

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.03.015

饮用水处理中超滤与砂滤技术特性的比较试验

祖 良,马金保,张宗雷,周 斌

(国电龙源南京膜技术有限公司,江苏 南京 211200)

摘要:对超滤工艺的运行特性及其对浊度、COD_{Mn}、UV₂₅₄等水质指标的去除效果进行了试验。结果表明:超滤对浊度的去除率可达 97%~99%,对 COD_{Mn} 的平均去除率约为 10.36%,对 UV₂₅₄ 的平均去除率约为 9.06%。与砂滤工艺的运行数据相比,超滤工艺对污染指标的去除率更高,且通量、跨膜压差等技术性能较好,出水水质更加稳定、安全。

关键词:超滤;砂滤;饮用水处理;技术特性;比较试验

中图分类号:X703.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)03-0070-03

Comparison test of technological characteristics of ultrafiltration and sand filtration for drinking water treatment

ZU Liang, MA Jinbao, ZHANG Zonglei, ZHOU Bin
(GD Loongwater Mem-Technology Co., Ltd., Nanjing 210098, China)

Abstract: Experiments were conducted to study the performance of ultrafiltration technology and its efficiency in removing turbidity, COD_{Mn}, and UV₂₅₄. The results show that, with the use of ultrafiltration technology, the removal rate of turbidity reached 97% to 99%, and the average removal rates of COD_{Mn} and UV₂₅₄ were 10.36% and 9.06%, respectively. Compared with sand filtration technology, ultrafiltration technology is more efficient in removing pollutants, has better technical performance of flux and transmembrane pressure, and can provide higher-quality water production and better stability.

Key words: ultrafiltration; sand filtration; drinking water treatment; technological characteristics; comparison test

近年来,我国饮用水水源受到微污染的威胁,现有的常规水处理工艺由于流程简单,局限性逐渐凸显,出水水质已难以满足我国饮用水卫生标准的要求。在此背景下,更高标准的水处理工艺开始逐步普及,其中,超滤工艺具有精密过滤、出水水质稳定、运行稳定可靠、处理成本较低等特点,在饮用水处理领域日益受到重视。笔者通过对超滤与传统过滤方式——砂滤在实际运行过程中的对比,分析了超滤工艺在饮用水处理中的特点。

超滤作用机理为机械筛分,过滤过程膜面存在浓差极化现象,在凝胶层形成前,膜通量与压差的关系为^[1]:

$$J_y = (P_w/\delta_m)\Delta P$$

式中: J_y 为膜通量, L/(m²·h); P_w 为膜对水的透过特性, m²/(Pa·s); δ_m 为膜的边界层厚度, m; ΔP 为压差, Pa。

可见,膜通量与跨膜压差大致呈正比。当进水中胶体浓度很低时,超滤工艺压差小,通量大。超滤技术这一优异的分离性能在给水处理中可以充分发挥作用,研究超滤的基本特性及净化效率,拓展超滤在净水工艺中的应用是十分必要的。

1 试验内容

以水厂沉淀池出水为对象,研究超滤工艺的膜通量、跨膜压差等基本特性及超滤工艺对原水中浊度、COD_{Mn}、UV₂₅₄等指标的去除效果,并与砂滤工艺相关操作参数、处理效果进行技术经济核算对比,探讨超滤工艺取代砂滤工艺的可行性。

2 试验装置及流程

2.1 原水类型及分析方法

试验原水为水厂沉淀池出水,原水浊度 3~

作者简介:祖良(1983-),男,工程师,主要从事水处理技术工作。E-mail:zl@loongwater.com

13 NTU, $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 、 UV_{254} 值分别为 3 ~ 20 mg/L、0.025 ~ 0.038 cm。测试指标包括浊度、 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 、 UV_{254} , 其中, 浊度采用 HACH2100P 浊度仪检测, COD_{Mn} 质量浓度采用高锰酸钾法检测, UV_{254} 采用可见紫外分光光度法检测。

