

无纺布-膜生物反应器在生活污水处理中应用

孟志国*, 杨凤林, 张兴文

(大连理工大学 环境与生命学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 应用过滤膜组件为无纺布一体式中空纤维膜生物反应器进行了生活污水处理实验, 分别考查了在同一反应条件下, 不同过滤孔径 ($3\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$) 的无纺布-膜生物反应器处理生活污水的效果. 实验结果证明, 无纺布-膜生物反应器处理生活污水出水水质平均 $d_{\text{COD}} < 20\text{mg/L}$, $d_{\text{TOC}} < 5\text{mg/L}$, $d_{\text{BOD}_5} < 10\text{mg/L}$, $d_{\text{NH}_4\text{-N}} < 2.5\text{mg/L}$. $3\mu\text{m}$ 无纺布-膜生物反应器的无纺布污染情况要轻于 $5\mu\text{m}$ 无纺布-膜生物反应器.

关键词: 膜生物反应器; 无纺布; 生活污水

中图分类号: X703.3 **文献标识码:** A

0 引言

膜生物反应器 (MBR) 是一种由膜分离技术代替传统生化处理技术中二次沉淀池的污水处理技术^[1]. 近年来, MBR作为一种高效的水处理工艺, 越来越受到人们的重视, 随着水资源短缺的加剧和环境保护的需要, MBR以其独特的优点在城市污水、给水处理等方面得到了广泛的关注和应用^[2-3]. 但是膜组件造价过高制约了 MBR的大规模应用^[4], 相信随着 MBR投资费用高问题的解决, MBR必将会朝着大规模实用化的方向发展, 作为一种实用技术而被广泛应用.

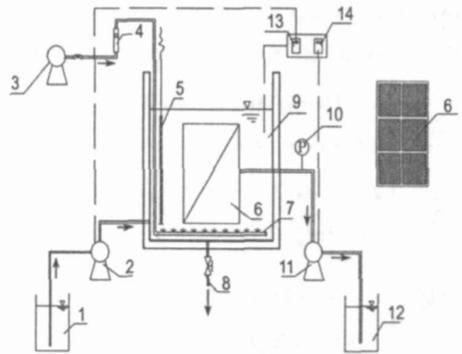
无纺布是近年来国际上涌现出的新型过滤介质, 其在材质、结构、后处理机热定型等方面与传统的有纺布有很大区别, 具有多种优越的过滤性能, 正在受到各个行业的广泛重视^[5]. 其主要应用于: 取代传统纺织品滤材; 超细过滤滤料, 进行滤去直径小于 $1\mu\text{m}$ 的微米级过滤; 中细过滤介质, 进行 $2\sim 100\mu\text{m}$ 粒径的中细过滤; 深加工用滤料^[6].

针对 MBR膜本身造价高的缺点, 本文采用无纺布作为 MBR中的过滤介质, 考查反应器的处理效果, 降低 MBR的整体造价, 以利于 MBR的推广应用.

1 实验装置及方法

1.1 实验装置

实验装置如图 1所示. 原水经过进水泵流入反应器, 经过生化反应和无纺布的过滤作用, 在无纺布过滤组件的一端由出水泵抽吸出水. 进水泵由液位控制计控制, 保持生物反应器内液位恒定; 出水泵由时间继电器控制, 曝气量控制为 $1.0\text{m}^3/\text{h}$ 左右, 提供溶解氧并起到冲刷无纺布表面、防止表面污染的作用; 反应器内温度设定为 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$.



1进水箱; 2进水泵; 3气泵; 4流量计; 5加热器; 6无纺布过滤组件; 7曝气管; 8排泥管; 9无纺布-膜生物反应器; 10真空表; 11出水泵; 12出水箱; 13液位控制计; 14时间继电器

图 1 无纺布-膜生物反应器实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of nonwovens-membrane bioreactor

收稿日期: 2005-11-08; 修回日期: 2007-03-16.

作者简介: 孟志国* (1977-), 男, 博士; 杨凤林 (1944-), 男, 教授, 博士生导师.

1.2 实验用水

实验用水为人工配制模拟生活污水,采用蔗

糖作为碳源,并投加适量氮、磷,具体配制水的水质见表 1.

