

# 海水淡化技术应用与产业发展研究报告

聂鑫

神华国华广投（北海）发电有限责任公司，广西北海 536000

## Research Report on the application and development of seawater desalination technology

NIE Xin

Shenhua Guohua Guangtou（Beihai） Power Generation Company Limited Guangxi Beihai 536000

### 目录

0	引言	2
1	海水淡化技术概况	3
2	海水淡化工艺技术比较	8
3	几种淡水获取方式的成本比较	11
4	新能源与海水淡化	12
5	国际海水淡化产业概况	12
6	我国典型海水淡化工程	15
7	我国海水淡化市场空间与投资价值	16
8	我国当前海水淡化产业政策环境	17
9	我国当前海水淡化产业发展对策	21
10	我国海水淡化产业现状	22
11	我国海水淡化产业发展历程	23
12	我国海水淡化产业发展模式	24
13	我国海水淡化产业科技发展状况	30
14	我国海水淡化产业主要生产企业	32
15	我国海水淡化产业政府相关计划和研究项目	33
16	我国海水淡化产业相关企业研发投入	34
17	我国海水淡化产业存在问题	34
18	我国海水淡化产业发展对策及建议	35

---

收稿日期:

作者简介: 聂鑫 (1970-), 男, 大学本科, 高级工程师, 从事海水淡化及水处理工程技术管理工作。

**Abstract:** Seawater desalination is an important way to solve the crisis of water resources, the paper is divided into 18 chapters, respectively introduces the seawater desalination technology overview, seawater desalination technology, several mainstream comparative methods of obtaining fresh water cost, new energy and desalination, seawater desalination industry international situation, China's typical seawater desalination project, China's current water desalination industry policy environment, China's current desalination industry development strategy, China's desalination industry situation, China's desalination industry development, China's desalination industry development model, China's desalination industry science and technology development, China's desalination industry is the main production enterprises, China's desalination industry and government plans the research project, China's desalination industry related enterprises R & D investment, China's desalination industry problems and the China Sea Water desalination industry development countermeasures and suggestions, is a macro and comprehensive introduction to the current development of China's sea water desalination industry and the economic development of the industry.

**Key words:** seawater desalination; technical application; Industrial Development

**摘要:** 海水淡化是解决淡水资源危机的重要途径,全文共分为 18 个章节,分别介绍了海水淡化技术概况、海水淡化主流技术对比、几种淡水获取方式的成本比较、新能源与海水淡化、国际海水淡化产业概况、我国典型海水淡化工程、我国当前海水淡化产业政策环境、我国当前海水淡化产业发展对策、我国海水淡化产业现状、我国海水淡化产业发展历程、我国海水淡化产业发展模式、我国海水淡化产业科技发展状况、我国海水淡化产业主要生产企业、我国海水淡化产业政府相关计划和研究项目、我国海水淡化产业相关企业研发投入、我国海水淡化产业存在问题以及我国海水淡化产业发展对策及建议等,是宏观和全面介绍我国当前海水淡化产业发展与行业经济的综述性文章。

**关键词:** 海水淡化; 技术应用; 产业发展

## 引言

21 世纪将是水的世纪。20 世纪初,国际上就有“19 世纪争煤、20 世纪争石油、21 世纪争水”的说法,第 47 届联合国大会将每年的 3 月 22 日定为“世界水日”,号召世界各国对全球普遍存在的淡水资源紧缺问题引起高度警觉。从全球范围来看,根据联合国统计,全球淡水消耗量 20 世纪初以来增加了约 6~7 倍,比人口增长速度高 2 倍,全球目前有 14 亿人缺乏安全清洁的饮用水,即平

均每 5 人中便有 1 人缺水。估计到 2025 年,全世界将有近 1/3 的人口(23 亿)缺水,波及的国家和地区达 40 多个,我国是其中之一。我国被联合国认定为世界上 13 个最贫水的国家之一,我国淡水资源总量名列世界第六,但人均占有量仅为世界平均值的 1/4,位居世界第 109 位,而且水资源在时间和地区分布上很不均衡,有 10 个省、市、自治区的水资源已经低于起码的生存线,那里的人均水资源拥有量不足 500 立方米。目前我国有 300 个城市缺水,其中 110 个城市严重缺水,它们主要分布在华北、东北、西北和沿海地区(我国重点缺水地区分布如图 1 所示),水已经成为这些地区经济发展的瓶颈。与此同时,我国万元 GDP 用水量则是世界平均水平的 4 倍,淡水资源短缺乃至水危机已是我国经济社会可持续发展过程中的最大瓶颈之一。2010 年后,我国进入严重缺水期,有专家估计,2030 年前我国的缺水量将达到 600 亿立方米。因此,为保证我国经济的可持续发展,淡水资源问题的解决已迫在眉睫。

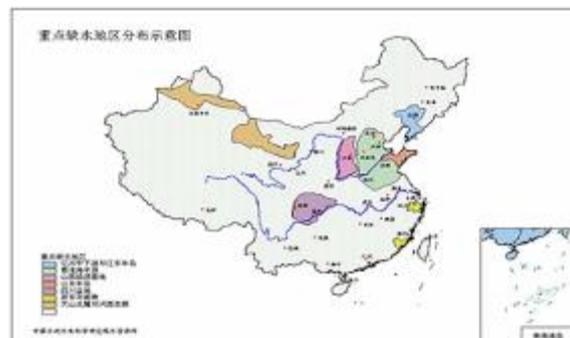


图 1 我国重点缺水地区分布示意图

随着经济社会的高速发展和人口的急剧增加,淡水资源危机问题已经成为仅次于全球气候变暖的世界第二大环境问题。全球水总储量共约 13.86 亿立方千米,其中包括海水在内的全部咸水储量占全球水储量的 97.5%,而包括冰川与永久积雪、地下淡水、河流等水体、大气中的水分和生物体中的水分等在内的淡水储量只占全球水储量 2.5%。淡水储量中人类难于利用的如冰川与永久积雪、永冻地层中的冰就占淡水总储量的 69.5%,地下淡水量只占淡水总储量的 30.1%,人类能够开发利用的地下水只占其极少一部分。目前全世界 224 个国家和地区中约有 80 多个国家和地区严重缺水,缺水国家和地区面积占地球陆地面积的 60%。全球 63 亿人口中约有 15 亿人缺少

饮用水，20亿人得不到安全的用水。由于世界人口数量的增加和人们生活质量的不断提高，世界淡水需求量在持续增加。据推测，到2040年世界淡水年需求量将超过世界淡水年供应总量。

进行海水淡化和直接利用海水对沿海缺乏淡水资源的国家和地区具有重大的现实意义和深远的战略意义。目前，全球已有150多个国家在开发及应用海水利用技术，并取得了良好的经济和社会效益。已建成海水淡化工程1.3万个，2008年全球海水淡化日均产量已达6348万立方米。全球海水淡化工程总投资额达248亿美元，并以每年20%-30%的速度增长，2015年，预计将达564亿美元，海水利用产业正迎来一个跨越式发展的契机。

地球表面的2/3被水覆盖，可谓水资源极为丰富，但地球上水的总储量中97%是咸水（包括海水和苦咸水），在余下的3%的淡水中，又有77%是人类难以利用的两极冰盖、冰川、冰雪。人类实际可利用的淡水只占全球水总量的0.7%，而且大部分属于不可再生的枯竭性地下水。解决淡水紧缺问题有很多途径，核心原则是“开源节流”，地表水资源较丰富地区，可建蓄水工程；地表水资源贫乏地区，可实施跨流域调水；海水和苦咸水淡化；此外还有废水利用、治理水污染、节约用水等。“开源”方面，在我国，地下取水已受到越来越多的限制，为此几十年来兴建了一批大型蓄水工程和跨流域调水，并大力提倡和推动污水回用和水的再利用。但兴建新的蓄调水工程，投资比过去大大增加，而跨流域引水则随着调水距离越来越远，调水成本越来越高，加上被引水地区的环境危害和间接经济影响以及引水的质量问题，远距离调水的传统办法正受到越来越多的质疑。而最为关键的是，这些措施并没有从根本上增加淡水资源的总量，我国淡水紧缺的问题依然十分严峻。

我国海岸线总长为32647公里，被列为海洋大国，而且沿海和中西部地区拥有极为丰富的地下苦咸水资源，在地下取水和跨区域调水受到越来越多的条件限制的情况下，开发利用海水和苦咸水资源，进行海水（苦咸水）淡化就成为开源节流、解决我国淡水紧缺的一条有效的重要战略途径，发展海水（苦咸水）淡化技术，向大海要淡水也已经成为当今世界各国的共识。海水淡化

是当今世界竞相研究的高新技术，美、法、日、以色列等国的技术已经非常发达，而且已形成海水淡化产业。我国的海水淡化技术研究始于50年代，经过40多年的发展，也培养和锻炼了自己的海水淡化专门人才，组建了一些专门科研开发机构，在蒸馏淡化、反渗透两大技术领域，经过几个五年计划的攻关，多项工程的实践，已具有较丰富的经验，但由于人们对海水淡化的认识不完全，国家经费投入少，使得这些技术不能得到很快地发展。

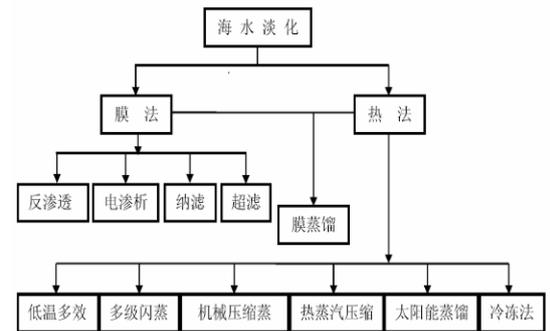


图2 基于分离过程的海水淡化技术分类

## 1 海水淡化技术概况

海水淡化，是指从海水中获取淡水的技术和过程，通过脱除海水中的大部分盐类，使处理后的水符合规定用水标准的水处理技术。最初是航海的兴起推动了海水淡化技术的发展，至今淡化方法已出现了数十种，但达到商业规模的主要有反渗透法和蒸馏法，也就是常说的“膜法”和“热法”。

“热法”是指通过热能传递使介质（水）发生相变，如海水变成蒸汽，再冷凝成淡水，达到脱盐的目的，有低温多效蒸馏、多级闪蒸、压汽蒸馏、冷冻等。“膜法”是指通过压力或电流的作用使水通过一种选择性的膜，达到脱盐的目的，主要有电渗析、纳滤及反渗透等。

传统观念认为，淡水是一种自然资源，不能通过普通的物理化学处理使其他水源具有淡水所要求的特性。近年来，淡水被认为是可以由人为制造出来的产品，其质量标准由特定用途决定。这样，可以通过海水淡化这一非传统方法持续获得淡水产品。海水淡化即利用海水脱盐生产淡水，是指将含盐量为35,000mg/L的海水淡化至含盐量在1000mg/L以下的淡水。一般而言，海水淡化技术可以按照以下三个标准进行分类：（1）采用的分离过程；（2）从海水提取的物质；（3）使用能

源的类型。

热法工艺主要包括低温多效蒸馏 (Multi-Effect Distillation, MED)、机械压缩蒸馏 (Mechanical Vapor Compression, MVC)、多级闪蒸 (Multi-Stage Flash, MSF)、热蒸汽压缩 (Thermal Vapour Compression, TVC)、太阳能蒸馏 (Solar Stills) 和冷冻法 (Freezing) 等工艺; 膜法工艺主要是指反渗透 (Reverse Osmosis, RO)、电渗析 (Electrodialysis, ED)、超滤 (Ultrafiltration, UF) 和纳滤 (Nanofiltration, NF) 等工艺。国际上海水淡化热法和膜法技术已经十分成熟, 可以在低成本、低能耗的情况下每个工程日产淡水几十万立方米甚至几百万立方米。其中反渗透和多级闪蒸分别占整个海水淡化市场的 50% 和 40%。基于分离过程的海水淡化技术分类如图 2 所示。

海水淡化的热法主要有多级闪蒸 (MSF)、低温多效蒸馏 (MED) 和压汽蒸馏 (MVC) 三种技术, 前两种技术主要采用蒸汽作热源, 多与电厂结合、抽取汽轮机蒸汽制造蒸馏水。压汽蒸馏技术是利用热泵蒸发技术, 它仅使用电能, 应用对象主要是没有热源的岛屿地区。膜法主要指反渗透 (RO) 技术, 它利用半透膜, 在压力下允许水透过而使盐分和杂质截留的技术。

热法工艺中的低温多效蒸馏工艺至今已有 400~500 年的历史, 发展较为成熟。单级蒸发工艺出现在十六世纪的船舰甲板上, 主要通过木柴炉或煤炭炉对海水进行蒸发处理获取淡水。二十世纪六七十年代, 出现了淡水能力 5000m<sup>3</sup>/d 的低温多效蒸馏工艺。2006 年, 低温多效蒸馏机组的淡水能力已达 36,000m<sup>3</sup>/d。多数机组在低温条件 (低于 70℃) 下运行, 不仅降低了蒸汽泵外表面的结垢速度, 还实现了热能或机械蒸汽压 (上一流程结束时的蒸汽被重新压缩, 温度可高于 30~40℃) 的有效利用。低温多效蒸馏工艺总生产能力占海水淡化热法市场的 12.5% 左右, 占海水淡化市场的 6%。随着其在海湾地区的日产水能力的增长和全球范围内大型设备的上马, 低温多效蒸馏工艺的市场份额日渐增长。沙特阿拉伯, 阿曼和卡塔尔不足 100,000m<sup>3</sup>/d, 接近大型多级闪蒸单机日产水能力。阿拉伯联合酋长国低温多效蒸馏海水淡化工艺产水量最多, 达到 600,000m<sup>3</sup>/d。然而这种产水能力仍不足该地区多级闪蒸产水量的

10%。需要指出的是, 科威特地区不采用低温多效蒸馏工艺进行海水淡化。图 3 和图 4 分别是 SWRO、MED、MSF 的国际市场总体占有率和分地区占有率的对比图。

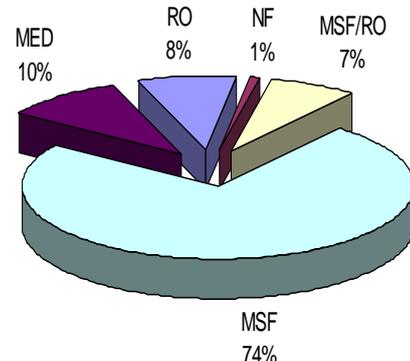


图 3 SWRO、MED、MSF 的国际市场总体占有率对比

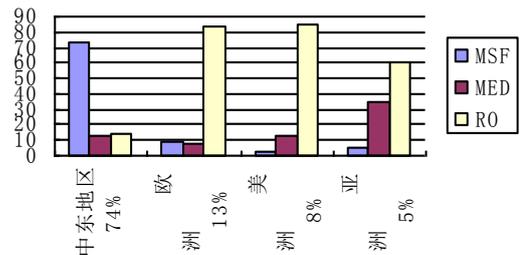


图 4 SWRO、MED、MSF 的国际市场分地区占有率对比

### 1.1 膜法工艺

目前正在海水淡化厂运行的基本膜法工艺, 包括反渗透、电渗析、超滤和纳滤等, 其中又以反渗透工艺为主。在过去的几十年里, 与采用热法技术的企业相比, 使用反渗透工艺的企业数量和企业生产能力也都有所增长, 尤其是在多级闪蒸工艺和低温多效蒸馏工艺在中东国家获得巨大发展之后, 反渗透工艺引领了包括欧洲, 美洲和澳大利亚在内的西方海水淡化市场。反渗透技术最初用于处理微咸水或苦咸水, 二十世纪八十年代, 膜的性能得到很大改善。膜在提高水渗透性的同时, 也提高了盐截留率。目前, 反渗透膜可以在低压条件下通过单程工艺将海水含盐量降低

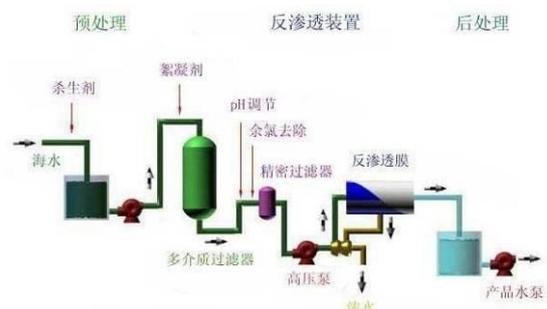


图 5 海水反渗透工艺流程图

到可饮用的标准。反渗透海水淡化设备的大规模使用首先出现在美国佛罗里达州，随着时间的推移，由于其低能耗和更好的经济性，与热法相比反渗透技术获得了迅速的发展。目前，反渗透技术的淡水供应能力已超过 1.5 亿  $m^3/d$ ，且仍在以每年 10% 的速度增长。

#### 1.1.1.1 电渗析技术(ED)

(1) 基本原理：电渗析以直流电为推动力，利用阴、阳离子交换膜对溶液中阴、阳离子的选择透过性，使一个水体中的离子通过膜迁移到另一个水体中的物质分离过程。

(2) 主要特点：电渗析为无相变过程。所耗电能主要用于迁移溶液中的电解质离子，所耗的电能与溶液浓度成正比，对于不导电的颗粒没有去除能力。电渗析技术用于海水淡化时能耗大，大规模的海水淡化工程基本上不采用。但将 1000~3000 毫克/升的苦咸水脱盐至 500 毫克/升的饮用水是经济可行的。

(3) 适用范围：原水含盐量低于 3000 毫克/升的苦咸水淡化装置。

#### 1.1.1.2 海水反渗透 (SWRO)

(1) 基本原理：用一张只透过水而不能透过盐的半透膜将淡水和盐水隔开，淡水会自然地透过半透膜至盐水一侧，这种现象称为渗透。当渗透到盐水一侧的液面达到某一高度时，渗透的自然趋势被这一压力所抵消从而达到平衡。这一平衡压力即为该体系的渗透压，如在盐水一侧加一个大于渗透压的压力，盐水中的水会透过半透膜到淡水处。这种与自然渗透相反的水迁移过程称为反渗透。

(2) 工艺流程：进料海水经预处理，去除悬浮固体及其它有害物。然后经高压泵增压后，进入膜脱盐设备，产出的中间淡水产品进入后处理设施（按淡水不同用途选择，如作饮用水，需 pH 调节和加氯杀菌设备），精制成终产品淡水。浓盐水自膜脱盐设备排出。SWRO 工艺流程如图 5 所示。

### 1.2 热法工艺

具有最大生产能力的热机组为多级闪蒸系统，其次是低温多效蒸馏工艺和机械压缩蒸馏。

#### 1.2.1 多级闪蒸 (MSF)

所谓闪蒸，是指一定温度的海水在压力突然降低的条件下，部分海水急骤蒸发的现象。多级闪蒸海水淡化是将经过加热的海水，依次在多个压力逐渐降低的闪蒸室中进行蒸发，将蒸汽冷凝而得到淡水。

(1) 基本原理：多级闪蒸是将海水加热到一定温度后，引入到一个闪蒸室，其室内的压力低于海水所对应的饱和蒸汽压，部分海水迅速汽化，冷凝后即所需淡水；另一部分海水温度降低，流入另一个压力较低的闪蒸室，又重复蒸发和降温的过程。将多个闪蒸室串联起来，室内压力逐级降低，海水逐级降温，连续产出淡化水。

(2) 工艺流程：经过澄清和加氯消毒处理的海水，首先送入排热段作为冷却水。离开排热段的大部分冷却海水又排回海中，小部分作为进料海水（补给海水），经预处理后，从排热段末级闪蒸室流入第一级闪蒸室，如技术原理所说明的那样，逐级降压，海水逐级降温，连续产出淡化水。MFS 工作原理和工艺流程分别如图 6 和图 7 所示。

多级闪蒸的造水比，是所得淡水（蒸馏水）的重量与所耗加热蒸汽的重量之比，是淡化厂经济效益的直接体现，通常小型装置的造水比较小，大型装置的造水比较高，如日产淡水几百吨或四、五千吨的装置，造水比一般为 5-8 左右；日产淡水一万吨的装置，造水比多在 10 左右；日产淡水四、五万吨的装置，造水比可达到 13-14。

(3) 主要优缺点：单机容量大，最大的可达到 5 万吨/天；产品水盐度一般为 3—10 毫克/升。但是，其工程投资高，为反渗透法的 2 倍；动力消耗大；设备的操作弹性小，是设计值的 80%~110%，不适应于造水量要求可变的场合；当其传热管腐蚀穿孔将污染水质。

