies HAZOP analysis methods to examine the current status and prominent issues in safety facility design for chemical plants. By deeply exploring the root causes of hidden dangers, it proposes targeted optimization design solutions to improve the safety protection system. The research aims to enhance safety management levels in chemical plants, prevent various safety accidents, and provide theoretical support and practical references for promoting safe and orderly development in the chemical industry. Research demonstrates that HAZOP analysis enables precise identification of risk points throughout the production process. By optimizing the selection, layout, and interconnection logic of safety facilities, it significantly enhances their protective efficacy. This approach establishes a comprehensive, multi-tiered, and closed-loop safety protection system, facilitating the transition from passive prevention to proactive early warning and targeted control in chemical production. Ultimately, it ensures the safe and stable operation of the entire production process.

**[Key words]** HAZOP analysis; chemical plant; safety facilities; optimized design; risk prevention and control; production safety

## 一、引言

化工行业作为国民经济的基础性、支柱性产业，涵盖原料加工、产品合成、储存运输等多个环节，在推动工业发展、保障民生供给等方面发挥着重要作用。但化工生产过程具有高温、高压、高风险的显著特点，生产环节涉及多种危险介质，工艺流程复杂且连续性强，任何一个环节出现疏漏，都可能引发泄漏、燃烧、爆炸、中毒等安全事故，不仅会造成人员伤亡和财产损失，还可能引发环境污染、生态破坏等连锁问题，严重制约化工行业的可持续发展。

安全设施是化工工厂安全生产的“生命线”，是防范安全风险、处置突发事件的核心保障，其设计质量直接决定风险防控的成效。当前，我国化工行业安全管理水平不断提升，安全设施设计逐步走向规范化，但在实际生产实践中，部分化工工厂的安全设施设计仍存在诸多亟待解决的问题，难以充分适应复杂多变的生产环境和安全风险防控需求，无法有效应对生产过程中的各类突发情况。传统的安全设施设计多依赖经验判断，缺乏系统性的风险评估支撑，容易出现设计盲区，导致安全设施与生产工艺不匹配、防护效能不足等问题，给化工生产埋下安全隐患。

HAZOP 分析作为国际通用的系统性风险评估技术，凭借其全面性、系统性、前瞻性的优势，已广泛应用于化工、石油等高危行业的风险防控工作中。该方法通过围绕生产工艺的关键参数，结合引导词分析各类参数偏差产生的原因、可能引发的后果及现有安全措施的有效性，能够精准识别生产全流程的潜在安全隐患，明确安全设施的设计缺陷，为安全设施优化设计提供靶向指导。基于此，本文立足化工工厂生产实际，深入开展基于 HAZOP 分析的化工工厂安全设施优化设计研究，破解当前安全设施设计中的痛点难点，完善安全防护体系，对推动化工行业安全生产形势持续稳定向好、实现高质量发展具有重要的理论意义和现实价值。

## 二、化工工厂安全设施设计现状及 HAZOP 分析应用价值

随着化工行业安全管理体系的不断完善，我国化工工厂安全设施设计逐步纳入规范化管理，各类安全设施的配置逐步齐全，在风险防控中发挥了一定作用。但结合化工工厂生产实践调研发现，当前化工工厂安全设施设计仍存在诸多突出问题，严重影响安全防护效能的发挥，难以满足全方位、精细化的风险防控需求。

一是安全设施布局不合理。部分化工工厂在安全设施设计过程中，未充分结合生产工艺布局、危险介质分布、风险等级划分等因素，导致安全设施布局缺乏科学性。部分消防设施、应急救援设施因布置位置偏远，无法在事故发生时快速响应，延误应急处置时机；部分监测报警设施因布置点位不合理，无法精准捕捉风险隐患，导致隐患排查不及时。同时，部分安全设施与生产设备、操作区域距离过近，易受生产过程中的高温、腐蚀等因素影响，降低设施运行稳定性和使用寿命。

二是安全设施选型不匹配。安全设施选型需充分结合生产

工艺特性、危险介质类型、生产环境条件等因素，确保设施能够适应生产场景的需求。但部分化工工厂在安全设施选型过程中，缺乏对生产实际的全面考量，盲目选用通用型设施，导致设施与生产工艺不匹配。部分防爆设施无法适应生产介质的腐蚀特性，长期使用后易出现损坏、失效等问题，降低防护效能；部分监测设施的检测范围、精度无法满足生产需求，无法精准监测工艺参数变化，难以实现风险预警。

