

膜面积负荷对气水交替 MBR 处理污水的影响

王宏杰,董文艺,李 继

(哈尔滨工业大学 深圳研究生院,深圳市水资源利用与环境污染控制重点实验室,

518055 广东 深圳, dwy1967@yahoo.com.cn)

摘 要: 为提高气水交替膜生物反应器的处理效率,充分利用膜组件,通过小试试验,考察膜面积负荷对该工艺处理模拟生活污水的影响.结果表明,在膜腔供氧压力不超过 200 kPa、原水碳氮比为 10 左右的条件下,AMBR 对 COD、 NH_4^+-N 和 TN 的最大膜面积去除负荷分别为 84.9、6.75 和 6.5 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.对于 AMBR 去除 COD,供氧速率是限制其去除效果的关键因素;供氧速率和硝化速率两者对 NH_4^+-N 的去除均有影响;而硝化速率是限制 TN 去除的关键因素.

关键词: 膜面积负荷;气水交替膜生物反应器;模拟生活污水

中图分类号: TU992.3

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)12-0082-04

Effect of membrane surface loading on wastewater treatment by a gas-water alternate membrane bioreactor

WANG Hong-jie, DONG Wen-yi, LI Ji

(Shenzhen Key Laboratory of Water Resource Application and Environmental Pollution Control, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, 518055 Shenzhen, Guangdong, China, dwy1967@yahoo.com.cn)

Abstract: To improve the treatment efficiency of a gas-water alternate membrane bioreactor (AMBR) and make full use of the membrane module, the efficiency of membrane surface loading on synthetic municipal wastewater treatment by the AMBR was investigated through a lab-scale experiment. The results showed that: the maximum COD, NH_4^+-N and TN removal load by AMBR were 84.9, 6.75 and 6.5 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ under the condition of intra-membrane oxygen pressure lower than 200 kPa and the C/N ratio of raw water was 10. The oxygen supply rate and nitrification rate were the main factors for COD and TN removal by AMBR separately, but both of the oxygen supply rate and nitrification rate influenced the NH_4^+-N removal.

Key words: membrane surface loading; gas-water alternate membrane bioreactor; synthetic municipal wastewater

气水交替膜生物反应器(gas-water alternate membrane bioreactor, AMBR)是将传统 MBR 和膜曝气生物反应器(membrane aeration bioreactor, MABR)相结合形成的一种新型反应器,该反应器采用两组膜组件,一组膜组件进行曝气时,另一组膜组件进行出水,运行一段时间后两组膜组件的

功能交替.该反应器同时具有传统 MBR 出水水质好、占地面积小、运行稳定和 MABR 同步除碳脱氮^[1-5]的优点.

常规污水处理工艺具有一定抗污染负荷能力,在原水水质波动的条件下,可通过改变曝气量等参数,达到稳定去除污染物的能力.AMBR 工艺采用膜曝气供氧,膜曝气供氧量的变化可通过膜腔内压力的改变而实现^[6-8].在进水污染物负荷改变时,需改变膜腔内压力来调整供氧能力,保证混合液的 DO 处于理想水平^[9],从而使 AMBR 具有较好的同步脱氮除碳效果.但负荷过高时,膜腔内

收稿日期: 2010-06-02.

基金项目: 十一五国家科技支撑计划项目(2006BAB17B04,06);
建设部研究开发项目(2008-k7-8);深圳市科技计划项目(SY200806260035A).

作者简介: 王宏杰(1983—),男,博士后;
董文艺(1967—),男,教授,博士生导师.

压力需达到很高程度才能保证供氧量,而过高的膜腔内压力将导致膜材料破损;同时,由于微生物降解速率的限制,即使保证了供氧量,当污染负荷过高时,污染物去除效果仍然有限.对于 AMBR 工艺,微生物大部分附着于膜丝表面,混合液污泥含量非常低^[9],该工艺的污染物去除主要通过膜丝表面的微生物降解实现.因此,为保证反应器的处理效果,需确定该工艺的最大膜面积污染物负荷.本文考察了膜面积污染物负荷对 AMBR 工艺处理模拟生活污水的影响.

