

PAC-UF 组合系统对水中污染物去除研究

王晓莲¹, 彭永臻¹, 王宝贞²

(1. 北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022, E-mail: wxl921@Yahoo.com;

2. 哈尔滨工业大学 市政与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 为了更好地提高超滤膜(UF)对水中污染物的去除效果,将粉末活性炭(PAC)的吸附作用与UF的截留作用相结合考察组合系统对水中污染物的去除效能。结果表明:UF膜本身对浊度具有较好的去除效果,但对水中的小分子量有机物及溶解性有机物去除效果较差;投加PAC可以提高UF膜对COD_{Mn}、UV₂₅₄的去除能力,随着投炭量的增加,去除率逐渐提高。在同一投炭量时,随系统运行时间的延长,膜出水中有机物的含量经历一个初期下降到长时间稳定的过程。

关键词: 饮用水;超滤膜;粉末活性炭;污染物

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2005)12-1739-04

Pollutant removal of drinking water with combined system of PAC-UF

WANG Xiao-lian¹, PENG Yong-zhen¹, WANG Bao-zhen²

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China, E-mail: wxl921@Yahoo.com; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: In order to improve the removal efficiency of pollutants by ultrafiltration (UF) membrane, the experiment has been carried out based on the combined use of adsorption of powdered activate carbon (PAC) and filtration of UF for advanced treatment of drinking water. The results showed that UF could remove turbidity effectively, while it could not remove dissolved organic matter and lower molecular weight pollutants well. Adding PAC to the system enhanced the removal efficiency of UF for COD_{Mn}, UV₂₅₄ and the larger the amount of PAC added, the higher the removal efficiency. It also showed that under the same addition amount of PAC, the organic content of effluent decreased firstly and then was steady during the course of the operation.

Key words: drinking water; ultrafiltration membrane; powdered activated carbon; organic pollutant

近年来,膜过滤技术尤其是低压膜技术在饮用水净化中的应用越来越广泛,其中超滤膜(UF)和微滤膜(MF)已经被认为是替代传统的澄清和过滤技术的最佳方法。但是由于UF和MF具有较高的截留分子量(MWCO),对促进形成消毒副产物(DBP)前体物的天然有机物尤其是低分子量的腐殖酸或溶解性有机物无法截留去除。粉末活性炭(PAC)因其吸附性能好,可吸附物种类多而被广泛应用^[1]。本试验考察了PAC的吸附与UF的截留作用相结合下对水中污染物的去除能力。

1 试验

1.1 试验装置

试验装置如图1所示。原水取自哈尔滨市自来水。试验所用材料见表1、2。

表1 超滤膜性能

膜材料	截留分子量/dalton	膜表面积/m ²	纤维内径/mm	膜厚度/mm	纤维根数/根	纤维长度/m
聚砜	2500-10000	0.22	1	0.2	200	0.35

1.2 实验方法

试验中超滤膜组件操作压力为0.1 MPa,比通量为2~2.4 m³/(m²·d)。系统采用错流操作的运行方式,原混合液由多级离心泵以恒定的压

收稿日期: 2003-11-26。

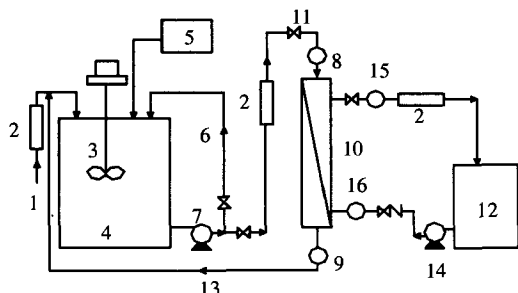
作者简介: 王晓莲(1977-),女,博士研究生;

彭永臻(1949-),男,教授,博士,博士生导师;

王宝贞(1932-),男,教授,博士生导师。

表 2 粉末活性炭性能

炭型号	真密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	堆积密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	碘值 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	粒度	平均粒径 μm	灰分 %	水分 %
ICT200	$\approx 2.2 \times 1000$	0.61×1000	971	96.9% 过 200 目	55	12.10	2.43