表 1 进水水质

Tab. 1 Influent water quality

$\theta / ^\circ\text{C}$	$d_{\text{COD}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$d_{\text{TOC}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$d_{\text{BOD}_5} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$d_{\text{NH}_4\text{-N}} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	pH
23	400~ 700	170~ 300	220~ 270	20~ 40	7.5

1.3 实验条件与运行参数

反应器启动阶段的接种活性污泥采自大连春柳污水处理厂,运行过程中不排泥. 无纺布生物反应器中用无纺布代替传统的中空纤维膜作为过滤介质;实验中考查了过滤孔径分别为 $3\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 的无纺布-膜生物反应器的水处理效果,表面通量均设定为 $30\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, t_{HR} 为 6 h. 实验分为依靠重力自流连续出水 and 利用蠕动出水泵间歇出水两种运行方式,间歇出水通过时间继电器控制为抽吸出水 3 min,停止出水 3 min.

1.4 分析方法

溶解氧 DO pH 流量、MLSS 及 MLVSS; 进出水及上清液的 COD_5 、 $\text{NH}_4\text{-N}$; 出水悬浮物(滤纸法)的检测方法按照《水和废水监测分析方法》^[7] 进行, TOC 测定用岛津 TOC-V CPH 分析仪,对 EPS 进行抽测.

1.5 无纺布的清洗

用 0.3% 的 NaClO 作为清洗剂,将无纺布放在清洗剂中浸泡 12 h,考查其表面通量的恢复状况.

2 实验结果与讨论

2.1 重力自流连续出水结果与讨论

不同过滤孔径的无纺布表面通量 (q) 变化如图 2 所示. 实验证明,利用重力自流连续出水,无纺布流量衰减严重.

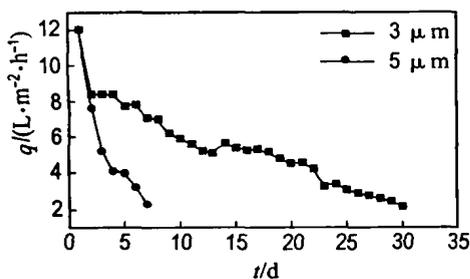


图 2 无纺布表面通量随运行时间的变化

Fig. 2 Flux on nonwovens vs. running time

2.2 蠕动泵抽吸间歇性出水结果与讨论

将过滤孔径分别为 $3\mu\text{m}$ 和 $5\mu\text{m}$ 的无纺布平板式过滤组件放在同一生物反应器内,在同一反应条件下考查其水处理效果.

2.2.1 有机碳的去除效果 COD 和 TOC BOD₅ 去除效果见图 3~ 5. 系统对 TOC COD 的去除呈现稳步上升的趋势,最终保持稳定,分析原因是反应器启动初期,微生物尚未充分生长,导致处理性能并不稳定,这些可以从反应器内上清液的 COD TOC 去除效果得到验证;无纺布对有机物的截留作用弥补了生物反应器处理性能的不稳定,使反应器的最终出水保持在一个稳定的水平. 无纺布-膜生物反应器平均出水 $d_{\text{COD}} < 20\text{mg/L}$, $d_{\text{TOC}} < 5\text{mg/L}$, $d_{\text{BOD}_5} < 10\text{mg/L}$.

