

供排水企业运行及管理成果专栏

潘铁津, 解斌, 刘静, 等. 基于数据和模型的污水系统外水诊断方法 [J]. 净水技术, 2025, 44(4): 189-196.

PAN T J, XIE B, LIU J, et al. Data-driven and model-based diagnosis method for external water of wastewater system [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(4): 189-196.

基于数据和模型的污水系统外水诊断方法

潘铁津^{1,*}, 解斌¹, 刘静², 黄俊²

(1. 深圳市光明区环境水务有限公司, 深圳 518000; 2. 上海慧水科技有限公司, 上海 200090)

摘要 外水入侵已成为城市排水系统面临的严峻挑战,严重影响系统的运行效能,导致水质净化厂进水浓度降低以及管网高液位运行,与国家大力倡导的低碳社会建设相悖。GM 水质净化厂作为 G 区的主要污水处理设施,位于 MZH 河上游,服务片内污水以重力排放为主,中下游污水管理深较深;另外,片区三面环山,水系发达,地下水位较高,因此外水入侵现象较为明显。【目的】近年来,G 区致力于外水剥离工作,为了提供有效的技术支撑,文章以 HX 路干管为研究对象。【方法】结合模型模拟+数据分析 2 种技术手段,利用水量平衡法和模型校核法,定量评估干管上的外水入侵量,并结合过往检测,监测和踏勘等资料,进一步锁定外水入侵的范围,定位外水入侵的管段。【结果】结果表明,HX 路干管服务范围内,其上游主要存在污水未收集的问题,约 7 000 m³ 该收集的污水直接进入截污箱涵;而下游主要存在外水入侵的问题,约 3 000 m³ 外水流入到 HX 路干管,且发现管网局部位置处输送能力不足。【结论】在面对流量计欠缺但液位计充足的条件下,文章总结出了一套可持续,可推广的经验和方法来有效定量识别外水入侵问题,为城市排水系统的优化升级提供了宝贵的参考,对于促进水资源的合理利用、减少环境污染以及推动低碳社会建设具有重要的实践意义和长远价值。

关键词 外水入侵 水力模型 实时监测 水量平衡 模型校核

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)04-0189-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.04.023

Data-Driven and Model-Based Diagnosis Method for External Water of Wastewater System

PAN Tiejin^{1,*}, XIE Bin¹, LIU Jing², HUANG Jun²

(1. Shenzhen Guangming District Environmental Water Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

2. Shanghai Huishui Technology Co., Ltd., Shanghai 200090, China)

Abstract Infiltration of extraneous water has become a severe challenge for urban drainage systems, significantly impacting their operational efficiency, leading to lower influent concentrations at wastewater treatment plants (WWTPs) and higher water levels in pipelines, which contradicts the national promotion of low-carbon society construction. As the primary wastewater treatment facility in District G, GM wastewater treatment plant is located upstream of the MZH River. Within its service area, wastewater is primarily discharged by gravity, with deeper buried pipelines in the middle and lower reaches. Additionally, the area is surrounded by mountains on three sides and features a well-developed water system and a higher groundwater table and thus more evident infiltration issues. [Objective] In recent years, District G has been dedicated to the separation of extraneous water. [Methods] To provide effective technical support, this study focuses on the HX main pipeline, employing two method ological approaches: "model simulation + data analysis. Utilizing the water balance method and model verification, it quantitatively evaluates the amount of extraneous water infiltrating the main pipeline. Combining historical inspection data, monitoring records, and field surveys, the study further pinpoints the scope of infiltration and identifies the segments affected by extraneous water. [Results] The result indicated that within the service area of the

[收稿日期] 2024-06-24

[通信作者] 潘铁津(1990—),男,注册安全工程师,研究方向为流域水环境治理、市政给水管网运维、市政雨污水管网运维、城市防洪排涝治理、智慧水务等,E-mail:13510603726@163.com。

HX main pipeline, the upstream region primarily faces issued of uncollected sewage, with approximately 7 000 m³ of wastewater directly entering the interception culvert; whereas the downstream region mainly suffered from extraneous water intrusion, with roughly 3 000 m³ of extraneous water entering the HX main pipeline. The study also identifies insufficient conveyance capacity in localized sections of the pipeline network. [Conclusion] Facing a situation where flow meters are lacking but level gauges are abundant, this paper summarizes a set of sustainable and scalable method for effectively quantifying extraneous water infiltration. This provides valuable references for the optimization and upgrading of urban drainage systems, holding significant practical implications and long-term value for promoting rational utilization of water resources, reducing environmental pollution, and advancing the construction of a low-carbon society.

