

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.10.019

BBR工艺用于污水处理厂准Ⅳ类水提标改造

赵旭雍¹, 邓利智², 徐欣¹, 吴永明^{2,3}, 辛在军³, 邓觅³,
梁培瑜³

(1. 南昌鑫森源环保有限公司, 江西 南昌 330038; 2. 南昌大学资源与环境学院 鄱阳湖
环境与资源利用教育部重点实验室, 江西 南昌 330031; 3. 江西省科学院微生物研究所,
江西 南昌 330096)

摘要: 南昌某污水处理厂升级改造后, 污染物排放标准由原《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《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的准Ⅳ类标准, 且TN和SS达到一级A标准。该污水厂将A/A/O微曝氧化沟二级生化处理工艺升级改造为以“植物-泥-膜”为核心的植物生态生物膜(BBR)工艺, 持续约7个月(含冬季)的正常运行数据显示, 改造后出水水质满足设计标准, 运行稳定, 且抗冲击负荷(水质、水量、温度)能力强, NH₃-N、COD、BOD₅、TP的日平均浓度分别可达0.38、11.46、4.49、0.09 mg/L, 优于地表Ⅳ类水标准; 出水TN和SS分别为6.16 mg/L和2.38 mg/L, 稳定处于10 mg/L以下; 处理费用为0.6元/m³, 较改造前节省约20%。

关键词: 城镇污水处理厂; 升级改造; BBR; 提质增效

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0115-06

Research and Demonstration of BBR Process for Upgrading and Renovation of Quasi-IV Standard in Sewage Treatment Plant

ZHAO Xu-yong¹, DENG Li-zhi², XU Xin¹, WU Yong-ming^{2,3}, XIN Zai-jun³,
DENG Mi³, LIANG Pei-yu³

(1. Nanchang Xinmiaoyuan Environmental Protection Co. Ltd., Nanchang 330038, China;
2. Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization, Ministry of Education,
School of Resources and Environment, Nanchang University, Nanchang 330031, China;
3. Institute of Microbiology, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China)

Abstract: After the transformation and upgrading of the sewage treatment facilities of a sewage treatment plant in Nanchang, the pollutant discharge was raised from the first level B standard in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002) to the quasi-IV standard of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002), and the TN and SS reached the first level A standard of GB 18918—2002. In this project, the secondary biochemical treatment process of A/A/O micro-aeration oxidation ditch of sewage treatment plant is upgraded and transformed into BBR process with “plant-sludge-membrane” as the core, after about 7 months(including

基金项目: 江西省科学院省级科技计划项目包干制试点示范项目(2021YSBG10003、2021YSBG22024); 江西省重点研发计划项目(20202BBGL73082、20202BBG73006); 江西省科技创新基地计划项目(20212BCD42014)

通信作者: 邓觅 E-mail: dengmi@jxas.ac.cn

winter) normal operation data showed that, its effluent quality meet the design standards, stable operation, and strong impact load capacity(water quality, water quantity, temperature). The daily average concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, COD, BOD_5 , and TP reached 0.38 mg/L, 11.46 mg/L, 4.49 mg/L, and 0.09 mg/L, respectively, better than the surface water class IV standard. And the effluent concentrations of TN and SS were 6.16 mg/L and 2.38 mg/L, respectively, which were stable below 10 mg/L. At the same time, the treatment cost was 0.6 yuan/ m^3 , which saves about 20% of the cost compared with the previous.

