

双功能陶瓷膜生物反应器处理废水的研究

张永明^{1,2}, 程旖旎², 石英丽², 施汉昌¹, 钱易¹ (1. 清华大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 南昌航空工业学院环境与化学工程系, 南昌 330034, Email: zhang21 @public.nc.jx.cn)

摘要: 研制了一种具有抽滤和曝气双重功能的陶瓷膜生物反应器并用于处理废水. 比较了废水经陶瓷膜抽滤后的出水浊度和自然沉降后的浊度, 经过陶瓷膜过滤后的出水浊度达到自然沉降 4 ~ 24h 的效果. 在处理废水的过程中, 进行曝气/ 抽滤的切换, 可有效地解决膜的堵塞问题. 分别进行了间歇和连续的方法处理废水的试验, 其 COD 负荷分别达到 $1.1 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $1.5 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

关键词: 陶瓷膜; 生物反应器; 废水处理; 双功能; 浊度; 过滤

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)04-04-0067

Studies on Ceramic Dual Function Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment

Zhang Yongming^{1,2}, Cheng Yini², Shi Yingli², Shi Hanchang¹, Qian Yi¹ (1. State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Environmental and Chemical Engineering, Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China E-mail: zhang21 @public.nc.jx.cn)

Abstract: A new bioreactor including ceramic dual function membrane, filtration and aeration, was developed and used for wastewater treatment. The turbidity of effluent by the ceramic membrane was comparable to that of 4 ~ 24 hours by sedimentation. Aeration and filtration could be switched constantly to the ceramic membrane in the bioreactor and the clogging of ceramic membrane could be well prevented. The wastewater was treated in batch and continues operation modes respectively and the experimental results showed that the COD loading was $1.1 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ and $1.5 \text{ kg} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ respectively.

Key words: ceramic membrane; bioreactor; wastewater treatment; dual functions; turbidity; filtration

膜生物反应器 (Membrane Bioreactor, MBR) 自 20 世纪 80 年代以后发展很快^[1], 在国外, 用于污水处理者有的已进入实用阶段, 如日本用其进行生活污水的处理, 净化水作为中水回用^[2,3]; 法国有人将其用于饮用水处理^[4,5]; 美国用 MBR 进行含油废水的处理^[6]; 英国用隔离式 MBR 进行有毒工业废水的处理等^[7,8].

无机膜生物反应器 (Inorganic Membrane Bioreactor, IMBR) 则是于 90 年代在 MBR 基础上兴起的^[9]. IMBR 的核心是采用无机膜. 与有机膜比较, 无机膜具有化学稳定性好、热稳定性高、机械性能优异、通量大、寿命长、容易清洗等优点. 但也存在着制造成本高、运行费用大等问题, 特别是容易堵塞的问题^[10]. 目前 IMBR 及其在废水处理方面的研究已成为膜科学技术领

域热点之一.

本研究针对上述陶瓷膜容易堵塞的问题, 提出了一种新的膜生物反应器的设计方案. 即将陶瓷膜设计成 U 型管状, 使其既可以曝气, 又可以进行抽滤, 形成一种具有双重功能的陶瓷膜. 在处理废水的同时不断地进行曝气/ 抽滤的切换. 曝气的同时又是对陶瓷膜的反吹, 以解决陶瓷膜容易堵塞的问题, 从而提高反应器处理废水时的效率. 该陶瓷膜置于反应器内部, 形成一体式的双功能陶瓷膜生物反应器, 这一设计目前在国内外尚未见报道.

基金项目: 教育部高等学校重点实验室访问学者基金资助项目

作者简介: 张永明 (1958 ~), 男, 博士, 教授, 主要从事生物处理废水及生物反应器的研究.

收稿日期: 2001-06-20; 修订日期: 2001-10-01

1 实验方法

1.1 生物反应器和陶瓷膜

图1所示是双功能陶瓷膜生物反应器的示意图,其有效体积约2500 mL.反应器内部装有2组U型管状陶瓷膜,在反应器的底部有陶瓷膜的接口,可分别接上曝气和抽滤装置.在处理废水的时候可定时地进行曝气/抽滤的切换.反应器内另装有可拆卸的蜂窝状的陶瓷载体,该载体的作用是使微生物能附着生长在其上,以提高生物相浓度.反应器中间安装有一挡板,可使废水在反应器内形成内循环以强化气液传质.U型管状陶瓷膜的微孔孔径为60~100 μm,每组陶瓷膜过滤面积为40.69 cm².

