

李万荣, 冯昆强, 张庆, 等. 基于河道水位及在线监测污水处理厂河水入渗分析[J]. 净水技术, 2026, 45(2): 215-224.

Li W R, Feng K Q, Zhang Q, et al. Analysis of river water infiltration in WWTPs based on river channel water level and online monitoring [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(2): 215-224.

基于河道水位及在线监测污水处理厂河水入渗分析

李万荣^{1,*}, 冯昆强², 张庆³, 罗超³

(1. 中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州贵阳 550081; 2. 佛山市三水区淼通排水工程有限公司, 广东佛山 528100; 3. 中电建生态环境设计研究院有限公司, 江苏苏州 215000)

摘要 【目的】针对南方某污水处理厂进水化学需氧量(COD)浓度长期偏低问题,本文探究外水入侵与管网结构缺陷对污水系统运行效能的制约机制,提出针对性治理策略以提升污水处理效能。【方法】本文通过河道降水水位协同水质水量在线监测技术,在截污干管及箱涵布设22个在线监测点,结合河道水位动态调控试验,分析外水入侵特征;利用管网物探排查与水力特征分析,识别倒灌风险点及管网淤堵问题。【结果】二期污水处理厂进水COD浓度与河道水位呈显著负相关,溯源发现8处倒灌风险点,其中2处常水位(1.744 m)倒灌点导致26 km管网受河水倒灌影响,稀释效应使进水COD浓度较理论值降低42%;一期合流制箱涵因流速缓慢(不足0.2 m/s),50%以上悬浮物沉积,叠加雨季雨水混入,COD浓度进一步降低;管网高水位运行导致泵站前干管满管流现象频发,加剧悬浮物沉积与污水浓度衰减。依据结果提出分级治理对策:(1)优先封2处常水位倒灌点,可提升进水COD浓度30%~40%;(2)雨污合流改造减少外水混入;(3)建立基于在线监测的管网健康预警系统,实现外水入侵动态管控。【结论】本文为南方平原河网区破解污水低浓度难题提供了“河道降水-监测溯源”技术范式,对于提升城市污水系统河水入渗排查及治理具有实践指导意义。

关键词 河水入渗 在线水质水量监测 污水处理厂水质水量 河道水位 溯源排查

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)02-0215-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.02.022

Analysis of River Water Infiltration in WWTPs Based on River Channel Water Level and Online Monitoring

Li Wanrong^{1,*}, Feng Kunqiang², Zhang Qing³, Luo Chao³

(1. PowerChina Guiyang Engineering Co., Ltd., Guiyang 550081, China;

2. Foshan Sanshui Miaotong Drainage Engineering Co., Ltd., Foshan 528100, China;

3. PowerChina Ecological Engineering and Research Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

Abstract [Objective] This paper aims to investigate the mechanisms by which extraneous water intrusion and structural defects in sewer networks constrain the operational efficiency of a wastewater treatment plant (WWTP) in southern China, specifically addressing the long-term issue of low influent chemical oxygen demand (COD) concentration, and to propose targeted mitigation strategies. [Methods] A combined approach of river level reduction and online water quality/flow monitoring was employed. Twenty-two online monitoring points were set up along intercepting sewers and box culverts. By conducting dynamic river level control experiments and analyzing the collected data, the characteristics of extraneous water intrusion were identified. Pipeline inspection and hydraulic analysis were used to pinpoint backflow risk points and pipeline sedimentation issues. [Results] A significant negative correlation existed between the influent COD concentration of Phase II WWTP and the river level. Tracing identified 8 backflow risk points, with 2 points below the normal water level (1.744 m) causing river water infiltration affecting 26 km of pipelines. This dilution effect reduced the influent COD concentration by approximately 42% compared to the theoretical value. In the Phase I combined sewer box culvert, flow velocity was slow (<0.2 m/s), leading to sedimentation of over 50% of suspended solids. Combined with rainwater dilution during wet

[收稿日期] 2025-04-23

[基金项目] 中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司科技项目(YJ2022-10)

[通信作者] 李万荣(1984—),男,高级工程师,主要从事工程物探、水环境治理工作,E-mail:350619473@qq.com。

weather, this further decreased the COD concentration. High water levels in the sewer network caused frequent full-pipe flow in trunk sewers upstream of pumping stations, exacerbating sedimentation and the decline in sewage concentration. Based on these findings, hierarchical mitigation strategies were proposed: (1) Prioritize sealing the 2 critical normal-water-level backflow points, potentially increasing influent COD by 30%–40%. (2) Implement sewer separation (converting combined sewers to separate storm and sanitary sewers) to reduce extraneous water mixing. (3) Establish an online monitoring-based early warning system for pipeline health, enabling dynamic management of extraneous water intrusion. [**Conclusion**] This paper provides a technical framework of "river level reduction & monitoring-based traceability" for diagnosing and addressing the challenge of low wastewater concentration in the plain river network areas of southern China, offering practical guidance for improving the investigation and management of river water infiltration in urban sewer systems.

