

混凝 / 微滤用于反渗透海水淡化的预处理

刘耀[✉], 胡国付, 顾 平

(天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘 要: 考察了混凝 / 微滤工艺用于反渗透海水淡化预处理的可行性, 并通过调整 FeCl_3 和粉末活性炭 (PAC) 投量来确定最佳运行条件。结果表明, 当 FeCl_3 投量为 2.5 mg/L (以 Fe^{3+} 计)、PAC 耗量为 40 mg/L 时处理效果最好, 出水浊度 < 0.1 NTU, 污泥淤塞指数 $\text{SDI} < 1.5$, COD_{Mn} 平均去除率为 24%, 满足反渗透的进水水质要求。此外, 混凝及 PAC 的吸附作用可使海水中粒径 $< 0.22 \mu\text{m}$ 的颗粒物变大, 从而被微滤膜截留, 这是出水水质良好的保证。

关键词: 海水淡化; 预处理; 反渗透; 混凝; 微滤; 粉末活性炭

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2005)11-0050-03

Coagulation / Microfiltration Process for Pretreatment of Seawater Desalination in Reverse Osmosis System

LIU Yao-lin, HU Guo-fu, GU Ping

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The feasibility of the coagulation / microfiltration process used for pretreatment of seawater desalination in reverse osmosis (RO) system was investigated, and the optimum operating condition was determined by adjusting the dosage of FeCl_3 and powdered activated carbon (PAC). The result shows that at FeCl_3 dosage of 2.5 mg/L (calculated as Fe^{3+}) and PAC consumption of 40 mg/L, the optimum treatment effect can be achieved, with turbidity < 0.1 NTU, $\text{SDI} < 1.5$, and COD_{Mn} removal rate of 24% in treated water, and thus meeting the requirement for influent quality to the RO system. In addition, coagulation and adsorption of PAC can enlarge the particles with size less than $0.22 \mu\text{m}$ in seawater, and then they can be trapped on microfilter membrane, so that a good treated water quality can be guaranteed.

Key words: seawater desalination; pretreatment; reverse osmosis; coagulation; microfiltration; powdered activated carbon

1 试验装置与方法

1.1 工艺流程

工艺流程见图 1。

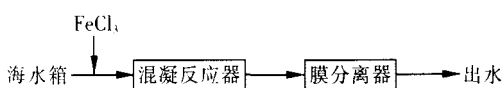


图 1 工艺流程

Fig 1 Flow chart of experimental setup

在 PLC 控制下, 用提升泵和计量泵分别将海水和混凝剂加入混凝反应器, 经混凝反应后靠重力进入膜分离器。在膜分离器中固体颗粒被截留, 海水经中空纤维膜过滤后排出。混凝反应器、膜分离器采用鼓风机供气, 用 PLC 控制运行。

1.2 膜组件及操作方式

所用中空纤维膜组件的材质为聚偏氟乙烯 (PVDF), 其参数见表 1。

表 1 膜组件参数

Tab 1 Parameters of test membrane module

项目	孔径/ μm	膜面积/ m ²	膜比通量 / (0.1 L · h ⁻¹ · m ⁻² · kPa ⁻¹)	设计流量 / (L · h ⁻¹)	设计通量 / (L · h ⁻¹ · m ⁻²)
数值	0.22	0.50	35.7	15	30
		0.75	34.0		20

采用外压过滤死端流,驱动力为位差(1.84 m)。外压式过滤可以在高悬浮物浓度下运行,有利于化学清洗并提高了水的回收率。

1.3 工艺参数

装置采用连续进水、连续曝气和间歇出水的运行方式,主要参数见表 2。

表 2 运行参数

Tab 2 Parameters of experimental set-up

项目	流量 / (L · h ⁻¹)	出水 时间 比	混凝反应器			膜分离器		
			容积 /L	HRT/ min	气水比	容积 /L	HRT/ min	气水比
数值	15	0.8	2.5	10	5:1	7.5	30	15:1

