

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 $11.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,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 $1.52 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。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

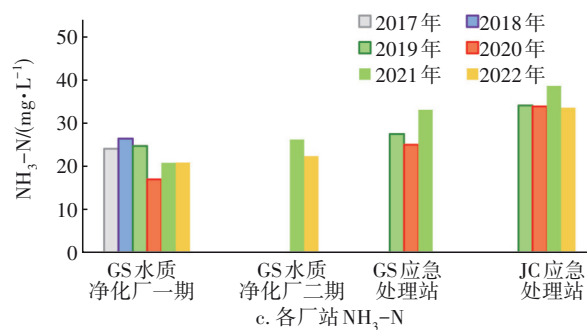
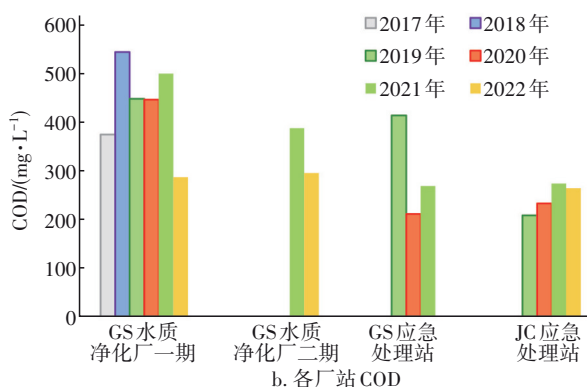
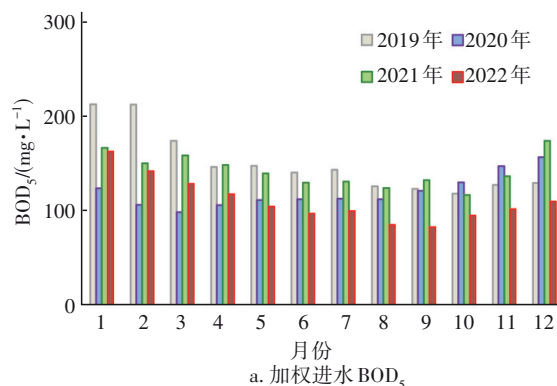
截至目前,H区共涉及4个厂站调度,服务范围为 89.25 km^2 ,建设总规模达到 $78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中包括:投产于2008年的GS水质净化厂一期工程,建设规模为 $24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;投产于2021年11月的GS水质净化厂二期工程,建设规模为 $32 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;投产于2019年、停产于2021年10月的GS应急处理站,建设规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;建设规模为 $10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



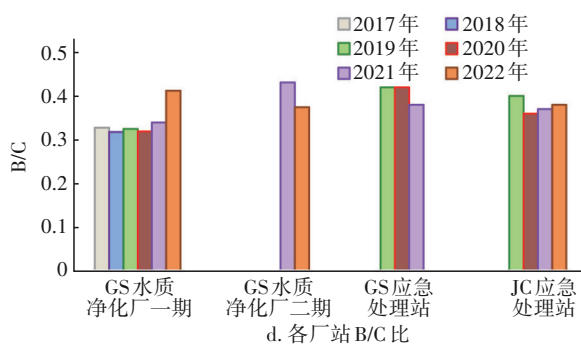


图1 H区污水厂站进水指标变化

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 BOD_5 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 BOD_5 浓度最低。汛期H区的总体 BOD_5 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 BOD_5 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 NH_3-N 浓度(大于40 mg/L),这与多套管网系统并存情况下进水 NH_3-N 浓度易受外水影响的表现一致。经调度后,总进厂年均 NH_3-N 值下降了13.48%。 NH_3-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,

