

海水资源开发及综合利用浅析

General discussions of sea water resource utilization

范迪¹, 王娟², 迟宏¹

(1. 青岛赛尔环境保护有限公司, 山东 青岛 266071; 2. 青岛理工大学 环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033)

中图分类号: P746

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)03-0091-05

淡水资源缺乏成为世界性难题, 中国人均淡水量只有世界人均水平的 3/10, 缺水形势非常严峻。由于中国的发达地区多集中在沿海地区, 大部分工业也集中分布在沿海地区, 许多沿海地区由于地下水超采, 已造成地下水位大幅下降、地面下沉、海水倒灌, 严重影响了地下水资源的保护。同时, 淡水资源的匮乏, 严重制约了这些地区的经济发展以及居民的正常生活。因此开辟新水源已成为当务之急。

海水不但总量巨大, 而且不受季节、气候影响, 是一种稳定可靠的水资源^[1]。发达国家已率先把目光投向海洋, 开发利用海水资源, 并取得了明显的经济效益。中国的海岸线较长, 有着丰富的海水资源, 具备开发海洋、大规模发展蓝色产业的有利条件, 海水利用的技术条件也基本成熟, 通过海水淡化和海水直接利用是解决沿海城市淡水缺乏的最佳选择。在此作者对海水资源开发及综合利用现状进行浅析。

1 海水淡化

海水淡化包括从苦涩的高盐度海水以及含盐量比海水低的苦咸水通过脱盐生产出淡水。向海洋索取淡水已成为世界沿海国家的共识。海水淡化不仅可以增加淡水资源的总量, 解决沿海城市超采地下水所造成的环境问题, 而且随着海水淡化技术的成熟与发展, 海水淡化还可以形成产业, 产生新的经济增长点。因此, 海水淡化能够解决中国日益严重的缺水问题, 这对社会和居民的生活都具有重大的现实意义。

1.1 海水淡化的现状

海水淡化技术主要有蒸馏法和膜法两大类。其中蒸馏法分为多效蒸馏(MED)、多级闪蒸(MSF)和压气蒸馏(VC); 膜法分为反渗透(RO)和电渗析(ED)。国外在 40 年代就开始了以蒸馏法为主的海

水淡化技术研究。美国最早于 1952 年首先开发了电渗析盐水淡化技术, 继而在 60 年代初又开发了反渗透淡化技术。海水反渗透技术(SWRO)与其他淡化技术相比要年轻得多, 20 世纪 60 年代初仍处于实验室阶段, 然而近年来它以惊人的速度发展, 越来越显现出其经济和技术优势, 如投资省、能耗低、占地少、建造周期短、易于自动控制、启动运行快、安全可靠等, 因而在水工业中受到特别青睐^[2]。1984 年蒸馏法和 RO 法的产量各为 75.3% 和 20%, 而到 1995 年则各为 55% 和 36.7%。目前, 世界最大的 SWRO 厂日产淡水 12.8 万 t, 最大的苦咸水 RO 淡化厂规模为日产淡水 27.0 万 t。近 10 年来, RO 膜和膜组件的性能在迅速提高, 工程技术日趋成熟, 能量回收装置成功应用。蒸馏法、反渗透法海水淡化技术得到较为广泛的开发和应用^[3-8]。

中国海水资源开发利用技术研究始于 20 世纪 60 年代, 40 多年来取得了长足的发展, 尤其是 RO 膜, 从最初的醋酸纤维素不对称 RO 膜, 到 70 年代的中空纤维和卷式 RO 膜组件, 以及 80 年代的 RO 复合膜的研究开发, 中国的 RO 膜开始步入产业化和推广应用阶段。近年来, 世界发达国家高性能 SWRO 膜组件的大量引进, 带动了国内 RO 工程应用的高速发展。在海水淡化技术方面, 中国已掌握了国际上已经商业化的蒸馏法和膜法海水淡化主流技术, 辽宁、山东、浙江、河北、甘肃等地已建成 500 ~ 18 000 t/d 海水和苦咸水反渗透淡化装置, 具有自主知识产权的低温多效海水淡化示范工程已在青岛建成。