Keywords river water infiltration online water quality and flow monitoring WWTP water quality and flow river channel water level source tracing and pipeline inspection

“十四五”期间,我国持续推进排水系统现代化建设,水环境治理成效显著,污水收集处理能力大幅提升,城市黑臭水体治理取得阶段性进展^[1]。然而,受限于管网设施结构性缺陷与历史遗留问题,当前排水系统仍面临严峻挑战:一方面,管网覆盖率不足、雨污分流改造滞后导致河湖水、地下水等外水大量入侵污水系统,显著稀释污水厂进水污染物浓度,增加处理能耗并降低运行效率;另一方面,雨天管网超负荷引发的污水溢流现象频发,成为河流水质波动与黑臭反弹的关键诱因^[2-3]。尽管已有研究针对污水处理系统提质增效提出了技术优化策略,但针对流域尺度下管网分区精细化识别与管理的研究仍显不足,制约了系统性治理效能的进一步提升。

为破解上述瓶颈,《水污染防治行动计划》《城市黑臭水体整治工作指南》等政策明确提出“源头管控、系统治理”的顶层设计框架,要求统筹推进管网提质增效、溢流污染防控与智慧化管控^[4]。在此背景下,研究聚焦于构建“工程-管理-技术”协同治理模式:通过雨污分流改造、管网缺陷修复等工程措施从源头削减外水入侵;依托入河排污口整治阻断溢流污染扩散路径;结合排水管网水质水量在线监测技术查清河湖水、地下水等入渗问题^[5-6]。通过多维度干预提升污水厂运行效能,降低溢流污染负荷,最终支撑水环境质量的持续改善与韧性提升,为城市排水系统精细化治理提供理论依据与实践参考^[7-9]。

1 研究背景

南方某污水处理厂总占地面积为 8.8 hm²,规划建设规模为 15 万 m³/d,已实施两期。一期工程(5 万 m³/d)于 2004 年 11 月建成投运,占地 70.5 亩(1 亩≈666.67 m²);二期工程(5 万 m³/d)于 2009

年 2 月投产,占地 62.7 亩,两期合计近期处理能力达 10 万 m³/d。两期工程均采用“循环式活性污泥(CAST)+高效沉淀池+反硝化深床滤池”组合工艺,通过次氯酸钠消毒实现尾水达标排放。

基于服务范围内人口统计与用水定额分析,某污水厂一期、二期服务人口约 9.23 万、12.53 万人。结合《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)及《中国水资源公报》数据,综合生活用水量按 360 L/(人·d)取值,叠加 8%~12%未预见水量,并采用折污系数为 0.90 进行污水量核算,一期、二期污水产生量分别为 34 391、46 687 m³/d。实际污水处理厂在线监测数据显示:一期、二期污水 2023 年雨季平均水量分别为 53 098、57 534 m³/d,进水五日生化需氧量(BOD₅)质量浓度分别为 43.80、47.64 mg/L,远远低于《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021 年)》中进水 BOD₅ 质量浓度≥100 mg/L 的要求,面临显著的外水入渗问题,主要表现为雨季高地下水位导致的管道渗漏和河湖倒灌现象。

由于平原地势平缓和穿河管的结构特点,地下水和河水通过破损管道、检查井渗入污水系统,尤其在涨潮期河道水位超过管内底标高时,现有鸭嘴阀等防倒灌措施难以有效遏制倒灌。此外,污水管网运行水位高、管径大导致封堵困难,加之管网错接混接及长期使用产生的结构性缺陷,使得外水入侵严重挤占污水管容,直接造成污水处理厂进水 BOD₅ 质量浓度偏低(未达 100 mg/L),严重影响污水处理效能。

当前工程实践中面临的最大挑战是难以精准定位复杂管网系统的外水入渗点,特别是与河道相连的排水系统存在诊断盲区,为查清污水处理厂沿河截污管及截留合流箱涵的河水入渗问题,在旱季采用降低河道水位及在线检测水质水量监测排查。

2 监测方案

2.1 水质水量监测方法

外水侵入问题主要由地势条件、管网结构缺陷、排水规划不足或违规排放等因素诱发,致使非污水源(如地下水、河湖水体及雨水等自然水源,以及施工废水、工业废水等社会性水源)异常汇入污水管网系统,引发水质指标异常波动与管网持续性高水位运行风险^[10]。研究表明,自然水源是外水侵入的主要贡献源。基于水质水量协同监测技术,可系统获取污水管网基础数据,识别外水侵入高发区域,并对其潜在入渗点位与水量进行定量评估,从而为管网效能优化提供科学依据。本研究采用水质水量耦合分析法,相较于传统依赖流量计监测或外部数据引用的单一水量法,该方法通过融合污染物浓度与流量动态关系,有效提升测算精度,同时规避了长期流量监测设备的高成本运维弊端,具有更高的技术经济适用性。因此,在此基础上引入水质特征指标,根据物质守恒定律建立如式(1)~式(2)。

$$Q_{ww} = Q_{fs} + Q_{es} \quad (1)$$

$$C_{ww} = \frac{Q_{fs}}{Q_{ww}} \cdot C_{fs} + \frac{Q_{es}}{Q_{ww}} \cdot C_{es} \quad (2)$$

