

PVC 超滤膜处理生活污水及膜污染控制研究

彭 婷, 史载锋, 林 强, 王向辉, 牟翠琼, 熊玉琴

(海南师范大学 化学与化工学院, 海口 571101)

摘要: 为了研究 PVC 中空纤维超滤膜直接处理高浓度污水的能力以及膜污染的控制方法, 实验将 PVC 超滤膜采用错流过滤直接处理某污水处理厂生活污水, 并采用脉冲进料控制膜污染. 结果表明, 生活污水经三级过滤后, 相关指标达到一级 A 排放标准: 污水浊度降到 0.1 NTU 以下; COD_{Cr} 由 120.97 mg/L 降到 47.34 mg/L, 去除率为 60.9%; DOC 由 8.95 mg/L 降到 4.08 mg/L, 去除率为 54.4%; 细菌截留率为 99.6%. 实验研究表明, 采用低频脉冲进料可以有效提高膜表面的剪切力, 缓解超滤膜的污染, 与连续运行方式相比, 低频脉冲进料能提高膜的平衡通量近 2 倍.

关键词: PVC 超滤膜; 生活污水; 脉冲进料; 膜污染

中图分类号: TQ028.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-8924(2015)02-0075-07

doi: 10.16159/j.cnki.issn1007-8924.2015.02.014

目前处理生活污水常用方法有: BAF^[1]、A/O 法^[2]、SBR 法^[3-5]、MBR^[4]等. 但这些污水处理方法中, 有些需要通过投加化学药剂抑制或杀死细菌和病毒. 处理过程中产生大量的污泥, 造成二次污染, 且投资高、能耗大^[5-6]. 如何使污水处理达到低能耗、高效率已成为目前水处理技术研究和应用领域共同关注的问题.

膜技术已经广泛应用于分离纯化、饮用水净化、生物技术、生物制药和食品加工等领域^[7]. 超滤工艺具有能耗低、操作简便、能高效去除水体产生的致病菌和微生物^[7-10], 已经被广泛应用于饮用水净化行业. 与其它超滤膜相比, PVC 超滤膜具有成本较低、制备容易、机械性能较好等特点, 正逐渐被更多人接受. 然而, 到目前为止, PVC 超滤膜多被用于水体的深度净化, 在生活污水等较高浓度污水处理方面尚未得到实际推广应用.

阻碍 PVC 超滤膜应用于污水处理的主要原因之一是膜污染问题. 目前, 有效缓解膜污染的措施主要为优化膜的清洗过程以及改进膜的特性^[11]. 物理

清洗只能简单的去除表面附着的污染物, 化学清洗过程可能对膜表面带来损伤, 而通过改进膜的特性提高膜的渗透性, 其成本高、工艺复杂. Kuo-Jen 等^[12]在研究聚砜中空纤维错流渗滤酶解悬浮液过程中, 发现脉冲进料可以使通量提高 25%. 由脉冲装置形成的脉冲进料与连续稳态流体相比较, 脉冲流可以有效增强表面剪切速率, 强化膜分离过程. Zohreh 等^[13]在模拟平板微滤膜流体动力学时提出, 脉冲流可以提高膜表面剪切力, 在入口处存在最大值. Miriam 等^[14]提出, 在微滤过程中压力脉冲可以破坏膜表面极化层, 并产生震动使膜表面的沉积层脱落. Caroline 等^[15]认为, 跨膜压差的脉动可以移除膜孔内的物质并提高渗透通量, 反向流动能够清除膜孔内的沉积物.

为考察 PVC 中空纤维超滤膜直接用于处理生活污水的可行性, 本文对生活污水进行多级超滤处理, 直至达到相关污水排放标准, 分析各级处理效果之间的差异; 并采用低频脉冲进料的方式延缓膜污染, 期望为 PVC 超滤膜在实际生活污水处理中得到

收稿日期: 2014-05-15; 修改稿收到日期: 2014-06-16

基金项目: 海南省科技兴海专项项目(XH201421)

第一作者简介: 彭 婷(1990-), 女, 湖南省衡阳市人, 硕士生, 研究方向为膜法处理污水以及膜污染控制研究, E-mail: 18389946479@163.com

