

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 H G. 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.

沉淀-气浮-深度处理联用工艺排泥水处理系统设计

王洪刚*

(北京市市政工程设计研究总院有限公司,北京 100082)

摘要 吉林省某水厂工程近期设计规模为 $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, 远期设计规模为 $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。采用沉淀-气浮-深度处理联用净水工艺, 根据原水水质灵活组合。文章介绍了多运行模式排泥水系统设计, 主要包括集泥池、排渣池、排水池、回流水池、浮动槽排泥池、浓缩池、上清液收集池、平衡池、脱水机房及废水调节池。该系统具有运行灵活、水资源利用率高、药剂运行成本低、回流冲击负荷小的优点。砂滤池反冲洗排水静沉后上清液回用, 底泥排至排泥池处理。炭吸附池反冲洗排水回用方式根据水质确定。设计废水调节池及废水排出管道, 解决了厂外部无市政污水管道的问题。排泥水处理系统工程费为 7 900 万元。

关键词 气浮 排泥水 排渣池 排水池 浮动槽排泥池

中图分类号: TU991 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)05-0182-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.05.021

Design of Sludge Water Treatment System with Combined Processes of Sedimentation-Air Floatation-Advanced Treatment

WANG Honggang*

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract The recent design scale of a water treatment plant in Jilin Province is $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, and its long-term design scale is $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$. The water treatment combined process of sedimentation-air floatation-deep treatment is adopted and combined flexibly with raw water quality. The system design of multi-mode operation sludge water treatment is introduced, including sludge collection tank, residue discharge tank, drain tank, back-flow tank, sludge tank with floating trough, concentration tank, supernatant collection tank, balance tank, dewatering room, wastewater adjusting tank. The sludge water treatment has the advantage of flexible operation, high water utilization rate, low cost of reagent and low back-flow shock loading. The clear supernatant of sand filter backwashing wastewater after static settling is reused, and sediment is discharged to sludge discharge tank to be treated. The reused mode of carbon adsorption backwashing wastewater is decided by water quality. The wastewater regulation tank and wastewater pipe is designed to solve the problem of no municipal sewage pipes. The total project cost of sludge water treatment is 79.00 million yuan.

Keywords air floatation sludge water residue discharge tank drain tank sludge tank with floating trough

随着城市建设及环境保护事业的不断发展, 水厂排泥水处理问题越发引人关注, 除新建水厂同步实施排泥水处理系统外, 现状无排泥水处理设施的水厂也在逐步改造新增排泥水处理设施, 以满足日趋严格的环保要求。与此同时, 随着净水技术的发展, 生产、运营也对排泥水处理提出了更高的要求,

包括节水、安全回用、减小对水处理系统的冲击负荷、提高污泥处理效果、节省投资、运行灵活方便等。本文以吉林省某长流程水处理工艺水厂为典型案例, 系统介绍了排泥水处理设计要点, 供同类工程设计参考。

1 项目概况

吉林省某水厂工程近期设计规模为 $25 \text{ 万 m}^3/\text{d}$, 远期设计规模为 $50 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。本工程双水源为水库原水与吉林省中部城市引松工程引水, 设计出水水质执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),

[收稿日期] 2023-11-15

[通信作者] 王洪刚(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事给水及污水处理设计及研究等工作, E-mail: hitwhg@163.com.

其中浊度 ≤ 0.5 NTU,拟采用预氧化+折板絮凝+侧向流斜板沉淀+高速气浮+砂滤池+臭氧活性炭深度处理工艺,多级屏障有效应对原水冬季低温低浊、夏季高藻、铁锰季节性超标、汛期浊度波动范围较大、存在有机微污染风险的复杂水质,水处理工艺流程图如图 1 所示。净水单元灵活组合,

根据原水水质决定工艺单元的启停:原水水质较好时可跨越深度处理单元;低温、低浊水质可运行混凝沉淀单元或气浮单元;高浊、高藻水质采用混凝沉淀与气浮联用。拟建水厂位于水库的西北角、伊通河西侧,位置较偏远,周边无市政雨、污水管线。