三是安全设施联动性不足。化工生产过程中的安全风险具有传导性、关联性，需要各类安全设施协同配合，形成闭环防控体系。但当前部分化工工厂的安全设施设计缺乏系统性考量，各类设施各自独立运行，报警、联锁、应急处置等设施之间缺乏有效的协同联动机制。当生产过程中出现工艺参数偏差或安全隐患时，各类设施无法同步响应，无法形成防控合力，难以有效遏制事故扩大，无法实现“监测-报警-联锁-处置”的一体化防控。

四是安全设施维护管理不完善。安全设施的稳定运行离不开完善的维护管理体系，但部分化工工厂缺乏健全的安全设施维护管理制度，对安全设施的日常检测、维护、检修不够重视。部分安全设施长期处于运行状态，未及时进行检修和校准，导致设施出现老化、故障等问题，无法正常发挥防护作用；部分安全设施的维护人员专业能力不足，无法及时发现和处置设施运行过程中的隐患，进一步降低了安全设施的防护效能。

HAZOP 分析在化工工厂安全设施优化设计中的应用，具有显著的实践价值，能够有效破解当前安全设施设计中的各类问题，为安全设施优化提供科学支撑。其核心优势在于摒弃了传统安全设计中的经验主义局限，通过“引导词-参数偏差-原因分析-后果评估-现有措施审核-建议措施提出”的完整逻辑，系统性梳理生产全流程的风险点，全面排查现有安全设施的设计缺陷和不足，确保安全设施优化设计更具针对性和可操作性。

在化工工厂生产全流程中，HAZOP 分析可覆盖反应单元、储存单元、输送单元、分离单元等各个核心环节，通过精准识别各类参数偏差引发的安全风险，为不同环节的安全设施优化提供靶向指导。例如，在化工反应釜生产环节，通过 HAZOP 分析可识别出温度过高、压力超标、物料配比失衡等参数偏差，进而分析现有温度、压力监测设施、紧急停车设施的不足，为优化监测点位、升级报警装置、完善联锁机制提供科学依据；在危险介质储存环节，通过 HAZOP 分析可识别出介质泄漏、储存温度异常等风险，为优化泄漏检测设施、完善消防设施布局提供指导，实现从被动防控向主动预警的转型。

## 三、基于 HAZOP 分析的化工工厂安全设施优化设计路径

结合 HAZOP 分析的核心流程，围绕风险识别、隐患整改、设施优化、机制完善四个核心环节，构建科学完善的化工工厂安全设施优化设计体系，确保优化方案贴合生产实际、针对性强、可操作性强，全面提升安全设施的防护效能，构建闭环式安全防护体系。

第一步, 组建专业分析团队, 规范开展 HAZOP 分析。HAZOP 分析的专业性、系统性要求较高, 需组建由工艺、安全、设备、电气等多个专业领域人员组成的分析团队, 明确各成员的职责分工, 确保分析工作全面、精准。分析团队需全面梳理化工工厂的生产工艺、流程布局、危险介质类型、现有安全设施配置等情况, 明确 HAZOP 分析的范围和重点, 确定分析所用的引导词和工艺参数。引导词应涵盖过量、不足、偏离、遗漏、异常等各类可能引发参数偏差的情况, 工艺参数应包括温度、压力、流量、浓度、液位等核心参数。分析过程中, 团队成员围绕各类引导词, 逐一分析参数偏差产生的原因、可能引发的安全后果, 全面审核现有安全设施的防护有效性, 明确安全设施的设计缺陷和优化方向, 形成完整的 HAZOP 分析报告, 为安全设施优化设计提供核心依据。

第二步, 优化安全设施选型, 提升设施适配性。针对 HAZOP 分析识别的风险点和现有安全设施的选型缺陷, 结合化工工厂生产工艺特性、危险介质类型、生产环境条件等因素, 科学优化安全设施选型, 确保设施与生产实际高度适配。对于易燃易爆介质储存区、反应区等高危区域, 选用防爆型、抗腐蚀、抗干扰能力强的监测报警设施, 确保设施能够在复杂环境下稳定运行, 精准监测风险隐患; 对于有毒有害介质输送、储存环节, 选用灵敏度高、检测范围广的泄漏检测设施, 确保能够快速捕捉介质泄漏隐患, 及时发出预警; 对于高温、高压生产环节, 选用耐高温、耐高压的安全防护设施和监测设备, 提升设施的运行稳定性和使用寿命。同时, 在选型过程中, 优先选用技术成熟、性能可靠、符合行业标准的安全设施, 避免选用不符合生产需求的通用型设施。

