

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.18.011

以芽孢杆菌为优势菌的BBR技术用于市政污水处理

戴仲怡¹, 谢益佳¹, 张国强², 徐彦飞¹, 张霞¹

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010; 2. 深圳市深水宝安水务集团有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 我国中部某污水处理厂现状规模为 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用改良氧化沟工艺, 出水执行一级B排放标准, 提标扩建工程要求将现状工程出水标准提升至一级A排放标准, 同时扩建 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 总规模达 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为解决传统氧化沟、AAO等工艺脱氮除磷效果不佳、能耗较高、占地大等问题, 本次提标扩建核心工艺采用以芽孢杆菌为优势菌的BBR工艺, 该工艺为生物膜法和活性污泥法的组合技术。项目建成后系统运行稳定、效果良好、能耗低, 出水各项水质指标均优于设计标准。

关键词: 芽孢杆菌; BBR工艺; 生物膜法; 活性污泥法

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)18-0067-04

Application of BBR Technology with *Bacillus* as Dominant Bacteria in Municipal Wastewater Treatment

DAI Zhong-yi¹, XIE Yi-jia¹, ZHANG Guo-qiang², XU Yan-fei¹, ZHANG Xia¹

(1. Central & Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China; 2. Shenzhen Shenshui Bao'an Water Group Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: The current scale of a wastewater treatment plant in central China is $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the main treatment process is modified oxidation ditch. The original effluent quality was required to meet the first level B discharge standard, while the effluent quality of the upgrading and expansion project needs to meet the first level A discharge standard. Meanwhile, the scale of the expansion project is $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, meaning that the total scale will reach $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. To solve the problems such as poor nitrogen and phosphorus removal performance, high energy consumption and large footprint area of traditional oxidation ditch and AAO process, the core process of this upgrading and expansion project adopts BBR process with *Bacillus* as the dominant bacteria, which is a hybrid of biofilm method and activated sludge process. After the completion of the project, the system is stable and has good performance in pollutants removal and energy conservation, and all the water quality indicators of the effluent are better than the designed standard.

Key words: *Bacillus*; BBR process; biofilm process; activated sludge process

1 工程概况

我国中部某污水厂, 现状规模 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用改良氧化沟工艺, 出水执行一级B排放标准, 提标

扩建工程拟将出水标准提升至一级A标准, 同时扩建 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 总规模达 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为解决传统氧化沟、AAO等工艺脱氮除磷效果不佳、能耗较高、

占地大等问题,本次提标扩建核心工艺采用以芽孢杆菌为优势菌的BBR工艺。

该项目于2021年初建成投产,生产运行稳定,出水水质优于设计标准。

2 BBR工艺

BBR工艺是从日本引进的一种高效节能的污水处理工艺,占地小,停留时间约为传统工艺的一半,碳氮比要求($C/N \geq 2.0$)较传统工艺($C/N \geq 2.86$)低,曝气量小($DO: 0.1 \sim 1.0 \text{ mg/L}$)^[1]。该工艺为生物膜法(BBR装置)和活性污泥法(BBR生物反应池)相结合的生化处理技术。BBR生物处理装置与芽孢杆菌是该处理工艺的核心内容,BBR生物处理装置是缺氧、兼氧、好氧生化处理技术的组合体,是在活性污泥法和回转生物接触法的基础上进化演变而成的污水处理系统,集成了活性污泥及生物膜技术。BBR工艺工艺流程见图1。

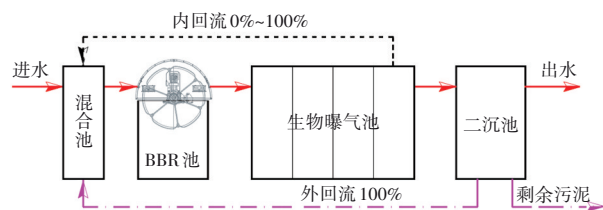


图1 BBR工艺工艺流程

Fig.1 Flow chart of BBR process

芽孢杆菌为复合菌种,含有巨大芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌等菌属,是自然界普遍存在的一种土壤菌,生存环境适应范围很广,可在DO值0.1~1 mg/L、-60~280℃的条件下存活,在6~43℃之间发挥高效净水作用。其中巨大芽孢杆菌在工业上用于生产葡萄糖异构酶,同时也是有机磷的分解菌,可将水体中的有机磷充分分解为磷酸盐,能够在好氧条件下被彻底吸收,达到除磷的目的。同时限氧自养硝化反硝化在限氧条件下(DO为1.0 mg/L以下),在硝酸盐的硝化菌和从属营养菌的竞争中,硝化菌会受到抑制,芽孢杆菌成为优势菌种,从而实现同化和异化作用,达到脱氮目的。