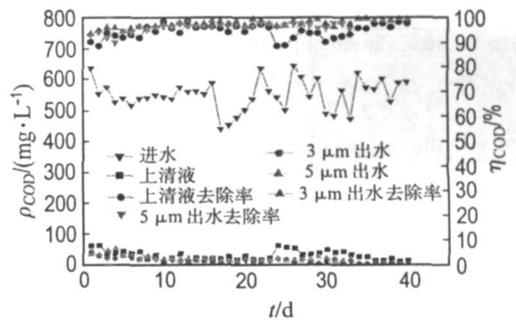


图 3 COD 去除效果

Fig. 3 Removal efficiency of COD

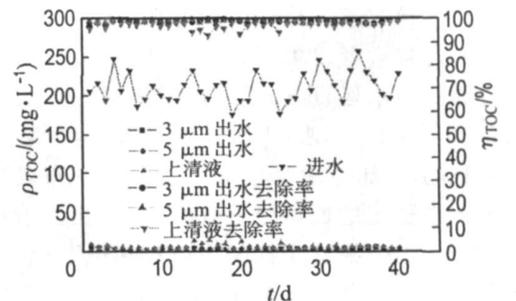


图 4 TOC 去除效果

Fig. 4 Removal efficiency of TOC

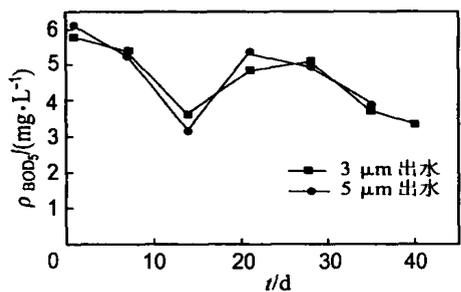


图 5 BOD₅ 去除效果

Fig. 5 Removal efficiency of BOD₅

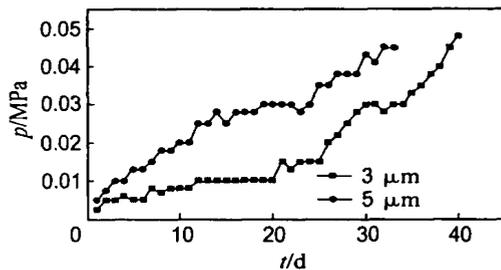


图 7 膜压随运行时间的变化

Fig. 7 Vacuumeter readings vs. running time

2.2.2 氨氮的去除效果 从图 6 可以看出,系统对氨氮的去除效果较好,运行中期去除效果较差,主要因为人工配制的原水时间较长,发生酸化,进水 pH 下降到 4.5 左右,抑制了硝化作用的进行. 实验证明,进水 pH 在 7.5 左右,氨氮的去除效果非常好.

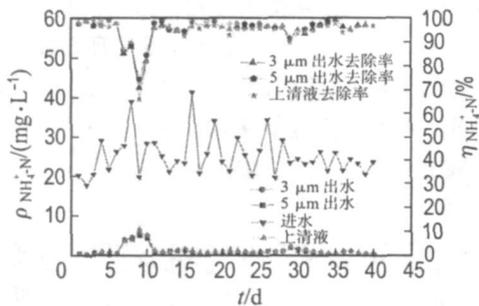


图 6 氨氮去除效果

Fig. 6 Removal efficiency of NH₄-N

2.2.3 出水悬浮物 无纺布-生物反应器出水透明,无色无异味,用中速定量滤纸对出水进行过滤,未检测到悬浮物. 这充分说明了无纺布对悬浮物的高效截留作用.

2.3 无纺布表面污染及清洗

2.3.1 无纺布表面污染情况 膜污染是限制 MBR 大规模推广应用的主要因素^[8-11]. 膜污染的加剧会导致膜过滤阻力的增大,从而引起出水流量的衰减或者出水压力的上升,本实验采取恒流过滤的出水运行方式,所以膜压的上升说明了无纺布污染的加剧. 由图 7 可以看出,从系统运行之日起,膜压不断地升高,说明在无纺布表面形成了比较稳定的滤饼层;同时可以看出,5 μm 的无纺布-膜生物反应器的无纺布污染要比 3 μm 无纺布-膜生物反应器的严重. 通过电镜照片的直观比较也证实了这一点(图 8~11).

MBR 中胞外聚合物 (EPS) 会引起混合液黏度和过滤阻力的增加;随着 EPS 的增加,膜污染速度加快, EPS 会引发严重的膜表面生物污染^[12-13]. 本实验运行过程中 EPS 含量呈现了不断上升的趋势,变化如图 12 所示,结合 EPS 的不断上升和无纺布-膜生物反应器出水膜压的不断升高的情况,表明了混合液 EPS 是造成无纺布污染的主要因素.

