

# Research on risk assessment and emergency treatment technology of urban gas pipeline leakage

Yakupjiang·Maitisaiyidi Xiaohui Ma

Xinjiang Hotan Xinjie Energy Co., Ltd., Hotan, Xinjiang, 848000, China

## Abstract

Urban gas pipeline networks serve as critical infrastructure for energy supply, residential services, and industrial operations. However, aging pipelines, complex environmental conditions, and external damage frequently lead to gas leaks, triggering severe disasters such as fires and explosions that endanger public safety and urban infrastructure. In this context, the development of scientific risk assessment systems and efficient emergency response technologies has become imperative for the industry's sustainable growth. This study focuses on urban gas pipeline leakage incidents, systematically analyzing accident patterns globally while examining key aspects like risk classification and real-time monitoring. Through case studies from typical cities, we propose an intelligent risk management and emergency response framework leveraging IoT, big data, and AI technologies. Research findings indicate that improving risk classification models, enhancing multi-dimensional monitoring, innovating technical equipment, and optimizing emergency protocols can significantly enhance pipeline safety and emergency response capabilities, thereby strengthening urban resilience and ensuring public safety.

## Keywords

urban gas pipeline network; leakage risk assessment; emergency response; dynamic monitoring; intelligent management; safety warning

# 城市燃气管网泄漏风险评估与应急处置技术研究

亚库普江·麦提赛伊迪 马晓辉

新疆和田新捷能源有限公司, 中国·新疆 和田 848000

## 摘要

城市燃气管网是城市能源供应、居民生活与工业生产的关键支撑。但受管网老化、环境复杂、外力破坏等因素影响,燃气泄漏事件频发,引发火灾、爆炸等严重灾害,严重威胁公共安全与城市运行。在此背景下,科学的风险评估体系与高效的应急处置技术成为燃气行业高质量发展的必然需求。本文聚焦城市燃气管网泄漏,系统梳理国内外事故特征,剖析风险分级、动态监测等关键环节,归纳应急处置技术创新实践。结合典型城市案例,提出依托物联网、大数据、人工智能的智能化管理与应急响应体系。研究表明,完善风险分级模型、强化多维监控、创新技术装备、优化预案流程,可提升管网本质安全与应急处置能力,为城市韧性建设和公共安全提供保障。

## 关键词

城市燃气管网; 泄漏风险评估; 应急处置; 动态监控; 智能管理; 安全预警

## 1 引言

城市化浪潮下,燃气管网系统作为城市“生命线”,广泛分布于城市各区域。然而,其埋深大、覆盖广、环境复杂等特性,使管道在长期运营中面临腐蚀、第三方破坏、地质灾害等多重风险。燃气泄漏极易引发爆炸、火灾等重大事故,威胁人民生命财产与社会稳定。

因此,开展科学泄漏风险评估、建立高效应急处置体系至关重要。近年来,国内外学者虽在相关领域取得诸多进

展,但在模型科学性、监测全面性等方面仍存短板。本文聚焦城市燃气管网泄漏风险评估与应急处置技术,综合事故案例、理论与工程实践,从风险辨识到应急处置技术创新,提出适配智慧城市与新型城镇化的管理技术路径,为管网安全运行与应急管理提供参考。

## 2 城市燃气管网泄漏风险成因与事故特征

### 2.1 管网老化与结构性隐患

大量城市燃气管道始建于较早时期,受当时技术条件限制,部分管道采用了早期工艺,所选用材料的耐久性存在明显不足。在长期运行过程中,这些管道犹如“带病上岗”,极易出现腐蚀穿孔、接口松动、焊缝老化等一系列结构性隐患,仿佛一颗颗“定时炸弹”,随时可能引发燃气泄漏事故。

【作者简介】亚库普江·麦提赛伊迪(1997-),男,维吾尔族,中国新疆和田人,本科,助理工程师,从事燃气工程研究。

不仅如此,管道在运行中还会受到多种外力影响。管道受力变形、管基沉降,以及地震、地质变迁等自然灾害,都可能对管道造成局部损伤,使原本微小的渗漏点逐渐扩大,进一步加剧了安全风险。同时,城市燃气管道布局错综复杂,穿越道路、河流、建筑等不同区域,这给管道的修复与检测工作带来了极大困难。<sup>[1]</sup> 隐患排查与治理周期长,使得管道健康状况难以得到及时改善,持续恶化的情况时有发生,给城市公共安全带来了严峻挑战。

## 2.2 外部环境与人破坏风险

在城市建设蓬勃发展的当下,市政工程、道路施工、地铁挖掘、地下管廊改造等第三方施工活动极为频繁。这些施工犹如“无形的利刃”,极易在不经意间误伤埋藏于地下的燃气管道,成为近年来燃气泄漏事故高发的关键诱因。部分区域的环境条件更是雪上加霜,地下水位波动、土壤腐蚀性以及季节冻融等因素,如同“慢性毒药”,不断侵蚀管道外防护层,使其损坏加剧,进一步放大了燃气泄漏的风险。此外,施工管理存在的漏洞、信息传递的不畅以及应急协同的不足,使得一旦发生燃气泄漏事故,难以迅速有效地控制局面,往往导致事故损失不断扩大,给城市公共安全和居民生活带来严重威胁。

