

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.17.010

新型重力浓缩池在给水厂污泥浓缩中的应用

杨熙¹, 唐炜文¹, 陈伟雄², 郭露², 沈玉东², 陈鑫和³

(1. 广州市花都自来水有限公司, 广东 广州 510000; 2. 广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510000; 3. 广州中科鑫洲科技有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 给水厂传统重力浓缩池通常存在故障率高、运行不稳定、出泥含固率低、上清液浑浊等问题。为提升重力浓缩池应用水平,研发了一种新型重力浓缩池,其利用加药后污泥所具备的高效混合絮凝等特性,辅以提高水深池体,充分发挥拥挤沉淀作用,实现对排泥水中悬浮物的截留和污泥的高效浓缩。中试结果表明,当表面负荷为 $1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、固体负荷为 $6\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、阴离子型聚丙烯酰胺(PAM)投加量为 2.56 mg/g 干泥时,出水上清液浊度可保持在 $1\sim 10\text{ NTU}$,平均值为 3 NTU ,且排泥口含固率可达 5% 以上,实现较传统浓缩池提高 2% 的目标,从而提高了污泥脱水单元的运行效能。

关键词: 给水厂; 排泥水; 新型重力浓缩池; 高效混合絮凝; 高固体负荷

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)17-0065-06

Application of New Type of Gravity Thickening Tank for Sludge Concentration in Waterworks

YANG Xi¹, TANG Wei-wen¹, CHEN Wei-xiong², GUO Lu², SHEN Yu-dong²,
CHEN Xin-he³

(1. Guangzhou Huadu Water Supply Co. Ltd., Guangzhou 510000, China; 2. Guangdong Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510000, China; 3. Guangzhou Zhongke Xinzhou Technology Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: The traditional gravity thickening tank utilized in waterworks typically encounters several issues, such as frequent malfunctions, unstable operation, low solid content in the discharged sludge, and high turbidity of the supernatant. A new type of gravity thickening tank was developed to promote its application. It fully utilized the high efficiency mixing and flocculation characteristics of the coagulated sludge and was complemented by a deep water tank to fully exert the crowded sedimentation effect, thereby achieving the interception of suspended matters in the discharged sludge water and the efficient concentration of the sludge. The pilot test findings indicated that the turbidity of the supernatant in the effluent could be maintained within the range of 1 NTU to 10 NTU , with an average value of 3 NTU , and the solid content at the sludge outlet could reach over 5% when the surface load was $1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, the solid load was $6\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, and the dosage of anionic PAM was 2.56 mg/g dry sludge. The operational efficiency of the sludge dewatering unit was increased by 2% compared to the traditional thickening tank.

基金项目: 广州市花都自来水有限公司技术开发项目(HSB-2022032-JS-019)

通信作者: 沈玉东 E-mail: shendondan@126.com

Key words: waterworks; sludge discharge water; new type of gravity thickening tank; high efficiency mixing and flocculation; high solids loading

我国针对给水厂排泥水处理的系统性研究起步较晚,目前的处理技术普遍存在故障率高、运行不稳定、效果差、系统性解决方案缺失等问题^[1-8]。国内给水厂常用的重力浓缩池主要有辐流式浓缩池^[9]、斜管浓缩池和高密度澄清池。其中辐流式重力浓缩池表面负荷低、所需池容较大、土建投资高、大多为间歇式运行,最主要的是其浓缩后出泥含固率较低。斜管浓缩池在经过长时间的运行后,污泥容易沉积在斜管内,导致整个斜管的坍塌;另外,斜管浓缩池内易滋生藻类,造成系统堵塞,且上清液出水浊度较高。对于高密度澄清池,虽可有效提高浓缩效率,但系统复杂,池内中心轴易出现断裂,从而导致停机检修,而且其上部沉淀区的斜管同样存在坍塌和滋生藻类等问题。

广州市某自来水有限公司在新建某给水厂时,采用预沉一体式泥水调节池、具备适应能力强的重力浓缩池及滤布行走式板框压滤机的脱水系统综合工艺,以实现浓缩池排泥口出泥含固率较传统浓缩池提高2%的目标,且浓缩后的污泥经滤布行走式板框压滤机压滤后出泥含水率小于60%。在绝干污泥量保持不变的情况下,将浓缩池出泥含固率由3%提升至4%,可减少待脱水污泥体积25%;若提升至5%,则可减少40%。因此,研发了一种新型重力浓缩池,可使出泥含固率提升至5%以上,有效减少了滤布行走式板框压滤机操作频次,降低了脱水单元综合投资成本,提高了污泥脱水单元的运行效能。

