

城镇供水管网漏损检测技术的应用研究

王美超¹, 刘月相^{2*}

(1. 浙江大学滨海产业技术研究院, 天津 300450;

2. 天津智云水务科技有限公司, 天津 300450)

摘要 为更好地开展城镇供水管网漏水检测工作, 从而提高其准确性、及时性和可行性, 本文在总结声学检测法、探地雷达及红外热成像技术、智能球与示踪气体以及光纤传感技术的基础上, 对其原理、应用范围和技术优势进行阐述。从管网漏水定位、分区计量、压力控制及智能化管理系统等方面出发, 介绍漏水检测方法的操作步骤及其注意事项。以老城区供水区域为例, 分析分区识别、模型筛选、现场检查以及开挖验证的过程以及效果。结果表明, 城镇供水管网漏水检测需要综合利用多种检测手段互相配合, 采取合理的分层次排查方式, 并结合硬件检测与模型分析, 有利于提高漏水处理速度, 减少产销差水量同时, 保障给水系统的正常运行。

关键词 城镇供水管网; 漏损检测; 分区计量管理; 智能监测平台

中图分类号: TU991.61

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.021

0 引言

城镇供水管网分布广泛, 埋设环境复杂, 由于管材老化、接口松动、外力作用以及水压变化等原因影响, 容易发生不同类型漏水现象。漏水会造成水资源浪费以及运营费用上升, 还会引起供水不稳定、道路破损以及水质安全隐患等。而漏水又因为隐蔽性强、定位困难以及处理周期较长等问题, 传统的巡查方法已经不能适应精细化管理的需求。因此, 需要不断提高漏水检测、查找和治理水平, 促进城镇供水管网管理工作向高效化、智能化的方向发展。

1 城镇供水管网漏损检测的主要技术类型

1.1 声学检测技术

声学检测法, 利用漏水点受到内部压力后发出的声音以及振动作为检测对象, 一般使用听漏棒、相关检漏仪、噪声记录仪等仪器进行检测。其工作原理是, 通过测量漏水产生的声音沿着管道壁和水流传播所经历的时间差、频谱以及幅度的变化来确定漏水的位置。听漏棒的有效范围大约是 200 m ~ 500 m, 相关检漏仪的有效范围大致在 15 m ~ 2 000 m 之间, 而噪声记录仪可以在夜晚自主记录不正常的声音, 并且可以长时间地工作。为进一步了解相关检漏仪的结构, 其工作流程如图 1 所示。

1.2 探地雷达与红外热成像技术

探地雷达和红外热成像是两种非接触探测方式, 前者利用高频电磁波探测漏点附近土体含水量变化导致

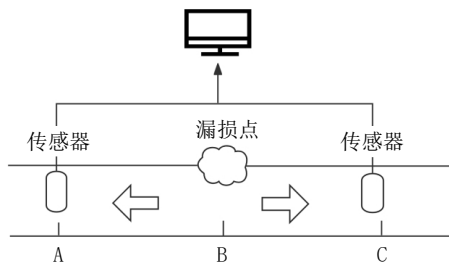


图 1 相关检漏仪示意图

反射异常情况; 后者根据漏水造成地面温度不同而区分不同区域^[1]。探地雷达一般探测范围约在 1 m 左右, 无损、准确度高、对管材要求低等特点, 使其适用于检测非金属管道以及浸湿区漏水位置; 而红外热成像可快速扫描、安全、覆盖面广等优点, 但是易受到外界气温、地面材料以及土壤状况等因素干扰。

1.3 智能球与示踪气体检测技术

智能球以及示踪气体检测方法都有靠近漏点的特点, 对于一些常规地面设备无法准确判断情况非常适用。智能球是在管道内放置装有声学传感器装置, 并不断采集整个频段声音信息, 根据在漏损状态下和正常状态下声音大小以及频率不一样来判断漏点位置, 比较适合用于长距离、大直径以及材质复杂管道上。而示踪气体一般使用 95% 氮气加 5% 氢气混合气体, 在被隔断管道中通入之后再用高灵敏度探测器在地上查找泄露气体, 即可达到大约 1 m 精度, 对于小漏点十分敏感。

作者简介: 王美超 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水厂智慧控制、漏损研究、水利模型。

***通信作者:** 刘月相 (1987-), 男, 本科, 研究方向: 水厂智慧控制、漏损研究、水利模型。E-mail: lyx0600@163.com

1.4 光纤传感检测技术

光纤传感检测技术基于光时域反射以及振动感知机理,在输水管线中部署传感光纤,实时监控由于漏水造成的振动、应变或者温度变化而产生的报警信息,从而达到对整个供水管线的长距离、分布式以及在线监测的目的^[2]。该方法可以使用普通的单模通信光纤接收泄漏产生的扰动信息,并通过受扰处的光路损耗来确定漏水的具体位置,具备良好的防腐蚀性、防电磁干扰能力和较长的传输距离。为便于理解系统的组成结构及其信号流程,如图2所示,为光纤传感的工作示意图。