(4) 适用范围：可用于以火电厂或核电厂的背压或抽汽式透平的低位蒸汽为热源的大型海水淡化工程，为高中压锅炉提供优质脱盐水，也可以是生活用淡水。

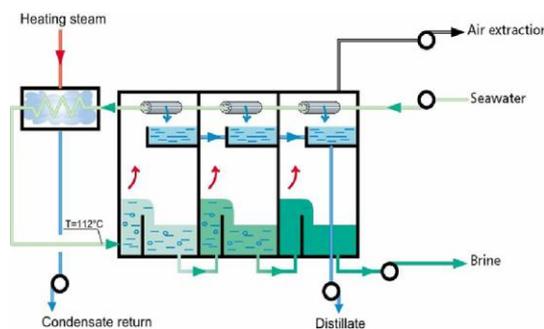


图 6 MFS 工作原理图

目前全球海水淡化装置仍以多级闪蒸方法产量最大，技术最成熟，运行安全性高弹性大，主要与火电站联合建设，适合于大型和超大型淡化装置，主要在海湾国家采用。多级闪蒸技术成熟、运行可靠，主要发展趋势为提高装置单机造水能力，降低单位电力消耗，提高传热效率等。

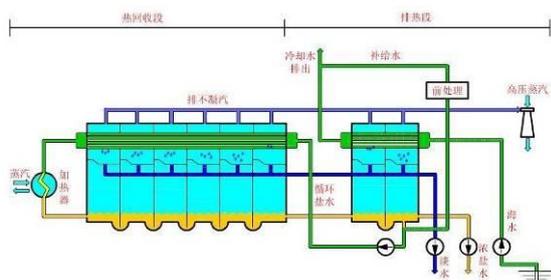


图 7 MFS 工艺流程图

### 1.2.2 低温多效蒸馏（MED）

所谓低温多效蒸馏海水淡化技术是指盐水最高蒸发温度（TBT）不超过 70℃ 的海水淡化技术，其特征是将一系列水平管降膜蒸发器或垂直管降蒸发器串联起来并被分成若干效组，用一定量的蒸汽输入通过多次的蒸发和冷凝，从而得到多倍于加热蒸汽量的蒸馏水。低温多效蒸馏技术是将一系列的蒸发器串联，海水通过喷淋系统，以薄膜形式流过各蒸发效的换热管束外部，同时从汽轮机抽出的低压蒸汽流经热压机，引射部分海水蒸发产生的蒸汽，共同输入到第一蒸发效的换热管内部，在换热管外流动的海水吸收蒸汽冷凝的汽化潜热而汽化，产生的蒸汽引入下一蒸发器作为加热蒸汽并在下一蒸发器中凝为蒸馏水，经过多次蒸发和凝结过程产生高品质淡水。

(1) 基本原理：将一系列的水平管喷淋降膜蒸发器串联起来，蒸汽进入第一效蒸发器，与进料海水热交换后，冷凝成淡化水；海水蒸发，蒸

汽进入第二效蒸发器，并使几乎同量的海水以比第一效更低的温度蒸发，自身又被冷凝。这一过程一直重复到最后一效。连续产出淡化水。

多效蒸馏分为低温和高温多效蒸馏。高温多效蒸馏可安排更多的传热效数，以达到较高的造水比，其热效率较高。但是，头几效盐水的蒸发温度较高，传热管易结垢且腐蚀速度快，因而对设备的材料要求高，需频繁清洗设备，对海水预处理要求也高。针对高温多效蒸馏的缺点，发展了低温多效蒸馏技术，其特点是盐水的蒸发温度不超过 70℃，减缓了设备的腐蚀和结垢；并得到 10 左右的造水比。同时由于使用了较低价的传热材料，使得同样的投资规模可以安排更多的传热面积。

(2) 工艺流程：海水在冷凝器中预热、脱气之后分成两股，一股排回大海，另外一股为进料液。料液加入阻垢剂，引入到蒸发器温度最低的效组中。喷淋系统把料液分布到顶排管上，自上向下的降膜过程中，一部分海水吸收了管束内冷凝蒸汽的潜热而汽化；冷凝液以淡化水导出，蒸汽进下一效组，剩余料液也泵入下一效组中，该效组的操作温度高于上一效组。在新的效组中又重复了蒸发和喷淋过程，直到料液在温度最高的效组中以浓缩液的形式排出。MED 工作原理和工艺流程分别如图 8 和图 9 所示。

(3) 主要优缺点：热效率比多级闪蒸高，30 余度的温差可达到 10 左右的造水比；操作负荷可从 40% 到 110% 变化，造水比不会下降，弹性较大；能耗较低；前处理较简单，化学药剂消耗较低；系统的操作安全可靠，即便发生传热管泄漏，仅仅降低产量而不会影响水质。但低温多效蒸馏设备体积较大，装置费用较高。

(4) 适用范围：多效蒸馏与多级闪蒸的适应条件基本相同。

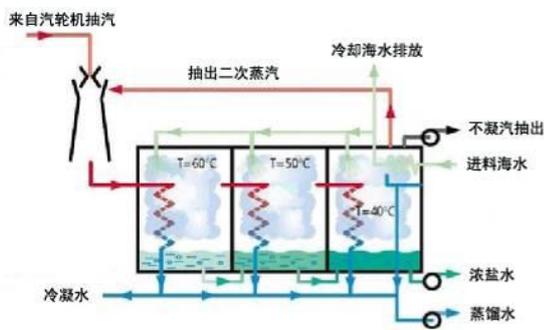


图 8 MED 工作原理图

### 1.2.3 机械压缩蒸馏 (MVC)

蒸汽被压缩后，压力增高，温度也随之上升。根据这个原理，可将压缩机的机械功转化为海水蒸发所需要的热能。对于二效蒸汽压缩蒸馏装置而言，可用第一效的二次蒸汽加热第二效的海水；但是第二效的二次蒸汽的压力和温度都比较低，

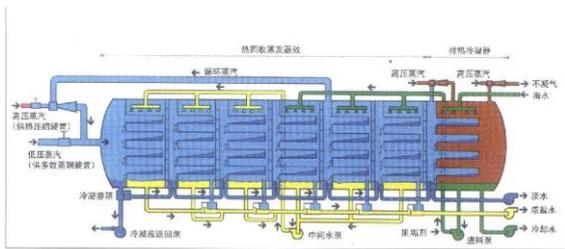


图 9 MED 工艺流程图

必须用压缩机提高其压力和温度之后，才能用来加热第一效的海水。蒸汽压缩蒸馏的热效率比其他蒸发过程高得多，而且能直接用柴油机驱动，单位体积产量高，很适用于舰艇、岛屿和野战的条件 (MVC 工艺流程如图 7 所示)。

(1) 基本原理：海水蒸发过程所产生的二次蒸汽，经压缩机增压，蒸汽饱和温度相应提高，再输入到蒸发器管束内，作为进料海水蒸发的热源，并自身冷凝为淡化水。上述过程周而复始，连续生产。

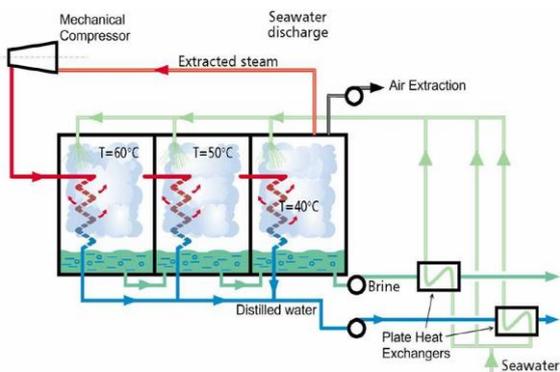


图 10 MVC 工作原理图

压汽蒸馏按操作温度可分为常压压汽蒸馏和负压压汽蒸馏两种。从结构上，又分为水平管降膜喷淋式和垂直管式两种形式；前一结构的优点是料液自液体分布器出来之后，在水平传热管上

以薄膜的形式分布，又依靠重力向下实现再分布，由于液膜分布薄且均匀，因而传热系数高，并且蒸发器结构简单，在海水淡化领域得到广泛应用。

(2) 工艺流程：进料海水用极少量阻垢剂预处理后，进入一个板式换热器，回收自蒸发器排放出的浓盐水和淡化水的热量。之后，与循环的浓盐水混合，进入到蒸发器中，喷淋到水平传热管束的外表面上，喷淋量需刚好在管子表面形成连续的液膜，与管束内经压缩机增压的蒸汽（略低于浓盐水蒸发平衡压力）热交换。管内蒸汽冷凝成淡水导出，管外一部分盐水产生蒸发，通过汽液分离器除去夹带的液滴之后，蒸汽进压缩机压缩并导入传热管束内。如此构成了二次蒸汽的

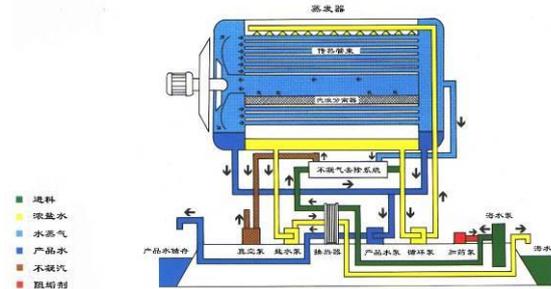


图 11 MVC 工艺流程图

不断循环和潜热交换。MVC 工作原理和工艺流程分别如图 10 和图 11 所示。

(3) 主要优缺点：压汽蒸馏与多效蒸馏的技术十分类似，差别在于前者使用压缩机，而后者用蒸汽驱动。

(4) 适用范围：适用于仅有电能的地方，主要建造中小型装置。

除了单程多效闪蒸外，热法海水淡化所有系统不仅可以在海水温度起伏较大的情况下运行，而且还可以对较宽范围盐渍度的海水进行淡化。造水比是指每单位蒸汽产生的淡水量，是热机组最重要的性能参数之一；单产能耗是指每单位产品所消耗能源量，是热机组的另一个基本性能参数。多级闪蒸和低温多效蒸馏工艺的造水比在 8 到 10 之间波动，而 MED-TVC（低温多效蒸馏—热蒸汽压缩）的造水比增至 8-16 之间。因此，多数现存的 MED-TVC 装置可以以独立运行模式运行。与此相反的是，由于火电厂可以低成本的提供低压蒸汽和电力，因此多级闪蒸和低温多效蒸馏往往与火电厂耦合。

多级闪蒸和低温多效蒸馏海水淡化工艺的热能来源于低压蒸汽，同时内部的采抽需要电能。而机械压缩蒸馏和反渗透只需电能就可以使压缩机和流程泵运转。

## 2 海水淡化工艺技术比较

多数学者认为，反渗透（SWRO）、低温多效蒸馏（MED）和多级闪蒸（MSF）将决定海水淡化的未来。

### 2.1 几种海水淡化系统的技术比较

近十年来，反渗透法海水淡化发展趋势较快，而且出现了日产万吨级的大型海水淡化装置。但目前国际上，蒸馏法用于海水淡化方面所占的比例仍是较高的。蒸馏法和反渗透法相比较：

（1）能耗：从脱盐的直接能耗来说，反渗透法明显优于单目的的蒸馏法，但不明显优于双目的(热电造水)的蒸馏法。而且由于反渗透膜的寿命短，换膜费用高，膜本身就反映了能耗。对蒸馏法来说，过程的直接能耗，不同地区差别很大，需要进行技术经济比较确定。

（2）海水淡化的制水总成本：由于膜的寿命和膜装置的限制，使得膜法在大规模处理海水中仍处于不利地位。因为反渗透法的制水成本，受膜寿命和装置规模的不利影响超过了低能耗所带来的好处，一般认为海水淡化装置容量超过日产 6000t 淡水时，双目的蒸馏法比反渗透法更经济。

（3）海水的预处理：进入蒸馏装置的海水无需进行预处理，仅设置海水过滤网即可。而进入海水反渗透装置的海水需进行絮凝澄清、过滤和加氯等预处理。并且由于反渗透的水利用率低，所以预处理系统庞大，投资也较高，占地面积也大。

（4）其他配套设施：对于新建电厂，蒸馏法需要启动蒸汽，因此启动锅炉的容量应该考虑满足淡化设施的需要，启动锅炉的补充水应考虑一套单独的水处理设施用于启动；另外，由于没有备用设备，需要淡水水源作为工业用水的备用水源。而膜法不需要启动蒸汽，机组启动时，给水水温较低，对淡化设备出力稍有影响，并不影响机组的启动用水，不需要考虑额外的启动设施；淡化设备考虑有足够的备用出力，可以满足设备检修时的用水的需要。

### 2.2 几种海水淡化工艺技术的综合比较

表 1 和表 2 是分别几种海水淡化技术和性能的比较。

表 1 海水淡化技术概念性比较

序号	比较项目	MSF	MVC	LT-MED	SWRO
1	产水纯度	3	3	3	2
2	发展情况	3	3	3	2
3	预处理的要求	2	3	3	2
4	操作人员的技能要求	2	3	3	2
5	装置的维护要求	2	2	2	2
6	运行的稳定性	3	3	3	3
7	灵活性	2	3	3	3
8	工艺的可靠性	2	2	3	2
9	优点指数	17	22	23	18

评分标准：3=满意 2=中等 1=低质量或易出故障 0=性能不好

表 2 海水淡化技术性能比较

比较项目	SWRO	MED	MVC	MSF
产品水质 mg/L	300-500	5-10	5-10	5-10
操作温度 °C	5-45	<70	<70	≈110
装置总能耗 kWh/m <sup>3</sup> (有能量回收)	5.0-6.0	5.0	8.0	8.0
原水预处理	要求高	要求低	要求低	不需要
水利用率 %	<40	15-40	15-40	12-25
腐蚀结垢倾向		较小	较小	较大,要加酸和脱气
建造材质要求		低	低	高

### 2.3 几种海水淡化技术的海水浓缩倍率

蒸馏法海水淡化系统中海水浓缩倍率为 2 倍。反渗透法海水淡化系统中海水浓缩倍率为 1.4 倍（一级反渗透回收率按 40%，脱盐率按 98%；二级反渗透回收率按 75%，脱盐率按 98%）。

### 2.4 几种海水淡化设备投资

表 3 是几种海水淡化设备投资比较估算。

表 3 海水淡化设备投资比较估算

名称	SWRO	MED	MSF	MVC
估算总价 (万元)	9000	15000	17000	16000

### 2.5 四种主流海水淡化技术制水成本分析（注：由于每个项目的具体情况不同，此项分析仅作为参考或作为一种计算思路）

#### 2.5.1 MED

低温多效蒸馏装置的造水成本可以分为如下几个部分：化学药品消耗，电力消耗，人工工资、福利及管理费用，维修费用和设备折旧费用。淡化装置的年利用率以 95% 计算，其各部分费用如下：

(1) 化学药品消耗：低温多效蒸馏加入聚磷酸盐类阻垢分散剂 5 mg/L，水的回收率为 50%，每吨淡水消耗阻垢分散剂 10.0 克，阻垢分散剂的价格 10000 元/吨，每吨淡水消耗阻垢分散剂 0.10 元。周期性的加入液氯作杀生剂，平均加量以 1mg/L 计，杀生剂价格 1000 元/吨，每吨淡水消耗杀生剂 0.002 元。低温多效蒸馏装置每年清洗一次，清洗剂的消耗量根据结垢程度决定，根据原料水条件以及国外清洗剂消耗量的经验，清洗剂的消耗平均以 3000 公斤/年计算，其价格以 15000 元/吨计算，每吨淡水消耗清洗剂 0.06 元。化学药品费用合计为 0.162 元。

(2) 热力消耗：低温多效蒸馏装置的造水比为 10，每吨淡水消耗 100 公斤蒸汽，低温多效装置使用发电厂第五级透平的乏蒸汽，其平均价格以每吨蒸汽 16 元计算。每吨淡水的热力消耗为 1.60 元。

(3) 电力消耗：低温多效蒸馏装置生产一吨淡水的电力消耗为 2.0kWh。每度电价以 0.3 元计，低温多效的吨水电力成本为 0.6 元。

(4) 职工工资福利费用：低温多效蒸馏的自动化程度较高，淡化装置每班设二人操作就行。人员的配备采用三班十二人制，人均年工资 20000 元，每吨淡化水的工资费用为：0.046 元。福利费用取为工资额的 15%，每吨淡水的福利费用为 0.007 元。职工工资福利费用为 0.053 元/吨。

(5) 大修及检修维修费用：根据国家规定，供水工程的大修及检修维护费取固定资产原值的 1.5%，每吨淡化水的大修及检修维修费用为 1.03 元。

(6) 管理费：管理费取为劳动力费用的 20%，每吨淡化水的管理费用为 0.01 元。

(7) 固定资产折旧费用：固定资产的折旧年限为 20 年，固定资产残值为 4%，固定资产原值为 15000 万元，每吨淡水的固定资产折旧费用为 1.37 元。

低温多效蒸馏海水淡化的单位造水成本约 4.825 元/吨。

### 2.5.2 SWRO

在进行水的成本分析时，反渗透膜的使用寿命以 3 年计，工程的折旧年限以 15 年计，银行贷款的还款年限以 15 年、年利率以 6% 计，装置的年利用率以 95% 计算，其造水成本的各项费用分

别为：

(1) 化学药品消耗：600t/h 反渗透淡化装置的化学药品加入量为：聚合氯化铁 5mg/L，次氯酸钠 4mg/L，亚硫酸氢钠 5mg/L，阻垢缓蚀剂（FLOCON/SHMP）2mg/L。水的回收率为 45%，海水反渗透的吨水化学药品费用分别为：聚合氯化铁，0.023 元；次氯酸钠，0.009 元；亚硫酸氢钠，0.022 元；阻垢剂，0.253 元；清洗剂，0.034 元；离子交换再生药剂费，0.05 元。反渗透淡化的化学药品消耗总量为 0.391 元/吨。

(2) 电力消耗：反渗透装置的第一级电力消耗为 3.9kWh，第二级电力消耗为 1.0kWh，加上离子交换、引水和其他附属设置及照明等的费用，淡化一吨淡水的总电力消耗为 5.7kWh。每度电价以 0.3 元计，海水反渗透的吨水电力成本为 1.71 元。

(3) 职工工资福利费用：海水反渗透的预处理部分需要人工维护，淡化装置每班设 3 人操作。人员的配备采用三班 9 人制，人均年工资 20000 元，每吨淡化水的劳动力费用为：0.034 元。福利费用取为工资额的 15%，每吨淡水的福利费用为 0.005 元。职工工资福利费用为 0.04 元/吨。

(4) 大修及检修维护费用：反渗透淡化工程的年大修及检修维护费用为其固定资产原值的 1.5%，则每吨淡化水的维修费用为 0.23 元。

(5) 管理费：管理费取为劳动力费用的 20%，每吨淡化水的管理费用为 0.008 元。

(6) 膜更换费用：海水反渗透膜寿命以 3 年计，膜的更换费用为 0.923 元。

(7) 固定资产折旧费用：固定资产的折旧年限为 15 年，固定资产残值为 4%，固定资产原值为 8000 万元，每吨淡水的固定资产折旧费用为 0.97 元。

反渗透海水淡化的单位造水成本约 4.272 元/吨。

### 2.5.3 MSF

多级闪蒸的造水成本可以分为如下几个部分：化学药品消耗，电力消耗，人工工资、福利及管理费用，维修费用和设备折旧费用。淡化装置的年利用率以 95% 计算，其各部分费用如下：

(1) 化学药品消耗：多级闪蒸加入阻垢分散剂 5mg/L、33% 盐酸 100mg/L，水的回收率为 50%，每吨淡水消耗阻垢分散剂 10.0 克、33% 盐酸 200

克，阻垢分散剂的价格 10000 元/吨，每吨淡水消耗阻垢分散剂 0.10 元、盐酸 0.10 元。周期性的加入液氯作杀生剂，平均加量以 1mg/L 计，杀生剂价格 1000 元/吨，每吨淡水消耗杀生剂 0.002 元。多级闪蒸装置每年清洗二次，清洗剂的消耗量根据结垢程度决定，根据原料水条件以及国外清洗剂消耗量的经验，清洗剂的消耗平均以 3000 公斤/年计算，其价格以 15000 元/吨计算，每吨淡水消耗清洗剂 0.12 元。化学药品费用合计为 0.322 元。

