

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.06.014

CAST+深床反硝化滤池用于污水处理厂扩建工程

寇殿良¹, 贝慧婷², 刘绍前³, 刘存莉⁴

(1. 广西交通设计集团有限公司, 广西 南宁 530029; 2. 广西建设职业技术学院 土木工程学院, 广西 南宁 530007; 3. 广西北部湾水务集团有限公司 合浦县污水处理厂, 广西 合浦 536100; 4. 广西交科集团有限公司, 广西 南宁 530007)

摘要: 广西沿海某生活污水处理厂二期扩建规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,因用地受限,故对占地相对较小的CAST、MBR、RPIR工艺进行比选,最终选择CAST+深床反硝化滤池工艺组合。针对CAST工艺除磷效果差的问题,采取了强化设计。该项目建成运营后,出水水质稳定达到一级A标准。对一期AAO氧化沟工艺和二期CAST工艺的运营情况进行了对比,在进水碳源缺乏、二级工艺不另投加碳源的条件下,CAST工艺脱氮效果比AAO氧化沟工艺好,但除磷效果比AAO氧化沟工艺差。在深床反硝化滤池的前端投加PAC和碳源强化脱氮除磷,监测结果表明,CAST+深床反硝化滤池工艺用于处理常规生活污水效果稳定,对于用地受限的污水处理厂改扩建仍是不错的工艺选择。

关键词: CAST工艺; 深床反硝化滤池; 用地受限; 扩容改造

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)06-0089-06

Application of CAST and Deep Bed Denitrification Filter in Expansion of a WWTP with Limited Land Use

KOU Dian-liang¹, BEI Hui-ting², LIU Shao-qian³, LIU Cun-li⁴

(1. Guangxi Communications Design Group Co. Ltd., Nanning 530029, China; 2. School of Civil Engineering, Guangxi Polytechnic of Construction, Nanning 530007, China; 3. Hepu County Sewage Treatment Plant, Guangxi Beibu Gulf Water Group Co. Ltd., Hepu 536100, China; 4. Guangxi Transportation Science and Technology Group Co. Ltd., Nanning 530007, China)

Abstract: The phase II expansion capacity of a domestic wastewater treatment plant (WWTP) in Guangxi coastal area is $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. After comparing the CAST, MBR, and RPIR processes with relatively small footprint due to land limitation, the combined CAST and deep bed denitrification filter process is finally selected. In view of the poor phosphorus removal effect of CAST process, a strengthened design was adopted. After the project was completed and operated, the effluent met the first level A standard. The operation of AAO oxidation ditch process in phase I and the CAST process in phase II are compared. The nitrogen removal effect of CAST process is better than that of AAO oxidation ditch process, but the phosphorus removal effect is worse than that of AAO oxidation ditch process, under the condition of lack of influent carbon source and no additional carbon source in the second stage. PAC and carbon source were added to the front end of the deep bed denitrification filter to enhance nitrogen and phosphorus removal. The monitoring result shows that combined CAST and deep bed denitrification filter process has

stable effect in treating conventional domestic sewage, and it is still a good choice in the renovation and expansion of WWTP with limited land use.

Key words: CAST process; deep bed denitrification filter; limited land use; expansion and upgrading

目前在国内污水处理厂新建、改扩建的工艺选择上,序批式活性污泥法,如SBR、CAST、CASS等工艺案例相对较少;在污水处理厂提标改造中,序批式工艺也经常被改造成脱氮除磷效果更稳定的AAO及其变形工艺^[1-2]。但国内也有很多运用CAST工艺提标改造的成功案例,如广东省南部某污水处理厂提标项目^[3],对现状CAST工艺进行升级改造,并新增滤布滤池,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准;浙江省西部某县污水处理厂提标项目^[4],采用CAST+深床反硝化滤池组合工艺,出水水质达到一级A标准;陕西省关中地区某污水处理厂提标项目^[5],采用CAST+高密度沉淀池+滤布滤池组合工艺,出水达到地表水准Ⅳ类标准。上述案例多为用地受限的情况下,采用CAST为主的组合处理工艺,出水水质仍可以稳定达到一级A标准。