Key words: sewage treatment plant; upgrading and renovation; botany bio-reactor(BBR); improving quality and efficiency

随着所在地区企业产业链增加和经济快速发展,污、废水排放量大幅增长,导致现有污水处理厂多数无法满足日益严格的园区污水排放要求,因此,需要在原有处理工艺基础上进行扩容或工艺优化,从而实现提标改造^[1-4]。南昌某污水处理厂将原A/A/O微曝氧化沟工艺优化改造为植物生态生物膜(Botany Bio-Reactor, BBR)工艺^[5],增强了污水处理效果,提高了对COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TN等污染物的去除效能。

结合BBR工艺在该污水处理厂的实际应用,介绍了BBR工艺的特色、设备配置和设计参数,对调试结束后正常运行期间主要污染物处理效果进行了验证,并分析了该工艺的投资和运行费用,可为后续应用提供参考。

1 项目概况

1.1 处理规模和水质

该污水处理厂原设计处理规模为 $1\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,因日均进水量和主要水质指标超过设计值,导致污水处理系统长时间处于超负荷运行状态,出水水质不能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准,亟需进行提标改造。

结合团队以往类似工程经验,对该污水厂进行BBR主体工艺改造后(规模为 $2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$),出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、COD、 BOD_5 等指标均稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类标准($\text{TN}\leq 10\text{ mg/L}$),且SS达到GB 18918—2002的一级A标准。

1.2 原工艺运行现状分析

改造前(原)污水处理主体工艺为厌氧-缺氧-好氧(A/A/O)微曝氧化沟二级生化处理工艺,后经二沉池、紫外线消毒池实现达标排放,具体工艺流程如图1所示。

程如图1所示。

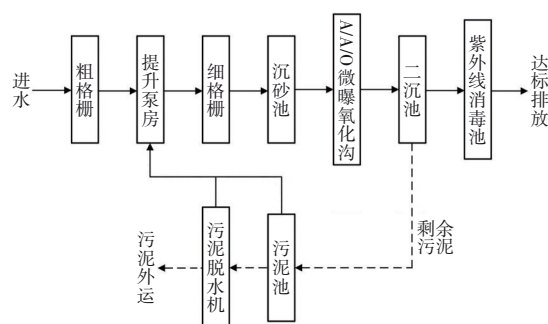


图1 原污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of original sewage treatment process

对2018年1月—12月的进水水质进行分析,结果显示:

① 进水COD的年平均浓度为144.26 mg/L,主要波动范围为180~220 mg/L,其中超过设计水质(250 mg/L)的天数占比为6%,在9月份,由于工业废水违规排入,导致日进水COD浓度偶然超过500 mg/L,在同一时期甚至还有 $\text{COD}>1\,000\text{ mg/L}$ 的极端进水;

② 进水 BOD_5 的年平均浓度为69.53 mg/L,进水不稳定,全年进水指标超过设计水质(125 mg/L)的天数占比为4.7%。与COD指标类似,在9月份出现了极端进水的情况, BOD_5 达到了400 mg/L以上;

③ 进水SS的年平均浓度为157.8 mg/L,波动较大,全年进水指标超设计水质(200 mg/L)的天数占比为13.15%,最高达到321 mg/L。

2018年的出水水质数据显示,COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP以及SS等出水指标基本达到一级B标准,但若以一级A标准评估,则达标率较低,具体见表1。为此,需对该污水处理厂进行升级和扩建,以满足更严格的出水要求,选择处理工艺时,要重点考虑强化脱氮除磷和固液分离的效果。

表 1 污水处理厂改造前出水指标在不同考核标准下的
达标率

Tab.1 Compliance rate of the effluent indicators of
the sewage treatment plant under the different
assessment standards before transformation

项 目		COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP
一级 B 标准	标准值/(mg·L ⁻¹)	60	20	20	8(15 ^①)	1
	达标率/%	100	100	100	99.99	99.99
一级 A 标准	标准值/(mg·L ⁻¹)	50	10	10	5(8 ^①)	0.5
	达标率/%	95.62	57.26	3.29	89.59	92.88
地表Ⅳ 类标准	标准值/(mg·L ⁻¹)	30	6		1.5	0.3
	达标率/%	73.15	15.62		29.59	14.52

