

市政给排水管网漏损检测与定位技术研究

刘俊¹, 张辉²

1. 山东华德市政工程集团有限公司, 山东 青岛 266000

2. 青岛安博劳务工程有限公司, 山东 青岛 266000

DOI:10.61369/ERA.2025080001

摘 要 : 本文系统研究市政给排水管网漏损检测与定位技术。早期以直接观察法、听音法为主, 虽操作简便, 但存在效率低、准确性差等局限。随着科技进步, 声学检测、流量监测等基于物理原理的技术及智能融合技术不断涌现, 但在准确性、成本控制与环境适应性方面仍有待提升。主流检测技术如流量监测、压力监测、声波检测和红外热成像各有利弊, 定位技术中的相关分析法、时间差定位法、阻抗定位法也存在应用局限。实际应用中, 管网材质多样、环境干扰等问题突出, 可通过优化设备、改进算法等方式应对。未来, 该技术将朝着多技术融合、智能化、精准化方向发展, 同时兼顾成本效益, 助力市政给排水管网可持续运行。

关 键 词 : 市政给排水管网; 漏损检测; 定位技术

Research on Leak Detection and Localization Technology for Municipal Water Supply and Drainage Pipeline Network

Liu Jun¹, Zhang Hui²

1. Shandong Huade Municipal Engineering Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266000

2. Qingdao Anbo Labor Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266000

Abstract : This paper systematically studies the leak detection and localization technology for municipal water supply and drainage pipeline networks. Early methods mainly relied on direct observation and auscultation, which were simple to operate but had limitations such as low efficiency and poor accuracy. With technological advancements, physical principle-based techniques such as acoustic detection, flow monitoring, and intelligent fusion technologies have emerged. However, there is still room for improvement in terms of accuracy, cost control, and environmental adaptability. Mainstream detection techniques such as flow monitoring, pressure monitoring, acoustic wave detection, and infrared thermal imaging have their respective advantages and disadvantages. Similarly, correlation analysis, time difference localization, and impedance localization methods used in positioning technology also have application limitations. In practical applications, issues such as diverse pipe network materials and environmental interference are prominent, which can be addressed by optimizing equipment and improving algorithms. In the future, this technology will develop towards multi-technology integration, intelligence, and precision, while balancing cost-effectiveness, supporting the sustainable operation of municipal water supply and drainage pipeline networks.

Keywords : municipal water supply and drainage pipeline network; leak detection; localization technology

引言

市政给排水管网作为城市的“血脉”, 是城市基础设施的关键部分, 其稳定运行关乎城市的方方面面。它不仅为居民生活、工业生产、商业活动提供清洁水源, 保障人们日常用水需求和各类经济活动开展, 还承担着污水收集与处理的重任, 对维护城市生态平衡、实现可持续发展意义重大。然而, 当前市政给排水管网漏损问题严峻, 我国供水管网平均漏损率较高, 造成大量水资源浪费, 加剧了水资源短缺的困境。同时, 漏损增加了水厂制水、管网维护成本, 引发经济损失, 还会破坏管道周围土壤结构, 导致地面塌陷等安全隐患, 威胁居民生命财产安全, 尤其在一些老城区, 因管网老化漏损引发的事故频发, 给城市安全运行带来巨大挑战。

一、文献综述

（一）漏损检测与定位技术的早期发展

早期，市政给排水管网漏损检测与定位主要依赖直接观察法与听音法。直接观察是一种常见的漏损检测方法。通过目视检查排水管道和相关设施，寻找可能存在的破损、渗漏或泄漏迹象。这种方法通常需要人工巡视和检查，可以发现一些明显的问题，如裂缝、破坏或污水外溢等。但是，它在发现隐藏的小型漏损或地下管网中的问题方面存在一定的局限性^[1]。听音法则利用听音棒等简单工具，贴近管道聆听漏损点产生的微弱声音，以此确定漏损位置^[2]。这些传统手段操作相对简单，无需复杂设备，在一些小规模、布局简单的管网中有一定应用。然而，其局限性十分明显。人工巡检效率低下，难以全面覆盖管网，且无法检测到地下隐蔽的漏损点。听音法易受环境噪声干扰，对操作人员的经验要求较高，不同人员判断结果可能存在差异，导致检测与定位准确性较低。

