

供排水企业运行及管理成果专栏

吴学威, 潘登凡, 殷玲, 等. 冬季长沙市某水质净化厂泥性变化及应对实践[J]. 净水技术, 2025, 44(8): 181-187.

WU X W, PAN D F, YIN L, et al. Variation of sludge properties and solution measures of a WWTP in winter in Changsha City[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(8): 181-187.

冬季长沙市某水质净化厂泥性变化及应对实践

吴学威*, 潘登凡, 殷玲, 郑宏志, 罗建儒, 苏卓能

(长沙湘江环境科技有限公司, 湖南长沙 410000)

摘 要 【目的】 污泥在冬季泥性发生变化而导致深度脱水效果大幅下降, 这个难题困扰全国各地水质净化厂和污泥处理中心。【方法】 文章对某水质净化厂的实际生产运行数据、进水水温变化数据以及矿物油检测数据深入剖析后, 结合前端水质净化厂加强生产运行管理、严控出泥含水率以及热水联用提高冬季聚丙烯酰胺(PAM)溶解效率, 末端污泥处理中心高压带机段的污泥调理剂由无机药剂(聚合氯化铝)更换为新型有机药剂(二甲基二烯丙基氯化铵-丙烯酰胺共聚物), 增加污泥比阻检测。【结果】 最终, 分析出冬季进水悬浮固体(SS)和五日生化需氧量(BOD_5)明显升高是主要原因, 冬季进水水温低和矿物油含量偏高是次要原因, 从而有效改善了冬季污泥深度脱水效果, 并增加收益 81.8 万元。【结论】 上述实践不仅对冬季污泥泥性变化进行了追根溯源, 从理论分析与水质净化厂和污泥处理中心的实际实践相结合, 为全国各地使用离心脱水、高压带式脱水、低温干化脱水这些主流污泥深度脱水工艺的水质净化厂和末端污泥处理中心, 应对冬季污泥难以脱水难题时, 提供可靠的新思路和方法, 也为其他深度脱水工艺应对冬季泥性变化在思路分析和应对举措方面提供启发和有益参考。

关键词 污泥泥性 冬季 污泥脱水 水质净化厂 污泥处理中心

中图分类号: TU992 文献标志码: B 文章编号: 1009-0177(2025)08-0181-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.08.023

Variation of Sludge Properties and Solution Measures of a WWTP in Winter in Changsha City

WU Xuewei*, PAN Dengfan, YIN Ling, ZHENG Hongzhi, LUO Jianru, SU Zhuoneng

(Changsha Xiangjiang Environmental Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract [Objective] To address the significant reduction in deep dehydration efficiency of sludge during winter, a problem that has long plagued wastewater treatment plants (WWTPs) and sludge processing centers nationwide. [Methods] Through in-depth analysis of the actual production and operation data, influent temperature change data and mineral oil detection data of a WWTP, combined with the front-end WWTP to strengthen production and operation management, strictly control the water content of sludge and the combination of hot water to improve the dissolution efficiency of PAM in winter. The sludge conditioning agent in the high pressure belt section of the terminal sludge treatment center is changed from an inorganic agent (polyaluminum chloride) to a new organic agent (dimethyldiallyl ammonium chloride-acrylamide copolymer) and the specific resistance detection of sludge is increased. [Results] Eventually, it is analyzed that significantly higher suspended solids (SS) and five-day biochemical oxygen demand (BOD_5) in winter influent are the main reasons, and low water temperature and high mineral oil content in winter influent are the secondary reasons, which effectively improves the effect of deep sludge dewatering in winter and increases the revenue by 818 000 yuan. [Conclusion] The above practices not only trace the changes in sludge properties in winter, but also combine theoretical analysis with the actual practice of WWTPs and sludge treatment centers to help WWTPs and terminal sludge treatment centers all over

[收稿日期] 2024-07-28

[通信作者] 吴学威(1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为污泥深度脱水工艺与资源化利用, E-mail: 1506399157@qq.com。

Keywords sludge property winter sludge dewatering wastewater treatment plant (WWTP) sludge disposal center

