彭俊彬, 黄代忠, 史浩强. 基于实测数据多源解析的水质净化厂外水入侵特征[J]. 净水技术, 2026, 45(10): 153-161.
Peng J B, Huang D Z, Shi H Q. Characteristics of extraneous water infiltration in WWTP based on field-measured data and multisource analysis[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(10): 153-161.

基于实测数据多源解析的水质净化厂外水入侵特征

彭俊彬[1],黄代忠[2,3,*],史浩强[1]
(1. 深圳市罗湖区水务局,广东深圳 518001;2. 珠江水利委员会珠江水利科学研究院,广东广州 510611;3. 水利部珠江河口治理与保护重点实验室,广东广州 510611)

摘 要 **【目的】** 系统揭示深圳市罗芳水质净化厂雨季进水五日生化需氧量(BOD_5)质量浓度异常偏低现象的成因,明确外水入侵的时空特征及分区差异,为城市污水系统精细化治理与水质净化厂韧性提升提供科学依据与技术路径。**【方法】** 基于长序列进厂水量与污染物质量浓度数据,综合运用水质水量相关性分析、外水溯源排查及分区特征识别方法。通过时间序列分析量化雨季与非雨季进水水质的差异;结合现场排查与资料收集,对外水入侵路径进行溯源,识别不同区域的外水入侵特征。**【结果】** 雨季连续暴雨期间,外水入侵水量占比最高可超过 50%,导致进水 BOD_5 质量浓度最低降至 29.50 mg/L,显著偏离正常水平。外水入侵成因呈现明显的多元性与空间异质性,主要途径包括山水直接接入、沿河截污箱涵雨水倒灌及雨污水管道混接等,且不同分区的入侵强度与主导机制存在显著差异。**【结论】** 外水入侵是导致该厂进水质量浓度异常的核心因素,分区治理策略能有效降低外水冲击负荷,提升系统运行稳定性。本研究结果可为类似城市污水系统的外水管控提供可复制的技术范式,有助于推动水质净化厂的韧性运行与长效管理。

关键词 外水入侵; 分区治理; 五日生化需氧量质量浓度; 韧性提升; 污水处理
中图分类号: TU992 **文献标志码**: A **文章编号**: 1009-0177(2026)10-0153-09
DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.10.017

Characteristics of Extraneous Water Infiltration in WWTP Based on Field-Measured Data and Multisource Analysis

Peng Junbin[1], Huang Daizhong[2,3,*], Shi Haoqiang[1]
(1. *Shenzhen Luohu District Water Resources Bureau, Shenzhen* 518001, *China*;
2. *Pearl River Water Resources Research Institute of the Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou* 510611, *China*;
3. *Pearl River Water Conservancy Research Institute of the Pearl River Water Conservancy Commission, Guangzhou* 510611, *China*)

Abstract [**Objective**] To systematically investigate the causes of abnormally low 5-day biochemical oxygen demand(BOD_5) mass concentration in the wet-season influent at the Luofang Water Purification Plant in Shenzhen, and to clarify the spatiotemporal characteristics and zonal differences of extraneous water infiltration, thereby providing a scientific basis and technical pathway for refined management of urban sewage systems and resilience enhancement of water purification plants. [**Methods**] Based on long-term series data of influent flow and pollutant mass concentrations, this paper comprehensively applies methods including correlation analysis between water quality and quantity, tracing and investigation of extraneous water sources, and identification of zonal characteristics. Time series analysis was used to quantify the differences in influent quality between wet and dry seasons; field investigations and data collection were combined to trace the pathways of extraneous water infiltration and identify its characteristics in different zones. [**Results**] During continuous heavy rainfall in the wet season, the proportion of extraneous water infiltration exceeded 50%, resulting in a minimum influent BOD_5 mass concentration of 29.50 mg/L, which significantly deviated from normal levels. The causes of extraneous water infiltration exhibited notable diversity and spatial heterogeneity, with main pathways including direct intrusion of mountain water, backflow from riverside interception culverts, and cross-connections between stormwater and sewage pipelines.

[收稿日期] 2025-09-22
[作者简介] 彭俊彬(2000—),男,助理工程师,主要从事水务管理等工作,E-mail: 1064353484@qq.com。
[通信作者] 黄代忠(1992—),男,工程师,主要从事水环境治理方面等工作,E-mail: 2418589582@qq.com。

Moreover, significant differences were observed in the intensity and dominant mechanisms of infiltration across different zones. [**Conclusion**] Extraneous water infiltration is the core factor leading to abnormal influent concentration, and zoning management strategies can effectively reduce the shock load from extraneous water and enhance system operational stability. The findings provide a replicable technical paradigm for controlling extraneous water infiltration in similar urban sewage systems, contributing to the resilient operation and long-term management of water purification plants.