CAST工艺具有耐负荷冲击强、运行能耗低、占地面积小、投资和运行费用低等特点,同时,生物选择区的设置可有效抑制丝状菌群的生长,强化抗污泥膨胀性能,主反应区内可进行同步硝化反硝化,故在污水厂用地受限条件下进行的新建、提标和改造中也得到了较为广泛的应用。

广西沿海地区某污水处理厂二期扩建项目采用CAST+深床反硝化滤池组合工艺,出水水质稳定达到一级A标准。将该组合工艺的运行效果与一期AAO曝气氧化沟工艺进行比较,可为同类项目提供参考。

1 项目概况

该污水处理厂总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一期规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工艺流程:进水→粗格栅→细格栅→旋流沉砂池→AAO曝气氧化沟工艺→二沉池→中间提升泵站→深床反硝化滤池→紫外消毒→达标出水排放。二期扩建工程规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,由于增加了宿舍楼、事故池、污泥浓缩池等,二级处理工艺用地受到限制,整体布局如图1所示。该污水处理厂的进水以生活污水为主,同时有少量工业废水,

连续21个月的进水数据见图2。进水B/C值约为0.4,可生化性较好;碳氮比约为3,碳磷比为12~16,可见碳源相对缺乏。

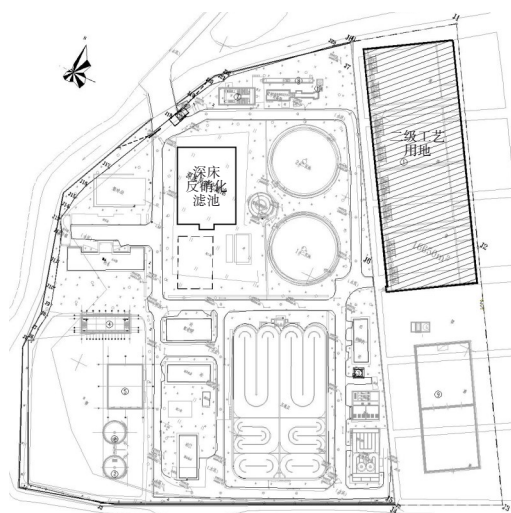


图1 总平面布置

Fig.1 General layout plan

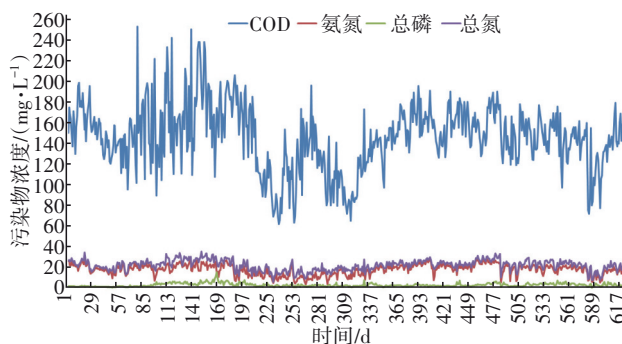


图2 连续21个月的进水浓度变化

Fig.2 Change of influent concentration for 21 consecutive months

一期AAO曝气氧化沟工艺设计进水水质见表1。

表1 二期扩建工程设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality of phase II expansion project $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

设计指标	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
一期进水	≤400	≤185	≤250	≤30	≤45	≤4
二期进水	≤400	≤185	≤250	≤30	≤45	≤8
出水	≤50	≤10	≤10	≤5	≤15	≤0.5