推广应用提供参考。

1 实验部分

1.1 实验装置与实验方法

实验装置如图 1 所示。污水在膜组件中以内压错流过滤的方式进行过滤。通过调节置于膜组件两端的阀门,保持系统恒压运行,测量滤液的体积,计算出膜通量 J ;通过调节阀门,保持滤液的流量恒定,由于本实验使用相同的膜组件,膜的有效面积相同,因此滤液流量恒定时,可认为是恒通量运行,通过监测膜组件两端的压力的变化,计算出系统的跨膜压差 TMP 的变化。

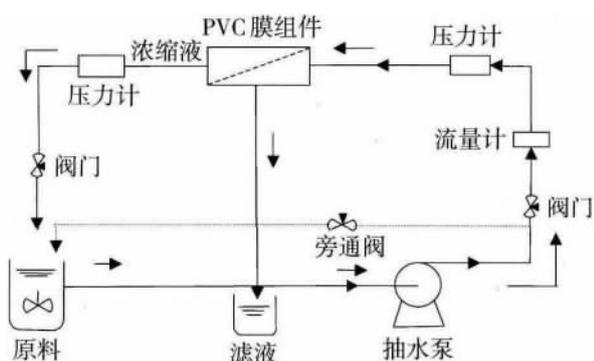


图 1 PVC 超滤膜错流过滤装置图

Fig. 1 Schematic diagram of PVC membrane cross-flow ultrafiltration apparatus

图 2 为超滤膜分级处理生活污水流程图。从污水处理厂取回的污水直接经过超滤膜后得到的过滤液进行二级处理,二级超滤过程中得到的过滤液继续进行第三次超滤处理,以此类推,直至滤液达到相关排放标准。各级浓缩液返回原料槽与原料液混合后重新进行过滤。分析各级处理后污水的水质变化以及膜污染情况。

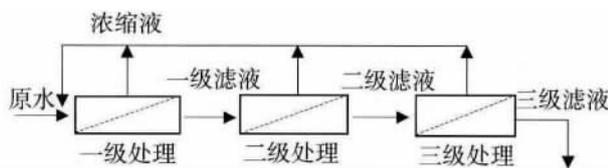


图 2 超滤膜分级处理污水流程图

Fig. 2 The flow diagram of sewage treatment with PVC membrane

1.2 试剂与材料

硫酸汞,硫酸(95%~98%),重铬酸钾,硫酸银,邻苯二甲酸氢钾(除特殊说明外其余都为分析纯),实验所用水为去离子水,标准液配制使用超纯水。醋

酸纤维微孔膜(0.45 μm)。

实验室模拟水样的配置:取一定量的腐殖酸粉末(aladdin),加入 250 mL 的 0.01 mol/L NaOH 溶液中,缓慢溶解 24 h,用移液管取 50 mL 到 1 L 的去离子水中,用 NaOH 和 HCl 调节 pH 到 7.05 左右,测量其 TOC 为 21.02 mg/L。

实验采用的改性 PVC 中空纤维超滤膜由海南立昇净水科技有限公司提供,性能如表 1 所示。超滤膜丝中存留有乙醇和丙三醇等保护液,需要用蒸馏水反复冲洗,直到滤液的 TOC 与初始的蒸馏水相同时再用来处理污水。

表 1 膜材料

Table 1 Membrane materials

材质	PVC
过滤类型	内压式错流过滤
过滤面积/ m^2	0.8
孔径/ μm	0.01
长度/cm	24.7
生产厂家	海南立昇

生活污水取自海口某污水处理厂,取回的污水保存在 4 $^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中,并且在 3 天之内用全部水样。主要水质指标如表 2 所示。

表 2 水样指标

Table 2 Raw water quality parameters

水质指标	平均值
pH 值	7.6
$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	126.26
$\text{DOC}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	9.24
$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	81
自由氯/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1.7
浊度/NTU	30

