

# 序批式生物膜反应器预处理餐饮废水的性能

蒋轶锋<sup>1</sup>, 王和阳<sup>1</sup>, 程凌峰<sup>2</sup>

(1. 浙江工业大学 环境学院, 浙江 杭州 310014; 2. 申消智能科技<上海>有限公司, 上海 201613)

**摘要:** 基于分散式餐饮废水纳管超标排放的现状, 尝试将序批式生物膜反应器(SBBR)拓展用于某西式快餐店洗涤废水的预处理。室温下将SBBR接种挂膜并长期运行, 提出了固定弹性填料高填充率(>70%)的快速启动(12 d)方法, 在进水COD为1 938 mg/L、SS为760 mg/L、动植物油为120 mg/L、换水比为40%、曝气时间为10 h的工况下, 反应器对以上3种污染物的年均去除率分别达到90%、74%和80%, 出水水质满足纳管要求且受温度的影响较小。设置隔油池有利于SBBR的长效运行, 污泥产率仅为0.15 kgSS/kgBOD<sub>5</sub>。原水波动时, 关联于曝气量和换水比的DO周期变化曲线可作为监控SBBR碳氧化进程及供氧终点的控制参数, 相关一体化设备可为我国众多餐饮企业治污提供帮助。

**关键词:** 餐饮废水; SBBR; 预处理; 纳管排放; DO

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)19-0116-05

## Performance of Sequencing Batch Biofilm Reactor for Pretreatment of Restaurant Wastewater

JIANG Yi-feng<sup>1</sup>, WANG He-yang<sup>1</sup>, CHENG Ling-feng<sup>2</sup>

(1. College of Environment, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. Shenxiao Intelligent Technology <Shanghai> Co. Ltd., Shanghai 201613, China)

**Abstract:** Based on the present situation of excessive discharge of decentralized restaurant wastewater, a sequencing batch biofilm reactor (SBBR) was applied to pretreat washing wastewater from a western fast food restaurant. Through attachment of biofilm and long-term operation of the SBBR at room temperature, a rapid start-up strategy (12 days) with high filling rate (>70%) of elastic packing was proposed. Under the conditions of influent COD of 1 938 mg/L, SS of 760 mg/L, animal and vegetable oil of 120 mg/L, water exchange ratio of 40% and aeration time of 10 hours, the annual average removal rate of the pollutants were 90%, 74%, 80%, respectively, and the effluent quality could meet the emission requirements and was less affected by temperature. Installation of oil separation tank was found to be beneficial to long-term operation of SBBR, and the sludge yield was only 0.15 kgSS/kgBOD<sub>5</sub>. The DO periodic curve correlated with aeration intensity and water exchange ratio could be used as a controlling parameter to monitor the carbon oxidation process and oxygen supply terminal point of SBBR when the influent fluctuated, and the related integrated equipment would provide a choice for pollution control of many small catering enterprises in China.

**Key words:** restaurant wastewater; SBBR; pretreatment; wastewater discharge to municipal sewer; DO

当前,含油餐饮废水已成为我国分散式污水治理和管理的重要内容<sup>[1-2]</sup>。该类废水在排入市政下水道前,需就地进行预处理以削减动植物油、COD、SS 等污染物含量。而现有餐饮单位尚未安装或多采用隔油池和挡板式重力油水分离器等简易物理处理设施,普遍存在出水水质超标问题,给受纳管网输送及终端污水厂的运行带来不利影响<sup>[1-3]</sup>。餐饮废水往往间歇排放,流量不大,具有成分复杂、污染物浓度较高、易降解的水质特点<sup>[1,4-6]</sup>。虽然采用混凝、气浮、电解、BAF、MBR、人工湿地等技术可对其进行有效处理<sup>[4-6]</sup>,但是受限于安装空间、运行费用、二次污染及管理维护等因素,市场上仍缺乏可推广的治理方法和装备,造成“小餐饮大污染”的被动局面。

