

燃气管道第三方破坏风险评估与防控策略

李传昆 (济南能源投资控股集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 城市化进程的加速推动了城市建设的密集开展, 燃气管道第三方破坏事故随之频发, 对公共安全与社会稳定构成严重威胁。本文聚焦施工挖掘、违规占压等核心破坏类型, 搭建涵盖风险因子甄别、评估模型构建、风险等级界定的全链条评估框架, 提出“智能监测-协同监管-应急响应”三位一体的防控体系。通过层次分析法(AHP)实现风险指标的量化赋值, 结合模糊综合评价法(FCE)完成风险等级的精准判定, 融入物联网感知、AR实景导航等先进技术手段提升防控实效。研究成果为燃气管道安全管理提供了科学的决策支撑, 有助于显著降低事故发生率, 筑牢城市燃气系统安全运行防线。

关键词: 燃气管道; 第三方破坏; 风险评估; 防控体系; 层次分析法; 模糊综合评价法

中图分类号: TU996.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0157-03

Risk Assessment and Prevention Strategies for Third-Party Damage to Gas Pipelines

Li Chuankun (Jinan Energy Investment Holding Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: The acceleration of urbanization has intensified urban construction activities, leading to frequent third-party damage incidents involving gas pipelines, which pose serious threats to public safety and social stability. This study focuses on core damage types such as construction excavation and unauthorized occupation, establishing a comprehensive risk assessment framework encompassing risk factor identification, model construction, and risk level classification. It proposes a three-in-one prevention and control system of “intelligent monitoring-coordinated supervision-emergency response.” By employing the Analytic Hierarchy Process (AHP) for quantitative risk indicator scoring and combining the Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) method for precise risk level determination, the study integrates advanced technologies like IoT sensing and AR real-scene navigation to enhance prevention effectiveness. The research provides scientific decision-making support for gas pipeline safety management, significantly reducing accident rates and strengthening the safety operation defense of urban gas systems.

Keywords: gas pipeline; third-party damage; risk assessment; prevention and control system; Analytic Hierarchy Process; fuzzy comprehensive evaluation method

燃气管道作为城市能源保障的核心基础设施, 其安全稳定运行直接关系到城市功能的正常发挥与居民的日常生活品质。近年来, 随着城市更新、道路扩建、地铁修建等工程的大规模推进, 各类施工活动愈发频繁, 燃气管道遭遇第三方破坏的风险持续攀升。第三方破坏特指非管道运营主体在工程建设、挖掘作业、绿植栽种等活动中, 对燃气管道造成物理损伤或影响其安全运行的行为。相关统计数据显示, 第三方破坏引发的燃气事故占比连续五年维持在 65% 以上, 已成为制约燃气管道安全运营的首要瓶颈。

深入开展燃气管道第三方破坏风险评估与防控策略研究, 对于提升燃气管道安全管理精细化水平、减少安全事故造成的人员伤亡与经济损失、保障城市安全韧性运行具有重要的现实意义。本文整合风险管理理论、工程技术方法与信息化手段, 对第三方破坏风险进行系统梳理与深度剖析, 构建科学的评估模型并优化防控策略, 为燃气行业安全发展提供切实可行的参考路径。

1 燃气管道第三方破坏风险评估体系构建

系统识别并科学分类第三方破坏风险因素, 是构

建高效风险评估体系的前提。基于对近五年全国 128 起典型事故案例的深度剖析, 结合 BP 神经网络算法建立风险特征数据库, 同时融合一线工程实践经验总结, 将核心风险因素划分为施工行为风险、管理体系缺陷、技术保障不足三大维度。

其中, 施工行为风险涵盖盲目机械开挖、野蛮施工、违规占压等高频致灾行为; 管理体系缺陷包含跨部门协同机制缺失、风险告知流程不规范、第三方施工审批流于形式等制度漏洞; 技术保障不足则表现为管道定位标识模糊、智能监测终端覆盖率低、风险预警模型滞后等技术短板。经统计分析, 施工行为风险引发事故占比达 63%, 管理体系缺陷导致事故占比 28%, 技术保障不足引发事故占比 9%, 三者形成相互作用的风险传导链条。

施工行为风险: 第三方施工是导致燃气管道破坏的最主要诱因。城市建设中, 市政工程、建筑施工、管线铺设等项目密集开展, 部分施工单位未采用精准探测技术, 对地下燃气管道的走向、埋深等信息掌握不全面, 盲目使用大型机械作业极易造成管道损伤。数据显示, 施工行为引发的第三方破坏事故占比达

62.3%。例如 2023 年某城市主干道翻新工程中，施工单位未结合地质雷达探测结果与 GIS 管线数据进行比对，仅凭经验使用挖掘机开挖，导致 DN300 燃气管道断裂，造成周边 3 个社区停气 12h，直接经济损失超 80 万元。