（二）现代检测与定位技术的演进

随着科技发展，漏损检测与定位技术历经了从传统到多样化的变革。从早期单纯依靠人工与简单工具，逐渐发展出声学检测、流量监测、压力监测等基于物理原理的技术。近年来，更是涌现出如智能传感器、大数据分析、人工智能融合等先进技术^[3]。各阶段技术革新背后有着诸多驱动因素。城市规模不断扩大，管网日益复杂，传统技术难以满足需求，促使更精准高效的技术出现。同时，科技进步为新技术研发提供了基础，如传感器技术的提升使得实时监测成为可能，大数据与人工智能的发展则为数据处理与分析带来新契机^[4]。

（三）现有研究的不足

综合现有文献分析，当前漏损检测与定位技术研究存在多方面不足。在技术准确性上，部分技术在复杂管网环境或受干扰情况下，检测与定位精度仍难以保证。例如，声波检测易受环境噪声影响，导致定位偏差^[4]。成本控制也是关键问题，一些先进检测设备与技术的成本较高，限制了其广泛应用，如探地雷达设备价格昂贵。此外，复杂环境适应性有待提升，不同地区的地形地貌、气候条件等差异较大，现有技术并非都能稳定发挥作用，如红外热成像技术受天气因素影响明显。

二、主流漏损检测技术

（一）基于流量监测的算法分析

基于流量监测的算法分析，其原理在于对市政给排水管网的流量数据进行实时、精准监测，并借助特定算法深入剖析异常流量变化，以此实现漏损检测。在规模较小、布局相对简单的管网中，该技术能够通过简洁的流量监测点布置，快速捕捉到因漏损导致的流量异常波动，从而有效检测出漏损情况。而对于规模较大、布局复杂的管网，则需合理增设流量监测点，并运用更为复杂的算法对多维度流量数据进行综合分析，以准确识别漏损信号^[5]。此技术在检测准确性方面表现突出，能够较为精确地判断漏损是否发生，且具备一定的实时性，可及时反馈流量异常情况。然而，该技术易受管网运行状态的影响，如管网的用水量变化、阀门调节等因素，都可能干扰对漏损的准确判断。

（二）压力监测技术

压力监测技术的原理是，当市政给排水管网发生漏损时，漏损

点附近的管道压力会发生变化，通过监测管网压力的变化，能够判断漏损发生的具体位置及程度。在低压等级管网中，由于压力变化相对敏感，该技术能够快速捕捉到微小的压力波动，从而及时发现漏损。在高压等级管网中，虽然压力变化相对较大，但通过合理设置压力监测点和运用先进的压力传感器，同样可以实现有效的漏损检测。该技术的优势在于能快速响应漏损，一旦漏损发生，压力变化能迅速被监测到，且定位相对准确，可根据压力变化的情况初步判断漏损位置。不过，它易受外界因素干扰，如温度变化、相邻管网的运行干扰等，都可能导致压力监测数据出现偏差。

（三）声波检测技术

声波检测技术是利用当管道发生漏损时，漏损点会产生声波信号，这些信号会沿着管壁传播，通过特定的检测设备捕捉并分析这些声波信号来实现检测。对于不同管径的管网，声波传播的特性会有所不同，但声波检测技术能够适应多种管径范围。在材质方面，无论是金属管材还是塑料管材，声波均能在其内部传播，因此该技术适用于不同材质的管网^[6]。该技术操作简便，检测人员经过简单培训即可上手操作，且检测精度高，能够较为准确地定位漏损点。然而，其受环境噪声影响较大，在城市复杂环境中，各种噪声源可能会干扰声波信号的接收和分析，从而影响检测的准确性。

