

文章编号: 1007-8924(2008)02-0054-05

双轴旋转超滤膜组件过滤厌氧泥水混合液

沈飞^{1,2}, 严滨¹, 李成¹, 李健科¹, 李清彪², 蓝伟光^{1,3}(1. 三达膜科技有限公司, 厦门 361022; 2. 厦门大学 海洋与环境学院;
3. 化学化工学院, 厦门 361005)

摘要: 设计开发了一套中试规模的双轴旋转超滤膜组件系统. 系统容器容积 120 L, 内装填的有效膜面积为 4 m^2 . 试验选用两种不同截留分子量(5 万和 10 万)的 PVDF 超滤膜, 采用该系统处理厌氧生物反应器内泥水混合液, 研究了膜截留分子量、膜渗透通量、过膜压差、膜旋转速度之间的相互关系. 结果表明, 一定膜旋转速度下, 随着过膜压差的提高, 存在一个膜极限渗透通量; 随着膜旋转速度的降低, 膜极限渗透通量明显下降, 且膜极限渗透通量出现时对应的过膜压差往低压方向迁移; 截留分子量大小对膜过滤行为的影响在高压、高转速区有减弱趋势.

关键词: 双轴旋转膜组件; 超滤; 膜极限渗透通量; 厌氧泥水混合物; 垃圾渗滤液

中图分类号: TQ028.8 **文献标识码:** A

传统错流超滤过程中, 通常采用高料液循环速度来产生水力扰动($\approx 98\%$)^[1], 用来尽可能地降低浓差极化, 维持需要的渗透通量. 然而, 当进液浓度增加或料液浓缩过程中, 料液黏度也随之增加, 系统则很难维持高的循环错流流速^[2].

近些年来, 为了改进传统错流过滤方式, 在不增加能耗的前提下提高料液水力扰动从而降低浓差极化的程度, New Logic 公司研究开发了“振动剪切增强膜技术”(VSEP 系统)^[3]; SpinTek 公司则研究开发了“高速剪切旋转超滤技术”(HSRUF 系统)^[4]. 相比于传统错流工艺, 这两种技术的优势能有效地把膜污染防治环节与进液压力/循环环节进行解耦合, 使得进水泵的作用仅仅是提供过膜压差和少量的循环流量.

本文设计开发的此套中试规模的旋转超滤膜组件, 采用的则是双轴同向旋转, 这样在交叉重叠区域就会产生一个相反的运动, 从而增强了这个区域的水力扰动程度, 同时也能有效地阻止膜片高速旋转时产生的复合涡流^[5]. 试验采用此系统处理了一座上流式厌氧污泥床(UASB)反应器内悬浮污泥层的泥水混合液, 考察了膜截留分子量、膜通量、过膜压

差和膜旋转速度之间的相互关系.

1 双轴旋转超滤膜组件系统

图 1 是双轴旋转超滤膜组件的结构示意图. 在该组件中, 平片式圆型膜片被固定于两根同向旋转的中空轴上. 料液在压力驱动下进入容积为 120 L 的容器, 渗透液在过膜压差驱动下透过膜, 并被收集于中空轴外排, 浓缩液在容器下部的另一侧的循环口离开容器. 在该系统中, 水力扰动由膜旋转引起, 这样一来, 进水泵的作用仅仅是提供过膜压差和少量的循环流量.

Reed^[1]等曾报道, 采用其单轴旋转超滤系统处理含油废水, 油浓度可以由最初的 5% 浓缩至 65%. 本文所述旋转超滤膜组件是双轴同向旋转(如图 1 所示), 交叉膜片之间的水力流动形成了相反的运动, 这个区域的水力扰动程度加大, 膜的自清洁效应也得到提高, 同时也能有效地阻止膜片高速旋转时产生的旋转流或涡流. 因此, 该系统适合用来处理高悬浮物含量、高浓度的料液.

值得注意的是, 因离心力的作用, 旋转膜组件中存在一个反向于中空轴的压力, 即反压 P_b .

