

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.14.013

CASS改造为A²O+MBR+SADF提标设计

郝目远, 石 凤, 杨晨光, 黄 宇

(中国市政工程西北设计研究院有限公司 天津分公司, 天津 300220)

摘 要: 河北省卫河流域某经济技术开发区污水处理厂工程规模为3万m³/d,原采用循环活性污泥系统(CASS)工艺,提标改造要求出水水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准IV类标准(TN≤10 mg/L)。针对该厂以生活污水为主,进水水质波动较大、总氮(TN)排放要求较高等特点,综合考虑用地条件、改造周期时序及水力流程等因素,设计中对生化池进行加高,紧凑利用2座CASS池中间的空余用地新建膜综合设备间,并结合不停水改造措施等,将CASS工艺改造为A²O+膜生物反应器(MBR)工艺,同时新增硫自养反硝化滤池(SADF)工艺。自2024年6月调试稳定运行以来,各项出水水质均满足排放要求。工程总投资约9 617.36万元,经营成本1.15元/m³。

关键词: CASS工艺; A²O+MBR工艺; 硫自养反硝化滤池; 提标改造; 卫河流域

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)14-0093-06

Retrofit Design of CASS Process to A²O+MBR+Sulfur Autotrophic Denitrification Filter (SADF)

Hao Muyuan, Shi Feng, Yang Chenguang, Huang Yu

(Tianjin Branch, China Municipal Engineering Northwest Design and Research Institute Co. Ltd.,
Tianjin 300220, China)

Abstract: A municipal wastewater treatment plant (WWTP) with a design capacity of 3×10⁴ m³/d, located in an economic and technological development zone within the Wei River basin of Hebei Province, was originally equipped with a cyclic activated sludge system (CASS). To comply with the upgraded discharge standards, the effluent quality was required to meet the quasi-class IV criteria stipulated in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002), with a particularly stringent total nitrogen (TN) limit of ≤10 mg/L. Given that the influent was predominantly domestic sewage and was subject to considerable quality fluctuations, the retrofit strategy was systematically devised by taking into full account the limited site availability, construction phasing, and existing hydraulic profile continuity. The implemented modifications included raising the effective water depth of the existing biological reactors, and compactly utilizing the redundant space between the two CASS units for the construction of a new integrated membrane equipment room. Through in-situ renovation techniques that permitted continuous WWTP operation during the conversion period, the original CASS process was successfully retrofitted to an A²O + MBR process, supplemented by a newly added sulfur autotrophic denitrification filter (SADF) for enhanced nitrogen removal. Since stable operation began in June 2024, all effluent quality indicators have consistently met the prescribed discharge requirements. The total

基金项目: 中建市政西北院科技研发课题(XBSZKY2309)

通信作者: 郝目远 E-mail: 542417368@qq.com

investment for the upgrading and retrofit project amounted to approximately 96.173 6 million CNY, with an operating cost of 1.15 CNY/m³.

Keywords: CASS process; A²O+MBR process; sulfur autotrophic denitrification filter (SADF); upgrading and retrofit; Wei River basin

1 工程背景及概况

河北省卫河流域某污水处理厂设计规模为3万m³/d,于2006年建成投运,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B标准。2012年,该厂进行首次提标改造,出水水质提升至一级A标准。由于该污水处理厂尾水排放的河道属于水资源调配体系的重要环节,根据当地环保要求以及对卫河流域水生态保护的需,2023年启动第二次提标改造工程。出水主要污染物指标按《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准IV类标准控制,即COD≤30 mg/L、BOD₅≤6 mg/L、悬浮物(SS)≤10 mg/L、氨氮(NH₄⁺-N)≤1.5 mg/L、总氮(TN)≤10 mg/L、总磷(TP)≤0.3 mg/L。

2 现状及改造条件

2.1 现状分析

本工程位于河北省南部某经济技术开发区。污水处理厂工程规模为3万m³/d,收集范围覆盖该城镇及周边的生活污水和工业废水,其中工业废水占比约30%,主要来自机械、食品等行业。设计进水COD≤350 mg/L、BOD₅≤150 mg/L、SS≤180 mg/L、NH₄⁺-N≤55 mg/L、TN≤70 mg/L、TP≤8 mg/L。现状主处理工艺为“循环活性污泥系统(CASS)+混合反应沉淀+纤维转盘过滤”组合工艺。

