

膜法海水淡化技术及其应用发展

蔡 邦 肖

王 德 生

(杭州水处理中心)

(国家海洋信息中心)

自从世界上第一台日产淡水 106 立方米的电渗析苦咸水淡化装置于 1954 年在美国得克萨斯州投入商业运行,日产淡水 19 立方米的反渗透苦咸水淡化装置于 1965 年在美国加利福尼亚州投入实际运行以来,膜法海水淡化技术就成为开辟海岛淡水资源的一项可靠技术,产生了显著的社会效益、环境效益和经济效益。

功能膜是一种可以把两相分离开的界面,并以其相当特有的方式限定各种化学物质传递(即具有选择渗透性)的半透膜。当施加能引起物质有效流动的驱动力(如静水压差、浓度差、电势差、温度差等)时,这种膜就可以实现水溶液的分离过程。

在诸种功能膜分离方法中,当前可将海水、苦咸水淡化的技术已实用化的有反渗透、电渗析,以及近年来致力于开发研究的引人注目的渗透汽化法。反渗透和电渗析淡化海水过程无相变,可利用太阳能或风能等天然能发动驱动水泵;并可利用太阳热或废热加热海水,减少运行电耗,提高产水量。渗透汽化法虽然是相变过程,但可在常温下运行,并可利用太阳热或废热加热海水,降低能耗,渗透物在惰性气流或真空系统中汽化,然后冷凝汽化物,实现淡化。因此,膜法淡化海水具有省能的显著特点,在能源紧缺而天然能充裕的海岛上,用膜法淡化技术开发淡水资源比传统方法具有无可比拟的优越性。而且,由于膜法淡化实现了膜片化、组件化、装置化、工厂化,并且由于淡化设备组合式,具有机动性大、装置紧凑、流程简单、全天候运行、占地面积小等优点,再

加上淡化工程的投资费用小,操作管理方便,因而具有极大的应用价值,即使在交通不便的弹丸小岛上也可充分发挥作用。

膜法淡化过程还有着独特的分离效果和极高的分离效率。反渗透、渗透汽化除了与电渗析一样可除去各种离子外,还与超滤、微孔过滤一样具有除去电渗析、离子交换过程等不能去除的细菌、热源、胶体及颗粒等功能,并且不象蒸发、结晶等需要消耗大量热能,也不象萃取、混凝沉降等过程需消耗大量化学品,实现无污染运行,低费用操作。所以,膜法淡化业已成为一项新型的化工单元操作,广泛应用于水处理、化工、电子、医药、食品、纺织、冶金、煤炭、铁路、环保、旅游、军事、生态农业等领域,不仅用来淡化海水、苦咸水,开辟新的淡水资源,为居民饮用和各种工业过程提供不同水质要求的净化水,而且可对各种排水净化,使之重复利用,对水资源紧张的地区起到缓解作用。

当前,膜法淡化已经成为各国竞相开发的一项高科技。据 1984 年底统计,世界已拥有反渗透淡化设备 1 908 套,日产淡水 1 893 万立方米;拥有的电渗析淡化装置(包括普通电渗析和倒极电渗析)748 套,日产淡水 466 万立方米。日产千吨、万吨级的反渗透海水淡化工厂在世界各地已广泛建立,其中:沙特阿拉伯有 5 座,最大的日产水量(用于饮用)为 5.6 万立方米;委内瑞拉 3 座;苏联 2 座,最大的日产水量达 8.1 万立方米(为工业用水);在日本,日产水量 1 000 立方厘米以上的反渗透苦咸水淡

化装置到1980年就已达到20套,总装机容量为每天产水3.4万立方米,分别在5个工厂中运行;日产水量在1000立方米左右的电渗析装置到1976年已达到26套,5个工厂总装机容量为每天产水2.05万立方米。这些大型淡化工厂的建立运行,分别为当地的居民饮用以及工农业生产提供了可靠的水源。到1986年,日本已经在近20个小岛上建立了23个分别日产淡水大至1000、小到10立方米的海水或苦咸水淡化工厂,从而满足了这些海岛的不同淡水需求,从根本上解决了给水困难。

我国是个海岸线绵长,岛屿众多的沿海国家。在总面积达400多万平方公里的边缘海上星罗棋布着面积约8万多平方公里的6000多个岛屿。海岛淡水资源的匮乏,严重地制约着当地社会经济的发展、海防战线的建设和人民生活水平的提高。为了开辟海岛淡水资源的可靠途径,我国从1958年开始研究离子交换膜和电渗析技术,1965年又开始研究反渗透膜及其淡化技术,至今都已推进到了实用阶段。

功能膜是淡化装置的“心脏”。我国的离子交换膜经过30多年的发展,已开发了各类均相、半均相膜,聚乙烯异相阴、阳离子交换膜,以及聚丙烯型异相阴、阳膜。目前,我国已有十余个生产各种离子交换膜的工厂,1988年离子交换膜的生产总量已达 2.9×10^5 平方米,年产值超过1000万元,仅次于日本。已商品化的膜有12类19种,批量试制和正在研制的膜有11类13种。全国约有30家电渗析器制造厂,已商品化的电渗析、扩散渗析器规格型号多种,产品已广泛应用于工业用水脱盐、苦咸水淡化、海水淡化、废水回收处理,以及化工过程中物质的浓缩、提纯、分离、精制等,在全国27个省、市、自治区都有实际运行。我国自1970~1972年间研制成功日产淡水7立方米和14立方米两种电渗析器,提供海岛从海水制取饮用水以来,于1981年在西沙永兴岛建成了日产200立方米的电渗析海水淡化站,并配备了脱硼装置,

使淡化的海水成功安全地用于驻岛人员的饮用。曾在浙江嵊泗岛屿进行风力发电与电渗析相结合的海水淡化试验,日产淡水24立方米,比用常规能源可降低成本10%。1987年10月在山东长岛县大钦岛南村建成了海岛居民生活饮用水电渗析苦咸水淡化示范工程,以及在山东潍坊市渤海湾滩涂地区建成的日产淡水100立方米和在广州珠江三角洲番禺县建成的日产淡水300立方米的电渗析苦咸水淡化站等等,电渗析技术在我国的海岛、滨海地区的淡化资源开发方面已作出了重要贡献。此外,我国的电渗析产品除了满足国内市场需要,已开始少量出口。

我国的卷式、中空纤维式反渗透组件,可从低盐度的苦咸水制取饮用水,产水量最小的每天10立方米($\pm 10\%$),最大的每天可达65~75立方米,脱盐率都大于90%。但我国的反渗透技术与世界先进水平相比尚有一定差距。为了缩短差距,推进膜技术的应用,国家科委在“七五”期间将反渗透淡化海岛地下苦咸水作为国家重点科技攻关项目。国家海洋局杭州水处理中心组织科技人员经过几年攻关,在原有的基础上,研制成新型的反渗透中盐度淡化用卷式和中空纤维式膜及其组器。中空纤维膜的脱盐、耐酸碱、耐热、压密性和排除细菌等性能,均超过了日本东洋纺同类产品的水平,标志着我国反渗透技术已达到80年代中期国际水平。新的卷式反渗透苦咸水淡化装置也于1989年年底在山东长岛县建成并交付使用。

世界膜法淡化技术的发展,使电渗析、反渗透淡化的费用接近自来水费的水平已为期不远了。我国目前的膜法淡化技术无论在研究水平、装置的生产能力方面,还是在运行管理的实际经验方面,都已能适应我国海岛淡水资源开发利用和保护的需要。因此,进一步开发应用这一技术,无疑会对开发海岛,发展海洋经济有着重要意义。