

厌氧超滤膜反应器截留分子量研究^{*}

何义亮 李春杰 吴志超 顾国维

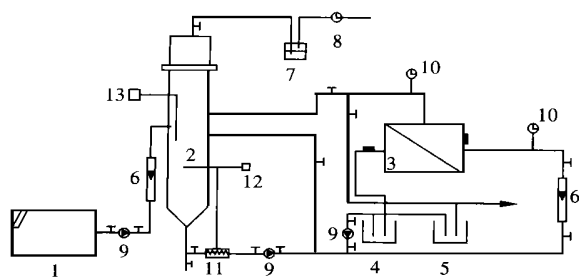
(同济大学环境科学与工程学院)

摘 要 采用板框式超滤膜组件构成的完全混合厌氧生物反应器对高浓度食品废水进行处理,考察了处理效果以及截留分子量对膜通量和出水效果的影响。膜材质为聚醚砜(PES),截留分子量为 20 000 ~ 70 000 u。试验结果表明,截留分子量不同的膜,通量衰减及清洗恢复也呈现不同的趋势;对 SS 均能完全去除;对细菌的截留率均能达到 99.9 % 以上;对 COD、色度的去除有所差异,截留分子量愈小,去除率愈高,但差异不是很大。根据试验提出了“并联运行的平板膜组件中,通量最大的膜优先衰减且衰减幅度最大”的观点。

关键词 厌氧膜生物反应器 超滤膜 截留分子量 膜通量 处理效果

1 试验工艺流程及主要设备

试验工艺流程见图 1。



- | | | |
|----------|----------|--------------|
| 1. 格网贮水池 | 2. 厌氧反应器 | 3. 膜组件 |
| 4. 清水池 | 5. 化学清洗池 | 6. 流量计 |
| 7. 水封 | 8. 气体流量计 | 9. 水泵 |
| 10. 压力表 | | |
| 11. 加热器 | 12. 温度控制 | 13. pH 自动控制仪 |

图 1 厌氧膜生物反应器系统工艺图

厌氧反应器总容积为 500 L,有效反应容积约 400 L。通过加热及温度控制装置将温度控制在 35 左右,通过 pH 值自动控制仪将 pH 值控制在 6.8 ~ 7.2。

膜组件为板框式超滤器,试验装填膜面积为 0.32 m²,共装填 8 片膜,分别为 PES200 (2 片)、PES300 (2 片)、PES500 (2 片) 及 PES700 (2 片)。PES 为聚醚砜,200 ~ 700 分别指膜的截留分子量为 20

000 ~ 70 000 u。膜组件运行方式为单段并联运行,加压泵功率 0.75 kW。

试验现场为上海国福龙凤食品有限公司,废水主要来源为面粉压滤出水、洗肉水、蔬菜汁、蔬菜清洗水、器具清洗水、洗地用水、洗米水等,有机物主要来自前三种水,试验也主要取这三种水配制,COD 在 2 000 ~ 15 000 mg/L。废水经 100 目滤网过滤后作为厌氧超滤膜反应器的进水。

根据厌氧反应器的负荷及膜组件的水通量,处理水量按 300 ~ 600 L/d 设计。

2 试验结果与分析

2.1 截留分子量对膜水通量的影响

2.1.1 不同膜的初始水通量衰减情况

四种膜初始水通量的变化情况如图 2 所示。试验条件为操作压力 0.12 MPa,膜面流速约 0.88 m/s,污泥浓度 6 000 mg/L。

由图 2 可见,四种膜的初始水通量衰减基本在 45 min 后趋于稳定,其衰减率[定义为(初始水通量 - 稳定水通量)/初始水通量]分别为 PES200 膜 48.7 %、PES300 膜 26.5 %、PES500 膜 28.4 %、PES700 膜 23.3 %。相比而言,截留分子量最小的膜其初始水通量衰减率最大。

^{*} 上海市环境保护科学基金资助项目(97 - 007)

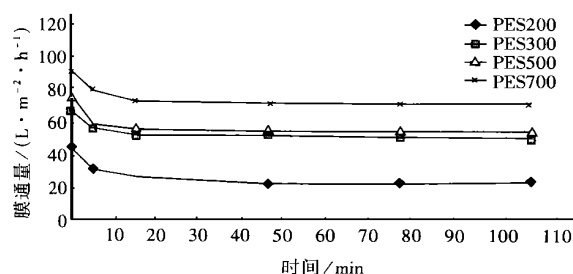


图2 膜初始水通量随运行时间的变化情况

2.1.2 不同膜的长期水通量衰减情况

图3为厌氧膜生物反应器经三个多月的连续运行四种膜水通量的变化情况。平板膜组件每日水力清洗一次(清水泵循环清洗 30 min),每 10 d 左右化学清洗一次(用 0.5 % 的 NaOH 溶液循环清洗 1 h)。试验条件为操作压力 0.095 MPa,膜面流速约 0.88 m/s,污泥浓度 3 000 ~ 6 000 mg/L。