1.3 分析方法

浊度采用 HACH2100AN 浊度仪分析;水样的 DOC 采用日本岛津 TOC-L 有机碳分析仪测定,为防止水样的沉淀物质堵塞仪器的进样口,将水样先经过 0.45 μm 的微孔膜,所检测的结果即为溶解性的总有机碳 DOC;化学需氧量 COD_{Cr} 采用 HACH DRB200 消解仪和 HACH DRB2800 分光光度计测定;生物需氧量 BOD_5 和 pH 值分别采用 HACH BODTrakII 分析仪和梅特勒-托利多 pH 计分析;余氯和总氯采用 HACH PClI 单参数比色计测定;将膜丝在液氮中冷冻干燥、喷金,采用扫描电子显微镜 SEM(JSM-5610LV 型,日本电子公司)观察膜面微观结构。

2 结果与讨论

2.1 恒通量条件下比跨膜压差 TMP/TMP_0

跨膜压差的变化可有效地反映超滤膜的污染程度. 实验控制滤液流量分别为 20、30、40 L/h, 保持滤液的流量恒定并监测压力计的变化, 每隔 10 min 记录一次跨膜压差值, 将跨膜压差 TMP 与纯水的跨膜压差 TMP_0 相比为系统的比跨膜压差值 TMP/TMP_0 , 不同通量条件下的 TMP/TMP_0 变化如图 3 所示.

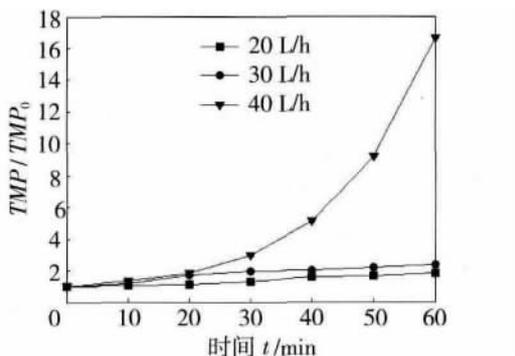


图 3 不同膜通量下的 TMP/TMP_0 变化

Fig. 3 Variations of TMP/TMP_0 under different flux

从图 3 中可见: 以 60 min 为一个周期, 滤液的流量不同, TMP/TMP_0 随时间增长的趋势不同; 通量越大, TMP/TMP_0 增长速率越快. 滤液的流量保持在 20 L/h 和 30 L/h 时, TMP/TMP_0 变化比较稳定, 60 min 后分别达到初始值的 1.8 和 2.4 倍; 运行通量为 40 L/h 时, 料液与膜一接触便开始产生严重的膜污染, 30 min 后 TMP/TMP_0 呈指数增长, 60 min 后系统的跨膜压差约为初始的 16 倍, 此时装置的温度迅速上升, 泵伴随发热的现象, 此时的工作环境难以维持稳定运行, 系统被迫停止. 当系统处于 40 L/h 高运行通量时, 系统的压力大, 大量胶体、颗粒等悬浮污染物在高压的作用下进入膜组件, 一方面部分污染物堵住进料口的膜孔, 另一方面大量的沉积物附着在膜表面迅速被压实为厚的滤饼层, 压力迅速升高, 从而导致系统的温度升高, 能耗增加. 综合考虑膜污染程度和膜的产水量, 实验选择以保持滤液流量为 30 L/h 来处理生活污水.

2.2 超滤膜分级处理生活污水的效能

根据实验结果, 生活污水经 PVC 超滤膜三级过滤后相关水质即可达到一级 A 排放要求, 因此本文的讨论均以三级过滤的结果为依据.

2.2.1 跨膜压差 TMP 变化

在保持过滤液的流量为 30 L/h 时, 超滤膜连续三次处理生活污水, 经过第一次超滤膜直接处理生活污水后, 将过滤液继续进行二级和三级处理. 考察了在进行三级超滤处理的过程中, 系统的 TMP 变化, 结果如图 4 所示.

由图 4 可知, 超滤膜直接过滤原生活污水, TMP 增长速率非常快, 最终系统的 TMP 由 0.033 MPa 增加到 0.078 MPa, 为初始压力的 2.5 倍左右. 这说明将超滤膜直接处理生活污水时膜污染速率快, 污染程度严重. 原始液经过超滤膜一次处理后, 再将滤液进行分级处理的过程中跨膜压差就比较稳定, 整个运行周期中跨膜压差只增加了约 0.001 5 MPa, 说明在一级处理时, 超滤膜比较完全地截留了污水中大颗粒物、胶体等悬浮物, 颗粒物和胶体易在膜表明形成滤饼层, 增大膜阻力, 降低膜通量. 在二级和三级处理过程中主要是由水中溶解性的有机物和无机物等沉积在膜表面或吸附/堵塞膜孔, 造成膜的有效过滤面积减小, 导致过滤阻力缓慢增大. 从能耗的角度考虑, 超滤膜技术应用于二级或三级生活污水处理具有可行性. 虽然在一级处理过程中能有效截留大量胶体等物质, 减少出水中的微生物, 但能耗高、膜效率低、运行困难. 在实际操作过程中, 为避免超滤膜污染造成运行间断, 原始污水必须先经过砂滤或微滤等前处理后再进入超滤工序.