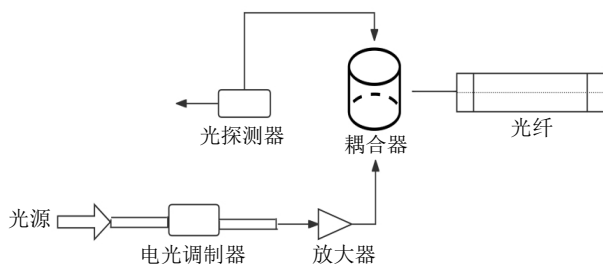


图 2 光纤传感技术原理图

2 城镇供水管网漏损检测技术的具体应用

2.1 在管网漏损定位中的应用

在管网漏损定位中,一般采用“异常发现—范围缩小—精确定点”的方式。工作人员首先可通过夜间最小流量、分区分段供排水量差以及节点压力变化来判断可能存在漏损的位置,然后根据管道直径、材质、埋深以及路面情况选择探测路径。到现场之后,如果是金属管道则优先使用相关检漏仪、听漏棒或者噪声记录仪等设备对声音信号进行采集,相关检漏仪适用于距离在 15 m~2 000 m 之间的情况,而听漏棒主要应用于距离小于等于 500 m 范围内近距离复核。对于非金属管道或者有较大干扰源以及地面较难到达区域,则可以使用探地雷达、示踪气体或者智能球法等方法进一步确认,示踪气体一般由 95% 的氮气和 5% 氢气组成,可以有效检测出较小漏点。最后,再结合实际收集的声音信号与其他相关资料对比分析,以免将突然增加用水量误认为是漏损。

2.2 在分区计量管理 (DMA) 中的应用

一般而言需要根据主干管走向、阀门位置、用户性质以及地形高差划分区域大小,一个DMA不宜过大,以便于夜间最小流量分析有足够敏感性。划分好之后,在其入口处应安装一台电磁流量计,或者超声波流量计,并同时配备一个压力表,流量采样间隔应在5 min~15 min之间,压力采样间隔应在1 min~5 min之间,

从而得到一天的变化情况。而在正常情况下,可以把每天晚上1点到早上4点作为重点分析时间段,在某区域夜间最小流量连续几天都比以往大8%~15%,并且居民用水变化不大,则认为此地区有隐性漏水的可能性^[3]。然后对该区域进行更细致的分析,在区域内设置边界阀门、支管集中位置、老化的管线处布置声级计,在夜晚低背景噪声的情况下进行探测,再使用相应的检测仪器对15 m~2 000 m范围内可疑管道进行复查。

2.3 在供水管网压力管理中的应用

应在泵站出口、DMA 入口、控制阀前后、地势变化较大位置以及末梢不利点设置在线压力表,其测量精度需满足 0.01 MPa 的要求,采样间隔应在 1 min 之内,以便捕捉到峰谷压力变化以及瞬态波动。而在运行过程中,可以将实际的压力与水力模型预测结果相比较,如果某处夜间静压长时间过高,而且该点压力连续高于模型值 0.03 MPa ~ 0.05 MPa,则有可能表明此处有较大漏水可能性,应优先开展泄漏定位工作。另外,对于易发生爆裂事故的大口径输水管道,还可以用逆瞬态法,或者时域法跟踪高频压力响应的发展趋势。一旦找到漏水位置之后,要利用减压阀分时调节、水泵组变频调整以及分区分压来减少不必要的超额压力,在调节之后,还要连续监测晚上的最低流量、各个点的平均压力和峰谷差。如果晚上最低流量显著下降,并且末端的服务压力仍然处于 0.14 MPa ~ 0.28 MPa 之间的话,就表明已经达到了良好的漏损控制并保证了正常供水的目的。

2.4 在智能化漏损监测平台中的应用

平台搭建期间, 将 SCADA 系统中流量、压力、泵站运行参数以及 DMA 分区计量信息全部接入平台, 同时将 GIS 管网拓扑关系、阀门井坐标、管材规格、管径埋深、建成年份以及以往漏失记录等信息一并纳入平台, 形成可以计算、可以追溯的基础。在线监控过程中, 平台以每 5 分钟或者 15 分钟频率获取流量信息, 以每分钟频率获取压力信息, 然后自动计算每个时间段内最小流量、各个区域之间用水量不平衡程度、各个节点之间的压力差值以及异常持续时间^[4]。一旦某个区域连续发生进水和出水变化较大、夜间流量上升或者局部区域压力变化不合理的情况, 系统就会发出警报, 并且根据管材材质以及周围环境给出合适的解决方案。最后在完成现场核查之后, 需要将结果立即反馈给平台以便于调整模型参数、补充训练集并对后续工作进行合理分配。