经过多年的稳定运行,进水COD平均为170 mg/L,最高达到380 mg/L;进水BOD₅平均为70 mg/L,最高达到110 mg/L;进水总氮平均为30 mg/L,最高达到42 mg/L;进水总磷平均为5.5 mg/L。由于该污水处理厂地处沿海地区,近几年海产品加工企业增多,导致进水总磷浓度增加较多,个别时段超过10 mg/L。因此二期进水对设计总磷浓度进行调整,同时考虑到运行稳定后个别时段COD、总氮等浓度已经接近一期的设计浓度,因此除总磷指标外,一期的设计指标仍具有参考意义。二期扩建设计进水水质指

标仍参考一期进水设计指标,出水水质执行一级A标准。

2 工艺方案比选

现状一期已经按10×10⁴ m³/d规模建设粗细格栅、旋流沉砂池和中途提升泵房,深床反硝化滤池土建部分按10×10⁴ m³/d规模建设,但设备按5×10⁴ m³/d安装。前后工艺均为现状布局,只预留二级工艺用地约0.84 hm²,用地受到很大限制,因此二级工艺优先选择与二沉池功能合并的工艺,如CAST、MBR、RPIR^[6]等。三种工艺的优、缺点比较见表2。

表2 CAST、MBR、RPIR工艺比较

Tab.2 Process comparison of CAST, MBR, and RPIR

项目	CAST工艺	MBR工艺	RPIR工艺
优点	工艺运行成熟;可有效地抑制污泥膨胀;抗冲击负荷能力强	出水水质优;抗冲击负荷能力强;剩余污泥量少	出水水质好;适合池体原位改造;占地小
不足	占地大;对自动化程度要求高;设备的闲置率较高;脱氮除磷效果不稳定	占地较大;前期投资高;需要定期进行化学药剂清洗,膜更换费用较高;后续运维费用高	采用专利技术,设备投资稍高;需设置精细格栅,额外占地;排泥浓度偏低,不利于污泥脱水;泥水分离模块需经常冲洗 ^[7]

RPIR工艺由于涉及专利技术,首先被排除;白向兵等^[8]根据实际建设运行测算,MBR工艺单位造价成本高出CAST工艺73.52%,后续运行用电成本高出170%,MBR工艺的建设运营成本都比较高。考虑到该污水处理厂进水水质相对稳定,可生化性较好,总氮、总磷浓度不是很高,因此选择投资更省的CAST工艺。二期扩建工程的工艺流程:进水→粗格栅→细格栅→旋流沉砂池→CAST工艺→中间提升泵站→深床反硝化滤池→紫外消毒→达标排放。

3 设计方案

3.1 CAST生物池

二期扩建设计CAST生物池平面尺寸139.63 m×51.60 m,有效水深7.0 m,分4格,设生物池选择区、缺氧区、主反应区。设计污泥浓度3 500 mg/L,一天4个周期,每周期6 h(进水1.5 h,曝气3.0 h,沉淀1 h,排水1.5 h),气水比5.5:1,污泥回流比(0.2~0.3)Q。生物选择区净尺寸L×B=9 m×7.4 m,水力停留时间0.22 h,设潜水搅拌机2台,D=400 mm,n=702 r/min,N=3.0 kW;缺氧区净尺寸L×B=24 m×9 m,水力停留时间0.73 h,设潜水搅拌机2台,D=620 mm,n=470 r/min,N=5.0 kW;主反应区净尺寸L×B=39 m×32 m,水力停留时间4.2 h,选择曝气效果更好的管式曝气器。

为强化CAST工艺除磷,采取了以下措施:①针对

CAST工艺普遍排泥不均匀的问题,在主反应区设置穿孔排泥管,采用干式污泥离心泵抽排,Q=70 m³/h,H=120 kPa,N=5.5 kW,强化系统排磷。②缺氧区设置潜水搅拌机,曝气与否视具体水质情况而定。