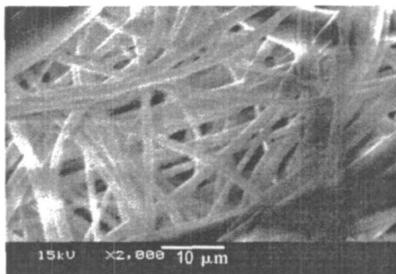


图 8 3 μm 无纺布表面(新)扫描电镜照片

Fig. 8 SEM photograph of new nonwovens surface (3 μm)

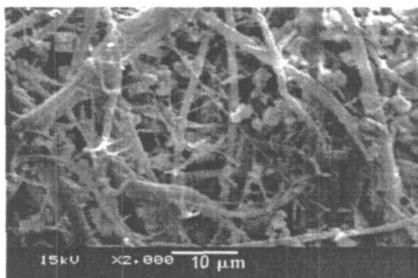


图 9 3 μm 无纺布污染后表面电镜照片

Fig. 9 SEM photograph of polluted nonwovens surface (3 μm)

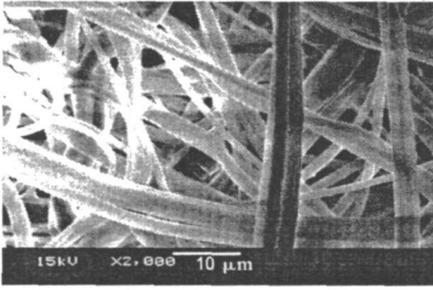


图 10 5 μ m 无纺布表面(新)扫描电镜照片
Fig. 10 SEM photograph of new nonwovens surface (5 μ m)

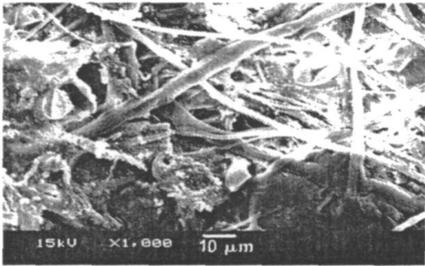


图 11 5 μ m 无纺布污染后表面电镜照片
Fig. 11 SEM photograph of polluted nonwovens surface (5 μ m)

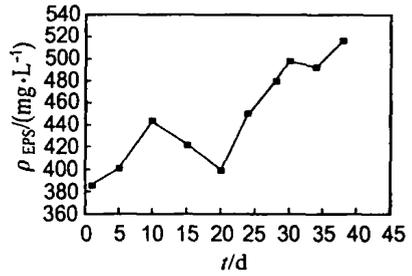


图 12 污泥混合液 EPS 含量随运行时间的变化
Fig. 12 EPS concentration in sludge mixed liquid vs. running time

2.3.2 无纺布表面的清洗 对污染后的无纺布表面用清水进行冲洗,考查其表面通量的恢复情况. 用 0.3% 的 NaClO 对无纺布过滤组件浸泡 12 h,考查其表面通量的恢复情况. 两者的清洗效果比较见表 2.

由此可见,0.3% 的 NaClO 对无纺布的清洗效果要优于清水的清洗效果. 无纺布-膜生物反应器长时间运行后,无纺布发生污染,通过化学方法清洗可以使表面通量得到有效的恢复.

表 2 清洗效果比较

Tab. 2 Comparison of cleaning effect

过滤孔径	$q / (\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$			恢复情况	
	未污染无纺布	清水清洗后	0.3% NaClO 浸泡后	清水	NaClO
3 μ m	48	29	45	5%	93%
5 μ m	57	27	55	47%	97%

2.4 生物反应器内活性污泥浓度

图 13 表示无纺布-膜生物反应器内活性污泥浓度变化情况,由于无纺布的截留作用,随着运行时间的增加,MLSS 和 MLVSS 都随之增加,表明

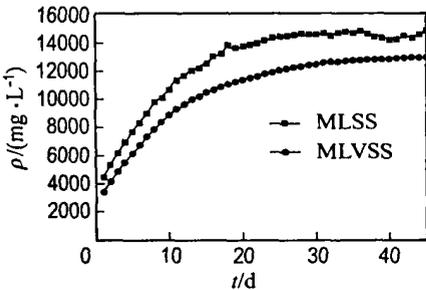


图 13 活性污泥浓度随运行时间的变化
Fig. 13 Concentration of activated sludge vs. running time

处理有机物的同时,反应器内生物量是增加的. 在无纺布生物反应器内高污泥浓度的富集是无纺布生物反应器处理水质良好的重要原因.

