

# Effect of Suspended Carriers on Extracellular Polymeric Substances in MBR

Chunhua Zhang, Chuanjun Yuan, Hongjie Sun

Environment Science and Engineering Department of Dalian Nationality University, Dalian, China  
Email: zhangchunhua@dlnu.edu.cn, ycj@dlnu.edu.cn, shj@dlnu.edu.cn

Received 2013

**Abstract:** Suspended carriers were added into a submerged membrane bioreactor (SMBR) using polypropylene non-woven fabric (PP NWF) as membrane model to treat synthetic wastewater. The changes of  $EPS_S$ ,  $EPS_B$  and EPS in activated sludge mixing liquid of MBR and in sludge on membrane model surface were researched at different aeration rate. The results showed that adding suspended carriers in MBR can increase the concentration of  $EPS_S$  and  $EPS_B$  in activated sludge mixing liquid, but the effect on  $EPS_S$  and  $EPS_B$  in the sludge on membrane model surface is related to aeration rate. Adding suspended carriers can increase the concentration of  $EPS_S$  and  $EPS_B$  in the sludge on membrane model surface at  $0.10\text{ m}^3/\text{h}$  of aeration rate; the concentration of  $EPS_S$  and  $EPS_B$  in the sludge with suspended carriers is reduced when aeration rate is increased to  $0.25\text{ m}^3/\text{h}$ . The study on the effect of aeration rate on EPS in sludge mixing liquid of MBR and in sludge on membrane model surface showed that an optimized aeration rate exists if suspended carriers are added to control MBR membrane fouling. At the optimized aeration rate, membrane fouling can be mitigated and controlled effectively.

**Keywords:** Suspended Carrier; Aeration Rate; EPS

## 悬浮填料对 MBR 中胞外聚合物的影响

仇春华, 袁传军, 孙红杰

大连民族学院环境科学与工程系, 大连, 中国, 116600  
Email: zhangchunhua@dlnu.edu.cn, ycj@dlnu.edu.cn, shj@dlnu.edu.cn

收稿日期: 2013

**摘要:** 以聚丙烯无纺布为膜组件, 向浸渍式膜生物反应器中投加悬浮填料处理人工废水。考察不同曝气量下 MBR 中污泥混合液以及膜组件表面污泥  $EPS_S$ 、 $EPS_B$  和 EPS 的变化。结果表明, MBR 中添加悬浮填料能增加污泥混合液中  $EPS_S$  和  $EPS_B$  的浓度, 而对膜组件表面污泥中  $EPS_S$  和  $EPS_B$  影响, 与曝气强度有关。在曝气量为  $0.10\text{ m}^3/\text{h}$  时, 添加悬浮填料能增加污泥中的  $EPS_S$  和  $EPS_B$  的浓度, 当曝气量增大到  $0.25\text{ m}^3/\text{h}$  时, 添加悬浮填料的污泥中的  $EPS_S$  和  $EPS_B$  的浓度有所降低。曝气量对 MBR 污泥混合液及膜组件表面污泥 EPS 影响的研究结果表明, 采用添加悬浮填料控制 MBR 膜污染时存在一个优化的曝气量, 在此曝气量下, 能实现有效地延缓和控制膜污染。

**关键词:** 悬浮填料; 曝气量; EPS

### 1. 引言

膜生物反应器 (membrane bioreactor, MBR) 是实

现污水再生回用和废水资源化的一项具有竞争力的新技术, 膜污染是影响 MBR 长期稳定运行的关键因素。MBR 的膜污染物质主要来源于污泥混合液中的悬浮固体和上清液。其中悬浮固体和溶解性有机物是

资助信息: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号 DC110101)

形成膜污染的主要因素<sup>[1]</sup>。有文献报道, 悬浮固体、胶体和溶解性大分子有机物对膜污染阻力的贡献分别为 65%、30% 和 5%<sup>[2,3]</sup>。减少悬浮固体在膜表面沉积, 是减缓和控制膜污染的有效方法之一。目前, 减少和防止膜表面污泥沉积的主要方法是改善 MBR 中污泥混合液的水力条件, 例如增强曝气强度<sup>[4,5]</sup>, 在气液两项中, 上升气流会形成很强的剪切力, 冲刷膜表面, 减少和防止污泥的沉积。但是提高曝气强度会增加运行成本, 过多的供氧也不利于 MBR 工艺的反硝化脱氮<sup>[6]</sup>。添加悬浮填料以减少污泥的沉积是一个值得研究的方法, 作者曾报道过悬浮填料对 MBR 的影响, 在增加膜通量的同时增大了跨膜压力和出水浊度<sup>[7]</sup>。

