

污水系统旱天外水入侵排查应用研究

丁 欣

(上海卢湾市政工程有限公司, 上海市 200023)

摘 要: 旨在提出一种高效、经济的污水管网外水入侵诊断方法,以克服传统 CCTV 检测方法耗时、耗力的缺点,快速缩小旱天外水入侵的范围,提高污水管网诊断效率。针对旱天外水入侵问题,提出了一种基于在线监测与便携式手持设备联合作业的监测模式。首先,利用在线监测数据和分区诊断技术,识别外水入侵严重的区域;然后,通过便携式手持设备进一步缩小问题范围至特定管段或清水流入点。方法应用于某北部城市污水管网的实际诊断,成功缩小了多个问题管段范围及精准定位多个外水入侵点,验证了这种方法在问题诊断中的高效性和实用性。

关键词: 污水管网;外水入侵;在线监测;便携式手持设备

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)06-0230-04

Application Research on Detection of External Water Intrusion in Sewage Systems during Dry Days

DING xin

(Shanghai Luwan Municipal Engineering Co., Ltd., Shanghai 200023, China)

Abstract: An efficient and economic method for diagnosing external water intrusion in sewage pipe networks is proposed to overcome the time-consuming and labor-intensive drawbacks of traditional CCTV inspection methods. The goal is to quickly narrow down the scope of dry-weather external water intrusion and improve the efficiency of sewage pipe network diagnostics. To address this issue, a monitoring mode based on the combined operation of online monitoring and portable handheld devices has been developed. First, the online monitoring data and zonal diagnostic techniques are used to identify the areas with severe external water intrusion. Then, the portable handheld devices further narrow down the problem scope to the specific pipe sections or clear water inflow points. This method applied to the actual diagnosis of a sewage pipe network in a northern city successfully narrows down multiple problematic pipe sections and precisely locates multiple external water intrusion points, which verifies its efficiency and practicality in problem diagnosis.

Keywords: sewage pipe network; external water intrusion; online monitoring; portable handheld device

0 引 言

开展城市排水管网排查诊断是污水提质增效的关键^[1]。《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》实施以来,全国各地级及以上城镇陆续开展了管网排查诊断工作^[2-6]。排水管网分级诊断技术是以排水分区为单位,对分区内管网进行监测诊断,根据诊断结果对各排水分区健康程度进行排序,明确进一步检查和改造片区优先级^[7-10]。快捷地排查出外水入侵区域,可为开展针对性的管网修复和设施改造工作奠定基础,已有多名学者对

此方法进行探讨并在多地应用^[11-13]。在找出外水入侵区域后,需进一步精细化识别管网拓扑结构关系,确定外来水入渗的重点区域,或开展 CCTV 监测找出具体结构缺陷点。程小文^[14]提出一种污水管网外水快捷排查的方法,主要是基于污水管网的分区水质监测与数据分析,逐次细化排水分区,迭代监测布点方案,逐步缩小监测范围,筛查出外水入侵的问题管段,然后通过人工巡检、CCTV 监测等手段检查排水管道找出结构性缺陷或外水流入点。

但管道 CCTV 检测费用或进一步精细化在线监测费用昂贵,引入一种“在线监测+便携式手持设备”的联合模式,在在线监测进行分区域诊断的基础上,通过便携式手持设备结合现场调查锁定问题管段与点位,从而显著缩减后续 CCTV 检测及整改范围,具

收稿日期: 2025-01-13

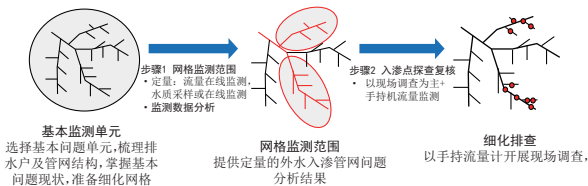
作者简介: 丁欣(1981—),男,本科,工程师,从事市政、水务管理工作。

有操作简便、投入少、见效快的优点。

1 技术方法介绍

1.1 总体思路

监测模式采用“基本监测单元-细化区块-问题溯源”的分级诊断策略。首先通过固定式在线监测设备对问题区块进行初步诊断;其次,通过便携式设备对问题区块内的管段进一步排查;最终锁定问题管段或具体入流点,详见图 1。分析方法结合流量变化规律、物料守恒计算及人工水质采样,实现对污水管网问题的定量化识别。