1.4 监测项目及方法

流量:转子流量计;浊度:浊度仪;pH: PHS-3C 型精密酸度仪;COD_{Mn}:碱性高锰酸钾法;SD IMillipore SD 测定仪;粒度分布:激光粒度分析仪。

2 试验部分

2.1 海水水质

试验用海水取自天津塘沽港,其 TSS = 4.25 ~ 21.30 mg/L, pH = 7.9 ~ 8.4,浊度 = 6.9 ~ 42.2 NTU, TDS = 38 g/L, COD_{Mn} = 4.5 ~ 5.3 mg/L,可见水质较差,如采用反渗透系统进行脱盐,则预处理工艺必不可少。

2.2 试验内容

试验分两个阶段进行,第一阶段采用 0.5 m² 微滤膜,第二阶段采用 0.75 m² 微滤膜,其他参数均相同。第一阶段调节混凝剂及粉末活性炭(PAC)投量共进行 5 次试验,考察运行条件对膜堵塞及出水水质的影响,每次试验从洗膜(物理清洗及化学清洗)之后开始,以膜出水最大通量低于设计工作通量为终点。第二阶段降低膜工作通量,选用第一阶段确定的最优条件连续运行。

3 试验结果及讨论

3.1 第一阶段试验

5 次试验的条件如表 3 所示。

表 3 第一阶段试验的条件

Tab 3 Experimental conditions at first period

项目	PAC 投量 及投加方式	PAC 耗量 / (mg · L ⁻¹)	FeCl ₃ 投量 (以 Fe ³⁺ 计) /(mg · L ⁻¹)
1 [#]	不投加	0	2.5
2 [#]	一次性投加,维持 反应器中 PAC 为 2 g/L	65	2.5
3 [#]	每 2 h 投加 1.2 g	50	2.5
4 [#]	一次性投加,维持 反应器中 PAC 为 2 g/L	65	0
5 [#]	每 2 h 投加 0.96 g	40	2.5

3.1.1 出水水质

浊度

各试验出水均无色透明,浊度为 0.00 ~ 0.08 NTU,最大值出现在试验初期。膜清洗之后出水浊度略有升高,这是由于膜面尚未形成泥饼层所致。

SDI

SDI 是表征反渗透进水水质的重要指标,SDI 值越低则反渗透系统运行越可靠。监测显示,在试验初期 SDI 值较高,而末期则较低,与浊度的变化规律相吻合;单独混凝(1[#])及单独 PAC 吸附(4[#])的出水 SDI 值略高(初期 SDI > 3),其他试验的 SDI 值很稳定且均小于 1.5,其中 2[#] 出水中未检测到 SDI 值。这说明,混凝可去除较大的固体颗粒及胶体物质,而 PAC 则能吸附去除部分有机物,两者的共同作用保证了出水水质良好。

COD_{Mn}

对 COD_{Mn} 的去除效果如图 2 所示。

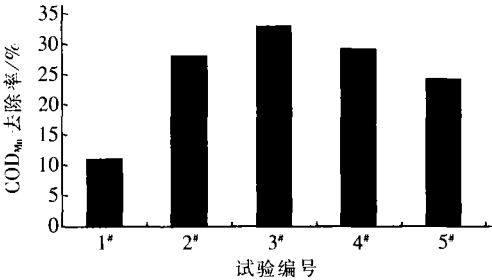


图 2 对 COD_{Mn} 的平均去除率

Fig 2 Average removal rate of COD_{Mn}

由图 2 可知,投加 PAC 能改善去除 COD_{Mn} 的效果;一次性投加 PAC 与间歇性投加相比,对有机物的平均去除率相近,但间歇投加时的出水 COD_{Mn} 更稳定,基本维持在 3.5 ~ 4.0 mg/L (与进水有机物含量有关)。