Keywords extraneous water infiltration; zoning governance; BOD_5 mass concentration; resilience upgrading; wastewater treatment

“十四五”以来,我国排水系统建设已日臻完善,水环境质量明显好转,污水收集处理工作取得显著进步[1]。然而,受雨污分流改造存在短板等因素的限制,雨季大量雨水径流入侵污水系统等问题仍普遍存在。城镇污水系统的外水入侵会增加污水处理厂进厂水量、降低进水质量浓度,导致污水处理厂运行负荷和成本增加,同时影响污水处理工艺和出水稳定[2]。根据《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021 年)》,城市污水处理厂进水生化需氧量(BOD)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。

当前针对污水系统外水入侵问题的诊断和对策研究已有一定进展[3-4],但受限于污水系统复杂性及水质水量动态监测技术的应用瓶颈,区域层面的外水入侵定量评估与精准溯源仍面临挑战。本文以深圳罗芳水质净化厂(以下简称“罗芳厂”)为研究对象,基于近年的水量水质连续监测数据,系统解析外水入侵时空特征、成因机制及分区差异,旨在为污水系统提质增效改造提供数据支撑,并为水质净化厂工艺优化与韧性提升提供科学依据。

1 水质净化厂概况

罗芳厂位于深圳河流域上游,是深圳市水环境治理的核心设施之一。如图 1 所示,罗芳厂现状设计处理规模为 35 万 m^3/d,服务范围为文锦路以东,罗芳村以西的城区面积,还包括莲塘片区。升级改造后,该厂处理能力达到 40 万 m^3/d,出水执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准[5]。该厂服务面积约为 22 km^2,覆盖人口超 70 万人,是深圳河流域水质改善的关键节点。

近年来受极端天气频发及管网系统缺陷的影响,罗芳厂在雨季面临显著的外水入侵问题,会导致处理成本增加、系统稳定性降低,甚至威胁深圳河国考断面的水质达标。当前,罗芳厂入厂水质异常已成为制约其高效运行的主要瓶颈。外水入侵导致污水量增大,污水质量浓度降低,加剧了处理负荷。此外,外水入侵导致管网高水位运行,进一步诱发冒溢风险,威胁城市防洪安全与居民生活环境。

2 分析方法

采用污染物特征因子法[6]估算所有外水入渗量,考虑污水处理厂进水五日生化需氧量(BOD_5)质量浓度与出户 BOD_5 质量浓度之差主要由外水入侵污水系统导致,如式(1)所示。

$$Q_{外水}=[1-(C_{污水处理厂}/C_{出户量})]\times Q_{污水处理厂} \quad (1)$$

其中:$Q_{外水}$———外水入渗量,m^3/d;

$C_{污水处理厂}$———污水处理厂进水 BOD_5 的质量浓度,mg/L;

$Q_{污水处理厂}$———污水处理厂进水量,m^3/d;

$C_{出户量}$———化粪池出口 BOD_5 的质量浓度,mg/L。

3 外水入侵情况分析

3.1 入厂水量及水质分析

本文基于 2024 年深圳市罗芳厂的实测水量与水质的动态监测数据展开分析。表 1 和图 2 分别展示了全年各月份平均入厂水量与 BOD_5 质量浓度的变化特征,具体分析如下。

1)全年水量与水质特征

(1)水质特征:① BOD_5 质量浓度呈现显著的季节性差异,枯水期(月平均质量浓度为 154 mg/L)显著高于丰水期(月平均质量浓度为 114 mg/L)。枯季水质 BOD_5 质量浓度约为雨季的 1.35 倍,表明存在明显的雨季稀释效应。②全年 BOD_5 质量浓度低于 100 mg/L 的天数占比达 20.3%,反映出进水污染物质量浓度频繁处于低值状态。

(2)水量特征:入厂水量季节性波动显著,丰水期平均水量(29.37 万 m^3/d)较枯水期(23.51 万 m^3/d)增加约 25%,呈现典型的雨季高、枯季低的特征。



