

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.006

闽南沿海城市污水厂污泥产率及产量研究

晋艺欣¹, 潘晓玥¹, 黄剑南², 毋兆颖¹, 周彦灵¹, 安叶¹,
王德震¹, 刘立群¹

(1. 北京清华同衡规划设计研究院有限公司 市政规划研究所, 北京 100085; 2. 泉州市城市管理局技术中心, 福建 泉州 362000)

摘要: 为科学预测污泥量,助力形成设施完备、运行安全的污泥无害化资源化处理体系,对闽南沿海某市29座城镇生活污水厂经验污泥产率影响因素及产率、产量发展趋势进行了系统研究。29座污水厂总设计处理规模 $123\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,主流工艺包括(改良)氧化沟、AO或AAO、CASS等。随着污水提质增效的推进,市域经验污泥产率由2020年的 $1.11\text{ tDS}/10^4\text{ m}^3$ 增长至2021年的 $1.25\text{ tDS}/10^4\text{ m}^3$,但仍略低于全国城市平均水平($1.62\text{ tDS}/10^4\text{ m}^3$)。受闽南区域特点影响,污泥产率与进水 BOD_5 及气温的相关性不显著;中型规模污水厂(改良)氧化沟工艺污泥产率最高,且中型规模污水厂污泥产率整体大于小型和大型污水厂;平均污泥产率逐年小幅上涨,但考虑闽南地区特点,远期污泥产率仍可能低于北方城市。建议类似地区污泥设施规划设计重点考虑大中型污水厂需求,并为污水提质增效、初雨截流、出水提标改造等因素充分预留缓冲,弹性应对气温、降水等冲击,统一谋划,分期实施;统一明确污水厂出厂污泥要求,以保障污泥处理处置系统安全运行。

关键词: 城市污水厂; 污泥产率; 污泥量; 污水提质增效

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0040-07

Research on Sludge Yield and Output of Municipal Wastewater Treatment Plant in a Coastal City of Southern Fujian

JIN Yi-xin¹, PAN Xiao-yue¹, HUANG Jian-nan², WU Zhao-ying¹, ZHOU Yan-ling¹,
AN Ye¹, WANG De-zhen¹, LIU Li-qun¹

(1. Department of Municipal Planning, Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute, Beijing 100085, China; 2. Technology Center of Quanzhou City Administration Bureau, Quanzhou 362000, China)

Abstract: In order to scientifically predict the sludge output, and help to form a complete harmless and resource-based sludge treatment system with complete facilities and safe operation, the empirical influencing factors and the development trend of sludge yield of 29 urban sewage treatment plants in a coastal city in southern Fujian were systematically studied. The 29 WWTPs have a total capacity of $123\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the treatment process includes (improved) oxidation ditch, AO or AAO, CASS, etc.. With the improvement of sewage treatment quality and efficiency, the experienced sludge yield of the city increased from $1.11\text{ tDS}/10^4\text{ m}^3$ in 2020 to $1.25\text{ tDS}/10^4\text{ m}^3$ in 2021, which, however, remained slightly lower than the national average ($1.62\text{ tDS}/10^4\text{ m}^3$). The relationship between sludge yield

and influent BOD_5 and temperature is not significant, which is mainly due to the regional characteristics of southern Fujian. Sludge yield of medium-scale sewage treatment plants using (improved) oxidation ditch process is the highest in the central part, and the sludge yield of medium-sized sewage treatment plants is generally higher than that of small- and large-scale sewage treatment plants. Though developing trends indicated a slight increase in average sludge yield yearly, it might be lower than that of the northern city in the long-term considering the regional characteristics of southern Fujian. It is suggested that the plan & design of sludge treatment facilities in similar areas should focus on the demands of large- and medium-scale sewage treatment plants, and fully reserve enough buffer space for various factors, including improvement of sewage treatment quality and efficiency, interception of initial rainwater, and upgrading and reconstruction of effluent, so as to response resiliently to shocks of climate change and rainfall, plan in uniformity and implement in stages. At the same time, it is suggested that the sludge requirements of the sewage treatment plant should be unified, which is conducive to the stable operation of the sludge treatment and disposal system.

