

超滤/纳滤双膜工艺处理苦咸水的研究

肖友淦

(福州城建设计研究院有限公司, 福建 福州 350002)

摘要:针对滨海城市水源取水口受海水倒灌、咸潮等影响而导致原水盐度超标的问题,采用在 V 型滤池后增设超滤/纳滤双膜工艺处理苦咸水,对比研究了该工艺与常规处理工艺对盐度及其他污染物的去除情况。结果表明,相较于常规处理工艺,超滤/纳滤双膜工艺对电导率、浊度、 COD_{Mn} 、TOC、 UV_{254} 和荧光性有机物的去除率分别达到 96.8 %、99.9 %、72.8 %、90.0 %、80.59 % 和 97.46 %,去除效果明显优于常规处理工艺,有效保障了饮用水安全。表明超滤/纳滤双膜工艺可以用于处理因海水倒灌而形成的苦咸水,该研究为超滤/纳滤双膜工艺在市政饮用水处理中的推广和应用提供了理论依据。

关键词:水厂;苦咸水;超滤;纳滤

中图分类号: TU 991.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7767(2019)06-0176-05

Research on Bitter-brackish Water Treatment by Ultrafiltration/Nanofiltration Double Membrane Process

Xiao Yougan

我国沿海地区由于受海水倒灌、咸潮、环境污染等影响导致淡水资源污染加剧,水源水中氯化物、浊度和有机物等严重超标,而传统水厂受限于常规处理工艺局限,无法高效稳定地处理特殊水体。使用超滤/反渗透双膜工艺成本过高,超滤/纳滤双膜工艺可以较大幅度降低成本并保持出水水质,但是该工艺还未在大型饮用水厂中应用过。因此,针对滨海城市水源长期受苦咸水影响的问题,采用超滤/纳滤双膜工艺对传统水厂进行改造,对比研究了常规处理工艺和超滤/纳滤双膜工艺对苦咸水的净化效果,以期对滨海受海水倒灌、咸潮影响的水厂改造提供技术支撑。

1 项目背景

水厂位于福建省东部、闽江口南岸,设计供水规模 12 万 m^3/d ,原净水工艺采用“混凝—沉淀—过滤—消毒(次氯酸钠)”,水源为闽江口原水,现状取水口受海水倒灌、咸潮等影响,导致水厂出厂水中 Cl^- 质量浓度周期性超标。设计采用超滤/纳滤双膜法深度处理工艺对原水厂进行改造,改造设计总产水规模为 10 万 m^3/d 。改造后水厂工艺流程图见图 1。

超滤单元安装超滤膜装置 12 套(单套 80 支膜元件),过滤精度在 $0.02\sim 0.03\ \mu\text{m}$,产水回收率 $\geq 95.9\%$,工作压力 $\leq 0.3\ \text{MPa}$;纳滤单元安装纳滤膜装置 10 套(单

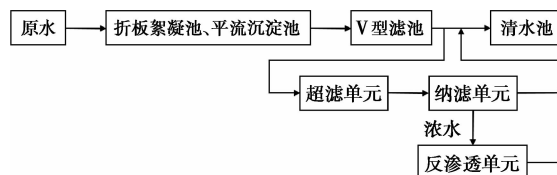


图 1 改造后水厂工艺流程图

套 72 支膜元件,一级二段排列),过滤精度在 $1\sim 2\ \text{nm}$,产水回收率 $\geq 80\%$,工作压力 $\leq 0.9\ \text{MPa}$;反渗透单元安装反渗透膜装置 4 套(单套 26 支膜元件),过滤精度在 $0.1\sim 1\ \text{nm}$,产水回收率 $\geq 50\%$,工作压力 $\leq 1.55\ \text{MPa}$ 。

2 检测方法(见表 1)

表 1 各指标检测方法

指标	检测方法
电导率	便携式 pH/电导率/TDS 测定仪
浊度	哈希台式浊度仪
COD_{Mn}	高锰酸盐指数法
TOC	总有机碳分析仪
UV_{254}	紫外分光光度法
荧光性有机物	三维荧光光谱仪

