

文章编号: 1007 - 8924(2007)01 - 0073 - 06

超滤用于海水淡化预处理的研究进展

徐 佳, 苏保卫, 高忠文, 王玉红, 王 铎, 高从堦*

(中国海洋大学 化学化工学院, 青岛 266003)

摘 要: 良好的预处理是保证反渗透(RO)装置长期稳定运行的关键要素之一. 与传统预处理技术相比, UF 预处理能够有效降低海水的 SDI、浊度和 TOC 等, 为 RO 装置提供优良、稳定的进水, 增强 RO 膜的可靠性. 详细评述了近年来国内外采用 UF 技术作为 RO 淡化预处理过程的研究和应用进展. 此外, 对 UF 膜的污染和控制对策研究进展也作了评述. UF 作为膜法海水预处理技术已成为该领域的发展趋势.

关键词: 海水淡化; 反渗透; 超滤; 预处理; 膜污染

中图分类号: P747; TQ028.8 **文献标识码:** A

海水淡化作为一种解决水资源短缺的重要战略手段, 在世界范围内发挥着越来越重要的作用. 国际脱盐协会的最新统计资料表明, 到 2002 年初, 全世界脱盐装置淡水总产量达 3.24×10^7 t/d, 并且还将以 10% ~ 30% 的年增长率攀升^[1]. 目前, 蒸馏法和反渗透法是主要的淡化方法. 但由于海水中的盐度、硬度、总固溶物及其它杂质的含量均较高, 易造成反渗透膜污染和结垢, 蒸馏淡化装置结垢等问题, 导致运行、维护费用、能耗及造水成本增加, 因此必须对进料海水进行适当的预处理. 合理的预处理是淡化装置成功运行的决定性因素之一.

海水超滤预处理技术是近几年发展起来的膜法预处理技术, 主要用于海水反渗透(SWRO)的预处理过程, 该过程克服了反渗透传统预处理工艺出水水质不稳定、胶体和溶解有机物去除效果差以及使用多种化学试剂等诸多缺点和不足, 具有广阔的应用前景. 本文将对近年来超滤海水淡化预处理技术的研究进展进行介绍.

1 超滤海水预处理的技术优势

超滤(Ultrafiltration, 简称 UF)是一种以压力为推动力的膜分离技术. 其膜孔径通常为 2 ~ 100 nm^[4], 截留分子量一般为 2 000 ~ 500 000 道尔顿.

将 UF 用作海水预处理, 具有下列优点:

1) 能够截留海水中固体悬浮物, 胶体和微小细菌, 降低淤泥污染指数(SDI), 从而降低了 RO 膜污染的趋势, 且 UF 出水水质稳定, 不受原海水水质变化的影响;

2) 可取代传统预处理工艺中的多个步骤. 空间利用率高, 与传统预处理工艺相比, 可节省约 50% 的空间^[2], 且操作工艺简单可靠, 管理方便;

3) 减少对环境的影响. 传统预处理工艺需加入若干化学试剂(如絮凝剂、杀生剂、水质稳定剂、阻垢剂等), 且最终随浓水排放, 无论哪种排放方案, 或多或少均会对环境产生不利影响^[3]; 采用 UF 技术后, 化学试剂的使用量将大幅度减少, 从而减轻环境压力.

2 超滤膜应用于海水预处理的发展历程

20 世纪 90 年代后期, 出现了集成膜系统(Integrated Membrane System, IMS)^[6-8]概念, 即将微滤、超滤作为反渗透或者纳滤脱盐的预处理技术. IMS 系统具有可靠性高、对原水的水质变化相对不敏感、操作费用低且均为商品化组件式装置的特点, 受到国际淡化界的广泛关注, 并有许多相关研究和应用报道.