(2) 热力消耗：多级闪蒸的造水比为 10，每吨淡水消耗 100 公斤蒸汽，低温多效装置使用发电厂第五级透平的乏蒸汽，其平均价格以每吨蒸汽 16 元计算。每吨淡水的热力消耗为 1.60 元。

(3) 电力消耗：多级闪蒸装置的主体电力消耗为 3.5kWh，加上引水、产品水输送、浓盐水排污和厂区照明费用，生产一吨淡水的电力消耗为 4.0kWh。每度电价以 0.3 元计，多级闪蒸的吨水电力成本为 1.2 元。

(4) 职工工资福利费用：多级闪蒸的自动化程度较高，淡化装置每班设二人操作就行。人员的配备采用三班十二人制，人均年工资 20000 元，每吨淡化水的工资费用为 0.046 元。福利费用取为工资额的 15%，每吨淡水的福利费用为 0.007 元。职工工资福利费用为 0.053 元/吨。

(5) 大修及检修维修费用：根据国家规定，供水工程的大修及检修维护费取固定资产原值的 1.5%，每吨淡化水的大修及检修维修费用为 0.46 元。

(6) 管理费：管理费取为劳动力费用的 20%，每吨淡化水的管理费用为 0.011 元。

(7) 固定资产折旧费用：固定资产的折旧年限为 20 年，固定资产残值为 4%，固定资产原值为 16000 万元，每吨淡水的固定资产折旧费用为 1.46 元。

多级闪蒸的单位造水成本约 5.105 元/吨。

#### 2.5.4 MVC

低温压汽蒸馏装置的造水成本可以分为如下几个部分：化学药品消耗，电力消耗，人工工资、福利及管理费用，维修费用和设备折旧费用。淡化装置的年利用率以 95% 计算，其各部分费用如下：

(1) 化学药品消耗：低温压汽蒸馏加入聚磷酸盐类阻垢分散剂 5mg/L，水的回收率为 50%，

每吨淡水消耗阻垢分散剂 10.0 克，阻垢分散剂的价格 10000 元/吨，每吨淡水消耗阻垢分散剂 0.10 元。周期性的加入液氯作杀生剂，平均加量以 1mg/L 计，杀生剂价格 1000 元/吨，每吨淡水消耗杀生剂 0.002 元。低温压汽蒸馏装置每年清洗一次，清洗剂的消耗量根据结垢程度决定，根据原料水条件以及国外清洗剂消耗量的经验，清洗剂的消耗平均以 3000 公斤/年计算，其价格以 15000 元/吨计算，每吨淡水消耗清洗剂 0.06 元。化学药品费用合计为 0.162 元。

(2) 热力消耗：低温压汽蒸馏装置不需要蒸汽造水，因此热消耗为零。

(3) 电力消耗：3×2000 吨低温压汽蒸馏装置的主体电力消耗为 7.5kWh，加上引水、产品水输送、浓盐水排污和厂区照明费用，生产一吨淡水的电力消耗为 8.0kWh。每度电价以 0.3 元计，低温压汽的吨水电力成本为 2.4 元。

(4) 职工工资福利费用：低温多效蒸馏的自动化程度较高，淡化装置每班设二人操作就行。人员的配备采用三班十二人制，人均年工资 20000 元，每吨淡化水的工资费用为 0.046 元。福利费用取为工资额的 15%，每吨淡水的福利费用为 0.007 元。职工工资福利费用为 0.053 元/吨。

(5) 大修及检修维修费用：根据国家规定，供水工程的大修及检修维护费取固定资产原值的 1.5%，每吨淡化水的大修及检修维修费用为 0.572 元。

(6) 管理费：管理费取为劳动力费用的 20%，每吨淡化水的管理费用为 0.011 元。

(7) 固定资产折旧费用：固定资产的折旧年限为 20 年，固定资产残值为 4%，固定资产原值为 20000 万元，每吨淡水的固定资产折旧费用为 1.827 元。

低温压汽蒸馏的单位造水成本约 5.025 元/吨。

#### 2.6 四种主流海水淡化方案的成本对比

表 4 是四种主流海水淡化方案制水成本比较。

表 4 四种主流海水淡化方案制水成本

项目	MED	SWRO	MSF	MVC
化学药品消耗 (元/吨)	0.162	0.391	0.322	0.162
热力消耗 (元/吨)	1.60	0	1.60	0.00
电力消耗 (元/)	0.9	1.71	1.2	2.4

项目	MED	SWRO	MSF	MVC
吨)				
工资福利费用 (元/吨)	0.053	0.04	0.053	0.053
大修及检修维护费 (元/吨)	1.03	0.23	0.46	0.572
管理费用 (元/吨)	0.01	0.008	0.011	0.011
膜更换费用 (元/吨)	0.00	0.923	0.00	0.00
固定资产折旧费用 (元/吨)	1.37	0.97	1.46	1.827
单位造水成本 (元/吨)	5.125	4.272	5.105	5.025

从表中可以看出，每度电价为 0.3 元，人均年工资 20000 元的情况下，从单位造水成本的角度来考虑，四种淡化方案的顺序从高到低依次为：低温多效蒸馏、多级闪蒸、低温压汽蒸馏、反渗透淡化。从上表可以看出，MFS 投资最高，运行费用最高，SWRO 与 MED 投资和运行费均相近，与 SWRO 相比，投资相当，运行费略高。但是 MED 预处理系统简单，维护量小，运行较方便，系统出水稳定性较好。

### 2.7 几种海水淡化技术综合比较结论

海水淡化热法工艺需要复杂的工业装置，其特点是需要典型的大型处理设备。而反渗透工艺要相对简单，其核心工艺为分离膜。目前 MSF、MED 和 SWRO 三种技术都比较成熟，对于技术的选择没有唯一和最佳，而是基于每个项目的自身特点，重点考虑边界条件的限制。单独设立的海水淡化厂适合采用 SWRO；但如果电厂蒸汽或余热配套，那么 MED 技术更为经济和可靠，MED 出水水质好且设备运行稳定；十万吨级及以上 MSF 技术则更为安全，可靠和经济。SWRO 与 MED、MVC 相比在产品水纯度上是有区别的，根据不同用水水质要求可选择适宜的海水淡化方案。SWRO 消耗电能；MED 主要消耗热能。从综合利用能源角度看 MED 可利用电厂余热热能。SWRO 设备投资省，能量消耗低（采用能量回收装置后），建设周期短。无论海水淡化规模大型、中型、小型，SWRO 都适合，而 MSF 和 MED 等适合较大型的海水淡化系统。图 12 是 MED 与 SWRO 的综合技术性能对比。

### 3 几种淡水获取方式的成本比较

在海水淡化技术日渐成熟的今天，经济性是决定其广泛应用的重要因素。在国内，“制水成本和投资费用过高”，一直被视为是海水淡化难以大胆使用的主要问题，但实际上这是一个“认识”问

题。

目前世界上常用的淡水取用方式主要有地下水取水、远程调水和海水（苦咸水）淡化三种。开采地下水作为一个重要的开源措施，工程量小、成本低，这是很吸引人的优点，但地下取水受资源条件限制很大，而且许多地区多年来由于过度开采地下水，已形成地下漏斗，造成房屋倾斜，甚至导致了海水倒灌等环境危害，地下水的开采已经受到制约。

远程调水，目前并没有把工程投资费用以及被引水地区的间接经济损失计算在内，仅以日常运行费用、管理费计算其成本，这与真正成本相差很大。其实引水工程，除了巨额的投资之外，

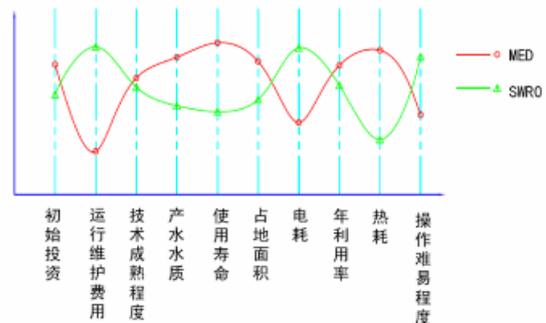


图 12 MED 与 SWRO 的综合技术性能对比

还要占用大量耕地，还存在被引水地区的环境危害等问题。如引黄济青（岛）工程，占地达 6.2 万亩，还会造成黄河断流、植被破坏等生态环境问题，而生态环境的破坏在经济上是难以估量的。专家预测，南水北调工程实施后，长江水流到北京，按现行不变成本计算，综合成本在 5 元/立方米以上，甚至有专家预测每立方米将达 20 元。美国有资料认为，远程调水超过 40 公里，成本将超过海水淡化。

对于海水淡化，能耗是直接决定其成本高低的关键。40 多年来，随着技术的提高，海水淡化的能耗指标降低了 90% 左右，成本随之大为降低。目前我国海水淡化的成本已经降至 4 元/立方米-7 元/立方米，苦咸水淡化的成本则降至 2 元/立方米-4 元/立方米，如果进一步综合利用，把淡化后的浓盐水用来制盐和提取化学物质等，则其淡化成本还可以大大降低。至于某些生产性的工艺用水，如电厂锅炉用水，由于对水质要求较高，需由自来水进行再处理，此时其综合成本将大大高于海

水淡化的一次性处理成本。可见，如果抛开政府补贴等政策性因素而单从经济技术方面分析，海水淡化尤其是苦咸水淡化的单位成本实际上是很有竞争力的。表 5 是几种淡水获取方式的成本比较。

表 5 几种淡水获取方式的成本比较（单位：元/立方米）

项目	成本
开采地下水	限制开采
远程调水	引滦入津: 2.3 元/立方米（直接成本）
	南水北调:5-20 元/立方米（到北京平均水价）
海水淡化	海水: 4-7 元/立方米（综合成本）
	苦咸水: 2-4 元/立方米（综合成本）

#### 4 新能源与海水淡化

由于化石燃料的价格攀升以及环境保护等因素，使传统海水淡化企业趋向于使用新能源，如核能、太阳能、风能、潮汐能等，与化石燃料相比，它们都是清洁能源，也属于可再生能源。另外核能具有能量密度大的优点，是环境友好型能源，同时也是可持续发展的能源，目前利用核能进行海水淡化的成本与利用传统的化石燃料几乎相同。20 世纪 90 年代以来，核能应用于海水淡化技术得到了国际原子能机构和世界许多国家的广泛重视。图 13 为可再生能源海水淡化技术构成图。

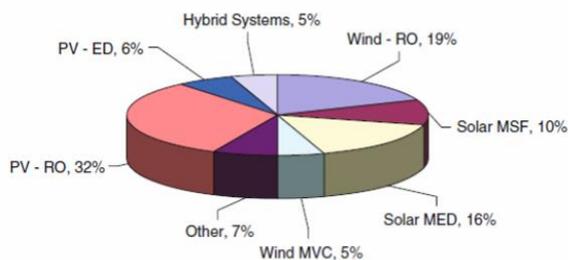


图 13 可再生能源海水淡化技术构成

随着太阳能技术的不断改进和性价比的不断提高，太阳能海水淡化工艺越来越具有竞争力。过去的几十年里，很多研究都认为偏远地区应该使用小规模太阳能海水淡化装置，但现在它们中的一些已经朝着中型化或大型化的方向发展。

风能作为清洁的可再生新能源应用于海水淡化工程，已经取得了较为成熟的研究成果，特别是近年来风力发电技术和海水淡化技术的进步，使得风力发电海水淡化在世界范围内得到了越来越广泛的应用。

随着波浪能技术的发展，将波浪能与海水淡化相结合引起了人们的兴趣。1990 年，印度最早

将这个想法付诸实验，这个波浪能/RO 海水淡化装置创建在印度西南部的维津詹姆，产水量 0.6m<sup>3</sup>/h，水的回收率为 33%。

世界上还有很多处于不同研发阶段的使用可再生能源的独立海水淡化装置。所谓“独立”是指这类装置不与中心电网相连，只用可再生能源来提供动力。这些装置规模都很小，他们的日产淡水能力在几立方米到几百立方米之间，可以在偏远地区恶劣的自然条件下为当地人日常生活提供可饮用水。这类装置的技术主要包括：太阳能/多级闪蒸，太阳能/多效加湿法，太阳能/兰氏环/反渗透，太阳能/膜蒸馏，光电/反渗透，风能/反渗透，风能/光电/反渗透整合，以及波浪能/反渗透等。Papapetrou 等人对此类使用可再生资源的独立海水淡化技术进行了综述，其中最受欢迎的是光伏/反渗透海水淡化技术（图 14 为突尼斯的光伏反渗透海水淡化系统图），其次是风能/反渗透海水淡化技术和太阳能/低温多效蒸馏海水淡化技术。然而，这些技术还面临着技术问题和局限，需要进行大规模海水淡化整合的研究和改进，以保证这些技术的可靠性。



图 14 突尼斯光伏反渗透海水淡化系统

#### 5 国际海水淡化产业概况

##### 5.1 总体形势

早在 400 多年以前就有人提出海水淡化的问题，进入 20 世纪后，海水淡化技术随着水资源危机的加剧得到了加速发展，70 年代以来，更多的沿海国家由于水资源匮乏而加快了海水淡化的产业化。目前，无论是中东的产油国还是西方的发达国家都建有相当规模的海水淡化厂。沙特、以色列等中东国家 70% 的淡水资源来自于海水淡化，美国、日本、西班牙等发达国家为了保护本国的淡水资源也竞相发展海水淡化产业。截至

1997 年底，全世界单台产量在 100 吨 / 日以上的海水淡化设备，日产水量就已达 2300 万吨，且一直以 10%-30% 的速度增长，由此带动了淡化水产品提供、设备制造、工程安装、技术服务等整体海水淡化市场的巨大需求。目前世界上每年海水淡化市场的成交额已达数百亿美元。在我国，海水淡化年产量也已超过了千万吨。现代意义上的海水淡化则是在第二次世界大战以后才发展起来的。战后由于国际资本大力开发中东地区石油，使这一地区经济迅速发展，人口快速增加，这个原本干旱的地区对淡水资源的需求与日俱增。而中东地区独特的地理位置和气候条件，加之其丰富的能源资源，又使得海水淡化成为该地区解决淡水资源短缺问题的现实选择，并对海水淡化装置提出了大型化的要求。在这样的背景下，20 世纪 60 年代初，多级闪蒸海水淡化技术应运而生。现代海水淡化产业也由此步入了快速发展的时代。海水淡化技术的大规模应用始于干旱的中东地区，但并不局限于该地区。由于世界上 70% 以上的人口都居住在离海洋 120 公里以内的区域，因而海水淡化技术近 20 多年迅速在中东以外的许多国家和地区得到应用。最新资料表明，到 2003 年止，世界上已建成和已签约建设的海水和苦咸水淡化厂，其生产能力达到日产淡水 3600 万吨。目前海水淡化已遍及全世界 125 个国家和地区，淡化水大约养活世界 5% 的人口。海水淡化，事实上已经成为世界许多国家解决缺水问题而普遍采用的一种战略选择，其有效性和可靠性已经得到越来越广泛的认同。

我国是继美、法、日、以色列等国之后研究和开发海水淡化先进技术的国家之一，继西沙群岛日产 200 吨电渗析海水淡化装置成功运行后，又先后在舟山建成了日产 500 吨反渗透海水淡化站，在大连长海建成日产 1000 吨海水淡化站。日前，我国最大的日产 18000 吨苦咸水淡化工程在河北沧州建成投产。改革开放后，我国的经济高速发展，淡水需求量急速增加，加上北方多年干旱，国家对海水淡化产业化已非常重视，国家、集团公司、个体投资者都看好这一行业，海水淡化产业化将很快被插上腾飞的翅膀。

## 5.2 主要生产基地

目前，世界上已有 40 多个国家和地区开展了

海水淡化工作，海水淡化已经成为或正在规划成为美国、日本、新加坡、以色列、西班牙、加勒比海各岛国等水资源的重要组成部分。

### 6.2.1 美国

美国是北美地区最先开展海水淡化的国家，美国政府于本世纪 50 年代成立盐水局（Office of Saline Water），进行淡化技术应用研究，1974 年后转为资源技术局，不断推进水资源和海水淡化技术的进步。2003 年美国全国大约有 1200 个海水淡化厂，美国现有海水淡化厂 2560 多家，居世界首位；日产水量 360 万 m<sup>3</sup>/d（其中民用占 80%，工业用占 20%），但多数淡化厂进行地下苦咸水的淡化。最近，美国建设了几个大型的淡化厂，如在帕坦湾（佛罗里达半岛西侧墨西哥湾沿岸）新近建设的海水淡化厂。

### 5.2.2 日本

日本是一个岛国，地下淡水资源十分有限，主要依赖地表水。目前，日本的海水淡化技术处于世界前沿，其产水能力约占世界上正在运行的海水淡化厂产水能力的 20%。

1973 年，日本通产省下设造水促进中心，专门研究节能的海水淡化技术。日本海水淡化厂主要应用在工业用水（以发电厂和锅炉用水为主）及离岛地区生活用水。1968 年日本建造了第一座民用海水淡化厂。1997 年位于冲绳岛的 40,000m<sup>3</sup>/d 淡水的逆渗透式海水淡化厂整体设施正式完成，该厂总投资金额约 347 亿日元，由中央政府补助 85%，淡化方式为反渗透法。至 2001 年，日本共有 369 座日产量 500m<sup>3</sup> 以上的海水淡化厂，可供应 777,967m<sup>3</sup>/d 的淡化水，其中 347 座供应工业用水，占总厂数的 94%，供应民用水的仅 22 座，约占总厂数的 6%。在投资金额方面，工业用淡化厂总投资金额占总额的 77.8%。

2005 年 4 月，处理量 50,000m<sup>3</sup>/d 的日本最大海水淡化装置在福岗地区自来水公司正式启用。该装置前处理用超滤膜（UF）、后处理（第二阶段处理）用超低压反渗透膜（RO）（均为日东电工生产），回收率由以前的 40% 提高到 60%。

### 5.2.3 新加坡

新加坡虽然降雨充沛，但因为土地面积有限，无法贮存雨水，因此水资源缺乏，人均水资源量曾经是全球倒数第二位。在严重的资源型缺水面前，新加坡被迫高度依赖马来西亚的淡水资源，

于 1961 年和 1962 年与马来西亚签署了两份长期水供协定,但这两份协议将分别于 2011 年和 2061 年到期。为了提高 2011 年以后供水的可靠性和自给自足能力,新加坡开始谋划“维持可持续性的水供”新策略。根据预计,到 2011 年新生水和淡化海水将达到新加坡每日用水需求量的 30% 和 10%。新加坡正在逐渐摆脱建国以来对从马来西亚购买水资源的高度依赖。新加坡四面环海,在海水利用方面有着得天独厚的优势。新加坡早在 20 世纪 70 年代就研究海水淡化科技,但因为成本太高,直到 90 年代初期,新加坡公共事业委员会(PUB)才开始规划由民间企业供应淡化水项目,决定以 BOO 方式(建设-拥有一运营)兴建 1 座 13.6 万 m<sup>3</sup>/d 的海水淡化厂。2003 年 6 月,新加坡斥资两亿新元兴建首座海水淡化厂新泉(SingSpring),由星泉公司以每吨 0.78 元新币的售价,每天提供 13.6 万吨的淡水给公共事业委员会。该厂采用反向逆渗透薄膜科技,生产可靠安全且符合世界卫生组织和 PUB 食用水安全标准的淡水。该厂已于 2005 年 9 月开始供水,可满足新加坡 10% 的用水需求。2008 年 1 月西拉雅能源公司(Powerseraya)投资 2000 万新元建成的反渗透海水淡化厂正式启用,成为东南亚首个具备生产热能、水和电的全方位能源公司。该厂设在新加坡裕廊岛,全球首次采用直径 16 英寸的反向渗透薄膜。日产淡水 1 万吨,用于高质厂生产用水和生活饮用水;蒸汽将出售给新加坡石化公司用于工业生产。目前,通过淡化海水来增加和扩大海水供应,已成为新加坡水源供应管理的重要组成部分。

#### 5.2.4 以色列

以色列是一个干旱少雨、水资源极度缺乏的国家,沙漠地区约占国土总面积的 2/3。由于水资源缺乏而且咸水比例较大的自然状况,促使以色列加大了对咸水、海水等非常规水源的利用,并在这方面走在了世界前列。以色列水资源委员会认为解决以色列乃至整个中东地区水资源问题的根本出路只能靠淡化海水。

自 60 年代起以色列的科技人员就一直致力于咸水淡化技术的研究,实际生产量也逐年增加。尤其最近几年由于技术成熟和成本降低,海水淡化生产量增长非常快。根据以色列水资源委员会的“以色列水资源供需预测,到 2020 年以色列的