2.2 试验装置及试验方案

本试验采用国电龙源南京膜技术有限公司生产的 PVDF 中空纤维超滤膜组件为超滤元件, 膜孔径为 30 nm, 膜表面积为 52 m², 通量范围为 60 ~ 105 L/(m² · h)。

试验装置系统流程图见图 1。

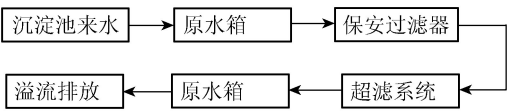


图 1 试验装置系统流程示意图

原水经沉淀后通过水泵提升至原水箱, 通过保安过滤器(150 μm 袋式过滤器)后, 进入超滤膜组件, 最后产水进入超滤水箱并溢流排出。

为充分利用超滤的初期低压差特性, 考虑到原水水质较好, 无需错流运行, 且在死端过滤方式下超滤组件内流体形态更稳定, 故确定超滤运行方式为死端过滤, 运行周期为 60 min, 反洗时间 40 ~ 60 s, 气洗时间 10 ~ 20 s。进水压力通过变频方式控制, 跨膜压差为 0.01 ~ 0.08 MPa。

3 试验结果与讨论

3.1 超滤基本特性及其对浊度的去除

膜通量与跨膜压差的关系及超滤对浊度的去除效果见表 1。

表 1 膜通量与压差关系及浊度的去除效果

J_f /(L · m ⁻² · h ⁻¹)	浊度/NTU		去除率/%	ΔP / MPa
	进水	出水		
65	9.64	0.08	99.1	0.030
75	13.40	0.07	99.5	0.035
80	9.00	0.07	99.1	0.037
90	3.14	0.08	97.4	0.040

由表 1 可知, 超滤膜通量在 65 ~ 90 L/(m² · h) 时, 跨膜压差为 0.03 ~ 0.040 MPa。其水头损失仅为 3 ~ 4 m。已知砂滤在负荷为 8 m³/(m² · h) 时, 出水浊度为 0.15 ~ 0.25 NTU, 相应平均去除率为 91% ~ 97%。可见超滤在去除浊度能力方面有明显优势^[2]。

原水中浊度指标表征了细菌、有机物的浓度, 降低水中的浊度, 可显著减小有毒有害物质、细菌病毒等的浓度, 提高出水水质。超滤进水浊度波动较大, 超滤对去除浊度的效率可稳定达到 97% ~ 99%, 且出水浊度在膜通量增加的情况下稳定在 0.1 NTU

以下, 远低于我国 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》规定的 1.0 NTU。

3.2 超滤对 COD_{Mn} 的去除

COD_{Mn} 是衡量水质有机污染的综合指标, 对评价水质具有重要意义。超滤在不同膜通量下 COD_{Mn} 的去除效果见图 2。

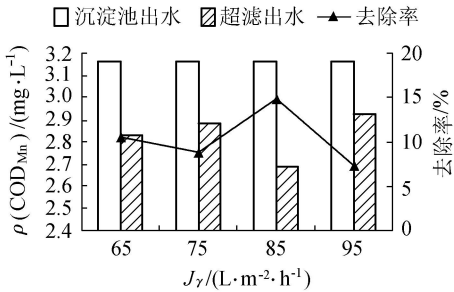


图 2 不同膜通量下 COD_{Mn} 的去除效果

由图 2 可知, 超滤对原水 COD_{Mn} 为 3 ~ 3.5 mg/L 时的平均去除率约为 10.36%。膜出水 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 为 2.61 ~ 2.92 mg/L, 低于 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》规定的 3 mg/L。

通过不定期检测砂滤及超滤出水的 $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 值, 比较超滤与砂滤系统出水 COD_{Mn} 去除情况, 当超滤通量为 80 L/(m² · h), 砂滤表面负荷为 8 m³/(m² · h) 时, 结果见图 3。