Keywords external water intrusion hydraulic model real-time monitoring water balance model calibration

近些年,外水入侵严重影响到城市污水系统的健康运行,造成污水厂进厂浓度低^[1],污水管运行水位高等问题^[2]。国家近期出台的《住房城乡建设部等5部门关于加强城市生活污水管网建设和运行维护的通知》中强调,对于污水处理厂进水污染物浓度偏低的地区,重点开展施工降水排入、城市水体倒灌、地下水入渗流等进入城市生活污水管网问题排查,从而从污水系统中有效剥离外水,提高污水管网的运行效率。

水量平衡法是外水入侵常用的分析方法^[3],通过测量上下游的流量,基于水量平衡,计算外水入渗量。马骏等^[4]利用用水量与实际污水流量的对比估算苏州市中心片区某泵站服务范围内的入流入渗水量,黄林等^[5]基于水量水质监测进行分区分析的城市排水管网入流入渗问题。由于流量计稳定性较差,测量出来的数据可靠度不高,仅用流量监测数据来计算外水量的准确度常受到质疑。而模型作为近些年得到广泛应用的技术方法,目前很多城市已建设雨污水模型,且模型精度也逐步得到提升,能够很好地模拟管网内的水量、水深和流速,是分析外水量的一种很好的技术手段^[6-7]。

本文中,将结合模型模拟和数据分析2种技术手段^[8],先利用监测数据,基于水量平衡方法初步估算出外水量,然后再利用模型,进行流量和液位的校核,通过拟合模型误差,进一步确定外水量。

1 项目概况

G区东南高西北低,GM水质净化厂作为G区的主要污水处理设施,位于MZH河上游,处理规模为30万t/d,其尾水除了做补水用途外,全部排入MZH河。其服务范围内,污水通过支管汇聚到7条污水主干管后,再流到MZH污水主干管,最终同MZH

初雨箱涵汇合后,流入GM水质净化厂,如图1所示。HX路污水主干管为GM水质净化厂的7条主干管之一,位于GM厂东南侧,片区用水量占G区约10%,其服务范围内工业较多,工业用水占比约为33%。

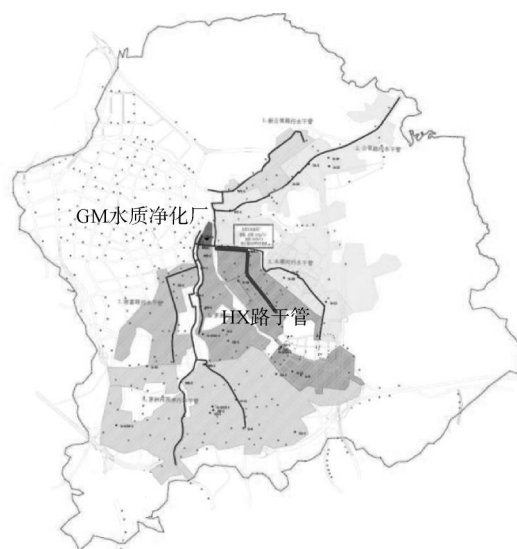


图1 GM水质净化厂和HX路污水主干管

Fig. 1 GM WWTP and Trunk Sewer in HX Road

2 污水模型建立

本文中,利用StormDesk软件构建HX路污水模型,覆盖面积约为12 km²,污水总量约为3万t/d,其中工业用水量约为1万t/d。HX路污水模型如图2所示。

2.1 污水管网拓扑结构建立

基于污水管网地理信息系统(GIS)数据,建立HX路污水管网拓扑结构。由于GIS数据的完整性和准确性对模型结果的影响很大,所以首先需要对GIS数据的质量进行评估。利用StormDesk软件内置工具,从完整度、有效性和合理性3个方面,快速分析GIS数据质量。针对评估结果中缺失的和有问题的数据,通过查询设计资料与施工图,以及同片区