3 结果与讨论

3.1 超滤/纳滤双膜工艺对电导率的去除效果

电导率作为水质的重要评价指标,其主要反映水

中无机盐离子含量。通过检测原水、沉淀池出水、滤池出水、超滤出水、纳滤出水、纳滤浓水和反渗透出水的电导率,可直观评价超滤/纳滤双膜工艺对苦咸水的处理效果,结果见图2。

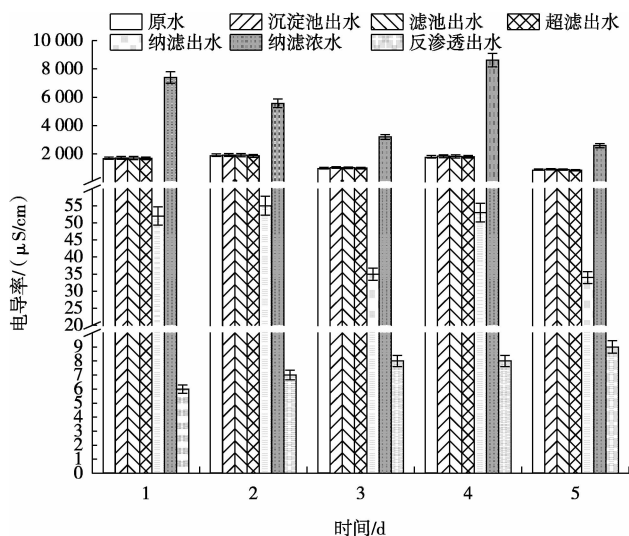


图2 超滤/纳滤双膜工艺对电导率的去除效果

从图2可以看出,原水平均电导率为 $1455 \mu\text{S}/\text{cm}$, 常规处理工艺和超滤工艺对离子半径很小的无机盐离子几乎无去除效果,导致其出水电导率与原水几乎相同。经纳滤工艺处理后,出水平均电导率为 $44 \mu\text{S}/\text{cm}$, 与原水相比下降了 96.8% 。同时,纳滤浓水平均电导率达 $5900 \mu\text{S}/\text{cm}$, 远高于原水电导率,这表明经超滤/纳滤双膜工艺处理后水中无机盐离子的去除效果显著,其中起主要作用的是纳滤工艺。

3.2 超滤/纳滤双膜工艺对浊度的去除效果

不同处理单元对浊度的去除效果见图3。

从图3可以看出,原水平均浊度为 109.79 NTU , 经常规工艺处理后,浊度可降低至 1 NTU 以下,满足 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》所规定的一级水质要求。超滤出水平均浊度为 0.07 NTU , 显著优于常规处理工艺,且相较于超滤膜,纳滤膜孔径更小,能使出水浊度进一步降低,其出水平均浊度低至 0.05 NTU 。由此可见,较常规处理工艺,超滤/纳滤双膜工艺对水体浊度的去除效果更好,其出水水质更优。

3.3 超滤/纳滤双膜工艺对 COD_{Mn} 的去除效果

不同处理单元对 COD_{Mn} 的去除效果见图4。

从图4可以看出,原水中 COD_{Mn} 含量为 $3.39 \text{ mg}/\text{L}$, 略高于国家标准所规定的 $3 \text{ mg}/\text{L}$ 。经常规工艺处理后,

