

张岩. 上海中心城区城镇污水水质特性分析[J]. 净水技术, 2023, 42(11): 101-111.

ZHANG Y. Analysis of influent quality characteristics of urban wastewater in Shanghai central districts[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(11): 101-111.

## 上海中心城区城镇污水水质特性分析

张 岩\*

(上海城投污水处理有限公司, 上海 201203)

**摘 要** 选取上海市中心城区白龙港片区为研究对象,通过收集该片区末端污水处理厂 2021 年实际运行数据,系统分析了该片区各污染物的水质特征、概率分布和相关关系,以及不同特征天各污染物的水质特征和营养比例之间的关系。结果表明,该片区 2021 年实际进水水质低于设计值,建议进一步对白龙港片区开展管网提质增效,逐步提高片区污水厂进水浓度;该片区旱天进水各污染物浓度均值高于雨天,雨季 6 月—9 月进水浓度基本低于其他月份;各指标周末和非周末进水浓度整体偏差较小,各指标节假日进水浓度均低于非节假日进水浓度。通过对该年度的数据进行统计分析,研究结果对指导片区污水处理厂精细化运行和工艺优化调度具有积极意义。

**关键词** 上海 污水处理厂 进水水质 水质特征 统计分析

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2023)11-0101-11

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.11.012

## Analysis of Influent Quality Characteristics of Urban Wastewater in Shanghai Central Districts

ZHANG Yan\*

(Shanghai Chengtou Wastewater Treatment Co., Ltd., Shanghai 201203, China)

**Abstract** Bailonggang district in the central districts of Shanghai as the research object was selected in this paper, by collecting the actual operation data of the end wastewater treatment plant (WWTP) in this area in 2021, the water quality characteristics, probability distribution and correlation of each pollutant in this area were systematically analyzed, as well as the relationship between the water quality characteristics and nutrient ratio of each pollutant in different characteristic days. The results showed that the actual influent water quality of this area in 2021 was lower than the design value. It was suggested to further improve the quality and efficiency of the pipe network in Bailonggang area, and gradually improve the influent concentration of the WWTP in this area. The influent concentration of each pollutant in dry days was higher than that in rainy days, and the influent concentration from June to September in rainy season was basically lower than that in other months. The overall deviation of influent concentration of each index on weekends and non-weekends was small, and the influent concentration of each index on holidays was lower than that on non-holidays. Through the statistical analysis of the annual data, the results can be used to guide the fine operation and process optimization of the regional WWTP.

**Keywords** Shanghai wastewater treatment plant (WWTP) influent water quality water quality characteristics statistical analysis

城市污水处理厂是城市发展的重要基础设施,是城市水污染控制、水环境保护工作的关键工程<sup>[1]</sup>。根据城乡建设统计年鉴,截至 2020 年,全国城市污水处理厂共 2 618 座,处理能力为 19 267 万 m<sup>3</sup>/d。随着国家“双碳”目标的提出,从污水处理行业角度出发,积极推进污水处理系统节能降耗,提升

污水处理厂的精细化运行水平面临新的挑战。

上海是国际著名的金融中心,地处长江三角洲冲积平原的边缘,全市面积为 6 340.5 km<sup>2</sup>。气候属于北亚热带东亚季风气候,四季分明,冬夏长、春秋短,雨量充沛,光照较足。多年平均降雨量为 1 123.7 mm,平均降雨日约为 132 d,全年总降雨量的 60%集中在 5 月—9 月。汛期在 6 月—9 月,平均降雨量为 524.9 mm,占全年 48.3%,9 月雨量最多,占全年的 14.9%<sup>[2]</sup>。至 2020 年年底,上海市城镇污水处理厂出水水质全面达

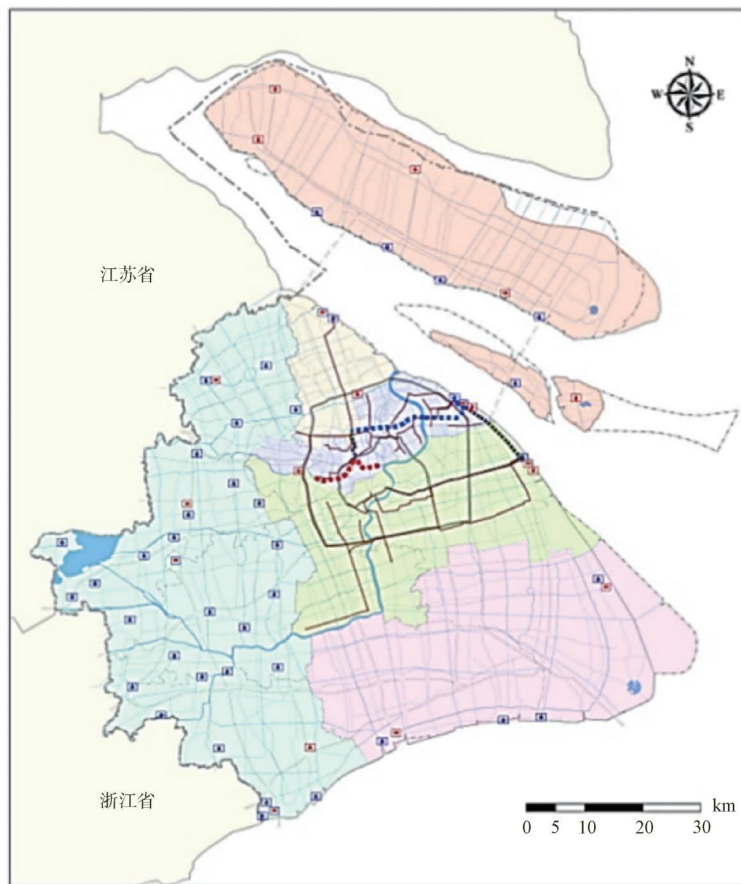
[收稿日期] 2022-08-30

[通信作者] 张岩(1986—),男,硕士,研究方向为污水处理厂运行管理,E-mail: zhang4882479@163.com。

到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 及以上标准,城镇污水处理总规模达到 840.3 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,城镇污水处理率为 96.7%<sup>[3]</sup>。

目前,上海市中心城区污水处理区域主要包括石洞口片区、竹园片区、白龙港片区三大片区<sup>[4]</sup>,如图 1 所示。不同污水处理片区的污水水质受不同的收水区域内居民生活、工商业门类、排水体制和降雨等因素影响,导致污水处理厂的进水特性时刻在变化。研究<sup>[5-7]</sup>表明,进水水量水质在时间和空间尺度上存在一定的变化规律,进水特性的不同也对废水处理工艺及操作运行条件提出了不同的要求。孙

