

# 超滤膜分离性能的影响因素研究

## Study on Affecting Factors of Ultrafiltration Membrane Separation Character

吴志超 王士芬 高廷耀 (同济大学, 上海 200092)

Wu Zhichao Wang Shifeng Gao Tingyao (Tongji University, Shanghai 200092)

**摘要** 以水通量, 化学需氧量和细菌截留率为主要考核指标, 考察了超滤膜分离活性污泥混合液的影响因素, 结果表明: PES膜适宜污水膜生物工艺使用; 一定程度上, 膜的截留分子量较大, 有利于水通量增加; 膜的水通量随污泥浓度和滤纸过滤液 COD 浓度的提高而减少; 滤纸过滤液 COD 浓度对膜水通量影响大于活性污泥浓度; 截留分子量小的膜, 水通量随压力的提高而上升。

**关键词:** 超滤膜 活性污泥混合液 膜生物法 水通量 化学需氧量

**Abstract** Taking water flux, COD and bacteria retention efficiency as examination indexes, to observe the affecting factors of ultrafiltration membrane separation to activated sludge. The result showed that the PES membrane was fit for sewage biological membrane technology; under certain conditions, retention of the membrane to higher molecular weight has advantage to increasing water flux; water flux of membrane decreased as the concentration of sludge and the concentration of COD filtrate through filter paper increased; effect of the concentration of COD filtrate through filter paper on water flux of membrane was higher than the concentration of activated sludge; retention of membrane to lower molecular weight whose water flux increased as the pressure increased.

**Key words:** Ultrafiltration membrane Activated sludge Biological membrane Water flux  
Chemical oxygen demand

### 1 前言

膜生物法(生物处理—膜分离)<sup>[1]</sup>作为一种新型的污水处理工艺正在受到越来越多的重视。超滤膜生物工艺中, 超滤膜水通量大小和膜特性是影响膜生物工艺实际应用可行性的关键, 本文对影响超滤膜水通量和水质的一些因素进行了研究。

### 2 实验设备和方法

实验设备为超滤膜评价池<sup>[2]</sup>, 超滤膜有效面积 46.5m<sup>2</sup>。实验用膜为聚芳醚酮膜(PEK)、聚醚砜膜(PES)、磺化聚砜与聚芳醚酮的共混物膜(SPK)和聚砜酰胺膜(PSA), 其中, SPK 膜的表面荷载了负电荷。每次实验取活性污泥混合液 200mL 进行超滤, 水质测定分析项目为化学需氧量(COD)、活性污泥浓度(MLSS)、细菌总数。每次超滤结束后膜进行适当的清洗。

### 3 实验内容及结果分析

#### 3.1 膜材质对超滤膜分离性能的影响

实验中考察了截留分子量均为 20 000 的 PEK 膜、

PES 膜和 SPK 膜对两种活性污泥混合液超滤的情况, 见图 1、表 1、表 2。

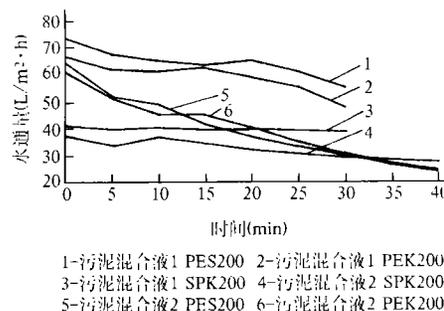


图 1 3种超滤膜的水通量变化

Figure 1 The water flux variation of three kinds of ultrafiltration membranes

在膜生物工艺中, 溶解性有机物浓度是影响膜分离性能(尤其是水通量)的重要因素。本实验中为考察方便, 以滤纸过滤液 COD 浓度来近似表示活性污泥混合液中的溶解性有机物含量。

第一作者吴志超, 男, 1966年6月生, 博士, 讲师。

表1 3种超滤膜对污泥混合液1 (MLSS = 6 170mg/L) COD和细菌的去除情况

Table 1 The COD and bacteria removal status of three kinds of ultrafiltration membranes to mixed sludge liquid [MLSS = 6 170mg/L]

膜	COD(mg/L)			细菌总数(个/mL)		
	滤纸过滤液	膜透过液	截留率(%)	活性污泥混合液	膜透过液	截留率(%)
高分子合金膜(SPK200)	74.8	151.9	79	$3.1 \times 10^6$	118	> 99.9
聚芳醚酮膜(PEK200)	74.8	22.8	70	$3.1 \times 10^6$	32	> 99.9
聚醚砜膜(PES200)	74.8	23.5	69	$3.1 \times 10^6$	16	> 99.9