3 设计水质及工艺流程

3.1 设计水质

本工程进水水质根据片区多年水质资料按85%保证率来确定,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,具体进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	BOD ₅	COD	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	150	350	350	20	40	3
出水	10	50	10	5	15	0.5

3.2 工艺流程

结合进水水质特点和出水要求,并经综合比较后本工程污水处理核心工艺采用以芽孢杆菌为优势菌的BBR工艺。其中污水处理采用“粗格栅、进水泵房+细格栅、旋流沉砂池+BBR生化池+圆形周进周出二沉池+纤维转盘滤池+紫外线消毒”工艺;污泥采用“撇水池+机械浓缩+板框脱水”工艺,泥饼含水率 $\leq 60\%$ 。具体工艺流程见图2。

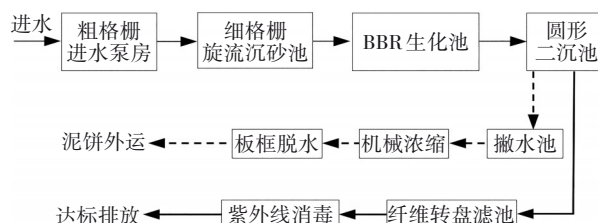


图2 污水处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of wastewater treatment process

4 主要构筑物设计

4.1 粗格栅及进水泵房

粗格栅与提升泵房设在厂外,一期工程土建已按 $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 一次建成。泵房目前安装4台提升泵(2用2备),单泵 $Q=700 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=400 \text{ kPa}$, $P=110 \text{ kW}$ 。经复核,现状水泵达不到 $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模要求,本次更换为4台大泵(3用1备),单泵 $Q=1100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=400 \text{ kPa}$, $P=220 \text{ kW}$ 。

4.2 细格栅及旋流沉砂池

细格栅及旋流沉砂池合建,设两组,并联运行,一期工程土建及设备均按 $7.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建成。设阶梯式细格栅机2台,过栅流速 0.7 m/s ,栅条间距 5 mm , $P=0.75 \text{ kW}$ 。旋流沉砂池流速 0.8 m/s ,停留时间 38.1 s ,表面负荷 $187 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,沉积砂气提至砂水分离器。

4.3 BBR生化池

BBR生化池设计规模 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设2座,每座分2组,每组可独立运行,其中一座由现状改良氧化沟改造为BBR生化池,同时新建一座BBR生化池。BBR生化系统包括混合池、BBR池和生物曝气池,污水在该单元内完成有机物的氧化以及脱氮、

除磷。

① 新建生化池

混合池:对原水、内回流和外回流污水进行充分混合,单组尺寸为 $5.9\text{ m}\times 5.9\text{ m}\times 6.5\text{ m}$ (超高 0.5 m),有效水深 6 m ,停留时间 18 min 。设搅拌器2台,单台叶轮直径 $2\,000\text{ mm}$,电机功率 3.0 kW 。

BBR池:放置BBR生物转盘,与原水接触反应,单组平面尺寸为 $5.9\text{ m}\times 32.6\text{ m}\times 6.5\text{ m}$ (超高 0.5 m),停留时间 1.65 h ,接触体表面积 750 m^2 、比表面负荷 $0.4\text{ kgBOD}_5/\text{m}^2$ 。设BBR设备20台,BBR旋转体驱动功率 2.2 kW ,同时为了防止污泥沉淀,设潜水搅拌机6台,电机功率 1.1 kW ,池中溶解氧控制在 $0.1\sim 0.2\text{ mg/L}$ 。

