

文章编号: 1673- 9469(2011) 02- 0051- 05

粉末活性炭- 超滤组合工艺处理沉后水的试验研究

张建辉¹, 崔俊华¹, 井天晓², 梁衡³, 李圭白³

(1. 河北工程大学 城市建设学院, 邯郸 056038; 2. 华北电力大学 能源与动力工程学院, 河北 保定 071000; 3. 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某水厂沉淀池出水, 对比不同浓度 (0、10、20 和 40 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 UV_{254} 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

Treatment of sedimentation tank effluent water by PAC- UF process

ZHANG Jian-hui¹, CUI Jun-hua¹, JING Tian-xiao², LIANG Heng³, LI Gui-bai³

(1. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. College of Energy and Power Engineering, North China Electric Power University, Hebei Baoding 071000, China; 3. School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Heilongjiang Harbin 150090, China)

Abstract: The combined process of the powdered active carbon (PAC) and the ultrafiltration (UF) was used to treat effluent of sedimentation tank in a waterworks. The influences of the PAC dosage (0, 10, 20 and 40 mg·L⁻¹) on the UF were studied. The results showed that adding PAC to the system could enhance the removal efficiencies of the PAC- UF for COD_{Mn} , UV_{254} . The larger amount PAC added, the higher removal efficiency achieved. The addition of PAC could mitigate membrane fouling, and played an important role in the long- time stable operation of the PAC. And the performance of membrane could be recovered after chemical backwashing.

Key words: powdered activated carbon; ultrafiltration; membrane fouling

超滤 (ultra- filtration, UF) 和微滤 (micro filtration, MF) 被认为是代替传统饮用水处理工艺的最佳选择^[1-3]。但是由于 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^[4]。为了提高 UF 对这些物质的去除能力, 可将 UF 与粉末活性炭 (powdered activated carbon, PAC) 联用。有研究表明 PAC- UF 是非常有效的水处理工艺^[5-7]。

本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 材料和方法

1.1 试验装置和膜组件

本试验装置如图 1 所示。该装置共有 2 组并行, 运行过程由可编程控制器 (programmable logic controller, 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 0.05m²。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 30 L/(m²·h), 原水在膜池中的停留时间为 20min。超

收稿日期: 2010- 12- 06

基金项目: 国家科技重大专项 (2008ZX07423- 002- 04) 特约专稿

作者简介: 张建辉 (1982-), 男, 河北石家庄人, 在读研究生, 从事超滤在给水中的研究。

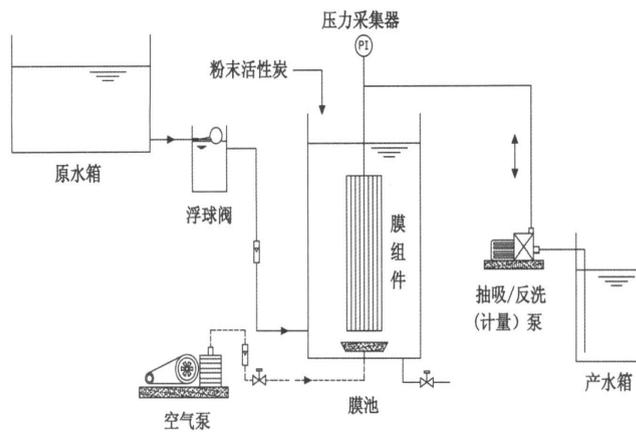


图1 PAC-UF工艺流程图

Fig.1 Flow chart of PAC-UF process

表1 外压式膜组件主要参数

Tab.1 Main parameters of submerged outside-inside membrane module

材质	膜类型	组件类型	膜特性	工作温度/℃	膜孔径/μm
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	19~30	10~20

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。

试验中反洗周期为1h,反冲洗时间为1min,反洗水量为 $60\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,空气泵连续向反应器内曝气,曝气量为 $0.8\text{L}/\text{min}$ 。PAC手动投加,投加量分别为0、10、20和 $40\text{mg}/\text{L}$,每12h投加一次。