管理体系缺陷：管理机制的不完善是第三方破坏风险加剧的关键推手。燃气运营单位、建设单位与施工单位之间未建立标准化信息交互机制，施工单位获取的管线数据存在滞后性，部分数据误差达 15% 以上。部分建设单位在项目审批阶段对管道保护重视不足，未严格审核施工方案中的防护措施，导致存在安全隐患的方案落地实施。

此外，施工现场安全责任划分模糊，监理单位履职不到位，违规作业行为未能及时制止。如 2022 年某工业园区施工项目中，施工单位擅自变更施工路线且未告知燃气运营单位，监理单位未履行现场监督职责，最终导致燃气管道被挖断，引发局部区域燃气泄漏。

技术保障不足：技术手段的滞后限制了风险防控的有效性。传统人工巡检模式效率低下，人均日均巡检里程仅 5-8km，难以实现全覆盖、无死角监测。部分老旧管网未配备智能监测设备，无法实时捕捉管道压力波动、周边振动等异常信号，隐患发现存在明显滞后性。同时，燃气管道标识系统不完善问题突出，警示桩损坏、标识信息模糊等情况普遍存在，施工人员难以精准定位管道位置。在某老旧小区改造项目中，因管道标识缺失，施工单位在地下管线施工中 3 次误挖燃气管道，引发 2 起小型泄漏事故。

1.1 风险评估模型构建

在风险因素识别基础上，构建科学的评估模型是实现风险精准研判的核心。本研究采用层次分析法（AHP）与模糊综合评价法（FCE）相结合的方式，打造兼具科学性与实操性的风险评估模型。

1.1.1 指标体系设计

基于层次分析法构建三级评估指标体系：目标层为第三方破坏风险综合指数，全面反映管道面临的风险程度；准则层包含施工行为风险（权重 42%）、管理体系缺陷（权重 33%）、技术保障不足（权重 25%）三大维度；指标层涵盖机械作业强度与方式、管道保护方案执行到位率、智能监测设备覆盖率等 12 项具体指标。邀请 15 名燃气行业专家、资深工程师通过德尔菲法开展三轮打分，运用层次分析法计算指标权重，确保权重分配与实际风险影响程度相符。

1.1.2 评估方法选择

采用模糊综合评价法量化风险等级。通过专家打

分确定各指标风险等级隶属度，构建模糊判断矩阵，经归一化处理计算管段风险综合隶属度。将风险等级划分为四级：低风险（Ⅰ级， <0.3 ）、中风险（Ⅱ级， $0.3-0.5$ ）、较高风险（Ⅲ级， $0.5-0.7$ ）、高风险（Ⅳ级， >0.7 ）。以某城市老城区 DN400 燃气主干管为例，通过采集 12 项指标数据并组织专家打分，构建模糊判断矩阵后计算得出风险隶属度为 0.63，判定为Ⅲ级较高风险，需优先部署防控资源。

1.2 风险等级划分与应用

结合城市管网地理信息系统（GIS），将风险评估结果可视化呈现，绘制“第三方破坏风险热力图”。通过热力图可直观展现不同区域、不同管段的风险分布情况，对施工密集区、老旧管网集中区等高风险区域实施重点管控。某燃气企业应用该评估体系后，完成了辖区内 860km 燃气管网的全面评估，精准定位 27 处高风险管段、43 处中风险管段。针对高风险管段强化智能监测设备部署与巡检频次，事故发生率较上年下降 68%，充分验证了评估模型的实用性与有效性。

2 第三方破坏防控策略优化

2.1 技术防控措施：构建智能监测网络

2.1.1 物联网（IoT）实时监测系统

搭建基于物联网的全维度监测网络是技术防控的核心。在管道沿线科学部署低功耗振动传感器（响应时间 $\leq 0.5s$ ）、高精度压力变送器（测量误差 $\pm 0.1\%FS$ ）、激光泄漏检测仪等设备，实现对管道运行参数与周边环境的实时感知。借助 LoRa/NB-IoT 低功耗广域网技术，将监测数据实时回传至智慧燃气管控平台，平台通过算法模型对数据进行分析研判，当检测到异常信号时自动触发分级预警，实现违规施工扰动、管道泄漏等风险的提前预警。某试点项目应用该系统后，成功提前 18min 预警 3 起违规挖掘行为，误报率控制在 3.2% 以内。

2.1.2 标识系统智能化升级

针对传统标识系统弊端，实施全方位升级改造。采用耐候性强、夜间荧光高亮的警示桩，提升恶劣环境下的辨识度；推广二维码智能标识牌，集成管道规格、埋深、压力等级、应急联络方式等核心信息，施工人员与巡检人员通过移动端扫描即可快速获取；结合 AR 实景导航技术，在移动端 APP 中实现管道三维走向与现实场景的叠加显示，定位误差控制在 0.3m 以内，有效解决管道定位难题。