其中: Q_{ww} ——实际污水量, m^3/d ;

Q_{fs} ——原生污水量, m^3/d ;

Q_{es} ——外水入侵量, m^3/d ;

C_{ww} ——实际污水中水质特征指标质量浓度, mg/L ;

C_{fs} ——原生污水中水质特征指标质量浓度, mg/L ;

C_{es} ——入侵外水中水质特征指标质量浓度, mg/L 。

依据污染物在管网迁移过程中的质量守恒定律,建立水质-水量的数学关联。通过布设连续监测设备,同步采集流量和水质参数,通过选取具有显著浓度差异化学需氧量(COD)作为特征指标(原生污水COD典型质量浓度为300~600 mg/L,河水、地下水等外水COD质量浓度一般小于50 mg/L),当管网存在外水侵入时,对污水浓度具有稀释效应,运用水质水量耦合分析方法,实现对外水侵入量、侵入点位的定量解析。

2.2 河道降水位污水系统运行监测

2.2.1 河道水位监测

在河道截污管提升泵站附近布设一处河道水位、COD自动监测设备。

2.2.2 污水处理厂主干管

监测点位:根据污水处理厂的排水分区及截污干管沿途污水支管汇入情况,沿二期污水处理厂沿河道截污干管及一期污水处理厂同福路箱涵共布设22个在线监控点位,如图1所示。



图1 在线水质水量自动监测点位

Fig. 1 Online Water Quality and Flow Monitoring Points

监测时间及频率:2023年10月12日12:00—2023年10月18日12:00,5 min/次。监测指标:COD、液位、流量。降水时间:2023年10月13日15:00开始河道全河段降水,2023年10月17日15:00结束降水,恢复河道水位。

3 成果分析

3.1 某污水厂一期、二期降水前后水质水量监测

图2展示了2023年10月1日—2023年10月24日某污水厂一期、二期COD浓度以及进水量的变化情况。在降水期间二期进水量较降水前下降26%、COD浓度上升17%(表1),说明二期存在较为明显的河水倒灌特征。而一期在降水期间的进水量下降6%、COD浓度也同时下降8%,说明一期河水倒灌现象不明显。一期的进水量及COD浓度与当天的降雨强度有较强相关性,遇强降雨时,进水量升高,COD降低。

3.2 干管水质监测

在线自动连续监测点位沿污水厂一期、二期污水处理厂干管布设。基于区域、水力特征分为3段:截污干管提升泵站前、截污干管提升泵站后以及同福路箱涵。

水质水量连续监测历时为2023年10月12日0:00—2023年10月18日0:00,期间2023年10月

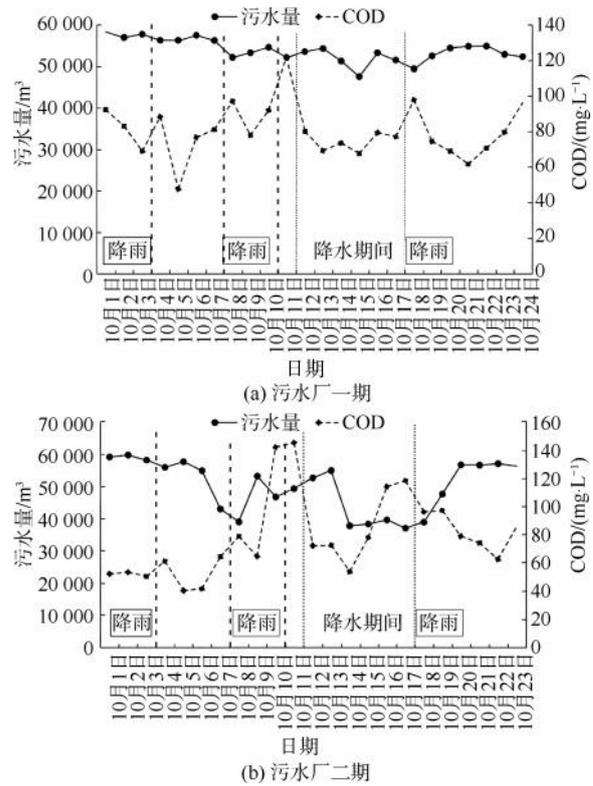


图2 污水厂一期、二期降水前后进水质水量变化

Fig. 2 Variation of Influent Quality and Flow of Pre- and Post-Water Level Reduction in WWTPs Phase I and II

表1 降水前后污水处理厂进水水质水量对比

Tab. 1 Comparison of Water Quality and Quantity in WWTP Influent before and after Water Level Reduction