1 材料与方法

1.1 新型重力浓缩池的构造

中试设备以新建给水厂的重力浓缩池为最终研发应用目标,按照初步设计参数条件,采用等模数的比例缩小,装置尺寸为 $L \times B \times H = 5.20 \text{ m} \times 2.70 \text{ m} \times 8.56 \text{ m}$,实际过流断面面积为 12.5 m^2 ,有效水深为 8.2 m 。池底配套设置双向刮板的新型刮泥机,具备破除底部板结污泥层的能力,可使中试装置最大化模拟实际生产场景。新型重力浓缩池如图1所示,其主要由喷嘴、中心筒内筒和中心筒外筒构成。利用计量泵将药剂加入进水管中,经池内喷嘴射流

后进入中心筒内筒,完成第一次有效混合和微絮凝。絮凝后的排泥水翻过中心筒内筒进入外筒,与筒内泥水进行第二次充分絮凝。随着运行时间的延续,加药后的污泥可在池内形成一定厚度的污泥层。排泥水中的悬浮物等杂质在与污泥层接触的过程中被拦截和吸附。这一方面可使池内浑浊的排泥水变得澄清;另一方面,加药后的污泥经拦截、吸附作用后使泥层变得越来越厚重与密实;再加上高水深的池体,可进一步发挥污泥的拥挤沉淀作用,使得池内底部污泥进行高效压缩沉淀,从而实现污泥的高效浓缩。

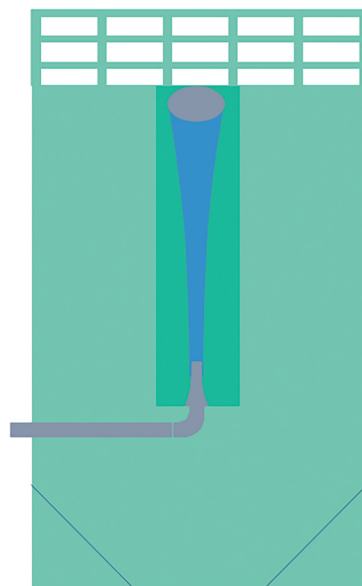


图1 新型重力浓缩池示意

Fig.1 Schematic diagram of new type of gravity thickening tank

1.2 中试基地概况

中试场地:中试场地在与项目新建给水厂取水口位置接近的清远市某给水厂内,水厂内设有排泥池和排水池。排泥池用于接纳网格絮凝池和平流沉淀池的排泥水。排水池则用于接纳V型滤池的反冲洗水,此后反冲洗水利用潜污泵提升至水厂前端的格栅配水井处。厂内还设有斜管重力浓缩池和板框压滤机,用于污泥的浓缩与脱水。

供试原水及排放标准:为了便于开展中试,在不影响水厂内现有斜管重力浓缩池和板框压滤机

正常运作的情况下,利用水厂现有排泥池的排泥水作为原水。按厂区管理要求,排泥水上清液回流至厂内排水池,经潜污泵送至水厂前端格栅配水井处进行处理。

工艺流程:网格絮凝沉淀池产生的大量排泥水进入排泥池后,经潜水泵提升进入新型重力浓缩池;同时利用计量泵将聚丙烯酰胺(PAM)药剂加入到新型重力浓缩池进水管中,加药后的排泥水在新型重力浓缩池内经过一段时间的充分混合、絮凝、浓缩后变得澄清,按照厂内要求上清液排至现有排水池,与滤池反冲洗一起送往水厂前端格栅配水井。底部污泥经板框压滤机脱水后成为泥饼,压滤液则按要求回流到前端排泥池内,从而实现对排泥水污泥的处置。工艺流程如图2所示。

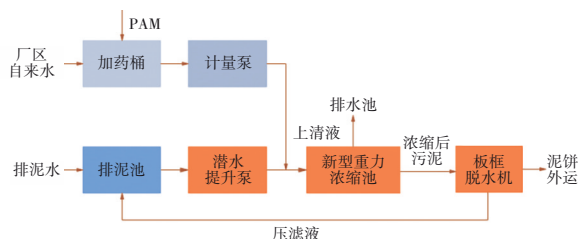


图2 工艺流程示意

Fig.2 Schematic diagram of process flow

主要构筑物及参数:新型重力浓缩池1座,尺寸为5.20 m×2.70 m×8.56 m,采用钢结构;潜污泵3台,流量为25 m³/h,扬程为18 m,功率为2.2 kW,采用灰铸铁材质;加药桶1个,容量为1 000 L,PE材质;加药计量泵1台,流量为80 L/h,压强为0.5 MPa,功率为90 W,泵头采用聚二偏氟乙烯材质;电磁流量计1台,量程为0~1 500 m³/d,碳钢衬塑材质。

