

海水淡化及其产业进展

Desalination of Sea Water and Its Industrial Development

叶耀先

(中国建筑技术研究院,教授 北京 100044)

顾芳

(中国建筑技术研究院信息所,工程师 北京 100044)

地球上水体总量约为 13.6 亿立方公里,海水占 97.2%。在 2.8% 的淡水中,又只有 0.23% 可为人类生命活动利用。随着淡水资源短缺矛盾的突出,向海洋要资源已成为国际共识,海水淡化日益受到重视。我国是贫水国家,人口占世界总人口的 22%,而淡水资源占有量仅为世界淡水资源总量的 8%,人均淡水资源占有量则为世界人均值的 1/4。我国 500 多个城市中,有 300 多个缺水,100 多个严重缺水,由此而造成的经济损失约为每年 2 000 亿元。我国海岸线长 1.8 万公里,有 6 500 多个岛屿,沿海地区居住着 4 亿多人,沿海城市生产总值为全国城市生产总值的 60% 以上。14 个沿海开放城市中,就有大连、天津、青岛等 9 个城市严重缺水。缺水已成为阻碍城市发展的重要因素。据不完全统计,2000 年前后,沿海地区新增电力在 35 000 兆瓦以上,相应需日增锅炉用淡水 18 万立方米。从经济技术比较来看,在沿海缺水地区,水电联产的海水淡化将是解决电厂用水需求的重要途径。可见,海水淡化在我国既有紧迫需求,又有广阔市场。

国际海水淡化技术进展

400 多年以前就有人提出将海水经淡化处理后供人类生活使用。到目前为止,海水淡化技术大体上可以分为两大类:一类是从海水中分离出水,如蒸馏法(Distillation Process)、冷冻法(Freezing Process)、水合物法(Hydrate Process)、熔剂萃取法(Solvent Extraction Process)和反渗透法(Reverse Osmosis Process 缩写为 RO);另一类是从海水中分离出盐,如电渗析法(Electrodialysis with ion exchange resine membrane,缩写为 E-M 或 ED)和离子交换法(Ion Exchange Process)。目前世界上有 105 个国家的 175 家公司从事海水淡化。在上述海水淡化技术中,蒸馏、反渗透和电渗析技术应用较多,分别占世界海水淡化总容量的 62%、

31% 和 4%。

蒸馏法是将海水加热汽化,再使蒸气冷凝而得淡水,它是最早提出并付诸实用的海水淡化技术。1593 年就提出使用蒸馏法生产淡水,以解决远航船只的用水问题。1872 年在智利建成的太阳能蒸馏器,连续使用了多年。本世纪 50 年代以前,海水淡化以单效和多效浸管式(ST)蒸发为主。此法虽然能耗高,易结垢,但在当时没有其他方法可与其竞争。

目前,工程中常用的蒸馏技术主要有多级闪蒸(Multistage Flash Distillation,缩写为 MSF 或 MSF-D)、低温多效(Multiple Effect Distillation,缩写为 MED)和压气蒸馏(Vapor Compression Distillation,缩写为 VC 或 VC-D)。

多级闪蒸技术为 1957 年英国(R. S. Silver)教授发明,其原理是将海水加热到一定温度后引至压力较低的闪蒸室骤然蒸发,依次再进入压力更低的闪蒸室骤然蒸发,产生的蒸气在海水预热管外冷凝而得淡水。热海水流经压力逐级降低的多个闪蒸室,逐级蒸发,多级闪蒸因而得名。多级闪蒸技术防垢性能较好,且可大幅度降低能耗,为蒸馏法找到了新路子,是迄今应用最广、规模最大、最为成熟的海水淡化技术。例如,日产淡水 18 万立方米的香港淡化厂和世界上最大的日产淡水量逾百万立方米的沙特阿拉伯 Jüba 海水淡化厂(拥有 46 台单机,单机容量为 23 000 立方米/日)都是采用多级闪蒸技术。多级闪蒸装置级数一般可达 30~40 级,规模最大的单机建在阿布扎比和巴林,单机容量达日产 10 万立方米。多级闪蒸装置的生产在 80 年代初达到鼎盛时期,由于难以进一步降低造价和减少能耗,其产量从 1981 年开始逐年下降。目前工艺改进主要侧重在设备材料选择和装置简化两个方面。

