

论述与研究

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.19.001

# 上海静默管理期间污水厂进水波动分析及运行策略

周 骅, 蒋玲燕, 薛 松

(上海城投水务<集团>有限公司, 上海 200002)

**摘 要:** 为应对新冠肺炎疫情,上海市在2022年3月底—6月初实施了全市静默管理。作为特大型城市,其工作和生活方式以及产业结构的突变势必对产水特征、污水组分、污水处理厂进水条件以及生产运行造成影响,为此对静默管理期间上海中心城区污水处理厂的进水水量、水质和典型污水厂的主要运行应对措施进行了分析,旨在为今后污水厂再遇到类似情形时的提前预警和防范提供参考。为消除合流制排水系统雨止后的滞后效应导致的干扰,研究了降雨条件和污水厂进水水量、水质的对应关系,建立了“雨日”和“统计旱天”的判别方法。经对近3年来上海中心城区污水处理厂旱季同期数据进行对比分析,发现静默管理期间的进厂水量和水质均呈现逆走势,水量同比下降6%,水质指标COD降幅达33%、氨氮下降17%,大量含氯消毒药剂的投加导致部分污水厂进水余氯浓度有所增加。基于现有污水处理设施的工艺流程和设计参数分析,最终采用了运行挖潜的方式,通过强化预处理、延长泥龄、控制生物段溶解氧、增加除磷药剂投加等措施,实现了稳定运行和达标排放。

**关键词:** 新冠肺炎疫情; 静默管理; 合流制; 进水波动; 余氯; 运行挖潜

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)19-0001-07

## Influent Fluctuation Analysis and Operation Strategy of Wastewater Treatment Plants during Shanghai's City-wide Lockdown Period

ZHOU Hua, JIANG Ling-yan, XUE Song

(Shanghai Chengtou Water <Group> Co. Ltd., Shanghai 200002, China)

**Abstract:** The city-wide lockdown management was implemented in Shanghai from the end of March to the beginning of June in response to the prevention and control of COVID-19 epidemic. The sudden change of the way of work, lifestyle and industrial structure in the megacity would inevitably influence the characteristics of wastewater production, the composition of wastewater, the influent conditions, and operations of wastewater treatment plants (WWTPs). The main countermeasures of operation in typical WWTPs were analyzed, which could provide a reference for early-warning and precaution when similar situations occur in WWTPs in the future. In order to eliminate the interference caused by the hysteresis effect after the rain stops in the combined drainage system, the corresponding relationship between the rainfall conditions and the influent quantity and quality of WWTPs was studied. The new statistical standard was established for distinguishing “rainy days” or “count dry days”. The contemporaneous data of WWTPs in Shanghai central area during dry season in the past three years was

基金项目: 上海市科技计划项目(21DZ1209804); 上海城投科技创新计划项目(CTKY-ZDXM-2021-019)

通信作者: 周骅 E-mail: zhouhua@shanghaiwater.com

analyzed. It was found that the quantity and quality of the influent showed a reverse trend during Shanghai's city-wide lockdown period. The quantity of wastewater decreased by 6% in the corresponding period, and the concentration of COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  decreased by 33% and 17%, respectively. The addition of a large amount of chlorine-containing disinfectants led to an increase in the concentration of residual chlorine in the influent of some WWTPs. Based on the analysis of treatment process and design parameters of the existing WWTPs, the operation mode of exploiting potentialities was finally adopted. WWTPs operated stably and the effluent quality could meet the discharge standards through measures such as strengthening pretreatment, prolonging sludge retention time, controlling the concentration of dissolved oxygen in the biological reaction section, and increasing the dosage of phosphorus removal agents.

