

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.12.016

A²/O+MBBR 工艺用于占地受限污水厂提标改造

王玉兰

(福州市规划设计研究院集团有限公司, 福建 福州 350108)

摘要: 福州某污水处理厂提标改造工程设计规模为5 000 m³/d,出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准提高至一级A标准。由于该污水处理厂用地紧张,将原CASS生化池改造为“A²/O池+矩形周进周出二沉池”,同时在好氧区添加悬浮填料,形成“A²/O+MBBR”复合工艺。在生化处理工艺后端增加“高效沉淀池+深床反硝化滤池”深度处理工艺进一步去除SS、TN和TP,经接触消毒后出水水质稳定达到并优于设计出水标准。

关键词: 污水处理厂; 提标改造; MBBR; 深度处理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)12-0103-06

Application of A²/O+MBBR Process in WWTP Upgrading and Reconstruction with Limited Construction Land

WANG Yu-lan

(Fuzhou Planning & Design Research Institute Group Co. Ltd., Fuzhou 350108, China)

Abstract: The upgrading and reconstruction capacity of a wastewater treatment plant (WWTP) is 5 000 m³/d in Fuzhou, the effluent standard is required to raise from first level B to first level A criteria of *Discharge Standards of Pollutant for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). With limited construction land, the original CASS biochemical tank was transformed into an A²/O tank + secondary sedimentation tank with rectangular perimeter inflow and outflow, and suspended packing was added to the aerobic tank to form a “A²/O+MBBR” composite process. The advanced treatment process of high-efficiency sedimentation tank + deep bed denitrification filter was added after the biochemical treatment process to further remove SS, TN, and TP. The effluent quality after contact disinfection is superior to the first level A limit specified in the discharge standard.

Key words: wastewater treatment plant; upgrading and reconstruction; MBBR; advanced treatment

1 项目概况

根据《“十三五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》、《水污染防治行动计划》(国发[2015]17号)^[1]、《福建省水污染防治行动计划工作方案》(闽政[2015]26号)等文件要求,福州某污水处理厂出水水质需由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准提高至一级A标准。该污水处理厂现状规模为5 000 m³/d,采用

CASS作为主体生化工艺,用于处理服务范围内的渔业加工废水和生活污水。由于建设时间较早,污水处理厂按较低的排放标准进行设计,目前部分出水指标仅能达到一级B标准,尾水直接排海。

1.1 原设计处理工艺

该污水处理厂原设计采用CASS为主体的生化处理工艺,进水经粗格栅及提升泵房提升进入细格栅及旋流沉砂池,再经水解酸化池处理后进入CASS

反应池,最后经紫外消毒达到一级B标准后排海。CASS工艺分2组,每组每天循环运行5个周期,每个周期4.8 h,其中:曝气2.4 h、沉淀0.8 h、滗水1.2 h、搅拌0.4 h,依次循环。CASS池生物选择区容积

为575 m³,HRT为2.76 h;主反应区容积为5 800 m³,HRT为27.84 h。

1.2 进、出水水质

原设计及实际运行进、出水水质见表1。

表1 进、出水水质指标

Tab.1 Influent and effluent quality

项目		COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
原设计进水水质/(mg·L ⁻¹)		500	300	400	45	35	8
原设计出水水质/(mg·L ⁻¹)		60	20	20	20	8(15)	1
实际进水水质/(mg·L ⁻¹)	范围	186~469	55.4~173.0	143~263	30.7~55.9	26.3~59.3	1.93~3.34
	均值	265.5	92.5	174	39	32	2.4
实际出水水质/(mg·L ⁻¹)	范围	23.6~96.3	4.63~18.40	6~45	5.11~17.40	0.62~11.10	0.30~0.91
	均值	34.6	9.8	11.4	11.6	5.3	0.7
去除率/%		86.97	89.41	93.45	70.26	83.44	70.83

由表1可以看出,该污水处理厂出水COD为23.6~96.3 mg/L,BOD₅为4.63~18.40 mg/L,SS为6~45 mg/L,TN为5.11~17.40 mg/L,NH₃-N为0.62~11.10 mg/L,TP为0.30~0.91 mg/L,各项出水指标波动较大,不能稳定达到现行排放标准。

通过系统分析各项出水指标,可知该CASS系统存在如下问题:

① CASS系统抗冲击负荷能力较差。这主要是由于CASS系统内活性污泥浓度较低且活性较差,对有机物的降解能力变弱,在进水浓度变高或水量增加的情况下,系统内的污泥无法正常降解有机物,导致出水水质较差。

