

市政给排水管网漏损检测与智能修复技术研究

张政东 李继良

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710100

摘要: 本文围绕市政给排水管网漏损检测与智能修复技术展开研究, 阐述管网构成、运行特性及漏损成因, 分析漏损带来的水资源浪费、环境安全隐患等危害。对比传统、新型无损及智能化检测技术的性能与适用场景, 重点研究紫外光固化等智能修复技术及配套设备, 评价其应用效果。研究表明, 智能化技术可大幅提升漏损检测精准度与修复效率, 延长管网使用寿命, 为市政给排水管网精细化管理、节水降耗提供技术支撑。

关键词: 市政给排水管网; 漏损检测; 智能修复技术

引言: 市政给排水管网是城市基础设施的核心组成, 承担着供水保障与污水排放的重要职能, 其运行稳定性直接关系居民生活与城市发展。当前, 管网漏损问题突出, 管材老化、施工缺陷等因素导致漏损频发, 不仅造成水资源浪费与经济损失, 还存在安全隐患。为响应节水优先战略, 破解漏损检测难、修复效率低的痛点, 推动管网管理向智能化转型, 本文聚焦漏损检测与智能修复技术, 开展系统性研究, 助力提升管网运行质量与可持续性。

1 市政给排水管网漏损相关基础理论与漏损成因分析

1.1 市政给排水管网相关基础理论

(1) 市政给排水管网的构成与分类: 主要由输水管网、配水管网、排水管网及附属设施组成, 按功能可分为给水管网和排水管网, 给水管网负责饮用水输送, 排水管网分为雨水管网和污水管网, 附属设施包括阀门、消火栓、检查井等, 保障管网正常运行。(2) 市政给排水管网的运行特性: 具有隐蔽性强、覆盖范围广、连续运行的特点, 受地形、气候、用水量变化影响较大, 需维持稳定的运行压力, 同时需具备一定的抗腐蚀、抗外力能力, 确保供水排水的连续性和安全性。

1.2 市政给排水管网漏损影响因素

(1) 管材与接口因素: 管材质量不佳、材质老化, 接口密封性能差、连接不牢固, 易导致渗漏, 如老旧铸铁管、混凝土管易腐蚀破损, 接口密封材料老化失效会直接引发漏损。(2) 施工与设计因素: 设计不合理, 如管道埋深不足、走向不合理, 施工工艺不规范, 如接口处理不当、回填土压实不足, 会留下漏损隐患, 后期易发生管道破损漏水。(3) 运行与维护因素: 管网运行压力过高或波动过大, 超出管道承载能力, 日常维护不及

时, 未定期开展管道检测、维修, 导致漏损隐患无法及时排查和处理, 加剧漏损程度。

1.3 市政给排水管网漏损成因机理

(1) 管材老化与腐蚀机理: 管材长期受水、土壤腐蚀, 以及大气环境影响, 材质逐渐老化、强度下降, 管壁变薄, 最终发生破损; 电化学腐蚀、化学腐蚀会加速管材损坏, 引发漏损。(2) 外力破坏与施工缺陷机理: 施工机械碰撞、地面沉降、车辆碾压等外力作用, 会导致管道断裂、接口松动; 施工过程中接口未对齐、密封不严密等缺陷, 长期运行后会逐渐显现, 引发漏损。(3) 运行压力与环境影响机理: 管网运行压力过高, 会增加管道内壁应力, 长期超负荷运行易导致管道破损; 温度变化、土壤冻融会使管道发生热胀冷缩、冻胀开裂, 进而引发漏损^[1]。

1.4 漏损造成的危害分析

(1) 水资源浪费与经济损失: 大量水资源流失, 加剧水资源短缺问题, 同时增加供水成本, 漏损修复、管材更换也需投入大量资金, 造成严重的经济损失。(2) 环境与安全隐: 漏损的地下水、污水易污染周边土壤和地下水, 影响生态环境; 管道破裂漏水可能导致地面塌陷, 影响交通和周边建筑物安全, 存在安全隐患。(3) 对管网运行效率的影响: 漏损会导致管网运行压力不稳定, 影响供水排水效率, 增加水泵运行负荷, 提升能耗, 同时漏损隐患可能引发管网局部瘫痪, 影响整体运行稳定性。