表2 3种超滤膜对污泥混合液2 (MLSS = 13 950mg/L) COD和细菌的去除情况

Table 2 The COD and bacteria removal status of three kinds of ultrafiltration membranes to mixed sludge liquid 2 [MLSS = 13 950mg/L]

膜	COD(mg/L)			细菌总数(个/mL)		
	滤纸过滤液	膜透过液	截留率(%)	活性污泥混合液	膜透过液	截留率(%)
高分子合金膜(SPK200)	240.7	147	39	$2.1 \times 10^7$	315	> 99.9
聚芳醚酮膜(PEK200)	240.7	143	41	$2.1 \times 10^7$	101	> 99.9
聚醚砜膜(PES200)	240.7	115	52	$2.1 \times 10^7$	426	> 99.9

由图1可知,在本实验的条件下,PES膜和PEK膜的水通量明显高于SPK膜,同时,PES膜和PEK膜的水通量衰减也明显大于SPK膜。造成上述现象的原因除了膜材质和构造以外,可能在于:

(1) SPK膜在抗细菌污染较强的同时,表面负电荷对污水中带有正电荷的物质发生了相互吸引作用,在一定程度上导致了膜孔隙率的下降,总体水通量较小;

(2) 活性污泥中细菌表面带有负电荷,而SPK膜表面也带有负电荷,依靠静电斥力,SPK膜的抗活性污泥污染性强,水通量变化率小。从累积透水量来看,PES膜要略高于PEK膜。

在本实验中,膜面浓差极化发展的程度完全受搅拌子的搅拌强度控制,而该搅拌子的搅拌速度据估算不大于0.2m/s,且作用范围相对膜面积来说较小。由于PES膜和PEK膜累积透水量明显大于SPK膜,在实验后期,PEK膜和PES膜表面的活性污泥浓度要大大超过SPK膜,此时,控制膜水通量的主要阻力来源于膜表面浓差极化层,从而出现如图1所示现象,3种膜的水通量在实验后期渐趋一致。在实际操作中,膜生物反应器为动态连续运行,膜分离对象的性质(包括浓度)相对稳定,膜面流速一般大于1.0m/s,浓差极化现象可以得到较好的

控制,膜自身性质对水通量的影响将会增大,此时,上述水通量趋向一致的现象重复出现的可能性大大减少。

从实用角度考虑,水通量越大,设备的投资和运行费用越低,所以,综合水通量的实验,3种膜中PES(聚醚砜)膜较适宜污水膜生物工艺处理使用。

### 3.2 膜的截留分子量对超滤膜分离性能的影响

取截留分子量分别为70 000、50 000、30 000和20 000的PES膜对MLSS为7 314mg/L的活性污泥混合液进行超滤(操作压力0.2MPa),水通量随时间的变化如图2所示。由图2可知,PES200膜在整个超滤过程中水通量变化较稳定,下降缓慢,而其它3种PES

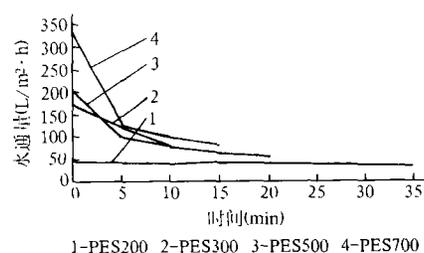


图2 不同截留分子量PES膜的水通量变化  
Figure 2 The water flux variation of different cut-off molecular PES membrane

表3 不同截留分子量PES膜对COD和细菌的去除效果

Table 3 The COD and bacteria removal efficiency of different cut-off molecular PES membrane

膜	COD(mg/L)			细菌总数(个/mL)		
	滤纸过滤液	膜透过液	截留率(%)	活性污泥混合液	膜透过液	截留率(%)
PES700膜	86.1	31.8	63	$1.8 \times 10^6$	4	> 99.9
PES500膜	86.1	30.0	65	$1.8 \times 10^6$	7	> 99.9
PES300膜	86.1	34.1	60	$1.8 \times 10^6$	11	> 99.9
PES200膜	86.1	26.6	69	$1.8 \times 10^6$	13	> 99.9

膜的表现则相近,在超滤刚开始的一段时间里,水通量下降非常迅速,然后渐渐趋向稳定,而且,随着截留分子量的增大,超滤开始时水通量的下降幅度也越大。表3中则是 PES 膜对 COD 和细菌的截留情况。从 COD 的截留情况看, PES300 膜对 COD 的截留率反而小于 PES500 膜和 PES700 膜,导致该现象的原因可能与 PES300 膜在制造过程中出现的膜自身缺陷有关。