污泥具有高含水率、易腐烂等特点,以及散发刺激性臭味和含有多种有害物质。若污泥未得到妥善处理,经暴雨冲刷,容易污染水体和土质,直接危害人体健康^[1]。因此,如何高效处理日益增长的污泥量,实现污泥处理处置的“四化”,关乎我国环保事业及污水处理的发展^[2]。

当前,长沙市主城区污泥处理处置中心主要包

长沙市某水质净化厂当前污水处理规模为 36 万 m^3/d ,其中包括一期(16 万 m^3/d ,2015 年开始运营)和二期(20 万 m^3/d ,2017 年开始运营)。处理工艺为“预处理+厌氧/缺氧/好氧(AAO)活性污泥法+高效沉淀池+深床滤池”,污泥经过离心脱水机处理进入末端污泥处理中心,工艺流程如图 1 所示。

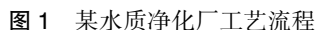


Fig. 1 Process Flow of a WWTP

自 2023 年 11 月起,该水质净化厂的末端污泥处理中心单位反馈其原泥泥质出现异常,表现为污泥的黏度上升及流动性减弱,使得在低温干化段内的烘干过程变得困难。为达到三季度处理效果,需要延长干化段的烘干时间,从而导致该中心的干化段处理能力降低。针对这一现象,从以下几个方面展开了分析,以探寻解决方法。

依据末端污泥处理中心单位提供的含水率记录,对 11 月的数据进行统计分析,发现该水质净化

厂有 21 d 的出泥含水率存在异常,其平均异常含水率为 81.19%,最高值达到 82.23%。同样,在 12 月,有 13 d 的出泥含水率出现异常,平均异常含水率为 81.85%,最高值达到 82.39%。

3.2 出泥泥量异常

在 2023 年 12 月,其末端污泥处理中心单位的平均湿泥量达到了 321.41 t/d,相较于 11 月的 261.36 t/d,增幅达到了 23%。同时,1 月初的数据表明,这一趋势呈现持续增长态势,这与该水质净化厂往年冬季出泥量偏少的规律不符。

3.3 出泥矿物油含量偏高

根据 2023 年第 4 季度末端污泥处理中心单位

的送检样的检测结果显示,结合表 1 中常见的泥质标准,干泥中的矿物油质量分数高达 4 760 mg/kg,超过国家标准 59%[结合实际制砖去向,参考《城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质》(GB/T 25031—2010),限值<3 000 mg/kg],相较于第 2 季度的 470 mg/kg,增幅超 1 000%。同时,第 4 季度的有机物质量分数为 42.65%,与第二季度的 35.62%相比,提高了约 20%。矿物油含量增加后,易与污泥中大量存在的自由水相结合,形成稳定的水包油型乳化液,此类乳化液的破乳分离过程较为困难^[3]。

表 1 常见的泥质标准
Tab. 1 Common Sludge Quality Criteria

常见的泥质标准	分级	矿物油标准限值/(mg·kg ⁻¹)
《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)	pH 值≥6.5	3 000
	pH 值<6.5	3 000
《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)	A 级污泥	500
	B 级污泥	3 000
《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(GB/T 23486—2009)	pH 值≥6.5	3 000
	pH 值<6.5	3 000
《城镇污水处理厂污泥处置制砖用泥质》(GB/T 25031—2010)	/	3 000

4 某水质净化厂泥性变化的原因分析

4.1 前端进水水质变化

根据对近年来该水质净化厂进水水质数据的深入分析以及相关文献的研究,今年泥量异常的主要原因是进水悬浮固体(SS)和五日生化需氧量(BOD₅)明显升高^[4]。2023 年 12 月,进水 SS 平均值为 273.6 mg/L,相较于同年 11 月增长了 57%,较 2022 年 12 月提高了 49%,较 2021 年 12 月提高了