收稿日期: 2007-06-29; 修回日期: 2007-09-21

作者简介: 范迪(1963-), 男, 山东青岛人, 高级工程师, 博士, 主要从事环境工程及研究工作, E-mail: fd0896@126.com

1.2 海水淡化存在的问题及对策

1.2.1 存在的问题

蒸馏法最大的问题是投资费用高、能耗高,如香港于 70 年代耗资近亿港元建造的 MFS 海水淡化厂(18 万 t/d),由于能源耗费太高无法投入运行,成为海水淡化发展史上最大的教训。其次,结垢等问题也一直困扰着蒸馏法。对于 SWRO,由于海水中的各种细菌和海藻类物质使常规预处理方法存在问题,首先,不能确保 RO 给水无菌,有时被活性炭吸附的有机物还会成为细菌繁殖的温床,造成膜污染。其次,常规预处理方法的工艺冗长,造成操作烦琐、费用高(估计占设备总投资的 30% ~ 40%,占运行费用的 20% ~ 30%)、产水时间长、占地面积大(占厂总地盘的 50% 左右)。因此,SWRO 存在膜寿命短、膜更换费用高、海水预处理复杂等问题^[9-14]。

1.2.2 建议与对策

结合膜法对传统的 MSF 进行改造,采用 RO 与 MSF 组合可有效地运行,降低投资及运行费用;采用 MF/UF 预处理技术代替常规预处理,以提高 RO 给水的预处理效果;选用一级海水反渗透法,采用卷式膜组件;利用几种膜工艺组合,采用集成膜技术克服单种膜的局限性;RO 系统配置能量回收装置,回收部分能量以降低能耗^[9,14]。

1.3 小结与展望

地球上的淡水资源危机将愈来愈严重,而海水淡化是解决淡水问题的重要途径,蒸馏法和反渗透法海水淡化将以更大的规模得以应用,比较目前的各种淡化方法,SWRO 法投资费用和运行费用都是较低的,其存在的问题也会随着科技的不断发展而得以完善,因此,有学者预言,RO 技术将是 21 世纪海水淡化的主要方法。另外,随着研究的进一步深入,一些新的技术如冷冻法、吸附法、碳气溶胶法等,以及采用新能源新工艺的海水淡化方法将在一定程度上得到应用。

2 海水冷却

海水冷却是指用海水取代淡水作工业冷却水,它是海水直接利用的主要方式之一,其用水量约占海水取用总量的 90% 以上。世界上许多拥有海水资源的国家,都大量采用海水做工业冷却水,其用量占工业总用水量的 40% ~ 50%。日本每年海水冷却用量已达 3 000 多亿 m³,美国每年约为 1 000 亿 m³。中国海水冷却已有 60 余年的历史,青岛、大连、天津、上海、宁波、厦门、深圳等沿海城市均有海水作为工业冷却水的实践,但与发达国家相比还有很大差

距,目前中国海水年取用量只有 140 亿 m³ 左右,具有较大的开发潜力^[1,12]。

海水冷却技术包括:海水直流冷却、海水循环冷却。海水直流冷却是以原海水为冷却介质,经换热设备完成一次性冷却后,即直接排海的冷却水处理技术。海水直流冷却技术具有深海取水温度低、冷却效果好和系统运行管理简单等优点。海水循环冷却技术是以原海水为冷却介质,经换热设备完成一次性冷却后,再经冷却塔冷却,并循环使用的冷却水处理技术。海水循环冷却技术具有取水量少、工程投资和运行费用低及排污量少等优点。目前,国内外都以海水直流冷却为主。

2.1 海水冷却存在的问题

海水直流冷却技术存在海水对金属材料的腐蚀大、取水量多、工程一次性投资大、排污量大和海水污染明显等问题。海水循环冷却系统存在着严重的腐蚀、结垢、污损生物附着以及海水冷却塔的盐沉积、盐雾飞溅等问题^[15]。

2.2 解决措施

防腐措施主要有选用耐海水腐蚀的材料、涂层防腐技术和阴极保护技术。中国开发研制的 OOM05 不锈钢、日本研制的 YUS270 特种不锈钢等,其耐腐蚀性接近钛材,而成本较低,可用做冷却设备材料。海水冷却工艺管道一般采用环氧沥青漆、环氧树脂漆等进行防护的碳钢管。实施阴极保护有两种方法,即牺牲阳极法和外加电流阴极保护法。

防海生物附着措施主要有人工机械清除、投放药物、电解海水法、窒息法、涂料防污。人工机械清除法一般每隔一年人工清除一次,液氯法根据海洋生物生长繁殖特点和周期,定期释放液氯杀生,效果明显但会对海洋造成污染,美、日等国已禁用,但在中国仍还在应用^[16]。

2.3 小结与展望

在海水浊度小、取水方便、取水能耗小的场合适合采用直流冷却技术。对于那些距海较远、海拔较高的工厂,采用循环冷却技术更为合适,对于沿海城市中原来采用淡水循环冷却系统的工厂来说,改用海水循环冷却系统更为经济。