3.2 深床反硝化滤池

深床反硝化滤池平面尺寸44.00 m×32.08 m,池深5.50 m;分6格,单格池尺寸22 m×4.88 m,过滤面积107.36 m²。滤料采用天然海砂,滤料层厚1.83 m,粒径1.7~3.35 mm,不均匀系数K₈₀<1.4,孔隙率约为40%;承托层采用鹅卵石砾石,卵石粒径自下而上依次为19.1 mm×12.7 mm、12.7 mm×6.4 mm和6.4 mm×3.2 mm,厚度分别为0.17、0.15、0.15 m。反冲洗配水配气系统采用气水分布滤砖,水温为14~32℃,硝态氮容积负荷为0.4 kgNO₃⁻-N/(m³·d),平均滤速6.47 m/h,强制滤速7.76 m/h。反冲洗周期24 h,反冲洗历时:气单独反冲洗2 min+气水联合反冲洗10 min+水单独反冲洗5 min。单独气冲时,气冲强度为25 L/(m²·s);气水联冲时,气冲强度为12.5 L/(m²·s),水冲强度为4.17 L/(m²·s);单独水冲时,水冲强度为4.17 L/(m²·s);设计驱氮周期3 h,每次水反冲2 min。

4 运行效果分析

4.1 二级工艺运行情况比较

二期扩建稳定运行后,出水水质稳定达到一级

A标准。CAST池污泥浓度为3 000~4 000 mg/L,考虑到CAST工艺除磷效果较差,在实际运行中会根据水质情况停止对缺氧区的曝气,使生物选择区和缺氧区合并成厌氧区,水力停留时间共0.95 h,同时开启搅拌器,使聚磷菌在厌氧环境下充分释磷,以强化除磷效果。一期AAO氧化沟工艺污泥浓度为4 000~5 000 mg/L,厌氧区水力停留时间1.8 h,缺氧区水力停留时间2.6 h,好氧区水力停留时间6.7 h,内回流比100%~300%,外回流比50%~100%。

对二期CAST工艺和一期AAO氧化沟工艺运行效果进行分析,分别在二期二沉池出水和二期CAST池出水处取样。总氮、总磷、COD去除效果比较见图3。

从图3可以看出,二期CAST工艺的总氮去除效果明显优于一期AAO氧化沟工艺,但总磷的去除效果不如一期AAO氧化沟工艺。由于氨氮取样测定后的浓度为0.1~0.2 mg/L,对一、二期工艺总氮去除对比影响不大。

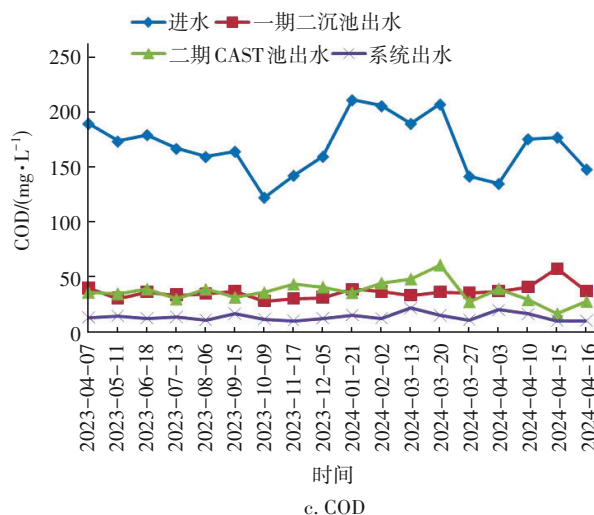
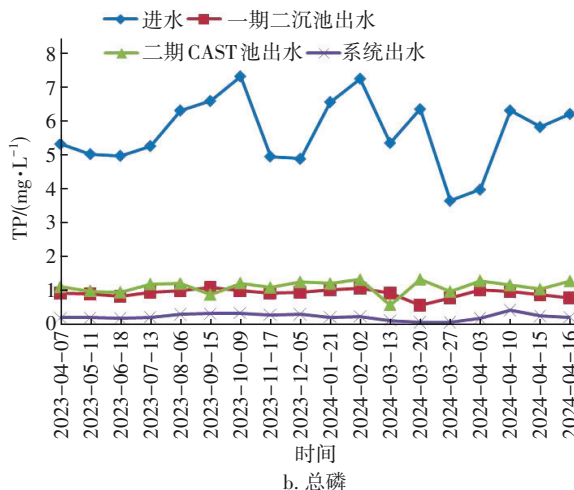
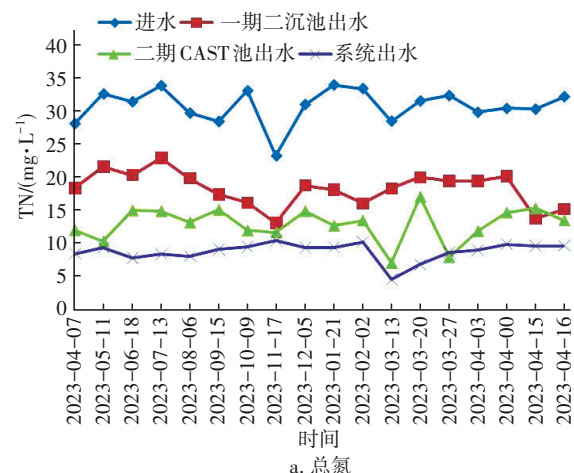


