

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.20.003

某污水厂站库调度及其他因素对进水浓度的影响分析

杨静¹, 张治¹, 潘清¹, 庞雯¹, 蔚阳², 朱淑娴¹,
林晓燕¹

(1. 深圳市宝安排水有限公司, 广东 深圳 518038; 2. 清华大学深圳国际研究生院,
广东 深圳 518038)

摘要: 针对某市H区污水厂、站、库经过水量调配后,GS水质净化厂(一、二期)进厂BOD₅浓度不断降低的问题,对H区“厂站网河库”体系进行排查和分析。通过对进厂BOD₅浓度影响的关键因素进行定性定量分析,结合调度前后污水厂进水水质指标及管网的液位、流量、B/C比、C/N比等特性,明确主要问题,并为厂站库调度运行、BOD₅浓度变化提供经验数据。研究结果显示,该区隐患问题总水量约11.6×10⁴m³/d,拉低了H区总进厂BOD₅浓度17.29 mg/L;厂站库调度使H区总进厂BOD₅浓度下降了7.14 mg/L;受低浓度工业废水及供水企业尾水影响,H区总进厂BOD₅浓度降低1.6 mg/L。受疫情影响,与调度前相比,供水量下降1.52×10⁴m³/d。因此,H区优先解决倒灌点、打开总口最为重要,其次解决雨水进入污水系统问题;在厂站网库调度方面,应进一步推行厂站网河库一体化运维体系。

关键词: 厂站网库; 一体化调度; 提质增效; 水质水量; 定量分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)20-0016-07

Analysis on Influence of WWTP, Pump Station and Reservoir Scheduling and Other Factors on Influent Concentration of a WWTP

YANG Jing¹, ZHANG Zhi¹, PAN Qing¹, PANG Wen¹, YU Yang², ZHU Shu-xian¹,
LIN Xiao-yan¹

(1. Shenzhen Bao'an Drainage Co. Ltd., Shenzhen 518038, China; 2. Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518038, China)

Abstract: In view of the observed decline in BOD₅ concentration in the GS wastewater purification plant (phase I and phase II) following the allocation of the WWTP, pump station, and reservoir water in the H district of a city, an investigation and analysis of the “WWTP-pump station-sewer network-river (reservoir)” system in the H district is conducted. Through qualitative and quantitative analysis techniques, the key factors affecting the influent BOD₅ concentration can be effectively identified. This is achieved by integrating the water quality indicators of the WWTP with the characteristics of the water level, flow, B/C ratio, and C/N ratio of the pipe network, both before and after the dispatching operation. The empirical data can be utilized to enhance the dispatching operation of WWTP and facilitate a more accurate prediction of the BOD₅ concentration. The research results show that: ① The total wastewater

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07202002)

通信作者: 张治 E-mail: 1579201719@qq.com

volume of potential problems in this area is about $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, total influent BOD_5 concentration in H district decreased by 17.29 mg/L ; ② The total influent BOD_5 concentration has been reduced by 7.14 mg/L due to the scheduling of WWTP, pump station, and reservoir; ③ The impact of low-concentration industrial wastewater and tailwater of waterworks will reduce the total influent BOD_5 concentration by 1.6 mg/L ; ④ Affected by the epidemic, the water supply decreased by $1.52 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ compared with that before scheduling. Therefore, it is most important to prioritize addressing the backflow of river water and opening the main outlets in H district, followed by resolving the problem of rainwater entering the sewage system. In terms of scheduling of WWTP-pump station-sewer network-reservoir operation, the integrated operation and maintenance system of WWTP-pump station-reservoir should be further promoted.