② CASS系统的活性污泥较难培养,污泥浓度低、活性差。从现场运行情况来看,为保证出水达标,底曝机开启较多。从近一年的出水水质来看,出水COD、BOD₅指标较好,这是曝气充分的结果,但曝气量过大,也不利于活性污泥的生长:a. 曝气量过大,使污水搅动过于剧烈,导致污泥菌胶团松散,不利于其生长;b. 由于曝气过量,有机物浓度低,会形成碳源不足的环境,污泥在无法得到充足食物的情况下会进行内源呼吸而无机化;c. 由于N、P浓度较高,而碳源少,使得C:N:P比例失调,从而影响污泥的繁殖。

③ CASS系统脱氮除磷效果差。目前进水量为1 000~2 000 m³/d,未达设计水量的1/2,但出水氨氮偏高,主要是因为CASS生化池未设置独立的缺氧区,而且日常运行中曝气过量,无法形成缺氧区域,污泥无法有效除氮。同时活性污泥浓度低,脱

氮效果较差。

对CASS系统进行技术改造,目前常用的有2种思路:一种是提升CASS生化池性能,比如在池内投加悬浮填料等,提高污泥浓度;另一种是对CASS工艺进行调整,比如将间歇运行方式改造为连续运行方式等,以解决无独立缺氧区的问题。此次改造采用第2种方式。

2 改造思路及设计方案

2.1 设计水质

设计进、出水水质见表2。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS
95%控制率进水水质	410	140	44	50	3	220
本方案设计进水水质	500	300	44	50	4	300
本方案设计出水水质	50	10	5(8)	15	0.5	10
注: ①括号内外数值分别为水温≤12℃和水温>12℃时的控制指标;②95%控制率进水水质根据业主提供的2020年1月—9月的进水水质得出。						

根据该污水处理厂2020年1月—9月的实际进水水质可知,95%保证率下进水COD为410 mg/L,BOD₅为140 mg/L,NH₃-N为44 mg/L,TN为50 mg/L,TP为3 mg/L,SS为220 mg/L。由于目前片区内污水管网尚不完善,污水处理厂实际处理水量远小于设计规模,后续随着管网的完善,进水浓度将有一定提升;同时结合周边工业园区规划,近远期园区内

主要为工业废水的特征,预留一部分余量,确定此次改造设计进水 COD 为 500 mg/L, BOD₅ 为 300 mg/L, NH₃-N 为 44 mg/L, TN 为 50 mg/L, TP 为 4 mg/L, SS 为 300 mg/L。改造后出水水质执行一级 A 标准。

2.2 改造思路

经过水质、水量复核,该污水处理厂现有工艺出水水质不能达到一级 A 标准,其中 COD、BOD₅、NH₃-N 和 TN 等指标通过升级改造现有的生物池,强化生化处理系统的去除效率和去除能力,而 SS 和 TP 的去除则需在后续工艺新增或强化深度处理系统,保证全部水质达标。

由于该污水处理厂用地紧张,只能在原有生化池的基础上进行改造,为更好地利用现有池容,将原 CASS 工艺改造为脱氮除磷效果较好的 A²/O 工艺^[2],将 CASS 池分隔成厌氧区、缺氧区、好氧区以及具有较高负荷的矩形周进周出二沉池^[3],分隔出二沉池后,生化处理区池容相应减少。有研究表明,MBBR 工艺可以提高污泥浓度,丰富生化池好氧区的微生物种类及数量,提高生化池的处理效率^[4],因此在好氧区内添加悬浮填料,形成活性污泥-悬浮生物膜载体,即“A²/O+MBBR”泥膜复合工艺。由于该污水处理厂主要原水为渔业加工废水,SS、TN 及 TP 浓度高,因此在充分挖掘二级生化处理去除能力后,剩余 SS、TN 及 TP 则采用去除效果较好的混凝-沉淀-过滤工艺。高效沉淀池具有占地面积小、抗冲击负荷能力强、SS 和 TP 处理效率高的优点^[5],而深床反硝化滤池依赖滤料表面的微生物(主要为反硝化细菌),将硝酸盐和亚硝酸盐还原为氮气,提高 TN 的去除率^[6-7],进而保证出水达标排放。因此后端深度处理采用高效沉淀池和深床反硝化滤池。

