

# Evolution mechanism and emergency treatment of hazardous chemical pipeline leakage accident

Peng Liu Guoqiang Sun Zibo Zhuo

Jinan and Jianxin Cheng Technology Service Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

## Abstract

This paper focuses on the pipeline leakage accidents involving hazardous chemicals, delving into their evolution mechanisms and conducting optimization research on existing emergency response technologies. It first elucidates the hazards of hazardous chemical pipeline leaks and the significance of the study. Then, it reveals the accident evolution mechanisms from aspects such as the characteristics of the leak source, environmental factor coupling, and diffusion propagation laws. Subsequently, it analyzes the issues with current emergency response technologies and proposes optimization strategies in areas like leak sealing, diffusion control, personnel evacuation and rescue, and environmental monitoring and assessment. By optimizing emergency response technologies, the aim is to enhance the capability of responding to hazardous chemical pipeline leakage accidents, reduce accident losses, and ensure the safety of people's lives and property as well as the stability of the ecological environment.

## Keywords

hazardous chemicals; pipeline leakage; accident evolution mechanism; emergency treatment technology

# 危险化学品管道泄漏事故演化机理与应急处置

刘鹏 孙国强 卓子博

济南和鉴信成技术服务有限公司, 中国 · 山东 济南 250000

## 摘要

本文聚焦于危险化学品管道泄漏事故, 深入剖析其演化机理, 并针对现有应急处置技术展开优化研究。首先阐述危险化学品管道泄漏事故的危害性及研究意义, 接着从泄漏源特性、环境因素耦合、扩散传播规律等方面揭示事故演化机理。随后, 分析当前应急处置技术存在的问题, 从泄漏封堵、扩散控制、人员疏散与救援、环境监测与评估等方面提出优化策略。通过优化应急处置技术, 旨在提高应对危险化学品管道泄漏事故的能力, 降低事故损失, 保障人民生命财产安全及生态环境稳定。

## 关键词

危险化学品; 管道泄漏; 事故演化机理; 应急处置技术

## 1 引言

危险化学品管道作为化工产业重要的运输方式, 承担着大量高危化学品的输送任务。然而, 由于管道老化、腐蚀、外力破坏等原因, 泄漏事故时有发生。此类事故不仅会造成化学品的直接损失, 更可能引发火灾、爆炸、中毒等次生灾害, 对周边环境和人员生命安全构成严重威胁。因此, 深入研究危险化学品管道泄漏事故的演化机理, 并优化应急处置技术, 对于提升事故应对能力、减少事故损失具有至关重要的意义<sup>[1]</sup>。

## 2 危险化学品管道泄漏事故演化机理

### 2.1 泄漏源特性对事故演化的影响

不同危险化学品的物理化学性质差异显著, 这直接决定了泄漏事故的演化特征。例如, 易燃易爆化学品泄漏后, 与空气混合形成爆炸性混合物, 遇明火或高温极易引发爆炸; 而有毒化学品泄漏则会导致周边环境中化学物质浓度急剧升高, 引发人员中毒。此外, 泄漏源的位置、泄漏孔径大小及泄漏压力等因素也至关重要。泄漏源处于高处时, 化学品更易扩散; 泄漏孔径大、压力高, 泄漏速率快, 事故危害程度也相应增加。这些因素相互交织, 共同影响事故的初始阶段发展。

### 2.2 环境因素与泄漏事故的耦合作用

气象条件是影响危险化学品泄漏事故扩散范围与速度的关键环境要素, 风向能够决定泄漏化学品的具体扩散方向, 风速越大时化学品扩散的速度就越快且影响范围更广,

【作者简介】刘鹏 (1981-), 男, 中国山东济宁人, 本科, 安全工程师, 从事应急处置研究。

温度会影响化学品的挥发性和扩散的具体速率，高温会加速易挥发化学品的扩散进程，湿度则有可能影响某些化学品的反应活性状况，地形地貌也是不能被忽视的重要方面，复杂地形比如山谷和河流等会改变气流运动轨迹，致使化学品在局部区域产生积聚现象并加剧事故危害。此外，周边人口密度以及建筑布局等社会环境因素，也会对事故可能造成的人员伤亡和财产损失程度产生影响。

### 2.3 泄漏事故的扩散传播规律

危险化学品一旦发生泄漏之后，会经历一系列复杂的扩散传播过程。在初期的时候，化学品以泄漏源为中心，在重力和动量的共同作用下形成初始羽流，其形态和浓度分布受泄漏条件与环境因素共同影响，随着时间不断地推移，羽流在风场的作用之下逐渐扩散，进而形成不同的扩散阶段。在扩散的整个过程当中，化学品与周围环境里的物质可能发生氧化、聚合等化学反应，进一步改变其物理化学性质，导致事故危害特征出现变化，扩散过程还可能受到障碍物阻挡、地面吸附等因素的影响，从而让扩散过程变得更加复杂<sup>[2]</sup>。