图3 一期和二期工程总氮、总磷和COD去除效果比较

Fig.3 Comparison of TN, TP, and COD removal effect between phase I and II

该污水处理厂CAST工艺总氮去除率优于AAO氧化沟工艺的原因分析如下:两种工艺碳源投加位置均在深床反硝化滤池前端,在生化段均未投加碳源,从碳氮比来看,污水中碳源仍显不足。一期AAO氧化沟工艺由于缺氧区缺乏碳源进行反硝化,其总氮去除率为30%~55%,因此出水总氮偏高;二期CAST由于其工艺特殊性,曝气阶段发生的同步硝化反硝化和静置沉淀阶段发生的内源反硝化^[9]具有很好的脱氮效果,其总氮去除率为50%~75%。

CAST工艺总磷去除率为67%~82%,AAO氧化沟工艺的总磷去除率为74%~91%,从图3也可以明显看出,AAO氧化沟工艺的总磷去除率优于CAST工艺。从生物除磷原理来看,聚磷菌在曝气阶段(3 h)吸磷时间远小于AAO氧化沟工艺好氧区水力停留时间(6.7 h),导致吸磷效果差;同时CAST工艺的污泥浓度和污泥回流比都低于AAO氧化沟工艺,导致其除磷效率偏低。

4.2 深床反硝化滤池运行情况

由于二级生化工艺均未投加碳源进行反硝化脱氮,因此深床反硝化滤池运行中一直投加碳源(乙酸钠)进行反硝化脱氮,总氮去除效果见图4(a)。深床反硝化滤池的脱氮效率为30%~65%,最大达到近12 mg/L的脱氮幅度,实际运行驱氮周期为6 h。在中间提升泵房出口投加PAC药剂除磷,通过深床反硝化滤池过滤除磷,除磷效率为60%~95%,最大达到近1 mg/L的除磷幅度,见图4(b)。