注: ①为水温≤12℃时的浓度限值。

1.3 升级改造的核心任务

原工艺设计没有考虑污水量大幅波动和增长的情况,对进水水质指标预测偏低,随着该地区工业的发展,污水量与日俱增,原处理工艺出水水质只能达到一级 B 标准,排放尾水不符合现行环保要求。因此,该污水处理厂提标改造的核心任务主要包括:提高对 NH₃-N、COD 等污染物的处理能力;考虑场地限制和成本,需基于原有污水处理设施进行升级改造。

2 改造方案设计和实施

2.1 改造的基本思路

BBR 工艺是一种基于 FCR 技术的生物处理工艺^[6-7],其以植物根系和仿根系膜组件作为微生物的载体,将生物共生理念加入传统的生化处理工艺,促进生物群落多样性发展,构建稳定的水生生态系统,是一种能够高效降低污染物浓度、以“植物-泥-膜”为核心的固定膜法工艺。BBR 工艺结合了生物接触氧化法和人工湿地技术(见图 2),使用比表面积大的植物根系或纤维材质人造填料,为大量的生物膜提供载体并使之保持相当于活性污泥法 3~4 倍的生物量^[6,8]。

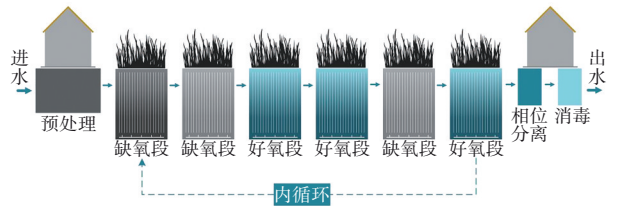


图 2 BBR 工艺单元

Fig.2 Schematic diagram of units of BBR process

在实际工艺流程中,沿水流的方向形成缺氧-

好氧区域,提升 DO 在水中的利用率^[9],通过与植物和微生物协同作用实现净化。

2.2 工艺特点及实施内容

① 对原系统进、出水水质进行充分可靠的数据分析,确定重点关注的污染物,选择适宜工艺,确保出水水质满足排放标准;

② 在建设成本和用地紧张的情况下,对原有工艺的提升泵房、细格栅、二沉池和污泥处理系统等设施进行优化改造再利用,升级改造原 A/A/O 微曝氧化沟,在原有氧化沟池体基础上进行直接改造,建立以 BBR 为主要处理工艺的污水处理系统,充分发挥原有污水处理设施的处理能力;

③ 通过 BBR 处理,使 COD 和 NH₃-N 浓度迅速降低,再与高密沉淀池联合使用,可实现同步高效除磷和脱氮,并进一步去除 SS,实现有效应对污水量增大、提高出水水质的目的。

2.3 改造后工艺流程

对该工程的用地条件、处理效果、建设工期和运维成本等进行综合考量,结合以往类似工程经验,将原处理工艺升级为粗格栅+细格栅/曝气沉砂池+反应沉淀池+水解酸化池+BBR 池+二沉池+高密沉淀池+纤维转盘滤池+紫外消毒工艺(见图 3)。

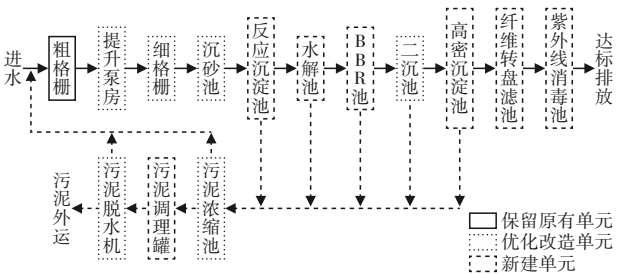


图 3 污水处理现工艺流程

Fig.3 Flow chart of current process of sewage treatment

2.4 主要构筑物设计和运行参数

① 新建 BBR 池处理规模为 2×10⁴ m³/d,分 2 组建设运行;有效池容 14 359 m³,有效水深 5.5 m。

② 总水力停留时间(HRT)为 17.23 h,其中,碳氧化+硝化停留时间为 9.15 h,反硝化停留时间为 8.08 h。

③ BBR 组件采用改性 PP(聚丙烯)丝线组合填料,SUS316 安装框架,共 1 000 余组。碳氧化+硝化段 BBR 组件填充率为 36%~45%,反硝化段填充率为 38%~47%;BOD₅ 填料、硝化填料和反硝化填料的容积负荷分别为 1.6~1.9 kgBOD₅/(m³ 填料·d)、