**Key words:** COVID-19 epidemic; city-wide lockdown; combined drainage system; influent fluctuation; residual chlorine; exploiting potential

2020年初,新冠肺炎疫情在全世界蔓延,给正常生产生活带来很大影响。针对疫情带来的影响,排水行业做过不少研究和分析<sup>[1-3]</sup>,中国城镇供水排水协会也发布了《城镇排水与污水处理系统应对重大疫情技术标准》,为疫情下的城市污水厂运行提供了有益的指导。

2022年2月28日开始,上海遭受了严重疫情,为了应对疫情的发展,3月中旬实施了“切块式、网格化”筛查方式,大量人员接受小区封控措施,3月底—6月初实施了全市静默管理,在一座特大型城市实施这样的严格管控是必要的也是不多见的。

上海是我国人口密度最大、流动人口最多的城市之一,也是国内建有排水管道最早的城市;对比其他城市,上海中心城区的排水管网密度大、污水收集率和处理率高、污水至污水处理厂的输送距离长、污水处理厂规模大。据上海市国民经济和社会发展统计公报,2022年上海常住人口为2 489.43万人,户籍人口为1 457.44万人,外来常住人口为1 031.99万人;2020年上海的第三产业占比达到73.15%。由于上海的人口密度高、流动人口多、经济总量大、产业结构特殊,历时2个多月的静默管理给城市生产生活带来的改变,使得用水和污水产生特征发生了变化,对污水处理厂进水水量、水质有显著的影响,投加大量的含氯消毒药剂导致污水厂部分出水水质异常。为实现稳定运行,采取了加强水质监控、强化曝气沉砂池预充氧、提高生物反应池污泥浓度、控制溶解氧和增加化学除磷药剂投加等措施来确保达标排放。笔者对此期间上海中心城区污

水处理厂的进水水量、水质和典型污水厂主要运行措施进行分析,旨在为今后污水厂再遇到类似情形时的提前预警和防范提供参考。

## 1 上海排水基本情况

截至2021年,全市污水管道总计9 304.31 km,拥有合流污水一期等4条大型污水输送干线,全市有42座污水处理厂,规模达 $857.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中,服务中心城区的污水厂有7座,处理能力为 $604 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2021年,全市污水厂实际处理量为 $830 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中中心城区污水厂处理量为 $616 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,约占全市的74%。此次疫情期间,中心城区各污水厂实施封闭管理,生产药剂等重要原材料供应得到保障,污水厂运行稳定,实际出水水质普遍优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。

## 2 进水变化的常规情况

### 2.1 进 waters 水量的常规变化

近3年上海中心城区污水厂进水量月均变化如图1所示。从全年变化上看季节性影响显著:冬春季节水量较低,3年平均为 $612 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;夏秋季节较高,平均为 $689 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。主要原因是夏秋季节气温高,用水量大,上海的汛期又在6月—9月,降雨量相对较大,一定程度上也推高了进厂水量。

由于中心城区污水厂规模较大,服务范围内合流制占比较高,在雨量较大或者连续降雨的情形下,降雨带来的水量增长还会出现雨止后的滞后效应,为了相对准确地判断降雨影响,在长期工作中,建立了“降雨当日及之后2 d计为雨日,其他计为旱

天”的统计方式,据此,统计前3年3月—5月平均旱天污水量,即:3月份平均水量为 $566 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,4月份为 $583 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,5月份为 $603 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,呈现出逐月上升的趋势。

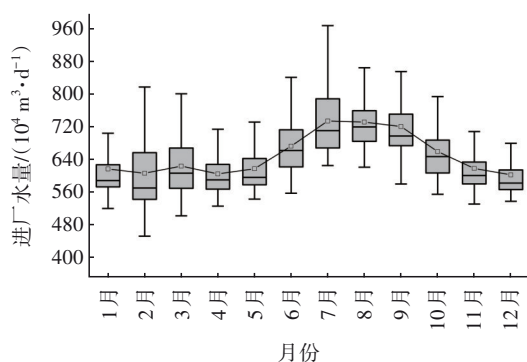


图1 2019年—2021年上海市中心城区进厂污水量  
Fig.1 Wastewater inflow of WWTPs in Shanghai central area from 2019 to 2021

## 2.2 进水水质的常规变化

图2显示了近3年的上海中心城区污水厂进水水质的在线监测数据。一般地,污水厂进水水质(以COD和氨氮为例)在每年3月—5月相对偏大,在汛期(6月—9月)受降雨影响,会有明显降低。此外,采用前述旱天统计方式,前3年3月—5月进厂COD旱天均值分别为319、352、327 mg/L,进厂氨氮浓度旱天均值分别为23.8、26.1、28.3 mg/L,表明在剔除降雨影响后,旱天情形下3月—5月的COD和氨氮浓度略有增长。

