

逆出水方向曝气反冲洗在动态膜生物反应器中的应用

张建, 邱宪锋, 高宝玉, 张成禄, 刘冬梅, 靖玉明

(山东大学环境科学与工程学院, 济南 250100)

摘要:采用逆出水方向曝气措施对以无纺布构建的动态膜生物反应器生活污水处理系统中的动态膜进行在线反冲洗. 当反冲洗曝气强度为 $5.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、反冲洗时间为 5 min 时, 生物动态膜的恢复需要 45 min, 生物动态膜恢复后出水浊度保持在 5 NTU 以下. 在该反冲洗条件下, 反应器稳定运行 2 个月, 反冲洗周期可以稳定在 15 h 左右. 扫描电镜观察表明, 逆出水方向曝气反冲洗能够有效破坏附着在膜基材上的生物动态膜. 生物动态膜截留能力研究表明, 新的生物动态膜形成后, 反应器对相对分子质量 3×10^4 以上的有机物的截留率大于 50%. 逆出水方向曝气是一种经济有效的动态膜反应器在线清洗方法.

关键词:在线反冲洗; 逆出水方向; 动态膜; 膜生物反应器

中图分类号: X703.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)06-1241-04

Online Aeration Backwashing in the Inverse Direction of Effluent Applied in Dynamic Membrane Bio-reactor

ZHANG Jian, QIU Xian-feng, GAO Bao-yu, ZHANG Cheng-lu, LIU Dong-mei, JING Yu-ming

(School of Environmental Science and Technology, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract: Aeration in the inverse direction of effluent was applied as the measure of online backwashing to control membrane pollution in the dynamic membrane bio-reactor treating sewage wastewater. When the intensity of aeration was $5.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ and the aeration time was 5 min, it took 45 min for the dynamic membrane to recover filtration capacity. With the recovery of dynamic membrane filterability, effluent turbidity was below 5 NTU. The backwashing interval of the reactor could maintain about 15 h. SEM pictures showed that online aeration backwashing in the inverse direction of effluent could efficiently destroy part of dynamic membrane layer. After the dynamic membrane recovery, dynamic membrane could check more than 50% TOC of various molecule weights range $> 3 \times 10^4$. Aeration in the inverse direction of effluent was an economical and effective means of online backwashing in the dynamic membrane bio-reactor.

Key words: online backwashing; inverse direction of effluent; dynamic membrane; membrane bio-reactor

动态膜生物反应器以廉价的微网材料制成的膜组件代替膜生物反应器中造价昂贵的超滤膜组件, 利用微网材料上生物质层的截留作用实现膜过滤功能, 从而获得与膜生物反应器近似的处理效果, 由此可以大幅度降低膜组件造价和操作费用^[1~4].

Yoshiaki 等采用孔径为 0.1 mm 的尼龙筛网制作膜组件, 研究表明生物动态膜形成之后具有良好的过滤性能^[5,6]. 范彬等以 0.1 mm 孔径的筛绢为动态膜基材构建动态膜生物反应器处理实际城市污水, 利用底部曝气的方式进行反冲洗, 研究了恢复期水头对反应器运行的影响^[1,2,7]. 高松等研究了铁丝网对污泥的过滤性能, 并采用底部大气量曝气进行反冲洗, 反冲洗曝气强度为 $50 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ^[8,9]. 夏俊林构建了动态膜生物反应器中试系统处理生活污水并采用膜组件底部曝气的方式进行反冲洗, 反冲洗周期保持在 10 h 以上^[10]. Al-Malack 等采用离线机械清洗可以恢复 100% 的膜通量^[11].

底部曝气反冲洗操作所需的曝气强度大, 能耗高, 且不易有效破坏以无纺布为基材的生物动态膜;

机械清洗和化学清洗通常需离线进行, 且对动态膜的破坏彻底, 恢复期较长. 本试验以无纺布为基材构建动态膜生物反应器处理生活污水, 利用逆出水水流方向曝气的方式实现动态膜的在线反冲洗, 并对其反冲洗特性进行了研究.