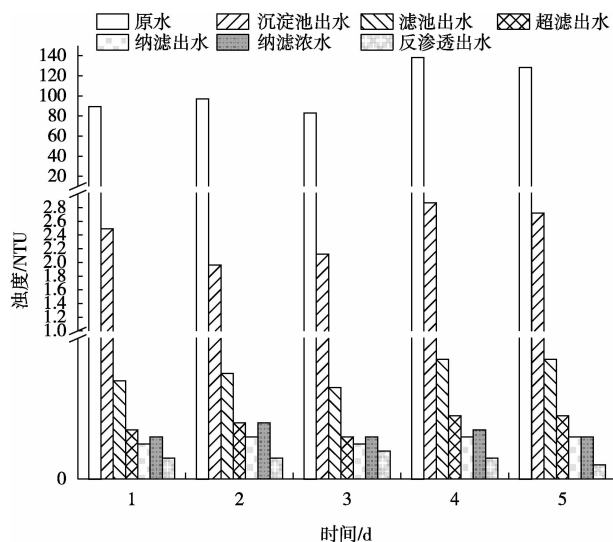


图3 超滤/纳滤双膜工艺对浊度的去除效果

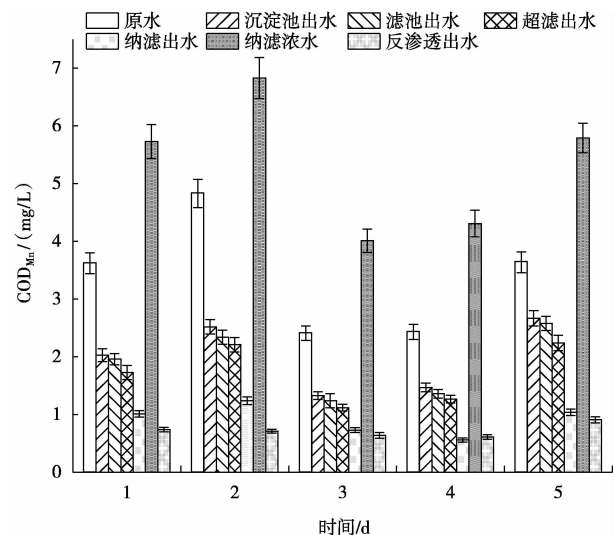


图4 超滤/纳滤双膜工艺对 COD_{Mn} 的去除效果

出水 COD_{Mn} 含量为 $1.90 \text{ mg}/\text{L}$, 下降了 43.95% , 其原因可能是由于混凝过程中能够将亲水大分子有机物和部分腐殖酸类物质絮凝^[1-2], 再通过过滤得以去除。经超滤/纳滤双膜工艺处理后,出水 COD_{Mn} 含量仅为 $0.92 \text{ mg}/\text{L}$, 下降了 72.8% 。由此可见,相较于常规处理工艺,超滤/纳滤双膜工艺对水中有机污染物去除效果有大幅度提升。

3.4 超滤/纳滤双膜工艺对 TOC 的去除效果

与 COD_{Mn} 类似,TOC 同样是评价水中有机物污染程度的重要指标。不同处理单元对 TOC 的去除效果见图5。

从图5可以看出,原水中 TOC 平均含量为 $4.508 \text{ mg}/\text{L}$,

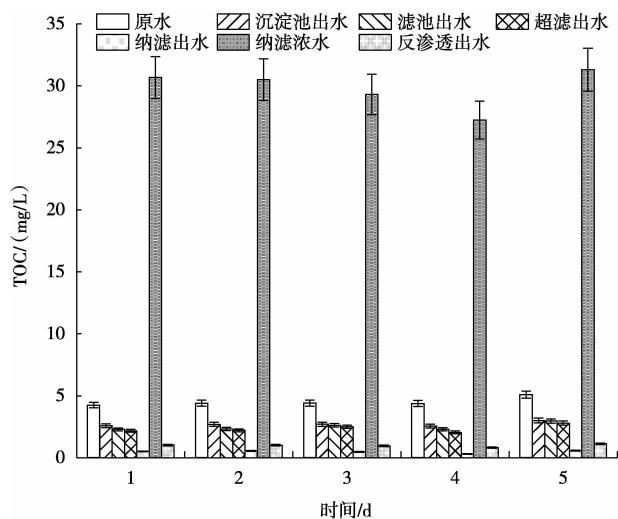


图5 超滤/纳滤双膜工艺对 TOC 的去除效果

经常规工艺处理后,TOC 含量略微下降,滤池出水中 TOC 含量为 2.491 mg/L,TOC 去除率为 44.7 %,推测其去除机理与 COD_{Mn} 的下降原理相同,同样是通过混凝、过滤去除了水中部分大分子有机物和腐殖质类物质。经超滤/纳滤双膜工艺处理后,纳滤出水中 TOC 含量仅为 0.487 mg/L,去除率高达 90 %,而超滤工艺对 TOC 的去除仅起到微弱作用,其出水 TOC 含量与滤池出水 TOC 含量相近。由此可见,相较于常规处理工艺,超滤/纳滤双膜工艺对水中有机污染物去除效果显著提升,但在该处理过程中起决定性作用的是纳滤工艺。