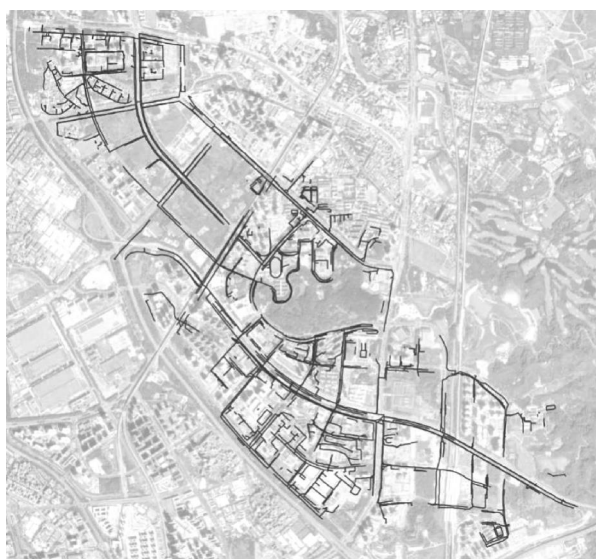


图2 HX路污水管网模型

Fig. 2 The Sewer Model in HX Road

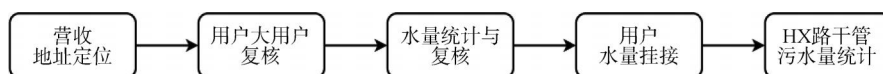


图3 污水量计算流程

Fig. 3 Process of Wastewater Capacity Calculation

(2)大用户定位复核:服务范围内工业用水占比为33%,尤其几个大厂的排水量对管道的运行状态影响很大。因此,需要对其排放位置进行重点复核,确保其污水产出量计算的准确性,避免因大用户数据偏差导致的误差。

(3)水量统计与复核:定期汇总并对比各社区上报的用水量数据与实际供水量记录,通过数据比对及时发现并修正可能存在的统计误差,保证数据的可靠性。

(4)用户水量挂载:将水表与地块内的排水管道系统进行关联与核查,确保污水去向的准确性。

(5)HX路干管理论产污量统计:基于用水量数据、挂载信息和转换系数(污水量=供水量 $\times$ 0.9)^[9],计算HX路的污水量。

2.3 下游边界设置

HX路污水模型的下游边界位置,设置在与MZH污水主干管的汇合处,目前已安装流量计进行监测。采用旱季液位监测数据作为模型的下游边界条件驱动模型计算。

3 实时监测

3.1 流量监测

结合固定式流量计和便携式流量计,在HX

网格员沟通后,进行补充和修正。另外,结合点截污及溯源图对雨污混接点进行严格复核,存有疑问时,开展了现场踏勘和测量工作,确保管道尺寸和高程数据都能反映混接的真实情况。

2.2 污水量分配

在污水量分配方面,与以往依赖于人口数量和人均污水产生量的粗略估算相比,通过深度挖掘和分析区域内的供水量数据,保障污水分配的精细化管理。

具体操作流程涵盖了以下几个关键环节,如图3所示。

(1)营收地址定位:通过GIS技术和智能水表系统,精确追踪每个水表的具体地址,为污水产出源头提供了准确的地理参照,这是实现精准管理的首要步骤。

路干管的关键节点处,开展临时流量监测工作,从而得到管道输送的实际污水量。由于流量测量的准确性很大程度受现场条件的限制,所以需要提前对测流点位进行事先调研,观察其是否具备测流的条件,通常情况下井深不宜太深,流速不宜过大;必要时可能需定制加长加固金属杆。测流点布置如图4所示:在F1和F2处,安装2台固定在线流量计,监测时间为2周;在4-14处,采用1台便携式流量计进行临时测流。

污水管网内的环境比较差,杂质较多,流量计易受到影响,导致计量的数据容易产生波动,甚至失真,所以首先需要对采集的数据进行过滤和清洗。本项目中,从数据连续性、波动性和相关性方面综合评估数据的可靠度,对异常数据进行剔除,最终得到有效的数据来分析外水量。

3.2 水质检测

在流量计的上下游,即图4中1、2、3、4点位处进行水质采样,采样时间为每天4:00、10:00、16:00、22:00左右,且连续监测48h,检测指标为化学需氧量(COD_{Cr})和氨氮。

3.3 液位监测

G区在之前的智慧水务建设项目中,在排水系

统上安装了大量的监测设备,尤其是液位计,包括 HX 路干管。利用算法对液位计进行评估, HX 路干管上液位计运行状态稳定,数据情况良好,但依然重新对液位计安装位置的高程、井深等关键数据的复勘核验,以确保液位数据的准确性。

