

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.10.003

水务一体化背景下杭州市污泥处理处置规划研究

张亚朋, 吴荣波, 冯一军, 顾越, 陈舟凯
(杭州市规划设计研究院, 浙江 杭州 310012)

摘要: 为深入推进水务一体化改革,杭州市系统开展了水资源、供排水、污泥处理处置、智慧水务等多个专题规划研究。其中,对污泥处理处置研究的范畴,除传统的污水厂污泥外,还拓展到给水厂污泥及排水管渠污泥等。对杭州市水务行业几类主要污泥的处理处置方式、污泥产量预测以及处理处置设施布局等进行了研究,在处理处置方式上,强调各类污泥规范化处置及资源化利用的要求;在设施布局上,提出了污泥处理设施与其他固废处理设施统筹、各类污泥处理设施统筹建设的一体化建设思路。

关键词: 给水厂污泥; 污水厂污泥; 排水管渠污泥; 水务一体化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)10-0015-06

Study on Sludge Treatment and Disposal Planning under the Background of Water Affairs Integration in Hangzhou

ZHANG Ya-peng, WU Rong-bo, FENG Yi-jun, GU Yue, CHEN Zhou-kai
(Hangzhou City Planning and Design Academy, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In order to further promote the reform of water affairs integration, Hangzhou has systematically carried out a number of special planning studies on water resources, water supply and drainage, sludge treatment and disposal, and smart water. Among them, the research scope of sludge treatment and disposal did not only cover the traditional sewage sludge, but also extended to waterworks sludge and sewer sludge. This study covers the sludge treatment and disposal methods, sludge output prediction, and sludge treatment and disposal facilities in Hangzhou water industry. In terms of sludge treatment and disposal, the study emphasizes the requirement for standardized disposal and resource utilization of various types of sludge. In terms of facility layout, the integrated construction idea of sludge treatment facilities and other solid waste treatment facilities as a whole and all kinds of sludge treatment facilities as a whole was proposed.

Key words: waterworks sludge; sewage sludge; sewer sludge; water affairs integration

经过多年的建设与发展,我国已基本建成了较完整的污泥处理处置体系。但总体来说,各类污泥无害化处置、资源化利用的水平还相对落后,“重水轻泥”的倾向仍然存在^[1]。在“十四五”的开局之年,杭州市水务主管部门全力推进水务“一体化、一张网”改革,旨在通过集团化运作方式,建立与经济社会发展相协调的水务运营管理体系;改革内容除水

源保障、供排水系统优化外,也着眼于城镇污泥处理处置及智慧水务建设等。

1 杭州市污泥处理处置现状及问题研判

1.1 处理处置现状

1.1.1 污泥特征分析

城镇污泥的来源一般包括给水厂产生的污泥(简称“给水厂污泥”)、城市污水处理厂产生的污泥

(简称“污水厂污泥”)、城市排水管渠产生的污泥(简称“排水管渠污泥”)以及河湖水体的淤泥,因主要面向水务建设管理,研究内容聚焦于前3类污泥。给水厂污泥的来源主要是沉淀池排泥水和滤池反冲洗排水;污水厂污泥是污水处理厂日常运行中产生的剩余污泥,包括二级污水厂的混合污泥和一级污水厂的初沉污泥等;排水管渠污泥指沉积在排水管渠及附属构筑物内的泥砂和其他物料的总称。

给水厂污泥成分主要是原水中的有机物、无机物、重金属等杂质以及水处理中投加的混凝剂。杭州市主城区的给水厂污泥一般经浓缩脱水处理,含水率降至60%~70%后外运处理。临平、余杭区的给水厂污泥目前仅经初步脱水,或未经脱水外运处置。

由于多数污水厂进水中含有工业废水,部分重金属含量超过规范限值,目前杭州市城镇污水厂污泥较难农用或其他形式的土地利用。重金属含量较高的污水厂主要集中在余杭区、临平区、钱塘区的工业片区以及富阳、临安等区工业用地相对集中的区域,如临安的太阳镇污水厂污泥中镍(Ni)含量较高,与该厂电镀、五金行业工业废水进水占比偏高有关;高虹镇污水厂污泥的汞(Hg)含量较高,是因为高虹镇为节能灯制造基地。杭州市多数城镇污水厂污泥的热值为6 279~10 465 kJ/kg干基污泥;指征污泥有机物含量的挥发性悬浮固体(VSS)含量偏低,大部分污泥的VSS低于0.50 g/gSS,泥砂含量偏高,不利于污泥堆肥及厌氧消化产能的资源化利用。

