

吴桂菊, 张强, 李金印, 等. 某浓香型白酒污水厂污泥处置设计案例[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 190-195.

WU G J, ZHANG Q, LI J Y, et al. Design case of sludge disposal in strong flavor liquor WWTP[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 190-195.

某浓香型白酒污水厂污泥处置设计案例

吴桂菊^{1,*}, 张强¹, 李金印¹, 王亮亮²

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 四川成都 610000; 2. 北京清源华建环境科技有限公司, 北京 100000)

摘要 为研究适宜的浓香型白酒污水厂污泥处置方案, 满足节能降碳、高效用能的项目需求, 提出通过能耗分析对比主流污泥处置工艺的设计思路。结果表明, 离心脱水和污泥低温干化工艺不需要消耗沼气和额外补充能源, 满足能源利用的要求, 适宜在浓香型白酒污水厂污泥处置中使用。经过投资分析, 该方案 10 年费用为 1.28 亿元, 同期板框脱水方案为 1.56 亿元, 具有成本优势。研究对浓香型白酒污水厂污泥处置设计有一定的指导和借鉴意义。

关键词 节能降碳 浓香型白酒污水厂 污泥处置 污泥干化 余热利用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)07-0190-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.07.023

Design Case of Sludge Disposal in Strong Flavor Liquor WWTP

WU Guiju^{1,*}, ZHANG Qiang¹, LI Jinyin¹, WANG Liangliang²

(1. Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610000, China;

2. Beijing Aquaroot Environment Technology Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract To investigate an appropriate disposal process in the strong flavor liquor wastewater treatment plant (WWTP) sludge, fulfilling the requirements of energy conservation, carbon reduction, and efficient energy utilization, a proposal is made to compare the design concepts of mainstream sludge disposal processes through energy consumption analysis. The results show that the centrifugal dewatering and low-temperature sludge drying processes do not require the consumption of biogas and additional supplementary energy. They satisfy the requirements for energy utilization and are suitable for use in the sludge disposal of strong flavor liquor WWTPs. Through investment analysis, the proposed scheme incurs a cost of 128 million yuan over ten years, while the frame dehydrator scheme costs 156 million yuan over the same period, possessing a cost advantage. The case has a certain reference and reference significance for the design of sludge disposal in strong flavor liquor WWTPs.

Keywords energy conservation and carbon reduction strong flavor liquor wastewater treatment plant sludge disposal sludge drying waste heat utilization

在酿酒废水行业中, 研究废水处理工艺的文
献^[1-4]相对较多, 但对污泥处置方面的报道相对较
少。目前, 国内关于污泥能源结合利用的研究主要
集中于污泥协同焚烧或大型污泥集中处置工程, 其
工艺路线主要为污泥机械浓缩后进行厌氧消化, 脱
水后再进行污泥干化, 或者采用部分干化、部分高干
脱水的方式, 其污泥干化的热源主要来源于污泥厌

氧消化后产生的沼气燃烧^[5]。但该类研究均不属
于酿酒废水行业, 无法为酿酒行业污泥处理提供较
好的指导。

针对酿酒废水本身具有高浓度 COD_{Cr}、自带厌
氧消化工艺段的特点, 如何挖潜厌氧消化段的能源
价值并与污泥处置方式相结合是一个有挑战的问
题。本文以某浓香型白酒产业园区的污泥处置为
例, 详述了在酿酒废水工程设计中, 如何根据项目特
点来确定最佳的污泥处置方式。

为满足现有生产和未来扩能, 某浓香型白酒产业
园区启动了集中污水处理厂工程。在设计过程中, 园

[收稿日期] 2023-09-12

[通信作者] 吴桂菊(1988—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事
给排水及环境设计研究工作, E-mail: 790306850@qq.
com。

区提出要积极推动绿色低碳技术的应用,力争实现“零碳酒企”的标志性目标。围绕这一目标,污泥处置方案需要满足节能降碳和高效用能的要求。在设计过程中,对目前主流的污泥处理工艺进行了比对、能耗分析和投资分析,确定了合适的污泥处置工艺。

1 工程概况

该浓香型白酒工业废水规模为 23 000 m³/d,其中高浓度复槽酿酒废水为 4 000 m³/d、高浓度酿酒

废水为 16 700 m³/d 及园区生活污水为 2 300 m³/d。设计进水水质如表 1 所示。原工业废水经过预处理单元后,先进行厌氧处理,再进入生化处理,然后通过高级氧化后进行深度处理。出水水质需满足《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》[DB 51/2311—2016)表 1 标准,其中 SS 执行《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB 18918—2002)]一级 A 排放标准。