2 市政给排水管网漏损检测技术研究

2.1 传统漏损检测技术

(1) 人工听漏法原理与应用: 基于管道漏水时产生

的振动和噪声,检测人员借助听漏仪、听诊棒等工具,在管道上方监听漏损噪声,通过噪声强度、频率判断漏损位置和大致程度。该方法操作简便、成本低廉,适用于老旧小区、管径较小的管网检测,但受环境噪声干扰大,对检测人员经验要求高,检测效率较低。(2) 压力测试法操作流程与局限性:操作流程主要包括关闭管道阀门、稳定管网压力,通过压力表监测压力变化,若压力下降速率超出正常范围,则判断存在漏损并初步定位。其局限性在于只能判断管网是否存在漏损,无法精准定位漏点,且检测过程需暂停管网运行,影响正常供水排水,不适用于连续运行要求高的管网。(3) 目视检测法的适用场景与不足:通过检测人员现场巡查,观察管道接口、检查井、地面是否有积水、冒水、地面沉降等异常现象,判断漏损情况。适用于管网暴露段、检查井周边及易发生漏损的重点区域,操作简单直观,但覆盖范围有限,无法检测地下隐蔽管道的漏损,且易受天气、地形影响,漏损隐患易遗漏。

2.2 新型无损漏损检测技术

(1) 红外热成像检测技术原理与应用:利用管道漏损时水与周边土壤、空气的温度差异,通过红外热像仪捕捉温度场变化,形成热成像图,根据异常温度区域定位漏损点。该技术无损、高效,可实现大面积快速检测,适用于地下管道、绿化带等隐蔽区域,能精准定位漏点位置,但受环境温度、土壤湿度影响较大,检测精度易受干扰。(2) 探地雷达检测技术参数与实操要点:核心参数包括雷达频率、探测深度,常用频率为100-1000MHz,探测深度可达1-10米,频率越高探测精度越高、深度越浅。实操时需保持雷达探头与地面匀速移动,避开障碍物,结合管网图纸校准探测位置,适用于各类地下管道漏损检测,能清晰显示管道走向及漏损区域,但对非金属管道检测效果较差,易受地下管线干扰^[2]。(3) 示踪气体检测技术的优势与应用条件:将无毒、易检测的示踪气体(如氦气、氢气)注入管网,通过气体检测仪追踪气体泄漏轨迹,定位漏损点。其优势是检测灵敏度高、漏点定位精准,可检测微小漏损,且不影响管网正常运行;应用条件为管网需具备良好的密封性,不适用于破损严重、气体易扩散的管网,且检测成本相对较高。

2.3 智能化漏损检测技术

(1) 分布式光纤传感检测技术:以光纤为传感介质,沿管道铺设,通过监测光纤温度、振动变化,实时捕捉管道漏损异常信号,实现全程实时监测。该技术检测范围广、响应快、漏点定位准,适用于长距离输水

管网及漏损提前预警,但设备投入高、铺设维护难度大。(2) 噪声记录仪与AI分析技术:在管网关键节点安装噪声记录仪,实时采集运行噪声,通过AI算法分析数据、识别漏损噪声特征,自动定位漏点并预警。其可实现24小时无人值守,减少人工干预、检测效率高,适用于城市主干管网,但对AI算法精准度要求高,需定期校准设备。(3) 分区计量(DMA)与智能监测平台:将管网划分为若干独立计量区域,各区域安装流量、压力监测设备,通过平台采集分析数据,对比用水量与供水量差异,判断漏损并定位区域。该技术可实现漏损精准分区、动态监测,便于后续修复,适用于城市整体管网管理,但分区划分需科学,前期投入较大^[3]。

2.4 不同检测技术的对比与选型

(1) 技术性能对比:传统技术操作简便、成本低,但精度低、效率低;新型无损技术无损、精度较高,可实现隐蔽管道检测,但受环境影响大、成本中等;智能化技术精度高、效率高,可实时预警,但设备投入高、维护难度大。(2) 适用场景选型建议:老旧小区、小管径管网优先选用人工听漏法、目视检测法;地下隐蔽管道、大面积管网选用红外热成像、探地雷达技术;长距离输水管网、高精度需求场景选用分布式光纤、AI噪声分析技术;城市整体管网管理选用DMA智能监测平台。(3) 检测精度与效率优化方向:优化检测设备性能,降低环境干扰;融合多种检测技术,弥补单一技术不足;完善AI算法与智能平台,提升数据分析效率;加强检测人员专业培训,提升操作规范性,实现漏损检测精准化、高效化。

3 市政给排水管网智能修复技术研究

3.1 传统修复技术概述

(1) 开挖式修复技术流程与优缺点:流程主要包括现场勘察、围挡施工、土方开挖、管道清理、破损修复、回填压实及现场恢复,核心是通过开挖暴露管道,对破损部位进行更换、修补。其优点是技术成熟、修复彻底,适用于各类严重破损管道;缺点是开挖工程量、施工周期长,破坏路面、绿化带等市政设施,影响交通和居民生活,修复成本较高且易产生二次污染。(2) 常规非开挖修复技术(注浆、密封等)应用:注浆修复主要针对管道接口渗漏、微小破损,通过高压注入专用注浆材料,填充缝隙实现密封止水,适用于混凝土管、铸铁管等管材的轻微漏损修复;密封修复采用密封胶、密封垫等材料,对管道接口、破损处进行封堵,操作简便、成本较低,适用于管径较小、漏损程度较轻的管网,但修复耐久性较差,易再次出现漏损。

