

厌氧反应器与好氧 MBR 组合工艺处理毛纺印染废水试验研究

郑祥, 刘俊新*

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 采用厌氧反应器与膜生物反应器(MBR)组合工艺处理毛纺印染废水, 结果表明, 当进水 COD、BOD₅ 和色度分别为 128 ~ 321 mg/L、36 ~ 95 mg/L 和 40 ~ 70 倍时, 出水 COD、BOD₅、色度、浊度的平均值分别为 36.9 mg/L、3.7 mg/L、21 倍、0.24 NTU, 平均去除率分别达到 80.3%、95%、59%、99.3%, 达到生活杂用水水质标准。在本研究中, 开发了一种新型的利用生物反应器内液位水头重力驱动连续出水的重力出流式膜生物反应器。在保留 MBR 处理效率高等优点的同时, 省去传统的一体式 MBR 出水抽吸泵及复杂的反冲洗设备。整个系统结构紧凑, 投资少, 操作简便。选择合适的曝气量有助于提高膜通量, 且可降低膜阻力的上升速率, 有利于膜污染的控制。

关键词: 膜生物反应器; 厌氧反应器; 毛纺废水处理; 活性污泥

中图分类号: X791 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)05-0102-04

Printing and Dyeing Wastewater Treatment Using Combined Process of Anaerobic Bioreactor and MBR

ZHENG Xiang, LIU Jun-xin

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: This paper describes a labor-scale experiment for printing and dyeing wastewater treatment of woolen mill using a combined process of an anaerobic reactor and a membrane bioreactor (MBR). The experimental results showed that when the concentration of COD, BOD₅ and color in the influent were 128 ~ 321 mg/L, 36 ~ 95 mg/L and 40 ~ 70 dilution times (DT), the average concentrations of COD, BOD₅, color and turbidity in the effluent were 36.9 mg/L, 3.7 mg/L, 21 DT and 0.24 NTU, respectively, and the corresponding removal rates were 80.3%, 95%, 59% and 99.3%, respectively. A new integrated membrane bioreactor by gravity drain of liquid level in the bioreactor was developed in this study. It not only lessens suction pump for effluent and controlling unit comparing to the traditional integrated membrane bioreactor, but also has the characters of high and continuous flux, concise configuration and simple operation and maintenance. According to the experimental results, the air flow rate through the membrane module is a significant factor to affect the flux rate and cake layer deposited on the membrane. With application of optimal air flow rate, it is effective to reduce membrane fouling and maintain high flux rate.

Key words: MBR; anaerobic bioreactor; printing and dyeing wastewater treatment; activated sludge

膜生物反应器(Membrane Bioreactor, MBR)是近年来国内外研究与应用发展比较迅速的一种废水处理新技术^[1,2], 国内外已有膜生物反应器处理毛纺印染废水的研究^[3~5], 但较高的基建与处理费用阻碍了其进一步的发展和实际应用。因此, 降低 MBR 系统的复杂性, 克服膜的污染与堵塞, 提高膜通量是能否将 MBR 尽快投入实际应用的关键。针对毛纺印染废水的特点与 MBR 存在的问题, 本研究采用生物膜厌氧反应器和膜生物反应器组合工艺对毛纺印染废水进行了试验研究, 并开发出一种新型低能耗的膜生物反应器——重力出流式膜生物反应器。它是利用生物反应器内液位水头的重力驱动连续出水, 省去传统的出水抽吸泵及复杂的气或水反冲洗设备, 既保留传统一体式 MBR 的优点, 又可提高膜通量, 降低膜污染。

1 试验条件与方法

1.1 试验系统

试验系统主要由高位水箱、厌氧反应器、好氧反应器、膜组件单元及曝气单元组成(图 1)。厌氧反应器容积 12 L, 内装填料; 重力出流式膜生物反应器的好氧反应器最大容积 25 L, 曝气量 0.2 ~ 0.6 m³/h, 膜单元采用中空纤维微滤膜, 材料为聚偏氟乙烯(PVDF), 孔径为 0.22 μm, 总面积 0.18 m²。试验系统的厌氧反应器主要作用是通过水解酸化, 破坏染