污水处理厂	天气	日期	处理水量/m ³	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	悬浮物(SS)/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	总氮(TN)/(mg·L ⁻¹)	总磷(TP)/(mg·L ⁻¹)	COD平均值/(mg·L ⁻¹)	平均处理水量/m ³		
一期	晴转雷阵雨	10-01	58 317	48.2	47	92.2	16.6	18.30	1.76	83	55 438		
	雷阵雨转多云	10-02	57 005	20.2	49	82.9	13.8	19.06	1.55				
	多云转晴	10-03	57 751	18.2	43	69.0	14.7	21.15	1.62				
	晴	10-04	56 328	37.8	46	88.1	15.6	21.67	1.80				
	晴转多云	10-05	56 155	25.0	16	47.7	16.0	21.69	1.78				
	晴转多云	10-06	57 496	29.3	27	76.7	14.0	21.42	1.84				
	多云	10-07	56 280	40.5	55	81.0	13.1	21.13	1.90				
	阵雨转中雨	10-08	52 226	110.0	68	97.0	14.8	29.15	1.76				
	中雨转小雨	10-09	53 288	20.8	51	77.8	16.1	23.89	1.81				
	阵雨转阴	10-10	54 643	46.9	47	91.9	16.2	21.87	1.77				
	阴转多云	10-11	52 178	45.0	72	122.0	14.9	20.80	1.83				
	晴转多云	10-12	53 583	46.0	39	80.0	16.0	20.83	1.74				
	晴	10-13	54 245	45.7	50	69.1	15.9	20.84	1.70			73	51 562
	晴	10-14	51 277	47.5	46	73.4	15.4	20.95	2.02				

(续表1)

污水 处理厂	天气	日期	处理水 量/m ³	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	悬浮物(SS)/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总氮(TN)/ (mg·L ⁻¹)	总磷(TP)/ (mg·L ⁻¹)	COD平 均值/ (mg·L ⁻¹)	平均处 理水量 值/m ³
	晴转多云	10-15	47 506	43.8	50	67.6	11.2	23.05	1.90		
	多云	10-16	53 259	47.8	46	79.2	8.5	24.55	1.96		
	晴转阵雨	10-17	51 524	38.5	59	77.0	18.3	24.17	2.03		
	小雨转中到大雨	10-18	49 434	37.7	47	97.7	18.2	22.64	1.84	78	53 092
	中雨	10-19	52 611	32.8	74	74.4	17.4	21.93	1.83		
	中雨转阵雨	10-20	54 441	31.5	40	69.0	10.6	16.88	1.22		
	阴	10-21	54 872	—	13	61.6	10.5	17.93	1.02		
	阴	10-22	55 050	—	32	70.6	14.6	18.96	1.54		
	多云转晴	10-23	52 868	—	40	79.6	15.1	21.29	1.64		
	晴	10-24	52 365	—	44	96.2	14.7	24.17	1.93		
二期	晴转雷阵雨	10-01	59 012	31.8	25	51.9	7.9	10.20	0.94	72	52 344
	雷阵雨转多云	10-02	59 540	24.3	29	52.8	6.2	9.89	0.65		
	多云转晴	10-03	58 072	17.0	48	50.1	8.0	11.72	0.78		
	晴	10-04	55 820	20.7	32	60.9	7.9	12.17	0.88		
	晴转多云	10-05	57 580	13.7	12	40.0	10.6	17.01	1.17		
	晴转多云	10-06	54 824	11.2	7	41.4	10.1	19.64	0.50		
	多云	10-07	42 856	23.0	45	64.1	10.5	16.89	1.22		
	阵雨转中雨	10-08	38 928	45.7	50	78.5	13.4	21.21	1.40		
	中雨转小雨	10-09	53 096	21.7	—	64.4	15.1	20.96	1.60		
	阵雨转阴	10-10	46 660	78.1	64	142.0	18.8	24.65	1.93		
	阴转多云	10-11	49 204	31.3	55	145.0	15.3	20.70	1.60		
	晴转多云	10-12	52 540	49.1	48	71.9	15.9	19.89	1.68		
	晴	10-13	54 760	36.2	44	72.1	13.2	18.04	1.36	87	41 392
	晴	10-14	37 680	42.0	47	53.7	9.6	23.92	1.88		
	晴转多云	10-15	38 200	53.8	56	77.8	17.3	27.46	2.12		
	多云	10-16	39 420	72.5	55	114.0	13.8	27.83	2.26		
	晴转阵雨	10-17	36 900	61.5	82	118.0	24.8	29.11	2.57		
	小雨转中到大雨	10-18	38 784	51.2	56	96.0	23.3	28.09	2.20	82	52 083
	中雨	10-19	47 496	45.8	37	96.8	18.9	28.86	2.06		
	中雨转阵雨	10-20	56 636	36.7	43	78.5	12.0	17.88	1.34		
	阴	10-21	56 440	—	27	73.9	13.0	18.04	1.38		
	阴	10-22	56 884	—	6	62.3	11.0	15.34	0.86		
	多云转晴	10-23	56 260	—	56	85.2	18.2	24.29	1.93		