收稿日期: 2006-11-01; 修改稿收到日期: 2007-01-04

中国知网 <http://www.cnki.net> 沈飞, 男, 安徽凤阳人, 博士, 从事膜技术开发应用及水处理等方向的研究工作. 电话: 0592-6778151, E-mail: shenfei197941@163.com

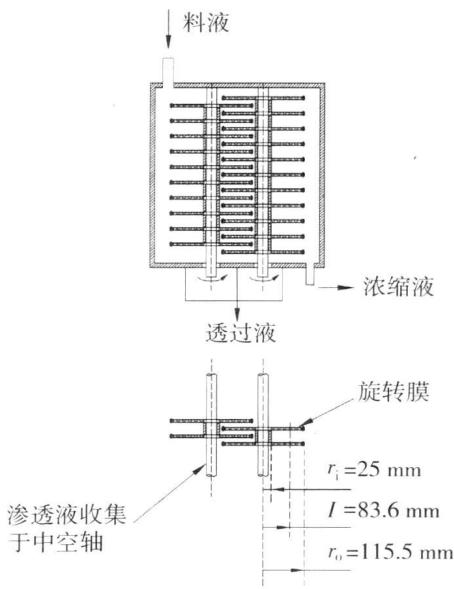


图 1 双轴旋转超滤膜组件结构示意图

Fig. 1 Schematics of the double-shaft rotary membrane module configuration

$$P_b = \frac{\rho(\omega r)^2}{2} \quad (1)$$

式中, ρ 是料液密度. 而平均渗透反压 $P_{b(\text{avg})}$, 则发生在旋转膜盘的回转半径处:

$$P_{b(\text{avg})} = \frac{\rho(\omega I)^2}{2} \quad (2)$$

式中, I 是旋转圆环的回转半径:

$$I = \sqrt{\frac{r_i^2 + r_o^2}{2}} \quad (3)$$

式中, r_i 是膜片内半径; r_o 是膜片外半径. 平均过膜压差 ΔP , 是应用压力 P_i 与 $P_{b(\text{avg})}$ 之差:

$$\Delta P = P_i - P_{b(\text{avg})} \quad (4)$$

在 HSRUF 系统中, 维持一定的操作参数 (P_i 和膜旋转速度) 而使得应用压力始终高于最大的渗透反压非常重要. 而最大的渗透反压 $P_{b(\text{max})}$ 通常发生在 r_o 处. 如果应用压力小于 $P_{b(\text{max})}$, 则净余的驱动力和渗透流向将会反过来, 膜面将分层^[6].

2 实验

2.1 实验装置

图 2 是采用双轴旋转超滤膜组件过滤厌氧生物反应器内泥水混合液的试验系统示意图. 此中试规模的厌氧生物反应器为上流式厌氧污泥床反应器 (UASB 反应器), 处理对象为厦门市某垃圾卫生填埋厂的垃圾渗滤液. 试验用泥水混合液取自 UASB

反应器高度的 40% 处, 并加自来水稀释一倍, 贮存在 250 L 的 PE 桶里, 其一些性质见表 1. PE 桶内装机械搅拌装置, 目的是维持料液混合均匀. 为了防止料液变质, PE 桶的上盖始终旋紧, 上盖开一孔, 留足机械搅拌的轴直径空间.

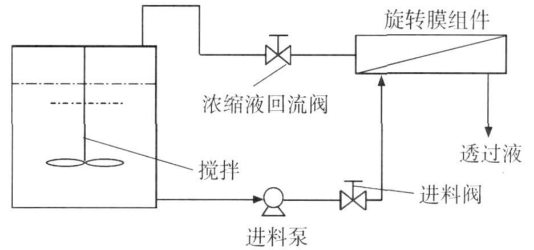


图 2 试验系统示意图

Fig. 2 Test system schematics

表 1 厌氧泥水混合液的性质

Table 1 Anaerobic sludge mixed liquor characteristics

指标	数值
MLSS/(g·L ⁻¹)	13.6
温度/°C	28
pH	8.0~8.2
η /(mPa·s)	6.6
浊度/NTU	13 000

料液在压力驱动下, 进入双轴旋转膜组件容器内, 被截留物质从循环口返回贮液桶, 渗透液过膜后通过中空轴收集外排. 试验选用两种高分子有机膜, 由新加坡新达科技集团提供. 膜材质均为聚偏氟乙烯, 截留分子量为 5 万 (1[#]膜) 和 10 万 (2[#]膜).

2.2 试验方案

本研究中, 膜片的旋转速度为 100~500 r/min, P_i 的范围为 10~70 kPa. 为了防止料液变性, 每组加压试验仅持续 3 h, 结束后用标准膜清洗流程清洗膜片, 以保证下组试验时具有可比性.