图 1　水质净化厂服务片区污水收集系统

Fig. 1　Wastewater Collection System in the Service Area of Luofang WWTP

表 1　2024 年入厂水量和水质情况

Tab. 1　Influent Flow Rate and Water Quality in 2024

月份	BOD_5 月平均质量浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	入厂水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	BOD_5 最低质量浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	当日入厂水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	最低质量浓度出现日期
1 月	160.36	21.61 万	107.00	21.39 万	2024-01-07
2 月	152.11	18.82 万	101.00	18.24 万	2024-02-17
3 月	179.71	22.17 万	123.00	20.86 万	2024-03-02
4 月	128.85	26.91 万	59.50	32.52 万	2024-04-27
5 月	111.98	28.79 万	48.10	33.30 万	2024-05-06
6 月	119.37	30.85 万	54.00	37.21 万	2024-06-15
7 月	143.16	29.89 万	79.00	36.45 万	2024-07-28
8 月	106.33	29.85 万	57.20	35.79 万	2024-08-19
9 月	82.56	31.33 万	29.50	36.95 万	2024-09-07
10 月	115.42	25.56 万	88.00	26.06 万	2024-10-18
11 月	125.54	26.97 万	73.30	33.33 万	2024-11-20
12 月	152.06	24.63 万	125.00	23.50 万	2024-12-19

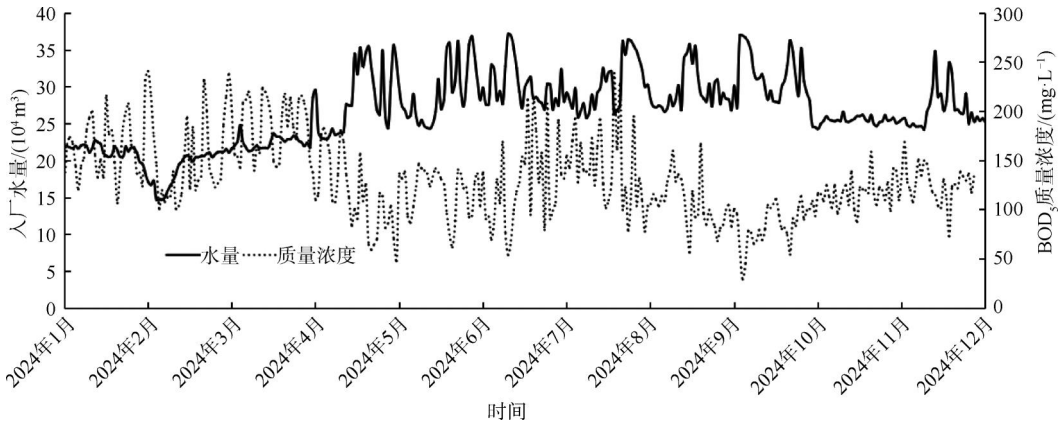


图 2　罗芳厂 2024 年入厂水量及水质(BOD_5)特征变化

Fig. 2　Variations of Influent Flow and BOD_5 at Luofang WWTP in 2024

2)极端工况下的特征分析

2024 年 9 月 7 日(丰水期)出现 BOD_5 质量浓度极端低值(29.50 mg/L),当日入厂水量高达 36.95 万 m^3;而质量浓度峰值(241.00 mg/L)则出现在 2 月 7 日(枯水期),对应水量为 17.00 万 m^3。极端值对比显示,BOD_5 质量浓度最大值与最小值相差 8.2 倍,而入厂水量最大值与最小值比为 2.2 倍,水量波动幅度显著低于质量浓度波动。入厂水量与 BOD_5 质量浓度呈显著负相关关系,即水量激增时污染物含量显著下降;同时,入厂水量与降雨量呈显著正相关,印证了降雨径流对污水系统的直接影响。此外,持续暴雨期间,雨水冲刷管道沉积物导致污染物含量进一步降低,而罗芳厂设计处理规模限制下,水量增幅相对有限。综合上述特征,表明罗芳厂存在显著的外水入侵现象,且雨季低质量浓度进水与高水量冲击对系统运行构成挑战。

3.2　入侵水量计算分析

根据《第二次全国污染源普查生活污染源产排污系数手册(试用版)》[7],结合深圳市特大城市属性,本文选取化粪池出户 BOD_5 质量浓度为 189.00 mg/L 作为基准参数。基于此,结合罗芳厂 2024 年逐日水量水质监测数据,构建水量平衡与水质组分解析模型,定量评估外水入侵特征。表 2 展示了外水入侵量的时空分布规律:2024 年罗芳厂每月均存在外水入侵现象,年均入侵水量达 8.45 万 m^3/d,占入厂总水量的 30.67%。入侵水量呈现明显的季节性差异,与入厂总水量变化趋势高度一致,表现为雨季高、枯季低的特征。其中,9 月入侵水量占比高达 53.65%,为全年峰值;3 月占比 4.19%,为全年谷值。这一现象表明,雨季高强度降雨通过管道缺陷、雨污混接等途径加剧了外水入侵强度,对污水系统负荷与处理效能产生显著影响。研究结果为识别关键入侵时段与空间单元提供了量化依据,为后续溯源整治与分区治理策略的制定奠定了基础。