Key words: sewage treatment plant; sludge yield; sludge production; improvement of sewage quality and efficiency

近年来,污水处理行业已逐步从“重水轻泥”开始转向“泥水并重”。实施污泥无害化处理,推进资源化利用,是深入打好污染防治攻坚战,实现减污降碳协同增效,建设美丽中国的重要举措。“十四五”以来,相关政策、规划对污泥无害化处置、资源化利用提出了更高要求,极大地促进了污泥处理处置领域发展,各地污泥处理处置设施建设需求迅速增长。

污水厂出厂污泥产量作为污泥处理处置设施规划设计的基础,也是各城市统筹污泥处理处置工作的重要依据。理论和大量实际数据表明,污泥产量与污泥产率直接相关,且污泥产率和产量受进水、季节、工艺以及地域、污水系统完善程度^[1-7]、污水厂运行管理等因素的影响较大。但现有相关研究多集中于2019年之前,且研究对象多为城市污水处理厂,对规模较小的乡镇污水处理厂少有关注^[1-6],同时,随着2019年全面开展城镇污水处理提质增效行动,各地污水管网建设、雨污分流改造系统推进,城镇污水收集处理效率有望大幅提升^[7-8],污泥产率产量的预期也会随之相应改变,2019年后各地污泥产率变化趋势尚需更多研究与阐释。因此,有必要针对提质增效过程中的污泥产率和产量变化情况开展进一步研究,分析其变化规律及变化趋势,为科学合理预测污泥产生量提供数据支撑,助力形成设施完备、运行安全的污泥无害化资源化

处理体系。

基于闽南某地级市2019年—2021年29座城镇污水处理厂污泥产量数据,分析进水 BOD_5 、季节、处理工艺和规模对污泥产率的影响规律,以及污泥产率发展变化趋势,以期为相近区域类似城市生活污水厂污泥的全域统筹、处理处置设施的规划设计提供参考。

1 案例城市污水污泥处理处置现状

该市位于闽南沿海,属亚热带海洋性季风气候,年平均气温 $19.5\sim 21\text{ }^{\circ}\text{C}$,全年无霜日360 d,年降雨量1 000~1 800 mm,3月—9月降水量占全年的80%,降水年际变化大。

该市域经济综合实力强,城镇化率约70%,整体污水规划建设体系完善,主干污水收集处理系统已具规模,新建城区、改造区均为雨污分流排水体制。但老城区雨污分流未彻底,存在老旧小区、城中村雨污合流排水情况;市辖区管网密度略低于全国和福建省的平均水平。随着该市第一轮污水提质增效工作的收官及第二轮工作的相继开展,该地区的污水收集系统还将进一步完善,市域城镇污水处理厂进水 BOD_5 有望继续提升(2020年均值约 $30\sim 110\text{ mg/L}$)。

该市现有主要污水处理厂29座,其中城市级15座、镇级14座。城市污水处理厂主要处理各城区、县城生活污水,镇级污水处理厂主要处理单个或多

个乡镇污水。29座污水厂大部分为生活污水处理厂,少数处理综合污水(工业废水占比为30%~50%)。需要指出的是,上述29座污水厂未包含工业废水超过50%的综合污水处理厂。

2020年,29座污水处理厂总设计处理规模为 $123 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际处理水量为 $94.34 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总污

泥量约 $105 \text{ tDS}/\text{d}$,具体情况见表1。29座污水处理厂覆盖城区及镇区,设计规模为 $(0.25 \sim 15) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中设计规模在 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上的污水厂产泥量约占总产泥量的85%。处理工艺包括(改良)氧化沟、AO或AAO、CASS等,其中采用AO或AAO工艺的污水厂产泥量约占总产泥量的50%。

表1 参与研究的城镇污水处理厂基本情况(2020年)

Tab.1 Basic information on investigated urban and town wastewater treatment plants(2020)

项目	污水厂数量/座		设计污水处理总规模/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$		实际总污水处理量/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$		污泥总产量/ $(\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1})$	
	城市	镇级	城市	镇级	城市	镇级	城市	镇级
市辖区	7		33.5		27.77		27.5	
所辖县级市	4	7	45	11.5	37.31	6.24	40.8	3.5
所辖县	4	7	25	8	19.55	3.47	28.8	4.4
合计	15	14	103.5	19.5	84.63	9.71	97.1	7.9