排水管渠污泥包括污水、雨水管网以及合流制管网清掏的污泥等,其组分主要为水和矿化颗粒物混合物,有机烧失量含量占总干基污泥量的10%~30%,沉积物中含有重金属等有害物质,也有道路降尘、垃圾以及建筑工地排放的泥浆等。

1.1.2 处理处置方式及去向

目前,杭州市的污泥处理处置呈现区域不均衡的态势。杭州市主城区、萧山区等区域的给水厂污泥经脱水处理后外运,处置去向主要为制作建筑工程临时用砖;临平区、余杭区给水厂污泥去向为周边村镇低洼地带的绿化覆土及砖厂制砖等;临安区水厂排泥水主要通过生态湿地进行生态处理;淳安及建德境内的现状水厂排泥水直接排入市政污水管网。

截至2020年,杭州市主要城镇污水厂的处理规模约 $345\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,初步脱水污泥产量约3 836 t/d,无害化处置率基本达到100%。市区污水厂污泥多数在厂内初步脱水后,送至热电企业进行干化焚烧。全市工业企业自备污水处理能力约 $17\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,产生初步脱水污泥约344 t/d,无害化处置率达96.5%。杭州市主要的污水厂污泥处理处置单位有杭州蓝成环保能源公司、杭州环兴污泥处理公司、临安华旺热能公司等,具体布局见图1。



图1 杭州市现状污水厂污泥处理处置场所布局

Fig.1 Layout of sewage sludge treatment and disposal sites in Hangzhou

目前,杭州市的排水管渠污泥处理处置整体处于分散、粗放的不规范状态。

1.2 问题研判

对于给水厂污泥来说,主要问题有三方面:一是集中减量处理覆盖不全面,部分地区水厂排泥水直接进入污水管网,加大了污水管网及污水处理厂的负荷,也造成了水资源的浪费;二是部分污泥无害化处理水平较低,存在对环境二次污染的风险;三是污泥资源化利用体系不健全,处置单位多是规模较小的建材企业,污泥处置稳定性存疑。

对于污水厂污泥来说,主要问题:一是污泥减量化程度不够,多数污水厂仅进行初步脱水后外运处置,增加了运输成本和后期处理处置的难度;二是区域污泥处置能力不均衡,杭州市区北部和西部、余杭、临安等地污泥处置能力不足。

对于排水管渠污泥来说,主要的问题是重视不够。据调研,杭州市目前多数地区还未对排水管渠污泥开展常态化、规范化的清掏及处理处置,排水管渠污泥多与生活垃圾或渣土混合后处理,增加了

生活垃圾处理的系统负荷和处理难度。

2 杭州市污泥处理处置设施规划布局

2.1 处理处置目标及思路

2.1.1 处理处置目标

杭州市污泥处理处置的总体目标是以建设“无废城市”为愿景,采用“政府主导、区域一体、技术多元、资源导向”的规划方针,在全市构建一个完整、多元的污泥处理系统。

在水务一体化层面,强调泥水共治,实现水污染物全通量管控,具体包括各类污泥处理处置一体化、区域一体化及污泥与其他固废处理处置一体化等。各类污泥处理处置一体化指根据污泥的组分、形状特征、产量及分布情况,统筹安排处理处置设施,提高整体运行效率。污泥处理处置区域一体化指排除行政区划限制,摒弃城乡二元思维,在全市域统筹安排处理处置设施。污泥与其他固废处理处置一体化指污泥纳入固废处理处置体系统筹考虑。污泥处理处置一体化示意图2。