Key words: WWTP-pump station-sewer network-reservoir; integrated scheduling; improving quality and efficiency; water quality and quantity; quantitative analysis

近几年,由于污水厂的大力建设,应急处理站慢慢退出历史舞台。2021年底,某市H区应急处理站陆续停产、减产,有 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 水量调配至GS水质净化厂。2022年GS水质净化厂一、二期进水 BOD_5 浓度出现大幅度下降,较2021年分别下降了30.4%、37.3%。为探究其原因,明确污水处理厂收集管网的现状,对进水水质、干管关键点位检测数据、现场排查情况进行系统分析,定性定量分析水质净化厂进水浓度的影响因素,旨在为提质增效行动提供理论数据支持。

1 H区污水厂站网基本情况

1.1 污水厂站网概况

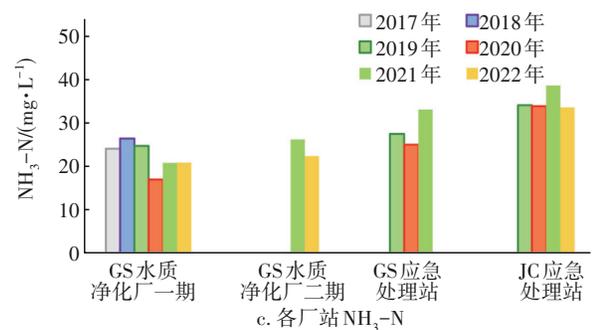
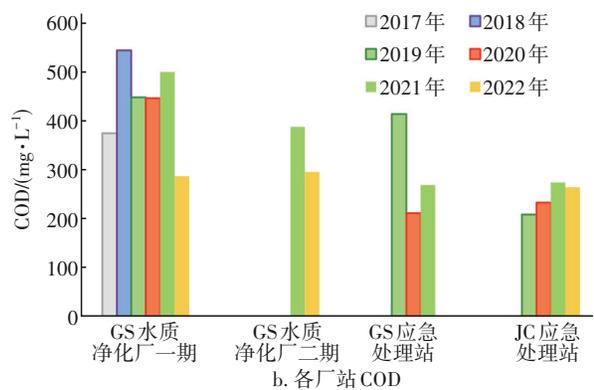
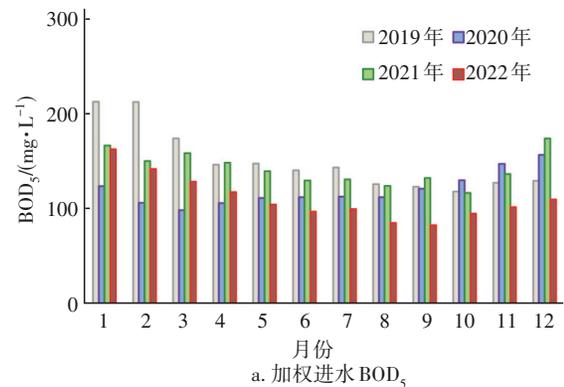
截至目前,H区共涉及4个厂站调度,服务范围为 89.25 km^2 ,建设总规模达到 $78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中包括:投产于2008年的GS水质净化厂一期工程,建设规模为 $24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;投产于2021年11月的GS水质净化厂二期工程,建设规模为 $32 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;投产于2019年、停产于2021年10月的GS应急处理站,建设规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;建设规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的JC应急处理站,现减产为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

H区市政污水管网长度共计773 km,主要材质为钢筋混凝土。该区为雨污分流系统,部分区域存在市政污水管网、沿河截污管网、总口截污管网等多套收集系统,同时还存在较多管网缺陷和管道混错接等问题。此外,H区有多个总口、雨水泵站前池在晴天工况下仍需收集施工降水,老旧管网存在渗漏水,大量清污混流水排入污水系统。

1.2 污水厂站进水浓度近年来变化情况

H区涉及4个厂站水量调度,为了直观了解总

体进厂 BOD_5 浓度变化趋势,对4个厂站的实际进水 BOD_5 浓度进行加权平均,计算H区整体进厂 BOD_5 浓度年变化趋势。H区污水厂站进水指标变化见图1。