4 外水量计算

利用污水模型,计算出流量计上游服务范围内的理论污水量,并结合流量监测数据,通过水量平衡方法,初步计算出 HX 路干管上的外水量,再通过模型校核法,进一步明确系统的外水量分布。

4.1 水量平衡法初算

4.1.1 外水量计算方法

(1) 理论污水量

如图 4 所示,以流量计 F2 和 4-14 之间的污水服务片区为例,该服务片区内的理论污水量(W)由其营业收费中所记录的用水量(G)计算得出,计算如式(1)。

$$W=0.9 \times G \quad (1)$$

其中: W ——服务片区内的理论污水量, m^3/d ;

G ——服务片区内的用水量, m^3/d 。

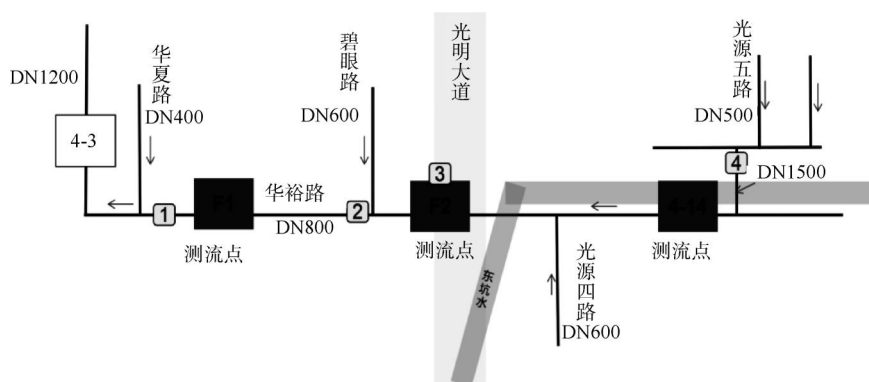


图 4 HX 路管网概略图及监测点

Fig. 4 Layout of HX Road Pipelines and Monitoring Points

(2) 实测排水量

该服务片区内的实测排水量(Q_s)由 F2 监测流量(Q_1)和 4-14 监测流量(Q_2)计算得到,计算如式(2)。

$$Q_s=Q_1-Q_2 \quad (2)$$

其中: Q_s ——服务片区内的实测排水量, m^3/d ;

Q_1 ——下游位置 F2 监测流量, m^3/d ;

Q_2 ——上游位置 4-14 监测流量, m^3/d 。

(3) 外水量

该服务片区的外水量(Q_w)由 W 和 Q_s 计算得到,结果为正值表示流入污水干管的外水量,结果为负值表示未被污水干管收集的污水量,计算方法如式(3)。

$$Q_w=Q_s-W \quad (3)$$

其中: Q_w ——服务片区内的外水量, m^3/d 。

4.1.2 外水量计算结果

(1) 4-14 点位

4-14 位于观光路道路南侧,东坑水东岸步道

上。4-14 点便携式流量计持续监测 15 min,流量均值为 $106 \text{ m}^3/\text{h}$, Q_1 为 $2\,567 \text{ m}^3$ 。根据用水量定位分布,其上游服务片区内的 W 为 $5\,017 \text{ m}^3/\text{d}$ 。初步估算 4-14 上游服务片区内未流入 HX 路干管的 Q_w 为 $-2\,450 \text{ m}^3/\text{d}$ (图 5)。

(2) F2 点位

F2 位于光明大道华裕路交叉口。 Q_1 为 $5\,954 \text{ m}^3/\text{d}$, Q_2 为 $2\,567 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据用水量定位分布,其上游服务片区内的 W 为 $12\,860 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因此, F2 与 4-14 之间服务片区内的 W 为 $7\,843 \text{ m}^3/\text{d}$,而 Q_s 为 $3\,387 \text{ m}^3/\text{d}$,初步估算 F2 与 4-14 之间未流入 HX 路干管的 Q_w 为 $-4\,456 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(3) F1 点位

F1 位于华裕路周家大道路口西南角。F1 点 Q_1 为 $10\,558 \text{ m}^3/\text{d}$, F2 点 Q_2 为 $5\,954 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据用水量定位分布,其上游服务片区内的 W 为 $14\,386 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因此, F1 与 F2 之间服务片区内的 W 为 $1\,526 \text{ m}^3/\text{d}$,而 Q_s 为 $4\,604 \text{ m}^3/\text{d}$,初步估算 F1 与 F2 之间流入 HX 路干管的 Q_w 为 $3\,078 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