## 2.3 运行管理与监控能力不足

当前,部分燃气企业在设施管理方面存在诸多亟待解决的问题,暴露出管理体系的薄弱环节。设施资产底数不清是突出问题之一,由于信息化建设滞后,企业难以全面、准确地掌握自身设施资产状况,导致在规划、维护和更新时缺乏科学依据。同时,缺乏全生命周期资产管理和隐患档案,使得设施从规划、建设到运行、退役的全过程管理缺乏系统性和连贯性,隐患排查与治理难以形成闭环。

日常巡检手段单一,管网运行状态实时监控覆盖面有限,进一步削弱了企业的风险防控能力。特别是早期铺设的中小口径支管道、入户管线等薄弱环节,不仅可能造成燃气浪费,更会严重威胁周边居民的生命财产安全。<sup>[2]</sup> 燃气企业必须正视这些问题,加快信息化建设,完善管理体系,提升风险防控水平。

# 3 城市燃气管网泄漏风险评估体系与模型构建

## 3.1 风险辨识与分级指标体系

科学的风险评估以系统性辨识和分级为基础,综合考虑管道材料、敷设年限、埋深、地质环境、周边建筑、管网压力、历史隐患、第三方活动强度等多维因素,构建多层次、多参数的风险指标体系。常用方法包括层次分析法、模糊综合评判、失效概率分析、贝叶斯网络等。通过指标权重分配与量化分析,对不同区域、类型、环节的管网风险进行分级,形成风险分布图,实现隐患“精准画像”。

## 3.2 量化风险评估模型

在燃气管网风险分级的基础上,构建量化风险模型

是精准评估风险、保障安全运行的关键举措。该模型需综合考量管道失效概率、泄漏量、扩散速度、周边人员暴露度以及潜在经济损失等多维度参数,这些参数相互关联、相互影响,共同决定了事故发生的可能性与严重程度。

为准确量化事故发生的概率和后果严重度,可采用蒙特卡洛模拟、模糊概率、事件树分析等先进方法。蒙特卡洛模拟通过大量随机抽样,模拟各种可能的风险场景;模糊概率能处理不确定性信息,提高评估的准确性;事件树分析则可清晰地展示事故发展路径和可能结果<sup>[3]</sup>。

近年来,数值模拟软件与GIS空间分析的深度融合,为风险评估带来了新的突破。二者结合能够动态预测泄漏扩散路径、危险影响半径等关键信息,为事故预防策略的制定和应急资源的合理布控提供坚实、科学的决策依据,有力推动燃气管网安全管理向精细化、智能化迈进。

## 3.3 动态监测与预警技术集成

在物联网、大数据、无线传感等前沿技术的深度融合下,现代燃气管网正经历着一场智能化变革。通过在管网中广泛布设压力、流量、气体浓度、温度等多维智能传感器,构建起了一张全方位、实时性的数据感知网络。这些传感器如同敏锐的“神经末梢”,能够不间断地采集管网运行的关键数据,并对异常事件进行主动识别,让潜在的安全隐患无所遁形。

基于大数据分析机器学习算法,系统搭建起了异常模式识别与泄漏智能预警平台。它就像一位经验丰富的“安全卫士”,通过对海量数据的深度挖掘和分析,精准识别出可能预示泄漏的异常模式,并及时发出预警。一旦检测到风险,平台可自动推送风险告警信息,并联动应急处置机制,迅速采取应对措施<sup>[4]</sup>。这不仅极大地提升了泄漏发现的及时性,更使燃气管网管理迈向了科学化、智能化的新高度。

# 4 城市燃气管网应急处置技术与创新实践

## 4.1 泄漏检测与定位技术进步

燃气管道安全关乎城市能源供应与居民生活稳定,其泄漏检测技术也在不断革新。早期,主要依赖传统人工巡检与肥皂水检漏。人工巡检效率低,且易受人员经验、体力等因素影响,难以全面覆盖管网,对隐蔽泄漏点更是力不从心;肥皂水检漏虽简单直接,但仅适用于局部小范围检测,无法满足大型复杂管网的需求。

随着科技发展,多元化检测技术应运而生。高灵敏度气体检测仪能精准捕捉空气中微量燃气;新一代装备进一步提升了检测效能,移动式气体检测、无人机巡检、光纤传感等,可快速巡查大型复杂管网。此外,基于地理信息系统的泄漏溯源与路径模拟技术,能为大范围、隐蔽性强的泄漏事故应急处置提供有力技术支撑。