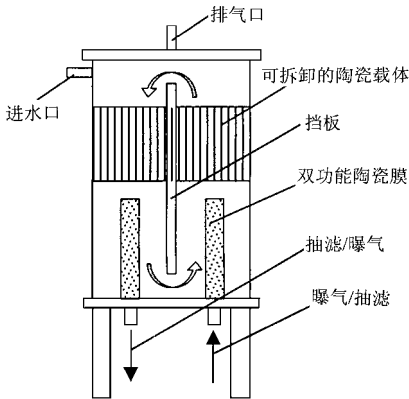


图1 双功能陶瓷膜生物反应器示意图
Fig.1 Sketch map of Ceramic Dual Function Membrane Bioreactor

1.2 废水

在降低水样浊度试验时,选用2种浊度的水样.低浊度的水取自池塘水,内含有细小的胶体悬浮物.而高浊度的水样,是在取自池塘水样中加入一些泥土,以提高其浊度.

在降解废水时,于取自池塘的水中添加适量的葡萄糖及氮、磷等元素配制成模拟废水.

1.3 生物膜的形成

在处理废水之前,首先用肉汤培养基接入少量池塘水.摇瓶培养48 h,待微生物生长到一定量后,将含有大量微生物的溶液加入到反应器中,使微生物细胞吸附在多孔陶瓷载体上,经过一段时间的培养形成生物膜.

1.4 陶瓷膜通量的测试

为了考察陶瓷膜通量随抽滤时间的变化,分别用前述的高、低2种浊度的水样进行试验.每隔一定时间用型号为WGZ-1数字式浊度仪(上海产)测定抽滤后出水的浊度,并和同类废水在自然沉降情况下进行比较.此外还在1 h内分为6个阶段考察陶瓷膜通量的变化规律以及经过曝气反吹之后,膜通量的恢复情况.

1.5 废水生物降解试验

在反应器中安装陶瓷载体,待吸附的微生物形成生物膜之后,分别进行间歇和连续生物处理模拟废水的试验.此时每隔0.5 h进行一次曝气/抽滤的切换,以保持陶瓷膜的通量,并定时从抽滤膜处取样并测定水样的COD和浊度.

2 结果和讨论

2.1 出水浊度的变化

分别用2种浊度的水样,经过陶瓷膜的过滤考察其浊度的变化情况.图2是采用浊度为47的水样,经过陶瓷膜抽滤后其浊度的变化情况.从图2可以看出,经过陶瓷膜抽滤后其浊度下降至平均23左右,平均浊度下降率为51%.分析图中浊度变化曲线可以看出,抽滤后水样的浊度有一定幅度的变化,这说明陶瓷膜对浑浊水的过滤主要是通过陶瓷表面形成的过滤层进行的.由于反应器内循环水流的搅动,过滤层的形成尚不稳定,所以出水浊度便有一些波动.从图2还可看出,在抽滤的前期,是过滤层形成阶段,出水的浊度比后期的浊度要高.从5 h以后,浊度稳定在20左右,总的趋势是浊度逐渐下降,平均浊度下降了57%.

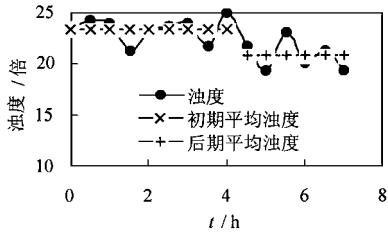


图2 低浊度水经陶瓷膜抽滤后的变化
Fig.2 Change of water with low turbidity after filtration by ceramic membrane

图3是采用浊度为320的水样经过陶瓷膜抽滤后其浊度的变化情况.从图中可以看出,在

前 20 min,出水浊度逐渐下降,此时是过滤层的形成过程,20 min 之后,出水的浊度就降低至 120 左右,废水浊度的下降率为 62%,并且稳定在这个范围.

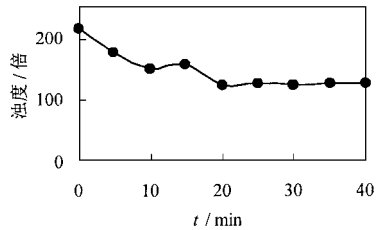


图 3 高浊度水经陶瓷膜抽滤后的变化

Fig.3 Change of water with high turbidity after filtration by ceramic membrane

分析 2 种浊度水样的下降情况,由于低浊度水中主要是细小的悬浮物,所形成过滤层的孔径就比较小,因而出水浊度相对比较小.而高浊度的水中主要含有的是较大颗粒的泥土,所形成的过滤层的孔径相对较大,因而出水浊度也就较高.