3.2 智能化非开挖修复技术

(1) 紫外光固化 (UV-CIPP) 修复技术: 将浸有光敏树脂的软管拉入破损管道, 通过智能控制设备照射紫外光, 使树脂快速固化形成高强度内衬管, 与原管道紧密结合。该技术修复效率高、施工周期短, 无需大面积开挖, 修复后管道耐腐蚀、抗磨损, 适用于各类管径的管道修复, 智能化程度高, 可通过设备精准控制固化时间和质量。(2) 喷涂聚脲弹性体修复技术: 利用智能喷涂设备, 将聚脲弹性体材料均匀喷涂在管道内壁, 形成致密、耐磨、耐腐蚀的防护层, 修复管道破损、腐蚀部位。其优点是施工灵活, 可适应不同形状管道, 修复后密封性好、使用寿命长, 智能化喷涂可保证涂层厚度均匀, 适用于老旧管道的防腐修复和轻微破损修补^[4]。(3) 记忆合金套筒与短管穿插修复技术: 利用记忆合金的形状记忆特性, 将预制套筒或短管送至破损部位, 通过智能加热设备触发记忆效应, 使套筒或短管紧密贴合管道内壁, 实现破损修复。该技术操作便捷、修复速度快, 对管道破坏小, 适用于管道局部破损、接口松动的修复, 智能化控制可精准定位修复部位, 提升修复效果。

3.3 智能修复配套技术与设备

(1) 管道机器人检测与修复一体化设备: 集成检测、清理、修复功能, 通过远程操控机器人进入管道, 实时传输管道内部影像, 精准定位破损部位, 同步完成清理、打磨、修复作业, 无需人工进入管道, 适用于地下隐蔽、狭窄管道的修复, 提升修复安全性和效率。(2) 智能注浆与固化控制系统: 通过智能传感器实时监测注浆压力、流量和材料固化进度, 自动调节注浆参数, 确保注浆均匀、固化充分, 避免出现注浆不足或过度注浆的问题, 提升注浆修复的精准度和耐久性, 降低人工操作误差^[5]。(3) 修复质量智能检测设备: 采用超声检测、红外检测等技术, 对修复后的管道进行全方位检测, 智能分析修复层厚度、密封性和牢固度, 自动生成检测报告, 及时发现修复缺陷, 确保修复质量达

标, 为后续管网维护提供数据支撑。

3.4 智能修复技术的应用效果评价

(1) 修复效率与成本分析: 智能修复技术施工周期较传统开挖技术缩短 50% 以上, 无需大量土方开挖和现场恢复, 人工成本降低 30% 左右, 虽前期设备投入较高, 但长期来看可减少重复修复成本, 整体性价比优于传统技术。(2) 修复后管网使用寿命评估: 智能化非开挖修复后, 管道内壁形成高强度、耐腐蚀防护层, 可使管网使用寿命延长 15-20 年, 有效减少管道破损、漏损频次, 降低管网维护成本, 提升管网运行稳定性。(3) 环境影响与经济效益评价: 无需开挖路面, 减少对市政设施和生态环境的破坏, 降低施工扬尘、噪音污染, 符合绿色施工要求; 同时减少水资源漏损, 降低供水成本, 提升管网运行效率, 兼具环境效益和显著的经济效益。

结束语

本文系统梳理了市政给排水管网漏损的成因、危害, 全面分析了各类检测与修复技术的优势、不足及适用场景, 重点探讨了智能化技术在管网治理中的应用价值。研究证实, 融合智能化检测与修复技术, 可有效降低漏损率、节约资源、减少成本。未来需进一步优化技术参数, 推动多技术融合应用, 完善智能管理体系, 破解隐蔽管网检测难题, 为城市给排水管网高质量运行提供更具针对性的技术方案与实践指导。

参考文献

- [1] 於万军. 市政给排水管网漏损问题分析及水资源保护策略 [J]. 水上安全, 2024, 7(10): 127-129.
- [2] 王一涵. 市政给排水管网漏损问题分析及水资源保护策略 [J]. 清洗世界, 2024, 40(3): 136-138.
- [3] 陈龙. 给排水中的管网分区与资源优化管理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, 21(8): 58-60.
- [4] 郑庆凡. 市政排水管线中非开挖拉管工艺的应用路径浅析 [J]. 散装水泥, 2024, 35(5): 127-129.
- [5] 谢琬. 市政给排水管网系统工程施工技术及对策研究 [J]. 中华建设, 2025, 14(6): 180-182.