

城市天然气管网泄漏原因分析及常见检测方法

张丽珍

重庆安全技术职业学院, 重庆 404100

DOI:10.61369/UAID.2026020039

摘 要： 城市天然气管网是城市能源供应的核心基础设施，其安全稳定长效运行是保障公共安全、保护人民群众生命财产安全的重要影响因素。管道泄漏轻则导致环境污染，重则引发火灾、中毒等安全事故，甚至导致群死群伤严重后果。本文结合城镇燃气、油气输送、市政管网等相关研究，系统分析导致管网泄漏的主要原因，分析当前主流泄漏检测技术的原理、特点、适用场景及优缺点并提出管网泄漏防控与运维优化建议，为城市天然气管网安全管理、泄漏检测技术选型与应急处置提供理论参考与实践依据。

关 键 词： 天然气管网；泄漏原因；泄漏检测；应对措施

Analysis of the Causes of Leakage in Urban Natural Gas Pipeline Networks and Common Detection Methods

Zhang Lizhen

Chongqing Vocational College of Safety Technology, Chongqing 404100

Abstract： The urban natural gas pipeline network serves as the core infrastructure for urban energy supply, and its safe, stable, and long-term operation is a crucial factor in ensuring public safety and protecting the lives and property of the people. Pipeline leakage can result in environmental pollution at its mildest, or trigger safety accidents such as fires and poisoning at its worst, even leading to mass casualties. Drawing on research related to urban gas, oil and gas transportation, and municipal pipeline networks, this paper systematically analyzes the primary causes of pipeline network leakage, examines the principles, characteristics, applicable scenarios, advantages, and disadvantages of current mainstream leakage detection technologies, and proposes recommendations for preventing and controlling pipeline network leakage and optimizing operation and maintenance. It provides theoretical references and practical bases for the safety management of urban natural gas pipeline networks, the selection of leakage detection technologies, and emergency response measures.

Keywords： natural gas pipeline network; causes of leakage; leakage detection; countermeasures

引言

我国新型城镇化发展迅猛，城市的天然气管网建设取得较大发展，成为保障居民正常生活和提供公共服务的重要设施。管道作为一种重要的运输工具，在石油石化行业以及民用燃气方面发挥着举足轻重的作用。据相关统计显示，全世界每年都有许多新的管道项目开工建设，涉及原油、成品油、天然气等多种物质的输送。这些管道以串联或者并联的方式形成错综复杂的管道网，如油气输送管网^[1]、给排水管网^[2]、供热管网^[3]等，具有高度的拓扑性。作为多领域核心基础设施的重要组成，管道系统对工业生产及日常生活发挥重要作用。

城市天然气管道具有埋设于地下的特点以及复杂的外部环境，在使用过程中容易受到各种威胁。大部分问题都是由于设计不合理、施工质量差、材料老化或者第三方施工破坏等多种原因造成的。因此，分析泄漏原因并且采取合理有效的检测手段是非常必要的。基于当前的研究成果及工程实践经验总结出城市天然气管道常见的几种故障类型以及其产生的原因，并对目前应用较为广泛的几种检测方式进行对比分析，旨在为提高城市天然气管道运行维护管理水平提供建议。

基金项目：重庆市教育委员会科学技术研究项目：复杂背景下液体管网泄漏的红外热成像检测研究（KJQN202404713）。

作者简介：张丽珍（1989-），女，汉族，陕西省大荔县人，副教授，研究生，硕士，重庆安全技术职业学院教师，主要研究管道泄漏和风险评估。

一、城市天然气管网泄漏原因分析

（一）设计与施工方面的问题

管网规划时期的质量直接影响到之后的使用安全可靠。一些工程中使用的管材不合理、管径和压力选择不当、防腐措施不到位或者覆土过浅等问题都会造成日后的问题积累。而一些年久失修的管网由于当初设计时未考虑到土壤腐蚀性、地面荷载变化以及城市发展等诸多不确定的因素，容易发生泄漏事故。

施工阶段是管道初期泄漏的重要原因，在施工现场出现的问题主要有：焊接质量不合格；接口处密封不良；施工人员操作不当，如施工过程中把石头、砖头等硬物混入回填土中，对管壁造成破坏；阀门、法兰以及补偿器等附件安装不到位。隐蔽工程验收走过场，不能有效发现和解决存在的问题，这些问题在系统投入使用后逐渐成为隐患。

（二）第三方破坏

第三方施工是造成城市天然气管道破损的主要原因。伴随着城镇化快速发展，各种工程建设项目如雨后春笋般涌现，包括但不限于道路改造、房屋建设、地铁建设以及园林绿化等，在这些项目施工过程中，由于未经充分地下管线探测或者缺少相关技术指导的情况下，有部分施工队采用大型设备（如挖掘机、破碎机等）进行施工，很容易对埋在地下的燃气管线造成破坏。

