

# 城镇燃气管网系统性泄漏检测技术演进与应用瓶颈分析

王尧尧 王 庚 (济宁中石油昆仑能源有限公司, 山东 济宁 272000)

**摘要:** 城镇燃气管网属于基础设施建设不可或缺的重要环节, 运行安全关系到公共生命财产安全。城镇不断发展, 管道日益复杂, 管道气体泄漏检测是确保正常运行的重要环节。本文阐述城镇燃气管网设施组成以及潜在危害, 并简要概述气体泄漏检测技术发展历史, 重点探讨物联网、大数据技术与当前气体检测技术的结合, 提出检测范围不广、设备精确度低、反应较慢、成本高, 以及现有城镇燃气管道气体泄漏监控系统实际运用中存在的智能化与城镇用气系统结合不严密等问题, 并就此提出了提高检测效果、提升系统集成度和降低使用难度, 是今后研究运用工作重点的结论, 这对提高城镇燃气管网的安全性意义重大。

**关键词:** 城镇燃气管网; 泄漏检测; 智能监测; 物联网; 安全管理

**中图分类号:** TU996.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 035-0132-03

## Analysis of evolution and application bottleneck of systematic leakage detection technology in urban gas pipeline network

Wang Yaoyao, Wang Geng (Jining CNPC Kunlun Energy Co., LTD., Jining Shandong 272000, China)

**Abstract:** The urban gas pipeline network is a critical component of infrastructure, and its operational safety is vital to the safety of public life and property. As cities continue to expand, the complexity of pipelines increases, making gas leak detection essential for maintaining normal operations. This article discusses the components of urban gas pipeline facilities and their potential hazards, briefly reviews the history of gas leak detection technology, and focuses on the integration of IoT and big data technologies with current gas detection methods. It highlights issues such as limited detection coverage, low equipment accuracy, slow response times, high costs, and the lack of tight integration between existing urban gas pipeline gas leak monitoring systems and urban gas usage systems. The article concludes that improving detection effectiveness, enhancing system integration, and reducing usage difficulties should be the key areas of future research and application, which is crucial for enhancing the safety of urban gas pipeline networks.

**Key words:** urban gas pipeline network; leakage detection; intelligent monitoring; Internet of Things; safety management

近年来, 随着城镇天然气用量越来越大, 城镇燃气管网规模、规模也越来越大, 结构越来越复杂, 因此运行安全问题开始凸显。频繁发生的燃气泄漏已经成为影响城镇公众安全的一个重要隐患, 急需有一套科学有效的可燃气体泄漏检测及警报系统。现场巡查的方式已无法满足目前大量、密集、高危险性管网的现代运行, 而便携式装置和智能监控系统的引入为气体泄漏检测提供了新的思路。物联网、大数据和人工智能等新技术的应用是目前推动的一种新型智能检测策略, 它是提高检测准确性和响应速度的有效途径。但是, 由于存在覆盖面积小、信号受干扰及成本高等实际因素的制约。

### 1 城镇燃气管网概述

#### 1.1 城镇燃气管网的组成结构

城镇燃气管网主要由供气站点、输送管道、调压装置、阀井、燃气管道末端连接装置和监测系统等组成, 构成城镇从供气到用户使用的完整链条。较高压力级的输送管道用于将远处的天然气输送到城镇中转站或大门站, 输送给城镇输配网络系统和区域分输中

心及分配给区域较低压力等级的城镇分配网络管道, 从而用于向居民区及工业区供气。系统架构注重各系统层次的分布和功能的配合, 调压装置布置在各个关键部位, 使得不同压力级之间能够顺利地进行过渡。另外, 管网系统还设置了截断阀、放散阀、量测系统设备, 以满足安全、计量及控制的要求。随着智能化发展, SCADA、GIS 平台等信息技术已经大量应用于管网构建与运营管理, 实现了全网运营可视化的水平提升及系统应用的自动化。

#### 1.2 运行特点与风险因素

城镇燃气管道具有连续性强、密度大等特点, 同时每个用户多为非独立区域连接在该管道上, 对其分配及管控系统有一定难度和要求, 由于涉及的压力不一, 又造成其难以调控的问题, 在工作进行过程中易受压力局部影响, 管道施工主要位于地下, 在出行区域纵横交错且又与城镇其他设施交叉, 在对其进行修复及检测时的难度较大。稳定的压力状态及燃气质量会影响所有燃气系统的稳定运行, 只有压力和质量保持一定的稳定性, 才能保障终端用户系统能够正常运

行。在燃气系统发生泄漏之后，燃气聚集在该空间中，在遇到相应火源之后，极易引发爆燃爆炸或引火烧毁，造成大量损失。腐蚀、磨损、外界损伤等现象均会在不同程度上影响系统的安全运行。

