

# 我国海水淡化利用模式分析

刘冬林<sup>1</sup>, 王海锋<sup>2</sup>, 庞靖鹏<sup>2</sup>, 张 旺<sup>2</sup>

(1. 中国人民大学马克思主义学院, 北京 100872; 2. 水利部发展研究中心发展战略处, 北京 100038)

**摘 要** 海水淡化作为海水利用的重要内容, 因其替代淡水效果好、工程投资规模较大、社会效益较高而备受社会各界关注。通过收集海水淡化的研究综述, 整理海水淡化工程的布局, 总结出可行的远距离输水海水淡化利用模式、工业企业海水淡化联产联用模式、海岛海水淡化利用模式及其经济技术特点, 结合沿海各地区具体水资源条件和经济社会条件, 提出在环渤海地区发展 3 种模式, 在沿黄海地区主要发展海水淡化联产联用模式、在沿东海和沿南海地区主要发展海岛海水淡化利用模式的建议。

**关键词** 海水淡化; 布局; 经济技术条件; 联产联用; 海岛

中图分类号: F124.5 文献标志码: A 文章编号: 1671-4970(2012)03-0062-05

根据海水淡化工程的技术类型、用途、其他经济技术特征, 可以将海水淡化工程分为不同利用模式。结合我国沿海各地区和岛屿的自然条件和经济社会条件合理布局海水淡化工程利用模式是进一步降低海水淡化成本、促进海水淡化产业化发展、解决沿海地区经济社会发展水资源瓶颈的关键。

## 一、我国海水淡化工程的规模及技术经济条件

目前, 我国海水淡化和海水直接利用已有一定规模, 海水淡化成本不断降低, 各项技术都有较大发展, 各项淡化技术和各类型海水淡化的比较优势日趋明显。

### 1. 海水利用布局现状研究

截至 2010 年底, 我国已建成投产的海水淡化装置总数为 76 套, 总产水能力 55.78 万 t/d。在已建成投产的 76 套海水淡化装置中, 山东省占 21 套, 合计产水能力 5.96 万 t/d; 浙江省占 23 套, 合计产水能力 6.37 万 t/d; 辽宁省占 14 套, 合计产水能力 7.1 万 t/d; 河北省占 6 套, 合计产水能力 10.49 万 t/d; 天津市占 5 套, 合计产水能力 21.7 万 t/d; 广东省占 3 套, 合计产水能力 3.02 万 t/d; 其他沿海省市占 4 套, 合计产水能力 1.14 万 t/d<sup>[1]</sup>。

从海水淡化所采用的方法看, 反渗透(RO)和低温多效蒸馏(MED)是海水淡化工程中应用最多的方法。反渗透法以 38 万 t/d 的产水量, 排在第一位,

约占 68.1%; 低温多效蒸馏法以 17.1 万 t/d 的产水量, 排在第二, 约占 30.6%; 多级闪蒸蒸馏法(MSF) 0.6 万 t/d 的产水量, 排在第三, 约占 1%。从已建成投产的装置数看, 反渗透法有 64 套, 约占 85.7%, 而低温多效仅有 7 套, 约占 9%; 多级闪蒸蒸馏法有 1 套, 约占 1.3%, 其他海水淡化 2 套, 约占 2.6%。海水淡化方法所占产水量和装置数比例的差异是由于装置规模造成的, 低温多效蒸馏装置的平均产水量为 24 428 t/d, 而反渗透装置的平均产水量仅为 5 938 t/d。从产水量看, 用于市政供水的合计产水量为 15.036 万 t/d, 占总产水量的 26.9%; 用于工业用水的合计产水量为 40.62 万 t/d, 占总产水量的 72.8%; 其他合计产水量为 1 704 t/d, 占总产水量的 0.3%<sup>[1]</sup>。