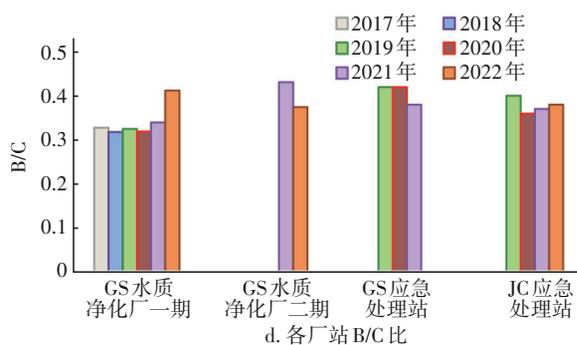


图1 H区污水厂站进水指标变化

Fig.1 Influent index change of wastewater treatment plants and pump stations in H district

由图1(a)可知,2019年—2022年H区总日均BOD₅浓度分别为125.35、120.21、142.42、108.86 mg/L。从这一结果可以发现,经过水量调度后,H区污水厂站进水BOD₅浓度最低。汛期H区的总体BOD₅浓度普遍较低,非汛期浓度呈现上升趋势,表明H区整体进厂BOD₅浓度受降雨及季节因素影响显著,该区域管网仍存在大量错混接情况。

由图1(b)可知,经厂站库调度后,与2021年相比,GS水质净化厂一期和二期工程、JC应急处理站进水COD分别下降42.56%、23.70%、3.65%,表明GS水质净化厂一、二期受调度冲击最大。因此,GS应急处理站服务范围内的排水系统是排查重点。

图1(c)显示,H区整体进厂氨氮平均为26.91 mg/L,低于一般城市污水中的NH₃-N浓度(大于40 mg/L),这与多套管网系统并存情况下进水NH₃-N浓度易受外水影响的表现一致。经调度后,总进厂年均NH₃-N值下降了13.48%。NH₃-N值不受管网沉积影响,这也从侧面论证了调度后外水量的增加。

图1(d)显示,总进厂污水年均B/C比为0.37,

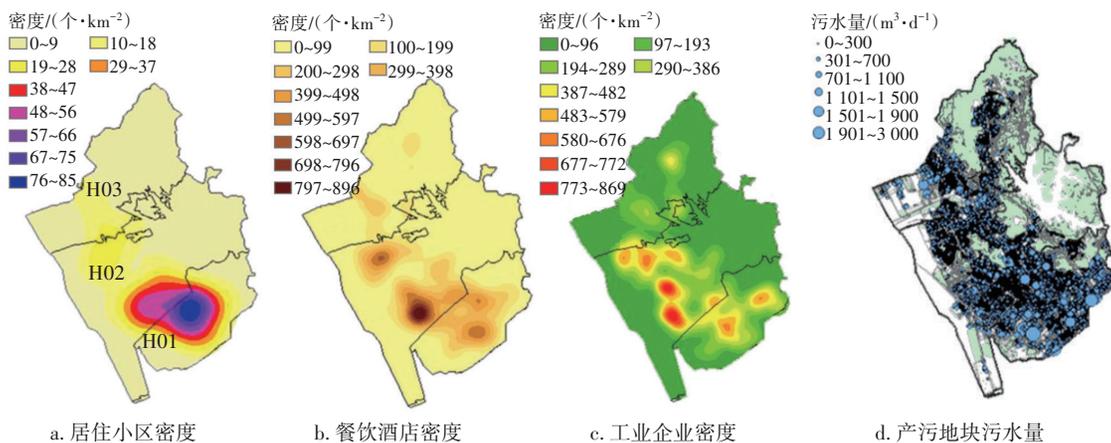


图3 H区产污地块用水结构分布及污水量

Fig.3 Distribution of water consumption structure and wastewater flow of sewage producing plot in H district

调度后B/C下降了5.92%。一般认为,当 $0.4 < B/C < 0.6$ 时,污水可生化性较好,适用于生物处理^[1]。这表明调度后,进厂污水可生化性降低。

