

城市生命线燃气管网安全运行需求与建议分析

张彪 (合肥合燃华润燃气有限公司, 安徽 合肥 230031)

庞茂安 (山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 随着城镇化进程加速, 城市燃气管网作为重要的生命线工程, 其安全运行面临隐蔽性高、耦合风险大、数据更新滞后等挑战。本文基于燃气管网安全运行现状, 从基础数据更新、风险评估、分级管理、监测标准体系及高压输配系统监测五个维度展开分析。研究发现: 需建立动态数据更新机制, 完善多源数据驱动的风险评估模型, 构建基于巡检的分级管理模式, 推动监测运营服务标准与城燃企业协同机制建设, 并强化高压输配系统的智能化监测能力。研究结果为提升燃气管网安全运行水平提供了系统性建议。

关键词: 燃气管网; 安全运行; 风险评估; 监测标准; 高压输配系统

中图分类号: TU996.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0115-03

Analysis of Demand and Suggestion for Safe Operation of Gas Pipeline Network, the Lifeline of City

Zhang Biao (Hefei Helan China Resources Gas Co., LTD., Hefei Anhui 230075, China)

Pang Maoan (Shandong Ganghua Gas Group Co., LTD., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization, urban gas pipeline networks, as critical lifeline infrastructure, face challenges including high concealment risks, significant coupling risks, and delayed data updates. This study analyzes the current status of gas pipeline safety operations from five dimensions: basic data updates, risk assessment, tiered management, monitoring standard systems, and high-pressure distribution system monitoring. The findings indicate that establishing a dynamic data update mechanism, refining multi-source data-driven risk assessment models, implementing inspection-based tiered management systems, promoting collaboration between monitoring operation standards and urban gas enterprises, and enhancing intelligent monitoring capabilities for high-pressure distribution systems are essential. The research provides systematic recommendations to improve the safety operation level of gas pipeline networks.

Keywords: Gas pipeline network; Safe operation; Risk assessment; Monitoring standards; High pressure transmission and distribution system

1 埋地管网及管网相邻空间基础数据更新

燃气管网基础数据作为安全运行的关键基石, 当前面临诸多困境。我国城市燃气管网数据缺失、分散、更新滞后且共享不足情况普遍。依相关标准, 管网数据涵盖管材等多方面信息, 但实际运营里, 早期人工台账管理致使数据准确性与时效性欠佳。如合肥市虽用 GIS 系统整合大量燃气管网数据, 可更新率仅 65%, 老旧管线信息缺失, 城市生命线安全监测系统相关数据失真, 影响安全风险评估与监测预警。

为改善现状, 需多管齐下。建立动态数据更新机制, 借助无人机航测、三维激光扫描等技术定期采集管网空间信息, 利用物联网传感器实时更新运行状态数据, 保证数据时效性。构建多源数据融合平台, 整合燃气企业 GIS 系统、第三方施工监测数据及市管网办埋地管网信息, 打破部门壁垒, 实现数据跨部门共享。强化数据标准化管理, 参照相关标准统一数据格式与编码规则, 提升数据应用效率, 为管网安全运行提供坚实的数据保障。

2 基于埋地管网运维数据的管网运行风险评估

2.1 多维度数据融合

燃气管网风险评估不能局限于单一风险因子。土壤电阻率影响管道腐蚀进程, 杂散电流强度干扰阴极保护效果, 运行压力波动则直接关联管道结构完整性。现有研究虽已关注到腐蚀速率、第三方施工破坏概率等个别因素, 但未充分考量各参数间的交互作用。以《基于监测数据的埋地燃气管道动态风险评估》为例, 其融合静态风险评分与实时监测数据构建动态模型, 预警准确率显著提升。这表明, 需综合静态属性与动态监测数据, 涵盖土壤环境、电气干扰、压力变化等多维度信息, 深入分析各因子间的耦合关系, 构建全面反映管网运行状态的风险评估指标体系, 为精准评估奠定基础。

2.2 智能系统开发

开发智能风险评估系统是提升管网运行风险评估水平的关键。集成机器学习算法, 可实现对腐蚀速率的精准预测。通过分析历史数据与实时监测信息, 挖

掘腐蚀规律，预测未来腐蚀趋势。同时，开展泄漏扩散模拟及后果影响分析，评估不同泄漏场景下的影响范围与程度。借助智能算法，系统能自动处理海量数据，快速识别潜在风险，为运维人员提供科学决策依据，提高风险评估的时效性与准确性。

