

文章编号: 1674- 7046(2011)02- 0023- 5

粉末活性炭- 超滤组合工艺处理沉淀池出水的试验研究*

张建辉¹, 崔俊华¹, 王培宁¹, 邵森林², 梁 衡², 李圭白²

(1. 河北工程大学城市建设学院, 河北 邯郸 056005;

2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 采用超滤与粉末活性炭组合工艺处理东莞东江水务第二水厂沉淀池出水, 对比不同浓度 (0 mg/L、15 mg/L、30 mg/L 和 45 mg/L 粉末活性炭对水中污染物的去除及对膜运行性能的影响。结果表明, 随着粉末活性炭浓度的增加, 粉末活性炭- 超滤组合工艺对 UV₂₅₄ 和 COD_{Mn} 的去除效果也增强。同时, 粉末活性炭可以有效延缓膜污染, 对维持超滤膜长时间稳定运行起到重要作用, 膜在污染后经过化学清洗后可以基本恢复。

关键词: 粉末活性炭; 超滤; 膜污染

中图分类号: TQ028.8 **文献标识码:** A

超滤(UF)和微滤(MF)被认为是代替传统饮用水处理工艺的最佳选择^[1], 但由于 UF 膜有较大的截留分子量, 所以不能有效去除色度、NOM (特别是低分子腐殖酸) 和人工合成有机物等。为了提高 UF 对这些物质的去除能力, 可将 UF 与粉末活性炭 (PAC) 联用。有研究表明: PAC- UF 是非常有效的水处理工艺^[2-4]。

试验研究粉末活性炭- 淹没式中空纤维膜过滤装置联用对东莞市东江水务集团第二水厂沉淀池出水的处理, 探讨不同浓度的 PAC 投加量对出水水质及膜污染的影响, 并确定 PAC 的最优投量。

1 试验装置和试验方法

1.1 试验装置和膜组件

试验装置如图 1 所示。该装置共有两组并行, 运行过程由可编程控制器 (PLC) 全程控制。试验用超滤膜采用海南立升净水科技实业有限公司提供的外压式中空纤维超滤膜, 膜组件自行制作, 膜面积 0.05 m²。超滤膜主要工艺参数如表 1 所示。以浮球阀稳定膜池液面, 过滤方式为终端过滤, 过滤通量恒定为 40 L/(m²·h), 原水在膜池中的停留时间为 15 min。超滤以抽吸泵抽吸作为过滤动力, 出水端的压力通过压力传感器采集并反馈回 PLC 记录。通过调整抽吸泵反转进行水洗, 使用鼓风机曝气进行气洗。

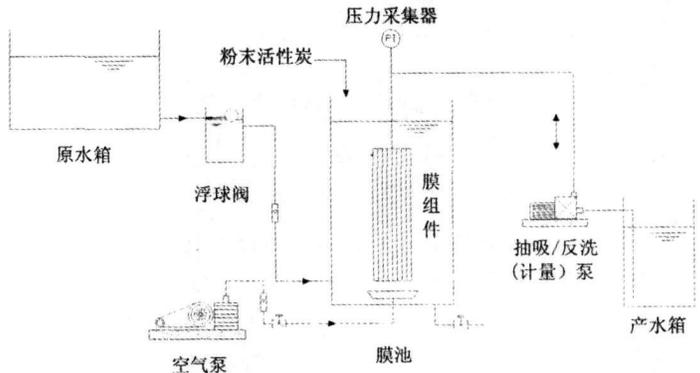


图 1 PAC-UF 工艺流程

* 基金项目: 国家水专项课题(2008ZX07423- 002- 04)。

收稿日期: 2010- 01- 20

第一作者简介: 张建辉(1982-), 男, 河北石家庄人, 河北工程大学城市建设学院硕士研究生。

试验中反洗周期为 2 h, 反冲洗时间为 1 min, 反洗水量为 $80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 空气泵连续向反应器内曝气, 曝气量为 $60 \text{ L}/\text{h}$ 。PAC 手动投加, 投加量分别为 0、15、30 和 $45 \text{ mg}/\text{L}$, 每 12 h 投加一次。