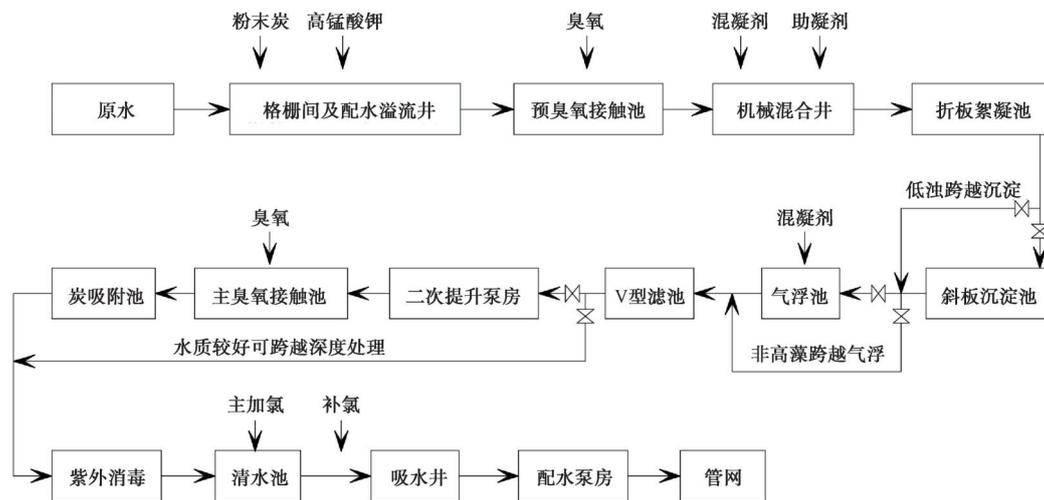


图 1 水处理工艺流程

Fig. 1 Process of Water Treatment

2 排泥水处理工艺

水厂排泥水主要来自几方面:絮凝、沉淀池排泥水;气浮池底部排泥及排渣;砂滤池及炭吸附池反冲洗排水及初滤水;生产废水,包括脱水机滤液、清洗池体产生的废水等;生活污水。水厂排泥水处理流程大致可分为调节、浓缩、脱水、处置 4 道基本工序^[1]。

2.1 调节工艺

调节池可分为分建式调节池和合建式调节池,与合建式调节池相比,分建式调节池有诸多优势:①单设排泥池接纳浓度较高的絮凝、沉淀排泥水,可避免被含固率较低的滤池反冲洗水稀释;②分建式调节池增加了排泥水在浓缩池的停留时间,提高了浓缩池的浓缩效果;③有利于排泥水的回收利用^[2]。

本工程采用分建式调节池,调节构筑物主要包括集泥池、浮渣池、浮动槽排泥池、回流水池、反冲洗排水池。①设计排泥池收集絮凝、沉淀池排泥水。折板絮凝池、斜板沉淀池、气浮池 3 个部分排泥水汇至排泥渠,排泥渠底高程为 205.4 m,室外地面高程为 210.0 m,若排泥水重力排至排泥池,排泥池深度较大,投资较高,运行管理不变,且上部 4 m 多空间闲置,因此考虑设置集泥池,排泥水重力排至集泥

池,再由排泥泵提升至浮动槽排泥池。该方案可以有效降低排泥池投资,且原水除汛期浊度较大外,其余时间浊度较低,沉淀池排泥量小,排泥泵运行电耗增加并不多。②气浮池采用水力排渣,即将分离区中的水位提高到足以使浮渣和水溢流到浮渣收集槽中^[3],排渣含固率为 1~5 g/L,4~6 h 排一遍渣,每次排渣时间为 2~3 min。③砂滤池反冲洗水排至反冲洗排水池,为提高反冲洗排水回用的安全性,排水池底部设泥斗,反冲洗排水进入排水池后静沉一段时间,上清液回流前端处理,底泥排至浮动槽排泥池进一步处理^[4]。④炭吸附池反冲洗排水水质相对较好,介于砂滤池反冲洗排水与初滤水之间。本工程设计预留了反冲洗排水两种处理方式:一种是与初滤水一同排至回流水池,不经沉淀直接回流;另一种是排至反冲洗排水池,静沉后上清液回流,底泥排至排泥池处理。⑤初滤水水质较好,可直接回流前端处理,不需要静沉。

