

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.15.009

北江水源自来水厂行走式板框压滤机污泥脱水研究

沈玉东¹, 李秋², 刘智皆², 陈伟雄¹, 李路野¹

(1. 广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010; 2. 广州市花都自来水有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 通过分析北江水源自来水厂浓缩污泥的特性,探讨了行走式板框压滤机用于污泥脱水的效果。结果发现,使用阳离子、低离子度、粉剂型聚丙烯酰胺作为污泥调理药剂对板框压滤脱水效率具有显著的提升效果,同时针对进泥含固率为5%的浓缩污泥,当进料时间为10 min、进料压强为0.5 MPa、隔膜挤压压强为1.5 MPa时,建议挤压时间为35 min。

关键词: 自来水厂; 行走式板框压滤机; 污泥脱水; 北江水源

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)15-0055-06

Application of Walking Plate and Frame Filter Press for Sludge Dewatering in Waterworks with Beijiang River Water Source

SHEN Yu-dong¹, LI Qiu², LIU Zhi-jie², CHEN Wei-xiong¹, LI Lu-ye¹

(1. Guangdong Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510010, China;
2. Guangzhou Huadu Water Supply Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: By examining the characteristics of thickened sludge from a waterworks with Beijiang River as the source water, the performance of walking plate and frame filter press on sludge dewatering was explored. The utilization of cationic, low-ionic, and powdered polyacrylamide as agents for sludge conditioning significantly enhanced the dewatering efficiency of the plate and frame filter press. Simultaneously, for concentrated sludge with a solid content of 5%, the recommended diaphragm squeezing time was 35 minutes when the feeding time was 10 minutes, the feeding pressure was 0.5 MPa, and the diaphragm squeezing pressure was 1.5 MPa.

Key words: waterworks; walking plate and frame filter press; sludge dewatering; Beijiang River water source

城市自来水厂在生产过程中会产生大量的排泥水。常规给水处理工艺一般包括混凝、沉淀、过滤、消毒等,水源水中的杂质及污染物经过混凝沉淀后,以沉淀池排泥水的形式排出,部分难以沉淀的絮体和污染物经过滤工艺处理后,被截留在过滤介质上,以滤池反冲洗水的形式排出^[1]。沉淀池排泥水和滤

池反冲洗水构成自来水厂的排泥水。目前,给水厂排泥水处理工艺流程一般包括调节、浓缩、平衡、脱水及泥饼处置5道工序。

脱水是污泥处理的关键环节。浓缩后的污泥需经脱水处理,以进一步降低含水率,减小容积,便于搬运和最后处置。自来水厂污泥脱水大多采用不受

基金项目: 广州市花都自来水有限公司技术开发项目(HSB-2022036-JS-021)

通信作者: 沈玉东 E-mail: shendondon@126.com

自然条件影响、脱水效率高、占地少、运行管理方便、自动化程度高的机械脱水方法,通常为便于运输及泥饼的最终处置,脱水后的污泥含固率应在30%以上^[2-8]。污泥脱水的效率与脱水机械的选择等直接相关^[9-10]。

笔者以污泥脱水工艺为背景,选用行走式板框压滤机进行中试,研究其用于北江水源自来水厂污泥脱水工艺时的运行效果,重点分析浓缩污泥特性、不同药剂的污泥脱水前调理效果、进行污泥调理与不进行污泥调理的板框压滤效果、不同隔膜挤压时间下的板框压滤效果等。

1 材料与方 法

1.1 中试概况

中试场地选择广东省某自来水厂,因其取水源于北江干流,水质条件符合北江水源的特征,产生的污泥具有北江水源条件下的污泥特性。污泥脱水试验场地位于该自来水厂内的泥水调节池旁。

水源水质是影响污泥特性的重要因素,试验周期内北江水源水质基本情况如下:色度<5度,浊度为31.4 NTU,嗅和味为1级,肉眼可见物为微粒,pH为7.5,氨氮为0.22 mg/L, COD_{Mn}为3.6 mg/L,总硬度为93.8 mg/L,硫酸盐为9.7 mg/L,菌落总数为 1.0×10^4 CFU/mL,总大肠菌群为 1.6×10^4 MPN/100 mL,藻类为 3.7×10^5 个/L。

