

城市燃气管网泄漏检测技术与应用

常育红 (滕州市燃气总公司, 山东 枣庄 277500)

摘要: 本文将系统地去分析直接检测与间接检测两大技术体系的原理与特点, 并为此探讨不同技术在精度、效率及抗干扰能力方面的差异。最终研究指出现代检测技术正向多技术协同与智能化方向发展, 它通过车载移动扫描、固定式传感器网络与生物检测的结合可以构建出立体化监测体系, 基于物联网与人工智能的预警系统进一步实现了泄漏的早期诊断与主动防控, 从而为城市燃气管网安全管理提供了全面有效的技术支持。

关键词: 城市; 燃气管网; 泄漏; 检测技术

中图分类号: TU996

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 034-0112-03

Leakage detection technology and application of urban gas pipeline network

Chang Yuhong (Tengzhou Gas Corporation, Zaozhuang Shandong 277500, China)

Abstract: Therefore, this article will systematically analyze the principles and characteristics of the two major technical systems of direct detection and indirect detection, and explore the differences in accuracy, efficiency, and anti-interference ability between different technologies. The final research points out that modern detection technology is developing towards multi technology collaboration and intelligence. It can construct a three-dimensional monitoring system through the combination of vehicle mounted mobile scanning, fixed sensor networks, and biological detection. Based on the Internet of Things and artificial intelligence, the warning system further realizes early diagnosis and active prevention and control of leaks, providing comprehensive and effective technical support for the safety management of urban gas pipelines.

Keywords: city; Gas pipeline network; leak; detection technology

随着天然气的普及, 燃气逐渐进入千家万户, 成为我们生活中重要组成部分。但城市燃气网管安全运行问题也日益突显, 其最主要、最迫切的就是泄漏问题, 因泄漏而引发的事故层出不穷, 日益引发管理者的不断思考。而在燃气公司的日常业务中, 管网及附属设施的日常泄漏检查也十分重要, 也是管理者主动发现泄漏的最主要的方式, 通过发现隐患争取早期处置, 避免燃气在有限空间聚集, 引发燃气爆燃、爆炸事故及次生灾害。

掌握管网及附属设施泄漏检测的正确检测方法及判断技巧, 正确选择合理的检测仪器, 并对发现的问题及时采取现场监护、上报处理等流程, 做到及时处理情况。严重时及时启动公司应急预案, 缩小影响范围, 降低事故成本。

1 城市燃气管网泄漏检测技术分类与原理

城市燃气管网泄漏检测技术可根据检测原理分为两大类——直接检测技术和间接检测技术, 其中直接检测技术主要通过检测泄漏气体本身的物理或化学特性来发现泄漏; 而间接检测技术则是通过分析管道运行参数的变化来推断泄漏发生。

以下将系统地分析各类技术的原理与特征。

1.1 直接检测技术

直接检测技术是基于对泄漏燃气的直接感知或测量, 它主要包括传感器检测、光学检测和生物检测等方法。

①传感器检测技术主要是通过在管道沿线或关键节点部署气体传感器去实时监测燃气浓度变化, 常见的传感器包括催化燃烧式传感器、电化学传感器和半导体传感器等, 其中催化燃烧式传感器基于可燃气体在催化剂作用下燃烧产生热量导致电阻变化的原理, 适用于爆炸下限以内的气体浓度检测; 电化学传感器则利用气体在电极表面的氧化还原反应产生的电流信号进行检测, 具有高灵敏度和良好选择性。近年来基于激光吸收光谱技术的传感器逐渐普及, 如光腔衰荡光谱技术 (CRDS) 和离轴积分腔输出光谱技术 (OA-ICOS), 它对甲烷的检测精度可达 10⁻⁹ 级, 这可以极大地提升检测灵敏度。

②光学检测技术利用激光或红外线与气体分子的相互作用检测泄漏, 该技术包括差分吸收激光雷达 (DIAL)、可调谐二极管激光吸收光谱 (TDLAS) 以及红外热成像技术, 当管道发生泄漏时泄漏处的气体聚集会导致温度变化, 而此时红外热成像仪可以捕捉这种细微温度差异, 从而实现非接触式检测, 由此可见光学检测技术具有检测范围广、响应速度快的特点, 它适合大范围区域快速扫描。

③生物检测方法主要是利用训练有素的嗅探犬去对燃气中添加的四氢噻吩 (THT) 等示踪气体的敏锐嗅觉来定位泄漏点, 由于嗅探犬的嗅觉灵敏度极高且能够识别极低浓度的示踪气体, 所以它们能够在复杂环境中精确定位泄漏源, 这种方法尤其适合在车辆难

以到达的区域或复杂城市环境中使用。

1.2 间接检测技术

间接检测技术不直接检测气体，而是通过分析管道运行参数的变化或泄漏产生的物理效应来推断泄漏，它主要包括压力分析法、流量平衡法、声学检测法和实时模型法等。

①压力分析法基于管道稳态运行时压力稳定的原理，当发生泄漏时泄漏点会产生压力突降，这种压力变化会以压力波的形式沿管道传播，而且它通过在高采样率压力传感器中捕捉这种压力波动以及结合小波变换等信号处理技术可以确定泄漏位置，并且基于压力波的检测技术可检测微小泄漏并预测管道畸变，最大定位误差仅为1.83%。