### 1.3 泄漏事故的常见诱因

大多数的泄漏事故的发生与管道老化、外力损坏、接合处松动、焊接质量差等与建设及维护期间有关的因素相关。一方面，一些老旧的住宅区或早期建设地区的管道抗腐蚀能力较差，长时间处在潮湿环境或是浸渍地下水，使得金属材料的表面受到腐蚀而慢慢变薄，出现缺陷的可能性增加。另一方面，如果施工方式不正确或是第三方施工单位不能正确标明地下燃气管道位置，可能会不小心毁坏管道，出现突发现象的泄漏。而接合点位置的接合圈片随时间磨损及地理因素引起坍塌而变形，产生间隙扩大，最终造成慢性的泄漏。除此之外，高压波频繁出现或是调压站的问题造成设备过载运行也是引发爆炸事故的主要原因之一。

## 2 城镇燃气管网泄漏检测技术的发展演进

### 2.1 人工巡检与简单仪器检测阶段

早期燃气行业的输气管道泄漏检测大多是依靠人员巡查和简单的仪器、工具，如用肥皂水检测泄漏的方法、声音探头等设备进行。工作人员需要步行在管线上巡查，发现可能的地方利用肥皂水喷射，观察有无气体逃逸作为判别标志，这种方法成本低、操作简单直接，但是检测效率很低，并且受工作人员有限的限制。在 20 世纪 90 年代，某南方城镇曾出现燃气爆炸事故，通过对事故的追查发现，在地下高压管道旁有一个恒量的小孔泄漏，附近居民多次发现有臭味，但是没有向相关单位反映。事故发生后，该地区天然气公司开始使用手持式声音检测器寻找可能出现泄漏的位置和“贴近地面听声音”的方法。这种方法比上述方法提高了准确性，但是对于埋在深处或穿越主干道的情况，仍然很难确定泄漏位置，因此仍然存在遗漏。该时期的检测技术没有形成系统的方法，一旦面对不断增长的城镇燃气管网，该时期的检测手段已经显得越来越落后，使得安全保证能力降低了。

### 2.2 便携式气体检测设备的发展

随着检测标准的提升，便携式气体检测设备已经成为人们巡检的主要辅助工具。这类仪器多使用红外、催化燃烧或者电化学传感技术来快速检测大气中甲烷等易燃易爆气体的含量，可以进行数字显示以及超标预警。例如某市北部区在 2010 年已经开始使用 T40 型便携式甲烷探测器对全市采用网格化的方法进行全方面巡查。工作人员带着仪器去每个点测井盖、阀门、

管径结合处等等，如果浓度达到了警示范围，仪器马上就会有响声和灯提示，同时能够记录测量结果。用一年的巡查资料进行对比分析，该企业已经发现了无数的小漏洞，避免了小问题扩大，提高了工人的人力效果。但是该设备还受到风向影响、探头污染等诸多的局限性，无法满足大范围内、高频率地现场监控需求，它应用更多的是用在部分区域的巡查和特殊情况下应急调查上。

### 2.3 管网智能监测系统的引入

随着传感器与通信技术进步，城镇燃气管网逐步引入智能监测系统，实现对重点管段的实时在线监控。此类系统一般包含压力表、流量计、温湿度检测器、数据采集器等设备组成，通过 GPRS/4G 网络直接将测量数据即时传送到后台数据服务器，还能提供异常预警。广州某城镇燃气企业自 2017 年起在市区主干管道上布设了一套远程压力监控系统，覆盖了约 25 公里高压管道，发现一次雨天时某个分段的压力下降了，这个与其他的都不一样，系统马上向后台发出泄漏预警。人员很快确定了点位，经查明是由于路面塌陷致使接口处发生泄漏，很快进行修复而避免了后果扩大。此类系统响应时间短、易理解，但是建设成本大，数据的判断能力还是由系统智能的水平决定，仍需要人的专业判断才能体现最大程度的智能。

### 2.4 基于物联网与大数据的融合趋势

随着智能城镇的建设和数字化燃气的发展，燃气泄漏检测方法的趋势向着物联网大数据的整合方向发展，物联网中可整合多种传感器采集压力、流量、气体浓度等多方面信息，同时能收集管道位置等数据。大数据平台则可通过模型分析历史数据并对未来可能发生的情况进行预判，从而提高故障预警准确率。深圳市高新科技产业园区在 2021 年开始构建智能燃气管网管理系统，并在园区中布设近 200 台多参数传感器装置，以实现管道状态的实时监控，系统接入城镇大数据之后，可以通过气象数据、历史事故及用气人群行为模型来自主识别重点区域，系统在升级过程中发现某十字路口由于大量车流负荷使接口有松动的可能性，从而提出压力降低该区域并告知工人检查的建议，后来果然检测到早期泄漏情况。此方法提高对数据库检索的主动性以及前瞻性，但同时系统平台算法模型、数据安全性以及平台间的联动均提出了更严格的要求。