表 2　入侵水量计算情况

Tab. 2　Calculation of External Water Infiltration Flow

统计时段	入厂水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	入侵水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	占比
1 月	21.61 万	4.17 万	19.30%
2 月	18.82 万	4.22 万	22.42%
3 月	22.17 万	0.93 万	4.19%
4 月	26.91 万	7.06 万	26.24%
5 月	28.79 万	10.97 万	38.10%
6 月	30.85 万	10.61 万	34.39%
7 月	29.89 万	7.48 万	25.03%
8 月	29.85 万	13.07 万	43.79%
9 月	31.33 万	16.81 万	53.65%
10 月	25.56 万	12.20 万	47.73%
11 月	26.97 万	8.58 万	31.81%
12 月	24.63 万	5.27 万	21.40%
洪季平均	29.38 万	11.86 万	40.45%
枯季平均	23.52 万	5.04 万	20.89%
平均值	26.45 万	8.45 万	30.67%

4　外水入侵成因分析

4.1　罗芳厂集水分区情况

罗芳厂的污水收集范围主要涵盖深圳市罗湖区布吉河以东片区,该区域作为其核心服务区域,承担

着区域内生活污水与部分工业废水的收集与处理任务。根据实地调研及系统分析,该服务区域可进一步划分为 6 个具有显著地理或功能特征的汇水分区,分别为莲塘片区、新秀片区、怡景片区、北斗泵站汇水区、洪湖截污泵站汇水区及东门泵站汇水区(图 3、表 3)。各分区在排水管网结构、用地类型及污水产排特征上呈现显著差异,具体表现为:莲塘片区以高密度住宅区为主,污水量较为稳定;新秀片区包含部分工业区,存在工业废水混入风险;怡景片区因临近湖泊湿地,存在雨水径流渗透影响;北斗泵站、洪湖截污泵站及东门泵站作为关键转输节点,其汇水区管网复杂且易受外水入侵干扰。上述分区特征为后续污水系统溯源整治与分区管控策略的制定提供了空间基础。

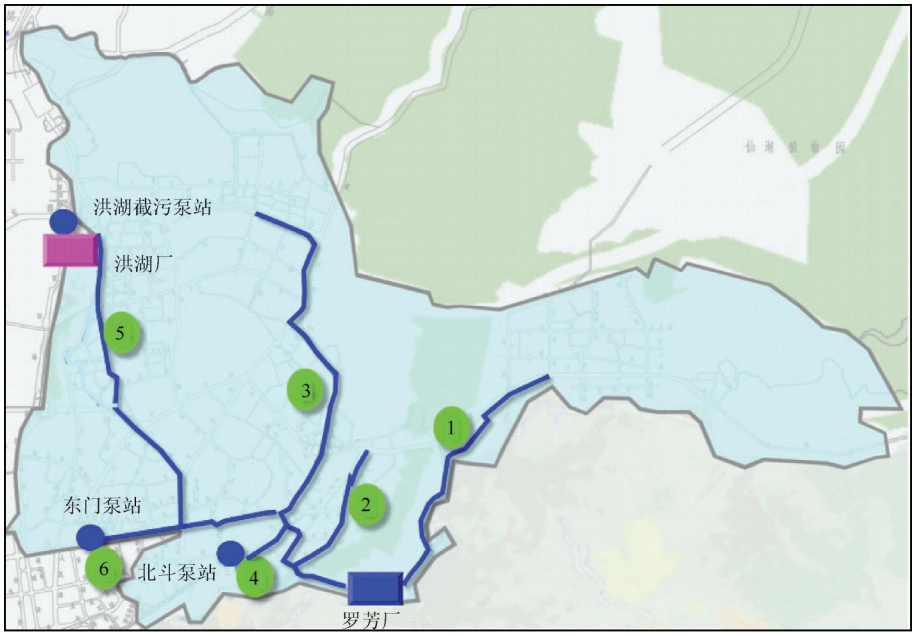


图 3 罗芳厂收集范围情况示意

Fig. 3 Schematic Diagram of the Collective Area of Luofang WWTP

表 3 罗芳厂收集范围情况

Tab. 3 Collective Area of Luofang WWTP

序号	名称	管道规模	长度/km
1	莲塘片区来水	DN1200	2.9
2	新秀片区来水	DN1000	1.5
3	怡景片区来水	DN1200~DN1500	3.8
4	北斗泵站来水	DN1000	0.8
5	洪湖截污泵站来水	DN1200~A2.0×1.20	6.0
6	东门泵站来水	DN1000	0.9