具体技术改造方案如下:

① 将现状 CASS 池改造为 AAO 池+矩形周进

周出二沉池

保留现状生物选择区,将现状 CASS 池主反应区分隔成缺氧区、好氧区和矩形周进周出二沉池。在保证缺氧区停留时间和二沉池沉淀时间的基础上,剩余部分作为好氧区,因分隔后好氧区池容不足,为弥补生物量不足问题,向好氧区投加生物填料,增加活性污泥浓度,提高处理效率。

考虑到施工过程中现状污水处理厂需正常运行,且周边用地紧张,无法直接进行扩建,因此此次改造分 2 组交替进行,即一组改造,另一组正常运行。

② 对现状生化系统进行改造

在改造后的好氧区出水口增加硝化液回流泵,将混合液回流至分隔后的缺氧区;在污泥泵井设置污泥回流泵,将污泥回流至厌氧区,达到脱氮除磷的效果。

③ 增加后端深度处理设施

a. 增加混凝沉淀过滤设施。通过对现状 CASS 工艺进行改造,提高对 COD、BOD₅、NH₃-N 和 TN 等指标的去除效果,再通过后端深度处理系统(高效沉淀池和深床反硝化滤池)进一步去除 SS、TP 及 TN。b. 对新建构筑物进行配套建设。建设二次提升泵房,将二沉池出水提升至高效沉淀池,满足后续处理系统重力流要求。

2.3 设计方案

2.3.1 改造工艺

进厂污水经粗格栅及提升泵房提升后进入细格栅及旋流沉砂池,经水解酸化池水解后进入改造后的生化池进行脱氮除磷,再经二沉池沉淀后进入高效沉淀池和深床反硝化滤池进一步去除 SS、TP、TN 等,接触消毒后达到一级 A 标准排海。具体流程见图 1。

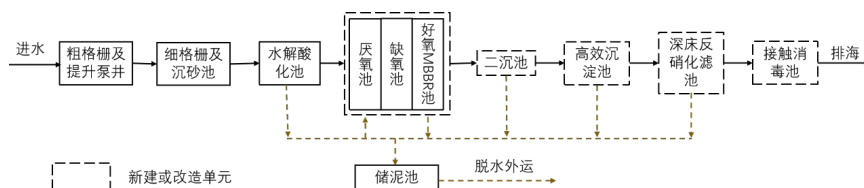


图 1 改造后工艺流程

Fig.1 Flow chart of treatment process after reconstruction

2.3.2 改造后的生物池工艺参数

改造后的生物池工艺参数见表 3。

现状 CASS 池平面尺寸 51 m×25 m,有效水深 5

m,有效池容 6 375 m³。保留现状生物选择区,将主反应区分隔成缺氧区、好氧区和矩形周进周出二沉池。

表3 生物池改造后工艺参数

Tab.3 Process parameters of biochemical tank after reconstruction

池容及停留时间	污泥浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	污泥负荷/ ($\text{kgBOD}_5\cdot\text{kg}^{-1}\text{MLSS}\cdot\text{d}^{-1}$)	剩余污泥量/ ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	回流比/%	气水比
厌氧区:容积 575 m^3 ,停留时间 2.76 h ;缺氧区:容积 $1\,875\text{ m}^3$,停留时间 9.00 h ;好氧区:容积 $2\,147\text{ m}^3$,停留时间 10.31 h	3 500	0.186	1 358.89	100~200	7.7:1
注:二沉池容积 $1\,500\text{ m}^3$,二沉池单池尺寸 $25\text{ m}\times 6\text{ m}$,有效水深 5 m ,表面负荷 $1.5\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,固体负荷 $142.8\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,最大堰上负荷 $2.36\text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。					

考虑到后期周边企业的入驻,渔业加工企业越来越多,TN等浓度相应提高,为进一步提高脱氮效果,将缺氧区停留时间设置为 9 h ,有效池容 $1\,875\text{ m}^3$ 。根据计算,好氧区所需有效池容为 $2\,665.53\text{ m}^3$,分隔缺氧区池容后剩余好氧区池容为 $2\,147\text{ m}^3$,好氧区欠缺有效池容为 518.53 m^3 。为解决好氧区因池容减少带来的生物量不足问题,需向好氧区投加悬浮填料 $221\,600\text{ m}^2$ 。在好氧区进、出口设置填料拦截装置,防止填料流失,在底部设置专用曝气系统,提高悬浮载体的流化效果,保证填料不会堆积,同时促进悬浮载体的脱膜挂膜过程。

