

赵宁波. MBCR 组合工艺特点及中试运行效果分析[J]. 净水技术, 2022, 41(3):79-83.

ZHAO N B. Characteristics of MBCR combined processes and effect analysis of pilot operation[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3):79-83.



扫我试试?

MBCR 组合工艺特点及中试运行效果分析

赵宁波

(上海巴安水务股份有限公司, 上海 201715)

摘 要 移动床陶瓷膜生物反应器 (MBCR) 是移动床生物膜反应器 (MBBR) 与纳米陶瓷平板膜 (CFM) 膜池组合而成的一种特殊的膜生物反应器 (MBR) 工艺。文章主要阐述了 MBCR 工艺的设计要点、运行特点, 以及针对生活污水常规生化指标进行的中试效果和 CFM 陶瓷平板膜通量影响因素分析。试验结果表明, MBCR 组合工艺由于其自身独特的设计特点, 以生活污水作为原水时, 水温为 11.5 °C 下, 对 COD_{Cr} 、氮、磷的去除效果良好。MBCR 组合工艺对污水 COD_{Cr} 的去除率为 93%, 出水质量浓度低至 35 mg/L; 总氮去除率为 75%, 出水质量浓度低至 10 mg/L; 总磷去除率为 70%; 中试装置设计污泥龄为 23 d, 剩余污泥可部分完成自身降解, 基本不产污泥。工艺可在较低污泥负荷下运行, 实际核算污泥负荷为 0.08 kg $\text{BOD}_5/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$ 。生化处理出水由于经 CFM 膜过滤, SS 质量浓度可低至 0.1 mg/L 以下。膜通量试验结果表明, 在 8 000~10 000 mg/L 的污泥质量浓度下, CFM 膜通量基本可以维持在 35~45 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 较其他有机膜通量有较大优势。

关键词 移动床陶瓷膜反应器 (MBCR) 陶瓷平板膜 (CFM) 中试效果 膜通量 去除率 污泥浓度

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)03-0079-05

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.03.012

Characteristics of MBCR Combined Processes and Effect Analysis of Pilot Operation

ZHAO Ningbo

(SafBon Water Service <Holding> Inc., Shanghai, Shanghai 201715, China)

Abstract MBCR is a special MBR process which combines moving bed biofilm reactor (MBBR) and ceramic flat membrane (CFM). In this paper, the design points and operation characteristics of MBCR process, the pilot-scale effect of conventional biochemical indicators of domestic sewage and the influencing factors of CFM ceramic flat membrane flux were described. Results showed that combined MBCR process had good removal effect on COD_{Cr} , nitrogen and phosphorus on domestic sewage under 11.5 °C due to its unique design characteristics. The removal rate of COD_{Cr} by MBCR was 93%, effluent mass concentration was 35 mg/L; the removal rate of total nitrogen was 75%, effluent mass concentration was 10 mg/L; the removal rate of total phosphorus was 70%; the designed sludge age of pilot plant was 23 d, some of which can be partially degraded, and basically no production. Process can be operated under a lower sludge load, actual accounting sludge load was 0.08 kg $\text{BOD}_5/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$. Effluent of biochemical treatment was filtered by CFM membrane. The mass concentration of SS could be 0.1 mg/L. At the same time, the experimental results of membrane flux showed that under the sludge mass concentration of 8 000~10 000 mg/L, CFM membrane flux could be maintained at 35~45 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, which was superior to other organic membrane flux.

Keywords moving bed ceramic membrane reactor (MBCR) ceramic flat membrane (CFM) pilot test effect membrane flux removal rate mixed liquor suspended solids (MLSS)

随着我国经济的不断发展和人民生活水平的提

高, 污水处理厂排放标准也越来越严格, 由“一级 B”提高到“一级 A”标准, 甚至有些环境敏感地区的污水排放需要达到 IV 类水标准^[1]。污水处理厂的提标改造项目在全国各地如雨后春笋般开展。根据