4.2 排水系统问题分析

罗湖区作为深圳市早期开发区域,其排水系统普遍存在建设年代久远、规划滞后等问题。通过系统性现场调研与数据分析,发现其排水管网系统主要呈现以下关键共性问题。

(1)雨污分流体系缺位与历史规划滞后

受早期建设条件限制,部分区域因道路狭窄等因素未配套独立污水管网,雨污混流现象普遍。现有合流制管渠多形成于区域发展初期,以村社为单位分散建设,缺乏基于流域特征的统筹规划。在市政污水主管网缺失的背景下,排水管渠就近排入水体,呈现出“无序接入、散乱排放”的空间特征。同时,受早期管材耐久性差、施工标准低及长期运行老化等因素影响,管道破裂、接口渗漏、淤积堵塞等问题突出,部分区域管道破损率超过 60%,导致污水外渗与地下水入侵风险加剧。此外,住宅区与工业区内部雨污混接严重,表现为立管混接、散户直排口杂乱接入主管等现象,管径与埋深缺乏统一规范,部分管段因淤积导致过流能力不足,甚至出现检查井溢流至地面的情况。

(2)管养机制薄弱与建设质量缺陷

现状雨污水管道养护水平有限,日常维护缺失与人为破坏导致管道堵塞、破损问题频发。调研显示,部分排水管道采用硬聚氯乙烯(UPVC)材质,因维护不到位或外力破坏,立管破损、折断现象普遍,

雨水管直接排入地面或接入污水系统。同时,部分区域存在管道老化、腐蚀及施工缺陷,如坡度设计不合理形成倒坡、管径偏小导致过流能力不足等问题,加剧了管道淤积与污水漫溢风险。此外,检查井清淤不及时导致堵塞,进一步恶化了系统运行状况。

(3)监管缺失与违规排放行为频发

排水监管力度不足导致违规排放问题突出。独立排水户(如餐馆、商铺、洗车场、菜市场等)违规接管、偷排乱排现象普遍。调查发现,临街商铺私接雨水管排放污水、菜市场与垃圾中转站冲洗水直排等行为高发,成为重点污染源。此外,部分单位在管道破损后随意就近接入雨水井,加剧了雨污混流与系统负荷压力。上述问题叠加,导致罗湖区污水系统在降雨期间面临严重的"清水入管、污水溢流"矛盾,制约污水收集与处理系统的效能提升。

4.3 罗芳厂外水入侵成因分析

1)水量计量问题与数据缺失困境

罗芳厂前端泵站因运行年限较长(部分设施超20 a),设备老化与效能衰减问题突出,实际运行规模难以达到设计标准。同时,受管网系统雨污混接、污水量波动等因素影响,导致入厂水量与水质计量难度显著增加。尽管运行部门尝试通过增设管网计量设施、前端泵站水量实时监测等手段优化计量体系,但由于系统复杂性及技术限制,仍无法获取准确有效的分区计量数据。目前,罗芳厂尚未实现对各分区入厂污水量与水质的独立计量,缺乏系统性的水量水质基础资料,难以精准量化各分区来水的特征与变化规律。后续外水入侵成因分析主要基于实地调研成果与现状系统特征展开。

2)分区外水入侵成因分析

罗芳厂收集范围内各分区的排水系统特征差异显著,其外水入侵成因呈现明显的空间异质性,具体分析如下。

(1)莲塘片区:山水直排与截洪系统缺陷

莲塘片区地形以山地为主,区域内沿山脚布设的截洪沟与污水系统存在多点衔接。调研发现,降雨期间大量山体径流通过截洪沟直接进入污水管网,导致污水系统水量骤增,水质指标[如悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)]呈现季节性异常波动。其主要成因在于:①早期截洪沟设计未充分考虑与污水系统的隔离措施;②部分截洪沟与污水管存在非法或历史性连通节点,缺乏有效截流设施。山水直排成为该片区外水入侵的核心因素,加剧了污水处理厂雨季处理负荷。