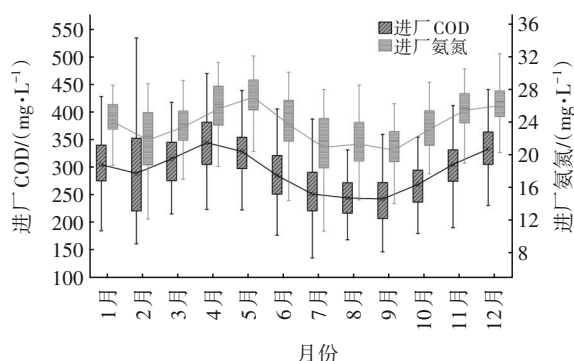


图2 2019年—2021年中心城区污水厂进水COD和氨氮浓度

Fig.2 Influent COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  of WWTPs in Shanghai central area from 2019 to 2021

## 3 疫情期间进水水量、水质变化

### 3.1 水量变化分析

2022年3月1日—5月31日共有旱天49 d(见图

3),为进一步考察疫情对污水厂进水水量的影响,选取连续时间较长( $\geq 10 \text{ d}$ )的旱天时段进行分析。

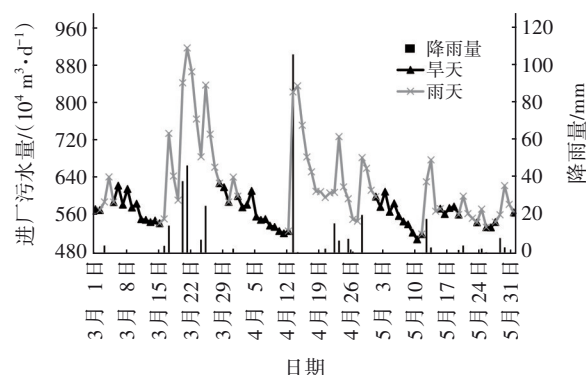


图3 2022年3月—5月中心城区进厂水量及降雨信息  
Fig.3 Wastewater inflow of WWTPs and rainfall information in Shanghai central area from March to May in 2022

在上述时期内,连续时间较长的旱天时段有3个,第一个时段是3月5日—15日,期间平均进厂水量为 $576 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,末期水量为 $545 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;第二个时段为4月1日—12日,平均进厂水量为 $559 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,末期水量为 $524 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;第三个时段为5月1日—11日,平均进厂水量为 $560 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,末期水量为 $511 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。可见,2022年3月—5月的旱天水量总体上呈现下降趋势,这和往年情况截然不同。

相关研究<sup>[4]</sup>表明,上海中心城区供水量在3月15日起呈现下降趋势,这和当时的管控措施都佐证了污水厂旱天进厂水量变化的时点。据此,将3月5日—15日的平均进厂水量 $576 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 视为疫情前水平,以统计得到的4月、5月平均水量为受疫情影响水平,则平均减少的污水量为 $17 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。若以前3年4月较3月、5月较4月的旱天污水量增长率计,估算减少的污水量为 $32 \times 10^4 \sim 53 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。从图3可见,受疫情影响的两个旱天时段内,水量连续下降显著,若以3月15日水量和5月11日水量相比,则减少水量为 $34 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,和估算值相当,以此计算疫情期间减少的污水量约是疫情前的6%,这和中心城区供水量减少7%的研究结果基本平衡。

### 3.2 进水水质变化分析

#### 3.2.1 COD和氨氮

分析上述3个旱天时段的进水水质变化情况,结果见图4。在第一个旱天时段,进厂平均COD为336 mg/L;在第二个旱天时段,进厂平均COD降至238 mg/L;在第三个旱天时段,进厂平均COD再次下

降至226 mg/L,5月份和3月份相比,降幅为33%。同样地,氨氮也表现出类似的下降变化,3个旱天时段段的进厂氨氮分别为27.6、24.5、23.0 mg/L,5月份和3月份相比,下降幅度为17%。

