

市政供水管网漏损检测及修复技术研究

徐向前, 许柱亮, 郭伟明

中信建设有限责任公司, 北京 100027

DOI: 10.61369/SSSD.2025020029

摘 要 : 城市供水管网作为自来水配水、供水与输水系统的核心设施, 被誉为保障城市正常运转的“生命线”。其稳定运行和高效工作是维持城市活力不可或缺的前提条件。一旦供水管线出现漏水现象, 不仅会对交通造成干扰, 还可能导致停水, 严重影响市民的生产和生活秩序。此外, 对于供水企业而言, 漏水量的增加直接导致供水成本上升, 从而对企业的经济效益和社会效益产生不利影响。基于此背景, 本文集中探讨市政供水管网漏损检测与修复技术, 深入剖析管网漏损的成因, 并针对相关问题提出科学合理的解决方案。通过强化漏损控制措施, 优化管网管理机制, 可有效降低漏损率, 实现资源节约与经济效益提升的目标。这一研究对推动城市供水系统的可持续发展具有重要意义。

关 键 词 : 市政供水管; 漏损检查; 修复技术

Research on Leakage Detection and Repair Technology of Municipal Water Supply Network

Xu Xiangqian, Xu Zhuliang, Guo Weiming

CITIC Construction Co., Ltd., Nanjing, Beijing 100027

Abstract : As the core facility of tap water distribution, water supply and water transmission system, the urban water supply network is known as the "lifeline" to ensure the normal operation of the city. Its stable operation and efficient operation are indispensable prerequisites for maintaining the vitality of the city. Once the water supply pipeline leaks, it will not only cause disruption to traffic, but also may lead to water outages, seriously affecting the production and living order of citizens. In addition, for water supply enterprises, the increase in water leakage directly leads to the rise of water supply costs, which adversely affects the economic and social benefits of enterprises. Based on this background, this paper focuses on the detection and repair technology of municipal water supply network leakage, deeply analyzes the causes of pipe network leakage, and proposes scientific and reasonable solutions to related problems. By strengthening leakage control measures and optimizing the pipe network management mechanism, the leakage rate can be effectively reduced and the goal of resource conservation and economic benefit improvement can be achieved. This research is of great significance for promoting the sustainable development of urban water supply systems.

Keywords : municipal water supply pipes; leakage inspection; remediation techniques

一、市政供水系统管网漏损现状

我国城市化进程处于快速发展阶段, 市政供水管网的质量在城市建设与发展过程中占据关键地位^[1]。在城市的建设和发展过程中, 供水管网不可避免地会面临各种挑战和影响, 这些因素可能导致供水管道出现老化或破损, 进而引发漏水等紧急情况。目前, 导致供水管道漏损的主要因素包括地质与环境方面的原因^[2]。地质活动的变化, 如地基的沉降或地震的震动, 可能会对管道施加挤压或拉伸的力量, 从而造成管道的破损和漏损。同时, 外部环境的变化也不容忽视, 季节的更替带来的温度波动、土壤的荷载以及路面重载车辆的频繁碾压, 都可能对管道产生压力, 进而引发漏损甚至爆管事故^[3]。

对此, 市政相关部门应注重从供水实际情况出发, 深入做好设施改造, 提升应急处置能力, 优化供水服务等工作。例如, 在

襄垣县城区老旧管网的检测与维修中, 施工人员对其主要施工项目为新建市政供水管网、改造老旧片区与城中村供水管道、建设智慧水务信息在线监测设施等施工项目, 形成“城市水务物联网”, 将海量水务信息进行及时分析与处理, 并做出相应的处理结果辅助决策建议, 以更加精细和动态的方式管理水务系统的整个生产、管理和服务流程, 达到“智慧”的状态, 切实将这一人民群众极为关心的城市建设工程做实、做优。

二、市政供水管网漏损的影响因素

(一) 供水管道严重老化, 供水压力不断提高

当前, 供水管道老化现象在我国多个城市表现得十分突出。随着时间的推移, 部分城市的供水管网逐渐出现老化问题^[4]。与此同时, 城市用水需求持续增长, 导致供水压力不断攀升。在这

种情况下，老旧管道难以承受日益增大的水压，从而产生破裂甚至爆裂的情况。这种现象不仅影响了城市的正常供水秩序，还造成了大量水资源的浪费，对城市基础设施建设造成了一定阻碍。