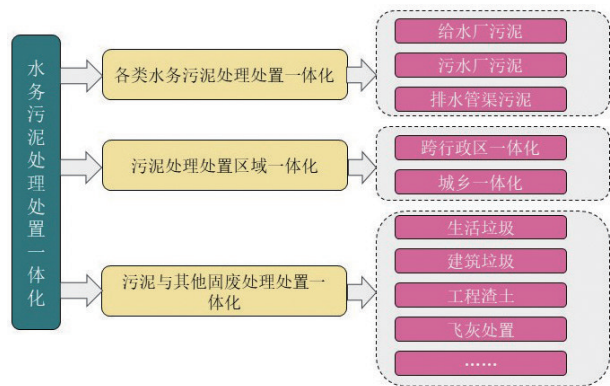


图2 污泥处理处置一体化示意

Fig.2 Schematic diagram of sludge treatment and disposal integration

2.1.2 分类处理处置思路

对于给水厂污泥,明确供水能力在一定规模以上的水厂必须对污泥进行处理,禁止排泥水直接排放水体。新建给水厂污泥资源化利用厂,在处理处置给水厂污泥的同时,辅助处理部分雨水管网污泥及环境配水预处理厂污泥。给水厂污泥是以黏土细粒土为主的聚合物,有机物含量低,经脱水干化及再生处理后可以广泛用于建筑材料、水泥原料及园林绿化等方向。

对于污水厂污泥,将其处理后纳入固体废弃物处理体系统筹考虑,重点依托杭州市数座规划循环

经济园区,形成焚烧处理为主体、生物及其他处理为补充的处理处置体系。由于混合焚烧无法回收磷,规模较大的集中式污泥焚烧设施应采用单独焚烧工艺。污水厂污泥焚烧产物中的炉渣作为一般固废进行填埋或者建材利用,飞灰作为危险废物送至危废处理厂处置。对于进水单一、污泥质量较好的乡镇污水处理厂,可采用好氧堆肥、厌氧消化等就地稳定化的处理方式。

对于排水管网污泥,需加快推进规范化处置,按照预处理及回收利用联合处理的技术路径试点开展排水管网污泥处理站的建设。

各类污泥处理处置思路见图3。

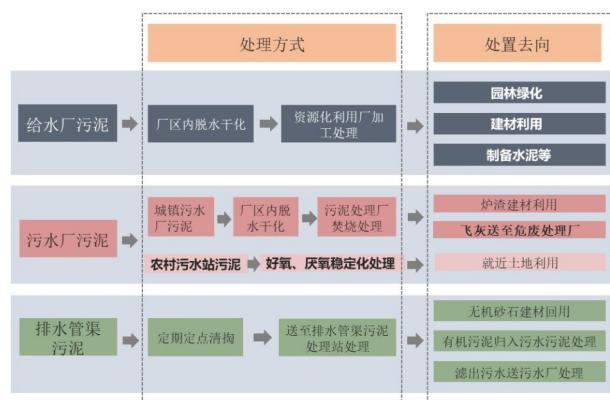


图3 各类污泥处理处置思路示意

Fig.3 Schematic diagram of various sludge treatment and disposal ideas

2.2 污泥产量预测

2.2.1 给水厂污泥

分别采用参数法试算及现状样本推算给水厂污泥干质量产量指标。

① 参数法

参数法试算公式^[2]如下:

$$S=SS+0.2C+1.53A+1.9F$$

$$=aT+0.2C+1.53A+1.9F$$

(1)

式中: S 为污泥干固体含量, mg/L ; SS 为原水中悬浮固体含量, mg/L ; C 为去除的色度, 度; A 为铝盐的投加量(以 Al_2O_3 计), mg/L ; F 为铁盐的投加量(以 Fe 计), mg/L ; a 为原水浊度与 SS 的换算关系, 一般可取 2; T 为原水浊度, NTU 。

杭州市主要水源包括钱塘江、千岛湖及东苕溪等,根据主城区部分水厂原水相关水质指标及混凝剂投加量指标(见表1),经式(1)计算,可得在千岛湖水源地工程通水后,以千岛湖为主水源、以钱塘江

为辅水源的给水厂污泥干质量指标约 $0.20 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 。

表1 杭州部分给水厂原水相关指标

Tab.1 Related indicators of raw water of some waterworks in Hangzhou

项目	清泰水厂	南星水厂	九溪水厂
浊度/NTU	5.0	5.1	5.3
色度/度	5.3	6.1	6.5
加药量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	6.0	6.0	6.0

