

城镇燃气输配管网第三方施工破坏风险评价及防控体系构建

史继伟 赵兴帅（山东力科工程设计有限公司，山东 济南 250000）

摘要：为解决城镇燃气输配管网频繁遭受第三方施工破坏的问题，本文围绕其安全风险进行系统研究，从风险识别、指标构建、等级划分等方面提出科学评价体系，并进一步构建包括事前防范、事中监控与事后应急在内的全过程防控机制。通过整合 GIS、物联网、深度学习等技术手段，实现对施工扰动行为的动态感知与高效处置，以期为城镇燃气企业提升风险管理能力、优化安全管理流程提供技术支撑和理论依据。

关键词：城镇燃气输配管网；第三方施工破坏风险；评价；防控体系

中图分类号：TU996 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）024-0121-03

Risk assessment and prevention and control system construction of third-party construction damage of urban gas transmission and distribution network

Shi Jiwei, Zhao Xingshuai (Shandong Like Engineering Design Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: In order to solve the problem of frequent third-party construction damage of urban gas transmission and distribution network, this paper conducts a systematic study on its safety risks, proposes a scientific evaluation system from the aspects of risk identification, index construction, and grade classification, and further constructs a whole-process prevention and control mechanism including pre-prevention, in-process monitoring and post-event emergency response. Through the integration of GIS, Internet of Things, deep learning and other technical means, the dynamic perception and efficient disposal of construction disturbance behaviors are realized, in order to provide technical support and theoretical basis for urban gas enterprises to improve risk management and control capabilities and optimize safety management processes.

Key words: urban gas transmission and distribution network; risk of third-party construction damage; Appraise; Prevention and control system

随着城市建设的快速推进，地下空间资源被广泛开发利用，第三方施工对既有燃气输配管网的干扰日趋频繁，其带来的安全隐患逐渐成为城市运行风险中的高发环节。燃气管网一旦遭受破坏，极易引发泄漏、爆炸等次生灾害，危及公共安全与生命财产。针对这一问题，需构建一套科学、系统、高效的风险评价与防控体系，以增强燃气设施应对外部施工扰动的整体抗风险能力。

1 第三方施工破坏风险识别与分类

第三方施工破坏风险的识别与分类是保障城镇燃气输配管网安全运行的关键环节，需依托系统工程与风险管理理论，建立多维度、分层次的风险识别框架。首先，通过构建基于“人—机—环境—管理”四要素的识别模型，全面解析施工活动中可能引发燃气设施损害的根本诱因；其次，借助地理信息系统（GIS）与管线信息建模（BIM）技术，实现地下管线与施工区域空间关系的精准定位与叠加分析，提升风险识别的精度与响应效率。在分类层面，依据施工行为对燃气管网造成影响的机制与后果等级，风险事件可划分为结构性破坏、功能性干扰与信息性误导三类，其中

结构性破坏如机械挤压或断裂最具突发性与灾害性。结合事故诱发路径与触发条件，还应细化划分为直接风险与间接风险，以便于在后续风险评估与防控策略制定中实现靶向管理与差异化施策^[1]。

2 第三方施工破坏的风险评价体系构建

2.1 风险评价体系设计原则

构建城镇燃气输配管网第三方施工破坏风险评价体系，必须坚持系统性、动态性、定量化与可操作性四项核心设计原则，以确保体系具备科学性、适应性与实用性。系统性原则要求评价指标覆盖从风险源识别到后果评估的全过程，形成闭环结构；动态性原则强调在风险水平变化时体系能实时响应与调整，适用于建设高密度和施工频繁的城市环境；定量化原则通过引入模糊数学、层次分析法（AHP）等方法，将多源异构信息转换为可比性强的数值化指标，以克服定性判断主观性强的问题；可操作性原则要求模型简洁有效，便于在企业实际安全管理中部署应用。评价体系应具备参数自适应能力，在指标设定上应考虑地下管线密度（ ≥ 3 条/km²）、施工频次（月均施工 ≥ 12 次）和事故历史频率（每年 ≥ 2 次）等关键变量，确保模

型结果在多种场景下具有高度可靠性与指导价值。

2.2 风险评价指标体系构建

构建科学的风险评价指标体系需从燃气管网易损性、外部施工扰动强度及管理控制能力三大维度设立层次化评价框架。一级指标下设多个二级量化指标，确保对风险源、传播路径与事故后果的全面覆盖。在燃气管网易损性维度中，应引入管材类型（如球墨铸铁、PE 管）、服役年限（>15 年）、埋深（<0.8m）等指标，以反映设施本体的承载能力；在外部扰动强度方面，应量化施工机械种类（钻机功率 >150kW）、作业距离（距管道 <1.5m）与施工时长（连续作业 ≥ 48h）等影响因子；管理控制能力应包括施工审批流程完备性、管网信息共享程度及应急响应速度（≤ 30 分钟）等指标，反映组织层面的防控能力。指标权重可采用熵权法与 AHP 联合赋值方式，以提高权重分配的客观性与合理性。最终形成的指标体系具备分层清晰、逻辑严密与数据支持充分的特点，为后续的风险等级划分与应对策略制定提供决策基础^[2]。