0.55~0.70 kgTKN/(m³ 填料·d) 和 0.60~0.75 kgNO₃⁻-N/(m³ 填料·d)。

④ BBR 池混合液回流比为 150%~300%，总供气量为 5 283.6 m³/h，气水比维持在 (6~7):1。

⑤ BBR 工艺配备植物系统，可选取美人蕉、紫芋、黄菖蒲和苦草等去污、纳污能力强的植物，共计约 1 000 套。

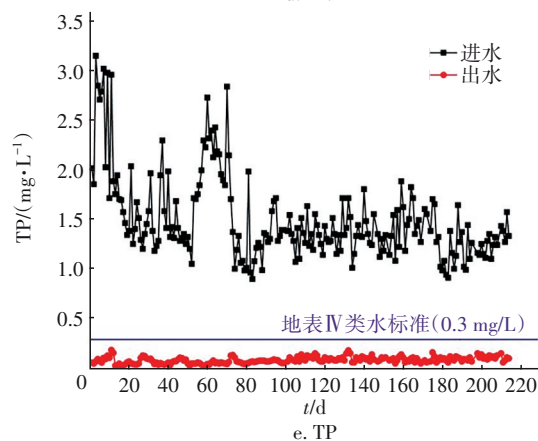
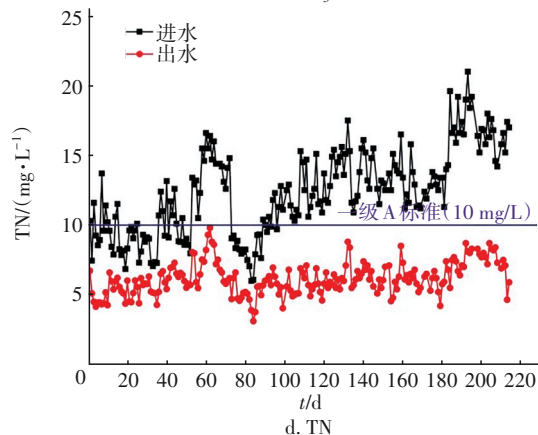
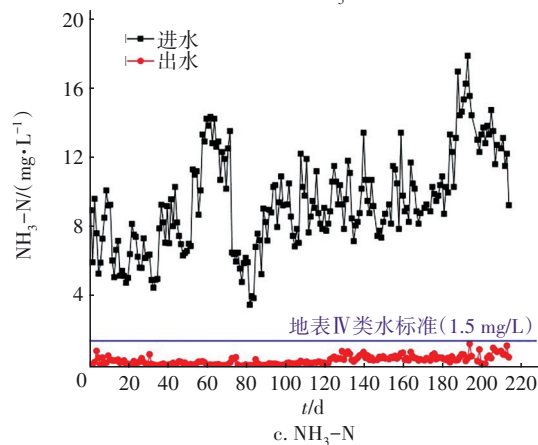
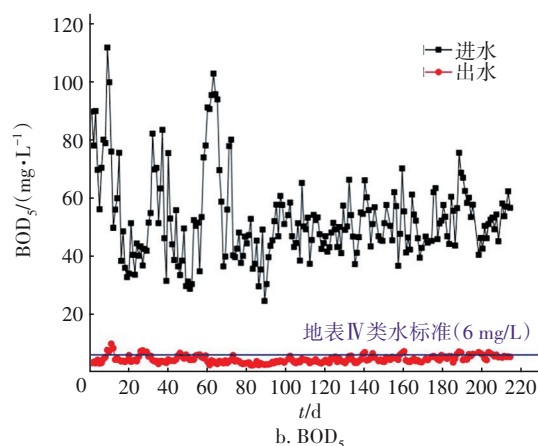
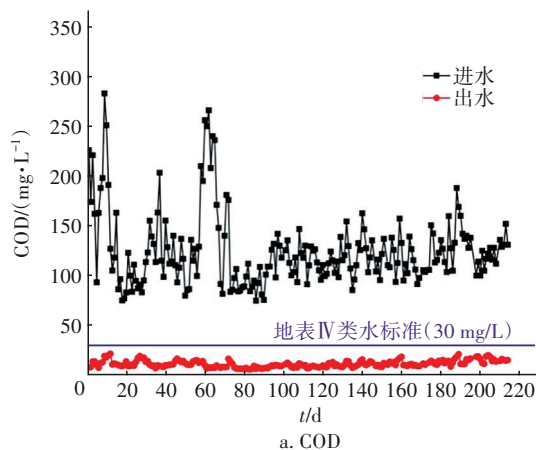
3 运行结果与分析