艳等<sup>[8]</sup>在 2014 年曾对上海市 50 座城市污水处理厂进水水质进行统计学分析。但随着上海城市发展和人口变迁,新的排水规划出台,部分中心城区内的管网系统和污水处理厂已经进行了功能性调整。白龙港片区现作为中心城区主要收水区域,开展对现状白龙港片区的污水水质特征分析十分必要。通过分析管网输送末端污水处理厂不同特征天的进水特征,一方面为污水处理厂扩建和运行管理提供数据支持<sup>[9]</sup>,另一方面用于指导污水处理厂生产工艺的优化调整,发挥不同处理单元的最大优势,对提高污水处理效果和降低运行费用具有重要意义<sup>[10-11]</sup>。



图例  
 石洞口区域 杭州湾沿岸区域 新建污水厂(含初雨厂) 规划扩建污配设施 .....连通管  
 竹园区域 嘉定及黄浦江上游区域 杭州湾沿岸区域 合流一期复线 .....环线  
 白龙港区域 崇明三岛区域 规划污泥设施 苏州河调蓄管道 污水外排总管

图 1 上海污水处理系统及污泥处理处置规划布局

Fig. 1 Planning Layout of Wastewater Treatment System and Sludge Treatment and Disposal in Shanghai

## 1 白龙港片区概述

目前,白龙港片区服务面积为 1 060  $\text{km}^2$ ,收水面积包括黄埔、静安、徐汇、长宁 4 个浦西中心城区,以及闵行、浦东及青浦,共计 7 个区,服务人口为

950 万~1 000 万人。2021 年日均处理水量约为 323 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,约占全市污水处理总量的 1/3。规划期限内,白龙港污水区域污水量约为 360 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,其中,浦东新区为 169 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 、闵行区为 109 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 、徐

汇区为 42 万 m<sup>3</sup>/d、黄浦区为 22 万 m<sup>3</sup>/d、长宁区为 13.3 万 m<sup>3</sup>/d、青浦区为 4.6 万 m<sup>3</sup>/d<sup>[12]</sup>，此外，强排系统规划初期雨水总量约为 149.3 万 m<sup>3</sup>。上述区域的污水分别通过沿线管网布设的多级输送泵站输送至管网末端的污水处理厂，白龙港片区排水体制为合流制和分流制并存。新建地区采用分流制，建成地区已建分流制系统持续推进雨污混接改造，已建合流制系统予以完善，有条件的逐步向分流制过渡<sup>[12]</sup>。排水体制不仅影响城市水环境质量，而且影响进入污水处理厂的水质，尤其是雨季期间对污水处理厂进水水质影响较大。

## 2 研究方法

本文以白龙港片区管网输送末端污水处理厂进

水为研究对象，以 2021 年全年进水主要污染物水质化验数据为统计分析依据，主要分析了 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮、TN、TP 的浓度变化规律，以及各指标之间的相关性及概率分布，同时对不同特征天各指标的变化规律进行了对比分析，以此为该片区污水处理厂内的工艺优化和运行调控提供科学指导。

## 3 结果与讨论

### 3.1 全年进水水质特性分析

#### 3.1.1 各水质指标统计分析

对 2021 年度全年进水日均进水 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮、TN 以及 TP 每日化验数据进行统计分析，与正态性检验，分析结果如表 1 所示。

表 1 进水水质统计分析与正态性检验

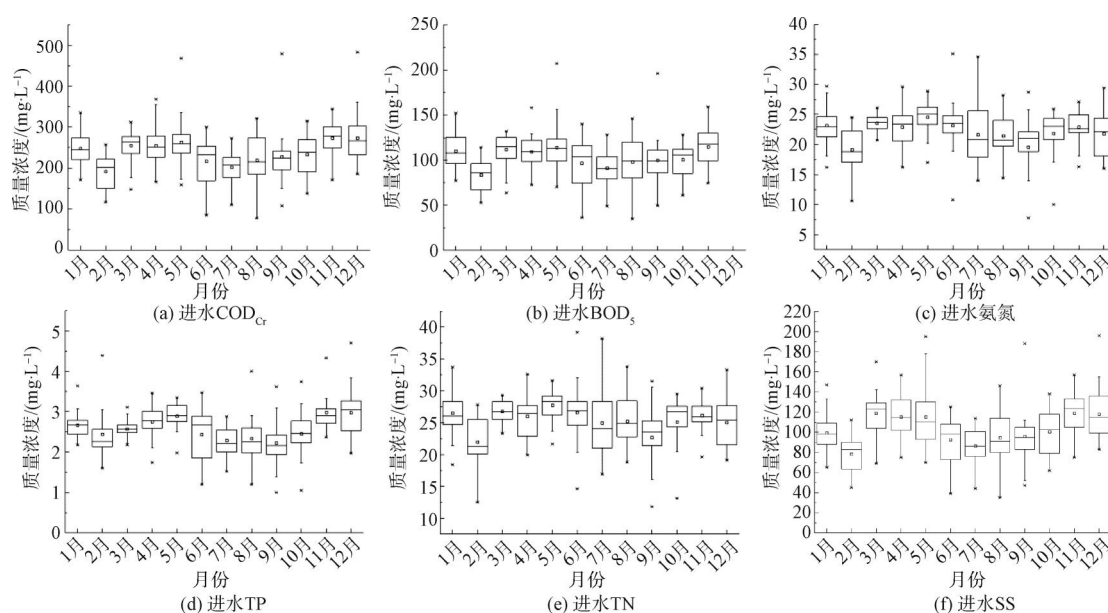
Tab. 1 Statistical Analysis and Normality Test of Influent Water Quality

指标	设计值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	均值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	中间值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	标准偏差/ (mg·L <sup>-1</sup> )	偏度	峰度	变异系数	Kolmogorov-Smirnov (P 值)
COD <sub>Cr</sub>	360	238.67	238	56.27	0.46	1.95	23.58	<0.01
BOD <sub>5</sub>	160	104.68	104	24.51	0.4	1.53	23.42	0.049
SS	140	103.07	103	25.41	0.37	0.74	24.65	0.11
氨氮	40	22.16	22.6	3.87	-0.42	1.39	17.44	<0.01
TN	45	25.42	25.8	4.04	-0.41	1.31	15.89	<0.01
TP	5	2.59	2.59	0.54	0.28	1.18	20.95	0.077

由表 1 可知，进水 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS、氨氮、TN、TP 各指标平均值分别低于设计值约 33.7%、34.6%、26.4%、44.6%、43.5%、48.2%。通过对各指标数值进行 Kolmogorov-Smirnov 检验，当 P 值 > 0.05 时代表该项指标服从正态分布<sup>[13]</sup>，根据检验结果可知，SS、TP 符合正态分布；COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮和 TN 不符合正态分布。偏度系数反映曲线偏离正态的程度，负值为左偏，正值为右偏。由此可知，COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 是右偏态分布，氨氮、TN 是左偏态分布。