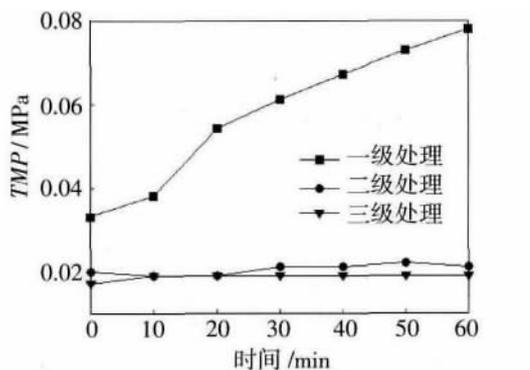


图 4 超滤膜分级处理的 TMP 变化

Fig. 4 Variations of TMP with time during multistage processing

2.2.2 水质变化

实验分别考察了生活污水经过超滤膜三级处理后出污水的浊度、 COD_{Cr} 、DOC 等相关水质的变化, 如图 5 所示. 超滤膜连续三级处理后, 浊度由原液的 27.9 NTU 最终降到 0.1 NTU 左右; 一级处理去除

率为 69.3%，二级处理去除效率达到 92.8%，三级去除率为 80.9%。经过三级超滤处理原液的 COD_{Cr} 由 120.97mg/L 分别降到了 110.55, 71.69, 47.34 mg/L, 去除率分别为 8.6%、35.2%、33.9%。DOC 由原液的 8.952 mg/L 分别降到了 8.087, 5.076, 4.078 mg/L, 去除率分别为 9%、37.2%、19.6%。自由氯由原始液的 1.24 mg/L 最终达到 0.03 mg/L。通过三级处理后,超滤膜对细菌的截留率达到了 99.6%。三级处理污水后,浊度、COD_{Cr} 和 TOC 均达到了一级 A 排放要求。数据表明:二级处理时,超滤膜对浊度、COD_{Cr}、DOC 等去除率最高,原因是原水未经预处理直接进行膜过滤时,膜污染主要归因于原水中的胶体物质。一级处理时,污水中

颗粒物、悬浮物、胶体等杂质含量高,容易堵塞膜孔,形成疏松的滤饼层,对溶解性有机物、无机物和小分子物质的截留能力差。污水经过一级处理后,颗粒物等基本去除。二级处理过程中,溶解性有机物等所引起的吸附和附着等污染能在膜表面形成致密的滤饼层,对有机物有一定的截留和吸附作用^[16]。三级处理时胶体、颗粒物基本完全去除,此时主要是由水中溶解性有机物、无机物和小分子物质产生的不可逆污染,而超滤膜本身对水体中溶解性有机物的去除率低,所以三级处理对浊度、COD_{Cr}、DOC 等的去除率不如二级处理高。实验数据表明,超滤膜处理污水时原水的水质特征是影响超滤膜处理效果的重要因素。