具体池容分配见图2。

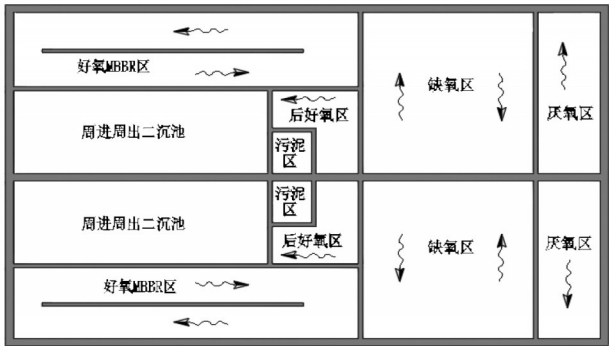


图2 改造后生物池布局

Fig.2 Layout of biochemical tank after reconstruction

3 改造后运行效果

2022年11月试运行至2024年7月的实际进、出水水质检测结果见表4。

表4 改造后进、出水水质

		$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$					
项目		COD	BOD_5	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP	SS
改造后 进水	范围	409~1 946	20.1~328.0	34.8~404.0	50.1~441.0	2.21~42.80	104~215
	均值	754.31	184.25	140.75	162.36	14.06	166.98
改造后 出水	范围	11.1~50.0	2.25~9.97	0.22~3.75	0.83~12.60	0.07~0.47	2~9
	均值	22.46	4.46	1.52	7.31	0.21	4.12

由表4可知,实际进水中大部分指标浓度远高于设计指标,主要因为服务片区内各企业未对生产废水进行预处理,未能达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),所以污水处理厂进水水质与周边加工企业使用原料、生产工艺及产量等密切相关。改造后出水各项指标均达到一级A标准。

3.1 COD和TP处理效果

改造后系统对COD和TP的处理效果见图3。

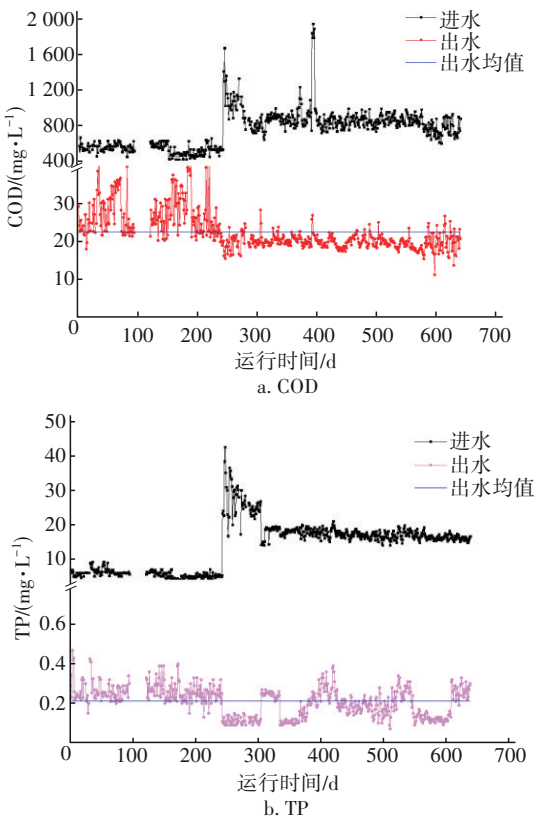


图3 改造后系统对COD和TP的处理效果

Fig.3 COD and TP treatment effect after reconstruction

改造前进水COD为 $186\sim 469\text{ mg/L}$,出水为 $23.6\sim 96.3\text{ mg/L}$,平均去除率为 86.97% 。改造后进水COD为 $409\sim 1\,946\text{ mg/L}$,较改造前平均增加

488.81 mg/L,且进水浓度波动较大。随着周边企业未处理废水的增加及污水管网的完善,进水 COD 浓度同步提升。改造后 COD 去除率均值为 97.02%,较改造前提高了 10.05 个百分点,这主要是因为将原 CASS 生化池分隔出缺氧池后,严格的缺氧条件有利于反硝化菌发挥作用。虽然进水 COD 波动很大,但出水 COD 依旧稳定(11.1~50.0 mg/L),达标率为 100%,由此可见此次改造后的系统抗负荷冲击能力增强。