收稿日期: 2003-10-08; 修订日期: 2004-01-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(863 项目)
(2002 AA601 310)

作者简介: 郑祥(1978~), 男, 博士。

* 通讯联系人, Tel/Fax: 010-62849133; E-mail: jxliu@mail.rcees.ac.cn

料等有机物的分子结构,以利在后续好氧条件下进一步降解,达到最终去除的目的.本试验系统处理毛纺印染废水运行 133d,分 2 个阶段进行:第 1 阶段为系统运行初期的前 15d,厌氧反应器未启动,只对毛纺印染废水进行好氧处理;第 2 阶段从第 16 天开始连接并启动厌氧反应器(厌氧 HRT 在 2.5 ~ 5 h),进行完整的厌氧-好氧 MBR 处理过程.

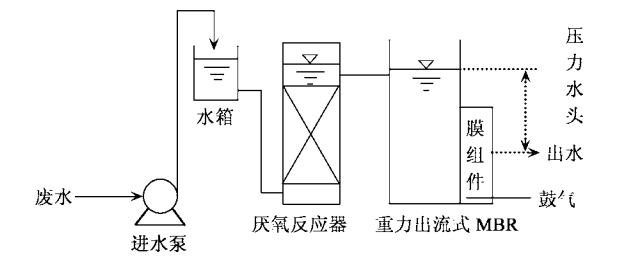


图 1 试验系统示意图

Fig.1 The flow sheet of the experimental

1.2 废水水质及运行参数

本试验废水取自北京某毛纺厂污水站经过 0.5 mm 筛板筛滤后的毛纺印染废水.该废水组分复杂,含有染料、染化助剂、毛料漂染过程产生的各种污染物.试验运行期间原废水的水质情况列于表 1.

表 1 废水水质

Table 1 Experimental wastewater quality				
pH	COD / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	BOD ₅ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	色度/倍数	浊度/ NTU
6.5 ~ 7.9	128 ~ 321	36 ~ 95	30 ~ 70	15 ~ 84

试验研究中分析项目主要有 pH、温度、污泥浓度(MLSS)、溶解氧(DO)、COD、色度、浊度等.测定方法均采用相应的国家标准方法.

试验污水处理量(Q)为 25 ~ 85 L/d;好氧反应器的运行参数详见表 2.除取样外,MBR 系统不额外排泥,如果把取样所排出的混合液作为排泥计入污泥龄,则实际的污泥龄在 200d ± 50d.

表 2 好氧反应器的运行参数

Table 2 Operation parameters of membrane bioreactor					
统计值	温度 / $^{\circ}\text{C}$	pH	DO / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	MLSS / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	HRT / h
最大值	28	8.16	9.3	3483	12.3
最小值	14	7.46	3.0	212	5.9
平均值	19	7.76	3.8	1242	9.2

2 结果与讨论

2.1 处理效果与出水水质

试验系统对毛纺印染废水处理效果的平均值列

于表 3.由表 3 可见,COD 的去除率平均达 80.3 %,出水 COD 平均值为 37 mg/L .在本试验运行的同期,毛纺厂废水处理车间的常规生物处理工艺对 COD 去除率平均为 42 %,由此可见,本系统对 COD 去除率明显高于现有废水处理车间,平均高出 38.3 %.北京市中水水质标准及建设部颁布的生活杂用水水质标准(CJ25.1-89) 的 COD 浓度为 50 mg/L ,本系统在 70 多 d 的连续运行中 COD 的平均值仅为 37 mg/L ,明显优于该标准.试验系统的 COD 进出水浓度变化见图 2.