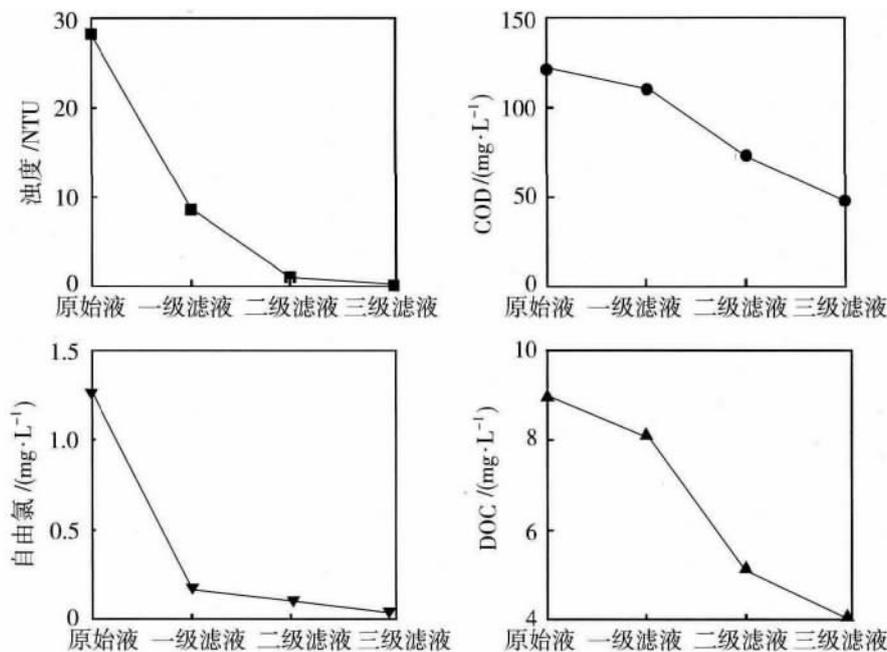


图 5 分级处理的水质变化

Fig. 5 Changes of indexes (COD etc.) in every stage

2.2.3 膜污染状况分析

为了确定各级处理过程中膜污染的情况,实验将膜进行扫描电镜测试,图 6 中的电镜图反映了不同污染程度后超滤膜的截面污染情况。图 6(a)是改性 PVC 的新膜,新膜的截面十分干净,由手指状的支撑层和疏松多孔的表面层构成。图 6(b)是一级处理后膜的截面图,膜的表面层和支撑层有大量的颗粒物,疏松多孔的支撑层被大量的污染物堵塞,说明一级处理过程主要是去除水中的胶体、大颗粒等悬浮物,这些胶体物质、颗粒物不仅堆积在膜表面,而且进入了膜内部的多孔支撑层中。图 6(c)和图 6

(d)分别是二级处理和三级处理后的膜。图 6(c)中膜表面已经形成致密滤饼层。大量研究表明,一定的滤饼层能提高水中污染物的去除率。故在二级处理过程中,超滤膜体现出高截留、低能耗的优点。图 6(d)中超滤膜内部有明显的多孔支撑层,膜表面并未形成滤饼层,所以在三级处理中,对污染物的截留明显降低。这些电镜图表明了超滤膜处理污水的效能与原水的水质特征密切相关。其中二级处理的去除效果最好,其主要原因是水中污染物通过吸附在膜表面或堵塞膜孔,形成致密的滤饼层,提高了对有机物的去除率。这与王捷^[16]等人的研究结果相同。

