

潮汐咸水的纳滤膜集成处理系统

毕飞¹, 陈小洁¹, 陈水超¹, 陈欢林¹, 孙志林²

(1. 浙江大学膜与水处理技术教育部工程研究中心, 杭州 310027; 2. 浙江大学海洋科学与工程学系, 杭州 310058)

[摘要] 本文以钱塘江潮汐咸水为研究对象, 将纳滤膜集成技术用于潮汐咸水制备饮用水。通过对纳滤膜选择与性能评价、中试集成工艺优化, 以及500 m³/d的纳滤集成示范系统的运行试验, 结果表明: 对于潮汐咸水水源, 应用纳滤膜集成系统可有效脱除盐分, 降低水体中的有机污染物含量, 对促进潮汐地区的饮水安全具有保障作用。

[关键词] 钱塘江; 潮汐咸水; 纳滤膜; 饮水安全

[中图分类号] P747 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)07-0053-04

1 前言

近几年来, 膜滤技术在饮用水制备领域的应用逐渐增多, 规模不断扩大, 已被认可为我国第三代饮用水工艺的核心技术。特别是纳滤膜技术不仅能保证生物安全, 而且对如杀虫剂、除草剂等有机化合物具有较高截留率, 在水源水质波动条件下仍能满足最终供水的要求。因此, 对南方经济发达地区的水质性缺水现象, 纳滤膜技术的开发成功很大程度上扩大了饮用水水源的范围^[1-4]。

钱塘江潮汐变化景观举世闻名, 也是杭州市民的重要饮用水源地。近十年来钱塘江河口水体严重恶化, 其随潮汐咸水上溯对中、上游取水口水质的影响逐渐显现。为了解钱塘江潮汐咸水变化对水源水质的影响程度, 保障杭州市民的饮水安全, 本文通过近三年的数据采集与分析、纳滤膜集成示范系统的运行试验, 获得了初步的结果并积累了一定的经验, 为相关决策部门提供了一套潮汐水源保障饮水安全的可行性方案。

2 钱塘江水源水质的潮汐影响

图1为钱塘江主要取水口示意图。2010年起在杭州与萧山水文局领导和相关工作人员的配合下, 笔者对钱塘江不同取水口水源的盐度进行采样检测, 水源取样口从钱塘江中游到上游, 共计6个采样

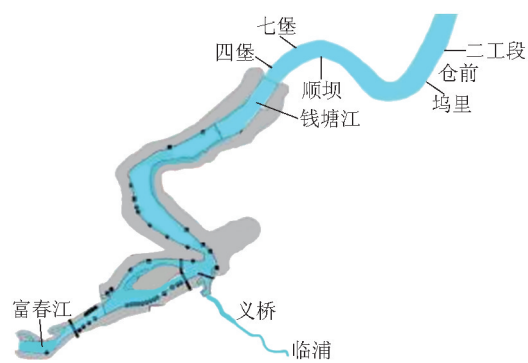


图1 钱塘江水源取水口与检测点分布
Fig. 1 The water intake and testing point of Qiantang River

[收稿日期] 2014-05-11

[基金项目] 水体污染控制与治理科技重大专项项目资助(2009ZX07424-001)

[作者简介] 陈欢林, 1948年出生, 男, 浙江萧山市人, 教授, 研究方向为膜科学与技术; E-mail: chenhl@zju.edu.cn

点,分别为萧山仓前、萧山东北、杭州七堡、杭州之江、萧山闻堰、萧山临浦(浦阳江)。经过近三年的实地取水和水质分析,对钱塘江水体受潮汐影响的

情况有了初步的了解。图2为2011年钱塘江某水文站潮汐导致咸水体电导率的变化情况。

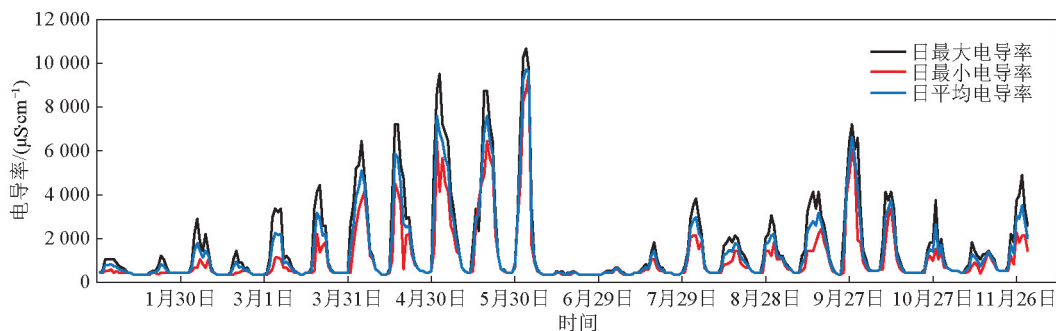


图2 2011年钱塘江某水文站潮汐导致咸水体电导率变化曲线

Fig. 2 The curve of salty water conductivity changed by tide of Qiantang River hydrologic station in 2011