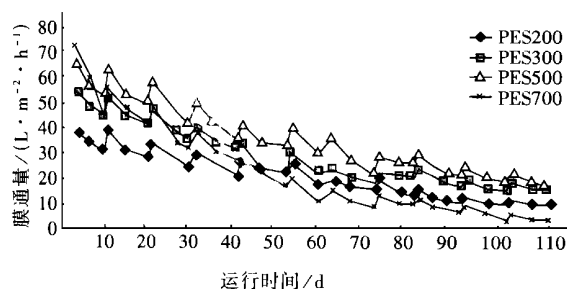


图3 不同截留分子量膜通量衰减情况

由图3可见,膜截留分子量愈大,通量衰减幅度愈大,这与截留分子量对膜初始水通量的影响规律有所不同。

值得注意的是,平板膜组件并联运行的四种膜中截留分子量最大的 PES700 膜最先衰减,且衰减幅度最大,由水通量最大者变为最小者。当膜组件运行到 110 d 时,将膜组件拆开进行清洗,发现膜组件流道内沉积着大量的污泥,其中 PES700 膜流道内沉积最为严重,用清水冲洗,污泥呈片状脱落。

拆除 PES700 膜后将 PES200、PES300、PES500 膜重新组装,继续并联运行,其通量衰减情况如图4所示。

拆除 PES700 膜后,PES500 膜成为并联运行中截留分子量最大者,其初始水通量也最大。图4的结果表明,PES500 膜最先衰减,且衰减幅度最大。

膜生物反应器中截留分子量对膜通量的影响规律与膜污染的机理有关。膜初始通量的衰减主要是

由浓差极化所引起的早期通量下降。在同样条件下,膜的截留分子量愈小,超滤时截留在膜面上的溶质愈多,浓差极化就愈严重,膜阻力愈大,从而水通量衰减率愈大。当膜长期运行时,膜通量的降低主要是由膜污染等引起的长期通量下降,此时膜的截留分子量愈大,通过的溶质愈多,其较大的膜孔径便愈容易被活性污泥中相近尺度的物质所堵塞;同时由于截留分子量愈大膜通量愈大,料液向膜面的迁移速度也就愈大,因而污染物质在膜表面吸附沉积的机会也就愈多,通量衰减也就愈严重。

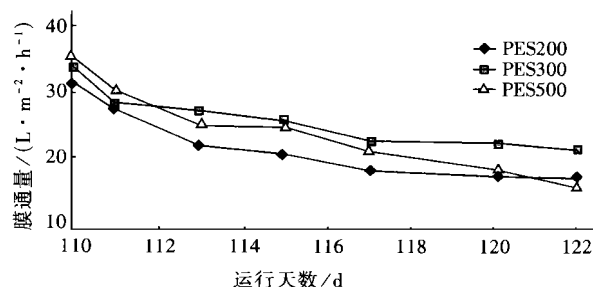


图4 拆装后膜通量衰减情况

平板膜组件在并联运行时,如果各流道阻力相当,则料液进入后向各流道的分布也是均匀的。但若某一流道沉积严重,阻力增大,则料液分布便会倾向于其他流道,使该流道进料减少,流道膜面流速降低,沉积更为严重,并逐步失去错流过滤的优势,成为“死滤”,通量也就大幅度降低,这样便出现了图3及图4中截留分子量最大的 PES700 膜和 PES500 膜最先衰减且衰减幅度最大的结果。

通过上述理论分析和试验验证,提出如下观点:“并联运行的平板膜组件中,水通量最大者优先衰减且衰减幅度最大”。

2.1.3 不同膜的化学清洗效果

图5为历次化学清洗后膜清水通量恢复率[定义为(化学清洗后膜清水通量/膜初始清水通量)×100%]。

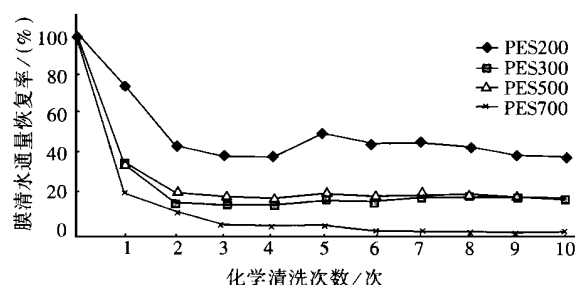


图5 化学清洗后膜清水通量的恢复率

图5的结果表明,四种膜化学清洗后的清水恢复率差异较大,PES200膜最高,在40%~50%左右;PES300膜和PES500膜相当,都在20%左右;而PES700膜最低,小于10%。说明膜截留分子量愈大,膜污染相对愈严重,化学清洗恢复率愈低。