每一个膜旋转速度下, 每组加压试验如下: 操作模式为全循环, 即膜渗透液返回贮液桶中, 循环流量保持为进液流量的 20%. 在一个给定的 P_i 过程中, 每隔 3~5 min 测量一次膜渗透流量. 在一组的最后一个 P_i 结束后, 关闭系统, 清洗膜组件. 下一个膜转速下的试验过程重复上述步骤.

3 结果与讨论

3.1 剪切流速和渗透反压随膜旋转速度及距轴中心距离变化的理论值

因是双轴同向旋转, 膜片交叉重叠区域能有效

地阻止复合涡流的产生, 圆型膜片上不同位置处的剪切流速随着膜片旋转速度和距轴中心距离的不同而改变, 其最大、最小及平均值发生在 r_0 、 r_i 和 l 处, 见图 3(a). 本系统最大膜旋转速度为 500 r/min, 因此平均最高的剪切流速理论值为 4.4 m/s, 满足了一般料液的处理要求^[1]. 图 3(b)是根据式

(1)~(3)计算出的不同转速和膜片不同位置处渗透反压的变化情况. 旋转速度增加一方面提高了料液的剪切流速, 降低了浓差极化的程度, 但同时也增加了渗透反压. 因此为了让料液透过膜, 进液压力也得相应增加以保证能够产生一个净余的过膜压差.

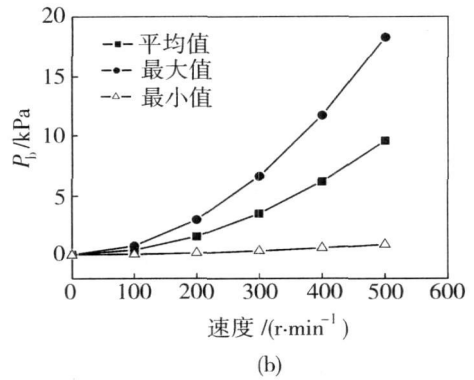
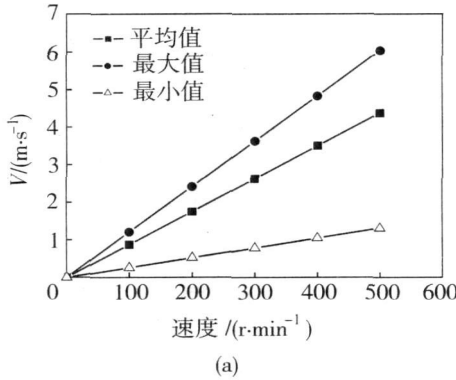


图 3 料液流速和渗透反压随膜旋转速度变化的理论值

Fig. 3 Theory values of shear velocity and permeate backpressure changed with the membrane rotary speeds

3.2 纯水试验

固定 $P_i = 43$ kPa, 不同旋转速度下, 膜的纯水通量的变化情况如图 4 所示. 因为渗透反压随着膜旋转速度的增加而升高, 净余的过膜压差 ΔP 则随之降低, 因此膜的纯水通量也随之降低, 但并非呈线性关系[见式(1)~(4)及图 3(b)]. 相比较 2[#]膜, 1[#]膜因为截留分子量较小, 其纯水通量较低.

基本稳定在 146 L/(m²·h), 2[#]膜通量基本稳定在 153 L/(m²·h). 在试验时间范围内, 1[#]膜最初 10 min 内膜渗透通量有轻微地下降, 其原因可能是膜表面形成了一个浓度边界层^[2], Pope 等人^[7]和 Mueller 等人^[8]采用管式超滤膜处理含油废水时也报道过类似的现象; 2[#]膜在每一个 P_i 时膜通量的波动比 1[#]膜的大, 尤其是在高压区. 1[#]膜的渗透通量始终低于 2[#]膜, 但在高压时其差距渐小, 原因可能是因为截留分子量高的膜, 其膜表面也越粗糙^[9], 膜被污染的速度也加快^[10].