该污水处理厂从 2019 年 10 月开始提标改造，于 2020 年 5 月完工。经调试和试运行后，选取 2021 年 6 月—12 月持续约 7 个月（含冬季）的进、出水水质数据进行分析，结果显示：经过 BBR 工艺处理后，其出水 NH₃-N、COD、BOD₅、SS、TP 的日平均浓度分别为 0.38、11.46、4.49、2.38、0.09 mg/L，出水 TN 为 6.16 mg/L，按月平均值统计其出水 COD 和 NH₃-N 等 6 个考核水质指标去除情况，如表 2、图 4 所示。

表 2 近 7 个月的平均进、出水水质

Tab.2 Average influent and effluent quality in the past 7 months mg·L⁻¹

项 目	SS	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
2021 年 6 月 进水	103.23	135.48	58.66	6.88	9.31	1.92
出水	4.40	12.98	5.10	0.32	5.25	0.09
2021 年 7 月 进水	105.97	136.40	54.08	8.57	10.82	1.64
出水	2.00	11.55	4.58	0.20	6.40	0.07
2021 年 8 月 进水	96.39	122.00	52.22	8.53	10.59	1.54
出水	1.74	8.02	3.34	0.17	5.87	0.08
2021 年 9 月 进水	100.98	116.22	49.54	9.15	12.01	1.38
出水	1.62	9.21	3.80	0.22	5.73	0.10
2021 年 10 月 进水	100.44	119.38	50.82	9.43	13.88	1.36
出水	2.45	10.91	4.53	0.56	6.37	0.11
2021 年 11 月 进水	96.51	117.65	50.58	9.80	13.11	1.40
出水	2.40	12.29	4.50	0.54	6.06	0.10
2021 年 12 月 进水	121.23	131.19	55.03	13.46	17.04	1.26
出水	2.04	15.28	5.58	0.63	7.43	0.11