污水处理厂现状处理工艺流程如图1所示。

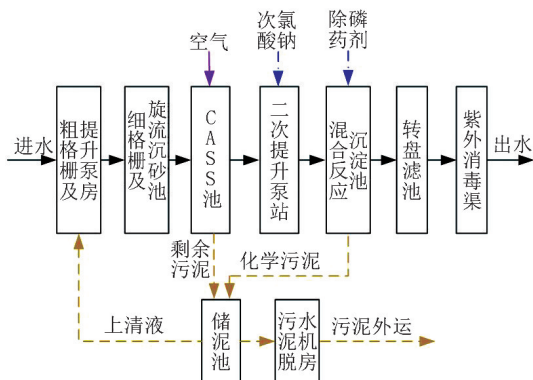


图1 污水处理厂现状处理工艺流程

污水处理厂2022年1—12月的日平均进水量为25 039 m³/d,已基本达到满负荷运行,进水量较为

稳定。然而,受工业废水水质波动较大、市政雨污管道混接、管网漏损和地下水入渗等因素影响,实际进水浓度较设计值偏低。

污水处理厂2022年1—12月的实际进、出水水质见表1。

表1 实际进、出水水质 mg/L

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP
进水	最大值	420.63	143.30	210.11	62.52	72.20
	最小值	181.42	122.58	115.85	27.63	32.32
	平均值	278.31	127.63	124.64	38.22	53.18
出水	最大值	48.23	11.51	9.46	7.46	17.21
	最小值	19.50	3.89	6.32	0.22	7.51
	平均值	38.73	6.79	7.92	1.12	12.85

由表1可知,该厂大部分出水指标能够稳定达到GB 18918—2002一级A标准,但BOD₅、TN、NH₄⁺-N等指标受水质波动影响较大,存在个别天数超标的情况,出水稳定达标的压力较大。

此外,该污水处理厂在未满负荷运行的条件下,现状各项出水指标中除SS外,其余指标对新排放标准的达标率均较低,存在严重的水质不达标风险,因此亟须改造或新建处理工艺。

经分析,该污水处理厂运行中存在以下问题:

① CASS池水力停留时间(HRT)为17.6 h,主要依靠时序控制,灵活性不足,对水质、水量的适应性较差。缺氧池采用低速潜水推流器,好氧池采用微孔曝气,工艺运行复杂,池内积泥严重,设备供氧能力不足,导致硝化反应不充分,脱氮效率较低。此外,缺少单独的厌氧区,污泥释磷过程易受回流硝态氮干扰,生物除磷效果不佳。② CASS池采用滗水器出水,为间歇排水方式,排水速度快、水头损失较大,排水过程中易扰动沉淀污泥层导致跑泥,出水悬浮物浓度较高。③ 格栅、闸门、提升泵、鼓风机和纤维转盘过滤器等设备老化、腐蚀严重,维修频繁,设备效能低,影响污水处理厂的稳定运行。

2.2 改造条件

该厂区占地约2.89 hm²,近期无扩建计划且无

新增征地条件,仅能在现有厂区范围内利用闲置用地或部分拆迁用地进行原规模提标改造。经测算,可拆除及利用的空地面积约1 500 m²,提标改造用地较为紧张。在改造过程中,应充分挖掘现状处理建(构)筑物的功能潜力,合理布置建(构)筑物以及水力流程,从而减少动力消耗、节约占地。现状CASS池共设2座4组,可通过运行调控及短期单系列停水改造等方式,力争在改造过程中不停产或少减产。

3 改造方案

本项目进水可生化性较好,BOD₅及NH₄⁺-N的去除率要求较高,需采用高效生化处理工艺,重点对现状运行效果不佳的CASS生化池进行改造,以提升二级生化处理效率。膜生物反应器(MBR)工艺将传统生化处理工艺与膜分离技术有机结合,适用于用地紧张且出水水质要求严格的污水处理厂^[1]。传统A²O及其改良型工艺与MBR耦合,已成为新建及改扩建污水处理厂广泛采用的工艺组合形式^[2]。经核算,现状CASS工艺池容不足,可通过将单座CASS池中的1组改造为厌氧池和缺氧池,另1组改造为好氧池和MBR膜池,即采用A²O+MBR工艺,使二级生化处理段充分发挥效能,实现高效脱氮除磷。

