

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.15.015

南方城市污水处理厂低浓度进水水质特征分析

王 湘¹, 徐菡玲¹, 陈积义¹, 陈 圆¹, 潘兆宇¹, 吴未红¹,
方 兴¹, 马晶伟²

(1. 湖南省建筑设计院集团股份有限公司, 湖南 长沙 410006; 2. 湖南大学 土木工程
学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 为了了解南方典型城市污水处理厂的进水水质特征,对南方某城市16座污水处理厂近8年的进水水量和水质数据进行了系统分析。结果表明,2015年1月—2023年3月,污水处理厂进水COD、SS、NH₃-N、TN和TP浓度年均值整体呈上升趋势,而进水BOD₅浓度年均值的变化不大,均未超过100 mg/L。以2019年污水处理厂进水水质数据为样本,BOD₅、COD、SS、NH₃-N、TN和TP浓度均呈正偏态分布,累积概率分布较高范围分别为40~160、100~350、50~300、6~21、15~33、1.5~6.5 mg/L。对进水指标比值进行统计分析发现,污水可生化性较好,可满足生物除磷需求,但存在反硝化碳源不足的问题,而且受到工业废水接入的影响。该市污水处理厂除进水SS均值略高于全国的统计数据外,其他指标均值均低于或接近全国的统计数据;进水浓度偏低的主要原因有生活污水浓度低,雨水、外水和工业废水的接入,化粪池对污染物的去除,污染物在排水管网中的沉积和降解等,可采取相应措施提高进水浓度,保证出水水质稳定达标。

关键词: 污水处理厂; 低浓度进水水质; BOD₅浓度; 多元统计分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)15-0101-07

Characteristics of Low Concentration Influent Quality in Municipal Wastewater Treatment Plants in a Southern City

WANG Xiang¹, XU Han-ling¹, CHEN Ji-yi¹, CHEN Yuan¹, PAN Zhao-yu¹,
WU Wei-hong¹, FANG Xing¹, MA Jing-wei²

(1. Hunan Architectural Design Institute Group Co. Ltd., Changsha 410006, China; 2. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A systematic analysis was conducted on the data pertaining to both the influent quantity and quality of 16 wastewater treatment plants (WWTPs) in a southern city over the past 8 years, so as to comprehend the characteristics of influent quality at WWTPs in southern China. From January 2015 to March 2023, the average COD, SS, NH₃-N, TN and TP in influent of WWTPs exhibited a general increasing trend, while the average BOD₅ in influent showed minimal interannual variation and remained below 100 mg/L. Based on the influent quality data from WWTPs in 2019, the BOD₅, COD, SS, NH₃-N, TN and TP concentrations were found to exhibit positive skewness, and the ranges with higher cumulative probability distribution were 40–160 mg/L, 100–350 mg/L, 50–300 mg/L, 6–21 mg/L, 15–33 mg/L, 1.5–6.5 mg/L, respectively. The statistical analysis of the ratio of influent indicators indicated that the

wastewater exhibited favorable biodegradability and was capable of satisfying the requirements for biological phosphorus removal. However, it faced challenges related to insufficient denitrification carbon sources and susceptibility to collected industrial wastewater. The average influent SS of WWTPs in this city slightly exceeded the national statistical data, while the averages of other indicators were lower than or close to the national statistical data. The primary factors contributing to the low influent concentration included the low concentration of domestic sewage, infiltration of rainwater and external water, mixing of industrial wastewater, pollutants removal by septic tank, as well as the deposition and degradation of pollutants in the drainage network. Corresponding measures could be implemented to enhance the influent concentration and ensure consistent effluent quality.

Key words: wastewater treatment plant; low concentration influent quality; BOD₅ concentration; multivariate statistical analysis

2019年发布的《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》要求进水BOD₅浓度低于100 mg/L的城市污水处理厂,要围绕服务片区管网制定“一厂一策”系统化整治方案^[1]。同年,湖南省出台了《湖南省县以上城市污水治理提质增效三年行动工作方案》,提出BOD₅浓度在2018年的基础上提升30%,县级城市生活污水收集率在2018年的基础上提高12个百分点等要求。2022年发布的《深入打好城市黑臭水体治理攻坚战实施方案》进一步提出城市生活污水进水BOD₅浓度高于100 mg/L的污水处理规模达到90%以上的要求。目前,湖南省一些污水处理厂的设计进水水质与实际进水水质存在较大差异,主要体现在实际进水有机物浓度偏低,一定程度上降低了污水处理工艺的脱氮除磷能力,影响生化系统的正常运行。因此,只有准确掌握污水处理厂的进水水质特性,才能科学选择污水处理工艺、合理确定工艺设备和灵活调整工艺运行方式,以实现预期的污水处理目标。