改造前进水 TP 为 1.93~3.34 mg/L,出水为 0.30~0.91 mg/L,平均去除率为 70.83%,改造后进水 TP 为 2.21~42.80 mg/L,较改造前提高了 11.66 mg/L,但系统对 TP 的去除效果优于改造前,平均去除率提高了 27.68 个百分点,MBBR 池内添加的生物改性填料有利于增强对一般性有机污染物的吸附与去除,有利于氮类物质的硝化反硝化反应,以及聚磷菌从污水中过量吸收磷酸盐转化为聚磷,形成富磷污泥,实现高效生物除磷的目的^[4]。生化池出水 TP 为 0.30~0.72 mg/L,无法稳定达到一级 A 标准,而经过深度处理后的出水 TP 为 0.07~0.47 mg/L,这是因为后续高效沉淀池通过沉淀和剩余污泥排放进一步去除 TP,保证了 TP 达标排放。

3.2 TN 和 NH₃-N 处理效果

改造后系统对 TN 和 NH₃-N 的处理效果见图 4。

改造前进水 TN 为 30.7~55.9 mg/L,出水为 5.11~17.40 mg/L,平均去除率为 70.26%,改造后进水 TN 为 50.1~441.0 mg/L,较改造前进水浓度均值提高 123.36 mg/L,原因同上。但是改造后系统对 TN 的平均去除率达到 95.50%,高于改造前 25.24 个百分点,主要归因于改造后生化池分隔出严格的缺氧区域,缺氧区池容较大,停留时间长达 9 h,有利于反硝化菌反应,也进一步保证了对 TN 的去除;同时由于好氧区悬浮填料的投加,为硝化细菌提供了载体,同步提高活性污泥浓度,脱氮效果较好。生化池出水 TN 为 8.02~17.60 mg/L,无法稳定达到一级 A 标准,而经过深度处理后的出水 TN 为 0.83~12.60 mg/L,主要是因为深床反硝化滤池附着生长在滤料上的反硝化细菌利用污水中的碳源进行反硝化反应,将 NO₃⁻-N 反硝化成氮气^[6],保证了对 TN 的稳定去除。相关研究也表明,深床反硝化滤池污泥由于菌群功能更为专一,反硝化相关菌群相对丰度较高,具备良好的深度脱氮效果^[7]。