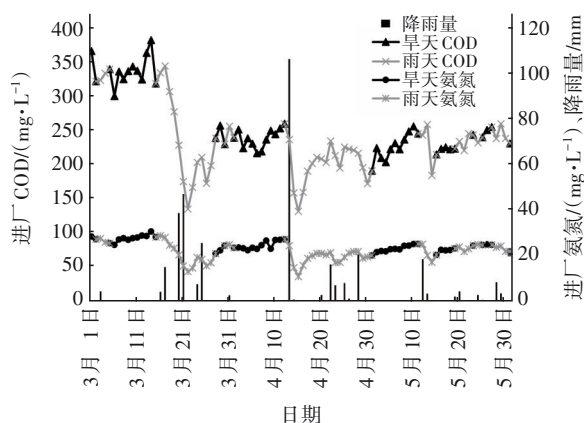


图4 2022年3月—5月中心城区污水厂在线进水COD和氨氮浓度

Fig.4 Influent online COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  of WWTPs in Shanghai central area from March to May in 2022

在同一个季节的旱天情形下,出现主要污染物浓度显著下降是罕见的。污水厂进水水质受到多重因素的影响,除了降雨、季节因素外,一般地还会受到来水组分的影响,比如居民用户的水质更多表现为黑水特征,事业类商办类用户则更多地表现为灰水特征;工业生产结构的影响,污染较重的排水户居多会使得进水水质偏高;污水输送管网长度的影响,在管网较长的情形下,会存在较显著的厌氧影响,使得终端污水厂进水水质相对偏淡;管网运维的影响,大量外水入渗会降低进水浓度等。在2022年3月—5月,各污水厂的服务范围及范围内的用户数量、工业生产结构、管网长度等都没有发生变化,管网运维虽然暂停,但没有发生过管网的突发性意外事件,因此,在这样一个短历时的旱天内,影响进水水质的因素主要体现在排水户的生产生活形态。

自3月底起实施了全市静默管理,后两个旱天时段恰是此期间,相关研究<sup>[4]</sup>表明,疫情期间中心城区非居民用水中占比70%以上的工业和经营类用水量显著下降,正是工厂、商业等受影响面逐渐扩大,从而使得进水COD浓度下降。相比较,由于中心城区工业结构的缘故,氨氮的主要产生源头还在于人的活动,因此,氨氮虽然也有下降,但下降幅度

和COD比相对较小。

### 3.2.2 余氯

2022年3月—5月,考虑到大量方舱、隔离收治点的兴建,以及社会面消毒的加强,为确保污水厂的正常运行,加强了对进水余氯的检测。结果表明,除个别污水厂外,大部分污水厂进水总余氯范围为0.01~0.16 mg/L,平均值为0.05 mg/L;进水流离氯范围为0.01~0.05 mg/L,平均值为0.02 mg/L,浓度均较低,与疫情前比未见明显异常,原因可能是污水管道中含有大量还原性物质,而中心城区污水进厂输送距离又较长,残留的含氯消毒剂在输送过程中被大量消耗,导致污水处理厂进厂余氯变化不大,这和孙健等<sup>[5]</sup>的研究结果较为一致。

综上,受重大影响,上海中心城区污水厂进水水量、主要污染物浓度均持续偏低,呈现出和往期不同的特征,余氯有所增加但未见显著异常。

## 4 典型污水厂运行分析

为进一步分析疫情期间污水厂的运行,选取服务于全市最大方舱的H污水处理厂进行分析。

### 4.1 H污水处理厂基本情况

H污水处理厂建成于2019年,服务面积约67 km<sup>2</sup>,服务人口为50~55万人,设计规模为20×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用改良型AAO+混凝沉淀+过滤工艺,在出水消毒环节采取紫外辅以加氯消毒,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,其中氨氮、总磷达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准。