13日16:00开始降水,10月16日21:00结束降水,河道水位在10月17日0:00基本恢复常水位。

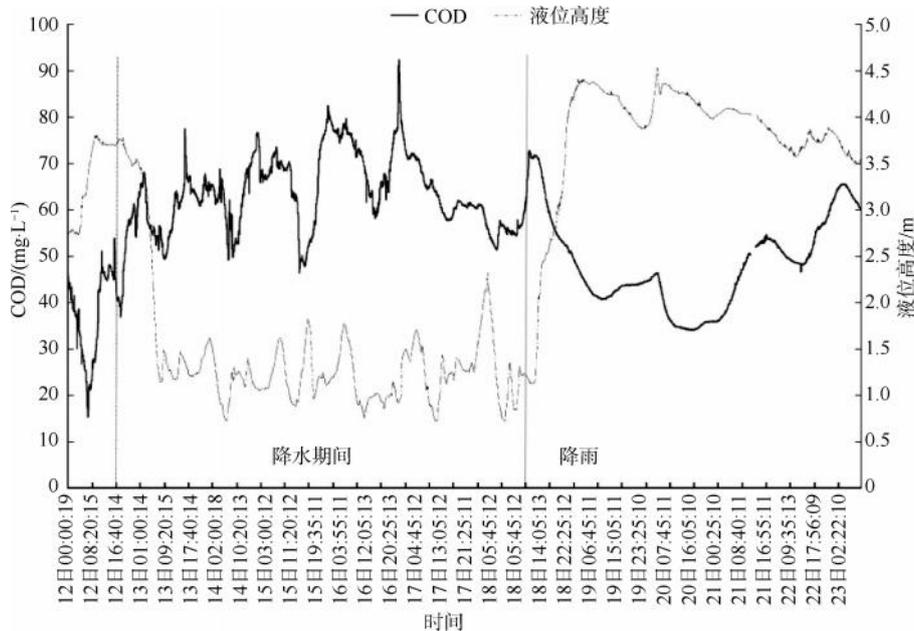
3.3 自动监测设备监测结果分析

目前二期污水处理厂截污干管防河水倒灌的方

式主要为2种:一是在排口出口安装拍门,二是依靠截流井溢流堰,存在河水倒灌风险。以Z15三达路北点位为例,该监测点位于污水处理二厂沿河截污管重要节点位置(图1),在降水前的晴天期间呈现

高液位低 COD 浓度的趋势,降水期间液位大幅下降 133%,COD 浓度提升 84%,说明 Z15 三达北点位前有大量清洁外水汇入(图 3)。降水期间 COD 浓度上升并保持在较高水平,降水期间其浓度波动呈现与生活污水早晚排放高峰吻合的趋势。降水后其液位大幅回升并超越降水前液位 20%,同时 COD 浓度

缓慢下降,这是由于二期截污干管承接部分区域合流污水,降水后恰逢降雨,大量雨水通过合流管混合生活污水进入截污干管。降雨结束后,随污水处理厂抽走干管中存水,液位回落至降水前水平,COD 浓度同时随着新鲜早流污水的逐渐汇入而缓慢升高。



注:时间均为 10 月。

图 3 Z15 三达路北降水前后 COD 变化

Fig. 3 Temporal Variation of COD at Z15 Sanda Road North during Water Level Reduction

3.4 河水倒灌风险点

根据在线监测结果结合物探管网排查数据,与市政污水截污干管联通、未安装拍门且倒灌高程位于高水位 2.744 m 以下的排口有 8 个,其中在常水位 1.744 m 以下的有 2 个,在常水位 1.744 m 与高水位 2.744 m 之间的有 6 个(表 2)。位于常水位以下的 2 个排口分别经由“截污

管提升泵站泵前-北江东干管”和“二期截污干管”汇流至二期污水处理厂。位于高水位区间的 6 个排口在雨季河道水位较高时具有较高倒灌风险(图 4、图 5)。

二期污水处理厂受常水位(1.744 m)倒灌影响管线总长度为 26 km,其中截污干管长度约 11 km,支管长度约 15 km。

表 2 倒灌点位分布

Tab. 2 Spatial Distribution and Risk Classification of Backflow Points

序号	物探点	排口尺寸/mm	倒灌高程/m	排水形式	上游管段	上游问题描述	控制倒灌方式
1	YSXZ40	1 800	1.360	直排	雨水管	上游雨水管与污水管联通	管口高度
2	YS151046	800	2.330	截流	雨水管	上游雨水管与截污干管联通	截流井挡墙
3	HSXZ41	2 500×1 800	1.974	截流	合流	现状雨水泵站上游市政道路管网为错混接状态	沟渠内挡墙
4	WS151102	500	2.210	溢流口	—	截污干管溢流管	截流井挡墙
5	WSX1	500	2.100	截流	溢流口	截污干管溢流管	管口高度
6	WS15694	800	1.230	截流	溢流口	上游排水单元合流	管口高度
7	WS151065	400	1.850	截流	溢流口	截污干管溢流管	管口高度
8	WS151076	800	2.120	截流	溢流口	上游排水单元错混接	管口高度