1.3 试验方法

试验所用的阴离子型和非离子型聚丙烯酰胺为工业级,试验仪器主要包括搅拌器、水分仪和浊度仪。

排泥水自然沉降试验:取1 L排泥池内已混合均匀的排泥水置于玻璃量筒内,分别在5、10、30、60、120、180、240和300 min时观察,得到不同时刻沉降污泥占混合液的百分数。

排泥水混凝沉淀试验:由于浓缩池排泥水上清液需回流至前端格栅池与原水混合后进行再次处理,根据《城镇供水厂运行、维护及安全技术规程》(CJJ 58—2009),当浓缩池浓缩过程中加注有机絮凝剂为阳离子聚合物时上清液严禁回用。因此,只

选择了阴离子型和非离子型PAM进行混凝试验。取1 L相同含固率排泥池内排泥水置于5个烧杯中,然后加入一定体积(0、1、2、4、6 mL)浓度为240 mg/L的PAM,开启混凝搅拌试验机开始搅拌。先以200 r/min搅拌15 s使污泥混匀,再以200 r/min混合60 s,最后以40 r/min搅拌5 min进行絮凝。此后,将搅拌桨从水中升起,观察絮体的沉降,记录大部分絮体沉降所用时间。沉降15 min后,记录烧杯底部絮体的外观。此外,在同一时刻用移液枪在烧杯中相同位置吸取适量上清液,测定浊度。

排泥水浓缩效果试验:分别在表面负荷为1 m³/(m²·h)、固体负荷为4 kg/(m²·h)以及表面负荷为1 m³/(m²·h)、固体负荷为6 kg/(m²·h)条件下,采用计量泵同步加入一定量PAM后,新型重力浓缩池开始正式进泥,进行连续试验。在保持上清液清澈的情况下,当池内泥位到达水下1.5 m时进行排泥,排泥量视进水浓度和进水量而定。每次排泥时对底部排泥口的含固率进行测定。

浓缩池上清液浊度采用便携式浊度仪测定;污泥含固率采用水分仪测定;将排泥水的污泥在1 000 ℃下灼烧至恒质量,以损失的质量计算烧失量。

2 结果与讨论

2.1 排泥水污泥特性

排泥水污泥表现为黄褐色,含有藻类,略带土腥味且具有一定的黏性。排泥池内排泥水温度为18.6~23.0 ℃,平均温度为20.1 ℃。湿污泥密度为1.001 8~1.003 1 g/cm³。试验期间排泥水污泥的含固率为0.102%~0.783%,平均值为0.48%;烧失量为24.6%,造成污泥有机物组分多的主要原因可能是水中含有藻类和腐殖质。一般情况下,含有藻类的水源水在净化时耗药量相对较大,混凝沉淀效果较差,同样排泥水沉降污泥的性能也较差,浓缩污泥相对而言较难被进一步压实。

2.2 排泥水自然沉降性能

不同含固率下污泥沉降比的变化如图3所示。可知,排泥水污泥沉降速率随着时间的延长不断下降。当含固率低时,初始阶段污泥沉降速率较快,当快达到压密点时变得缓慢,而且在压密点附近沉降曲线开始发生转折。随着排泥水污泥含固率的增加,污泥的下降速率越来越慢,历时曲线逐渐趋