1 试 验

1.1 试验装置及运行条件

试验装置如图 1 所示.AMBR 中两膜片进行交替运行,通过 PLC 和电磁阀进行控制.当电磁阀 9 开启时,电磁阀 8 也处于开启状态,膜片 4 用于曝气,膜片 5 用于出水;此时电磁阀 7 和 10 处于闭合状态.运行 3 h 后,电磁阀 8 和 9 自动关闭,而 7 和 10 处于开启状态,此时膜片 4 用于出水,而膜片 5 用于曝气.再次运行 3 h 后进行交替.气源为氧气瓶 15 提供的 99.9% 的纯氧,通过流量计 14 控制曝气量以改变反应器中的 DO 值.膜曝气过程中无肉眼可见的气泡产生,无法起到混合作用,因此,在反应器底部设置一水力循环泵 6,有利于原水和反应器内混合液混合均匀.试验所用膜材料为亲水性聚丙烯中空纤维膜(PP),膜孔径为 0.2 μm,膜面积为 0.1 m²/片.反应器的有效体积为 8 L,水力停留时间控制为 8 h.

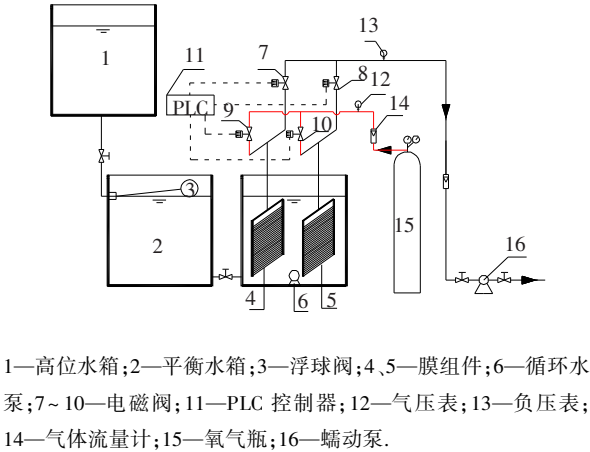


图 1 试验装置图

1.2 试验材料

试验原水为人工配水,由淀粉、葡萄糖、蛋白胨、氯化铵、磷酸氢二钾、氯化钙、硫酸镁、氯化铁配制而成,并加入碳酸氢钠调节 pH 值.母液碳氮比(COD 与 TN 比)约为 10,pH 为 7.0 左右,原水根据试验需要进行不同倍数的稀释,各主要污染

物质量浓度比值与常规生活污水接近.试验用的初期接种污泥取自深圳市某污水处理厂脱水机房,并利用 SBR 反应器驯化.

1.3 检测方法

试验中的水质分析方法均参照文献[10]进行.COD 采用重铬酸钾密闭消解法;NH₄⁺-N 采用纳氏试剂光度法;TN 采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法.

1.4 试验过程

按 3 000 mg/L 的活性污泥量向反应器内投加驯化成熟的污泥,进行气水交替连续运行.通过改变进水污染物质量浓度,考查了负荷(按总膜面积计算)对 AMBR 去除污染物的影响.随着进水负荷的增加,为保持反应器混合液 DO 控制在 0.5 mg/L 的较优值^[9],通过增加供氧压力来提高供氧量,但为防止膜腔内压力过大导致膜丝破损,在实验过程中控制膜腔内压力不超过 200 kPa.

2 结果与讨论

2.1 膜面积负荷对 COD 去除的影响

膜面积负荷对 AMBR 去除 COD 的影响如图 2 所示.

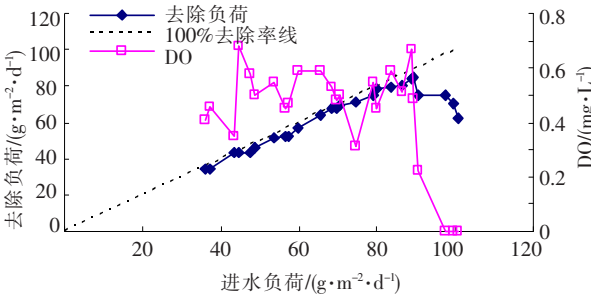


图 2 膜面积负荷对 COD 去除的影响

从图 2 可以看出,AMBR 在膜腔内氧压力控制在 200 kPa 以内的前提下,最大的 COD 去除负荷为 84.9 g/(m²·d).当进水 COD 负荷小于 90 g/(m²·d)时,通过控制膜腔内氧压力,AMBR 混合液中的 DO 质量浓度均能控制在 0.5 mg/L 左右,反应器对 COD 的去除率也高于 90%.当进水 COD 负荷达 90 g/(m²·d)时,膜腔内氧压力已达到预设的最大值.随着 COD 负荷的进一步上升,需更多的氧气才能保证 AMBR 有效地去除 COD.但此时供氧量已达到极限,COD 负荷的上升导致了混合液中的 DO 质量浓度迅速下降,COD 的去除效果也逐渐降低.当进水 COD 负荷增加至 100 g/(m²·d)时,COD 去除率已降至 60% 左右.