笔者以南方某城市16座污水处理厂的进水量和水质数据为研究对象,分析了进水BOD₅、COD、SS、NH₃-N、TN和TP在年际和年内的变化规律,及各指标比值的概率分布,并分析了进水BOD₅浓度低的原因,进一步提出了改进措施,以期对已建污水处理厂运行效果的提高及新建污水处理厂设计进水水质的确定提供参考。

1 研究方法

南方某城市16座污水处理厂目前的设计规模共计317×10⁴ m³/d,具体如下:XH污水处理厂,设计规模为14×10⁴ m³/d,负荷率为89.88%;JX污水处理

厂,设计规模为18×10⁴ m³/d,负荷率为69.28%;CSY污水处理厂,设计规模为36×10⁴ m³/d,负荷率为87.53%;XKP污水处理厂,设计规模为19×10⁴ m³/d,负荷率为63.14%;HQ水质净化厂,设计规模为36×10⁴ m³/d,负荷率为113.20%;WC污水处理厂,设计规模为12×10⁴ m³/d,负荷率为90.75%;CB污水处理厂一期,设计规模为14×10⁴ m³/d,负荷率为99.87%;KF污水处理厂,设计规模为45×10⁴ m³/d,负荷率为63.14%;YL污水处理厂,设计规模为60×10⁴ m³/d,负荷率为75.19%;CN污水处理厂一期,设计规模为14×10⁴ m³/d,负荷率为80.54%;XS污水处理厂,设计规模为18×10⁴ m³/d,负荷率为88.74%;YH再生水厂,设计规模为4×10⁴ m³/d,负荷率为115.14%;XG水质净化厂,设计规模为5×10⁴ m³/d,负荷率为85.19%;MY污水处理厂,设计规模为8×10⁴ m³/d,负荷率为97.49%;YUH污水处理厂,设计规模为6×10⁴ m³/d,负荷率为77.90%;YH再生水厂二期,设计规模为8×10⁴ m³/d,负荷率为115.14%。本研究主要分析污水处理厂的进水量和水质监测值,数据由各污水处理厂提供,采用SPSS19.0软件对数据进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 进水量和水质的年际变化

因XH污水处理厂在2015年—2016年停产施工改造,XG水质净化厂、MY污水处理厂、YUH污水处理厂和YH再生水厂二期在2019年前未全部建成,这5座污水处理厂在2019年以前的数据缺失,因此2015年—2018年的污水月处理量及进水水质数据来自其余11座污水处理厂,2019年—2023年3

月的数据来自 16 座污水处理厂。对水量和水质数据进行统计分析,其年均值见图 1。

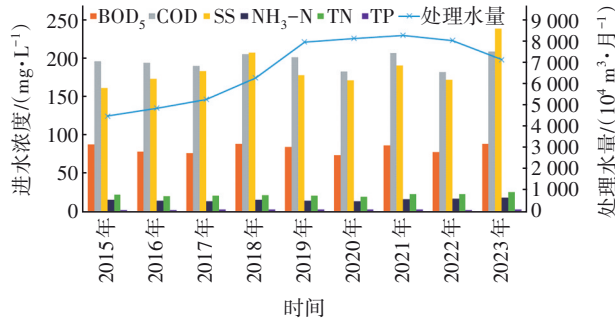


图 1 近 8 年污水月处理量及水质数据均值

Fig.1 Average monthly sewage treatment capacity and water quality data in recent 8 years

从图 1 可以看出,在水量方面,2015 年—2020 年期间污水厂的处理水量呈现逐年上升的趋势,在 2020 年后增速放缓,在 2022 年有所下降,可能与 2020 年 1 月暴发新型冠状病毒疫情后采取的降低人口流动、工业企业临时停工停产的防控措施有关。在水质方面,从 2015 年 1 月—2023 年 3 月,进水 COD、SS、NH₃-N、TN 和 TP 浓度年均值整体呈波动上升趋势;而进水 BOD₅ 浓度年均值的变化不大,在 73.8~89.0 mg/L 之间,均未超过 100 mg/L。