## 3 现有应急处置技术分析

### 3.1 泄漏封堵技术现状

目前常见的泄漏封堵技术包含机械封堵和化学封堵等，机械封堵采用专用工具直接封堵泄漏孔，操作相对简单但受泄漏孔形状位置压力等因素限制大，对复杂情况难以有效实施，化学封堵利用化学物质与泄漏介质反应形成堵塞物来封堵，适用范围较广但化学反应过程难以精确控制，存在封堵不完全或引发二次反应的风险。

### 3.2 扩散控制技术局限

扩散控制技术主要包括喷水稀释、泡沫覆盖、筑堤拦截等。喷水稀释可在一定程度上降低化学品浓度，但用水量大，且对于一些难溶于水的化学品效果不佳。泡沫覆盖虽能隔绝空气，阻止化学品挥发，但泡沫稳定性有限，易受环境因素影响而失效。筑堤拦截主要用于控制液体化学品扩散，但对于气体化学品效果甚微。此外，这些技术在实施过程中，需要大量人力物力，且在复杂地形和恶劣环境下，操作难度大，难以有效控制化学品扩散范围。

### 3.3 人员疏散与救援技术不足

在人员疏散方面，现有技术主要依赖传统的警报系统和人工引导。警报系统可能存在信号覆盖不全、误报等问题，导致部分人员无法及时收到疏散指令。人工引导则受现场情况限制，在混乱环境中难以确保疏散的有序性和高效性。在救援技术上，救援人员防护装备的防护性能和舒适性有待提高，救援工具的针对性和实用性不足，难以满足不同类型事故的救援需求。同时，救援过程中各部门之间的协同配合机制不够完善，影响救援效率。

### 3.4 环境监测与评估技术短板

环境监测技术方面，现有监测设备在监测指标的全面

性、监测精度和实时性上存在不足。部分设备只能监测特定几种化学品，难以应对复杂泄漏事故中多种化学品同时泄漏的情况。监测精度受环境因素影响较大，可能导致监测结果不准确。实时监测能力有限，无法及时反馈事故现场环境变化。在环境评估技术上，评估模型和方法不够完善，难以准确评估事故对生态环境和人体健康的长期影响，为后续的环境修复和人员健康管理带来困难。

## 4 危险化学品管道泄漏事故应急处置技术优化

### 4.1 泄漏封堵技术优化

#### 4.1.1 新型多功能封堵材料研发

传统封堵材料在应对复杂泄漏状况的时候存在明显局限，新型多功能封堵材料得具备高度适应性才行，要能按照不同泄漏孔形状压力和介质特性自动调整自身状态，比如说材料内部可设计成具有特殊结构的弹性网络。当接触到泄漏介质时通过化学反应让网络结构收缩或者膨胀，从而紧密贴合泄漏孔来实现快速且可靠的封堵，除此之外该材料还应具备良好的柔韧性和密封性，在承受一定压力和温度变化的情况下仍能保持封堵效果，在研发过程当中需要进行大量实验，模拟不同泄漏场景以验证材料的性能和稳定性，确保其在实际应用当中能够有效发挥作用。

#### 4.1.2 封堵工具优化与数据库建设

目前现有的封堵工具在操作便捷性与精准度方面还需要提高，优化封堵工具设计可引入先进机械结构和自动化控制技术，比如采用智能机械臂具备高精度定位和操作能力，能在复杂环境下准确到达泄漏部位，同时配备实时反馈系统让操作人员及时了解封堵进度和工具状态。此外，建立泄漏封堵技术数据库是非常重要的，该数据库应收集不同类型泄漏事故封堵案例包含详细技术参数，像泄漏介质、泄漏孔特征、封堵材料和工具使用情况等，通过对这些数据进行分析 and 挖掘为封堵方案选择和优化提供科学依据，以此提高应对泄漏事故的效率和成功率。

### 4.2 扩散控制技术改进

#### 4.2.1 针对不同化学品扩散控制技术组合开发

不同类型的化学品扩散特性有显著差异，所以要开发多样化的扩散控制技术组合，针对易挥发的有毒气体，采用新型吸附材料跟通风设备结合的方式，新型吸附材料要具备高比表面积和强吸附能力，可快速吸附空气中的有毒气体分子。同时，通风设备需进行合理布局，确保空气流动均匀并将吸附后气体及时排出事故区域。对于液体化学品发生泄漏的情况，研发高效且环保的固化剂是关键所在，固化剂要能和泄漏液体迅速发生化学反应，让其失去流动性并形成稳定的固体物质以利后续清理，在研发过程当中需要考虑固化剂 and 不同化学品的兼容性，还有固化产物的环境安全性<sup>[3]</sup>。