序批式生物膜反应器(SBBR)通过融合 SBR 和膜法的优点,已在工业有机废水、有毒难降解废水、养殖废水和城镇污水的处理中表现出诸如耐冲击负荷、产泥量少、出水无臭、运行灵活、流程紧凑等良好性能<sup>[6-7]</sup>。为此,笔者基于中小型餐饮企业排水及场地现状,尝试将 SBBR 法拓展用于某餐饮废水的预处理以使出水水质满足纳管要求,旨在为行业治污及后续设备研发提供参考。

1 试验材料和方法

1.1 SBBR 装置

试验装置如图 1 所示。

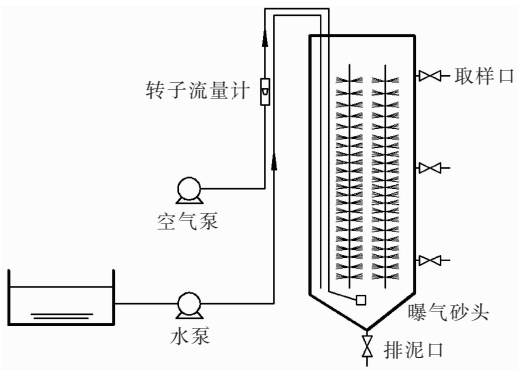


图 1 SBBR 装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of SBBR device

SBBR 反应器呈圆柱形,有效体积为 6.4 L。柱内悬挂常用的廉价弹性立体填料(比表面积约为 300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>),填充率在 70% 以上,以提高单位容积

挂膜数量及对较高浓度餐饮废水的净化能力。填料底部放置曝气砂头,气体通过流量计控制在 0.5 ~ 1.5 L/min,经放射丝切割作用获得一定的充氧效率及生物膜更新速率。根据某餐饮单位分时段集中排水的模式,SBBR 装置每天运行 2 个周期,每个循环周期包括进水、反应(10 h)、沉淀、排水等步骤,同时定期排出底部极少量的沉渣。

1.2 餐饮废水

杭州某西式快餐厅主营炸鸡、薯条、汉堡包、咖啡、冷饮品等,产生的洗涤废水常出现在中午和晚间两个时段。该废水经隔油池处理后,除氮、磷指标外,COD、SS、动植物油、pH 值等仍存在明显的超标现象(见表 1),门店经营面临严峻的环保压力。

表 1 隔油池出水水质

Tab. 1 Effluent quality of oil separation tank

项 目	隔油池出水	均值	纳管标准
pH 值	5.4 ~ 6.2	5.8	6.5 ~ 9.5
COD/(mg · L <sup>-1</sup> )	1 285 ~ 2 590	1 938	≤500
TN/(mg · L <sup>-1</sup> )	20 ~ 38	25	≤70
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N/(mg · L <sup>-1</sup> )	6.2 ~ 25.4	15.8	≤45
SS/(mg · L <sup>-1</sup> )	650 ~ 870	760	≤400
TP/(mg · L <sup>-1</sup> )	5.6 ~ 8.1	6.8	≤8
动植物油/(mg · L <sup>-1</sup> )	95 ~ 145	120	≤100

1.3 检测项目及方法

COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N、TN、TP、SS、动植物油等常规水质指标按照《水和废水监测分析方法》(第 4 版)进行测定,DO、pH 值分别采用便携式溶氧仪和酸度计测定。

2 结果与讨论

2.1 SBBR 的启动

SBBR 装置采用接种法挂膜启动,将 2.4 L 杭州七格污水厂的污泥和 4 L 餐饮废水混合,闷曝 24 h 后用 2.4 L 新鲜废水替换经沉淀排出的上清液,以后每天处理 2 个批次。由于该类废水可生化性好,操作 1 周后填料表面可见一层黄褐色黏性物质,表明微生物已逐渐适应水质并开始缓慢附着生长。但部分种泥衰亡和较高负荷导致了初期 COD 去除率偏低,出水 COD 浓度多在 500 mg/L 以上,如图 2 所示。将反应器内的悬浮污泥排空以促进膜的生长,继续培养后生物膜明显变深增厚,出水 COD 随之降

至 200 ~ 600 mg/L, 12 d 后对 COD 的去除率稳定在 80% 以上, 同时出水 SS 和浊度下降, 表明装置启动成功<sup>[6,8]</sup>。因此, 当 SBBR 处理 COD 浓度较高的餐饮废水时, 采用固定弹性立体填料及高填充率有利于系统的快速启动及除碳功能的形成。