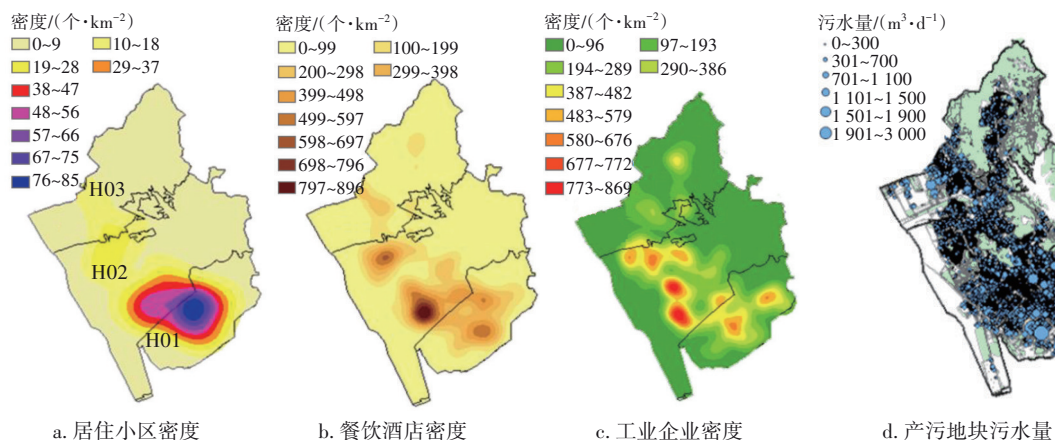


图3 H区产污地块用水结构分布及污水量

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 BOD_5 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 BOD_5 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。

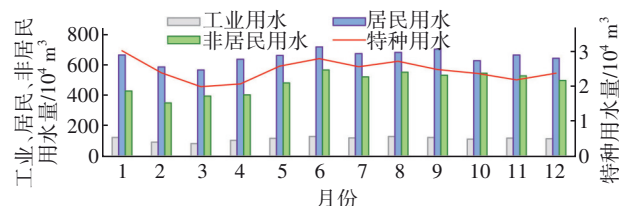


图2 2022年H区用水月度变化

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 BOD_5 浓度进行加权平均计算,H01、H02、H03的 BOD_5 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 BOD_5 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。

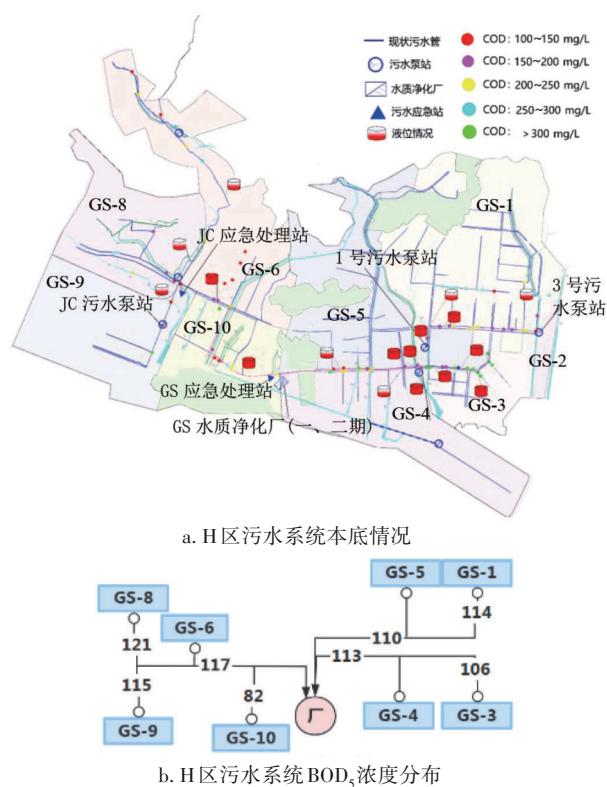


图4 H区污水系统水质、水量

Fig.4 Wastewater quality and quantity of sewage system in H district

由图4可知,GS-3和GS-10区域 BOD_5 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 $43 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水厂进水量为 $56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,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。