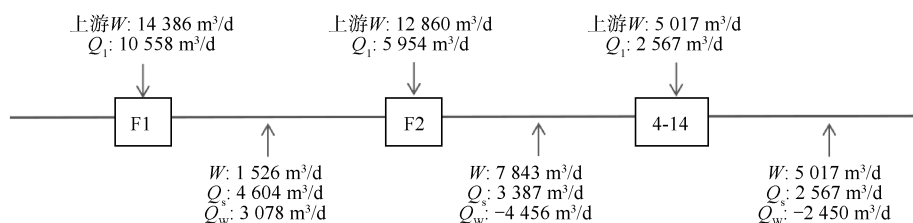


图5 HX路水量平衡计算结果

Fig. 5 Results of Water Balance Calculation for HX Road

4.1.3 外水入侵位置

水质检测的分析结果显示,在上述4个点位中,无论是从空间趋势还是时间趋势上,点位2与点位3的氨氮含量出现了明显的下降趋势,如图6、图7所示。而氨氮和 COD_{Cr} 作为衡量水质污染程度的重要指标,其浓度的大幅减少通常与外来水体的介入密切相关。因此,可以初步推断,点位2和3所在的区域极有可能是外界水源渗透或混合的主要接入点。

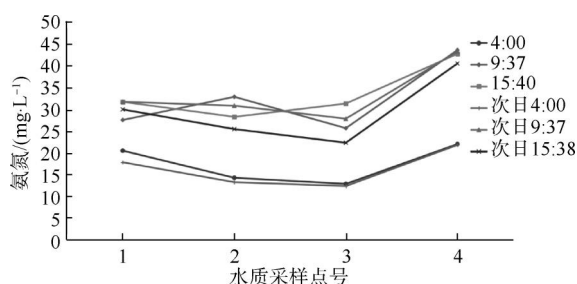


图6 4个水质检测点的氨氮浓度曲线(空间趋势)

Fig. 6 Curves of Ammonia Nitrogen Concentration in 4 Monitoring Points (Spatial Trend)

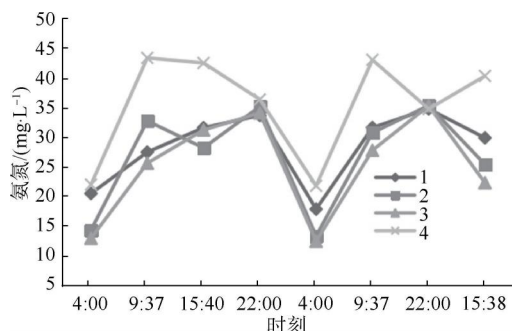


图7 4个水质检测点的氨氮浓度曲线(时间趋势)

Fig. 7 Curves of Ammonia Nitrogen Concentration in 4 Monitoring Points (Time Trend)

4.2 模型校核法核算

在污水模型中,于4-14的服务范围内平均剔除 $2\,500\text{ m}^3$ 水量,于4-14和F2之间平均剔除 $4\,500\text{ m}^3$ 水量,在F2位置处集中输入 $3\,000\text{ m}^3$ 水量,开展污水模拟计算。先校核流量,再通过调整管

道糙率、坡度和沉积物等校核水深,减少模型结果与实测数据之间的误差,以满足模型精度的要求,从而进一步确定出外水量。

污水管网内的环境比较差,杂质较多,流量计易受到影响,导致计量的数据容易产生波动,甚至失真,所以首先需要对采集的数据进行过滤和清洗。本项目中,从数据连续性、波动性和相关性方面综合评估数据的可靠度,对异常数据进行剔除,最终得到有效的数据来分析外水量。

4.2.1 校核标准

目前国内针对污水管网系统校核没有完善通用的技术标准,本次校核参考英国排水系统建模规范^[10]及国内现行内涝及海绵模型技术规范^[11]。

旱天流量的模拟和测量数据曲线形状的对比如应符合以下标准。

(1) 流量及深度峰值误差在 $\pm 10\%$ 以内。

(2) 流量总量差应该在 $\pm 10\%$ 以内。考虑排除短缺或不准确数据的时间段。

4.2.2 校核标准

流量校核点位如图8所示,模型结果与实测流量之间的误差如图9和表1所示,3个指标(总量、最大流量和最大深度)的拟合程度均满足模型精度的要求。

另外,在流量校核的基础上,充分利用已安装的液位计,进一步校核HX路干管上的水位误差,校核点位如图10所示。选用F2处上游3个液位计,分别评估了模拟结果和实测数据之间的峰值误差、均值误差和纳什系数,结果如表2和图11所示,结果表明当前设置下,水位误差满足精度要求。