表 1 外压式膜组件主要参数

材质	膜类型	组件类型	膜特性	工作温度/℃	膜孔径/nm
聚氯乙烯 (PVC)	外压式中空纤维超滤膜	集束式	非对称亲水性膜	16~ 34	10~ 20

1.2 原水水质特点

本试验原水为东莞市东江水务集团第二水厂沉淀池出水, 主要水质指标如表 2 所示。

表 2 原水主要水质指标

水质参数	测定值	平均值
浊度/NTU	0.252~ 0.471	0.379
温度/℃	18.9~ 25.7	22.500
$\text{UV}_{254}/\text{cm}^{-1}$	0.017~ 0.029	0.020
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.63~ 1.36	1.180

1.3 水质指标分析方法

浊度采用 HACH-2100N 浊度仪测定; 温度用酒精温度计测定; COD_{Mn} 采用酸性高锰酸钾法测定; UV_{254} 采用上海精科 754N 型紫外可见分光光度计测定。

2 试验结果与分析

2.1 组合工艺对污染物去除效果分析

2.1.1 对浊度的去除

图 2 为 UF 和 PAC-UF 的出水浊度对比, 图 3 为不同 PAC 投加量下浊度的去除率。

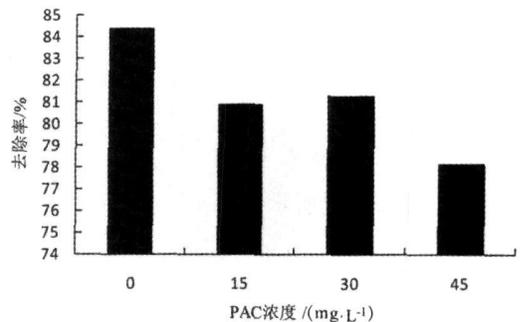
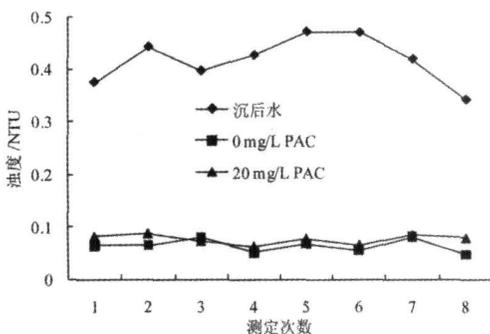


图 2 UF 和 PAC-UF 的出水浊度对比

图 3 不同 PAC 投加量下浊度的去除率

从图 2 中可以看出, 不论投加 PAC 与否, 出水浊度一直稳定在 0.10 NTU 以下, 不受进水浊度的影响。综合图 2 和图 3 可以看出, UF 膜对浊度的平均去除率是 84.38%, PAC-UF 组合工艺对浊度的平均去除率是 80.07%, 去除效果并没有明显变化。这说明沉淀池出水中产生浊度的颗粒粒径大于膜孔孔径, 大部分可以通过膜的截留作用加以去除, 也说明 UF 膜本身对浊度就具有良好的去除效果, 投加 PAC 并未明显提高 UF 膜对颗粒的去除效率。

2.1.2 对有机物的去除

有机污染物是饮用水中一项重要指标, 是造成膜污染的重要因素, 考察 PAC 对有机物的去除效果可更深入了解 PAC 对膜污染的影响机理^[5]。 UV_{254} 是指在波长 254 nm 处单位比色皿光程下的紫外吸光度。芳香族化合物或具有共轭双键的化合物在紫外区具有吸收峰。 UV_{254} 可作为 TOC 及三卤甲烷前体物的替代参数^[6]。

试验每天两次测定原水和膜出水 COD_{Mn} 和 UV_{254} , 其结果如图 4 和图 5 所示。其中图 4 为不同 PAC 投加量下 UF 对 COD_{Mn} 的去除效果, 图 5 为不同 PAC 投加量下 UF 对 UV_{254} 的去除效果。