2 污泥产率总体情况及区域差异

2.1 污泥产率计算方法

为方便分析比较,采用以万吨污水产泥量的经验污泥产率进行核算分析,同时考虑不同污水厂进水 BOD_5 浓度差异,计算去除单位 BOD_5 产生的污泥量。其中,污水水量、污水水质、污泥产量和污泥含水率等数据来自污水厂的运行日报表、有关部门污泥处置量报表数据。

① 经验污泥产率

经验污泥产率采用下式进行计算^[1]:

$$Y = \frac{M \times (1 - \omega)}{Q} \quad (1)$$

式中: Y 为经验污泥产率, $\text{tDS}/10^4 \text{ m}^3$; M 为脱水污泥产量, t/d ; ω 为脱水污泥含水率,%; Q 为污水处理量, $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

② BOD_5 污泥产率

BOD_5 污泥产率,即去除单位 BOD_5 产生的脱水污泥量。忽略一级A(以及更高)出水标准下的出水 BOD_5 含量, BOD_5 污泥产率采用下式进行计算:

$$Y_{\text{BOD}} = \frac{M \times (1 - \omega)}{\text{BOD} \times Q} \quad (2)$$

式中: Y_{BOD} 为 BOD_5 污泥产率, $\text{kgDS}/\text{kgBOD}_5$; BOD 为进水 BOD_5 浓度, mg/L 。

2.2 经验污泥产率分布情况

经计算,2020年29座城镇污水处理厂的经验污泥产率加权平均值为 $1.11 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ (以实际污水规模加权),其中80%置信区间内经验污泥产率为 $0.95 \sim 1.27 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 。

各污水厂经验污泥产率分布情况见图1,其中城市污水处理厂的经验污泥产率为 $0.67 \sim 1.85 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,波动相对较小,加权平均值为 $1.15 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,略低于相关研究($1.62 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,11座城市106座典型污水厂)^[1];镇级污水处理厂的经验污泥产率差异较大,为 $0.03 \sim 3.09 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,加权平均值为 $0.82 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,数值上仅为城市污水厂的70%,导致镇级污水处理厂间污泥产率差异大的原因可能有进水情况、控制排泥以及污泥脱水过程加药等,同时也因其规模普遍较小,受各类因素的影响更明显。

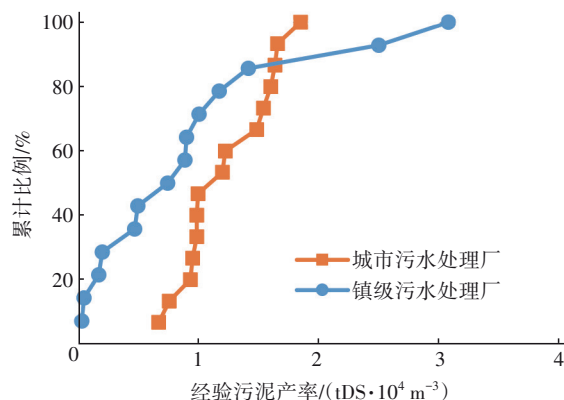


图1 经验污泥产率分布(2020年)

Fig.1 Distribution of empirical sludge yields in 2020

此外,不同行政区各城市、各镇级污水厂的污泥产率间也存在一定差异,进一步分析不同区域的污泥产率情况,结果见图2。市辖区与县级市的城市污水厂经验污泥产率均值接近,并略低于各县的城市污水厂污泥产率。镇级污水厂污泥产率均低

于对应行政区城市污水厂污泥产率,各县级市与各县的镇级污水厂的平均经验污泥产率相对接近,可能受城乡污水管网完善情况、小规模污水厂控制排泥的影响(图中数据去除了因加药导致污泥产率达到 $3.09 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 的某镇级污水厂,以及现场调研中因控制排泥导致2020年经验污泥产率不足 $0.1 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$ 的个别镇级污水厂)。

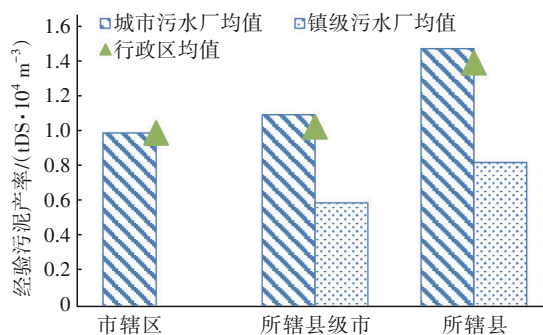


图2 不同类型行政区经验污泥产率分布(2020年)

