

文章编号: 1673 - 1212(2007) 11 - 0077 - 04

膜生物反应器在不同阶段下处理城市污水的研究

李照静¹, 张玉先¹, 范建伟²

(1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 同济科蓝环保公司, 上海 200092)

摘要: 采用国产膜对小试规模的膜生物反应器 (MBR) 处理以工业污水为主的污水进行研究。在秋冬季, 启动培养活性污泥, 至出水水质达到 CJ25. 1 - 89 杂用水标准。试验表明, 在进水 COD 平均大于 500 mg/l, BOD₅/COD = 0. 2 ~ 0. 4 并且水温低于 20 的情况下, MBR 在 16 天内就可以达到理想的出水效果。并且对三种不同抽吸压力 (TMP) 下的出水水质、膜通量及膜污染进行比较, 得出本系统最优 TMP 为 30 kpa。

关键词: MBR; 工业污水; COD; 出水水质; TMP

中图分类号: X703. 1

文献标识码: A

Study on MBR in Industrial Wastewater Treatment under Different TMP

Li Zhaojing¹, Zhang Yuxian¹, Fan Jianwei²

(1. Environment college, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Tongji Kelan Environment Equipment Company, Shanghai 200092, China)

Abstract: The goal of this study is to determine the results of the membrane biological reactor (MBR) for industrial wastewater treatment, which is produced domestically. It is from fall to winter at the influent temperature which is below 20 when the activated sludge is domesticated, but the flux water quality is perfect according to the CJ25. 1 - 89 standard. The influent COD is above 500 mg/l on average; and influent BOD₅/COD = 0. 2 ~ 0. 4; under this kind of conditions, it costs 16 days the flux water quality is as good as what we expected. Also in this experiment, the optimum trans-membrane pressure (TMP) is 30 kpa; this has been got from comparing the flux water quality and the permeate flux under various TMP.

Key words: MBR; industrial wastewater; COD; flux water quality; TMP

膜法水处理技术是一种在 20 世纪中期发展起来的一门新兴高新技术边缘学科, 到 70 年代后在各个工业领域及科研范围都受到了广泛重视, 发展越来越迅速^[1]。目前膜生物反应器 (MBR) 已经广泛应用于很多领域。由于膜将绝大部分生物截留在反应器内, 因此反应器内可维持较高的污泥浓度, 可以用 MBR 代替传统二级处理工艺, 并且达到满意的出水水质。特别是一体式膜生物反应器, 具有出水水质好、容积负荷高、占地面积小、剩余污泥产量低、操作管理方便等优点, 很适合用于小区内中水回用及工业污水的处理及其工艺改造^[2]。但也同时存在膜污染、膜通量较低、运行费用较高等缺点。本文就用自制 MBR 对国产膜的实用性进行系统研究, 以开发新型设备投入使用。

1 试验过程及方法

1.1 进水污水水质

本试验在上海市青浦区第二污水厂进行, 工业污水占总量的 60%。试验进水取自二污的多尔沉砂池, 进水水质为见表 1。青浦二污采用生物工艺为氧化沟, 分一期二期工程, 但出水水质在冬季低温时, 一期工艺氨氮稍微高于污水排放标准。

表 1 试验进水水质

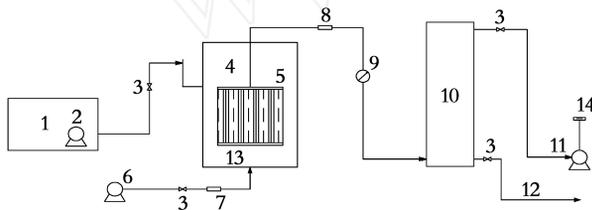
参数	数值 (平均值)
BOD ₅ (mg/l)	140 ~ 446 (244)
COD (mg/l)	300 ~ 1187 (544)
SS (mg/l)	44 ~ 531 (222)
氨氮 (NH ₃ - N) (mg/l)	11. 9 ~ 28. 8 (21. 4)
总氮 (TN) (mg/l)	16. 8 ~ 90. 5
总磷 (TP) (mg/l)	3. 92 ~ 24. 4
Cl ⁻ (mg/l)	156 ~ 276
pH	6. 8 ~ 7. 2
温度 ()	11 ~ 32