资助信息: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号 DC110101)

胞外聚合(extra-cellular polymeric substances, EPS)是微生物在一定条件下产生的高分子物质, 是除细胞和水分外的第 3 大类活性污泥组成物质<sup>[8]</sup>。有研究证明 EPS 也是一种优势膜污染物<sup>[9]</sup>。Rosenberger 等<sup>[10]</sup>将 EPS 分为两部分: 溶解性 EPS (soluble EPS, EPS<sub>S</sub>) 和固着性 EPS (bound EPS, EPS<sub>B</sub>)。本文研究了 MBR 中添加悬浮填料后, 其污泥混合液以及膜组件表面污泥的 EPS 变化情况, 以说明悬浮填料在控制悬浮固体膜污染的同时对 EPS 的影响, 为延缓和控制 MBR 膜污染提供切实可行的方法和理论依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 实验材料

悬浮填料如图 1, 材质为 polyurethane, 15 mm × 12 mm × 12 mm。实验用水为人工废水, COD<sub>Cr</sub> 值为 500~600 mg/L。



Figure 1. Image of suspended carriers  
图 1. 悬浮填料

### 2.2 实验方法

实验装置如图 2 所示。MBR-A 和 MBR-B 的有效容积为 5 L, 膜组件为公称孔径 1 μm 的聚丙烯无纺布, 有效过滤面积 0.03 m<sup>2</sup>。按照填料与反应器中混合液的体积比为 1 : 5, 向 MBR-A 中添加悬浮填料, MBR-B 为对照组。运行方式为间歇式: 6 min 运行, 2 min 停止。实验运行的曝气量分别为 0.10 m<sup>3</sup>/h 和 0.25 m<sup>3</sup>/h, 每个曝气量下运行 2 周。分析 MBR 中污泥混合液以及膜组件表面污泥的 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub>。

### 2.3 分析方法

EPS 提取采用阳离子树脂法<sup>[11]</sup>, 用多糖和蛋白质的数量和表示 EPS 总量。蛋白质测定采用考马斯亮蓝法<sup>[12]</sup>, 多糖采用苯酚-硫酸比色法<sup>[11]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 污泥混合液 EPSS 和 EPSB

曝气量为 0.10 m<sup>3</sup>/h 和 0.25 m<sup>3</sup>/h 时, MBR 中污泥混合液的 EPS<sub>S</sub>、EPS<sub>B</sub> 的变化如图 3、图 4 所示。