如图 2 所示，COD<sub>Cr</sub> 全年平均进水质量浓度在 78.00~438.67 mg/L，日均值为 238.67 mg/L；BOD<sub>5</sub> 全年平均进水质量浓度在 34.90~207.00 mg/L，日均值为 104.68 mg/L；氨氮全年平均进水质量浓度在 7.78~35.10 mg/L，日均值为 22.16 mg/L；TP 全年平均进水质量浓度在 1.00~4.70 mg/L，日均值为 2.59 mg/L；TN 全年平均进水质量浓度在 11.80~39.20 mg/L，日均值为 25.42 mg/L；SS 全年平均进水质量浓度在 35.00~196.00 mg/L，日均值为

103.07 mg/L。从图 2 箱体图上可直观地看出，6 月—9 月各指标进水浓度基本低于其他月份，主要原因是上海市地处南方，雨季降雨较多，同时该片区上游存在部分合流制收水管网，降雨期间雨水通过雨污混接管道进入污水管网。与此同时，上海白龙港片区排水管网存在雨污混接的现象，雨水混接使雨水进入污水系统，造成雨天污水处理厂进水浓度降低，进而影响污水处理厂的正常运行。此外，受降雨入渗的影响，地下水水位升高，当地下水水位高于管底标高时，入渗进入污水管道，同时，地表水通过合流截流管、分流制雨水沿河截流管倒灌进入污水系统，其会造成污水管道满管流、高水位，以及污水处理厂进水水量增加、水质浓度降低<sup>[14]</sup>。不同月份各指标最大值与最小值差距较大，这也与排污管网体制和管网漏损有较大关系。雨天大量初期雨水混入管网的同时，对管网内沉积物进行冲刷，造成降雨初期管网内污染物浓度较高。随着降雨的持续，管网内污染物浓度逐步降低，而管网漏损也会导致含



注：“箱体”上下两边分别对应数据的上下四分位数，“箱体”内部一条横线位置代表数据的中间值，箱体内部空心方块对应数据的平均值，“箱体”上线两边延伸出去的竖线代表最大值与最小值。

图2 进水主要水质指标年变化

Fig. 2 Annual Variation of Main Influent Quality Indices

有一定污染物的外水进入输水管网,造成全年部分时段内污染物浓度波动较大。徐尚玲<sup>[15]</sup>研究了4场降雨期间合流制排水系统不同来源的污染物特性及污染贡献,研究表明降雨径流过程中,管道总出口污染物浓度的变化具有波动性,并出现多个峰值,污染物浓度的峰值不一定出现在径流开始,最大值不都在第一峰值处。因此,管道沉积物所占负荷比例与降雨强度、降雨历时及晴天累计数息息相关,管道沉积物中污染物释放规律具有较高的复杂性。本年

度2月进水浓度也较低,与雨季6月—9月浓度接近,而查阅该厂2018年—2021年不同月份进水水质,也发现2月进水浓度较低,这与孙艳等<sup>[8]</sup>报道的上海月度水质变化规律一致。

### 3.1.2 线性拟合回归分析

通过对2021年进水全年主要指标进行统计分析,通过Origin9软件对数据进行线性拟合,得到各污染物浓度之间的回归方程和相关系数如表2所示。为直观地展示,将所得的结果绘制成图,如图3所示。

表2 进水水质各指标回归分析

Tab. 2 Regression Analysis of Influent Quality Indices

指标	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	TP
BOD <sub>5</sub>	$y=0.424x+3.512$ $R^2=0.947$	—	—	—	—
SS	$y=0.425x+1.717$ $R^2=0.884$	$y=0.944x+4.291$ $R^2=0.828$	—	—	—
TN	$y=0.036x+16.877$ $R^2=0.246$	$y=0.080x+17.013$ $R^2=0.235$	$y=0.076x+17.541$ $R^2=0.229$	—	—
TP	$y=0.006x+1.095$ $R^2=0.420$	$y=0.014x+1.136$ $R^2=0.391$	$y=0.013x+1.233$ $R^2=0.378$	$y=0.062x+1.016$ $R^2=0.260$	—
氨氮	$y=0.035x+13.695$ $R^2=0.265$	$y=0.079x+13.916$ $R^2=0.247$	$y=0.075x+14.450$ $R^2=0.240$	$y=0.940x-1.730$ $R^2=0.964$	$y=3.388x+13.400$ $R^2=0.223$