表 1 设计进水水质
Tab. 1 Designed Influent Quality

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	pH 值
高浓度复槽酿酒废水	55 000	27 500	1 200	350	120	800	1.5~3
高浓度酿酒废水	17 000	8 500	1 100	150	110	300	3.5~4.5
园区生活污水	350	200	250	35	4	45	6~7

本项目设计绝干污泥量为 35 t/d。产泥环节来源于升流式厌氧污泥床(UASB)、初沉池、一阶生化段、二阶生化段和高密度沉淀池。设计泥量如表 2 所示。

表 2 设计绝干污泥量
Tab. 2 Designed Dry Sludge Volume

项目	绝干污泥量/(kg·d ⁻¹)
UASB	7 900
初沉池	7 507
一阶生化段	13 335
二阶生化段	2 369
高密度沉淀池	3 596
合计	34 707

2 污泥处置方案设计

2.1 污泥性状

经污泥送检,现状废水处理站一站浓缩池后污泥颜色为黑色,pH 值为 7.2,含水率为 98%,有机质质量分数为 74%,溶解性总固体(TDS)为 429 mg/L,TN 为 144 mg/L,TP 为 2.6 mg/L。该污泥有机质含量很高,氮磷丰富,与常规市政污泥不同(市政污泥有机质质量分数一般为 30%~50%)。脱水后干基热值高,便于污泥焚烧。

2.2 污泥脱水工艺

目前,广泛应用于市政污泥行业的污泥脱水工艺包括离心脱水机、高压带式压滤机和板框压滤机。这些工艺经加药后含水率可分别降至 80%、70%和 60%左右。一般情况下,环评及污泥处置终端对进

泥含水率有明确的标准,前端根据该标准即可选择对应的污泥处理工艺。如果标准不明确,将会给污泥脱水工艺选择带来不确定性。此外,由于污泥性质的不同,即使选择常规的工艺也不一定能达到预期的效果。根据上海市石洞口污水处理厂污泥处理一期工程的运行经验,板框压滤机和随后增设的带式压滤机均未能达到最初设计的含水率(70%)。其主要原因是污泥包含难以去除的毛细管结合水、表面附着水以及微生物细胞内部水^[6]。根据深圳市观澜茜坑水厂运行经验,设备选型不合适,容易导致设备故障,出泥效果难以预估^[7]。如果常规工艺在处理市政污泥时效果不佳,那么在处理高有机质酿酒废水污泥时将面临更多困难。

鉴于整个酿酒废水行业污泥处置报道较少的情况,对酿酒废水污泥处置的脱水效果进行了现场调研。结果表明,采用叠螺脱水的污泥含水率一般能达到 85%左右,采用板框脱水的污泥含水率一般只能达到 70%,基本没有达到 60%的案例。

另外,根据产业园区酿造废水需要全天连续运行,污泥需要作为燃料供应给酒糟生物质热电站进行掺烧发电。目前,仅部分板框脱水机可以实现 24 h 运行,大部分仍需要人工值守,生产自动化程序不高。同时,酒糟生物质热电站不接受加石灰作为调理剂的污泥脱水工艺,其他种类的无机调理剂如果添加过多可能会影响下游焚烧系统。同时,前文及前期调研也表明,板框脱水机不能如期达到 60%的含水率,因此不推荐使用。此外,考虑到园区污泥有

机质含量较高,对药剂有更大的需求,如使用带式压滤机,药品消耗过大,也不推荐使用。

综上,决定采用更为稳定可靠的离心脱水机作为污泥脱水工艺。离心脱水机具有以下主要优点:适应污泥进料含固率变化的能力强;可长时间连续自动运行;分离因数高、絮凝剂投量少、长期运行成本低;单机生产能力大、结构紧凑、占地面积小、易于维护;能够实现封闭操作,工作环境条件优越。

2.3 污泥干化工艺

在工业高浓度有机废水的定义中, COD_{Cr} 质量浓度大于 2 000 mg/L 即为高浓度有机废水。虽然酿酒废水的 COD_{Cr} 根据酿酒过程中使用的原料、工艺和设备的不同有很大的变化,但酿酒废水 COD_{Cr} 含量一般远远超过该值。高浓度有机废水在处理过程中会产生大量沼气,由于沼气热值高、清洁无污染,利用沼气进行冷热电三联产具有显著的经济和环境效益。在具备一定规模的酿酒废水行业中,通常会进行沼气的收集和利用,沼气将被用来转换成热能或电能。在有沼气作为能源的项目中,污泥干化因其能与沼气利用相结合,天然地在污泥深度脱水过程中具有优势。一般来说,经过干化深度脱水处理后,污泥的含水率可以降至 10%~40%。

