

孙斌, 孙涛. 基于外源排查和工程改造的污水系统提质增效实践[J]. 净水技术, 2024, 43(9): 113-120.

SUN B, SUN T. Practice of upgrading and efficiency improvement in sewage system based on external water investigation and reconstruction[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(9): 113-120.

基于外源排查和工程改造的污水系统提质增效实践

孙斌¹, 孙涛^{2,*}

(1. 广东省建筑设计研究院集团股份有限公司, 广东广州 510060; 2. 广州市城市规划设计有限公司, 广东广州 510060)

摘要 分流制污水管网的外水侵入是造成管网高水位运行、污水浓度低的主要原因之一。针对某污水系统 A、B 污水厂进水水质浓度降低、污水处理总量波动较大的现象, 坚持系统治水, 在全面摸查管网的基础上, 通过物料平衡法、水量平衡法初步判断进入系统的山水、河涌水、湖水、雨水的外水量和区域, 再进行外水点实际踏勘、监测、验证, 对外水进行溯源, 精准定量、定位。结合 4 类水特点和基础条件, 通过一系列工程实施有力地减少外水入侵, 提高了污水厂进水水质浓度。上述研究成果为后续推进污水系统提质增效、营造健康的城市排水保障系统探索出一条实施路径。

关键词 外水 浓度 提质增效 物料平衡 水量平衡 高水位

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)09-0113-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.09.014

Practice of Upgrading and Efficiency Improvement in Sewage System Based on External Water Investigation and Reconstruction

SUN Bin¹, SUN Tao^{2,*}

(1. Guangdong Architectural Design and Research Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510060, China;

2. Guangzhou Urban Planning and Design Co., Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract The invasion of external water in the diversion sewage pipeline network is one of the main reasons for the high water level operation and low sewage concentration of the network. In response to the phenomenon of a decrease in the concentration of influent water and significant fluctuations in the total amount of sewage treatment in wastewater treatment plant (WWTP) A and B of a certain sewage system, we adhere to systematic water management. Based on a comprehensive inspection of the pipeline network, we use material balance and water balance methods to preliminarily determine the amount and area of external water entering the system, such as mountains, rivers, lakes, and rainwater. Then, we conduct actual exploration, monitoring, and verification of external water points, and trace the source of external water, accurately quantify and locate it. Combining the characteristics and basic conditions of the four types of water, a series of projects have been implemented to effectively reduce external water intrusion and improve the concentration of influent water in the WWTP. The above research results have explored an implementation path for promoting the improvement of sewage system quality and efficiency, and creating a healthy urban drainage guarantee system in the future.

Keywords external water concentration upgrading and efficiency material balance water balance high water level

近年来,随着水体整治的推进,污水管网改造和建设速度较快,外水进入污水系统现象较突出,污水

处理厂进水有机物浓度偏低,实施“挤外水”工程是提升污水处理厂进水浓度的关键^[1]。项目主要研究目的为溯源外水、系统排查外水点、论证外水量、制定整改措施、杜绝外水进入污水系统。研究的外水主要包括山水(水库)、河涌水(污水、合流拍门倒灌,雨水排放口通过雨污混接倒灌)、湖水(通过湖边、湖底管道破损处倒灌)、雨水(通过合流管渠、分流制雨污混接进入)、地下水及其他 5 类水。首先

[收稿日期] 2023-06-14

[作者简介] 孙斌(1986—),男,高级工程师,主要从事给排水设计及市政工程规划研究工作, E-mail: 249699652@qq.com。

[通信作者] 孙涛(1980—),男,高级工程师,主要从事给排水设计及市政工程规划研究工作, E-mail: 8069910@qq.com。

分析进厂污水 COD_{Cr} 状况,估算外水量;然后再通过细分区测算各分区外水量,判断外水集中区域;再根据判断外水集中区域布设监测点,监测水量和 COD_{Cr} 等其他参数,准确判断外水的点^[2];最后根据准确外水点实施改造工程,防止外水进入污水系统。

1 现状概况

A 污水处理厂一二期、三期设计规模分别为 33 万 m³/d 和 22 万 m³/d。根据 2016 年—2018 年运行状况记录分析,一二期 2016 年、2017 年日处理水量有较大波动,平均处理量分别为 24.4 万、25.2 万 m³/d;2018 年平均处理水量为 29.9 万 m³/d,较 2016 年、2017 年增加 18.4%、15.7%;进水 COD_{Cr} 总体逐年降低,2017 年 6 月之前波动较大,2017 年 6 月之后进水 COD_{Cr} 平稳下降,2016 年、2017 年、2018 年 COD_{Cr} 质量浓度均值分别为 269.0、219.0、163.5 mg/L;三期 2016 年—2018 年日处理水质水量基本处于稳定状态,平均处理水量约为 23.2 万 m³/d,进厂 COD_{Cr} 质量浓度约为 160 mg/L,无明显波动,如图 1、图 2 所示。

