

# 石油化工工艺安全风险评估方法研究

陈金水

江苏江山制药有限公司 江苏 泰州 214500

**摘要：**石油化工因其在基础工业中的支柱作用，成为了国民经济发展中的关键角色；然而石油化工行业因工艺流程复杂、装置高度集成、涉及大量易燃易爆、有毒有害介质等显著危险特性，导致其往往潜藏着巨大乃至不可承受的风险。本文旨在通过深入研究石油化工工艺安全风险评估方法，为行业普遍关注的风险管理提供科学依据。本文围绕石油工艺安全风险的定义、特点及其评估的必要性，对国内外工艺安全管理现状及挑战进行了分析。同时详细探讨了定性、定量及综合评估方法，对其适用性进行了剖析。最终，本文强调了石油化工工艺安全风险评估方法研究的价值和意义，为系统提高安全生产水平和保障人民生命财产安全提供了理论支持和实践指导。

**关键词：**石油化工；风险评估；生命周期；定性评估；定量评估；综合评估

## 引言

随着石油化工产业技术的快速迭代，行业发展趋势是规模不断扩大，工艺流程日益复杂、生产条件苛刻多变，且又同时涉及连续工艺、自动化控制等多重因素的交互作用，使得石油化工行业整体呈现愈发复杂多变的特征，过程管理的安全性问题愈发突出，工艺安全评估面临着前所未有的挑战。随着国家层面对过程管理的越发重视，配套连续出台了多项政策标准，石油化工企业纷纷主动思考引入科学的风险评估方法，系统化识别和控制潜在过程风险。在此背景下，本研究不仅可以为石油化工企业的安全提供更加科学、精准的理论支持和指导，还可以作为政府相关部门制定安全监管政策、企业完善安全管理机制的参考依据，从而为石油化工行业的安全稳定发展，提升安全生产水平提供有力支持。

## 1 石油化工工艺安全风险评估概述

### 1.1 石油化工工艺安全风险的定义与特点

工艺安全管理的概念和实践是随着石油化工行业的发展而逐步形成和完善的，与职业安全适用任何工作场所，关注的人员行为、作业环境能量释放导致的人身伤害管理模式不同，工艺安全主要针对流程工业管理，研究对象是“与物料使用及工艺操作有关的安全问题”，通过关注一级防护失效（也称LOPC泄漏）情形，防止在生产过程中排放危险物料或能量释放，目标旨在通过系统全生命周期的管理控制，最大程度地避免灾难性事故的发生。理解工艺安全与职业安全的特点、区别，有助于我们在石油化工行业架构全生命周期的工艺安全风险管理体系，全面、有效地管理过程安全风险。

### 1.2 石油化工工艺安全风险评估的必要性

石油化工行业普遍存在工艺系统难度高、高度自动

化集成化、危险物质种类繁多性质复杂、操作条件苛刻、事故后果严重等特性，同时各环节交互影响，导致其不仅潜在危害影响巨大，且兼具高复杂性、动态变化性、链式反应特性、隐蔽性、累积性等特点。只有通过持续有效深入的工艺过程风险评估，深入研究挖掘风险、消除隐患，才能不断提高全行业安全管理水平，促使安全管理更系统科学更高效，从而在市场激烈竞争的情况下，持续提升企业安全生产水平，满足日趋严格的法律监督要求，承担起保护环境和确保职工生命安全的社会责任，同时塑造良好市场形象进而在竞争中处于有利位置<sup>[1]</sup>。

### 1.3 国内外石油化工工艺安全风险评估现状

石油化工领域始终是全球工艺安全研究和监管的重点领域，各个国家或地区制定了各具特色的工艺安全管理体系和风险评估方法，其中西方发达国家的工艺安全评估体系已基本成熟，其明确的工艺安全生命周期的风险管理、基于风险的决策等方法论，配套完善的制度标准、技术指南和最佳实践在全球范围都有重要影响，且为业界提供了科学严密的评估框架与操作指引。

我国工艺安全体系起步较晚，但随着经济的快速发展和工业化进程的加快，工艺安全问题日益突出，社会各界对工艺过程风险关注度明显提高。以政府为主导，先后颁布发布了《关于加强化工过程安全管理的指导意见》（安监总管三〔2013〕88号）、《危险与可操作性分析（HAZOP分析）应用指南》（GB/T 35320）、修订了《化工过程安全管理导则》（AQ T3034-2022）等主要管理框架；我们通过对国外工艺安全监管方法的研究，吸收了欧美国家的先进工艺安全管理理念和技术，重新认识了过程安全管理，提出根据“Process Safety”汉语