24%。同时,2023 年 12 月的进水 BOD₅ 平均值为 127.6 mg/L,相较于同年 11 月上升了 37%,与 2022 年 12 月相比提高了 25%,与 2021 年 12 月相比提高了 14%。而相关文献^[5]证实,经验污泥产率随 BOD₅ 和 SS 浓度增长而增加。因此,2023 年 12 月前端进水水质发生显著异常波动,导致经过 AAO 工艺处理后的污泥产量显著上升。施工设计的进出水水质和运行数据如表 2 和表 3 所示。

表 2 某水质净化厂改扩建工程设计进出水水质
Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality for Expansion and Construction Project of a WWTP

项目	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
进水	380	130	250	36	26	5.5
出水	≤50	≤10	≤10	≤15	≤5	≤0.5

4.2 冬季进水水温变低

温度作为关键的生态因子,对微生物的生长与存活具有显著影响。同时,温度与污泥的黏度、曝气效率以及沉降性密切相关^[6]。

根据相关文献^[7]研究,经验污泥产率与水温呈负相关关系,即水温较低时,污泥产率较高。这一现

象可能源于以下 2 个原因:其一,温度影响污泥中微生物的营养消化和分解代谢,尽管在污泥处理的 AAO 工艺中,温度对污泥合成产率系数影响甚微,但与污泥衰减系数呈现正相关,导致污泥表观产率系数与其呈现负相关;其二,冬季降雨较少,导致污水中有机物浓度升高,这也是经验污泥产率与温度

表 3 2021 年—2023 年某水质净化厂 11 月和 12 月运行数据
Tab. 3 Operation Data of a WWTP in November and December from 2021 to 2023

月份	处理水量/m ³	数值类型	进水 COD/ (mg·L ⁻¹)	进水 BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	进水 SS/ (mg·L ⁻¹)	进水氨氮/ (mg·L ⁻¹)	进水 TN/ (mg·L ⁻¹)	进水 TP/ (mg·L ⁻¹)
2021 年 11 月	40.7 万	最大值	593.0	226.0	506.0	33.3	47.6	6.6
	27.1 万	最小值	155.0	71.5	208.0	19.7	21.9	2.1
	30.7 万	平均值	351.0	135.2	328.8	25.4	35.3	4.0
2021 年 12 月	33.5 万	最大值	529.0	265.0	421.0	31.0	46.5	8.7
	24.1 万	最小值	156.0	61.0	102.0	10.0	20.3	1.1
	27.5 万	平均值	282.5	112.1	219.9	23.3	31.3	3.4
2022 年 11 月	40.4 万	最大值	335.0	137.0	250.0	28.6	37.9	5.6
	25.0 万	最小值	142.0	54.2	160.0	13.4	20.3	1.8
	29.9 万	平均值	238.0	94.4	205.4	22.9	28.8	3.8
2022 年 12 月	36.1 万	最大值	408.0	136.0	261.0	27.0	38.2	5.4
	24.1 万	最小值	163.0	72.4	115.0	13.6	19.2	1.7
	28.0 万	平均值	259.5	102.0	183.9	20.8	27.0	3.2
2023 年 11 月	46.6 万	最大值	370.0	148.0	242.0	28.6	36.5	5.6
	26.8 万	最小值	131.0	56.7	120.0	14.5	18.8	2.1
	32.6 万	平均值	222.5	93.5	173.9	23.1	29.1	3.7
2023 年 12 月	30.3 万	最大值	382.0	176.0	357.0	28.4	39.4	5.2
	25.6 万	最小值	184.0	85.0	198.0	23.2	27.0	2.3
	26.9 万	平均值	297.9	127.6	273.6	26.2	33.7	3.6

呈现负相关的潜在因素。

根据对 2022 年—2023 年全年该水质净化厂进出水水温监测数据的分析,发现每年 11 月、12 月和 1 月的进水水温平均值显著低于其他月份,进出水水温数据如表 4 所示。2022 年的进水水温最低点出现在 1 月,仅为 8.8℃,而最高点则在 8 月,达到 30.3℃;2023 年的进水水温最低点出现在 1 月,仅为 11.9℃,而最高点则在 8 月,达到 29.9℃。这种现象可归因于长沙所处的亚热带季风气候特点,以及长沙地区北部缺乏高山对寒潮的阻挡。2023 年 11 月和 12 月,由于多次遭受寒潮侵袭,气温波动较大,因此,该水质净化厂的水温相较于往年出现了更低的情况。