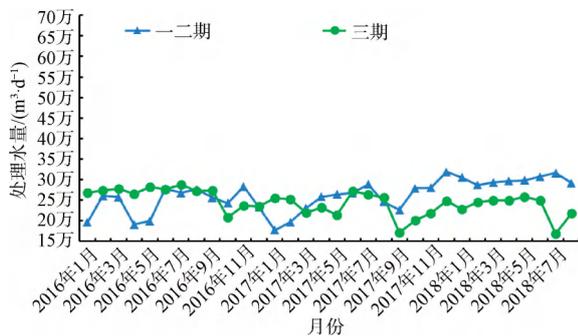


图 1 A 污水处理厂一二期、三期日处理量

Fig. 1 Daily Treatment Capacity of Phase I, II, and III of WWTP A

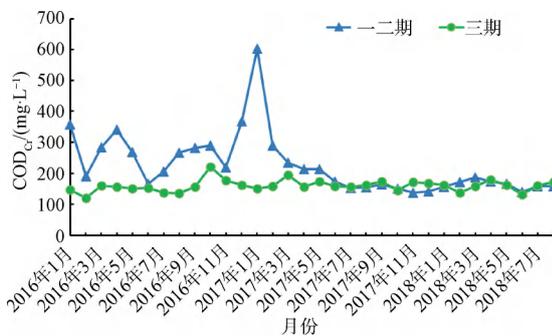


图 2 A 污水处理厂一二期、三期日均 COD_{Cr}

Fig. 2 Daily Average COD_{Cr} of Phase I, II, and III of WWTP A

B 污水处理厂一二期(暂未投产)设计规模为 15 万 m³/d。2018 年 3 月—8 月,B 污水处理厂日处理水量波动不大,平均处理水量约为 10.19 万 m³/d; COD_{Cr} 质量浓度最高为 123 mg/L,最低为 65 mg/L,平均质量浓度为 85.4 mg/L,且进水 COD_{Cr} 整体趋势逐月递减,如图 3 所示。

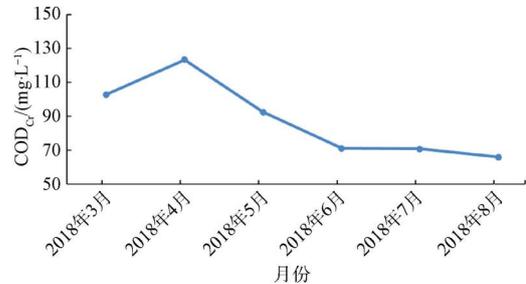


图 3 B 污水处理厂日均 COD_{Cr}

Fig. 3 Daily Average COD_{Cr} of WWTP B

2 外水量分析

2.1 物料平衡法

2018 年 1 月—8 月 A 污水处理厂一二期、三期和 B 污水处理厂入厂污水量分别为 29.9 万、23.2 万 m³/d 和 10.2 万 m³/d。根据 2017 年居住区的监测点数据, COD_{Cr} 全年质量浓度为 70.30~277.00 mg/L,平均值为 138.41 mg/L,生活污水 COD_{Cr} 质量浓度取 220 mg/L。根据 35 条黑臭河涌污染物排放量化分析成果,2017 年 2 月—9 月石井河、驷马涌 COD_{Cr} 均值为 40 mg/L,湖水和山水 COD_{Cr} 质量浓度取 10 mg/L,河涌水与湖水、山水入污水管水量比例接近 2 : 1,外水 COD_{Cr} 质量浓度值取 30 mg/L。按式(1)、式(2)分别计算各污水系统外水量,其中 A 污水处理厂一二期估算外水量为 8.9 万 m³/d,三期估算外水量为 7.3 万 m³/d;B 污水处理厂估算外水量为 7.2 万 m³/d^[2-3]。污水系统总外水量为 23.4 万 m³/d,如表 1 所示。

$$Q_1 \times C_1 = Q_2 \times C_2 + Q_3 \times C_3 \quad (1)$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

其中:Q₁——实际进厂污水量,m³/d;

Q₂——实际收集纯污水量,m³/d;

Q₃——实际收集外水量,m³/d;

C₁——实际进厂 COD_{Cr} 质量浓度,mg/L;

C₂——生活污水 COD_{Cr} 质量浓度,mg/L;