3.5 超滤/纳滤双膜工艺对 UV_{254} 的去除效果

UV_{254} 是表征水中芳香族化合物和腐殖质类大分子有机物含量的重要指标。不同处理单元对 UV_{254} 的去除效果见图 6。

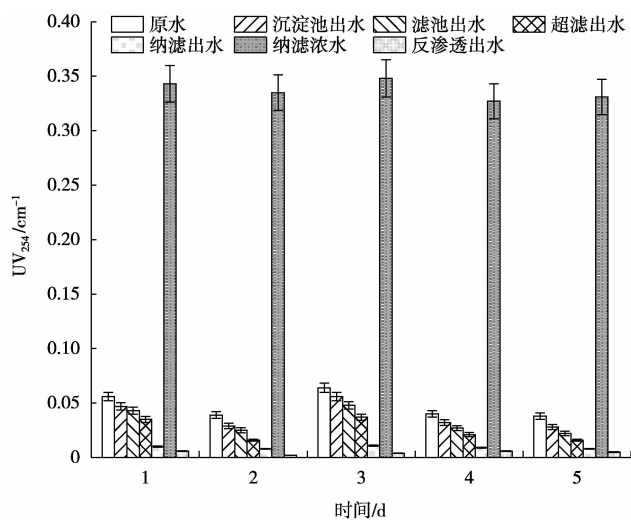
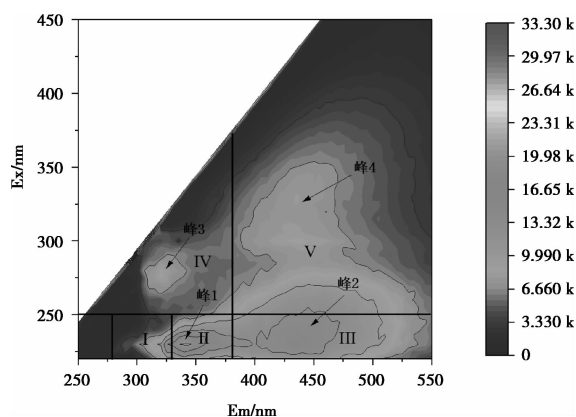


图6 超滤/纳滤双膜工艺对 UV_{254} 的去除效果

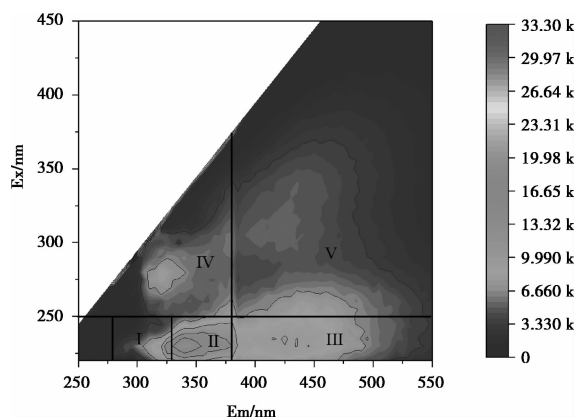
从图 6 可以看出,原水中 UV_{254} 约为 0.047 cm^{-1} ,常规工艺对 UV_{254} 的平均去除率为 31.74%。超滤工艺对 UV_{254} 的去除仅有微弱效果,其平均去除率为 25.4 %。而纳滤工艺对 UV_{254} 的去除起到了关键作用,其出水中 UV_{254} 平均为 0.009 cm^{-1} ,去除率可达 80.59 %且效果稳定。由此可见,超滤/纳滤双膜工艺对 UV_{254} 去除效果显著,且其处理核心为纳滤工艺。