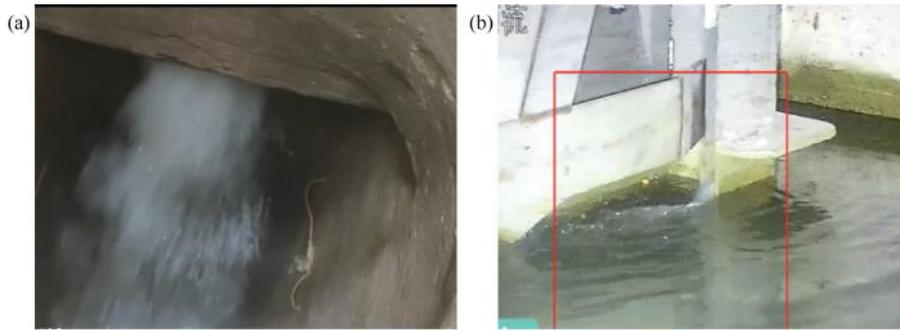


图4 河道倒灌点影像

Fig. 4 Monitoring Imagery of River Channel Backflow Points



图5 截污干管河水倒灌风险点位分布

Fig. 5 Spatial Distribution of River Water Backflow Risk Points in Interceptor Sewer Based on Monitoring Data

3.5 高水位运行干管段

高水位运行影响排水管网的运行效能,长时间满管运行也导致管段水流流速放缓,SS在管道中沉积,进而导致管道淤堵,污水浓度降低。

本次在线监测发现多处监测点长期处于高水位运行状态。泵站前的监测点[即Z2(河口)、Z3(北江西)、Z5(北江南)、Z6(北江东末端)、Z7(凤凰公园)和Z8(北江东)]随泵站水位变化显著,这表明泵站的流量是影响这些点位的水位的重要因素。其中,Z2(河口)、Z3(北江西)和Z5(北江南)长期处于满管有压流状态。这是因为截污管提升泵站泵前—北江西干管及泵站泵前—北江南干管管底标高均较低,位于 $-2.71 \sim -1.15$ m。

降水期间,Z4(泵站)之后的点位满管流的情况

较少,仅在接近污水处理厂的Z16(二期厂前)、Z17(实验中学)出现长时间的满管流情况。

但在河道水位常水位运行期间,即降水前,整条二期截污干管运行水位均处满管高水位区间,说明河水倒灌将导致截污干管水位抬升,致使后端二期污水处理厂优先抽排倒灌河水,而上游污水受下游干管水位影响,可能排水不畅,拉长污水在管道中停留时间,SS在管道中沉积,最终污水处理厂污水浓度进一步降低。

污水厂一期同福路箱涵虽然没有长时间高水位运行,但是同福路3号点位之后箱涵始终保持10%~15%的积水,同福路1号点位至同福路3号点位之间管段也保持5%水位积水。由于同福路箱涵过水断面尺寸很大,仅5%~10%积水就足以拉缓水流速度,致使同福路箱涵成为实际上的沉淀池,晴天

旱流污水流经同福路箱涵后 COD 中的 SS 在此沉淀, COD 浓度降低。

污水厂一期同福路箱涵污水 COD 质量浓度在

降水期间有小幅升高,从 93 mg/L 提升至 105 mg/L (表 3), 升高约 13%, 表明同福路箱涵可能有一定倒灌现象。

表 3 降水前后污水处理厂干管水质对比

Tab. 3 Water Quality Analysis of WWTP Trunk Sewer under Water Level Reduction Conditions

污水处理厂	分类	降水时段	COD/ (mg · L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	氨氮/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)
二期	次干管	降水前	116	44	29	2.4	30	60
		降水期间	173	82	29	2.7	33	159
		降水后	103	39	25	2.5	28	62
	截污干管	降水前	137	60	27	2.3	30	69
		降水期间	172	81	24	3.1	31	157
		降水后	141	63	25	2.5	29	72
一期	次干管	降水前	127	61	29	4.3	37	82
		降水期间	110	48	23	2.0	26	55
		降水后	119	58	27	3.5	41	65
	同福路箱涵	降水前	93	46	19	2.1	22	68
		降水期间	105	45	24	2.1	28	55
		降水后	102	48	21	2.3	26	67

3.6 成果分析及治理

无论是降水前还是降水后,晴天时分流制区域次干管 COD 均值均高于合流区域 20% 左右。晴天旱流污水浓度呈现出合流制区域污水浓度低于分流制区域的原因,推测是因为合流制管径远大于纯污水流量所需的最大管径,污水汇入大管径合流管后,流速降低,污水中的重要 COD 来源——SS,在流过程中在管道中沉积。这些沉积在合流管中的固态 SS 最终将随暴雨期间大量汇入合流管的雨污合流水冲刷再次悬浮于雨污合流水中,其中超出截污干管过流能力的流量通过截污干管上的溢流管,溢流进入河道,成为溢流污水,污染水体。最终形成了污水处理厂进水 COD 浓度不高、河道水

质变差的情况。要提升污水浓度,需在封堵倒灌排口的基础上,从住宅小区源头管网开始,至市政道路次干管,实现源头-次干管-干管彻底雨污分流,确保污水在雨天不被雨水稀释,晴天污水 SS 不在大管中沉淀损失。

为提升污水厂二期进水浓度,降低河水入渗影响,2024 年该厂纳污范围进行管道缺陷修复、雨污错混接改造、倒灌排口截流设施智能分流改造等排水设施整治。2024 年 10 月,排口治理基本完成后,污水厂进水量减少约 7 450 m³/d(表 4),12 月 COD 质量浓度从 117.4 mg/L 提高到 253.2 mg/L,有效防止河水外水进入污水系统,提升污水处理厂进水浓度。