该厂是一座半地下式污水厂,位于污水输送干线的中途。为了保证安全运行,在进水处设有速闭闸门,平时可由厂内进水泵房控制进水量,厂外污水输送系统配合其调整,自2019年投产以来基本保持满负荷运行,因此,季节和降雨的气象变化虽使得水量在3个汛期出现波动,但未对月平均水量产生显著影响(见图5)。在进水水质方面,与中心城区污水厂总体表现一致(见图6),冬春季节相对较高,夏秋季相对较低。采用前述方式统计2019年、2020年、2021年3月—5月的旱天进水COD为271、363、403 mg/L,氨氮为23.5、26.8、28.6 mg/L,表明旱天情形下的COD和氨氮浓度均逐月上升。

2022年4月9日—5月31日,服务范围内与其直线距离约7 km处,曾临时建设了全市最大方舱,

总床位数  $5 \times 10^4$  张,累计收治约 17.4 万人,其间高峰时段的用水量约  $6\,000 \sim 7\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

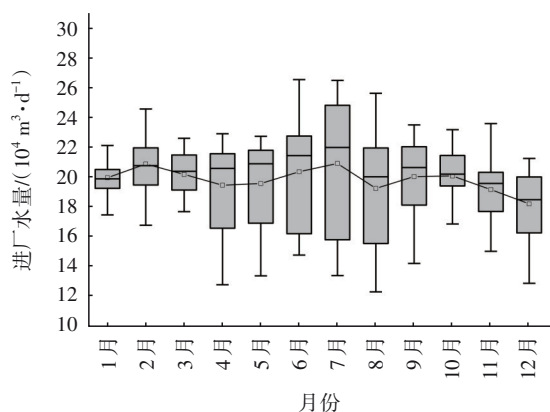


图5 H污水处理厂投运以来月均进厂水量(2019年4月—2021年12月)

Fig.5 Wastewater inflow of H WWTP from April 2019 to December 2021

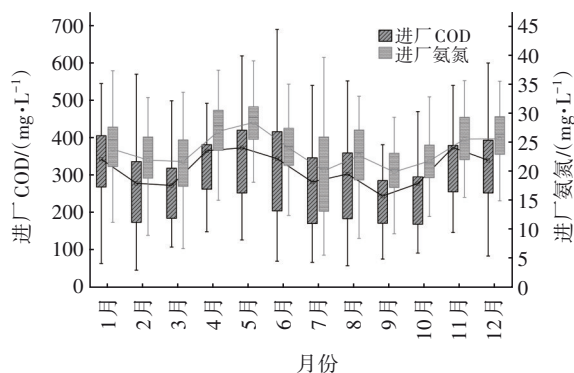


图6 H污水处理厂进水COD和氨氮浓度(2019年4月—2021年12月)

Fig.6 Influent COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  of H WWTP from April 2019 to December 2021

#### 4.2 疫情期间进水水量、水质变化

由于H厂进水量的自主调控性较强,故2022年3月—5月3个旱天时段日均进水量维持在往期水平,为  $22.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其间虽然受地区水量减少出现过进厂水量的短时间下降,但通过上下游调控仍保证了满负荷运行。本次疫情带来的影响主要反映在进水水质上。

如图7所示,和中心城区污水厂总体情况类似,3月—5月H污水厂进水COD降幅较大,在3个旱天时段中,第一个时段的进厂平均COD为  $331 \text{ mg/L}$ ,第二个时段的进厂平均COD下降至  $186 \text{ mg/L}$ ,第三个时段的进厂平均COD再次下降至  $172 \text{ mg/L}$ ,5月份数据和3月份数据相比,下降幅度为48%。氨氮

也表现出类似的下降,进厂浓度分别为  $26.8$ 、 $23.6$ 、 $20.7 \text{ mg/L}$ ,5月份数据和3月份数据相比,下降幅度为18%。在进水余氯方面,4月9日前进水余氯维持在较低水平,4月9日方舱正式收治当日,余氯突然升高,之后起伏较大,数值偏高,直至6月1日后才显著下降。其间余氯最大值为  $2.2 \text{ mg/L}$ (见图8),游离氯最大值为  $1.9 \text{ mg/L}$ 。