目前,污泥干化工艺有多种分类方式,根据加热温度可分为高温、中温和低温;根据热介质与污泥接触方式可分为直接加热和间接加热;根据设备形式可分为转鼓式、转盘式、带式、多重盘管式、薄膜式和浆板式等。

在繁多的分类中,选择何种污泥处理设备才能实现节能降碳和高效用能是一大难题。案例提出结合能耗分析、投资分析,通过比对几种代表性的污泥干化设备来确定适宜的污泥干化方式。本次设计考虑了两个前提:一是需要消耗 6.5 MW 的热量来加热厌氧进水;二是需要利用沼气发电产生的 500 °C 高温烟气作为热源,实现余热利用,沼气按 3 333 m^3/h 计算。

2.3.1 高温间接干化

由于高温间接干化需要提供高温热源,一般为 200 °C 的蒸汽,此时烟气最低只能降低至 220 °C,可以释放 4.1 MW 的热量,而干化系统的最大热耗为 4.8 MW,烟气热量不能满足需求,需要额外提供 0.7 MW 的热量。最简便的方式是增加沼气锅炉,燃烧部分沼气,减少发电量 6 720 kW·h/d,代价较大。厌氧进水加热需要 6.5 MW 热量,实际能够提供的是 7.4 MW,基本可以满足需求。高温间接干化能流如图 1 所示。

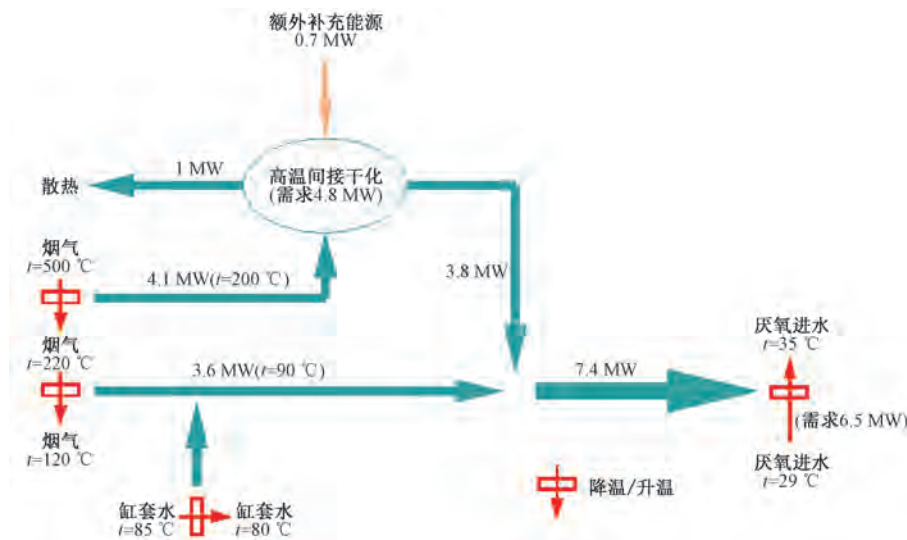


图 1 高温间接干化能流

Fig. 1 Energy Flow of High-Temperature Indirect Drying

高温间接干化(圆盘和桨叶等)需要 200 °C 高温热源,通常使用蒸汽,但这种方式需要压力容器和管道,管理上相对不便。另一种选择是使用高温热导

油,但距离较远,输送过程中可能存在一定的泄漏和烫伤风险。此外,管道压损较大,对油泵的要求也较高。根据调研,这种方式相对较少见,不建议采用。

2.3.2 高温直接干化

理论上可以采用高温烟气直接进行干化, 500 ℃ 烟气直接进入干化设备, 烟气温度降低至 175 ℃ 才能提供干化所需的 4.8 MW 热量, 由于烟气中含有大量的污染物, 如果降低至露点以下, 将对换热器产生严重腐蚀, 故通过换热器只能降低至 120 ℃。

此时, 加上缸套水释放的热量, 总共只产出 3.1 MW 的热量, 无法满足厌氧进水加热的能量需求, 需额外补充 3.4 MW 热量, 如图 2 所示。最简便的方式是增加沼气锅炉, 燃烧部分沼气, 减少发电量 32 640 kW·h/d, 代价极大, 不推荐使用。

