

膜-生物反应器处理微污染水源水的运行特性

莫 罹^{1,2}, 黄 霞^{1*}, 迪里拜尔·苏里坦³ (1.清华大学环境科学与工程系,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室,北京 100084; 2.建设部城市水资源中心,北京 100007; 3.新疆大学化学系,新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:考察了悬浮生长型MBR和3种附着生长型MBR处理人工模拟微污染水源水时的运行特性.结果表明,4种MBR对氨氮的去除率均可达到85%~90%.投加块状填料和粉末活性炭(PAC)的MBR对有机污染物去除率较高.投加沸石粉的MBR和悬浮生长型MBR有机物去除效果较前者低.当水力停留时间(HRT)为2~4h时,HRT对MBR有机物和氨氮的去除效果影响很小.PAC投加量及其饱和程度会影响PAC-MBR系统对有机物特别是UV₂₅₄的去除率.当PAC投加量提高到1000mg/L以上时,PAC饱和前UV₂₅₄的去除率可较块状填料-MBR提高约25%;PAC饱和后,两系统对有机物的去除效果相差不大.对于连续运行中膜的过滤性能,投加PAC和块状填料的MBR与悬浮生长型MBR相差不大,而沸石粉-MBR最低.改变PAC投加量对PAC-MBR中膜过滤性能的影响不大.

关键词:膜-生物反应器; 水净化; 污染物去除特性; 粉末活性炭; 膜过滤特性

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2003)02-0196-05

Operation character of membrane bioreactor in treating the water of micro-polluted water source. MO Li^{1,2}, HUANG Xia¹, Dilibaer.Sulitan³ (1.State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2.Urban Water Resources Center, Ministry of Construction, Beijing 100007; 3.Department of Chemistry, Xinjiang University, Xinjiang 830046, China). *China Environmental Science*, 2003,23(2): 196~200

Abstract: The application of membrane bioreactor (MBR) in treating the water of micro-polluted water source has received much concerns recently in the domain of water environment. In this paper, the operation character of suspended growth type of MBR and three adhesive growth types of MBR in treating the water of artificially simulated micro-polluted water source was investigated. Experiment results showed that these 4 MBRs had ammonia nitrogen removal rate over 85%~90%. MBRs filled with nubby filler or powdered activated carbon (PAC) were more effective to remove organic matters than MBR filled with zeolite powder and MBR of suspended growth type. HRT had very little effect on removals of organic and ammonia nitrogen when HRT was 2 to 4h. The organic removal rate of PAC-MBR system, particularly the removal rate of UV₂₅₄, was affected by PAC addition amount and saturation degree. When PAC addition amount was increased over 1000 mg/L and before PAC was saturated, UV₂₅₄ removal rate could be improved by about 25% compared with that of MBR with nubby filler. After PAC was saturated, these two systems had almost same organic removal rate. With regard to the membrane permeability in continuous operation, the difference between MBR with PAC or nubby filler added and MBR of suspended growth type was small; while MBR with zeolite powder was the lowest. Changing the addition amount of PAC had little effect on the membrane permeability in PAC-MBR.

Key words: membrane bioreactor; water purification; pollutant removal character; powdered activated carbon; membrane permeability

随着生活污水和各种工业废水的肆意排放,我国许多城市的水源水都受到不同程度的污染.生物预处理技术,可充分发挥微生物的作用,强化对受污染水源水中有有机物、氨氮、臭味等的去除,减少消毒副产物生成量和增加饮用水的生物稳定性,其与传统给水工艺的联合使用作为微污染

水源水的一种有效净化技术受到了广泛关注并在实际中得到应用^[1,2].但该工艺流程长,运行效

收稿日期: 2002-07-09

基金项目: 清华大学“985”重点项目解决城市水危机的对策和关键技术研究(082100200)

* 通讯联系人

果受原水水质、水量、水温、操作运行条件等诸多因素的影响,不够稳定^[2]。

膜-生物反应器(MBR)是生物处理单元与膜分离技术的有机结合。由于膜分离代替了常规固液分离装置,有效地截留了微生物,实现了水力停留时间和污泥龄的分离,污染物处理效率高、出水水质好且稳定,已成功应用于污水处理与回用等领域^[3-5]。将 MBR 应用于微污染水源水的处理,比传统生物预处理与常规工艺联合使用的效果更好,使净水工艺流程更为简捷,运行更为稳定。

