

朱春伟, 徐慧敏, 高郑娟, 等. 基于供排水平衡分析的污水管网入流入渗诊断及排查[J]. 净水技术, 2026, 45(2): 171-180.

Zhu C W, Xu H M, Gao Z J, et al. Diagnosis and investigation of influent and infiltration of sewage networks based on analysis of water supply and drainage balance[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(2): 171-180.

基于供排水平衡分析的污水管网入流入渗诊断及排查

朱春伟^{1,*}, 徐慧敏², 高郑娟¹, 张俊翔², 赵刚², 吴苏虹¹, 邓雅静¹

(1. 清华苏州环境创新研究院, 江苏苏州 215163; 2. 昆山市水务局, 江苏昆山 215301)

摘要 【目的】在平原河网地区, 城市生活污水处理厂进水负荷高, 进水浓度低的现象普遍存在。【方法】为精准识别与定位污水管网入流入渗问题, 本文以长江中下游典型平原河网城市的某一污水系统为例, 将污水分区作为研究单元开展应用研究, 充分挖掘自来水售水数据价值, 构建基于售水数据空间解析的“分区供排水平衡分析-空间水质分析-溯源排查”三级递进式污水管网入流入渗问题诊断技术体系。【结果】污水处理厂片区整体污清比为 1.51, 除 Z 泵站片区外, 其余各污水分区的污清比均超过 1.50, 外水过多。研究区域 151 个源头排水户 COD 和氨氮加权平均质量浓度分别为 215.5 mg/L 和 48.8 mg/L, 排水户普遍呈现 COD 浓度偏低、氨氮浓度较为正常的特征, 共锁定 22 个低浓度问题地块。对 125 个市政管网检查井进行水质检测, 识别出 18 处疑似问题管段。通过溯源排查, 共发现 66 处污水管网问题点和 9 处截流设施问题。【结论】采用“分区供排水平衡分析-空间水质分析-溯源排查”三级递进式问题诊断方法, 可有效缩小排查范围, 实现污水管网入流入渗问题的空间精准定位, 为我国平原河网地区推进污水系统提质增效工作提供参考。

关键词 污水管网 入流入渗 售水数据空间解析 供排水平衡分析 空间水质分析 溯源排查

中图分类号: TU992 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)02-0171-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.02.018

Diagnosis and Investigation of Influent and Infiltration of Sewage Networks Based on Analysis of Water Supply and Drainage Balance

Zhu Chunwei^{1,*}, Xu Huimin², Gao Zhengjuan¹, Zhang Junxiang², Zhao Gang², Wu Suhong¹, Deng Yajing¹

(1. Research Institute for Environmental Innovation <Suzhou> Tsinghua, Suzhou 215163, China;

2. Kunshan Water Authority, Kunshan 215301, China)

Abstract [Objective] In plain river network areas, the phenomenon of high influent load and low influent concentration of urban domestic wastewater treatment plants (WWTPs) is widespread. [Methods] To accurately identify and locate the problem of influent and infiltration of sewage network, taking a sewage system in a typical plain river network city in the middle and lower reaches of the Yangtze River as an example, the sewage districts were used as research units to carry out application research, fully excavate the value of tap water sales data, and construct a three-level progressive diagnosis technology system of influent and infiltration of sewage network based on geospatial analysis of water consumption data: "partition water supply and drainage balance analysis-spatial water quality analysis-traceability investigation" [Results] Overall sewage-to-clean ratio of the WWTP area was 1.51. Except for the Z pumping station area, the sewage-to-clean ratio of the remaining sewage districts exceeded 1.50, indicating that there was too much external water. The weighted average mass concentrations of COD and ammonia nitrogen of 151 source drainage households in the study area were 215.5 mg/L and 48.8 mg/L, respectively. The drainage households generally showed characteristics of low COD concentration and normal ammonia nitrogen concentration, and a total of 22 low-concentration problem plots were locked. Water quality tests were carried out on 125 municipal sewage network inspection wells, and 18 suspected problem pipe sections were identified. Through the traceability investigation, a total of 66 problem points in the sewage network and 9 issues with the interception facilities were identified.

[收稿日期] 2025-10-20

[基金项目] 江苏省建设科技项目(2024JH00006)

[通信作者] 朱春伟(1982—), 女, 高级工程师, 主要从事排水提质增效、供水安全保障、漏损治理等工作, E-mail: chunwei.zhu@tsinghua-riet.com。

[**Conclusion**] The three-level progressive diagnostic method of "partition water supply and drainage balance analysis-spatial water quality analysis-traceability investigation" can effectively reduce the scope of investigation, realize the spatial accurate positioning of the inflow and infiltration problem of the sewage network, and provide reference for improving the quality and efficiency of the sewage system in plain river network areas at home.

Keywords sewage network influent and infiltration geospatial analysis of water consumption data water supply and drainage balance analysis spatial water quality analysis traceability investigation

2019年5月,住房城乡建设部、生态环境部、发展改革委联合印发《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,提出了污水处理提质增效的主要目标,对于城市污水处理厂进水五日生化需氧量(BOD_5)质量浓度低于 100 mg/L 的,要围绕服务片区管网制定“一厂一策”系统化整治方案,明确整治目标和措施。政策实施以来,各地全面推进了提质增效专项行动,但污水处理厂进水浓度不足问题仍普遍存在^[1-2]。以典型平原河网城市苏州为例,根据2022年度苏州市城镇污水处理评价考核结果,全市83座污水处理厂共有22座进水 BOD_5 浓度偏低,其中16座市级污水处理厂进水 BOD_5 质量浓度低于 110 mg/L ,6座镇级污水处理厂进水 BOD_5 质量浓度低于 85 mg/L 。