生物曝气池:单组尺寸为 $40.0\text{ m}\times 32.1\text{ m}\times 6.5\text{ m}$ (超高 0.5 m),有效水深 6 m ,停留时间 7.58 h ,容积负荷 $0.32\text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,最大气水比 $7:1$,内回流比 $0\%\sim 100\%$,外回流比 100% 。生物曝气池根据运行要求按水流方向分为等容积的三个池子(1#、2#、3#池),其中1#池底部设置微孔板式曝气器,DO为 $0.2\sim 0.3\text{ mg/L}$,ORP为 $-80\sim -50\text{ mV}$;2#池底部设置微孔板式曝气器,DO为 $0.7\sim 1.0\text{ mg/L}$,ORP为 $-30\sim 60\text{ mV}$;3#池底部设置微孔板式曝气器,DO为 $0.5\sim 0.7\text{ mg/L}$,ORP为 $70\sim 90\text{ mV}$,同时该池设内回流泵6台(4用2备),单泵 $Q=400\text{ m}^3/\text{h}$, $H=12\text{ kPa}$, $P=5.5\text{ kW}$ 。

② 现状生化池改造

现状生化池为改良氧化沟,表面曝气,有效停留时间 10.5 h ,水深 4 m 。本次将氧化沟改造为BBR生化池,增加BBR生化处理装置和内回流系统,并将表面曝气改为底部微孔曝气。

具体措施:将现状预缺氧区改造为混合池,缺氧区改造为BBR池并增设一体化BBR装置,氧化沟改为生物曝气池。生化池设计参数:停留时间 10.54 h (其中混合池及BBR池停留时间 0.54 h 、氧化沟停留时间 10 h)。其他设计参数与新建BBR生化池一致。

4.4 二沉池及配水排泥井

现状2座二沉池保留利用,新建2座二沉池,设计规模 $3.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用圆形周进周出二沉池,设计平均表面负荷 $0.8\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,沉淀时间 4.0 h ,直径 34 m ,池深 4.5 m ,采用中心传动式刮泥机。

配水排泥井直径为 13.20 m ,共分为二圈,外圈

为排泥环道,内圈为配水环道。内设外回流泵3台(2用1备),单台 $Q=730\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=70\text{ kPa}$ 、 $N=22.0\text{ kW}$;剩余污泥泵2台(1用1备),单台 $Q=70\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=140\text{ kPa}$ 、 $N=5.5\text{ kW}$ 。

4.5 营养液加药间

为保证BBR工艺的运行,需投加微生物营养剂,营养剂是从多种水果中提取的高效酵母液,具有抗酸化能力,能有效抑制废水、污水中腐败菌和杂菌的生长,同时有利于芽孢杆菌等微生物的生长^[2]。投加量为 5 L/d ,投加浓度 0.33% ,设2套营养液投加装置,并配备6台隔膜式计量泵(4用2备),单泵 $Q=32\text{ L/h}$, $H=300\text{ kPa}$, $P=0.75\text{ kW}$ 。

4.6 纤维转盘滤池

纤维转盘滤池设计规模 $7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用3条渠,每渠配置12个 3 m 盘片,滤盘总面积 464.4 m^2 ;平均滤速 $6.28\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

4.7 紫外线消毒池

紫外线消毒池1座,设计规模 $7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,共2组。设计进水悬浮物浓度 10 mg/L ,光波最低穿透率 65% ,紫外剂量 $\geq 24.5\text{ mJ/cm}^2$ 。

4.8 污泥脱水系统

污泥处理系统设计规模 $7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,包括储泥池、机械浓缩间、板框脱水间,污泥处理系统设计干污泥量为 12 tDS/d ,泥饼含水率为 60% 。

主要设备:带式浓缩机3台(2用1备), $Q=60\sim 85\text{ m}^3/\text{h}$, $N=3.0\text{ kW}$,出泥含固率 $\geq 2.5\%$;高压隔膜压滤机2台,过滤面积 600 m^2 。

5 工艺设计特点

该提标扩建工程自建成投产以来,运行稳定,生化池脱氮除磷效果好,选用高效脱氮除磷的BBR工艺是本工程成功的关键。

① 以芽孢杆菌为优势菌的BBR工艺是生物膜法和活性污泥法的组合工艺,对COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP等污染物有很好的去除效果。