（二）施工不规范和维护管理不到位

施工过程中的不规范操作以及后期维护管理的缺失是引发管网漏损的重要原因。在实际施工中，不同工程的具体需求各不相同，这与地理位置、施工现场条件及周边环境密切相关。然而，若施工人员未能严格按照标准规范进行施工操作，并且在工程竣工后未开展必要的验收工作，则可能为后续使用埋下隐患^[5]。

（三）管材选择不到位

目前，常见的管道材料主要包括水泥管、铸铁管和钢管三种类型。水泥管虽然具备较高的强度，但其接头处的柔性接口在长期受到水压冲击时容易发生变形或老化，进而引发漏损问题^[6]。铸铁管相较于水泥管不易变形，但其材质易被氧化，在水压作用下容易腐蚀，形成裂缝，最终导致漏水现象。而钢管由于管壁较薄，所能承受的压力有限，一旦水压骤然升高，极有可能出现破裂情况。

（四）计量偏差

计量偏差是供水管网漏损问题中的一个重要方面，系统误差主要体现在水量统计相关仪器设备自身的误差上，此外，供水与售水周期的不匹配以及采用近似公式进行水量统计也会产生内部系统误差^[7]。随机误差则由操作人员在读取、记录水量过程中发生的失误引起。除此之外，还有许多应纳入却未纳入计量体系的情况，例如消防等城市公用事业领域的无偿用水行为、偷水行为、公共用水设施水量未能合理分摊到户以及管网日常维护过程中产生的未统计用水量等。

三、市政供水管网漏损监测技术

（一）压力测试法

压力测试法作为市政供水管网漏损监测的重要手段之一，通过向管道内注入一定压力的介质（通常是水或空气），并保持一段时间，观察压力变化情况来判断是否存在泄漏。此方法基于流体力学原理，当管道内部出现破损或连接处密封不良时，在施加外部压力后，介质会从缺陷处逸出，导致压力下降。在实际操作中，为了确保测试结果准确可靠，必须严格按照规范流程执行。开始前，需要对目标管道进行全面检查，包括清理杂物、封闭末端开口、安装压力表和其他必要的监测设备。准备工作完成后，缓慢向管道内充入介质直至达到预设压力值。此时，应保持恒定压力状态，并记录初始读数。接下来，在规定时间内持续监控压力变化，如果发现异常波动，则说明可能存在漏损部位。

对于不同类型材质以及结构特点各异的管道系统，选择合适的压力测试方案至关重要。例如，在铸铁管路中，由于其脆性较大，不宜采用过高压力以免造成二次损坏；而对于塑料管材，则可根据具体产品性能适当调整测试压力范围。此外，考虑到环境温度、湿度等因素可能会影响材料特性进而干扰测试结果，建议尽量选择天气稳定时段开展工作，并采取措施减少外界干扰。

（二）流量检测法

流量检测法是识别和评估市政供水管网漏损的有效手段之一，通过测量特定管段内水流的变化情况来判断是否存在漏损现

象。在实际操作中，通常会选择一个封闭的管段进行检测，即关闭该管段两端的阀门，然后在已知条件下对流经此段管道的水量进行精确计量。当供水系统正常运行时，流入某一管段的水量应该等于流出该管段的水量。然而，如果存在漏水点，则会发现流入量大于流出量，两者的差值即为漏失水量。为了提高测量精度，需要确保测量环境尽可能稳定，避免外界因素如温度变化、压力波动等对结果造成干扰。

对于复杂的城市供水网络而言，直接应用流量检测法可能存在一定困难。由于城市供水管道往往分布广泛且相互连接，很难找到完全独立的管段来进行封闭式测量。因此，在实际应用过程中，可以采用分区计量的方法。将整个供水区域划分为若干相对独立的小区域，每个区域内设置进水管和出水管上的流量监测点。除了常规的静态流量检测外，动态流量检测也是一种重要的补充方式。它主要针对那些因间歇性用水或其他原因导致流量不稳定的情况。通过安装具有瞬时流量记录功能的智能流量计，能够实时获取管道内的流量变化曲线。结合时间序列分析算法，可以从海量数据中提取出反映漏损特征的信息。