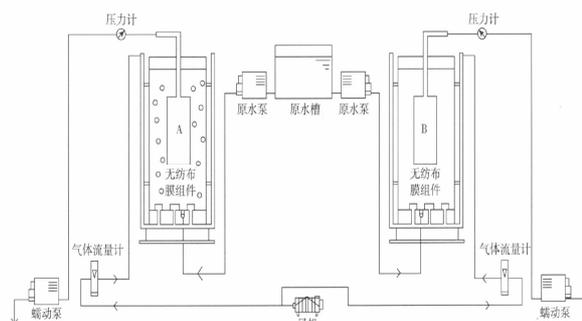


Figure 2. Schematic diagram of the experimental set up  
图 2. 实验装置图

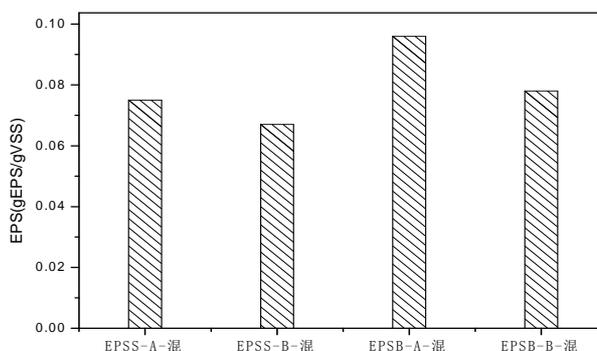


Figure 3. Aeration rate at 0.10 m<sup>3</sup>/h  
图 3. 曝气强度 0.10 m<sup>3</sup>/h

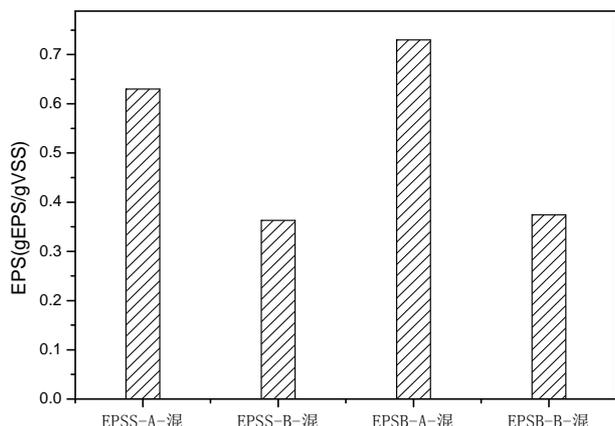


Figure 4. Aeration rate at 0.25 m<sup>3</sup>/h  
图 4. 曝气强度 0.25 m<sup>3</sup>/h

从图中可以看出，两个曝气量下，MBR-A 中污泥混合液的 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 均高于 MBR-B。说明填料对 MBR 中污泥混合液的 EPS 有一定影响。EPS 具有重要的生理功能，细胞通过 EPS 进行物质和能量的传递，EPS 在细胞外部形成保护层以抵制外界环境的压力<sup>[13]</sup>。在曝气条件下，MBR-A 中的悬浮填料在局部范围内不停扰动，增大了污泥混合液的紊动性，并且悬浮填料对膜表面也有一定的碰撞摩擦作用，有效减少了悬浮颗粒在膜表面的沉积，缓解了滤饼层的形成，但同时污泥絮体有一定的破坏作用。从微观上看，曝气带动悬浮填料产生的流化作用，对污泥混合液中微生物细胞有一定的损伤，会刺激细胞分泌更多的 EPS 在细胞外部形成保护层。悬浮填料在控制悬浮固体膜污染阻力的同时也增加了污泥混合液中 EPS 的浓度。

### 3.2 膜组件表面污泥 EPSS 和 EPSB

曝气量为 0.10 m<sup>3</sup>/h 和 0.25 m<sup>3</sup>/h 时，膜组件表面污泥的 EPS<sub>S</sub>、EPS<sub>B</sub> 的变化如图 5、图 6 所示。

在曝气量为 0.10 m<sup>3</sup>/h 时，MBR-A 中膜组件表面污泥的 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 均高于 MBR-B；在 0.25 m<sup>3</sup>/h 时 MBR-B 膜组件表面污泥的 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 均高于 MBR-A 中膜组件。DO 使得微生物能够进行正常的代谢活动，DO 不同微生物生活状态不同，分泌的 EPS 产量和成分不同。在低曝气量时，DO 浓度对污泥 EPS 的影响小于悬浮填料流化对污泥絮体的影响。随着曝气量的增加，DO 浓度增大，对污泥 EPS 的影响也逐渐增强。李延军等<sup>[14]</sup>通过对好氧颗粒污泥中 EPS 在污

泥中的分布发现，随 DO 的升高，污泥中多糖、蛋白质及 EPS 总量缓慢增加。由于没有悬浮固体流化的影响，MBR-B 中的活性污泥的代谢活动要好于 MBR-A，较快的底物消耗易造成营养缺乏而使微生物进入内源呼吸，导致分泌的 EPS 增多。污泥中 EPS 的增加会使得活性污泥颗粒以及其他污染物更容易在膜表面沉积并形成紧密的滤饼层<sup>[15]</sup>，恶化膜过滤性能，加速膜污染。

### 3.3 曝气量与 EPS

曝气量为 0.10 m<sup>3</sup>/h 和 0.25 m<sup>3</sup>/h 时，MBR 中污泥混合液以及膜组件表面污泥的 EPS(EPS<sub>S</sub> 与 EPS<sub>B</sub> 和)的变化如图 7、图 8 所示。