低温多效技术于 80 年代初正式用于工业性的海水淡化工程,80 年代中期出现了大型低温高效海水淡化装置,其原理是 75℃ 左右的低温蒸气进入首效蒸发器,使其中的海水蒸发产生的首效蒸气作为

下一效的蒸发热源在热交换中冷凝为淡水,如此逐效蒸发,逐效淡化。同多级闪蒸相比,其传热效率更高,结垢腐蚀倾向更小,从而可减少投资、降低运行成本,成为极有发展前途的海水淡化技术。现已投入使用的蒸汽热泵多效蒸发(MED/TVC)最大单机容量已达日产1万立方米。增加单机容量、扩大产水规模、进一步降低能耗等是发展低温多效技术的重点领域。

压汽蒸馏技术虽发明较早,但在70年代以前的30年中发展缓慢,随着压气、密封、传热技术的提高,70年代初开始迅速发展起来。法国Sidem公司开发出来的低温多效压汽蒸馏装置,设备更为紧凑,电耗进一步降低。这种技术的原理是,经预热海水至蒸发器中受热汽化,产生的二次蒸气经压缩,提高其饱和温度和压力后,引入到蒸发器的冷凝侧换热,供给所需热量,冷凝水从蒸发器内抽出,并与进料海水换热而冷却。目前单机容量已达日产2000立方米。

反渗透(RO)技术是60年代发展起来的一项隔膜分离技术,70年代末投入工业性应用,现在日产饮用水2万立方米以上的海水淡化厂已投入运行。其原理是在以半透膜与淡水隔开的海水一侧施加大于海水渗透压(约25大气压)的外压,淡水分子在操作压力的作用下,通过反渗透膜,海水中的盐分留在膜一侧的原水里,纯水则反渗透至淡水中。膜组件是反渗过程的核心,因而国内外反渗透技术的研究始终是围绕膜组件而进行的。反渗透技术的特点是过程中无水相变化,能耗较少。海水淡化规模已由最初的日产不到100立方米发展到现在的日产4.5万立方米(巴林)和5.68万立方米(Jeddah),单机容量已达日产9000立方米。膜更换费用高、海水预处理要求严格,以及操作要求高是急待解决的问题。反渗透法的设计操作温度为25℃,在热带和亚热带地区使用较为合适。

电渗析(E-M)技术50年代初始于美国,当时是用于苦咸水淡化。1974年日本开创了运用电渗析技术作海水淡化的先例。其原理是海水在直流电场作用下,所含的阴阳离子分别通过相间排列的阴阳离子交换膜使相间各区间海水脱盐淡化,而其相邻各区间海水则被浓缩。由于电渗析法的耗电量和海水原水浓度密切相关,用作海水淡化成本较高,所以应用规模不大。目前研究开发的重点是:大容量膜堆和新型电渗析膜。

冷冻法的原理是,海水在结冰时,盐分被排除在冰晶以外,将冰晶洗涤、分离、融化后即可得到淡水。虽然目前对冰冻法尚有不同看法,但仍然是富有潜在优势的海水淡化技术,因为这种方法不需对原水作预处理,在低温下操作,结垢和腐蚀轻微而且能耗低、污染少。80年代以后,国外主要发展真

空冷冻法。由于还有一些技术问题尚待解决,至今世界上还没有进入实用阶段。

一般大型装置多采用水电联产的多级闪蒸和低温多效技术。中型装置以压气蒸馏和反渗透居多。电渗析因产水量小、耗电量大,多用于小型淡化站。水电联产的大型淡化装置都利用低品位热能,而压气蒸馏、反渗透和电渗析则多用电能。