海水直接利用,由于用水量大,不仅在缓解沿海城市缺水占有重要地位,而且经济上的效益也是很明显的,特别是在陆水紧缺,远距离引水成本很高的情况下,能大量直接利用海水是最经济的。因此,未来在沿海工业中大力推广海水直流冷却、海水用作冲洗水和其他用水的同时,应积极支持海水循环冷却水示范工程,并能大力宣传推广。

3 海水烟气脱硫

海水中含有大量的可溶盐,其主要成分是氯化物和硫酸盐,也含有一定量的可溶性碳酸盐。海水通常呈碱性,这使得海水具有天然的酸碱缓冲能力及吸收 SO_2 的能力。烟气海水脱硫技术就是利用海水的这种特性来洗涤烟气中的 SO_2 ,以达到烟气净化之目的。

美国加州伯克莱大学 Bromley 教授于 19 世纪 60 年代提出利用天然海水脱硫的技术原理,1970 年美国在关岛电厂中试,英国也于 19 世纪 80 年代在爱丁堡附近中试。1988 年以前,海水脱硫技术多用于冶金行业的炼铝厂及炼油厂,如挪威南部铝厂、挪威 Statoil Mongstad 炼油厂等的脱硫系统均采用此装置。海水脱硫技术在火电厂的应用源于 1981 年的美国关岛试验,随后在印度 TATA 电力公司 500 MW 燃煤机组上进行了工业性试验,并于 1988 年投入商业运行,1995 年印度 TATA 电力公司在同一台机组上安装了第二台海水脱硫装置,使其烟气处理能力达到 $44.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{L}$ 。近年来,海水脱硫技术在火电厂得到了较快的应用,1995 年西班牙 Unelco 电力公司先后在 GranCanaria 燃油电厂 ($2 \times 80 \text{ MW}$) 和 Tenerife 燃油电厂 ($2 \times 80 \text{ MW}$) 建成 4 套海水脱硫装置,多年来运行良好。印度尼西亚 Paicon 电力公司的 $4 \times 335 \text{ MW}$ 新建机组采用海水脱硫工艺,已于 1998 年投入运行。英国于 2005 年开工建设位于重要生态保护区的 Longannet 电站建设 4 套 600 MW 燃煤发电机组的海水脱硫装置^[17,18]。

从 1996 年开始,深圳西部电厂陆续建成了 6 套 300 MW 燃煤发电机组的海水脱硫装置。其中,4 号国产 300 MW 燃煤机组引进挪威 ABB 公司海水脱硫技术和设备,于 1999 年 3 月完成 72 h 连续试运并投入商业运行。这套机组的 FGD 系统是中国首套海水脱硫装置,是国家环保总局和国家电力公司的示范项目,其各项性能指标均达到或超过设计值,符合环保标准,曝气过程中没有明显的 SO_2 溢出情况,工艺排水对海域水质和海洋生物的影响很小。5、6 号机组 ($2 \times 300 \text{ MW}$) 海水脱硫装置于 2004 年 2 月 23 日建成投运。1 号、2 号、3 号机组海水脱硫工程也计划于 2006 年投运。由台塑美国公司独资兴建的福建后石电厂陆续建成了 6 套 600 MW 无 GGH 海水脱硫装置,于 1999 年至 2003 年陆续投入运行。中国华电工程(集团)公司联合阿尔斯通电力挪威公司(APN)共建的青岛发电厂海水脱硫工程已建成,该工程采用世界上先进海水脱硫技术,脱硫效率高达 90% 以上。中国已成为世界上大型海水脱硫装置

建设经验最丰富的国家^[17-20]。

3.1 海水脱硫技术的优点及改进

烟气海水脱硫工艺与其他脱硫工艺相比具有工艺简单,运行维护方便,投资省、只需要海水和空气不需要其他添加剂、节省淡水、无废弃物排放、减少污染、节省占地等优点。目前,虽未发现其明显缺点,但海水脱硫技术还有待进一步完善和提高,如:进一步减少曝气池面积,进一步优化吸收塔的工艺条件及尺寸,进一步提高国产化率^[21]。

3.2 小结与展望

海水烟气脱硫工艺比较适合于燃烧中低硫煤的沿海电厂,其工艺比较简单,投资及运行费用较低,不存在脱硫产生的废弃物处理问题,且脱硫效率较高。未来,随着技术的发展,在充分吸取国外设计及国内运行经验的基础上,海水烟气脱硫装置将会得到进一步改进和提高,为电厂的环境保护事业做出更大贡献。