表 4 工程治理后污水厂二期水质水量对比

Tab. 4 Comparison of Water Quality and Quantity in Phase II of the WWTP after Remediation

月份	2023 年 BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	2023 年 COD/ (mg · L ⁻¹)	2023 平均水量/ (m ³ · d ⁻¹)	2024 年 BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	2024 年 COD/ (mg · L ⁻¹)	2024 平均水量/ (m ³ · d ⁻¹)
1 月	56.1	130.3	37 175.2	66.1	150.4	44 772.6
2 月	65.8	144.2	39 153.6	54.4	130.7	42 776.3
3 月	71.4	165.0	45 579.4	58.0	142.1	46 242.8
4 月	65.9	148.0	57 534.6	39.6	95.8	53 290.3
5 月	52.6	112.7	50 520.5	30.5	81.5	56 583.5

(续表4)

月份	2023年 BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	2023年 COD/ (mg · L ⁻¹)	2023 平均水量/ (m ³ · d ⁻¹)	2024 年 BOD ₅ / (mg · L ⁻¹)	2024 年 COD/ (mg · L ⁻¹)	2024 平均水量/ (m ³ · d ⁻¹)
6月	35.2	85.2	58 386.4	30.8	83.2	55 756.0
7月	37.9	93.9	51 321.7	73.7	185.7	47 897.2
8月	46.6	109.1	49 045.5	45.2	98.0	57 661.1
9月	29.4	71.4	55 284.6	52.0	122.0	58 909.7
10月	40.0	78.4	37 638.9	63.9	159.4	39 814.7
11月	44.2	95.5	47 865.7	76.1	182.7	33 880.5
12月	44.3	117.4	39 241.9	95.3	253.2	35 328.6

4 结论

1) 精准识别并封堵河水倒灌点是解决南方平原河网区污水厂进水浓度偏低问题的首要且高效的措施。

研究通过“河道降水位+水质水量在线监测”的创新方法,精准诊断出二期污水厂进水低浓度的主要原因是河道水通过8个未有效设防的排口倒灌入截污干管。治理实践(经过排口截流设施智能分流改造)证实,封堵这些倒灌点后,有效阻止河水入渗,污水厂二期进水COD浓度显著提升,从治理前的117.4 mg/L(12月)大幅提高至治理后的253.2 mg/L,同时日均进水量减少,有效证明了封堵倒灌对于“提质增效”的直接效果。

2) 合流制管网的系统性缺陷是导致污水浓度降低的另一关键因素,需推进彻底的雨污分流改造。研究发现,一期污水厂服务区的核心问题并非河水倒灌,其核心症结在于合流制管网雨天雨水大量混入稀释污水。这导致污水处理厂进水浓度不高与河道溢流污染并存的问题。结论指出:必须从源头(排水单元)到末端(市政管网)构建彻底的雨污分流体系,才能从根本上提升污水浓度并控制溢流污染。

3) “工程-管理-技术”协同的精细化治理模式,是实现排水系统长效提质增效的根本路径。本研究成功实践了多维度协同治理的思路:通过工程措施(管网修复、排口改造)从源头削减外水;依托管理策略(分区排查、精准施治)确定优先治理级序;结合技术手段(水质水量在线监测)实现问题精准诊断与效果评估。这一模式突破了传统单一工程治理的局限,为复杂管网系统的精细化、智慧化管理提供了可复制的理论依据与实践范例。

参考文献

- [1] 柳勇,董宝刚,徐超,等. 合肥市污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J]. 净水技术, 2021, 40(8): 68-73, 80.
Liu Y, Dong B G, Xu C, et al. Statistical analysis of influent water quality characteristics of WWTPs in Hefei [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 68-73, 80.
- [2] 曾旭,王荣昌,马翠香,等. 工业生活混合污水处理厂的进水变化特征[J]. 净水技术, 2020, 39(5): 75-79, 115.
Zeng X, Wang R C, Ma C X, et al. Statistical analysis of the influent of an industrial and domestic mixed wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 75-79, 115.
- [3] 朱婉宁,李萌,张旭东,等. 基于短期在线监测的污水管网降雨入流入渗分析[J]. 给水排水, 2021, 47(7): 117-122.
Zhu W N, Li M, Zhang X D, et al. RD II analysis of sewer system based on short-term online monitoring [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(7): 117-122.
- [4] 郑凯凯,周振,周圆,等. 城镇污水处理厂进水中地下水、河水及雨水混入比例研究[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 75-80.
Zheng K K, Zhou Z, Zhou Y, et al. A quantity study on proportion of groundwater, river water and rainwater in influent of urban wastewater treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 75-80.
- [5] 白加敏,王经波,李长芳,等. 基于水量和水质监测的污水处理厂外水入侵分析[J]. 净水技术, 2025, 44(1): 114-119.
Bai J M, Wang J B, Li C F, et al. Analysis of external water intrusion of WWTP based on wastewater quantity and quality monitoring [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(1): 114-119.
- [6] 盛政,刘旭军,王浩正,等. 城市污水管道入流入渗监测技术研究与应用进展[J]. 环境工程, 2013, 31(2): 17-21.
Sheng Z, Liu X J, Wang H Z, et al. Study on field monitoring technology for urban drainage network system management [J]. Environmental Engineering, 2013, 31(2): 17-21.