于平缓,而压密点越来越不明显。另外,排泥水污泥大多在120 min后沉降速率趋于稳定,其原因可能是此时污泥浓度变高,很难继续在量筒内压缩沉降。

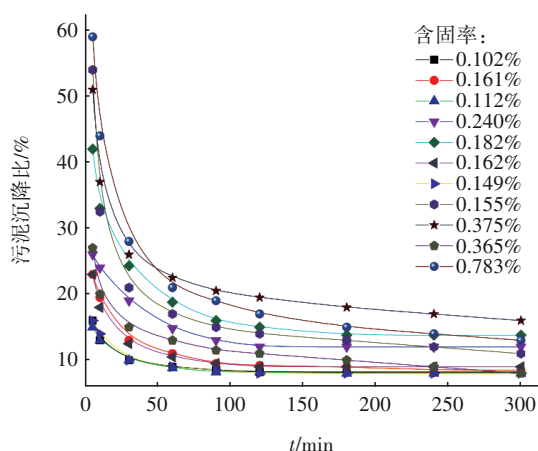


图3 不同含固率下污泥沉降比的变化

Fig.3 Change of sludge volume under different solid contents

2.3 排泥水混凝试验

2.3.1 阴离子型PAM

在投加阴离子型PAM条件下,絮体尺寸随PAM投加量的增加而增大。当阴离子型PAM浓度为240 mg/L,加药量为1 mL时,即可观察到排泥水污泥形成了絮体。加药后排泥水的泥水分界面均较清晰,且加药量越多分界面越明显。不同阴离子型PAM投加量条件下,排泥水污泥从混凝试验烧杯上刻度为1 L开始下降至不同刻度所用时间如图4所示。

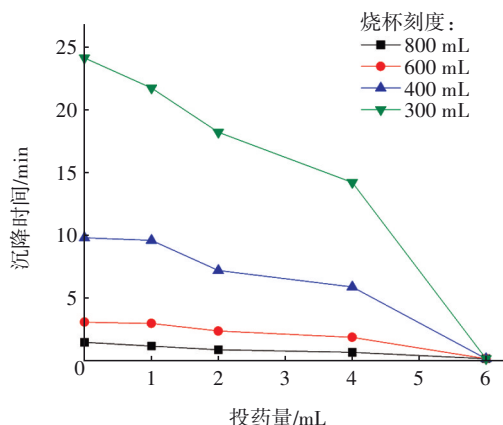


图4 不同阴离子型PAM投加量下排泥水污泥沉降速率的变化

Fig.4 Change of settlement rate of sludge in discharged sludge water under different anionic PAM dosages

由图4可知,排泥水污泥的沉降速率随着投药量的增加而加快,其中未投加阴离子型PAM的原水沉降最慢。混凝搅拌结束并静置15 min后,阴离子型PAM不同投加量下排泥水上清液浊度随着投药量的增加依次下降。其中原水的上清液浊度为152 NTU,当投药量为6 mL时,上清液浊度为46 NTU,浊度去除率为69.7%。综合考虑排泥水投加阴离子型PAM后生成的絮体大小、沉降速度及上清液浊度结果后,认为当排泥水含固率为0.3%时,加入2 mL浓度为240 mg/L的阴离子型PAM溶液时即可获得较好的混凝沉淀效果,即PAM投加量为0.16 mg/g干泥。

2.3.2 非离子型PAM

当排泥水含固率为0.3%时,其浊度为148 NTU。与投加阴离子型PAM相似,投加非离子型PAM的排泥水絮体大小、沉降速度及上清液的浊度,均随着投药量的增加表现出越来越好的效果。当加入4 mL浓度为240 mg/L的非离子型PAM溶液时,其上清液浊度为84 NTU,去除率为43.2%。综合考虑排泥水投加非离子型PAM后生成的絮体大小、沉降速度及上清液浊度,认为当排泥水含固率为0.3%时,加入4 mL浓度为240 mg/L的非离子型PAM溶液即可获是较好的混凝沉淀效果,即非离子型PAM投加量为0.32 mg/g干泥。

2.3.3 混凝剂的确定

根据前述混凝试验结果,选用一定量的排泥水,其上清液浊度为145 NTU,分别取1 L上述搅拌均匀后的排泥水置于烧杯中,按烧杯的顺序依次加入2 mL阴离子型PAM、4 mL阴离子型PAM、2 mL非离子型PAM、4 mL非离子型PAM进行混凝沉淀试验。混凝搅拌结束并静置15 min后,相应排泥水上清液的浊度分别为93、73、119和83 NTU。综合考虑排泥水投加PAM后生成絮体的大小、沉降速度及上清液浊度结果,确定阴离子型PAM作为后续污泥浓缩试验的混凝剂。

2.4 不同固体负荷下排泥水的浓缩效果

中试设备以新建给水厂的重力浓缩池为研发应用目标,其设计表面负荷为 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。因此,新型重力浓缩池以进水量为 $12.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 、固体负荷为 $4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 进行试验。试验期间进泥含固率为0.18%~0.52%,平均值为0.40%,阴离子型PAM的投加量为2.56 mg/g干泥,图5展示了不同时间下池