2.2 浓缩工艺

设计采用浮动槽排泥池,具有预浓缩作用,可进一步减少进入浓缩池的排泥水量,提高浓缩池处理效果。浮动槽排泥池出泥含水率可低于 99%,均匀

进入辐流式重力浓缩池,有利于减少对浓缩池的冲击负荷,提高浓缩池浓缩效果。

2.3 脱水及处置工艺

根据环评要求,本工程污泥脱水后外运至垃圾填埋场填埋,要求含水率 $\leq 60\%$,设计采用板框脱水机。

2.4 生产废水处理

生产废水主要包括脱水机滤液、清洗构筑物产生的废水及排泥水处理构筑物溢流水等。其中脱水机滤液污染物含量较高,回用可能造成某些污染物在系统内富集,影响供水安全,因此不建议回用,建议在满足环保要求的情况下排至厂外污水管网;清洗构筑物产生的废水及排泥水处理构筑物溢流水等,可以排入排泥池回收利用或排至厂外污水管网。

生产废水处理可采用3种方案:方案1,就近重力排至厂外市政管网;方案2,厂内设置单独的生产废水处理设施,处理达标后就近排至河道;方案3,厂内设置调蓄设施收集生产废水,提升后通过拟建厂外废水管道排至污水管网。本工程厂区外无市政污水管网,无法采用方案1。厂区临近河道,采用方案2存在以下问题:现有的废水处理工艺基本无法实现零排放,即仍然有新的废水产生;生产废水水质

难以确定,处理工艺的选择比较困难;生产废水量变化较大,处理设施闲置率高,运行管理工作量大。综上,推荐采用方案3,厂区设置废水调节池1座,并敷设1根厂外压力污水管道至现状污水检查井,长度约为3.5 km。

2.5 排泥模式选择

沉淀池排泥和滤池反冲洗可分为均匀排泥模式和非均匀排泥模式。均匀排泥模式指沉淀池连续均匀排泥,或者是沉淀池的排泥次数在24 h内均匀分布,每次排泥延续时间相同,间隔相同,滤池反冲洗次数在24 h内均匀分布,而非均匀排泥模式与之相反。非均匀排泥模式排泥不均匀性大,调节难度大,所需调节容积大,投资高,回流不均匀,对水处理冲击负荷大^[2]。因此推荐采用均匀排泥模式:沉淀池共4组,每组2个系列,每系列3台中心悬挂式刮泥机,每次同组内的2台刮泥机排泥,根据原水水质、加药量等计算干泥量,并结合沉淀池出水水质综合确定每日排泥次数及各组排泥时间;砂滤池共12格,冲洗周期为24 h,每2 h冲洗1格;炭吸附池共12格,冲洗周期为72 h,每6 h冲洗1格。