- [7] 刘小梅,王婷,赵美玲,等. 基于在线监测的排水系统运行负荷分析与问题诊断[J]. 给水排水, 2016, 42(12): 126-130.
Liu X M, Wang T, Zhao M L, et al. Analysis and measures for the operation load of drainage system based on on-line monitoring [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(12): 126-130.
- [8] 席力蒙,刘钰,张平,等. 天津市污水水质区域对比及年度内变化[J]. 净水技术, 2019, 38(s2): 30-35.
Xi L M, Liu Y, Zhang P, et al. Regional comparison of wastewater characteristics and quality variation within a year in Tianjin[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(s2): 30-35.
- [9] 周乙新,李激,王燕,等. 城镇污水处理厂低浓度进水原因分析及提升措施[J]. 环境工程, 2021, 39(12): 25-30.
Zhou Y X, Li J, Wang Y, et al. Reason analysis and improvement measures for low pollutants concentration of influent water of urban sewage treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2021, 39(12): 25-30.
- [10] 高广灿,孙宇,聂泽宇,等. 不同排水体制下枣阳市某片区管网入河污染负荷及排水能力模拟评估[J]. 净水技术, 2025, 44(2): 158-165.
Gao G C, Sun Y, Nie Z N, et al. Simulated and assessment of pollutant load entering rivers and drainage capacity of pipe networks in a certain area of Zaoyang City under different drainage systems[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 158-165.

(上接第 151 页)

- Gu J, Wang S P, Wang X W. Study on treating boron-containing radioactive waste water in nuclear power plant by reverse osmosis [J]. China Nuclear Power, 2015, 8(3): 219-224.
- [15] Gherasim C V, Hancková K, Palarčík J, et al. Investigation of cobalt (II) retention from aqueous solutions by a polyamide nanofiltration membrane [J]. Journal of Membrane Science, 2015, 490: 46-56.
- [16] 侯立安,左莉. 纳滤膜分离技术处理放射性污染废水的试验研究[J]. 给水排水, 2004, 30(10): 47-49.
Hou L A, Zuo L. Experimental research on nano-membrane filtration for radioactive contaminated wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30(10): 47-49.
- [17] Li J F, Wang J L. Technology selection for emergency radioactive wastewater treatment [J]. Advanced Materials Research, 2013, 724/725: 708-712.
- [18] 杨洋,陶建国,马若霞,等. 移动式放射性废水应急处理装置的设计与试验研究[J]. 工业水处理, 2023, 43(6): 81-85.
Yang Y, Tao J G, Ma R X, et al. Design and experimental study of mobile emergency treatment device for radioactive wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2023, 43(6): 81-85.
- [19] ISO 10703:2007 Water quality - Determination of the activity concentration of radionuclides - Method by high resolution gamma-ray spectrometry[S].
- [20] 姚青旭,贾铭椿,王晓伟. 基于水解机理的超滤法处理低放废水技术的研究[J]. 工业水处理, 2009, 29(9): 47-50.
Yao Q X, Jia M C, Wang X W. Research on the treatment of wastewater with low-level radioactivity by ultrafiltration, based on hydrolyzation mechanism [J]. Industrial Water Treatment, 2009, 29(9): 47-50.
- [21] 刘斐文,韩力慧,孙秀珍. 胶体超滤法去除水中低含量重金属离子[J]. 水处理技术, 1993, 19(6): 43-47.
Liu F W, Han L H, Sun X Z. Removal of heavy metal ions of lower concentration from water by colloid uf membrane method [J]. Technology of Water Treatment, 1993, 19(6): 43-47.
- [22] Huang J H, Yuan F, Zeng G M, et al. Influence of pH on heavy metal speciation and removal from wastewater using micellar-enhanced ultrafiltration [J]. Chemosphere, 2017, 173: 199-206. DOI:10.1016/j.chemosphere.2016.12.137.
- [23] 侯彬,贾铭椿,王晓伟,等. 复合反渗透膜去除模拟放射性废水中铯的实验研究[J]. 广东化工, 2015, 42(23): 153-154.
Hou B, Jia M C, Wang X W, et al. Experimental research on removing cesium from simulated radioactive wastewater by composite reverse osmosis membrane [J]. Guangdong Chemical Industry, 2015, 42(23): 153-154.
- [24] Li J F, Zhuang S T, Wang L, et al. Treatment of radioactive wastewater from high-temperature gas-cooled reactor by membrane system [J]. Nuclear Technology, 2018, 203(1): 101-107.
- [25] 王松平,陈小莉,李俊雄,等. 内陆核电厂放射性废液中硼酸的反渗透分离实验研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2017, 15(2): 129-134.
Wang S P, Chen X L, Li J X, et al. Experimental study on liquid radioactive waste effluent polishing treatment of inland nuclear power plant [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2017, 15(2): 129-134.