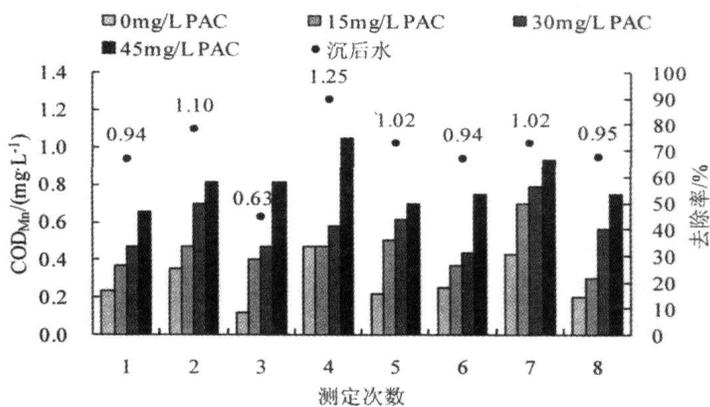


图 4 不同 PAC 投加量下 UF 对 COD_{Mn} 的去除效果对比

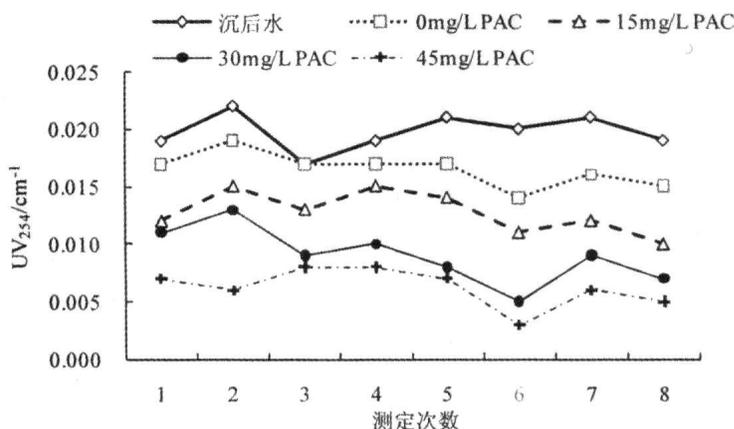


图 5 不同 PAC 投加量下 UF 对 UV₂₅₄ 的去除效果对比

从图 4 和图 5 可以看出,随着 PAC 浓度的提高,PAC-UF 组合工艺对 COD_{Mn}和 UV₂₅₄的去除率也在逐步提高。在图 4 中,不投加 PAC 时,UF 膜对 COD_{Mn}的去除率均在 30% 以下,随着投加的 PAC 浓度提高,COD_{Mn}的去除率也在逐步提高,当投加的 PAC 浓度为 45 mg/L 时,COD_{Mn}去除率基本在 50% 以上,如果不考虑 PAC 和 UF 之间的协同作用,那么可认为增加的去除率是由 PAC 吸附去除的。在图 5 中,UV₂₅₄的去除率随 PAC 浓度的变化更加明显,在不投加 PAC 时,UF 膜对 UV₂₅₄的平均去除率仅为 15.87%,当 PAC 投量为 45 mg/L 时,UV₂₅₄的平均去除率达到 72.14%,这可以有效减少后续消毒过程中消毒副产物的生成。

2.2 组合工艺对膜污染的影响

2.2.1 对跨膜压差的影响

试验中超滤膜采取恒定通量运行,膜污染状况可通过跨膜压差 (the transmembrane pressure, TMP) 的变化来间接表示^[7-8],实验结果如图 6 所示。

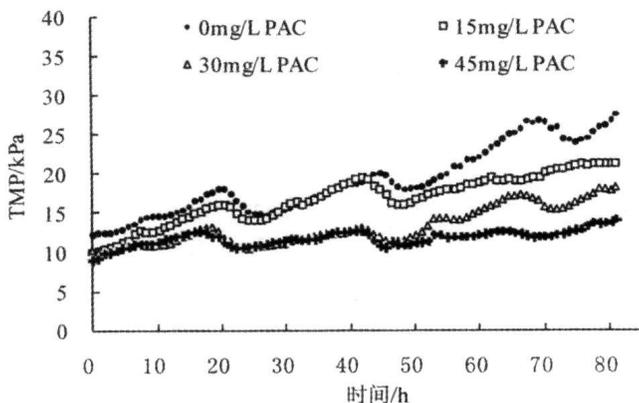


图 6 不同 PAC 浓度下 TMP 变化

从图 6 可以看出,相对于 PAC 投量为 0 mg/L 时的情况,当 PAC 投量为 15 mg/L 时,TMP 增长速度有略微减缓,当 PAC 投量增加到 30 mg/L 和 45 mg/L 时,TMP 增长速度则大大减缓。分析其原因可能是:

PAC 在膜表面形成一层结构疏松的炭膜, 这部分炭膜会充当滤饼层的骨架部分, 由于结构疏松, 使得滤饼层易于被反冲洗去除; 且炭膜结构会吸附水中小分子有机物, 减少了这些物质向膜表面的传递, 相比未投加 PAC 时, PAC 与吸附的小分子量物质形成的颗粒粒径多数大于膜孔的孔径, 减少了膜孔堵塞的机会。随着 PAC 投量的增加, 颗粒之间, 颗粒与膜之间的剪切扩散作用增强, 惯性提升作用减弱, 大颗粒向膜的传输速度降低, 而且 PAC 浓度越大, PAC 颗粒与溶解性分子的接触机会就越多, 就越能吸附更多的低分子量有机物质, 减少膜孔的堵塞程度, 维持反冲洗过程的冲洗效果, 这样就大大延缓了膜的污染。

从图 6 中还可以看出, PAC 投量从 30 mg/L 提升至 45 mg/L, TMP 增长速度变化不大, 这说明从 TMP 增长角度来看, 30 mg/L 已经比较适宜。

2.2.2 膜清洗效果对比

通常认为膜污染主要由 4 种原因引起: 吸附、孔堵、浓差极化、滤饼层的形成和压缩^[9]。在试验中, 膜清洗分步骤进行, 每个清洗步骤都单独记录跨膜压差, 过程如下:

(1) 采用水力反冲洗及曝气清洗, 即系统的自动清洗。此步骤主要去除较疏松的滤饼层^[10];

(2) 采用不同药剂进行浸泡清洗, 药剂种类依次为 pH=11 的 NaOH 溶液, 300 mg/L 的 NaClO 溶液和 pH=3 的柠檬酸溶液, 浸泡时间均为 2 h。此步骤主要去除残余的滤饼层, 有机物和无机离子造成的吸附及孔堵污染。

以上每步骤均记录 TMP, 实验结果如图 7 所示。

从图 7 中可以看出, 水洗后 TMP 平均降低 1.6 kPa, NaOH 清洗后 TMP 平均降低 1.5 kPa, NaClO 清洗后 TMP 平均降低 7.3 kPa, 柠檬酸清洗后 TMP 平均降低 0.7 kPa。污染后的膜经过 NaClO 溶液清洗后 TMP 降低的幅度最大, 表明 NaClO 溶液清洗的效果比 NaOH 和柠檬酸好。

又因为 NaClO 和水的亲和性很好, 能与水任意互溶。NaClO 水解成 HClO, HClO 再进一步分解生成新生态氧[O]。新生态氧具有极强氧化性, HClO 和新生态氧可将菌体的细胞质氧化, 同时 NaClO 溶液含有的氯还会与菌体蛋白质发生氯化作用, 使细菌得到灭活^[11-13], 所以 NaClO 对水中有机物具有氧化降解作用, 而 NaOH 和柠檬酸对有机物的降解作用并不明显。由此可知导致膜污染的主要物质是水中的有机物。

在不同 PAC 投加量下(0 mg/L、15 mg/L、30 mg/L 和 45 mg/L), 水洗、NaOH 清洗、柠檬酸清洗造成的 TMP 下降基本相等, 而对于 NaClO 清洗, TMP 的减少量依次为 10 kPa、8.5 kPa、6.5 kPa 和 4 kPa。其原因可能是: PAC 的投量越大, 膜上的有机污染物越少。

从图 7 中还可以看出, 污染后的膜经过水洗及化学清洗后, TMP 基本都可以恢复到初始值 18 kPa, 这说明本实验所使用的立升公司的超滤膜具有较好的抗污染性能, PAC-UF 工艺可以长期稳定运行。

3 结论

(1) 超滤膜本身对浊度具有很好的去除效果, 投加粉末活性炭并没有明显提高超滤膜对浊度的去除。PAC 的投加可以增加超滤膜对 UV₂₅₄ 和 COD_{Mn} 的去除率, 且随着 PAC 投加量的增加, 其去除率也增加。