1、进水；2、流量计；3、搅拌机；4、CSTR混合器；5、PAC投加箱；6、旁流；7、提升泵；8、进水压力表；9、出水压力表；10、UF膜组件；11、调节阀门；12、出水水箱；13、浓缩液回流；14、反冲洗泵；15、出水压力表；16、反冲洗洗泵

图1 PAC-UF组合系统工艺流程图

力(0.06 MPa)压送到超滤膜,由调节阀控制系统的进水水量保持恒定。原水首先进入完全混合水箱,在搅拌器的作用下与投加的PAC充分混合,混合液通过加压泵进入中空纤维超滤膜组件,经超滤膜分离,浓缩液回流到水箱中,渗滤液则进入到出水存贮箱中。当进行反冲工作时,反冲泵从出水存贮箱中抽取生产水,反向冲洗,冲洗后出水和粉末炭的混合液排放。

PAC采用分批投加的方式,在试验周期的开始时,一次投加PAC到反应器中,用搅拌机首先迅速混合15 min,然后慢速搅拌,当PAC失效或出水水质不满足要求,排放PAC混合液,重新加入新的活性炭。采用这种投加方式,延长了PAC的停留时间,增加单位PAC的处理水量,比连续投加可更有效地利用活性炭的吸附能力^[2]。

2 结果与讨论

2.1 浊度的去除

图2、3分别为单独UF膜系统和PAC-UF组合系统对浊度的去除效果。哈尔滨自来水(水质特征见文献[3])由于受到管道二次污染的影响,浊度变化范围较大,在1~8 NTU。从图2可知,尽管UF膜系统进水浊度变化较大,但出水浊度稳定,膜对浊度的平均去除率为85.9%。从图3可知,PAC-UF组合系统中膜对浊度的去除效果没有明显变化,平均去除率在86.3%。这说明在配水系统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,也说明超滤膜本身对浊度具有良好的去除效果,而投加活性炭并未明显提高UF膜对颗粒的去除效率。

这与文献[4]的结果相一致。

2.2 COD_{Mn}的去除

图4为PAC-UF组合系统在不同PAC投量时对COD_{Mn}的去除。其中A段PAC投量为20 mg/L, B段为50 mg/L, C段为100 mg/L。从图4可知,在同一PAC投量时膜出水中COD_{Mn}含量先下降,然后一直稳定运行,直至膜出水水量达最小时反冲洗为止。一些研究者认为,粉末活性炭吸附有机物分为两个阶段^[5]。在第一阶段,小分子量的有机物迅速被吸附,在第二阶段,较大分子量的有机物缓慢地被吸附,时间可延续数小时至数天。图5为PAC-UF组合系统在未投PAC和投加不同量PAC的条件下对COD_{Mn}的平均去除率。从图5可知,未投加PAC时,超滤膜本身对水中COD_{Mn}具有一定的去除效果,平均去除率仅为11%。随着PAC投量的增加,系统对COD_{Mn}的平均去除率从20 mg/L的14.9%提高到200 mg/L时的48.9%。说明当粉末活性炭投量少时,混合液中粉末活性炭的浓度较低,总吸附面积相对于高投量时的要小,此时,粉末活性炭优先吸附小分子量的有机物,这部分有机物可能最易于被粉末活性炭吸附。随着粉末活性炭投量的增加,总吸附面积也随之增加,粉末活性炭开始吸附大分子量的有机物,从而减少了透过UF膜孔的污染物的量。PAC-UF组合系统对COD_{Mn}的去除率即使在200 mg/L时最高去除率也低于60%,主要是自来水中本身COD_{Mn}的含量已相当低,而且COD_{Mn}含量低时常规测定方法的误差较大。有资料表明,该组合工艺直接用于处理未经预处理的源水时,PAC投量仅为10 mg/L,对COD_{Mn}的去除率超过30%^[3]。因此,该工艺在饮用水净化中应用的可行性还需进一步研究。