4.2.3 校核小结

通过模型校核,最终确定了系统中的外水量,如下所示。

(1) 4-14上游以及4-14与F2之间分别有约 $2\,500\text{ m}^3$ 和 $4\,500\text{ m}^3$ 污水未流入HX路干管(疑似



图 8 流量校核点位

Fig. 8 Flow Calibration Points

通过系统混错或偷排入箱涵)。

(2) F1~F2 疑有外水进入 HX 路干管,约 3 000 m³;

(3) F2 下游聚丰路(光明大道-东明大道段)存在局部瓶颈,导致过水不畅通。

5 现场勘察

根据上述外水量分析结果,进行了现场勘察,踏勘结果也验证了上述说法。

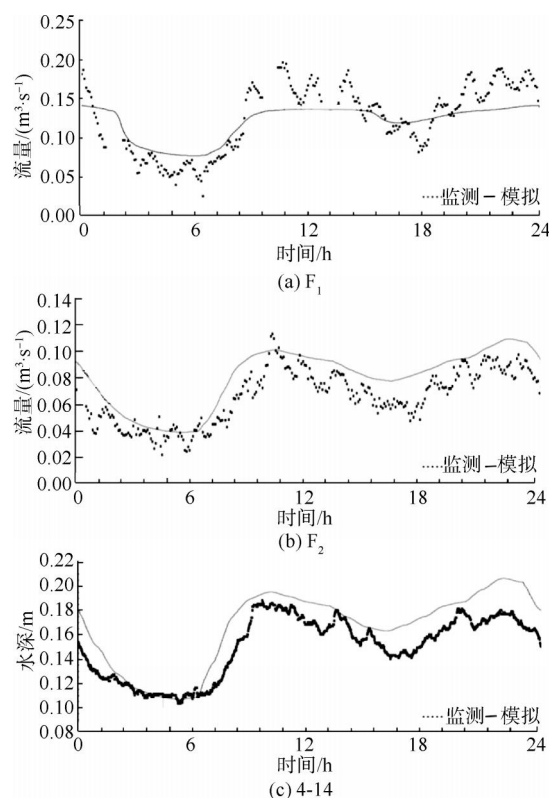


图 9 流量校核曲线

Fig. 9 Flow Calibration Curve

表 1 流量校核结果

Tab. 1 Flow Calibration Results

点位	流量总量			最大流量			最大深度		
	模拟/m ³	实测/m ³	误差	模拟/(m ³ ·s ⁻¹)	实测/(m ³ ·s ⁻¹)	误差	模拟/m	实测/m	误差
F1	10 441	10 558	-1%	0.091	0.100	-9%	0.340	0.349	-3%
F2	6 061	5 954	2%	0.105	0.113	-7%	0.340	0.370	-8%
4-14	/	/	/	/	/	/	0.194	0.185	5%