平原河网地区水系发达、地下水位高,更易造成外水入流入渗,导致管网稀释效应显著^[3-4]。孔松等^[5]系统梳理了排水系统中较为常用的3种外水评估方法:夜间最小流量法、用水量折算和污染物平衡算法。刘站广等^[6]、罗坤等^[7]利用用水量折算法开展了污水分区外水入流入渗评估实践,即根据污水片区内各用水户用水量及排放系数计算得到该污水片区的理论污水量。然而,当前大部分地区售水数据普遍缺少空间坐标且无对应分区信息,即使部分有供水分区但也与污水分区不一致,导致无法进行准确的污水分区供排水平衡分析,影响后续污水分区问题分析与排查。

本研究基于供排水一体化的思路,充分挖掘自来水售水数据价值,通过售水数据空间解析,解决供排水计量分区不一致的难题,进而以污水泵站片区和自流片区为单元进行供排水平衡分析,利用售水数据为排水行业管理提供科学指导。同时,结合“源头排水户-市政管网”全流程水质监测,构建污水管网入流入渗问题诊断方法体系,有效缩小污水管网溯源排查范围,实现污水管网问题的精准识别与定位,可为同类型城市污水系统效能提升提供有

效参考与示范。

1 污水系统概况

本研究区域为苏州市某城市污水处理厂服务范围,位于长江中下游典型平原河网地区。污水处理厂设计总规模为 $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,现已全部建成并投入运行,污水处理厂服务范围约 14 km^2 。研究区域共有市政污水泵站4座,其中一级污水泵站2座,二级污水泵站1座,三级污水泵站1座,根据管网上下游拓扑关系可将污水处理厂服务片区分为5个污水分区,如图1所示。该区域开发建设时间较早,老旧小区设计之初并未考虑分流制,经过近些年的雨污分流改造,研究区域现状排水体制以分流制为主,但因部分小区改造不彻底,区域内共设有29套截流设施,其中B泵站片区24套,Q泵站片区2套,H泵站片区3套,自流片区0套。

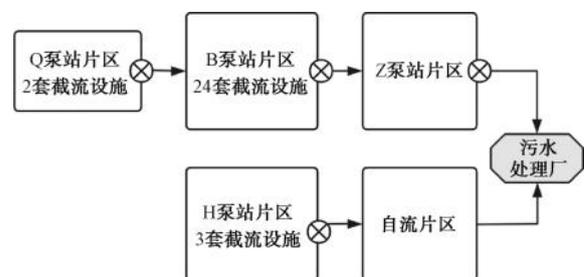


图1 污水系统拓扑关系及分区

Fig. 1 Topological Relationships and Zoning of the Sewage System

根据2023年污水处理厂运行数据(图2),污水处理厂平均进水量为 $6.95\text{ 万 m}^3/\text{d}$,进水负荷为 92.73% ,进水化学需氧量(COD)、 BOD_5 、氨氮平均质量浓度分别为 151.47 、 75.17 、 20.06 mg/L 。污水处理厂呈现“高负荷、低浓度”特征,且受降雨影响大,特别是大雨、暴雨以及连续降雨情况下,污水处理厂进水量增大、浓度降低较为明显^[8],并且持续至降雨事件结束后的 $2\sim 3\text{ d}$ 。结果显示:降雨及降雨影响期间污水处理厂平均进水量相比晴天增加了 6.01% ,进水COD、 BOD_5 和氨氮平均浓度分别降低

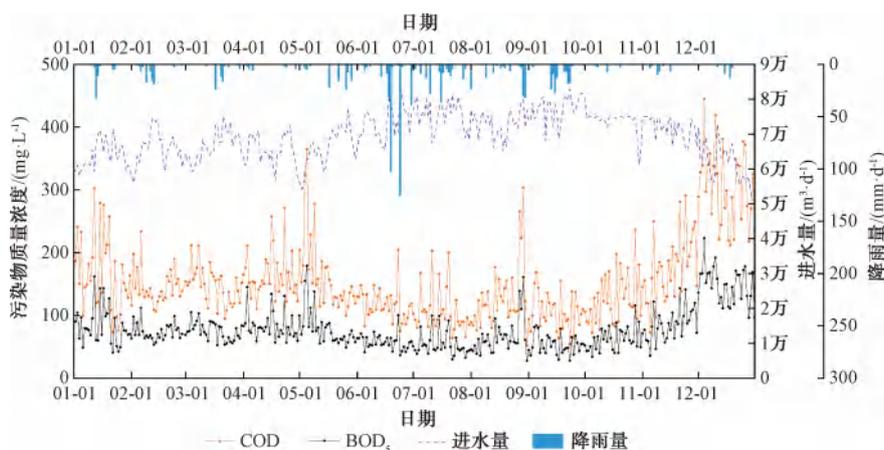


图2 2023年逐日进水量、水质统计数据

Fig. 2 2023 Statistical Data of Daily Influent Quality and Quantity

了 15.70%、13.53% 和 14.88%。

2 技术路线与方法

2.1 技术路线

本研究以问题为导向,以污水泵站片区和自流片区为研究单元,构建了基于售水数据空间解析的“分区供排水平衡分析-空间水质分析-溯源排查”三级递进式污水管网入流入渗问题诊断技术体系,实现污水管网问题的空间精准定位,并对查明的问题提出系统化整治建议,技术路线如图3所示。