②流量平衡法依赖于质量守恒定律，它能够通过比较管道进出口的流量差异判断是否发生泄漏，当流入量与流出量之间的差值超过预定阈值时，系统就会触发警报，这种方法原理简单，但是缺点是它对于微小泄漏不敏感，且受测量仪表精度影响较大。

③声学检测法主要是利用管道泄漏时产生的声波信号进行检测，当燃气从管道裂口喷出时，它会产生频率在20kHz以上的超声波，这种声波沿管壁传播可通过安装在管道上的声学传感器捕获，而且通过分析声波到达不同传感器的时间差可以精确定位泄漏点，由此可见声学检测法对突发性泄漏响应迅速，定位精度高，但对环境噪声干扰较为敏感。

④实时模型法则是通过建立管道的数学模型去实时模拟管道在正常条件下的运行参数，并将模拟值与实际测量值进行比较，当实际值与模拟值之间存在显著差异时，表明可能发生了泄漏，这类方法包括系统辨识法、滤波器法和神经网络法等，其中基于神经网络的检测技术能够通过学习大量历史数据，建立复杂的非线性关系，适应不同的运行条件，灵活度较高。

2 城市燃气管网泄漏检测技术的应用特点

不同的泄漏检测技术在实际应用中会展现出各自的特点和性能差异，其中这些差异主要体现在检测精度、效率、抗干扰能力等方面，了解这些特点有助于我们根据在具体的应用场景中得以选择出最合适的检测方法。

2.1 在检测精度与灵敏度方面

基于激光吸收光谱的检测技术表现十分的出色，例如光腔衰荡光谱技术(CRDS)和离轴积分腔输出光谱技术(OA-ICOS)这两种技术对甲烷和乙烷的检测精度均可达到10⁻⁹级，它两能够识别极微小的泄漏，而在灵敏度上，嗅探犬的嗅觉灵敏度则会更高，因为它能够检测到ppb级别的四氢噻吩气味且具有较强的

定位能力且它的定位误差可控制在1m以内，相比之下传统的催化燃烧传感器检测精度一般在0.1%LEL左右，主要适用于危险性泄漏的初步识别。

2.2 在检测效率与覆盖范围方面

车载移动检测系统优势明显，因为传统人工巡检每天仅能检测有限距离，而车载系统可以在行驶过程中持续检测，检测效率是人工方法的8-10倍，最大检测覆盖范围可达车辆两侧150m，并且车载系统结合北斗精准定位技术能够快速获取泄漏点的精确坐标，大大提高检测效率。近年来发展的无人机巡检技术进一步扩展了检测范围，特别适用于车辆难以通行的区域，如山地、河流穿越段等。

2.3 在抗干扰能力方面

不同技术有着明显的差异，因为城市环境中存在多种甲烷来源，如沼气、汽车尾气等，所以非常容易产生误报，直接检测技术中，结合乙烷识别的方法可有效区分天然气与沼气，因为沼气中不含乙烷成分，而嗅探犬通过识别四氢噻吩特有气味，抗干扰能力更强。间接检测技术如压力分析法和声学检测法则能够通过信号处理算法过滤环境噪声，提高识别准确性。

2.4 在实时性方面

固定安装的在线监测系统最具优势，因为基于物联网的传感器网络能够实时采集管道压力、流量及周边环境气体浓度数据，并通过无线传输技术发送至监控中心，从而实现全天候连续监测，这类系统能够在泄漏发生初期发出警报可以为抢修工作争取宝贵时间，相对地定期巡检方式无论效率多高，都存在监测盲区，难以应对突发性泄漏。

2.5 现代泄漏检测技术

现代泄漏检测技术正朝着多技术融合方向发展，例如车犬联动检测方案结合车载系统的快速筛查能力和嗅探犬的精确定位优势，从而实现高效精准的泄漏检测，这种方案先由车载系统进行大范围快速扫描，识别疑似泄漏区域，再由嗅探犬在疑似区域进行精细检测，准确定位泄漏点，这种协同检测模式最远可探测距离车辆行驶路线71m的天然气泄漏点，显优于传统单一方法。

2.6 智能化技术

智能化技术的引入可以进一步提升泄漏检测的水平，要知道基于大数据分析和人工智能算法的检测系统能够对历史数据和实时数据进行分析挖掘，它主要是通过建立预测模型去实现从被动应对到主动预警的转变，例如它会通过分析管道腐蚀速率、土壤条件、运行压力等多维数据去预测管道的风险等级，从而提前发现潜在泄漏点，最终实现预防性维护。