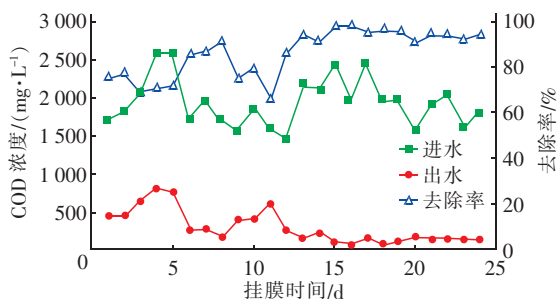


图2 SBBR 启动期间 COD 的变化

Fig. 2 Variation of COD during start-up stage of SBBR

## 2.2 SBBR 的运行

装置启动后在室温下长期运行, 考察对 COD 的去除效果, 结果如图 3 所示。可见, 在换水比为 40%、曝气强度为 1.0 L/min 条件下, 出水 COD 在近 1 年的时间内始终保持在 100 ~ 300 mg/L 之间, 优于纳管标准。温度对生物降解作用有轻微影响, 与夏秋季相比, 冬春季 (最低温度为 8.4 °C) 对 COD 的去除率略有降低, 这是由于 SBBR 非稳态反应模式及高填充率下生物膜对 COD 的快速去除作用。

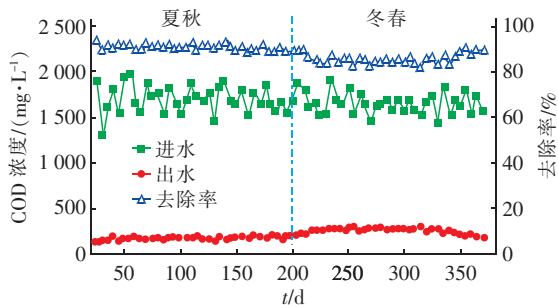


图3 SBBR 稳定运行期间 COD 的变化

Fig. 3 Variation of COD during stable stage of SBBR

图 4 为 SBBR 典型周期内 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的变化。可知, 对 COD 的削减主要发生在曝气时段的前期, 以溶解态、悬浮态和胶体形式存在的蛋白质、脂肪、纤维、淀粉和洗涤剂等在生物膜的吸附、水解及降解作用下得以大幅去除<sup>[8-10]</sup>, 剩余难降解和代谢产物导致后期 COD 的变化不大, 说明 SBBR 的曝气时间和强度可根据进水状况进行实时调节。氮、磷的变化与 COD 类似, 本试验认为在该

单级除碳系统中营养盐主要经由同化作用去除, 对  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别在 90%、60% 和 68% 左右。

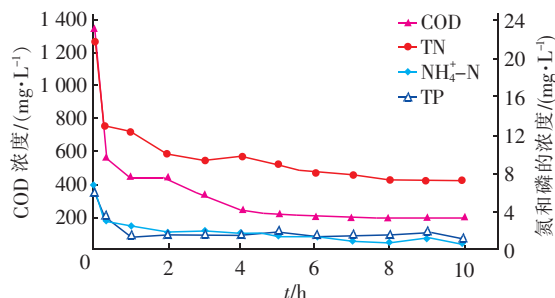


图4 SBBR 典型运行周期内 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 和 TP 的变化

Fig. 4 Variation of COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , TN and TP in a typical operation cycle

剩余污泥少、无需二沉池是 SBBR 用于餐饮废水预处理的初衷。在隔油池出水中存在较多轻质悬浮物的不利条件下, SBBR 装置对 SS 仍有较高的去除率, 出水 SS 在 200 mg/L 左右。残余 SS 及老化脱落的生物膜使系统中污泥的产率仅约为 0.15 kgSS/kgBOD<sub>5</sub> (B/C 值取 0.75), 为平行运行 SBR 的 1/3, 且运行时无污泥膨胀问题; 同时该值也远低于接触氧化工艺的 0.3 kgSS/kgBOD<sub>5</sub>, 表明 SBBR 可以通过间歇运行及提高填充率的方式减少污泥的生成。