(2)新秀片区:截污箱涵功能异化与雨水混入

新秀片区紧邻深圳水库排洪河,沿线布设的截污管末端直接接入污水系统。实地调研表明,降雨期间排洪河两侧汇水区域的雨水径流通过截污箱涵进入污水管网,形成显著的外水入侵通道。其根本问题在于:①截污管设计未充分考虑雨水分流需求,导致功能异化为"雨污合流通道";②截污管与河道排水系统衔接处缺乏雨水截流装置。雨季时,大量雨水通过截污箱涵汇入污水系统,稀释污水质量浓度(如BOD_5/COD比值异常),影响生物处理效能。

(3)怡景片区、北斗泵站、湖截污泵站、东门泵站等片区

这些片区内城区密集,因建设较早,道路狭窄,未建设分流制的污水管,雨污混流严重,因此该分区外水入侵原因主要为雨污水管道混接。

5 应对措施及实施效果分析

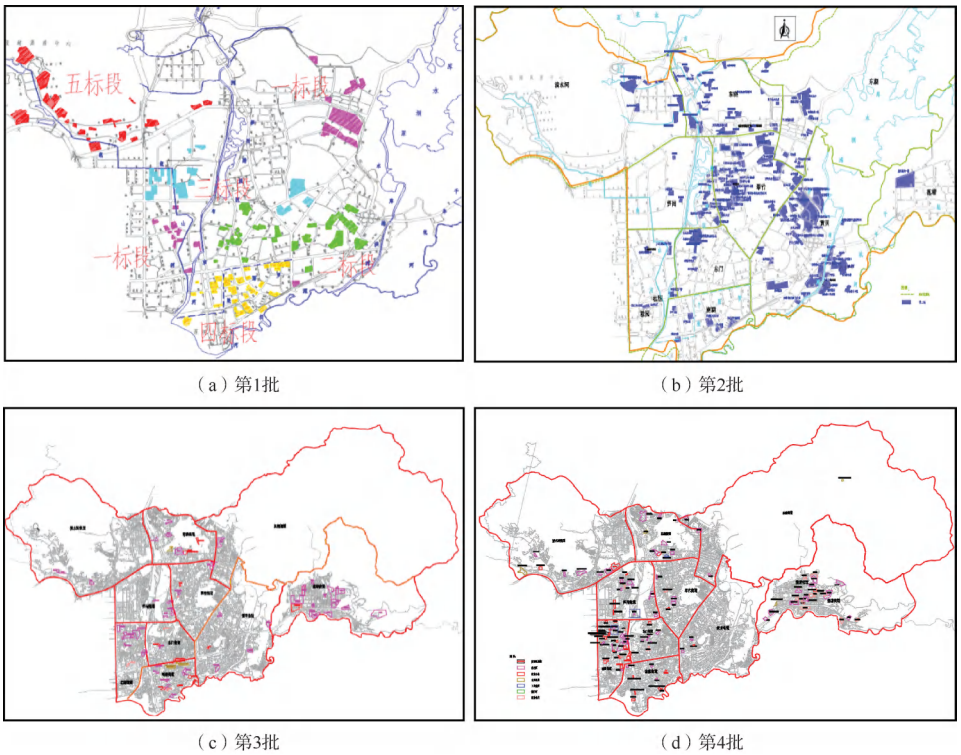
5.1 应对措施一:"正本清源"工程

(1)工程方案

罗湖区正本清源工程采用分批次推进策略,涵盖10个街道的148个小区,工程内容聚焦雨污水系统分流改造、老旧小区海绵化提升、现状管道病害修复及错混接点整治等环节(图4)。工程分4批次实施:第1批工程已竣工验收,完成小区雨污分流改造率达100%;第2、3批项目正处于施工阶段;第4批工程尚未启动。工程实施呈现"分阶段推进、重点突破"特征,2024年完成相关工程如下:3项新建市政管道工程、5项改造管网工程、1项点修复工程。

(2)污水路径演变与瓶颈分析

正本清源工程实施前,罗芳厂收集范围内污水路径呈现"雨污混流→沿河截污管→末端污水管→水质净化厂"的复杂特征(图5)。混流管道导致大量雨水与河水径流混入污水系统,加剧处理负荷与溢流风险。工程实施后,雨污分流体系逐步完善,旱季污水路径实现"源头分流→独立污水管→污水处理厂"的优化模式,有效阻断了部分外水入侵。然而,雨季问题仍然存在:沿河截污管因设计缺陷与历史衔接问题,持续接纳汇水区域雨水径流,导致雨季外水入侵量居高不下。工程对旱季外水的阻断效果显著,但雨季治理存在结构性瓶颈。