咸水和海水淡化都要有显著增加,其中海水淡化量相对 1998 年水平更是增加 20 倍,达到年产淡水 2 亿吨的水平,占总供水能力的近 8%。按照以色列学者 Nessim Moatty 对 1995 和 1998 年以色列的水资源总体规划结果的分析,在加大废水利用、进口水资源和海水淡化三种解决水资源短缺的主要措施中,海水淡化是消除未来用水“赤字”的唯一途径。

以色列年用水量约 20 亿吨,但水资源供给仅有 16 亿吨,不足部分则以污水回收再利用及海水淡化补充。按以色列水资源委员会的规划,将在 20 年内再建 8 个海水淡化厂,以供应民用及工业用水。在兴办方式上,多采用 BOOT(兴建-拥有-运营-移转)或 BOO(兴建-拥有-运营)模式,承包商往往是私人企业家。政府对初期投资给予支持并在合同中确定工厂生产后由政府保证的最低购买量,以降低投资者的风险。

目前以色列两个大型装置正在运行,即:帕勒马希姆(Palmachin)海水淡化装置和阿什克隆(Ashkelon)海水淡化装置。其中的阿什克隆装置产淡水量为 330,000m<sup>3</sup>/d,是迄今为止世界上最大的反渗透工程。

#### 5.2.5 西班牙

西班牙是欧洲最干旱的国家之一,长期以来,西班牙政府大力支持海水淡化,以此作为解决缺水状况的一种途径。2004 年新政府执政后,他们制定了南方供水的新规划,主要方法是在缺水最严重的地中海沿岸兴建 20 座海水淡化厂。预计这些厂将满足 50% 的水需求。

西班牙 1965 年就建成了第一家海水淡化厂,目前有 3000 家海水淡化厂在运转,700 家合计产量超过 800,000m<sup>3</sup>/d,占世界市场的 25%。现在,西班牙在废水再利用、工业用水处理和海水淡化等领域有技术优势和实践经验,而且是反渗透海水淡化装置第二大国。最近,西班牙又在地中海沿岸陆续推出三座节能型大规模海水淡化厂,提供该地区生活、工业及农业用水。根据 2001 年西班牙的水资源计划,西班牙将在未来 8 年投资 200 亿欧元,新建 41 家海水淡化厂。西班牙“水计划”(Agua program)将会大大提高地中海沿岸淡水供给能力,到 2010 年其海水淡化能力将达到 270 万 m<sup>3</sup>/d,到 2015 年,海水淡化产量将达 1,300,000m<sup>3</sup>/d。



图 15 华能玉环电厂 3.5 万吨/日 SWRO 装置

### 5.2.6 澳大利亚

随着全球变暖的加剧，近十年来世界许多国家和地区都出现用水紧张的状况，澳大利亚昆士兰东南部地区从 2000 年至 2009 年间遭受了旱灾。当地的维文霍（Wivenhoe）水库曾经一度只能提供 16% 的饮用水。澳大利亚深受干旱之苦。

2006 年，澳大利亚第一座海水反渗透装置在珀斯（Perth）投入运行，淡水产量为 144,000m<sup>3</sup>/d，现在又打算建该市第二座。2009 年，土根镇一座耗资 10 亿美元、占地 15 英亩（1 英亩约合 4047 平方米）的海水淡化厂投入运行。悉尼的海水淡化厂于 2010 年初开始运行。另外，墨尔本和阿德莱德的海水淡化厂也在建设中。2010 年 7 月，澳大利亚史上最大的基础设施建设工程之一的海水淡化工程正在其五大城市推进。该项目耗资 132 亿美元（1 美元约合 6.77 元人民币），每天可从处理数百万升海水，使其海水淡化成为饮用水。预计两年之后，澳大利亚主要城市饮用水的 30% 将来源于海水。

澳大利亚为每立方米海水淡化需要花费 1.75 美元到 2 美元，这其中包括了海水淡化厂的建设成本、清洁能源和其他成本。国际海水淡化协会的潘克拉兹认为，有些国家的环保标准相对不那么严格，所以当今世界上一般的海水淡化厂每脱盐 1 立方米海水的成本是 1 美元，澳大利亚海水淡化成本可能是世界上最高的。

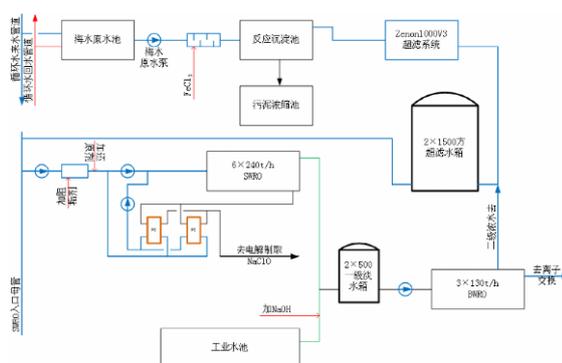


图 16 华能玉环电厂 3.5 万吨/日 SWRO 工程工艺流程

## 6 我国典型海水淡化工程

### 6.1 华能玉环电厂 3.5 万吨/日 SWRO 工程

华能玉环电厂位于浙江东南部，濒临东海，属于温带气候，海水年平均温度 15℃。根据电厂直流循环的特点，循环冷却水取自原海水，经过凝汽器后的排水实际温升可达 9℃，此时从排水虹吸并取水基本满足了反渗透工艺对水温的要求。华能玉环电厂共装有 4 台 1000MW 超超临界发电机组，电厂使用的全部淡水，包括工业冷却水、锅炉补给水、生活用水等均通过海水淡化制取。海水淡化系统采用双膜法，即超滤+反渗透工艺，设计制水能力 1440m<sup>3</sup>/h，合 35000t/d，是目前国内乃至亚洲地区最大的采用膜法技术的海水淡化工程（图 15 和图 16 分别是华能玉环电厂 3.5 万吨/日 SWRO 装置外观和工艺流程）。2007 年，在浙江省东部再一次遭遇干旱，华能玉环电厂连续几个月向玉环县自来水公司提供淡水，高峰时达 500m<sup>3</sup>/h。

### 6.2 国华沧东电厂 3.25 万吨/日 MED 工程

国华沧东电厂位于河北省东部的沧州市黄骅港，濒临渤海经。一期工程建设 2×600MW 亚临界燃煤发电机组，二期工程建设 2×660MW 等级超临界燃煤发电机组。20 万吨/日海水淡化工程规划分三期建设，一期工程引进法国 Sidem 公司 2×1 万吨/日低温多效蒸馏海水淡化装置，二期 1×1.25 万吨/日国产低温多效蒸馏海水淡化工程已于 2009 年投产，现已形成 3.25 万吨/日海水淡化制水能力（国华沧东电厂 1.25 万吨/日国产 MED 装置及和水电联产工艺流程分别如图 17 和图 18 所示）。三期海水淡化工程根据渤海新区经济发展和用水需求（国华沧东电厂自 2012 年起向渤海新区日供淡水 1.5 万吨），目前 1×2.5 万吨/日 MED 海水淡化国家级示范工程已经启动，预计于 2013 年投产制水。



图 17 国华沧东电厂 1.25 万吨/日国产 MED 装置

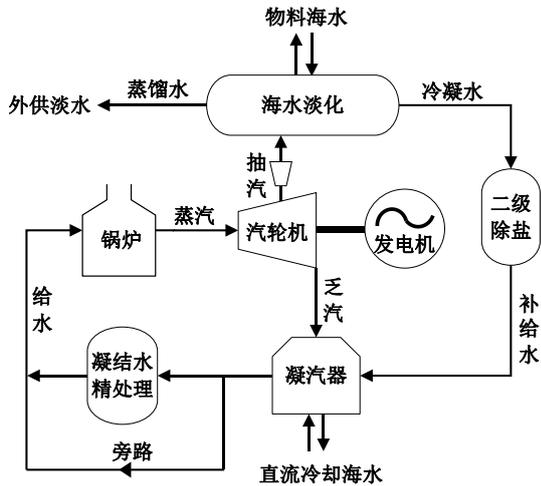


图 18 国华沧东电厂水电联产工艺流程

### 6.3 天津大港电厂 0.6 万吨/日 MFS 工程

天津大港电厂 1986 年与美国 ESCO 公司签订合同，利用海水淡化生产锅炉所需淡水。1990 年，该厂正式引进了两套日产 3000 吨淡水闪蒸海水淡化装置(2×3000 吨/日 MFS 装置如图 19 所示)，采用当时先进的闪蒸海水淡化装置，将 8 公里外的海水引入进行淡化，解决了电厂锅炉所需的淡水。



图 19 天津大港电厂 2×3000 吨/日 MFS 装置

## 7 我国海水淡化市场空间与投资价值

海水淡化的市场主要包括有工程设计、设备制造、工程安装、淡化水产品提供、技术服务等。

### 7.1 市场空间

从国际市场方面来看，20 世纪 70 年代以来，大多数沿海国家由于水资源问题日益突出，都直接卷入了海水淡化的发展潮流。无论是中东的产油国还是西方的发达国家，都建设有相当规模的海水淡化厂或海水淡化示范装置，北欧、南美和东亚地区每年海水淡化设备进口和工程安装市场有近 100 亿美元，且仍在高速增长之中，南亚、中亚和非洲也有众多的海水淡化潜在用户。海水淡化的国际市场规模巨大。

从国内市场方面来看，针对我国的国情，海水淡化可定位于市政用水和工业用水的补充，以缓解供水紧张状况，同时也可用于废水资源化，达到废水回用的目的。我国是一个海洋大国，海水资源极其丰富，西部地区则有相对丰富的苦咸水资源，这为我国发展海水淡化产业提供了前提和基础。另一方面，我国淡水资源的紧缺已众所周知，每年全国缺水数百亿立方米，因缺水影响的国民产值达数千亿元。可见工程设计、设备制造、淡水提供、技术服务等海水淡化产业具有广阔的国内市场空间。针对海水淡化设备制造市场而言，目前我国已基本具备了海水淡化设备的加工制造能力，质量保证体系也可以满足要求，其设备制造成本比国外至少低 30% 左右，在国际市场上具有很强的价格竞争能力。

### 7.2 投资价值

我国政府已经充分认识到了政策支持对海水淡化产业化重要性和必要性。已将海水淡化列入《我国 21 世纪议程》中，作为实现水资源持续利用的推广示范工程技术。海水淡化产业化所必需的外围环境正在日益改善，海水淡化的产业化基础已基本具备，在日渐成熟的国内外环境中，我国的海水淡化产业即将进入一个高速发展期。

在工业社会里，人们将产业定义为技术加资本。目前，我国的海水淡化技术比较成熟，进入了商业化阶段，该行业巨大的经济发展空间正在吸引着越来越多的产业资本和金融资本的进入。纽约投资企业贝尔-斯特恩公司首席投资战略家伊丽莎白·麦凯认为，水业将是 21 世纪最大的行业，而作为未来水业发展方向之一的海水淡化产业，其投资价值相当看好。华尔街专业人士分析，继 IT 股和生物股之后，海水淡化公司的股票将成为投资者一致看好的炙手可热的新兴成长股。

海水淡化产业市场规模大、收入相对稳定和具有高成长性的特点，使得它拥有高于其它行业的平均利润率。该行业正处于成长阶段初期，同行业竞争较少而需求巨大，有利于有实力的先行涉足者形成寡头垄断，获取超额利润。

在我国，海水淡化产业化尚处于起步阶段，加大资金投入，制定鼓励和倾斜政策，引进先进设备和创新人才，加大力度，加快步伐，刻不容缓。海水淡化产业作为我国乃至全球范围内新兴朝阳产业，在新的世纪中必将有突破性的飞跃发展。

### 7.3 发展前景

我国目前已建成高压反渗透膜生产线和 1.25 万吨低温多效蒸馏海水淡化生产设备，研制出海水淡化高压泵等配套设备，正在建设若干个 5 万吨以上的大型海水淡化厂。经过几个五年计划的连续支持，我国海水淡化技术取得了重要进展，无论是工程设计建设能力，还是关键设备生产制造能力都取得了长足进步。为进一步发展我国的海水淡化技术，科技部目前已组成专家完成了《“十二五”海水淡化科技发展专项规划（初稿）》的编制工作，经进一步修改完善后很快将发布实施。《规划（初稿）》提出，要继续发展反渗透、低温多效蒸馏等海水淡化核心技术和设备，发展海水淡化工程设计和运营管理技术，完善我国海水淡化技术、装备和标准体系，加快我国海水淡化战略性新兴产业培育。同时，希望通过该规划的实施，引领我国海水利用新产业快速发展，进一步提升我国海水淡化企业和研究单位自身创新能力水平的同时，大力推动与国际同行的合作，为解决我国和世界水资源短缺问题做出积极贡献。

## 8 我国当前海水淡化产业政策环境

为解决日益严重的淡水危机，促进海水利用产业发展，党和国家高度重视并积极推动海水利用工作。1994 年 3 月，经国务院第 16 次常务会议审议并通过的《我国 21 世纪议程》将海水淡化和直接利用作为实现水资源持续利用的推广示范工程技术。从“九五”末期开始，国家海洋局等就着手研究与制定海水利用的一系列相关政策法规，使我国海水利用政策日臻完善。

国家海洋局、科技部、教育部和国家自然科学基金委等联合发布的《国家“十二五”海洋科学

和技术发展规划纲要》提出，“十二五”时期要重点突破关键技术，培育和支撑海洋战略性新兴产业发展，海水综合开发和利用相关技术成为重点之一。《国务院办公厅关于加快发展海水淡化产业的意见》（国办发〔2012〕13 号，以下简称《意见》），《意见》指出发展海水淡化产业的重点工作：一是加强关键技术和装备研发；二是提高工程技术水平；三是培育海水淡化产业基地；四是组建海水淡化产业联盟；五是实施海水淡化示范工程；六是建设海水淡化示范城市；七是推动使用海水淡化水；八是完善海水淡化标准体系。为加快落实海水淡化重点工作。《意见》提出了加大财税政策支持力度、实施金融和价格支持政策、完善相关法律法规、加强监督管理、强化宣传培训等多项政策措施。国家发改委环资司正在组织对 2005 年的《海水利用专项规划》进行重新编制，目前此规划正在进行中期报告的评审，其中针对海水淡化产业化发展存在的问题，提出了促进海水淡化措施和办法，完善海水淡化政策保证机制。表 6 列出我国当前海水淡化相关政策的汇总。

表 6 我国当前海水淡化相关政策汇总表

产业投资政策 (八条)	财政税收政策 (六条)	技术、知识产权政策 (六条)
鼓励社会各界以各种方式投资和建设的海水淡化产业，引进外贸和鼓励民营企业和集团集中利用研究机构的技术和大型企业的管理手段、营销渠道以市场经济的模式和规律推动海水淡化产业，鼓励组建海水淡化大型企业集团。	参照国家对公益性水利工程建设优惠政策，建立城市海水淡化运营商政策性贴息贷款和利用外资渠道，对海水淡化工程建设给予投资补贴和贷款贴息。	国家有关部门以及各级地方政府，研究推动对“海水淡化关键技术的攻关”重大科技专项，鼓励海水淡化关键技术的研究开发，对承担重点课题的科研单位、大专院校给予必要的经费保障。鼓励国内研究机构进行多方面合作，包括在膜应用工程技术、关键设备国产化、装置种类多样化方面进行攻关，在高性能膜材料与膜组器制备、能量回收装置、高速离心高压泵制备、低温多效蒸馏成套装置、耐蚀材料等关键技术获得突破。
各级政府加强对水资源的管理和海水淡化需求量的预测和规划，与海水淡化企业签订最低购水量，降低投资企业的风险。	海水淡化产业同样享受关于高新技术产业发展的优惠政策，政府给予海水淡化高新技术企业在公共政策体系、区域科技创新服务体系 and 科技企业孵化器的建设与运营方面的扶持。	鼓励引进和消化吸收国外先进的海水淡化技术和工程经验，加快关键技术的国产化。
对于社会力量投资海水淡化作为城市供水的，规模企业进行海水淡化装置	允许海水淡化水进入市政自来水管网，并参照国家对城镇自来水供应作	优先建立日产万吨级以上的反渗透海水淡化、日产万吨级低温多效蒸馏成套装置示范

产业投资政策 (八条)	财政税收政策 (六条)	技术、知识产权政 策(六条)
生产的,在土地批租方面给予优先和优惠。	为公用事业的税收优惠政策实行生产企业税收。	工程,开发大型海水淡化工程的计算机控制系统,积累经营和管理方面的经验。
鼓励沿海电厂规划建设海水淡化装置,向水电联供企业发展,明确要求所有在建和待建的沿海电厂(含核电站和LNG电厂)都要通过海水淡化来解决电厂的锅炉用水,并且适度向周边地区供应淡水。由企业和当地政府共同研究水电联供的可行性和发展规划,为今后进行大规模的海水淡化预留可能的规划用地。	免征海水淡化企业的消费税和固定资产投资方向调节税,对企业的营业税给予适当的减免。	建立海水淡化标准体系,对海水淡化的产业发展进行行业规范和技术指导,设立专项资金给予扶持。
鼓励利用新型可再生能源,如太阳能,特别是沿海和海岛地区丰富的风能等发展海水淡化产业。	国债项目、国家或省级重点工程中采用国产设备的项目给予设备投资部分增值税额给予补贴。	大力培育技术市场,加强相关科研机构和企业强强联合,促进海水淡化的产业化。有关部门要给相关科研机构和企业建立一个沟通的平台,发挥双方的技术优势、资金和管理优势,加快大规模海水淡化关键工程技术的研发和技术创新,推动海水淡化产业的横向市场化和产业化。
对采用海水淡化的供水企业的海水淡化工程,给予电价优惠,幅度考虑按分时电价低限供应。	给予用于海水淡化成套设备或主要配套产品的出口部分的退税待遇。	鼓励针对不同的海水特点,开发和应用多种海水淡化技术,扩大国际海水淡化技术和装备的出口,政府对海水淡化技术装备进出口给予减免税收。
鼓励临海、近海企业利用海水淡化后的盐卤水用于制盐工业和海洋化工产业,对相关企业产品免征资源税。		
鼓励组建项目公司或企业集团走出去,参与国际工程建设和国际海水淡化项目承包。政府对于大型的国际海水淡化工程建设项目,提供一定的政府贷款出口信贷和资助补贴。		

### 8.1 政策法规发布历史沿革

2000年,海水利用就被列入国家计委、国家经贸委联合发布的《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》。

2001年,海水利用作为先进环保和资源综合利用领域的高技术,被列入国家计委、科技部联

合发布的《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南》。

2003年,国务院发布了《全国海洋经济发展规划纲要》,这是我国制定的第一个指导全国海洋经济发展的宏伟蓝图和纲领性文件,提出要把发展海水利用作为战略性的接续产业加以培植,继续积极发展海水直接利用和海水淡化技术。

2005年,国务院以国发(2005)21号文发出《国务院关于做好建设节约型社会近期重点工作的通知》中,明确提出把“推进沿海缺水城市海水淡化和海水直接利用”,列入近期加快建设节约型社会的重点工作。同年,国务院关于发布实施《促进产业结构调整暂行规定》的决定中,提出加强水利建设,优化水资源配置,积极开展海水淡化。

2006年,在《国家“十一五”科学技术发展规划》中,“大型海水淡化及综合利用技术与示范”被列为国家“十一五”期间资源领域的重大项目。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》中,“海水淡化”被列为重点领域及其优先主题项。国家海洋局、科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会联合印发的《国家“十一五”海洋科学和技术发展规划纲要》,是我国首个国家海洋科学和技术发展规划,明确提出重点开展大型海水淡化技术与产业化示范研究,开发可规模化应用的海水淡化装备和膜法低成本淡化技术及关键材料,发展海水直接利用和海水淡化技术。另外,同年出台的《节水型社会建设“十一五”规划》、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》、《国民经济和社会发展第十个五年计划科技教育发展规划》、《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》等也为海水淡化产业发展提供了政策支持。

2007年,《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》(国发[2007]15号)中,提出制定支持再生水、海水淡化水、微咸水、矿井水、雨水开发利用的价格政策。国家发展改革委印发了《高技术产业发展“十一五”规划》(发改高技[2007]911号),提出发展海水直接利用和海水淡化技术,重点开发海水循环冷却技术、海水预处理技术、浓盐水综合利用技术、可规模化应用的海水淡化装备,支持热法、膜法低成本淡化技术及关键材料开发与产业化,建设海水综合利用示