水厂混凝阶段采用的混凝剂为聚合氯化铝(PAC,氧化铝含量为10%),投加量为10 mL;助凝剂为PAM(阴离子型聚丙烯酰胺含量为0.15%),投加量为0.23 mg/L。图1为该自来水厂污泥处理的工艺流程。来自网格絮凝沉淀池产生的大量排泥水进入排泥池,经潜水泵提升以后进入改进型重力浓缩池,在其中完成浓缩后的污泥进入脱水工艺段,本试验的待脱水浓缩污泥取自该工艺段。

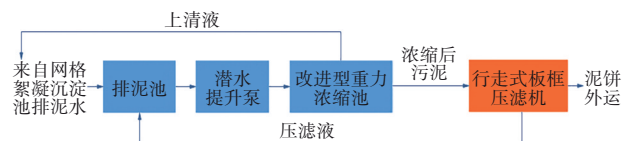


图1 自来水厂污泥处理工艺流程

Fig.1 Sludge treatment process of waterworks

采用ISD-30板框压滤试验机对设计工况进行模拟试验,过滤面积为 0.208 m^2 ,滤室厚度为30 mm,滤室数为两室。工艺流程如图2所示。

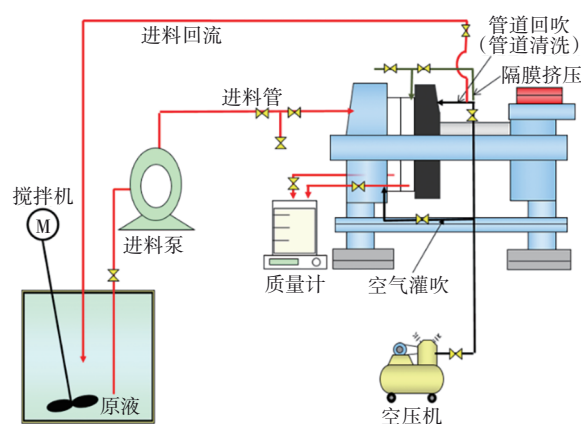


图2 板框压滤试验机工艺流程

Fig.2 Process flow of plate and frame filter press

1.2 试验试剂及仪器

试验试剂:阴离子型聚丙烯酰胺(工业级,型号为LS471,类型为粉剂,离子度为30,分子质量为 $1\,000 \times 10^4 \text{ u}$)、非离子新型高分子药剂(工业级,型号为FM-3550DG,类型为乳剂,离子度<2,分子质量为 $800 \times 10^4 \text{ u}$)、阳离子型聚丙烯酰胺(工业级,型号为SD6081,类型为乳剂,离子度为30,分子质量为 $1\,000 \times 10^4 \text{ u}$)、阳离子型聚丙烯酰胺(工业级,型号为LB-C5,类型为粉剂,离子度为5,分子质量为 $800 \times 10^4 \text{ u}$)、阳离子型聚丙烯酰胺(工业级,型号为LB-C80,类型为粉剂,离子度为80,分子质量为 $1\,200 \times 10^4 \text{ u}$)、蒸馏水(采用蒸馏法制取)。

试验仪器:水分仪、混凝搅拌器、电子分析天平、真空干燥箱、数显恒温水浴锅、干燥器、蒸发皿、布氏漏斗、定性快速滤纸、计量瓶、真空泵(配套真空表和真空罐)、pH计。

1.3 试验方法

1.3.1 污泥指标测定方法

污泥比阻采用自制装置测定,见图3。

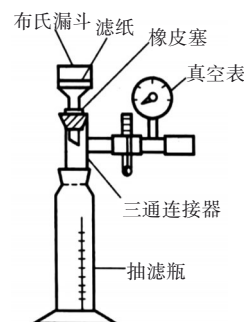


图3 污泥比阻测定装置

Fig.3 Measurement device of sludge specific resistance

污泥含固率、含水率、密度均采用重量法进行测定;板框压滤液的浊度采用浊度仪进行测定;测定污泥灼烧减量时,先通过高温灼烧以后,再采用重量法进行测定。

1.3.2 污泥调理阶段试验方法

量取400 mL一定含固率的浓缩污泥以及不同型号和类型的污泥脱水调理药剂,按照药剂的要求配制相应浓度,对浓缩污泥进行加药调理,同时记录加药量并观察调理过程中出现的现象,直至调理过量为止,记录投加量并计算最佳干基投加量。根据调理以后的污泥效果和药剂投加量范围进行综合分析。