（a）第1批　（b）第2批

（c）第3批　（d）第4批

图 4　4 批“正本清源”项目实施范围

Fig. 4　Implementation Scope of Four Batches of the “Zhengben Qingyuan” Project

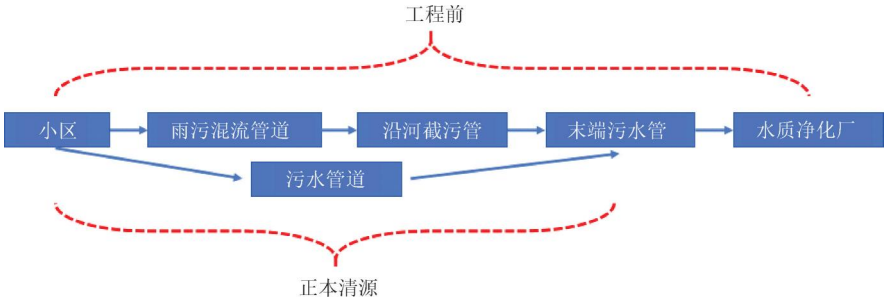


图 5　“正本清源”工程实施前后污水入厂途径

Fig. 5　Pathways of Sewage Entering the WWTP before and after the “Zhengben Qingyuan” Project

（3）实施效果分析

对比罗芳厂 2023 年与 2024 年入厂污水数据（表 2 和表 4），入侵水量占比下降 2.47%（旱季降幅 3.00%，雨季降幅 1.94%），BOD_5 年均质量浓度提升 5.7 mg/L。数据分析揭示以下规律：①工程实施后，旱季外水入侵量减少，污水有机物含量升高，表明小区内部雨污分流改造成效初显；②雨季入侵水量降幅有限，主要源于沿河截污管与山地截洪沟的雨水混入未得到根本性治理。工程对“点源混接”的整治效果优于“线源混入”，反映出当前工程措施在系统性解决外水入侵问题上的局限性。

表 4　罗芳厂 2023 年入厂水量水质情况

Tab. 4　Influent Flow and Water Quality at Luofang WWTP in 2023

统计时段	入厂水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	入侵水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	占比	BOD_5 月平均质量浓度/($mg \cdot L^{-1}$)
2023 年 1 月	15.92 万	4.61 万	28.96%	131.08
2023 年 2 月	21.61 万	1.99 万	9.21%	172.82
2023 年 3 月	24.39 万	3.80 万	15.58%	162.39

(续表4)

统计时段	入厂水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	入侵水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)	占比	BOD_5 月平均质量浓度/($mg \cdot L^{-1}$)
2023 年 4 月	24. 73 万	4. 83 万	19. 53%	151. 30
2023 年 5 月	26. 85 万	6. 44 万	23. 99%	143. 48
2023 年 6 月	33. 20 万	13. 77 万	41. 48%	123. 40
2023 年 7 月	32. 49 万	14. 11 万	43. 43%	113. 17
2023 年 8 月	32. 25 万	16. 76 万	51. 97%	92. 84
2023 年 9 月	37. 57 万	20. 23 万	53. 85%	82. 73
2023 年 10 月	31. 79 万	12. 60 万	39. 64%	113. 39
2023 年 11 月	25. 50 万	9. 49 万	37. 22%	119. 73
2023 年 12 月	23. 58 万	7. 74 万	32. 82%	124. 45
洪季平均	32. 36 万	13. 98 万	42. 39%	111. 50
枯季平均	22. 62 万	5. 41 万	23. 89%	143. 63
全年平均	27. 49 万	9. 70 万	33. 14%	127. 57

5.2 应对措施二:水质净化厂扩容

(1)工程方案

深圳市罗芳厂现状膜生物反应器(MBR)工艺设备已连续运行满 7 a,接近其设计使用寿命终点。受限于设备老化及性能衰减,当前实际处理能力仅为 30 万 m^3/d,低于设计处理规模。在雨季高水量冲击下,系统无法有效消纳峰值流量,导致日均约 7 万 m^3 污水未经处理直排河道,对受纳水体水质构成潜在威胁。针对此问题,厂方计划实施膜设备更新工程,预期改造完成后日处理能力可提升至 40 万 m^3/d。

(2)实施效果分析

排水系统外水入侵未得到系统改善前,仅针对污水处理厂处理规模的扩容有加剧外水入侵的风险:一方面,更大的处理容量可能成为周边雨水、山溪水等外水通过雨污混接点、破损管道或截流设施倒灌的“蓄水池”;另一方面,扩容后系统对进水质量浓度的敏感性增强,雨季外水稀释效应将更为显著,可能导致进水 BOD_5 质量浓度进一步降至临界值以下,影响生物处理单元的污染物去除效率与系统运行经济性。因此,单纯依赖处理能力提升难以根治外水入侵问题,亟须同步配套管网溯源整治与分区管控措施,以实现污水系统的质与量协同优化。