范基地，扩大海水利用产业规模。

2008年，国家海洋局制定《全国科技兴海规划纲要（2008年-2010年）》，要求优先推动海水综合利用产业技术集成和产业化；构建包括海水综合利用在内的科技成果转化与推广平台和若干专项成果转化基地；实施海水综合利用产业链开发示范工程，带动科技兴海全面发展；提高海水淡化装备制造能力和产业化能力。

2012年2月，国务院办公厅发布了《关于加快发展海水淡化产业的意见》，《意见》指出我国是淡水资源缺乏的国家，人均水资源拥有量低，且时空分布不均。发展海水淡化产业，对缓解我国沿海缺水地区和海岛水资源短缺，促进中西部地区苦咸水、微咸水淡化利用，优化用水结构，保障水资源持续利用具有重要意义，有利于培育新的经济增长点，推动发展方式转变。“十一五”期间，我国海水淡化能力快速增长，已具备进一步发展的条件。为加快发展海水淡化产业，提出发展海水淡化产业的总体思路、发展目标、重点工作、政策措施和组织协调等几条意见。

## 8.2 海水利用专项规划

2005年，国家发改委、国家海洋局和财政部联合颁发了《海水利用专项规划》，全面推进我国海水淡化与综合利用工作。《规划》作为我国第一个详尽阐述海水利用发展目标的宏观指导性文件，明确回答和阐述了我国海水利用现状，海水利用面临的形势，海水利用的指导思想、原则和目标，发展重点、区域布局和重点工程，投资分析与环境影响评价，保障措施等六个方面的内容，对于促进沿海地区水资源的可持续利用，引导海水利用快速健康发展具有十分重要的意义。《规划》的出台，标志着我国海水利用事业步入了一个全新的发展阶段。

为配合《海水利用专项计划》的开展与实施，各沿海地方也纷纷开始筹划地方海水利用专项规划。2005年，青岛市率先编制完成全国第一个城市海水淡化产业发展规划——《青岛市海水淡化产业发展规划》。2006年，天津制定了《天津市海水淡化产业发展规划》，明确发展热法和膜法海水淡化、海水直接利用和海水化学资源提取产业链，建设海水淡化产业化基地和示范城市。2007年，浙江省发展规划研究院编制《浙江省海水利用发

展规划》，鼓励发展海水利用装备（产品）制造业，培育海水利用产业链。2009年，《广东省海水利用专项规划》启动会在广州召开，要求根据广东省海水利用工作的实际情况，编制一个真正符合本省实际的海水利用专项规划。2010年，辽宁省发展改革委与辽宁省海洋渔业厅联合颁布《辽宁省海水利用专项规划》。

## 8.3 海水利用标准发展规划

2006年，国家标准化管理委员会、国家发展和改革委员会、科技部、国家海洋局等部委联合制定了《海水利用标准发展计划》，计划涵盖了我国海水淡化、海水冷却、海水化学资源提取、大生活用海水和海水综合利用等领域。2008年，国家海洋局和物价标准委员会联合发布《全国海洋标准化“十一五”发展规划》，规划提出“十一五”期间重点研究、制定海水资源综合利用和海洋能开发利用标准及这期间我国海洋标准化工作发展思路和目标。其中，海水淡化综合利用标准以海水冷却技术、大生活用海水技术、海水淡化工程、海水综合利用等方面的基础标准、方法标准和产品标准的研制为主。

## 8.4 优惠政策

从2005年起，国家及地方相关政策法规中出现了一些海水产业价格政策和海水利用优惠政策。《海水淡化专项规划》提出要研究制定鼓励海水利用的财税政策，对从事有关海水利用特别是海水淡化给予必要的税收优惠政策支持。2007年11月，国家发展和改革委员会和商务部联合发布《外商投资产业指导目录（2007年修订）》，将“日产10万立方米及以上海水淡化及循环冷却技术和成套设备开发与制造”、“效率>90%的反渗透海水淡化用能量回收装置等反渗透膜组件”等5项海水利用相关技术和产业作为优先鼓励投资项目。同年，国务院推出《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》，要求积极稳妥的推进资源性产品价格改革，制定支持海水淡化等的价格政策，加大水资源费征收力度。国家对海水利用产业的支持和鼓励在税收政策以及循环经济法规中也有体现：新的《中华人民共和国企业所得税法》规定，国家对企业从事海水淡化项目的所得将给予“三免三减半”的优惠，即前三年免税，后三年税收减半；《中华人民共和国循环经济促进法》规定：“国

家鼓励和支持沿海地区进行海水淡化和海水直接利用，节约淡水资源”。

此外，地方性政策规划中也有扶持海水利用产业发展的相关优惠政策。

### 8.5 各部委政策支持

国家发改委、科技部和国家海洋局对发展我国海水淡化都发挥了重要作用。科技部一直关注海水淡化技术的发展，在“九五”到“十一五”期间，进一步加大了对海水淡化和海水直接利用技术研究和产业化发展的资金支持，直接推动了我国海水淡化和海水直接利用的技术进步和示范推广。2004年，国家发改委通过设立“城市节水与海水利用”高技术产业化专项和“节能、节水和资源综合利用”重大项目，重点支持海水淡化和海水直接利用产业化示范工程。

国家海洋局更是在其职能范围内，积极组织海水淡化的调查、宣传，同时在海水淡化的取水区域选划、环境保护等方面都采取了许多积极有效的措施。2008年，国家海洋局于出台了《为扩大内需促进经济平稳较快发展做好服务保障工作的通知》，提出了以下十项海水措施。要求加强海水淡化，海水直接利用和海水综合利用技术研究，大力扶持海洋高新技术产业发展。

### 8.6 市场监管

我国海水利用的市场监管工作已启动，将对海水利用产业的健康、有序、快速发展起到积极推动作用。近年来，在国家的高度重视下，我国海水淡化及综合利用产业得到快速发展。为了适应这一形势发展的需要，国家海洋局在海水利用市场准入与监管方面开展了一些具有重要意义的工作。

2008年9月，“国家海水及苦咸水利用产品质量监督检验中心”正式成立，负责开展全国海水及苦咸水利用产品设备的质量监督检查工作。2010年，该中心完成了我国首次海水及苦咸水利用膜产品质量国家监督专项抽查任务，抽检结果已向社会公布。目前该中心正在执行2011年国家海水及苦咸水利用膜产品质量的第二次抽检。

另外，目前我国已制定了69项海水淡化及利用的相关标准，另有56项正在抓紧制定中。

为提升我国海水利用产业的核心竞争力，国家海洋局长期以来还致力于海水淡化及综合利用

的研究开发和成果转化。在科技部大力支持下，连续组织实施了“九五”、“十五”和“十一五”科技攻关计划，初步构建起具有我国特色的海水淡化及综合利用技术体系，为我国海水淡化及综合利用规模化应用和产业化发展奠定了基础。

刚刚颁布不久的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中，将海洋经济发展作了重点部署，而海水淡化和综合利用作为海洋经济的重要组成部分，也将在“十二五”期间加以培育和大力推进，因此，我国海水淡化及综合利用的发展将面临前所未有的机遇。

### 8.7 行业发展动向

我国是缺水型国家，发展海水淡化不仅是培育战略性新兴产业的迫切要求，也是缓解水资源短缺的重要途径，对推动沿海地区社会经济可持续发展具有重大战略意义。目前，我国在一些海水淡化核心技术与关键设备上与世界先进水平仍有差距，今后应从技术突破、机制创新、市场培育等多个方面入手，强化产学研合作，充分发挥企业在技术创新中的主体作用，加快我国海水淡化技术与产业发展。

前些年较为虚无缥缈的海水淡化市场近两年在我国发展逐渐有升温之势，幕后推手有三个：一是水资源短缺，加快向海洋要水的进程；二是沿海重化工项目对工业淡水的巨大需求；三是城市自来水价格节节上涨，水价与海水淡化成本即将并“价”齐驱。

需求带来市场，从去年开始，涌现一批10万吨规模以上的海水淡化项目。目前我国海水淡化领域，除了传统意义上该领域的知名企业，如以色列的IDE，法国的SLCE，美国的GE、陶氏和德国的西门子，以及新加坡凯发、日本东丽，近段时间，另有水务投资公司——北控水务、中环水务，以及中冶集团、日本的日立，分别以不同形式介入。

具体说来，最近值得一提的事件有：北控水务收购阿科凌，从而获得曹妃甸海水淡化项目（5万吨/日，反渗透膜法），后期可能还有更大规模；中环水务同IDE展开技术合作（从2009年开始，中环水务将海水淡化业务列入公司发展战略，并成立海水淡化专项小组）；东丽与我国蓝星在北京顺义合资建设的反渗透膜项目，预计近日投产，

总投资额约合 5.3 亿元人民币；中冶集团所属中冶连铸与河北乐亭县签订了海水淡化 BOT 项目框架协议，建设每日 20 万吨海水淡化及供水项目，总投资 20 亿元，其供水区域为乐亭临港产业集聚区；日立则在积极推进大连长兴岛 10 万吨规模的海水淡化项目（计划采用反渗透膜法）。

## 9 我国当前海水淡化产业发展对策

近年来我国海水利用产业发展迅速，据《2009 年我国海洋经济统计公报》显示：我国海水利用规模进一步扩大，全年实现增加值 15 亿元，比上年增长 18.6%。在海水淡化、海水直接利用等关键技术方面取得重大突破。部分技术如低温多效蒸馏海水淡化技术、海水循环冷却技术已跻身国际先进水平。已建成具有自主知识产权的万吨级的海水淡化示范工程，是完全独立掌握海水淡化技术的少数国家之一。天津、河北、浙江、青岛、大连等多个万吨级和 10 万吨级海水利用工程相继投产运营，市场已经初步形成。截止 2009 年底，全国的海水淡化产水能力已达到 46.5 万 m<sup>3</sup>/d（专指淡化海水），海水直接利用量达到 500 亿 m<sup>3</sup>/a。未来 20 年内国际海水淡化市场将有近 700 亿美元的商机。我国未来会有几十亿美元的市场。过去海水淡化产业关注的热点在中东地区和欧洲西班牙等地，但现在英国、法国、新加坡、丹麦、日本等国家海水淡化企业纷纷来到我国，从事技术、投资和建设活动。目前，我国市场成为国外海水淡化产品装备制造集团的重要战略市场。相比南水北调，对于北方沿海地区，海水淡化在我国更具有现实价值。在我国国家政策和规划先行的背景下，未来我国的海水淡化市场面临着巨大的机遇。

### 9.1 政府的引导与推动是产业发展的关键

国外海水淡化产业发达的国家，其发展海水淡化有一个共同的特点，即政府对于海水淡化发展起着主导和推动作用。许多国家政府为了解决日益紧缺的淡水资源问题和促进海水淡化产业的发展，在加大资金投入的同时，积极研究制定鼓励发展海水淡化政策措施。如：欧盟把海水淡化作为区域政策重点，对地中海沿海成员国在海水淡化工程建设方面给予资金支持，如西班牙的海水淡化工程项目，欧盟将提供 80% 左右的资金支持。西班牙和意大利政府对海水淡化水给予补贴，

但每立方淡化水补贴额不超过海水淡化的成本。以色列制定政策进行补贴，但每立方淡化水补贴额不超过海水淡化的成本，而且以色列制定 2002~2010 年制水规划，对海水淡化苦咸水淡化和废水回用等提出了明确目标。阿联酋对发电设施和供水设备的进口没有限制，只征收 4% 的关税。

随着海水淡化技术快速发展和市场机制的完善，现在一些国家特别是中东国家采取政府引导与市场化运作相结合的模式，在保证政府对淡化水控制权的前提下引入竞争机制，允许私营经济和国外企业介入，以进一步降低海水淡化工程的建设投资和运行成本。BOT（建设—经营—转移）和 BOO（建设—拥有一经营）是主要融资模式。BOT 方式是项目公司在协议期内拥有、运营和维护这项设施，并通过收取使用费或服务费用回收投资取得合理利润。协议期满后，设施的所有权无偿移交给政府。BOO 则是承包商根据政府授予的特许权，建设并经营某项基础设施，但并不将此基础设施移交给政府。

### 9.2 进行海水利用产业环境影响评价

环境影响评价（EIA）是一种被广泛认可的调查和减缓新发展工程对环境的影响的评价方法。海湾地区每天约有 23.7 吨氯气，64.9 吨阻垢剂，296 千克铜从海水淡化装置排出，成为该地地面基地的主要海水污染源；红海地区每天约有 5.6 吨氯，20.7 吨阻垢剂和 74 千克铜由海水淡化装置排出，但目前尚没有相关科学模型来评估这些排放物对该地环境的影响。海水利用产业对海洋环境影响方面的实验室数据或者实地监测数据非常少。欧盟环境影响评价目录是需要同盟国共同遵守的项目目录，该目录在 1985 年引进，1997 年修正后，覆盖了地上水抽取，水坝和不同河域间水资源转运等计划，但也没有包括海水利用装置。

在决策时，提供一个技术可行性和环境可行性列表，为咨询人员和决策者提供参考，这些都将使海水淡化水成品的价格提高。如为筹划卡尔斯巴德反渗透海水淡化装置，只是书面许可程序就花费了 1.5 亿美元，又附加了一个气候行动计划，整个装置运行 30 年的总成本预计为 7.6 亿美元。目前澳大利亚在建的两个反渗透海水淡化装置，先进的采水和排水系统总造价要高于阿什凯

隆整个装置的总成本。因此可持续海水淡化工程并不是一个乌托邦，淡水价格中不仅包括建设和运行成本，而且也包括降低环境影响所需要的花费（包括环境研究，先进的技术和环境污染补偿措施等）。

在小型装置中强调海洋环境保护和海水资源的可持续利用可能会获得良好的效果，但是就目前的技术条件，要让大型海水装置也能做到环保经济还有很长的路要走。

### 9.3 改进传统工艺，实现技术创新

改进传统工艺，实现技术创新是海水利用产业的根本动力。对于海水直流冷却技术存在严重的腐蚀、结垢、污损生物附着以及海水冷却塔盐沉积、盐雾飞溅等问题，可以通过选用耐海水腐蚀的材料、涂层防腐技术和阴极保护技术。同时，低碳技术与传统海水淡化工艺的组合，不但可以有有效的减轻海水淡化产业对环境的影响，而且有助于实现化石资源的可持续利用。低碳技术可以分为三类，一类是减碳技术，是指高耗能、高排放领域的节能减排技术，如煤的清洁高效利用、油气资源和煤层气的勘探开发技术等；第二类是无碳技术，如核能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术；第三种是去碳技术，典型的是二氧化碳捕获与埋存（CCS）。低碳技术将引领能源利用方式的转变。

### 9.4 实现跨地区和跨区域合作

国际脱盐协会（International Desalination Association, IDA）是海水淡化与水处理领域最具权威性的国际组织，其服务范围是海水与苦咸水淡化、水再利用、水软化与处理等领域，所涉及的技术领域包括各种膜技术、水处理技术、蒸馏淡化技术、水质科学、环境科学与技术以及相关的能源技术等。该组织在世界各地拥有广泛的专家组织和各类会员，以提高世界水科技水平，促进新的水科学和技术的推广及应用，以推进海水淡化技术解决世界水资源缺乏与水污染问题为自己的目标和使命，并在此领域享有很高的声望和广泛的影响力。该组织始终致力于为世界各地、各行业组织合作与交流，以及全球水技术的进步和发展服务。

在 2008 年亚太海水淡化与水再利用会议召开期间，亚太脱盐组织（APDA）正式成立，其

成员国包括我国、日本、澳大利亚、印度、巴基斯坦、新加坡，韩国。2010 年 6 月，亚太脱盐大会以“海水淡化与可持续发展”为主题在我国青岛召开了名为“科学开发海洋资源 共商蓝色经济大计”的国际研讨会，此次会议是亚太地区海水淡化科研领域最高层次的学术盛会。我国工程院院士高从堦、我国脱盐协会（筹）秘书长郭有智、欧洲脱盐学会主席鲁特（Lute Broens）、意大利科学院膜技术中心教授德利奥里（Enrico Drioli）、日本脱盐协会主席栗原优（Masaru Kurihara）等国内外著名学者，以及来自美国、西班牙、德国、日本等 20 多个国家（地区）以及 GE、西门子、日本东丽、美国海德能、科氏、以色列 IDE、西班牙百菲萨、荷兰诺芮特、天津膜天膜、浙江欧美等知名企业的负责人和投资商 450 余人出席大会开幕式，共同研讨促进海洋经济发展，加强海洋环境保护，科学利用海洋资源，共商蓝色海洋经济发展大计。

海水利用是涉及多方面的系统工程，发展海水利用产业是世界大多数国家面临的共同课题，所不同的只是紧迫程度和技术发展水平。开展这一领域的国际合作，吸收先行者的经验教训和成功的技术，不仅是必要的，而且是明智的。制定正确的技术路线，组织力量协作攻关，实现跨地区，跨区域合作是海水利用产业的重要保障。

## 10 我国海水淡化产业现状

初步统计，截止 2009 年底，我国已建成海水淡化装置 66 套，淡化海水能力接近 45.5388 万 m<sup>3</sup>/d。据不完全统计，截止 2009 年底，在建和拟建海水淡化装置 33 套，淡化海水能力接近 263.1080 万 m<sup>3</sup>/d。

### 10.1 从海水淡化技术角度分析

反渗透（SWRO）和低温多效蒸馏（MED）是国内海水淡化工程中应用最多的方法，已建成投产的海水淡化装置中，SWRO 和 MED 合计占了总产水量的 98.62%。SWRO，55 套，约占总装置数量的 83.33%；产能 33.3128 万 m<sup>3</sup>/d，占总产量的 73.15%。MED 装置数量排第二，8 套，约占总装置数量 12.12%；产能 11.6000 万 m<sup>3</sup>/d，占总产量的 25.47%，SWRO 起步早于 MED，2005 年之后产能增加迅速，2005~2008 年产能一直高于 MED。MED 始于 2004 年，2004~2007 年产能出

现小幅增加，2008 年之后产能再次迅速增加。MSF、ED 和 MVC 均仅 1 套装置，且应用年代较早，规模较小。MSF、ED 和 MVC 这三项技术不代表技术发展的方向。而 SWRO 和 MED 装置数量多，产能大，2005 年之后产能增长迅速，是我国海水淡化产业发展的选择。

### 10.2 从海水淡化区域分布分析

已建成的 66 套海水淡化装置，山东省占 20 套，合计产水能力 7.0610 万 m<sup>3</sup>/d；浙江省占 22 套，合计产水能力 9.1380 万 m<sup>3</sup>/d；辽宁省占 12 套，合计产水能力 6.6764 万 m<sup>3</sup>/d；河北省占 4 套，合计产水能力 9.2500 万 m<sup>3</sup>/d；天津市占 4 套，合计产水能力 11.7 万 m<sup>3</sup>/d；其他地区占 4 套，合计产水能力 1.7134 万 m<sup>3</sup>/d。目前天津市和河北省仅有 4 套淡化装置，但淡化水产能大，平均单套装置的日产能达二三万吨。浙江、山东海水淡化装置数量多，分居一二位，但平均单套装置的日产能仅三四千吨。各主要省份海水淡化产量有显著提高均始于 2005 年，但 2008 年之后除河北省、天津市海水淡化产量迅速提高外，其他几个省份呈现下降趋势。目前天津市和河北省海水淡化起步晚，发展快，目前在各省份中产能最高，装置规模趋于大型化，具备较高的海水淡化水平。我国万吨级海水淡化工程分布如图 20 所示。



图 20 我国万吨级海水淡化工程分布

### 10.3 从海水淡化年度产能分析

2005 年起，海水淡化产量呈现快速增长之势。之后 2007~2009 年海水淡化产量一直维持较高的产量，2005 年推出的《海水利用专项规划》对我国海水淡化产业的发展起到很大的推动作用。