（三）声学检测法

声学检测法是一种非侵入性的漏损检测方法，通过捕捉和分析供水管道内部水流产生的声音信号来确定漏点位置。该方法基于漏水时水从高压区域泄漏到低压区域产生的噪声，这种噪声会沿着管道壁传播并在某些位置被传感器捕捉到。传感器通常安装在消火栓、阀门或其他固定设施上，这些位置可以作为稳定的检测点。声学检测法具有操作简便、检测速度快且无需停水的优点，因此在实际应用中得到了广泛推广。

声学检测设备主要包括漏水噪声传感器、数据采集器和数据分析软件三部分。漏水噪声传感器用于捕捉管道内产生的声信号，常见的有压电式传感器和光纤传感器。压电式传感器结构简单、成本低，但灵敏度相对较低；光纤传感器则具有高灵敏度、抗电磁干扰能力强的特点，适用于复杂电磁环境下工作。数据采集器负责将传感器捕捉到的模拟信号转换为数字信号，并传输给数据分析软件。数据分析软件通过对大量历史数据的学习训练，建立了漏水声纹特征库，可以快速准确地识别漏水声信号。

在实际应用过程中，声学检测法还需要结合其他辅助手段共同完成漏点定位任务。例如，当声学检测初步确定一个较大范围内的疑似漏点后，可采用压力测试法进一步缩小范围。通过对比不同位置的压力变化情况，最终锁定漏点精确位置。此外，对于一些特殊场景下的漏损检测，如埋深较深或位于交通繁忙路段下的管道，还可以利用地质雷达等先进探测设备进行综合判断，确保漏点定位的准确性。

四、市政供水管网漏损修复技术

（一）等径压缩 HDPE 管穿插修复在线管道技术

等径压缩 HDPE 管穿插修复在线管道技术将外径比主管道内径稍大的 HDPE 内衬管经过主动径向均匀逐级压缩，使其直径暂时减小，经牵引机拖入管道内，经过 24h 后内衬管自然恢复到原

来的直径，衬管和主管道内壁过盈紧密贴合，形成“外钢内塑”的复合管道，达到管道整体结构性增强和内防腐的目的^[14]。该技术先后在全国20多个城镇推广应用，彻底解决了管网漏损难题，降低更换管线投资50%以上，减少了城市大面积开挖所造成的交通阻塞、环境破坏及管线二次污染，经济效益和社会效益显著。例如，北海市主城区供水管网改造工程—银滩大道的给水工程。该工程位于北海市银滩大道浙江路至南海路，位于城市的中心位置。建设DN800管道，全长5424m，采用HDPE等径压缩高密度聚乙烯管穿插修复在线管道技术，彻底解决了该城市地段供水泄露严重、水体输送污染、供水压力不足等问题。

（二）“旋转气流法”管道非开挖修复再造技术

“旋转气流法”管道非开挖修复再造技术主要利用空气动力学原理，采用物理方法，应用专用设备人为制造“龙卷风”——旋转气流，输入目标管道。以“旋风”为工具，利用其高速旋转前进的动力及无孔不入的特点，以非开挖的方式，完成对管道的除垢、除锈清洗，清洗后还可同时做内壁涂覆保护层，封堵渗漏、长效防腐。当前，“旋转气流法”技术已在城乡供水、供暖、燃气、石油、化工、消防、核电等领域得到广泛应用，有效地解决了用户保障管网安全高效运行的各项难题。例如，上海市浦东区东高路680号城建置业基地内的DN100变径为DN150的铸铁地埋供水管道，管道内壁有原始水泥砂浆涂层，局部腐蚀结垢较严重并有多处大小漏点。采用“旋转气流法”管道清洗修复技术对老旧管道实施非开挖修复，不但对管道高效清洗，恢复流量实现节能降耗，还对管道内壁涂膜封堵小渗漏点形成铆固形态，长效防腐延长管道的使用寿命，更重要的是用食品级的涂料对管道内壁涂膜，保障了输送水质，使直饮水的目标可以实现。

（三）城市供水管网病害诊断及精准定位技术

近年来，随着物联网技术和大数据分析的快速发展，基于智能算法的城市供水管网病害诊断系统逐渐成为研究热点。通过在管网中部署大量传感器节点，形成一个完整的物联网监测网络。

