

文章编号:1671-6833(2008)01-0102-04

## 好氧式 MBR 与间歇式 MBR 脱氮性能的对比试验研究

马红芳, 陈秀锋

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

**摘 要:** 试验比较了好氧式膜生物反应器(MBR)与间歇式膜生物反应器处理生活污水时的脱氮效果。结果表明,在进水 COD 值、氮负荷和 COD/TN 值出现较大变化时,间歇式 MBR 可以通过灵活改变操作条件获得较高的脱氮效果,表现出良好的抗冲击负荷能力。在 TN 去除方面,间歇式 MBR 明显优于好氧式 MBR,二者平均去除率分别为 63.9% 和 15.34%;在  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除方面,间歇式 MBR 平均去除率为 87.4%,而好氧式 MBR 则需要通过外加碱性物质,才能获得较高的去除效果,平均去除率为 78.7%。

**关键词:** 生活污水;好氧式膜生物反应器;间歇式膜生物反应器;脱氮

**中图分类号:** X 703.1

**文献标识码:** A

### 0 引言

近年来,水资源紧缺现象在我国众多城市越来越突出,为实现经济的可持续发展,节约水资源,将污水净化回用是一种有效途径。因此,膜生物反应器(MBR)因其独特的优势<sup>[1-4]</sup>而作为一种高效实用的中水回用技术,已在很多领域得到了广泛的应用。但是,大量的研究表明,MBR 传统的好氧运行方式虽对 COD 和氨氮的去除效果较好,一般达 90% 以上,但对总氮和总磷的去除能力不足,仅为 10% ~ 30% 之间<sup>[2]</sup>。就氮的去除而言,总氮去除效果不佳而仅仅有高的氨氮去除率不利于污水的净化回用和排放。因为从生物脱氮机理可知<sup>[5]</sup>,废水的生物脱氮需要好氧硝化和缺氧反硝化两个阶段共同完成,废水中氨氮的去除只完成了第 1 阶段,该过程使氨氮转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。亚硝酸盐氮会给人体健康、家畜动物和农作物等造成多方面的负面影响<sup>[6]</sup>,而硝酸盐氮易被藻类和其他水生植物直接利用形成蛋白质,出水中高的硝酸盐氮浓度很容易导致输水管道、用水设备繁殖生物垢以及水体中藻类的疯长,从而造成设备堵塞或影响效率以及水体的富营养化<sup>[7]</sup>。为了避免和减缓上述问题的出现,在利用膜生物反应器处理污水时,应该同时有较高的氨氮和总氮去除能力。而膜生物反应器如果采用缺氧-好氧循环的间歇曝气工作方式,可在同

一反应器内实现硝化和反硝化,达到脱除氨氮和总氮的目的<sup>[8-9]</sup>。因此,实验在好氧式和间歇式运行的工艺下,考察了 MBR 对氨氮和总氮的去除效果,并分析了影响因素。

### 1 实验材料与方法

#### 1.1 实验装置

两装置外型尺寸均为 50 cm × 30 cm × 35 cm,膜组件及安装尺寸基本一致,膜生物反应器有效容积约为 50 L,内置 PVDF 中空纤维帘式膜组件,膜孔径 0.22 μm,膜组件下设穿孔曝气管。膜出水均用真空泵(DP-125)抽吸得到,抽停时间为 10 min 出水 2 min 停水空曝,抽吸泵的开启由时间继电器控制。好氧式 MBR 采用连续曝气方式运行,进水泵(J-W-9/0.6)的关闭由液位自动计控制,保持水位基本恒定,反应器中无搅拌装置,靠曝气混合。而间歇式 MBR 采用间歇进水间歇曝气方式运行,即进水时不出水不曝气只搅拌,为厌(缺)氧阶段;出水时不进水但曝气,为好氧阶段,以此循环。进水泵、鼓风机(ACO-9602)的启闭由时间继电器控制,反应器中在膜的两侧增加了搅拌器,以保证在进水非曝气阶段,活性污泥处于悬浮状态,与进水混合均匀。两种工艺除运行方式不同外其他基本一致,故仅绘出装置工艺图,如图 1 所示。

#### 1.2 试验水质

试验原水为模拟生活污水,由葡萄糖、氯化

收稿日期:2007-09-27;修订日期:2007-11-31

基金项目:华侨大学科研基金资助项目(06HZR02)

作者简介:马红芳(1969-),女,山西运城人,华侨大学讲师,硕士,主要研究方向:水污染控制,Email:hf\_ma2003@yahoo.com.cn

铵、尿素、磷酸二氢钾、蛋白胨、淀粉、硫酸铵、硫酸镁、硫酸亚铁、碳酸氢钠、氢氧化钠以及氯化钠等配制而成。实验期,在反应器稳定运行后共进行了 3 个工况的试验数据监测,原水水质见表 1。