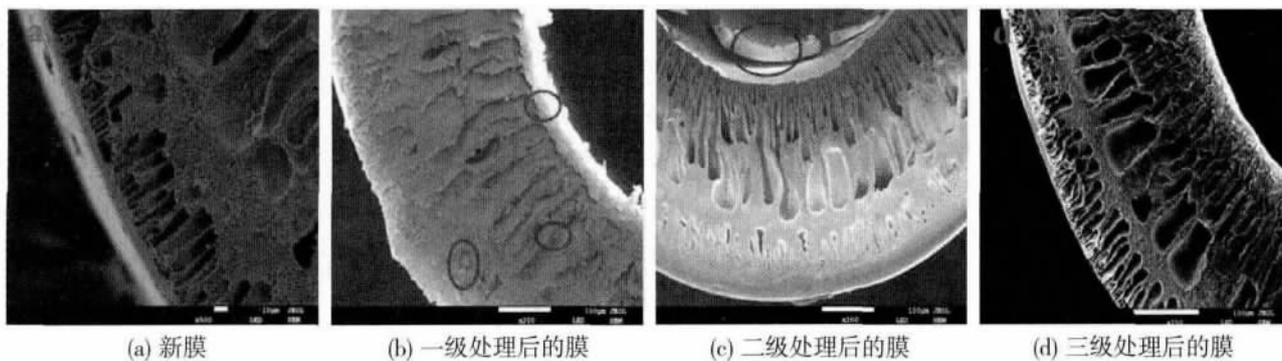


图 6 各级过滤膜的 SEM 图

Fig. 6 SEM of membranes in different stage

2.3 低频脉冲对膜通量的影响

超滤膜分级处理生活污水的实验结果表明,无论是未经预处理直接过滤污水,还是经过超滤膜一级处理后再将滤液分别进行二级处理和三级处理,超滤膜都存在污染.膜污染是不可避免的,但可以通过有效的技术手段延缓膜污染.由脉冲装置形成的脉冲进料可以提高膜表面的最大剪应力,阻止污染物的沉积^[13-14].实验采用低频脉冲流,脉冲装置由电磁阀和脉冲控制仪控制.讨论三种脉冲频率对降低膜负荷,缓解膜污染的影响.

如图 7 所示,超滤膜直接过滤污水时,采用脉冲进料的方式膜通量下降的速率要低于连续稳态流体运行方式,主要是由于脉冲进料增强料液的湍流程度,破坏表面极化现象,提高传质效率;并且脉冲流体将导致纤维膜一定程度上的振动,使膜表面较疏松的沉积物脱落;系统突然停止运行时,形成反向压力差,导致膜表面的污染物质从膜表面脱离,并被水流带走^[16].本实验采用的脉冲间隔时间为 2 min,系统运行的时间分别为 10,20 和 30 min.结果表明:

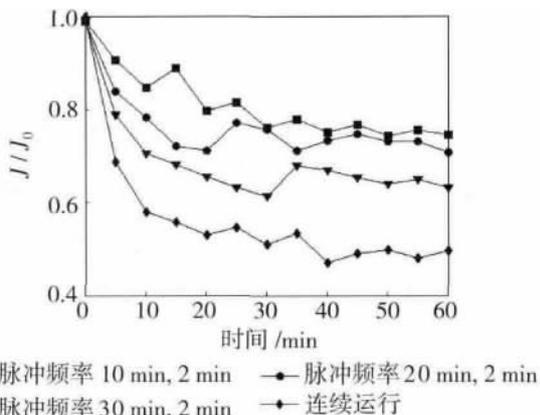


图 7 脉冲频率(低)对膜比通量的影响

Fig. 7 Effects of low pulse frequency on membrane flux

脉冲频率对膜通量衰减具有很大影响,连续运行 60 min 后膜比通量 J/J_0 为 0.31,而脉冲频率分别为 10 : 2、20 : 2 和 30 : 2 时运行 60 min 后 J/J_0 分别为 0.75、0.71、0.63,膜污染的速率约是连续运行的 1/2,说明采用脉冲进料的方式能够延缓膜污染.

2.4 脉冲频率对膜通量的影响

脉冲流体通过在超滤膜表面产生瞬间的剪切力,并且通过水流作用带走膜表面沉积的颗粒物质,破坏膜表面的边界层,延缓滤饼层形成,减少超滤膜污染的速率.其中脉冲强度、脉冲频率、以及间隔时间是影响脉冲流对延缓膜污染的重要因素^[13].

为了进一步研究脉冲对膜污染的减缓作用,在以上实验结果的基础上,提高脉冲频率,研究了脉冲进料在处理模拟污染物腐殖酸 HA 过程中对 PVC 超滤膜通量的影响.实验采用由 10 根 PVC 超滤膜丝组成的超滤膜小组件,过滤液端用电子天平实时监测滤液的质量,运行 1 h,保持温度和压力一定,通过脉冲控制器设定运行时间分别为 15 s、30 s、1 min,间隔时间都为 15 s.运行 1 h,每隔一定的时间间隔读取过滤液的质量,计算得到膜比通量 J/J_0 随时间的变化曲线图.如图 8 所示,连续运行时, J/J_0 迅速下降,30 min 时膜通量为初始通量的 1/2.而选择脉冲流进料的方式,膜通量明显提高,主要是因为采用脉冲流体能有效减弱边界层极化现象,并且在相邻脉冲之间存在较大的压差变化,可以形成一定程度的倒流,清除膜表面和膜孔内的沉积物.同时,脉冲强度是延缓膜污染速率的重要因素.保持脉冲间隔时间为 15 s,结果证明运行时间越短,膜通量越大,其中运行时间为 15 s 时,1 h 后膜通量为初始通量的 85%,其效率是连续稳态运行的 2 倍,主要是由于脉冲频率越大,一方面能够提高膜表面的最

大剪应力,阻止污染物的沉积.另一方面能够增强料液的湍流程度,破坏表面极化现象,提高传质效率.