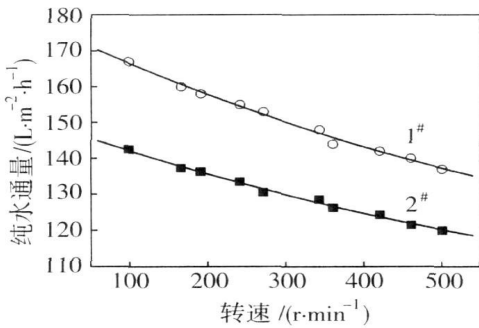


图 4 旋转速度对膜纯水通量的影响

Fig. 4 Influence of rotary speed on membrane pure water fluxes

3.3 过滤厌氧泥水混合液

图 5 是在 450 r/min 的转速下, 过滤厌氧泥水混合液时不同过膜压差下膜渗透通量随时间的变化情况. 可以观察到随着过膜压差的增加, 两种膜的渗透通量均呈阶梯状升高; 但 ΔP 超过 35.4 kPa 后, 膜通量的增长则不随 ΔP 的增加而提高, 1[#]膜通量

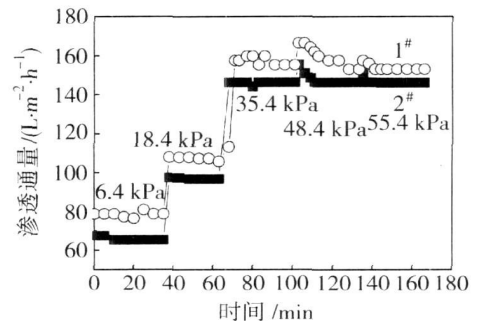


图 5 不同过膜压差下膜过滤厌氧泥水混合液时渗透通量随时间的变化情况

Fig. 5 Permeate fluxes versus time under increased transmembrane pressure filtrating anaerobic sludge mixed liquor

图6是膜转速分别为100 r/min和450 r/min时,平均渗透通量随过膜压差的变化情况.当膜转速为450 r/min时,过膜压差低于35.4 kPa,两种膜的渗透通量均随过膜压差呈线性增长关系,超过这个压力后,渗透通量偏离了这种关系而达到一个极限的通量,1[#]膜为146 L/(m²·h),2[#]膜为153 L/(m²·h).但膜转速降低到100 r/min时,两膜的极限渗透通量明显下降,1[#]膜为32 L/(m²·h),2[#]膜为41 L/(m²·h),降幅分别达78.1%和73.2%,可见膜转速对过滤行为有很大的影响;达到极限渗透通量所对应的过膜压差也由35.4 kPa降低到30 kPa,往低压方向迁移,说明膜污染程度的加深.同时也可以看出,膜的截留分子量对膜到达极限渗透通量时的压力值几乎没什么影响,不同膜转速速度下,两种膜均在几乎相同的过膜压差下到达极限渗透通量.

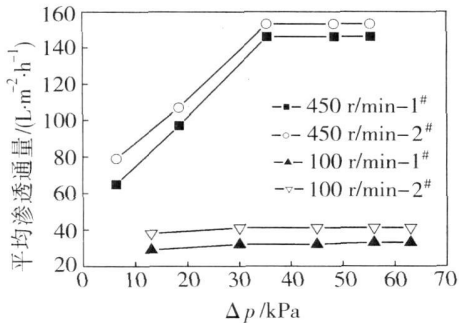


图6 不同过膜压差下膜过滤厌氧泥水混合液时平均渗透通量

Fig.6 Average permeate fluxes versus average transmembrane pressure filtrating anaerobic sludge mixed liquor

4 结论

1) 设计开发了一套双轴旋转超滤膜组件系统,容器容积120 L,内装填的有效膜面积为4 m².计算了剪切流速和渗透反压随膜转速及距轴中心距离变化的理论值.本系统最大的膜转速为500 r/min,最高的平均剪切流速理论值为4.4 m/s.RO水试验结果证明渗透反压随着膜转速的增加而升高.

2) 选用截留分子量分别为50 000和100 000

的PVDF膜过滤厌氧泥水混合液,当膜转速为450 r/min时,过膜压差低于35.4 kPa,两种膜的渗透通量均随过膜压差呈线性增长关系,超过这个压力后,渗透通量偏离了这种关系而达到一个极限通量,分别为146 L/(m²·h)和153 L/(m²·h).

3) 随着膜转速的降低,膜极限渗透通量明显下降,且膜极限渗透通量出现时对应的过膜压差往低压方向迁移;截留分子量大小对膜过滤行为的影响在高压、高转速区有减弱趋势.