对于 MBR-A 及 MBR-B 的污泥混合液来说，随着曝气量的增加 EPS 增大。但是在曝气量为 0.10 m<sup>3</sup>/h 时，两者污泥混合液的 EPS 没有明显的差异，当曝气量增加到 0.25 m<sup>3</sup>/h 时，MBR-A 中污泥混合液的 EPS 明显高于 MBR-B，说明曝气量增大会导致 MBR 中污

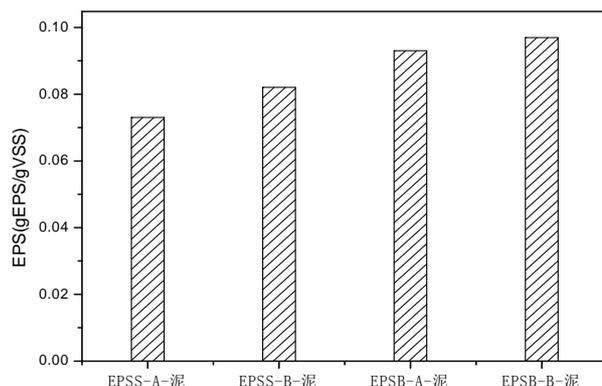


Figure 5. Aeration rate at 0.10 m<sup>3</sup>/h  
图 5. 曝气强度 0.10 m<sup>3</sup>/h

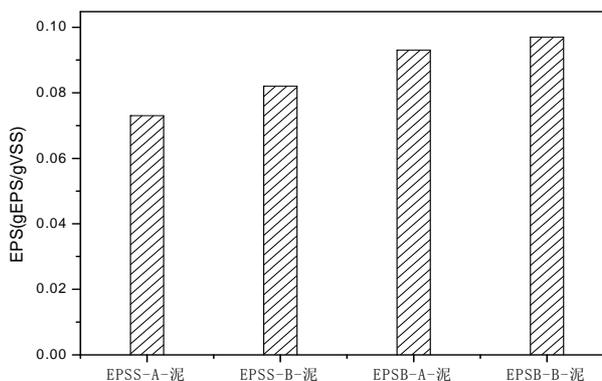


Figure 6. Aeration rate at 0.25 m<sup>3</sup>/h  
图 6. 曝气强度 0.25 m<sup>3</sup>/h

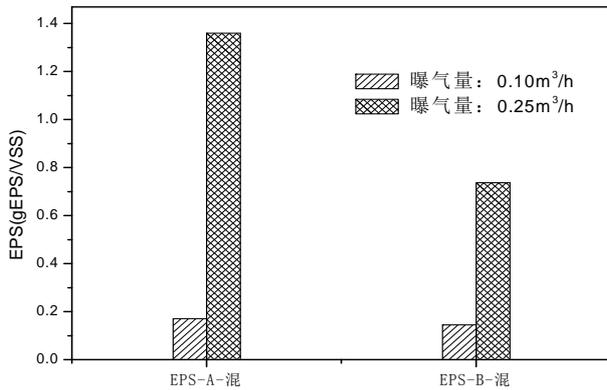


Figure 7. EPS in sludge mixing liquid  
图 7. 污泥混合液中的 EPS

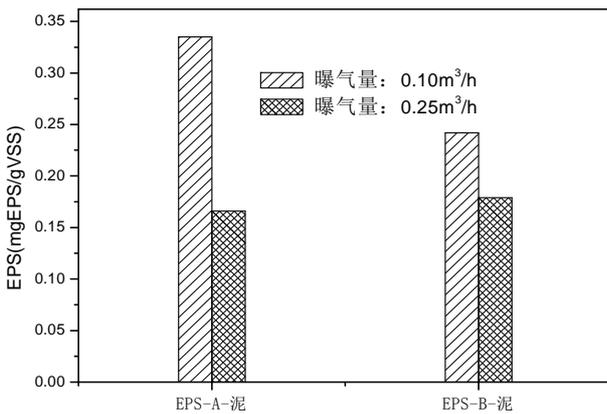


Figure 8. EPS in sludge on membrane model surface  
图 8. 膜组件表面污泥中的 EPS

泥混合液的 EPS 增大, 特别是在添加悬浮填料时, 对延缓和控制膜污染不利。从膜组件表面污泥的 EPS 变化来看, 增加曝气量, MBR-A 及 MBR-B 污泥中的 EPS 均减少, 并且 MBR-A 的 EPS 的降低幅度略大于对照组。说明增加曝气强度能降低膜组件表面污泥的 EPS 浓度, 有利于延缓和控制膜污染。上述实验结果说明采用添加悬浮填料控制 MBR 膜污染时存在一个优化的曝气量, 在此曝气量下, 能实现有效的延缓和控制膜污染。