2.6 排泥水处理工艺流程

排泥水处理工艺流程如图2所示。

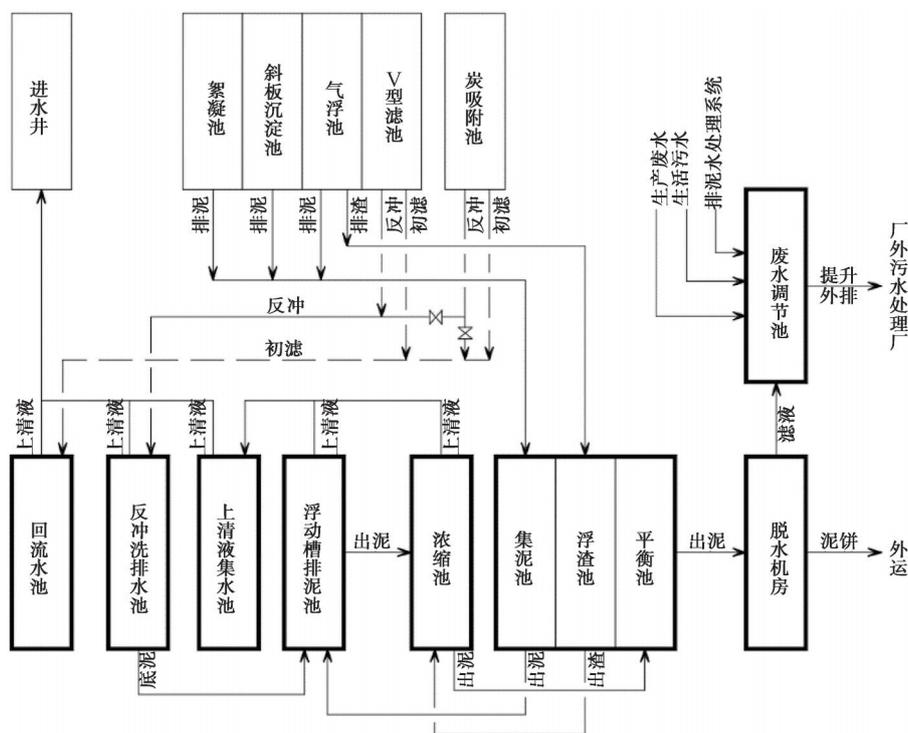


图2 排泥水处理工艺流程

Fig. 2 Process of Sludge Water Treatment

3 排泥水处理系统设计

3.1 干泥量

设计处理干泥量计算依据《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)第 10.1.4 公式计算确定,按满足全年 95% 日数的全量完全处理要求统计历年原水浑浊度数据确定原水浑浊度设计取值 $C_0 = 45$ NTU,原水浑浊度与悬浮物换算系数 k_1 取 1.5; 混凝剂(碱铝)投加量 $D_1 = 8$ mg/L(纯品),转化成干泥量系数 $k_{2-1} = 1.53$,粉末活性炭投加量 $D_2 = 15$ mg/L,转化成干泥量系数 $k_{2-2} = 1.0$;水厂自用水系数 k_0 取 1.05。计算近期设计规模为 25 万 m^3/d 时,设计处理干泥量为 24.9 t DS/d,远期设计规模为 50 万 m^3/d 时,设计处理干泥量为 49.8 t DS/d。

3.2 集泥池、排渣池、平衡池

集泥池、排渣池及平衡池采用合建的布置形式,设计规模为 25 万 m^3/d 。

3.2.1 集泥池

沉淀池共 4 组,每组 2 个系列,每系列 3 台中心悬挂式刮泥机,共 24 台中心悬挂式刮泥机,每次排泥同时开启同组内的 2 台刮泥机对应的排泥阀,根据原水水质确定每日排泥次数 n ,排泥时间间隔 $t = 120/n$ min,自动控制排泥阀开启。折板絮凝池、侧向流斜板沉淀池、气浮池排泥重力进入集泥池,设计集泥池 1 座,分 2 格,单格有效容积为 150 m^3 。设计排泥泵 3 台,其中 2 台 $Q = 220$ m^3/h , $H = 10$ m,2 用,另 1 台作为备用泵, $Q = 600$ m^3/h , $H = 10$ m,兼做絮凝、沉淀、气浮池放空泵。每格集泥池设 2 台潜水搅拌机,防止排泥水沉淀。

3.2.2 排渣池

气浮池共 4 组,每组 2 个系列,水力排渣通过管道重力进入排渣池,4~6 h 排一遍渣,每次排渣时间为 2~3 min,根据实际运行情况调整。设计排渣池 1 座,分 2 格,单格有效容积为 180 m^3 ,可收集 2 个系列气浮池单次排渣水量,其中 1 格排渣池在水处理设施跨越气浮池运行时兼做平衡池使用。设计排渣泵 2 台,1 用 1 备,将浮渣排至浓缩池, $Q = 160$ m^3/h , $H = 20$ m。每格排渣池设 2 台潜水搅拌机,防止浮渣或污泥沉淀,且有利于浮渣消泡。