C₃——外水 COD_{Cr} 质量浓度,mg/L。

表 1 物料平衡法系统外水量汇总

Tab. 1 Summary of External Water Flow of the System by Material Balance Method

项目	实际进厂污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	2018 年进厂 COD_{Cr} 均值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	实际收集纯污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	实际收集外水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
A(一二期)	29.9 万	163.5	21.0 万	8.9 万
A(三期)	23.2 万	160.0	15.9 万	7.3 万
B	10.2 万	85.4	3.0 万	7.2 万
合计	63.3 万	-	39.9 万	23.4 万

2.2 系统水量平衡法

采用人均综合污水量指标法、用水量法估算污水排放量。结合管道敷设密度,确定污水收集率,进而估算出实际收集污水量和进入污水系统的外水

量,如表 2 所示。A 污水处理厂一二期估算外水量为 11.3 万 m^3/d ,三期估算外水量为 5.7 万 m^3/d ;B 污水处理厂估算外水量为 4.5 万 m^3/d 。污水系统估算总外水量为 21.5 万 m^3/d ,如表 2 所示。

表 2 水量平衡法系统外水量估算

Tab. 2 Summary of External Water Flow of the System by Water Balance Method

项目	实际处理水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	估算污水排放量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	污水收集率	未收集污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	实际收集污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	估算外水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
A(一二期)	29.9 万	18.7 万	100%	0	18.7 万	11.3 万
A(三期)	23.2 万	21.9 万	80%	4.4 万	17.5 万	5.7 万
B	10.2 万	12.6 万	45%	2.5 万	5.7 万	4.5 万
合计	63.3 万	53.2 万	-	6.9 万	41.9 万	21.5 万

2.3 小结

结合 A、B 污水处理厂处理量、 COD_{Cr} 浓度和纳污范围内的管网建设和河涌截污整治情况,通过上述方法预估外水量规模为 21.5 万~23.4 万 m^3/d 。

基础数据,采用系统水量评估法中的指标,对该污水系统中 14 个污水分区以及进行分区水量平衡,核算各分区污水量,确定外水主要分布区域,如表 3 所示。A、B 污水处理厂水量平衡如图 4、图 5 和图 6 所示。经复核计算 1 号泵站、2 号泵站、5 号泵站、8 号泵站、9 号泵站、12 号泵站、DTS 岛污水管、SJ 河西岸截污干管服务范围外水入系统量较大,估算外

3 外水点确定

3.1 外水主要分布区域确定

结合现状用水数据、泵站进水数据、服务人口等

表 3 系统内各污水分区外水量估算

Tab. 3 Estimation of External Water Flow of Each Sewage Partition in the System

项目	实际运行水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	计算污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	实际收集纯污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	实际收集外水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
1 号泵站	13.20 万	9.04 万	9.04 万	4.16 万
2 号泵站	17.06 万	9.61 万	9.61 万	7.45 万
3 号泵站	2.68 万	1.81 万	1.81 万	0.88 万
4 号泵站	6.53 万	6.16 万	5.73 万	0.80 万
5 号泵站	2.55 万	1.44 万	1.44 万	1.11 万
6 号泵站	3.60 万(转输 5#泵站流量)	0.56 万	0.56 万	0.49 万
7 号泵站	13.22 万(转输 3#、4#、6#泵站流量)	0.41 万	0.41 万	0
8 号泵站	4.32 万	2.21 万	2.14 万	2.18 万
9 号泵站	20.73 万(转输 7#和 8#泵站流量)	3.19 万	3.19 万	1.50 万
10 号泵站	1.58 万	3.62 万	1.09 万	0.49 万
11 号泵站	1.84 万	3.52 万	0.94 万	0.90 万
12 号泵站	4.85 万	5.13 万	2.68 万	2.17 万
DTS 岛污水管	2.20 万	2.53 万	1.20 万	1.00 万
SJ 河西岸截污干管	3.50 万	3.87 万	2.01 万	1.49 万
合计	-	-	-	24.62 万

水量为 24.6 万 m³/d,与上述初步判断外水量相差不大。外水渗入主要包括灌溉水、自来水爆管渗入水、鱼塘水、工地水和管道出现结构性缺陷地下水渗漏水 5 类,经摸查偶有自来水爆管渗入地下水,无灌溉水、鱼塘水、工地水入污水管,考虑到该系统内污水管道使用年限较长,管道破损等结构性缺陷必然存在,地下水渗入量按 10%计^[4]。

表 3 中物理量计算如式(3)~式(5)。

$$Q = Q_y \times 0.9 \times (1 + 10\%) \quad (3)$$

$$Q_2 = Q \times R \quad (4)$$

$$Q_3 = Q_4 - Q_2 \quad (5)$$

其中:Q——计算污水量,m³/d;