3.6 超滤/纳滤双膜工艺对荧光性有机物的去除效果

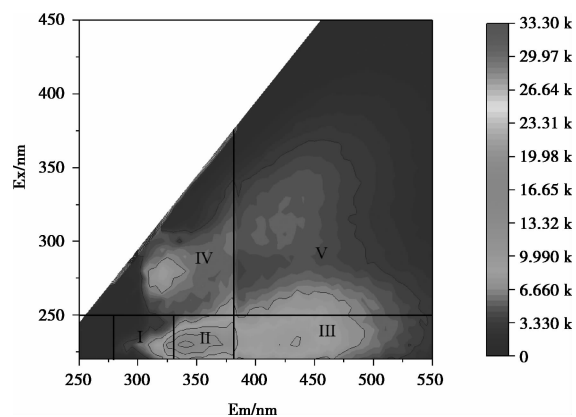
不同处理单元对荧光性有机物的去除效果见图 7。



a) 原水



b) 沉淀池出水



c) 滤池出水

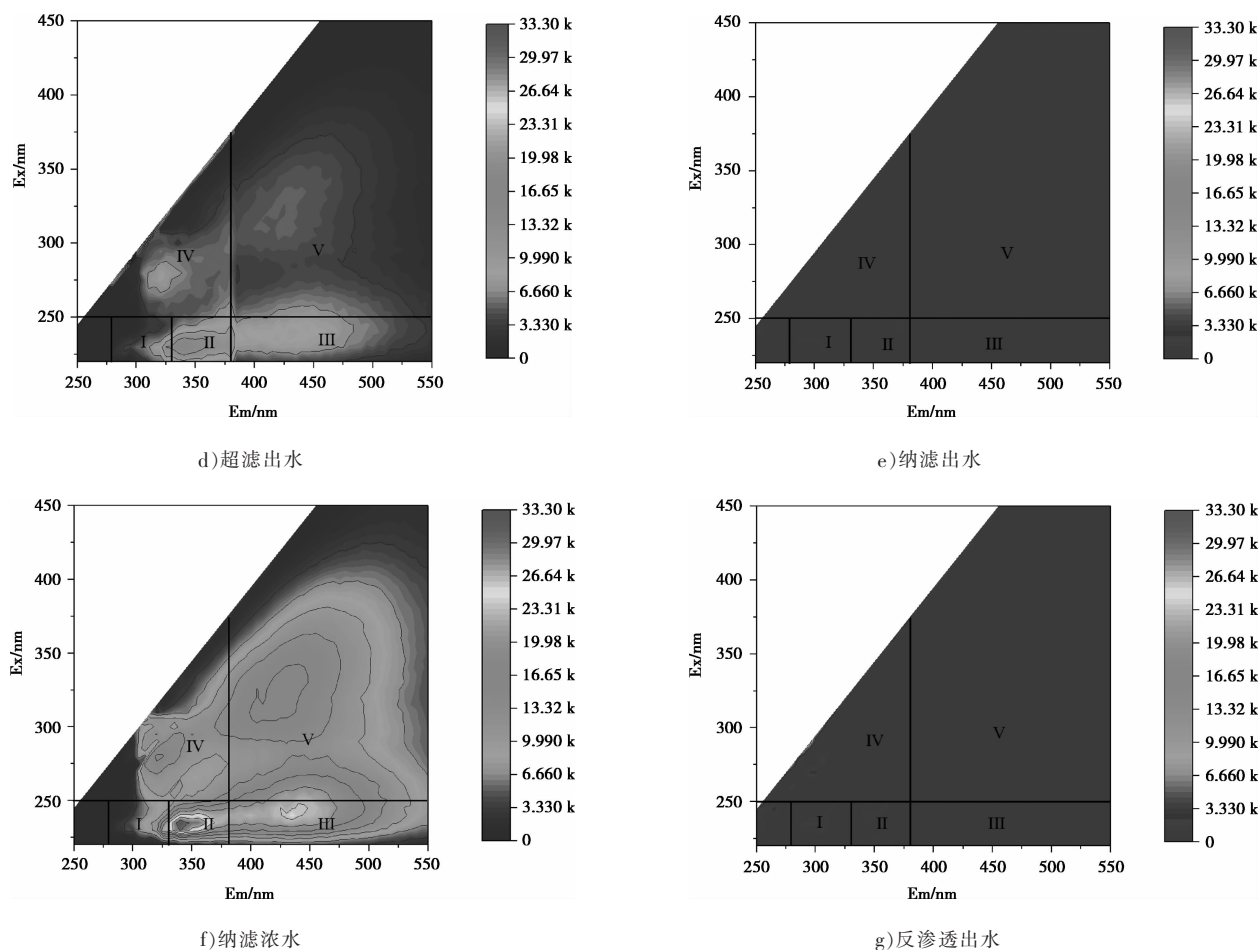


图7 超滤/纳滤双膜工艺对荧光性有机物的去除效果

从图7可以看出,原水中荧光峰1和荧光峰2较为明显,荧光峰4范围较广,反映出原水中芳香族蛋白质和富里酸类物质含量较高,类胡敏酸物质种类丰富,而微生物代谢产物含量较少。经常规工艺处理后,仅荧光峰2有较为明显的下降,其余未见显著变化。对比超滤出水和滤池出水,两者中荧光性有机物含量相近,表明超滤作为纳滤的前端预处理工艺,其对荧光性有机物的去除效果已超过常规处理工艺。通过对比纳滤出水和纳滤浓水的三维荧光光谱图可见,经纳滤工艺处理后,各荧光分区响应值显著下降,几乎已无法检测到各类物质波长,表明纳滤工艺能将水中荧光性有机物基本去除。对三维荧光光谱图各区变化进行荧光区域积分^[3]处理,结果见图8。

从图8可以看出,经常规工艺处理后总荧光区域下降55.87%,而经超滤/纳滤双膜工艺处理后总荧光区域下降97.46%,可见超滤/纳滤双膜工艺对水中荧光性有机物去除效果提升显著。

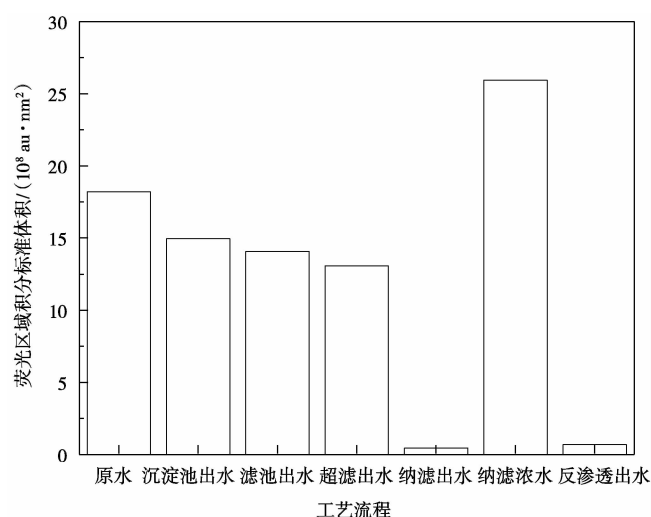


图8 总荧光区域积分标准体积变化趋势

4 结论

超滤/纳滤双膜工艺对苦咸水及其水体有机污染
(下转第183页)

(上接第 179 页)

物的去除效果较常规处理工艺有显著提升。经超滤/纳滤双膜工艺处理后的出水中各项水质指标,如电导率、浊度、 COD_{Mn} 、 TOC 、 UV_{254} 和荧光性有机物等,远优于 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》所要求的水质标准。