2.2 管理防控措施：强化全流程协同监管

2.2.1 施工审批“三必查”机制

建立施工审批全流程管控机制，从源头防范风险。

一是管线信息必核,要求施工单位提前5个工作日提交地质雷达探测报告与GIS管线比对结果,确保管线定位准确率100%。

二是保护方案必审,燃气企业联合住建部门对施工方案中的管道保护措施进行专项审核,重点核查防护方案的针对性、应急备用方案的可行性等6项核心内容。

三是现场监护必到,高风险作业区域实行“一人一段”监护责任制,燃气企业派驻专业技术人员24h旁站监护,每2h提交一次现场巡检记录,及时制止违规作业行为。2024年某城市推行该机制后,施工单位管线信息核查准确率提升至99%,违规作业发生率下降82%。

2.2.2 多方联动信息共享平台

开发“燃气运营-施工单位-监管部门”三方协同信息平台,打破信息壁垒。平台集成施工备案、管线查询、风险预警、应急调度4大核心模块,施工单位可通过平台在线提交施工申请、查询精准管线数据;燃气运营单位实时推送风险预警信息、共享巡检记录;监管部门通过平台实现施工全过程动态监管,及时查处违法违规行。西气东输管道公司应用该平台后,第三方破坏风险评估周期从7天缩短至2h,施工与燃气运营单位的信息交互效率提升90%,风险处置响应速度显著加快。

2.3 应急防控措施:完善快速响应体系

2.3.1 分级应急处置预案

制定精细化分级应急预案,明确不同等级事故的处置流程与责任分工。按照泄漏量、影响范围等指标将事故划分为三级:Ⅰ级(重大)事故指泄漏量 $\geq 50\text{m}^3/\text{h}$,影响范围超 1km^2 ;Ⅱ级(较大)事故指泄漏量 $10\text{--}50\text{m}^3/\text{h}$,影响范围 $0.3\text{--}1\text{km}^2$;Ⅲ级(一般)事故指泄漏量 $<10\text{m}^3/\text{h}$,影响范围 $<0.3\text{km}^2$ 。对应不同等级制定响应流程,Ⅲ级事故要求3min内切断气源、15min内应急队伍抵达现场、1h内完成人员疏散;Ⅰ级事故启动跨区域应急联动机制,协调消防、医疗、环保等多部门协同处置,最大限度降低事故损失。应急预案每半年修订一次,确保与管网运行状况、城市发展规划相适应。

2.3.2 常态化跨部门应急演练

建立常态化应急演练机制,提升应急处置实战能力。每季度组织燃气、消防、环保、社区等多部门开展联合演练,模拟“施工破坏-泄漏扩散-爆炸预警-人员疏散-现场处置”全场景流程。演练后采用PDCA循环进行复盘,重点分析处置流程中的薄弱环节,优化应急预案与资源调配方案。某燃气企业通过

常态化演练,应急队伍响应时间缩短45%,物资调配效率提升60%,2023年成功处置2起第三方破坏引发的泄漏事故,未造成人员伤亡与重大财产损失。

3 结论

本文围绕燃气管道第三方破坏风险管控核心需求,构建了科学完善的评估体系与防控策略,为燃气管道安全管理提供了创新思路与实操方案。风险评估体系方面,通过系统梳理施工、管理、技术三大维度风险因素,创新性地将AHP与FCE相结合并引入专家权重动态调整机制,有效降低了传统评估方法的主观误差,实现了风险的精准量化与分级。

防控策略层面,形成了技术、管理、应急三位一体的全方位防控体系。技术上构建“物联网+GIS+AR”智能监测网络,实现风险的实时感知、精准定位与提前预警;管理上建立“三必查”审批机制与多方协同平台,打通信息壁垒、强化全流程监管;应急上完善分级预案与常态化演练机制,提升事故快速处置能力。三者有机结合,构建了“事前预防-事中控制-事后处置”的全周期风险管控闭环,有效破解了第三方破坏风险防控难题。

未来可进一步探索数字孪生技术在管道风险防控中的应用,构建管道三维仿真模型实现破坏场景动态模拟,同时推动城市地下空间“气-电-水”管网数据共享,打造一体化安全管理平台,持续提升燃气管道安全防控的智能化、精细化水平。

参考文献:

- [1] 张磊. 城镇燃气管道第三方施工破坏防控技术研究[J]. 城市燃气, 2025(09):41-45.
- [2] 陈明远, 赵刚, 李娜, 等. 燃气管道第三方破坏风险评估模型优化研究[J]. 油气储运, 2025, 44(07):821-827.
- [3] 刘敏. 城市燃气管道安全监管的多方协同机制研究[J]. 安全与环境工程, 2025, 32(03):14-19+26.
- [4] 周明, 吴婷. 智能监测技术在燃气管道第三方破坏防控中的应用[N]. 中国燃气报, 2025-06-23(004).
- [5] 赵伟. 老旧燃气管网第三方破坏风险防控对策探讨[J]. 工程建设与设计, 2025, (12):189-191.
- [6] 马小明, 苏日提, 李雪楠. 防范第三方施工破坏燃气管道管理技术实践[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(下册). 中国燃气控股有限公司, 2024:734-749.
- [7] 孙丹阳. 燃气输配管网第三方破坏的成因分析及对策研究[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(下册). 重庆燃气集团股份有限公司, 2024:658-666.