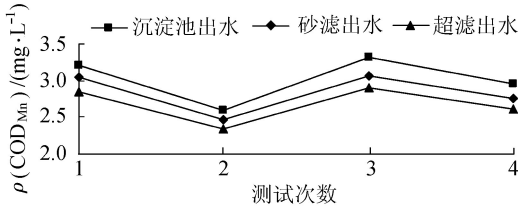


图 3 超滤与砂滤去除效果比较

由图 3 可知, 超滤对 COD_{Mn} 的平均去除率略优于砂滤。应当说明, 当源水受到微污染时, 砂滤对 COD_{Mn} 的去除率可能略优于超滤^[3]。分析认为, 某些砂滤池由于原水处于微污染状态, 经过长时间的运行后, 砂粒表面附着了一层生物膜, 该类砂滤系统具备了部分生物滤池的特性和功能。原水在过滤过程中, 砂滤池的生物功能对其中的有机污染物达到了部分去除的效果^[4]; 而超滤系统过滤周期较短, 运行条件控制在凝胶层形成前阶段, 且表面基本不会生长生物膜, 不具备有机物分解功能。比较而言, 砂滤虽然具有一定的去除 COD_{Mn} 的功能, 但生物膜随时可能脱落被带至出水中, 带来不可控的饮用水安全风险; 而超滤系统出水稳定, 没有此类安全隐患。

3.3 超滤对 UV₂₅₄ 的去除效果

UV_{254} 为 254 nm 波长水样的紫外吸光度, 可作为总有机碳(TOC)及三卤甲烷生成势(THMFP)的

表 2 超滤与砂滤技术经济指标对比

工艺	占地 面积/m ²	建设投资/ (元·t ⁻¹)	建设 周期	运行费用/ (元·t ⁻¹)	自动化程度	产水水质
砂滤	50~80	350~400	长	≤0.12	运行需一定人工操作	对 COD _{Mn} 、UV ₂₅₄ 的去除率低于超滤工艺,浊度可控制在 0.5NTU 以内,但对微生物的去除很难保障,且存在系统内微生物泄露的安全隐患
超滤	20~30	450~500	短	≤0.20	全自动运行	对 COD _{Mn} 及 UV ₂₅₄ 具备一定的去除率,浊度可控制在 0.1NTU 以内,对细菌、藻类去除率高

注:超滤的建设投资含 5 a 换膜芯费用。

代用参数,与 THMFP 有很好的相关性,通常,可以由 UV₂₅₄ 表征水体中小分子有机物的多少,主要是指 1 000 D 以下的小分子物质,而超滤膜的截留分子量是为 300~2 000,因而超滤对 UV₂₅₄ 的去除仍然有优势。不同膜通量下 UV₂₅₄ 去除效率见图 4。

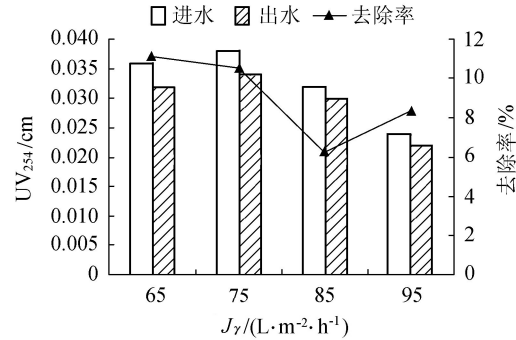


图 4 不同膜通量下对 UV₂₅₄ 的去除效果

由图 4 可知,超滤对 UV₂₅₄ 的平均去除率为 9.06%。当膜通量提高时,因为过滤速率增加,单位时间内通过膜过滤截面的水量增加,导致 UV₂₅₄ 去除率降低;但当膜通量增加到一定程度时,截留率又开始上升。分析认为,当通量较大时,随着过滤时间的累积,膜表面截留的物质微粒增加,形成截留物累积层,在过滤过程中起到了一定的截留效果,从而增加了超滤膜对 UV₂₅₄ 的整体去除率。试验说明,超滤对于 UV₂₅₄ 的去除率较低,但仍有一定的去除效果。据相关资料^[5],砂滤在负荷为 8~10 m³/(m²·h) 时 UV₂₅₄ 的去除率为 5%~8%,明显低于超滤。