试验过程中, SBBR 对动植物油的去除效果也较好。出水中动植物油浓度稳定在 18 ~ 30 mg/L, 去除率达到 80% 左右。因此, 对于高悬浮物含油餐饮废水而言, 前置隔油池对大量油脂和 SS 的截留作用有助于后续 SBBR 的长效运行。

## 2.3 工艺参数分析

曝气量 (或气水比) 和换水比是 SBBR 工艺的重要参数, 对于众多餐饮企业而言, 其直接影响投资成本和运行费用, 但现阶段欠缺相关技术规范<sup>[6]</sup>。图 5 为曝气量对运行周期中 COD 和 DO 的影响。可以看出, 当曝气量为 0.5、1.0、1.5 L/min 时, 对 COD 的去除无明显影响, 均呈现先骤降后缓慢减小的趋势。但供气不足 (0.5 L/min) 会使 SBBR 处于微氧状态, DO 持续在 0.5 mg/L 以下, 仅在反应末期出现轻微上升。

对于小水量且水质波动的餐饮废水而言, 低氧环境虽可减少电耗, 但存在风险。考虑后续基于 DO 耦合 COD 周期变化<sup>[11-12]</sup> 的自控设备开发需要, 适度提高曝气量是必要的。图 5 中初始 DO 浓度随

气量的增大而增加,并呈现“上升—稳定—上升—稳定”的规律,暗示反应中耗氧速率与定量供氧速率的动态变化。第一个“稳定”为大量易降解 COD 的去除阶段,气量越大其终止越快,供氧速率远远大于耗氧速率导致后续 DO 骤升至拐点,并再次形成“稳定”状态。

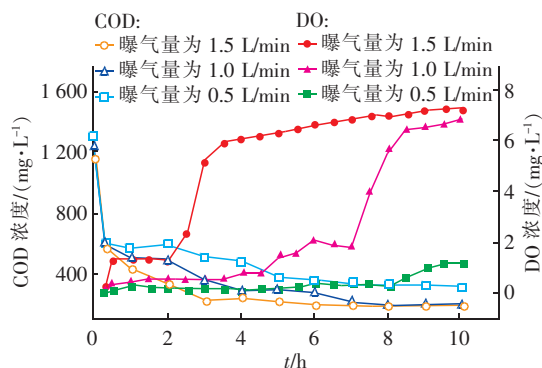


图5 曝气量对运行周期中 COD 和 DO 的影响

Fig.5 Effect of aeration intensity on COD and DO during an operation cycle

综上所述,在 SBBR 处理餐饮废水时,DO 可作为判断碳氧化进程及曝气终点的关键控制参数<sup>[12]</sup>。当然,具体供氧强度应根据原水水质、曝气组件、填料形式、水深、水温等确定。在曝气量为 1.0 L/min 条件下,考察换水比对运行周期中 COD 和 DO 的影响,结果如图 6 所示。可见,进水量的适度变化未对碳的去除造成冲击,说明 SBBR 能够根据餐饮排水量的波动进行灵活操作。但负荷的增加会引起 DO 曲线向右偏移,对装置的稳定运行带来一定影响。

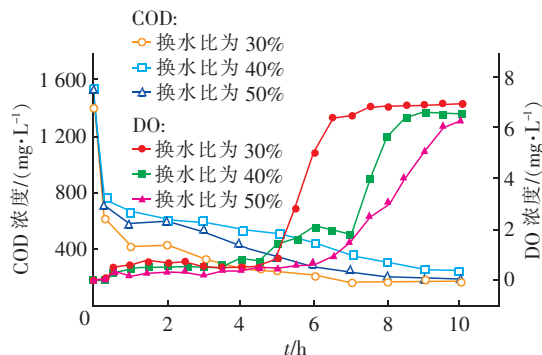


图6 换水比对运行周期中 COD 和 DO 的影响

Fig.6 Effect of water exchange ratio on COD and DO during an operation cycle

### 3 结论

试验建立了面向餐饮废水就地预处理的 SBBR 工艺,并通过接种挂膜及弹性立体填料高填充率

( >70% ) 的方式,实现了系统的快速启动。SBBR 装置对 COD、SS、动植物油等主要超标污染物的年均去除率分别达到 90%、74% 和 80%,且受温度的影响较小,出水水质优于纳管的排放标准。设置隔油池有利于保障 SBBR 的长效运行,污泥产率仅为 0.15 kgSS/kgBOD<sub>5</sub>。与曝气强度、换水比关联的 DO 周期变化曲线可以作为监控非稳态 SBBR 碳氧化进程和供氧终点的控制参数,相关一体化自控设备的开发可为大量中小型餐饮企业治污提供帮助。