3.1.2 膜污染情况

膜污染过程伴随着膜通量的衰减,所以监测膜通量的变化可以间接反映膜污染的情况。结果表明,1[#]的膜比通量急剧下降,单位膜面积处理了 350 L 水之后,膜比通量就已降到设计比通量之下;2[#]~5[#]的膜比通量下降较为缓慢,处理水量有所增加,其中 5[#]在降到设计比通量时单位膜面积已经处理了 500 L 水。这表明,投加 PAC 可以缓解膜污染。PAC 一方面可以吸附去除小分子物质,减缓其对膜孔的堵塞,另一方面,部分 PAC 成为了絮体的核心,使得矾花比较大,易于沉淀,即使附着在膜表面形成滤饼层,也会比较疏松,并且不易增厚,从而起到了减缓膜污染的作用。

每次试验结束后将反应器换上清水,并采用 1 m³/h 的曝气量曝气,可使比通量恢复 50% 左右。而在每次试验后,对膜组件依次采用自来水清洗及草酸与硝酸混合液 (pH = 2.2) 清洗,可使膜比通量恢复 80% 左右,之后再用 0.5% 的次氯酸钠溶液浸泡 12 h,膜比通量可以完全恢复。从洗膜的结果看,滤饼层是造成膜污染的主要物质,无机沉淀及有机物吸附是造成膜迅速被污染的重要原因。经化学清洗后膜比通量可 100% 恢复,说明试验过程中并未产生不可逆污染,膜的使用寿命没有受到影响。

3.2 第二阶段试验

主要进行了 5 次试验,每次试验结束后排泥、更换清水,并采用 1 m³/h 的曝气量曝气,以去除膜表面的污染物质。该阶段单位膜面积共处理海水 1 800 L,出水浊度 < 0.05 NTU, SDI < 1.5, COD_{Mn} 平均去除率为 24%。运行中产水 400 L/m² 左右需要进行一次曝气清洗,第一次曝气清洗时膜比通量恢复了 80%,第二次恢复了 60%,至第五次时只恢复了不到 50%,需对其进行化学清洗。第二阶段的试验 1 与第一阶段的试验 5 相比,单位膜面积处理水量不但没有明显提高,滤饼层污染在膜污染中所占比例反而提高了 30%;在第二阶段的试验 4 之后采用曝气仍能使膜通量恢复 50%,说明降低膜通量可以缓解无机沉淀和有机物质吸附对膜的污染程度,从而降低了化学清洗频率。

3.3 粒度分布

对海水及经混凝和 PAC 吸附后混合液的粒度进行了测定,结果显示,海水中的颗粒粒径主要集中在两个区域:0.03 ~ 0.3 μm,所占体积百分比大约为 12%;2 ~ 100 μm,约占总体积的 85%。前者的粒径小于微滤膜的公称孔径或与之相近,如直接过滤,会造成出水水质恶化并堵塞膜孔道。经混凝及 PAC 吸附处理后,小粒径物质凝聚而形成了较大的矾花,从而易被膜截留,保证了出水水质,同时降低了膜污染的可能性。

4 结论

混凝/微滤工艺流程简单,水力停留时间短,占地面积小,易于自动化管理,出水水质满足反渗透进水水质要求。

当 FeCl₃ 投量为 2.5 mg/L (以 Fe³⁺ 计)、PAC 耗量为 40 mg/L 时,混凝/微滤工艺处理效果最好,其出水浊度 < 0.1 NTU、SDI < 1.5,适宜作为反渗透进水。

混凝及 PAC 吸附可改变海水中颗粒物的粒径分布,这是出水水质良好的保证。

混凝/微滤及 PAC 吸附对海水中有机的平均去除率为 24%,能减轻有机物对反渗透膜的污染。

参考文献:

- [1] Mark Wilf, Manfred K Schierach Improved performance and cost reduction of RO seawater systems using UF pretreatment[J]. Desalination, 2001, 135 (1 - 3): 61 - 68.
- [2] Vial D, Doussau G The use of microfiltration membranes for seawater pretreatment prior to reverse osmosis membranes[J]. Desalination, 2002, 153 (1 - 3): 141 - 147.
- [3] 张葆宗. 反渗透水处理应用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [4] 王占生. 微污染水源饮用水处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.

电话: (022) 27405059

E-mail: liu_yaolin@hotmail.com

收稿日期: 2005 - 04 - 20