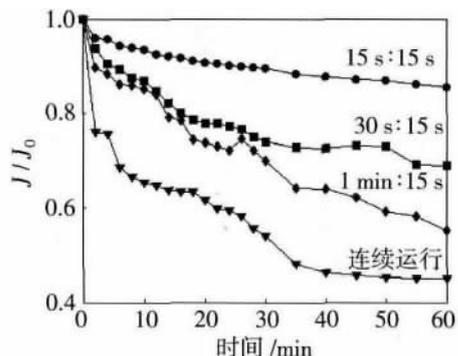


图8 脉冲频率(高)对膜比通量的影响

Fig. 8 Effects of higher pulse frequency on membrane flux

采用脉冲流能有效延缓膜污染,同时不会对膜表面产生损伤,是一种高效、绿色的控制膜污染的方法.在后续的工作中将进行更系统和深入的研究,包括脉冲强度和脉冲函数的变化等.

3 结论

1) 将PVC超滤膜直接用于污水处理,考察超滤膜在实际污水处理工业中的能力.结果表明,超滤膜分级处理生活污水时,三级处理后 COD_{Cr} 、DOC去除率分别为60.9%、54.4%,细菌的截留率达到了99.6%;其中二级处理时对 COD_{Cr} 、DOC的去除率最高,分别达到了35.2%和37.2%,说明超滤膜处理污水的能力与料液的水质特征相关,实际工业应用中应根据原水的水质特征选择合适的处理模式.

2) 脉冲进料是控制膜污染一项有效的方法,脉冲频率是影响膜污染速率的一项重要因素.实验结果表明,脉冲频率越高,膜污染速率越慢,膜通量越大.控制合适的脉冲频率能够成倍提高膜渗透通量.更系统和深入的研究结果将会尽快报道.

参考文献:

[1] Osorio F, Hontoria E. Wastewater treatment with a double-layer submerged biological aerated filter, using waste materials as biofilm support[J]. J Environ Manage, 2002, 65(1): 79-84.
[2] 马昊俊, 孙冬青, 纪荣平. 3段进水A/O工艺处理生活污水试验研究[J]. Technol Water Treat, 2013, 39(8): 71-74.

[3] Ni Bingjie, Xie Wenming, Liu Shaogen, *et al.* Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater[J]. Water Res, 2009, 43(3): 751-61.
[4] 张军, 吕伟娅, 聂梅生, 等. MBR在污水处理与回用工艺中的应用[J]. 环境工程, 2001, 19(5): 9-11.
[5] 耿英杰, 袁亚杰, 邢美兰, 等. 城市生活污水处理技术现状及发展趋势研究[J]. Sci Technol Inform, 2014, 3: 245.
[6] Guo Yiming, Liu Yunguo. An integrated treatment of domestic wastewater using sequencing batch biofilm reactor combined with vertical flow constructed wetland and its artificial neural network simulation study[J]. Ecol Eng, 2014; 64: 18-26.
[7] Gao W, Liang H, Ma J, *et al.* Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production; a review[J]. Desalination, 2011, 272(1): 1-8.
[8] 汪琳, 胡克武, 冯兆敏, 等. 自来水厂超滤膜技术的研究进展[J]. 膜科学与技术, 2011, 31(5): 107-111.
[9] Chen F, Peldszus S. Pilot-scale investigation of drinking water ultrafiltration membrane fouling rates using advanced data analysis techniques[J]. Water Res, 2014, 48(1): 508-518.
[10] Miao R, Wang L. Identifying polyvinylidene fluoride ultrafiltration membrane fouling behavior of different effluent organic matter fractions using colloidal probes[J]. Water Res, 2014, 55(15): 313-322.
[11] 韩永萍, 肖燕, 宋蕾, 等. MBR膜污染的形成及其影响因素研究进展[J]. 膜科学与技术, 2013, 33(1): 102-108.
[12] Kuo-Jen Hwang, Hung-Yuan Tsai, Shui-Tein Chen. Enzymatic hydrolysis suspension cross-flow diafiltration using polysulfone hollow fiber module[J]. J Membr Sci, 2014, 454: 418-425.
[13] Zohreh Jalilvand, Farzin Zokaei Ashtiani, Amir Fouladitajar, *et al.* Computational fluid dynamics modeling and experimental study of continuous and pulsatile flow in flat sheet microfiltration membranes[J]. J Membr Sci, 2014, 450: 207-214.
[14] Míriam G N, Imam J. A, Lydia A M B, *et al.* Matthias W. Vibrating polymeric microsieves: Antifouling strategies for microfiltration[J]. J Membr Sci, 2006, 285(1/2): 323-333.
[15] Caroline W, Rodgers V G J. Significance of duration and amplitude in transmembrane pressure pulsed ultrafiltration of binary protein mixtures[J]. J Membr Sci,