由表2、图3可知,进水COD<sub>Cr</sub>分别与BOD<sub>5</sub>、SS、TN、TP、氨氮进行最小二乘法线性拟合后,相关

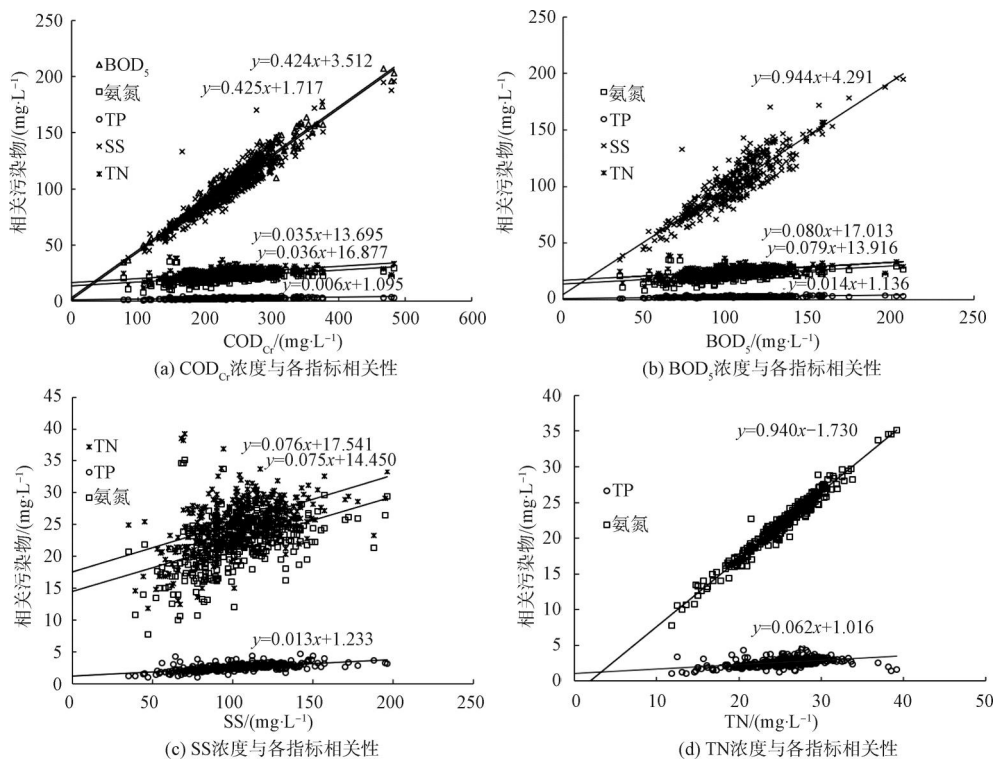


图3 进水各水质指标拟合曲线

Fig. 3 Fitting Curve of Influent Quality Indices

系数分别为 0.947、0.884、0.246、0.420、0.265,由此可知 COD<sub>Cr</sub> 与 BOD<sub>5</sub> 和 SS 相关性较高,与 TP 相关性一般,与 TN 和氨氮的相关性最差;进水 BOD<sub>5</sub> 分别与 SS、TN、TP、氨氮进行最小二乘法线性拟合后,相关系数分别为 0.828、0.235、0.391、0.247,由此可知 BOD<sub>5</sub> 与 SS 相关性较高,与 TP 相关性一般,与 TN 和氨氮的相关性最差;进水 SS 分别与 TN、TP、氨氮进行最小二乘法线性拟合后,相关系数分别为 0.291、0.411、0.299,由此可知 SS 与 TP 相关性一般,与 TN 和氨氮的相关性较差;进水 TN 分别与 TP、氨氮进行最小二乘法线性拟合后,相关系数分别为 0.260、0.964,由此可知 TN 与氨氮相关性较高,与 TP 的相关性较差;进水 TP 与氨氮进行最小二乘法线性拟合后,相关系数为 0.223,由此可知 TP 与氨氮相关性一般,拟合结果与邹吕熙等<sup>[13]</sup> 报道的结果基本一致。

通过上述拟合结果可以判断,进水 COD<sub>Cr</sub> 浓度升高时,其进水 BOD<sub>5</sub> 和 SS 同步升高,当进水大部分的 SS 被菌胶团捕获进入污泥后,会进一步造成污泥产量同步增加。因此,后续可进一步研究进水浓度和产泥量关系,可以用于指导污水处理厂在不同

进水浓度条件下,如何动态调整排泥量来保持生物系统相对稳定的运行环境;进水 TP 与进水浓度相关性一般,结合该厂实际运行情况,当进水 COD<sub>Cr</sub> 在一定范围变化时,实际生物出水 TP 质量浓度在 0.4~0.8 mg/L,出水水质相对比较稳定;而进水 SS 与进水 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub> 相关性较大,说明进水 SS 的浓度对进水 COD<sub>Cr</sub> 和 BOD<sub>5</sub> 产生较大影响,由此可知进水 COD<sub>Cr</sub> 和 BOD<sub>5</sub> 很大一部分为颗粒态有机物。进水的 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS 浓度与进水的营养物质 TN、氨氮相关性较差。TN、氨氮一般以溶解态存在,当进水有机物质浓度与 TN、氨氮浓度相差较大且进水颗粒态有机物占比较大时,如果生物系统超负荷运行期间,水力系统停留时间缩短,颗粒态有机物不能完全转化为溶解态有机物,会对生物系统的脱氮效果造成一定影响;而进水氨氮与进水 TN 相关性较高,说明经过管网长距离输送部分有机氮类物质经过氨化、水解脱氨反应基本生成了氨氮,有机氮占比相对较低。

### 3.1.3 营养物比例分析

通过对全年营养物比例数据进行统计分析并把结果绘制成图,结果如图 4 所示。

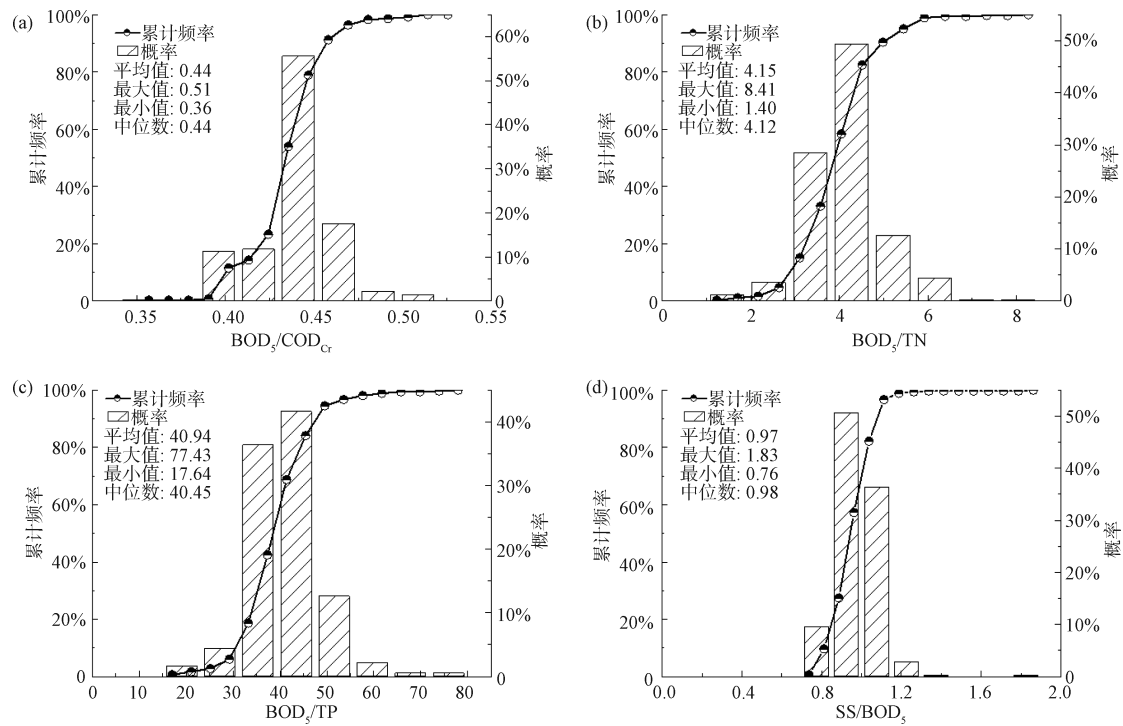


图 4 进水营养比例频率分布

Fig. 4 Frequency Distribution of Nutrients Proportion in Influent

(1)  $BOD_5/COD_{Cr}$ 

由图 4 可知,进水  $BOD_5/COD_{Cr}$  最小值为 0.36, 最大值为 0.51, 平均值为 0.44, 中位数为 0.44。其中,在 0.42~0.48 的占比约为 84.9%,由此可见,全年进水  $BOD_5/COD_{Cr}$  保持基本稳定。一般  $BOD_5/COD_{Cr}$  用于表征污水的可生化性能, $BOD_5/COD_{Cr} \leq 0.3$  代表污水较难生化处理, $0.3 < BOD_5/COD_{Cr} \leq 0.5$  代表污水可以生化处理, $BOD_5/COD_{Cr} > 0.5$  代表极易生化处理<sup>[16-17]</sup>。由此可知,进水水质可生化性一般,而由表 1 可知,污水经过长距离输送后,进水水质浓度也较低,较低的进水浓度需要生物池保持较低的污泥浓度,以免污泥浓度过高,造成污泥老化,影响出水水质。

(2)  $BOD_5/TN$ 、 $BOD_5/TP$ 

由图 4 可知, $BOD_5/TN$  最小值为 1.40,最大值为 8.41,平均值为 4.15,中位数为 4.12。其中,在 3.34~5.69 的占比约为 90.4%;进水  $BOD_5/TP$  最小值为 17.64,最大值为 77.43,平均值为 40.94,中位数为 40.45,其中在 35.31~55.63 的占比约 90.7%。根据反硝化方程式,每反硝化 1 g 硝酸盐氮需要 2.86 g  $BOD_5$ ,为保证脱氮除磷效果,一般脱氮除磷工艺要求  $BOD_5/TN > 4$ ,  $BOD_5/TP >$