2.3 风险可视化与阈值管理

建立风险阈值数据库并推动风险数据可视化，对优化决策流程意义重大。针对不同管段类型，如高压管、老旧铸铁管，制定差异化风险等级判定标准，明确各等级对应的风险阈值范围。利用数字孪生技术，在三维地图中动态展示风险热点区域，直观呈现管网风险分布情况。运维人员可据此快速定位高风险区域，合理调配资源，采取针对性措施降低风险，实现从被动应对到主动防控的转变，保障管网安全稳定运行。

3 结合管网巡检的分级运行管理机制

传统巡检模式存在效率低、盲区多等问题。合燃华润试点燃气管网“三级巡检”机制，以运行压力、使用年限、材质等因素，并结合实际运行环境、管网状态等情况，将中低压燃气管网进行分级、动态管理。同时根据不同管网级别制定日、周、半月巡检计划。如表 1 所示。

2022 年合肥合燃华润燃气有限公司（以下简称合燃华润）对接清华大学合肥公共安全研究院监测中心（以下简称监测中心）将生命线燃气专项监测数据接入企业 GIS 系统，实现生命线监测预警“三级管理”。首先监测中心对监测数据分析，对有泄漏值的数据采用燃气泄漏模型进行分析初判，对判断为疑似燃气泄漏的通过生命线系统平台推送至合燃华润 GIS 系统，按照抢险工单流转处置并反馈处置结果；其次合燃华润 GIS 系统自动抓取监测点位可燃气体浓度监测数据

大于等于 3%VOL 数据生成抢险工单，并按照应急抢险流程处置；最后合燃华润管网运维公司将可燃气体浓度监测数据介于 1%–3%VOL 监测点位纳入网格员巡检计划，要求网格员 24h 内对监测点位井内可燃气体浓度实际情况进行现场复核、反馈。伴随生命线监测预警“三级管理”模式和老旧管网更新改造，合燃华润年处理生命线推送警情数量呈逐年下降趋势。

通过燃气管网“三级巡检”结合生命线监测预警“三级管理”模式，2023 年合燃华润第三方施工破坏事故减少 42%，且提前介入处置多起管道天然气泄漏事故。此外，智能检测设备（如声波检测仪）的应用进一步提升了缺陷识别精度。

分级管理标准优化需依托 CJJ51—2016 规程，细化风险分类量化指标。智能化巡检装备部署聚焦 AI 无人机，实现管廊腐蚀速率预测与焊缝微裂纹毫米级识别。闭环管理流程构建基于动态风险矩阵的监测—诊断—修复—验证体系，保障风险处置响应时间 ≤ 4h。

4 监测运营服务标准与城燃企业协同体系构建

4.1 制定行业协同标准

当前监测运营服务领域，因缺乏统一标准，监测中心、燃气企业、应急部门间职责模糊、协作流程不畅，数据共享与应急响应受阻。构建行业协同标准迫在眉睫。需从顶层设计出发，明确各主体在监测运营中的定位与职责边界。监测中心作为数据汇聚与分析核心，负责全面监测与信息整合；燃气企业掌握管网等设施一手资料，承担日常巡检与初步处置；应急部门则在突发事件时迅速响应。同时，制定标准化协作流程，涵盖日常监测信息传递、预警发布、应急处置等环节，确保各主体在协同中无缝对接。以合肥市为例，虽通过政府购买服务实现监测，但若缺乏统一协同标准，

表 1 燃气管网运行管理分级标准表

序号	级别	管道材质	类别	界定条件	巡线周期	巡线交通方式
(一)	一级	钢管	1	使用年限超过 20 年	一周两次	电动车和徒步
		不分材质	2	同区域 30 天内发生两起泄漏		
		不分材质	3	所有市区中压环管（环城路、一环路、二环路）		
		不分材质	4	门站、高压管网等储气设施到中压管网的联络线、中中压调压站进、出气管道等主干管网		
		不分材质	5	其他需要按一级要求巡线的管段		
	二级	钢管	1	中压管道	一周一次	电动车和徒步
			2	使用年限 10 年以上 20 年以内低压管道		
		PE 管	3	中压管道		
	三级	铸铁管	4	所有管道（含镀锌管）	两周一次	徒步
		钢管	1	使用年限 10 年以内低压管道		
(二)	重点部位	PE 管	2	低压管道	一天一次	徒步
		1	施工围挡范围内有燃气管道			
		2	存在滑坡、塌方危险的地段			
		3	新通气管线 24 小时之内			
		4	燃气管道自然泄露未处理区域			