可见该工艺能显著去除水中的有机污染物。同时超滤作为纳滤的前端预处理工艺,为该系统的长期稳定运行提供了保障。综上所述,超滤/纳滤双膜工艺能够应用于沿海地区或水源水盐度较高地区的水厂建设,以解决常规处理工艺对特殊水体处理效果不佳的问题,保障当地居民用水安全。MET

参考文献:

[1] ALLPIKE B P, HETZ A, JOLL C A, et al. Size exclusion chro-

matography to characterize DOC removal in drinking water treatment [J]. Environmental science & technology, 2005, 39(7): 2334–2342.

[2] HABERKAMP J, RUHL A, ERNST M, et al. Impact of coagulation and adsorption on DOC fractions of secondary effluent and resulting fouling behaviour in ultrafiltration[J]. Water research, 2007, 41(17): 3794–3802.

[3] CHEN W, WESTERHOFF P, LEENHEER J A, et al. Fluorescence excitation–emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter[J]. Environmental science & technology, 2003, 37(24): 5701–5710.

收稿日期: 2019-08-20

基金项目: 福建省住房和城乡建设系统科学技术计划项目(2019-K-50)

作者简介: 肖友淦,男,高级工程师、注册公用设备工程师(给水排水),主要从事水处理工程技术研究。