17<sup>[18-19]</sup>。而通过统计分析,进水  $BOD_5/TN > 4$  的天数占比约为 66.9%,故约 1/3 的天数  $BOD_5/TN$  存在偏低的问题,在进水  $BOD_5/TN$  较低的天数时需要通过工艺调控,甚至必要时投加碳源保障 TN 的去除效果。

(3)  $SS/BOD_5$ 

由图 4 可知,进水  $SS/BOD_5$  最小值为 0.76,最大值为 1.83,平均值为 0.97,中位数为 0.98,其中在 0.93~1.15 的占比约为 87.1%,较其他污水处理厂偏高<sup>[20]</sup>。有文献<sup>[21]</sup>报道,城市生活污水中约 65%的  $COD_{Cr}$  以 SS 的形态存在,可知进水 SS 与进水有机物具有一定的比例关系。 $SS/BOD_5$  可以表征进水悬浮物对污泥产量和污泥中活性组分占比的影响,进水  $SS/BOD_5$  占比越高,活性污泥中挥发性污泥浓度 (MLVSS) 比例越低。污水处理厂进水  $SS/BOD_5 > 1.2$  时,反硝化效果降低<sup>[13]</sup>,颗粒物质在厌、缺氧区利用效率降低。大量的颗粒碳源进入到好氧段,通过相对较长的停留时间,在好氧段被消耗,造成脱氮、除磷效果变差。同时,活性污泥中活性组分较低,为保证硝化反应充分进行,需要增大污泥浓度,会进一步导致污泥老化甚至二沉池跑泥,影响后续处理,甚至导致出水 SS 超标。

### 3.2 不同日期类型进水特征

#### 3.2.1 雨天、旱天进水污染物特征

通过对全年数据按照旱天和雨天进行分析统

计,并绘制成图 5 和图 6,可以直观地看出旱天、雨天各指标数值频率分布情况。

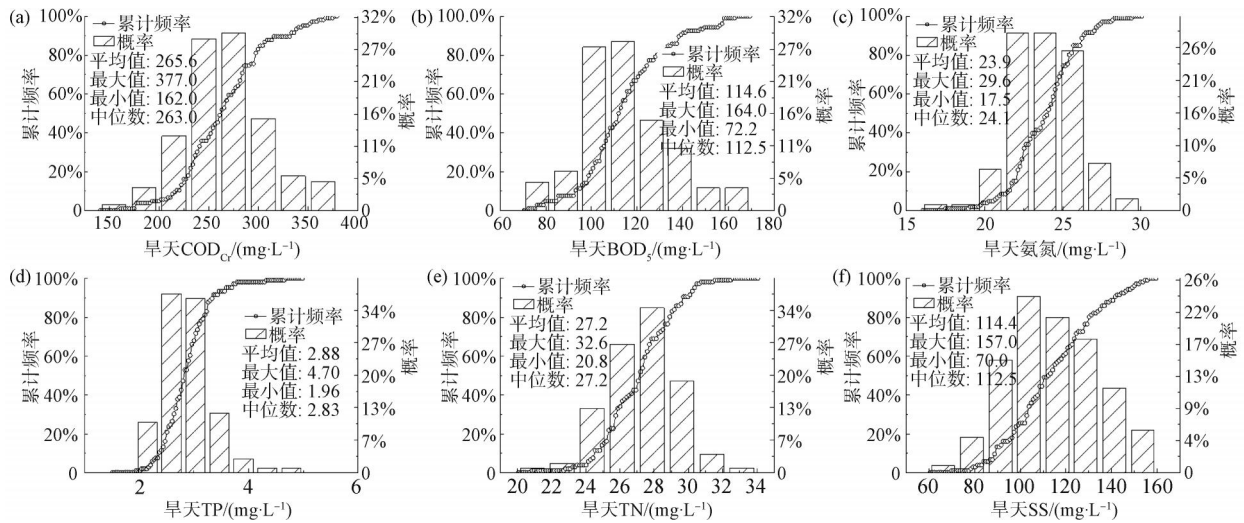


图 5 旱天进水指标频率分布

Fig. 5 Frequency Distribution of Influent Quality Indices in Dry Days

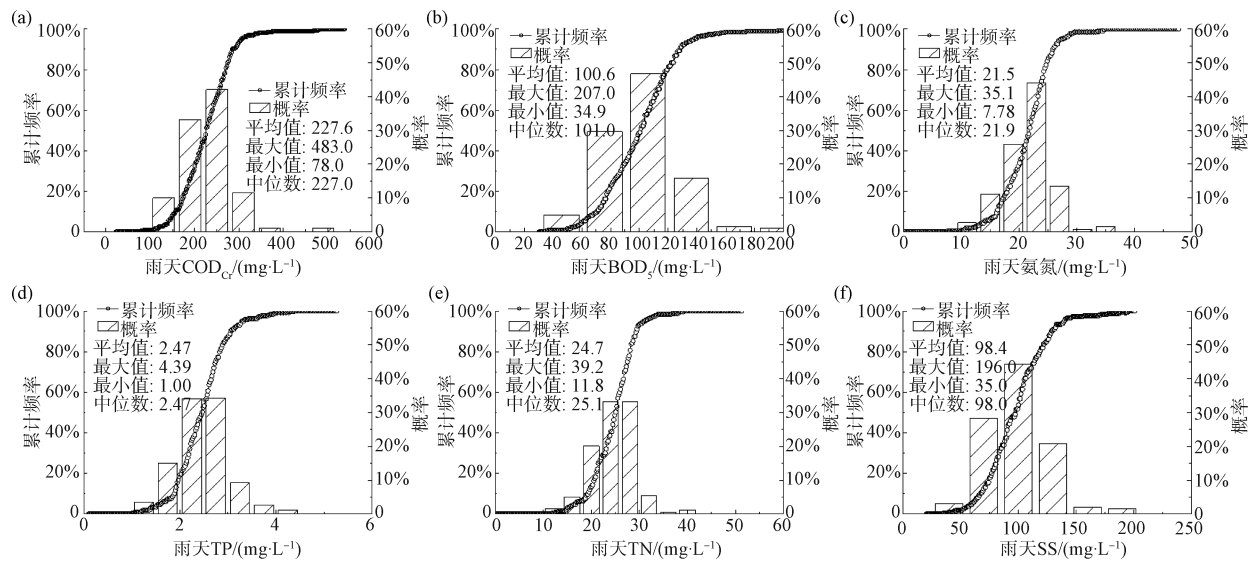


图 6 雨天进水指标频率分布

Fig. 6 Frequency Distribution of Influent Quality Indices in Rainy Days

其中,旱天各污染物的实测值变化范围较雨天变化范围窄,同时各实测值在各区间范围的频率分布相比雨天变化差别较小,相邻频率所占比例变化趋势较缓。除 TP 之外各污染物指标的极值均出现在雨天,其中,雨天 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN、SS 最大值分别比旱天相应的极值高约 28.1%、26.2%、18.6%、20.3%、24.8%,而旱天 TP 最大值较雨天最大值约高 7.06%。雨天 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP、TN、SS 变动范围也较旱天分别高约 88.4%、87.5%、