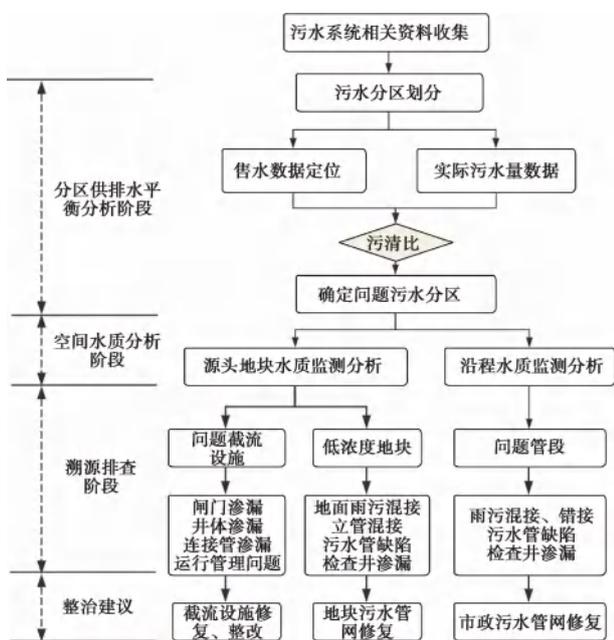


图3 技术路线

Fig. 3 Technical Route

2.2 售水数据空间解析

本研究采用自来水公司的售水数据作为排水户

的用水量数据,每一条售水数据包含“户号”“户名”“地址”“用水类型”及“月度售水量”等信息。为解决供排水分区不一致的难题,本研究构建了售水数据空间解析方法:首先根据用户“地址”信息将原始用户中相同小区、相同商业地块等进行合并,得到合并后的用户售水数据;再将“地址”信息转变成空间坐标数据,并通过 ArcGIS 软件实现不同图层的拓扑叠加,建立污水处理厂服务区以及各污水分区空间映射关系,并对大用水户所在位置进行人工复核,最终实现售水数据的空间定位与分区统计分析,为供排水平衡分析及管网入流入渗问题排查提供了可靠的数据支撑。

2.3 分区供排水平衡分析

对于综合生活用水为主的区域,片区供排水平衡分析可采用“污清比”^[9-10],即通过污水分区内实测污水量和用水量的比值,进行初步评估。实测污水量为该污水分区泵站输送水量或污水处理厂进水量减去上游污水分区泵站输送水量,片区内有临时污水处理设施的,应包括这部分处理水量;用水量为该污水分区内所有用水户的售水量数据之和及自备水源用水量,其中消防和绿化用水不计入,若片区内有直排企业,还需减去直排企业用水量。此外,由于不同季节用水习惯、春运人口迁移等因素,不同月份售水量变化较大,进行阶段性污清比计算时,应根据实际情况使用对应月度或双月度售水数据。随着供排水一体化工作的不断推广与实施,供排水平衡分析也为相关管理工作奠定了数据基础。

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021) 4.1.18 条文说明,认为平均日综合生活污水和工业

废水总量的 10%~15% 为合理入渗地下水量^[11]。研究区域无污水管网空白区,旱天外水主要为地下水及河水,本研究仅考虑旱天情况:当污清比 <1.0 ,该污水分区整体表现为污水收集不足;当 $1.0 \leq$ 污清比 <1.15 ,该污水分区整体外水处于相对合理水平;当 $1.15 \leq$ 污清比 <1.30 ,该污水分区整体存在一定外水;当 $1.30 \leq$ 污清比 <1.50 ,该污水分区整体外水较多;当污清比 ≥ 1.50 ,该污水分区外水过多,急需开展“挤外水、提浓度”相关工作。

2.4 空间水质分析

针对污水分区管网问题,建立了系统化的水质监测布点方案。在排水户地块监测布点中,优先选取污水分区内用水量偏高的排水户、检查井埋深低于邻近河道常水位的敏感地块和沿河分布的排水户作为关键监测点。在市政管网监测布点中,重点布设市政污水干管、支管中游重要汇水检查井以及下游出口检查井,特别是沿河污水管段,以及跨河倒虹管上下游检查井。为精准定位市政管网问题点位,在进行水质采样期间,根据实际情况同步降低对应污水分区的污水管网液位。

为提高排查效率,选择 COD、氨氮和电导率作为检测指标,COD、氨氮采用国标法进行检测,电导率使用便携式快检仪器进行现场检测,辅助现场问

题判别。此外,采样时间均为工作日 9:00—17:00,采样过程中同时记录检查井现场情况,如井内水流情况以及淤积状况等,辅助对问题管段或地块的判断。

2.5 溯源排查

对水质监测中发现的低浓度地块、问题管段以及所有截流设施开展溯源排查,从污水管网下游至上游开展逐段封堵排查,抽空封堵段或截流井,现场观测一段时间内管道或截流井内水位变化情况,若发现水位上升但不能确定问题点时,应辅助使用管道潜望镜(QV)或闭路电视(CCTV)检测设备,确定具体位置及问题,并详细记录形成问题清单。

3 数据分析与问题诊断

3.1 分区供排水平衡分析结果

将 2023 年全市所有售水数据进行空间定位,得到研究区域各污水分区不同用水类型的售水数据空间分布,如图 4 所示。扣除消防及绿化用水后,2023 年该污水处理厂服务范围内平均用水量为 4.26 万 m^3/d ,综合生活用水占比高达 87.83%,各污水分区均以综合生活用水为主,工业及基建用水占比仅 12.17%,其中大部分工业用水企业实为“邮局”“物业管理”“供销合作社”等工商业企业,无环保部门认定产生工业废水的企业,所以工业用水不再进行污水排放系数折算,各类型用水的污水排放系数均取 1.0。