2.3 风险等级划分标准与模型应用

第三方施工对燃气输配管网的破坏风险需依据定量化模型输出结果进行科学划分，以实现差异化管控与资源精准配置。风险等级一般分为五级：极高风险（I 级）、高风险（II 级）、中风险（III 级）、低风险（IV 级）与极低风险（V 级），对应的风险指数区间分别为 [0.8,1.0]、[0.6,0.8]、[0.4,0.6]、[0.2,0.4]、[0,0.2]。评价模型采用模糊综合评价法（FCE）与层次分析法（AHP）相结合的方式，其中 AHP 用于确定各指标权重，FCE 用于处理模糊性数据，提升模型对不确定性信息的适应性。在具体应用中，将各项风险指标通过归一化处理输入到权重矩阵中，计算得到各区域的综合风险值。部分研究中引入灰色关联分析法对历史数据进行回归验证，模型识别准确率超过 92%。

2.4 风险评估结果的可视化与应用建议

为提升风险评估成果在实际管理中的应用效率与直观性，需借助可视化技术手段对风险评估结果进行空间化呈现与动态跟踪。基于地理信息系统（GIS）平台，结合管网精细化矢量数据与施工扰动热区图，可将风险等级结果以分区色阶图、密度热力图等形式展示，实现对高风险区域的快速识别与精确定位。在关键区域叠加风险因子图层，如埋深 <0.6m 的薄弱管段、高频施工交汇点与历史事故点，形成三维空间预警模型，辅助决策者制定定点防控策略。针对动态变化的施工信息与风险值更新，建议引入时序可视化技术与 WebGIS 架构，实现风险数据的实时刷新与多端展示，便于多部门协同管控。应用建议方面，应将风

险等级图作为施工审批与安全监测的重要依据，同时纳入城市基础设施数字孪生系统中，以支持燃气安全管理的智慧化与精细化转型。

3 第三方施工破坏防控体系构建

3.1 事前防范机制

3.1.1 空间规划与管线信息管理

事前防范阶段的核心在于实现高精度的空间规划与管线信息集成管理，通过构建统一的地下管线数据平台，有效提升空间重叠识别和风险冲突预警能力。基于 BIM-GIS 融合技术，能够实现燃气管网三维可视化建模与动态信息更新，满足对管线位置、深度、材质及运行状态的多维数据呈现。各类管网数据需以 1:500 比例尺精度进行矢量化处理，并与城市地形地貌数据库实现空间联动，为后续施工管控与风险分析提供基础数据支持。同时，应引入地下管线编码标准与元数据规范，统一管线识别体系，提升跨部门协同效率。为保障信息时效性与准确性，建议采用多源数据融合技术，如激光雷达点云扫描、磁探与电法同步探测，数据更新周期不应超过 30 日^[3]。

3.1.2 施工审批与协同机制

施工审批流程的科学化与协同机制的高效性是第三方施工防控体系的关键支撑环节，应建立基于风险等级的分级审批制度与多部门联动响应平台。审批机制需明确施工类型、施工范围、施工方式与管线重叠区域的动态匹配关系，风险等级 ≥ III 级的作业应实行专家复核与现场踏勘相结合的预评估机制。建议采用在线施工申请与审批系统，接入公安、燃气、市政等多个职能部门，实现信息互通、数据共享与时限控制，审批时限应控制在 48 小时以内。施工单位须提交地下管网影响分析报告及施工风险控制方案，经燃气企业技术人员审核通过后方可实施。协同机制方面，应设立城市基础设施联合协调中心，定期组织协调会议并形成管控纪要，构建“信息共享—联合审核—协同监管”的闭环管理模式，确保施工全过程可控、可查、可追溯。

3.1.3 风险预判与预警发布机制

风险预判与预警发布机制需依托多源信息融合与智能化分析技术，建立一套动态响应、高灵敏度的风险感知与发布系统。在预判层面，应构建基于机器学习的风险预测模型，输入因子包括管线老化程度、施工扰动指数、地质敏感等级等多维数据，模型训练样本量不少于 3000 组，以提升预测准确率至 95% 以上。模型输出的高风险施工行为应通过自动识别系统推送至监管平台，并触发分级响应机制。预警机制采用多通道发布方式，包括短信推送、应急广播、监管终端同步提醒等，确保风险信息在 5 分钟内传达至所有相

关主体。同时，应结合 SCADA 系统与物联网感知节点的数据输入，对施工异常行为进行实时监测与反馈，预警信息需标注时间、位置、等级与建议措施，实现从静态防控向动态感知的技术跃升，为管网安全防控提供高时效、高精度的技术支撑^[4]。