125.8%、23.7%、132.2%、85.1%。旱天 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP、TN、SS 各指标污染物主要频率分布在 215.0 ~ 320.0 mg/L 的占比 84.9%、101.25 ~ 145.0 mg/L 的占比 81.1%、22.1 ~ 26.5 mg/L 的占比 82.1%、2.16 ~ 3.69 mg/L 的占比 95.3%、24.4 ~ 30.5 mg/L 的占比 92.5%、91.3 ~ 147.5 mg/L 的占比 88.7%;雨天 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP、TN、SS 各指标污染物主要频率分布在 130.0 ~ 340.0 mg/L 的占比 96.9%、76.0 ~ 151.0 mg/L 的占比 92.3%、15.0 ~

29.0 mg/L 的占比 94.6%、1.75~3.00 mg/L 的占比 83.4%、20.0~30.0 mg/L 的占比 86.5%、40.0~145.0 mg/L 的占比 93.4%。旱天各污染物 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP、TN、SS 平均值较雨天的对应污染物浓度平均值分别高约 16.7%、13.9%、11.5%、16.8%、9.91%、16.2%。通过统计数据结果可以得出,雨天期间进水各进水污染物浓度变化范围较大且呈现出极值更大,主要是由于该片区多为合流制管网雨天受初期雨水对地面和管道沉积物冲刷的影

响,造成进厂各污染物浓度会出现短时间的高值,后续随着降雨时间延长,进水浓度逐步降低,而旱天进水浓度相对雨天平均值偏高,通过分析旱天、雨天的各污染物浓度特征,对污水处理厂不同特征天条件下工艺运行调控具有指导意义。

### 3.2.2 雨天、旱天进水营养物比例特征

通过对全年雨天、旱天营养物比例进行统计分析并绘制成图,结果如图 7 所示。

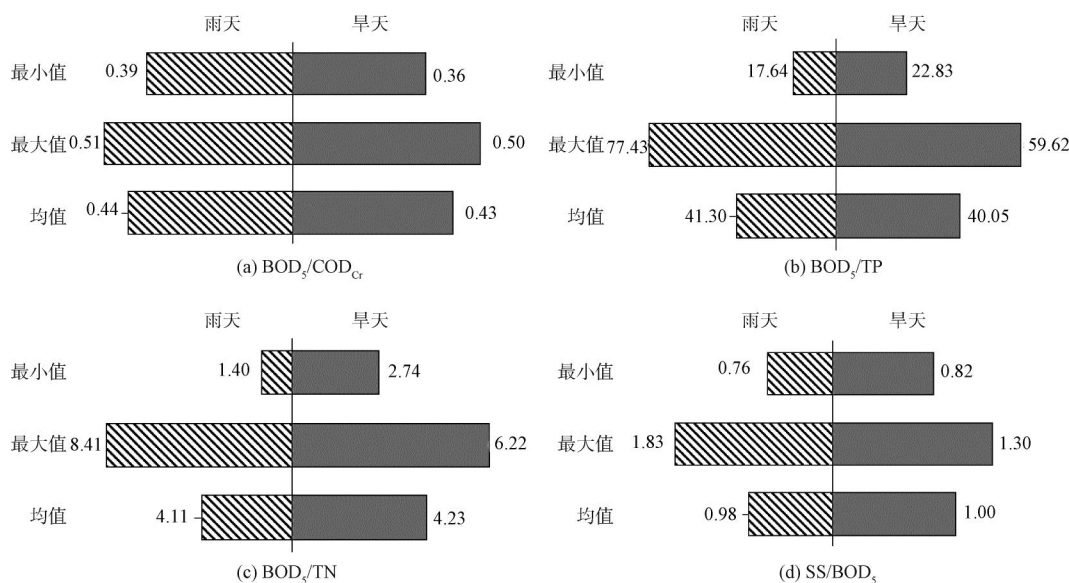


图 7 雨天、旱天营养物比例对比

Fig. 7 Comparison of Nutrient Proportions in Rainy and Dry Days

由图 7 可知,雨天 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 均值、最大值、最小值均高于旱天;雨天 BOD<sub>5</sub>/TN 最大值较旱天偏大,均值和最小值均低于旱天;雨天 BOD<sub>5</sub>/TP 均值、最大值均高于旱天,而最小值低于旱天;雨天 SS/BOD<sub>5</sub> 最大值高于旱天,均值、最小值均低于旱天;雨天 BOD<sub>5</sub>/TN、BOD<sub>5</sub>/TP、SS/BOD<sub>5</sub> 数值的波动范围均大于旱天,而雨天 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub> 数值的波动范围较早天小。整体来看,各营养物比例除雨天、旱天的最小值差别较大外,其他雨天、旱天均值、最大值幅度变化幅度较小。

### 3.2.3 不同季节水质变化情况

通过对全年水质数据按照季节整理统计后绘制成图,如图 8 所示。

由图 8 可知,进水 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS 污染物浓度随季节变化趋势基本相似,其中春季浓度最高,其次是秋季、冬季,夏季进水浓度最低;氨氮、TN 和 TP

营养盐浓度随不同季节变化幅度较小,没有明显规律。进水各营养物质比例由于受不同季节进水浓度的影响,BOD<sub>5</sub>/TN 随季节变化较大,其中夏季比例最低,春、秋、冬季节比例差别较小,BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>/TP、SS/BOD<sub>5</sub> 两者因各自的污染物浓度随季节变化趋势相近,故各自比值较接近。

### 3.2.4 不同日期类型水质变化情况

#### (1) 进水各污染物水质特征统计分析

不同日期类型条件下各污染物水质特征如表 3 所示。周末期间 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、SS 水质浓度略低于非周末;周末期间氨氮、TP、TN 水质浓度略高于非周末。有机物质和悬浮物质的浓度与营养盐类物质的浓度成相反的趋势,但总体上周末和工作日水质浓度偏差较小。该年度节假日期间进水浓度均低于非节假日进水浓度,主要与城区居民生活习惯有关。结合每日进水浓度数据来看,春节期间进水浓度相