3.2.3 平衡池

平衡池为调节浓缩池连续运行和板框脱水机间歇运行而设置,同时可用于贮存原水高浑浊度时超

量污泥排泥水^[5]。设计平衡池 1 座,分 2 格,单格有效容积为 210 m^3 ,可贮存不小于 4 h 的污泥量,在跨越气浮池时 1 格浮渣池兼做平衡池使用,3 格平衡池可贮存不小于 12 h 的污泥量。平衡池污泥由排泥泵提升至脱水机房内调质池,设计排泥泵 2 台,2 用, $Q = 160$ m^3/h , $H = 20$ m,与排渣池共用 1 台备用泵。每格平衡池设 2 台潜水搅拌机,防止污泥沉淀。

3.3 污泥处理车间

3.3.1 平面布置

为节省厂区用地,将排水池、回流水池、浮动槽排泥池、浓缩池、提升泵房及上清液收集池合建,集约化布置,便于高寒地区运行维护管理,平面布置如图 3 所示。

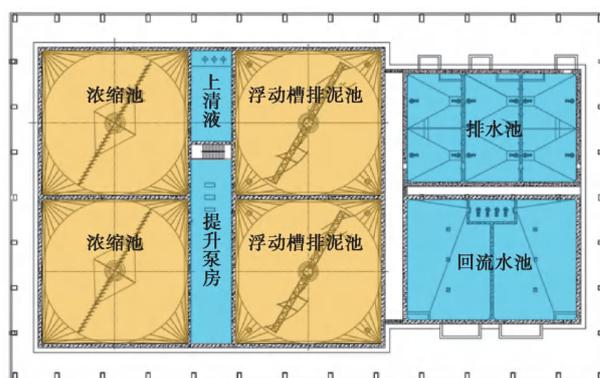


图 3 污泥处理车间平面布置

Fig. 3 Layout of Sludge Treatment Plant

3.3.2 排水池

砂滤池反冲洗水排至排水池,炭吸附池反冲洗水排至排水池或回流水池,根据运行情况灵活调整。砂滤池共 12 格,单格过滤面积为 112 m^2 ,冲洗周期为 24 h,每 2 h 冲洗 1 格,单次最大反冲洗排水量为 620 m^3 ;炭吸附池共 12 格,单格过滤面积为 91 m^2 ,冲洗周期为 72 h,每 6 h 冲洗 1 格,单次最大反冲洗排水量为 655 m^3 。设计排水池 1 座,分 3 格,单格有效容积为 664 m^3 ,可容纳砂滤池或炭吸附池单次最大反冲洗排水量。为提高反冲洗排水回用的安全性,排水池设泥斗,反冲洗排水沉淀后上清液回流前端处理,底泥排至排泥池进一步处理。仅砂滤池反冲洗排水进入排水池时,3 格排水池交替进水,单格进水时间约为 20 min,静沉时间约为 4 h,上清液回流时间约为 80 min,底泥排除时间约为 20 min,排水池运行以 12 h 为周期排班如图 4 所示。炭吸附池反冲洗排水进入排水池时,砂滤池

2台,1用1备, $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=65\text{ m}$ 。设计DN250压力废水排放管道1根,长度约为3.5 km,将废水排至厂外污水管网。

4 运行模式及经济分析

本工程排泥水处理主要包括集泥池、排渣池、平

衡池、污泥处理车间、脱水机房、废水调节池,工程费合计约为7 900万元。排泥水处理系统随净水单元灵活组合,存在多种运行模式,如表1所示,其中排泥池及浓缩池运行方式不受水处理工艺组合影响,不列入表格。