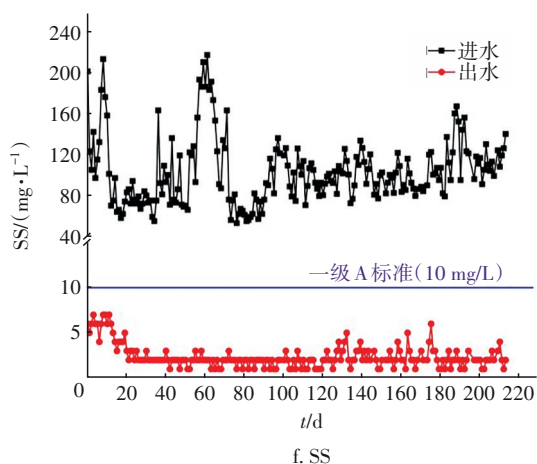


图4 处理系统的进、出水水质

Fig.4 Influent and effluent quality of the treatment system

由表2和图4可知,在持续约7个月(含冬季)的稳定运行时间内,改造后的BBR主体工艺整体上达到预期设计效果,解决了改造前出水水质不能稳定达标的问题,除TN和SS满足一级A标准外,其余COD、BOD₅、NH₃-N和TP等指标均优于地表Ⅳ类水排放限值,且不受进水水质波动的影响,表明该处理工艺具有较强的抗冲击负荷(水质、水量、温度)能力。

具体表现如下:

① COD和BOD₅。出水COD和BOD₅的去除率分别为81.40%~93.43%和82.96%~94.68%,相应浓度维持在8.02~15.28 mg/L和3.34~5.58 mg/L,均低于地表Ⅳ类标准限值的30 mg/L和6 mg/L,且出水水质较为稳定,究其原因主要可能是:一方面原工艺A/A/O微曝氧化沟升级为BBR工艺后,泥膜复合工艺形成,显著增加了处理系统内菌群的多样性,延长了污泥龄,促进了有机物的生物降解;另一方面,高密沉淀池的混凝沉淀作用和纤维转盘滤池的过滤作用提高了对有机物的去除效果。

② NH₃-N和TN。该处理系统运行状况良好,NH₃-N去除率达90.22%~98.33%,出水NH₃-N为0.22~0.63 mg/L,稳定低于地表Ⅳ类水标准(1.5 mg/L),表明BBR工艺对NH₃-N具有较高的去除效率;TN整体去除率偏低,仅为40.85%~65.10%,出水TN维持在5.25~7.43 mg/L,但仍可满足一级A排放标准限值10 mg/L(地表Ⅳ类水标准未对TN进行考核)。分析NH₃-N去除率高的原因,主要是进水BOD₅/TKN>3.5,可生化性好,进水碳源丰富,污水进入BBR池后,缺氧段消耗碳源促进反硝化反应,提

高了脱氮效率。

③ TP和SS。通过化学药剂作用和BBR池内生物作用,可使TP去除率达到88.00%~95.73%,出水TP维持在0.07~0.11 mg/L,低于地表Ⅳ类水标准的0.3 mg/L,可达到地表Ⅲ类水标准(0.2 mg/L)。而本次改造新建的高密沉淀池,强化了处理系统的混凝沉淀作用,使得SS去除率可达95.74%~99.36%,SS稳定在1.64~4.40 mg/L,满足一级A排放标准(10 mg/L),由此表明BBR在高效去除SS的同时,也保证了TP稳定达标。

4 技术经济分析

该工程建设投资为8 366.95万元,包括:土建工程2 664.36万元、设备与电气等购置4 925.60万元、安装工程776.99万元,建设期贷款利息不计。计算泵、罗茨风机等设备电费,PAC、PAM、石灰等药剂费和人工费,改造前处理费用约为0.75元/m³,提标改造后为0.6元/m³,比改造前节省约20%。

5 结论

南昌某污水处理厂提标改造工程,在原A/A/O微曝氧化沟的池体基础上直接进行改造,建立以BBR工艺为核心技术的污水处理系统,充分发挥了原有设施的处理能力,解决了改造前出水不稳定达标的问题,且系统抗冲击负荷能力强,受气温影响小。长达约7个月(含冬季)的稳定运行数据显示,系统出水指标除TN和SS满足一级A标准外,其余NH₃-N、COD、BOD₅、TP的日平均浓度分别达到0.38、11.46、4.49、0.09 mg/L,优于地表水Ⅳ类标准,处理费用约为0.6元/m³,较改造前节省约20%。因此,该技术为某些对污水量增大、出水水质提高、用地紧张且有不停产施工等需求的提质增效升级改造项目,提供了一个新选择。

参考文献:

- [1] 魏爱书,牛晓君. MABR工艺在污水处理站提标改造中的应用[J]. 环境工程学报, 2021, 15(6): 2174-2180.
WEI Aishu, NIU Xiaojun. Application of MABR in upgrading and reconstruction of a wastewater treatment station [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(6): 2174-2180 (in Chinese).
- [2] 杨磊三,李骏飞,周炜峙,等. 基于系统性理念的污水处理厂提标改造案例分析[J]. 中国给水排水,

- 2021,37(18): 101-106.
- YANG Leisan, LI Junfei, ZHOU Weizhi, *et al.* Case analysis of a WWTP upgrading and retrofitting project based on systematic concept [J]. *China Water & Wastewater*, 2021,37(18): 101-106 (in Chinese).
- [3] 刘平波, 张俊, 王家乐, 等. BioDopp工艺应用于污水厂提标改造工程实例探讨[J]. *工业水处理*, 2022, 42(1):163-166.
- LIU Pingbo, ZHANG Jun, WANG Jiale, *et al.* Case analysis on the application of BioDopp technology in upgrading of sewage treatment [J]. *Industrial Water Treatment*, 2022, 42(1):163-166 (in Chinese).
- [4] 张丹丹, 牛和昕, 俞开昌, 等. 浸没式超滤+臭氧氧化用于某污水处理厂提标改造[J]. *中国给水排水*, 2021, 37(16): 119-123.
- ZHANG Dandan, NIU Hexin, YU Kaichang, *et al.* Application of submerged ultrafiltration membrane and ozone contact oxidation process in a WWTP upgrading and reconstruction project [J]. *China Water & Wastewater*, 2021, 37(16): 119-123 (in Chinese).
- [5] 赵旭雍, 徐欣, 吴永明, 等. 水解酸化-BBR-高效沉淀在污水厂提质增效中的应用[J]. *工业水处理*, 2022,42(7):173-178.
- ZHAO Xuyong, XU Xin, WU Yongming, *et al.* Application of hydrolysis acidification-BBR-high efficiency sedimentation in improving quality and efficiency of wastewater treatment plant [J]. *Industrial Water Treatment*, 2022,42(7):173-178(in Chinese).
- [6] 张显忠. FCR工艺机理探讨及其技术应用展望[J]. *中国市政工程*, 2017(5): 36-39, 99.
- ZHANG Xianzhong. FCR process mechanism discussion & its technology application prospect [J]. *China Municipal Engineering*, 2017(5): 36-39, 99 (in Chinese).
- [7] 杨欣, 谭周权. FCR技术在工业园污水处理工程中的应用[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(8): 82-85.
- YANG Xin, TAN Zhouquan. Industrial park wastewater treatment with FCR technology [J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(8): 82-85 (in Chinese).
- [8] 赖长邈, 李真臣, 杨平. FCR技术在国内的研究进展和应用展望[J]. *环境保护与循环经济*, 2018, 38(12): 15-19, 51.
- LAI Changmiao, LI Zhenchen, YANG Ping. Research progress and application prospect of FCR technology in China [J]. *Environmental Protection and Circular Economy*, 2018, 38(12): 15-19, 51 (in Chinese).
- [9] 余瑞彰, 张慧, 蒋俊, 等. 微生物在生物栅植物根系和填料生物膜上的数量分布差异[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2010(4): 58-66.
- YU Ruizhang, ZHANG Hui, JIANG Jun, *et al.* Differences of microbial amounts on plant roots and packing biofilms in the biological grid [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2010(4): 58-66 (in Chinese).
- 作者简介:赵旭雍(1982-),男,湖南湘潭人,大学本科,工程师,主要从事水污染治理工作。
E-mail:156275829@qq.com
收稿日期:2022-03-08
修回日期:2022-04-21

(编辑:衣春敏)

积极践行人与自然和谐共生理念
全面加强水生态文明建设