(2) 随着 PAC 投加量的增大, TMP 增长变的缓慢, 说明 PAC 的投加量越大, 越能延缓膜污染。PAC-UF 工艺中膜污染后经过化学药洗后 TMP 可以恢复到初始值, NaClO 对膜的清洗效果较好。

(3) 在本试验的原水条件及运行参数下, 综合考虑出水水质、膜污染情况及经济成本, PAC 的最优投量为 30 mg/L。

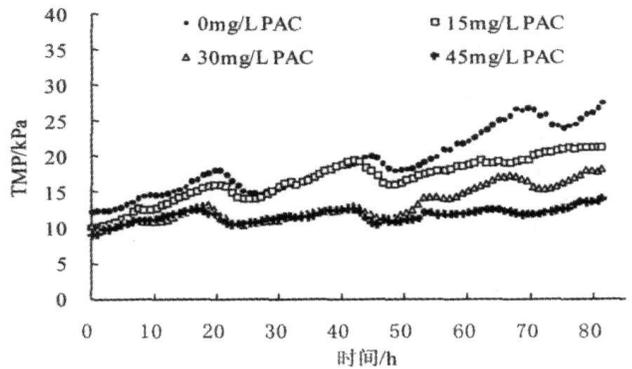


图 7 不同清洗阶段的 TMP

参考文献

- [1] 董秉直, 曹文达, 范瑾初. 膜技术应用于净水处理的研究和现状[J]. 给水排水, 1999, 25(1): 28- 31.
- [2] S Mozia, M Tomaszewska. Treatment of surface water using hybrid processes adsorption on PAC and ultrafiltration[J]. Desalination, 2004, 16(2): 23- 31.
- [3] H S Kim, S Takizawa, S Ohgaki. Application of microfiltration systems coupled with powdered activated carbon to river water treatment[J]. Desalination, 2007, 20(2): 271- 277.
- [4] Z Ying, G Ping. Effect of powdered activated carbon dosage on retarding membrane fouling in MBR[J]. Separation Science and Technology, 2006, 52(1): 154- 160.
- [5] Tomaszewska M, Mozia S. Removal of organic matter from water by PAC/UF system[J]. Water Research, 2002(36): 4137- 4143.
- [6] 蒋绍阶, 刘宗源. UV₂₅₄作为水处理中有机物控制指标的意义[J]. 重庆建筑大学学报, 2002, 24(2): 61- 65.
- [7] 范茂军, 高乃云. PAC/超滤组合工艺处理常规工艺出水的中试研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(17): 84- 86.
- [8] 董秉直, 曹文达, 范瑾初. 粉末活性炭-超滤膜处理黄浦江原水的研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(11): 731- 737.
- [9] 李永红, 张伟. 超滤膜的污染控制研究进展[J]. 中国给水排水, 2009, 25(2): 1- 4.
- [10] 王旭东, 梁玉龙. 超滤膜净化有机废水及在线水力清洗对膜污染的影响[J]. 工业水处理, 2010, 30(3): 48- 50.
- [11] Mark Carison, Douglas Hardy. Controlling DBPs with monochloramine[J]. AWWA, 1998, 76(8): 92- 98.
- [12] 乔平定, 李增钧. 黄土地区工程地质[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [13] 邱立军, 赵维忠. 次氯酸钠灭杀微生物效果与腐蚀性的试验研究[J]. 中国消毒杂志, 1998, 9(2): 34- 36.

Experimental study on water treatment of effluent of sedimentation tank with PAC- UF process

ZHANG Jian-hui¹, CUI Jun-hua¹, WANG Pei-ning¹,
SHAO sen-lin², LIANG Heng², LI Gui-bai²

(1. School of Urban Construction Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056005, China;

2. School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Combined process by powdered active carbon (PAC) and ultra filtration (UF) was used to treat the effluent of sedimentation tank in the 2th Waterworks in Dongguan. The influence of PAC dosage (0, 15, 30 and 45 mg/L) on UF was studied. The results showed that adding PAC to the system enhanced the removal efficiencies of PAC-UF for COD_{Mn}, UV₂₅₄ and the larger the amount of PAC added, the higher the removal efficiency could be achieved. At the same time, membrane fouling was mitigated by PAC addition. The performance of membrane could be recovered after chemical backwashing.

Key words: powdered activated carbon; ultra filtration; membrane fouling