

膜技术对经济可持续发展发展的影响

孙本惠

(北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100029)

摘要:膜技术是 21 世纪最重要的高新技术之一,在近 20 多年来发展十分迅速。膜技术具有高效、节能、环保、操作简便、应用广泛等突出优点,是解决全球所面临的资源匮乏、能源短缺、环境污染等重大问题最有效的高科技手段之一。概述了膜技术对全球经济可持续发展所起的作用,重点介绍了膜技术在海水淡化、污水处理回用、饮用水净化、燃料乙醇生产及燃料电池等方面的应用情况。

关键词:膜技术;高新技术;循环经济;水资源;能源;环保

中图分类号:TQ028

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2007)02-0008-04

Influence from membrane technology on sustainable development of economy

SUN Ben-hui

(School of Material Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Membrane technology is one of the most important technologies of the 21th century, it has been developing very fast in past over 20 years. The membrane technology has remarkable features of high performance, energy saving, simple operation, and wide application, etc. It is one of effective measures to resolve the problems of resources and energy lacking, and of environmental pollutions the world has faced. The effects of the membrane technology on sustainable development of economy is summarized in this paper, with the application of membrane technology in desalting of sea water, treatment and recycling of wastewater, purifying of drinking water, production of fuel ethanol, and fuel cells, etc., focused on.

Key words: membrane technology; hi-tech; cyc economy; water resource; energy source; environmental protection

膜技术是 21 世纪最重要的高新技术之一。膜具有物质分离、能量转换、物质转化、控制释放、电荷传导、物质识别等功能;膜技术的发展遵循了模拟自然、改造自然、回归自然、服务自然的规律,它具有高效、节能、环保、操作简便等突出优点,在几乎所有领域中都有广泛的应用市场。可以预见,它将为我国发展循环经济保驾护航,为创办绿色产业奠定技术基础。

1 膜技术在开发淡水资源方面的应用

1.1 淡水资源的开发——海水淡化

从太空看地球像个大“水球”,因为地球表面的 70.8% 被海洋所覆盖,陆地仅占 29.2%。既然如此,为什么水资源还会严重匮乏呢?这是因为地球全部水资源中,海水占到水总量的 97.20%,淡水仅占 2.80%,并且大部分淡水用于农业灌溉和工业生产,而供全球人类饮用的水只占到总量的 0.01%,由此可见淡水资源是多么匮乏!它不仅严重制约了工业、农业的发展,而且也危及到人类的生存。要从战略上解决这一问题,一方面要节流,另一方面更重要

的是要开源,即开发新的淡水资源。地球上最大的“水库”就是海洋,如果能方便、廉价地将海水变为淡水,就可以从根本上解决淡水资源问题。

1748 年,法国人 Abbe Nollet 发现了生物膜的渗透现象,即溶剂能够通过半透膜从低浓度溶液渗入高浓度溶液。20 世纪科学家发明了人工合成的半透膜,在高浓度溶液一侧施加压力,当外压大于溶液的渗透压时,就可以使溶剂从高浓度溶液渗入低浓度一侧,即所谓的“反渗透”现象,这种半透膜就是反渗透膜。利用反渗透膜技术,就可以大规模、廉价地用海水生产淡水。

与传统的海水淡化方法(多级闪蒸法、冷冻法、溶剂抽提法、电渗析法)相比,反渗透膜法比其他的海水淡化技术更具有明显的优势。它的分离效率高(平均脱盐率高达 99.7%),能耗低(每立方米淡水耗电 1.7~3.0 kWh),生产成本低(每立方米淡水低于 0.5 美元),能大量提供高品质的纯净水。2001 年全世界海水淡化工厂的总装机容量为 3 750 万 m³/d,生产的淡水可供 7.5 亿人口饮用,其中 50% 以上是用反渗透膜法生产的。目前世界上最大的反渗透膜

法海水淡化工厂的生产能力高达 33 万 m^3/d 。

我国近年来在采用膜法进行海水淡化方面发展速度跃居世界前列。2000 年建成了沧州 1.8 万 m^3/d 反渗透海水淡化工程;2005 年新加坡 Hyflux 公司承建了天津市反渗透海水淡化工程,一期工程规模将达到 10 万 m^3/d ,二期工程规模将达到 15 万 m^3/d ;2010 年河北省将投资 31 亿元,建设 8 个海水淡化工程用于电力、化工行业,海水淡化能力将达到 45 万 m^3/d ;预期到 2010 年我国的海水淡化总量将超过 100 万 m^3/d 。据初步统计,从 2005 年开始我国已经成为世界上反渗透膜年用量最多的国家。

各种海水淡化方法的能耗比较见表 1。

表 1 各种海水淡化方法能耗比较

分离过程	电能消耗/ $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$	热能消耗/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$
反渗透膜法	3.0	10.8
冷冻法	9.3	33.5
溶剂抽提法	25.6	92.1
电渗析法	32.2	159.9
多级闪蒸法	62.8	226.1