3.4 超滤对细菌的去除效果

由图 5 可知,超滤较原水相比较,对细菌的平均去除率约为 90%。一般细菌大小为 1~10 μm,杆菌长约 2~3 μm,超滤孔(30 nm)要远小于细菌的大小,理论上细菌可以完全被截留,但由于管体污染,截留率难以达到 100%。事实上,超滤出水细菌指标已经达到国家卫生标准。砂滤孔隙一般为 300~1 000 μm,对细菌截留率约 10%~20%,远低于超滤。此外,超滤对藻类去除率大大优于砂滤。

3.5 超滤、砂滤工艺特性和技术经济指标对比

由于超滤具有稳定的操作条件,对浊度物质具有优异的分离性能,对微污染物也具有一定截留效果,较之砂滤有明显的技术优势,可以通过超滤和砂

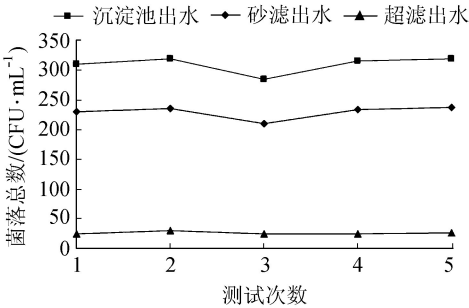


图 5 超滤与砂滤对细菌的去除效果对比

滤的技术经济比较,讨论超滤取代砂滤的可行性分析。以生产能力为 1 万 t/d 的自来水厂为例,超滤与砂滤工艺的各项技术经济指标比较见表 2。

由表 2 分析可知,超滤技术对浊度、COD_{Mn} 及 UV₂₅₄ 分离性能好,出水水质有保障;超滤工艺占地面积小,投资成本低,建设周期短,有较好的自动运行控制条件,较砂滤有较好的技术优势,可以用于传统净水工艺,取代砂滤工艺。超滤投资成本及运行费用虽略高,但是可以接受的。

4 结 论

a. 超滤工艺具备高精度的分离能力,其产水水质稳定,可达到国家饮用水水质标准。超滤与传统砂滤工艺相比,占地面积小,跨膜压差低,膜通量较大。其工艺水平和主要技术经济指标优于砂滤工艺。

b. 超滤工艺的产水浊度可控制在 0.1 NTU 以内,远低于 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》的要求。超滤工艺对 COD_{Mn}、UV₂₅₄ 等指标具有一定的去除率,可满足在原水轻微污染的情况下处理达标要求。

参考文献:

[1] 张林生. 水的深度处理与回用技术[M]. 2 版. 北京:化学工业出版社, 2009.

[2] 马蓉, 吕锡武, 李发战, 等. 超滤组合工艺出水及消毒方法[J]. 水处理技术 2005, 31(12): 74-79. (MA Rong, LV Xiwu, LI Fazhan, et al. Study of combined ultrafiltration and disinfection of the treated water[J]. Technology of Water Treatment, 2005, 31(12): 74-79. (in Chinese))

(下转第 78 页)

[3] CUI Lihua, YING Ouyang, QIAN Lou, et al. Removal of nutrients from wastewater with *Canna Indica* L. under different vertical-flow constructed wetland conditions [J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(6) : 1083-1088.

[4] HU Guangji, MIN Zhou, HOU Haobo, et al. An ecological floating-bed made from dredged lake sludge for purification of eutrophic water [J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(10) : 1448-1458.

[5] GUSTAVO G, HENRY S, MONTEIRO A F C. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents [J]. *Sci Agric*, 2006, 63(5) : 433-438.

[6] 周晓红, 王国祥, 冯冰冰, 等. 3 种景观植物对城市河道污染水体的净化效果 [J]. *环境科学研究*, 2009, 22(1) : 108-113. (ZHOU Xiaohong, WANG Guoxiang, FENG Bingbing, et al. Purification effect of nitrogen and phosphorus in polluted water of urban rivers by three landscape plants [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(1) : 108-113. (in Chinese))

[7] GIRALDO E, GARZÓN A. The potential for water hyacinth to improve the quality of Bogota River water in the Muña Reservoir: comparison with the performance of waste stabilization ponds [J]. *Water Science and Technology*, 2002, 45(1) : 103-110.