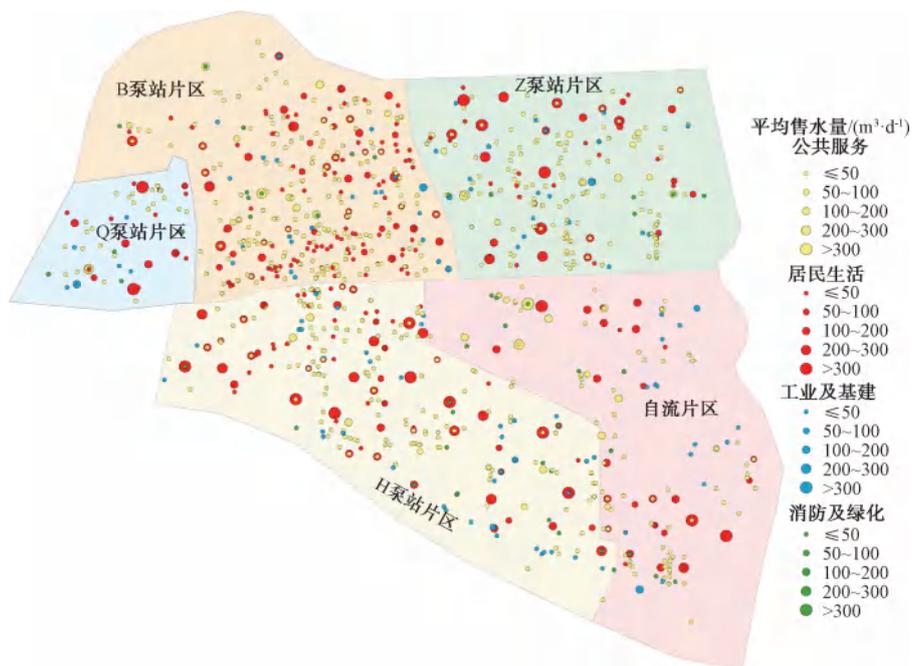


图 4 售水数据空间分布

Fig. 4 Spatial Distribution of Water Supply Consumption Data

对污水处理厂及各污水分区进行供排水平衡分析,分析时间为2024年梅雨期前的5月1日—6月18日,实测污水流量数据采集自污水处理厂及污水泵站安装的在线流量计,为确保数据可靠性,对原始监测数据进行清洗处理,剔除异常值及无效数据;自流片区污水流量即为污水处理厂每日进水量减去Z泵站和H泵站每日流量。研究区域无临时污水处理设施、无自备水源和直排企业,用水量使用对应月份售水量数据,结果如表1所示。

表1 各污水分区供排水平衡

Tab. 1 Balance of Water Supply and Drainage in Each Sewage District

污水分区	平均流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	平均用水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	污清比
污水处理厂	6.43万	4.26万	1.51
Q 泵站片区	0.46万	0.28万	1.64
B 泵站片区	1.73万	1.13万	1.53
Z 泵站片区	1.05万	0.83万	1.27
H 泵站片区	2.02万	1.23万	1.64
自流片区	1.17万	0.78万	1.50

扣除降雨天后(期间仅1d为中雨,中雨当天及后1d均扣除,小雨扣除当天),评估期间污水处理厂片区整体污清比均值为1.51,表明外水过多;除Z

泵站片区污清比相对较小为1.27外,其余各污水分区污清比均超过1.50,均属于问题片区,需实施系统性污水管网问题诊断。

3.2 空间水质分析

3.2.1 地块水质分析

(1) 排水户排水规律

研究^[12-13]表明,居民生活污水排放浓度存在显著的时段性波动特征,为“抓大放小”高效识别排水异常地块,制定判断标准,选择研究区域内污水管网系统运行良好的3个典型住宅小区,在工作日对其污水总排口进行连续水质采样监测,结果如图5所示。现场采样发现,3个小区在早晚用水高峰时污水检查井内水流较快,其余时间段均无明显水流,同时早晚2个用水高峰存在明显水质波动,其余时间段水质较为平稳,与伍彬等^[14]研究结果基本一致。工作日9:00—17:00,3个小区COD、氨氮质量浓度和电导率最小值分别为143、21.2 mg/L和960 $\mu\text{S}/\text{cm}$,可作为低浓度问题小区判断依据,如表2所示。

由于污水中悬浮物对COD检测结果存在显著干扰^[15],结合3个典型小区连续采样结果,选择氨氮作为主要水质特征因子进行低浓度地块判断,COD和电导率用于辅助判断,同时结合排水户用水