4 海水源热泵

热泵是一种利用高位能使热量从低位热源流向高位热源的节能装置,可以把不能直接利用的低位热源(如空气、土壤、水中所含的热能、太阳能、工业废热等)转换为可以利用的高位热能,从而达到节约部分高位能(如煤、燃气、油、电等)的目的。作为一种高效的节能装置,热泵具有广泛的应用途径和前景^[22,23]。

海洋中蕴藏的巨大热资源对于节能和环保日益重要的今天来说意义非常重大。海水资源在空调方面的应用主要分为两种途径:一是直接利用海水与冷冻水进行热交换,二是夏季利用海水作为冷却水,取消传统空调的冷却塔,冬季热泵运行提供供热所需热量。海水热泵就是以海水为热源的热泵系统。夏季,以海水作为冷却水使用,冷却系统不再需要冷却塔;冬季,海水通过蒸发器,通过热泵的运行,提取海水中的热量供给建筑物使用。

瑞典从 20 世纪 60 年代就开始采用热泵技术进行区域采暖,大约 60% 的用户使用区域采暖系统,50% 的区域供暖采用热泵系统,90 年代初开始使用区域供冷技术。美国从 1990 年起开展了利用海水供冷的理论和实验研究,他们立足于取用深海(700 m 以下)海水因而温度较低(7℃)。日本计划在东京等城市铺设管道,引入海水为夏天降温,解决“热岛效应”^[15]。中国在这方面还刚刚起步,中国北方一些城市如大连、青岛等,与北欧的气候非常接近,在海水资源利用方面也具备非常便利的条件。

目前,中国第一个海水源热泵项目在青岛发电厂建成使用,用于总面积达 1 871 m²的发电厂职工食堂的供热。宁波沃富圣龙中央空调有限公司为 2008 年奥运会青岛国际帆船媒体中心研发的“地源/海水源热泵中央空调”系统也成功完成调试。这是奥运会历史上首次采用“海水空调”,在全国已建成的公共建筑中也属首家^[24-26]。这些都为以后应用海水源热泵工程提供了实用的参考价值。

4.1 存在的问题

海水对金属尤其是黑色金属有强烈的腐蚀作用,因此,解决海水对材料的腐蚀问题,而且要简单易行,成为海水源热泵技术的关键^[22,27]。传统的水机组方式一般为,海水进入换热器前首先经过机组与海水抽水井间设置的可拆卸的钛板式换热器以解决海水对换热器腐蚀问题,这样做虽然解决了腐蚀问题,但是又带来了钛板换热器价格昂贵、水路系统复杂等问题,另外,在中间换热器海水与循环水交换存在温差,在制热工况,进入蒸发器的水温降低,而在制冷工况,进入冷凝器水温提高,造成制热量、制冷量降低,机组效率下降。

4.2 防腐措施

随着满液式水源热泵机组的发展,海水直接在管程内流动,使防腐也相对容易了。用海军铜或镍黄铜作为传热管则可以比较容易解决海水腐蚀问题,而且不论制热或制冷工况均有较高的效率。这样不论是蒸发器,还是冷凝器均可以解决海水腐蚀问题,海水在管程内流动,传热管采用耐海水腐蚀的材料,其他和海水接触部分,如管板外侧,封头内壁也采用防腐材料和相应措施,这就改变了过去所谓的海水机组在海水和机组之间加中间换热器的传统做法,减小了传热温差,提高了机组的效率。一般,换热器管板外侧与海水接触侧采用复合管板;换热器封头采用耐腐的铸铁件材料,内置活泼金属锌块^[22,27]。

4.3 小结与展望

海水空调系统具有非常强的地域特性,其投资费用、安装、运行及设备维护与当地的条件密切相关,不可能形成一个通用的技术方案,也不能全部照搬国外的技术,应结合地域特点进行。中国北方一些城市如大连、青岛等,与北欧的气候非常接近,在海水资源利用方面也具备非常便利的条件,如果根据当地地理条件,结合热泵技术,进行大规模的整体开发,会给当地带来巨大的经济效益和社会效益。

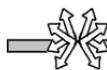
未来,随着技术的不断进步及工程实例的不断增多,在国家大力倡导“节能减排”的政策下,海水源热泵机组的发展将具有非常广阔的前景。