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。原水主要水质指标见表2。

表2 原水主要水质指标

Tab.2 Main water quality parameters of raw water

水质参数	测定值	平均值
浊度/NTU	0.252~0.471	0.381
温度/℃	18.9~25.7	22.3
$\text{UV}_{254}/\text{cm}^{-1}$	0.017~0.029	0.020
$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.63~1.25	1.02

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 污染物去除效果分析

2.1 浊度

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。从图2中可以看出,不论投加PAC与否,出水浊度一直稳定在 0.10NTU 以下,不受进水浊度的影响。综合图2和图3中可以看出,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 80.04% ,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。

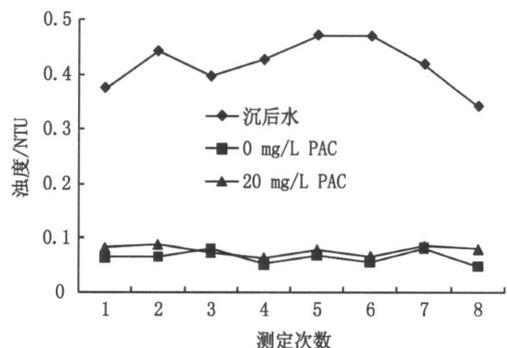


图2 UF和PAC-UF的出水浊度对比

Fig.2 The comparison of the outflow of UF and PAC-UF process

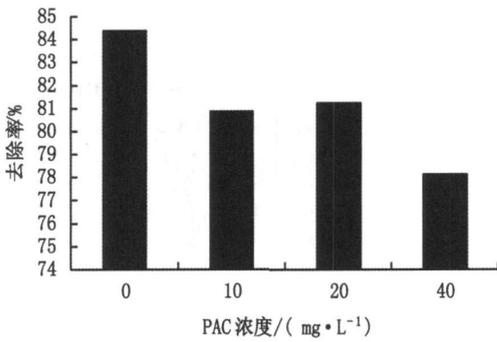


图3 不同PAC投加量下浊度的去除率
Fig.3 The removal rate of turbidity at different PAC dosage

2.2 有机物

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^[8]。UV₂₅₄是指在波长 254nm 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。UV₂₅₄可作为 TOC 及三卤甲烷前体物的替代参数^[9-10]。

本试验每天 2 次测定原水和膜出水 COD_{Mn}和 UV₂₅₄,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 UV₂₅₄的去除效果。

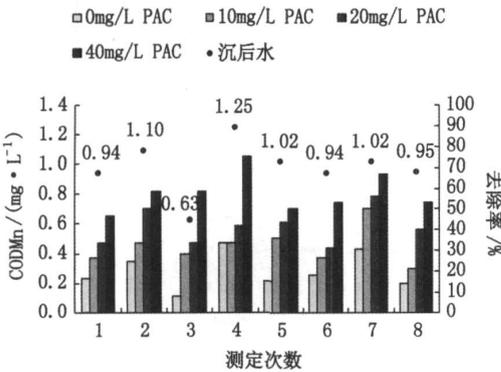


图4 不同PAC投加量下UF对CODMn的去除效果对比
Fig.4 The performance of CODMn removal at different PAC dosage

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 40mg/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 16.07%,当 PAC 投量为 40mg/L 时, UV₂₅₄ 的平均去除率达到 71.84%,这可以有效减少后续消毒过程中消毒副产物的生成。

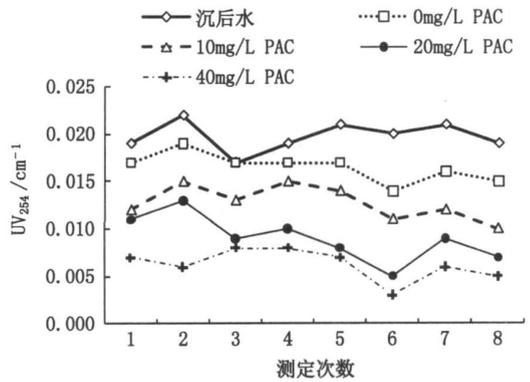


图5 不同PAC投加量下UF对UV254的去除效果对比
Fig.5 The performance of UV254 removal at different PAC dosage