#### 4 结论

MBR 中添加悬浮填料能增加污泥混合液中 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 的浓度, 而对膜组件表面污泥中 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 影响, 与曝气量有关。在曝气量为 0.10 m<sup>3</sup>/h 时, 添加悬浮填料能增加膜组件表面污泥中的 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 的

浓度, 当曝气量增大到 0.25 m<sup>3</sup>/h 时, 添加悬浮填料的膜组件表面污泥中的 EPS<sub>S</sub> 和 EPS<sub>B</sub> 的浓度有所降低。曝气量对 MBR 中污泥混合液及膜组件表面污泥 EPS 的影响表明, 采用添加悬浮填料控制 MBR 膜污染时存在一个优化的曝气量, 在此曝气量下, 能实现有效的延缓和控制膜污染。

#### 参考文献 (References)

- [1] J. L. Wu, X. Huang. Effect of dosing polymeric ferric sulfate on fouling characteristics, mixed liquor properties and performance in a long-term running membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology*, 2008, 63(1): 45-52.
- [2] L. Defrance, M. Y. Jaffrin, B. Gupta, *et al.* Contribution of various constituents of activated sludge to membrane bioreactor fouling. *Bioresource Technology*, 2000, 73(2): 105-112.
- [3] W. Lee, S. Kang, H. Shin. Sludge characteristics and their contribution to microfiltration in submerged membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, 2003, 216 (1-2): 217-227.
- [4] S. P. Hong, T. H. Bae, T. M. Tka, *et al.* Fouling control in activated sludge submerged hollow fiber membrane bioreactors. *Desalination*, 2002, 143(3): 219-228.
- [5] H. C. Chua, T. C. Arnot, J. A. Howell. Controlling fouling in membrane bioreactors operated with a variable throughput. *Desalination*, 2002, 149(1-3): 225-229.
- [6] Y. SAKAI, T. KOMATSU, S. HIMENO, *et al.* Influence of cayier addition and aeration strength in MBR by a long-term raw sewage treatment. *Proceedings of Japan Society of Civil Engineers*, 2008, 64(2): 160-167(Jp). 酒井阳介,小松俊哉,姬野修司,等. MBR による実下水の長期連続処理における担体投入および曝気強度の影響[G]. 土木学会論文集, 2008, 64(2): 160-167.
- [7] 仇春华, 胡冰, 安晓雯. 多孔悬浮填料对 SMBR 性能的影响[J]. 大连民族学院学报, 2011, 12(1): 6-8.
- [8] V. Urbain, J. C. Block, J. Manem. Biofloculation in activated sludge: an analytical approach. *Water Research*, 1993, 27(5): 829- 838.
- [9] W. Lee, S. Lang, H. Shin. Sludge characteristics and their contribution to microfiltration in submerged membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, 2003, 216(1-2): 217-227.
- [10] S. Rosenberger, M. Kraume. Filterability of act ivated sludge in membrane bioreactors, *Desalination*, 2003, 151(2): 195-200.
- [11] B. Frolund, R. Palmgren, K. Keiding, *et al.* Extraction of extracellular polymeric substance from activated sludge using a cation exchange resin, *Water Research*, 1996, 30(8):1749-1758.
- [12] 余瑞元, 袁明秀, 陈丽蓉, 等. 生物化学实验原理与方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [13] 李绍峰, 崔崇威, 黄君礼. 胞外聚合物 EPS 对 MBR 膜污染的影响[J]. 哈尔滨工业大学报, 2007, 39(2): 266-269.
- [14] 李延军, 李秀芬, 华兆哲, 等. 好氧颗粒污泥胞外聚合物的产生及其分布[J]. 环境化学, 2006, 25( 4): 439- 443.
- [15] H. Nagaoka, S. Ueda, A. Miya. Influence of bacterial extracellular polymers on the membrane separation activated sludge process. *Water Science and Technology*, 1996, 34(9): 165-172.