日本札幌大学采用生物膜-膜反应器(BMR)以去除饮用水中的氨氮^[6]。法国的 Delenaghe B 和 Chang J 及波兰的 Ewa 采用分置式膜-生物反应器,有效地去除水中的硝酸盐氮^[7-9]。投加粉末活性炭(PAC)的附着生长型膜-生物反应器(PAC-MBR)可应用于脱氮、去除杀虫剂和天然有机物^[10,11]。在国内,天津大学曾进行了 PAC-MBR 与 PAC-絮凝-膜反应器去除效果对比的初步研究^[12],但有关 MBR 的运行特性还需要作更深入系统的研究。作者深入考察了悬浮生态型和附着生长型两类 MBR 处理微污染水源水时的运行特性。

1 试验装置与方法

1.1 MBR 分类

MBR 按微生物的生长方式可分为悬浮生长型和附着生长型。由于膜对微生物的截留作用,两种形式的 MBR 均能在反应器内维持一定的微生物量。

试验考察了悬浮生长型 MBR 和 3 种附着生长型 MBR 的运行特性,3 种附着生长型 MBR 分别采用沸石粉(40mg/L,按反应器体积计)、有机块状填料(10%,V/V)和粉末活性炭(PAC)作为生物填料。

1.2 试验流程

试验采用一体式膜-生物反应器(图 1),生物反应器可按悬浮生长型或投加填料的附着生长型运行。微滤膜采用聚乙烯中空纤维膜(日本三

菱公司),孔径为 0.1 μ m,膜丝内径为 0.27mm,外径为 0.42mm,膜面积为 0.2m²。

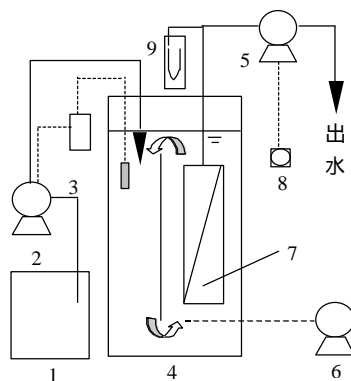


图 1 膜-生物反应器工艺流程

Fig.1 Schematic diagram of membrane bioreactor

- 1.原水箱 2.进水泵 3.液位控制器 4.膜-生物反应器 5.出水泵
6.鼓风机 7.膜组件 8.时间控制器 9.压差计

原水由进水泵打入 MBR,混合液在抽吸泵的抽吸作用下形成过滤出水。膜组件采用间歇式运行,抽吸时间为 15min,停抽时间为 2.5min。鼓风机连续曝气以提供充足的氧气,并同时清除膜表面的部分污染物。当反应器内投加有填料时,曝气可促使所投填料随反应器内液、气混合液一同循环流动,使微生物膜、基质和氧气充分混合接触,以利于生物膜降解作用的充分发挥。为保持 MBR 内的液位恒定,采用液位控制器控制进水泵的开停。

1.3 试验原水

采用人工配水模拟微污染水源水。试验原水包括 4 个主要组分:腐殖质、耗氧有机物、无机黏土成分及无机离子。其中腐殖质组分采用市售固态腐殖酸强碱条件下的溶解组分;无机黏土采用高岭土;耗氧有机物模拟低浓度生活污水,含葡萄糖、胰蛋白胨、玉米淀粉、尿素等组分;微量无机离子成分包括 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 和 K^+ ^[13]。

常规监测指标包括 OC、UV₂₅₄、氨氮(NH_4^+-N)和浊度。试验原水中上述 4 项水质指标依次为 1.4~6.2mg/L, 0.025~0.106, 0.3~14.5mg/L 和 1.0~

24.6NTU. OC 采用酸性高锰酸钾指数标准方法测定,氨氮采用纳氏试剂光度法测定^[14].UV₂₅₄ 为采用紫外分光光度计在波长 254nm 下测定的吸光度值,比色皿光程长度为 1cm,所有样品测定前先用 0.45μm 滤膜过滤.浊度采用 Orbeco Analytical Systems Inc.的数字浊度仪测定.