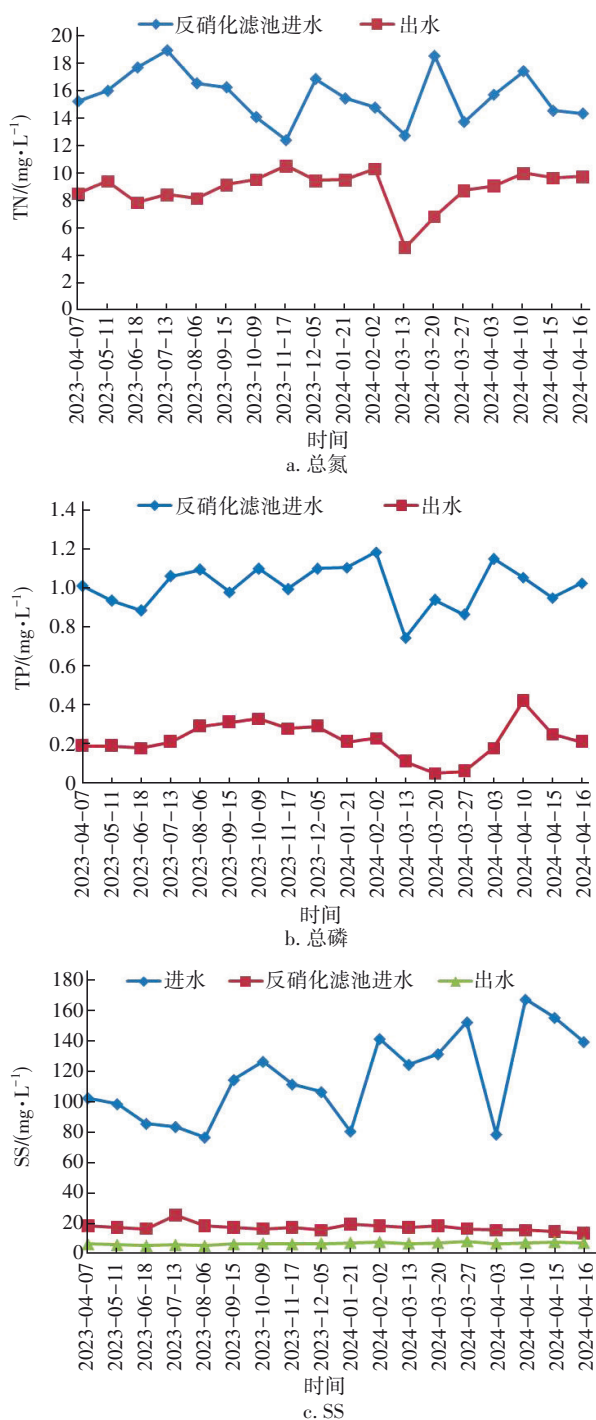


图4 深床反硝化滤池对TN、TP和SS的去除效果

Fig.4 Removal effect of TN, TP, and SS by deep bed denitrification filter

深床反硝化滤池的SS去除率为45%~75%,见图4(c)。由于二期CAST工艺除磷效果相对较差,导致深床反硝化滤池的除磷量增大,从一期、二期运行来看,目前尚未发现滤料板结现象,深床反硝化滤池的反冲洗周期为1次/24 h,相比于一期(1次/

48 h)更频繁。

4.3 能耗分析

二期扩建完成后,吨水投资约2 000元/ m^3 ,一期AAO氧化沟工艺吨水用地指标约 $0.94 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,二期CAST工艺吨水用地指标约 $0.86 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,相比于一期用地明显节省。运行稳定后其电耗、药耗情况见表3。在进水 BOD_5 、总氮变化幅度不大的情况下,二期CAST工艺脱氮效果更好,所以二期碳源乙酸钠吨水投加量比一期略低;由于CAST工艺除磷效率低等原因,导致二期PAC的吨水投加量明显增加。一期吨水直接运行成本约1.28元/ m^3 ,二期约1.32元/ m^3 ,相比于其他污水处理厂的运营成本稍高。

表3 电耗和药耗对比分析

Tab.3 Comparative analysis of energy and chemical consumption

项目	电耗/ ($\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$)	乙酸钠/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	PAC/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
一期(扩建前)	0.24	3.9	49
二期(扩建后)	0.25	2.4	71

5 结论

CAST+深床反硝化滤池组合工艺用于污水处理厂扩建,特别是在用地受限情况下,出水水质能稳定达到一级A标准。当前污水处理厂进水中碳源浓度普遍较低,总氮、总磷的去除一直是提标改造的重点,CAST工艺在低碳源条件下仍具有较好的脱氮效果,同时深床反硝化滤池可进行同步脱氮除磷,保证出水水质稳定达标。但该组合工艺在运行中也存在一些问题,由于CAST工艺本身除磷效果较差,又缺乏专门除磷的混凝沉淀单元,在应对高浓度进水总磷时,系统运行吃力,同时导致滤池的反冲洗频率很高,后续运维工作量也很大,需要进一步优化改进。