部门间仍可能出现职责推诿、响应延迟等问题。制定协同标准,能为行业协同提供清晰指引,提升整体运营效率与应急能力。

4.2 建立绩效评价机制

绩效评价是衡量协同体系运行效果的关键手段。将预警响应速度、故障修复率等指标纳入企业服务考核,能精准评估各主体在协同中的表现。预警响应速度反映应急能力,故障修复率与周期体现运维水平,设备在线率与完好率保障监测稳定性,警情分析准确率则关乎决策科学性。通过量化指标,建立科学评价模型,对各主体进行客观评价。依据评价结果,实施奖惩措施,激励主体提升服务质量。如此,可形成正向激励机制,促使各主体主动优化协作流程、提升技术水平,推动协同体系高效运转。

4.3 推动市场化运作

市场化运作是协同体系持续发展的动力源泉。鼓励城燃企业参与监测设备研发等环节,能充分发挥其贴近市场、了解需求的优势。企业可根据实际运营需求,开发针对性监测设备与功能,提升监测精准度与实用性。同时,形成“技术-服务-产业”良性生态,促进技术成果转化与应用,推动行业技术进步。市场化运作还能吸引社会资本投入,缓解政府财政压力,为协同体系建设提供资金支持,实现多方共赢与协同发展。

5 高压输配系统城市生命线运行监测需求与建议

5.1 运行监测需求

高压输配系统管径大、管网运行压力高是燃气网网的“主动脉”,其安全运行关乎城市能源稳定。高压输配系统通常分为城市门站、LNG储配站、高中压调压站、高压阀室及高压管网。城市门站、高中压调压站、高压阀室除埋地管网外,还具有地面管网集中、设备电仪复杂的特点,传统吸入式可燃气体智能监测仪在开放式空间内安转运行显然是不可行的;LNG储配站除具有地面管网集中、设备电仪复杂的特点外,还涉及LNG储罐及相关连接管线“泄漏监测”和“漏热保冷”评估,城市生命线现有监测手段现任无法实现相关数据的监测评估;高压输配系统具有埋地管网站点间距长、阀门井少的特点,传统单一的阀门井内安装可燃气体智能监测仪方式监测高压管网泄漏情况显然不适用。

现有监测技术主要依赖压力、流量传感器,对微小泄漏、应力集中、管网保护范围内施工等预警能力不足。研究表明,光纤传感技术可实时监测管道应变与温度变化,预警精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,结合高点视频、高后果区视频、无人机巡检、AI识别技术等手段能够

有效发现高压管网沿线施工,避免管道因施工引发第三方损坏、防腐层受损、管道应力集中等事件;激光检测技术可实现远距离大范围管网电仪设备集中点可燃气体浓度检测;红外技术能够有效监测LNG储罐漏热保冷监测。此外,高压管段需重点防范地质灾害影响,如2022年某山区高压管道因山体滑坡导致位移超限,引发严重泄漏。

5.2 运行监测建议

于高压管段,加密布设光纤传感器与声发射检测设备,构建高精度监测网络,精准捕捉管道状态信息。严格依规范界定高后果区,安装高后果区及高点检测视频,实现全方位可视化监控。探索无人机常态化自动巡检,依托场站设母站,提升巡检效率。利用北斗定位与InSAR技术融合,实时监测管道周边地表形变,强化地质灾害预警。针对高压系统特性,制定快速关断、介质置换等专项应急处置方案,完善应急响应预案。

6 结语

城市燃气管网安全运行是保障民生与城市韧性的重要基础。本文从数据、风险、管理、标准及技术五个层面提出系统性建议,强调动态数据更新、智能风险评估、分级巡检机制、标准化协同体系及高压系统专项监测的重要性。未来需进一步推动跨学科技术融合,完善法规标准体系,构建“全链条”燃气管网安全防控网络,助力城市生命线工程高质量发展。

参考文献:

- [1] 韩心星,张壮壮,程之宽,等.城市生命线安全工程领域标准需求与建议分析[J].中国安全生产科学技术,2024,20(2):5-12.
- [2] 徐立,杨阳,朱丽榕.基于监测数据的埋地燃气管道动态风险评估[J].科技创新与应用,2023(1):1-6.
- [3] 孙路,付明,韩心星,等.城市生命线监测运营服务标准体系构建[J].中国安全科学学报,2024,34(10):190-196.
- [4] GB/T 38289—2019,城市燃气设施运行安全信息分类与基本要求[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [5] CJJ 51—2016,城镇燃气设施运行、维护和检修安全技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [6] 袁宏永,韩心星,吴翔飞,等.城市生命线安全工程发展现状与趋势[J].武汉大学学报(信息科学版),2024.

作者简介:

张彪(1991—),男,汉族,安徽涡阳人,硕士研究生,工程师,研究方向:城镇燃气工程。

庞茂安(1992—),男,汉族,山东东平人,硕士研究生,工程师,研究方向:城镇燃气工程。