在污泥低温运行过程中,颗粒密度是决定污泥比阻的关键因素,而在常温条件下,颗粒对污泥比阻的影响更为显著^[8]。此外,低温环境下丝状菌的繁殖导致污泥絮体结构疏松、密度降低,进而使污泥比阻和沉降指数上升。低温环境相比常温环境,活性污泥携带的负电荷减少,从而亲水性更好;而且低温

环境下,其胞外聚合物(EPS)中的黏性物质增加,导致污泥压缩性下降,更加难以沉降。而末端污泥处理中心采用压滤和干化工艺在冬季,由于污泥压缩性降低,使得污泥调理难度加大,且压滤后的泥饼成型困难。

在严寒冬季,污泥温度较低,活性污泥中的微生物活性因而受到影响。该水质净化厂使用的污泥调理剂为聚丙烯酰胺(PAM),而末端污泥处理中心所使用的污泥调理剂主要成分为聚合氯化铝(PAC)。在泥温和水温均较低的情况下,调理剂对污泥的调理效果相较于夏季高温天气显著减弱,从而使污泥的深度脱水面临挑战。

4.3 矿物油含量偏高

在 2023 年 1 月中旬,末端污泥处理中心的干泥检测结果显示,样品中的矿物油质量分数达到 478 mg/kg,这证实了原泥中的矿物油成分与污泥脱水效果之间的关联性。经过查阅相关文献^[9],针对水包油型乳化液的破乳,常用的方法包括添加强氧化剂,如高铁酸钾,或在约 500℃的高温环境下处理。

表 4 某水质净化厂 2022 年—2023 年实测进出水水温数据
Tab. 4 Data of Influent and Effluent Temperature of a WWTP from 2022 to 2023

类别	数值类型	1 月/ ℃	2 月/ ℃	3 月/ ℃	4 月/ ℃	5 月/ ℃	6 月/ ℃	7 月/ ℃	8 月/ ℃	9 月/ ℃	10 月/ ℃	11 月/ ℃	12 月/ ℃
2022 年进水水温	最大值	15.3	13.2	19.7	22.3	23.1	27.4	28.8	30.3	28.0	27.6	23.6	16.2
	最小值	8.8	9.5	11.1	15.0	16.2	21.6	24.5	25.8	24.3	19.3	11.9	13.0
	平均值	12.3	10.8	14.9	18.6	20.8	24.6	26.9	29.0	26.6	22.3	19.7	14.9
2022 年出水水温	最大值	14.9	13.5	19.7	22.3	23.2	27.6	28.7	30.3	27.9	27.9	23.8	16.3
	最小值	8.7	9.8	11.2	15.2	16.1	21.4	24.7	25.8	24.5	19.5	11.2	13.0
	平均值	12.1	10.8	14.9	18.5	20.7	24.6	26.9	29.0	26.6	22.3	19.8	14.9
2023 年进水水温	最大值	18.2	16.2	20.0	21.8	25.6	26.6	28.5	29.9	27.7	25.3	23.9	19.6
	最小值	11.9	12.0	15.1	17.6	19.8	23.0	26.4	26.6	24.2	22.9	12.0	12.3
	平均值	14.4	14.0	17.1	19.7	22.6	25.3	27.7	28.7	26.1	24.0	18.3	13.4
2023 年出水水温	最大值	18.4	16.2	19.8	22.0	25.8	26.8	28.4	30.0	28.0	25.5	24.1	19.5
	最小值	12.0	12.0	15.0	17.4	20.0	23.1	26.2	26.5	24.0	23.0	18.2	13.2
	平均值	14.6	14.0	17.0	19.7	22.7	25.3	27.7	28.7	26.2	24.1	21.4	17.4

