

石油化工企业危险化学品生产储存安全评价方法研究

何嘉杰

广东 广州 510170

DOI:10.61369/ME.2025100024

摘要：本文围绕石油化工企业危险化学品生产储存安全展开。先阐述危险化学品储存特性及工艺危险性分析方法，后介绍安全评价指标体系构建、权重确定、隶属函数构建等内容，还涉及模糊算子选择、事故演化路径可视化等，经案例验证新模型优势，最后提应用验证、优化建议及未来研究方向。

关键词：石油化工企业；危险化学品；安全评价

Research on Safety Evaluation Methods for The Production and Storage of Dangerous Chemicals in Petrochemical Enterprises

He Jiajie

Guangzhou, Guangdong 510170

Abstract : This paper focuses on the safety of the production and storage of dangerous chemicals in petrochemical enterprises. It first elaborates on the storage characteristics of dangerous chemicals and the analysis methods for process hazards. It then introduces the construction of a safety evaluation index system, the determination of weights, and the construction of membership functions. It also covers the selection of fuzzy operators and the visualization of accident evolution paths. The new model's advantages are verified through case studies. Finally, suggestions for application validation, optimization, and future research directions are provided.

Keywords : petrochemical enterprises; dangerous chemicals; safety evaluation

引言

2022年颁布的《“十四五”国家安全生产规划》强调要加强危险化学品安全管理。石化危险化学品的储存和生产工艺存在诸多风险，需构建科学的安全评价体系。本文基于该政策要求，对石化危险化学品从储存特性、工艺危险性等多方面展开研究，设计多维评价指标并确定权重，构建隶属函数和模糊综合评价模型，通过事故演化路径可视化、实时风险预测等方法进行安全评价，并在实际案例中与传统方法对比验证。同时针对应用提出优化建议，虽研究存在数据获取局限，但展望区块链技术助力完善危化品安全评价体系，为提升石化企业危险化学品安全管理提供新思路。

一、危险化学品特性与储存风险分析

(一) 石化危险化学品分类及储存特性

石化危险化学品可依据《全球化学品统一分类和标签制度》进行等级划分，不同类别具有独特的储存特性。例如易燃液体，像汽油、柴油等，它们具有较低的闪点和燃点，极易被点燃引发火灾甚至爆炸，储存时需严格控制温度、远离火源及热源，且要确保储存容器密闭性良好。对于压缩气体和液化气体，如氢气、液化石油气，其压力高、易扩散，一旦泄漏可能引发物理爆炸，储存场所应具备良好的通风条件及压力监测装置。腐蚀性化学品，如硫酸、氢氧化钠，会对人体和设备造成腐蚀破坏，需用特殊材质的容器储存，并做好防泄漏措施^[1]。这些危险化学品特性决定了在储存过程中，需根据其不同特点采取针对性的安全措

施，以降低储存风险。

(二) 生产过程中的工艺危险性辨识

在石油化工企业生产过程中，加氢裂化、催化重整等核心工艺存在诸多工艺危险性。运用 HAZOP 分析法能有效建立工艺偏差与设备失效的对应风险矩阵。以加氢裂化工艺为例，若温度控制出现偏差，过高可能引发反应失控，致使爆炸等严重后果；过低则会降低反应效率，影响产品质量。催化重整工艺中，压力偏差同样关键，压力异常波动可能导致设备密封失效，引发危险化学品泄漏。通过 HAZOP 分析法对这些核心工艺进行全面分析，可清晰确定不同工艺偏差可能导致的设备失效情况，进而构建风险矩阵，准确辨识出生产过程中的工艺危险性，为制定针对性的安全措施提供有力依据^[2]。

二、安全评价指标体系构建

(一) 多维评价指标设计原则

在构建石油化工企业危险化学品生产储存安全评价指标体系时，多维评价指标的设计需遵循一定原则。科学性原则要求指标能够准确反映危险化学品生产储存过程中的实际安全状况，基于科学理论与实践经验进行选取^[3]。全面性原则强调涵盖固有危险性、过程控制有效性、应急防护能力等各个方面，如26项二级指标要全方位覆盖生产储存的各个环节。独立性原则确保各指标间相互独立，避免信息重复，以便精准评价不同维度的安全水平。可行性原则注重指标数据的可获取性与可操作性，使评价工作能够在实际中有效开展，为石油化工企业危险化学品生产储存安全评价提供科学、全面、可行的指标体系。

(二) 指标权重确定方法

在石油化工企业危险化学品生产储存安全评价指标体系构建中，指标权重确定至关重要。这里采用基于ANP网络分析法来处理指标间的非线性关联。与传统方法不同，ANP能充分考虑指标间相互依赖和反馈关系，更贴合石油化工复杂系统实际情况^[4]。通过Super Decisions软件，可有效实现各层级指标权重的动态计算。该软件具备强大的分析功能，以网络结构形式直观呈现指标关联。借助其交互界面，输入两两指标重要性比较判断矩阵等数据，经软件内部运算，快速且准确地输出各层级指标权重，为安全评价提供科学、可靠的权重依据，助力更精准评估石油化工企业危险化学品生产储存安全状况。