内泥位的变化情况。可知,起初,池内泥位在水下 3 m,刚进水的前几个小时池内泥位上升较快,可能是因为系统刚启动,对池内原有的污泥进行扰动造成的。此后,随着进水时间的延长,池内污泥增长速度变缓,且随着进泥含固率的升高而加快、降低而减弱。进水期间,上清液浊度为 1~10 NTU,平均值为 2 NTU。

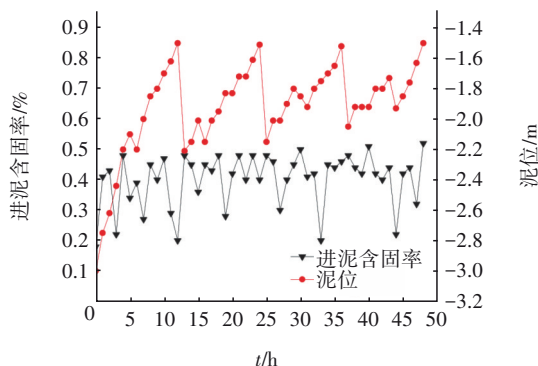


图5 固体负荷为 $4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时进泥含固率和池内泥位的变化

Fig.5 Change of solid content of sludge and height of sludge below effluent level with $4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ of solid load

从图 5 还可以发现,当池内泥位增长至水位以下 1.5 m 时,系统开始排泥,每次排泥 1 m,排泥间隔为 12 h,底部排泥口的含固率为 5.32%~6.11%。与常规重力浓缩池排泥口的含固率 2%~3% 相比,新型重力浓缩池可有效提高排泥口的含固率,从而在绝干污泥量保持不变的情况下,有效减少脱水机操作频次。根据《得利满设计手册》,高负荷静态重力浓缩池 PAM 投加量为 1~3 kg/t 干泥,而本试验中虽然表面负荷只有 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,但是进水固体负荷为 $4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,相应的阴离子型 PAM 投加量为 2.56 mg/g 干泥,即 2.56 kg/t 干泥,表明加药量处于合理区间内。

为进一步研究新型重力浓缩池对排泥水的浓缩效果,在保持表面负荷为 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,即进水量为 $12.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,提高进水平均固体负荷至 $6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 进行试验。运行期间进泥含固率为 0.50%~0.62%,平均含固率为 0.60%,阴离子型 PAM 投加量为 2.56 mg/g 干泥。该新型重力浓缩池上清液出水浊度为 1~10 NTU,平均值为 3 NTU。不同时间下泥位的变化如图 6 所示。可知,系统启动时,池内泥位为 -3.45 m,与前述相似,刚运行时,泥位升高速度较快,而后增速减缓。当泥位增长至水下 1.5 m

时,系统开始排泥,每次排泥为 1 m,排泥间隔为 8 h。每次排泥时排泥口的含固率均在 5.76%~6.35% 之间。

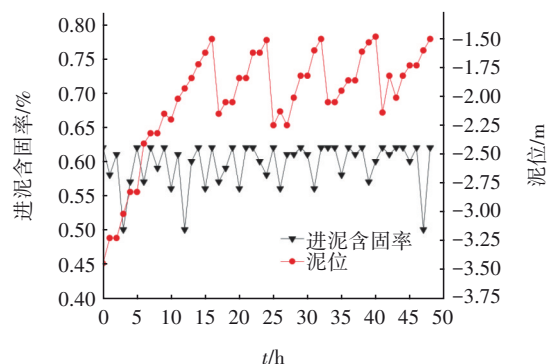


图6 固体负荷为 $6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时进泥含固率和池内泥位的变化

Fig.6 Change of solid content of sludge and height of sludge below effluent level with $6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ of solid load

当常规重力浓缩池用于给水厂污泥浓缩时,其固体负荷一般控制在 $0.5 \sim 1.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,而新型重力浓缩池可承受的固体负荷为 $6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。究其原因,加药的污泥可在池内进行高效混合和絮凝,并形成一定厚度的稳定泥层,该泥层可利用其所具有的拦截、吸附等特性对排泥水中的悬浮物进行截留和吸附。另外,新型重力浓缩池的有效水深为 8.2 m,具有比常规重力浓缩池更高的有效水深,高水深的池体不仅增强了池内污泥的拥挤沉淀作用,还可利用池体本身具有的重力优势进一步强化池内底部污泥的压缩沉淀,从而实现排泥水中污泥的高效浓缩。