表 3 试验系统对废水的处理效果

Table 3 Characteristics of influent and effluent in the experimental MBR system

项目	COD / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	BOD ₅ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	浊度 / NTU	色度
进水	195.9	74.8	43	51
出水	36.9	3.7	0.24	21
去除率/ %	81.2	95.1	99.4	59
回用水质标准 ¹⁾	50	10	10	30
(CJ25.1-89) ²⁾	50	10	5	30

1)城市园林绿化 2)洒水、扫除

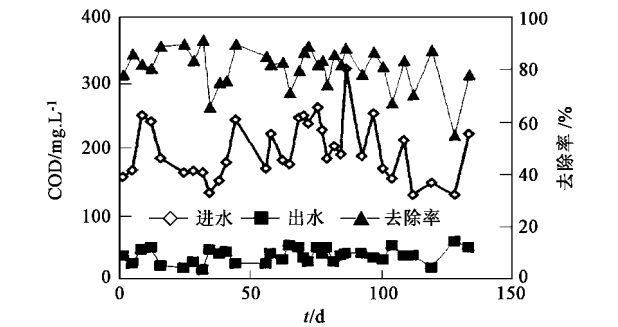


图 2 COD 的去除效果

Fig.2 Removal efficiency of COD

试验系统对废水中 BOD₅ 处理效果如图 3 所示.本试验的毛纺印染废水的生物可降解性能较差,BOD₅/COD 波动较大,有时小于 0.2,有时又大于 0.5.但试验系统对 BOD₅ 去除率平均达 95 %.

废水中染料等有机物组分多为难生物降解物,染料分子一般在好氧条件下很难破坏,色度难以去除.但有些染料分子可以在厌氧条件下通过水解酸化分解为较易被好氧微生物分解的小分子物质.因此,系统加入了厌氧处理单元以便提高脱色效果.结果表明,厌氧生物反应器与好氧膜生物反应器组合工艺有较明显的脱色效果,出水的色度一般可保持在 20 倍左右,色度的平均去除率达 59 %.由于原水中 COD 浓度较低,因此,在厌氧生物反应器内加入填料,采用生物膜法.膜生物反应器对浊度的去除作用明显,出水的浊度均低于 0.33 NTU,出水浊度十

分稳定,平均值仅为 0.24 NTU 。

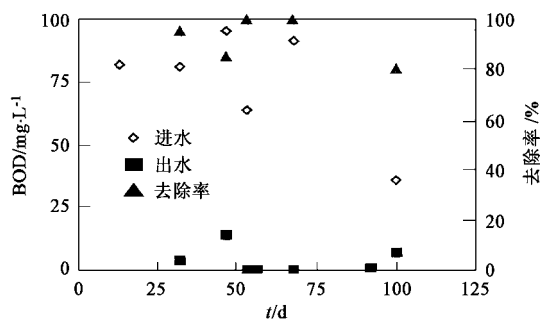


图3 BOD_5 的去除效果

Fig.3 Removal efficiency of BOD_5

污泥浓度随运行时间的变化情况如图4所示。在整个运行的135d内没有排泥,生物反应器内污泥的VSS/SS基本无变化,在系统稳定运行期间,VSS/SS保持在 $0.75 \sim 0.80$,说明系统内没有明显的无机物积累。

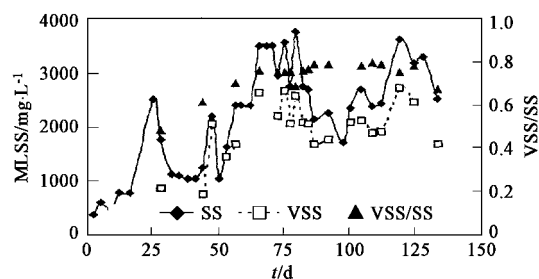


图4 污泥浓度的变化

Fig.4 Variation of the MLSS concentration

2.2 生物反应器中难降解有机物的积累

在本试验运行期间,对MBR上清液中COD浓度(混合液经定量滤纸过滤)进行了监测。通过上清液COD浓度的变化,可以间接地了解难降解有机物在MBR中的积累状况。图5为试验运行期间MBR上清液中COD的变化过程。从图5可以看出,系统运行的前20d上清液COD呈明显的上升趋势,这可能与系统的运行初期较高的COD污泥负荷有关。在系统的运行初期,反应器内污泥浓度较低,COD污泥负荷达 $0.33 \sim 0.71 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。在系统运行的第22d,往MBR中添加部分污泥使MLSS从 $780 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 上升到 $2510 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,上清液COD恢复到较低值。在系统运行的20~100d,上清液COD随运行时间的延长呈现先增加后减少的趋势,在第70d上清液COD上升到极大值 720 mg/L ,随后15d内上清液COD急剧下降到 $130 \sim 210 \text{ mg/L}$ 。从系统运行的第100天开始,上清液COD又急剧增加。由此看出,经