[8] MATHIAS E, MICHAEL W H, EVANGELOU A S. Cyanide phytoremediation by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*) [J]. *Chemosphere*, 2007, 66(5) : 816-823.

[9] 胡绵好, 袁菊红, 常会庆, 等. 凤眼莲-固定化氮循环细菌联合作用对富营养化水体原位修复的研究 [J]. *环境工程学报*, 2009, 3(12) : 2163-2169. (HU Mianhao, YUAN Juhong, CHANG Huiqing, et al. In situ remediation of eutrophic water bodies by the combination of water hyacinth and immobilized nitrogen cycle bacteria [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(12) : 2163-2169. (in Chinese))

[10] 张宪中, 孙梅, 张维娜, 等. 2 种水葫芦-微生物系统水质净化效果的比较 [J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(8) : 4645-4648. (ZHANG Xianzhong, SUN Mei, ZHANG Weina, et al. Comparison of the water purification effect of two kinds of water hyacinth-on microbial system [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(8) : 4645-4648. (in Chinese))

[11] 李欲如, 陈娟. 浮床植物对不同污染程度水体中氮、磷的去除效果 [J]. *水资源保护*, 2011, 27(1) : 58-62. (LI Yuru, CHEN Juan. Removal effect of floating-bed plants on nitrogen and phosphorus in wastewater with different concentrations [J]. *Water Resources Protection*, 2011, 27(1) : 58-62. (in Chinese))

[12] 任东华, 高蓓蕾, 沈建康. 水葫芦在太湖流域的应用 [J]. *中国资源综合利用*, 2011, 29(7) : 59-61. (REN Donghua, GAO Beilei, SHEN Jiankang. The application of water hyacinth in taihu lake basin [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2011, 29(7) : 59-61. (in Chinese))

[13] 蒋伟军, 颜幼平, 李萍. 水葫芦资源化利用综述 [J]. *水资源保护*, 2010, 26(6) : 79-81. (JIANG Weijun, YAN Youping, LI Ping. Progress in resources utilization of eichharnia crassipes [J]. *Water Resources Protection*, 2010, 26(6) : 79-81. (in Chinese))

[14] 盛婧, 刘红江, 陈留根, 等. 农田施用水葫芦对水稻磷素吸收利用的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(6) : 803-808. (SHENG Jing, LIU Hongjiang, CHEN Liugen, et al. Effect of hyacinth mulching on uptake and utilization of phosphorus by rice plant (*Oryza sativa* L.) [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2011, 17(6) : 803-808. (in Chinese))

(收稿日期: 2012-05-29 编辑: 高渭文)

+++++

(上接第 72 页)

[3] 秦钰慧, 凌波, 张晓健. 饮用水卫生与处理技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

[4] 董秉直, 李伟英, 秦祖群, 等. 用超滤膜处理长江水 [J]. *膜科学与技术* 2005, 25(1) : 34-37. (DONG Bingzhi, LI Weiyang, QIN Zuqun, et al. Ultrafiltration of Yangtze River water [J]. *Membrane Science and Technology*, 2005, 25(1) : 34-37. (in Chinese))

[5] 王占生. 中国饮用水的水质问题 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

(收稿日期: 2012-04-24 编辑: 高渭文)

+++++

• 简讯 •

《水稻控制灌溉理论与技术》获首届江苏省新闻出版政府奖提名奖

国家“十一五”重点出版规划项目、河海大学出版社重点图书《水稻控制灌溉理论与技术》获首届江苏省新闻出版政府奖提名奖。《水稻控制灌溉理论与技术》由河海大学彭世彰教授和徐俊增教授编著。水稻控制灌溉理论与技术作为我国促控栽培稻作理论又一新的代表成果, 是河海大学几代研究人员持续性试验研究提出的水稻节水灌溉特色成果, 汇集了作者及其团队 20 余年试验研究的精华, 是“在实践中诞生, 并经实践验证”的水稻节水灌溉理论。

(本刊编辑部供稿)