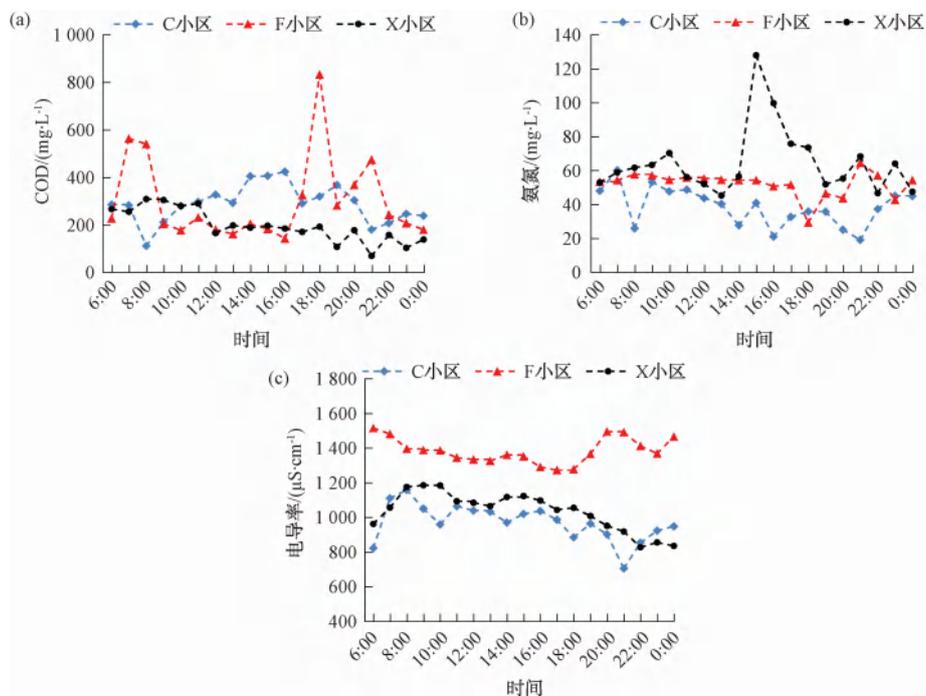


图5 3个小区污水排放浓度变化规律

Fig. 5 Concentration Variation Patterns of Wastewater Discharge in Three Residential Communities

表 2 典型小区污染物排放浓度
Tab. 2 Pollutants Discharge Concentration in Typical Residential Communities

小区名称	建筑类型	户数	化粪池	COD/(mg·L ⁻¹)			氨氮/(mg·L ⁻¹)			电导率/(μS·cm ⁻¹)		
				均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值
C 小区	低层	830	有	326	425	212	39.7	53.4	21.2	1 018	1 065	960
F 小区	低层	554	有	202	326	143	54.4	57.2	50.8	1 340	1 389	1 273
X 小区	高层	993	有	220	305	166	72.0	128.0	45.4	1 111	1 186	1 044

量和现场采样情况(是否存在水质较清、流量异常、明显的检查井渗漏等情况)进行综合判别。结合上述连续采样检测结果,最终形成低浓度问题地块判断标准:①氨氮质量浓度≤20 mg/L;②20 mg/L<氨氮质量浓度≤30 mg/L且COD质量浓度≤100 mg/L;③现场有明显外水迹象。

(2)排水户采样结果

对研究区域内用水量为50 m³/d以上的用水户,包括居民小区以及公共服务地块,共151个地块进行了污水出口接驳井水质采样检测,结果如表3所示。研究区域排水户COD、氨氮加权平均质量浓度和电导率加权平均值分别为215.5、48.8 mg/L和896 μS/cm,其中自流片区排水户加权平均浓度最高,Z泵站片区排水户加权平均浓度最低,COD质量浓度仅159.6 mg/L。

表 3 各污水分区排水户加权平均浓度
Tab. 3 Weighted Average Concentration of Drainage Users in Each Sewage District

污水分区	户数	COD/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	电导率/(μS·cm ⁻¹)
Q 泵站片区	9	243.7	46.1	865.9
B 泵站片区	43	215.5	47.1	883.8
Z 泵站片区	31	159.6	46.0	855.6
H 泵站片区	48	241.6	54.5	905.4
自流片区	20	280.7	56.8	1 055.9

排水户浓度分布情况如图6所示,研究区域源头排水户普遍呈现COD浓度偏低、氨氮浓度较为正常的特征,65.56%的排水户COD质量浓度低于260 mg/L,65.56%的排水户氨氮质量浓度大于40 mg/L。排水户中氨氮质量浓度≤10 mg/L的仅6户,其COD质量浓度均低于100 mg/L;10 mg/L<氨氮质量浓度≤20 mg/L的有18户,其中COD质量浓度≤100 mg/L的有14户;20 mg/L<氨氮质量浓度≤30 mg/L的有12户,其中COD质量浓度≤100 mg/L的有5户。根据低浓度问题地块判断标

准初筛出29处疑似问题地块,经复测确认22处为低浓度问题地块,分别位于B泵站片区(7个)、Z泵站片区(3个)、H泵站片区(10个)和自流片区(2个),对这些问题地块进一步开展污水管网溯源排查。

孙永利等^[13]在常州市某居民楼宇的研究表明,生活污水COD、氨氮平均质量浓度分别为549、45.43 mg/L;赵思索等^[16]对不同地块排水水质监测表明,分流制居民小区、公共机构和商业地块排水COD、氨氮质量浓度分别为220~293、34.62~45.44 mg/L。由此可见,除22处问题地块外,研究区域大部分排水户氨氮浓度达到了正常水平,但是COD浓度明显偏低。这可能与研究区域为老城区,居民小区管网老旧破损,且普遍设置了化粪池有关。相关研究^[14,17-18]表明,化粪池对生活污水中的COD具有较高去除效果,部分能达到30%以上,而对总氮及氨氮影响较小。此外,Z泵站片区低浓度问题地块数量不多,但COD加权平均浓度最低,结合现场情况分析,原因可能是Z泵站片区受到B泵站来水顶托,导致该片区市政污水管网液位相对较高,从而延长了小区管网及化粪池中污水停留时间,进一步降低源头COD浓度。

3.2.2 沿程水质分析

对污水处理厂服务范围内125个市政管网检查井进行了水质检测,结果如图7所示,其中点位代表排水户出口水质,管线代表通过检查井水质对相连接污水管进行水质插值处理后的干管水质。问题管段判断依据:①水质较清、流量异常、臭味轻微或几乎无异味,②污水管网水质突变[图8(a)和图8(b)],③来水支管浓度偏低[图8(c)],低浓度情况的判定标准参考低浓度问题地块判断标准。根据现场采样情况及管网沿程水质检测结果,共锁定18处疑似问题管段,开展溯源排查。