2.2 膜面积负荷对 NH_4^+-N 去除的影响

膜面积负荷对 AMBR 去除 NH_4^+-N 的影响如图 3 所示。

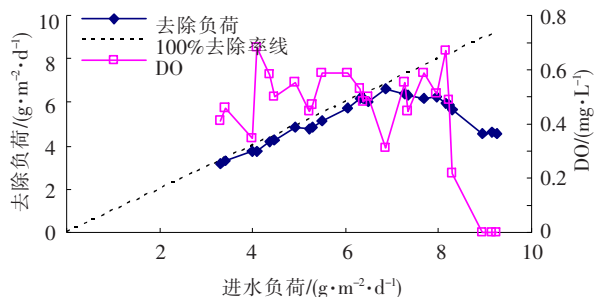


图3 膜面积负荷对 NH_4^+-N 去除的影响

由图 3 可知,不同膜面积负荷条件下 AMBR 对 NH_4^+-N 的去除可以分为 3 个阶段.第一阶段为进水 NH_4^+-N 负荷小于 $7.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的条件下,此时混合液的 DO 质量浓度保持在 0.5 mg/L 左右,AMBR 对 NH_4^+-N 具有很好的去除效果,平均去除率高于 90%.第 2 阶段为进水 NH_4^+-N 负荷在 $7.2 \sim 8.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的条件下,此时混合液的 DO 质量浓度仍保持在 0.5 mg/L 左右,但反应器对 NH_4^+-N 的去降率有所下降.当进水 NH_4^+-N 负荷增加至 $8.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,反应器对 NH_4^+-N 的去除率已下降至 72%.这主要是由于反应器中的硝化菌数量有限,即使在混合液 DO 质量浓度为 0.5 mg/L 的条件下,硝化速率的限制使 AMBR 对 NH_4^+-N 的去除效果也有所下降.第 3 阶段是负荷大于 $8.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的条件下,此时,由于负荷的持续增加,反应器对氧的需求量进一步加大.但限于膜腔内氧压力控制在 200 kPa 以内的前提条件,供氧量在负荷为 $8.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时已达到最大值,污染物负荷的进一步增加导致反应器中混合液的 DO 质量浓度迅速降到 0 mg/L .而 NH_4^+-N 的去除效果也进一步下降,在进水负荷为 $9.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,AMBR 对 NH_4^+-N 的去除率已降至 50%左右。

采用传统曝气方式的生物反应器,当混合液 DO 为 0 mg/L 时,由于硝化菌难以与异养菌竞争少量的氧气,其对氨氮的去除率接近于 0.而对于 AMBR,当其混合液 DO 质量浓度为 0 mg/L 时,仍具有一定的 NH_4^+-N 去除效果.这主要是由 AMBR 工艺独特的供氧方式决定的,参照文献[3, 11-13],膜丝上附着的微生物及基质质量浓度分布示意图如图 4 所示.靠近膜丝表面的区域具有高 DO、低有机物的特点,有利于硝化菌的增殖.因此,即使混合液 DO 质量浓度低至 0 mg/L 时,由于靠近膜丝表层的区域仍存在溶解氧,AMBR 仍