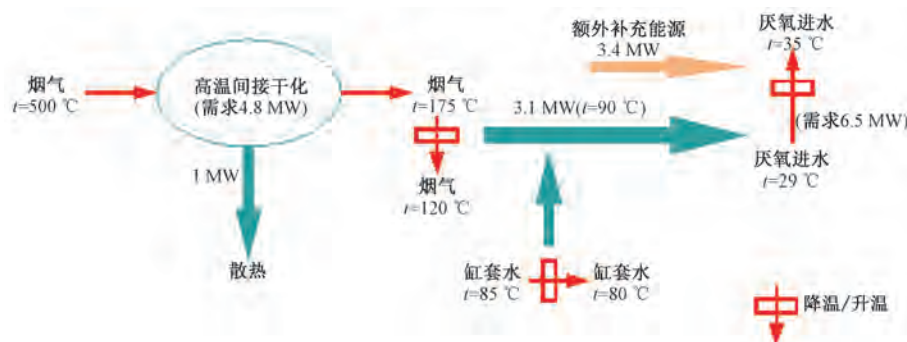


图 2 高温直接干化能流

Fig. 2 Energy Flow of High-Temperature Direct Drying

2.3.3 低温直接干化

低温干化只需要不低于 90 ℃ 的热源, 可以用热水 (70 ℃ 进/90 ℃ 出) 作为热量传输的载体。此时烟气最低可降低至 120 ℃, 同时燃气机的缸套水温为 85 ℃, 可以同时进行能量释放, 一共可以释放 7.7 MW 的热量, 而干化系统的最大热耗为 4.8 MW, 烟气热量完全满足需求, 富裕系数为 1.6。实

际运行中, 沼气量及烟气温度均有波动, 干化对热量的需求也有波动, 波动性一般在 20% 以内。本系统富裕系数为 1.6, 大于 1.2 的波动系数, 安全度较高。厌氧进水加热需要 6.5 MW 热量, 实际能够提供的是 7.2 MW, 安全系数为 1.1, 基本可以满足需求。低温干化能流如图 3 所示。

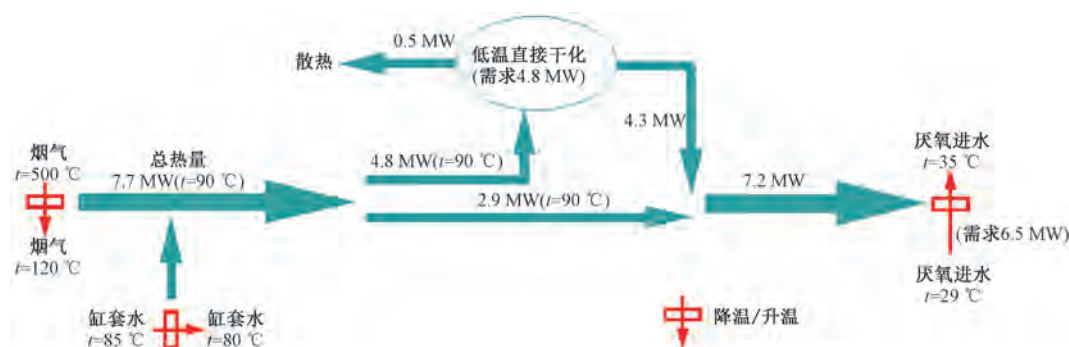


图 3 低温直接干化能流

Fig. 3 Energy Flow of Low-Temperature Direct Drying

3 种干化方式的对比如表 3 所示。由于低温干化对温度的需求较低, 可采用 90 ℃ 热水进行热量输送, 不涉及压力管道、压力容器, 不需要消耗沼气、额外补充能源。此外, 系统密闭、粉尘含量低、废气处理系统简单, 能源系统能较好地平衡, 故推荐此方案。

综上所述, 选择离心脱水+污泥低温干化作为污泥处置工艺。

根据相关资料显示, 国内市政污水厂早在 2007 年就开始采用离心脱水+污泥低温干化工艺, 目前, 这一工艺已成功应用于污泥集中处置中心。在酿酒行业中, 类似案例较少。除了离心脱水+污泥低温干化系统, 整个污泥处置系统还需要配套相应的污泥储运系统、干化机冷却循环系统以及除臭系统等^[8-9]。