表1 排泥水处理运行模式

Tab. 1 Operation Mode of Sludge Water Treatment

水处理工艺	反冲洗排水池	回流水池	集泥池	排渣池	平衡池
① 沉淀	3格排水池交替接纳砂池反冲洗排水	只开初滤水回流泵	接纳絮凝、沉淀规律性排泥	不运行	运行3格
② 气浮	3格排水池交替接纳砂池反冲洗排水	只开初滤水回流泵	接纳气浮池底部间歇性排泥	运行2格	运行2格
③ 沉淀+气浮	3格排水池交替接纳砂池反冲洗排水	只开初滤水回流泵	接纳絮凝、沉淀、气浮排泥	运行2格	运行2格
④ 沉淀+深度	工况1 炭池排水至回流水池 工况2 炭池排水至排水池	同时开启初滤水回流泵和炭池反冲洗排水回流泵 只开初滤水回流泵	接纳絮凝、沉淀规律性排泥	不运行	运行3格
⑤ 气浮+深度	同工艺④,反冲洗排水池根据炭池排水去向分两种工况运行	同工艺④,回流水池根据炭池排水去向分两种工况运行	接纳气浮池底部间歇性排泥	运行2格	运行2格
⑥ 全流程	同工艺④,反冲洗排水池根据炭池排水去向分两种工况运行	同工艺④,回流水池根据炭池排水去向分两种工况运行	接纳絮凝、沉淀、气浮排泥	运行2格	运行2格

5 设计总结

(1)节水。本工程排泥水处理系统水资源利用率高,正常生产运行过程中,除生活污水、脱水机滤液外排外,其余排泥水全部回用,降低自用水量。

(2)安全回用。①砂滤池反冲洗排水需静沉后回用上清液,静沉时间不宜小于1 h,底泥排至排泥池进一步处理;②初滤水可直接回用;③炭吸附池反冲洗排水根据实际水质确定回用方式,如北方地区冬季微生物生长缓慢,反冲洗水质较好,可直接回用,而夏季反冲洗排水中脱落的生物膜较多,建议静沉后回用。

(3)排泥水处理药剂成本低。除污泥脱水外,排泥水处理工艺段均不加药。

(4)排泥水回用对水处理系统冲击负荷小,对水质影响小。排水池设置泥斗,反冲洗排水静沉后上清液回流,底泥排至排泥池,减小回流水对水处理系统水质的冲击负荷;设计采用均匀排泥及均匀回流模式,减小对水处理系统水量的冲击负荷。

(5)节省投资。絮凝、沉淀、气浮排泥水经集泥池调节后提升排至浮动槽排泥池,减少排泥池埋深,节省投资。

(6)排泥水处理系统运行灵活,可随净水工艺选择灵活调整。

(7)新建水厂往往位置偏远,周边市政污水管道配套不完善。本工程设置废水调节池及废水排出管道,解决了因厂区外部无市政污水管道导致的厂区废水无法排放的问题,为同类工程提供参考。

6 结论

根据沉淀-气浮-深度处理灵活切换的净水工艺,设计了多模式运行的排泥水处理系统,该系统主要包括集泥池、排渣池、排水池、回流水池、浮动槽排泥池、上清液收集池、浓缩池、平衡池、脱水机房及废水调节池等,具有运行灵活、水资源利用率高、药剂运行成本低、回流冲击负荷小的特点,供同类工程设计参考。

参考文献

[1] 鄯燕秋,张金松. 净水厂改扩建设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
QIE Y Q, ZHANG J S. Reconstruction and extension design of water treatment plant [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.

(下转第203页)