注：指标值均为2019年9月千岛湖水源通水后的数据。

② 现状样本推算法

采用杭州市规模较大、运行较规范、产泥数据较齐整的水厂作为研究样本,经测算,在千岛湖供水工程通水前,以钱塘江为水源的给水厂污泥干质量产率约 $0.50 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$,以东苕溪为水源的给水厂污泥干质量产率约 $0.30 \sim 0.50 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$;千岛湖水源接入后,以千岛湖为主水源的主城区给水系统污泥干质量产率下降至 $0.21 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 左右。现状主要给水厂污泥产率测算结果见表2。

表2 现状主要给水厂污泥产率测算结果

Tab.2 Sludge yield measurement results of the present main waterworks

水厂名称	供水区域	规模/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	污泥含水率/%	千岛湖供水工程通水前		千岛湖供水工程通水后	
				水源	2017年—2019年 年均污泥产量/t 污泥干质量产率/($\text{t} \cdot 10^4 \text{ m}^{-3}$)	水源	2020年污 泥产量/t 污泥干质量产率/($\text{t} \cdot 10^4 \text{ m}^{-3}$)
清泰水厂	主城区	30	65	钱塘江	15 051	千岛湖、钱塘江	6 800
南星水厂	主城区	40	60		17 667		6 800
滨江水厂	主城区	30	75		21 255		6 800
祥符水厂	主城区	25	70	东苕溪	9 120	千岛湖、东苕溪	6 960
运河水厂	临平区	10	80		5 701		6 960
宏畔水厂	临平区	13	80		9 304		6 960
仁和水厂	余杭区	20	80		19 352		6 960

由表2可知,千岛湖供水工程通水后,城市给水厂产泥率大幅下降,但是千岛湖水源可供规模无法完全满足城市远期用水需求,因此给水厂污泥产率应留有一定余量。

③ 污泥产量指标确定

综合上述两种方法,确定各给水厂污泥干质量产率指标为 $0.20 \sim 0.45 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 。

根据《杭州市给水工程专项规划》,杭州市规划水厂近期(2025年)、远期(2035年)及远景供水规模分别达 711×10^4 、 963×10^4 、 $1 065 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,结合水厂规划布局,对不同水源的水厂采用适宜的污泥指标,以确定污泥产量。经测算,杭州市规划水厂近期产生干质量污泥237 t/d,远期为346 t/d,远景为384 t/d;折合含水率60%的污泥产量分别为593、866、959 t/d。

2.2.2 污水厂污泥

采用单位污水处理量的污泥固体产率对污泥产量进行估算,选取杭州市各区县污泥统计资料较齐全且污泥含水率在80%左右的污水处理厂,进行本地污水厂污泥产量的分析,结果见图4。可知,杭州市污水处理厂80%含水率的初步脱水污泥产率约为 $6 \sim 12 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 。

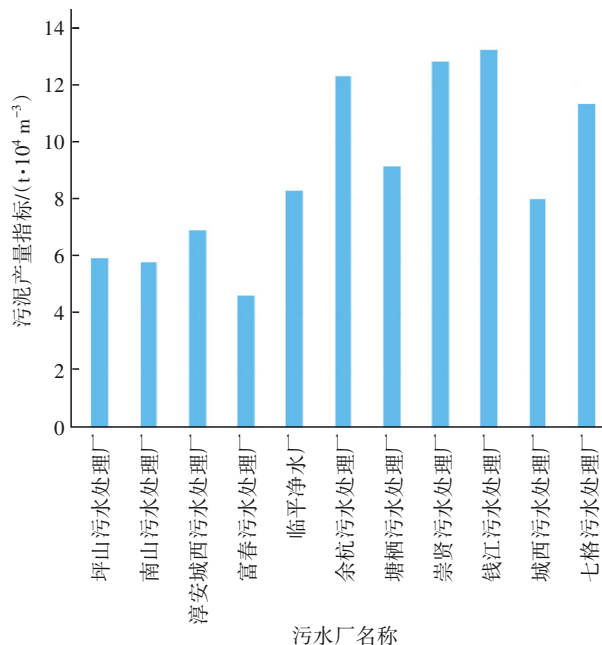


图4 杭州市现状部分污水处理厂污泥产量指标

Fig.4 Sludge output indicators of some sewage treatment plants in Hangzhou

根据污水厂的规划,杭州市规划污水厂近期(2025年)、远期(2035年)及远景规模将分别达到 536×10^4 、 766×10^4 、 $847 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,结合上述污泥产率