污水处理厂进水水量和水质的变化不仅与污水收集管网的建设完善程度有关,也与多雨的南方城市的降水量密切相关。根据统计年鉴,2019 年该市年均降水量为 1 440.3 mm,较 2018 年增加 11.1%,导致 2019 年污水处理厂的进水负荷相应下降,因此各项水质指标均值在当年均呈现降低趋势;2020 年平均降水量为 1 503.6 mm,比 2019 年增加 4.4%,同时受 2020 年暴发的新冠疫情的影响,除 TP 外,2020 年各项进水水质指标均进一步降低。

2.2 进水水量和水质的年内变化

2.2.1 进水水量和水质的逐月变化

2020 年—2022 年新冠疫情的管控措施和消毒手段对污水处理厂进水水量和水质均有不同程度的影响^[2],故选取疫情前的 2019 年该市各污水处理厂进水水质数据进行统计分析。经过 Shapiro-Wilk 检验,各水质指标的显著性水平 Sig 均小于 0.05,说明各指标不服从正态分布;偏度和峰度均大于 0,表明各指标均呈正偏态分布,与孙艳等人^[3]的研究结果一致。图 2 列出了 2019 年月处理污水量及进水浓度月中间值的统计结果。

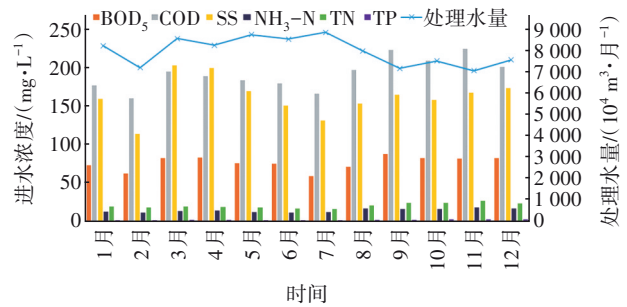


图 2 月处理污水量及进水水质指标月中间值(2019 年)

Fig.2 Monthly sewage treatment capacity and monthly median of influent quality indicators (2019)

2.2.2 进水水质指标统计分析

2019 年污水厂进水 BOD₅、COD、SS、NH₃-N、TN 和 TP 浓度的概率分布见图 3。

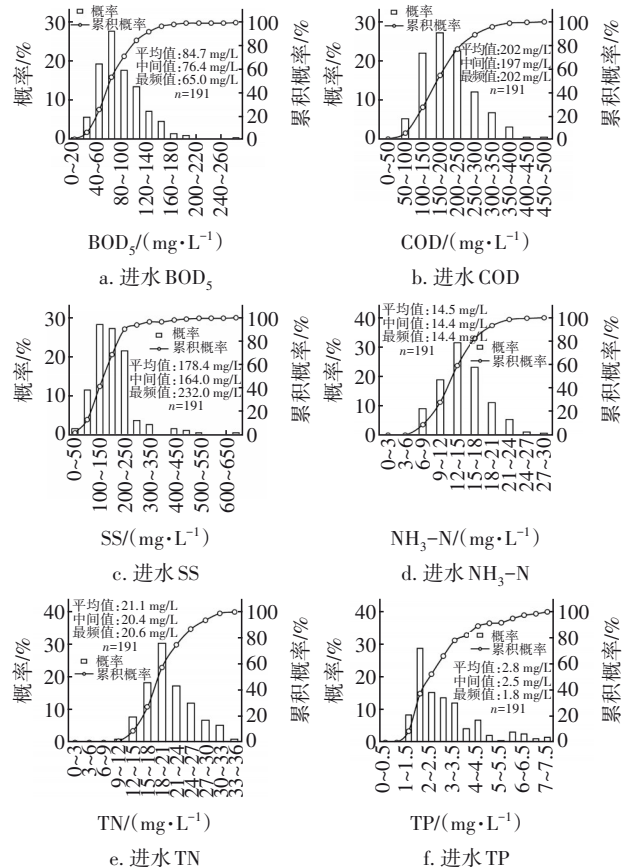


图 3 各进水水质指标的概率分布

Fig.3 Probability distribution of various influent quality indicators

BOD₅ 浓度各月中间值分布在 59.4~88.2 mg/L,波动范围不大。该市 5 月—7 月为雨季,此时段的 BOD₅ 浓度均值为 72.6 mg/L,比其余 9 个月的均值(88.8 mg/L)低 18.27%。从概率分布图可以看出,进水 BOD₅ 平均值为 84.7 mg/L,比《中国城镇水务行