参考文献

- [1] 詹未, 韩志宇, 李勇, 等. 吹扫捕集-气相色谱-三重四极杆质谱法同时测定饮用出厂水中 6 种卤乙腈[J]. 色谱, 2021, 39(7): 758-763.
ZHAN W, HAN Z Y, LI Y, et al. Simultaneous determination of six haloacetonitriles in drinking water by purge trap gas chromatography triple quadrupole mass spectrometry [J]. Chromatography, 2021, 39 (7): 758-763.
- [2] World Health Organization. Guidelines for drinking water quality [M]. 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2017.
- [3] 于洋, 韦霄, 张志勇. 饮用水中卤乙腈的形成和毒性研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(8): 741-745.
YU Y, WEI X, ZHANG Z Y. Research progress on the formation and toxicity of haloacetonitrile in drinking water [J]. Journal of Environment and Health, 2014, 31(8): 741-745.
- [4] 蒋柱武, 刘欣汝, 武江南, 等. 饮用水中典型含氮消毒副产物的生成与控制研究进展 [J]. 环境工程学报, 2020, 14 (10): 2595-2603.
JIANG Z W, LIU X R, WU J N, et al. Research progress on generation and control of typical nitrogen containing disinfection by-products in drinking water [J]. Journal of Environmental engineering, 2020, 14(10): 2595-2603.
- [5] KERMANI F R, TUGULEA A M, HNATIW J, et al. Application of automated solid-phase microextraction to determine haloacetonitriles, haloketones, and chloropicrin in canadian drinking water [J]. Water Quality Research Journal of Canada, 2013, 48(1): 85.
- [6] CARTER R A A, LIEW D S, WEST N, et al. Simultaneous analysis of haloacetonitriles, haloacetamides and halonitromethanes in chlorinated water by gas chromatography-mass soectrometrv [J]. Chemosphere, 2019, 220(4): 314-323.
- [7] 刘哈. 饮用水中卤代硝基甲烷的分布特点、来源及毒性研究进展 [J]. 环境化学, 2022, 41(4): 1182-1192.
LIU H. Research progress on distribution characteristics, sources and toxicity of halogenated nitromethane in drinking water [J]. Environmental Chemistry, 2022, 41(4): 1182-1192.
- [8] SUN X, CHEN M, WEI D, et al. Research progress of disinfection and disinfection by-products in China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2019, 81: 52-67. DOI: 10.1016/j.jes.2019.02.003.
- [9] DING H H, MENG L P, ZHANG H F, et al. Occurrence, profiling and prioritization of halogenated disinfection by-products in drinking water of China [J]. Environmental Science Processes & Impacts, 2013, 15(7): 1424-1429.
- [10] YE Z X, SHAO K L, HUANG H, et al. Tetracycline antibiotics as precursors of dichloroacetamide and other disinfection byproducts during chlorination and chloramination [J]. Chemosphere, 2020, 270: 128628. DOI: 10.1016/J.chemosphere, 2020.128628.
- [11] 李悦宁, 贺凯, 王婷, 等. 日本消毒副产物及其前体物的现状及研究进展 [J]. 环境化学, 2018, 37(8): 1820-1830.
LI Y N, HE K, WANG T, et al. Current status and research progress on disinfection by-products and their precursors in Japan [J]. Environmental Chemistry, 2018, 37(8): 1820-1830.
- [12] CUTHBERTSON A A, LIBERATORE H K, KIMURA S Y, et al. Trace analysis of 61 emerging Br⁻, Cl⁻, and I-DBPs: New methods to achieve part-per-trillion quantification in drinking water [J]. Analytical Chemistry, 2020, 92(4): 3058-3068.
- [13] 中华人民共和国生态环境部. 环境监测分析方法标准制订技术导则: HJ 168—2020 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2021.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Technical guidelines for formulating environmental monitoring and analysis method standards: HJ 168—2020 [S]. Beijing: China Environment Press, 2021.

(上接第 187 页)

- [2] 何纯提. 净水厂排泥水处理 [M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
HE C T. Sludge water treatment in water treatment plant [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [3] 黄鹤俊, 刘万里, 熊宇明, 等. 气浮-臭氧活性炭工艺在珠海唐家水厂升级改造中的应用 [J]. 中国给水排水, 2022, 48 (10): 12-17.
HUANG H J, LIU W L, XIONG Y M, et al. Application of air flotation and ozone-activated carbon combined process in the upgrading and reconstruction project of Tangjia water plant in Zhuhai [J]. China Water & Wastewater, 2022, 48 (10): 12-17.
- [4] 罗丁, 田萌, 董红, 等. 某净水厂排泥水处理工程系统设计 [J]. 给水排水, 2020, 46(3): 103-107.
LUO D, TIAN M, DONG H, et al. System design of sludge water treatment in a water treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(3): 103-107.
- [5] 魏秉华. 城镇给水 [M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
WEI B H. Urban water supply [M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.