3.3 污水分区问题诊断

经过供排水平衡分析和空间水质分析,发现各

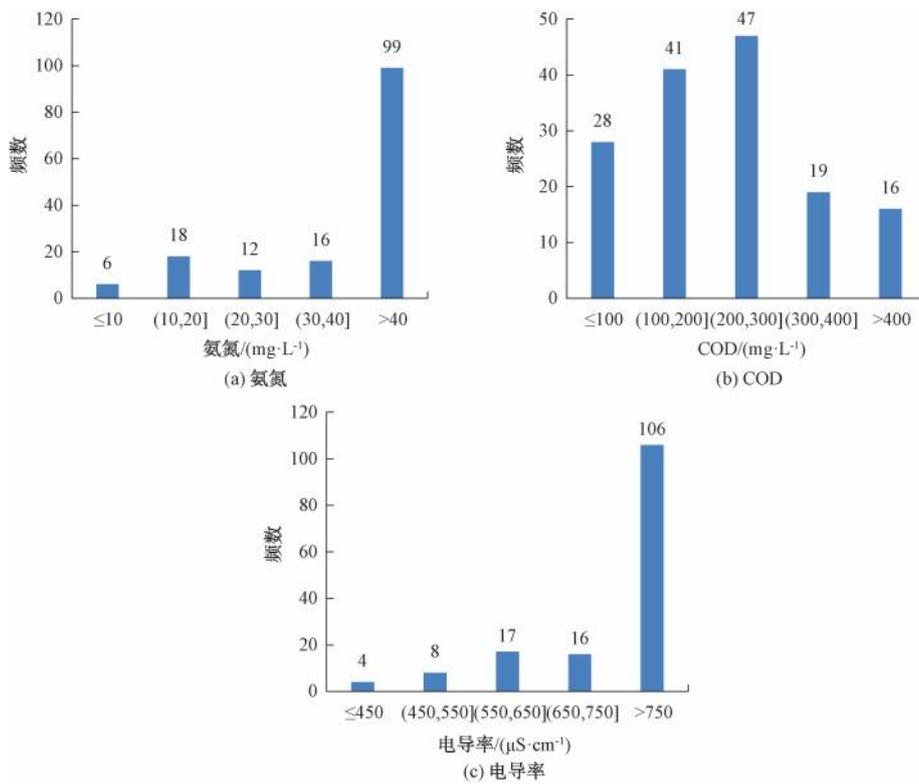


图 6 排水户水质检测浓度分布

Fig. 6 Concentration Distribution of Water Quality Detection for Drainage Users



图 7 水质检测结果空间分布

Fig. 7 Spatial Distribution of Water Quality Monitoring Results

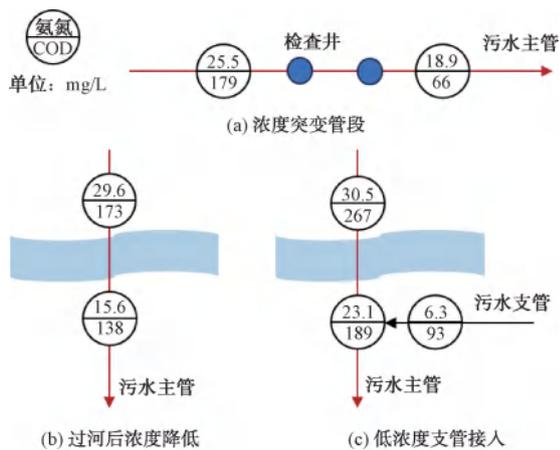


图8 问题管段定位示例

Fig. 8 Examples of Problem Section Location

污水分区呈现不同的问题特征。Q 泵站片区较小,排水户浓度相对较高,整体管网液位较低,片区内有 2 套截流设施,外水入流与截流设施运行显著相关。B 泵站片区属于居住密集区,共发现 7 个低浓度问题地块,同时该片区截流设施多,问题截流设施受河道水位影响存在河水倒灌与污水外溢双重问题。Z 泵站片区受 B 泵站来水顶托,片区市政污水管网液位相对较高,导致小区污水停留时间增加,源头 COD 浓度进一步降低。H 泵站片区地势较低,管网液位低,西片区市政污水主管网浓度呈现沿程递减的趋势,整体外水入渗量较大,共发现 10 个低浓度问题地块。自流片区内排水户浓度相对较高,片区存在较多外水。

4 排查成果与整治建议

4.1 排查成果

对沿程水质监测锁定的 18 处疑似问题管段和 22 处低浓度问题地块开展了降水位溯源排查。其中,18 处疑似问题管段共排查到 19 个具体问题点,包括 9 处检查井渗漏,6 处雨污混接(其中有 3 处混接导致了河水倒灌),4 处管网 4 级结构性渗漏。

22 处低浓度地块共排查到具体问题点 47 个,其中井室渗漏占 68.1%,雨污混接占 29.8%,管网 3、4 级结构性渗漏占 2.1%。经核查,22 处低浓度地块的问题污水检查井井底标高均低于河道常水位,鉴于该情况,建议将所有低于河道常水位的检查井纳入重点巡查范围。

由于研究区域用地紧张,早期截流设施均建设于河道内,且闸门底高程低于河道常水位,河水倒灌

风险大^[19-20]。对片区内 29 套截流设施开展降水位排查,共发现 9 处截流设施存在闸门渗漏导致的河水倒灌问题,具体原因为闸门老化或导轨淤积导致的闸门无法关严,其中 2 处还伴有井室渗漏问题。