Fig.2 Distribution of empirical sludge yields in different districts in 2020

3 污泥产率影响因素分析

城市污水处理厂主要处理各城区、县城生活污水,其规模一般较大,进水水量和水质相对有规律,通常为每日排泥、定期将脱水污泥运出厂区处理处置,其污泥产率变化主要受进水水质、外界温度变化等因素影响而呈现一定规律,但各厂间的变化规律可能因服务区域特点、厂区工艺、管理水平而有所不同。对于镇级污水处理厂,进水水量、水质波动明显且排泥受人为控制,尤其是规模小的乡镇污水处理厂,由于污泥外运或其他限制,往往存在控制排泥、厂内长期贮泥的情况,出泥量受多方因素影响,此类污水厂的经验污泥产率计算值难以体现“产率”的实际意义,仅能一定程度上反映总体的污泥产生情况。此外,结合实际调研走访,污泥脱水流程中加入生石灰也可能造成脱水污泥量增加,同时造成污泥呈碱性。当然,污水厂运行管理水平也将影响污泥产率,有待进一步研究。

由于大中规模的城市污水处理厂是污泥产出的主力,市域城镇污泥总的产生量及产率变化规律更大程度上由大中规模的污水处理厂主导。因此,对于大中规模污水处理厂,进水水质、季节变化、处理工艺对污泥产率的影响规律更具参考性。

3.1 平均进水 BOD_5

结合收集到的13座(城市9座、镇级4座)污水

处理厂年均进水 BOD_5 浓度,分析污泥产率与进水 BOD_5 之间的关系,结果见图3。对上述13座污水厂的经验污泥产率加权平均值为 $1.15 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,与29座城镇污水厂污泥产率($1.11 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$)接近,可见13座污水厂 BOD_5 污泥产率能够代表该市市域污水处理厂的平均水平。由图3可见,进水 BOD_5 浓度较高的污水处理厂相应污泥产率有偏高的趋势,但由于样本数量有限,相关性分析并不显著(显著性为0.07)。

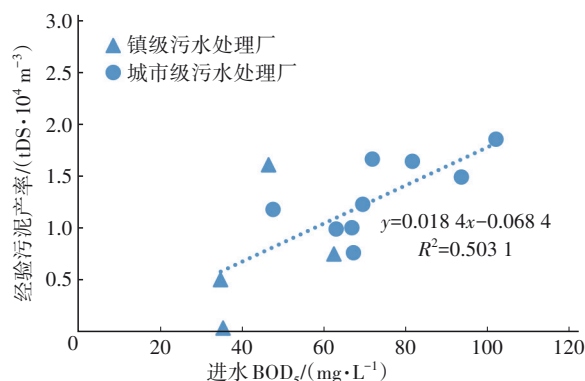


图3 经验污泥产率与进水 BOD_5 的关系(2020年)

Fig.3 Relationship between empirical sludge yield and influent BOD_5 concentration in 2020

3.2 季节波动

选取运行稳定、有一定规模的6座污水处理厂(均为城市污水处理厂,实际处理水量均大于 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),逐月分析污泥产生情况。从分析结果来看,因季节变化而导致的温度变化,会对生物反应造成一定影响从而影响污泥产率;另一方面进水 BOD_5 也随季节变化波动明显,同样会对污泥产率产生一定的影响,故同样分析了 BOD_5 污泥产率变化。2020年1月—12月平均污泥产率及 BOD_5 污泥产率情况见图4。

6座污水处理厂经验污泥产率均值在3月、8月较低,1月、4月—5月以及11月—12月较高。 BOD_5 污泥产率均值在2月达到最大值,随后回落,10月最低。整体规律与相关文献^[1-2]中污泥产率夏季低、春季高的规律一致。考虑产率的季节变化与进水 BOD_5 变化^[9]、平均气温变化^[4]均有一定关系,事实上各污水厂进水 BOD_5 最低值均出现在2020年2月,随后波动上升,2020年月平均气温最低值同样出现在2月,两者叠加造成 BOD_5 污泥产率均值在2月最大。综合各因素变化趋势,自2月起温度上升在一定程