## 4.2 源控与隔离技术优化

燃气管道一旦发生泄漏,迅速控制泄漏源并隔离危险

区域是防止事故扩大、保障生命财产安全的关键。传统方式下,人工关闭阀门不仅效率低下,而且在危险环境中操作,人员面临极大安全风险。近年来,智能远程阀控系统的广泛应用带来了变革。借助先进的通信与自动化控制技术,该系统实现了远程一键关断功能,操作人员可在安全区域快速切断泄漏区段燃气供应<sup>[9]</sup>。此外,柔性气囊封堵、应急带压堵漏等新技术的出现,进一步丰富了封堵手段。它们能适应不同管径、压力及工况下的快速封堵需求。而动态压力调控与分布式隔离技术的结合,可根据管网实际运行情况,精准调整压力分布,实现高效隔离,显著提升了复杂管网事故处置的效率和安全性。

### 4.3 应急救援与善后处置体系建设

城市燃气泄漏事故应急救援强调多部门联动与流程标准化。应急指挥系统依托GIS和信息化平台,整合调度燃气企业、消防、公安、医疗等资源,规范现场侦检、人员疏散、火灾扑救、医疗救护、环境修复等环节。救援队伍配备呼吸防护、检测装备、通信设备等专业工具,提升现场处置和救援效率。事故善后处置包括残余气体清理、管道维修加固、周边环境修复、受灾群众安置与心理疏导等,实现事故影响最小化和社会秩序恢复。

## 5 智能化管网风险管理与应急体系创新

### 5.1 智能平台建设与信息集成

在燃气管网管理领域,借助物联网、大数据和云平台等前沿技术,构建覆盖全市域的燃气管网风险管理与应急处置智能平台已成为必然趋势。该平台犹如一个“智慧大脑”,将实时监控、数据分析、预警推送、应急联动以及资源调度等多项功能集于一体。

通过物联网技术,大数据和云平台则负责对海量数据进行存储、处理和分析,实现管网的“全景感知”。多源信息的汇聚与可视化展示,为风险评估提供了全面、准确的数据支持,使决策分析更加科学合理。同时,借助该平台还能开展预案演练,提前发现潜在问题并加以完善。这种一体化管理模式,极大地提升了管网安全的预测性和主动防控能力,能够提前发现隐患并及时采取措施,将风险扼杀在萌芽状态,保障燃气管网的安全稳定运行。

### 5.2 大数据与人工智能驱动下的决策优化

依托大数据平台,可对燃气管网全生命周期的运行数据进行全面采集和深入分析。这些数据不仅包括管网本身的

运行参数,还融合了历史事故信息、风险点分布、维修记录以及环境参数等多方面内容。通过对这些数据的深度挖掘,能够实现隐患的自动识别和趋势预测,提前感知管网可能出现的问题。

人工智能技术的引入,则为应急响应提供了更强大的支持。它可以优化应急响应路径,根据实际情况快速规划出最佳救援路线;合理分配资源,确保人员、物资和设备能够在最短时间内到达现场;还能进行风险演化模拟,自动生成多情景应急预案。智能调度算法可根据现场情况动态调整资源分配,保障现场处置工作高效有序进行。这一系列举措显著提升了决策的科学性和应急响应速度,为燃气管网的安全运行提供了坚实保障。

## 6 结语

城市燃气管网安全与应急处置能力建设,是保障城市韧性与公共安全的重要基础。本文系统梳理了燃气管网泄漏风险成因、事故特征、风险评估体系、应急处置技术及智能化管理模式,提出基于智能监测与大数据分析的综合防控策略。未来,城市燃气管网需持续推进信息化、智能化、标准化建设,加强多元主体协同与政策支持,完善隐患排查、动态评估和应急预案体系,推动应急技术装备创新,实现“防—控—治—救”一体化闭环管理。唯有如此,才能切实提升城市燃气管网本质安全和突发事件应急处置能力,为现代城市安全发展和人民生命财产安全提供坚强保障。

### 参考文献

- [1] 陈旭东.基于人工智能优化的城市燃气管网泄漏检测与定位系统研究[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.2025人工智能与工程管理学术交流论文集.徐州中石油昆仑燃气有限公司;2025:232-233.
- [2] 张刚,钟炎鑫,庄学良,等.城市燃气管网泄漏检测系统构建与实验设计[C]//《煤气与热力》杂志社有限公司.中国燃气运营与安全研讨会(第十三届)论文集(上册).平湖市天然气有限公司;2024:33-38.
- [3] 李聪,徐子烜,王雨情,等.城市燃气管网泄漏事故分析知识图谱构建及应用研究[J].中国安全生产科学技术,2022,18(10):5-12.
- [4] 卢新鹏,侯佩欣.城市燃气管网泄漏的智能检测应用与展望[J].低碳世界,2020,10(09):48-49.
- [5] 曹博宇.城市燃气管网泄漏诊断及应急研究[D].北京建筑大学,2018.