收稿日期: 2007 - 06 - 26

作者简介: 李照静 (1983 -), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为水处理工艺与技术。

1.2 试验设备和材料

装置及流程如图 1 所示。反应器为聚合塑料制成,矩形尺寸为:430 ×540 ×800 cm,有效水深为 600 cm,有效容积为 139.32 L。反应器内置 5 只平板,两面各粘贴 400 ×400 cm 的膜材料,膜的总有效面积为 1.6 m²。膜材料为上海大宫新材料公司生产的聚偏氟乙烯膜(PVDF),孔径为 0.45 μm。膜生物反应器外侧边设有进水槽,进水槽设有溢流管,进水由潜水泵从多尔沉砂池内取水;反应器内下部设有穿孔曝气管,一方面对微生物分解有机物供氧,另一方面起到减缓污泥在膜面沉积的作用,曝气管连接空压机;中部安装插膜元件的槽,膜元件中间设有抽吸的出水管;出水管另一头接有一密封有机玻璃柱,真空泵抽吸有机玻璃柱中的空气,产生负压使水通过膜生物反应器中的膜元件,进入有机玻璃柱;当到达一定水位时,则需通过出水管放水。



1. 多尔沉砂池; 2. 潜水泵; 3. 球阀; 4. 反应器; 5. 平板膜;
6. 空压机; 7. 空气流量计; 8. 液体流量计; 9. 真空表; 10. 储水罐;
11. 真空泵; 12. 出水管; 13. 曝气管; 14. 时间继电器

图 1 装置流程图

1.3 试验过程及运行条件

试验所用活性污泥菌种,取自青浦第二污水厂二期氧化沟。试验启动在 11 月底,进水水温均低于 20。实验分三个阶段:第一阶段放在反应器中闷曝 24 小时,连续进水和出水 18 个小时。采用间歇出水,刚开始采用抽停比 8 min/8 min,曝气强度为 0.1 m³,持续 24 小时;第二阶段采用正常出水,抽停比 8 min/2 min,曝气强度逐步由 0.1 m³ 调整到 0.2 m³,最后稳定在 0.375 m³,通过调整真空抽吸压力,保持真空表的读数为 20 kpa。第三阶段是试验在不同抽吸压力(TMP)下的出水效果及膜污染情况。分别测取 20 kpa, 30 kpa, 40 kpa 这三个抽吸压力工况下的出水效果、污泥状态、膜通量及膜阻力的变化;把三种工况进行对比,选出此设备的最优化抽吸压力、运行条件。这三种工况之间采取长时间、大流量空曝气的方法进行清洗。本系统采用了恒流、间歇抽吸和空曝气的方法减缓膜污染^[3]。至出水达到 CJ25.1-89 杂用水标准^[4] 共需 16 天,其水质标准如下:

· 78 ·

表 2 CJ25.1-89 杂用水标准

COD (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	SS (mg/l)	肉眼 可见物	嗅气	pH
50	10	10	无	无不快感	6.5~9.0

1.4 测定项目及方法

试验中主要测定的项目为: BOD₅, COD, SS, 氨氮, MLSS, 膜过滤压差及膜通量。以上项目按照《水和废水监测分析方法》中的标准方法每周测定 3 次,而过滤压差及膜通量每天都在监测。分析方法见表 3。

表 3 水质分析方法及设备

分析项目	分析方法	分析设备
BOD ₅	稀释接种法	溶解氧仪
COD	重铬酸钾法	COD 仪
SS	过滤烘干法	电子天平
氨氮	纳氏试剂法	分光光度计
MLSS	静置烘干法	电子天平

2 试验结果和讨论

2.1 对有机物(COD)的去除

此 MBR 对 COD 的去除效果见图 2。可以看到出水 COD 在 16 天内达到标准(小于 50 mg/l)。青浦二污的进水 BOD₅/COD 为 0.2~0.4,可见进水可生化性不是很强;但 MBR 利用膜的高效截流作用,去除全部悬浮和大部分大分子溶解性有机物^[5],使反应器内的活性污泥浓度迅速增大,确保稳定的优质出水,并且耐冲击负荷。在初始阶段,MBR 对 COD 的去除主要还是靠膜的截流作用,但要达到出水 COD 达标主要是由于活性污泥的去除效果。进水 COD 及氨氮的连续达标说明 MBR 进入稳定运行阶段。