过长期的运行,生物反应器内的有机物有一定的积累,表现为上清液COD的升高。这些物质很大程度上来自废水中的难降解有机物和微生物代谢产物及细胞解体产生的大分子产物。

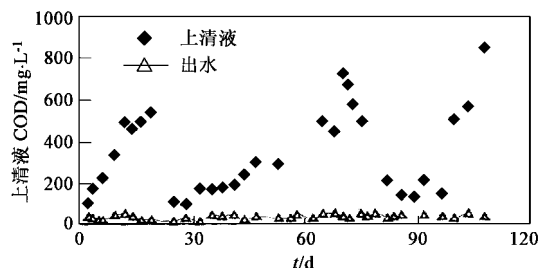


图5 上清液COD的变化

Fig.5 Variation of the supernatant COD concentration

图6是进入厌氧反应器的毛纺印染废水(进水)和厌氧反应器出水(A段出水)中BOD/COD的测试结果。图5中所示的系统在70~100d区段内上清液COD的回落现象可能与进入MBR的废水较好的可降解性能有关,这一阶段的BOD/COD达到0.57。在系统运行100d以后上清液COD又呈急剧的上升趋势,这一阶段进入MBR的废水的降解性能明显低于70~100d区段,BOD/COD比值仅为0.31。因此MBR处理难降解工业废水时,必须控制合适的污泥龄,适当的排泥有助于降低生物反应器中溶解性难降解有机物质的积累。

但MBR出水COD浓度并不随反应器中上清液COD浓度的波动有明显的变化。图7为采用定量滤纸过滤后的上清液COD用 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤后的上清液COD与MBR出水COD。从图7可以看出,微滤膜以及凝胶层在膜表面形成动态过滤层的分离作用对稳定出水水质起了重要的作用。

2.3 系统产水量及操作压力的变化

膜能否长期稳定运行是MBR反应器实际应用中非常关键的问题。许多研究工作表明,系统开始运

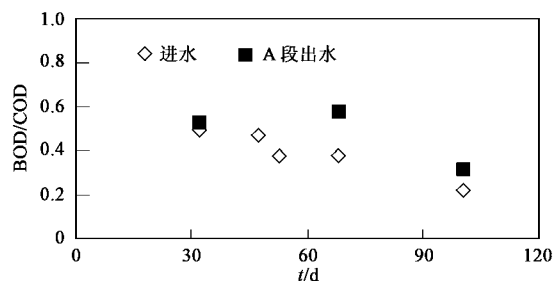


图6 厌氧反应器进出水的BOD/COD

Fig.6 Variation of BOD/COD at anaerobic reactor

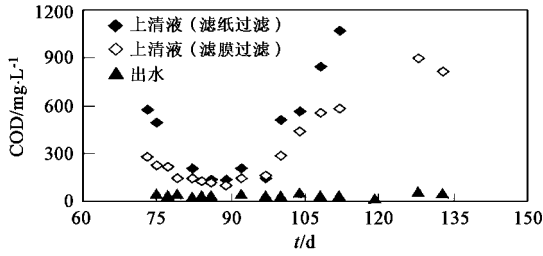


图 7 膜的截留作用

Fig.7 Rejection capability of the membrane

行的膜通量影响主体料液中粒子向膜面的运动速度,膜通量越大,粒子在膜面沉积越快,膜的阻力增加幅度也越大,膜通量衰减得也越快^[6].图 8 为系统运行过程中膜通量和水头压力随时间变化的情况.为了减轻膜的污染,本试验采用控制初始膜通量的操作方式,即在系统运行的初期,膜通量从某一较低值 $4\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 开始逐步升高到 $10\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$.同时采取恒压操作模式,逐步提高膜的操作压力;在系统运行的前 78 d,膜的操作压力为 13 kPa ,膜通量稳定在 $(10\pm 2.5)\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;当膜的操作压力提高到 $(19.5\pm 1.5)\text{ kPa}$,膜通量维持在 $(15\pm 2.5)\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$.这些试验结果表明,通过采取合适的操作方式,在省去重力出流或 MBR 传统的出水抽吸泵及复杂的反冲洗设备的条件下,仅依靠生物反应器内混合液液位水头的作用能连续出水,并获得较高的膜通量.