### 10.4 从海水淡化应用领域分析

目前淡化海水主要用于解决沿海城市工业用水和海岛地区的市政生活用水。反渗透海水淡化技术应用于市政供水具有较大优势，几乎所有市

政供水的海水淡化系统均采用了反渗透技术。

### 10.5 从万吨级海水淡化工程分布分析

目前我国已建成 20 个万吨级海水淡化工程，但只有两个全部或部分使用了自主技术，分别是 2009 年国华沧东电厂投产的 1.25 万吨/日低温多效蒸馏海水淡化装置和 2010 年投产的舟山六横日产十万吨级膜法海水淡化项目一期工程。我国已建万吨级海水淡化工程，主要采用的是反渗透法和低温多效蒸馏法。反渗透万吨级海水淡化装置共 13 套，总规模达 28.7664 万 m<sup>3</sup>/d，平均单套装置的日产能 2 万吨以上，最大单机生产能力为 1 万 m<sup>3</sup>/d；低温多效蒸馏万吨级海水淡化装置共 7 套，总规模达 21.2500 万 m<sup>3</sup>/d，平均单套装置的日产能 3 万吨以上，最大单机生产能力为 2.5 万 m<sup>3</sup>/d。

## 11 我国海水淡化产业发展历程

我国海水淡化技术是在政府支持和国家重点攻关项目驱动下发展起来的，热法（多级闪蒸、压气蒸馏和低温多效蒸馏蒸馏）和膜法（反渗透、电渗析）等海水淡化技术的研究开发，都取得相当大的进展。1967~1969 年全国组织海水淡化会战，同时开展了电渗析、反渗透和蒸馏等多种海水淡化方法的研究。1970 年，以海水淡化会战人员为主组建国家海洋局第二海洋研究所海水淡化研究室，1984 年在此基础上组建杭州水处理技术研究开发中心，这是我国最早的海水淡化技术研究机构，继后，天津海水淡化与水综合利用研究所、清华大学、大连理工大学等机构开展海水淡化技术研究工作。近 40 年来，我国的海水淡化技术及产业有了长足的发展，国内的海水淡化以低温多效蒸馏和反渗透为主要方法。特别是 2005 年以来，国内建成了一批大型海水淡化工程，我国海水淡化进入了快速发展期。

### 11.1 反渗透海水淡化方面

1997 年，浙江省重大科技攻关项目“500m<sup>3</sup>/d 反渗透海水淡化示范工程”在浙江省嵊泗县嵊山岛建成投产，这是我国第一个自行设计、建造的百吨级反渗透海水淡化工程。2000 年，在国家科技部重点科技攻关项目“日产千吨级反渗透海水淡化系统及工程技术开发”的支持下，先后在山东长岛、浙江嵊泗建成了 1000m<sup>3</sup>/d 反渗透海水淡化示范工程，该工艺在国内首次应用压力式能量回

收装置，可回收反渗透浓水近 94% 的能量；2003 年，国家发改委高技术产业化项目“山东荣成 10000m<sup>3</sup>/d 反渗透海水淡化示范工程”在山东荣成市建成投产，标志着我国成功开发了万吨级反渗透海水淡化装置及工程技术软件，拥有了大型反渗透海水淡化工程技术的自主知识产权，5000m<sup>3</sup>/d 反渗透海水淡化装置单机的设计和建造，在国内当时尚属首例。2006 年投产的大唐王滩电厂万吨级反渗透海水淡水工程是我国第一个投运的“双膜法(UF+SWRO)”海水淡化项目。2007 年 10 月，由国内设计的单机 1 万 m<sup>3</sup>/d 反渗透海水淡化工程在青岛黄岛发电厂建成投产，在单机规模方面接近国际先进水平，标志着我国反渗透海水淡化工艺已基本成熟，具备单机规模万吨级以上海水淡化工程的设计和建造能力。2010 年浙江六横 10 万 m<sup>3</sup>/d 海水淡化示范工程一期项目已经建成，8 月一期工程 1 万 m<sup>3</sup>/d 将投入使用，这是我国具有完全自主知识产权的海水淡化工程。2010 年建成的红沿河核电站海水淡化系统，日产淡水 10080m<sup>3</sup>，是我国核电站中首个海水淡化系统，也是膜法海水淡化在核电领域中最大的应用项目之一，开辟了核电站利用海水淡化技术提供淡水资源的先河。

### 11.2 低温多效蒸馏海水淡化方面

2004 年 6 月由国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所设计的 3000m<sup>3</sup>/d 的低温多效蒸馏海水淡化工程在山东黄岛发电厂一次试车成功，该装置系国内第一台完全自主知识产权的多效蒸馏海水淡化装置，装置的国产化率达 99%。该装置的建设完成表明我国已初步掌握大型低温多效蒸馏海水淡化的成套技术。2006 年 4 月从法国 Sidem 公司引进的 2×10000m<sup>3</sup>/d 低温多效蒸馏海水淡化工程在国华沧东电厂投产。2006 年 12 月由法国 Weir 公司设计、国内为主制造的 10,000m<sup>3</sup>/d 低温多效蒸馏海水淡化工程在天津投产。2007 年国内相关机构整合成立海水淡化公司数家，借助我国电力设备的出口，目前已经签订低温多效蒸馏海水淡化设备供货合同 4 项，产水容量 2.8 万/d。2009 年国华沧东电厂的海水淡化工程开创了单机万吨级海水淡化国产化的先河，日产 1.25 万吨规模的 3 号海水淡化装置是我国拥有自主知识产权的首台万吨级低温多效蒸馏海水淡化装置。2009 年首

钢京唐钢铁厂海水淡化一期工程投产，每天可生产 5 万吨淡水，每年生产约 1800 万吨淡水，占钢铁厂用淡水总量的 50% 左右。2010 年作为国家首批循环经济试点项目的天津北疆电厂一期海水淡化首套装置投产，单机产水能力达到 2.5 万 m<sup>3</sup>/d，是国家开发投资公司和天津市共同开发建设的绿色系统工程。至此，标志着我国的海水淡化工程技术已达到国际先进水平。

### 11.3 海水淡化主要配套设备和材料方面

上世纪九十年代中期以来，我国自主研发通过国家产业化关键技术开发和国家产业化计划等实施，在杭州北斗星和贵州贵阳建立了两条反渗透复合膜生产线，设计膜生产能力达 200 万 m<sup>2</sup>/a。加上从国外引进芳香聚酰胺复合膜生产线，总的设计生产能力合计在 450 万 m<sup>2</sup>/a 以上。累计引进的 RO 膜元件的水处理能力约为 1000 万 m<sup>3</sup>/d。2005 年我国反渗透膜销售额占世界的 20%，达到 10 亿元人民币，包括膜与水处理工程的 RO 国内市场总额达 50 亿元人民币。国产海水给水泵可满足技术要求。产量在 3000m<sup>3</sup>/d 以下的反渗透用高压泵已实现国产化并通过了两年的现场考核，开发出了交换式能量回收装置并进行了现场测试，尚需在稳定性和可靠性方面进一步提高。铝黄铜类海水淡化传热管可满足国内需要并大量出口，开发出了日产万吨级以下的蒸汽热压缩并完成了为期 3 年的现场考核，效率接近国际先进水平，尚需进一步提高效率和开发更大容量的装备。

## 12 我国海水淡化产业发展模式

2005 年，国家发改委、国家海洋局和财政部联合颁发的《海水利用专项规划》中指出资金筹措要充分发挥市场机制作用，主要走市场化运作的路子，通过国家、地方、企业、社会多方筹集，采取企业自筹、银行贷款、社会融资、利用外资、地方配套、国家补助等多种方式，建立多元化、多渠道、多层次、稳定可靠的海水利用投入保障体系。对本规划中的海水利用工程项目的投融资原则，一是属于一般性投资项目，企业作为基本的投资主体，主要向市场融资；二是属于基础性和公益性投资项目，在加强中央政策性投融资、国家安排一定比例的资金补助，强化地方和企业的投资责任的同时，也要积极推行市场化运作方式。根据上述投融资原则，国家将对本规划中确

定的不同性质的重点工程，给予一定比例的资金补助。补助原则：一是以供应城市和海岛居民用水为目标的基础性和公益性海水淡化工程（包括管网建设），应视为城市供水工程等基础设施建设，安排必要的投资补助。二是属于示范工程、国产化技术装备依托工程、示范城市创建工程和重点改造项目等，给予适当补助。地方政府对上述项目，也应予以适当支持。所有项目都要符合有关项目管理要求。目前，我国尚处于海水淡化发展的初级阶段，政府仍发挥主导作用。我国投产的供应城市和海岛居民用水为目标的基础性和公益性海水淡化工程多以政府投资为主。例如：于 2004 年 2 月 20 日由嵊泗县发展计委委员会以嵊计[2004]14 号文批准立项，项目总投资约 470 万元，其中设备投资 350 万元，新增一套的杭州水处理中心研制的日产 1000 吨反渗透海水淡化设备（与一期设备相同）；土建及海水预处理部分改造费用 120 万元。工程于 2004 年 3 月正式实施，计划于 2004 年 7 月底前投入使用。资金落实情况：县财政全额拨款 470 万元。

### 12.1 投资模式趋于多元化

为了加快解决沿海城市和工业缺水现状，从 2002 年开始，国家陆续对水务项目开放，允许鼓励国内外企业个人投资供水、发电等社会基础设施建设。同年国家计委、国家经贸委和外经贸部商务部发布的《外商投资产业指导目录》中，鼓励外商投资海水淡化城市供水厂项目建设和经营，不再明确要求中方控股。2007 年发展改革委和商务部日颁布的《外商投资产业指导目录(2007 年修订)》中更是将“日产 10 万立方米及以上海水淡化及循环冷却技术和成套设备开发与制造”等 5 项海水利用相关技术和产业列入“鼓励外商投资产业指导目录”中。根据全国海水利用专项规划，2010 年我国海水淡化规模将达到 80 万~100 万  $m^3/d$ ，2020 年将增长至 250 万~300 万  $m^3/d$ 。有数字显示：未来 20 年内国际海水淡化市场将有近 700 亿美元的商机。国际脱盐协会技术委员会主席利昂·阿维尔布奇说，“我国未来会有几十亿美元的市场”，这对国外海水淡化企业具有强大的吸引力。对此，我国开始采取政府引导与市场化运作相结合的模式，建立国家、地方、企业多元化、多渠道的投资体系。目前国内海水淡化项目主要

投资模式有：BOO（建设—拥有—经营）和 DBOO（设计、建设、自主拥有和运行）等方式。

2009 年 10 月，我国最大海水淡化项目—天津大港新泉海水淡化项目一期 10 万  $m^3/d$  开始试供水。该项目总投资 7.4 亿元，位于大港区海洋石化园区内，由新加坡凯发集团以 DBOO（设计、建设、自主拥有和运行）形式投资建设，是第一个在我国被政府批准的非企业内部配套的独立项目，打破了多年来海水淡化项目只能为大型项目的配套而不能进入市场化运作等局面。

2010 年 3 月，曹妃甸阿科凌反渗透膜法 5 万  $m^3/d$  海水淡化项目正式开工。据《我国经济周刊》了解，该项目为曹妃甸工业区与阿科凌共同出资 4.1 亿元人民币建设，阿科凌公司取得了 30 年的 BOO（建设-拥有-经营）权限。该项目为国内未来规模化商业运营海水淡化项目开发探索了新的合作发展模式。

### 12.2 循环经济模式

按照循环经济的理念和发展模式，将海水作为一种非常规水资源进行综合利用，形成循环经济产业链，这样在提高经济效益的同时还可以降低潜在的环境污染。海水淡化项目，要积极综合利用海水淡化排放的浓盐水制盐并提取化学资源，形成浓盐水循环利用产业链；海水直接利用项目，要积极利用海水循环冷却排放的浓盐水制盐并提取化学资源。近年来，以循环经济理念为指导，依托沿海工业园区建设，集成海水淡化、海水冷却和海水化学资源综合利用技术，国内部分海水淡化工程开始尝试采用循环经济模式。

#### 12.2.1 河北曹妃甸工业区海水利用循环经济模式

曹妃甸工业区是首批被国家批准为循环经济示范区的 11 个园区之一。海水淡化工程被公认为曹妃甸工业区“循环经济产业链条中的龙头”。2009 年首钢京唐钢铁厂海水淡化一期工程建成投产，它的正式运行标志着曹妃甸在打造循环经济产业链上取得了新进展。

#### 12.2.2 天津北疆电厂海水淡化项目突现循环经济产业优势

2010 年，国家开发投资公司北疆发电厂一期海水淡化首套装置的成功出水。这标志着建设在一片盐碱滩涂之的国家循环经济试点项目，正式

投入运转。项目首创“发电—海水淡化—浓海水制盐—土地节约整理废物资源化再利用”的“五位一体”循环经济模式。

12.2.3 青岛碱业公司形成“纯碱生产—海水淡化—浓海水化盐制碱—热电联产一体化”发展模式

2010年，青岛碱业股份有限公司2万m<sup>3</sup>/d海水淡化项目建成投产，使青岛碱业公司在国内乃至世界纯碱行业中首家形成了“纯碱生产—海水淡化—浓海水化盐制碱—热电联产一体化”的发展模式。该项目建成投产后，将给企业带来资源利用的最大化，并使以海水淡化为标志的海洋化工成为企业新的经济增长点。

## 12.3 产业基地建设

在国家发展改革委、国家海洋局、财政部联合印发的《海水利用专项规划》中，天津、大连、青岛等城市被确定为国家级海水淡化与综合利用示范城市和产业化基地。国家将以这些城市为基础，建设国家海水利用产业化基地。

### 12.3.1 天津

#### 12.3.1.1 水资源现状

天津市位于海河下游，东临渤海，有153公里海岸线，有利用海水资源的天然条件。按2008年的数据，天津全市水资源总量为18.30亿m<sup>3</sup>，天津市常住人口1176万人计算，天津市水资源人均占有量156m<sup>3</sup>，远低于国际公认的年人均水资源1700m<sup>3</sup>的警戒线，属重度缺水地区。仅相当全国人均水资源量的7.53%，天津是淡水资源严重短缺的特大城市。随着滨海新区的开发开放，预计到2010年，年需水量将达到67082万m<sup>3</sup>，供需矛盾将十分突出。

#### 12.3.1.2 政府重视海水利用产业

《天津市海水淡化发展规划》中提出，到2010年，初步建立起政府引导、市场化运作的海水淡化建设和运营体系，以海水淡化、海水化学资源提取和海水淡化成套装备制造为主要内容的水综合利用产业成为高新技术产业的重要组成部分，将本市建成我国海水淡化关键技术的研究开发中心，具有自主知识产权的配套装备加工基地，海水淡化示范城市。

天津市政府已确定海水淡化为城市供水的重要补充。到2010年，天津海水淡化规模将达到

50万m<sup>3</sup>/d，海水淡化年生产能力达1.5亿m<sup>3</sup>以上，年海水直接利用量达40亿m<sup>3</sup>以上

#### 12.3.1.3 科研优势明显

天津市在海水淡化领域集结了一批科技开发力量（比如：国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所、天津大学等）并取得了丰硕的科研成果。最近天津市的5个单位承担了“十一五”国家科技支撑计划重大项目“海水淡化与综合利用成套技术研究和示范”的12个课题，其中9项为天津市主持实施，将获得国家科技专项经费6485万元，占总经费的80%。

#### 12.3.1.4 海水利用产业现状

天津是我国较早实施海水淡化的地区之一，海水淡化技术在我国居领先水平。早在上世纪80年代这里就建设了我国最早的海水淡化工业生产装置。目前，天津海水淡化能力达到11.7万m<sup>3</sup>/d，在建和拟建海水淡化能力达到48万m<sup>3</sup>/d。年直接利用海水能力达14亿吨。

上世纪80年代，天津大港电厂在全国率先引进2套3000m<sup>3</sup>/d多级闪蒸海水淡化装置。2003年天津塘沽盐场海水淡化装置建成千吨级反渗透海水淡化示范工程。2006年，单套产水能力达1万m<sup>3</sup>/d的海水淡化工程正式在天津滨海新区建成通水，这是国内第一台自主制造的万吨级海水淡化设备，由宝成集团引进法国威尔公司（ENTROPIE）全套技术完成，2006年初设备正式移交泰达新水源公司。2009年10月天津大港新泉海水淡化项目一期10万m<sup>3</sup>/d开始试供水，特别是为天津100万吨乙烯项目进行供水配套。天津大港海水淡化工程是目前我国最大海水淡化项目，也是目前亚洲最大的海水淡化厂。该项目由凯发集团以DBOO（设计、建设、自主拥有和运行）形式进行。

2010年前后，伴随着北疆电厂20万m<sup>3</sup>/d、大港新泉10万m<sup>3</sup>/d、塘沽临港工业区10万m<sup>3</sup>/d等一批海水淡化及综合利用重大项目的建成投产，以滨海新区为主体的淡化海水产量将达到50万m<sup>3</sup>/d，约占全国每天淡化海水产量的一半以上。滨海新区将成为全国海水淡化领域的“巨无霸”，为实现可持续发展打下坚实基础。天津市已建、在建及拟建海水淡化项目。

#### 12.3.1.5 配套加工能力增强

目前，大规模海水淡化的关键设备主要由发

达国家提供，年销售额已近百亿美元，每年保持着近 20% 的增速。以天津膜天膜工程技术有限公司、天津宝成集团等企业为代表，天津已经在海水淡化设备制造领域形成了一定的企业集群和产业规模。在膜材料和膜组件、污水膜处理、能量回收装置等设备制造方面形成了一定的技术优势。作为国内膜技术领军企业，天津膜天膜工程技术有限公司已完成国家重大高新技术产业化示范项目“年产 100 万平方米中空纤维膜产品产业化项目”，该项目总投资额 1.2 亿元人民币，厂区占地面积 6.7 万平方米，目前为我国乃至亚洲最大的中空纤维膜生产基地。在海水淡化科研成果向实际生产转化方面，天津也已取得了一定的成效。天津膜天膜工程技术有限公司实施大规模产业化之后，企业仍保持着积极的研发投入，自主开发了具有国际先进水平的 CMF（连续微滤）、MBR（膜—生物反应器）、TWF（双向流）等三大核心技术，填补了国内空白，使我国成为拥有这些技术的少数国家之一。

### 12.3.2 青岛

#### 12.3.2.1 水资源现状

青岛地处黄海之滨，环抱胶州湾，海岸线长 730 公里，便于海水的大规模利用。青岛是我国北方沿海严重缺水城市之一，水资源供需矛盾突出，形势十分严峻。年平均水资源总量为 23.9 亿立方米；人均占有水资源量 328 立方米，仅为全国平均值的 13%，且存在诸如地下水位下降、水质污染、海水入侵等问题。水资源短缺是青岛市长期面临的问题，发展海水淡化产业能够为青岛市提供新水源，减少对客水的依赖，实现经济效益和环境效益的双赢。

#### 12.3.2.2 政府重视发展海水利用产业

青岛市把海水利用既作为解决青岛市城市供水不足的重要措施之一，更将其视为青岛未来水资源的战略保障。2005 年青岛市政府出台了《青岛市海水淡化产业发展规划》，确立了青岛市海水综合利用的总体目标：把青岛建设成全国海水直接利用示范区、海水淡化产业示范基地、海水化学资源综合利用试验区和国家海水综合利用研发中心，使青岛市成为国家海水综合利用示范城市。2009 年市政府出台的《关于加快推进蓝色经济区建设的意见》，明确提出推进海水淡化技术创新，吸引集聚国内外海水淡化领域龙头企业，发展海

水淡化装备制造业，把青岛建设成为全国海水淡化产业装备制造基地和国家海水综合利用示范城市，到 2015 年海水淡化规模达到每日 25 万吨。

#### 12.3.2.3 海水利用产业有一定科技力量

青岛是我国著名的海洋科技城，是我国海洋科研与教育中心，是我国海水利用的发源地，早在 70 年代就组建了专门的“海水综合利用研究所”，在国内最早从事反渗透海水淡化研究。在海水利用防腐蚀与防生物附着领域，拥有雄厚的研发实力和良好的基础条件。目前全市涉及海水利用技术研发以及人才培养机构有我国海洋大学、中科院海洋所、国家海洋局一所、我国船舶工业总公司 725 所等 20 多家院所，有能力解决海水利用关键领域的重大技术问题，推动海水利用产业化发展。