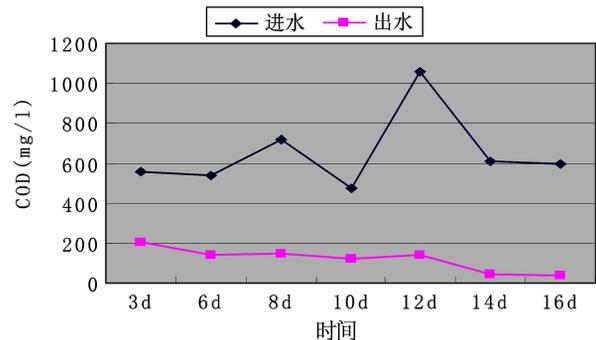


图 2 MBR 启动阶段 COD 的历时变化

2.2 对氨氮(NH₃-N)的去除

此 MBR 对氨氮的去除效果见图 3。在刚开始的 12 天内,对氨氮几乎没有去除,但在第 14 天,随

着活性污泥的逐渐成熟去除率达到 53.5%;第 16 天则出水达标 (小于 10 mg/l)。可见氨氮的去除主要是靠活性污泥去除,膜本身的截流作用对出水氨氮没有影响。

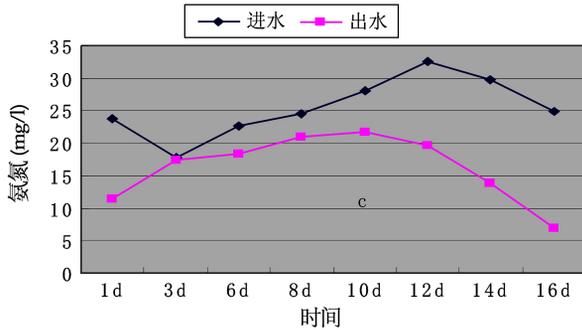


图 3 MBR 启动阶段氨氮的历时变化

2.3 对 SS 的去除

此 MBR 对 SS 的去除效果见图 4。因为膜材料本身的性质,使颗粒较大的悬浮物不能通过膜过滤出水;由图看到进水 SS 的变化较大,但 MBR 对 SS 的去除效果极佳。从第一天运行开始,出水的 SS 已经达到国家排放标准;随着反应器的运行,出水 SS 达到杂用水标准 (小于 10 mg/l)。

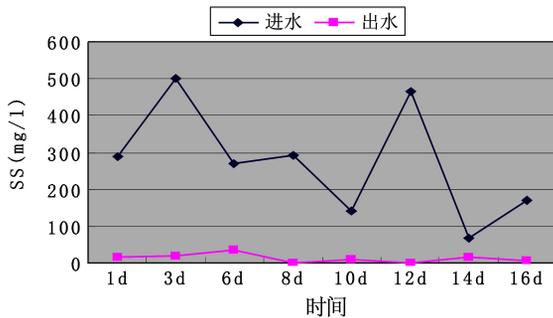


图 4 MBR 启动阶段 SS 的历时变化

2.4 悬浮污泥浓度 (MLSS)

在运行的前 11 天,MLSS 均小于 900 mg/l;但在第 12 天,MLSS 突然增大到 3220 mg/l;但由于取污泥水样位置的原因,在第 14 天,MLSS 为 1758 mg/l;第 16 天为 4428 mg/l;可以看出 MLSS 值成倍数增长趋势。由于膜的截流作用,使 MLSS 日益增加,可生化性有机物也日益在反应器内积累,从而使反应器内活性污泥营养充分,达到理想的出水效果。

2.5 污泥沉降性

试验过程中,污泥沉降与 SV 值相比一般随 MLSS 的升高而增大。在 MBR 运行的前五天,SV 值一直小于 2%;但随着 MLSS 突然增大,即第 10 天,SV 值为 18%,在随后的两天一直保持在 18%,至第 18 天达到 21%。同时 SV I 值也达到 102.4,说明反