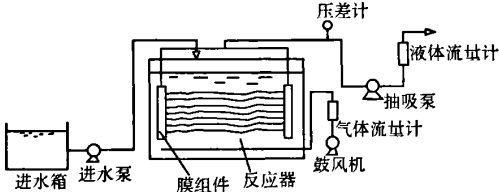


图 1 实验装置示意图  
Fig. 1 Schematic of membrane bioreactor

表 1 试验原水水质  
Tab. 1 Quality of experimental raw water

工况	COD/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_4^+ - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	TN/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	pH	COD/TN
1	502.8 ~ 534.6	22.5 ~ 26.4	31.8 ~ 35.7	8.0 ~ 9.0	7.8 ~ 8.0	14.1 ~ 16.8
2	475.6 ~ 519.2	50.1 ~ 56.7	55.8 ~ 67.2	7.2 ~ 8.5	7.5 ~ 7.8	7.1 ~ 9.3
3	308.2 ~ 481.2	70.5 ~ 81.3	81.5 ~ 93.3	7.4 ~ 7.7	7.4 ~ 7.9	3.3 ~ 5.9

表 2 各工况的运行参数  
Tab. 2 Operational parameters under different conditions

工况	运行时间/d	曝气量 /( $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ )	MBR 出水量/( $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ )		HRT /h	新水比 $k/\%$	间歇式周期 $t_{\text{an}} + t_{\text{se}}/\text{min}$
			好氧式	间歇式			
1	1 ~ 7	200	2.5	5.0	20	11.1	60 + 60
2	8 ~ 9	200	2.5	5.0	20	11.1	60 + 60
2	10 ~ 17	300	2.5	5.0	20	11.1	60 + 60
3	18 ~ 20	300	2.5	5.0	20	11.1	60 + 60
3	21 ~ 28	300	2.5	3.75	20	17.6	60 + 120
3	33 ~ 37	300	4	6	12.5	31.6	60 + 120

表 2 中的新水比  $k$  为以间歇式运行时,每一周期中新进水体积与反应器内上周期剩余水体积之比,改变其大小即改变厌(缺)氧阶段有机碳源的补充量。两反应器内 SRT 约为 40 d。试验整个过程中,为了保持两个反应器的产水率一致,好氧式 MBR 的操作参数应随着间歇式 MBR 的变化而变化。

各工况参数的选择以实际运行情况为参考,根据前一工况的运行效果,动态调整下一工况的运行参数,从而可以针对废水的水质变化,在较短时间内找出具有较高脱氮能力的运行参数。

2 结果与讨论

2.1 对氨氮的去除

从图 2 可以看出,3 种工况稳定运行时,间歇式 MBR 对氨氮的去除效果整体好于好氧式 MBR。工况期间,两种反应器对氨氮去除率差别

1.3 测定项目及方法

COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、TN 均采用标准方法测定分析<sup>[10]</sup>;混合液中 DO 的测定采用 JPB - 607 便携式溶解氧仪;pH 用玻璃电极法测定。

间歇式 MBR 出水取一个周期内的混合水样监测,好氧式 MBR 出水监测是在间歇式取样时的相同时间段取 3 ~ 5 个瞬时水样监测,然后取其平均值。

1.4 运行条件

各工况稳定运行参数见表 2。

不大,平均值都达到了 92%。第 8 d 改用工况 2 进水时,发现两反应器对氨氮的去除率都明显下降。氨氮去除效果变差,说明反应器中的硝化过程受到抑制,而硝化作用通常受溶解氧、温度、pH 值和生物固体平均停留时间等因素的影响<sup>[5]</sup>。试验期间,温度和污泥龄都变化不大,故认为有可能是溶解氧过低和 pH 值过低引起的。通过监测,pH 值在 7 ~ 7.3 之间,而溶解氧在低于 2 mg/L 附近,因此,在第 10 d 加大曝气强度,将两反应器的曝气强度提高到 300 L/h,进入到 2 工况运行。

在 2 工况稳定运行期,两反应器对氨氮的去除率都有提高,间歇式 MBR 去除率提高到 90% 以上,而好氧 MBR 最高却只有 84%,出现该现象可能是 pH 低引起的,并通过实测得以证实。因为硝化反应释放  $\text{H}^+$  离子,致使混合液中  $\text{H}^+$  离子浓度增高,从而使 pH 值下降<sup>[5]</sup>。间歇式膜生物反应器能提供充足的缺氧环境,期间反硝化产生的碱

度在一定程度上补充了硝化作用对碱度的消耗,其出水的 pH 保持在 7.0~8.0. 而好氧式 MBR 反应器中,随进水氮负荷的提高,对碱消耗增强,致使出水 pH 有明显降低,在 2 工况时,其出水 pH 降低到 5.5~6.5,使反应器中污泥的硝化活性受到抑制. 该现象说明在进水氮负荷、碳氮比变化较大时,采用间歇式 MBR 可以获得稳定的氨氮处理效果,并且不用外加碱调节混合液酸碱度.