1.3 H区用水量及用水结构

根据该区2022年的用水月度水量分析报表,可以明确居民生活用水占比52.70%,非居民用水占比37.91%,工业企业占比9.18%,特种用水占比0.21%(见图2)。从逐月用水情况看,水量减少最多的是2月,水量较均值减少了17.27%,主要因为春节大量人员返乡,用水量大幅度减少;其次是3月和10月,受疫情影响部分行业间歇性停工停产,商圈和旅游景点流动人员锐减,工厂产能下降。对2022年H区用水变化量与总进厂BOD₅浓度进行相关性分析,两者为负相关,相关系数为0.72。用水量变化与进厂BOD₅浓度变化呈现一定关系,并相互影响。优化区域用水量及用水结构,对进厂污水浓度提升具有重要意义。

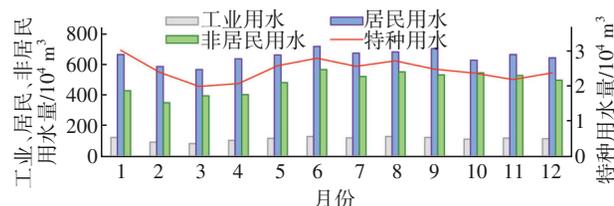


图2 2022年H区用水月度变化

Fig.2 Monthly change of water consumption in H district in 2022

根据现状用地类型、对应的用水量指标及相关综合水质指标取值^[1],测算H区产污地块理论水量及水质情况。产污浓度高的餐饮多集中于H02区,产污浓度低的工业企业多集中在H02区,用水大户多集中于H01区,具体见图3。

通过对各地块的BOD₅浓度进行加权平均计算, H01、H02、H03的BOD₅浓度分别为254.49、258.70、190.40 mg/L。其中,H03地块有1/3为对外交通用地,故其污水水质浓度偏低。

1.4 H区管网水质水量基本情况

根据节点水质检测法^[2],在污水干管、10条沿河截污管、雨水泵站前池、过河管的198个关键点布点,评估各污水干管系统旱季水质情况。监测关键点的COD、TN、氨氮、TP、氯化物浓度情况,在各分区增加连续3 d的BOD₅监测浓度。在关键干管安装流量计及液位计,水质监测值为2022年晴天月均数据,流量计及液位计数据为一整年的时均值。具体情况如图4所示。

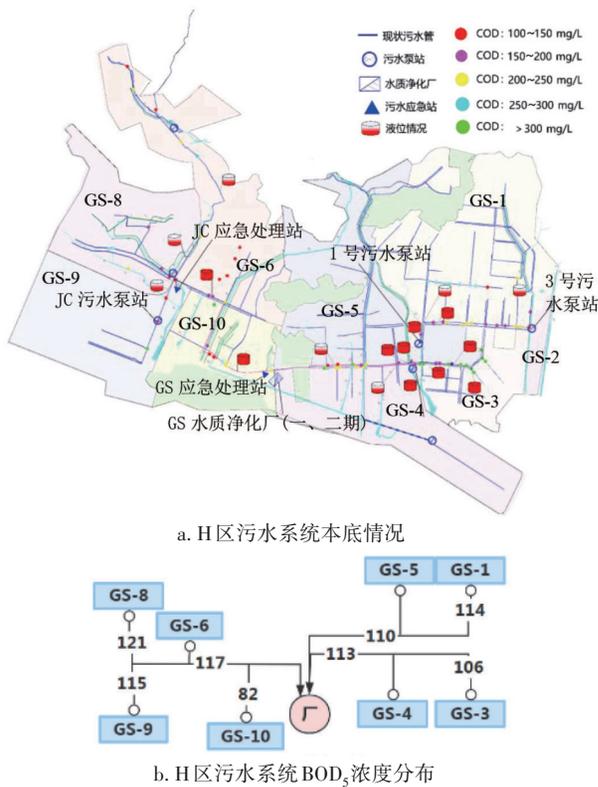


图4 H区污水系统水质、水量

由图4可知,GS-3和GS-10区域BOD₅浓度分别为106 mg/L和82 mg/L,较其他区域浓度偏低,是后续排查重点。每个区域性分析主要针对水质突变、流量、液位、B/C比、C/N比等指标。GS-1区二级管网主要显示出C/N比为12~15、B/C比为0.38~0.42及液位较为合理,COD浓度较高,但接入一级管网后,COD浓度出现突降,可能有大量清水进入