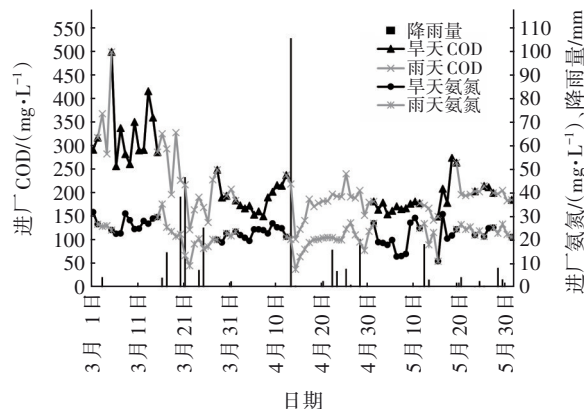


图7 2022年3月—5月H污水处理厂进水COD和氨氮浓度

Fig.7 Influent COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  of H WWTP from March to May in 2022

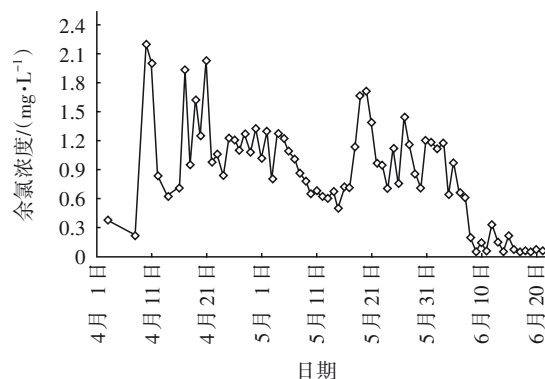


图8 H污水处理厂进水余氯

Fig.8 Influent residual chlorine of H WWTP

#### 4.3 主要运行措施

进水主要污染物浓度的持续降低给污水处理厂带来的最大问题是营养物质的缺乏,继而会导致污泥浓度降低。而进水中氯物质含量持续偏高且无规律波动,也会对微生物的生长产生抑制作用。邱文心等人<sup>[6]</sup>对武汉疫情期间污水厂的运行措施进行了总结,提出污水厂要及时调整水量负荷、曝气量、污泥回流比、排泥量等。陈贵生等人<sup>[7]</sup>总结了疫情期间污水厂运行参数的变化,提出采取优化曝气模式、优化进水比例、提高除磷剂和消毒剂投加量

等措施。

在检测到进水余氯偏高的情况下,H厂将曝气沉砂池风机运行台数从之前的1台增加到2台常开,目的是通过增加曝气量降低进水中的余氯浓度,减少其对生物池污泥活性的不利影响。之后,又分别在进水、曝气沉砂池出水、生物池好氧区、二沉池出水、深床滤池进行沿程余氯和游离氯检测,数据表明,余氯在进入生物池后基本降至0,说明进厂余氯值虽偏大但不会给生物处理带来影响。随着进水余氯在方舱关停1周后降至0.2 mg/L左右,恢复了曝气沉砂池风机常态运行台数。

3月初期,H厂污泥浓度基本维持在4.3 g/L左右,气水比控制在4.3,污泥龄为20 d,排泥量约为40 t/d,处于常态水平。从3月中旬开始,在排泥量基本维持不变的情况下,生物池污泥浓度持续下降,至4月1日降至2.6 g/L。对此,H厂将排泥量降至25 t/d,同时逐步减少曝气量,降低气水比至3左右,生物池污泥浓度逐步提升,污泥龄由20 d逐渐延长至40 d。在延长污泥龄期间,出水TP浓度在4月下旬虽然保持在较低水平但有所上升,为应对生物除磷效果下降,PAC投加量由5~6 mg/L逐步增加至8~9 mg/L,至4月底生物池的污泥浓度稳定在3.9 g/L后,排泥恢复正常水平,出水TP浓度也恢复到常态情况。

图9是H厂2022年3月—5月实际进出水COD、氨氮、TN、TP情况,表明在进水水质连续异常情况下,H厂采取的生产运行措施有效,确保了稳定达标。在此期间,出水粪大肠菌群始终在10个/L以下,优于排放标准,余氯值控制在0.3~0.5 mg/L,基本与往常无异。