本项目要求出水TN≤10 mg/L,仅靠二级生化处理难以达标,需增设深度处理脱氮工艺。具体措施包括:拆除厂区原加氯加药间,新建硫自养反硝化滤池(SADF);原位更换混合反应沉淀池及转盘滤池的老旧设备,以确保TP和SS的稳定达标。

主要改造内容如下:将CASS池原位改造为A²O+MBR池,利用CASS池中间12.0 m×49.1 m的空地新建膜格栅及膜设备间;拆除加氯加药间,新建硫自养反硝化滤池;拆除储泥池及反冲洗水池,新建污泥浓缩池;扩建污泥脱水机房,利用厂区旋流沉砂池北侧空地新建除臭生物滤池。同时,对现有粗格栅及进水泵房、细格栅及旋流沉砂池、混合反应沉淀池、转盘滤池、紫外消毒渠、污泥脱水机房、鼓风机房以及变配电所等设施进行改造。此外,还包括道路破除、绿化恢复、污泥清淤、管线切割等配套工程。

提标改造的总体工艺流程见图2,改造后的厂区平面布置见图3。

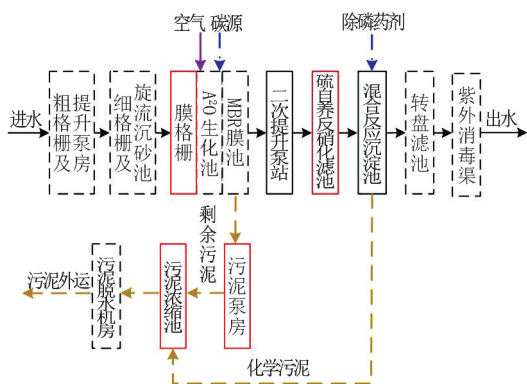


图2 污水处理厂提标改造总体工艺流程

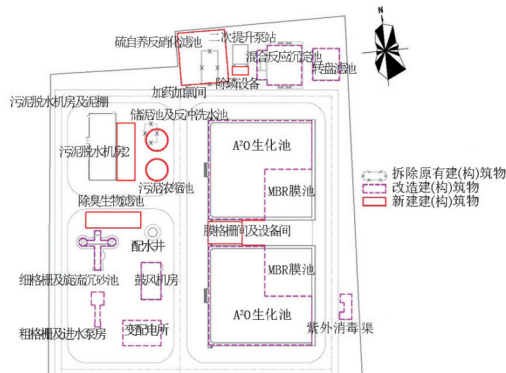


图3 提标改造后厂区平面布置示意

4 工程设计

4.1 预处理单元

现状预处理段粗、细格栅及旋流沉砂池经复核满足设计要求,但设备及闸门老化、腐蚀严重,需对老旧设备进行原位更换。

为防止大块悬浮物或纤维堵塞MBR膜组件,影响膜池出水效果,需新增膜格栅。膜格栅设置于CASS池中间空地,与膜设备间合建。膜格栅设计流量3万m³/d,共设3条格栅进水渠道,单渠平面尺寸9.5 m×1.6 m,渠深2.75 m。采用3台内进流孔板式膜格栅并排布置,安装角度为90°,栅前水深1.5 m,栅后水深1.0 m,栅条间隙1 mm,过栅流速0.3 m/s。配套安装高排水压榨机、中压冲洗水泵及栅渣输送装置等。

4.2 生化处理单元

① CASS池改造为A²O+MBR池。现状CASS池共设2座4组,每组分为选择区和主反应区,有效水深5.0 m。单格选择区尺寸23.0 m×6.0 m×5.5 m,有效池容为690 m³;单格主反应区尺寸42.0 m×23.0 m×5.5 m,有效池容为4 830 m³;单座总池容为11 040 m³。选择区水力停留时间2.2 h,主反应区水