收稿日期: 2005 - 05 - 08; 修改稿收到日期: 2005 - 10 - 17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20506025)

作者简介: 徐 佳(1980 -), 女, 山东济南市人, 硕士生, 从事海水淡化的研究. * 通讯联系人 gaocjie@ouc.edu.cn

目前,基于 UF 预处理的海水淡化技术在美国、法国、英国、德国、日本等国家已得到相当多的应用。我国对 UF 技术的开发迟于国外 10 余年,自从把包括 UF 在内的膜分离技术列入国家“七五”、“八五”重点科技攻关项目以来,投入了大量的资金和人力,使我国的 UF 技术水平迅速提高。

3 超滤膜应用于海水预处理的研究进展

3.1 超滤预处理海水的运行参数研究

近年来,国内外淡化界众多人士致力于 UF 技

术应用于 SWRO 给水预处理方面的研究,采用超滤预处理的海水淡化工程应用日渐增多,比较有代表性的位于美国 Tampa Bay(采用 Hydranautics UF-RO 系统淡化墨西哥湾海水)、红海和地中海(由中东除盐造水研究中心,即 MEDRC,采用 Hydranautics UF-RO 系统淡化红海和地中海海水),其 SWRO 操作参数如表 1 所示^[9]。

由表 1 结果表明,UF 可以为 RO 提供稳定进水,使 RO 清洗周期延长,膜更换率降低,通量增加,水回收率增加。

表 1 SWRO 及预处理系统在墨西哥湾、红海和地中海的应用

Table 1 Application of SWRO and pretreatment system at Gulf of Mexico, Red Sea, and Mediterranean

	墨西哥湾	墨西哥湾	红海	地中海
海水 TDS/(mg L ⁻¹)	15 000~28 000	15 000~28 000	42 000	45 000
海水浊度/NTU	1~10(3~4 av)	1~10(3~4 av)	0.2~1.1	1~10
预处理方式	Hydranautics UF	DMF(传统法)	Hydranautics UF	Hydranautics UF
RO 水通量/(L·m ⁻² ·h ⁻¹)	20.4	13.6	19	15~19
RO 回收率/%	65	35~50	55	50
RO 膜更换率/%	10	15	10	8
RO 清洗频率/次	3 个月	1 个月	6 个月	6 个月

Graeme Pearce 等^[9]采用 Hydranautics 的 40 HYDRAcap UF 组件代替传统预处理过程,UF 膜进料流量控制在 95~98 L/h,跨膜压力(TMP)为 0.015~0.02 MPa。结果表明,UF 系统水回收率达 94%,且 UF 预处理过程简单、易操作,是传统预处理的强有力的替代方法。

20 世纪 90 年代,研究者们对 UF 不同运行方式(错流过滤和死端过滤)进行了研究。荷兰 X-flow 公司开发出新型 UF 技术——AquaFlwxcTM和 XIGATM技术,与传统 UF 系统(采用错流方式)的主要不同之处在于采用死端过滤,其最大优点是能耗低。AquaFlwxcTM技术可处理高达 1 000 mg/L 悬浮固体的原水,而 XIGATM技术主要处理悬浮固体小于 50 mg/L 的原水。Rosberg^[10]运用 X-flow 公司生产的 LHS 型 XIGATM UF 系统在荷兰作为 SWRO 的预处理,结果表明能耗大约为 0.1 kWh/m³,约为错流能耗的 1/20~1/10。Van Hoof 等^[11]在加勒比海采用 NORIT 和 X-flow 公司的 UF 膜,考察作为 RO 预处理的可行性。所采用的 UF 膜为 S-225 型 PES/PVP 共混毛细管膜(耐酸碱,耐氧化),截留分子量为(50~150) kDa,膜管内径为 0.8 mm,组件有效膜面积为 35 m²。原海水由毛细管内向管外死端过滤。每 15 min 反洗一次,每 6 h 试剂强化反洗

(CEB)一次(次氯酸盐和硝酸交替使用);采用不同浓度的 FeCl₃ 作为絮凝剂。经过 2 500 h 的测试,有 98.4% 的测试数据 SDI<3,SDI 平均值为 1.4,浊度去除率达到 99%,说明该 UF 的出水水质较好。反冲和絮凝剂对降低 TMP 和 SDI 有明显效果,投放 FeCl₃ 可有效降低 SDI,其适宜浓度为 1.3 mg/L。