业年度发展报告(2020)》中2019年湖南省进水BOD₅浓度均值(70.24 mg/L)略高,但仍处于全国较低水平。进水BOD₅浓度概率分布较高的范围在40~160 mg/L,累积概率为90.6%。COD、SS、NH₃-N、TN和TP浓度的变化趋势与BOD₅浓度类似。

城市污水处理厂的设计水质一般可采用85%~95%的保证率^[3],取各水质指标在85%~95%的累积概率分布范围为概率分布较高的范围,BOD₅、COD、SS、NH₃-N、TN和TP浓度范围分别是40~160、100~350、50~300、6~21、15~33和1.5~6.5 mg/L,对应的累积概率分别为90.6%、90.6%、92.2%、93.2%、90.1%和89.0%,通过对实际进水数据进行概率统计分析可以较合理地确定设计值。

2.2.3 进水水质指标比值统计分析

2019年污水处理厂进水BOD₅/COD、BOD₅/TN、BOD₅/TP和SS/BOD₅值的概率分布见图4。

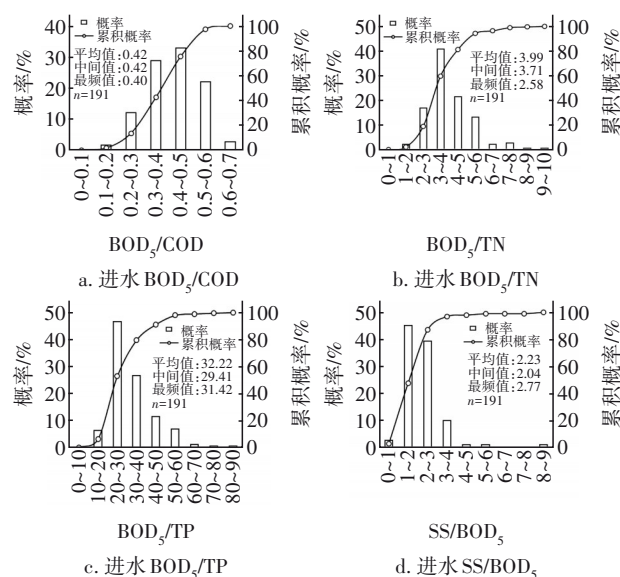


图4 各进水水质指标比值的概率分布

Fig.4 Probability distribution of ratios of various influent quality indicators

进水BOD₅/COD体现污水中可生物降解的有机物占总有机物的比例,常用于评价污水的可生化性,当0.4<BOD₅/COD<0.6时,污水适合生物处理。如图4所示,进水BOD₅/COD在0.4~0.6之间的累积概率为55.0%,说明该市污水可生化性较好。BOD₅/TN可以用于判断污水中的碳源含量,一般情况下,当污水的BOD₅/TN>4时,可以达到理想的脱氮效果。图4显示,BOD₅/TN<4的累积概率为59.7%,表明进水存在反硝化碳源不足的问题。BOD₅/TP是评

价生物除磷可行性的主要指标,一般有效生物除磷的要求为BOD₅/TP>20。由图4可知,BOD₅/TP>20的累积概率为93.7%,表明在大多数情况下,进水满足生物除磷要求。SS/BOD₅值高与工业废水接入城镇污水处理厂有关。目前我国城市污水处理厂进水SS/BOD₅>2.0和在1.4~2.0之间的比例分别为32%和16%^[4],其中相当一部分污水SS/BOD₅值高与进水SS浓度高有关^[5]。如图4所示,SS/BOD₅的平均值为2.23,最大值甚至达到8.30,SS/BOD₅>2.0的累积概率为52.4%,在1.4~2.0之间的累积概率为38.2%,表明该市污水处理厂进水受到工业废水接入的影响。

2.3 污水处理厂进水浓度低的原因解析

2.3.1 本研究城市进水水质与其他地区的对比

将2019年本研究城市16座污水处理厂的进水水质平均值与其他地区进行对比,结果见表1。

表1 南方某市污水厂进水浓度均值与其他地区的比较

Tab.1 Comparison of the average influent concentration in municipal wastewater treatment plants between a southern city and other areas