国内海水淡化技术进展

我国现在海水淡化总容量日产不到1万立方米。60年代开始研制蒸馏淡化装置,到现在已研制和生产了近千台各式蒸馏淡化器,单机日产水能力近百立方米,装置形式有真空沸腾、多级闪蒸、压汽蒸馏等多种。1974年在天津建立了日产100立方米的多级闪蒸实验装置,实验时,日产淡水72立方米。1977年大连工学院建成了日产10立方米的竖管多效多级蒸发模拟装置。1986年天津大港发电厂从美国引进2台每台日产淡水3000立方米的多级闪蒸装置。90年代我国第一台日产30立方米的低温机械压气淡化装置在大连长海县投入运行。70年代中期开始应用太阳能淡化技术。最初用于甘肃的苦咸水地区,以后分别在南海岐州岛和西沙建立两台日产水能力分别为1.0立方米和0.2立方米的顶棚式直接蒸馏装置。1982年又在浙江嵊泗建成日产水量2.3立方米装置一台。1965年开始研究反渗透法,已用于苦咸水淡化、工业用水和高纯水制备,但尚未用于海水淡化。1958年开始研究电渗析技术,1974年建成日产7立方米电渗析装置,供海军使用。1977年在浙江嵊泗进行了风力发电电渗析海水淡化实验,日产淡水24立方米。1984年援助马尔代夫建成了日产50立方米的电渗析海水淡化站。1986年在西沙永兴岛建成日产200立方米、每立方米耗电16度的电渗析淡化站,其规模为世界之首。我国生产的电渗析设备已进入国际市场。

发展我国海水淡化产业

全球海水淡化总容量已经从1965年日产不到100万立方米增加到1994年底的日产1920万立方米,并已拥有日产100立方米以上的淡化装置10300个。中东地区增长最快,欧洲次之。阿布扎比、迪拜和沙加等城市通过海水淡化不但解决了居民用水,而且实现了沙漠变绿洲的愿望。可见,海水淡化在技术上已经发展到可以大规模生产,在经济上已经可以接受,在生产上已经形成一个新兴的高新技术产业。从战略上看,海水淡化实为解决人类淡水资源短缺的重要途径。

根据国外资料,采用多级闪蒸、低温多效和反

渗透技术时,中等规模(日产 2 000 立方米)装置每立方米淡水成本分别为 2.43、1.59 和 2.37 美元;大规模(日产 37 850 立方米)装置则分别为 1.25、1.08 和 1.09 美元。

根据对国外公司装置报价所作的分析,在我国采用多级闪蒸、低温多效和反渗透技术日产淡水 1 万立方米,考虑每度电价 0.30 元、设备按 25 年折旧等参数,每立方米淡水成本分别为 6.39、4.71 和 6.25 元。如电价增至每度 1.0 元,则每立方米淡水成本分别增至 12.34、8.56 和 10.73 元;如装置价格增长 30%,则每立方米淡水成本增至 7.14、5.34 和 6.82 元。我国专家预测,装置如在国内生产,其价格可降低 30%,此时每立方米淡水成本分别降为 5.64、4.08 和 5.68 元。可见,在我国沿海城市发展海水淡化产业,采用国际上已经成熟的多级闪蒸、低温多效和反渗透技术比较经济可行。

上海有的居住小区建立了优质水供应站,向居民供应饮用水。优质水系由自来水经粉末活性吸附、硅藻土过滤、静电加紫外线消毒而得。售价为 1 升 0.20 元,即 1 立方米 200 元。目前有 1/4 住户买水。每户按 4 人计算,月平均用水 0.24 立方米,花费 48 元。从这个情况可以看出,随着国家经济发展和人民生活水平的提高,人们对饮用水质的要求也越来越高,在沿海缺水城市发展海水淡化产业,水价虽然会高一些,但也会逐渐被人们所接受。