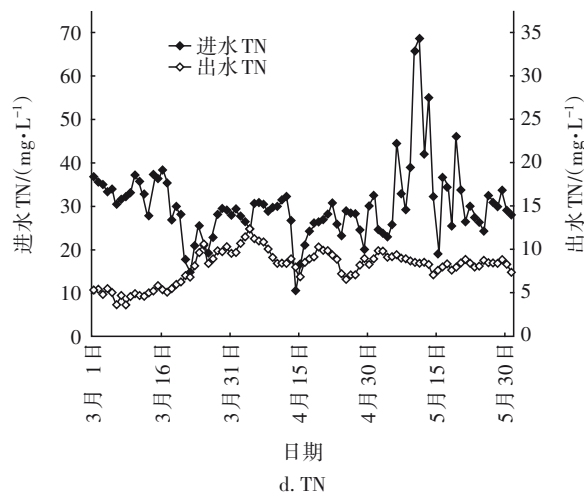
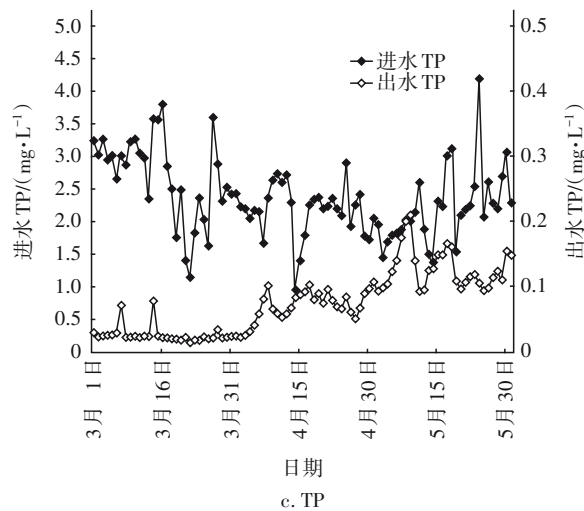
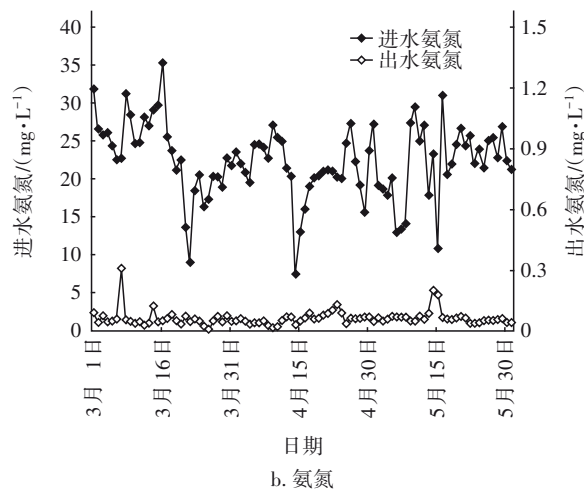
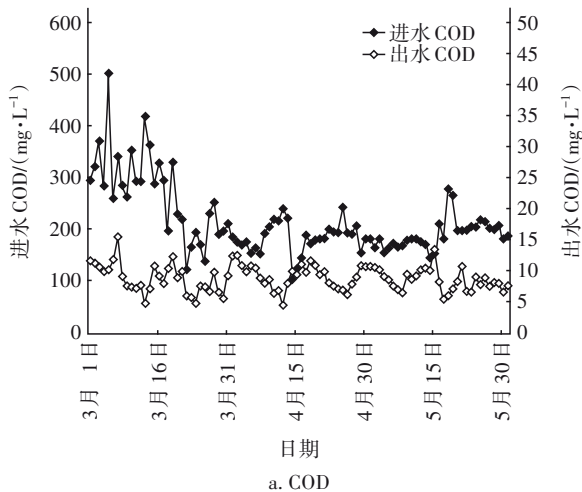


图9 H厂2022年3月—5月实际进出水水质情况

Fig.9 Influent and effluent quality of H WWTP from March to May in 2022

## 5 结论

① 2022年3月—5月上海遭遇重大疫情,受此影响,中心城区污水厂进水量下降,减少的污水

量约是疫情前的6%。

② 受疫情影响,污水厂进水COD浓度显著下降,和疫情前相比下降约33%;因居民大量被管控在小区,进水氨氮浓度尽管也下降但并不明显,和疫情前相比下降约17%。同时,进水余氯等含氯指标略有增加,个别污水厂因靠近方舱而浓度偏大且持续波动,但总体上未对污水厂运行产生严重影响。