最稳定。

另外,从采用(改良)氧化沟工艺的14座污水厂的污泥产率分布来看,规模越小,各厂间的污泥产率差异越明显,考虑可能是由于运行、排泥条件不同造成的差异,规模越小的污水厂受到各因素的影响越明显。结合实地调研走访情况,此类污水厂受运行管理、排泥控制、脱水加药(部分污水厂为降低出厂污泥含水率至60%而加药)等因素的影响较大,导致厂间污泥产率波动较大。

就该市而言,虽然(改良)氧化沟工艺污泥产率

较高,但由于均为中小规模污水厂采用(无大型污水厂完全采用氧化沟工艺),实际上约50%的污泥产自AO或AAO工艺,而非(改良)氧化沟工艺。同时,产泥主要来自设计规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上的污水厂,其产泥量约占总产泥量的85%,在市域污泥整体统筹中需要重点关注。

4 污泥产率、产量增长趋势分析

结合收集到的29座城镇污水厂2019年—2021年的污水处理量及产泥量情况,计算城市、镇级污水厂及总体经验污泥产率情况,结果见表4。

表4 2019年—2021年29座污水厂的污泥产率变化

Tab.4 Change of sludge yields of 29 sewage treatment plants from 2019 to 2021

年份	实际运行规模/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)		污水厂数量/座		总产泥量/($\text{tDS} \cdot \text{d}^{-1}$)		平均经验污泥产率/($\text{tDS} \cdot 10^4 \text{ m}^{-3}$)		
	城市	镇级	城市	镇级	城市	镇级	加权平均	城市	镇级
2019	52.15	3.53	9	4	49.8	2.8	1.05	1.05	1.09
2020	84.63	9.71	15	14	97.1	7.9	1.11	1.15	0.82
2021	84.60	9.83	15	14	110.8	7.4	1.25	1.31	0.75

注: 2019年部分污水厂数据未集齐,仅有13座污水厂数据供对比参考。

由表4可见,该市城镇污水处理厂总体平均经验污泥产率逐年小幅上涨,主要贡献来自城市污水处理厂,增长幅度约10%。镇级污水处理厂数量与城市污水处理厂相近,但实际处理污水量仅占市域总量的10%、产泥量占7.5%,2020年、2021年平均经验污泥产率仅为城市的57%~71%。分析原因,可能是由于2020年—2021年某几座镇级氧化沟工艺污水厂控制排泥,其污泥贮存不出厂,降低了总泥量。具体到各污水厂,2021年29座污水厂中72%的污泥产率高于2020年,其中93%的城市污水处理厂的污泥产率高于2020年。

随着污水提质增效工作的深入,污水收集系统不断完善,污水厂进水总量及进水 BOD_5 浓度有望在一定范围内持续提升,但考虑到闽南地区的用水习惯、气候特征,远期进水 BOD_5 可能仍比北方城市低,因此污泥产率提升有限。为了保障泥水同步处理,污泥处理设施需在满足近期规模的前提下,同步考虑中、远期泥量所需处理设施。

未来,污水厂规模将趋于稳定,但处理出水水质要求可能提升。目前,该市4座市辖区污水厂已在相关因素影响下将出水水质提高至地表水Ⅳ类标准,其余污水厂出水标准仍然为一级A,如需通过增加深度处理或添加相关药剂提高出水标准,可能导致污泥量的增加、波动规律发生变化,有待进

一步研究。

5 结论与建议

① 闽南沿海某城市城镇生活污水厂2020年经验污泥产率为 $1.11 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,2019年为 $1.05 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,2021年为 $1.25 \text{ tDS}/10^4 \text{ m}^3$,略低于全国城市平均水平。

② 在污泥产率影响因素方面,进水 BOD_5 浓度较高的污水厂相应污泥产率偏高,但相关性不显著;污泥产率季节波动受进水 BOD_5 浓度与气温变化两方面的影响,8月最低,1月、4月—5月以及11月—12月较高;采用(改良)氧化沟工艺的污水厂污泥产率均值高于AO或AAO以及其他工艺,但不同污水厂间的差异较大;中型污水厂[($4 \sim 8$) $\times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$]污泥产率一般高于小型和大型污水厂。