1996, 121(2): 217-228.

酚 A 的去除强化作用研究[J]. China Environ Sci,

[16] 王 捷, 何玉倩, 张宏伟. 混凝-膜过滤中滤饼层对双

2012, 32(3): 454-460.

Studies on PVC ultrafiltration membrane for treating municipal sewage and control of membrane fouling

PENG Ting, SHI Zai Feng, LIN Qiang, WANG Xianghui,
MOU Cuiqiong, XIONG Yuqin

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Hainan Normal University,
Haikou 571101, China)

Abstract: In order to investigate the ability of PVC hollow fiber membrane for sewage treatment and control of membrane fouling, PVC membrane was directly applied to treat municipal sewage with cross-flow filtration. And, pulse feeding was used to reduce membrane fouling. Results showed that when municipal sewage was treated three times by PVC membrane, related indexes were up to the national standard of A for Class One, the turbidity is below 0.1 NTU, COD_{Cr} decreases from 120.97 mg/L to 47.34 mg/L, the removal efficiencies is 60.9%, DOC changes from 8.95mg/L to 4.08 mg/L, the removal efficiencies is 54.4%. And, rejection rate of bacteria is 99.6%. Experimental results also indicated that the stable membrane flux can be increased almost 200% by low frequency pulse feeding. So, it is confirmed that membrane fouling can be relieved effectively by using pulse feeding to enhance shear force on membrane surface.

Key words: PVC ultrafiltration membrane; municipal sewage; pulse feeding; membrane fouling

广 告 目 次

彩色广告		朗盛化学中国有限公司	(前插 13)
蓝星东丽膜科技(北京)有限公司	(封面)	南京慧城水处理设备有限公司	(前插 14)
贵阳时代沃顿科技有限公司	(封二)	山东招金膜天有限责任公司	(前插 15)
哈尔滨乐普实业发展中心	(封三)	蓝星环境工程有限公司	(前插 16)
江苏久吾高科技股份有限公司	(封四)	蓝星环境工程有限公司	(前插 17)
北京碧水源膜科技有限公司	(前插 1)	萍乡博鑫精细陶瓷有限公司	(前插 18)
江苏凯米膜科技股份有限公司	(前插 2)	中贸慕尼黑展览(上海)有限公司	(前插 19)
河南大河水处理有限公司	(前插 3)	第十八届中国国际膜与水处理技术 及装备展览会	(前插 20)
绵阳市聚合新材料有限公司	(前插 4)	《膜科学与技术》杂志	(前插 21)
合肥世杰膜工程有限公司	(前插 5)	迈纳德膜技术(厦门)有限公司	(前插 22)
合肥科佳高分子材料科技有限公司	(前插 6)	滨特尔水净化系统(上海)有限公司	(前插 23)
大连科纳科学技术开发有限责任公司	(前插 7)	上海斯纳普膜分离科技有限公司	(前插 24)
宁波斯宾拿建嵘精密机械有限公司	(前插 8)	黑白广告	
浙江东大环境工程有限公司	(前插 9)	中贸慕尼黑展览(上海)有限公司	(后插 1)
天津森诺过滤技术有限公司	(前插 10)	上海信世展览服务有限公司	(后插 2)
星达(泰州)膜科技有限公司	(前插 11)	北京佰昂化工新材料有限公司	(第 131 页)
科氏化科(上海)贸易有限公司	(前插 12)		