③ 为应对进水水量、水质的变化,污水厂采取了增加曝气沉砂池风机运行台数、延长泥龄、减少生物段曝气、增加除磷药剂投加等措施,确保了稳定运行,出水水质稳定达标。

④ 当遇到排水户生产生活形态发生较大变化、服务范围内发生重大疫情、采取重大防疫措施时,污水厂需要密切关注可能影响水量、水质变化的相关因素,持续开展进水水量、水质等的实时监测和分析,并采取必要措施。

#### 参考文献:

- [1] 李志华,高兴东,杭振宇,等. 含氯消毒液对活性污泥的影响及应对措施[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6): 28-32.  
LI Zhihua, GAO Xingdong, HANG Zhenyu, *et al.* Effect of chlorine disinfectant on activated sludge and its countermeasures [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6): 28-32 (in Chinese).
- [2] 王洪臣. 关于疫情防控期间医疗污水和城镇污水处理若干问题的建议[J]. 给水排水, 2020, 46(3): 35-40.  
WANG Hongchen. Suggestions on the treatment of medical wastewater and urban wastewater during epidemic prevention and control period [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(3): 35-40 (in Chinese).
- [3] 冯志,程伟,李激,等. 新冠肺炎期间武汉涉疫废水应急处置工作及思考[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 7-12.  
FENG Zhi, CHENG Wei, LI Ji, *et al.* Emergency treatment of wastewater from quarantine sites and hospitals in Wuhan during COVID-19 epidemic outbreak [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 7-12 (in Chinese).
- [4] 周骅. 新冠疫情封控管理期间特大型城市用水量影响分析[J/OL]. 净水技术, 2022. (2022-06-30) [2022-07-05]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1513.TQ.20220629.1542.002.html>.
- ZHOU Hua. Analysis on water consumption and management suggestion under the influence of lockdown measure during COVID-19 epidemic in megacity [J/OL]. Water Purification Technology, 2022. (2022-06-30) [2022-07-05]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1513.TQ.20220629.1542.002.html> (in Chinese).
- [5] 孙健,刘宁,李露,等. 疫情期间武汉主城区污水厂进水余氯和处理现状分析[C]// 中国环境科学学会. 中国环境科学学会2019年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛论文集. 北京: 中国环境科学学会, 2019: 185-187, 194.  
SUN Jian, LIU Ning, LI Lu, *et al.* Analysis on the residual chlorine of inflow and treatment statue of sewage treatment plant in Wuhan during the epidemic period [C]// CEES. 2019 CEES Annual Conference on Environmental Science and Technology—Environmental Engineering Technology Innovation and Application Sub-forum. Beijing: CEES, 2019: 185-187, 194 (in Chinese).
- [6] 邱文心,刘向荣,李先成,等. 新冠肺炎疫情期间武汉市水务集团应急保障措施及思考(排水篇)[J]. 给水排水, 2020, 46(5): 58-61, 67.  
QIU Wenxin, LIU Xiangrong, LI Xiancheng, *et al.* Emergency safeguard measures and thinking of Wuhan Water Group during COVID-19 outbreak (sewage treatment) [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(5): 58-61, 67 (in Chinese).
- [7] 陈贵生,张双,杨仁凯,等. “新冠”疫情期间污水处理厂运行探讨[J]. 净水技术, 2020, 39(7): 8-13, 23.  
CHEN Guisheng, ZHANG Shuang, YANG Renkai, *et al.* Discussion on the operation of wastewater treatment plants during COVID-19 epidemic [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(7): 8-13, 23 (in Chinese).

作者简介:周骅(1966—),男,河北武安人,本科,高级工程师,从事污水处理、污泥处理工程建设及管理工作。

E-mail:zhouhua@shanghaiwater.com

收稿日期:2022-07-17

修回日期:2022-08-06

(编辑:李德强)