及规划污水厂布局,经测算,杭州市规划污水厂80%含水率的污泥产量分别为近期5 722 t/d、远期7 981 t/d、远景8 759 t/d;若将污泥干化至含水率50%,则近期、远期和远景的污泥产量分别为2 289、3 192、3 503 t/d。

2.2.3 排水管渠污泥

根据历年排水管道污泥产量、管道长度,综合考虑管道疏通率、管道年均增长率等指标,采用管道长度预测法测算排水管渠污泥产量^[3]。

因现状管道统计资料不完善,选取2014年—2018年《杭州城乡建设年鉴》中各区县排水管网长度数据,采用乘幂函数趋势外推,对排水管道长度进行预测。根据主城区和富阳、西湖等区调研数据,取含水率在50%~80%的排水管渠污泥产量指标为6~9 m³/km。经测算,杭州市全市排水管渠污泥产量近期为754 t/d,远期为920 t/d,远景为1 094 t/d。

2.3 处理处置设施布局

2.3.1 设施规划建设一体化

水务一体化改革的内涵,一是统筹规划建设,实现设施集约布局;二是推进互联互通,实现供水一体化调度;三是统筹城乡发展,实现品质服务均衡共享;四是完善管理政策,实现管理模式统一。对于污泥处理处置来说,一体化目标主要在于设施规划建设的一体化以及城乡服务品质的均衡化。

规划给水厂污泥资源化利用厂应考虑结合建筑垃圾资源化利用厂、渣土中转码头、渣土处置场、循环经济产业园区、郊区的环保建材公司及现状水厂等选址建设,从而利于在规模和产业链的角度形成协同效应。污水厂污泥处理处置设施布局应打破行政区划制约,结合生活垃圾处理处置设施或静脉产业园区,采用相对集中和区域均衡的原则统筹布局。排水管渠污泥处理处置设施布局尽量结合已有的污泥处理设施及污水处理厂设置,减小邻避效应。

2.3.2 设施布局方案

规划在全市设置6座给水厂污泥资源化利用厂,分别为仁和、所前、之江、临安、富阳、建德给水厂污泥资源化利用厂,远期总处理规模达1 280 t/d。其中,仁和、之江2座资源化利用厂结合污水厂污泥处理设施及污水处理厂统筹建设;临安、所前2座资源化利用厂结合建筑垃圾及渣土处理处置项目统

筹建设;富阳给水厂污泥资源化利用厂结合固废处理静脉产业园区统筹建设。

杭州市污水厂污泥主要采用干化焚烧处理工艺,一般可采用高压隔膜式压滤机,将污泥直接脱水至含水率50%以下,满足循环流化床入炉焚烧要求,极大节约运输和填埋成本。各区筹建集中式污泥处理设施时,应对污泥分散脱水干化及集中干化两种模式进行技术经济比较,以确定最合理的建设模式^[4]。考虑到将来污水处理标准持续提升、初期雨水处理等因素对污泥产率的影响,为增强污泥处理系统的韧性,确定处理设施规模时,在污泥产量预测的基础上考虑1.1~1.3倍的安全系数。规划远期全市共设置9座污泥处理设施,主要采用干化焚烧处理工艺,规划污泥(含水率80%)处理规模共计10 322 t/d。其中,杭州蓝成环保、富阳绿渚环境能源及淳安光大环境能源项目均结合区域固废处理处置系统统筹建设。

根据《城镇排水管渠污泥处理技术规程》,采用城镇排水管渠污泥采集设备运输排水管渠污泥时,运输距离不应大于10 km^[5]。综合考虑服务半径及行政区划等因素,充分结合给水厂及污水厂污泥处理设施,规划在全市设置14处排水管渠污泥处理站,其中2处结合给水厂污泥资源化利用厂设置,5处结合污水厂污泥处理设施设置,7处结合污水处理厂设置;每座处理站的服务半径为10~15 km。排水管渠污泥处理站规模总计1 620 t/d。排水管渠污泥处理站设计工作日以250 d/a计,单座处理站规模为90~150 t/d,占地面积800~1 500 m²。