一级干管。GS-3区一级管网日均流速为0.3~0.5 m/s,一级管网夜间02:00—04:00流速为零,基本满管,氯化物浓度高达700~1 200 mg/L、C/N比为6.9,主要判定为管道沉积明显、夜间“沉淀池”效应强、海水入侵量大。经实地调查发现,GS-3区一级管网经地铁施工改迁,管道出现大倒坡。同时,GS-3区在建区域多,水量激增,下游泵站抽排能力明显不足,造成上游顶托。GS-5区液位下降,主要由于GS水质净化厂二期投产,抽排量加大。GS-10干管有几个点位的COD浓度和氯化物浓度突变,导致GS-10区污水水质浓度下降明显,说明有大量海水直接接入。此外,H区有大量沿河截污管长期位于河道水位以下,河水经常通过沿河截污总口、通气管以及结构性缺陷发生倒灌和入渗。

1.5 系统排查情况

排查思路和方法为对比晴天、雨天的污水量和供水量差别,分析沿海地区氯化物浓度。由于全区晴天用水量为43×10⁴ m³/d,污水厂进水量为56×10⁴ m³/d,进水氯离子浓度高达2 000 mg/L。因此,该区的排查重点为河水、海水入侵点。排查关键位置为河道、沿河截污管、入海闸门、入海箱涵,排查内容主要包括:结合水质情况进行总口和沿河截污管排查及内窥检测,雨污水管道错混接及内窥检测,过河管检测。其中,该区过河管基本满管运行,在此采用动力声呐检测机器人作为无人化的载体,搭载管道声呐、实时成像声呐联合电渗漏检测技术开展检测。由于前期该区已开展污水零直排小区测绘工作,在此采用前期测绘数据进行跟进整治,详情如图5所示。

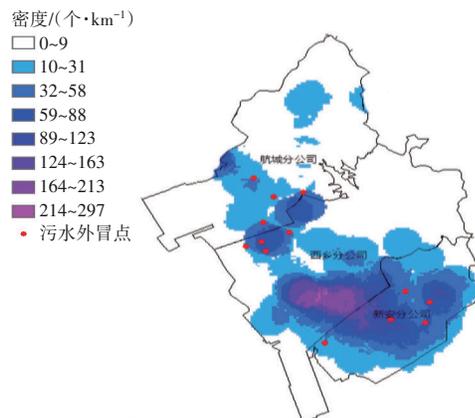


图5 H区错混接密度分布

此外,该城区排水系统问题为雨水系统和污水系统通过总口、雨水泵站前池、沿河截污管连通,晴天时污水系统不仅收集倒灌河水、入渗水,而且收集大部分雨水系统的入渗水、施工降水、清洁基流。具体数据如表1所示。

表1 排查隐患问题统计

Tab.1 Statistics of hidden trouble

项目	个数/处	流量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	晴天BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)
海水、河道、水库倒灌点	3	3.5	2
箱涵总口	7	2.5	10
雨水泵站截流	9	3.0	30
管网结构性缺陷渗漏量	1 570	2.6	2
市政雨水混错接点	29		
小区混接点	435		

2 厂站调度影响分析

2.1 厂站间水量调度影响定量分析

GS水质净化厂(一、二期)进厂BOD₅浓度一直下降,部分原因是来自GS应急处理站(10×10⁴ m³/d)和JC应急处理站(4×10⁴ m³/d)的低浓度污水的稀释。GS应急处理站和JC应急处理站的日均进水BOD₅浓度分别为101.91、101.68 mg/L。根据水质水量平衡测算方法^[3],计算得出厂站间调度对GS水质净化厂(一、二期)进厂BOD₅浓度冲击影响为5.9 mg/L。由于水量调度不涉及区内总水量,故不对H区的进厂BOD₅浓度造成影响。