1.2 监测设备选择

(1)固定式在线监测设备:基于污水管网的在线监测目标和现场条件,需选用产品级整机设备以便更符合防潮、防爆、防腐技术要求。在线监测设备与在线数据分析平台应实现软硬件一体化,保证数据采集与传输的稳定性和持续性,便于后续数据分析和可视化分析。选用 THWater 智慧排水监测流量仪作为数据采集仪器,可适用于圆形截面以及矩形断面下的多种排水管渠的在线流量监测,能在不同充满度的管渠过流条件下进行监测,实现分钟级数据的测量、存储和传输,以 IP68 防护级别可满足防腐、防水等多种恶劣条件下的流量监测。

(2)便携式手持设备:便携式手持设备具备可充电、可随身携带的特点,连接流量探头,在机身显示屏设置好管径、淤泥等参数,可快速获取水流状态信息,监测管网内的监测液位、流速和流量数据。选用 THWater 便携式流量仪作为现场调查所用仪器,可针对某一片区管网进行多个监测点的巡查,记录不同监测点的数据,并将数据下载到 PC 端进行数据整理与分析。

1.3 技术工作流程

技术工作流程包括资料收集、划分排水分区、开展流量在线监测和人工水质采样监测、识别旱天外水入渗严重区域、开展便携式手持机监测和现场调查、缩小问题管段范围或找到外水入流点等(见图 2)。

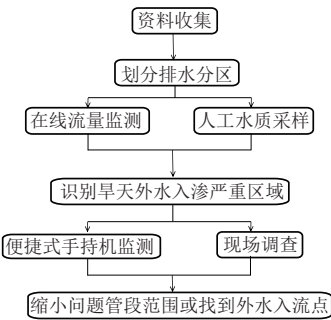


图 2 技术工作流程

(1)资料收集。收集研究范围区域内的排水体制、污水厂进水水质水量、管网数据等资料。

(2)划分排水分区。根据管网、地形等资料,将污水系统划分为多个排水分区。

(3)开展流量在线监测和人工水质采样监测。在排水分区末端设置监测点,开展在线流量监测,同时在流量监测期间选择旱天(原则上要求雨后 72 h 后开始进行取样,此时雨水对管网系统中水质造成的影响已消失)进行人工水质采样工作。

(4)识别旱天外水入渗严重区域。根据在线流量监测和人工水质采样结果,识别出监测点旱天日均流量在 1 000 m³/d 以上且入渗率超过 15% 的片区,或者旱天日均流量未超过 1 000 m³/d 以上,但入渗率超过 70% 的片区,将以上片区作为旱天外水入渗严重片区。

(5)开展便携式手持机监测和现场调查。对旱天外水入渗严重片区,使用便携式手持机现场监测流量数据,从分区末端开始,按照下游到上游关键节点的顺序开展流量瞬时数据监测,结合周边排水户疏密、类型判断流量变化情况是否正常。

(6)缩小问题管段范围或找到外水入流点。根据现场流量监测数据和周边排水户情况,找到流量突变节点,缩小问题管段范围或找到外水入流点。

1.4 分析计算方法

利用水质平衡关系计算污水入渗量需满足两个基本条件:(1)水质指标未在污水输送过程中发生显著的生化反应,否则将影响质量守恒关系的成立;(2)应尽量选择在典型污水和外来水中浓度差异较大的水质指标,否则方法无法得到有效解。

常用的水质指标包括电导率、硬度和浊度等理化指标,2H、18O 等稳定同位素指标,安赛蜜、咖啡因等微量有机物指标,以及 COD、TN 等常规污染物指标。理化指标中,硬度和浊度受到污水在管道输送过程中颗粒物沉积等作用的影响,稳定性较差,而电

导率只与离子浓度有关,稳定性相对更好。稳定同位素和微量有机物指标检测成本较高,不能大范围普及。常规污染物指标中,TN 在各类水中浓度变化较为规律,稳定性也较高,而 COD 指标虽然稳定性稍差,但其在污水和外来水中的浓度差异更加显著,且其与 BOD₅ 的相关性更高。考虑到经济性及可参考性,人工水质检测指标选择 COD。

采用物料守恒法计算入渗量,应按下列公式计算^[15-16]:

$$BI = \frac{Q_{ADF} \times (C_{污} - C)}{C_{污} - C_{外水}}$$

式中:BI 为旱天基本入渗量, m³/d; ADF 为旱天日均流量监测值, m³/d; C_污 为片区典型污水污染物浓度监测值, kg/m³; C 为监测点污染物浓度监测值, kg/m³; C_{外水} 为片区典型外水污染物浓度监测值, kg/m³。