3 城市燃气管网泄漏检测技术的应用

3.1 多技术协同的立体化检测模式

城市燃气管网泄漏检测技术已从单一手段向多技术协同的立体化模式发展，它通过融合不同技术的优势，实现检测效率与精度的双重提升，其具体表现为将覆盖范围广的移动检测与定位精准的点状检测相结合，例如我们可以利用车载激光扫描系统对大面积区域进行快速筛查，它的检测精度可达 ppb 级别，能够高效识别疑似泄漏区域；随后我们再由嗅探犬或人工持设备进行精准复核，毕竟嗅探犬对天然气加臭剂四氢噻吩的嗅觉灵敏度极高，它可在复杂环境下精确定位泄漏点。

除此以外，空中巡检平台如搭载红外高敏热成像仪的直升机或无人机、地面固定式物联网传感器网络如井室燃气泄漏检测仪与压力监测设备，以及地下空间部署的分布式光纤传感器，共同构建了“空天地一体化”的立体监测网络，这种多技术协同模式有效解决了传统单一技术存在的检测盲区、效率低下或精度不足等问题，从而实现从宏观筛查到微观定位的全链条泄漏管控，大幅提升城市燃气管网安全运行的保障能力。

3.2 基于物联网与人工智能的智能预警与诊断

以物联网和人工智能为核心的智能化技术，正深刻改变着城市燃气管网泄漏检测的预警与诊断模式，其中物联网技术能够通过布设大量传感器如压力、流量、气体浓度等监测设备去实时采集管网运行参数，最终形成全面感知的神经末梢，为泄漏识别提供连续、海量的数据基础。

其次人工智能技术则可以充当决策大脑，因为它可以依托机器学习、深度学习等算法对实时数据与历史数据进行挖掘分析，进而实现智能预警与精准诊断，例如人工智能通过建立管道运行状态的数字模型可对比实际监测数据与模型预测值的差异，快速识别微小泄漏并定位故障点；智能预警系统能根据泄漏浓度、压力波动等特征进行风险分级，并通过云平台自动推送报警信息至相关人员，大幅缩短响应时间。

与此同时人工智能在图像识别领域的应用也可以使得无人机或固定摄像头采集的红外热成像或可见光图像可被自动分析，从而识别出管道泄漏引起的温度异常或气体聚集现象，最终达到有效降低误报率的目的，由此可见这种智能化的预警与诊断模式可以将泄漏发现方式从被动响应转向主动预防，从而增强管网风险的前端管控能力。

3.3 检测技术的综合效能与优化管理

泄漏检测技术的应用效能不仅会体现在技术本身

的性能指标上，同时它更关乎其在实际管理中的优化整合与综合效益，其中现代泄漏检测技术的应用重点强调与管网运行管理的深度融合，它可以通过优化检测策略和资源配置去实现安全效益与经济效益的最大化，例如该技术会基于管网压力等级、使用年限、周边环境等因素去进行风险分级，其中针对一些高风险区域如人口密集区、老旧管网区优先部署固定式连续监测设备或提高移动巡检频率，而对于那些低风险区域则可以采用周期性的巡检去使有限的检测资源发挥出最大效能。

检测技术产生的海量数据与燃气企业的管理信息系统如 GIS 地理信息系统、资产完整性管理平台等集成可以形成“监测 – 预警 – 处置 – 反馈”的管理闭环，这种闭环可以为管网维护更新提供科学决策支持，除此以外智能化检测技术的应用也可以降低传统人工巡检的劳动强度和安全风险，从而提升运维效率。

这种注重综合效能与优化管理的应用模式，不仅能够大幅提升泄漏检测的直接效果，同时它更能促进城市燃气管网安全管理体系的整体升级，最终实现从孤立技术应用向系统性安全管理的转变。

4 结语

总而言之，城市燃气管网泄漏检测技术的综合应用是保障管网安全的关键，但是由于当前直接检测与间接检测技术各有优势，所以对他们进行协同应用能够弥补单一技术的局限性，从而大幅提升检测的覆盖范围与可靠性。

参考文献：

- [1] 蔡翔. 城市燃气管网泄漏检测技术浅谈 [C]// 中国城市燃气协会安全管理工作委员会. 2025 年燃气安全交流研讨会论文集. 港华燃气投资有限公司 ;,2025:1065-1067.
- [2] 朱砂. 城市燃气管道泄漏检测技术的发展及应用 [J]. 化工设计通讯 ,2021,47(07):77-78.
- [3] 李廷彦 . 北斗精准定位技术在城镇燃气管网泄漏检测中的应用探讨 [J]. 城市燃气 ,2019,(03):11-14.
- [4] 李杰锋 , 李金萍 . 城市燃气管网泄漏检测技术 [C]// 中国土木工程学会燃气分会. 2017 中国燃气运营与安全研讨会论文集. 惠州大亚湾华润燃气有限公司 ; 惠州市城市燃气发展有限公司 ;,2017:1008-1011.
- [5] 马辉 . 燃气管网泄漏检测及其安全防护技术开发与应用 [J]. 科技与企业 ,2012,(23):358.
- [6] 高华 , 王宝光 , 杜振辉 , 等 . 城市地下燃气管网泄漏定位研究 [J]. 传感技术学报 ,2008, 21(12):4-4.
- [7] 任峰 , 何仁洋 , 孟涛 , 等 . 城市燃气管网检测技术研究 [J]. 管道技术与设备 ,2014(5):3-3.