参考文献:

- [1] 宋瑞平,陶如钧,周文明,等. A²O工艺在污水处理厂提标扩容工程中的应用[J]. 中国给水排水,2013,29(18):100-102.
- SONG Ruiping, TAO Rujun, ZHOU Wenming, et al. Application of A²O process for upgrading and capacity expansion of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2013,29(18):100-102(in Chinese).

- [2] 刘强. 前置缺氧池+CAST+磁混凝工艺用于紧凑型污水厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2021, 37(24): 69-73.
LIU Qiang. Application of pre-anoxic tank/CAST/magnetic coagulation process in upgrading of a compact wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(24): 69-73 (in Chinese).
- [3] 邓伟斌. 南方某污水处理厂 CAST 工艺提标改造[J]. 中国给水排水, 2016, 32(16): 77-79.
DENG Weibin. Upgrading of cyclic activated sludge technology in a wastewater treatment plant in southern China [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16): 77-79 (in Chinese).
- [4] 陈光勇, 韩彦涛, 李杨, 等. CAST—深床反硝化滤池工艺处理城市污水效果研究[J]. 广州化工, 2017, 45(5): 92-94.
CHEN Guangyong, HAN Yantao, LI Yang, *et al.* Study on CAST combined deep bed-denitrification filter process for municipal wastewater treatment [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2017, 45(5): 92-94 (in Chinese).
- [5] 向衡, 顾雪锋, 段颖为. 黄河流域乡镇污水厂 CAST 工艺准Ⅳ类水质提标改造工程设计及运营分析[J]. 中国市政工程, 2022(6): 38-41, 120, 121.
XIANG Heng, GU Xuefeng, DUAN Yingwei. Design & operation analysis of upgrading & renovation project for quasi class IV water quality of CAST process of township sewage plants in the Yellow River basin [J]. China Municipal Engineering, 2022(6): 38-41, 120, 121 (in Chinese).
- [6] 王磊, 俞健, 张敏君. AA/RPIR+磁混凝工艺在城市污水处理厂扩能改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(12): 154-161.
WANG Lei, YU Jian, ZHANG Minjun. Application of AA/RPIR and magnetic coagulation process in expansion and reconstruction of municipal WWTP [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12): 154-161 (in Chinese).
- [7] 刘可, 张宏, 戴仲怡. AAO-RPIR 工艺在高排放标准污水厂的应用及其工艺特点分析[J]. 净水技术, 2023, 42(7): 168-175.
LIU Ke, ZHANG Hong, DAI Zhongyi. Application and characteristic analysis of AAO-RPIR process in WWTP with stricter discharge standard [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(7): 168-175 (in Chinese).
- [8] 白向兵, 蔡余龙. CAST 和 MBR 工艺在实际应用中的比较[J]. 水处理技术, 2014, 40(3): 122-124, 128.
BAI Xiangbing, CAI Yulong. Comparison between CAST and MBR process in practical application [J]. Technology of Water Treatment, 2014, 40(3): 122-124, 128 (in Chinese).
- [9] 王恒信, 王娜, 秦凯凯, 等. 某污水处理厂 CAST 工艺的脱氮性能评价[J]. 环境工程学报, 2024, 18(1): 32-40.
WANG Hengxin, WANG Na, QIN Kaikai, *et al.* Evaluation of nitrogen removal performance of the CAST process in a wastewater treatment plant [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2024, 18(1): 32-40 (in Chinese).

作者简介: 寇殿良(1982—), 男, 吉林安图人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事市政给排水设计研究工作。

E-mail: 26482129@qq.com

收稿日期: 2024-04-25

修回日期: 2024-05-06

(编辑: 衣春敏)

强化依法治水, 携手共护母亲河