[收稿日期] 2019-07-08

[作者简介] 赵宁波 (1990—), 男, 研究方向为工业废水工艺设计, E-mail: 1964188435@qq.com。

《“十三五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》中相关条文,我国“十三五”的城镇污水处理总规模将从 2.17 亿 m^3/d 提高至 2.68 亿 m^3/d ,同时,新增污水处理设施所需投资金额也将达 1 500 多亿元。膜生物反应器 (MBR) 工艺因其工艺流程简单、易改造、出水水质好等特点,在全国范围内得到广泛应用,为 MBR 工艺的研究和发展迎来了契机。同时,随着膜技术产品的不断更新,势必将对传统污水处理工艺设计带来较大变革。移动床陶瓷膜生物反应器 (MBCR) 工艺是膜处理工艺与生化工艺的组合,本文将针对 MBCR 工艺的设计特点,以城市生活污水作为原水进行中试试验。

1 MBCR 中试装置介绍及设计特点

MBCR 是移动床生物膜反应器 (MBBR) 与纳米陶瓷平板膜 (CFM) 膜池组合而成的一种特殊的 MBR 工艺装置。MBCR 中试装置分为控制系统、设备系统和工艺池体系统。其中,膜池系统包括两个膜塔系列,1 个膜塔包含 8 层膜组件,总过滤面积为 64 m^2 ,设计规模为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。MBCR 中试集装箱装置的占地面积为 15 m^2 ,高为 2.6 m,装机总功率为 25 kW,三相电接入。装置生化池部分采用 MBBR 工艺,通过向传统生化池中投加生物挂膜载体填料可大大提高生化池内部的生物菌群稳定性,同时还可提高生化池的抗冲击负荷能力。由于 MBCR 结合了 MBBR 和膜工艺,使其具有工艺流程紧凑、占地小、抗冲击负荷能力强、运行效果稳定以及出水水质好等优势^[2]。

1.1 MBCR 中试试验装置组成及工艺流程

工艺池体部分从进水至产水依次为 MBBR 工艺池、CFM 膜池、清水池等。MBBR 工艺池分为 3 格,每一格分别设置为厌氧、缺氧、好氧环境,可完成生物脱氮、除磷、去除有机碳,厌氧池和缺氧池中装有搅拌机。CFM 膜池中放置两座膜塔,单座膜塔由 8 层膜组件组装而成,两个膜塔采用并联形式连接于产水干管,并由一台抽吸泵进行产水抽吸,同时兼做反洗水泵。膜池中放置污泥回流泵和污泥排放泵,且所有水泵和风机等设备均可由控制触屏面板控制开停。此外,所有池体上均安装液位计,以便随时观测池体液位。

1.2 装置设计特色

1.2.1 工艺设计特色

MBBR 工艺作为生物膜工艺具有运行费用和能

耗低、反应器容积小、对沉淀要求低、运行简单等优点^[3]。将 MBBR 工艺同 CFM 膜系统进行组合可以解决传统 MBR 工艺的诸多运行问题,如经膜池浓缩回流的活性污泥可附着生长在 MBBR 池体填料上,对保持污泥浓度和发挥生物膜活性具有较大优势。此外,针对改造项目,当进水有机碳浓度较大时,可直接在原有活性污泥法池体中加入生物填料,将传统的活性污泥生化工艺改造为生物膜法工艺,以解决污泥负荷过高的问题^[4]。

1.2.2 CFM 膜系统设计特色

MBCR 工艺中膜系统运行成功与否是整个工艺的关键所在。本 MBCR 工艺膜系统采用 CFM 陶瓷平板膜,并采用自动反冲洗和加药控制系统,如表 1 所示,该无机陶瓷膜相对有机膜具有诸多优点。

表 1 CFM 膜系统特点
Tab. 1 Characteristics of CFM Membrane

膜性能	特点/参数
使用寿命长	长达 3~5 倍
膜通量高	高出 2~10 倍
化学药剂少	化学清洗周期长,节省 50% 化学药剂
回收率高	高达 98%,比聚合物膜超滤高 8% 以上
抽吸泵压力低	节能 50%
机械强度大	可用高压反冲洗水,便于清洗,清洗泵无需变频