## 3 城镇燃气管网泄漏检测技术的应用瓶颈

### 3.1 复杂管网结构对检测覆盖率的限制

城镇燃气管网随着使用年限、材质等因素的增加，越来越复杂不可控。特别是老城区，存在“地下实际

与设计图纸不一致”的情况，给泄漏检测增加了难度，尤其是武汉市某个内环区域，采用声波检测法与地面扫描仪检测，确定泄漏区域和点位范围时发现有一条20世纪70年代铺设的铸铁管线不包括在管线数据库中，深度与朝向存在偏差，致使设置的监测点无法达到监测范围，直至发生地下鼓包破裂情况后才暴露出来。这说明现有复杂管线路由结构给监测系统提供了识别、响应的难度，造成监测系统的整体检测结果有所降低，运营维护成本和管理成本进一步增加。针对这种类型的管线进行高准确度、高完整性检测需要采用高水准的地图更新、3D模型建立及深入的历史数据整合，提升信息的完整性以及传感器布置的合理性。

### 3.2 高精度设备在实际工况下的适应性问题

虽然激光甲烷遥测仪、红外光谱分析仪等高精度的气体泄漏检测设备具有灵敏度高、响应快的优点，但是仍然存在很难适应复杂的工作环境等诸多不足之处，例如在深圳某主干天然气管道巡查检查活动中，采用车载激光遥测装置对埋深1m的管道进行连续检测。这种遥测设备可以侦测到10ppm级的泄漏信号，在理想的环境中是可以达到的，但是在城镇中存在的建设遗迹、潮湿的气候条件、设备本身的光轴抖动等因素影响下，很容易造成信号的抖动，导致错误预警增加，造成检查结果无法实施，又采用手工检测方式进行2次检查。由此可见，目前的高精度设备对环境抗干扰能力较差，对设备的包装方式、抗干扰算法、适应性修正手段等尚有待完善以满足城镇燃气探测工作，尤其是在多变的气象条件、复杂的地形环境等城镇区域，很难做到实验室的“精度”和现场设备“效能”的一致性。

### 3.3 数据采集与实时预警系统响应延迟

在城镇燃气管网运行中，实时预警系统承担着泄漏风险快速识别与响应的重要职责。由于传输网络、数据处理、设备响应方法等不够直接高效，导致预警系统的“及时”功能往往难以真正实现。在北方某大城镇的老城区天然气泄漏事件中，燃气公司给主要道路安装了可以无线传输的压力监控装置，依照提前设定的间隔传输数据至云终端。一次寒潮导致低温下原有陈旧的铸铁管线的某连接点处发生微小损伤，压力监测器确实实现了检测预警，但是因为要经过中间节点传输方才能被云终端检测出异常、预警，过程中经过了18min。在这段时间内，泄漏的气体开始聚集在空旷地表并且向附近小区的地下车库扩散，并伴有异味。最终事态并未成灾，但通过这个案例可看出，即便有了灵敏的数据收集设备，如果数据处理环节延迟，则无法符合密集城镇所面对的高发密度处置要求。因此，

提升传感器边缘处理能力与预警优先级机制成为优化方向。

### 3.4 设备成本与维护难度对推广应用的阻碍

高端燃气泄漏检测设备在精度和自动化水平上取得显著进展，但高昂的采购与运维成本成为制约其广泛推广的关键因素。例如，在一座城镇中，光谱类型的单一固定式气体泄漏检测系统的购置单价达30余万元人民币，且年维护费用超过3万元人民币（包括标定、数据更新和更换传感器等）。虽然在试验区域实现了优秀的监测效果，在推广到全市范围内时预算成本和劳动力导致了很大的压力，尤其是在地区外围或管网分布区域广的情况下投资回报率偏低，导致大部分县市机构只在风险区域安装了一部分设备。造价高、高科技的设备虽有卓越的应用功能，但无法建立一个标准的、统一的城镇燃气防御体系。为使这项技术被更广泛地应用，需要降低成本和进行功能的整合创新，例如进行模块化的组合设计、组建远程合作维护平台降低维护难度的方法来扩大该设备在二三线城市和城镇燃气公司的使用范围。

## 4 结语

随着城镇公共安全防护系统的不断完善，城镇燃气管道泄漏检测技术也在不断完善，从人工巡查到智能化、数据化的主导性技术体系建设，管网安全管理逐步迈向精准、高效、智能的方向。但是，设备构造复杂、设备应用成本高、数据反应不及时等都阻碍着该技术的普及性，使得该项技术未能达到实际的成果价值。未来对于该项技术的推进并不是单单从设备优化、革新等方面做出成绩，更需要着眼于整体系统结合、数据交互、成本降低等方面的发展，并在此基础上，加强政府、企业的协同合作，健全标准制定体系，推进科学技术转化成生产力，对城镇燃气安全运行提供更加有力的支撑。

### 参考文献：

- [1] 于燕平,雷素敏.《城镇燃气管网泄漏评估技术规程》解读[J]. 煤气与热力,2023,43(1):9-12.
- [2] 王克辉,赵胜威.城镇燃气管网泄漏抢修技术方案的分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(2):4-5.
- [3] 周思君.聚乙烯燃气管道焊接质量无损检测技术的应用[J]. 上海煤气,2023(4):9-12.
- [4] 康晓雷.浅谈城镇燃气管网系统的可靠性研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(6):4-5.
- [5] 马驰.城镇燃气管网抢修技术应用研究[J]. 安防科技,2021,000(017):P.142-142.