然而,末端污泥处理中心所使用的药剂主要成分为类似 PAC 的表面活性剂,对于乳化液的处理效果较为有限。若使用强氧化剂,则可能加剧该中心设备的腐蚀程度;而该中心低温干化段的运行温度低于 100 ℃,低温条件对乳化液的处理也存在困难。在这种情况下,为了去除乳化液,可以尝试提高表面活性剂溶液的浓度,或与强氧化剂协同作用,或增加机械功,即延长低温干化段的烘干时间。

经溯源分析,该水质净化厂的矿物油含量偏高的原因可归纳为以下 2 点。一是工业废水,其中包括机械加工和电器制造等行业的废水,这些废水中的矿物油来源于部分企业原材料、添加剂的使用,以及机械设备和液压传动系统中的矿物油^[10]。在这种情况下,建议水质净化厂在矿物油含量检测异常时,加强对纳污片区内相关企业的监测。二是餐厨废水,水质净化厂通过混合餐厨废水以提高进水 BOD₅ 浓度,从而导致污泥中油类污染物增多,进一步加剧污泥脱水困难,需增加药剂用量以确保出泥含水率。为解决此问题,经过多方协调后,通过冬季期间减少餐厨废水的掺杂比例,以减弱其对污泥脱水效果的影响程度。

5 某水质净化厂泥性变化的应对实践

5.1 水质净化厂严控出泥含水率

该水质净化厂现采用离心脱水工艺,将污泥含水率由 99%离心脱水至 80%后,经过螺杆泵输送至

其末端污泥处理中心的湿污泥料仓中储存,其末端污泥处理中心设计采用“两段式工艺”,先由高压带机将污泥含水率由 80%带式压滤脱水至 70%后,再由皮带输送机输送至低温干化机,继续将污泥含水率由 70%干化脱水至 40%以下,之后通过运输车辆进行外运处置。

因此,其末端污泥处理中心的进泥含水率需严格控制在 80%以下,以保证深度脱水工艺的稳定运行。而冬季泥性的变化造成该水质净化厂内的离心脱水工艺段(即含水率由 99%降到 80%)的出泥含水率难以稳定控制,其末端污泥处理中心的深度脱水段(即含水率由 80%降到 40%)受到的影响进一步加剧,主要原因在于:一是含水率由 80%降到 40%属于更难脱水段;二是含水率由 80%降到 70%中使用了高压带式压滤工艺,其对湿污泥泥性的变化相对前端的离心脱水机更为敏感。

针对末端污泥处理中心反馈的原泥含水率异常频率较高的现象,水质净化厂采取以下措施。一是强化污泥浓缩与脱水系统的运行管理,根据生产需求和气候变化合理调整脱水机的运行。二是合理控制反应系统混合液悬浮固体(MLSS)的量,将排泥频次和工艺运行的参数调整及时反馈给末端污泥处理中心。三是探索提高离心脱水机使用的污泥调理剂调理效果的方法,鉴于冬季使用水的温度下降,PAM 的溶解变得困难,根据运行经验,其最佳溶解温度在 30~50 ℃。通过将其末端污泥处理中心板

式换热器的外循环热水出口回路改成两路:一路正常回冷却塔,另一路通过保温管道循环泵送到该水质净化厂的离心脱水车间给 PAM 加药系统进行换热。这既实现了对冷却塔系统的余热利用,又提高了 PAM 溶解效率。

经过上述举措,离心脱水机房的出泥含水率得以控制在 80% 以下,同时加强了与末端污泥处理中心的沟通。在原泥含水率异常频率增大时,其末端污泥处理中心加大了含水率检测频次,并及时反馈给上游水质净化厂,以便双方及时掌握出泥泥质状况。

5.2 末端污泥处理中心的应对举措

5.2.1 优化高压带式段调理剂

根据末端污泥处理中心 2024 年 1 月 18 日的污泥比阻检测数据,样本原泥的比阻值为 2.349×10^{14} m/kg,经过 2 家药剂厂家提供的污泥调理剂处理后,比阻级别仍处于 1×10^{13} m/kg。通常情况下,污泥比阻小于 1×10^{11} m/kg 时,脱水过程较为顺利;而比阻大于 1×10^{13} m/kg 时,脱水难度较大。据此分析,当前所使用的调理剂对于泥质变化后的污泥脱水效果改善并不显著。