### 2. 海水淡化的经济技术条件

我国海水淡化技术日臻成熟, 海水淡化成本已接近 5 元/t。青岛黄岛建成目前国内最大的具有完全自主知识产权、独立设计和加工制造的 3 000 t/d 低温多效海水淡化技术示范工程。该工程运转稳定, 淡化水质良好, 平均造水成本 4.7 元/t<sup>[3]</sup>。若海水淡化规模较大, 海水淡化成本将进一步扩大。按现有技术水平初步预计, 一个 50 万 t/d 的热膜耦合海水淡化工厂需投资约 30.9 亿元。吨水静态制造成本约为 3.5 元, 考虑到管网建设投资分摊、管网漏失和污水处理费用, 海水淡化的入户成本应在 6 元/

t 左右<sup>[4]</sup>。

反渗透法与低温多效法各具有优缺点。反渗透法(RO)具有投资省、能耗小、操作方便、易于自动化控制等优点。但反渗透法预处理成本较高,对水温有一定要求。低温多效蒸馏法(LT-MED)具有设备腐蚀结垢现象轻、进料预处理简单、过程动力消耗小、系统热效率高、生产淡水水质高等优点,在有废热利用的情况下,低温多效蒸馏法的运行成本比多级闪蒸和反渗透法都要低,其制水成本比反渗透每吨水低 1~1.5 元。

水价是制约我国海水淡化水进入市政管网的主要因素。目前,国际上海水淡化成本约 0.50 美元/t,国内成本约 5~8 元/t。世界上许多国家自来水价格已高于海水淡化水。在我国,受政府补贴等因素影响,自来水价格偏低,仅为国际水平的 1/3<sup>[5]</sup>。

## 二、海水淡化工程布局现状

海水淡化工程建设情况主要分为拟建、在建和已建,由于拟建海水利用项目具有较大的不确定性(天津北疆电厂拟建 40 t/d,但是实建产能 20 t/d),应在在建和已建海水淡化工程作为海水利用布局的主要依据。目前,我国在建和已建海水淡化产能达 79.9594 万 t/d。

### 1. 北方沿海海水淡化工程布局

北方沿海是指辽宁、河北、天津和山东四地区,该地区已建和在建海水淡化产能达 64.2604 万 t,占现有已建和在建工程总产能的 80.3%,反渗透海水淡化工程与低温多效海水淡化工程数量接近。辽宁地区共有海水淡化工程 10 项,其中大部分是反渗透海水淡化工程,该地工程总产能达 5.4564 万 t,占北方沿海地区海水淡化工程总产能的 10%。其主要布局在大连、营口两地,大连有海水淡化产能 4.4444 万 t,占辽宁地区总产能的 81.5%。河北地区共有海水淡化工程 5 项,3 项为低温多效,2 项为反渗透,该地工程总产能达 11.75 万 t,占北方沿海地区海水淡化工程总产能的 18.3%。其主要分布在唐山和黄骅两地,唐山海水淡化产能 8.5 万 t,占

河北地区总产能的 72.3%。天津地区已建和在建海水淡化工程有 6 项,其中包括 3 项为低温多效工程、2 项反渗透工程、1 项多级闪蒸工程,工程总海水淡化能力达 31.4 万 t/d,占北方沿海地区已建和在建的海水淡化能力的 48.9%。山东地区已建和在建海水淡化工程达 13 项,其中反渗透海水淡化占 8 项以上,该地总海水淡化能力达 15.654 万 t,占北方沿海地区总海水淡化能力的 25.3%。其主要布局在青岛、威海、荣城、莱州、即墨等地,其中青岛已建和在建海水淡化能力达 14.106 万 t,占山东地区海水淡化能力的 90.1%,莱州、荣城、威海、即墨各占 5%、3%、1%、0.3%(表 1)。

### 2. 南方沿海海水淡化工程布局

本文所指我国南方沿海包括江苏、上海、浙江、福建、广东、广西、香港、海南等地的沿海地区(不包括南方沿海岛屿)。其中建有或在建海水淡化工程的地区主要包括浙江、福建、广东三地。南方沿海海水淡化工程共有 7 项,主要采取反渗透技术,海水淡化总能力达 9.816 万 t/d。浙江沿海共有海水淡化能力 5.716 万 t/d,占该地区海水淡化能力的 58.2%,主要分布在温州、台州两地。福建沿海海水淡化工程共 1 项,位于福建宁德市,产能 1.08 万 t,占南方沿海海水淡化总产能的 11.7%。广东沿海地区已建海水淡化工程共 3 项,海水淡化产能达 3.02 万 t,占南方沿海淡化总产能的 30.8%(表 2)。