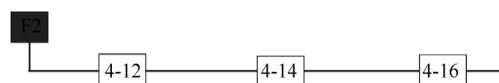


图 10 液位校核点位

Fig. 10 Level Calibration Points

(1) 4-14 上游 100 m 位置处有污水排入箱涵,总量估测为 4 800 m³。结合箱涵溯源成果,此处应为工地排水及小区地块混错接水量。

(2) 水质监测结果表明, F2 位置处氨氮和 COD_{Cr} 浓度低,查询过往的水质现场调研结果,发现此处存在低浓度清水入侵的问题。

(3) 过往的 CCTV 检测结果显示,位于 HX 路干管上, F1 到 F2 之间的管网,其 3~4 级结构性缺陷

较为严重。且结合地下水位分布情况^[12],地下水位为 2~4 m,地下水入侵问题也较严重。

表 2 液位校核结果

Tab. 2 Level Calibration Results

点位	峰值误差	均值误差	纳什系数
4-16	9%	-1%	0.55
4-14	10%	-2%	0.50
4-12	4%	-1%	0.74

6 结论与建议

文章结合水量平衡法和模型校核法,开展了 HX 路污水干管的外水入侵分析。结果表明, HX 路干管服务范围内,其上游主要存在污水未收集的问

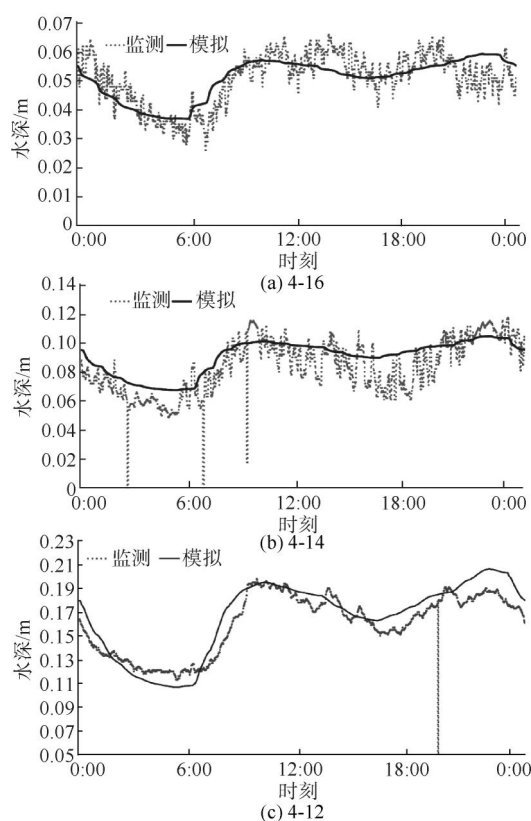


图 11 液位校准曲线

Fig. 11 Level Calibration Curves

题,约 7 000 m³ 该收集的污水入了截污箱涵。而下游主要存在外水入侵的问题,约 3 000 m³ 外水流入到 HX 路干管,并且局部位置处的管道输送能力不足,需要进行关注。

虽然运用上述方法能够很大程度上定量分析出外水量,但要准确定位外水渗透的具体位置,则需更深层次地挖掘和整合过往、当前乃至即将开展的各种专项治理工程所涉及的资料与实地考察信息。这意味着要跨越时间维度,将历史记录、实时监测数据与未来规划蓝图紧密结合,通过跨学科、跨领域的信息融合,构建一个全面而立体的分析框架。然而,面对海量且形式多样的数据资源——特别是以计算机辅助设计(CAD)图纸和各式表格为主的复杂信息集,如何高效整理、精准汇总并实现信息的无障碍共享,成为了一大挑战。因此,务必要从整体上进行规划,以系统论为核心,强调数字化建设,做好资料的管理,这样才能够有效辅助外水剥离工作的高效开展。另一方面,针对尚未开展内窥视频检测的管道,可以借助已校验的水力模型,模拟其运行工况,细致

分析其在不同条件下的水力状态,诸如过载发生的频率、持续时间、水流速度等关键参数,以此来间接推断管道结构的潜在脆弱点与故障风险,辅助外水入侵位置的识别。

综上所述,结合历史资料的深度挖掘、现代信息技术的广泛应用以及科学模型的精准预测,多管齐下,将极大提升对外水入侵点定位的准确性和效率,为水资源管理和环境保护工作提供有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 李一平,郑可,周玉璇,等. 南方城市污水处理系统效能评估与提质增效策略制定[J]. 水资源保护,2022,38(3):50-57.
LI Y P,ZHENG K,ZHOU Y X,et al. Efficiency evaluation of a sewage system and strategy formulation of quality and efficiency improvement in city of southern China[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(3):50-57.
- [2] 胡和平,王绍彪,廖瑜,等. 污水管网高水位运行原因及对策措施研究[J]. 给水排水,2021,57(2):128-132.
HU H P,WANG S B,LIAO Y,et al. Research on the causes and solutions for high water level operation of sewage system[J]. Water & Wastewater Engineering,2021,57(2):128-132.
- [3] 刘战广,谭学军,陈嫣. 基于水量平衡分析的城镇污水管网定性诊断研究[J]. 给水排水,2020,56(9):113-118.
LIU Z G,TAN X J,CHEN Y. Qualitative diagnosis of urban sewage network based on water balance analysis[J]. Water & Wastewater Engineering,2020,56(9):113-118.
- [4] 马骏,陈芳芳,刘雨桐,等. 基于供排水量平衡的管网入流入渗评估及其影响因素分析[J]. 水污染及处理,2022,4:135-144.
MA J,CHEN F F,LIU Y T,et al. Assessment of water inflow and infiltration in pipe network based on water supply and drainage balance and analysis of its influencing factors[J]. Water Pollution and Treatment, 2022, 4:135-144.
- [5] 黄林,胡茂锋,吴志炎,等. 基于水量水质监测进行分区分析的城市排水管网入流入渗问题[J]. 净水技术,2022,41(4):108-114.
HUANG L,HU M F,WU Z Y,et al. Inflow and infiltration problems of urban drainage network based on zoning analysis of water quantity and quality monitoring[J]. Water Purification Technology,2022,41(4):108-114.
- [6] 黄棚兰,庞晶津,陈茗,等. 污水管网外水流量与入流位置的模型估算[J]. 中国给水排水,2023,39(5):118-122.
HUANG P L,PANG J J,CHEN M,et al. Model estimation of external water flow and inflow location in sewage pipe network[J]. China Water & Wastewater,2023,39(5):118-122.
- [7] 胡鸿昊. 基于耦合动态模拟方法的污水管网入流入渗识别及