这些传感器节点能够实时采集管网的各项运行参数，并将数据上传至云端平台。利用机器学习算法对海量数据进行挖掘和分析，可以自动识别管网中的异常模式，预测潜在的病害风险。例如，通过训练神经网络模型，系统可以根据历史数据和实时监测数据，提前预警可能出现的漏水事件，帮助管理人员及时采取措施，减少损失。

精准定位技术是病害诊断后的关键步骤，传统的定位方法往往依赖人工排查，效率低下且容易遗漏。现代的精准定位技术主要包括GPR（地质雷达）、电磁感应法等。GPR通过发射高频电磁波并接收反射信号，能够穿透土壤层，清晰地显示出地下管道的结构和位置。对于隐蔽性较强的病害部位，GPR可以提供高分辨率的图像，帮助技术人员准确找到问题所在。而电磁感应法则利用了金属管道与周围介质之间的电导率差异，通过发射电磁场并检测其变化情况来确定管道的位置和走向。这种方法对于金属材质的管道特别有效，能够在较短时间内完成大面积的排查工作。

五、结束语

襄城区老旧小区由于供水管网使用年限长，管道老化严重，导致管道跑水、漏水等现象频发，不仅造成水资源浪费，用水量、水压、水质还得不到保障。为确保管网改造顺利进行，襄垣县城乡相关部门在持续提升供水监管信息化水平过程中强调要做到整个保障体系建设、监管等工作公开透明，加强对供水企事业单位信息公开的监督管理和指导，特别是在水资源污染、调整供水价格等关系民生领域等方面，综合考虑当地经济社会发展水平和用户承受能力，以公开透明的方式让居民及时知晓相关信息，将供水安全保障做到位。另外，施工团队每次施工前都会利用压力测试法对现场进行勘察，根据实地情况制定施工方案，确保“一地一方案、施工不断水”，有效提升了城乡供水保障能力。

参考文献

- [1] 胡佳萍，王守强，江学志. 城市道路供水管网漏损精准定位与非开挖修复技术研究 [J]. 上海建设科技, 2024(3): 88-90.
- [2] 朱贵兵，苏善昭. 基于 PLC 的供水管网漏损检测系统研究 [J]. 城镇供水, 2024(5): 37-43.
- [3] 武斌. 基于智能监测的输配水管网漏损检测与定位技术研究 [J]. 水上安全, 2024(15): 55-57.
- [4] 张博. 东阿县地下给排水管网漏损检测及展望 [J]. 新农民, 2024(18): 40-42.
- [5] 蒋白懿，牟天蔚，李维柯，王康，肖敏，王鑫. 基于深度学习框架的时空联合供水管网漏损检测研究 [J]. 给排水, 2024, 50(6): 152-158.
- [6] 刘刚. 基于物联网技术的智慧水务及供水管网漏损检测应用方案 [J]. 电子技术与软件工程, 2020(19): 21-23.
- [7] 陈卫星. 供水管道内喷涂修复施工方法的研究与应用 [J]. 中国设备工程, 2021(10): 192-195.
- [8] 陈晴，胡海龙. 基于 PLC 的供水管网漏水检测系统设计与应用 [J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(7): 77-79.
- [9] 王银宇，盛继红，潘斌，俞亭超. 服务于水力模型的监测点优化布置技术应用 [J]. 中国给水排水, 2022, 38(17): 39-44.
- [10] 杨海燕，侯少轩，张学茸，周广宇，程小文，刘广奇. 基于点—线—网—智慧的供水管网漏损系统化控制措施研究 [J]. 给排水, 2022, 48(9): 130-138.
- [11] 毛立波，雷涛，马鸿兰，郭晨光，张新伟. 基于 Conv1D-GRU 深度神经网络的短时多步水量预测方法研究 [J]. 给排水, 2022, 48(11): 17-21.
- [12] 黄俊. 城市供水管网漏损检测及非开挖修复技术研究 [J]. 建筑科技, 2022, 6(6): 48-50.
- [13] 梁祥. 市政地下排水管道常见病害成因及防治 [J]. 江苏建材, 2023(3): 119-120.
- [14] 刘克成，张立军，王颖楠，姚鸿森. 火电厂用水档案建立及数据分析 [J]. 给排水, 2023, 49(5): 74-82.
- [15] 杨明霞. 城市排水管道检测机器人研究进展 [J]. 广东建材, 2023, 39(8): 132-134.