1 材料与方法

1.1 试验装置

动态膜生物反应器如图 1 所示, 其主体由有机玻璃加工而成, 反应器长、宽、高分别为 30 cm、25 cm、50 cm, 中间用挡板一分为二. 利用曝气泵在左侧进行曝气, 起到向混合液供氧和推动混合液在反应器内形成环流的作用. 动态膜组件由 PVC 板、铁丝网和无纺布自制而成, 类似于板式膜. 反应器中装有 2 个膜组件, 每个膜组件的有效过滤面积为 0.12

收稿日期: 2006-06-26; 修订日期: 2006-08-09

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目 (2004BS08009)

作者简介: 张建(1976~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: zhangjian00@sdu.edu.cn

m². 反应器出水口设置在反应器底部, 利用反应器内水面与出水管之间的水头差自流出水. 当需要反冲洗时, 关闭阀门 1, 开启阀门 2, 通入空气即可实现逆出水方向曝气在线反冲洗.

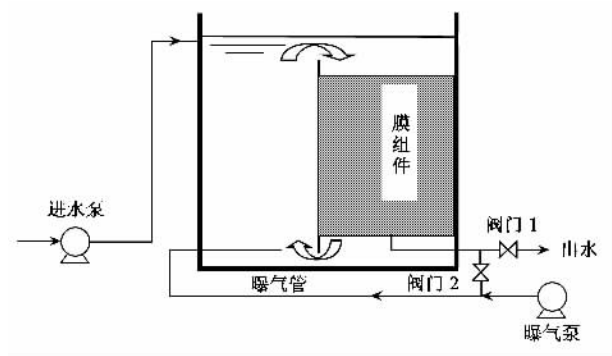


图 1 动态膜生物反应器示意
Fig.1 Schematic diagram of DMBR equipment

反应器进水为山东大学环境学院的化粪池出水, 其水质如表 1 所示. 反应器内的污泥浓度为 8 000 mg/L. 试验过程中, 水力停留时间为 6 h, 膜通量为 21 L/(m²·h).

表 1 原水水质/mg·L ⁻¹ Table 1 Concentration of pollutants in wastewater/mg·L ⁻¹			
COD	氨氮	总氮	pH
90 ~ 157	27 ~ 49	40 ~ 62	6.8 ~ 7.8

1.2 监测项目与方法

试验过程中浊度采用 HACH 2100P 便携式浊度仪测定, COD、氨氮和总氮的测定分别采用重铬酸钾法、纳氏试剂光度法和碱性过硫酸钾法^[12]. 反应器上清液的制备参照文献^[13]. 上清液和反应器出水中有机物分子量分布的测定参照文献^[14], 所用切割相对分子质量的超滤膜为 OMEGACELL 膜(切割相对分子质量分别为1 000、30 000和100 000).

生物动态膜对某分子量范围的有机物截留率计算公式为:

$$\text{生物动态膜的截留率} = \frac{c_0 - c_1}{c_0} \times 100\%$$

式中: c_0 为上清液中该分子量范围内有机物的 TOC; c_1 为反应器出水中该分子量范围内有机物的 TOC.

应用扫描电镜(Hitachi S-570)观察膜基材表面的形态, 扫描电镜实验的前处理方法参照文献^[12].

2 结果与讨论

2.1 反冲洗操作对生物动态膜恢复时间的影响

随着过滤的进行, 反应器中微生物代谢产物在基材上累积, 基材上的动态膜逐渐增厚, 造成了过滤阻力的增加, 出水水头随之上升, 当水头上升到最高控制液位时, 需要对生物动态膜进行反冲.

2.1.1 曝气强度的影响

逆出水方向曝气反冲洗时间为 5 min 的条件下, 不同曝气强度对生物动态膜恢复时间的影响如图 2 所示.