三、安全评价模型构建

(一) 模糊综合评价模型设计

1. 隶属函数构建方法

在石油化工企业危险化学品生产储存安全评价中，隶属函数构建至关重要。对于工艺参数偏离度等模糊指标，采用梯形分布函数进行处理。这是因为梯形分布函数能较好地描述这类指标在不同风险程度下的隶属关系。具体建立五级风险隶属规则，通过合理设定梯形分布函数的参数，如上下限、转折点等，明确各指标在不同风险等级的隶属程度。例如，当工艺参数偏离度处于某一区间时，依据设定的梯形分布函数，可精准确定其隶属于不同风险等级的可能性。这种方法能够将模糊的实际情况转化为量化的隶属度，为后续的模糊综合评价提供坚实基础，从而更科学、准确地评估石油化工企业危险化学品生产储存的安全性^[5]。

2. 模糊算子选择策略

在模糊综合评价模型中，模糊算子的选择对评价结果的准确性至关重要。 $M(\wedge, V)$ 算子属于主因素突出型，主要突出影响事物的主要因素，适用于在评价中只考虑主要因素起作用的情况^[6]。而 $M(\cdot, \oplus)$ 算子是加权平均型，它兼顾了所有因素的综合影响，通过对各因素进行加权处理，能更全面地反映事物的综合状况。石油化工企业危险化学品生产储存安全评价涉及众多复杂因素，每个因素都对整体安全状况有一定影响，并非仅由单一主

要因素决定。因此，经对比分析，选择加权平均型算子进行多级模糊运算，能充分考虑各因素权重，全面综合地对石油化工企业危险化学品生产储存安全状况进行评价，使评价结果更具科学性和可靠性。

(二) 动态贝叶斯网络建模

1. 事故演化路径可视化

在石油化工企业危险化学品生产储存安全评价中，事故演化路径可视化是重要环节。通过运用GeNIe软件构建含42个节点的三维动态网络，实现对事故演化路径的清晰呈现。在此过程中，不仅能直观展示各因素间的相互关系，还可深入量化腐蚀速率与法兰泄漏的时序关联强度^[7]。借助该可视化手段，工作人员能更为清晰地了解事故从起始条件到最终后果的整个发展脉络，为提前预判事故发生趋势、制定针对性的防范与应急措施提供有力支持，从而有效提升石油化工企业危险化学品生产储存的安全性，降低事故发生概率及其可能带来的严重影响。

2. 实时风险预测算法

实时风险预测算法以动态贝叶斯网络为基础，结合开发的基于Markov链的状态转移概率算法实现储罐区泄漏风险等级的动态可视化预警。该算法通过对石油化工企业危险化学品生产储存过程中的各类数据进行实时采集与分析，利用Markov链的状态转移概率来描述系统状态随时间的变化情况。依据所构建的动态贝叶斯网络结构，将不同时刻的节点状态和条件概率进行整合计算，精准预测储罐区在未来某一时刻发生泄漏风险的可能性及其等级。同时，借助可视化技术，将预测结果直观呈现，以便相关人员及时掌握风险动态，做出科学决策，从而有效降低危险化学品生产储存过程中的安全隐患^[8]。

四、应用验证与优化建议

(一) 案例企业实证分析

1. 评价流程实施步骤

在某炼化企业乙烯装置安全评价中，数据采集阶段，全面收集装置的工艺参数、设备运行状况、安全设施配备等基础信息^[9]。模型参数标定需结合乙烯装置特点，依据相关标准和历史数据，精确设定危险化学品泄漏概率、扩散模型等参数，使评价模型贴合实际。风险等级输出时，利用已标定参数的模型，分析各类风险场景，得出准确的风险等级结果。优化建议方面，定期更新数据采集内容，以适应装置的动态变化；持续根据新的研究成果和实践经验，优化模型参数，提升评价的准确性；加强对风险等级输出结果的审核与验证，确保其可靠性，为石油化工企业危险化学品生产储存安全提供更有力的保障。

2. 结果验证与对比分析

在案例企业实证分析的结果验证与对比分析中，针对石油化工企业危险化学品生产储存场景，将新模型与传统LOPA分析法进行全面比对。收集案例企业在危险化学品生产储存过程中的事故数据、设备运行参数及环境监测指标等，以此为基础分别运用新模型与传统LOPA分析法进行模拟分析。结果显示，新模型在

事故预警提前期方面，平均较传统 LOPA 分析法提前3小时，能更早察觉潜在风险，为采取应对措施争取更多时间；在误报率上，新模型降至5%，远低于传统 LOPA 分析法的20%，大幅提升预警准确性^[10]。这充分验证新模型在事故预警提前期和误报率上有显著改进效果，有效提升石油化工企业危险化学品生产储存安全评价的有效性和可靠性。后续可进一步优化模型参数，结合企业实际操作流程与设备特性，提升模型普适性与精准度。