### 3.3 活性污泥浓度对超滤膜分离性能的影响

采用 PES500(截留分子量为 50 000)膜对 MLSS 浓度为 7 500mg/L 的活性污泥混合液和沉淀后 MLSS 为 30mg/L 左右的上清液进行超滤(操作压力 0.2MPa),水通量的变化如图 3 所示(平均水通量分别为 45.6L/m<sup>2</sup>·h

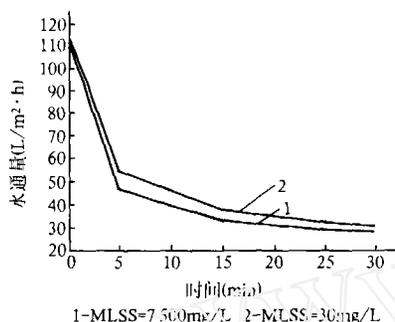


图3 污泥浓度对聚酰胺膜超滤水通量的影响  
Figure 3 The influence of sludge concentration on the water flux of PES membrane

h 和 49.8L/m<sup>2</sup>·h),两者相差 8.4%,而其超滤液的 COD 浓度分别为 186mg/L 和 204mg/L。由此可见,随着超滤对象 MLSS 值的提高,膜的水通量逐渐小幅下降,但超滤液的水质则要更好一些。其原因主要是大量活性污泥絮体、游离细菌、未分解的胶体和高分子有机物被膜表面截留物,使得膜孔径因阻塞变小,在原来超滤膜表面形成一层动态膜,减小了膜的有效孔径,导致膜对一些分子尺寸小于膜孔径的有机物也能进行截留,实际截留分子量降低。

### 3.4 滤纸过滤液 COD 浓度对超滤膜分离性能的影响

取相同生物反应器中 MLSS 浓度基本相同,曝气时间不同的活性污泥混合液进行超滤分离(操作压力 0.2MPa),超滤膜采用 PES500 膜。滤纸过滤液和超滤液的 COD 浓度如表 4 所示,其水通量变化如表 5 所示。

表4 不同曝气时间的污泥混合液超滤后 COD 值的变化情况  
Table 4 The permeate COD value under different aeration time

曝气时间 (h)	COD 浓度 (mg/L)	
	滤纸过滤液	PES500 膜超滤液
1.5	676	449
3.0	414	189
5.0	360	167
8.0	330	151

表5 不同曝气时间的污泥混合液超滤时水通量的变化

Table 5 The water flux variation under different aeration time of mixed sludge liquid

曝气时间 (h)	水通量 (L/m <sup>2</sup> ·h)						
	0min	5min	10min	15min	20min	25min	30min
1.5	117.3	42.1	32.6	28.8	25.8	24.5	23.3
3.0	124.7	48.4	35.1	32.6	28.8	26.6	24.9
5.0	128.2	49.0	39.2	32.6	29.3	27.5	26.5
8.0	133.2	53.3	41.8	35.9	32.2	30.6	29.5

由上述实验可知,在 MLSS 浓度基本相同时,随着曝气时间的延长,生物氧化程度的加深,滤纸过滤 COD 浓度逐渐减少,超滤膜的水通量逐渐提高。

### 3.5 不同 MLSS 浓度和滤纸过滤液 COD 浓度对超滤膜分离性能的影响

用聚酰胺膜(PSA),对两种不同活性污泥混合液进行超滤实验<sup>[3]</sup>,(第一种活性污泥混合液,其滤纸过滤液的 COD 浓度为 112mg/L, MLSS = 12 496mg/L; 第二种活性污泥混合液,其滤纸过滤液的 COD 浓度为 248mg/L, MLSS = 8 500mg/L),操作压力均为

表6 聚酰胺膜对不同活性污泥超滤时水通量随时间的变化(min)

Table 6 The influence of different active sludge on the water flux of PSA membrane

活性污泥	水通量 (L/m <sup>2</sup> ·h)									
	5min	10min	15min	20min	25min	30min	35min	40min	45min	
第1种	51.6	40.6	33.8	28.5	25.1	23.0	-	20.0	18.9	
第2种	32.4	23.8	20.2	18.1	16.7	15.5	14.3	13.9	13.4	

0.2MPa, 水通量变化如表 6 所示。由表 6 可见, 第一种情况下的水通量超滤结束时高于第二种 29.1%, 超滤液 COD 浓度分别为 64mg/L 和 98mg/L。对超滤膜水通量和水质的影响, 滤纸过滤液 COD 浓度比活性污泥悬浮固体浓度的影响更大。