为了与陶瓷膜过滤进行比较,对同类废水进行自然沉降的比较试验.图 4 和图 5 分别是采用浊度为 58 和 390 的 2 种水样经过自然沉降,其浊度下降的情况.从图 4 可以看出,低浊度废水经过 10h 的自然沉降后,其浊度下降到 25,而 24h 后,浊度降到 18.从图 5 可以看出,高浊度的废水经过 4h 的自然沉降,废水浊度的下降率为 60%,此后浊度缓慢下降.

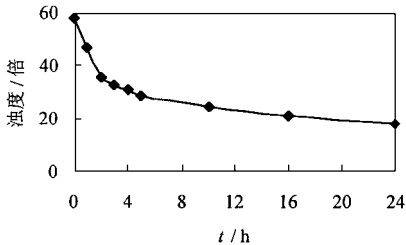


图 4 低浊度水自然沉降时浊度的变化

Fig.4 Change of water with low turbidity by sedimentation itself

从上述试验结果可以看出,采用池塘水,由于水中含有较多的悬浮物,主要是一些浮游性的胶体物质,其自然沉降速率较慢,在此种情况下,陶瓷膜过滤的效果就相当于其自然沉降 10

~ 24h 的结果.而高浊度的水,由于是在水中加入了泥土,其沉降速率较快,同时也会吸附悬浮的胶体物质共同沉降,所以陶瓷膜过滤的效果就相当于其自然沉降 4h 的结果.

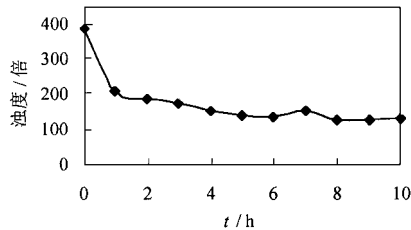


图 5 高浊度水自然沉降时浊度的变化

Fig.5 Change of water with high turbidity by sedimentation itself

2.2 陶瓷膜通量的变化

用陶瓷膜连续进行抽滤时,其膜通量会逐渐下降.下降的幅度是进行废水处理时的主要工艺参数.图 6 所示是用低浊度水进行的膜通量恢复性能的试验.进水浊度 47,出水浊度 23.试验时,在 60 min 内每隔 10 min 测定一次膜通量,考察其膜通量的变化情况.每次测试之后,均曝气 10 min,从实验结果可以看出,经过短时间曝气均能基本恢复到原来的水平.最后膜通量可稳定在 $180 \sim 200 \text{ L}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 之间.图 7 是用高浊度水进行的膜通量恢复试验.连续进行了 3 次,每次抽滤 45 min,然后曝气 8 min.从图 7 可以看出,经过短时间的曝气,膜通量也基本恢复到原来水平.

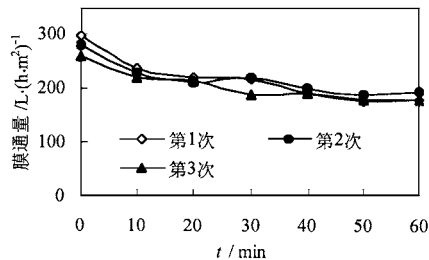


图 6 陶瓷膜通量的变化

Fig.6 Change of ceramic membrane flux

2.3 处理废水的试验

为尽量减少污泥堵塞陶瓷膜,同时又为了提高生物相的浓度,在反应器内安装蜂窝陶瓷载体,让微生物附着生长在陶瓷膜上形成生物

膜,用该方法处理模拟废水时,分别进行了间歇和连续处理模拟废水的试验,以考察用该反应器处理废水时的效果.图 8 是间歇处理模拟废水时 COD 降解的曲线.图 9 是连续处理废水时 COD 降解曲线.