### 参考文献:

- [1] 孟繁艺,何洁,王蕾,等. 餐饮废水水质监测与评价[J]. 价值工程,2017,36(33):217-219.  
Meng Fanyi, He Jie, Wang Lei, et al. Water quality monitoring and evaluation of restaurant wastewater[J]. Value Engineering, 2017, 36(33): 217-219 (in Chinese).
- [2] Feng Y, Luo X B, He J, et al. Investigation on the effect of restaurant wastewater pretreatment[J]. Adv Mater Res, 2013, 807/809: 1093-1096.
- [3] 谢雪. 中小餐饮企业污染治理难点及有效路径[J]. 上海环境科学, 2013, 32(4): 179-181.  
Xie Xue. Problems and effective solutions to control pollution from small- and medium-sized catering enterprises[J]. Shanghai Environmental Sciences, 2013, 32(4): 179-181 (in Chinese).
- [4] 周俊,鄢恒珍,侯康龙,等. 固定粒子三维电解法处理餐饮废水的研究[J]. 中国给水排水, 2016, 32(7): 78-81.  
Zhou Jun, Yan Hengzhen, Hou Kanglong, et al. Treatment of restaurant wastewater by fixed particle three-dimensional electrode process[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(7): 78-81 (in Chinese).
- [5] Erhunmwunsee Famous. 城市餐饮富营养有机废水的微生物处理关键技术研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.  
Erhunmwunsee Famous. Study on the Key Technological Process of Microbial Treatment of Urban Restaurant Nutritious Organic Wastewater[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2017 (in Chinese).
- [6] 毛雪梅. 多维曝气 SBBR 工艺处理餐饮废水实验研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2014.  
Mao Xuemei. Experimental Study on Treatment of Restaurant Wastewater by Multi-dimensional Aeration SBBR Process[D]. Chongqing: Chongqing Technology



- and Business University, 2014 (in Chinese).
- [7] Dutta A, Sarkar S. Sequencing batch reactor for wastewater treatment: recent advances [J]. Current Pollution Reports, 2015, 1(3): 177 – 190.
- [8] 谷静丽, 洪军, 冯亮, 等. 膜曝气生物膜反应器处理餐饮废水的研究[J]. 水处理技术, 2014, 40(4): 114 – 117, 125.
- Gu Jingli, Hong Jun, Feng Liang, *et al.* Study on MABR treatment of restaurant wastewater [J]. Technology of Water Treatment, 2014, 40(4): 114 – 117, 125 (in Chinese).
- [9] 王丹丹. 移动床-膜生物法餐饮废水深度处理[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.
- Wang Dandan. Restaurant Waste-water Depth Treatment by Moving Bed Biofilm-membrane Process [D]. Shenyang: Northeastern University, 2013 (in Chinese).
- [10] Zulaikha S, Lau W J, Ismail A F, *et al.* Treatment of restaurant wastewater using ultrafiltration and nanofiltration membranes [J]. Journal of Water Process Engineering, 2014, 2: 58 – 62.
- [11] 郭一明. 耦合生态技术深度处理农村分散式生活污水效能与仿真[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- Guo Yiming. The Effectiveness Analysis and Simulation of Coupling Advanced Bio-treatment of Decentralized Sewage [D]. Changsha: Hunan University, 2014 (in Chinese).
- [12] 董国日, 彭永臻. SBR 工艺降解有机物及过程控制 [J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(1): 63 – 70.
- Dong Guori, Peng Yongzhen. The research of the organic matter degradation and the process control in the SBR process [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 36(1): 63 – 70 (in Chinese).



作者简介: 蒋铁锋 (1978 – ), 男, 浙江上虞人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水处理技术。

E-mail: jyf@zjut.edu.cn

收稿日期: 2019-04-22