### 3.6 操作压力对超滤膜分离性能的影响

取截留分子量为 10 000 的聚芳醚酮膜取 PEK100 在操作压力为 0.1MPa、0.15MPa 和 0.2MPa 时, 分别对同一活性污泥混合液进行超滤。水通量变化如图 4, 超滤透过液的 COD 浓度分别为 18.1mg/L、20.1mg/L 和 20.2mg/L。由实验可知, 由于 PEK100 膜的截留分子量为 10 000, 孔径较小, 初始水通量较低, 浓度极化层的形成很慢, 此时, 压力的提高并没有立即引起浓度极化层形成速度的突增而使阻力急剧上升。这样, 压力的提高

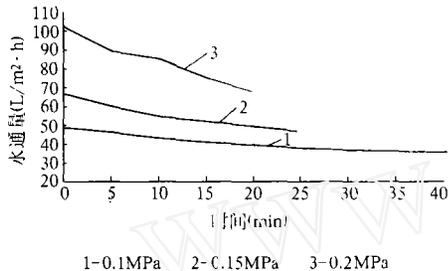


图 4 不同操作压力下 PEK100 膜, 水通量的变化  
Figure 4 The influence of different operation pressure on the water flux of PEK100 membrane

使得透膜压力增加, 从而提高了膜的水通量。这现象可以从随压力提高, 透过液中污染物浓度相应增大得到旁证。操作压力对膜的水通量影响较大, 而对 COD 截留率影响相对小一些。

## 4 小结

由上述实验知道, 超滤膜的材质、膜的截留分子量、活性污泥浓度、滤纸过滤液 COD 浓度和操作压力都在不同程度上影响着膜分离的性能, 而且, 影响的方式和程度均遵循一定的规律。实验结果表明, PES 膜较适宜污水膜生物工艺使用; 在一定程度下, 膜的截留分子量适当大一些有利于膜水通量的增加; 膜的水通量随着污泥浓度和滤纸过滤液 COD 浓度的提高而减少; 同时, 滤纸过滤液 COD 浓度对膜水通量的影响大于活性污泥浓度; 膜的水通量随着压力的提高而上升。

## 5 参考文献

- 1 Magara Y. The Effect of Operation Factors on Solid/Liquid Separation by Ultra-membrane Filtration in a Biological Denitrification System for Collected Human Excreta Treatment Plants. Wat. Sci. Tech., 1991, 23:1583-1590
- 2 陆晓峰. 超滤膜的吸附污染研究. 见: 中国膜工业协会首届学术报告会论文集.
- 3 Sato T. Effects of Activated Sludge Properties on Water Flux of Ultrafiltration Membrane Used for Human Excrement Treatment. Wat. Sci. Tech., 1991, 23:1601-1608

责任编辑 杨文华 (收到修改稿日期: 1998-08-20)

## 上海召开室内环境空气污染防治和对策研讨会

由上海市环境科学学会和上海市环境科学研究院主办, 英美烟草公司协办的“上海室内环境空气污染防治和对策研讨会”于 12 月 22 日举行。约 60 余名来自高等院校、科研机构、产业企业和政府部门的有关专家参加了研讨会。

现代人约有 80% 的时间是在室内空间度过的, 室内空气质量的好坏直接关系到人体的健康, 室内环境空气污染及防治引起环境专家和有关人士的重视及关注。室内环境空气污染源来自室外的环境空气污染, 也与室内的污染源密切相关。随着社会经济发展和人们生活方式的改变, 在追求室内的舒适和豪华的同时, 对各种化学建筑材料的使用, 家具和装饰物的使用, 家庭燃料的燃烧和日常烹调, 空调的普遍使用, 以及吸烟和人群活动等, 都会引起室内空气的污染。

环境专家告诫人们, 在追求豪华、舒适的同时, 还

要重视防治室内环境空气污染。既要采取有效措施, 防止“办公室综合症”、“高层建筑综合症”和“空调综合症”等, 还要养成良好的生活习惯和科学的生活方式, 改变片面追求有损健康的豪华、舒适观念, 把提高室内空气质量作为提高生活质量的重要组成部分。除在公共建筑物中加强保护、改善室内空气质量的措施外, 居民平时可采取许多切实可行的做法, 如注意通风, 正确使用空气清新剂、衣服干洗剂及各种杀虫剂等, 室内装饰尽可能使用无污染的绿色材料, 不使用含铅油漆粉刷墙壁和家俱等。专家还呼吁, 广大厂商在开发与生产室内材料、用品时, 要提高“以人为本”的意识, 提供有利于提高人们健康水平的环保型材料和用品, 尤其是开发和生产有关可提高室内环境空气质量的各类室内环保产品。

(本刊记者 杨泽生)