② 现状改良氧化沟工艺提标改造施工便利,生物转盘装置可直接架设到现状生物池缺氧区内,改造简单。

③ BBR生化系统有效停留时间约为传统活性污泥工艺的一半,既能减小项目建设用地,又能降低工程投资。

④ 工艺运行简单,管理方便,运行管理基本

与传统活性污泥工艺相当,BBR装置维护量很小。

⑤ 芽孢杆菌在溶解氧为0.1~1 mg/L时活性最高,能摄取污水中的有机物、氮、磷等,大量繁殖,以丝状存在,BBR工艺曝气池溶解氧控制在0.1~1 mg/L,传统生化工艺一般曝气池溶解氧控制在2~3 mg/L,因此BBR生化池所需曝气量比传统工艺曝气量减少约30%~40%;同时内回流比为0%~100%,较传统工艺的内回流比(约300%)减少约65%,因此能耗降低30%~50%^[3]。

⑥ 由于芽孢杆菌本身具有除臭能力,在污水中的氮、硫成分被氧化前菌群即将氨、氨盐、硫化氧等物质摄取,因此恶臭产生量大大降低,可以减少污水处理厂除臭系统的投资和运行费用。

6 运行效果及成本分析

该水质净化厂建成投产以来,出水主要水质指标均优于一级A标准,污泥含水率低于60%。2021年全年实际进、出水水质见表2。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项目	COD		NH ₃ -N		TP		TN	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1月	190	17	31.14	2.70	3.96	0.36	38.23	12.94
2月	178	17	40.45	2.22	3.90	0.31	44.40	11.65
3月	155	17	29.75	1.89	4.13	0.35	36.14	9.96
4月	125	16	29.51	1.01	3.40	0.37	32.70	12.44
5月	100	14	21.17	0.98	2.52	0.31	27.19	9.67
6月	103	14	20.03	0.45	2.01	0.28	24.58	9.46
7月	96	14	16.57	0.49	1.72	0.23	20.95	9.23
8月	88	18	18.39	0.51	1.67	0.21	21.35	11.13
9月	85	14	15.63	0.62	1.51	0.16	17.00	9.06
10月	92	14	18.58	0.35	2.25	0.15	18.95	11.22
11月	140	14	27.80	0.64	3.60	0.28	30.20	12.29
12月	159	19	30.52	1.39	2.96	0.34	35.05	12.69

工程主要建设内容为提标改造3.5×10⁴ m³/d,扩建3.5×10⁴ m³/d。项目总投资为1.4亿元,其中第一部分工程费用1.1亿元,其他费用0.3亿元。

污水污泥处理系统运行电耗0.28 kW·h/m³。经营成本为0.55元/m³,其中电费为0.20元/m³,药

剂费为0.10元/m³,维修、人工以及其他费用为0.25元/m³。

7 结语

以芽孢杆菌为优势菌的BBR工艺实现了城镇污水处理生物膜法和活性污泥法的完美结合,很好地解决了脱氮、除磷以及消除恶臭等污水处理疑难问题。由于BBR装置设备化,因此可实现对现状氧化沟、AAO等传统工艺的不停水提标改造;同时该工艺低溶解氧、低回流比等高效运行特点,实现了绿色低碳、环境友好、节约土地的建设目标,为城市高标准污水处理厂建设提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 柴建中. BBR生化系统曝气池组DO浓度优化设计[J]. 中国给水排水, 2016, 32(13): 106-108.
CHAI Jianzhong. Optimization of DO in aeration tank of BBR biochemical system [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(13): 106-108(in Chinese).
- [2] 侯继燕, 聂楠. BBR工艺在污水处理工程中的应用[J]. 给水排水, 2020, 46(S1): 412-417.
HOU Jiyang, NIE Nan. Application of BBR process using in wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46 (S1) : 412-417 (in Chinese).
- [3] 黄敏, 郑宋成, 马光忠. BBR工艺在平凉市天雨污水处理厂提标改造及扩建工程中的应用[J]. 中国市政工程, 2021(5): 38-41, 115.
HUANG Min, ZHENG Songcheng, MA Guangzhong. Application of BBR process in upgrading, reconstruction & expansion project of Tianyu sewage treatment plant in Pingliang [J]. China Municipal Engineering, 2021 (5) : 38-41, 115(in Chinese).

作者简介:戴仲怡(1975—),男,湖南新化人,大学本科,正高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给排水工程、环卫工程设计及研究工作。

E-mail: 9317575@qq.com

收稿日期: 2022-09-26

修回日期: 2022-10-12

(编辑:孔红春)