1.2 水资源开发——污水资源化

将污水开发为新的水资源是一项具有非常重要的社会效益和经济效益的创举。全球每年排放的工业废水约为 4 260 亿 m^3 ,还有数量可观的生活污水及都市废水。污水排放不但会污染环境,威胁到人类的生存,而且也浪费了宝贵的水资源。采用膜分离技术可以有效地治理水污染,同时将污水变成高纯度的生产及生活用水,可以实现水资源的循环使用及污水的零排放,是发展循环经济及绿色产业的新亮点。

2 膜技术在开发新能源方面的应用

2.1 新能源开发——燃料乙醇

化石能源(石油、煤等)日趋枯竭,油价暴涨,环

境污染及全球变暖问题严重,利用生物质能源取代化石能源已势在必行。全球每年有 2 000 亿 t 光合生成有机物,其能量相当于全球每年消耗能量的 10 倍,但是目前其利用率还不足每年消耗能量的 7%。乙醇是一种可再生能源,将它按适当的比例调入汽油中可以提高汽油的辛烷值,增加汽油中的氧含量,降低汽车尾气中 CO 和碳氢化合物的排放。因此世界上已有很多国家将乙醇作为汽油的调配组分,推广应用乙醇汽油。1976 年,巴西最早发展了燃料乙醇,2002 年燃料乙醇产量达到 130 亿 L。2004 年,美国燃料乙醇消耗量为 586 万 t,约占美国乙醇消费总量的 87%;到 2010 年,美国计划将燃料乙醇年产量增加到 2 243 万 t;到 2025 年,75% 的石油能源将被生物质能源所取代。欧盟、日本也在加速发展燃料乙醇,并且提出了摆脱依赖石油的日程表。

在我国发展燃料乙醇势在必行。由于能源短缺,我国从 1998 年开始成为石油输入国。但是我国每年有 6.5 亿 t 废弃的秸秆,如果将其利用来生产燃料乙醇,则乙醇年产量可以达到 1.3 亿 t,相当于 2.7 个大庆油田产量,产值约为 9 450 亿元。我国目前汽油的年消耗量超过 6 000 万 t,如果总消耗量的 10% 被燃料乙醇取代,则每年至少需要 600 万 t 燃料乙醇。现在销售的 E93[#] 汽油中就含有 10% 的燃料乙醇。

制取燃料乙醇的关键技术是乙醇脱水。乙醇和水在常压下,在乙醇质量分数为 95.6% 时会形成共沸体系。为了制取无水乙醇产品,传统方法是采用恒沸蒸馏或者分子筛脱水,能耗很高。如果采用渗透汽化膜分离技术,则可以比传统方法节能 1/2 以上(见表 2),并且其过程简单,操作方便,系统稳定可靠,占地面积小,装置高度低,便于放大,易于和其他过程耦合与集成。图 1 是美国 Membrane Technology and Research 公司生产燃料乙醇的渗透汽化膜法与连续发酵法耦合工艺流程示意图。

(上接第 7 页)

- [26] Ayhan Demirbas. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2005(31): 466 - 487.
- [27] USA EPA. EPA Method 3560 - 1995. Supercritical Fluid Extraction for Total Recoverable Hydrocarbons [S]. Washington D C: USA EPA, 1995.
- [28] USA EPA. EPA Method 3561 - 1995. Supercritical Fluid Extraction of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons [S]. EPA SW-846 update III. Washington D C: USA EPA, 1995.
- [29] USA EPA. EPA Method 3562 - 1995. Supercritical Fluid Extraction of

Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Organochlorine Pesticides [S]. EPA SW-846 draft update IVA. Washington D C: USA EPA, 1998.

- [30] American Society for Testing and Materials. ASTM E1747 - 1995. Standard Guide For the Purity of Carbon Dioxide Used in Supercritical Fluid Applications [S]. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 1995.
- [31] American Society for Testing and Materials. ASTM D5186 - 1995. Standard Test Method For Determination of Aromatic Content and Polynuclear Aromatic Content of Diesel Fuels and Aviation Turbine Fuels By Supercritical Fluid Chromatography [S]. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 1996. ■

表 2 燃料乙醇的生产成本比较 DM/t

	渗透汽化	精馏	分子筛脱水
蒸汽	6.40	60.00	40.00
电	8.80	4.00	2.60
冷却水	2.00	7.50	5.00
膜	15.30	—	—
添加剂	—	4.80	—
分子筛	—	—	25.00
总计	32.50	76.30	72.60