1.3.3 板框压滤上机试验方法

量取20~24 L一定含固率的浓缩污泥,按照试验预设不加药或投加调理药剂,直接进泥或投加药剂进行调理以后再进泥。板框压滤试验机具体压滤操作步骤如下:①污泥的采集,即收集改进型重力浓缩池出泥。②污泥的加药调配(若不加药则跳过该步骤),即称取一定量的混合污泥,按照相应前序试验结果计算最佳投加量后,定量投加配制好的污泥脱水调理药剂,投加药剂的同时用搅拌机进行搅拌,形成絮团后备用。③试验机关板,即试验机启动后,油压泵开始动作,油压顶的推动作用使滤板紧闭,形成滤室。④进料,即利用螺杆泵从滤板上部的供液口把调理好的浓缩污泥原液压入滤室开始过滤。原液中的固体部分以脱水泥饼的形式积蓄在滤室中,同时滤液通过滤液管流出。滤液的流出量通过电子秤进行称量,根据滤液量来判断进料结束时间。进料时间设定为10 min,进料压强为0.5 MPa。⑤隔膜挤压,即在过滤工序结束的同时,在挤压隔膜中注入压缩空气,脱水泥饼继续被挤压脱水,记录滤液的流出量,根据滤液量来判断隔膜挤压结束时间。隔膜挤压时间设定为35 min,挤压压强为1.5 MPa。⑥进料管回吹,即在隔膜挤压结束后,利用压缩空气对进料管内的残留液体进行回吹,保证进滤管内没有残留液体。回吹结束后,排空隔膜挤压的压缩空气。⑦开启滤板,即在压缩空气排空后,手动运行电动油压泵,在油压缸的驱动下滤板被开启。⑧泥饼卸落,即滤板打开后,取出滤布,打开滤布后取出泥饼,称质量计算泥饼含水率。

2 结果与讨论

2.1 浓缩污泥特性分析

2.1.1 pH

经测定,现场实际产生的浓缩污泥pH范围为6.5~7.2,均值为6.9。酸碱性的改变反映了污泥中 H^+ 和 OH^- 浓度的变化,从而导致污泥的结构和理化性质发生变化,因此污泥酸碱性会影响脱水效能^[1]。本研究中的浓缩污泥pH呈中性,脱水性能较好。

2.1.2 污泥含固率

经过两周对该自来水厂排泥水浓缩后排出的污泥取样并测定,发现含固率在3.8%~6.0%之间,均值为5.0%。板框压滤脱水机的技术参数要求进料污泥含固率 $\geq 3.0\%$,可见试验所获得的浓缩污泥具有合适的含固率。

2.1.3 污泥灼烧减量

试验测得该自来水厂排泥水浓缩以后污泥灼烧减量20.5%~29.8%,均值为24.6%。给水厂污泥的灼烧减量是衡量污泥中有机物、产气碳酸盐、硫酸盐等指标的重要依据。由于给水厂取水源不同,因此原水中藻类、微生物、有机物、色度等指标存在差异,所形成的沉淀污泥灼烧减量也不同。烧失量较大的污泥一般情况下可以视为有机物含量较多,而且污泥颗粒粒径较小,因此在进行压滤脱水过程中出泥泥饼含水量较高。

根据文献[2],我国部分城市给水厂污泥的灼烧减量区间在11.32%~49.66%,可见本研究浓缩污泥的灼烧减量适中。说明该水厂排泥水浓缩后的污泥具有较适中的有机物组分,因此推测含有的藻类和腐殖质指标也适中。在后续污泥调理和脱水时,药耗量不会出现过高的情况。

2.1.4 污泥比阻

北江水源自来水厂排泥水浓缩后的污泥比阻为 5.76×10^{11} ~ 7.79×10^{11} cm/g,均值为 6.54×10^{11} cm/g。污泥比阻可以表征浓缩污泥的机械脱水特性,其反映了水分通过污泥颗粒形成泥饼时所受到的阻力,比阻越小,表示污泥中水分越容易过滤。通过投加PAM,能够改变给水厂浓缩污泥的污泥比阻,有助于后续脱水。

根据文献[2],比阻小于 1×10^{11} cm/g的污泥易

于脱水,大于 1×10^{13} cm/g的污泥难于脱水。可见,该水厂排泥水浓缩后的污泥脱水性能尚可,且可以通过投加调理药剂进一步降低污泥比阻,以达到提高脱水性能的效果。