### 3. 海岛海水淡化工程布局现状

我国海岛有常驻居民的有 400 多个,具有已建和在建海水淡化工程的主要分布在辽宁、山东、浙江、海南周边海域。我国已建和在建海岛海水淡化工程达 39 项,基本上采用反渗透技术,总产能达 5.883 万 t/d,占我国已建和在建海水淡化产能的 7.4%。辽宁海域附近共建海水淡化工程 2 项,分布在大连市长海县,产能 0.15 万 t,占我国海岛海水淡化总产能的 2.5%。山东附近海域海岛已建海水淡化工程 8 项,总产能达 0.315 万 t,占我国海岛淡化总产能的 5.4%。山东附近海域的海水淡化工程主要布局在烟台和威海两市附近海域,烟台市由以长

表 1 北方沿海地区已建和在建海水淡化工程

亿 m<sup>3</sup>/a

省、市	总产能	工程	技术类型
辽宁	0.20	华能营口电厂海水淡化装置(Ⅱ期)、红沿河核电海水淡化工程等 大连石化低温多效海水淡化装置	反渗透 低温多效
河北	0.43	大唐王滩电厂海水淡化工程、曹妃甸工业区海水淡化工程 首钢京唐海水淡化工程、黄骅电厂海水淡化工程Ⅱ期等	反渗透 低温多效
天津	1.15	天津市塘沽区海水淡化试验工程、天津大港新泉海水淡化装置 天津市泰达海水淡化工程、天津北疆电厂海水淡化工程Ⅰ、Ⅱ期等	反渗透 低温多效
山东	0.57	青岛市海水淡化工程、华能威海电厂海水淡化工程等 黄岛电厂低温多效海水淡化示范工程、青岛碱业海水淡化工程Ⅰ期等	反渗透 低温多效

省份	总产能	工程	技术类型
浙江	0.21	华能玉环电厂海水淡化工程、浙江乐清电厂海水淡化工程等	反渗透
福建	0.04	宁德核电厂海水淡化工程	反渗透
广东	0.11	广东惠来电厂海水淡化工程、广东惠州平海电厂海水淡化工程等	反渗透

岛县海水淡化工程最多,长岛县海水淡化工程共6项,海水淡化产能达0.215万t,占山东附近海域海岛总海水淡化产能的68.3%。浙江附近海域海水淡化工程多达23项,总产能达5.305万t,占我国海岛淡化总产能的90.2%,该地区海水淡化工程主要分布在舟山群岛附近。海南附近海域有海岛海水淡化工程4项,淡化能力达720t/d,主要分布在西沙和东锣岛附近(表3)。

### 三、海水淡化利用不同模式的分析

目前,可行性较好且具有较高发展前景的海水淡化利用模式主要包括远距离输水海水淡化利用模式、工业企业海水淡化联产联用模式、海岛海水淡化利用模式。每种由于其内涵和经济技术条件要求的不同而具有不同的特征和布局范围。

#### 1. 远距离输水海水淡化利用模式

世界海水淡化80%用于居民饮用,而我国的海水淡化主要用于工业生产,我国海水淡化利用结构不尽合理。海水淡化远距离输送是海水淡化用于居民饮用的一种重要方式。根据输送距离的长短可分为市内范围内输送、跨市范围输送、跨省范围输送,我们将跨市范围和跨省范围输送统称为远距离输送。远距离输水海水淡化利用模式具有以下特点:第一,海水淡化主要用于居民饮用;第二,输水成本占总体成本比重较大,是影响该海水利用模式的关键;第三,输送过程以管道输送为主,适应较强,环境影响较小;第四,稳定性较好,能有效解决沿海缺水问题,具有好的发展前景。目前,远距离输水的海水淡化工程已有一定基础,北疆电厂海水淡化工程和青岛海水淡化工程建成后都可对内对外提供淡化海水。