除此之外，地面超载交通以及由于违法建设造成的管道物理破坏问题日益严重，在市政工程施工过程中重型机械对地下管线造成的直接破坏也是一个重要安全风险点。部分地方由于缺乏监管或者标示不明，在非法施工或违规操作时无法及时发现，再加上巡检次数少或者监测手段落后等都加大了管道破裂、渗漏的可能性。

（三）腐蚀与老化失效

管道管材以钢管为主，特点是耐高压、耐振动，重量较轻，但是承受外荷载的稳定性和耐腐蚀性差，容易造成管道被腐蚀穿孔、腐蚀断裂^[4]。例如土壤 pH 变化造成的化学腐蚀、微生物的作用发生的生物腐蚀、存在水分而产生的摩擦腐蚀等。另外，城市轨道交通和供电系统中的杂散电流也会对管线造成腐蚀作用。当防腐层由于老化、破损或者剥落失效时，裸露在外面的金属不断受到摩擦作用，就会出现一些细微的小裂痕，然后这些小裂痕逐渐扩大形成孔洞或者缝隙，导致介质泄露。

老旧管网由于长时间服役，其材质性能有所下降，早期使用的铸铁管以及碳钢管，在使用中容易出现抗拉强度降低以及疲劳裂缝的情况。接口处填充物以及密封圈随着时间延长会老化、硬化或者失效，造成整个系统的密封性变差并且增大了泄露的风险。长期工作的阀门以及压力控制装置由于不断地开关而产生较大摩擦从而造成内部泄露或者是外部泄露的情形。

（四）运行管理与维护不到位

一些管网由于长期以来超负荷或者承受较大压力变化导致管材内部产生大量应力集中从而大大增加了管道开裂的可能性。现有的巡视制度并未得到很好的执行，在巡视人员对于重要部位和重点环节的检查不够细致不能准确及时发现防腐层老化、阀门漏

水或者管线变形等问题。

二、城市天然气管网常见检测方法

（一）硬件检测技术

硬件检测是通过目标系统进行检测仪器获取其工作参数，根据这些信息判断系统的运行情况。声发射法是基于对泄漏时产生的声音进行分析，在低频段可以实现微小泄漏准确定位和识别，适合中低压管道在役检测使用但是该方法容易受到外界干扰^[5]。

超声波的穿透力强，可以通过声波的变化快速确定管网泄漏位置所在。但是其测试范围有一定的局限，比如说并不适合望远镜测试，在望远镜测试时有一定的盲区^[6]。此方法被大量用于燃气或者瓦斯等易燃易爆物质输送过程中保障安全使用上取得良好效果。负压检测基于泄漏造成压力下降来发现缺陷，它结构简单并且反应迅速，非常适合远距离管线在线检测，但是其在空间分辨能力上有所欠缺。而次声波监测由于优异透射能力和良好环境耐受力，在大范围天然气管网安全管理中有着广阔应用前景和发展潜力。

LDAR 法在实际工程应用中的检测数据分布反映了不同设备类型的泄漏特征，为制定针对性的检测策略提供了数据支撑。^[7]。而作为一种既经济又环保的新技术，LDAR 可以在保证环境质量的基础上大大降低污染物的产生量，在此过程中，红外热成像技术利用无接触测温的方式，通过对温度场的变化情况进行观察从而达到对远方设备进行判断以及准确定位的目的，在复杂的管路中寻找隐藏的漏点。

表 1 硬件检测方法对比分析

方法	灵敏度	响应速度
声发射法	高	快
超声波	较高	慢
LDAR 法	较高	慢
红外热成像技术	中等	快

（二）软件检测技术

这类软件利用运行参数进行检测工作，不需要很高的硬件要求。它主要是基于流体瞬态特性建立一条管道发生泄漏时的压力、流量变化的关系式，进而由压力、流量的变化找到泄漏的位置以及大小，在城市燃气管网在线监控中有着广泛的应用前景。

根据以往的压力及流量数据进行建模，在与理想的工况数据比较中可以发现参数的异常以及问题所在位置，进而实现准确的判断。而在声学信号处理方面，频谱分析、小波变换等技术也被大量用于微弱泄漏信号的识别当中，在噪声较大的情况下也能降低假阳性率并且提高精度。

（三）现场巡检与实用技术

燃气公司中普遍使用的传统方式是现场巡检，由经验丰富的工作人员手持便携式可燃气体检测仪对管网进行巡查，可以发现明显的泄漏并且准确定位。尤其是对于一些复杂的庭院、小区等地形，利用车载式泄漏检测设备可以大大提高巡检的速度以及覆盖面及准确性。