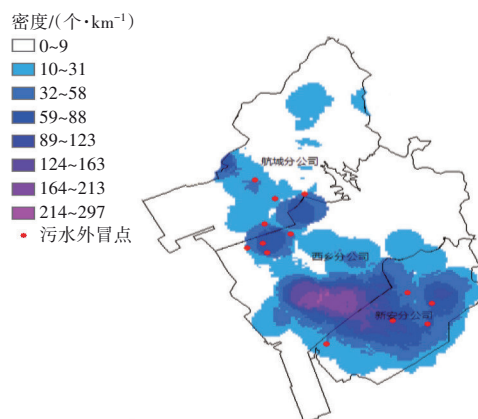


图5 H区错混接密度分布

Fig.5 Density of staggered joint in H district

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		

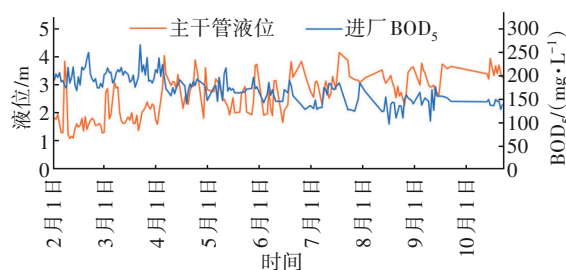
2 厂站调度影响分析

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。

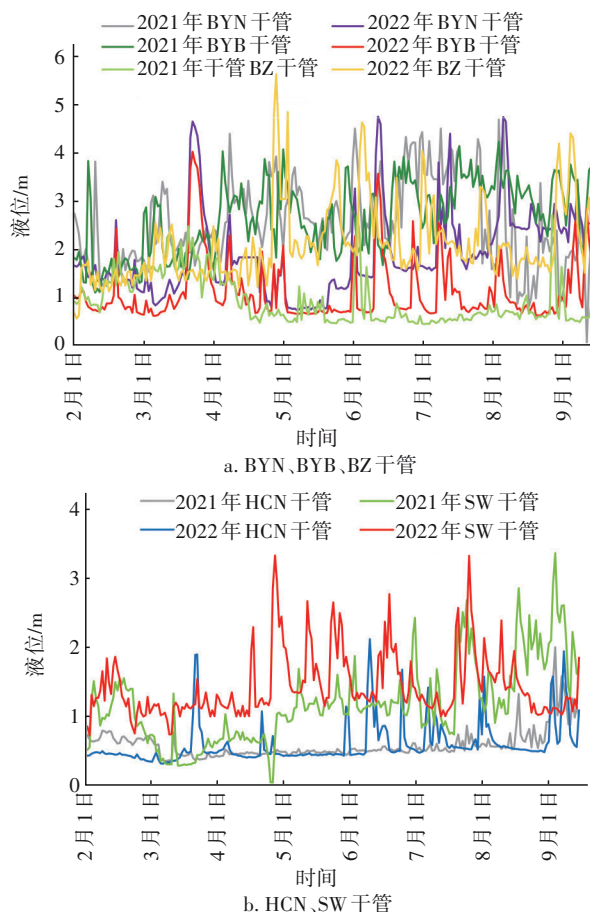


图7 2021年—2022年H区污水干管液位变化

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。

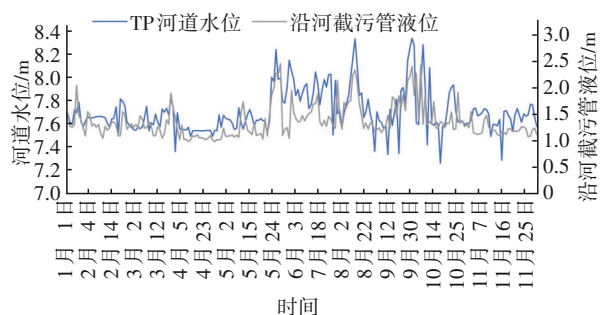


图8 2022年晴天沿河截污管液位与TP河道水位关系

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1 211.17、1 108.60 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 其他影响因素分析

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1 153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 $3 000 \text{ m}^3/\text{d}$,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)