远距离输水海水淡化利用模式适宜制水成本较低、输送技术可行且成本较低、综合成本与其他水源渠道相比性价比较高的地区。首先,通过恰当选择海水淡化技术类型、扩大海水淡化工程规模、取用水

质较好的海水、浓海水直排或综合利用等措施大幅降低海水淡化成本。其次,根据输水路径的比较选择,选择地质地貌条件较好,输水路径较短,扬水成本较低,动态成本较低的输水路线将大幅降低输送成本。最后,在建设海水淡化远距离工程前,综合考虑各地水资源条件和其他水源补给渠道,若其他水源补给渠道性价比不如海水淡化远距离输送,优先考虑海水淡化远距离输送。以北方城市为例,由于降雨较少,且雨水利用具有不稳定性,同时南水北调由于动态成本过高,海水淡化远距离输送与其相比就具有明显的比较优势。

#### 2. 工业企业海水淡化联产联用模式

工业企业海水淡化联产联用是指建立多个集中性较大规模的海水淡化工程和连接主要工业企业的淡化海水输送管道,使得海水淡化工程的多余产能能有效流转,满足产能不足或未建海水淡化工程的工业企业的淡化海水用水需求。工业企业海水淡化联产联用模式具有如下特征:第一,海水淡化主要用于高耗水的工业企业;第二,要求建设连接各工业企业的输水管网;第三,具有较好的产业政策条件,我国鼓励新建火电、化工等高耗水企业建设配套海水淡化工程,鼓励高耗水企业使用淡化海水;第四,具有较明显的效益,规模化以减低成本,联产化以发挥停滞产能,联用化以满足中小企业用水需求。

我国沿海地区的工业企业海水淡化联产联用模式有较好的发展基础。首先,沿海地区海水淡化产能有一定的基础,新建海水淡化工程规模不断扩大。其次,沿海地区经济发展潜力较大,随着产业政策的日益完善,新建工业企业数量将不断扩大,用水需求不断扩大而水资源条件有限,海水淡化工程联产联用将有较大应用前景。再次,已建海水淡化工程大量产能的停滞迫切要求海水淡化工程联产联用。最后,工业企业用的现有自来水用水价格较高,海水淡化用于工业企业生产有很高的经济适用性。

#### 3. 海岛海水淡化利用模式

海岛指被海水环绕的小片陆地。由于海岛四面

表3 海岛已建和在建海水淡化工程

亿 m<sup>3</sup>/a

省份	总产能	工程	技术类型
辽宁	0.21	长海县海水淡化工程Ⅱ期、长海县獐子岛海水淡化工程等	反渗透
山东	0.01	长岛1000t/d海水淡化示范工程、威海市刘公岛海水淡化工程等	反渗透
浙江	0.19	六横岛海水淡化工程Ⅰ期Ⅱ、岱山县长涂岛海水淡化工程Ⅰ期等	反渗透
海南	0.003	西沙永兴岛海水淡化装置、三亚东锣岛海水淡化等	反渗透

沿海具有一定封闭性,工业基础微差。同时海岛相对面积较小,不易在岛内形成大型湖泊和河流,海水淡化工程建设前,雨水是唯一淡水来源。我国有近400多个岛屿上有常住居民,部分岛屿具有军事战略意义。海岛的特殊性决定了海岛海水淡化工程利用模式作为海水利用的一种独立模式而存在。海岛海水淡化工程利用模式具有以下特征:第一,海水淡化主要用于军民饮用;第二,海水淡化工程一般规模较小;第三,海水淡化工程一般选用反渗透法技术类型;第四,海水淡化工程对解决海岛军民用水需求具有重要意义;第五,由于海岛经济基础较差,海水淡化工程建设投资应以中央和省级人民政府投资为主。此外,海岛进行海水淡化与雨水利用具有较好的比较优势,地貌和集雨面积对雨水利用有较大影响,且海水淡化水质高于直接饮用雨水,再加上反渗透工程同时也适用于雨水净化,因此,只要人口数量达到一定规模或具有重要战略意义的海岛,都应当建设海水淡化工程。