注:生产成本为每吨乙醇消费的德国马克(DM)。

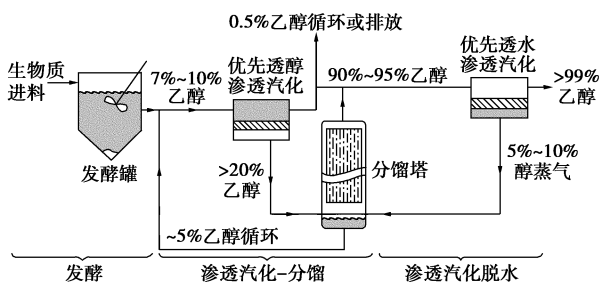
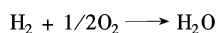
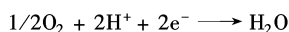
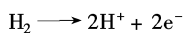


图 1 连续发酵-渗透汽化-精馏耦合工艺生产燃料乙醇的流程示意图

2.2 新能源开发——燃料电池

燃料电池作为一种高效、环境友好的发电装置而备受各国政府重视,燃料电池电动车已成为世界各大汽车公司开发竞争的热点。燃料电池是按电化学原理等温地直接将化学能转化为电能的装置,不通过热机过程,不受卡诺循环的限制,在理论上它的能量转化效率高达 85%~90%。目前各类燃料电池的实际能量转化效率为 40%~60%,如果实现热电联供,燃料的总利用率可以高达 80% 以上。燃料电池对环境友好,如果以氢为燃料,其产物为水,完全没有污染;如果以富氢气体为燃料,其 CO₂ 排放量比热机过程减少 40% 以上,对缓解地球的温室效应很有意义。

燃料电池是由阳极、阴极和电解质隔膜构成的。燃料(氢)在阳极氧化,氧化剂(氧)在阴极还原:



质子交换膜燃料电池和直接甲醇燃料电池均采用全氟磺酸膜为电解质。中低温的燃料电池(工作温度 ≤ 300℃)的燃料可以是纯氢,也可以是醇类或烃类。当以醇类或烃类为燃料时,需要经过重整制氢反应过程,同时还必须去除氢阳极氧化过程有毒的物质。例如需去除燃料氢中的 CO,使其质量分数

低于 10⁻⁵后才能送入电池,这就需要使用高选择性的 H/CO 分离膜。

3 膜技术在污水处理方面的应用

传统的污水处理技术包括生化处理、沉降等步骤(图 2),然后将达到二级排放标准的污水排放掉,这将造成很大的水资源浪费。

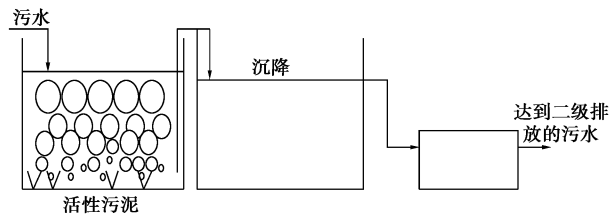


图 2 传统的污水处理流程示意图

采用先进的膜技术,不但可以将二级排放污水进行深度处理成为高纯度的工业用水,而且还可以成为新的饮用水源。图 3、图 4 分别是适于大规模和小规模应用的污水深度处理回用流程示意图。

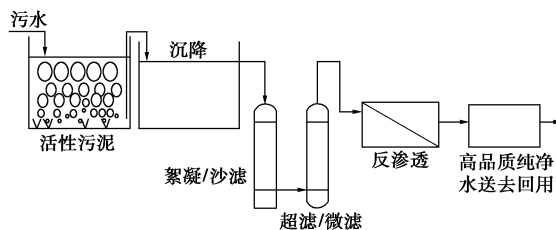


图 3 适于大规模应用的污水深度处理回用流程示意图

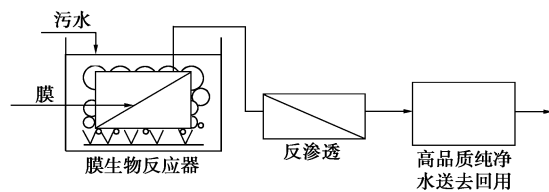


图 4 适于小规模应用的污水深度处理回用流程示意图

污水深度处理回用的成功实例有很多。美国加州的 Groundwater Replenishment(GWR) System 是联合国推广的示范工程,它将二级排放污水经过 MF、RO 膜处理及 UV/H₂O₂ 消毒后,一部分注入沿海深井中形成“水幕”,可以防止海水倒灌及土地盐碱化;另一部分则注入湖中渗入地下水层,改善地下水水质,提高地下水水位;地下水又可作为居民饮用水(自来水)的水源。新加坡的 Kranji 新水回用工厂采用相似的膜工艺,将都市废水处理成高纯度“新水”(New Water),水回收率达 75%。新水被用作饮用水,水质符