2 案例应用

2.1 研究区域概况

以某北部城市中心城区为研究对象,该地属于季风大陆湿润半湿润气候,年降雨量 703.6~1 173.4 mm。中心城区污水收集范围约 92.4 km²,分流制与合流制并存。2022 年 1 月至 2023 年 4 月污水厂进水量较大,污水厂超负荷运行;2022 年 1 月至 9 月, BOD₅ 进厂日均浓度平均值为 56 mg/L,不符合《城镇污水处理提质增效三年行动方案》要求。

2.2 技术应用过程

2.2.1 识别旱天外水入渗严重区域

根据管网资料,将研究范围划分为 98 个排水分区,在排水分区末端设置监测点,监测流量和 COD 指标,通过物料守恒法计算得出 17 个旱天外水入渗严重的区域(见图 3)。

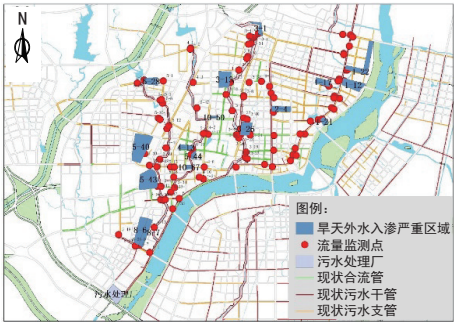


图3 监测点与旱天外水入渗严重区域分布

2.2.2 缩小问题管段范围或找到外水入流点

借助手持机现场临测及调查,部分片区已缩小问题管段范围或已找到清水入流点(见图 4)。



图4 旱天外水入渗严重区域手持机现场临测调查结果分类

2.2.3 典型分区分析

2.2.3.1 问题管段范围缩小

以 3-13 号监测点为例,旱天日均流量 6 958 m³/d,理论旱天外水入渗率为 31%。该片区以居民楼为主,排放规律与周边生活污水规律不符(见图 5)。项目组由 ZH 大道两侧向上游调查,经手持机临测发现, RM 路与 ZH 大道交汇处的两个污水检查井流量特征存在显著差异(见图 6)。西侧井流量较小,东侧井流量突变较大,综合判定问题入渗管段集中在靠东一段。后续整改应优先针对 RM 路与 ZH 大道交汇处附近管段进行核查。

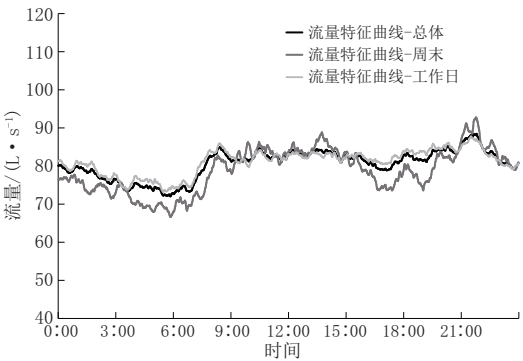


图5 3-13号点位流量变化特征曲线



图6 3-13号点位污水走向与现场排查结果

2.2.3.2 清水入流点精准定位

(1) 工地基坑降水

5-44 号监测点的旱天日均流量达 7 889 m³/d,理论外水入渗率高达 93%,片区内以居民楼及施工区域为主,排放规律与周边生活污水规律不符(见图 7)。通过在线流量监测与手持机临测结果(见图 8),项目组锁定 MX 路与 WHG 街交界处一个工地为清水入

流点。该流入点处手持机测得瞬时流量 $6\,031\text{ m}^3/\text{d}$, 水质采样 COD 浓度为 27.2 mg/L , 显著低于周边生活污水浓度。判定该点为基坑降水直接入管的违规排放点, 需优先开展整治。