5 结语

海水资源开发及综合利用具有广阔的前景,符合可持续发展的趋势。中国海岸线漫长,沿岸岛屿众多,有取之不尽的海水资源,充分发挥临海优势,利用海水替代淡水是缓解沿海地区淡水紧缺局面的重要途径。作者只是针对海水淡化、海水冷却、海水烟气脱硫及海水源热泵 4 个方面浅述了海水资源的应用,海水资源的其他利用也正在开发中。国家发展和改革委员会、国家海洋局、财政部联合发布的《海水利用专项规划》是中国中长期水资源节约和替代规划的重要组成部分,也是中国海水利用工作的指导性文件和海水利用项目建设的依据。可以预测,海水资源综合利用产业将成为 21 世纪的朝阳产业。

参考文献:

- [1] 赵健民. 海水利用[M]. 天津:天津科技出版社, 1994.
- [2] 邵刚. 膜水处理技术及工程实例[M]. 北京:化学工业出版社, 2002.
- [3] 林斯青. 国外海水淡化技术现状及未来[J]. 水处理技术, 1998, 24(1): 1-6.
- [4] 王世昌,周清,王志. 海水淡化与反渗透技术的发展形式[J]. 膜科学与技术, 2003, 23(4): 162-165.
- [5] Glueckstern P, Priel M. Advanced concept of large seawater desalination systems for Israel[J]. *Desalination*, 1998, 119(1): 33-45.
- [6] Glueckstern P. Design and operation of medium and small-size desalination plants in remote areas[J]. *Desalination*, 1999, 122(2): 123-144.
- [7] Scholl H G. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse[J]. *Madrid*, 1997, 1: 415.
- [8] Wangnick K. IDA Worldwide Desalination Plants Inventory Report No. 14[R]. 1996.
- [9] 吴舜华,王永胜,温德才等. 海水淡化技术的现状和存在的问题及对策[J]. 龙岩师专学报, 2004, 22(3): 81-82.
- [10] 艾钢,吴建平,朱忠信. 海水淡化技术的现状和发展[J]. 净水技术, 2004, 23(3): 24-28.
- [11] 任建新. 膜分离技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2003. 175-176.
- [12] 尤作亮,蒋展鹏. 海水直接利用及其环境问题分析[J]. 给水排水, 1998, 24(3): 64-67.
- [13] 陈艳英. 海水利用中的几个问题探讨[J]. 工业水处理, 2003, 23(1): 47-49.



- [14] 周少详, 胡三高, 陈景山. 沿海火电厂对淡水资源的需求及其对策[J]. 水处理技术, 1998, 24(2): 63-66.
- [15] 胡保亭, 胡仰栋, 伍联营. 海洋热能的利用[J]. 海洋技术, 2004, 23(2): 96-101.
- [16] 王占坤. 海水资源综合利用现状研究[J]. 海洋信息, 2003, 1: 17-20.
- [17] 吕宏俊, 吴迅海. 海水脱硫技术的应用与发展[J]. 节能与环保, 2005, 4: 21-23.
- [18] 董学德, 彭斯干, 唐崇武等. 烟气海水脱硫技术及其应用[J]. 中国电力, 1996, 29(10): 52-57.
- [19] 曾庭华, 马斌, 杨华等. 广东省火电厂烟气脱硫现状与展望[J]. 中国电力, 2003, 36(3): 68-72.
- [20] 肖凌涛, 谭永茂. 海水烟气脱硫在深圳西部电厂的应用[J]. 广东电力, 2000, 13(5): 28-32.
- [21] 黄宗汉. 烟气海水脱硫工艺的实践经验及改进[J]. 电力建设, 2005, 26(9): 59-61.
- [22] 任玉迎, 南远新, 杭庆荣等. 海水源热泵的发展和应
用[J]. 制冷与空调, 2007, 7(2): 8-9.
- [23] 蒋爽, 李震, 端木琳等. 海水热泵系统的应用及发展
前景[J]. 节能与环保, 2005, 10: 11-14.
- [24] 于立强. 青岛东部开发区建设以海水作冷热源大型热
泵站可行性分析[A]. 全国暖通空调制冷学术年会论
文集[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996. 428-432.
- [25] 蒋爽, 端木琳, 王树刚. 海水热扩散研究进展与新问
题分析[J]. 能源环境保护, 2006, 20(5): 5-9.
- [26] 赵月玲, 樊幸福, 姚占龙. LSBL GR—S 系列海水源热
泵机组设备在天津港船闸所的应用[J]. 水道港口,
2007, 28(1): 72-73.
- [27] 邢秀强. 应用海水源热泵系统存在的问题及解决措施
[J]. 流体机械, 2006, 8: 71-74.