2.2 管网液位变化影响分析

利用调度前晴天进厂BOD₅浓度日均值与主干管液位日均值叠加分析,得到如图6所示的进厂BOD₅浓度与主干管液位关系。

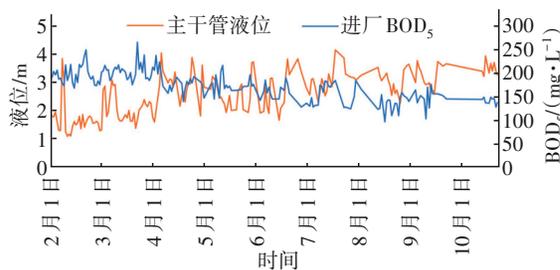


图6 2021年晴天进厂BOD₅浓度与主干管液位关系

Fig.6 Relationship between influent BOD₅ concentration and main pipe liquid level during sunny days in 2021

由图6可知,晴天进厂BOD₅浓度与主干管液位呈现一定的负相关性,这表明管网液位变化对进水BOD₅浓度有一定的影响,降低管网液位有利于进厂

BOD₅浓度的增加。值得注意的是,对于晴天低液位运行范围,应充分分析河道水位、地下水水位、管网液位间的关系,避免增加外水风险。H01、H02、H03地块不同干管液位变化见图7。调度前,BYN和BYB干管时均液位分别为2.57、2.30 m;调度后,BYN和BYB干管时均液位分别为1.94、1.11 m。由此可见,调度后干管液位下降明显,这主要是因为GS水质净化厂二期工程投产后,抽排量加大所致。BZ干管调度前后液位分别为0.86、1.99 m,液位出现大幅度上升,涉及的区域主要为建设新区,污水量剧增。BZ干管时均流速<0.6 m/s,结合C/N比<7,判断BZ片区沉积明显。

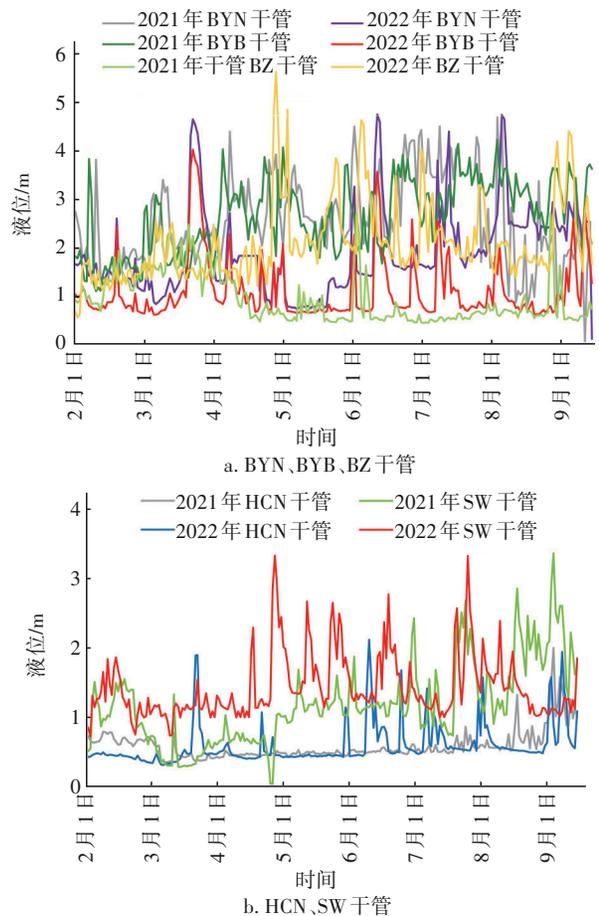


图7 2021年—2022年H区污水干管液位变化

Fig.7 Change of liquid level of sewage main pipes in H district from 2021 to 2022

2.3 河道水位变化影响分析

2022年河道上游生态库开始运行,降雨前生态库通常提前下泄库水,以发挥其调蓄功能。因生态库放水,调度后TP河最高水位为9.556 m,调度前TP河最高水位8.653 m,最高水位差为0.90 m。采