Q_y——用水量,m³/d;

0.9——污水排放系数;

10%——地下水渗入率;

R——服务分区污水收集率;

Q₄——实际运行水量,m³/d。

3.2 外水点定位、定量

针对上述初步判断外水量集中区域采取现场踏勘和布控水质监测点方法,准确确定外水点。共布置 157 个监测点,其中 COD_{Cr} 质量浓度低于 100 mg/L 的水质监测点 37 个,COD_{Cr} 质量浓度为 100~

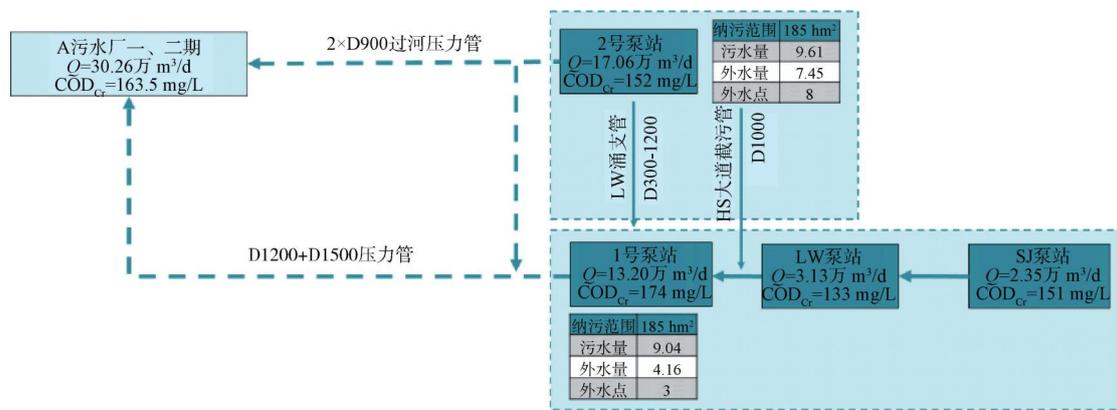


图 4 A 污水处理厂一二期水量平衡

Fig. 4 Water Balance of Phase I and II in WWTP A

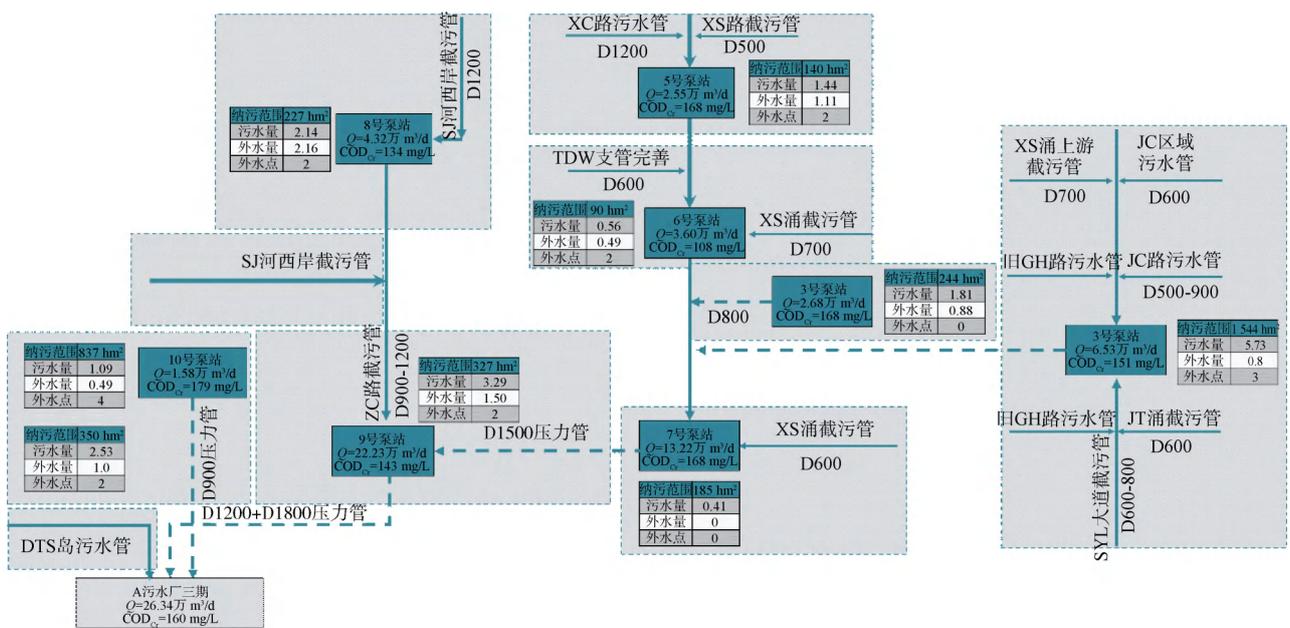


图 5 A 污水处理厂三期水量平衡

Fig. 5 Water Balance of Phase III in WWTP A

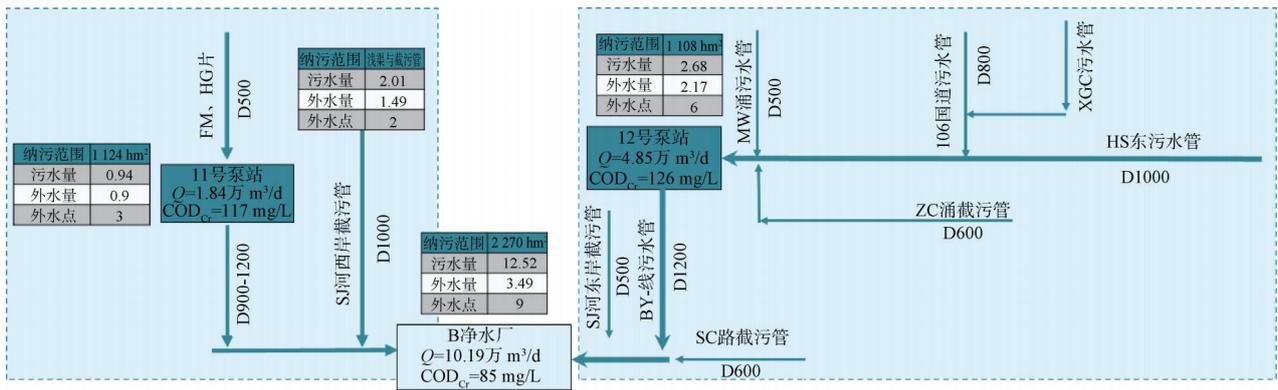


图 6 B 污水处理水量平衡

Fig. 6 Water Balance in WWTP B

200 mg/L 的水质监测点 78 个, COD_{Cr} 质量浓度高于 200 mg/L 的水质监测点 42 个, 如表 4 所示。

表 4 水质监测点 COD_{Cr} 分布

Tab. 4 COD_{Cr} Distribution at Water Quality Monitoring Points

项目	COD _{Cr} 分布		