5.3 现存问题与治理挑战

尽管罗湖区已通过正本清源工程完成多项管网新改建任务,但 2024 年罗芳厂外水入侵问题仍较为显著,凸显以下关键矛盾:(1)工程覆盖面与系统性不足:现有工程集中于小区内部管网改造,对流域尺度的截污系统优化(如沿河截污管、截洪沟)介入有限;(2)雨季外水入侵路径未阻断:山地汇水区与河道排水系统与污水管的非法或历史性连通未彻底消除;(3)长效运维机制待完善:部分改造管道存在淤积与破损复发风险,需强化智慧监测与动态维护。因此,现有工程虽局部减少了入侵外水量,但未实现全流程、多路径的系统性治理,需进一步开展流域尺度的溯源诊断与精准干预。

6 结论与建议

本文基于罗芳厂近年实测水量和水质数据的分析,揭示了该厂存在显著外水入侵问题,尤以雨季连续暴雨期间最为突出。主要研究结论与策略建议如下。

(1)结论

计量体系缺失制约溯源精度:厂区缺乏精细化水量水质计量系统,导致入侵量估算与溯源分析存在偏差。外水入侵问题严峻且呈季节性特征:入侵水量占比远超同类城市,雨季期间尤为突出,且入厂水质指标低于国标,加剧处理负荷与达标风险。分区入侵成因差异化显著:莲塘片区以山水直排为主,深圳水库排洪河片区因截污箱涵雨污混流,北斗泵站片区则存在雨污混接问题。传统工程措施存在局限性:现有正本清源工程对旱季入侵削减效果明显,但雨季改善有限。

(2)建议

建立覆盖全厂区的智能监测网络,集成流量、水

质实时监测与动态溯源技术,提升入侵路径识别与量化分析的准确性。构建雨季应急调控机制,优化进水调度策略,同时强化源头管控,减少低质外水入厂。实施分区精准治理,针对性采取生态截留、截污箱涵改造及雨污管网分流等措施,实现“一区一策”靶向整治。转向流域尺度系统优化,构建“源头减排-过程控制-末端调蓄”多目标调度模型,并依托智慧水务平台实现动态管控,推动外水入侵问题的根本治理。

参考文献

[1] 张伟,潘芳,张海行,等. 污水处理提质增效“一厂一策”方案的编制思考[J]. 中国给水排水, 2023, 39(2): 32-37.
Zhang W, Pan F, Zhang H X, et al. Reflection on the compilation of “one plant, one policy” scheme for quality and efficiency improvement of sewage treatment[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(2): 32-37.

[2] 韩建, 李明, 马龙, 等. 南方某水质净化厂污水系统旱天外水入流调查[J]. 城市勘测, 2022(5): 173-176.
Han J, Li M, Ma L, et al. Investigation of the influent extraneous water in the sewer network of a South China sewage treatment plant on dry days[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2022(5): 173-176.

[3] 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.
Wang Y, Zhou C T, Tang J G. Problem diagnosis of wastewater treatment system and the strategies of quality and efficiency improvement[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 75-78, 140.

[4] 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.

[5] 张剑, 钟颖, 余佳平, 等. 协同除臭技术在罗芳污水处理厂中的工程应用[J]. 净水技术, 2024, 43(增刊2): 209-215.
Zhang J, Zhong Y, Yu J P, et al. Engineering application of odor reduction and collaborative deodorization technology in Luofang WWTP[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(S2): 209-215.

[6] 胡小凤, 袁芳, 石鹏远, 等. 福鼎市污水系统问题识别及提质增效策略[J]. 中国给水排水, 2022, 38(12): 61-67.
Hu X F, Yuan F, Shi P Y, et al. Problem diagnosis and strategy of improving quality and efficiency of sewage system in Fuding[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(12): 61-67.

[7] 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室. 第二次全国污染源普查生活污染源产排污系数手册(试用版)[Z]. 北京: 国务院第二次全国污染源普查领导小组办公室, 2019.
Office of the Leading Group for the Second National Pollution Source Census, State Council. Manual of emission and discharge coefficients for domestic pollution sources from the second national pollution source census (trial)[Z]. Beijing: Office of the Leading Group for the Second National Pollution Source Census, State Council, 2019.