因此,末端污泥处理中心针对泥质变化进行调理剂调整,通过 10 多家药剂厂家的现场测试,发现针对冬季泥性的特点,由之前调理效果表现良好的类 PAC 改为新型有机药剂(二甲基二烯丙基氯化铵-丙烯酰胺共聚物)效果更好,通过对调理剂实施针对性的优化和改性,以使其与当前泥性相匹配,提高脱水效果。

实践发现,旧药剂调理效果差,泥饼难以成型,而且上过滤带黏泥严重,导致严重跑泥。而改性的新药剂调理后,压滤出来的泥饼成大块状,且上滤带不留泥,调理效果改善明显。

5.2.2 增加污泥脱水性能指标检测

现末端污泥处理中心判断泥质变化主要依靠进出泥含水率变化,目前国内大部分水质净化厂和污泥处理中心针对污泥脱水常用的脱水性能指标,如污泥比阻、黏度等指标目前无法在实验室完成,无法全面掌握泥质变化信息。该末端污泥处理中心通过采购污泥比阻检测设备,作为常规含水率检测指标的补充检测,特别是对原泥、干泥以及改性剂调理前后的污泥比阻进行检测,通过长时间的污泥比阻数据监测分析,同步调整调理剂的使用和工艺运行参

数,以实现高效、稳定的深度污泥脱水效果。

5.3 技术经济分析

根据以上分析,本次实践的费用如下。①热水联用:水质净化厂与末端污泥处理中心进行热水联用提高 PAM 溶解效率,从而更好地控制水质净化厂的出泥含水率在 80%,此部分工程费用为 18.96 万元。②调整调理剂:末端污泥处理中心的高压带机污泥调理剂由类 PAC(单价为 1 180 元/t)改为新型有机药剂——二甲基二烯丙基氯化铵-丙烯酰胺共聚物(单价为 1 145 元/t),在冬季期间处理效果更好,根据其调理剂投加量为处理湿污泥(含水率为 80%)质量的 6%,调理剂成本可节省 6.8 万元。

通过以上举措,该末端污泥处理中心实际处理量平均由 360 t/d 提高至 380 t/d(按含水率为 80% 计),所以处理污泥量由 32 400 t 增加至 34 200 t(每月运行 30 d 计)。按其与政府结算单价为 522 元/t 进行收益,预估增加 93.96 万元。冬季持续时长为 3 个月,所以以 3 个月为周期计算整个实践过程,总共可增加收益为 81.8 万元,具体收益计算如表 5 所示。

表 5 改造前后收益对比表

Tab. 5 Comparason of Benefits before and after Reconstruction

项目	改造前 费用/元	改造后 费用/元	费用变化 情况/元
热水联用工程费用	0	18.96 万	增加 18.96 万
节省污泥调理剂费用	229.39 万	222.59 万	节省 6.8 万
污泥处理增加收益	1 691.28 万	1 785.24 万	收益增加 93.96 万

6 结论

以寒冬季节,我国长沙市某水质净化厂及末端污泥处理中心所面临的污泥泥性受季节性影响而产生变化,导致污泥深度脱水效果下降为例,结合该水质净化厂的工艺设计参数、工艺流程,以及历年实际运行数据、末端污泥处理中心两段式工艺的原理,对泥性异常变化的原因进行了深入剖析,并在该水质净化厂和其末端污泥处理中心进行应对实践,污泥深度脱水改善效果明显。当前,污泥压滤处理与干化处理在污泥处理过程中仍占据主导地位,而压滤工艺与干化工艺对进泥泥性有着较高要求。本研究希望能够启发国内各大水质净化厂与污泥处理中心,在关注进出泥含水率变化的同时,深入研究污泥泥性,通过扫描电镜观察絮体结构变化、粒径检测判断粒径颗粒大小,以及 EPS 中蛋白质、糖类和脱氧核糖核酸的成分变化,通过深入分析污泥脱水性能