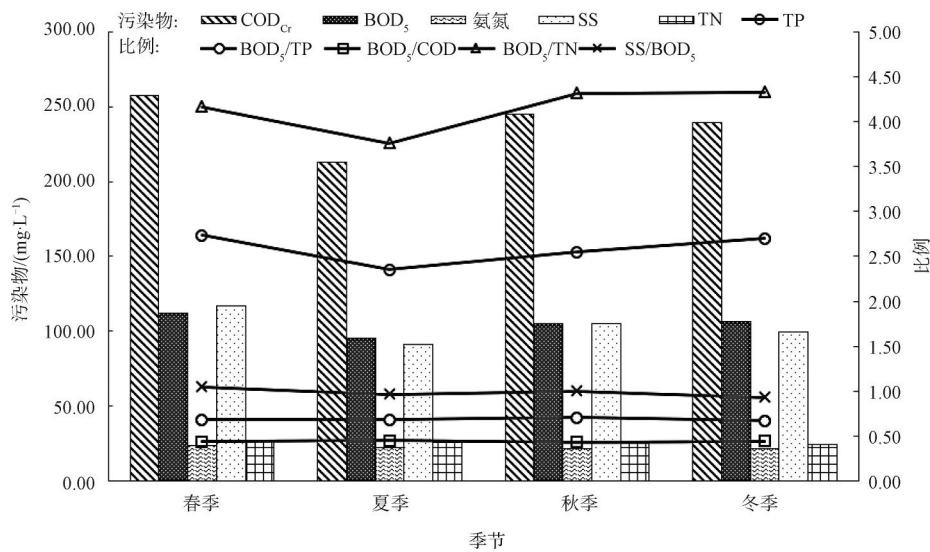


图 8 不同季节各水质指标和营养盐比例关系

Fig. 8 Relationship of Water Quality Indices and Nutrient Ratios in Different Seasons

表 3 不同日期类型各污染物水质特征统计

Tab. 3 Statistics of Water Quality Characteristics of Pollutants in Different Date Types

项目	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	氨氮	TP	SS	TN
周末/(mg·L <sup>-1</sup> )	236.24	104.17	22.18	2.63	101.30	25.47
非周末/(mg·L <sup>-1</sup> )	239.64	104.89	22.15	2.57	103.78	25.40
相对偏差	-1.42%	-0.68%	0.14%	2.19%	-2.39%	0.28%
节假日/(mg·L <sup>-1</sup> )	205.44	91.52	19.38	2.44	84.22	22.36
非节假日/(mg·L <sup>-1</sup> )	240.39	105.36	22.31	2.59	104.05	25.57
相对偏差	-14.54%	-13.14%	-13.13%	-5.76%	-19.06%	-12.59%

对较低,而五一期间因为进入雨季进水浓度也相对偏低,造成节假日相对非节假日浓度偏低。不同日期类型条件下,进水有机物质和 SS 的浓度相对偏差高于营养盐类污染物。

(2) 进水营养比例统计分析

不同日期类型条件下各营养盐比例,如表 4 所示。

表 4 不同日期类型各营养盐比例统计

Tab. 4 Statistics of Nutrient Ratios of Different Date Types

项目	BOD <sub>5</sub> /COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub> /TN	BOD <sub>5</sub> /TP	SS/BOD <sub>5</sub>
周末	0.44	4.11	40.09	0.91
非周末	0.44	4.16	41.27	0.99
相对偏差	0.75%	-1.33%	-2.87%	-8.48%
节假日	0.45	4.17	41.25	0.92
非节假日	0.44	4.14	40.92	0.99
相对偏差	1.62%	0.61%	0.82%	-6.78%

由表 4 可知,周末期间 BOD<sub>5</sub>/TN、BOD<sub>5</sub>/TP、SS/BOD<sub>5</sub> 均低于非周末;节假日期间 BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>/TN、BOD<sub>5</sub>/TP 均高于非节假日,而节假日期间 SS/BOD<sub>5</sub> 低于非节假日;不同日期类型条件下,BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>/TN、BOD<sub>5</sub>/TP 相对偏差较小,但 SS/BOD<sub>5</sub> 偏差较大。

4 结论

基于上文对 2021 年度进水水质特性数据进行全面的统计分析,得出下列观点。

(1) 2021 年是上海市《城镇污水处理提质增效三年行动实施方案(2019—2021 年)》的最后一年,但是通过对比 2021 年白龙港片区污水处理厂进水浓度实际值与设计值,发现进水各指标浓度与设计值仍旧存在较大差距。建议未来继续大力推进白龙港片区提质增效方案,全面排查白龙港片区输送管网,摸清家底,加强管网改造,发现管网错接,渗漏、

破损、河水倒灌等管道异常问题,及时处理,既要完善白龙港片区输水管网收集污水的量,更要注重收集污水的质。同时,建议水务部门把污水处理厂特定指标的进水浓度年度增长率纳入对排水单位的绩效考核内容。

(2)通过上文对旱天和雨天水质浓度对比,得出旱天各污染物浓度均值高于雨天,而雨天各污染物变化幅度较大,6月—9月各污染物进水浓度低于其他月份。 $BOD_5/COD_{Cr}$  年均值为 0.44,  $BOD_5/TN$  随季节变化浮动较大,其中夏季比值最低。由此可知,白龙港片区污水水质可生化性一般,且全年存在近 1/3 的天数  $BOD_5/TN$  存在偏低的问题,主要原因是白龙港片区收水范围较大、排水管线较长,污水处理厂的来水经过长距离输送,部分快速降解的有机物质在管网内被消耗。为此,建议上游排水输送单位,优化管网的排水调度和泵站抽升运行模式,尽量缩短在夜间或早上低水量期间,污水在管网的滞留时间和运行液位。上海中心城区污水收集和输送配套设施相对完善,因此,建议在适当的区域开展取消化粪池的试点,进一步提升污水管网内有机物浓度。同时,片区污水处理厂需要设置碳源投加系统,必要时需投加碳源,保证氮磷的有效去除。

(3)通过对各指标周末和非周末、节假日和非节假日期间进水浓度的对比,发现周末期间各进水浓度整体偏差较小,各指标节假日期间进水浓度均低于非节假日进水浓度,周末和非周末期间  $BOD_5/COD_{Cr}$ 、 $BOD_5/TN$ 、 $BOD_5/TP$  营养比例偏差较小,  $SS/BOD_5$  比例偏差较大。因此,建议污水处理厂节假日期间,关注进水浓度,根据进水浓度情况来动态调整运行参数。

(4)通过对 2021 年白龙港片区的全年进水特性的详细分析,其分析成果进一步用于指导污水处理工艺优化运行和实现精细化调度。针对不同季节进厂污染物的动态变化规律,采取精细化曝气调整,既有利于节能减耗,又可以防止活性污泥老化造成的出水水质波动。尤其是 6 月—9 月,进水低浓度期间,保持较低的污泥浓度,适当提升生物系统负荷,增加生物处理水量,进一步降低用电、用药单耗和年度水量考核指标。针对上游部分时段碳源不足时,污水处理厂可以采取超越初沉池的策略,充分保证生物系统脱氮除磷所需的碳源;同时建议增加过程水质在线仪表,尤其是过程氨氮和硝酸盐类仪表,