3 应用案例分析

3.1 项目概况与管网运行现状

某市老城区供水片区作为漏损检测技术的应用对象。该片区服务面积 6.8 km^2 ，服务人数约为 12.4 万人，管网总长 84.7 km ，主要为 DN100 ~ DN300 配水管，球墨铸铁管、灰口铸铁管以及聚乙烯管占比重。片区内服役年限大于 20 年的管段占 43.7%，由于某些地方受到车辆荷载、地基下沉或者接口老化等因素的影响，有暗漏的可能性。片区的日平均用水量为 $2.36 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，夜晚最小流量较大，而且有些地方出现井室积水、路面返潮以及末端水压变化的情况。为了便于后续工作的开展，将此片区分成四个一级 DMA 以及十一个二级小区，并增加了流量计、压力表以及声音采集器等设施。

3.2 漏损检测技术实施过程

本研究采用“分区识别—模型筛查—现场复核—开挖验证”的方式进行。DMA 系统接入后，连续采集 14 天的流量和压力数据，在此基础上定义 1:00 至 4:00 期间最小流量、分区进出水量之差以及节点之间的压力差为异常标准。对比得出 A2、B3 两个二级分区夜间流量有较大增长，同时，末端节点的压力始终处于较高水平，故将其列为优先检查对象。进入区域内之后，根据不同的管材材质、覆土厚度和路面情况采取不同的检测方法。对于球墨铸铁管道和灰口铸铁管道，在晚上布设声纳仪进行全面普查，在此基础上用相应的检漏仪进行时间差定位，每一段不超过 $80 \text{ m} \sim 350 \text{ m}$ 以便于后续的相关性分析。而对于聚乙烯管道或者受车流影响较大的道路，则使用探地雷达以及示踪气体法来进行进一步核实，示踪气体为 95% 氮气和 5% 氢气组成的混合气体，来查找小流量隐蔽漏水部位。对于一条直径为 500 mm 的主要管线，还同时应用了基于压力相关漏失估算的方法，来对比实际监测到的压力和预测的压力值，从而进一步缩小可疑范围之后再行实地聆听测试。整个过程共花费约 18 天的时间，总计布置声纳仪位置 46 个，布置在线压力表位置 9 个，布置临时流量计位置 6 个，在重点路段复查共计 27 次，最终找到漏点 11 个。

3.3 漏损治理成效与应用评价

在完成漏损点开挖修复、阀门维护及局部调压后，项目组对供水效率、运行压力以及检测反应进行持续观察评估^[5]。为更直观反映整治前后该区域变化，在水量损失控制、压力波动情况、抢修速度以及用户体验等方面做出对比分析，如表 1 所示。

表 1 项目漏损治理成效对比表

指标	治理前	治理后	变化幅度
综合漏损率 (%)	18.7	11.4	↓ 7.3
夜间最小流量 (m^3/h)	96.8	61.3	↓ 35.5
分区平均压力波动幅度 (MPa)	0.19	0.11	↓ 0.08
漏点平均定位时长 (h/处)	9.6	4.2	↓ 5.4
单月产销差水量 (万 m^3)	14.38	9.27	↓ 5.11
用户低压投诉率 (件/千户)	2.6	1.1	↓ 1.5

治理后片区综合漏损率由 18.7% 降至 11.4%，夜间最小流量由 $96.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 降至 $61.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ，说明隐蔽漏失得到有效控制；分区平均压力波动由 0.19 MPa 降至 0.11 MPa，说明调压及修复后运行更为稳定；同时，漏点平均定位时间缩短为 4.2 h/处，比治理前减少 5.4 h/处，说明通过 DMA 检测、模型筛查以及现场核查相结合的方法，查找问题更加高效；单月产销差减少约 5.11 万 m^3 ，用户低压投诉率由 2.6 件/千户降低到 1.1 件/千户，说明这种方法不仅可以提升水司管理水平，还可以提高最终用户满意度。

4 结束语

城镇供水管网漏损检测应根据管网情况、运行状况以及现场实际情况，选择合适的方法并进行综合运用。不同方法各有优劣，在准确率、适用性和可行性方面有所不同，但唯有与分区计量、压力管理和智能化平台等结合起来使用，才能更好地发挥漏损检测的作用。通过对比分析可知，分区监测、模型筛查和现场核实相结合的方式较为可行，有利于提高供水系统的管理水平及降低漏损率。

参考文献:

- [1] 侯毅. 城市供水管网漏损智能监测与快速修复技术应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2026(01):72-75.
- [2] 袁秋红, 叱干勇, 李小雨, 等. 城市供水管网漏损的检测、定位和控制策略[J]. 净水技术, 2026, 45(02):1-11.
- [3] 彭正华. 市政供水管网漏损检测技术与控制策略研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2025(04):29-32.
- [4] 何团. 压力调控技术在供水管网漏损中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2025(01):21-24.
- [5] 肖文智, 李景文, 梁福武, 等. 老旧城镇供水管网漏损智慧控制研究及应用[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(03):13-16.