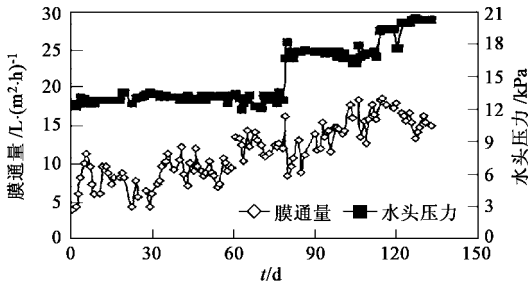


图 8 膜通量和水头压力随时间变化

Fig.8 Performance of flux and pressure-head

试验研究期间,在不同的操作压力下,对重力出流式膜生物反应器的膜通量及曝气量的变化进行了考察,试验结果如图 9 所示.由图 9 中的试验结果可知,增加曝气量,膜通量相应增加;并且随着液位水头压力的增大,曝气强度对膜通量的影响增加.本研究运行的结果还表明,提高曝气量不仅有助于提高膜通量,而且有利于长期运行膜污染的控制,降低膜阻力的上升速率.

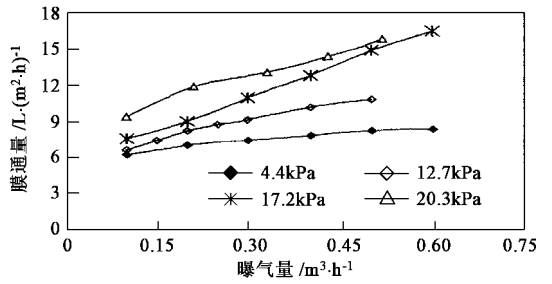


图 9 曝气量对膜通量的影响

Fig.9 Performance of flux and aeration intensity

3 结论

(1) 采用重力出流式膜生物反应器处理毛纺印染废水是可行的,能有效地去除废水中的有机污染物、色度和浊度,出水水质优于常规生物处理技术.

(2) 膜生物反应器中难降解有机物呈明显的积累状况,但出水 COD 浓度未受影响,微滤膜以及凝胶层在膜表面形成动态过滤层的分离作用对稳定出水水质起了重要的作用.

(3) 重力出流式膜生物反应器省去了传统的出水抽吸泵及复杂的反冲洗设备,在生物反应器内混合液液位水头的作用下可连续出水,膜通量较高.在同等处理能力下,较常规一体式膜生物反应器可节省膜组件的一次性投资及运行折旧费用.试验装置结构紧凑,投资少,操作简便.

(4) 提高曝气量不仅有助于提高膜通量,而且有利长期运行膜污染的控制,降低膜阻力的上升速率.膜组件上部的液位水头压力越大,曝气强度对膜通量的贡献越大.

参考文献:

- [1] Stephenson T, Judd S, Jefferson B, *et al.* Membrane bioreactors for wastewater treatment [M]. London: IWA Publishing, 2000. 59 ~ 111.
- [2] 郑祥,刘俊新.膜生物反应器的技术经济分析[J].给水排水, 2002, 28(3): 105 ~ 108.
- [3] 郑祥,朱小龙,樊耀波.膜生物反应器处理毛纺废水的中试研究[J].环境科学, 2001, 22(4): 79 ~ 82.
- [4] ZHENG Xiang, Fan Yaobo, Wei Yuansong. A Pilot Scale Anoxic/oxic Membrane Bioreactor (A/O MBR) for Woolen Mill Dyeing Wastewater Treatment [J]. Journal of Environment Science, 2003, 15(4): 449 ~ 455.
- [5] 刘超翔,黄霞,文湘华.一体式膜-生物反应器处理毛染废水的中试研究[J].给水排水, 2002, 28(2): 56 ~ 59.
- [6] 魏源送,郑祥,刘俊新.国外膜生物反应器在污水处理中的研究进展[J].工业水处理, 2003, 23(1): 1 ~ 7.