合世界卫生组织(WHO)和美国食品及医药管理局(USEPA)的饮用水标准;新水也被用作高品质的工业用水(半导体工厂生产用的超纯水)水源。

我国政府从发展循环经济的战略角度出发,高度重视污水处理回用问题。我国正在加快建设资源节约型和环境友好型社会,加强水资源节约、保护和管理,促进水资源可持续利用。在政府的大力扶持下,近年来我国在开展膜技术在污水处理回用方面的应用已经取得了显著成效。例如到2010年北京市的工业用水重复利用率将达到93%,利用再生水将达到6亿 m^3 ;天津经济开发区将污水处理后作为工业生产用水进行循环使用,实现区域废水零排放,到2009年再生水生产将达到7万 m^3/d ;目前更多的城市是将膜技术(特别是膜生物反应器及膜超滤技术)应用于城市污水处理,回用于城市景观用水、绿地浇灌、洗车、工业冷却水等方面。可以预见膜技术对治理污染、实现资源回收利用、促进循环经济发展等将发挥越来越大的作用。

4 膜技术在净化饮用水方面的应用

水是生命之源,不洁净饮用水对人类生命和健康的威胁问题日益严重。根据联合国“关于全球水危机的报告”,人类80%以上的疾病都与水污染有关;全球平均每天有3万人死于与水污染有关的疾病;儿童患病和死亡的主要原因之一也是饮用水不安全。据报道亚洲地区有数千万人长期饮用受砷污染的饮用水,健康受到严重威胁。如果各国政府从现在起不再投入更多的资金来治理水资源,到2025年,全球饮用不洁净水的人数将增加到25亿,相当于全球总人口的1/3,问题相当严重。

我国有80%的水域、90%的城市水源遭受污

染,更有必要对饮用水进行净化处理,以保障人们的生命安全和健康。同时我国每年很多地区都会遭遇水灾、地震、江河污染、山洪、台风、瘟疫等自然灾害,都面临缺乏洁净饮用水的严重问题,直接威胁到人们的生存及生命安全。

在净化饮用水的各种方法中,膜分离方法无疑是最有效的方法(见表3)。微滤、超滤、纳滤、反渗透膜分离已经普遍用于饮用水的净化过程中,各式各样的采用膜分离技术的饮用水净化器及装置应运而生,可以全面、有效地去除饮用水中的有机物、无机物及微生物,确保饮用水的安全性。

表3 净化饮用水的各种方法效果比较

处理方法	污染物		
	重金属及含砷、含氟的化合物	有机物	微生物
膜分离	有效	有效	有效
离子交换	有效	无效	无效
蒸馏	无效	部分有效	有效
活性炭	无效	有效	无效
沉淀	无效	无效	无效
煮沸	无效	无效	有效
O ₃	无效	无效	有效
UV	无效	无效	有效

除此以外,膜技术在其他许多方面还有很重要的作用。采用先进的膜技术可以大量开发高品质的淡水资源和取之不尽的清洁能源,让污水实现零排放,保护人类的生存环境和健康。在此基础上,全球的经济就有可能得到持续化的繁荣发展,形成良性循环。我们要在科学发展观的指引下大力发展膜科学与技术,继续推广膜技术在国民经济各领域中的应用,努力构建文明、和谐、昌盛的新社会。■

“07博鳌·国际化工新材料论坛”论文征集通知

由海南省人民政府、中国化工集团公司、德国化学工程与生物技术协会、香港汇丰银行主办的“07博鳌·国际化工新材料论坛”将于2007年3月27—29日在中国会议圣地——海南博鳌召开。论坛以“引领创新、投资未来”为主题,由“主论坛、创新论坛、投资论坛、学术论坛”四部分组成。

为配合此次论坛,大会组委会向化工新材料全行业及相关领域发起征文活动,诚邀广大科技工作者和企业界人士踊跃投稿,积极参会。入选论文将采用大会支持媒体之一《化工新型材料》(中文核心期刊,TQ:化学工业)出版专刊——“07博鳌·国际化工新材料论坛学术论文集”正式发表,并评选出一批优秀论文在“学术论坛”上与国内外学者进行交流。

征稿涉及范围

·有机硅材料 ·有机氟材料

·工程塑料及合金 ·高性能纤维及其材料
·特种橡胶及制品 ·膜分离材料
·新型及专用涂料 ·特种胶粘剂及密封材料
·聚氨酯材料 ·生物降解及环境友好材料
·抗菌材料 ·纳米超细化工材料

“07博鳌·国际化工新材料论坛”及“07博鳌·国际化工新材料论坛学术论文集”有关详情请见“中国化工信息网(www.cheminfo.gov.cn/boao)”或“中国聚合物网(www.polymer.cn)”

详情咨询:

《化工新型材料》编辑部 北京安外小关街53号

电话:(010)64437113 传真:(010)64437113

E-mail:hgxx@cheminfo.gov.cn

联系人:林莉