的含义,将其译为“过程安全”代表了“工艺安全”术语,并逐渐在业界达成共识,以改变“过程安全”只有工艺专业重视的局面,切实促进过程安全评估工作地规范化、制度化发展(注:考虑论文的延续性,本论文将工艺安全与过程安全作为同义术语)。

考察目前石油化工行业在工艺的安全风险面临的挑战,发现如何有效地对评估结果进行转化,从而有效地指导生产实践和提高安全管理水平也是一个急需解决的课题<sup>[2]</sup>。所以,不断优化评估技术,强化企业主体责任和深化评估结果应用,将成为今后石油化工行业安全风险评估的一个重要发展方向。

## 2 石油化工工艺安全风险评估方法

### 2.1 定性评估方法

定性评估是石油化工工艺安全生命周期中风险评估的重要方法,重点是针对潜在工艺风险进行识别和描述,识别工艺流程中的关键问题并提出改进建议;核心是通过系统分析,查找可能导致事故的因素和路径,帮助前瞻性地识别并控制潜在风险,同时结合本质安全设计、有效的运行维护和持续改进,以显著提高工艺安全水平。定性评估方法好处是简单易行,缺陷是依赖人员能力经验与直观判断来辨识与归类潜在风险因素,为使定性评价准确可靠,一般需采取团队评价,以避免个人能力或视角局限。主要定性方法包括危险与可操作性分析(HAZOP)、失效模式与影响分析(FMEA)、故障树分析(FTA)和事件树分析(ETA)等,这些方法各有特点,能够从不同角度识别和评估潜在的工艺、设备系统过程风险。

### 2.2 定量评估方法

定量评估方法是对定性评估的重要补充,定量评估往往通过数据分析和数学建模,量化工艺中潜在风险的概率和后果,可以得到相对准确的风险评估结果,从而可以为企业的风险控制和决策提供科学支撑。目前常见的定量评估方法:保护层分析(LOPA)、定量风险评估(QRA)、有人建筑风险评估(OBRA)等,LOPA作为快速、实用的半定量评估,特别适用于安全仪表系统的设计和验证。QRA则提供了更全面、精确的风险量化结果,适用于复杂系统的风险评估和重大决策支持。OBRA则专门针对有人建筑,提供全面的风险评估和改进建议。定量评估结果具有高精度和可信度等优点,可为决策提供扎实的数据支持<sup>[3]</sup>。

### 2.3 综合评估方法

综合评估方法结合定性和定量评估的特点,通过多维度、多阶段的分析,提高工艺安全风险管理的全面

性和系统性,常见的综合评估方法有化学品危害评估(CHA)和蝴蝶结分析法(Bow-Tie)等。其中化学品危害评估(CHA)与我国最新出台的反应风险评估类似,用于系统化的识别、评估和控制化学品及工艺的固有危害,包括化学品易燃性、反应性、毒性危害、热筛选稳定性、化学相容性、反应失控等结构及内容;蝴蝶结分析法(Bow-Tie)则是一种图形化的风险评估工具,其将故障树分析(FTA)和事件树分析(ETA)结合,用于分析和展示事故情景的原因和后果以及预防和缓解措施。

### 2.4 评估方法的适用性分析

石油化工行业面临的工艺安全风险贯穿于全生命周期,从设计、建设、运行到退役的每个阶段都涉及工艺安全风险,需要根据不同阶段的需求和资源情况,灵活选择和组合合适的风险评估工具,目的是选择确认最为匹配的风险评估路径。合适的评估方法主要综合考虑工艺过程的特点、风险特征、数据可获得性、时间和资源限制等因素,并结合不同的企业、项目、阶段均有不同的风险管理需求,考虑法规要求、行业标准和最佳实践等,从而选择合适的评估方法,以保证风险评估的适用性和有效性;同时关注风险评估的精准度和资源投入之间进行取舍,以保证评估效益的最大化<sup>[4]</sup>。

## 3 石油化工工艺安全风险评估方法的应用

### 3.1 风险评估方法在石油化工工艺中的应用案例

本研究以一家全球领先的石油化工公司的裂解装置扩建项目为例,详细阐述了其如何运用其工艺安全管理方面的丰富经验,在装置的建设和运营全过程中,充分利用多种风险评估方法,实现其系统保障工艺安全的目标。