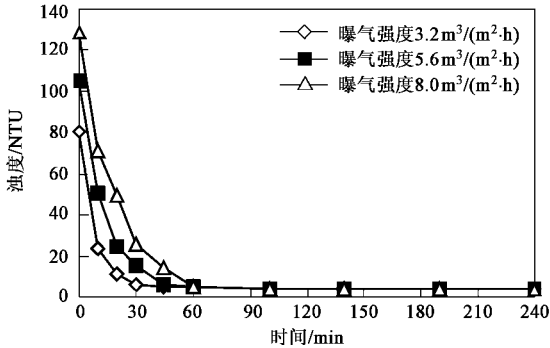


图 2 曝气强度对生物动态膜恢复时间的影响
Fig.2 Influence of aeration intensity on dynamic membrane recovery

由图 2 可以看出, 反冲洗之后生物动态膜出水浊度高达 80 NTU 以上, 随着过滤的进行, 浊度逐渐下降, 最终能够达到 5 NTU 左右, 趋于稳定, 生物动态膜得以恢复. 反冲洗曝气强度为 3.2 m³/(m²·h) 时, 生物动态膜需要 30 min 即可恢复; 反冲洗曝气强度为 5.6 m³/(m²·h) 时, 生物动态膜需要 45 min 能够恢复; 反冲洗曝气强度为 8.0 m³/(m²·h) 时, 生物动态膜需要 60 min 方能恢复. 这说明反冲洗曝气强度越大, 对生物动态膜的破坏越彻底. 生物动态膜恢复后, 反应器对 COD、氨氮和总氮的平均去除率分别为 78.4%、95.0% 和 40.0%.

综合考虑反冲洗后生物动态膜的迅速恢复和运行过程中膜污染的有效控制, 初步选定反冲洗曝气强度为 5.6 m³/(m²·h).

2.1.2 曝气时间的影响

在生物动态膜生物反应器稳定运行期间, 在反冲洗曝气强度为 5.6 m³/(m²·h) 的条件下, 不同反冲洗时间对生物动态膜恢复时间的影响如图 3 所示.

由图 3 可以看出, 反冲洗之后出水浊度高达 90 NTU 以上, 随着过滤的进行, 浊度逐渐下降, 最终能够达到 5 NTU 左右, 趋于稳定, 生物动态膜得以恢复. 反冲洗时间为 3 min 时, 生物动态膜需要 30 min 即可恢复; 反冲洗时间为 5 min 时, 生物动态膜需要 45 min 即可恢复; 反冲洗时间为 10 min 时, 生物动态

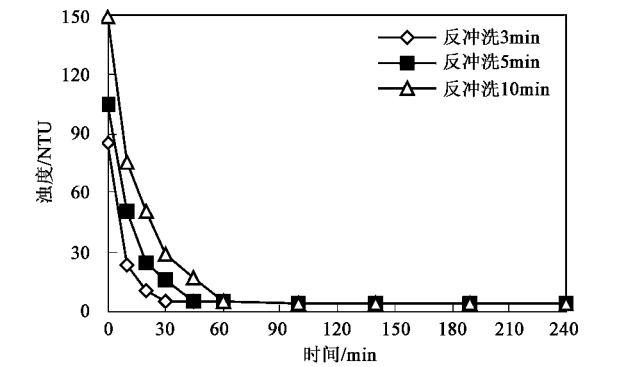


图3 反冲洗时间对生物动态膜恢复时间的影响

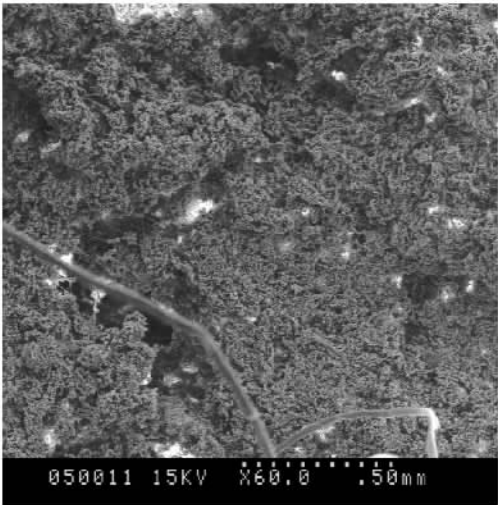
Fig.3 Influence of aeration time on dynamic membrane recovery