#### 4.2.2 先进设备应用与智能控制系统构建

在复杂地形和危险区域实施扩散控制作业，传统方式

效率低且存在安全隐患。利用无人机、机器人等先进设备可有效解决这一问题。无人机可搭载监测设备和扩散控制装置,快速到达事故现场,对泄漏区域进行实时监测和初步扩散控制。机器人则具备更强的操作能力,可在危险环境中执行封堵、清理等任务。同时,构建智能控制系统,实现对扩散控制设备的远程操控和实时监测。通过传感器实时收集事故现场环境数据,如气体浓度、液体泄漏量等,利用智能算法分析数据并调整控制策略,确保扩散控制作业的高效性和安全性。

### 4.3 人员疏散与救援技术提升

#### 4.3.1 智能化人员疏散引导系统构建

传统的人员疏散方式有信息传递不及时和路线规划不合理等问题,构建智能化人员疏散引导系统能够利用物联网和大数据等技术,实时获取人员位置信息以及事故现场的环境数据,通过智能算法对人员位置和事故发展态势做分析,规划出最佳的人员疏散路线并将疏散指令,通过手机短信和智能穿戴设备提示等多种方式及时发送给相关人员,该系统还需具备动态调整功能,依据事故现场环境变化实时更新人员疏散路线,确保人员可以安全且快速地撤离危险区域,此外系统应该具备可视化界面,便于指挥人员实时掌握人员疏散情况并进行统一调度。

#### 4.3.2 救援装备研发与多部门协同机制完善

救援人员防护装备的性能直接影响救援工作的开展。加强防护装备研发,需提高其防护等级,增强对多种化学品的防护能力。例如,采用新型材料制作防护服,具有良好的耐腐蚀性和透气性,能够有效阻挡化学品的侵害,同时减轻救援人员的负担。研发多功能救援工具,集成切割、破拆、检测等多种功能,满足不同救援场景需求。此外,建立健全多部门协同救援机制至关重要。加强各部门之间的信息共享和沟通协调,明确各部门职责和分工。定期开展联合演练,提高各部门之间的协同作战能力,确保在危险化学品管道泄漏事故发生时,能够迅速、有效地开展救援工作。

### 4.4 环境监测与评估技术完善

#### 4.4.1 环境监测设备性能提升与监测范围扩大

传统环境监测设备在监测指标精度和实时性上有不足,研发高精度多功能的监测仪器是提高环境监测能力的关键,

此仪器要能同时监测多种危险化学品且具备高灵敏度,它还需有低检测限以准确检测环境中微量化学品存在,同时仪器要具备抗干扰能力强和实时传输数据等特点,这样才能确保监测数据准确性与及时性,利用卫星遥感和无人机监测等手段可扩大监测范围,以此实现对事故现场及周边区域全覆盖监测,卫星遥感能快速获取大面积区域环境信息,无人机监测可对重点区域进行详细监测,二者结合能提高监测效率和全面性。

#### 4.4.2 环境评估模型方法完善与修复效果评估机制建立

现有环境评估技术存在评估指标不全面、评估结果不准确等问题。完善评估模型和方法,需综合考虑化学品的毒性、扩散范围、环境敏感性等因素,建立科学的评估指标体系。引入大数据分析和人工智能技术,对监测数据进行深度挖掘和分析,通过建立数学模型预测事故对环境的长期影响,提高评估结果的准确性和可靠性。同时,建立环境修复效果评估机制,定期对修复后的环境进行监测和评估。制定详细的评估标准和流程,对土壤、水体、大气等环境要素进行全面检测,确保生态环境得到有效恢复。若修复效果不达标,应及时调整修复方案,直至环境达到安全标准。

## 5 结论

危险化学品管道泄漏事故演化机理复杂,涉及泄漏源特性、环境因素耦合以及扩散传播规律等多个方面。现有应急处置技术在泄漏封堵、扩散控制、人员疏散与救援、环境监测与评估等方面存在诸多不足。通过优化泄漏封堵技术、改进扩散控制技术、提升人员疏散与救援技术以及完善环境监测与评估技术,可显著提高应对危险化学品管道泄漏事故的能力。这些优化措施有助于更有效地控制事故发展,减少人员伤亡和财产损失,降低对生态环境的破坏,为保障社会公共安全提供有力支持。

### 参考文献

- [1] 张瑜.天然气管道次声波泄漏监测技术分析[J].化工管理,2020(10):136-137+139.
- [2] 张雪晶,潘迪,武经纬,等.生态环境监测站化学品安全管理体系建设探讨[J].实验与分析,2025,3(01):60-66.
- [3] 丁斌,孙平.化工生产中危险化学品泄漏监测与控制技术研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025,(02):43-45.