Redondo 等^[12]用新型的毛细管型 UF 膜处理高度污染的表层海水。该型 UF 膜器的特点是具有频繁、短时、自动清洗膜的功能,且具有在较低的错流流速下运行的能力。其 UF 膜为毛细管状,截留分子质量为(150~200) kDa,可确保 RO 在高通量和高截留率下操作,水回收率为 65%,产水量提高 10%。预处理能耗约为 0.15~0.3 kWh/m³,淡化水成本约可降低 10%^[13,14]。

Brehant 和 Bonnelye 等^[15]采用 Aquasource 公司的中空纤维 UF 膜(截留分子质量为 100 kDa)在直布罗陀海峡进行了 UF 预处理和传统预处理对比性能试验。UF-RO 流程为先加入硫酸调节海水 pH 为 8,再通过 200 μm 的过滤器进入 UF 装置,由管内向管外死端过滤,透过液用 5 mg/L 的 Cl₂ 消毒后进入 RO 装置;传统预处理系统主要采用双介质过滤器。试验结果表明,UF 的出水水质(SDI 为 0.8)明显优于传统预处理的出水水质(SDI 为 2.7~

3.4). 此外,还考察了不同通量(60~150 L/(m²·h))和是否投加 FeCl₃ 对 UF 的影响. 试验中发现,初始通量控制在 60 L/(m²·h),逐渐增大到 80 L/(m²·h)的过程中,TMP 也逐渐增加;当通量大于 80 L/(m²·h)时,UF 膜污染加剧,TMP 迅速升高. Van Hoof 等^[16]用 XIGATM UF 膜处理 Addur 海水也得到类似结果,解决方法是使用 CEB(以 EDTA 和酶为化学试剂)控制通量在 75 L/(m²·h),回收率达到 89%. 而 Brehant 等则采用加 FeCl₃ 和化学冲洗来解决 TMP 迅速升高问题,结果表明,在原海水中投放 FeCl₃,化学冲洗加入 NaClO(每隔 4 h 反冲一次)和 HNO₃(每隔 8 h 反冲一次)可有效提高出水水质. 但 Teuler 等^[17]曾在 Canaries 岛做过相同试验,却得出不同结论:20 下,通量为 100 L/(m²·h)的 Canaries 海水不会使 TMP 迅速升高,UF 膜不存在结垢问题.

Halpern 等^[18]报道位于夏威夷群岛的 SWRO 装置(190 000 t/d)于 2002 年采用中空纤维 UF 膜(膜孔径为 0.005~0.01 μm)预处理. 原海水经 5 μm 的过滤器后进入 UF 系统. UF 系统采用死端过滤,运行过程中 TMP 逐渐升高. 一个月后 TMP 升至 0.14 MPa 时,反冲采用 CEB(化学试剂为 30 mg/L 的 NaClO),反冲周期为 60 min,反冲时间为 30 s. 运行结果表明,CEB 能有效降低 TMP,并保持稳定状态. 此外,RO 产水量提高 10%,TDS 为 150~325 mg/L,由此可见,UF 出水可确保 RO 高通量和高截留率.

Pervov 等^[33]在里海采用 BW30 UF 膜进行 UF 预处理试验. 通过计算 Ca 的结垢速率判断 UF 膜的污染速度. 结果表明,计算结垢速率可有效判断膜污染速度,从而评价预处理的可行性. 此外,该实验还采用膜孔径在 0.015~0.02 μm 的 UAM-150, UAM-200, UPM-150 和 UPM-200 UF 膜(截留分子量为 50~100 kDa),建立了 UF 反冲洗的优化模型(包括反冲保留时间、反冲速度和反冲周期的关系),确定了最佳回收率,为 UF 系统的广泛应用奠定了基础.

3.2 超滤预处理海水的处理效果

浊度是反映水中悬浮物含量的指标之一,RO 进水一般要求控制在 0.3~0.5 NTU 以下;污染指数(SDI)是衡量水中胶体、淤泥、铁锰氧化物和腐殖质等含量的重要指标,RO 进水 SDI 一般要求小于

5,但长期操作经验表明 SWRO 进水的 SDI 应该小于 3^[20].