	COD _{Cr} < 100 mg/L	100 mg/L < COD _{Cr} < 200 mg/L	COD _{Cr} > 200 mg/L
A(一二期)/个	16	23	9
B(三期)/个	9	33	23
C 净水厂/个	12	22	10
合计/个	37	78	42

通过监测和实地踏勘摸查, 共发现外水点 38 处, 部分外水点分布如图 7 和图 8 所示, 实地监测外水量合计 16.1 万 m³/d, 如表 5 所示, 占估算外水量的 70%。其中山水点共 10 处, 合计水量为 2.1 万 m³/d, 均在山体下方市政道路污水检查井中发现不明来源清水, 且周边污水管中 COD_{Cr} 浓度显著降低; 湖水进入污水管共 4 处, 合计水量为 3.9 万 m³/d, 在公园人工湖旁的渠箱检查井内发现湖水渗入或湖底渠箱破损导致湖水涌入; 河水倒灌点共 24 处, 合计水量为 10.1 万 m³/d, 主要是雨水渠箱与涌边截污管连通、涌边或涌底管破损、溢流口倒灌^[5-6]。

4 提浓度工程和实施效果

根据水质监测数据, 针对性地对系统污水管网进行现场排查, 结合外水特点, 制定改造方案如表 6 所示。

本项目针对外水逐步改造实施, 减少 16.2 万 m³/d 外水入污水处理厂, 与外水点监测实际摸查数据基本一致。A 污水处理厂 2017 年 11 月—2018 年 7 月, 平均污水处理量为 53 万 m³/d, COD_{Cr} 质量浓度均值为 159 mg/L; 2022 年 11 月—2023 年 7 月平