3 结论

① 中试排泥水污泥的含固率为 0.102%~0.783%,平均值为 0.48%,湿污泥密度为 $1.0018 \sim 1.0031 \text{ g}/\text{cm}^3$,烧失量为 24.6%。

② 在表面负荷为 $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、固体负荷为 $6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、阴离子型 PAM 投加量为 2.56 mg/g 干泥条件下,出水上清液的浊度可保持在 1~10 NTU,平均值为 3 NTU,且排泥口含固率可达 5% 以上,实现较传统浓缩池提高 2% 的目标,从而减少了后续脱水机的运行频次。

③ 新型重力浓缩池主要是利用加药后污泥的高效混合絮凝等特性进行污泥浓缩,并辅以高水深池体带来的更强的拥挤和压缩沉淀作用,使其具有底部排泥口含固率高及可承受更高进水固体负

荷的优势,可为同类型给水厂污泥浓缩处理工程设计提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 杨励,张佳骥,王娟,等. 海南省某水厂排泥水极限固体通量及絮凝试验研究[J]. 环境工程, 2023, 41(S1): 215-218, 261.
YANG Li, ZHANG Jiaji, WANG Juan, *et al.* Experimental study on the limit solid flux and flocculation of sludge discharged from a water plant in Hainan Province [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(S1): 215-218, 261(in Chinese).
- [2] 笄跃武,陈焱,缪绎,等. 自来水厂排泥水处理浓缩工艺运行优化研究[J]. 给水排水, 2022, 48(S2): 137-142.
DA Yuewu, CHEN Yi, MIAO Yi, *et al.* Study on the optimization of thickening process for sludge water treatment in waterworks [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S2): 137-142(in Chinese).
- [3] 曹政,张怡然,赵宇,等. 阴离子聚丙烯酰胺对净水厂污泥浓缩性影响的试验研究[J]. 供水技术, 2021, 15(4): 11-13.
CAO Zheng, ZHANG Yiran, ZHAO Yu, *et al.* Study on effect of anion polyacrylamide on sludge concentration in waterworks [J]. Water Technology, 2021, 15(4): 11-13(in Chinese).
- [4] 陈心凤,张恒. 红角洲水厂排泥水处理工程设计[J]. 净水技术, 2020, 39(6): 24-26, 89.
CHEN Xinfeng, ZHANG Heng. Engineering design of sludge wastewater treatment project for Hongjiaozhou WTP [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(6): 24-26, 89(in Chinese).
- [5] 刘彤. 净水厂排泥水处理技术的试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
LIU Tong. Experimental Research on Sludge Treatment

Technology in Water Purification Plant [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018(in Chinese).

- [6] 王洪刚. 沉淀-气浮-深度处理联用工艺排泥水处理系统设计[J]. 净水技术, 2024, 43(5): 182-187, 203.
WANG Honggang. Design of sludge water treatment system with combined processes of sedimentation-air floatation-advanced treatment [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(5): 182-187, 203(in Chinese).
- [7] 何嘉莉,李家耀,庾明辉,等. 不同给水厂排泥水处理工艺对比分析[J]. 给水排水, 2023, 49(10): 1-5, 14.
HE Jiali, LI Jiayao, YU Minghui, *et al.* Comparative analysis of sludge water treatment process in different waterworks [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(10): 1-5, 14(in Chinese).
- [8] 周宗雷,王正文. 浙江沿海某自来水厂一期工程设计与运行[J]. 供水技术, 2022, 16(2): 12-15.
ZHOU Zonglei, WANG Zhengwen. Design and operation of the first-stage project of waterworks in Zhejiang coastal area [J]. Water Technology, 2022, 16(2): 12-15(in Chinese).
- [9] 高伟楠,纪海霞,王洪刚,等. 广东省某水厂污泥处理系统设计[J]. 中国给水排水, 2017, 33(8): 73-76, 81.
GAO Weinan, JI Haixia, WANG Honggang, *et al.* Design of sludge treatment system for a waterworks in Guangdong Province [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8): 73-76, 81(in Chinese).

作者简介:杨熙(1974-),男,四川巴中人,硕士,工程师,主要研究方向为企业管 理、供水工程管 理、供水技术创新等。

E-mail:yxgzhdwater@163.com

收稿日期:2023-12-01

修回日期:2024-03-07

(编辑:任莹莹)