应器内污泥的吸附性能和沉降性能比较好,适用于处理城市污水。

2.6 膜污染情况

由于设备及天气原因,膜过滤压差每天有微小差异,在不同膜过滤压差下,膜通量也有所变化;所以本文采用膜过滤阻力公式^[6],即 Darcy 定律对膜污染情况进行评价。

$$J = \frac{p}{\mu R_t}$$

式中, J——膜通量, L/(m²·h);

p——膜过滤压差, Pa;

μ——为混合液粘度, Pa·s;

R_t——为膜过滤阻力, m⁻¹。

在 MBR 启动之前,用清水研究了膜过滤阻力,其值为 5.51 × 10¹² m⁻¹。在 MBR 启动的第一天,取混合液的粘度为清水粘度,由公式算得膜过滤阻力为 9.34 × 10¹² m⁻¹。在运行一段时间后膜通量随 MLSS 的增大而降低,由启动时的 10 L/(m²·h)降低到 7.1 L/(m²·h),并且从第 12 天起保持稳定在这一数值。而其膜过滤阻力见图 5。中间因为设备原因,在第 7 天调整出水流量计,所以膜通量增大,从而膜阻力减小。

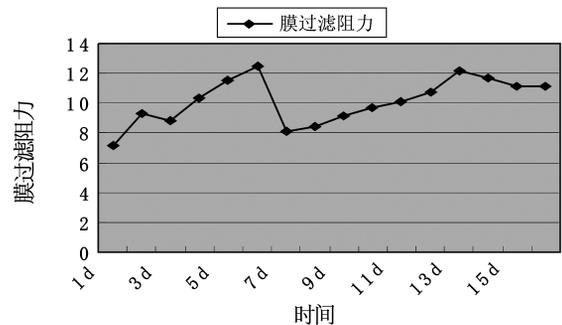


图 5 MBR 启动阶段膜阻力的历时变化
(膜过滤阻力单位为 10¹² m⁻¹)

3 膜抽吸压力的影响

3.1 对处理效果的影响

在活性污泥培养成熟之后,出水达标,此后调整抽吸压力,对处理效果影响不大,基本上在刚开始调整前一两天 COD,氨氮有所上升,但是之后就会迅速降至合格。一般来说,抽吸压力小比较有利于活性污泥的培养和减小膜污染^[7],所以实验采用初步调大压力的方法,先调制 20 kpa,再 30 kpa,之后 40 kpa。每次调整后直至膜通量稳定一定时间不再发生改变,再进行下一次调整。实验期间出水情况见图 6。

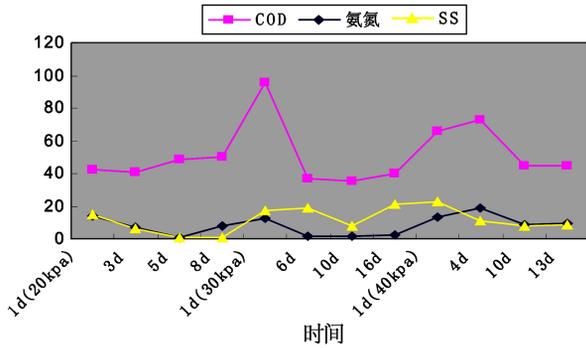


图 6 三种工况下的出水水质

3.2 对膜污染的影响

为了不使改变压力过程中再重新培养活性污泥使出水流量不稳定,因此本系统在每次改变抽吸压力之前就会加大压力和流量空曝气 24 小时左右,利用进水的冲击力清洗膜表面,使不同抽吸压力不受长时间运行所造成的膜阻力影响。由图 7 可以看出 20 kpa 时初始膜通量为 $11.30 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 稳定在 $5.88 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (由于培养活性污泥时,采用的抽吸压力为 20 kpa,因此初始膜通量为 COD 达到出水合格时的膜通量),在 8 天内膜阻力增加 46.5%; 30 kpa 初始最大膜通量为 $8.13 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 稳定在 $7.73 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 在前 8 天膜阻力减少 27.3%, 而后 8 天膜阻力增加 6.7%; 40 kpa 初始膜通量为 $11.48 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 稳定在 $6.62 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 在 12 天内膜阻力增加 82.8%。抽吸压力越大,膜过滤阻力越大,而且上升的速度越快。从图中还可以看出 30 kpa 虽然达到稳定流量的时间较长,而且初始膜通量不大,但膜阻力在一定时间内增加幅度较小,说明比其他两种压力下运行更耐污染;而越高压力抽吸则达到稳定的时间越长,因为它下降流量较大。所以说,虽然高抽吸压力初始膜通量较高,但稳定的膜通量却与不比低抽吸压力高。因此,在本系统的条件之下,可见 30 kpa 是最经济最耐污染的抽吸压力。