用晴天河道水位和沿河截污管液位叠加分析(见图8),发现它们具有相同的上涨趋势。同时进行沿线水质检测和排查工作,发现5处四级破裂。河道水位的上升会增加河水从沿河截污管的倒灌量,进而影响污水厂进水BOD₅浓度。

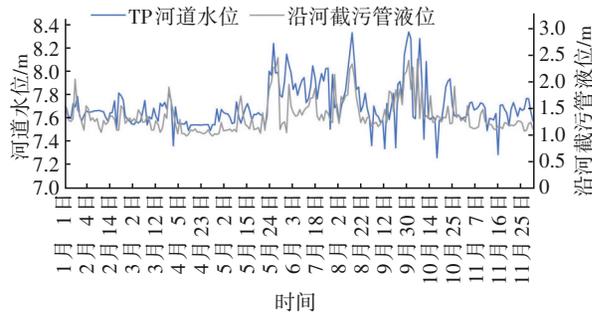


图8 2022年晴天沿河截污管液位与TP河道水位关系
Fig.8 Relationship between liquid level of sewage interception pipe along the river and water level of TP River in sunny days in 2022

2.4 输送距离变化影响定量分析

因GS应急处理站停产、JC应急处理站减产,有 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水输送至GS水质净化厂(一、二期),其中 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水运输距离增加5.9 km,因此管内污水停留时间变长,C/N比下降。根据周小国等^[3]的相关研究,当输送距离 $>5 \text{ km}$ 时,污水的污染物降解比例通常达到10%以上。因此,管网运输距离的增加,使全区总进水BOD₅浓度下降0.77 mg/L。

2.5 晴天调度对污水厂运行的影响定量分析

为了定量评估厂站调度对H区污水系统日常运行整体影响,统计了晴天污水厂进水量、原生污水量、系统排查发现的隐患水量数据^[4-5]。调度前后用水量分别为 44.65×10^4 、 $43.33 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水厂进水量分别为 56.25×10^4 、 $56.30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,需剥离隐患问题水量为 $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据旱天流量法,计算得出2023年因调度增加的外水量为 $1.51 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水总BOD₅下降3.18 mg/L。

2.6 雨天调度对污水厂运行的影响定量分析

调度前后,H区年降雨天数分别为92、102 d,年降雨总量分别为1211.17、1108.60 mm,调度前的降雨量低于调度后的降雨量。根据实际全年进厂数据进行加权平均,计算得出调度前后日均BOD₅分别为42.42、112.68 mg/L,晴天日均BOD₅分别为146.24、119.69 mg/L。利用晴天BOD₅值与全年BOD₅值的差值,得到调度前后降雨影响分别为

3.82、7.01 mg/L。调度后年降雨总量并不是往年最大值,但BOD₅浓度受降雨影响最大。与调度前相比,调度使雨天进厂BOD₅浓度下降3.19 mg/L。主要原因可能是部分污水管网低水位运行,有更多的管道空间可以储存雨水。

3 其他影响因子分析

3.1 隐患问题

该系统总口截流共7处,泵站截流共9处。沿河截污管13条,其中结构性缺陷41处、沿河截污管9处。海水入侵点2处,水库引水1处。外水量总计 $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,BOD₅为3~30 mg/L。经计算,外水进入导致总进厂BOD₅浓度下降17.29 mg/L。

3.2 疫情封控期间停工停产

① 供水量的变化

2021年、2022年H区日均供水量分别为 44.17×10^4 、 $43.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,可知2022年日均供水量环比2021年下降 $1.52 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,侧面反映出疫情对人员流失的影响较大。

② 进水水质变化

2022年10月的进水浓度数据显示,日均BOD₅浓度下降明显,较11月下降10.44 mg/L。在10月降雨天数极少的情况下,管网运行和管理稳定,污供比也达到了最低(1.19)。10月H城区封控区域和时间均达到2022年峰值,其中以居民小区和餐饮业封控为主。因此,10月GS水质净化厂进水水质受排水户生产生活方式的影响较大,这是一个显著的特征。