力停留时间 15.4 h,生化池可改造部分的总水力停留时间 17.6 h。

现状 CASS 池单座平面布置如图 4 所示。

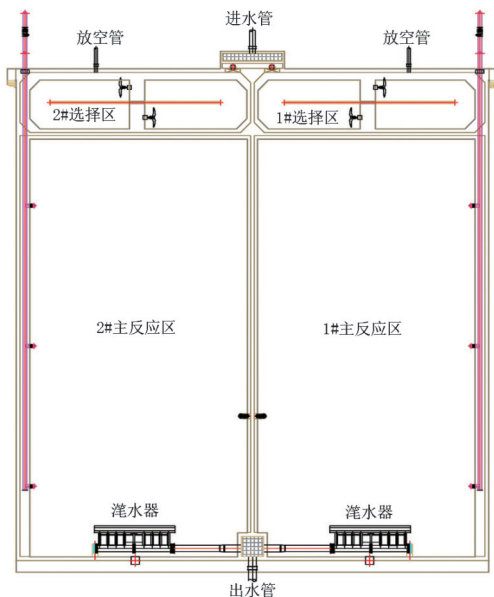


图4 现状 CASS 池单座平面布置示意

改造方案如下:将单座 2 组 CASS 池改造为 1 座 A²O 生化池,并占用原 CASS 池东侧部分容积新建 2 座 MBR 膜池,单座膜池平面尺寸 23.5 m×15.7 m,占用 A²O 生化池的池容约 1 845 m³。经复核,在设计水温为 12℃、污泥浓度为 5 g/L、污泥龄为 25 d 的条件下,满足新标准设计要求时,计算得到单座 A²O 生化池所需池容为 9 250 m³(其中厌氧区 750 m³、缺氧区 4 125 m³、好氧区 4 375 m³),而原 CASS 池剩余可利用池容为 9 195 m³。可知,新建 MBR 膜池后,剩余池容无法满足 A²O 生化池有效停留时间的要求。因此,采用将原 CASS 池整体加高 1.0 m 的解决方法,使有效水深由 5.0 m 增至 5.5 m,碳源不足时在缺氧区补充乙酸钠。

CASS 池改造现场照片见图 5。



a. 植筋增加池深

b. 选择区改造

图5 CASS 池改造现场照片

单组 CASS 池的原选择区改造为厌氧池,另 1 组选择区拆除后用于好氧池。封堵原池底部配水孔,底部开设 1.8 m×1.5 m 的过水洞口,并利用原池的 2 台潜水推流器。单组原主反应区全部改造为缺氧池,增加隔墙将其分为 4 格廊道,单格廊道增设 1 台潜水推流器。另 1 组原主反应区除被 MBR 膜池占用的容积外,全部改为好氧池,增加隔墙将其分为 3 格廊道,池底铺设微孔曝气器,同步拆除原池内曝气管路。廊道末端增设回流穿墙泵,吊装口尺寸为 1.5 m×1.5 m。改造后,生化池的池顶整体增加混凝土顶板,并增设除臭收集管路,好氧池顶部设置 3.0 m×3.0 m 的检修观察口。

改造后 A²O 生化池的总 HRT 为 14.8 h,其中厌氧池 HRT 为 1.2 h,单格尺寸 23.0 m×6.0 m;缺氧池 HRT 为 6.6 h,单格尺寸 42.0 m×23.0 m;好氧池 HRT 为 7.0 h,单格尺寸 33.0 m×23.0 m。单座 A²O 生化池的厌氧池设 2 台潜水推流器,叶轮直径 1 400 mm。缺氧池设 4 台潜水推流器,叶轮直径 1 800 mm,单廊道宽 5.9 m。缺氧池至厌氧池的混合液回流比为 200%,采用 2 台(1 用 1 备)内回流穿墙泵,单台流量 1 250 m³/h、扬程 1.2 m,变频控制。好氧池至缺氧池的混合液回流比为 400%,采用 3 台(2 用 1 备)内回流穿墙泵,单台流量 1 250 m³/h、扬程 1.2 m,变频控制。好氧池设 1 060 根盘式微孔曝气器,单根供气量为 4.0 m³/h。

A²O 好氧池末端溢流堰出水通过渠道配水至 MBR 膜池,池底填充 1.5 m 厚混凝土以满足膜池处理深度要求。MBR 膜池共设 2 座,单座设计流量 1.5 万 m³/d。单座膜池设 2 条廊道、16 组聚偏氟乙烯(PVDF)中空纤维膜,每条廊道安装 8 个膜组器,预留 1 个膜组器位置,单组膜面积为 2 520 m²。膜池 HRT 为 1.0 h,有效水深为 3.0 m。膜池至好氧池的混合液回流比为 500%,采用 3 台(2 用 1 备)内回流穿墙泵,单台流量 1 565 m³/h、扬程 1.0 m,变频控制。膜池出水经产水泵提升进入清水池,依靠重力流入下一级处理工艺。