参 考 文 献

- [1] Reed B E, Lin W, Viadero R, *et al.* Treatment of oily wastes using high-shear rotary ultrafiltration[J]. J Envir Engng, 1997, 123(12): 1234-1242.
- [2] Viadero R, Masciola D A, Reed B E, *et al.* Two-phase limiting flux in high-shear rotary ultrafiltration of oil-in-water emulsions[J]. J Membr Sci, 2000, 175: 85-96.
- [3] Hasan K S, Visvanathan C, Ariyanmethee P, *et al.* Introduction to vibratory shear enhanced membrane process and its application in starch wastewater recycle [EB/OL]. <http://www.vsep.com/>, 2000.
- [4] Salyer D N. Membrane filtration using the SpinTek II high shear rotary filter [EB/OL]. <http://www.spintek.com/>, 1992.
- [5] 陈日志,张利雄,徐南平. 旋转切向流对一体式膜过滤器中膜过滤性能影响的研究 [J]. 膜科学与技术, 2006, 26: 3-6.
- [6] Viadero R, Vaughan R, Reed B E. Study of series resistances in high-shear rotary ultrafiltration[J]. J Membr Sci, 1999, 162: 199-211.
- [7] Pope J, Yao S, Fane A. Quantitative measurements of the concentration polarization layer thickness in membrane filtration of oil-water emulsions using NMR micro-imaging[J]. J Membr Sci, 1996, 118: 247-257.
- [8] Mueller J, Chen Y, Davis R. Crossflow microfiltration of oily water [J]. J Membr Sci, 1997, 129: 221-235.
- [9] 方绪亮,何义亮,徐培. 膜表面形貌对厌氧膜生物反应器膜污染影响的试验研究 [J]. 环境化学, 2006, 25(1): 65-68.
- [10] 何义亮,李春杰,吴志超. 厌氧超滤膜反应器截留分子量研究[J]. 中国给水排水, 1999, 15(9): 10-12.

Filtration of anaerobic sludge mixed liquor using double-shaft rotary ultrafiltration membrane module

SHEN Fei^{1,2}, *YAN Bin*¹, *LI Cheng*¹, *Li Jianke*¹,
*LI Qingbiao*², *LAN Weiguang*^{1,3}

(1. Sutar Membrane Technology CO., LTD, Xiamen 361022, China; 2. College of Oceanography and Environment, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: A set of pilot scale double-shaft rotary ultrafiltration membrane module was designed and developed. This module has a capacity of 120 L with an membrane area up to 4 m² of flat membrane. Two kinds of PVDF membranes with the cut-off molecule weight of 50 k and 100 k respectively were used in this module to filtrate anaerobic sludge mixed liquor. Relationships among the membrane cut-off molecule weight permeate flux, transmembrane pressure, and membrane rotary speed were investigated. Results showed that there was a critical flux when the transmembrane pressure increased at a constant membrane rotary speed. With the decrease in membrane rotary speed, critical fluxes were observably decreased, and the lowest transmembrane pressures corresponding to the appearance of critical flux moved to lower pressure point. Effect of cut-off molecule weight on the membrane filtration became weak especially at the high pressure and high rotary speed zone.

Key words: double-shaft rotary membrane module; ultrafiltration; membrane limiting permeate flux; anaerobic sludge mixed liquor; landfill leachate

(上接第 53 页)

Study on membrane-extraction separation processes of lincomycin fermentation fluid

WANG Zhenchuan^{1,2}, *GUO Yufeng*^{1,2}, *ZHAO Renxing*^{1,2},
DU Juan^{1,2}, *LI Jiemei*^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 2. Key Laboratory of Contaminate Controlling in Biology of Hebei Province, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract: The membrane-extraction separation process of lincomycin fermentation fluid was studied in this paper. The effect of main operation parameters on membrane separation performance between protein and Lincomycin and the extraction efficiency were investigated. When spiral module of UF and NF was used for treating Lin-frame filtrate, the optimum operation condition is: feed temperature below 30 degrees, UF pressure 0.2 MPa, NF pressure 1.0 MPa; ultrafiltration volume flow 300 L/h, Nanofiltration volume flow 90 L/h; ultrafiltration concentration multiples 3.0, Nanofiltration concentration multiples between 3.0~4.0. The extraction series will decrease from 9 to 4, mixed alcohol consumption decreased to one-third of that with general process, the recovery of Lincomycin was 8.9% higher than that with general process.

Key words: lincomycin; membrane separation; parameters