4.2 整治建议

第一阶段,即查即修阶段。主要解决由市政污水管网及检查井导致的河水倒灌及地下水入侵问题,包括 19 个市政管网及 7 个地块检查井问题(均为地块出口接驳井),主要措施为 6 处混接点改造,以及 20 处检查井和管网渗漏的非开挖修复;另外对 9 处问题截流设施进行闸门清淤,以及启动液位的调整。

第二阶段,地块剩余问题修复及截流设施整改。截流设施的数量多、建管标准较低,短期内全部改造难度较大,所以将截流设施分为 3 类,遵循“近远相结合”“一设施一方案”原则进行相应整改修复(表 4)。除了具体问题和缺陷的整改外,对于有条件的地区可建立截流设施智慧管理平台,远程控制截流设施运行,及时发现问题进行相应整改,避免过量河水通过截流设施进入污水系统。

表 4 截流设施分类整改措施

Tab. 4 Classification and Rectification Measures for Interception Well

截流设施分类	数量	问题及整改措施
问题截流设施	7	闸门渗漏,对于轨道清淤后仍渗漏的闸门,更换新闸门;井室渗漏,注浆修复
上游已分流/基本分流截流设施	8	剩余少数混接点改造后取消截流设施
正常运行截流设施	14	加强运维和管控

第三阶段,污水系统整体提升阶段。结合城市更新及老旧小区改造工程,完善居民小区管网设施水平,并逐步取消截流设施;建立污水管网周期性动态排查修复机制;构建“厂-站-网-河”智慧联控机制,通过优化液位和水量控制,提升污水收集,减少外水入侵,实现污水系统提质增效和整体效益的最大化。

5 结论

(1)本研究构建了一套基于售水数据空间解析的三级递进式诊断技术体系,该体系采用“分区供水平衡分析-空间水质分析-溯源排查”的方法框架,通过整合污水分区售水数据、实际污水流量数据

以及水质监测数据,实现了污水管网入流入渗问题的精准识别与定位。

(2)该技术体系在长江中下游平原河网城市某污水系统进行了应用实践,污水处理厂片区整体污清比为 1.51,除 Z 泵站片区外,其余各污水分区的污清比均超过 1.50,外水过多。研究区域排水户普遍呈现 COD 浓度偏低、氨氮浓度较为正常的特征,151 个源头排水户 COD 和氨氮加权平均质量浓度分别为 215.5 mg/L 和 48.8 mg/L。

(3)各污水分区呈现出不同的问题特征,Q 泵站片区排水户浓度较高,整体管网液位较低,外水入流与截流设施运行显著相关;B 泵站片区存在 7 个低浓度问题地块,同时该片区截流设施存在河水倒灌与污水外溢双重问题;Z 泵站片区受 B 泵站来水顶托,市政污水管网液位相对较高,导致小区污水停留时间增加,源头 COD 浓度进一步降低;H 泵站片区地势较低,整体外水入渗量较大,共发现 10 个低浓度问题地块;自流片区内排水户浓度相对较高,片区存在较多外水。

(4)基于源头地块及市政污水管网节点水质监测结果,共锁定了 18 处疑似问题管段和 22 个低浓度问题地块,通过溯源排查共精准识别及定位 66 处污水管网具体问题点和 9 处问题截流设施。

参考文献

- [1] 凌莉,李亮,张红艳. 污水厂低浓度进水问题分析[J]. 中国市政工程, 2024(1): 60-64, 154, 155.
Ling L, Li L, Zhang H Y. Analysis of low concentration inflow in wastewater treatment plants [J]. China Municipal Engineering, 2024(1): 60-64, 154, 155.
- [2] 周小国,惠二青,彭寿海,等. 长江沿线污水处理厂进水 BOD₅ 浓度与管网运营调查分析[J]. 给水排水, 2021, 47(s1): 129-133.
Zhou X G, Hui E Q, Peng S H, et al. Investigation and analysis of BOD₅ concentration for sewage plants and pipe network operation along the Yangtze River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(s1): 129-133.
- [3] 吴著群,林春秀,牛樱,等. 城市排水管网外水入侵快速诊断方法在滨海城市的应用[J]. 给水排水, 2025, 51(8): 141-146.
Wu Z Q, Lin C X, Niu Y, et al. Application of rapid diagnosis and evaluation methods for urban drainage networks external water issues in coastal cities [J]. Water & Wastewater Engineering, 2025, 51(8): 141-146.
- [4] 蔡乾凌,袁园,章亮,等. 沿江某城市建成区污水处理系统问题分析及对策研究[J]. 中国给水排水, 2023, 39(18): 9-14.
Cai Q L, Yuan Y, Zhang L, et al. Problems analysis and countermeasures investigation of sewage treatment system in a built-up area of a city along the Yangtze River [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(18): 9-14.
- [5] 孔松,秦福军,沈良,等. 平原河网地区排水管网提质增效案例分析与探讨[J]. 给水排水, 2022, 48(4): 102-106.
Kong S, Qin F J, Shen L, et al. Case analysis of improving quality and efficiency of sewage pipe network in plain river network area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(4): 102-106.
- [6] 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, 46(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, 46(9): 113-118.
- [7] 罗坤,孙凌凯,马方凯,等. 基于水质水量监测的污水管网评估诊断与定量分析[J]. 中国给水排水, 2024, 40(13): 109-114.
Luo K, Sun L K, Ma F K, et al. Evaluation, diagnosis and quantitative analysis of sewage pipe network based on water quality and quantity monitoring [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(13): 109-114.
- [8] 曾祥华,聂世勇. 基于分区分级诊断方法的上海某城镇污水厂外水入侵状况评估[J]. 净水技术, 2025, 44(7): 93-100.
Zeng X H, Nie S Y. Assessment of external water intrusion for a municipal WWTP in Shanghai based on zoning and grading diagnosis [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(7): 93-100.
- [9] 曹业始,吴军,刘智晓,等. 改造国内污水管网系统需要综合考虑的四个因素: 定量分析[J]. 给水排水, 2022, 48(10): 45-55.
Cao Y S, Wu J, Liu Z X, et al. Four factors need to be considered to improve and upgrade current sewer systems in China: Quantitative analysis [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(10): 45-55.
- [10] 王文倩,赵福祥,任心欣. 污水处理提质增效综合评估体系构建与应用[J]. 给水排水, 2024, 50(8): 34-38.
Wang W Q, Zhao F X, Ren X X. Comprehensive evaluation system and application of quality and efficiency improvement of wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(8): 34-38.
- [11] GB 50014—2021 室外排水设计标准[S].
GB 50014—2021 Standard for design of outdoor wastewater engineering[S].
- [12] 刘战广. 城镇居住小区人均污水污染物产生量测算方法与应用[J]. 净水技术, 2021, 40(4): 90-95, 138.