第三步, 优化安全设施布局, 提升应急响应效率。结合 HAZOP 分析识别的风险点分布、生产工艺布局、危险区域划分等因素, 按照“就近布置、快速响应、全面覆盖”的原则, 优化安全设施布局, 确保安全设施能够充分发挥防护作用。对于高危区域, 加密监测报警设施、消防设施、应急救援器材的布置点位, 缩短应急处置距离, 确保事故发生时能够快速响应、及时处置; 对于生产流程中的关键环节和薄弱环节, 重点布置监测设施和连锁设施, 实现风险的精准监测和快速防控; 对于消防通道、应急疏散通道等关键区域, 确保安全设施布置不影响通道畅通, 同时优化消防设施的布置位置, 确保消防器材能够快速抵达火灾现场, 提升灭火效率。此外, 合理规划安全设施与生产设备、操作区域的距离, 避免设施受生产过程中高温、腐蚀等因素的影响, 保障设施稳定运行。

第四步, 完善安全设施联动机制, 构建闭环防控体系。基于 HAZOP 分析得出的风险传导路径, 打破各类安全设施各自独立运行的局面, 优化安全设施联动逻辑, 构建“监测-报警-连锁-处置”一体化的闭环防控体系。将温度、压力、流量、浓度等监测设施与反应釜进料阀门、紧急停车装置、应急切断装置等连锁设施联动, 当生产过程中出现参数偏差时, 监测设施及时捕捉隐患并发出报警信号, 连锁设施同步启动, 自动切断

进料、停止生产, 防止事故扩大; 整合消防设施、应急广播系统、应急照明系统等应急处置设施, 当事故发生时, 各类设施同步启动, 及时开展灭火、人员疏散等应急处置工作, 提升应急处置效率。同时, 建立安全设施联动调试机制, 定期对各类设施的联动性能进行调试, 及时发现和解决联动过程中存在的问题, 确保联动机制稳定运行。

第五步, 健全安全设施维护管理机制, 保障设施稳定运行。安全设施的优化设计不仅需要科学的选型和布局, 还需要完善的维护管理机制作为支撑, 确保设施始终处于良好运行状态。建立健全安全设施日常检测、维护、检修管理制度, 明确维护管理责任, 指定专业人员负责安全设施的日常管理工作; 定期对安全设施进行检测和校准, 及时发现设施运行过程中的老化、故障等问题, 采取针对性的检修措施, 确保设施能够正常发挥防护作用; 加强维护管理人员的专业培训, 提升管理人员的专业能力和应急处置能力, 确保能够及时处置设施运行过程中的各类隐患。同时, 建立安全设施运行台账, 详细记录设施的安装、检测、维护、检修等情况, 实现设施全生命周期管理。

#### 四、结论与展望

HAZOP 分析是系统性、前瞻性的风险评估方法, 为化工工厂安全设施优化设计提供技术支撑, 能破解布局不合理、选型不匹配等问题, 提升防护效能。组建专业团队规范开展 HAZOP 分析, 精准识别风险点, 优化安全设施选型、布局与联动机制, 健全维护管理体系, 可构建安全防护体系, 实现化工生产从被动防控向主动预警、精准防控转型, 降低事故发生率, 保障生产安全稳定运行。

本文核心价值是将 HAZOP 分析与化工工厂安全设施优化设计深度结合, 提出优化路径, 提供实践参考。但化工行业发展使安全风险多元化、复杂化, 对安全设施优化设计提出更高要求。

未来, 需深化 HAZOP 分析应用, 结合先进技术构建智能化风险监测与预警体系, 推动安全设施优化设计智能化转型。同时, 加强 HAZOP 分析在设计阶段前置应用, 从源头规避隐患, 同步优化安全设施设计与生产工艺; 加强行业交流合作, 推广先进经验, 完善应用体系, 助力化工行业安全、高效、绿色、可持续发展。

#### [参考文献]

- [1]罗婧.新时代安全教育视域下高校化工专业安全管理探索与思考[J].现代职业安全, 2025, (08): 115-117.
- [2]孙毅.安全设施在石油化工装置中的应用与效果评价[J].中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(04): 4-6.
- [3]于加花, 李健.试论化工安全生产及管理对策[J].中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20): 23-25.
- [4]陈丽.双重预防机制下的化工安全管理模式创新研究[J].化工设计通讯, 2023, 49(05): 122-124.
- [5]阮永锋.化工安全设计在预防化工事故中的作用探讨[J].石化技术, 2022, 29(08): 183-185.