2.3 UV₂₅₄的去除

UV₂₅₄为254 nm波长水样的紫外吸光度,可作为TOC及THMFP的代用参数,与THMFP有很好的相关性^[6]。通常,有机物同氯反应过程中,可以将大分子有机物分解成小分子有机物,但不能将小分子有机物矿化成无机碳,因此,单位有机碳的消毒副产物(THMs/DOC, THAAs/DOC)主要是由小分子量的有机物(1 kDa < AMW < 5 kDa, AMW < 1 kDa)引起的。在形成DBP的分析中,小

分子量的尤其是 $AMW < 1 \text{ kDa}$ 的有机物质是形成 THMs 和 HAAs 的主要前体物, 而 UV_{254} 值是对 DBP 含量很具代表性的参数之一^[7]. 本试验的进

水 UV_{254} 值高达 0.13, 说明哈尔滨自来水中含有的有机物分子量较小, 尤其含有的不饱和键有机物多, 从而使水中形成的 DBP 含量高.

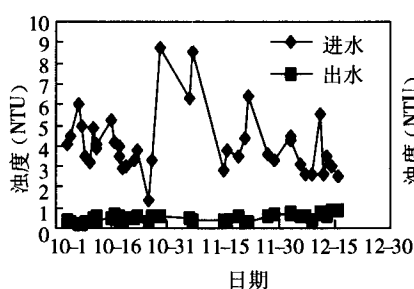


图2 超滤膜对浊度的去除

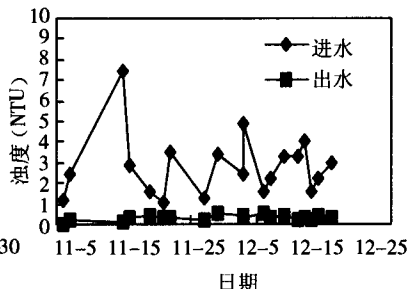


图3 PAC-UF 组合系统对浊度的去除

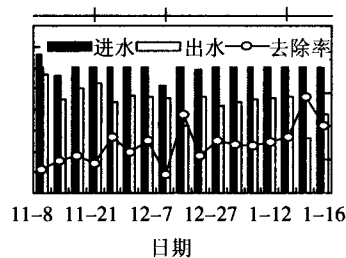
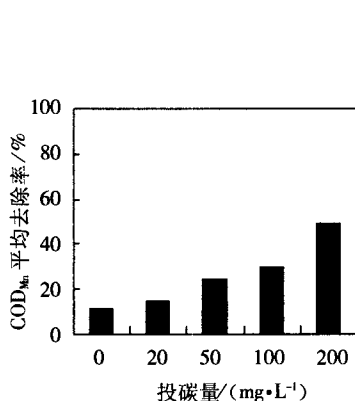
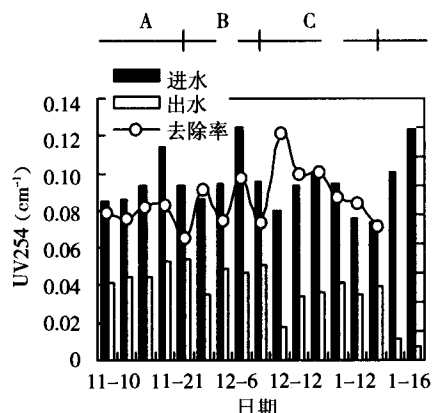
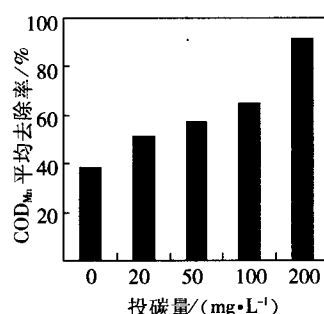
图4 PAC-UF 组合系统在不同 PAC 投量时对 COD_{Mn} 的去除