钱塘江水体电导率受潮汐影响,基本呈一月两次周期性变化。没有咸潮时,钱塘江水体的电导率通常为300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右;而当大咸潮来临时,其电导率可达到11 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2011年)。

3 纳滤膜的选择与性能评价

针对钱塘江饮用水源水质受潮汐影响不稳定

的特点,本研究进一步开展不同矿化度条件下的咸潮水纳滤膜集成处理研究。按照纳滤膜对氯化钠的截留性能,选择了3种纳滤膜进行测试,并与一种超低压反渗透膜的测试结果进行对比。表1为进行纳滤膜评价实验的模拟咸水组成及实验条件变化范围,文中选择DOW化学公司的NF270膜的部分测试性能进行说明^[5]。

表1 模拟咸水组成及实验条件变化范围

Table1 The variation of the composition of simulate salty water and experimental condition

编号	实验溶液	浓度/ppm	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	进水压/psi	浓水流量/ $(\text{L} \cdot \text{M}^{-1})$
1	一价盐体系 NaCl	200 ~ 10 000	25 ~ 26	80 ~ 120	0 ~ 8
2	二价盐体系 MgSO ₄	200 ~ 10 000	31 ~ 32	60 ~ 100	0 ~ 8
3	混合盐体系 NaCl+ MgSO ₄	100 ~ 5 000 100 ~ 5 000	23 ~ 24.4	60 ~ 100	0 ~ 8
4	实际水源 TDS TOC UV ₂₅₄ (cm^{-1})	158 ~ 187 1.2 ~ 3.0 0.032 ~ 0.06	16.5 ~ 23.8	60 ~ 90	0 ~ 3.5

注:1 ppm= 10^{-6} ;1 psi=6.895 kPa; TDS为水体中的总溶解性物质的浓度,mg/L;TOC为水体中总有机碳浓度,mg/L

3.1 纳滤产水特性分析

在实际应用中,对于反渗透膜系统要分别考虑浓水流量和浓产水流量比对系统性能的影响。因为对于产水通量较低的系统,即使浓产水流量比大于某值,也有可能因浓水流量较小(即浓水流速较低)、湍流效果弱造成膜表面污染物的累积。对于纳滤膜元件也分别讨论浓水流量和浓产水流量比对膜性能的影响。如图3所示,对给定氯化钠溶液

(即含盐量、温度和pH不发生变化),分别在3个进水压力条件下,改变膜表面流量时,产水通量在给定进水压力下基本不发生变化,甚至随着浓水流量的减小,产水通量略有升高的趋势,原因是流量减小降低了流道内的阻力,致使净推动压力增加。可见与反渗透系统要求的浓产水流量比大于5:1的限定有很大的区别。图3测试条件为水溶液的氯化钠浓度为500 ppm, pH=6.5~7.0,温度为29.5~30 $^{\circ}\text{C}$ 。

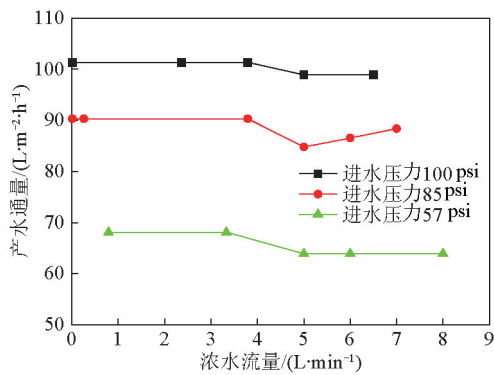


图3 不同压力下浓水流量与通量变化

Fig. 3 The variation of the producing water flux with concentrated water flux under different pressures

3.2 盐的截留特性

实验中截留率为膜元件的表观截留率,即直接用产水电导率和进水电导率计算得出,考察其变化规律。如图4所示,不同压力条件下,纳滤膜截留性能随浓水流量的变化规律基本相近,随着浓水流量的减小而下降,且随着浓水流量降为零,各压力条件下的截留率也均接近为零。图4的测试条件与图3相同。

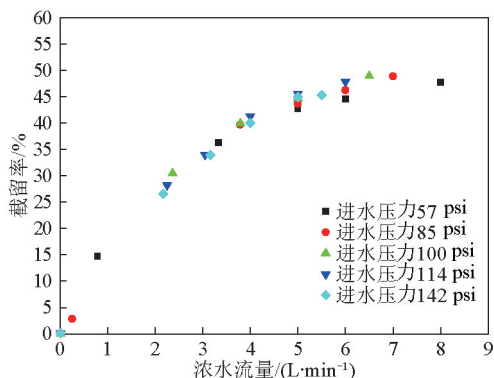


图4 不同压力下浓水流量与截留率变化

Fig. 4 The variation of the producing water rejection with concentrated water flux under different pressures