MBCR 处理系统集成生化处理与膜滤系统,大大缩短了工艺流程。同时,膜系统(包括加药系统)运行模式简单、易控制。

1.3 中试试验方案

1.3.1 试验前准备

选取试验场地后,连接 MBCR 装置管道,调试中试设备单机。

①启动生物池中曝气风机、搅拌机,观察其是否能正常运行。

②启动斜管沉淀池中污泥泵,观察其是否能正常运行。

③启动过滤池中污泥泵及反洗曝气风机,观察其是否能正常运行。

④启动渗透池中清水泵,观察其是否能正常运行。

⑤启动加药泵,观察其是否能正常运行。

1.3.2 试验步骤

1) 中试设备清水联动调试。往装置中通入自

来水,开启装置自动控制程序,观察装置内各传感器是否能正常工作并稳定出水。

2)进行闷曝,初步设定闷曝时间为 48 h。待装置生化池污泥浓度 (MLSS) 达到设定值后对装置产

水量、出水水质、生物池 DO、MLSS 等指标进行连续监测 60 d 并记录原始试验数据。

常规水质检测指标包括 COD_{Cr} 、SS、氨氮及生化池 MLSS,指标检测方法为国标检测法,具体如表 2 所示。

表 2 国标法水质检测方法

Tab. 2 Water Quality Testing Methods according to National Standard

水质指标	检测方法	水质指标	检测方法
COD_{Cr}	重铬酸盐法, GB/T 11914—1989	总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
SS	重量法, GB/T 11901—1989	总磷	钼酸铵分光光度法
氨氮	纳氏试剂比色法, GB/T 7479—1987	MLSS	重量法
硝酸盐氮	酚二磺酸分光光度法		

2 中试试验结果分析

中试试验开始之前,首先进行污泥培养和挂膜,图 1 为挂膜成功前后对比,同时检测生化池 MLSS。



图 1 填料显微镜图

Fig. 1 Micrograph of Packings

MBCR 中试试验进水采用某城市污水处理厂预处理出水,处理规模为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$,系统排水和排泥均排至厂区污水井,装置进水水质检测结果如表 3 所示。

表 3 进水水质

Tab. 3 Influent Water Quality

水质指标	数值	水质指标	数值
$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	250	氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	38
$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	450	总氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	46
$\text{TSS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	200	pH 值	6.5~8.5

2.1 MBCR 处理出水效果

由图 2 可知,MBCR 自接种污泥后运行一周左右基本实现了稳定出水,出水 COD_{Cr} 质量浓度稳定在 35 mg/L 左右,去除率达到 93%。研究表明,在底物浓度一定且污泥浓度在一定浓度范围的情况下,有机碳的去除率同 MLSS 浓度呈现正相关关系^[5]。