#### 四、优化布局的建议

##### 1. 环渤海地区

环渤海地区指辽东半岛和山东半岛包围的北京、天津、辽宁南部、河北东部、山东北部的地区。该地区主要入海河流为辽河和黄河,位于400 mm和800 mm降水线之间,由于该地区经济发展迅速和人口较多,资源性缺水现象严重,亟需发展海水淡化以缓解水资源瓶颈对经济社会发展的制约。根据渤海与黄海的分界线严格区分山东的海水淡化工程布局,山东沿海海水淡化工程除华电莱州电厂海水淡化工程,其余海水淡化工程均布局在沿黄海地区;山东海岛海水淡化工程主要位于渤海与黄海的交界地带,区分不太明显,暂且将此类工程纳入环渤海地区。粗略统计,环渤海地区已建和在建海水淡化工程总产能达49.8714万t,占全国总产能的62.4%,是我国海水淡化的主要地区。渤海地区海水淡化浓盐水的的问题日益受到重视。渤海是个内海,流动性较差,浓盐水直接入海会带来生态破坏和化学污染,而我国海水淡化产能一半多布局在环渤海地区。因此,处理好浓盐水处理问题是环渤海地区海水淡化进一步发展的关键。

环渤海地区可以布局远距离输水、联产联用、海岛三类型的海水淡化利用模式。首先,远距离输水海水淡化利用模式主要将沿海地区淡化海水供给北京和沿海省份离海较远的重要城市。北京严重缺水的现状和重要地位要求海水淡化作为安全、稳定的水源供给,且海水淡化的入户成本价接近或低于淡

水北调的总体成本(总体成本包括拆迁补偿、移民安置等动态成本)。其次,环渤海地区是我国北方的重要经济带,不仅海水淡化工程规模较大而且用水需求不断增大,大力发展海水淡化联产联用可以有效解决海水淡化后浓盐水的处理问题,进一步促进环渤海地区海水淡化产业化发展。最后,环渤海地区海岛淡化工程应主要布局在辽宁长海县附近岛屿,山东主要布局在长岛县附近海域,主要以满足岛上居民用水需求为主。

##### 2. 沿黄海地区

沿黄海地区主要包括山东半岛以南、江苏沿海,位于山东半岛以南和上海以北的地区,主要水系包括淮河和京杭运河,年降水量在1600 mm以上。临黄海的山东沿海地区和江苏北部水资源严重短缺,烟台和连云港人均水资源不足500 m<sup>3</sup>,青岛人均水资源不足400 m<sup>3</sup>;临黄海的江苏南部也用水紧张,盐城人均水资源量不足800 m<sup>3</sup>。该地区已建和在建海水淡化产能达14.5040万t/d,占全国总产能的18%,主要分布在山东、江苏未建海水淡化工程。由于黄海是外海,沿黄海地区具有环渤海地区所没有的优势,就在于这里可以实现淡化后浓盐水深海直排,较大幅度地降低了海水淡化的成本。同时临渤海和黄海的山东将海水淡化工程主要选址于沿黄海地区。由于该地区山东东南部和江苏北部缺水严重,且已建海水淡化工程总体规模相对较小,因此,该地区海水淡化有着很好的前景<sup>[6]</sup>。

沿黄海地区可以布局工业企业联产联用海水淡化利用模式。首先,山东和江苏东中部都京杭运河,南水北调东线途径此线,因此,东中部地区水资源紧张得到一定程度缓解且南水北调输水成本远低于北京、天津等输水成本,也低于海水淡化远程输水,因此,该地暂且不存在远距离输水海水淡化利用模式。其次,该附近海岛较少,不存在大规模建设海岛淡化工程的可能。最后,该地区经济发展较快,工业企业用水增长较快,因此,发展工业企业海水淡化利用模式是解决当地水资源紧缺问题的重要方式。