2.5 技术经济分析

本实验每天处理 108 L 水,如果运用传统的 MBR 间歇运行(9:3),通量为 15 L/(m²·h),需要中空纤维膜的过滤面积为 0.4 m²,中空纤维膜(进口)使用寿命为 5 a,无纺布-膜生物反应器在目前的操作条件下为 0.5~1 a. 无纺布-膜生物反应器的整体造价仅为传统 MBR 造价的 1/10 左右.

3 结 论

(1) 3 μ m 无纺布-膜生物反应器和 5 μ m 无纺布-膜生物反应器出水水质优良,出水 COD 与

TOC BOD₅ 平均去除率都在 95% 以上,出水 $d_{\text{COD}} < 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $d_{\text{TOC}} < 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $d_{\text{BOD}_5} < 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $d_{\text{NH}_4\text{-N}} < 2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

(2) $5 \mu\text{m}$ 无纺布-膜生物反应器的无纺布污染情况要比 $3 \mu\text{m}$ 无纺布-膜生物反应器严重.

(3) 实验中所用无纺布价格低廉, 6.5 元 / m^2 的价格与中空纤维膜 500 元 / m^2 的价格相去甚远, 从而可大幅度降低造价.

参考文献:

- [1] 何毅, 胡永红, 柴本忠, 等. 膜生物反应器废水处理组合工艺的研究进展 [J]. 工业水处理, 2001, 21(7): 4-8
- [2] 彭跃莲, 刘忠洲. 膜生物反应器在废水处理中的应用 [J]. 水处理技术, 1999, 25(2): 63-70
- [3] 郑祥, 朱小龙, 张绍园, 等. 膜生物反应器在水处理中的应用研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(5): 12-21
- [4] 罗虹, 顾平, 杨造燕. 膜生物反应器内泥水混合液可过滤性的研究 [J]. 城市环境与城市生态, 2000, 13(1): 51-55
- [5] 郭秉臣, 王瑞, 张建鹏. 无纺布液体过滤材料 [J]. 无纺布, 1994(3): 21-24
- [6] 张家祥. 无纺布在液固分离介质中的作用 [J]. 产业

- 用纺织品, 2000(5): 9-12
- [7] 国家环保局. 水和废水监测分析方法: 3 版 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989
- [8] BELFORT G, DAVIS R H, ZYDNEY A L. The behavior of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration [J]. *J Membrane Sci*, 1994, 96: 1-58
- [9] CHERYAN M. *Ultrafiltration Handbook* [M]. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., 1996
- [10] ZEMAN L J, ZYDNEY A L. *Microfiltration and Ultrafiltration* [M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996
- [11] TARLETON E S, WAKEMAN R J. Understanding flux decline in crossflow microfiltration: Part I-Effects of particle and pore size [J]. *Trans Inst Chem Eng*, 1993, 71: 399-410
- [12] NAGAOKA H, YAMANISHI S, MIYA A. Modeling of biofouling by extracellular polymers in a membrane separation activated sludge system [J]. *Wat Sci Tech*, 1999, 39(7): 211-218
- [13] CHO B D, FANE A G. Fouling transients in nominally sub-critical flux operation of a membrane bioreactor [J]. *J Membrane Sci*, 2002, 209(2): 391-403

Nonwovens-member bioreactor in application of domestic wastewater treatment

MENG Zhi guo*, YANG Feng lin, ZHANG Xing wen

(School of Environ. and Biol. Sci. and Technol., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China)

Abstract The experiments of synthetic domestic wastewater treatment on a submerged membrane bioreactor fitted with nonwovens as filtration material were carried out. The performance of synthetic domestic wastewater treatment was evaluated in the nonwovens-member bioreactor with different pore diameter ($3 \mu\text{m}$ and $5 \mu\text{m}$) nonwovens as filtration material in the same reaction condition. The results of the experiments show that the effluent quality can arrive at the following levels $d_{\text{COD}} < 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $d_{\text{TOC}} < 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $d_{\text{BOD}_5} < 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $d_{\text{NH}_4\text{-N}} < 2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and $3 \mu\text{m}$ nonwovens-member bioreactor exhibits greater anti-fouling advantage than $5 \mu\text{m}$ nonwovens-member bioreactor.

Key words member bioreactor; nonwovens; domestic wastewater