Ahaad^[34]使用中空纤维 UF 膜预处理 SDI 为 13~25 的表层海水,UF 产水的 SDI 小于 1;而传统预处理并不能有效使 SDI 小于 2.5. Van Hoop 等^[16]用 UF 处理海水,使其 SDI 小于 2,浊度小于 0.07,同时使出水水质稳定,增强了 RO 系统的可靠性,并且具有较低的操作成本. Teng 等^[21]试验对比了 MF 和 UF 两种预处理方法,结果表明,升高压力并保持恒定,MF 具有高流量,但 MF 出水的 SDI 高于 UF 出水的 SDI,即 UF 的出水水质优于 MF 的出水水质.

Chua^[22]等考察 SWRO 的 4 种预处理方法(传统法、砂滤-UF、UF、MF)对于新加坡海水的处理效果,其中传统法采用介质过滤,UF(膜材质为 PES)膜孔径为 0.01 μm,MF(膜材质为 PVDF)膜孔径为 0.1 μm. 各种预处理方法的出水水质如表 2 所示. 实验结果表明,多介质过滤预处理的出水水质较差且波动大,SDI 平均为 4.5 左右;而膜法预处理的出水水质较好,SDI 小于 3. 膜法预处理对 TOC、总悬浮固体、胶体硅的去除率分别为 30%~60%,50%~80%,85%~95%,但活性硅、油和脂的去除率很低. 另外,砂滤-UF 系统出水的 SDI 比直接 UF 系统大,即砂滤并没有改善 UF 的出水水质,其原因还有待于进一步研究. 但 Van Hoof^[16]曾指出,当原海水的总悬浮固体超过 20 mg/L 时,采用砂滤会有较好的去除效果.

王兴戩等^[19]采用微絮凝/UF 技术对天津汉沽盐场海水进行了处理. 结果表明,混凝剂和次氯酸钠的最佳投量分别为 2.8 mg/L,3.3 mg/L. 产水浊度、COD 的去除率分别为 99.99% 和 57.0%,超滤对 SDI 的去除率较微絮凝提高了 53%,而且微絮凝工艺减缓了海水对膜的污染.

4 超滤膜污染及控制对策的研究进展

在 UF 作为 RO 预处理的海水淡化系统中,UF 系统运行了一段时间以后,膜组件就会发生污染. 对超滤膜的污染机制及其控制对策方面的研究一直是国际淡化界关心的热点问题.

4.1 超滤膜的污染研究

海水对 UF 膜造成污染的物质主要有无机盐(CaSO₄, CaCO₃等),有机物(腐殖酸等)、胶体(硅酸

表2 不同预处理方法的出水水质^[22]

Table 2 The quality of product water using different pretreatment system

项 目	原海水	传统法(多介质过滤)	砂滤 - UF	UF	MF
SDI	6.1~6.5	2.7~6.4	2.5~3.0	0.9~2.5	2.5~3.0
总悬浮固体/(mg L ⁻¹)	5.3~7.1	2.0	1~1.1	2~3.8	1.3
活性 SiO ₂ /(mg L ⁻¹)	0.45~0.46	—	0.42~0.47	0.41~0.43	0.45~0.49
胶体 SiO ₂ /(mg L ⁻¹)	0.51~1.17	—	0.06~0.15	0.086~0.14	0.12
大肠杆菌/(cfu ·10 ⁻² mL ⁻¹)	4	2	<1	<1	<2
TOC/(mg L ⁻¹)	2.15	—	<1	1.81	1.43
油和脂/(mg L ⁻¹)	1~3.5	1.4~2.2	1.1~2.2	1.2~2.4	<3.5
粒径分布/(个数 ·mL ⁻¹)					
<2 μm	多	多	多	—	多
2~5 μm	61 689	5 380	1 193	—	523
5~15 μm	2 554	193	46	—	10
15~25 μm	65	20	0	—	6
25~50 μm	1	0	0	—	0
50~100 μm	0	0	0	—	0
>100 μm	0	0	0	—	0