图6为PAC-UF组合系统在3种PAC投量时对 UV_{254} 的去除. 从图6可知, 与对 COD_{Mn} 的去除效果相似, 表现为出水中 UV_{254} 的含量先下降再达到稳定的过程. 图7为PAC-UF组合系统在未投加PAC和不同PAC投量条件下对 UV_{254} 的平均去除效果, 从图7可知, 未投加PAC时超滤膜本身对 UV_{254} 具有一定的去除效果, 而且PAC投量仅为 20 mg/L 时, 系统对 UV_{254} 的平均去除率就提高20%左右. 随着PAC投量的增加, 系统对 UV_{254} 的去除率可以提高到 200 mg/L 时的91.8%. 说

明随着投炭量的增加, 单位容积的混合液中粉末活性炭的含量提高, 与有机物质的接触机会就越多, 就越可以充分利用粉末炭的吸附容量, 减少水中形成DBP的前体物的含量, 外在表现为对 UV_{254} 的去除率增加, 这种趋势与组合系统对 COD_{Mn} 的去除规律基本相同. 同时也说明粉末活性炭与原水充分接触后首先吸附原水中的小分子量有机物质, 而且浓差极化所形成的膜面覆盖层也起一定的截留作用, 减少了水中DBP的含量, 使出水中透过膜的小分子量有机物质含量下降.

图5 PAC-UF 组合系统在未投 PAC 与投加不同 PAC 时对 COD_{Mn} 的去除图6 PAC-UF 组合系统在不同 PAC 投量时对 UV_{254} 的去除图7 PAC-UF 组合系统在未投 PAC 与投加 PAC 时对 UV_{254} 的去除对比

2.4 腐殖酸的去除

腐殖酸是典型的高分子有机物的代表, 是消毒副产物前体物的主要组成部分, 而且PAC对不同分子量的腐殖酸吸附效果不同. 考虑到自来水中腐殖酸的浓度较低, 向自来水中投加了腐殖酸, 测定PAC-UF组合系统对腐殖酸的去除效果. 图8为PAC-UF组合系统处理投加腐殖酸的自来水时对 UV_{254} 的去除效果 (PAC投量为 100 mg/L). 有资料表明, UV_{254} 与 TOC 具有较好的线性关系^[6], 为此试验中以 UV_{254} 值反映PAC-UF组合系统对腐殖酸的去除效果.

从图8可知, 随着系统的运行, 浓缩液在闭合

循环中使膜进水的腐殖酸浓度不断上升, 即使在这种情况下, 膜的出水水质变化不大. 与以前未投加PAC的系统处理自来水时对 UV_{254} 的去除效果相比有明显的提高, 说明投加PAC的组合系统可以提高对腐殖酸的去除效果. 但是这与产生吸光度的物质有很大的关系, 在试验中发现铁离子对 UV_{254} 的测定值有很大的干扰. 同时试验使用的活性炭的孔径分布对出水水质的 UV_{254} 值也有较大的影响^[8], 因为进水中不同分子量的有机物质含量不同, 分子量相对小的有机物质对粉末活性炭孔径的堵塞程度相比分子量大的要弱. 粉末活性炭的部分大孔很容易在较短的时间内被大分子有

机物质堵塞,表现为出水水质恶化。

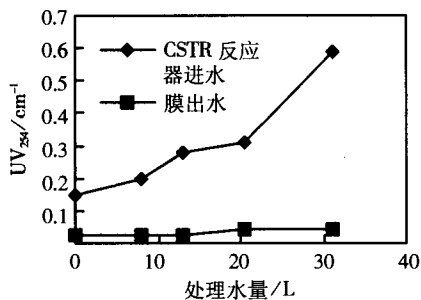


图8 PAC-UF组合系统对腐植酸的去除效果

3 结论

1)超滤膜本身对浊度具有较好的去除效果,投加 PAC 并没有明显提高 UF 膜对浊度的去除。

2)超滤膜本身对有机物具有一定的去除作用,但由于其具有较高的截留分子量,对水中的小分子量有机物尤其是溶解性有机物的去除效果较差。

3)粉末活性炭作为超滤膜的预处理,可以提高 UF 膜对有机物的去除能力。而且随着 PAC 投量的增加,对自来水中的背景有机物及溶解性有机物的去除效果都随之增加,在一定的投量范围内具有很好的线性相关性。