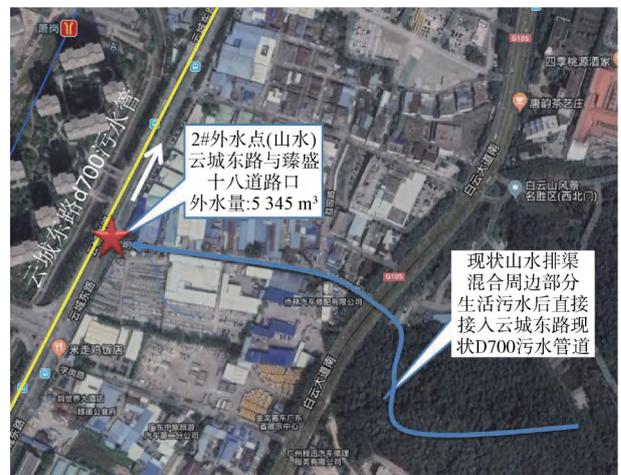


图 7 2 号外水点

Fig. 7 No. 2 External Water Point

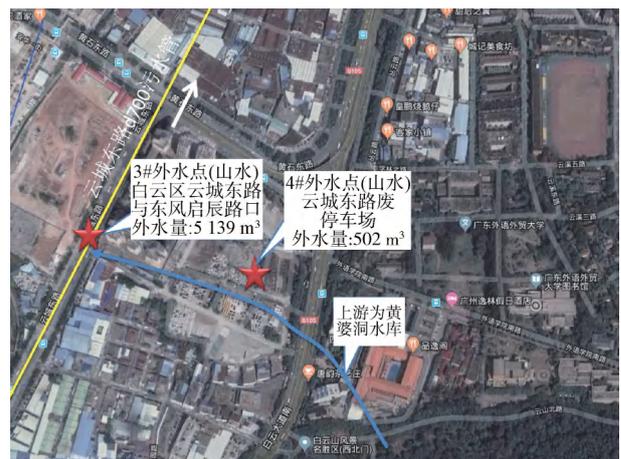


图 8 3 号外水点

Fig. 8 No. 3 External Water Point

均污水处理量降低为 46 万 m³/d, COD_{Cr} 质量浓度均值为 207 mg/L; 日均污水处理量降低 15%, COD_{Cr} 提高 30%, 如图 9 所示, 按式 (1) 计算减少外水

表 5 外水点摸查法外水量汇总

Tab. 5 Summary of External Water Flow by External Water Points Checking Method

序号	外水类型	外水进入污水管点位	水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
1	山水	云城东路与光明汽车维修中心路口	2 011
2		云城东路与臻盛十八道路口	5 345
3		云城东路与东风启辰路口	5 139
4		云城东路废停车场	502
5		黄石东路与云城东路立交桥下	1 037
6		外语外贸大学桥旁	877
7		飞鹅路 52 号前	1 795
8		政民路交通警察局门前	1 135
9		广州职业学校主楼前	2 789
10		越秀公园以太广场旁	331
11	湖水	越秀公园桂花林路旁	1 729
12		越秀公园北秀湖旁闸门	6 952
13		驷马涌东方宾馆至彩虹闸段	9 800
14		荔湾湖公园湖底渠箱破损	20 000
15	河水	河柳街 d1200 管接入驷马涌南侧截污管	3 134
16		白马 6.0 m×3.3 m 渠箱接入驷马涌南侧截污管	3 153
17		陈家祠 3.0 m×1.8 m 渠箱接入驷马涌南侧截污管	10 778
18		广雅 5.0 m×3.0 m 渠箱接入驷马涌北侧截污管	16 354
19		富力路 48 号大院 d800 管接入驷马涌北侧截污管	1 538
20		沙基涌泵站进水过涌管破裂	6 000
21		马务涌河水接入浅层渠箱	7 000
22		张村涌河水接入浅层渠箱	8 000
23		海口涌凤凰路口旁拍门倒灌	1 666
24		海口涌广庆隆物流前拍门倒灌	2 123
25		鹅春岗涌天智物流园旁两个拍门倒灌	2 000
26		大金钟路 18 号大院明渠接入	3 110
27		柯子岭铁路边支涌接入	2 864
28		沙涌末端截污截流河水	5 725
29		长江涌棠溪国际针车城	2 160
30		槎头涌收水口截流河水	6 150
31		江南市场石井河边拍门倒灌	3 125
32		环洲三路与沙贝大街交叉管道	2 034
33		环洲二路大众医院对过管道	1 200
34		沙凤沙贝校前街芙蓉兴盛超市前溢流口倒灌	1 230
35		沙贝大街迪八商业中心前 2 个溢流口倒灌	687
36		环洲三路与平乐南街小区前 3 个溢流口倒灌	1 520
37		坦尾涌暗渠闸门末端截流河水	8 000
38		桥中北路邮政银行前溢流口破损	1 728