3.2 事中监控体系

3.2.1 智能监测与实时感知

事中阶段的安全保障依赖于智能监测系统的高频数据采集与多维感知能力，应在关键管段部署基于物联网（IoT）架构的分布式传感网络，实现施工扰动、地表形变及振动信号的全时段感知与主动识别。系统核心由地磁传感器、加速度计、声波监测器与压力感应模块构成，采样频率应控制在 1Hz~5Hz 之间，数据传输延迟不高于 2s，以满足实时预警需求。感知终端通过 LoRa 或 NB-IoT 协议与中心平台通讯，实现低功耗广域覆盖，适配复杂城市环境。在信号识别层面，结合深度学习算法（如 CNN 与 RNN 混合结构），可对施工引发的微扰信号进行模式识别与异常分类，准确率维持在 96% 以上。平台应支持连续 24h 监控、自动触发多级响应命令与监测日志归档，为动态干预和应急调度提供实时依据，提升系统的响应速率与处置精度。

3.2.2 联动监管与信息响应机制

高效的联动监管与响应机制是实现事中全过程风控的制度基础，应构建以应急协调平台为核心、多机构并行参与的智能联动系统。监管架构以“一主三辅”形式部署，主控中心对接城管、燃气、住建等职能平台，辅控节点覆盖施工企业、监理单位与属地街道，实现事件响应从发现到处置全过程闭环控制。系统运行依托统一数据接口标准，保障不同部门间信息同步速率小于 10 秒，数据一致性误差低于 2%。一旦传感系统触发异常预警，平台自动生成事件工单，匹配责任单位并推送至监管终端，指令响应时限应控制在 15 分钟内。同时引入事件权重评估机制，对不同风险等级采取对应处置策略，如启动远程视频复核、调度应急人员驻点、封控高危作业区域等。

3.3 事后应急响应体系

3.3.1 快速响应与封控能力建设

事后应急响应体系的核心在于构建多层次、高效率的快速处置与区域封控能力，确保燃气管网在突发破坏事件中实现最小化损害与最短响应时长。应急响应模块应基于“时间窗最小化”原理设计，构建集成调度、资源调用与通信联动为一体的统一指挥平台，要求初次响应时长不超过 8min，主要受损区域封控完成时间控制在 15min 内。装备配置方面，抢险队伍应

常态化驻点布设于高风险区，装备移动式调压装置、应急封堵阀、便携式泄漏检测仪与无人机巡检单元等关键设备，每个抢险单元需保障 72h 独立作业能力。封控技术路径可采用智能远程截断系统，结合地理定位与压力监测信息，实现自动化分段封锁^[5]。

3.3.2 事件归因与闭环管理

实现事故事件的科学归因与全过程闭环管理，是构建可持续燃气安全管理体系的关键一环。归因机制需引入多源数据回溯系统，整合事故前 30 天内的传感数据、施工记录、GIS 变化日志及视频监控内容，利用贝叶斯网络与关联规则挖掘技术对事故诱因进行概率建模与路径识别，归因分析准确率应达到 90% 以上。闭环管理结构包括事故记录、责任认定、整改执行与绩效追踪四个模块，每个模块需配置标准化操作规程与责任单位明细。事故一旦确认，应在 48h 内完成事件技术报告，报告应包含诱因分析图谱、应对措施评估与管理建议等要素。整改执行阶段要求通过数字化化工单系统跟踪执行进度与关键节点完成情况，实现过程可视、节点可控。绩效追踪环节应构建事故责任评价模型，结合历史响应数据进行单位绩效打分，为后续资源配置与考核提供数据支撑，从而形成从事件归因到系统优化的全流程闭环体系。

4 结语

总而言之，城镇燃气输配管网在复杂城市运行环境中面临着第三方施工活动带来的高频次安全挑战。通过系统构建科学的风险评价模型与全流程防控体系，能够有效提升燃气设施在规划、施工、监控与应急各环节的安全韧性。风险源识别精细化、指标体系量化、多部门联动响应机制以及信息可视化平台建设，构成了保障管网稳定运行的关键技术支撑。未来应持续推动智能化技术深度融合，构建更加动态、高效与自适应的燃气安全管理体系。

参考文献：

- [1] 段玄. 城镇燃气管网生命线安全监测系统应用与实践 [J]. 中国建设信息化 ,2024(11):48-51.
- [2] 廖守稷. 城镇燃气管网第三方破坏原因及对策分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2022,42(01):140-141+144.
- [3] 王文想. 数据分析技术在城镇燃气管道安全管控的应用 [J]. 煤气与热力 ,2023,43(11):40-43.
- [4] 陈华鹏. 城镇燃气管网第三方交叉施工破坏预防措施讨论 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2020, 40(17):124-125.
- [5] 张峰. 城镇燃气管网安全运行问题及其对策 [J]. 化工管理 ,2020(05):71-72.