- Liu Z G. Measurement and analysis of domestic wastewater pollutant production per capita in urban residential quarters[J]. *Water Purification Technology*, 2021, 40(4): 90-95, 138.
- [13] 孙永利, 张维, 郑兴灿, 等. 城镇居民人均日生活污水污染物产生量测算之产污规律[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(6): 1-6.
- Sun Y L, Zhang W, Zheng X C, et al. Emission regularity of daily domestic sewage pollutant production of urban residents per capita[J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(6): 1-6.
- [14] 伍彬, 张鸣, 李一平, 等. 华南地区城镇居民生活污水排放规律及污染物排放量[J]. *环境工程*, 2022, 40(12): 196-201, 280.
- Wu B, Zhang M, Li Y P, et al. Discharge law of domestic wastewater and pollutants discharge of urban residents in South China[J]. *Environmental Engineering*, 2022, 40(12): 196-201, 280.
- [15] 范丽华, 宋艾林. 取样方式对废水中化学需氧量测定的影响[J]. *广州化工*, 2025, 53(6): 150-152.
- Fan L H, Song A L. Effect of sampling method on determination of chemical oxygen demand in wastewater [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2025, 53(6): 150-152.
- [16] 赵思索, 李钢, 李一平, 等. 华南某市典型用地类型污水排放特征监测与分析[J]. *中国给水排水*, 2025, 41(1): 115-122.
- Zhao S S, Li G, Li Y P, et al. Monitoring and analysis of sewage discharge characteristics of typical land use types in a city in south China[J]. *China Water & Wastewater*, 2025, 41(1): 115-122.
- [17] 郑可, 付浩, 李一平. 基于南方城市化粪池前后水质变化特征的若干思考[J]. *给水排水*, 2023, 49(10): 20-27.
- Zheng K, Fu H, Li Y P. Research on the characteristics of water quality changes before and after septic tank in southern cities [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2023, 49(10): 20-27.
- [18] 宋耀美, 宁克明, 高祯, 等. 深圳市建筑小区取消化粪池可行性研究[J]. *广东化工*, 2021, 48(14): 184-186.
- Song J M, Ning K M, Gao Z, et al. Feasibility study on canceling septic tank in building district of Shenzhen City [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2021, 48(14): 184-186.
- [19] 陈杰龙, 张洁. 污水提质增效中截流井的优化思路[J]. *科技创新与应用*, 2024, 14(31): 133-137.
- Chen J L, Zhang J. Optimization idea of intercepting well in sewage quality improvement and efficiency improvement [J]. *Technology Innovation and Application*, 2024, 14(31): 133-137.
- [20] 凌耀忠, 胡和平, 万晶晶, 等. 污水系统提质增效对策研究: 以H岛污水系统为例[J]. *中国给水排水*, 2022, 38(16): 24-28.
- Ling Y Z, Hu H P, Wan J J, et al. Study on solutions for quality and efficiency improvement of waste water system—Taking H island waste water system as an example [J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(16): 24-28.

(上接第 170 页)

- [33] Farizoglu B, Nuhoglu A, Yildiz E, et al. The performance of pumice as a filter bed material under rapid filtration conditions [J]. *Filtration & Separation*, 2003, 40(3): 41-47.
- [34] Lee J J, Cha J H, Ben A R, et al. Fiber filter as an alternative to the process of flocculation-sedimentation for water treatment [J]. *Desalination*, 2008, 231(1/2/3): 323-331. DOI: 10.1016/j.desal.2007.11.051.
- [35] Hwang Y, Seo Y, Kim H, et al. Evaluation of solids removal and optimisation of backwashing for an upflow stormwater filtration system utilising novel floating fibrous media [J]. *Environmental Technology*, 2021, 42(14): 2132-2144.
- [36] French D. Granular filter media: Evaluating filter bed depth to grain size ratio[J]. *Filtration + Separation*, 2012, 49(5): 34-36.
- [37] Jin L, Ong S L, Ng H Y. Fouling control mechanism by suspended biofilm carriers addition in submerged ceramic membrane bioreactors[J]. *Journal of Membrane Science*, 2013, 427: 250-258. DOI: 10.1016/j.memsci.2012.09.016.
- [38] Ramsay L, Du F, Lund M, et al. Grain displacement during backwash of drinking water filters [J]. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2021, 21(1): 356-367.
- [39] Gitis V, Rubinstein I, Livshits M, et al. Deep-bed filtration model with multistage deposition kinetics [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2010, 163(1/2): 78-85. DOI: 10.1016/j.cej.2010.07.044.