注:外水量合计为 $160\,721\text{ m}^3/\text{d}$ 。

表 6 改造方案
Tab. 6 Reconstruction Scheme

位置	改造措施
山水(1~6)	外水点 1~6 山水均来自白云山上的水库,分别为大金钟水库及黄婆洞水库,近期考虑统一采取清污分流的措施对山水和周边污水进行改造;拟沿白云大道,新建清水渠道,截流水库清水后排入萧岗北涌作为补水;下游的污染源进行雨污分流改造后接入市政污水管;工程实施后,可减少该区域接入市政污水管道的山水,提高水质浓度
山水(7~10)、湖水(11~13)、河水(15~19)	均属于驷马涌流域范围内,驷马涌流域范围进行清污分流工程,拟建设污水专有通道,实现流域清污分流,恢复渠箱清水通道
湖水(14)、河水(20)	湖底、河底管道渠箱破损,需进行管道破损修复
河水(21~22)	浅层渠箱应收集初雨径流污染并进行调蓄,旱季污水由浅层污水管网收集;需完善张村涌和马务涌周边浅层污水管网,截流进入河涌内的生活污水;将浅渠的入流井设置为初雨入流设施
河水点(23~25、31、34~36)	进行拍门或溢流口改造
河水点(26~27)	实施景泰涌清污分流工程,并对范围内的污染源进行收集
河水点(28)	进行雨污分流改造工程,截流排入沙涌的污水,废除沙涌截污井,避免河涌水进入污水管网
河水点(29)	进行长江涌清污分流工程,废除长江涌末端截污井,避免河涌水进入污水管网
河水点(30)	完善槎头涌流域范围内的雨污分流,截流排入槎头涌的污水,废除槎头涌收水口,避免河涌水进入污水管网
河水点(32~33、38)	进行管道病害修复
河水点(38)	对溢流口进行改造

13 万 m³/d。B 污水处理厂一期 2018 年 3 月—2018 年 7 月, COD_{Cr} 均值为 92 mg/L; 2019 年 3 月—2023 年 7 月, 平均污水处理量为 25 万 m³/d(一期满负荷运行, 二期工程 2019 年初运行), COD_{Cr} 均值为 170 mg/L, COD_{Cr} 提高 85%, 如图 10 所示, 按式(1) 计算减少外水 3.2 万 m³/d。

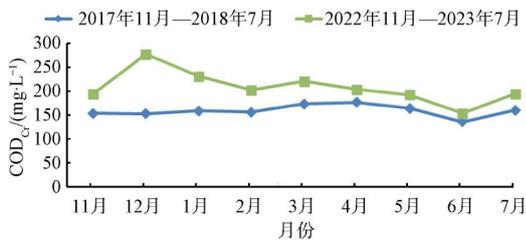


图 9 一二期 A 污水处理厂日均 COD_{Cr}

Fig. 9 Daily Average COD_{Cr} of Phase I and II of WWTP A

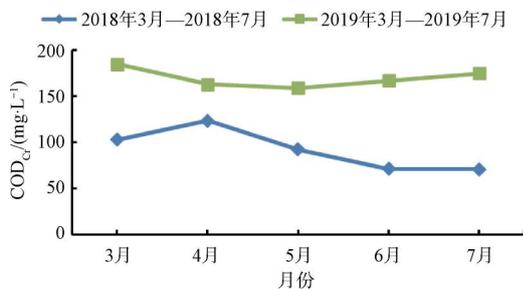


图 10 B 污水处理厂日均 COD_{Cr}

Fig. 10 Daily Average COD_{Cr} of Phase I and II of WWTP B

5 结论

污水提质增效中, 提高污水收集率、提升进厂污水浓度至关重要。结合污水系统特点, 设施、河涌、管网等资料, 对外水定位定量, 对外水点进行科学合理的整治改造, 可提升入污水厂浓度。对外水定位定量: 第一步可采用物料平衡法、系统水量平衡法进行外水量估算; 第二步采用分区水量平衡法初步确定外水集中分布区域; 第三步针对初步判断外水集中分布区域, 现场实地踏勘, 选取典型有特点的区域布置监测点, 通过监测水量、水质对外水点精准定位; 第四步结合外水点特点, 开展对应工程改造, 减少外水入侵污水系统^[6]。

参考文献

- [1] 陈泽鑫, 邹秋云, 江璟航, 等. 珠海市横琴新区污水系统病害分析及提质增效思路[J]. 中国给水排水, 2021, 37(2): 129-134.
CHEN Z X, ZOU Q Y, JIANG J H, et al. Analysis of sewage system problems in Hengqin new area of Zhuhai City and ideas of improving quality and efficiency [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(2): 129-134.
- [2] 李超, 鲁梅, 刘绪为, 等. 提质增效背景下水质水量平衡简易测算与实践[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 78-84.
LI C, LU M, LIU X W, et al. Simple calculation and practice of water quality and quantity balance for improving quality and efficiency[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 78-