2 结果与讨论

2.1 4 种 MBR 的运行特性

2.1.1 污染物去除特性 4 种 MBR 出水浊度均小于 1NTU,去除率相差不大.控制水力停留时间(HRT)为 4h,MBR 对有机物(OC 和 UV₂₅₄ 为指标)和氨氮的去除效果见图 2. 4 种 MBR 对氨氮的去除率均较高且相差不大(85%~90%).投加块状填料和 PAC 的 MBR 对 OC 的去除率较高,投加沸石粉的 MBR 较低,悬浮生长型 MBR 最低.沸石粉-MBR 的有机物去除率较其他两种附着生长型 MBR 低,原因可能是沸石粉密度较大,在反应器内较难悬浮,有沉积现象,而导致微生物附着生长的效果和混合液混合的效果较差.除沸石粉-MBR 外,附着生长型 MBR 对 OC 的去除效果较悬浮生长型 MBR 好,可能是因为附着生长型 MBR 中填料表面存在着微环境,有利于生物降解效率的提高.

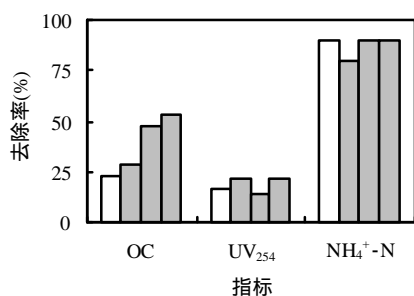


图 2 4 种 MBR 对有机物和氨氮的去除效果

Fig.2 Organic and ammonia removals of four types of MBR

□ 悬浮生长型 ■ 沸石粉 ■ 块状填料 ■ PAC=40mg/L

质类物质,较难生物降解.PAC-MBR 中 PAC 对有机污染物、尤其是对腐殖质类有机污染物的吸附能力较强,但试验中其 UV₂₅₄ 的去除效果同其他 MBR 并无差别,推测是因为 PAC 投加量过低,PAC 对有机物的吸附作用未发挥出来.

2.1.2 连续运行中膜过滤性能的变化 采用归一化膜比通量来表征连续运行中 MBR 的膜过滤性能随时间的变化(图 3).膜比通量为单位过滤压力下的膜通量值^[15],归一化膜比通量为膜比通量值与新膜比通量值之比.

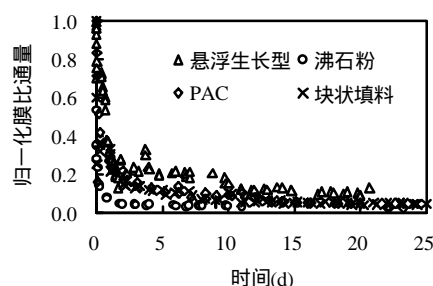


图 3 4 种 MBR 膜过滤性能随时间的变化

Fig.3 Time changes of membrane permeability of variation four types of MBR

由图 3 可见,各 MBR 膜过滤性能的变化趋势相似,即先快速下降后再缓慢下降.在膜过滤性能的缓慢下降段,沸石粉-MBR 的膜过滤性能最差,投加 PAC 和块状填料的 MBR 的膜过滤性能较高,悬浮生长型 MBR 较前两者略高.沸石粉-MBR 的膜过滤性能较差的原因可能是沸石粉密度较大,反应器内料液循环流动所需的能量较高,当曝气装置提供相同强度曝气时,循环流对膜表面的水力冲刷作用比投加其他填料的 MBR 较弱.

2.2 PAC 投加量对 PAC-MBR 运行特性的影响

PAC 投加量直接影响 PAC 对有机物的吸附作用,在 HRT=4h 时,反应器内初始 PAC 浓度分别为 40,1000,2000mg/L,运行前 3 周内(PAC 未达到饱和),系统 OC 和氨氮的去除率无明显提高,但 PAC 浓度提高到 1000 和 2000mg/L 时,UV₂₅₄ 的去除率比块状填料-MBR 提高约 25%. 3 种 PAC 投加量条件下膜过滤性能差别不大,说明增加 PAC 初始投加量并不能改善膜过滤性能.

对 UV₂₅₄ 的去除效果,4 种 MBR 均较低,约为 15%~20%,且差异不大.这是因为 UV₂₅₄ 代表腐殖

2.3 HRT 对去除效果的影响

将平均 HRT 控制为 4,3,2h,连续运行中块状填料-MBR 对有机物及氨氮的去除效果无明显变化(图 4),说明系统对有机物的生物降解作用受 HRT 影响很小.