② 新建膜综合设备间。膜综合设备间位于 CASS 池中间 12.0 m×49.1 m 的空地,该设备间共设 2 层:底层由膜格栅间和膜设备间(含加药系统)合建,顶层为变配电室。膜设备间选用 5 台产水泵,4 用 1 冷备,单台流量 500 m³/h、扬程 10 m,变频控制。为控制膜污染,设 2 台原位清洗(CIP)泵,1 用 1 备,

单台流量550 m³/h、扬程15 m,变频控制。另设2台剩余污泥泵(1用1备)用于将污泥排至污泥浓缩池,单台流量37.5 m³/h、扬程20 m。

CASS池改造为A²O+MBR池的平面布置如图6所示。

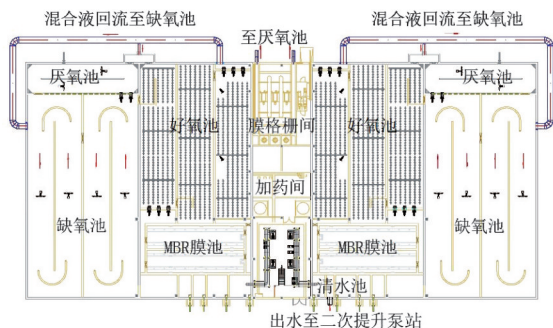


图6 CASS池改造为A²O+MBR池平面布置示意

③ 不停产改造方案。CASS池共设2座4组,在夏季采用依次改造的原则,即完成单组改造后再进行下一组的改造。夏季平均进水温度20℃,生化池处理效率较高,且未满载运行。改造1#池时,其他3组基本能够满足处理能力的需求,可实现不停水、不减产;改造至2#池时,需减产但不停水,此时需将3#、4#池的滗水器提升至最高液位,以AO工艺运行。由于好氧池反应时间较长,需临时增设回流泵,以保障生化处理出水的稳定达标。生化处理系统与深度处理系统之间存在管道切改问题,选择在夜间进水低峰期进行短暂停水,实施新建、改造管道与原管道的衔接^[3]。

4.3 深度处理单元

现状混合反应沉淀池、纤维转盘滤池、紫外消毒渠等经复核满足设计要求,仅需对老旧设备进行原位更换。为保障出水TN稳定达标,需新增硫自养反硝化滤池以进一步脱氮。为满足深度处理段所需的水头损失,膜池出水需进入现状泵站进行二次提升。污水经提升后进入硫自养反硝化滤池,出水再进入混合反应沉淀池进行化学除磷,随后进入转盘滤池过滤,以确保TP和SS稳定达标^[4]。当膜池出水TN满足出水标准时,可通过切换提升泵站出水闸门实现硫自养反硝化滤池的超越运行,从而降低运营成本。

硫自养反硝化滤池利用MBR膜池出水中的硝酸盐,其中的硫氧化细菌以还原态硫为电子供体,在获得能量的同时将硫氧化为硫酸盐^[5],并将硝态

氮还原为氮气,实现进一步脱氮。全过程无需投加碳源等药剂,填料年损耗率为5%~10%,填料补充周期为1年。

硫自养反硝化滤池设计流量3万m³/d,共分为4格。自养脱氮滤料粒径3~5 mm,滤料厚度2.5 m,平均滤速5.19 m/h,强制滤速6.92 m/h,平均硝态氮去除负荷0.50~1.00 kg/(m³·d)。采用气水联合反冲洗,反冲洗气强度为16.7 L/(m²·s),反冲洗水强度为4.2 L/(m²·s)。反冲洗顺序及时间为气洗(3~5 min)-气水联合冲洗(3~5 min)-水洗(3 min),反冲洗周期为72 h。

4.4 污泥处理单元

现状污泥处理系统无污泥浓缩段,脱水机负荷较大。经复核,需拆除原储泥池,原位新增2座污泥浓缩池。单座污泥浓缩池结构尺寸为 $\varnothing \times H=10.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,有效水深4.0 m,停留时间为22 h,污泥固体负荷为33.6 kg/(m²·d)。

污泥脱水机房内新建2座污泥调理池,单格平面尺寸为4.5 m×4.5 m,池深4.3 m,新增2台直径2.5 m的搅拌机。投加三氯化铁、聚丙烯酰胺(PAM)及石灰药剂进行污泥调理。原板框脱水机设备老旧,予以弃用,新增3台离心脱水机,2用1备,单台流量30 m³/h。