指标,从而更合理地调整工艺运行参数,应对寒冬季
节等极端天气对污泥泥性的影响。

参考文献

- [1] 郑松超, 张彦平, 李添添, 等. 紫外协同零价铁活化过硫酸盐调理污泥脱水研究[J]. 中国给水排水, 2023, 39(11): 15-22.
ZHENG S C, ZHANG Y P, LI T T, et al. Ultraviolet coupled with zero-valent iron to activate persulfate for improving sludge dewaterability[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(11): 15-22.
- [2] 夏云峰, 周艳, 王涛, 等. 地下式污水处理厂 AAO+MBR 工艺的应用[J]. 净水技术, 2022, 41(8): 140-145.
XIA Y F, ZHOU Y, WANG T, et al. Application of AAO+MBR processes in underground wastewater treatment plant (UWWTP) [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(8): 140-145.
- [3] 王瑞, 杨福兴, 曲广森. 颗粒污泥处理高负荷有机含油废水的形成过程及特性探究[J]. 水处理技术, 2021, 47(3): 84-88.
WANG R, YANG F X, QU G M. Study on the cultivation process and characteristics of granular sludge in treatment of high-load organic oily wastewater [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(3): 84-88.
- [4] 王磊. 城市污水厂污泥产率季节变化与影响因素分析[J]. 净水技术, 2018, 37(6): 36-40.
WANG L. Analysis of seasonal variation and influencing factors of sludge yield in municipal sewage plant [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(6): 36-40.
- [5] 谭学军, 田兆运, 张辰, 等. 城市污水 A²/O 处理工艺剩余污泥产率研究[J]. 给水排水, 2012, 38(7): 43-46.
TAN X J, TIAN Z Y, ZHANG C, et al. Urban sewage A²/O process excess sludge yield study [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(7): 43-46.
- [6] 韩小蒙, 马艳, 周新宇, 等. pH 值对微气泡臭氧释放剩余污泥内碳源的影响[J]. 净水技术, 2020, 39(3): 115-119, 139.
HAN X M, MA Y, ZHOU X Y, et al. Influence of pH value on release of internal carbon source from excess activated sludge by microbubble ozone [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(3): 115-119, 139.
- [7] 刘旭辉, 高静思, 袁佳佳, 等. 深圳市 L 区水质净化厂污泥产率分布规律及影响因素分析[J]. 环境工程, 2023, 41(6): 181-186.
LIU X H, GAO J S, YUAN J J, et al. Distribution law and influencing factors of sludge yield of waste purification plants in L District, Shenzhen [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(6): 181-186.
- [8] 郭波, 田瑜, 范晨, 等. 绿色纳米铁/H₂O₂ 联用两性脱水剂调理污泥研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 62-67.
GUO B, TIAN Y, FAN C, et al. Sludge conditioning by green iron nanoparticles/HO combined with amphoteric dewatering agent [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 62-67.
- [9] 金润, 李祥, 谈新伟, 等. 高铁酸钾氧化剩余污泥效能及破解液性质[J]. 中国给水排水, 2023, 39(17): 118-123.
JIN R, LI X, TAN X W, et al. Performance of potassium ferrate for excess sludge oxidation and property of cracking solution [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(17): 118-123.
- [10] 张辰, 王磊, 谭学军, 等. 我国重点流域城市污泥有机污染物含量与溯源研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(24): 37-42.
ZHANG C, WANG L, TAN X J, et al. Study on the content and source of municipal sludge organic pollutants in key watershed of China[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(24): 37-42.
- (上接第 137 页)
- [19] 李圭白. 水质工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 129-172.
LI G B. Water quality engineering [M]. Beijing: China Architecture & Buliding Press, 2005: 129-172.
- [20] GRAHAM N J D, CLARKE B A, JONES C J, et al. Effect of reduced depth, fabric-protected slow sand filters on treated water quality[C]. London: Advances in slow sand and alternative biological filtration, 1996: 233-243.
- [21] 陈莹, 赵剑强, 胡博. 西安市城市主干道路面径流污染及沉淀特性研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(2): 331-336.
CHEN Y, ZHAO J Q, HU B. Study on pollution and sedimentation property of urban trunk road runoff in Xi'an city [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(2): 331-336.