③ 在污泥产率、泥量发展趋势方面,城镇生活污水处理厂总体平均经验污泥产率逐年小幅上涨,主要贡献来自城市污水处理厂。随着城市的发展,污水厂负荷率不断提升,污泥量有望进一步提升。

④ 污水厂日常排泥策略及厂内脱水药剂的投加将严重影响污泥产率,建议明确出厂污泥含水率及脱水药剂投加的相关标准,并提高运行管理水平,保障泥量、泥质稳定。

⑤ 在污泥处理处置设施的规划设计中,需重

点考虑大中规模污水厂的产泥情况,并充分考虑近远期管网工程及污水厂工程可能造成的影响,统一设计,分期实施。

参考文献:

- [1] 王磊. 我国重点流域城市污水处理厂污泥产率调研[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14): 23-27.
WANG Lei. Investigation on the sludge yield of municipal wastewater treatment plants in key watershed of China [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(14): 23-27 (in Chinese).
- [2] 王磊. 城市污水厂污泥产率季节变化与影响因素分析[J]. 净水技术, 2018, 37(6): 36-40.
WANG Lei. Analysis of seasonal variation and influencing factors of sludge yield in municipal sewage plant [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(6): 36-40 (in Chinese).
- [3] 刘锐, 郁志杰, 林敏, 等. 污水厂污泥产率随季节变化研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022(3): 101-103.
LIU Rui, YU Zhijie, LIN Min, *et al.* Research of sludge yield in WWTP with seasonal variation [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2022(3): 101-103 (in Chinese).
- [4] 刘占孟, 徐宇峰, 李思敏. 温度对活性污泥产率的影响研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(19): 84-88.
LIU Zhanmeng, XU Yufeng, LI Simin. Effect of temperature on activated sludge yield [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19): 84-88 (in Chinese).
- [5] 王丽, 高春娣, 焦二龙, 等. 不同污水处理工艺中污泥产率影响因素的比较研究[C]//中国环境科学学会. 2011 中国环境科学学会学术年会论文集(第一卷). 北京: 中国环境科学学会, 2011: 872-874.
WANG Li, GAO Chundi, JIAO Erlong, *et al.* Comparative study on influencing factors of sludge yield in different sewage treatment processes [C]// Chinese Society of Environmental Science. Proceedings of the 2011 Annual Conference of the Chinese Society for Environmental Sciences (Volume 1). Beijing: Chinese Society of Environmental Science, 2011: 872-874 (in Chinese).
- [6] 高静, 李红萍, 刘国际, 等. 城市污水处理厂 A²O 工艺污泥产率系数[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 3071-3076.
GAO Jing, LI Hongping, LIU Guoji, *et al.* Activated sludge yield coefficient of A²O technology in a WWTP [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016, 10(6): 3071-3076 (in Chinese).
- [7] 吴志强, 栗玉鸿, 侯爱月, 等. 南方城市污水提质增效方案与实践——以漳州市为例[J]. 城市道桥与防洪, 2022(2): 122-126.
WU Zhiqiang, LI Yuhong, HOU Aiyue, *et al.* Scheme and practice of improving quality and efficiency of urban sewage in Zhangzhou City of southern China [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2022(2): 122-126 (in Chinese).
- [8] 傅君瑜. 污水管网清淤修缮对污水处理量及 BOD₅ 处理量的影响[J]. 广东化工, 2021, 48(7): 105-106, 87.
FU Junyu. Influence of sewage pipe network dredging and repairing on sewage treatment capacity and BOD₅ treatment capacity [J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(7): 105-106, 87 (in Chinese).
- [9] 周乙新, 李激, 王燕, 等. 城镇污水处理厂低浓度进水原因分析及提升措施[J]. 环境工程, 2021, 39(12): 25-30.
ZHOU Yixin, LI Ji, WANG Yan, *et al.* Reason analysis and improvement measures for low pollutants concentration of influent water of urban sewage treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2021, 39(12): 25-30 (in Chinese).

作者简介: 晋艺欣(1993—), 女, 山西晋城人, 硕士, 高级工程师, 注册公用设备工程师(给水排水), 注册城乡规划师, 主要从事水系统综合规划、污水提质增效、污泥处理处置规划、排水防涝及海绵城市建设等方面的工作。

E-mail: 724596818@qq.com

收稿日期: 2022-08-08

修回日期: 2022-10-26

(编辑: 丁彩娟)