2.2 药剂种类对污泥调理的影响

污泥调理一方面能够影响颗粒之间的间隙,经过药剂调理以后的污泥,形成的絮团较大,颗粒变粗,表面积变小,污泥间隙也变小,从而使得污泥脱水性能变好;另一方面由于污泥表面电荷会影响胶体的稳定性,因此使用合适的药剂进行调理以后,在电中和及吸附架桥的作用下,污泥颗粒重新达到稳定状态,污泥结构更加密实。结合前序污泥特性的分析可知,污泥调理同样会改变污泥比阻,合理

的调理会进一步降低污泥比阻,使得脱水性能更佳,因此针对污泥调理药剂进行分析。

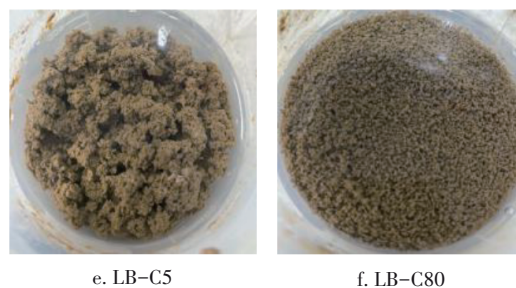
采用含固率为5%的污泥,药剂包括阴离子型聚丙烯酰胺粉剂(型号为LS471,配制浓度为0.20%)、非离子型高分子乳剂(型号为FM-3550DG,配制浓度为0.10%)、阳离子型聚丙烯酰胺乳剂(型号为SD6081,配制浓度为0.25%)、阳离子型低离子度聚丙烯酰胺粉剂(型号为LB-C5,配制浓度为0.20%)、阳离子型高离子度聚丙烯酰胺粉剂(型号为LB-C80,配制浓度为0.20%)。按照试验设计方法投加调理药剂并观察絮团生成情况、上清液清澈程度和上清液黏稠程度,综合判断药剂调理效果,同时计算最优投加率,结果见表1。

表1 调理药剂型号及试验效果和最佳投加量

Tab.1 Type of conditioning agent, test effect and best dosage

型号	絮团效果	上清液分层效果	投药区间/%	最佳干基投加率/%	绝干污泥药剂费/(元·t ⁻¹)
LS471	絮团较小且松散	分层不明显	0.50~0.60	0.50	42.0
FM-3550DG	基本无絮团	无分层			
SD6081	絮团较大且紧实	分层较明显	0.69~0.72	0.69	179.4
LB-C5	絮团较大且紧实	分层明显	0.33~0.54	0.43	68.8
LB-C80	絮团较小且松散	分层不明显	0.22~0.38	0.33	66.0

不同类型药剂在最优投加率下,污泥调理效果如图4所示。选用的调理药剂中,阳离子、低离子度、粉剂型聚丙烯酰胺具有最优的调理效果,调理后污泥的絮团较大且紧实,调理搅拌过程中不易被打散,上清液清澈且分层明显,同时投药区间大,投药过量或者不足的风险较小。经核算,本类型药剂的最优干基投加率为0.43%。



e. LB-C5

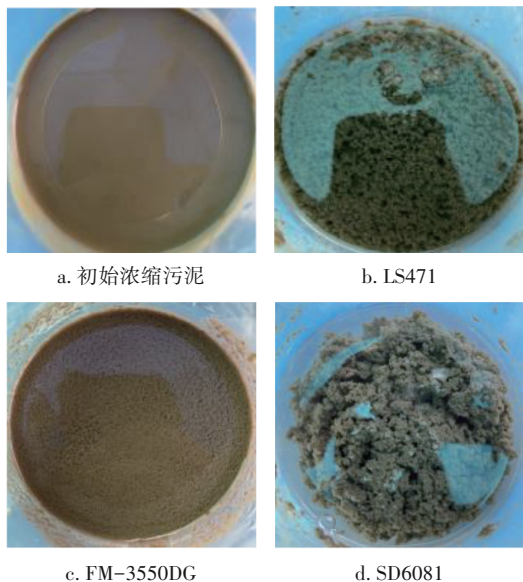
f. LB-C80

图4 调理药剂最优调理效果

Fig.4 Optimal conditioning effects of the conditioning agents

2.3 板框压滤效果

选用LB-C5进行板框压滤机上机试验,对比北江水源产生的浓缩污泥在一定进泥浓度条件下,有无药剂调理的板框压滤脱水效果。板框进液污泥含固率结合浓缩池出泥参数设定为5%,进泥时间和隔膜挤压时间分别设定为10和35 min,进泥压强和隔膜挤压压强分别为0.5和1.5 MPa,得到的泥饼含水率分别为41.8%、43.0%,滤液浊度分别为12.4、10.0 NTU,泥饼过滤速度分别为1.81、5.21 kg/(m²·h)。两种情况下,浓缩污泥经过板框压滤后,出泥泥饼的照片见图5。