4.5 辅助单元

鼓风机原采用罗茨风机,无法满足改造后二级生化处理的供气需求,因此需新增磁悬浮风机。其中,为生化池好氧区配置3台磁悬浮风机,2用1备,单台风量62 m³/min、风压6.5 m,变频控制;为MBR膜池配置3台磁悬浮风机,2用1备,单台风量104 m³/min、风压5.0 m,变频控制。

加药间设备经复核满足设计要求,予以利用。

5 运行效果

工程总投资约9 617.36万元,其中工程费用为7 240.31万元,设备购置费占比43%。综合考虑电耗、药耗及人工等成本,单位经营成本为1.15元/m³。

该污水处理厂改造完成后,经调试稳定运行12个月,其间平均进水量约2.5万m³/d。2024年6月—2025年5月的实际月均进、出水水质数据如表2所示。可知,出水水质均能稳定达到地表水Ⅳ类标准(TN≤10 mg/L)。

表2 污水处理厂2024年6月—2025年5月的实际月均进、出水水质 mg/L

项目	COD		SS		NH ₄ ⁺ -N		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
2024年6月	281.44	23.22	122.83	6.23	36.03	0.77	46.16	7.53	4.27	0.07
2024年7月	300.16	14.84	115.35	5.37	27.27	0.77	48.21	7.18	4.43	0.09
2024年8月	207.74	11.63	121.64	5.42	37.45	0.58	46.43	8.04	4.15	0.11
2024年9月	244.50	14.89	131.20	6.08	38.12	0.74	43.31	7.34	4.78	0.13
2024年10月	300.16	13.95	125.17	5.33	37.67	0.73	53.22	7.50	5.31	0.12
2024年11月	350.96	12.35	125.32	5.95	37.99	0.73	55.63	7.70	6.10	0.10
2024年12月	242.62	16.27	153.24	5.81	38.22	0.78	57.58	7.78	6.33	0.13
2025年1月	198.22	12.43	108.72	6.12	42.90	0.81	52.86	7.67	4.94	0.15
2025年2月	298.89	14.09	133.51	6.53	46.70	0.79	51.79	7.82	5.28	0.11
2025年3月	356.84	13.46	142.32	5.54	42.72	0.78	46.98	7.71	3.89	0.13
2025年4月	290.34	13.58	126.11	5.83	42.90	0.78	48.70	7.79	4.32	0.13
2025年5月	260.58	12.87	125.49	6.11	36.03	0.78	47.75	7.86	5.05	0.17

6 结语

对于高含氮污水的高标准排放要求,增设硫自养反硝化滤池作为深度脱氮处理工艺,TN去除效果显著,且无需投加碳源药剂,为COD及TN的达标排放提供了安全保障。将CASS工艺改造为A²O+MBR无需新增用地,可显著提高有机物降解率,适用于用地紧张、出水水质要求严格的污水处理厂。因此,采用A²O+MBR+硫自养反硝化滤池处理工艺,在不停产条件下,出水各项指标均能稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中准Ⅳ类标准(TN≤10 mg/L),可为同类污水处理厂的提标改造提供参考。

参考文献:

[1] 韩佩君,余军,胡新立,等. AAO+MBR工艺在高标准污水厂节地设计中的应用[J]. 中国给水排水, 2024,

40(16): 65-70.

[2] 鲍任兵,马民,徐健,等. AAO及改良型工艺耦合MBR工艺应用研究综述[J]. 净水技术, 2022, 41(3): 26-31, 62.
[3] 王靖,杨毅,白文龙,等. AAO+MBR工艺用于城镇污水近零排放工程案例研究[J]. 水处理技术, 2025, 51(5): 147-151.
[4] 崔天怀,程军,杨坤. 污水厂CASS工艺改为Bardenpho工艺不停水扩容改造[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 85-89.
[5] 马航,朱强,朱亮,等. 硫自养反硝化处理高含氟光伏废水可行性[J]. 环境科学, 2016, 37(8): 3094-3100.

作者简介:郝目远(1993—),男,吉林松原人,硕士,工程师,主要从事污水处理工艺设计工作。
E-mail:542417368@qq.com
收稿日期:2025-06-24
修回日期:2025-08-20

(编辑:沈靖怡)