项目	污水厂数量/座	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)
全国 ^[6]	127	81.6	219.9	148.5	22.8	30.4	3.7
江苏省 ^[5]	62	95.1	244.0	150.0	22.5	30.7	3.3
上海市 ^[3]	50	131.3	300.2	174.6	24.0	35.1	4.9
天津市 ^[7]	24	125.2	334.5	162.6	26.0	33.6	4.2
广东省 ^[8]	356	65.0	159.0		16.0	23.0	2.9
广州市 ^[9]	10	98.6	182.8		17.5		
本研究城市	16	84.7	202.0	178.4	14.5	21.0	2.8

从表1可以看出,除进水SS外,上海市和天津市的进水BOD₅、COD、NH₃-N、TN、TP平均值均高于江苏省、广东省、广州市和本研究城市,这可能是由于上海市的排水管网密度大、污水收集系统相对完善^[2],位于北方的天津市年降雨量较少导致进水浓度较高,而位于南方的江苏省、广东省、广州市和本研究城市,由于地区因素及纳污管网建设不完善等原因^[10],导致污水处理厂进水浓度普遍偏低。本研

究城市的进水 BOD_5 和 COD 与全国的统计数据接近且高于邻近的广东省,SS 平均值高于全国的统计数据, NH_3-N 、TN、TP 平均值均低于全国的统计数据且与广东省接近。

2.3.2 进水浓度偏低的原因分析

通过上述分析可知,本研究城市的进水浓度,除 SS 外,其他指标均偏低。以进水 BOD_5 为例,本研究城市污水处理厂进水浓度偏低的原因分析如下:

① 居民排水习惯。本研究城市为典型的南方城市,属于亚热带季风气候,四季分明、雨热同期,雨季普遍在 5 月—7 月,气温升高且伴随着降水量及居民洗澡、洗衣等低浓度用水的增多,该时段进入污水管网的水量大大增加,且这部分生活污水有机物浓度较低,据文献报道这类污水的 BOD_5 约为 60 mg/L ^[11],导致污水厂进水有机物浓度降低。

② 雨污分流不彻底。本研究城市的污水管网新建、改造工作虽然一直在进行,但由于老旧城区排水管网改造困难,导致大量雨水进入合流制排水管网,使得污水处理厂进水 BOD_5 浓度被稀释而降低。

③ 外水入渗。该城市地表水、地下水资源丰富,且地下水位较高,由于部分污水管网在运行中出现破裂、渗漏、错口等情况,导致地下水、河湖水易渗入或流入排水管网内,使得污水被稀释^[12]。

④ 工业废水接入。工业废水往往水量较大,但经过处理后污染物浓度达标甚至很低,排入城市排水管网后会导致 BOD_5 浓度降低^[5]。

⑤ 化粪池对污染物的去除。化粪池是城市污水收集系统重要的源头,据蒙语桦^[13]对湖南省城市和农村化粪池进出水水质的检测分析,发现去除效果最好的三格化粪池对 COD 的平均去除率大约在 50%~70% 之间,对 BOD_5 的平均去除率大约在 40%~70% 之间,从而导致污水处理厂进水 BOD_5 浓度降低。但也有报道我国部分小区化粪池因为很少清掏,基本不具备污染物沉淀去除的功效^[14],因此化粪池对进水 BOD_5 浓度的影响还有待研究。

⑥ 污染物在排水管网中的沉积和降解。设计时通常为安全起见,计算水量较大,选择管径较大,但实际运行时水量达不到设计值,导致实际水流速度较低,有机污染物等随着 SS 沉积在管道中,由于管道里的缺氧环境而发生厌氧水解,使得污染物被降解,从而导致污水处理厂进水浓度偏低。以

2022 年为例,总降水量为 $1\,338.8\text{ mm}$,相比常年减少约 8%,其中 1 月—7 月的降水量占全年的 90%,而 8 月—12 月仅占 10%。下半年的干旱天气导致污水管道水流速度较慢,使得污染物在排水管网中沉积并进行厌氧水解,这可能是导致 2022 年污水处理厂进水 BOD_5 、COD 等浓度偏低的主要原因。而随着 2023 年降水量的增加,道路表面和管道中的沉积物被冲刷出来,转输至污水处理厂,导致 2023 年的进水浓度尤其是 BOD_5 、COD、SS 浓度相比 2022 年大幅升高。

2.3.3 可采取的措施

针对污水处理厂进水浓度偏低的问题,为了保证出水水质的稳定达标,可采取以下措施:

① 政府增大节水宣传力度、推广节水器具、提倡一水多用,提高居民节水意识。

② 根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),现有合流制排水系统应按城镇排水规划的要求,经方案比较后实施雨污分流改造^[15];新建地区的排水系统应采用分流制。因此,本研究城市应继续加快推进雨污分流改造工作。

③ 加强管道排查及破损修复,减少外来水入渗^[5]。

④ 工业废水不应接入市政污水管网^[5]。根据《城乡排水工程项目规范》(GB 55027—2022),工业企业应向园区集中,工业园区的污水和废水应单独收集处理,其尾水不应纳入市政污水管道和雨水管渠。分散式工业废水处理达到环境排放标准的尾水,不应排入市政污水管道。

⑤ 逐步推进化粪池的取消,因地制宜布置化粪池。根据《城乡排水工程项目规范》(GB 55027—2022),分流制排水系统逐步取消化粪池,应在建立较为完善的污水收集处理设施和健全的运行维护制度的前提下实施。因此,对于化粪池后已经建有较为完善的污水收集处理设施,可以取消化粪池,并采取相应的措施处理小区粪便等污染物;对于化粪池后无污水收集处理设施的,还需保留化粪池,定期对化粪池进行清掏。

⑥ 在日常运行中提升流速以减少污水管道中污染物的沉积。根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021),污水管道在设计充满度下的流速应不低于 0.6 m/s ,雨水管道和合流管道在满流时的流速应不低于 0.75 m/s ,而我国许多城市的污水管道

流速仅为0.1~0.3 m/s甚至更低^[15],因此,可通过加强污水管网中管道的疏通和养护,保持管网的低水位运行,提升管网的流速。

⑦ 在污水处理厂设计阶段,可采取提高外回流比、适当增大缺氧区容积^[16]、提高缺氧停留时间^[17]等措施,以充分利用原水中的内部碳源。同时,完善污水处理厂配套管网的建设,提升污水收集处理设施的效能。

3 结论

① 通过对南方某城市16座城市污水处理厂近8年的进水水量和水质数据进行统计分析得出:污水厂处理水量在2015年—2020年呈现逐年上升趋势,在2020年后增速放缓,在2022年有所下降,可能与2020年1月暴发新型冠状病毒疫情有关。2015年1月—2023年3月,进水COD、SS、NH₃-N、TN和TP浓度年均值整体呈波动上升趋势,而进水BOD₅浓度年均值的变化不大,未超过100 mg/L。进水量因降水量的增加而增加,进水水质浓度则反之。

② 该南方城市16座污水处理厂2019年进水BOD₅、COD、SS、NH₃-N、TN和TP浓度均呈正偏态分布,在5月—7月雨季时偏低,85%~95%的累积概率分布范围分别为40~160、100~350、50~300、6~21、15~33和1.5~6.5 mg/L。

③ 对进水BOD₅/COD、BOD₅/TN、BOD₅/TP的分析表明,该南方城市污水可生化性较好,满足生物除磷的需求,但存在反硝化碳源不足的问题。进水SS/BOD₅偏高,表明该市污水处理厂进水受到工业废水接入的影响。

④ 该南方城市进水BOD₅和COD平均值与全国的统计数据接近且高于邻近的广东省,SS平均值高于全国的统计数据,NH₃-N、TN、TP平均值均低于全国的统计数据且与广东省接近。

⑤ 该南方城市污水处理厂进水浓度偏低的主要原因有生活污水浓度低,雨水、外水和工业废水的接入,化粪池对污染物的去除,污染物在排水管网中的沉积和降解等,可采取相应措施,如提高节水意识、推进雨污分流改造、加强管道破损修复、不接入工业废水、推进化粪池取消、提升管网流速等,提高污水处理厂进水浓度,保证出水水质稳定达标。

参考文献:

- [1] 张伟,潘芳,张海行,等. 污水处理提质增效“一厂一策”方案的编制思考[J]. 中国给水排水, 2023, 39(2): 32-37.
ZHANG Wei, PAN Fang, ZHANG Haixing, *et al.* Reflection on the compilation of “one plant, one policy” scheme for quality and efficiency improvement of sewage treatment [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(2): 32-37 (in Chinese).
- [2] 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. Fluctuation analysis of influent water quantity 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).
- [3] 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 Yan, ZHANG Feng, HU Hongying, *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 (in Chinese).
- [4] 王颖. 细微泥沙粒径对活性污泥MLVSS/MLSS的影响及预测研究[D]. 重庆:重庆大学, 2016.
WANG Ying. The Effect of Fine Grit Particle Size on Activated Sludge MLVSS/MLSS and Prediction Research [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016 (in Chinese).
- [5] 尹海龙,廉勃. 生活和工业融合区污水处理厂运行评估分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(21): 87-92.
YIN Hailong, LIAN Qing. Evaluation and analysis of wastewater treatment plant operation in residential and industrial hybrid areas [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(21): 87-92 (in Chinese).
- [6] 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 Hongli, LI Xinwei, REN Qinyi, *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 (in Chinese).
- [7] 孙艳,张逢,胡洪营,等. 天津市污水处理厂进水水质