- 定位 [D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- HU H H. Quantitative identification of inflow and infiltration of sanitary sewer system based on coupling simulation [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2022.
- [8] 郑涛,唐志芳,张敏,等. 基于监测及排水模型的海绵城市小区建设效果评估 [J]. 中国给水排水, 2022, 38(9): 118-122.
- ZHENG T, TANG Z F, ZHANG M, et al. Assessment of community reconstruction performance during sponge city construction based on online monitoring and drainage model[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(9): 118-122.
- [9] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 室外排水设计标准 [M]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
- Shanghai Municipal Housing and Urban-Rural Construction Management Committee. Standard for design of outdoor wastewater engineering[M]. Beijing: China Planning Press, 2021.
- [10] Wastewater Planning Users Group. Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Sewer Systems [M]. Swindon: Water Research Centre, 1993.
- [11] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司. 城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd. Guidelines for the construction and application of mathematical models for urban flood control systems [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [12] 包晗,唐颖栋,方刚,等. 深圳茅洲河流域某污水收集片区外水侵入情况排查与整治 [J]. 给水排水, 2021, 57(3): 74-78.
- BAO H, TANG Y D, FANG G, et al. Investigation and regulation on extraneous water intrusion into a sewage collection area in Shenzhen Maozhou River basin [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(3): 74-78.

(上接第 140 页)

- [5] JIN Z, ZHANG W, WANG X, et al. Leaching behaviors of dissolved organic matter from face masks revealed by fluorescence EEM combined with FRI and PARAFAC[J]. Water Research, 2024, 254: 121399. DOI:10.1016/j.watres. 2024. 121399.
- [6] FANG K, YAO G, ZHOU Y, et al. Effects of reaction temperature and oxygen pressure on dissolved organic matter in hydrothermal reactions of municipal sludge: A comprehensive analysis [J]. Chemical Engineering Journal, 2024, 495: 153279. DOI:10.1016/j.cej. 2024. 153279.
- [7] YUAN Y, LIU X, WANG X, et al. Rapid elimination of scattering in three-dimensional fluorescence spectra via deep learning [J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2025, 325: 125121. DOI: 10.1016/j.saa. 2024. 125121.
- [8] THOMSEN L B S, ANASTASAKIS K, BILLER P. Wet oxidation of aqueous phase from hydrothermal liquefaction of sewage sludge[J]. Water Research, 2022, 209: 117863. DOI: 10.1016/j.watres. 2021. 117863.
- [9] MAINALI K, HAGHIGHI MOOD S, CHEN S, et al. Partial wet oxidation of dairy manure as a pretreatment process to produce acetic acid 'a source growth of methanogens' [J]. Waste Management & Research, 2024, 42(3): 206-217.
- [10] 汪鹏,郭洁,陆旦,等. 基于光谱法解析污水厂 DOM 转化与 DBPs 生成特征[J]. 中国给水排水, 2023, 39(5): 53-59.
- WANG P, GUO J, LU D, et al. Dissolved organic matter conversion and disinfection by-products formation characteristics in wastewater treatment plant based on spectral analysis [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(5): 53-59.