膜需要 60 min 方可恢复. 这说明反冲洗时间越长, 对生物动态膜的破坏越彻底. 生物动态膜恢复后, 反应器对 COD、氨氮和总氮的平均去除率分别为 78.4%、95.0%和 40.0% .

综合考虑生物动态膜的迅速恢复和运行过程中膜污染的有效控制, 选定反冲洗曝气时间为 5 min.

2.2 运行过程中反冲洗周期的变化

采用逆出水方向在线曝气的反冲洗方式, 反冲洗曝气强度为 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 曝气时间为 5 min, 反应器 MLSS 保持在 $8\,000\text{ mg/L}$ 左右, 膜通量保持在 $30\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 左右, 最大出水水头保持在 40 cm 左右, 反冲洗周期(第 n 个反冲洗周期是指第 $n-1$ 、 n 次反冲洗之间的时间间隔)和反冲洗次数的关系如图 4 所示.



反冲洗前 (放大60倍)

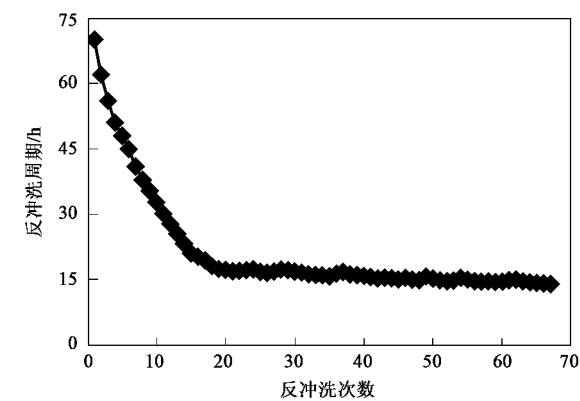


图4 反冲洗周期的变化

Fig.4 Changes of backwash interval

从图 4 可以看出, 反应器在 2 个月的运行过程中, 共反冲洗 67 次, 开始阶段反冲洗周期为 70 h 左右, 随着反应器的运行, 反冲洗频率逐渐增加, 反冲洗周期逐渐减小, 在运行后期反冲洗周期趋于稳定, 基本保持在 15 h 左右. 由此可见, 逆出水方向在线曝气反冲洗可以有效地破坏生物动态膜、控制膜污染, 相对于底部曝气反冲洗是一种经济有效地生物动态膜污染控制方式.

2.3 反冲洗前后生物动态膜结构的变化

在反冲洗曝气强度为 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、曝气时间为 5 min 条件下, 反冲洗前后膜基材表面的扫描电镜照片如图 5 所示.



反冲洗后 (放大60倍)

图5 反冲洗前后膜基材表面扫描电镜照片

Fig.5 SEM pictures of dynamic membrane

由图 5 可以看出, 反冲洗前膜基材表面覆盖着 1 层生物膜, 即生物动态膜, 反冲洗之后生物动态膜

基本被破坏掉, 只有少量附着牢固的污泥残留在膜基材上. 由此可见, 逆出水方向在线曝气反冲洗可以

有效地破坏生物动态膜,控制膜污染.

2.4 反冲洗对生物动态膜截留能力的影响

在反冲洗曝气强度为 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、曝气时间为 5 min 条件下,反应器运行过程中,第 55 反冲洗周期的周期长度为 15 h ,在该周期内生物动态膜对上清液不同分子量有机物的截留率随时间的变化关系如表 2 所示.