- 特征的统计学分析[J]. 环境工程技术学报, 2014, 4(3): 173-180.
- SUN Yan, ZHANG Feng, HU Hongying, *et al.* Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Tianjin [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2014, 4(3): 173-180 (in Chinese).
- [8] 朱铁才, 刘舸, 马少杰, 等. 广东省城镇污水处理厂进水水质特征分析[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(5): 67-69.
- ZHU Tiecai, LIU Ge, MA Shaojie, *et al.* Analysis of influent water quality characteristics of urban wastewater treatment plants in Guangdong Province [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(5): 67-69 (in Chinese).
- [9] 朱世泰, 申丽芬, 王广华. 广州市中心城区污水处理厂进水水质分布规律研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(19): 49-53.
- ZHU Shitai, SHEN Lifan, WANG Guanghua. Distribution of influent quality of sewage treatment plants in Guangzhou City center [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(19): 49-53 (in Chinese).
- [10] 袁剑辉, 董超, 谢明鸿, 等. CASS 工艺在低浓度进水条件下的运行优化[J]. 中国给水排水, 2014, 30(16): 120-124.
- YUAN Jianhui, DONG Chao, XIE Minghong, *et al.* Optimized operation of CASS process at low concentration of influent [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(16): 120-124 (in Chinese).
- [11] 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 BOD₅ concentration for sewage plants and pipe network operation along the Yangtze River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(S1): 129-133 (in Chinese).
- [12] 李喆, 赵乐军, 朱慧芳, 等. 我国城镇污水处理厂建设运行概况及存在问题分析[J]. 给水排水, 2018, 44(4): 52-57.
- LI Zhe, ZHAO Lejun, ZHU Huifang, *et al.* Analysis of construction and operation status and existing problems of municipal wastewater treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 52-57 (in Chinese).
- [13] 蒙语桦. 化粪池与人工湿地联用处理湖南农村地区生活污水研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.
- MONG Yuhua. Study on Domestic Wastewater Treatment of Rural Area in Hunan Province by Using Septic Tank Coupled with Constructed Wetland [D]. Changsha: Hunan University, 2016 (in Chinese).
- [14] 孙永利, 吴凡松, 李文秋, 等. 城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水浓度问题的思考[J]. 给水排水, 2023, 49(1): 41-46.
- SUN Yongli, WU Fansong, LI Wenqiu, *et al.* Reflections on the centralized collection rate of municipal sewage pollutants and the influent concentration of wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(1): 41-46 (in Chinese).
- [15] 王震. 《室外排水设计标准》雨、污水系统相关内容刍议[J]. 市政技术, 2022, 40(2): 117-120.
- WANG Zhen. Discussion on stormwater/wastewater system in standard for design of outdoor wastewater engineering [J]. Municipal Engineering Technology, 2022, 40(2): 117-120 (in Chinese).
- [16] 刘影. MBBR、双填料滤池、MBR 用于污水厂多期同步扩容提标[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18): 63-69.
- LIU Ying. Applications of MBBR, double packing media filter and MBR in multi-phase synchronous expansion and upgrading of sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 63-69 (in Chinese).
- [17] 周亚梁, 周赞民, 余志达, 等. 低有机物浓度下的除磷脱氮工艺优化调控研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(24): 102-107.
- ZHOU Yaliang, ZHOU Zanmin, YU Zhida, *et al.* Optimization of phosphorus and nitrogen removal process with low organic pollutant concentration [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(24): 102-107 (in Chinese).

作者简介: 王湘(1981-), 女, 湖南娄底人, 博士, 高级工程师, 主要从事市政工程及环境治理相关的科研与设计工作。

E-mail: wangxianghd@126.com

收稿日期: 2023-07-18

修回日期: 2023-09-23

(编辑: 刘贵春)