对咸潮水体纳滤前后化学需氧量(COD)变化的测试结果表明:钱塘江咸潮水的纳滤处理可以去除大部分有机物,其纳滤处理后COD的平均去除率达到58.77%。咸潮水纳滤前后COD的变化见图5。对水源中的盐分,可根据事先要求来选择合适的纳滤膜,其去除率可在30%~70%变动。

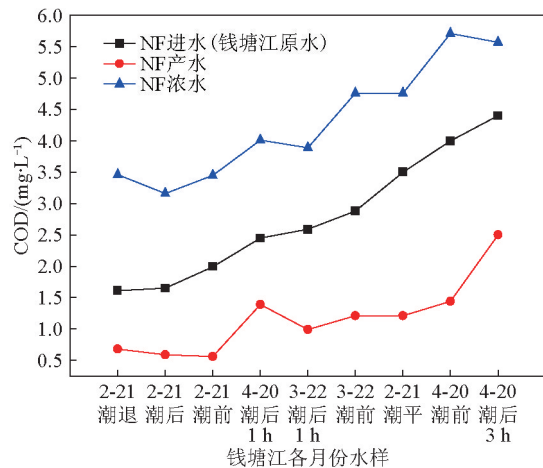


图5 咸潮水纳滤前后COD的变化

Fig. 5 The variation of COD of the tidal salty water before and after the nanofiltration process

4 纳滤膜的预处理工艺的比较

纳滤膜集成系统的预处理单元十分重要。本文对传统砂滤和超滤膜过滤进行对比,分别用SDI膜片分析评价纳滤膜系统的进水水质情况,监测纳滤膜的连续运行数据。结果表明,两种预处理条件下纳滤膜系统运行参数均较为稳定,但比较SDI膜片,自来水水源+砂滤工艺SDI膜片的胶体污染较为明显,而超滤对胶体物质的截留优势明显。最终选择超滤+纳滤的集成系统为本文所采用的工艺路线。集成膜系统对无机盐能适度截留,对有机物去除效果较好,对水源水质波动的适应性较强,是潮汐变化影响供水安全的优选方案。

5 纳滤膜集成示范装置

根据前期工作的成果,2011年在杭州某自来水厂建成一套超滤+纳滤集成示范系统,日产纳滤自来水500 m³[6]。其工艺单元为自清洗过滤器+超滤+纳滤,纳滤单元产生的浓盐水再进入反渗透装置提高利用率,系统水利用率收率大于90%。因为纳滤膜部分脱盐的特性,产水水质对管网腐蚀性较小,且进水水体与出水水体的pH相近。图6分别为某水厂现有超滤与纳滤装置。

6 结语

本文所开展的水源水采样、水质检测分析,纳



(a) 钱塘江水源自来水超滤预处理系统



(b) 钱塘江水源纳滤自来水生产系统

图6 潮汐高咸水纳滤膜集成处理示范系统(500 m³/d)

Fig. 6 The demonstrated system (500 m³/d) of treatment of tidal salty water by integrated processes of ultrafiltration and nanofiltration

滤膜及其集成工艺设计,以及500 t/d纳滤自来水示范系统的运行,积累了一定的经验,为纳滤自来水工程的放大提供设计依据,对钱塘江咸潮的防范、纳滤自来水的制备、建立杭州地区饮水安全保障系统具有参考价值。

参考文献

[1] 李峰,安全福,张林,等.高分子纳滤膜材料的研究进展[J].中国材料科技与设备,2008,1(2):1-4.

- [2] 张立卿,王磊,王旭东.纳滤膜物化特征对膜分离及膜污染影响研究[J].水处理技术,2009,35(1):24-28.
- [3] 侯立安,高鑫,赵兰.纳滤膜技术净化饮用水的应用研究进展[J].膜科学与技术,2012,32(5):1-7.
- [4] 毕飞,陈欢林,高从塔.纳滤膜去除饮用水中微量有机物的研究进展[J].现代化工,2011,31(7):21-28.
- [5] 毕飞,张林,吴礼光,等.纳滤膜系统优化设计模式探讨[J].膜科学与技术,2012,32(3):11-16.
- [6] 陈欢林,吴礼光,陈小洁,等.钱塘江潮汐水源的饮用水膜法集成系统示范运行经验[J].中国给水排水,2013,29(22):98-101.

Integrated process of nanofiltration for treating tidal salty water from Qiantang River

Bi Fei¹, Chen Xiaojie¹, Chen Shuichao¹,
Chen Huanlin¹, Sun Zhilin²

(1. Engineering Research Center of Membrane & Water Treatment Technology, Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Department of Ocean Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

[Abstract] This study focused on preparing drinking water from the tidal salty water of Qiantang River by nanofiltration technology. Some commercial nanofiltration membranes were compared and the performance of optimized membrane was measured. A nanofiltration pilot-scale system with 500 m³/d was operated and optimized. The results showed that it was effective in removing the salt and reducing the organic pollutants from tidal salty water using nanofiltration technology, and nanofiltration system could play an important role of security for drinking water.

[Key words] Qiantang River; tidal salty water; nanofiltration membrane; security of the drinking water