3.3 低浓度工业废水及供水企业尾水

对于低浓度工业废水及供水企业尾水的调查,主要采取资料收集、现场考察、水质监测分析和模拟计算等研究方法。通过现场入户普查发现,在H区1153家工业企业中,有工业废水纳管排放的企业69家,加权平均BOD₅达到18.7 mg/L。在剥离纳管工业废水之后,进厂BOD₅总浓度提高1.2 mg/L。

H区共涉及2家供水企业尾水收集,总尾水量为 $3000 \text{ m}^3/\text{d}$,加权BOD₅为12.33 mg/L。供水企业尾水对GS水质净化厂进水BOD₅浓度的贡献为0.42 mg/L。

4 结论与展望

① 经过对H区的深入、系统排查诊断发现,该区主要受隐患问题、调度、降雨、疫情、低浓度工

业废水及供水企业尾水影响。根据2022年和2021年全区的实际进厂日均BOD₅浓度数据,计算得出各影响因素分析值对实际值的占比情况。结果显示,隐患问题分析值为17.29 mg/L,对其贡献率为51.52%;调度影响分析值为7.14 mg/L,贡献率为21.27%;降雨影响(除调度外)分析值为3.82 mg/L,贡献率为11.38%;低浓度工业废水及供水企业尾水影响分析值为1.62 mg/L,贡献率为4.77%。其余11.06%的贡献率主要源于疫情的影响,包括日均供水量的减少、用户结构的改变以及污水处理厂尾水消毒需求的增加等因素。

② 从系统上分析,H区优先解决倒灌点、打开总口、沿河截污管退出污水系统最为重要,其次解决雨水进入污水系统问题。

③ 为了更好地管理厂站网调度,应进一步推行厂站网河一体化的运维体系。通过智能感知系统及智慧水务控制平台,并综合考虑排水管网、污水处理厂、泵站、河道水位调水监控等重要因素,进一步推行厂网河一体化的管理模式。厂网联动降水位运行,应提前评估河水倒灌风险,及时进行管道降水位提速,降低管道污染物沉积衰减这一影响。

④ 在后期对污水管网优化建设工程和污水干管互连互通工程中,可将污水处理系统的进水水质作为决策变量之一,以有效测算管网工程中最优管径和最优管道埋深。

⑤ 对于管网后期养护,应制定定期清淤计划、排查修复周期计划和后期监测评估计划。

参考文献:

- [1] 郭泓利. 全国典型城市污水处理厂进水水质特征分析[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 12-15.
GUO Hongli. Analysis of influent water quality characteristics of typical urban sewage treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,

44(6): 12-15 (in Chinese).

- [2] 施翔. 排污管网外来水量评估新策略及工程应用研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2021.
SHI Xiang. Research on New Strategy and Engineering Application of External Water Volume Assessment of Sewage Pipe Network [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2021 (in Chinese).
- [3] 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 Xiaoguo, HUI Erqing, PENG Shouhai, et al. Investigation and analysis of influent BOD₅ concentration and pipe network operation of sewage treatment plants along the Yangtze River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 47(s1): 129-133 (in Chinese).
- [4] 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(16): 129-134.
LI Chao, LU Mei, LIU Xuwei, et al. Simple calculation and practice of water quality and quantity balance for improving quality and efficiency [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(16): 129-134 (in Chinese).
- [5] 周骅, 蒋玲燕, 薛松. 上海静默管理期间污水厂进水波动分析及运行策略[J]. 中国给水排水, 2022, 38(19): 1-7.
ZHOU Hua, JIANG Lingyan, XUE Song. Influent fluctuation analysis and operation strategy of wastewater treatment plants during Shanghai's city-wide lockdown period [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(19): 1-7 (in Chinese).

作者简介: 杨静(1992-), 女, 湖南永州人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为水污染治理和排水系统优化。

E-mail: 50648442@qq.com

收稿日期: 2023-03-15

修回日期: 2023-10-31

(编辑: 丁彩娟)