铝胶体等),细菌和悬浮固体等^[23]。这些物质与膜存在物理化学作用或机械作用,在膜表面或膜孔内附着、沉积,使膜孔径变小或堵塞,造成了UF膜不可逆污染^[24]。Ning^[25]报道,氢氧化铁、氢氧化铝和硅等胶体,可通过交联有机或无机聚合物增大颗粒直径,形成凝胶态和无定形态污染物。

目前,国内外常用SDI(污染指数)和MFI(修正污染指数)^[26]来表示超滤膜的进水和出水水质,表征超滤膜的处理效果,而对超滤膜表面污染状况的研究则常采用电子显微镜(SEM)、气-质联用(GC-MS)和超声波装置等仪器设备。

Brehant^[15]用SEM观测海水(FeCl₃为絮凝剂)污染的UF膜,并用能谱分析发现污染层中含有镁、铝、硅、钾、钙和铁,这些物质可能来源于淤泥、石灰岩、粘土和藻类。GC-MS高温分解沉积层发现:多聚糖是主要成份,占48%,其次是多羟基芳烃类物质,而氨基糖和碳水化合物几乎没有^[27]。超声法是考察膜污染的一种新型方法,该法特点是只对膜表面状况敏感。

柴国墉等^[28]用超声时域反射法(UTDR)区分膜污染与浓差极化或者可能的膜形变对通量的影响,对膜污染进行了创造性研究。结果表明,在线超声时域反射法可以利用反射波的振幅和回声抵达超声传感器的时间来监测浓差极化、膜污染(例如CaSO₄污染),也可以用来测量膜的压紧度和污染层厚度。

4.2 超滤用于海水淡化预处理的膜污染控制对策研究

当膜污染严重时,必须对UF膜进行清洗,以确保UF过程的正常运行。近年来,国内外在UF膜污染的理论研究与应用实践的基础上,积累了不少行之有效的经验和方法,例如强化过滤操作、改变进水水质、开发新型便利的清洗、反冲技术等。

通常,提高料液流速^[29,30](强化过滤操作之一)是最可行的操作,它可以改善膜面料液的水力学条件,减小膜面流体边界层厚度,降低浓差极化,延缓凝胶层的形成,减少膜污染。

改变进水水质是指在原海水中加入适当的药剂,以改变海水性质,或对其进行过滤,以去除一些较大的悬浮粒子或胶状物质^[31]。对含悬浮微粒或胶状物的海水可采用砂滤、微滤或加混凝剂、絮凝剂等方法;对富含微生物的海水可添加杀菌剂或先进行紫外线杀菌以避免微生物对膜的污染和侵蚀。通常在UF系统的进水中加入少量FeCl₃絮凝剂。这种微絮凝预处理对UF膜污染起到很好的缓解作用^[19]:1)减少进入UF膜孔的污染物质。微絮凝预处理可使小分子溶解性有机物聚集或吸附在金属氢氧化物上形成絮体,从而被截留在膜表面,不能进入膜孔内。2)改善UF膜表面沉积层的性质。由Carman-Kozeny方程 $a_c = 180(1 - \epsilon) / (d^2 \cdot \epsilon^3)$ 可知,膜表面沉积层的比阻 a_c 随颗粒尺寸 d 和孔隙率 ϵ 的增大而减小,经过微絮凝预处理后颗粒尺寸增大,形

成的滤饼层阻力减小,渗透通量增大.王锦^[32]等采用国产中空纤维 UF 膜进行直接 UF 和混凝 - UF 对比性试验,结果表明混凝预处理基本消除了膜孔污染,并且大大降低了膜表面滤饼层污染阻力;与直接 UF 相比,混凝 - UF 组合工艺对溶解的天然有机物的去除率较高,DOC 去除率从 28 % 升高到 53 %, UV₂₅₄ 去除率从 40 % 提高到 78 %.

对 UF 膜进行反冲和清洗是防治膜污染的有效措施之一,反冲和清洗可使膜表面及膜孔内所吸附的污染物脱离滤膜,从而使通量得以恢复.

反冲包括直接反冲、化学强化反冲(CEB)和气体强化反冲(AEB).通常 CEB 采用的试剂为 NaClO 和 H₂O₂.清洗包括负压清洗、反压清洗、低压高流速清洗、机械清洗、化学清洗等.其中,定期化学清洗是最常见的清洗方式,化学清洗采用的试剂通常为 NaClO,EDTA,HNO₃ 和柠檬酸等.