3 组合工艺对膜污染的影响

3.1 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^[11-12],实验结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,相对于 PAC 投量 0mg/L 时, PAC 投量为 10mg/L, TMP 增长速度有略微减缓, PAC 投量为 20 mg/L 和 40mg/L 时, TMP 增长速度则大大减缓。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;且炭膜结构会吸附小分子有机物,减轻了膜孔对有机物的吸附污染,延缓膜污染的进程。

从图 6 中还可以看出, PAC 投量从 20mg/L 提升至 40mg/L, TMP 增长速度变化不大,这说明从 TMP 增长角度来看, 20mg/L 已经比较适宜。

3.2 膜清洗效果对比

通常认为膜污染主要由吸附、孔堵、浓差极化、滤饼层的形成和压缩等 4 种原因引起^[13]。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^[14];

2) 采用不同药剂进行浸泡清洗, 药剂种类依次为 pH=12 的 NaOH 溶液, 200mg/L 的 NaClO 溶液和 pH=2 的柠檬酸溶液, 浸泡时间均为 2h。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。

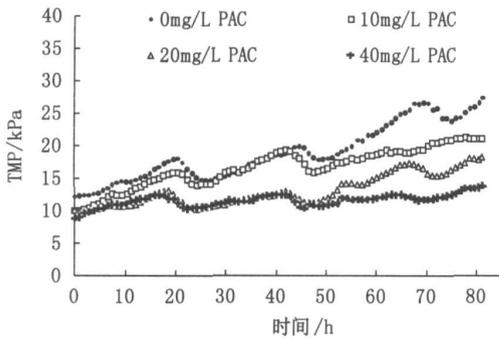


图6 不同PAC浓度下TMP变化

Fig.6 The change of TMP at different PAC dosage

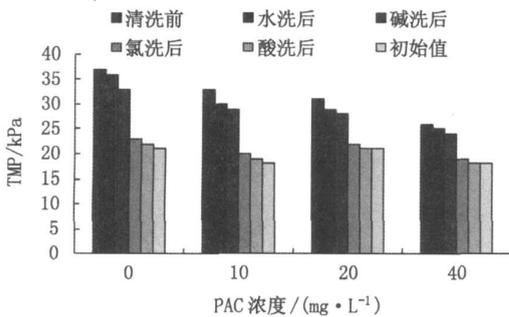


图7 不同清洗阶段的TMP

Fig.7 The TMP at different back-washing stage

从图 7 中可以看出, 水洗后 TMP 平均降低 1.6kPa, NaOH 清洗后 TMP 平均降低 1.5kPa, NaClO 清洗后 TMP 平均降低 7.3kPa, 柠檬酸清洗后 TMP 平均降低 0.7kPa。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。由于 NaClO 可以氧化降解有机物, 而 NaOH 和柠檬酸对有机物的降解作用并不明显。所以, 造成膜污染的主要物质是水中的有机物。

在不同 PAC 投加量下 (0、10、20 和 40 mg·L⁻¹), 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、8.5、6.5 和 4kPa。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 18kPa, 这说明本实验所用的立升的 PVC 膜具有较好的抗污染性能, PAC-UF 工艺可以长期稳定运行。

4 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。

2) 随着 PAC 投加量的增加, 超滤膜对 UV₂₅₄ 和 COD_{Mn} 去除率的效果, 以及延缓膜污染的效果也越强。

3) 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。

4) 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 20mg/L。

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] 沈飞, 陆晓峰, 万印华, 等. PVB 超滤膜污染特性及其在 MBR 中的应用[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(1): 1-6.
- [3] 崔俊华, 王培宁, 李凯, 等. 基于在线混凝-超滤组合工艺的微污染地表水处理[J]. 河北工程大学(自然科学版), 2011, 28(1): 52-56.
- [4] 宋志伟, 张芙蓉. 污泥浓度对膜生物反应器处理焦化废水的影响[J]. 黑龙江科技学院学报, 2009, 19(6): 423-426.
- [5] MOZIA S, TOMASZEWSKA M. Treatment of surface water using hybrid processes adsorption on PAC and ultrafiltration [J]. Desalination, 2004, 16(2): 23-31.
- [6] KIM H S, TAKIZAWA S, OHGAKI S. Application of micro-filtration systems coupled with powdered activated carbon to river water treatment [J]. Desalination, 2007, 20(2): 271-277.
- [7] YING Z, PING G. Effect of powdered activated carbon dosage on retarding membrane fouling in MBR [J]. Separation Science and Technology, 2006, 52(1): 154-160.
- [8] TOMASZEWSKA M, MOZIA S. Removal of organic matter from water by PAQ/UF system [J]. Water Research, 2002, 36: 4137-4143.
- [9] 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.

