

# 反渗透海水淡化的预处理技术研究进展

杜慧玲,冯世宏,王建中

(辽宁工学院材料与化学工程学院,辽宁 锦州 121001)

摘要:本文分析了国内外关于反渗透海水淡化预处理技术的应用研究现状,并对预处理技术的发展趋势做了展望。

关键词:反渗透;海水淡化;预处理

中图分类号:P 747.45 文献标识码:A 文章编号:1008-1267(2004)06-0012-03

海水淡化技术主要有反渗透(RO)、多效蒸发(MED)、多级闪蒸(MSF)、压气蒸馏(VC)、真空冷冻(VF)和电渗析(ED)等。按现有的统计结果<sup>[1]</sup>,全世界范围内仍以 MSF 生产的水量较多,但由历年各种淡化技术实际应用占有率的统计资源可以发现,RO 法的占有比例有逐年增加的趋势,这是因为与其它几种淡化技术相比其具有占地少、建造周期短、操作简单、比投资小、能耗相对较低和启动运行快等特点。有文献报道<sup>[2]</sup>SWRO 海水反渗透技术已使淡化的能耗下降了近一半( $3\text{kWh}/\text{m}^3$  以下),产水的出厂价也几乎下降了一半( $0.55\text{ 美元}/\text{m}^3$ ),因此 21 世纪的海水淡化市场中 SWRO 将是主要的海水淡化方法。

## 1 预处理后的水质要求

给水预处理对反渗透安全运行是至关重要的。如果水中的悬浮物、胶体物质和可溶性有机高分子聚集在膜的表面会使膜受到污染;微生物和细菌会使膜受到侵蚀;微生物和细菌的残体还会以固体形式析出,使膜性能变坏;水的温度、pH 值、余氯含量、压力等参数的劣化会引起膜的水解、氧化;由溶质引起的膜结构变化还会导致膜的透水率下降。另外不同的膜材料具有不同的化学稳定性,对给水预处理的要求也不同。一般来讲,膜组件生产厂商均会提出给水水质指标。这些指标包括:淤泥密度指数(SDI)、pH 值、碱度、温度、铁锰的含量、硫酸盐、硬度、余氯、总有机碳(TOC)<sup>[1]</sup>。

## 2 传统的预处理技术

传统的海水预处理一般包括:灭菌、沉降、过

滤、软化、脱气等,需要多道工序,且成本高,效果不好。目前主要采用以下预处理流程<sup>[4]</sup>。

### 2.1 小型海水淡化装置的预处理

由于其产水量小,体积小,质量轻,通常用于民用船舶、舰艇、海岛等场所,作为淡水供给的补充来源,一般不长期连续使用,使用地点远离大陆,海水水质稳定,受污染少、水质较好。预处理去除的主要对象是悬浮物、胶体,因此可采用较简单的预处理流程:海水→袋式过滤器或砂过滤器→保安过滤器→反渗透单元。

### 2.2 移动式海水淡化装置的预处理

移动式海水淡化装置可做成集装箱式、拖车式或固定于车上成为海水淡化专用车,用于需在沿海移动作业的单位。另外,其作为淡水供给的补充来源,一般不长期连续使用。该类装置受空间和质量限制,所用设备应体积小、质量轻,所用水源应为近海岸的海水。由于靠海岸的海水易受污染,水中既有悬浮物、胶体和溶解物质,还可能含有大量有机物、微生物、细菌、藻类等污染物质,而且不同地区、不同季节的水质差别大,为满足 SWRO 进水水质要求,必须强化预处理,采用较复杂的工艺流程。如流程 1:海水→(加混凝剂)反应器→沉淀器→一级保安过滤器→二级保安过滤器→消毒器→反渗透单元;流程 2:海水→(加混凝剂)反应器→沉淀器→多介质过滤器→保安过滤器→消毒器→反渗透单元。

流程 1 的滤芯使用量较多,操作较为简单;流程 2 适应性较强,但多介质过滤器质量大需反冲

收稿日期:2004-04-28

作者简介:杜慧玲(1968-),女,硕士研究生在读。

洗,要设置反冲洗泵并贮备反冲洗用水量,操作较复杂。

### 2.3 海水淡化厂的预处理

海水淡化厂为沿海城市或岛屿居民提供生活饮用水,规模较大,所用设备通常不受空间和质量限制,一般长期连续使用。由于所用源水为近海岸的海水,故水质与移动式装置处理的源水水质类似(但受潮汐的影响),只是取水地点固定,工艺流程与移动式装置类似,如:海水→(加消毒剂)沉井→(加混凝剂)多介质过滤器→活性炭过滤器→(加阻垢剂)保安过滤器→反渗透单元。