a. 初始浓缩污泥

b. LS471

c. FM-3550DG

d. SD6081



a. 不加药

b. LB-C5 药剂调理

图5 出泥泥饼照片

Fig.5 Photos of dehydrated sludge cakes

分析上述试验现象可以发现:①针对含固率为5%的北江水源浓缩污泥,有无加药调理均可达到脱水后污泥含水率在60%以下的目标,且脱水后污泥含水率约为40%,比传统污泥脱水设备的脱水效率更高。②进行污泥调理的浓缩污泥板框过滤速度远高于不进行污泥调理的,可能是由于选用了合适类型的聚丙烯酰胺调理药剂,能够通过改变浓缩污泥的形态,形成大的絮团,且絮团间隙变大,提高了过滤速度,同时药剂调理还可以减少原浓缩污泥的黏性,增加板框压滤机的脱水效率。本试验确定板框压滤机污泥调理后的最优滤速约为 $5.21 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。③进行调理的浓缩污泥的出泥泥饼厚度远大于未进行调理的,分析原因,一是由于药剂调理后污泥聚集成絮团,水分从污泥间隙穿透的效率更高,因此透水性能更强;二是由于调理药剂有助于浓缩污泥形成稳定骨架结构,改变了滤饼的孔隙结构和强度,使得滤饼更加厚实和完整。④调理后的浓缩污泥经板框压滤后的滤出液浊度相比于未进行调理的浓缩污泥滤出液稍低,产生该现象的原因也是由于调理药剂的絮凝作用使得浓缩污泥中一部分微小颗粒得以聚集成较大的絮状物,最终形成泥饼,而不是穿透滤布渗出。⑤结合污泥调理和上机后的脱水效果,认为阳离子、低离子度、粉剂型聚丙烯酰胺具有较好的调理效果,能够最大程度适配板框压滤机,完成污泥脱水工作。

2.4 不同隔膜挤压时间对泥饼含水率的影响

结合北江水源浓缩污泥情况,将进泥含固率设定为5%,同时设定板框压滤试验机的进料时间和进料压强分别为10 min和0.5 MPa,隔膜挤压压强为1.5 MPa,隔膜挤压时间按照最长时间设定为50 min。选用LB-C5调理后进行压滤,压滤机工作时

间与出泥含水率的变化见图6。

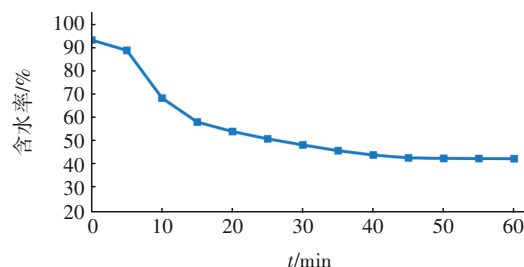


图6 压滤机工作时间与出泥含水率的关系

Fig.6 Relationship between filter press operating time and moisture content of dehydrated sludge

从图6可以看出,60 min内压滤机可以完成污泥脱水。在进料时间为10 min的条件下,当隔膜挤压时间在35 min时,污泥脱水基本达到稳定,后续时间中污泥脱水效率较低。板框压滤工作前15 min的脱水效率高于后20 min的,这可能是由于对浓缩污泥进行加药调理后,在形成较大絮团的同时出现了泥水分层界面,在进料及前序挤压阶段大量的水可以通过絮团之间的空隙直接流出,因此该阶段脱水效率更高。综上所述,在北江水源浓缩污泥含固率为5%、隔膜挤压压强为1.5 MPa、进料时间为10 min、进料压强为0.5 MPa时,板框压滤机的隔膜挤压时间宜设定为35 min。