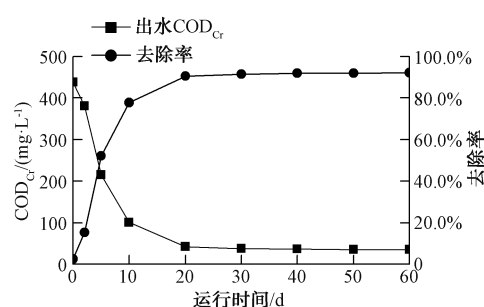


图 2 MBCR 对 COD_{Cr} 的去除效果

Fig. 2 Effect of MBCR on COD_{Cr} Removal

在装置运行前一周内,出水 COD_{Cr} 含量呈现下降趋势,说明在该时间段内接种的活性污泥的浓度和活性也在不断上升。

由图 3 可知,MBCR 工艺对总氮的去除率最高为 75%,出水质量浓度低至 10 mg/L ,达到一级 A 水质标准。

由图 4 可知,MBCR 工艺对总磷的去除率最高为 95%,出水质量浓度低至 0.35 mg/L ,达到一级 A 水质标准。

由图 5 可知,出水 SS 质量浓度低于 0.1 mg/L ,这是由于 MBCR 装置生化处理出水会经膜微滤作用。

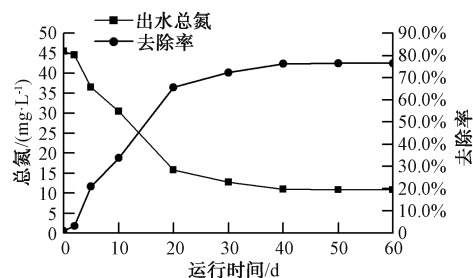


图 3 MBCR 对总氮的去除效果

Fig. 3 Effect of MBCR on TN Removal

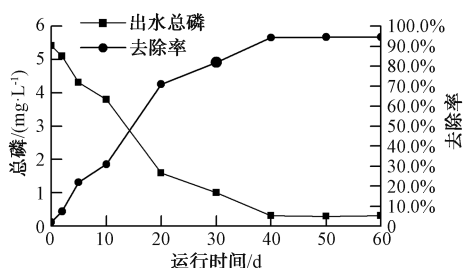


图4 MBCR 对总磷的去除效果

Fig. 4 Effect of MBCR on TP Removal

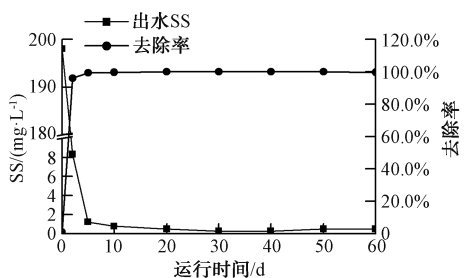


图5 MBCR 对 SS 的去除效果

Fig. 5 Effect of MBCR on SS Removal

试验在检测水质指标的同时也检测了自污泥接种之后反应池生化段内活性污泥 MLSS 的变化情况,由图 6 可知,MLSS 的含量与上述 COD_{Cr} 去除率变化情况相符。

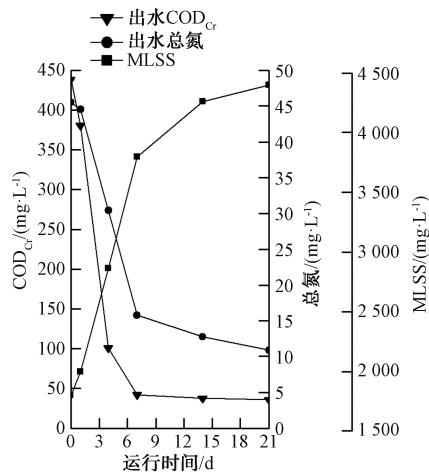


图6 MBCR 出水水质

Fig. 6 Effluent Quality of MBCR

中试试验原水取自生活污水处理厂预处理格栅出水,该水厂二级处理工艺为传统 AAO 生化处理工艺+周进周出式辐流沉淀池,深度处理采用混凝絮凝沉淀+V 形滤池+二氧化氯消毒工

艺。水厂处理出水基本可满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准。表 4 为 MBCR 运行稳定后的出水水质和同期污水厂出水水质的对比。

表 4 MBCR 处理出水水质与传统生化工艺对比
Tab. 4 Comparison of Effluent Quality between MBCR and Traditional Biochemical Process

水质指标	进水 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	MBCR 出水 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	污水厂出水 $/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
COD_{Cr}	450.0	29.5	42.6
总氮	46.0	12.6	14.6
TSS	200.0	0.6	7.5
总磷	5.50	0.20	0.42

由表 4 可知,MBCR 中试装置出水水质除总氮外均达到了地表类 IV 类水标准。同时,由于使用膜过滤系统替代沉淀池,可避免因活性污泥膨胀导致的出水水质变差的问题。

2.2 CFM 膜性能试验

在运行过程中,CFM 膜表面会不断富集有机和无机颗粒物,从而在一定程度上影响膜的过水性能,降低膜实际运行通量。膜的反洗分为运行中物理反冲洗和化学清洗。其中,物理反冲洗与膜抽吸泵抽吸吸水步骤共同组成膜系统的运行程序。交替性的膜化学清洗系统中设置次氯酸钠和柠檬酸两种膜清洗药剂,当膜受到有机污染较多时,采用次氯酸钠溶液进行膜的维护性清洗,当膜受无机颗粒堵塞时,采用柠檬酸溶液清洗。在市政污水处理过程中,常见的是有机污染物对膜造成的污堵,本文通过膜通量恢复试验探究膜系统的运行方式和适宜化学清洗周期。

膜通量恢复性试验中,MBCR 膜系统采取恒压运行模式,维持抽吸负压在 $-25\ 000\ \text{Pa}$ 。对照组不进行化学清洗,连续检测抽吸泵产水流量,试验组每 7 d 进行一次次氯酸钠在线化学清洗,清洗完成后进入过滤模式,中试试验装置自带数据采集和存储功能。

由图 7 可知,抽吸+化学清洗的运行模式下,膜通量呈现阶梯式下降,并能在化学清洗后基本恢复通量。而没有化学清洗的运行方式下,膜通量基本呈现为连续递减趋势。针对一般城镇污水处理厂,CFM 膜在线化学清洗时间一般控制 7 d 为一个周期。