总的来看,化学清洗后膜通量的恢复情况并不理想。分析原因,可能主要是因为膜组件流道内剪

切率低(约500/s),膜面固体颗粒沉积严重,而每日的水力清洗又未能完全消除这些沉积物,因而大大影响了化学清洗的效果。

2.2 截留分子量对膜出水效果的影响

表1为厌氧超滤膜反应器不同截留分子量的PES膜去除COD、SS、色度(由于废水中含有较浓的蔬菜汁,故色度较高,主要呈绿色或棕色)及细菌的情况。

表1 不同截留分子量膜去除COD、SS、色度及截留细菌情况

膜类	COD (mg/L)			SS (mg/L)			色度(倍数)			细菌总数(个/mL)		
	进水	膜滤出水	去除率(%)	进水	膜滤出水	去除率(%)	进水	膜滤出水	去除率(%)	活性污泥混合液	膜透过液	截留率(%)
PES200	4 245.3	412.0	90.3	920.0	0.0	100	6 000	100	98.3	1.8×10^6	4	>99.9
PES300	4 245.3	467.2	89.0	920.0	0.0	100	6 000	200	96.7	1.8×10^6	7	>99.9
PES500	4 245.3	527.5	87.6	920.0	0.0	100	6 000	200	96.7	1.8×10^6	11	>99.9
PES700	4 245.3	550.0	87.0	920.0	0.0	100	6 000	400	93.3	1.8×10^6	13	>99.9

注 以上数据为厌氧超滤膜反应器运行数据,容积负荷 $1.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,污泥浓度 6.0 g/L 。

由表1的结果可见,不同截留分子量的膜对SS均能完全去除;对细菌的截留率均能达到99.9%以上;对COD、色度的去除有所差异,截留分子量愈小,COD及色度去除率愈高,但差异不大。

2.3 厌氧超滤膜反应器的设计

上述试验研究结果对于厌氧超滤膜反应器的设计和运行管理有着重要的指导意义。首先在膜截留分子量的选择上,不必为追求较高的水通量单纯选择较大截留分子量的膜,而是根据具体的污泥浓度及污染物情况确定采用PES300膜。考虑到平板膜组件流道内剪切率较低,同时也难以保证各流道通量均匀,因而在实际设计中建议采用管式膜组件,其流道内剪切率约 $5\,000/\text{s}$,大大改善了膜面沉积清洗,同时在实际运行中加强了水力清洗,以保证化学清洗的效果。

3 结论

厌氧超滤膜反应器膜截留分子量对膜通量的变化有重要影响。膜初始通量衰减主要是由于浓差极化引起的早期通量下降。膜截留分子量愈小,通量衰减率愈大。膜长期运行的通量衰减主要是由于膜污染引起的长期通量下降。膜截留分子量愈大,通量衰减幅度愈大,化学清洗恢复率愈低。

通过对平板膜组件不同截留分子量膜的水通量衰减规律研究,提出“并联运行的平板膜组件

中,水通量最大者优先衰减且衰减幅度最大”的观点。

不同截留分子量的膜对SS均能完全去除;对细菌的截留率均能达到99.9%以上;对COD、色度等的去除有所差异,截留分子量愈小,去除率愈高。

参考文献

- 1 Kazuo Yamamoto *et al.* Tannery wastewater treatment using a sequencing batch membrane reactor. *Wat Sci Tech*, 1991; 23: 1639 ~ 1648
- 2 Yuichi Suwa *et al.* Single - Stage, Single - Sludge nitrogen removal by an activated sludge process with cross - flow filtration. *Wat Res*, 1992; 26(9): 1149 ~ 1157
- 3 樊耀波等. 膜生物反应器净化石油化工污水的研究. *环境科学学报*, 1997; 17(1): 68 ~ 74
- 4 顾平等. 应用膜生物反应器处理生活污水的研究. *中国给水排水*, 1998; 14(5): 6 ~ 8
- 5 何义亮等. 膜生物反应器生物降解与膜分离共作用特性研究. *环境污染与防治*, 1998; 20(6): 18 ~ 20

作者简介:何义亮(1965 -) 男 河北阳原人 副教授 硕士 研究方向:污水处理
通讯处:200092 同济大学环境科学与工程学院
电话:(021)64920310 (0)1371619162
(收稿日期 1999 - 03 - 10)