项目概念设计阶段,团队主要采用了CHA和HAZOP方法,通过化学品危害评估(CHA)全面评估项目涉及的化学品危害,识别出高度易燃、易爆、热稳定性、二次反应等关键危害,为后续安全设计提供基础;通过危险与可操作性分析(HAZOP),识别工艺偏离可能导致的危险,组织多学科团队,对装置进行系统性分析,发现潜在的过压、泄漏等风险,提出工艺参数控制和连锁保护等建议。基础工程设计阶段,重点应用FMEA、FTA和LOPA方法,通过失效模式与影响分析(FMEA),分析关键设备可能的失效模式及其影响,识别出高风险失效模式,并提出相应的预防和检测措施;通过构建故障树(FTA)模型,结合其内部历史数据及行业知识对故障树内各节点进行合理失效概率赋值,分析设备故障导致重大事故的可能性,并确定关键的保护层,并在此基础上对系统整体风险水平进行评估<sup>[5]</sup>,通过保护层分析(LOPA),针对HAZOP、FMEA、FTA识别的高风险场

景进行评估分析,评估安全屏障的有效性,确定安全完整性等级(SIL)。在运行和维护阶段,持续应用风险评估方法确保安全运营,包括定期进行HAZOP复审,特别是工艺变更时;持续更新QRA模型,累积实际运行数据和经验;利用LOPA方法评估安全仪表系统的性能,确保其有效性。

通过综合运用这些风险评估方法或组合,动态关注生命周期全过程面临的风险及挑战,不但最大程度且成功地辨识与控制了潜在的安全风险,而且显著提高了系统整体的安全可靠性能。

### 3.2 风险评估方法在实际操作中的局限性

风险评估方法在石油化工工艺中的实际应用虽然带来了显著的安全改进,但往往因在数据依赖性强、模型假设的局限性、动态性不足、跨学科挑战等导致其应用存在诸多局限,因此需要结合实际情况进行调整和优化,通过多工具结合、建立动态更新机制、量化支持与数据积累等环节进行持续改进,并结合实际操作经验运用来增强风险管理的效果。

### 3.3 提升石油化工工艺安全风险评估方法的策略

针对工艺安全风险评估工具的实际限制,可采取的关键策略包括:一、强化人员专业培训,增强评价方法认知与运用能力。二、整合先进技术,利用大数据分析和人工智能等增强数据采集和处理的精确度。三、完善评估方法,通过开发动态风险评估模型,提高评估的全面性;四、加强跨学科合作,整合不同领域的知识和经验,形成更全面更系统的风险评价体系;五、加强监管和标准化,通过完善相关法规和标准,为风险评估提供明确指导,定期更新行业最佳实践指南,确保评估方法

与时俱进。

## 4 结束语

本文就石油化工工艺安全风险评估进行了深入的研究,从工艺安全生命周期视角,结合实际应用案例,详细探讨了工艺风险评估在保障工艺安全中的重要性。研究表明,综合运用定性、定量、综合评估方法,并结合先进的风险评估工具,可以全面识别和控制潜在风险,显著提高工艺流程的安全性和可靠性。随着科学技术的不断发展,风险评估方法及技术也需要不断创新和发展,智能化、数字化、网络化、标准化将为石油化工工艺安全风险评估带来新的发展机遇,我们应当保持开放和创新的态度,持续改进和优化风险评估方法,并重视评估工具的适用性与灵活性,确保评估结果能够真正为管理和运营提供科学指导。通过本研究,我们希望能对石油化工行业的安全管理提供有益的参考和指导,促进工艺安全风险评估方法的不断改进和优化,从而有力促进石油化工行业的持续健康发展。

## 参考文献

- [1]尹超,陈永福,穆文波.石油化工中的安全与风险评估研究[J].智能城市应用,2024(4):107-109.
- [2]邹君.石油化工园区火灾风险与消防安全规划研究[J].化工安全与环境,2024(4):64-68.
- [3]鲜新明.石油化工设施火灾风险评估与管理策略研究[J].消防界,2024(1):66-68.
- [4]王春青,宋涛.石油化工建筑抗爆安全评估的方法研究[J].石油化工建设,2023(12):42-44.
- [5]张志华.石油化工集成系统网络数据安全检测方法研究[J].自动化技术与应用,2023(5):180-183.