5 结论与建议

超滤作为一种新型海水淡化预处理技术近年来得到了广泛关注和实际应用.超滤可以大幅度降低原水 SDI、浊度和 TOC 等,避免了传统预处理过程出水水质不稳定和处理效果差等许多问题,从而可大幅度提高 RO 装置的水回收率,延长 RO 膜的寿命,降低海水淡化的成本和能耗.为了使超滤膜技术得到更广泛的应用,以下课题还需进一步研究:

- 1) 开发新型高通量、耐污染和低成本的超滤膜材料与组件;
- 2) 开发新型实用的强化超滤技术,高效的在线清洗技术和经济便利的离线清洗技术;
- 3) 与 NF 技术集成,开展 UF - NF 系统的匹配、整体优化等研究.

参 考 文 献

- [1] 谭永文. 2002 年国际脱盐协会脱盐装置统计报告[J]. 水处理技术,2004,30(2):45.
- [2] Merrilee Galloway,James Mahone. Ultrafiltration for seawater reverse osmosis pretreatment[J]. Membrane Technology,2004,1:5-8.
- [3] 王世昌. 对发展我国海水淡化产业的几点考虑[A]. 2004 海水淡化及利用技术国际研讨会[C]. 天津:2004.
- [4] 时 钧,袁 权,高从堦. 膜技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2001:336.
- [5] Van Hoof S C J M,Minny J G,Mack B. Dead - end ultrafiltration as pretreatment to seawater RO[J]. Desalination and Water reuse,2001,11(3):44-48.
- [6] Murrer John,Rosberg Rick. Desalting of seawater using UF and RO—results of a pilot study[J]. Desalination,1998,118(1-3):1-4.
- [7] Takeshi matsuura. Progress in membrane science and technology for seawater desalination:a review[J]. Desalination,2001,134(1-3):47-54.
- [8] Redondo J A. Brackish sea and wastewater desalination[J]. Desalination,2001,138(1-3):29-40.
- [9] Graeme Pearce,Santi Talo,Kamran Chida,et al. Pretreatment options for large scale SWRO plants:case studies of UF trials at Kindasa,Saudi Arabia,and conventional pretreatment in Spain[J]. Desalination,2004,167(1-3):175-189.
- [10] Rosberg R. Ultrafiltration (new technology) ,a viable cost - saving pretreatment for reverse osmosis and nanofiltration—A new approach to reduce costs[J]. Desalination,1997,110(1-2):107-114.
- [11] Van Hoof S C J M,Minny J G,Mack B. Dead - end ultrafiltration as alternative pre - treatment to reverse osmosis in seawater desalination:a case study[J]. Desalination,2001,139(1-3):161-168.
- [12] Redondo J A. Brackish,sea and wastewater desalination[J]. Desalination,2001,138(1-3):29-36.
- [13] Mark Wilf,Kenneth Klinko. Effective new pretreatment for seawater reverse osmosis systems[J]. Desalination,1998,117(1-3):323-331.
- [14] Redondo J A,Lomax I. Y2K generation FILMTEC RO membranes combined with new pretreatment techniques to treat raw water with high fouling potential:summary of experience[J]. Desalination,2001,136(1-3):287-306.
- [15] Brehant A,Bonnelye V,Perez M. Comparison of MF/UF pretreatment with conventional filtration prior to RO membranes for surface seawater desalination[J]. Desalination,2002,144(1-3):353-360.
- [16] van Hoof S C J M,Hashim A,Kordes A J. The effect of ultrafiltration as pretreatment to reverse osmosis in wastewater reuse and seawater desalination applications[J]. Desalination,1999,124(1-3):231-242.
- [17] Teuler A,Glucina K,M. Lãñ éf. Assessment of UF pretreatment prior RO membranes for seawater desalination[J]. Desalination,1999,125(1-3):89-96.
- [18] Halpern D F,McArdle J,Antrim B. UF pretreatment for SWRO:pilot studies[J]. Desalination,2005,182(3):317-326.
- [19] 王兴戩,刘国田. 微絮凝/超滤组合工艺处理低浊度海