- [10] 张胜, 袁慧, 蒋晓昊. 膜生物反应器处理含盐生活污水的研究[J]. 河北工程大学(自然科学版), 2009, 26(4): 32-35.
- [11] 范茂军, 高乃云, 黄鑫, 等. 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.
- [12] 董秉直, 曹达文, 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.

- [13] 李永红, 张伟, 张晓健, 等. 超滤膜的污染控制研究进展[J]. 中国给水排水, 2009, 25(2): 1-4.
- [14] 王旭东, 梁玉龙, 王磊, 等. 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.

(责任编辑 马立)

(上接第39页)制作粉煤灰双免空心砖,采用规格390mm×190mm×190mm,空洞率可以达到15%以上,这样可以大大节约成本,更有利于提高生产效率。

4 结论

1) 用正交试验法对试验方案进行设计优化,试验效率高,减少了人力和材料的浪费,而且最大限度地排除了其它因素的干扰,剪剪性强。能有效地进行比较,做出调整,使粉煤灰双免砖配比设计更加合理。

2) 以粉煤灰为主要原料,通过掺加适量的水泥、砂子、白灰和一定的外加剂,经常温常压养护28d后,抗折强度可达到5.28 MPa,抗压强度达到27.49 MPa,制成空心砖空洞率可达到15%以上。

参考文献:

- [1] 柯国军, 杨晓峰, 彭红, 等. 化学激发粉煤灰活性机理

研究进展[J]. 煤炭学报, 2005(3): 365-370.

- [2] 董发勤, 万朴, 潘兆槽, 等. 纤维水镁石应用矿物学研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1997.
- [3] 张云升, 孙伟, 沙建芳, 等. 粉煤灰地聚合物混凝土的制备及其特性[J]. 混凝土与水泥制品, 2003(2): 13-15.
- [4] 苏玉柱, 杨静, 马鸿文, 等. 利用粉煤灰制备高强矿物聚合材料的实验研究[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 359.
- [5] 翁履谦, 宋申华. 新型地质聚合物凝胶材料[J]. 材料导报, 2005, 19(2): 67.
- [6] KHATE D, CHAUDHARY R. Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review[J]. Mater Sci, 2007(42): 729-746.
- [7] 井巍, 刘剑虹, 林枫. 粉煤灰地质聚合物的制备研究[J]. 高师理科学刊, 2006, 26(4): 40-42.
- [8] 苏玉柱, 杨静, 马鸿文, 等. 利用粉煤灰制备高强矿物聚合材料的实验研究[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 359.

(责任编辑 刘存英)

(上接46页)

- [51] LIU F L, ZHANG Z M, KATAYAMA I, et al. Ultrahigh-pressure metamorphic records hidden in zircons from amphibolites in Sulu terrane, eastern China [J]. The Island Arc, 2003, 12: 256-267.
- [52] CHU HANG, WEI CHUNJING, SU SHANGGUO. Phase equilibria of HP-UHP mica-schists in Jiangling, eastern Dabieshan orogen [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19: 973-982.

- [53] WHITE R W, POWELL R, HOLLAND T J B, et al. The effect of TiO₂ and Fe₂O₃ on metapelitic assemblages at greenschist and amphibolite facies conditions: mineral equilibria calculations in the system K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-TiO₂-Fe₂O₃ [J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18: 497-511.

- [54] 张惠芬, 蔡秀成. 金红石中铁的存在形式的研究[J]. 矿物学报, 1988, 8(4): 348-357.

(责任编辑 马立)