##### 3. 沿东海地区

沿东海地区包括上海、浙江、福建北部,该地区主要水系包括在上海入海的长江和浙江的千岛湖等。上海和浙江北部年降水量在1600 mm以上,浙江南部和福建北部年降水量在3000 mm以上。沿东海地区水资源分布呈现多样性,上海人均水资源不足200 m<sup>3</sup>,浙江人均水资源1800 m<sup>3</sup>,而舟山人均水资源707 m<sup>3</sup>,福建人均水资源约3826 m<sup>3</sup>,位于中部偏北的福州人均水资源也达1657 m<sup>3</sup>。总体上讲,沿东海地区,除上海和海岛外,整体人均用水量较为充沛。

该地区已建和在建海水淡化产能达 12.101 万 t,占全国总产能的 15%。其中海岛淡化工程有 23 项,全部分布在浙江,占该地工程总数的 85%,该地总产能的 44%。沿东海地区为水质性缺水,特别是上海是典型的水质性缺水城市,因此,加强污水的处理和中水的回用是该地解决缺水问题的关键。

沿东海地区可以布局工业企业联产联用、海岛两类型海水淡化利用模式。首先,该地区水资源较充沛,不存在海水淡化远距离输水的必要性。其次,该地区临东海,海水淡化后浓盐水可直排入海,淡化成本较低,在该地区相对缺水的城市会有一定发展,但是该地区整体相对充沛的水资源条件决定了这种模式将不会有太大发展。最后,目前海岛海水淡化工程多集中于舟山附近,但该地区海岸线曲折,海岛众多,经济较为发达,省级财政收入较富裕,随着海水淡化日益受到重视,上海的崇明岛、浙江和福建的其他海岛的海水淡化工程也将会有很快的发展。

#### 4. 沿南海地区

沿南海地区包括福建南部、广东、广西南部、海南,该地区的主要水系主要在珠三角地区,该地区年降雨量多在 3 000 mm 以上。总体上讲,除深圳等城市外,该地区水资源条件充沛,广东人均水资源量在 2 000 m<sup>3</sup> 以上,海南人均水资源量在 3 000 m<sup>3</sup> 以上。深圳人均水资源量虽仅为 100 m<sup>3</sup>,但与其与上海一样,是典型的水质性缺水,其解决缺水问题的关键在于

同时具有环境效益的中水回用,而不在于海水淡化。

沿南海地区可以布局海岛海水淡化利用模式。首先,该地区水资源充沛不需要布局海水淡化远距离输水工程和工业企业水电联产联用模式,即使大亚湾核电站可能会成为海水淡化与核能发电相结合的典型,但也主要是用作冷却水的海水直接利用,不具备大规模海水的经济效益和市场需求。其次,海岛海水利用将是这一地区海水淡化利用的主要模式。福建南部、广东、海南附近有较多的海岛,这些地区建设海水淡化工程主要满足海岛居民生活用水。而西沙群岛、南沙群岛建设海水淡化工程具有重要战略意义,在这里建设海水淡化工程主要满足驻岛或驻礁官兵饮用。

#### 参考文献:

- [1] 王琪,郑根江,谭永文.中国海水淡化工程运行状况[J].水处理技术,2011,37(10):12-13.
- [2] 韩凯,刘艳萍.我国海水综合利用现状及发展趋势[J].科技信息,2011(17):69-70.
- [3] 周洪军.我国海水利用业发展现状与问题研究[J].海洋信息,2009(4):19-22.
- [4] 阮国岭,赵河立,于开录.一个海水淡化“典型案例”分析[J].海洋世界,2006(8):16-19.
- [5] 刘可,毕学军.我国海水淡化用于市政供水的发展前景及问题[J].西南给排水,2008,32(2):20-22.
- [6] 徐向红,陈刚.江苏沿海滩涂围垦与可持续发展[J].河海大学学报:哲学社会科学版,2002,4(4):26-28.

---

## 《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号 28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊, A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,RCCSE 核心期刊,全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号 28-244,2013 年每期定价 12 元,全年 6 期共计 72 元。可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码 210098

电话/传真 025-83786335

E-mail: jz@hhu.edu.cn

http://kjb.hhu.edu.cn/web/indexjz.asp?id\_id=5