#### 12.3.2.4 海水淡化产业现状

青岛特别重视海水淡化技术的研究与应用，海水淡化技术研究和产业化方面已取得突破性进展，涌现了一批在海水淡化领域拥有自主知识产权的生产企业，已经具备了发展海水淡化产业化的基础。2004 年黄岛发电厂建成了 3000m<sup>3</sup>/d 海水淡化工程，为全国第一个拥有自主知识产权的低温多效蒸馏工艺海水淡化工程，标志着青岛市海水淡化产业开始步入全国前列。2006 年，青岛发电厂建成 2 万 m<sup>3</sup>/d 海水淡化工程。2007 年，青岛黄岛发电厂建成的 1 万 m<sup>3</sup>/d 反渗透海水淡化示范工程，是我国首台单体容量最大、技术含量最高、单机占地面积最小的海水淡化装置。目前，黄岛发电厂海水淡化能力约 2.6 万 m<sup>3</sup>/d。2010 年 6 月，青岛碱业股份有限公司 2 万 m<sup>3</sup>/d 海水淡化项目建成投产，使青岛碱业公司在国内乃至世界纯碱行业中首家形成了“纯碱生产—海水淡化—浓海水化盐制碱—热电联产一体化”的发展模式。该项目建成投产后，将给企业带来资源利用的最大化，并使以海水淡化为标志的海洋化工成为企业新的经济增长点。目前，青岛市形成了 6.6 万 m<sup>3</sup>/d 的海水淡化能力。目前，青岛正在建设总规模为 10 万 m<sup>3</sup>/d 的青岛百发海水淡化项目，该项目采用反渗透海水淡化工艺，计划 2011 年建成通水。届时，淡化海水将直接进入青岛市政自来水供水管网。

#### 12.3.2.5 海水淡化装备生产能力逐步提高

近年来，青岛市委、市政府非常重视海水淡化技术的研究与应用，海水淡化技术研究和产业

化方面已取得突破性进展，涌现了一批以华欧集团为代表的在海水淡化领域拥有自主知识产权的生产企业，已经具备了发展海水淡化产业化的基础。青岛科瑞特机电集团的纳米多微孔陶瓷复合膜海水淡化装置、青岛蓝太系膜产品、双瑞防腐、防污工程有限公司的产品均投入市场。青岛海诺水务科技股份公司目前已具备实施 20 万-30 万吨/日海水淡化项目的能力。

### 12.3.3 大连

#### 12.3.3.1 水资源匮乏

2008 年，大连全市水资源总量为 19.91 亿  $m^3$ ，比多年平均值减少 42.1%，占辽宁省水资源总量（266.03 亿  $m^3$ ）的 7.48%，而大连市人口则占辽宁省（常住人口 4315 万人）的 14.21%。

按大连市 2008 年末常住人口 613 万人计算，大连市水资源人均占有量 325 $m^3$ ，低于辽宁省的人均线（617 $m^3$ ），仅相当全国人均水资源量的 1/6。从国际上人均 1000 $m^3$  作为生存的起码要求线衡量，大连已是水资源严重匮乏地区。

#### 12.3.3.2 市委、市政府重视海水淡化

大连市委、市政府高度重视海水利用问题。2003 年，大连市发展改革委员组织我国市政工程东北设计研究院、北京工业大学和哈尔滨工业大学完成了《大连市海水与城市污水资源战略研究》。这些研究工作都是创建大连海水利用示范基地的前期工作及理论依据。2008 年，为加快全市海水利用，促进水资源可持续利用，保障经济社会可持续发展，大连市海洋与渔业局编制并经市政府批准发布《大连市海水利用规划（2008～2020）》。规划提出了大连市海水利用的指导思想、主要原则、发展目标和重点，提出了海水直接利用、海水淡化和海水化学资源综合利用的发展方向 and 重点。2009 年 12 月 9 日颁布的《辽宁省海水利用专项规划》，更为大连海水利用产业的发展创造了良好的机遇。

#### 12.3.3.3 良好的技术力量和 market 优势

一是核心技术优势。大连理工大学在 2007 年承担了万吨级多效蒸发（MED）海水淡化技术研发项目，掌握了大型 MED 海水淡化装备核心技术，以该项成果为依托、我国自主设计建造的国产首台万吨级海水淡化装备——“国华沧东电厂 1.25 万吨级低温多效蒸馏海水淡化装置”，于 2008 年 12 月建成并顺利投入运行，该装置的各项指标

均达到国际先进水平。该项成果也使我国成为继法国、以色列之后第三个拥有万吨级低温多效蒸馏（MED）海水淡化装备核心技术的国家，使大连在该领域的核心技术优势领先其他地区。目前国内外众多企业纷纷来连寻求合作，在国内外产生了重要影响。

二是装备配套和 market 优势。大连已经具备大型海水淡化装备的制造能力。随着大连市城市化快速发展、产业的向北转移，一些新区新建的和老区拆迁的电厂（包括核电站）、化工厂等都需要建设海水淡化装置，而且《规划》对辽宁省沿海地区和海岛的海水淡化都提出了具体目标要求，使大连市发展海水淡化产业具有广阔前景和基础优势。

### 12.3.4 浙江舟山

#### 12.3.4.1 水资源现状

浙江全省共拥有海域面积 26 万平方公里，大陆海岸线 and 海岛岸线长达 6486 公里，面积大于 500 平方米的岛屿占全国岛屿总数的 2/5，利用海水的条件十分优越。2008 年全省总水资源量为 855.23 亿立方米，人均水资源量为 1670 立方米，低于国际公认的年人均水资源 1700 立方米的警戒线。随着经济的快速发展，全省面临资源性缺水、水质性缺水、高耗性缺水三重压力。尤其是滨海地区这种情况更为严重。

舟山市地处海岛，主要利用水库、山塘等蓄水设施依靠梅汛和台汛两期降水来蓄水，是一个资源型缺水的地区。2008 年，舟山市水资源总量 8.08 亿立方米，按舟山市 2008 年末常住人口 105.4 万人计算，舟山市水资源人均占有量 766.6 $m^3$ ，约为全省平均的 1/2，加上水污染问题日益加重带来水质型缺水，淡水资源缺乏已成为舟山国民经济和社会发展的瓶颈问题。

#### 12.3.4.2 相关政策力度不断加大

浙江省政府加大政策扶持力度，引导海水淡化和综合利用持续健康发展。浙江省在“十五”期间启动了《科技兴海重大科技攻关及示范工程方案》，将海水淡化技术攻关 and 推广应用作为重点项目予以扶持。2007 年省发改委、省海洋与渔业局和省财政厅联合印发了《浙江省海水利用发展规划》，明确提出了 2010 年和 2020 年我省海水利用发展目标，确定了海水淡化、海水直接利用、海水淡化技术和装备制造、海水化学资源综合利用

等海水利用重点领域。目前，浙江省正在积极研究制定在税收优惠、产业技术、用地扶持、项目运营等方面的海水利用扶持政策。

舟山在《浙江省海水利用发展规划》总体布局中定位为海水利用综合发展区。以创建国家级海水淡化与综合利用示范城市为发展平台，大力发展大中型规模的海水淡化和直接利用，积极发展海洋化工和海水综合利用，鼓励发展海水利用装备（产品）制造业，培育海水利用产业链。到2010年，海水淡化规模达到15万吨/日，海水直接利用量达到1亿吨/年。

#### 12.3.4.3 较好的技术支撑条件

浙江是我国海水淡化人才、技术、产业最集中的省份之一，以国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心、海洋二所、浙江大学等为代表的科研机构，拥有一大批专业技术人才。通过承担国家和省部级科研项目，形成了一批具有自主知识产权的重大科技成果，在膜材料合成、制膜工艺优化方面具有国内先进水平。杭州水处理技术研究开发中心承担了我国首套反渗透海水淡化装置的设计和建设，承担了国家千吨级到万吨级的反渗透海水淡化示范工程的设计和建设，近些年来在国内海水淡化的市场占有率达到60%以上。目前，浙江已经建立了国内最大的膜及膜组件生产线，膜的年生产能力达到120万平方米。全省已有近百家水处理工程公司和配套产品生产企业，年产值达20多亿元。

#### 12.3.4.3 具备海水开发利用的基础条件

舟山四面环海，海水资源极其丰富，海水综合利用起步也较早，到目前已形成以海水淡化为主，海水直接利用、浓缩海水利用为辅的综合利用格局。舟山在海水淡化方面可以说是走在全省前列的，1997年嵊泗县“嵊山500m<sup>3</sup>/d反渗透海水淡化”示范工程项目是国内第一个自行设计、自行施工的工程，开创了国内反渗透海水淡化应用的先河，技术上的不断改进，使每吨淡化水综合成本降到了5元左右。2009年全年建设海水淡化工程3处，完成泗礁4000m<sup>3</sup>/d、黄龙1000m<sup>3</sup>/d和衢山2500m<sup>3</sup>/d的海水淡化工程；完成了我国最大的海水淡化项目—六横镇10万吨级海水淡化与综合利用产业化工程一期1万吨级建设，适时建设六横镇10万吨级海水淡化与综合利用产业化二期工程，做好长涂6000m<sup>3</sup>/d海水淡化工程的前期工

作。

截止2009年底，舟山市海水淡化项目情况为：全市累计建成海水淡化工程18处，合计产水淡化能力达到33,200m<sup>3</sup>/d，有效地缓解了海岛旱季缺水状况。目前在建和拟建项目3个，分别是舟山六横10万m<sup>3</sup>/d海水淡化工程、岱山县衢山镇反渗透海水淡化厂二期工程5000m<sup>3</sup>/d、菜园海水淡化五期4000m<sup>3</sup>/d等项目，总生产能力近10万m<sup>3</sup>/d。

### 12.3.5 河北

#### 12.3.5.1 自然条件优越，水资源紧缺

河北省沿海地区处于环渤海经济圈的中心地带，是全国5个重点海洋开发区之一。河北省位于渤海湾西岸及北岸，海岸线总长487.3公里，有良好的海水资源。且由于大陆河川大量的淡水注入，使渤海海水中的盐度很低，仅为3%。优越的自然条件为河北省海水淡化及海水利用产业化提供了良好的基础。但同时河北省也是严重的资源型缺水省份，据评估分析，目前全省的用水总量为200多亿立方米，而省内可用的水资源总量约为170亿立方米，为保障经济社会发展，每年不得不超采40多亿立方米的地下水。按2008年的数据，河北省水资源总量为161.0亿m<sup>3</sup>，河北省水资源人均占有量231.1m<sup>3</sup>，按2008年全国人均水资源量为2066m<sup>3</sup>/人计算，仅相当全国人均水资源量的11.19%。水资源短缺问题已经成为河北省经济发展的严重桎梏。

#### 12.3.5.2 政府重视发展海水利用产业

作为全国水资源严重缺乏的省份之一，要建设沿海经济社会发展强省，解决水资源短缺是必须直面的重大问题，河北省政府高度重视海水利用与开发。2009年5月，《河北省海水利用规划》项目在石家庄通过验收。该规划对于规范和指导河北省沿海三市科学合理利用海水资源，积极培育和发展海水利用产业，引导海水利用工作健康、快速发展具有重要意义。“十一五”期间，河北省实施了海水淡化“328”工程，即抓好沧州、唐山、秦皇岛三个城市试点，推动海水淡化在电力、化工两个行业的应用，组织八大海水淡化工程。项目投资估算31亿元，全部建设后，海水淡化能力达45万m<sup>3</sup>/d。

#### 12.3.5.3 海水利用产业现状

河北省近几年海水淡化产业进展迅速，目前

海水淡化能力达到 9.25 万 m<sup>3</sup>/d。主要生产形式利用钢或电厂产生高温废气对海水进行蒸馏得到淡水，主要生产厂家有国华沧东电厂、首钢京唐钢铁厂、河北大唐王滩电厂以及曹妃甸工业区阿科凌海水淡化项目等。其中，国华沧东电厂是国内第一家大规模引进海水淡化设备的电力企业，可以利用电厂原有的系统设备和电厂低品质抽汽做为制水汽源，以较低的温度（低于 70℃）将海水蒸馏，制得品质很高的淡水，节省了提取海水和海水升温加热的费用，海水淡化的能耗指标从 26.4 (kW·h) /m<sup>3</sup> 降到 2.9 (kW·h) /m<sup>3</sup>，降低了 90% 左右。目前国华沧东电厂海水淡化装置产水能力达到 3.25 万 m<sup>3</sup>/d，包括两台 10000m<sup>3</sup>/d 低温多效蒸馏海水淡化装置和一台 12,500m<sup>3</sup>/d 低温多效蒸馏海水淡化装置。其中，2008 年 12 月投产的 1,2500m<sup>3</sup>/d 的海水淡化装置是我国拥有自主知识产权的首台万吨级海水淡化装置，共创造 8 项全国第一。该装置与国外制造的同类型设备相比，具有造水比高、电耗低、投资低等显著特点，已达到国际同类产品先进水平。公司现海水直接利用达到 4 万 m<sup>3</sup>/d，海水淡化能力已达 3.25 万 m<sup>3</sup>/d，不但满足了电厂运营的用水品质及用量，还具备了外供能力。

首钢京唐钢铁厂海水淡化项目设备于 2008 年 10 月全部安装到位，项目采用法国 Sidem 公司的先进技术，生产过程中利用炼钢产生高温废气对海水进行加热得到淡水，生产能力达到 5 万 m<sup>3</sup>/d，远期达 20 万 m<sup>3</sup>/d。可满足生产使用高品质冷却水的需求，每年可为曹妃甸节约淡水 2000 万 m<sup>3</sup>。

大唐王滩电厂反渗透海水淡化系统是我国第一个投运的“双膜法(UF+SWRO)”海水淡化项目，由我国自行设计建造，一期总设计出力 10,800m<sup>3</sup>/d，已建成装置出水 7200m<sup>3</sup>/d。项目中采用了代表世界最新科技的超短预处理工艺：自清洗过滤器+超滤(UF)。王滩电厂采用海水直流冷却方式，使发电机组冷却不再使用冷却塔，使用过的海水又汇入自然河流回归大海，可节约大量淡水资源，经济、环保，管理成本低。锅炉补给水和其他工业用水由反渗透海水淡化技术获取，生活及消防用水由开发区自来水厂供应。

#### 12.3.5.4 构建曹妃甸循环经济模式

曹妃甸工业区是首批被国家批准为循环经济

示范区的 11 个园区之一，海水淡化工程被公认为曹妃甸工业区“循环经济产业链条中的龙头”。作为一个滨海工业区，在建设初期需要从一百公里以外的唐山市引进数千万吨的淡水，这不仅加重了唐山这座缺水城市的负担，更成为项目引进和经济发展的瓶颈。为此，曹妃甸工业区大力引入海水淡化项目，把海水淡化作为打造循环经济和工业区开发建设的重点产业，打造海水淡化产业，形成产业链条，为工业生产庞大的淡水需求提供不竭的水源供给。

2009 年首钢京唐钢铁厂海水淡化一期工程建成投产，它是曹妃甸工业区第一家建成投产的海水淡化工程。它的正式运行标志着曹妃甸在打造循环经济产业链上取得了新进展。

#### 12.3.5.5 构建海水淡化制造基地

河北省积极推进海水淡化装备配套产业集群建设，构建海水淡化制造基地。目前，河北省秦皇岛市海水淡化制造专业企业主要有四家：（1）秦皇岛禹王环境工程有限公司是专业从事水处理设备研制、生产、工程安装及售后服务为一体的高新技术企业。公司从事水处理研究、设计、生产、施工。其海水淡化设备遍布全国各地，并已远销东亚、东南亚等国际市场。（2）秦皇岛新源水工业有限公司是以研制、生产海水（苦咸水）淡化及工业水处理设备为主，集科研、生产为一体的高新技术企业。（3）山海关船舶重工有限责任公司是国内唯一承接舰船用海水淡化装置和陆用苦咸水淡化装置的制造企业。（4）秦皇岛桑格海洋水开发利用有限公司属于中外合资企业。主营产品为：海水淡化、水处理等设备。该公司的中方投资者曾获“河北省优秀发明单位奖”，日方投资者是拥有诸多发明专利权的海水淡化装备制造企业，两企业致力于开发我国的海水淡化装备制造市场。

### 13 我国海水淡化产业科技发展状况

产业要发展，科技是支撑。1972 年，国家海洋局在杭州第二海洋研究所建立了海水淡化研究室，后来发展为国家海洋局杭州水处理技术开发中心，主要从事膜法淡化过程的研究和开发。1984 年，国家海洋局在天津组建了“海水淡化与综合利用研究所”，主要从事“蒸馏法海水淡化过程”的研发。如今，这两个单位已成为我国南北两大海水

淡化中心和基地。除了上述两家主体队伍之外，天津大学等大专院校及科研院所也从事海水淡化技术的研究和开发工作。下面将简要介绍我国海水淡化与直接利用领域的主要研发机构情况。

### 13.1 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所

#### 13.1.1 单位简介

国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所创建于1984年，位于天津市新技术产业园区内。系国家海洋局直属的我国唯一专门从事海水（苦咸水）淡化、纯水超纯水制备和膜分离等技术研究、设备生产、工程服务的专业性国家级研究所，全面推行ISO9001国际质量管理体系，是国家水处理工程的甲级设计单位。下属海跃高科技技术实业有限公司、水资源利用、膜分离、海洋化工、海洋防腐工程、分析检测等六个技术开发中心和一个实验基地，现有员工460多人，其中高、中级科技人员260多人。

作为国内颇具实力、信誉卓著的国家级水处理技术研究单位与水处理设备供应商，专门从事膜法、蒸馏法海水淡化，苦咸水脱盐；反渗透、电渗析法纯水超纯水制备和工业用水脱盐；工业冷却水处理、污水处理等水处理技术和化工物料分离技术的研究开发、相应设备的研制生产、工程咨询、工程设计，并提供全方位、高水平的水处理和化工物料分离工程服务。同时进行海水化学资源综合利用、海洋防腐涂料技术等领域的技术研究和应用开发。形成海水淡化、海水直接利用、海水化学资源利用、海水水质科学与工程、海水利用发展战略、海水利用检测与监测、膜技术和水处理（工程、产品）等业务领域。

#### 13.1.2 科技成果

在国家和天津市政府的一贯支持下，该所已成为我国在海水淡化、海水直接利用和综合利用技术领域，综合实力最强、水平最高的研究机构之一。建所20余年来，承担完成国家科技攻关、863计划、院所基金、高技术产业化专项以及省部级科技攻关等重大科技项目百余项，建成一批国家重大科技示范工程。“九五”期间，该所承担了8项国家重点研究项目。其中海水循环冷却技术研究、低温压汽蒸馏海水淡化技术研究还获得了国家“九五”优秀成果奖。“十五”期间，天津海

水淡化所承担了2500m<sup>3</sup>/h海水循环冷却技术示范工程、5000m<sup>3</sup>/h海水淡化示范工程、20万平方米住宅小区生活用海水示范工程等三项国家重大研究项目。“十一五”期间，该所承担了“海水淡化与综合利用成套技术研究和示范”重大项目中的六个项目，包括：5万吨/日低温多效蒸馏海水淡化成套技术与装备开发、10万吨级海水循环冷却技术与装备研发、大生活用海水集成技术研究及应用、1000吨/年气态膜法浓海水提溴技术开发、万吨级浓海水提镁技术研究开发和浓海水综合利用新工艺关键技术研究。

此外，该所技术支撑编制完成国家首部《海水利用专项规划》和《海水利用标准发展计划》。截止目前，该所获得国家和省部级科技奖励二十余项，其中国家科技进步奖二等奖一项、国家科技进步奖三等奖一项，取得国家专利近百项。作为我国北方重要的水处理技术研究和工程基地，在相关技术工程化、产业化的推广应用方面，也取得了骄人的成绩。

### 13.2 杭州水处理技术研究开发中心

#### 13.2.1 单位简介

国家海洋局杭州水处理技术开发中心成立于1984年，是国内水处理技术和膜过程开发的创始单位，现有员工300余人（其中我国工程院院士1名，享受国家特殊津贴专家10人，高中级人员占75%以上）。杭州水处理中心是国家液体分离膜工程技术研究中心、我国海洋学会海水淡化与水再利用分会及国家净水设备技术动员中心的依托单位，拥有膜与膜过程国家重点实验室，是硕士学位的授予单位之一，并与多所著名高校联合培养博士研究生。该中心从事的专业有化学工程、环境工程、给排水、化工机械与设备、土木工程、自动控制、经济管理、技术经济、概算、海洋化学和计算机等十五个专业，专业结构合理，形成了研究开发、工程设计成套、安装调试、技术培训、分析监测等全程服务体系队伍。

#### 13.2.2 科技成果

该中心不但在膜技术科研开发领域擎旗，在产品开发和应用上更有着丰富的经验和强大的实力。“七五”以来，中心在国家“七五”、“八五”、“九五”、“十五”、“十一五”、“973”计划、“863”计划、国家科技攻关计划、国家自然科学基金、国家海