表 2 生物动态膜对不同分子量的有机物的截留率

时间/h	相对分子质量有机物的截流率/%			
	< 1 000	1 ~ 30 000	30 ~ 100 000	> 100 000
0	8.56	15.78	20.34	25.67
1	32.54	42.67	51.06	53.87
3	33.89	44.12	51.45	54.06
6	34.24	44.84	51.75	54.28
10	34.36	45.05	51.84	54.31
15	34.56	45.09	51.93	54.38

由表 2 可知,在第 55 周期开始时,生物动态膜对不同相对分子质量的有机物的截留率均很小, 1 h 之后截留率显著增加,之后对有机物的截留率缓慢上升.稳定运行之后,生物动态膜对相对分子质量小于 $1\,000$ 的有机物的截留率仅为 34% 左右,对相对分子质量大于 $30\,000$ 的有机物的截留率为 50% 以上.

3 结论

(1)逆出水方向在线曝气反冲洗的曝气强度和反冲洗时间都对生物动态膜的恢复有一定影响.当曝气强度为 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、反冲洗时间为 5 min 时,生物动态膜的恢复需要 45 min ,生物动态膜恢复后出水浊度保持在 5 NTU 以下.

(2)在曝气强度为 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,反冲洗时间为 5 min 的条件下,反应器稳定运行 2 个月,反应器的反冲洗周期可以稳定在 15 h 左右.逆出水方向曝气反冲洗能够有效控制膜污染,且能有效节省曝气反冲洗造成的能耗.

(3)新的生物动态膜形成后,反应器对相对分子质量 3×10^4 以上的有机物的截留率大于 50% .

参考文献:

[1] 范彬,黄霞,文湘华,等. 动态膜-生物反应器对城市污水的处理[J].环境科学,2002,23(6):51 ~ 56.

[2] Fan B, Huang X. Characteristics of a self-forming dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment[J]. Environmental Science Technology, 2002, 36(23): 5245 ~ 5251.

[3] Park M S, Yoshiaki Kiso, Jung Y J, *et al.* Sludge thickening performance of mesh filtration process [J]. Water Science and Technology, 2004, 50(8): 125 ~ 133.

[4] Wu Y, Huang X, Wen X, *et al.* Function of dynamic membrane in selfforming dynamic membrane coupled bioreactor [J]. Water Science and Technology, 2005, 51(6 ~ 7): 107 ~ 114.

[5] Yoshiaki K, Jung Y J, Ichinari T, *et al.* Wastewater treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a mesh as filter material[J]. Water Research, 2000, 34(17): 4143 ~ 4150.

[6] Wang Wen-hui, Jung Yong-Jun, Yoshiaki Kiso, *et al.* Excess sludge reduction performance of an aerobic SBR process equipped with a submerged mesh filter unit[J]. Process Biochemistry, 2006, 41(4): 745 ~ 751.

[7] 范彬,黄霞,栾兆坤. 出水水头对自生生物动态膜过滤性能的影响[J]. 环境科学,2003, 24(5): 65 ~ 69.

[8] 高松,周增炎,高廷耀. 自生生物动态膜在污泥截留中的应用研究[J]. 净水技术,2005, 24(1): 14 ~ 17.

[9] 高松. 动态膜生物反应器工艺研究[D]. 上海: 同济大学, 2005.

[10] 夏俊林. 自生态膜-生物反应器处理城市污水的中试研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2005.

[11] Al-Malak M H, Anderson G K. Cleaning techniques of dynamic membrane[J]. Separation and Purification Technology, 1997, 12: 25 ~ 33.

[12] 国家环保总局. 水和废水环境监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[13] 刘锐,黄霞,刘若鹏,等. 膜-生物反应器和传统活性污泥工艺的比较[J]. 环境科学,2001, 22(3): 20 ~ 24.

[14] 范彬,黄霞,文湘华,等. 微网生物动态膜过滤性能的研究 [J]. 环境科学,2003, 24(1): 91 ~ 97.