（四）红外热成像技术

红外热成像技术的原理是，当市政给排水管网发生漏损时，漏损点周围土壤的温度会因水流的影响而发生变化，通过检测管网表面温度差异来发现漏损。在埋深较浅且地表温度差异明显的环境下，该技术能够充分发挥其优势。例如，在昼夜温差较大的地区，白天管网周围土壤温度受水流影响较低，与周围地表温度形成差异，利用红外热成像设备可快速捕捉到这种温度异常区域，从而发现漏损。该技术具有能快速大面积检测的优势，可在较短时间内对大片区域进行扫描检测。但它受环境因素影响大，如天气状况，阴雨天气或大雾天气会降低红外热成像的清晰度；地表覆盖物，如植被、建筑物等，也会遮挡红外热成像的视线，影响检测效果。

三、主流漏损定位技术

（一）相关分析法

相关分析法是基于漏损点产生的声波信号在管网中传播时，不同传感器接收到的信号具有相关性这一原理来确定漏损位置。当管网发生漏损，漏损点会发出声波，该声波沿管壁向四周传播，布置在管网不同位置的传感器会接收到这一信号。通过计算不同传感器接收到的声波信号之间的相关性，可以确定漏损点的位置。具体而言，当两个传感器接收到的信号相关性最强时，表明漏损点位于这两个传感器之间的某一位置，通过进一步的计算和分析，能够较为准确地定位漏损点。该技术的定位精度受多种因素影响。其中，管网材质是一个重要因素，不同材质的管网对声波信号的传播特性不同，金属管材对声波传播衰减较小，信号传播距离较远，定位精度相对较高；而塑料管材对声波衰减较大，信号传播距离有限，可能影响定位精度。

（二）时间差定位法

时间差定位法是利用声波在不同位置到达时间差来计算漏损位置的原理进行定位。在管网中，当漏损点产生声波后，声波会以一定的速度向周围传播，布置在管网不同位置的传感器会先后接收到该声波信号。通过精确测量声波到达不同传感器的时间差，结合声波在管网中的传播速度，就可以计算出漏损点相对于传感器的位置，进而确定漏损点的具体位置。

该技术在特定管网条件下具有较好的适用性。例如，在管径较为均匀、材质相对单一的管网中，声波传播速度相对稳定，时间差测量较为准确，能够获得较好的定位效果。然而，该技术也存在一定的局限。信号传播存在不确定性，实际管网环境中存在诸多干扰因素，如管道接口、阀门等部件可能会影响声波传播路径和速度，导致时间差测量出现误差，进而影响定位准确性。

（三）阻抗定位法

阻抗定位法是通过测量管网阻抗变化来确定漏损位置的原理。当管网发生漏损时，漏损点处的流体状态发生变化，会导致管网的阻抗特性发生改变。通过在管网合适位置安装阻抗测量装置，实时监测管网的阻抗变化，当检测到阻抗异常变化时，可以判断该位置附近可能存在漏损点。

四、实际应用中的挑战与应对策略

（一）管网材质多样带来的挑战

市政给排水管网材质多样，常见的有金属管道（如铸铁管、钢管）和塑料管道（如PVC管、PE管）等，不同材质对检测与定位信号传播影响显著。金属管道具有良好的导电性和声波传导性，对于基于电磁感应或声波检测的技术较为有利，然而，金属管道易受腐蚀，腐蚀产生的杂质和坑洞可能会改变信号的传播路径和强度，干扰检测与定位的准确性^[7]。塑料管道由于其绝缘性和较低的声波传导性，在使用电磁类检测技术时信号衰减严重，导致检测难度增大。例如，在采用探地雷达检测塑料管道漏损时，电磁波在塑料中的传播特性与金属不同，反射信号较弱，难以准确判断漏损位置。此外，不同材质的管道热传导性能也不同，这会影响红外热成像技术在检测中的应用效果，金属管道热传导快，温度变化迅速，而塑料管道热传导较慢，可能使漏损点的温度差异不够明显，不利于检测。