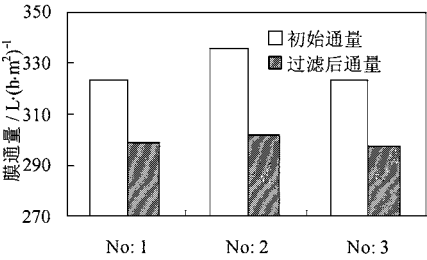


图 7 膜通量的恢复情况

Fig. 7 Renewal of ceramic membrane

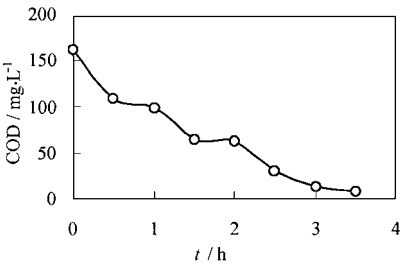


图 8 间歇处理废水时 COD 的降解曲线

Fig. 8 COD removal of wastewater in batch treatment

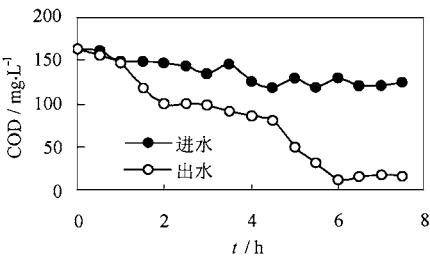


图 9 连续处理废水时 COD 降解曲线

Fig. 9 COD removal of wastewater in continuous flow treatment

连续处理时,平均水力停留时间约 113 min.从图 8 中可以看出,经过 3h 的间歇处理,废水的 COD 就降解了 92 %,COD 负荷约为 1.1 kg/(m³·d).从图 9 可以看出,连续处理时,经过 6h 后,废水 COD 的去除率稳定在 90 % 以上,此时的 COD 负荷约为 1.5 kg/(m³·d).用生物膜法处理模拟废水时,每 0.5 h 进行一次曝气

/抽滤的切换,使膜通量保持在 290 ~ 320 L/(h·m²),其出水的浊度从 47 下降到 19.由于采用陶瓷作为生物膜的载体,既可以提高生物量又能避免污泥过多容易堵塞陶瓷膜,造成陶瓷膜通量下降的缺点.

3 结论

陶瓷膜的过滤作用主要是通过通过在陶瓷膜表面形成过滤层实现的.用双功能陶瓷膜生物反应器处理废水时,由于可以进行抽滤/曝气的切换,从而有效地解决了一般膜反应器中普遍存在的膜容易堵塞的问题,提高了膜反应器处理废水的效率.此外,在该反应器中增加了陶瓷载体,既可以增加生物相浓度,又可减少过多的悬浮物堵塞陶瓷膜.与传统的废水处理方法相比,由于出水的浊度较低,可以缩短废水的沉清过程,从而提高废水处理的效率.因此双功能陶瓷膜生物反应器具有较大的应用价值.

参考文献:

- 樊跃波,王思菊.水与废水处理的膜生物反应器技术.环境科学,1995,16(5):79~81.
- 刘福琼,韩式荆.超滤技术在环境工程中的应用现状.环境化学,1993,12(6):496~499.
- スメルネサンス技术研究组合.分离膜在复合レを嫌气废水处理技术,1992,243~250.
- Chang J, Manem J, A Beavbien. Membrane Bioprocess for the Denitrification of Drinking Water Supplies. Journal of Membrane Science, 1993, 80: 233~240.
- Chang J, Manem J, A Beavbien. Membrane Bioprocess for the Denitrification of Potable Water Supplies. Interfiltra Europe Conference, Paris: 1992.
- Knoblock M D, Sutton P M, Mishra P N et al. Membrane Biological Reactor System of Treatment of Oily Wastewater. Water Environmental Research, 1993, 66:133~138.
- Freitas Dos Santos L M, Livingston A G. Novel Membrane Bioreactor for Detoxification of VOC Wastewater, Biodegradation of 1,2-dichloroethane. Water Research, 1995, 19(1): 179~184.
- Livigston A G. Extractive Membrane Bioreactors: A New Process Technology for Detoxifying Chemical Industry Wastewaters. J. Chem. Tech. Biotechnol., 1994, 60:117~123.
- Chaize S, Huyard A. Membrane bioreactor on domestic wastewater treatment sludge production and modeling approach. Water Science Technology, 1991, 23:1591~1598.
- 邢传宏, Tardieu Eric, 钱易.无机膜生物反应器处理生活污水实验研究.环境科学,1997,18(3):1~4.