表 3 干化方式对比

Tab. 3 Comparison of Drying Methods

项目	高温间接干化	高温直接干化	低温直接干化
干燥温度/℃	>150	200~300	40~80
供热方式	蒸汽、导热油	热风、烟气	热水
粉尘含量	较高	较高	极低
安全性	中	优	优
废气处理系统	复杂	较复杂	简单
需要热耗/MW	4.8	4.8	4.8
可提供热耗/MW	4.1	3.1	7.7
能源能否平衡	否	否	能

2.4 主要设计参数

污泥处置规模为 35 t/d 绝干污泥,设计进泥含水率为 99%,经离心脱水后设计含水率为 80%,经污泥干化后设计含水率为 40%,设计污泥干化段去水量为 117 t/d。污泥处理工艺如图 4 所示。

拟建 2 座储泥池和 1 座脱水车间。脱水机房的总尺寸为 1 683 m²。每座储泥池的尺寸为 10 m×10 m×6 m,共 2 座。污泥脱水机房主要设备如表 4 所示。

3 投资

经分析,污泥脱水机房的土建费用为 1 091 万

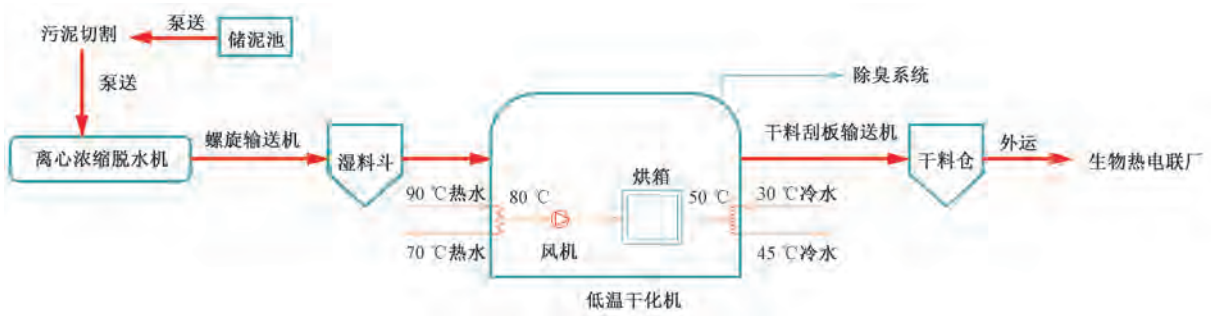


图 4 污泥处置工艺

Fig. 4 Sludge Disposal Process

表 4 主要设备

Tab. 4 Main Equipments

序号	设备名称	规格	数量	单位	备注
1	离心脱水机	$Q=90\text{ m}^3/\text{h}, P=66\text{ kW}$	2	台	/
2	污泥进料泵	$Q=90\text{ m}^3/\text{h}, H=20\text{ m}, P=22\text{ kW}$	3	台	2 用 1 备
3	污泥切割机	$Q=100\text{ m}^3/\text{h}, P=3\text{ kW}$	3	台	2 用 1 备
4	聚丙烯酰胺(PAM)溶解加药装置	$20\text{ kg}/\text{h}, P=5\text{ kW}$	1	台	/
5	螺旋输送机	$Q=4\text{ m}^3/\text{h}, P=3.4\text{ kW}$	2	台	/
6	干料刮板输送机	$Q=1.88\text{ m}^3/\text{h}, P=4\text{ kW}$	2	台	/
7	污泥低温干化机	去水量为 70 t/d, $P=265\text{ kW}$	2	台	/
8	冲洗水罐	$V=10\text{ m}^3$	1	台	/
9	冲洗增压泵	$Q=25\text{ m}^3/\text{h}, H=30\text{ m}$	2	台	/
10	闭式冷却塔	$Q=150\text{ m}^3/\text{h}$, 温降为 13 °C	3	台	/
11	循环水泵	$Q=158\text{ m}^3/\text{h}, H=55\text{ m}$	3	台	/
12	循环水泵	$Q=158\text{ m}^3/\text{h}, H=25\text{ m}$	3	台	/
13	湿料斗	$V=4\text{ m}^3$	2	台	/
14	干污泥料仓	$V=100\text{ m}^3$	1	台	/
15	电动单梁式起重机	10 t, $N=15\text{ kW}$	2	台	/