青岛引黄济青工程占地 6.2 万亩,投资 9.3 亿元,日供水 30 万立方米,1 立方米水价为 1.20 元。

如建日产 30 万立方米的水电联产海水淡化厂,占地只有两个足球场大,1 立方米水价为 1.68 元。虽然引黄济青工程占地均非可耕地,但从引黄河水对黄河流域的影响等总的经济分析来看,海水淡化可能仍不失为一个可选的替代方案。

综上所述,我们认为在我国发展海水淡化产业已有基础,从当前需要和长远发展来看,发展海水淡化产业是解决沿海城市缺水的重要途径。因此,建议国家尽快组织专门班子对下列问题进行深入调查研究:(1)国际海水淡化产业现状和发展趋势。(2)发展我国海水淡化产业的技术路线和经济分析。(3)在沿海城市建立示范工程方案,包括地点选择、资金来源、运作方式和效益分析等。(4)推进海水淡化产业的组织体制、科技攻关和政策措施。并在此基础上制定发展海水淡化产业的规划,组织实施。

主要参考文献

- [1]王俊鹤等:《海水淡化》,科学出版社,1978
- [2]徐梅生:“滨海地区利用海水是缓解水资源短缺的切实可行途径”,1994
- [3]汤纪忠:“滨海地区电厂的海水淡化技术”,《中国电力》,1996.1
- [4]中国市政工程西北设计研究院:“国内外海水淡化技术的现状及发展趋势”,1996
- [5]陆柱:“海水淡化技术的发展现状—国际海水淡化与水科学会议简介”,《净水技术》,1996

(责任编辑 王宏章)

科技动态

我国天文学家发现 147 颗活动星系核

[本刊讯]自 1994 年以来,参加攀登计划“天体剧烈活动的多波段观测和研究”项目的我国各天文台和大学的天文工作者用中国科学院北京天文台 2.16 米望远镜获得大丰收,共发现了 147 颗活动星系核。

这一系列发现是使用安装在北京天文台兴隆观测站的 2.16 米望远镜观测发现的。这台望远镜自 1992 年起投入光学天文联合实验室向国内外学者开放。国内外天文学家均可申请使用这台望远镜,根据课题的重要性和可行性获得使用这台望远镜的观测时间。由于这种灵活的开放机制,使得中国科学院以外的天文学家包括大学的教授获得了使用这台望远镜的机会。

这些新发现的活动星系核中有 100 颗是北京天文台的学者发现的,具体是由李启斌和胡景耀领导的研究小组完成的,该小组包括魏建彦、赵永恒、吴学兵 3 位年轻博士和曹莉、姜晓军等研究生。他们利用 X—射线卫星 ROSAT 所发现的 X 射源作光学证认,并用 2.16 米望远镜作光谱观测得到了上述发现。北京天文台发现的 100

个活动星系核中有 59 个类星体、37 个塞弗特星系、3 个蝎虎座 BL 天体候选体和一个低电离核区。

中国科学院云南天文台的谢光中研究员及其所领导的小组,发现了 12 个蝎虎座 BL 天体,它几乎使目前已知的该类天体总数增加了近 10%。此外,他们还发现了 4 个类星体。

北京师范大学的何香涛教授和南京师范大学的黄克谅教授分别发现了 6 颗和 2 颗类星体。

南京大学黄介浩教授和紫金山天文台苏洪钧研究员所领导的研究小组利用红外天文卫星资料,发现了 23 个塞弗特星系。在两个塞弗特星系中还发现有演化晚期大质量恒星的特征,这表明在约 100 万年前它们有大规模的恒星产生,这对研究活动星系核的演化有重大意义。

发现这些新天体的天文学家正在联合进行一项活

(下转第 46 页)