4)随着 PAC-UF 组合系统的运行,在同一 PAC 投量下系统出水中有机物含量经历先下降

到长时间稳定的过程。

参考文献:

- [1] LAIE J M, VIAL D, MOULART P. Status after 10 years of operation - overview of UF technology today[J]. Desalination, 2000, 131: 17-25.
- [2] CAMPOS C. Adding PAC to remove DOC[J]. Journal of AWWA, 2000, 92(8): 69-83.
- [3] 张捍民. 膜技术应用于饮用水处理的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2001.
- [4] JACANGELO E. Assessing hollow - fiber ultrafiltration for particular removal[J]. Journal of AWWA, 1989, 81(12): 68-75.
- [5] NAJM J. Optimizing enhanced coagulation with PAC: A case study[J]. Journal of AWWA, 1998, 91(12): 56-72.
- [6] ANNE M. Using PAC-UF to treat a low - quality surface water[J]. Journal of AWWA, 1998, 90(11): 83-95.
- [7] CHANG Heng - yu. The effect of the molecular mass of the organic matter in raw water on the formation of disinfection by products [J]. Journal of Water Supply: AQUA, 2001, 50(1): 39-45.
- [8] EBIE K. Pore distribution effect of activated carbon in adsorption organic micropollutions from natural water [J]. Water Research, 2001, 35(1): 167-179.

(编辑 刘 彤)

(上接第 1660 页)

际输入值 ψ ,虚线代表对应期望值 ψ^0 . 对应的输出舵角变化如图5所示. 在 $t = 250$ 时,对期望值加入了干扰信号,从输出舵角曲线上可以看出干扰信号被抑制了,没有产生超调. 顶风行驶的试验结果与此类似。

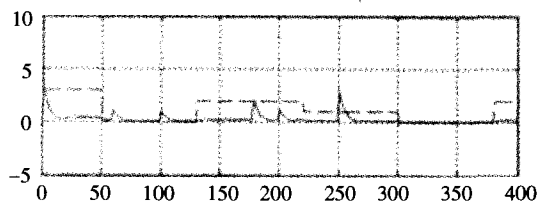


图4 期望值与实际输入值的变化(单位,度)

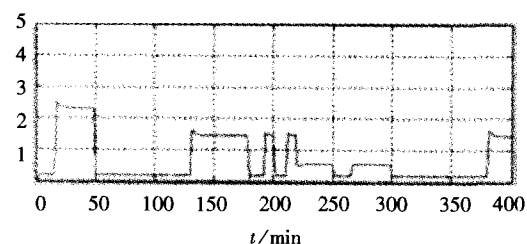


图5 输出方向舵角的变化(单位,度)

4 结论

该方法可以有效地控制复杂的帆船航行系统,是指导帆船运动员进行科学训练的有效方法,

具有较高的实际应用价值。

参考文献:

- [1] 缪国平. 帆船运动的力学原理[J]. 力学与实践, 1994, 16(1): 9-18.
- [2] HAJJAJI A EI, BENTALBA S. Fuzzy path tracking control for automatic steering of vehicles[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2003, (43): 203-213.
- [3] PASSINO K M, YURKOVICH S. Fuzzy Control[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [4] 张化光, 何希勤. 模糊自适应控制理论及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.
- [5] PAJARES G, JESUS M de la Cruz. Local stereovision matching through the ADALINE neural network[J]. Pattern Recognition Letters, 2001, (22): 1457-1473.
- [6] FLAY R G J, VULETICH I J. Development of a wind tunnel test facility for yacht aerodynamic studies [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1995, (58): 231-258.
- [7] 郭 晨, 苏 辉, 杨国勋. 基于 GA-FCMAC 算法的船舶运动智能控制器[J]. 中国航海, 2002(1): 12-15.
- [8] DJOUANI K, HAMAM Y. Feedback optimal neural network controller for dynamic systems - a ship maneuvering example[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1996 (41): 117-127.

(编辑 王小唯)