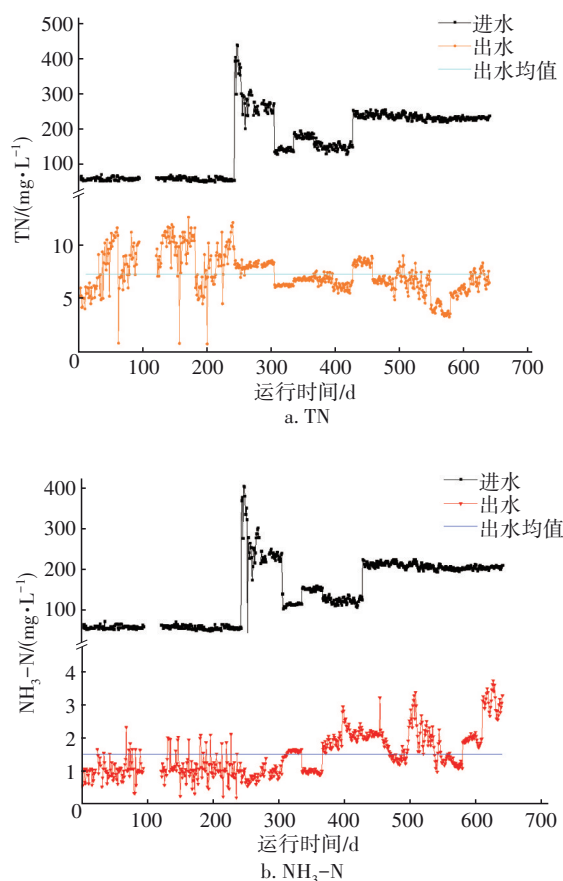


图 4 改造后系统对 TN 和 NH₃-N 的处理效果

Fig.4 TN and NH₃-N treatment effect after reconstruction

改造前进水 NH₃-N 为 26.3~59.3 mg/L,出水为 0.62~11.10 mg/L,平均去除率为 83.44%,改造后进水 NH₃-N 为 34.8~404.0 mg/L,进水浓度均值较改造前提高了 108.75 mg/L,但系统对 NH₃-N 的处理效果优于改造前。改造后 NH₃-N 平均去除率较改造前提高了 15.48 个百分点,主要因为在好氧池内添加悬浮填料,形成活性污泥-悬浮生物膜载体,提高了硝化菌的富集程度。NH₃-N 的去除与曝气量有极大的关系,改造后系统出水 NH₃-N 浓度波动较大,主要原因有:①现场采用以前的罗茨风机,需要手动调节阀门开度,由于每天进水量波动较大,无法根据进水量及时调整曝气量容易造成曝气不足,影响 NH₃-N 的去除;②进水 NH₃-N 浓度高,虽然实际处理量小于设计规模,停留时间长,但系统中 NH₃-N 总量高,由于反应的滞后性,也会造成出水 NH₃-N 波动。

4 结论

该污水处理厂提标改造采用“A²/O+MBBR”主

体工艺,后端深度处理采用高效沉淀池和深床反硝化滤池,出水COD、BOD₅、TN、NH₃-N、SS和TP均值分别为22.46、4.46、7.31、1.52、4.12和0.21 mg/L,稳定达到并优于一级A标准。

实践证明,将原CASS生化池改造为“A²/O池+矩形周进周出二沉池”,节省用地,最大化地利用现有池容,改造后系统抗冲击负荷能力强,运行稳定,针对进水浓度波动较大的情况,COD、BOD₅、TN、NH₃-N、SS和TP均能达到较高的去除率,出水达标率达到100%。

参考文献:

- [1] 石效卷,李璐,张涛.水十条水实条——对《水污染防治行动计划》的解读[J].环境保护科学,2025,14(3):1-3.
SHI Xiaojuan, LI Lu, ZHANG Tao. Water pollution control action plan, a realistic and pragmatic plan—An interpretation of *Water Pollution Control Action Plan* [J]. Environmental Protection Science, 2025, 14 (3): 1-3 (in Chinese).
- [2] 上官中华,安乐,王国峰,等. A²/O工艺高效处理城镇污水的运行控制[J]. 工业用水与废水, 2018, 49(3): 53-56.
SHANGGUAN Zhonghua, AN Le, WANG Guofeng, et al. Operational control of A²/O process in efficient treatment of municipal sewage [J]. Industrial Water & Wastewater, 2018, 49(3): 53-56(in Chinese).
- [3] 杨淑霞. Trans-Flo矩形周进周出二沉池用于污水处理厂工艺设计[J]. 天津建设科技, 2019, 29(S1): 67-69.
YANG Shuxia. Trans-Flo rectangular perimeter inlet and outlet secondary sedimentation tank for wastewater treatment plant process design [J]. Tianjin Construction Science and Technology, 2019, 29 (S1): 67-69 (in Chinese).
- [4] 卢德强,张喜宝,张家鸣,等. MBBR工艺在城市污水处理厂提标改造中的应用分析[J]. 环境工程, 2023, 41(S1): 23-26.
LU Deqiang, ZHANG Xibao, ZHANG Jiaming, et al. Application and analysis of MBBR process in the upgrading of urban sewage treatment plant [J]. Environmental Engineering, 2023, 41 (S1): 23-26 (in Chinese).
- [5] 周林,张星,朱京伟. 高效沉淀池在污水深度处理中的应用设计[J]. 给水排水, 2023, 49(S2): 102-105.
ZHOU Lin, ZHANG Xing, ZHU Jingwei. Application design of high efficiency sedimentation tank in sewage advanced treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(S2): 102-105(in Chinese).
- [6] 鲍立新. 深床滤池在无锡市芦村污水处理厂的运行效果[J]. 中国给水排水, 2012, 28(6): 41-43.
BAO Lixin. Operation efficiency of deep bed filter in Lucun wastewater treatment plant in Wuxi [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (6): 41-43 (in Chinese).
- [7] 高阳,周利,李凌云,等. 反硝化深床滤池深度处理市政污水及其微生物特性[J]. 中国给水排水, 2022, 38(19): 54-60.
GAO Yang, ZHOU Li, LI Lingyun, et al. Deep bed denitrification filter for advanced treatment of municipal wastewater and its microbial characteristics [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38 (19): 54-60 (in Chinese).

作者简介:王玉兰(1992-),女,福建龙岩人,硕士,中级工程师,主要研究方向为污水处理、污泥处理。

E-mail:961410241@qq.com

收稿日期:2024-08-15

修回日期:2024-09-20

(编辑:衣春敏)