- 水[J].天津城市建设学院学报,2004,10(1):30-32.
- [20] Bruce Durham, Andy Walton. Membrane pretreatment of reverse osmosis: long-term experience on difficult waters [J]. Desalination, 1999, 122(1-3): 157-170.
- [21] Teng C K, Hawlader M N A, Malek A. An experiment with different pretreatment methods [J]. Desalination, 2003, 156(1-3): 51-58.
- [22] Chua K T, Hawlader M N A, Malek A. Pretreatment of seawater: Results of pilot trials in Singapore [J]. Desalination, 2003, 159(3): 225-243.
- [23] Van der Bruggen B, Braeken L, Vandecasteele C. Evaluation of parameters describing flux decline in nanofiltration of aqueous solutions containing organic compounds [J]. Desalination, 2002, 147(1-3): 281-288.
- [24] Schafer A I, Fane A G, Waite T. Fouling effects on rejection in the membrane filtration of natural waters [J]. Desalination, 2000, 131(1-3): 215.
- [25] Ning R Y. Reverse osmosis process chemistry relevant to the Gulf [J]. Desalination, 1999, 123(2-3): 157-164.
- [26] Vrouwenvelder J, Kappelhof J, Heijman S, et al. Tools for fouling diagnosis of NF and RO membranes and assessment of the fouling potential of feed water [J]. Desalination, 2003, 157(1-3): 361-365.
- [27] Baudin I, Lamé M, Mandra V. Impact des matières organiques naturelles sur le colmatage des membranes d'ultrafiltration appliquées à la production d'eau potable [C]. 12^{èmes} Journées Information Eau JIE 96. 1996: 13-1-13-2.
- [28] 柴国墉, Greenberg A R, Krantz W B. 超声监测技术在膜分离过程中的应用研究 [J]. 膜科学与技术, 2003, 23(4): 134-140.
- [29] Yen H M, Chen K T. Improvement of ultrafiltration performance in tubular membranes using a twisted wire 2 rod assembly [J]. Journal Membrane Science, 2000, 178(1): 43-53.
- [30] Nameri N, Oussedik S, Yeddou R, et al. Enhancement of ultrafiltration flux by coupling static turbulence promoter and electric field [J]. Separation and Purification Technology, 1999, 17(3): 203-211.
- [31] Maartens A, Swart P, Jacobs E P. Methods to reduce membrane fouling by natural organic matter [J]. J Membr Sci, 1999, 163(1): 51-62.
- [32] 王锦, 王晓昌. 直接超滤和混凝-超滤组合工艺的膜污染比较 [J]. 上海环境科学, 2002, 21(2): 83-86.
- [33] Pervov Alexei G, Andrianov Alexei P, Efremov Roman V, et al. A new solution for the Caspian Sea desalination: low-pressure membranes [J]. Desalination, 2003, 157(1-3): 377-384.
- [34] Al-Ahmad M, Abdul Aleem F. Scale formation and fouling problems effect on the performance of MSF and RO desalination plants in Saudi Arabia [J]. Desalination, 1993, 93(1-3): 287-310.

Recent development of UF as pretreatment for SWRO desalination

XU Jia, SU Baowei, GAO Zhongwen, WANG Yuhong,
WANG Duo, GAO Congjie

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Proper pretreatment is one of the most critical factors for the successful long-term performance of seawater reverse osmosis (SWRO) plant. SDI, turbidity and TOC can be reduced efficiently from seawater, and high and stable quality feed water of RO system can be provided with ultrafiltration (UF) pretreatment compared with the conventional pretreatment process. Therefore, the reliability of the RO desalination plant can be enhanced with UF pretreatment process. The UF pretreatment process for SWRO has become the tendency in desalination plant as a result of the above advantages. In this paper, recent advances in researches and applications of UF pretreatment process for SWRO were reviewed, and the fouling and preventing of UF membrane were discussed.

Key words: seawater desalination; reverse osmosis; ultrafiltration; pretreatment; membrane fouling