（四）智能监测与多源融合技术

随着物联网与大数据技术不断发展，基于多源数据综合应用智能监控系统已经基本完善并且大量使用。此系统采用压力、流量、气体浓度以及声音等传感器信息结合最新分析方法进行分析预测，可以实现对可能发生泄漏提前报警、准确定位以及远程控制等作用。相比于传统监测方式，它更加快速有效且稳定可靠，在24小时不间断运行上也有很大优势，体现了很强的技术含量和发展潜力，对保障城市燃气管道安全运行起到重要作用。

三、检测方法对比与防控优化建议

（一）检测方法对比与选用

不同检测方法各有优劣，在灵敏度、经济性和应用场合上各有特点。声发射法虽然准确性较高，但是由于价格昂贵而不易推广应用；负压波法因其较低的成本受到一定的青睐，但是由于定位不够准确不能满足一些实际要求；泄漏检测与修复（LDAR）对密封点有较好的针对性；超声波法由于良好的抗干扰能力，在某些方面表现良好；基于软件的在线监测可以用于长期监测，红外成像可以在复杂的环境中发挥重要作用。智能型系统集成多种子系统，具有更好的综合效果，但是高昂的研究开发费用以及实施成本是影响其普及的重要原因。

在实际工作中，对庭院低压管网进行泄漏检测可以使用便携式检测设备、车载移动监测设备或者声发射传感器等；而对于城市主干管网，则应采用负压波法、次声波检测仪及基于瞬变流模型的在线监测等方法；对于老城区或者地势起伏较大的地区，宜用红外热成像仪和超声波定位仪进行巡检；场站阀门区域可利用泄漏检测与修复（LDAR）系统的自动化方式进行管理。通过多种信息集成与综合评估的方式，有利于提高泄漏检测工作效率以及准确性。

（二）泄漏防控与运行维护建议

从源头上考虑，应加强精细化管网设计、合理选材、有效防腐措施等方式提高整个系统的质量，在施工过程中严格把关，特别是在焊接连接以及回填时要按要求施工，减少安全隐患；而在运行管理方面，要注意对管网的压力进行控制，防止压力过大或者反复变化；还要有定期检查制度，关注施工影响区、易发生故障处以及老化管道等地方，做到早发现、早处理各种问题。

企业要完善管网的技术档案管理，做到管材材质、安装时间及维护情况等重要资料信息化、动态化。要建立应急预案，准备相应的应急物资和先进的止漏工具，提高对于突发性渗漏事故的响应速度，减少损失。

四、结语

城市天然气管网发生泄漏及其发展过程受到设计施工质量问题的、外部第三方施工影响、材料老化腐蚀作用以及运营管理能力不足等多种原因导致。而第三方施工破坏和长时间应力腐蚀开裂是造成管网安全隐患主要问题。目前，泄漏检测方法已经发展出多种途径共存局面，包括硬件设备监测、数据分析模型建立、人工巡查和智能化感知等手段。每种方式都有其特点并且可以相互配合使用来解决不同情况下问题。而在具体工程项目实施过程中，则需要根据管道的压力等级、敷设条件、使用寿命以及投入资金情况进行合理选择最合适的方案来保证检测效果良好。

管网安全保障体系建设要引入先进的检测方法，并实行全生命周期管理理念。该体系包括规划、设计、建设、运营以及突发事件处理等方面内容，是一个完整的系统化闭合回路。随着智能化、信息化发展，未来管网泄漏检测能够做到实时监测、准确定位、提前预警，大大加强防范能力，保障城市的能源供应安全稳定，也保护人民生命财产安全。

参考文献

- [1] 罗小武, 屈建宏, 臧国军, 苏欣, 张琳. 油气管网规划设计方法的现状 [J]. 油气储运, 2006, (07): 4-7+63+12.
- [2] Coster D, Medina J.L.P é rez, Nottebaere M, et al. Towards an improvement of GPR-based detection of pipes and leaks in water distribution networks [J]. Journal of Applied Geophysics, 2019.03, 162: 138-151.
- [3] Zhong Yanfei, Xua Yao, Wang Xinyu, et al. Pipeline leakage detection for district heating systems using multisource data in mid-and high-latitude regions [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019.05, 151: 207-222.
- [4] 巴连海, 郝长征. 管网泄漏原因分析及检测方法 [J]. 中国金属通报, 2024, (08): 162-164.
- [5] 吴高峰, 卢宁浩. 市政管网泄漏点无损检测与定位方法探析 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(07): 38-40.
- [6] 杨旭. 煤矿瓦斯抽放管道超声波泄漏检测方法研究 [J]. 煤矿现代化, 2026, 35(02): 165-169.
- [7] 漆勇, 王亮. 压力管道泄漏检测方法对比与应用分析 [J]. 化工设计通讯, 2026, 52(03): 68-70.