元,设备费用为 3 598 万元,水耗、电耗、药耗年费用为 437 万元,年污泥运输和接收费为 558 万元,年

度运行总成本为 995 万元。

经计算,在没有考虑高温烟气余热的经济价值

的条件下,离心脱水机加污泥干化的10年运营费用和工程费用折现后为1.28亿元(按4%折现率),板框脱水机(按60%出泥含水率考虑)为1.56亿元。因此,长期来看,离心脱水机加污泥干化的整体费用较常规的板框脱水机工艺更为节省。分析原因如下:虽然污泥干化机一次性设备投资较大,但产生的污泥量少,污泥的运输成本和接收成本较少,板框脱水机由于加药量太大,提高了总费用。

4 结论

(1) 对于浓香型白酒废水污泥而言,离心脱水+污泥干化工艺能实现24 h连续运行,药耗较低,有利于污泥后续送往热电联产,满足污泥处理全流程的需求。

(2) 污泥干化工艺虽然耗费电能或热能,但酿酒废水的厌氧工艺段刚好产生了大量沼气,便于转化为电能或热能,是一种低碳、经济、高效的污泥处置方式,符合国家绿色低碳发展的目标,因此推荐在酿酒行业广泛采用。

(3) 在对沼气发电产生的高温烟气进行余热利用时,低温干化相较于高温干化能利用的烟气热量更多,具有更高的综合热利用率。

(4) 在不考虑高温烟气余热经济价值的条件下,长期来看,采用离心脱水+污泥干化工艺的运行成本比使用板框脱水机更低,同时也能更好地满足污泥减量化的需求。

参考文献

- [1] 蔡小波,黄孟阳,杨平,等. 酿酒生产废水处理工艺及其资源化利用研究进展[J]. 酿酒, 2022, 48(1): 22-28.
CAI X B, HUANG M Y, YANG P, et al. The research progress on the treatment and resource utilization of brewing wastewater [J]. Liquor Making, 2022, 48(1): 22-28.
- [2] 赖建平. 白酒酿酒废水处理厂工艺改造与扩建设计分析[J]. 节能与环保, 2022(11): 53-55.

- LAI J P. Design analysis of process transformation and expansion of Baijiu wastewater treatment plant [J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2022(11): 53-55.
- [3] 秦天,袁哲. EGSB+两级 BioDopp 工艺在酿酒废水处理中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(7): 110-118.
QIN T, YUAN Z. Application of EGSB + two-stage BioDopp processes in brewing wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(7): 110-118.
- [4] NKHENSANI N, CHRISTOPHER G, DAVID I. A review of winery wastewater treatment: A focus on UASB biotechnology optimisation and recovery strategies [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, 10(4): 108172. DOI: 10.1016/j.jece. 2022. 108172.
- [5] KALRA A, GUPTA ANSHU. Microbiological treatment of distillery wastewater focusing on colorant decolorization and resource recovery: A review [J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2022, 22(1): 175-204.
- [6] 胡维杰,周友飞,陈汝超,等. 上海市石洞口片区污泥干化焚烧处理工程设计总结与分析[J]. 给水排水, 2018, 44(9): 34-41.
HU W J, ZHOU Y F, CHEN R C, et al. Summary on sludge drying and incineration treatment project design for Shanghai Shidongkou area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(9): 34-41.
- [7] 蓝文军. 深圳市观澜水厂污泥处理工艺升级改造工程实践[J]. 净水技术, 2021, 40(1): 121-128.
LAN W J. Engineering practice of upgrading sludge treatment process in Shenzhen Guanlan WTP [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(1): 121-128.
- [8] 沙书勇. 某污水厂污泥低温干化处理工艺设计及运行总结[J]. 广州化工, 2023, 51(2): 190-192.
SHA S Y. Design and operation summary of sludge low temperature drying treatment process [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2023, 51(2): 190-192.
- [9] 何进. 大型污泥干化焚烧厂除臭工程技术与设计要点[J]. 净水技术, 2023, 42(8): 172-179, 197.
HE J. Key points of technology and design of deodorization project for large sludge drying and incineration plant [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(8): 172-179, 197.

(上接第176页)

- ZHANG S K. Study on flood control operation of pumpsluice group based on model predictive control [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2022.
- [4] 李晓云,蔡浚,羊丹. 台风“烟花”影响期间上海市水闸泵站运行调度分析[J]. 中国水利, 2021(23): 74-76.
LI X Y, CAI J, YANG D. Analysis of operation and dispatch of Shanghai sluice and pumping station during the impact of typhoon

- “Fireworks” [J]. China Water Resources, 2021(23): 74-76.
- [5] 赵靓芳. 城市河道流域的排水系统内涝模拟及河道闸泵的优化调度模型研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
ZHAO L F. Simulation of waterlogging in urban river drainage system and study of optimal control model of river sluice and pump [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.