2.3.3 投资运行成本分析

污泥单独干化焚烧项目的投资成本由系统复杂程度、设备国产化等因素决定,一般项目投资成本达40~60万元/t污泥(污泥含水率为80%)。据调研,杭州市目前污水厂污泥干化焚烧处理处置费用为200~300元/t,污泥运输成本为40~60元/t,跨区县的污泥运输成本为60~100元/t。根据上海等地的建设经验^[6],排水管渠污泥处理站的工程建设费用约20万元/t污泥(污泥含水率60%),单位处理成本约105元/t。给水厂污泥处理处置设施的投资运营成本可参照排水管渠污泥。

综上,经匡算,杭州市远期(2035年)需新建的各类污泥处理设施工程总投资达32.3亿元,污泥处理运行成本达291万元/d,具体见表3。

表3 杭州市规划污泥处理设施投资运行成本匡算
Tab.3 Calculation of investment operating cost of
planning sludge treatment facilities in Hangzhou

类别	给水厂污泥 资源化利用厂	污水厂污 泥处理设施	排水管渠 污泥处理站
新建设施规模/(t·d ⁻¹)	1 280	5 300	1 620
工程投资单价/(万元·t ⁻¹)	20	50	20
工程投资/万元	25 600	265 000	32 400
处理规模/(t·d ⁻¹)	866	7 981	920
运行处理单价/(元·t ⁻¹)	105	250	105
单位运输成本/(元·t ⁻¹)	60	80	40
运行成本/(万元·d ⁻¹)	14	263	13

注：污水厂污泥处理设施为需新建的数处设施规模。

3 结论

在水务一体化改革的背景下,除需加强对污水厂污泥的处理处置外,还应同时开展对给水厂污泥及排水管渠污泥处理处置的研究。对于各类城镇污泥处理处置的一体化统筹,重点强调在项目选址建设上,实现各类污泥的一体化统筹;在服务范围上,实现跨行政区和城乡均衡的区域一体化统筹;在处理工艺和处置方向上,实现污泥与其他固废处理处置体系的一体化协同等。同时,还应建设一体化的污泥处理处置信息化管理平台,统一调配全市污泥的运输、处理及处置。总之,通过水务一体化改革的系列举措,切实提升污泥处理处置能力和水平。

参考文献:

- [1] 戴晓虎. 我国城镇污泥处理处置现状及思考[J]. 给水排水, 2012, 38(2): 1-3.
DAI Xiaohu. Present situation and thinking of urban sludge treatment and disposal in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38 (2) : 1-3 (in Chinese).

- [2] 朱石清, 张善发, 陈华, 等. 上海市污泥处理处置工程规划[J]. 上海建设科技, 2005(4): 10-12.
ZHU Shiqing, ZHANG Shanfa, CHEN Hua, et al. Planning of sludge treatment and disposal project in Shanghai [J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2005 (4): 10-12 (in Chinese).
[3] 郁片红, 赵国志. 浦东新区排水管道污泥处理处置规划研究[J]. 上海建设科技, 2018(2): 56-57.
YU Pianhong, ZHAO Guozhi. Study on sewage sludge treatment and disposal planning in Pudong New Area [J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2018 (2): 56-57 (in Chinese).
[4] 桑光明. 城市污水污泥处理处置综合比较分析[D]. 深圳: 深圳大学, 2015: 56-62.
SANG Guangming. Municipal Sewage Sludge Treatment and Disposal—A Shenzhen Perspective [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2015: 56-62 (in Chinese).
[5] 张辰, 谢胜, 庄敏捷, 等. 《城镇排水管渠污泥处理技术规程》解读[J]. 给水排水, 2020, 46(6): 172-176.
ZHANG Chen, XIE Sheng, ZHUANG Minjie, et al. Interpretation of Technical Specification for Treatment of Sediment in Municipal Sewer System [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46 (6) : 172-176 (in Chinese).
[6] 邹斌, 张燕剑, 马小杰. 通沟污泥处理新技术应用研究[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(6): 52-54.
ZOU Bin, ZHANG Yanjian, MA Xiaojie. Study on application of new sewage sludge treatment technology [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018, 36(6): 52-54 (in Chinese).

作者简介: 张亚朋(1984—), 男, 河北石家庄人, 本科, 高级工程师, 从事市政基础设施规划研究工作。

收稿日期: 2022-04-07

修回日期: 2022-04-25

(编辑: 丁彩娟)