- 84.
- [3] 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.
- [4] 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 wastewater system—Taking H island wastewater system as an example[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(16): 24-28.
- [5] 杨楠, 张栋俊, 张练, 等. 平原老城区污水处理提质增效实施策略分析[J]. 给水排水, 2020, 46(7): 22-26.
YANG N, ZHANG D J, ZHANG L, et al. Analysis of implementation strategies for improving wastewater treatment quality and effectiveness in the old urban plain area[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(7): 22-26.
- [6] 毛艳荣, 卜俊玲, 卢宝光, 等. 广州市西朗污水处理系统提质增效案例分析[J]. 给水排水, 2020, 46(10): 45-51.
MAO Y R, BU J L, LU B G, et al. Research on quality improvement and efficiency improvement of Xilang sewage treatment system in Guangzhou city[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10): 45-51.
- (上接第 97 页)
- [7] 李振华, 黄金阳, 马婧. 化学强化除磷自控系统优化试验研究[J]. 工业水处理, 2021, 41(10): 154-158.
LI Z H, HUANG J Y, MA Q. Optimization of auto-control system for chemical enhanced phosphorus removal[J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(10): 154-158.
- [8] 张帅, 矫忠直, 周俊强, 等. 精确除磷加药控制系统模型在宿迁市某污水厂的应用[J]. 广东化工, 2023, 50(9): 184-186.
ZHANG S, JIAO Z Z, ZHOU J Q, et al. Application of precise dephosphorization and dosing control system model in sewage plant in Suqian City[J]. Guangdong Chemical Industry, 2023, 50(9): 184-186.
- [9] 胡康, 万金泉, 马邕文, 等. 基于模糊神经网络的A²/O工艺出水氨氮在线预测模型[J]. 中国环境科学, 2012, 32(2): 260-267.
HU K, WAN J Q, MA Y W, et al. Online prediction model based on fuzzy neural network for the effluent ammonia concentration of A²/O system [J]. China Environmental Science, 2012, 32(2): 260-267.
- [10] 杨璐霞, 王梦冉, 林兴亮, 等. 基于CNN-LSTM的工业出水水质预测模型[J]. 净水技术, 2024, 43(5): 143-149.
YANG L X, WANG M R, LIN X L, et al. Prediction model of industrial effluent quality based on CNN-LSTM [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(5): 143-149.
- [11] 陈威, 陈会娟, 李忠, 等. 基于人工神经网络的污水处理出水水质预测模型[J]. 给水排水, 2020, 46(s1): 990-994.
CHEN W, CHEN H J, LI Z, et al. Effluent water quality prediction model based on artificial neural network for wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(s1): 990-994.
- [12] 陈树龙, 黎志伟, 黄祖安, 等. 基于BiLSTM深度学习模型的污水处理厂水质预测[J]. 当代化工研究, 2024(5): 96-98.
CHEN S L, LI Z W, HUANG Z A, et al. Water quality prediction of sewage treatment plant based on BiLSTM deep learning model[J]. Modern Chemical Research, 2024(5): 96-98.
- [13] 陈会娟, 张丽娜, 沈彦. 基于随机森林的污水处理曝气系统研究与应用[J]. 给水排水, 2023, 59(5): 165-169, 177.
CHEN H J, ZHANG L N, SHEN Y. Research and application of aeration system based on random forest for wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 59(5): 165-169, 177.
- [14] 高赫余, 王圣, 吴潇勇. 基于机器学习XGBoost集成模型的边界流量计日流量预测方法[J]. 净水技术, 2020, 39(10): 181-186.
GAO H Y, WANG S, WU X Y. Daily flow prediction method of boundary flowmeter based on machine learning XGBoost integrated mode[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(10): 181-186.
- [15] 牛景辉. 基于GWO-XGBoost的工业污水水质关键数据预测算法[J]. 工业水处理, 2024, 44(1): 184-190.
NIU J H. GWO-XGBoost prediction algorithm for industrial wastewater quality key data [J]. Industrial Water Treatment, 2024, 44(1): 184-190.
- [16] 胡静文, 陈会娟. 水厂二级泵房泵组智能化控制系统设计与应用[J]. 自动化仪表, 2022, 43(8): 16-20, 30.
HU J W, CHEN H J. Design and application of intelligent control system of pump group in secondary pump station of water plant[J]. Process Automation Instrumentation, 2022, 43(8): 16-20, 30.