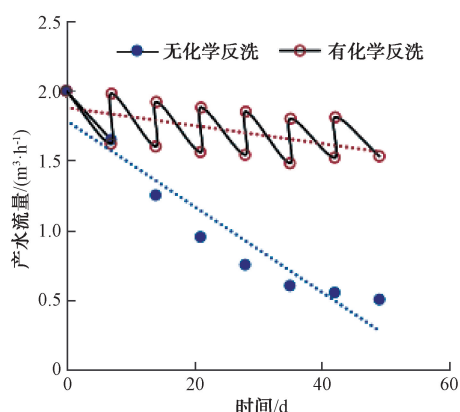


图7 两种运行方式下 MBCR 产水流量变化曲线
Fig. 7 Change Curve of Effluent Quantity of MBCR under Two Operation Modes

3 结论及建议

3.1 结论

通过 MBCR 中试装置运行效果分析,该组合工艺对市政生活污水的处理出水完全满足城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918—2002) 一级 A 标准。

MBCR 工艺可以满足较低的污泥负荷条件,实际运行中,在出水水质稳定后测得膜池中活性污泥质量浓度达到 8 000 mg/L。同时,污泥龄控制在 23 d 以上,实际运行效果证明产泥量较常规生化法低。

CFM 作为无机膜在通量和运行性能上较中空纤维膜存在较多优势。运行过程中周期性的反冲洗可以使膜的通量不断得到恢复,在保证产水量上具有明显优势,中试试验稳定运行过程中通量基本可以稳定在 35 L/(m²·h)。

3.2 建议

(1) MBCR 中试装置的运行结果表明,传统生化处理工艺可以经过一系列的改造和变形,满足特定条件下水处理要求。

(2) MBR 工艺设计中抽吸泵与反洗水泵的选型应对应进行,针对特定水质最好能做中试试验,以确定最佳运行和反洗周期。

(3) 中试装置运行初期会存在抽吸泵抽不出水的现象,这是由于抽吸泵前管道中存在气体,导致无法形成真空环境,所以有必要在产水母管上方设置排气阀,建议选用电磁阀。

(4) 实际工程中通常为恒流量运行模式,随着膜系统运行,产水管抽吸负压也必将会随之上升,一般以 7 d 为一个周期对膜系统进行化学恢复性清洗。但实际运行过程中,当膜抽吸负压接近 -50 000 Pa 时,即使运行时间不到一周,也需要进行化学恢复性清洗,以免造成膜通量的不可恢复性损坏。

参考文献

- [1] 孙晓杰,王嘉捷,赵孝芹,等. 我国城市污水厂推行一级 A 标提标改造探讨[J]. 环境工程, 2013, 31(6): 12-15.
- [2] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等. 新型 MBBR 用于类地表Ⅳ类水排放标准升级改造工程[J]. 中国给水排水, 2017, 33(14): 93-98.
- [3] 美国水环境联合会. 生物膜反应器设计与运行手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [4] 郎俊霞. 污水处理中生物膜法的有效应用[J]. 中国资源综合利用, 2018, 5(5): 36-38.
- [5] 崔玉川. 城市污水厂处理设施设计计算[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2011.

(上接第 38 页)

- [19] TAJIK R, GODINI K, SAEEDI R, et al. Application of UV/TiO₂ advanced oxidation in treating oily compost leachate generated during oily sludge composting [J]. Civil and Environmental Engineering Reports, 2019, 29(3): 241-251.
- [20] CAO Y, XU P, LÜ P, et al. Excellent UV resistance of polylactide by interfacial stereocomplexation with double-shell-structured TiO₂ nanohybrids [J]. Acs Applied Materials & Interfaces, 2020, 12 (43): 49090-49100.
- [21] 马艳,高乃云,郑琪,等. UV-C 辐照降解水中 2,4,6-三氯酚[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012, 40 (6): 128-132.
- [22] MUNEEER M, THEURICH J, BAHNEMANN D. Titanium

- dioxide mediated photocatalytic degradation of 1, 2-diethyl phthalate [J]. Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry, 2001 (2-3): 213-219.
- [23] GUNTEN U V. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. [J]. Water Research, 2003, 37 (7): 1443-1467.
- [24] DU Y, ZHOU M, LEI L. The role of oxygen in the degradation of p-chlorophenol by Fenton system [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007 (1): 108-115.
- [25] GUNTEN U V. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine [J]. Water Research, 2003, 37(7): 1469-1487.