（二）环境干扰问题

实际应用中，多种环境因素对检测与定位技术产生干扰。环境噪声是主要干扰源之一，在声波检测技术中，城市中的交通噪声、工业噪声等背景噪声会掩盖漏损点产生的声波信号，使检测设备难以准确捕捉和分析有效信号，降低检测精度。温度变化也会影响检测与定位结果，例如，压力监测技术中，温度的改变会导致管道内流体体积和压力的变化，这种变化可能与漏损引起的压力变化相混淆，干扰对漏损的准确判断^[8]。地形地貌因素同样不可忽视，在山区或地势起伏较大的地区，重力作用会影响管道内流体的流动和压力分布，给基于流量和压力监测的检测技术带来误差。

（三）应对策略

针对上述挑战，需采取一系列应对措施。在检测设备优化方面，可研发适应不同材质管网的专用检测设备，如针对塑料管道开发高灵敏度的电磁检测设备，增强信号接收能力。对于环境噪声干扰，可改进检测设备的降噪算法，采用自适应滤波技术，有效区分背景噪声和漏损信号。在算法改进上，结合大数据和人工智能技术，建立针对不同材质、环境条件的检测与定位模型，提高对复杂情况的适应性^[9]。例如，通过对大量不同材质管道在不同环境下的检测数据进行学习，优化相关分析法和时间差定位法的算法，提高定位精度。此外，选择合适的检测时间也很重要，如在夜间环境噪声较低时进行声波检测，可减少噪声干扰，提高检测准确性。对于温度变化的影响，可在检测过程中实时监测环境温度，并对检测数据进行温度补偿修正，以消除温度因素对检测结果的影响。

五、结束语

市政给排水管网漏损检测与定位技术已实现从传统到现代的跨越。当前，流量监测、声波检测等各类检测技术，以及相关分析法等定位技术虽各有优势，但在准确性、成本及环境适应性方面存在不足，易受管网特性与环境因素制约。未来，该技术将向多技术融合、智能化、精准化发展。通过整合流量、压力等多源检测技术，结合智能传感器、大数据与人工智能，构建高效监测定位体系，突破单一技术局限。同时，需重视成本效益，优化检测流程，强化管网管理，在保障精度的前提下降低资源损耗与经济损失，为城市水资源管理提供有力技术支撑。

参考文献

[1] 刘芳芳;路甜甜.城市排水管网漏损检测与修复策略研究[J].建筑与装饰,2024,(6):22-24.

[2] 岳宏宇.基于群体智能优化算法的供水管网压力监测点优化布置与爆管预警定位研究[D].青岛理工大学,2021.DOI:10.27263/d.cnki.gqudc.2021.000324.

[3] 蒋莉蓉.市政管网漏损检测技术与策略对管网建设的启示[J].城镇供水,2023,(6):39-43.

[4] 李宁,王晓东,惠雨乔,等.排水管道阻塞辨识定位和供水管网漏损技术及应用现状分析[J].给水排水,2022,58(S1):1074-1082.DOI:10.13789/j.cnki.wwwe1964.2021.05.08.0005.

[5] 苏彦博.基于供水管网水力模型校验的测压点优化选址与多工况漏损定位研究[D].青岛理工大学,2023.DOI:10.27263/d.cnki.gqudc.2023.000514.

[6] 马志霄.基于水力模型的住宅小区管网漏损分析与压力管控研究[D].安徽建筑大学,2024.DOI:10.27784/d.cnki.gahjz.2024.000685.

[7] 董文瑾.基于时空数据分析的深度学习模型在供水管网漏损定位中的研究[D].青岛理工大学,2020.DOI:10.27263/d.cnki.gqudc.2020.000198.

[8] 金俊伟;朱松;元鹏鹏;邓娟.城镇供排水管网检测技术与管理[J].中国科技信息,2023,(2):125-127.

[9] 孙露.基于运行工况的排水管网漏损范围评价研究[D].哈尔滨工业大学,2021.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2021.005688.

[10] 刘润宇.市政给排水管网漏损问题研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(11):72-74.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2024.11.072.03.