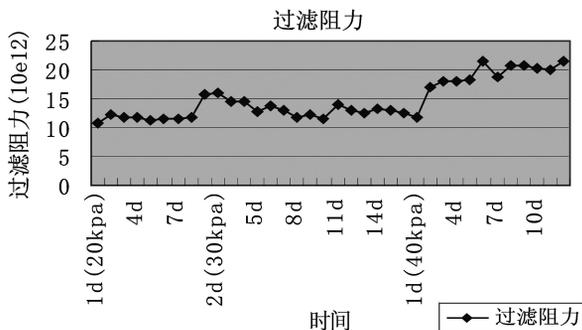


图 7 三种工况下膜过滤阻力变化

4 结论

(1) MBR 完全能够取代生物处理、二沉池甚至三级处理工艺,达到杂用水标准。

(2) 在低于 20 的情况下,MBR 也能在较短的时间内处理 COD 较高而且水质变化很大的工业污水,较少受其进水冲击负荷的影响,出水中的污染物保持良好的下降趋势,出水水质达到杂用水标准,从而进入稳定运行阶段。

(3) 因为膜本身的高效截流作用,MBR 初始阶段去除 SS 的效果非常好,COD 和氨氮主要靠反应器内活性污泥去除。在温度较低的情况下,启动初期 COD 的去除主要是膜材料对 SS 的截流。

(4) MBR 中的 MLSS 的积累成倍数增长,反应器内的可生化有机物也高速积累,使活性污泥保持较高的活性及处理效果。

(5) MBR 在过滤的初始阶段膜污染速率较快,但膜过滤阻力达到一定程度后则会稳定,从而使出水流量稳定,达到较稳定的恒量出水。

(6) 抽吸压力与处理效果影响不大,但与膜污染却紧密相连。不同的压力下,均能达到理想的处理效果;但不同压力使膜通量发生巨大变化。较小的抽吸压力膜污染发展比较缓慢,较大的抽吸压力则发展较迅速。

(7) 较大的抽吸压力虽然初始膜通量较大,但稳定后则与较小抽吸压力的膜通量不相上下,因此采用小抽吸压力则更经济节省能源。

参考文献:

- [1] Pierre Le - Clech, Vicki Chen, Tony A. G. Fane. Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment [J]. Journal Of Membrane Science, 2006, 284: 17 - 53.
- [2] 郭春禹,杜启云,王庆生. 膜生物反应器污水再生工程的运行与优化 [J]. 工业水处理, 2006, 26(1): 63 - 66.
- [3] 杨宗政,顾平. 膜生物反应器运行中膜污染及其控制 [J]. 膜科学与技术, 2005, 25(2): 80 - 84.
- [4] 中华人民共和国建设部. CJ 25. 1 - 1989. 生活杂用水水质标准 [S]. 北京:中国市政工程中南设计院, 1989.
- [5] H. C. Chua, T. C. Amot, J. A. Howell. Controlling fouling in membrane bioreactors a variable throughput [J]. Desalination, 2002, 149: 225 - 229.
- [6] Chang I S, Bag O, Lee C H. Effects of membrane fouling on solute rejecting during membrane filtration of activated sludge [J]. Process Biochemistry, 2001, 36(8 - 9): 855 - 860.
- [7] 陈俊平,杨昌柱,葛守飞,等. 膜生物反应器在污水处理过程中的膜污染控制 [J]. 净水技术, 2005, 24(3): 38 - 44.