此流程中沉井,是采用了岸边砂层的天然过滤作用,故适应性强;设置活性炭过滤器是为了吸附和去除有机物以及异臭、异味,但活性炭使用一段时间后需再生,适用于海水有机物含量过高后有异臭、异味的地区。另外还有适用于海水浊度较低地区的流程,和适用于海水浊度较大,可能出现较高浊度的地区的流程。

## 3 新型的预处理技术

鉴于传统的加入化学药剂和二级过滤的预处理技术不一定能很好地去除海水中的胶体类物质,提出了利用膜处理作为反渗透预处理工艺流程<sup>[5]</sup>。采用微滤(或超滤)作为海水反渗透的预处理,不需要加入絮凝剂、杀菌剂和余氯脱除剂等化学药品,同时也省去了保安过滤器,将反渗透的进水水质从传统处理方法的  $SDI < 3$  改进到  $SDI < 1$ ,此技术由于改进了进水水质,延长了反渗透膜的使用寿命。

### 3.1 连续微滤技术

新型微滤(MF)技术以连续微滤(Continuous Micro-filtration)CMF/RO 为代表<sup>[6]</sup>,采用  $0.2\ \mu\text{m}$  孔径的中空纤维膜,材质为聚丙烯、磺化聚醚砜或醋酸纤维,由内向外死端过滤。该膜可使胶体颗粒和细菌数量减少几个数量级,提高净化水的水质,并可在很低的横流速度下运行。经 CMF 过滤后  $SDI < 2$ ,颗粒粒径  $< 0.2\ \mu\text{m}$ (传统多介质过滤器为  $5\sim 10\ \mu\text{m}$ )。该法能耗低,约为  $0.15\sim 0.3\ (\text{kW}\cdot\text{h})/\text{m}^3$  处理水。

### 3.2 超滤技术

以超滤(UF)作为 RO 的预处理可构成 UF/RO 集成技术,新型的毛细管型 UF 膜可以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、自动清洗毛细管膜的功能,且具有在较低的错

流流速下运行的能力<sup>[7]</sup>。其 UF 膜为毛细管状(中空纤维),截留分子质量为  $(150\sim 200)\times 10^3\ \text{u}$ ,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  $0.15\sim 0.3\ (\text{kW}\cdot\text{h})/\text{m}^3$ ,淡化水成本约可降低 10%<sup>[8,9]</sup>。VanHoof 等<sup>[10]</sup>经过 2 500 h 的测试,有 98.4% 的测试数据的  $SDI < 3$ ,说明该 UF 预处理的出水水质相当不错。Brehant<sup>[10]</sup>等用中空纤维 UF 膜预处理表层海水,其 UF 出水  $SDI < 1$ ,且出水水质非常稳定,而传统的双重介质过滤则仅能降到 2.5 左右,且水质不稳定。

### 3.3 纳滤技术

沙特阿拉伯 SWCC 公司成功地开发出了纳滤(NF)技术作为海水淡化的预处理技术。NF 膜用于脱除硬度和总溶解固体,从而提高海水反渗透的操作压力和系统回收率,保证膜组件的安全稳定运行。纳滤膜以其独特的荷电特性和分离二价离子的性能正引起人们的广泛关注<sup>[2]</sup>。纳滤膜海水淡化预处理技术充分利用了上述特点:截留小分子有机物,预防 RO 过程的膜污染;截留二价的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  离子,预防海水淡化过程中结垢现象的发生,并尽量提高水的回收率。Robert<sup>[11]</sup>采用 NF 与 RO 的集成技术按先 RO 后 NF 的顺序装入膜反应器中,操作过程由计算机控制。首先进行 NF 软化,经预过滤的海水在低于海水渗透压的操作压力 ( $2.4\ \text{MPa}$ ) 下用泵打入淡化器,故 RO 装置无透过液,料液直接冲洗 RO 装置的进料侧并进入到 NF 元件,透过液收集到中间贮槽,透过液中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  浓度大大降低,NaCl 浓度也有较大幅度的降低。然后进行 RO 淡化,将海水进料切换为中间贮槽中的进料,同时关闭 NF 元件的透过液出口。由于此进料的离子浓度已大大降低,因此其渗透压大大降低,而操作压力远大于此时的渗透压,于是 RO 元件开始工作产生淡化水,其浓缩液对 NF 膜进料侧起到冲洗作用。