3 结论

① 根据北江水源自来水厂浓缩污泥的pH、含固率、灼烧减量和比阻等特性,适宜采用行走式板框压滤机进行浓缩污泥脱水。

② 阳离子、低离子度、粉剂型聚丙烯酰胺对北江水源浓缩污泥具有较好的调理效果,当进泥含固率为5%时,药剂投加率为0.43%,经过调理的浓缩污泥在脱水后含固率约为43.0%,滤液浊度约为10.0 NTU。相比于不进行调理的浓缩污泥,干泥饼过滤速度显著提升,可达 $5.21 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

③ 对于北江水源含固率为5%的浓缩污泥,在板框压滤机进料时间为10 min、进料压强为0.5 MPa、隔膜挤压压强为1.5 MPa时,隔膜挤压时间宜设定为35 min。

参考文献:

[1] 王鑫,任伯帆,黄威. 城市给水厂污泥组成成分及资源化利用[J]. 市政技术,2021,39(4):150-153.

WANG Xin, REN Bozhi, HUANG Wei. Sludge

- composition and resource utilization of urban water supply plants [J]. *Journal of Municipal Technology*, 2021, 39(4):150-153(in Chinese).
- [2] 李亮,刘波,郭韵. 长江下游水源厂排泥水处理系统设计[J]. *净水技术*, 2019, 38(5):25-29, 40.
- LI Liang, LIU Bo, GUO Yun. Design of sludge water treatment system for raw water plants in the lower reaches of the Yangtze River [J]. *Water Purification Technology*, 2019, 38(5):25-29, 40(in Chinese).
- [3] 赵铨,于博文. 给水厂污泥在污水处理中的应用[J]. *山东化工*, 2020, 49(14):260-262.
- ZHAO Cheng, YU Bowen. Application of sludge from water supply plant in sewage treatment [J]. *Shandong Chemical Industry*, 2020, 49(14):260-262 (in Chinese).
- [4] 何华. 给水厂板框压滤机与离心脱水机建设运营成本分析[J]. *给水排水*, 2023, 49(8):8-12.
- HE Hua. Study on the construction operation cost analysis of plate-frame filter press and centrifuge in waterworks [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2023, 49(8):8-12(in Chinese).
- [5] 严晓威,柳忠现,王盛,等. 3种污泥机械脱水方式的工程应用[J]. *净水技术*, 2022, 41(S2):100-105.
- YAN Xiaowei, LIU Zhongxian, WANG Sheng, *et al.* Engineering application of three mechanical dewatering methods of sludge [J]. *Water Purification Technology*, 2022, 41(S2):100-105(in Chinese).
- [6] 王艳. 城市污水污泥深度脱水技术探讨[J]. *广东化工*, 2022, 49(17):144-145, 129.
- WANG Yan. Discussion on deep dewatering technology of sludge in wastewater treatment plant [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2022, 49(17):144-145, 129 (in Chinese).
- [7] 杨晓胤,刘园园,张伟军,等. 北京市第九自来水厂污泥脱水试验研究[J]. *环境工程*, 2014, 32(1):20-24.
- YANG Xiaoyin, LIU Yuanyuan, ZHANG Weijun, *et al.* Laboratory and pilot studies on sludge dewatering in the Ninth Beijing Drinking Water Treatment Plant [J]. *Environmental Engineering*, 2014, 32(1):20-24 (in Chinese).
- [8] 袁华为. 板框压滤机在自来水厂污泥脱水中的应用[J]. *净水技术*, 2016, 35(3):126-128.
- YUAN Huawei. Application of plate-and-frame filter press for sludge dewatering in water treatment plant [J]. *Water Purification Technology*, 2016, 35(3):126-128 (in Chinese).
- [9] 高超,杨彪. 污泥深度脱水技术在市政污泥处理中的应用[J]. *环境与发展*, 2020, 32(5):98-99.
- GAO Chao, YANG Biao. Application of sludge deep dehydration technology in municipal sludge treatment [J]. *Environment and Development*, 2020, 32(5):98-99(in Chinese).
- [10] 陈丹丹,窦昱昊,卢平,等. 污泥深度脱水技术研究进展[J]. *化工进展*, 2019, 38(10):4722-4746.
- CHEN Dandan, DOU Yuhao, LU Ping, *et al.* A review on sludge deep dewatering technology [J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2019, 38(10):4722-4746(in Chinese).

作者简介:沈玉东(1987-),男,河南鹿邑人,硕士,高级工程师,主要从事市政给排水、固废污染控制的设计和工程方面的研究工作。

E-mail:shendondon@126.com

收稿日期:2023-11-30

修回日期:2024-02-22

(编辑:任莹莹)