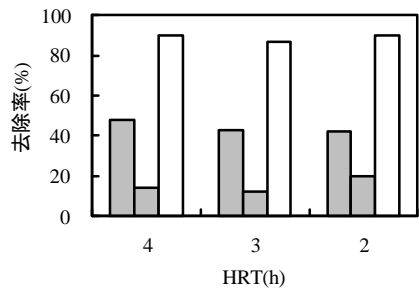


图 4 不同 HRT 块状填料-MBR 的污染物去除效果
Fig.4 Pollutant removals of MBR filled with nubby carriers under different HRTs
■ OC ■ UV₂₅₄ □ NH₄⁺-N

2.4 长期运行 MBR 的去除效果

长期运行 PAC-MBR 和块状填料-MBR 的去除效果见图 5.运行初期,两者对有机物的去除效果相差较大,但随着时间的延长,两者间的差异逐渐减小,运行约 70d 后已无差别,尤其是 UV₂₅₄ 的去除.PAC-MBR 对 UV₂₅₄ 的去除效果受 PAC 饱和程度的影响.PAC 饱和前 PAC-MBR 对 UV₂₅₄ 的去除率比块状填料-MBR 高约 25%,当 PAC 完

全饱和后两系统去除率相差不大.

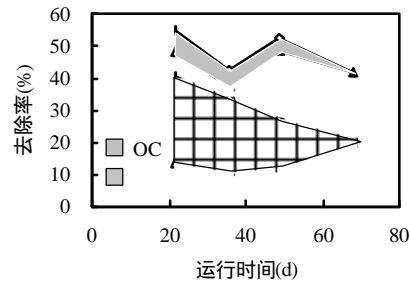


图 5 PAC-MBR 与块状填料-MBR 有机物去除率差异随时间的变化
Fig.5 Time changes of organic removal difference between PAC-MBR and MBR filled with nubby carriers
— PAC-MBR — 块状填料-MBR

2.5 反应器内微生物相的观察

扫描电镜(SEM)观察结果见图 6.悬浮生长型 MBR 中污泥呈团状,微生物体和水中的黏土颗粒、悬浮物质等包裹在一起,有许多菌丝相连;球菌、杆菌较多;PAC 表面及大孔中附着有微生物,以球菌和杆菌居多;块状填料-MBR 中,混合液中微生物体较少,黏土颗粒和悬浮物质较多,原生动物较多;微生物主要附着生长于块状填料外表面、内表面的凹陷处,以球菌和杆菌为主,菌体之间有细丝相连.

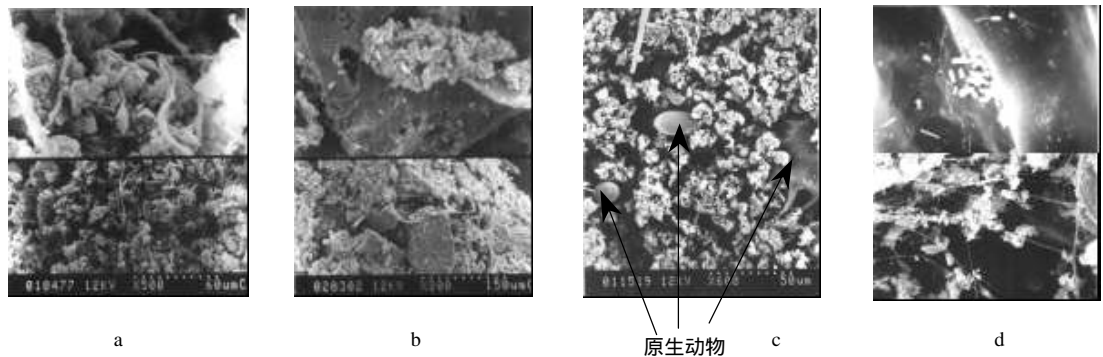


图 6 微生物相的 SEM 照片

Fig.6 SEM photos of microorganisms in MBRs

a.悬浮生长型 MBR 中的悬浮污泥(200/2000 倍) b.PAC 上的附着微生物(200/2000 倍) c.块状填料-MBR 中悬浮态污泥
d.块状填料表面附着微生物(上:外表面 4000 倍;下:内表面 2000 倍)