洋局和浙江省科技计划中，共承担完成了重大项目六十多项、获国家科技进步一、三等奖各一项，省部级科技进步奖 40 余项，国家级新产品三项，国家专利 30 项，其成果数量居国内行业之首。近期又承担了国家科技部《万吨级膜法海水淡化关键技术与装备研究》的专项研究课题，这些科研成果的成功研制和应用，从根本上扭转了我国膜技术产品长期依赖进口的局面。经过二十年的努力，中心不仅成为国家海洋局内经营规模最大的单位，也成为本行业内规模最大的单位之一。在化工纯水、海水淡化、锅炉补给水、工艺用水、医药用水、电子工业超纯水、金属化合物浓缩分离及各工业领域建立了对行业产生重大影响的成套工程。在海水淡化行业，公司率先在反渗透海水淡化领域建立了当时国内最大的日产五百吨反渗透海水淡化工程，获国家海洋局勘察设计金奖，以后建立了千吨级反渗透海水淡化示范工程，国内最大的万吨级反渗透海水淡化示范工程，目前最大的 10 万吨级亚海水淡化工程的一期工程，以及我国首套膜法 1200 吨/日电镀漂洗液回收镍、铜重金属示范工程。

此外，中心还较好地发挥了“国家队”和行业“领头羊”的作用，先后起草编写行业和国家标准 30 多个（海水淡化行业标准也正在编写中），编写了国家膜技术工程等标准及教育大纲，举办大型国际学术会议 20 多个，举办各类培训班 30 多次，培训行业内骨干 3000 多人，并多次参与国家膜技术及产业发展规划的起草工作和国家重大项目的咨询工作。同时中心作为我国膜分离行业领先技术水平的代表，多次出席国际膜技术会议。

### 13.3 天津大学

#### 13.3.1 单位简介

2000 年天津大学海水淡化与膜技术研究中心成立，该中心由我国海水淡化蒸馏法奠基人之一的王世昌教授任中心主任。中心现有教授 5 人，副教授、副研究员和高级工程师多人，博士和硕士研究生 50 余人。中心拥有一批强有力的产、学、研队伍，已为国内多家大中型海水淡化项目提供技术服务。

#### 13.3.2 科技成果

天津大学是我国最早开展大型陆用海水淡化研究的单位之一，对海水淡化的两种主体技术

——蒸馏法和膜技术法都有深入研究，并取得了多项成果，在国内外有较大影响。二十世纪六十年代即开始进行反渗透海水淡化研究，七十年代中期开始研究多级闪蒸海水淡化，八十年代初主持完成天津市科委重点示范工程，建成我国第一台日产百吨级海水淡化多级闪蒸装置，达到同期国际水平。之后，天津大学先后承担了海水淡化方面的国家“九五”、“十五”攻关项目、国家“863”计划项目、国家自然科学基金和天津市自然科学基金项目等十多项，内容涉及多级闪蒸、多效蒸发、露点蒸发淡化、海冰淡化、海水淡化能量回收装置、液体分离膜等多个方面。

## 14 我国海水淡化产业主要生产企业

### 14.1 天津宝成机械集团有限公司

天津宝成机械集团有限公司始创于 1984 年，是天津市高新技术企业和十大民营企业之一。是一个集科研、设计、制造、安装、旅游、服务、金融于一体的企业。现有职工 2200 人，占地面积 800 亩，建筑面积 18 万平方米，固定资产达 21 亿元。主要产品有：锅炉、压力容器、中央空调、大型海水淡化装备和各种环保设备。

海水淡化装备的研发、制造和浓海水综合利用是公司着力打造的三大产业之一。公司的“大型海水淡化装备制造产业化基地建设”项目，已被列为天津市“十一五”规划中的 12 个重大科技专项和天津市 20 项自主创新产业化重大项目之一。以循环经济的理念为指导，培育海水淡化及海水综合利用产业链，利用“博士后创新实践基地”和创建“国家级院士工作站”，构建技术支撑平台。2006 年 01 月 26 日，我国第一台万吨级海水淡化装置，由天津宝成机械集团制造加工完成，正式移交天津泰达新水源科技发展有限公司，它将为开发区一期海水淡化打下坚实基础。

### 14.2 我国众和海水淡化工程有限公司

我国众和海水淡化工程有限公司由东方汽轮机有限公司、电力规划研究、勘测设计中央企业我国电力工程顾问集团公司、国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所共同出资组建，实行强强合作，集各家优势为一体，共同开拓国内和国际海水淡化市场。公司成立于 2007 年 3 月，注册资本 8000 万人民币。位于天津滨海新区的临港工业区，占地 13.4 万平方米。公司北邻码头，大型

海水淡化装备可直接从海上发运到世界各地；面临国家海水利用工程研发中心，地理环境优越，是国家海水利用北方产业化基地的重要组成部分。

公司采用国际先进高新技术和自主知识产权的专有技术，专业从事海水（苦咸水）淡化和水处理的工程咨询、设计、装备制造，主要业务包括：低温多效蒸馏海水淡化、反渗透海水淡化、电厂锅炉补水、工业纯水和超纯水、中水回用和工业废水处理等。

#### 14.3 滨海环保装备（天津）有限公司

滨海环保装备（天津）有限公司（以下简称“滨海环保”）坐落于天津经济发展的第三增长级——天津滨海新区，致力于以海水淡化为主的环保产业，向全球客户提供环保领域相关设备的加工制造、工程承接、设计及技术咨询等服务。

滨海环保装备（天津）有限公司主营海水淡化装备、余热回收装置、烟气脱硫装置、燃煤锅炉、燃油（气）锅炉、换热器、反应釜、余热锅炉、蒸发器、预热器、冷凝器、油压罐、空气储罐、反应器和冷凝物回收罐。

### 15 我国海水淡化产业政府相关计划和研究项目

自上世纪 60 年代以来我国开始研究海水淡化技术，“九五”期间科技部首次设立了有关海水利用的项目——海水资源开发利用关键技术研究。随后“十五”、“十一五”均将海水利用相关技术及产业研究列入国家科技攻关项目，并将其列入《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南》。“九五”到“十一五”期间的部分海水淡化与直接利用科技攻关项目。

#### 15.1 国家十五重点科技攻关计划“工业节水及膜法海水淡化技术开发”项目

“十五”期间受国家科技部的委托中化化工科学技术研究总院作为项目组织单位，组织天津化工研究设计院、杭州水处理技术开发中心、北京化工大学、南京工业大学等院所、高校及近 30 家企事业单位共同承担了“十五”国家科技攻关计划重点项目“工业节水及膜法海水淡化技术开发”的研究开发工作，解决了工业水处理领域的一些重大的关键性技术及集成技术，取得了明显的节水成效。攻关的主要内容有 4 个方面，即绿色水处

理药剂开发、工业节水成套技术开发、工业废水回用技术开发及海水淡化关键设备开发。

#### 15.2 城市节水和海水利用高技术产业化专项

为贯彻落实“十五”高技术产业发展规划，加快城市节水和海水（苦咸水）利用产业发展，2004 年国家发展和改革委员会组织实施了城市节水和海水利用高技术产业化专项。

专项的主要目标是：通过实施城市节水和海水利用高技术产业化专项，在城市节水领域，重点开展新型节水技术及废水资源化技术产业化示范以使有限的水资源得到最大限度的利用；在海水利用领域，重点开展海水淡化、海水直接利用等技术的产业化示范，推动海水资源的开发利用，缓解我国水资源的供需矛盾，实现经济和社会的可持续发展。

专项支持的重点技术方向：围绕我国具有产业化基础的城市节水技术、海水淡化和海水直接利用等三个方面开展产业化示范工作。

#### 15.3 海水淡化与综合利用成套技术研究和示范重大项目

2007 年，“十一五”国家科技支撑计划“海水淡化与综合利用成套技术研究和示范”重大项目全面启动。国家海洋局副局长陈连增指出，该项目的启动和顺利实施，对于发展我国自主创新的大型海水淡化与综合利用技术装备，形成我国自主的海水利用技术、装备、标准和产业化体系，全面提升我国海水利用核心竞争力，推进海水利用产业快速发展，具有重大意义。据国家海洋局介绍，“海水淡化与综合利用成套技术研究和示范”项目总投资约 11.5 亿元，其中国家拨经费 9680 万元。共设 14 个课题，实施周期为 4 年。项目以增强自主创新能力为核心，以创建海水利用产业链为主线，将开展大型海水淡化与综合利用成套技术研究，建立大型海水淡化、海水循环冷却、生活用海水、海水化学资源提取利用示范工程。国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所、青岛华欧海水淡化有限责任公司、北京北大青鸟新能源科技有限公司、天津长芦海晶集团有限公司、北京师范大学、天津大学等单位共同承担该项目。

#### 15.4 浙江省重大科技专项——海水淡化与海水综合利用技术专项

2007年,浙江省根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》,制订了海水淡化与海水综合利用技术专项。本专项研发投入预算3.0亿元,其中省财政拨款和补助0.5亿元,争取国家项目经费0.5亿元,地方政府配套及单位自筹2亿元。本专项主要支持以下几方面的技术开发,一是海水淡化大规模工程技术的开发,为我国实施大型海水淡化项目,为沿海地区大型工程和区域供水提供技术支撑;二是根据我省海岛众多、对中小型海水淡化装置需求较大的特点,重点支持各种型式的中小型海水淡化装置制备技术的开发,如太阳能、风能与海水淡化耦合的海水淡化装置,船用及移动式海水淡化装置;三是支持海水淡化关键设备与部件的开发,重点支持全国产化的中小型反渗透海水淡化装置的研发、系列反渗透海水淡化膜元件、中型能量回收装置及高压泵的开发,形成全省完备的海水淡化产业链;四是支持海水综合利用技术的开发,以浓海水利用为突破口,通过以海水为资源进行综合利用,进一步降低海水淡化成本,发展海洋新兴产业;五是支持膜法微污水处理技术的开发,重点支持纳滤和超微滤膜元件的开发、各种新型微污水处理工艺及装备的开发,改善我省微污染水地区的水质。

### 15.5 河北将实施海水淡化“328”工程

“十一五”期间,河北将实施海水淡化“328”工程,即抓好沧州、唐山、秦皇岛3个城市试点,推动海水淡化在电力、化工两个行业的应用,组织八大海水淡化工程。项目投资估算31亿元,全部建成后海水淡化能力将达到45万 $m^3/d$ 。海水淡化工程主要集中在沧州、唐山、秦皇岛三个沿海城市,其中包括唐山曹妃甸港口和重化工业园区10万 $m^3/d$ 的反渗透海水淡化工程、唐山三友集团1万 $m^3/d$ 的低温多效蒸馏海水淡化工程、国华沧东电厂的海水淡化工程,以及秦皇岛新源水工业有限公司的海水淡化装置产业化项目等八个工程。

### 16 我国海水淡化产业相关企业研发投入

《海水利用专项规划》中指出资金筹措要充分发挥市场机制作用,主要走市场化运作的路子。该规划的海水利用工程项目的投融资原则,属于一般性投资项目,企业作为基本的投资主体,主

要向市场融资。

但海水淡化产业投资的特点是投资大,见效慢,周期长。建设1万 $m^3/d$ 海水淡化项目需要1亿元人民币。大型海水淡化项目一般需要数十亿的建设资金。大型海水淡化往往不是一个企业能够承担的,而是涉及到方方面面。在国外企业背后,站着一群实力强大的投资银行、投资商、基金。我国企业在融资方面的能力,则是非常单薄。目前,我国海水淡化工程建设更多还停留在“你有钱,我就给你做”的阶段。而国外企业的做法则是,只要你需要,我们就谈价钱,谈政策,何时为你建成。由于我国从事海水淡化的企业相对弱小,我国的大型海水淡化项目建设大多是由国外公司完成的。我国投产的供应城市和海岛居民用水为目标的基础性和公益性海水淡化工程多以政府投资为主,我国本土企业尚欠缺投资能力。

鉴于我国尚处于海水淡化发展的初级阶段,发展海水淡化产业,需要企业的自身努力,更需要政府的大力支持。以新加坡为例,新加坡政府投资建设示范工程带动产业的发展,同时政府的关注和扶持也大大鼓励了企业积极参与,这促使新加坡海水淡化产业能够迅速发展起来。这不单纯是一个技术问题,而是受项目管理、融资等方面的影响。我国在这方面还有很多需要学习的地方。

### 17 我国海水淡化产业存在问题

经过多年的努力,特别是“十五”、“十一五”期间的发展,我国海水淡化与海水直接利用产业取得了很大的进展,但与国外相比还有不小的差距。

(1)我国海水淡化产业化、规模化程度较低。国家对规模示范工程的资金投入不足,造成规模示范不够,制约了该领域技术的发展和成果的转化。缺乏万吨级、10万吨级大规模海水淡化装置设计、加工制造、安装调试及运行维护的工程实践,迫切需要通过规模示范形成成套技术和锻炼队伍。

(2)海水淡化设备还不能完全实现国产化。反渗透膜组件、高压泵、能量回收及水处理药剂等关键部件和材料仍以进口为主,迫切需要形成关键部件的自主技术和批量生产能力。

(3)新能源在海水淡化的应用尚处于探索阶

段。海水淡化与核能、海洋能、风能、太阳能等可再生能源相耦合的技术还处于初期研究阶段，尚需不断完善。

(4) 海水淡化营运成本有待进一步降低。目前海水淡化还没有走上产业化发展的道路，且每吨综合成本都在 5 元左右，其每吨成本明显高于自来水。成本高是制约海水淡化迅速普及的一个重要因素。

(5) 我国海水淡化行业的多元化进程还处于起步阶段。海水淡化产业投资的特点是投资大，见效慢，周期长，本土企业欠缺投资能力，我国需要逐步引导建立政府引导与市场化运作相结合的多元化投资模式。

(6) 大规模海水利用所产生的海洋环境污染问题。海水淡化、制盐和盐化工产品提取生产过程中产生的固体废弃物含有大量重金属，这将对近海海域造成很大的污染。海水淡化排出大量的浓盐水，其含盐量高于海水一倍左右，如果浓盐水不经处理直接排放，必将影响海洋生态环境。另外，排放废水的温度问题不容忽视。海水水温的升高还会使海水中溶解氧的含量降低，影响生物的新陈代谢，甚至使生物群落发生改变，破坏海洋生物的栖息环境。

## 18 我国海水淡化产业发展对策及建议

大力发展海水淡化，积极向海洋要淡水。是解决沿海地区和海岛水资源短缺问题的战略选择。为促进我国海水利用产业的快速发展，提出以下几点建议：

### 18.1 强化政府引导作用，推进海水利用产业快速发展

强化《海水利用专项规划》落实，根据《规划》的总体要求，继续促进沿海地方政府因地制宜、统筹安排，加快本地区海水利用规划的编制步伐，尽快建立规划的实施机制和政策措施，以引导海水利用产业向规模化方向发展；积极落实海水利用重点工程和海水利用示范区建设，推动海水利用规模化应用。

制定海水利用税收方面的优惠政策，加大沿海地区工业用海水的力度。对海水淡化企事业单位在研究开发、专用设备购置和生产等方面，予以一定的税收优惠政策支持。具体政策内容如对企业从事海水淡化与利用研究开发费，在按实际

发生额扣除的同时，允许再按实际发生额 50% 在税前加计扣除；对海水淡化与综合利用企业购置的专用设备，允许实行加速折旧；对利用海水作冷却水和淡化水作为锅炉用水的生产企业，实行税收奖励政策，每年由公共财政返还给企业一定的所得税；对海水淡化生产厂、海水淡化技术开发兼专用设备生产的企业给予 3~5 年的免收所得税的优惠政策。利用优惠政策吸引沿海地区火电、石油石化、化工、冶金等高用水企业的新建或改扩建工程新增用水时优先使用海水及海水淡化水。严格限制在沿海地区新建以淡水为水源的高用水项目，加强市场准入管理，强化源头控制。

鼓励和支持海水淡化水进入市政管网，建立新型水价形成机制。对于海岛等严重缺水地区，允许海水淡化水进入市政供水管网。各级政府对公益性海水淡化工程及配套的供水管网建设给予总量不低于 60% 的资金支持。政府对淡化水价格进行适当补贴，促进海水淡化水的生产和使用。

保障海水淡化项目用海用地。要按照全国海洋功能区划的要求，在认真调查的基础上，开展海水利用功能区选划，合理划定特殊和一般工业用水区，为海水淡化提供用海保障。海水淡化项目用海应缴海域使用金可享受优惠政策。保障海水淡化项目的建设用地，对于公益性海水淡化项目可采取行政划拨方式予以提供，运营企业在合同期限内拥有划拨土地规定用途的使用权。

### 18.2 加强技术和设备制造的自主创新，加快海水利用国产化进程

进一步加强海水利用科技创新能力建设，开展大型海水利用产业化集成技术的研究开发；积极构建以国家级海水利用重点实验室、海水利用国家工程技术研究中心为核心的科技创新平台，不断提高创新能力。同时，积极推进海水利用产业化基地建设，加快海水利用装备国产化进程，促进海水利用产业链的形成和发展。

(1) 依托重大专项，用项目带动技术、人才和产业的发展。建成 10 万吨/日 MED 海水淡化示范工程（单机规模 $\geq 2.5$  万吨/日）和 10 万吨/日 SWRO 示范工程（单机规模 $\geq 1$  万吨/日），通过规模示范形成成套技术和锻炼队伍。

(2) 注重基础研究，加强能力建设，注重项目引导，完善海水利用实验室建设，通过能力建

设培养人才，促进研究能力和水平的提高。

(3) 组织产学研相结合的科技攻关，解决海水淡化产业化的技术难题。组织产学研相结合的科技攻关小组，开展能量回收、高压泵、膜技术、系统集成技术等核心技术设备的联合攻关，实现海水淡化设备制造的国产化，提高装备标准化、系列化和规模化水平，进一步降低海水淡化项目投资和制水成本。

重视风能、核能、太阳能、潮汐能等新能源技术在海水淡化上的应用。探索海水淡化与核能、海洋能、风能、太阳能等可再生能源相耦合的技术，为海水淡化与清洁能源的结合奠定基础。

### 18.3 促进清洁生产，创建海水利用循环经济产业链

更加注重环境保护和资源的综合利用。以海水淡化为龙头，走造水和资源综合利用的循环经济之路。

严格厂址的选择，注重海洋环境保护。实现水资源的净化回用和有用物质的回收。将海水利用产业同电力、钢铁等产业相结合，利用部分废热实现水的循环利用，减少或避免废水的排放等。海水淡化技术用于化肥石化、化工、电镀、有色冶金等行业，回收高纯水，同时回收废水中的有用物质，实现节能减排。加强海水淡化后浓海水的综合利用。鼓励浓水制盐，实现盐碱联产，利用浓海水发展特种养殖和提取稀有化工原料等，在渤海湾避免浓水排海，促进清洁生产，实现零排放，创建循环经济产业链。

### 18.4 建立多元化投融资模式，推动海水利用市场化运作

(1) 充分发挥市场机制作用，主要走市场化运作的路子，通过国家、地方、企业、社会多方筹集，采取企业自筹、银行贷款、社会融资、利用外资、地方配套、国家补助等多种方式，建立多元化、多渠道、多层次、稳定可靠的海水利用投入保障体系。在保证政府对淡化水控制权的前提下引入竞争机制，加快海水淡化工程项目建设，降低海水淡化工程的建设和运行成本。

(2) 省财政和沿海地方政府都要建立扶持海水淡化发展的专项资金，加大对海水淡化科技创新、工程示范和产业化发展的投入支持。

(3) 鼓励社会投资主体采用 BOT 等特许经

营方式投资或与政府授权的企业合资建设海水淡化工程。

(4) 鼓励采用海水淡化水水费等质押贷款方式，积极尝试以各种方式拓宽海水淡化工程建设的融资渠道。

(5) 海水淡化（包括海水直流冷却技术的应用）可由工业用水切入应用市场。

### 18.5 建立完善的标准和规范体系，强化海水利用市场监管

(1) 加强管理、避免政府部门管理的交叉和缺位，强化市场监管，规范市场准入。依据职能建立标准和规范体系，进一步促进海水利用规范、有序发展。

(2) 通过相关职能部分，开展我国海水利用产品装备的质量监督检验工作，强化市场监管。

(3) 建议加强标准与科研、生产的协调配套，从海水水质、海水净化、海水预处理、淡化水水质、技术咨询、工程设计、设备制造等各方面推进标准化。

(4) 从技术评估、投资估算、设备考核、成本核算、运行管理等方面建立海水淡化系列技术规范，保证海水淡化技术的高起点、高标准和规范化发展，并以此建立市场监管机制。

---