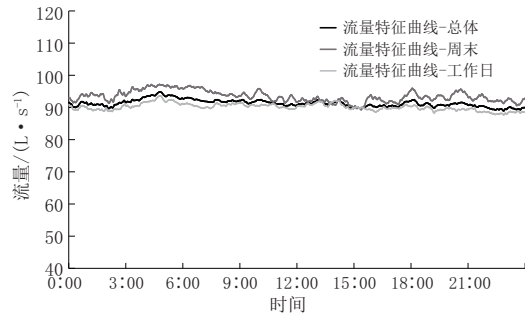


图 7 5-44 号点流量特征曲线



图 8 5-44 号点位污水走向与现场排查结果

(2)地温空调水排入

1-12 号监测点的日均流量为 $5\,040\text{ m}^3/\text{d}$, 理论旱天外水入渗率为 63%, 服务范围内为居民楼区。通过手持机临测调查, 发现位于 XC 路北侧一栋居民楼疑似向污水管排放地温空调水(见图 9、图 10)。现场检测发现该上游小区手持机瞬时流量达 $3\,202\text{ m}^3/\text{d}$, COD 浓度仅 17.5 mg/L , 显著低于生活污水常规浓度。由此确定该地温空调水为清水入流的来源点, 需开展核查及违规整改。

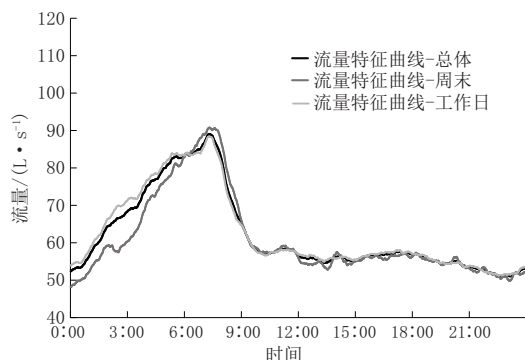


图 9 1-12 号点流量变化特征曲线

3 结 语

提出“在线监测与便携式设备联用”模式, 可有效提升清水入渗问题诊断效率, 并显著缩小 CCTV 排



图 10 1-12 号点位污水走向与现场排查结果

查范围或直接定位问题点。应用案例表明, 该方法通过快速筛查、高效锁定问题点位, 大幅节约了传统全面检测模式中的人力、时间与成本资源。

与传统方式对比(见表 1), 采用在线监测结合手持机临测的方法可将 CCTV 检测管网长度压缩至极低范围, 如 3-12 号点由 $1\,972\text{ m}$ 缩减至 40 m , 同时对部分清水入流点的精准锁定(如 5-44 号点、1-12 号点)直接省去检测环节。该模式为未来污水管网的优化诊断与高效整治提供了一种可行的解决方案。

表 1 两种检测模式下的 CCTV 检测长度对比

监测点位/分区	在线监测分区诊断后 CCTV 需检测长度/m	在线监测&手持机联用后 CCTV 需检测长度/m
3-12 号点	1 972	40
5-44 号点	725	(整改清水入流点)
1-12 号点	1 588	(整改清水入流点)

参考文献:

[1] 姚越, 顾思文, 沈旭, 等. 排水管网排查诊断实践与思考: 以北方某缺水城市为例[J]. 中国给水排水, 2022, 38(12): 113-118.

[2] 李萌, 郭效琛, 赵冬泉, 等. 在线监测技术在排水诊断中的应用[J]. 给水排水, 2021, 57(10): 124-129.

[3] 厉智成, 梁雨雯. 基于排水管网监测的污水系统问题识别及提质增效策略[J]. 给水排水, 2024, 60(3): 119-124; 133.

[4] 林晓虎, 周文明, 葛卿, 等. 基于系统理念的污水系统提质增效整治工程实践[J]. 中国给水排水, 2024, 40(18): 113-117.

[5] 刘荣, 方帅, 郭林松, 等. 九江市某污水处理厂污水系统提质增效工作实践[J]. 中国给水排水, 2024, 40(14): 95-100.

[6] 王寅, 周传庭, 唐建国. 污水处理系统问题诊断及提质增效策略[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 75-78; 140.

[7] 何巍伟. 城市排水管网诊断评估技术讨论[J]. 科技资讯, 2023, 21(19): 134-137.

[8] 裴国光. 在线监测技术在排水诊断中的应用研究——以吉林省德惠市县级合流制区域为例[J]. 化纤与纺织技术, 2021, 50(12): 60-62.

[9] 赵亮, 张坤林, 田乐琪. 基于在线监测诊断城市排水管网雨污混接和入流入渗问题研究[J]. 给水排水, 2024, 60(增刊 1): 812-817; 830.

[10] 崔佳鑫, 邵军荣, 孙凌凯, 等. 南昌市某片区污水管网系统问题诊

(下转第 258 页)