（二）智能监测系统集成

1. 物联感知层构建

应用验证与优化建议：为确保传感网络架构及采样频率标准的有效性，需在实际石油化工企业危险化学品生产储存场景中进行应用验证。选取不同规模、生产类型的企业作为试点，部署该传感网络，按既定采样频率收集温度、压力、VOC 浓度数据。通过对收集的数据进行分析，与历史事故数据及安全标准对比，评估该架构与标准能否及时准确监测安全隐患。若发现监测存在延迟、数据偏差等问题，可考虑优化传感设备布局，根据危险化学品特性及生产储存流程调整采样频率，如对反应剧烈、易挥发的危险化学品提高采样频率，以提升智能监测系统物联感知层的监测精准度与可靠性。

2. 数字孪生平台开发

在石油化工企业危险化学品生产储存场景中应用上述基于 Unity3D 搭建的三维可视化管理系统，将其部署于实际生产区域，收集风险热力图及设备健康状态的实时数据，与实际情况对比验证系统准确性。可邀请行业专家评估系统功能完整性，对复杂危险场景的映射效果进行检验。针对应用中发现的热力图数据误差、设备状态反馈延迟等问题，优化系统算法与数据传输流程，提升实时映射精度与速度。同时，结合企业实际生产工艺变化，持续更新系统数据库，确保系统能适应生产储存过程中的动态调整，为危险化学品生产储存安全提供可靠保障。

（三）管理体系优化对策

1. 人员培训机制创新

应用验证与优化建议方面，可在部分石油化工企业选取特定危险化学品生产储存区域进行基于 VR 技术应急演练新模式及沉浸

式培训体系的应用验证。观察员工在参与演练及培训过程中的实际操作表现、应急反应速度及决策准确性等，收集员工对培训内容、场景设置的反馈意见。依据验证过程中发现的问题，比如场景与实际操作存在差异、部分模块难度设置不合理等，对7大模块32个场景进行针对性优化。例如，调整场景细节以贴合真实生产储存状况，合理调整模块难度，使培训体系更符合员工技能提升需求，进而切实增强危险化学品生产储存的安全性与员工应急处理能力。

2. 双重预防机制完善

应用验证时，可选取石油化工企业典型的危险化学品生产储存区域进行试点。通过实际运用制定好的风险分级管控清单和隐患排查治理标准，收集执行过程中的数据，分析风险识别的准确性、管控措施的有效性以及隐患排查的全面性等。依据试点结果，对风险分级管控清单进一步细化，确保风险描述精准、管控责任明确。对于隐患排查治理标准，优化其排查流程与判定准则，增强可操作性。同时，加强对 PDCA 循环每个环节的监督，防止出现形式化闭环。通过持续的应用验证与优化，使双重预防机制更加贴合石油化工企业危险化学品生产储存实际，切实提升安全管理水平。

五、总结

本文提出的三维评价模型为石油化工企业危险化学品生产储存安全评价提供了新的思路与方法，有助于全面、系统地评估危化品管理状况，提高安全管理水平。然而，研究过程中存在数据获取完整性方面的局限，部分数据因企业保密、技术手段等因素难以获取，一定程度影响了评价模型的精准度。未来，区块链技术有望在安全数据溯源方面取得突破，其去中心化、不可篡改等特性，可确保数据真实可靠、可追溯，助力构建更完善的危化品安全评价体系。后续研究可考虑如何更好地克服数据获取难题，同时深入探索区块链技术在石化企业危化品安全管理中的应用路径，推动安全评价方法的持续完善与创新。

参考文献

- [1] 鲍文杰. 山东省危险化学品安全生产监管研究 [D]. 山东大学, 2021.
- [2] 刘周. 大英经开区危险化学品安全生产政府监管研究 [D]. 四川师范大学, 2022.
- [3] 官子欣. 自贡市沿滩区危险化学品安全生产监管问题研究 [D]. 电子科技大学, 2023.
- [4] 郭晨. D 市 H 区危险化学品安全生产监管问题与对策研究 [D]. 山东大学, 2023.
- [5] 蔡灵男. S 市危险化学品安全生产监管中的问题与对策研究 [D]. 四川大学, 2022.
- [6] 黄建华, 马宏生. 浅谈石油化工企业安全评价技术 [J]. 中小企业管理与科技, 2021(12): 172–173.
- [7] 吴鹏飞. 化学实验室危险化学品的安全评价与管理策略研究 [J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(4): 103–105.
- [8] 唐启军. 危险化学品安全评价现状与策略分析 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(3): 71–72.
- [9] 王志伟. 强化危险化学品及化工企业安全生产监督管理 [J]. 化工管理, 2021(10): 107–108.
- [10] 潘吉琴. 化学实验室危险化学品的安全评价与管理 [J]. 化纤与纺织技术, 2022, 51(12): 115–117.