具有一定的 NH_4^+-N 去除能力。

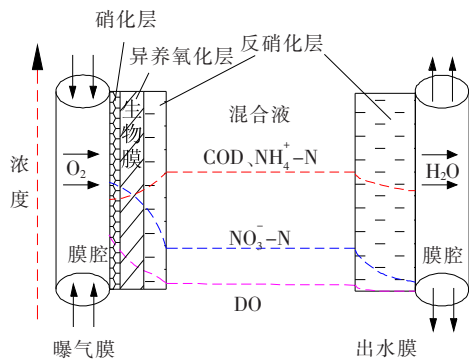


图4 膜丝上生物膜及基质的分布

2.3 膜面积负荷对 TN 去除的影响

不同膜面积负荷条件下,AMBR 对 TN 的去除效果如图 5 所示。

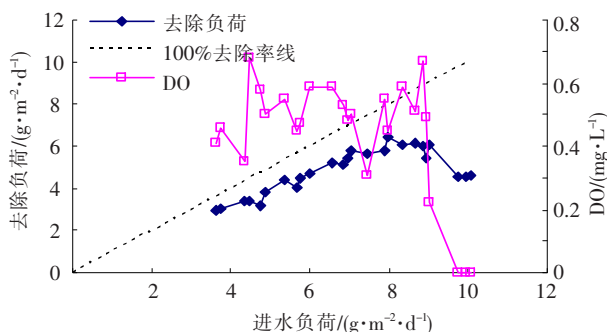


图5 膜面积负荷对 TN 去除的影响

由图 5 可以看出,AMBR 在膜腔内氧压力控制在 200 kPa 以内的前提下,最大的 TN 去除负荷为 $6.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.当进水 TN 负荷小于 $8.6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,反应器对 TN 的去除率高于 70%,最高去除负荷可达 $6.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.而当进水负荷进一步升高时,由于 NH_4^+-N 的去除率逐渐下降,导致 TN 的去除效果也不理想.当进水 TN 负荷为 $10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时, TN 的去除率已下降至 46%。

3 结 论

1) AMBR 对 COD 的最大去除负荷为 $84.9 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.当进水 COD 负荷小于 $90 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,AMBR 对 COD 的去除率可达 90%以上,继续增加负荷将导致 COD 去除率下降。

2) AMBR 对 NH_4^+-N 的最大去除负荷为 $6.75 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.当进水 NH_4^+-N 负荷小于 $7.2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 时,反应器对 NH_4^+-N 的去除率高于 90%,继续增加负荷将导致 NH_4^+-N 去除率下降。

3) AMBR 对 TN 的最大去除负荷为 $6.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.当进水 TN 负荷小于

8.6 g/(m² · d)时,反应器对 TN 的去除率高于 70%.

参考文献:

- [1] BRINDLE K, STEPHENSON T, SEMMENS J. Nitrification and oxygen utilization in a membrane aeration bioreactor [J]. *Journal of Membrane Science*, 1998, 144: 197-209.
- [2] SEMMENS J, DAHM K, SHANAHAN J, *et al.* COD and nitrogen removal by biofilms growing on gas permeable membranes [J]. *Water Research*, 2003, 37 (18): 4343-4350.
- [3] HISASHI S, HIDEKI O, BIAN R, *et al.* Macroscale and microscale analyses of nitrification and denitrification in biofilms attached on membrane aerated biofilm reactors [J]. *Water Research*, 2004, 38(6): 1633-1641.
- [4] 汪舒怡, 汪诚文, 梁鹏, 等. 膜曝气生物反应器的除碳脱氮特性研究[J]. *中国给水排水*, 2007, 23 (9): 40-43, 52.
- [5] SUZUKI Y, MIYAHARA S, TOKEISHI K. Oxygen supply method using gas permeable film for wastewater treatment[J]. *Water Science and Technology*, 1993, 28(7): 243-250.
- [6] HIBIYA K, TERADA A, TSUNEDA S, *et al.* Simultaneous nitrification and denitrification by controlling vertical and horizontal microenvironment in a membrane aerated biofilm reactor[J]. *Journal of Biotechnology*, 2003, 100(1): 23-32.
- [7] TERADA A, YAMAMOTO T, IGARASHI R, *et al.* Feasibility of a membrane-aerated biofilm reactor to achieve controllable nitrification[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2006, 28(2): 123-130.
- [8] TERADA A, YAMAMOTO T, HIBIYA K, *et al.* Enhancement of biofilm formation onto surface-modified hollow-fiber membranes and its application to a membrane-aerated biofilm reactor[J]. *Water Science and Technology*, 2004, 49(11/12): 263-268.
- [9] DONG W Y, WANG H J, LI W G, *et al.* Effect of DO on simultaneous removal of carbon and nitrogen by a membrane aeration/filtration combined bioreactor[J]. *Journal of Membrane Science*, 2009, 344(1/2): 219-224.
- [10] 国家环保总局. 水与废水分析检测方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] MATSUMOTO S, TERADA A, TSUNEDA S. Modeling of membrane-aerated biofilm: effects of C/N ratio, biofilm thickness and surface loading of oxygen on feasibility of simultaneous nitrification and denitrification[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2007, 37 (1): 98-107.
- [12] TERADA A, HIBIYA K, NAGAI J, *et al.* Nitrogen removal characteristics and biofilm analysis of a membrane-aerated biofilm reactor applicable to high-strength nitrogenous wastewater treatment[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2003, 95(2): 170-178.
- [13] SCHRAMM A, DE BEER D, GIESEKE A, *et al.* Microenvironments and distribution of nitrifying bacteria in a membrane-bound biofilm[J]. *Environmental Microbiology*, 2000, 2(6): 680-686.

(编辑 刘 彤)