通过在线进水浓度和过程出水浓度数值动态调整内外回流比和曝气量,应对水质突变。

## 参考文献

- [1] 王洪臣, 杨向平. 城市污水处理厂运行控制与维护管理 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.  
WANG H C, YANG X P. Urban sewage treatment plant operation control and maintenance management [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [2] 上海市水务局. 上海市污水处理系统专业规划 [EB/OL]. (2004-04-01) [2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/ghjh/20200813/2a840e1087344b91892334910178e44a.html>.  
Shanghai Water Authority. Shanghai sewage treatment system professional planning [EB/OL]. (2004-04-01) [2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/ghjh/20200813/2a840e1087344b91892334910178e44a.html>.
- [3] 上海市水务局. 上海市水务局关于印发《上海市排水“十四五”规划》的通知 [EB/OL]. (2021-11-12) [2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/ghjh/20211118/b66a1a7e231d4c1f8369ffa7790f8925.html>.  
Shanghai Water Authority. Notice of Shanghai municipal water bureau on printing and distributing the 14th five-year plan for drainage of Shanghai municipality [EB/OL]. (2021-11-12) [2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/ghjh/20211118/b66a1a7e231d4c1f8369ffa7790f8925.html>.
- [4] 上海市水务局, 上海市规划和自然资源局. 上海市污水处理系统及污泥处理处置规划(2017—2035年) [EB/OL]. (2020-09-10) [2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/ghjhua/20200910/96beb2c280074c179a0a1f2a23d0f15a.html>.  
Shanghai Water Authority, Shanghai Bureau of Planning and Natural Resources. Shanghai municipal sewage treatment system and sludge treatment and disposal plan (2017—2035) [EB/OL]. (2020-09-10) [2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/ghjhua/20200910/96beb2c280074c179a0a1f2a23d0f15a.html>.
- [5] 肖剑波, 卢培利, 张文阁, 等. 城市污水处理厂进水规律表征与模型校核 [J]. 环境工程学报, 2016, 10(8): 4245-4250.  
XIAO J B, LU P L, ZHANG W G, et al. Characterization of municipal WWTP influent pattern and model verification [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(8): 4245-4250.
- [6] 鞠兴华, 王社平, 彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 48-51.  
JU X H, WANG S P, PENG D C. Determination methodology for design influent quality of municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(14): 48-51.
- [7] 静贺, 邱勇, 沈童刚, 等. 城市污水处理厂进水动态特性及其影响研究 [J]. 给水排水, 2010, 36(8): 35-38.  
JING H, QIU Y, SHEN T G, et al. Study on dynamic characteristics and influence of influent in urban sewage treatment

- plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2010, 36(8): 35-38.
- [ 8 ] 孙艳, 张逢, 胡洪营, 等. 上海市污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J]. *环境工程学报*, 2014, 8(12): 5167-5173.
- SUN Y, ZHANG F, HONG H Y, et al. Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Shanghai, China[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2014, 8(12): 5167-5173.
- [ 9 ] GANIGUE R, VOLCKE E I P, PUIG S, et al. Impact of influent characteristics on a partial nitrification SBR treating high nitrogen loaded wastewater[J]. *Bioresource Technology*, 2012, 111(10): 62-69.
- [ 10 ] 段连钧, 谷兆全, 乔蕴红, 等. 包头市北郊水质净化厂的进水水质特征及影响因素[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(15): 75-78.
- DUAN L J, GU Z Q, QIAO Y H, et al. Wastewater characteristics and effect factor of Beijiao WWTP in Baotou City [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(15): 75-78.
- [ 11 ] 郭泓利, 李鑫玮, 任钦毅, 等. 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 H L, LI X W, REN Q Y, et al. Analysis on characteristics of influent water quality of typical municipal sewage treatment plants in China [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018, 44(6): 12-15.
- [ 12 ] 上海市水务局. 上海市水务局关于白龙港污水区域污水系统完善规划行业意见的通知[EB/OL]. (2021-11-09)[2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/swyw/20211112/be519d9fa395460092ee05d84def2ace.html>.
- Shanghai Water Authority. Notice of Shanghai municipal water authority on the improvement planning of Bailonggang sewage area sewage system [EB/OL]. (2021-11-09)[2022-08-30]. <http://swj.sh.gov.cn/swyw/20211112/be519d9fa395460092ee05d84def2ace.html>.
- [ 13 ] 邹吕熙, 李怀波, 郑凯凯, 等. 太湖流域城镇污水处理厂进水水质特征分析[J]. *给水排水*, 2019, 45(7): 39-45.
- ZOU L X, LI H B, ZHENG K K, et al. Analysis on the characteristics of influent water quality from wastewater treatment plants in Taihu Basin [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45(7): 39-45.
- [ 14 ] 魏源源, 张杰, 唐建国. 城镇排水管道混接调查及治理技术研究及要点解析[J]. *给水排水*, 2022, 48(8): 123-127.
- WEI Y Y, ZHANG J, TANG J G. Analysis of key points in technical specification for investigation and elimination of illicit discharges of municipal drainage pipes[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2022, 48(8): 123-127.
- [ 15 ] 徐尚玲. 城市排水管道沉积物径流冲刷污染效应的研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2013.
- XU S L. Researching on pollution load of overflow in combined drainage channels in runoff scouring [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2013.
- [ 16 ] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程[M]. 4版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- ZHANG Z J, LIN R C, JIN R L. *Wastewater engineering*[M]. 4th ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.
- [ 17 ] 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- ZHENG X C, LI Y X. *Wastewater phosphorus and nitrogen removal technology*[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998.
- [ 18 ] 姚伟涛, 肖社明, 张永祥. 改良 Bardenpho 工艺处理低 BOD<sub>5</sub>/TN 混合污水工程[J]. *中国给水排水*, 2018, 34(14): 67-70.
- YAO W T, XIAO S M, ZHANG Y X. Project design of modified Bardenpho process for treatment of low BOD<sub>5</sub>/TN mixed wastewater [J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(14): 67-70.
- [ 19 ] 孙迎雪, 马磊, 吴光学, 等. 昆明市合流制排水区域污水处理厂进水水质特征分析[J]. *给水排水*, 2013, 39(3): 135-139.
- SUN Y X, MA L, WU G X, et al. Analysis on the influent characteristics of a municipal WWTP in Kunming[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2013, 39(3): 135-139.
- [ 20 ] 韦启信, 郑兴灿. 污水悬浮固体组分对活性污泥产率的影响及计算方法[J]. *中国给水排水*, 2013, 29(18): 1-6.
- WEI Q X, ZHENG X C. Calculation methods of activated sludge yield and impact of influent suspended solids in municipal wastewater treatment systems[J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(18): 1-6.
- [ 21 ] 王晓昌, 金鹏康, 赵红梅, 等. 城市生活污水中的污染物分类及处理性评价[J]. *给水排水*, 2004, 30(9): 38-41.
- WANG X C, JIN P K, ZHAO H M, et al. Classification of contaminants and treatability evaluation of domestic wastewater [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2004, 30(9): 38-41.