3 结论

3.1 4 种 MBR 对氨氮的去除率均较高,可达 85%~90%。投加块状填料和 PAC 的 MBR 对有机污染物的去除率较沸石粉-MBR 和悬浮生长型 MBR 高。

3.2 4 种 MBR 中,沸石粉-MBR 的膜过滤性能最低,投加 PAC 和块状填料的 MBR 的膜过滤性能与悬浮生长型 MBR 相差不大。

3.3 HRT 在 2~4h 变化时,对块状填料-MBR 有机物和氨氮的去除效果影响很小。

3.4 PAC 投加量及其饱和过程会影响系统对有机物、特别是 UV_{254} 的去除率。当 PAC 投加量提高到 1000mg/L 以上时,PAC 饱和前其 UV_{254} 去除率较块状填料-MBR 提高约 25%,PAC 饱和后两系统对有机物的去除率相差不大。

3.5 改变 PAC 投加量对 PAC-MBR 膜过滤性能的影响不大。

参考文献:

- [1] 王占生,刘文君.微污染水源饮用水处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [2] 陈伟,范瑾初.微污染原水的生物接触氧化预处理技术综述 [J]. 净水技术, 1997,60(2):43-46.
- [3] 桂萍.一体式膜-生物反应器污水处理特性及膜污染机理研究 [D]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 1999.
- [4] 樊耀波,王菊思.水与废水处理中的膜生物反应器技术 [J]. 环境科学, 1995,16(5):79-81.
- [5] AWWA Membrane Technology Research Committee. Committee report: Membrane processes [J]. Journal AWWA, 1998,90(6):91-105.
- [6] 顾平,李方方.膜技术在水处理中的应用现状及其发展 [J]. 中国给水排水, 1998,14(5):25-27.
- [7] Delenaghe B, Nakamura F, H Myoga, et al. Drinking water denitrification in a membrane bioreactor [J]. Wat. Sci. Tech., 1994,30(6):157-160.
- [8] Chang Jian, Jaques Manem, Andre Beaubien. Membrane bioprocesses for the denitrefication of drking water supply [J]. Journal of Membrane Science, 1993,80:233-239.
- [9] Ewa Wasik, Jolanta Bohdziewicz, Mieczyslaw Bxszczyk. Removal of nitrate ions form natural water using a membrane bioreator [J]. Separation Purification Technology, 2001,22-23: 383-392.

- [10] Vincent Urbain, Raymond Benoit, Jacques Manem. Membrane bioreactor: a new treatment tool [J]. Journal AWWA, 1996,5:75-86.
- [11] 黄晓东,王占生.微污染水源水净化新技术 [J]. 环境污染与防治, 1998,20(3):35-38.
- [12] Mi Baoxia, Gu Ping, Yang Zaoyan. Application of hollow-fiber MF membrane reactors to micro-polluted water treatment [A]. 21century international symposium on membrane technology and environmental protection [C]. Beijing: Membrane Industry Association of China, 2000. 18-21,137-144.
- [13] 刘锐.一体式膜-生物反应器的微生物代谢特性及膜污染控制 [D]. 北京: 清华大学环境科学与工程系, 2000.
- [14] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [15] 莫 罹,黄 霞,吴金玲.混凝-微滤膜组合净水工艺中膜过滤特性及其影响因素 [J]. 环境科学,2002,23(2):45-49.

作者简介:莫 罹(1973-),女,湖南湘潭人,博士,主要从事水处理方面的研究工作.发表论文 9 篇。

环 保 信 息

500 亿加固西部绿色屏障 西部大开发实施 3 年来,国家加大了对西部地区建设资金的投入力度,用于生态环境保护和建设的投资达 500 亿元,生态环境保护和建设显著加强.在日前举行的十届全国人大一次会议记者招待会上,国务院西部开发办副主任李子彬表示,我国将加快建设祖国西部绿色屏障,确保到 2010 年西部地区生态环境建设取得突破性进展.据介绍,到 2002 年底,已累计完成退耕还林任务 11548 万亩.3 年多来,退耕还林工程直接增加中西部地区农民粮食、种苗和现金补助收入 200 多亿元,促进了生态改善和农民增收。

摘自《中国环境报》

2003-03-11