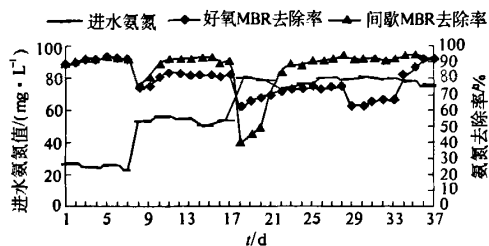


图2 各工况下氨氮去除率比较

Fig. 2 Comparison in removal rate of ammonia nitrogen under different conditions

从图2还可以看出,第18 d改用工况3水质进水时,两反应器的氨氮去除率再一次有明显下降. 好氧 MBR 降到 75% 左右,而间歇式 MBR 降到 45% 左右,因为其曝气时间只有好氧式 MBR 的一半,去除效果大幅度下滑可能是曝气时间不够长,故在第 21 d 改变了其循环周期时间,曝气时间延长到原来的两倍. 之后,间歇式 MBR 的氨氮去除率逐步提高到 94% 左右,但是好氧 MBR 由于碱度消耗去除率一直在 75% 以下. 在此期间,具有较高氨氮去除率的间歇式 MBR,其总氮去除率却只有 40% 左右,分析是反硝化进程影响了总氮的去除. 故在第 29 d 开始,将新水比增加到 31.6,来强化反硝化过程. 与此相对应,好氧 MBR 的进水氮负荷也加大,再加上碱度的不足,导致其氨氮去除率只有 65% 左右,后在第 34 d 开始,用  $\text{NaHCO}_3$  调节碱度,氨氮去除率恢复到 92%. 该现象说明,好氧式 MBR 在 COD/TN 较低而进水氮的浓度较高时,要想获得稳定可靠的氨氮去除率必须要外加碳源,但是对间歇运行的膜生物反应器来说,可以通过灵活改变循环周期和新水比来实现,反映了间歇式运行强化了膜生物反应器脱除氨氮的性能.

在整个工况期间,尽管进水水质出现较大变化,但是间歇式 MBR 氨氮平均去除率仍达到 87.4%,而好氧式 MBR 只有 78.7% 的去除率,说明间歇式运行强化了膜生物反应器的抗负荷冲击

能力.

## 2.2 对总氮的去除

从图3中可以看出,间歇式 MBR 对 TN 的去除效果在各工况都明显高于好氧 MBR,最大为 83.6%,最小为 20.5%,平均为 63.9%,而好氧式 MBR 的去除率最大为 37.2%,最小为 4.8%,平均为 15.34%. 对 TN 的较高效去除是间歇式 MBR 系统强化反硝化能力的体现,主要原因分析如下:①采用间歇曝气的运行方式,使微生物处于缺氧(厌氧)、好氧交替的环境中,而且在停止曝气后短时间内集中进水,保证了足够的缺/厌氧时间,为反硝化菌和反硝化聚磷菌提供有利的生长环境;②反应器内功能微生物即反硝化细菌、反硝化聚磷菌可以充分利用进水中的碳源把上一周期好氧阶段形成的硝态氮、亚硝态氮还原为氮气,使反硝化作用得以强化<sup>[5]</sup>.

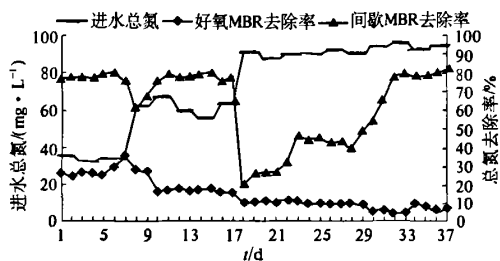


图3 各工况下总氮去除率比较

Fig. 3 Comparison in removal rate of total nitrogen under different conditions

好氧式 MBR 对总氮的去除率,在工况 1 时平均达到最大. 此时,虽然氨氮去除率为 90% 以上,但是对总氮的去除却不乐观,最高也只有 37.2%,故认为是由于缺(厌)氧环境不充分引起的反硝化作用不力抑制了对氮的脱除.