## 4 结语与建议

综上所述,传统的预处理方法正在逐渐被淘汰。新兴的 MF、UF 膜预处理效果好<sup>[2]</sup>,可是给水中的悬浮物和胶体等污染沉淀在膜面上,水通量很快衰减,必须及时地反冲洗,而且这种冲洗是频繁的。NF 与 RO 膜一样价格高,而且容易受许多污染物的损害,因此 NF 对进水的水质要求与 RO 并无差别,

需要常规的预处理。

当前,SWRO 技术已经成为解决我国沿海地区和世界上许多国家水资源短缺的重要手段,进一步提高淡化效益、降低成本成为新的研究热点。新型淡化系统的趋势是采用集成膜(Integrated Membrane System, IMS)<sup>[7,12]</sup>,即将微滤(MF)、超滤(UF)、纳滤(NF)和 RO 组合起来。一些价格低廉的天然硅酸盐矿物应用于这一领域也是降低成本的一条可能途径。如一些粘土矿物和沸石矿物经适当改性处理后可具有良好的吸附特性和离子交换特性,可应用于海水预处理<sup>[8]</sup>。我国的海水淡化预处理技术研究和应用还处于初始阶段,在国外蓬勃兴起的膜预处理技术的应用尽管可以成功的提高反渗透膜的使用寿命,可是这些滤膜也要定期更换,使得淡化成本仍然较高。因此,对 SWRO 预处理来说,当前需要研发的是能在膜前成功降低悬浮物浓度以及钙镁等金属离子浓度的新技术,寻求具有创新水平的自主技术。

参考文献:

- [1] 李毓林,靳国厚.海水淡化现状及应用前景[J].水利科技与经济,2001(12):166-167.
- [2] 王世昌.海水淡化工程[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [3] 林斯清.海水和苦咸水淡化[J].水处理技术,2001(2):

57-62.

- [4] 姚吉伦等.反渗透海水淡化的预处理工艺选择[J].中国给水排水,2001(8):39-47.
- [5] Hassan A M et al. [J]. The International Desalination & Water Reuse, 1998,8(4):53.
- [6] Durham Bruce, Walton Andy. Membrane pretreatment of reverse osmosis [J]. long term experience on difficult waters 1999,122(2-3):157-170.
- [7] Redondo J A. Brackish-,sea- and wastewater desalination [J]. 2001,138(1-3):29-40.
- [8] Wilf Mark, Klinko Kenneth. Effective new pretreatment for seawater reverse osmosis systems[J]. Desalination,1998,117(1-3):323-331.
- [9] Redondo J A. Lomax I. Y2K generation FILMTEC RO membranes combined with new pretreatment technique to treat raw water with high fouling potential: summary of experience [J]. Desalination, 2001,136(1-3):287-306.
- [10] Van Hoof S C J M, Minnery J G, Mack B. Dead-end ultrafiltration as alternative pre-treatment to reverse osmosis in seawater desalination: a case study [C].
- [11] Uhlinger Robert A. Desalination method and apparatus utilizing nanofiltration and reverse semosis membranes [P]. USP: 6190556,2001-02-20.
- [12] Takeshi Matsuura. Progress in membrane science and technology for seawater desalination—a review [J]. Desalination, 2001,134(1-3):47-54.

## Progress of study on SWRO desalination pretreatment technology

DU Hui-ling FENG Shi-hong WANG Jian-zhong

(Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001)

**Abstract:** In this paper, the present state of the applications of SWRO desalination pretreatment technology is analyzed. The development trend of SWRO desalination pretreatment technology is described briefly.

**Key words:** reverse osmosis (RO); seawater desalination; pretreatment

·信息·

### 一种氯气液化工艺方法

公开号:1410730 申请人:江苏化工农药集团有限公司

一种氯气液化工艺方法,其工艺流程依次为:(1)采用高压离心式气体压缩机,以浓硫酸作为工作介质将干燥氯气一步压缩到 0.9-1.2 MPa;(2)将压缩后的氯气与硫酸的混合流体送至硫酸分离器进行分离;接着将分离后的压缩气体送至除雾器,去除压缩气体中的雾状硫酸,以进一步提高压缩氯气的纯度;(3)然后再将分离后的压缩氯气送至氯气液化器,采用冷却水冷却到 30-40℃使压缩氯气冷凝成液体,并通过出口送至液氯贮罐贮存。本发明开拓创新,在工业应用上大胆采用一步压缩无冷冻的新工艺实现氯气液化,克服了以往的传统技术偏见,省去了庞大的低温制冷系统和一级液环泵群,其工艺先进,流程简单,设备投资小,运行可靠性高,能耗低,经济效果好。(发明人:罗圣君;张宝林;陈关乾;杨培义)