间歇式 MBR 对总氮的去除率,在第 8 d 和第 18 d,即 2 工况和 3 工况初次进水时出现明显下降,原因主要是氨氮去除率下降,硝化作用不彻底影响了反硝化的进行. 因为反硝化菌是异养兼性厌氧菌,只有在无氧气而又同时存在硝酸和亚硝酸离子的条件下,才能够利用这些离子中的氧进行呼吸,使硝酸盐还原为氮气<sup>[5]</sup>. 在第 21 d 改变循环周期后,伴随着氨氮去除效果的好转,系统的总氮去除率逐渐上升,但不理想,一直在 45% 左右徘徊,后在第 29 d 改变进水的新水比后,因为提高了碳源,总氮的去除率才逐渐恢复,到后期稳定运行时,最高达到 83.6%. 由此可见,间歇式运

行明显强化了膜生物反应器的脱氮性能。

### 3 结论

(1) 间歇式 MBR 对氨氮的去除能力整体优于好氧式 MBR, 整个运行期间, 平均去除率分别为 87.4% 和 78.7%。随着进水氨氮负荷的提高, 间歇式 MBR 通过改变曝气强度和循环周期可将氨氮的去除率提高到 90% 以上, 而好氧式 MBR 则只有 84% 和 75% 的最高去除率。说明了 MBR 在间歇式运行时的抗氨氮冲击负荷能力高于好氧式运行。

(2) 对总氮的去除能力, 间歇式 MBR 也明显优于好氧式 MBR, 平均为 63.9% 和 15.34%。随着进水 COD/TN 的降低, 间歇式 MBR 可以通过提高新水比来提供充足的缺氧环境和有机碳源而强化 MBR 系统的反硝化能力。

(3) 由于进水氮负荷和碳氮比发生较大波动, MBR 在两种运行方式下对氨氮和总氮的去除率都明显低于相关文献报道<sup>[7-9]</sup>, 因此, 为了获得良好的脱氮效果, 应采取措施尽量避免冲击负荷。

### 参考文献:

- [1] 张 军, 吕伟娅, 聂梅生, 等. MBR 在污水处理与回用工艺中的应用[J]. 环境工程, 2001, 19(10): 10 -

11.

- [2] 顾国维, 何义亮. 膜生物反应器在污水处理中的研究和应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 顾 平. 中空膜生物床处理生活污水的中试研究[J]. 中国给水排水, 2000, 17(1): 5 - 8.
- [4] 张 颖, 顾 平, 邓晓钦. 膜生物反应器在污水处理中应用进展[J]. 中国给水排水, 2002, 18(4): 90 - 92.
- [5] 张自杰. 排水工程[M]. 第 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 308 - 312.
- [6] 杨家澍, 王留成, 李国顺, 等. 水中亚硝酸盐净化处理研究进展[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2002, 23(4): 102 - 106.
- [7] 张捍民, 成英俊, 肖景宽, 等. 序批式膜生物反应器脱氮除磷性能研究[J]. 大连理工大学学报, 2005, 45(1): 22 - 25.
- [8] HE S B, ZHANG Z J, WANG B Z, et al. Simultaneous nitrification and denitrification in MBR[C] // Proceedings of International Conference on Environmental Biotechnology, 2004.
- [9] 肖景宽, 张捍民, 代文臣, 等. 序批式膜生物反应器同时脱氮除磷的比较研究[J]. 环境科学, 2006, 27(11): 2233 - 2238.
- [10] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 第 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.

## Study on Comparison in Denitrogenation Capability Between Aerobic MBR and Intermittent MBR

MA Hong - fang, CHEN Xiu - feng

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** The comparison was made on the denitrogenation effect of domestic sewage between the aerobic membrane bioreactor and the intermittent membrane bioreactor. Results showed that when great changes of the nitrogen load and COD/TN of influent occurred, the intermittent membrane bioreactor can be flexible to change operating conditions to reach the better denitrification effect, which demonstrates a good capacity of resistance to impact load. The intermittent membrane bioreactor is obviously superior to the aerobic membrane bioreactor in the removal effect of TN, and the average removal rates are 63.9% and 15.34% respectively. In terms of removal of  $\text{NH}_3\text{-N}$ , the average removal rate of intermittent membrane bioreactor is 87.4%, however, for the aerobic membrane bioreactor alkali should be added to get higher removal rate and the average is 78.7%.

**Key words:** domestic sewage; aerobic membrane bioreactor; intermittent membrane bioreactor; denitrification