

Analysis of Trend and Development on Seawater Utility in China and Abroad

Wenhua Liu, Renqiong Su

Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes of CAS, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research of CAS, Beijing
Email: liuw@igsrr.ac.cn

Received: Jan. 30th, 2015; accepted: Feb. 10th, 2015; published: Feb. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to solve water resources shortage, seawater is considered to be used. In this paper, seawater utility and technologies were analyzed in the world and problems in seawater desalination were pointed out. The advantages and trend of seawater desalination in China were compared and addressed. The possible approach by seawater desalination was provided to decision makers to solve the water stress in some areas.

Keywords

Seawater Desalination, Utility Technology, Comparison, Advantage, Development, Trend

国内外海水利用发展与趋势对比分析

柳文华, 苏仁琼

中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京
Email: liuw@igsrr.ac.cn

收稿日期: 2015年1月30日; 录用日期: 2015年2月10日; 发布日期: 2015年2月25日

摘要

为了解决淡水资源短缺, 海水利用被世界各国考虑。本文详细比较了国内外海水利用现状和存在问题,

指出我国海水淡化利用的优势和趋势，为缺水地区利用海水解决水资源短缺提供可能途径和思考。

关键词

海水淡化，利用技术，对比，优势，发展，趋势

1. 引言

淡水资源短缺是一个世界性的问题。海水是一种非常规水源，通过有效的开发利用，可以成为淡水资源的重要补充。目前，海水淡化和海水直接利用已经成为解决人口稠密沿海地区淡水资源短缺问题的重要途径之一。海水淡化技术的广泛应用为满足许多国家，特别是位于干旱地区的国家，日益增长的淡水需求做出了重要贡献；大生活用水、工业冷却水等海水直接利用也为缓解淡水资源的紧缺发挥了巨大作用。在我国，“向大海要水”已成为部分沿海城市解决水资源危机的重要选择，也是我国北方地区水资源可持续利用的战略措施之一。

2. 国外海水利用现状与发展趋势

海水淡化和利用技术的发展成熟使海水淡化成为部分沿海国家和地区的重要水源，海水淡化本身也发展成为一项重要的产业。日本、以色列、美国、法国、韩国以及西班牙等海水利用产业较发达的国家均制定了相关政策和执行措施，引导和支持海水利用产业的健康发展[1]。目前，全球海水淡化的市场成交额以年均 20% 的速度递增。

2.1. 海水利用技术不断发展和成熟、利用规模不断扩大

阿联酋、科威特等中东国家较早采用海水淡化技术解决本国水资源短缺问题。北非、欧洲、中北美洲、东南亚一带的国家海水淡化技术应用程度也很高。一些海岛国家，如马尔代夫，其水资源利用几乎完全依赖于海水淡化。国际脱盐协会的统计显示，截至 2013 年底，世界范围内海水淡化工厂超过 17,000 个，总淡化能力超过 8000 万 m^3/d ，解决约 3 亿多人的饮用水问题[2]。

1) 海水淡化：海水淡化是海水利用方式的主要形式。从技术上看，海水淡化工程中应用最广泛的技术主要有反渗透(RO)、多级闪蒸(MSF)和低温多效(MED)三种。截至 2010 年，全球已建成的海水淡化工厂运用三种技术的比例分别为 60%、27% 和 8%。反渗透法在成本上比热力法具有优势，前者平均淡化成本约为后者的 23%。在发展初期，反渗透法很难进行大规模生产。随着膜技术的发展和成本的不断降低，反渗透法在规模上也已能与热力法一较高下。运用反渗透法的海水淡化厂最高日产能力已超过 60 万 t。从过去 30 年的装机容量以及技术发展看，反渗透法的市场份额持续增长。与此同时，由于热力法在富产石油的中东地区受到青睐，热力法海水淡化能力也在不断增长。当前，63% 的淡化海水主要用于市政生活杂用，其中用于工业和发电企业用水的比例分别为 25% 和 6%。随着热电联产联用和许多沿海工业自建海水淡化设备，后两种用途的比例预计将快速增长。

全球的海水淡化能力大约以每年 10%~30% 的速度增长[3]。国际海水淡化的售水价格从 20 世纪的 2 美元以上降到目前不足 0.7 美元的水平，这一价格已接近或低于国际上一些城市的自来水价格。

2) 海水的直接利用：海水直接利用技术和规模发展迅速。海水直流冷却技术已比较成熟，海水循环冷却、海水脱硫等技术发展迅速。国际上大多数沿海国家和地区都在利用海水作为工业冷却水。许多沿海国家工业用水量 40%~50% 来自海水[4]。全世界海水冷却水量已经超过 7000 亿 m^3 ；日本工业冷却水总用量的 60% 为海水，每年高达 3000 亿 m^3 ；美国大约 25% 的工业冷却水直接取自海水，年用量约 1000

亿 m^3 [5]。目前,世界上最大的海水循环冷却单套系统(配套 1100 MW 核电机组)循环量达 15 万 m^3/h ,最大的烟气海水脱硫单机规模 700 兆瓦。随着相关国际环境保护公约的出台,对海水直流冷却技术提出了更高的环保要求,无公害海水直流冷却技术亟待发展。

3) 海水化学资源的综合利用:海水化学资源利用日益发展。全世界每年从海洋中提取海盐 6000 万 t、镁及氧化镁 260 多万 t、溴素 50 万 t。美国仅溴系列产品就达 100 多种。以色列从死海中提取多种化学元素并进行深加工,主要产品包括钾肥、溴素及其系列产品、磷化工产品等,实现年产值 10 多亿美元。

2.2. 政府制定政策引导和支持海水利用产业发展

各国政府积极制定各项政策保障措施以解决淡水资源短缺和促进相关产业的发展。美国、约旦、西班牙等将海水利用列入国家发展计划;美国、欧盟、日本等通过设立基金或财政拨款等形式对海水利用工程建设予以资金支持;科威特、沙特阿拉伯、巴林等中东国家对淡化水价格进行高额补贴,使其水价大大低于成本价格。新加坡、以色列、阿联酋、欧盟、美国等都提供一些淡化研发资助[6],如欧盟最近提供了将近 470 万欧元用于膜法淡化及太阳能的研发。以色列、阿联酋、意大利、西班牙等国大都从一个较小规模的示范工程起步,通过示范工程实际的建设成本、淡化水水质、运行成本等,推动海水利用产业发展。

2.3. 国外海水资源开发利用发展趋势

海水利用经过多年发展,技术日益成熟,应用地区和范围不断扩大,呈现大规模加速发展的趋势。其中,淡化海水已成为部分沿海国家和地区的主要水源。

在各国政府的推动下,海水利用作为新兴产业发展迅速。2008 年全球海水淡化工程总投资额已达到 248 亿美元,并以每年 20%~30% 的速度递增。近 20 年来国际海水淡化装置贸易量年均增长 500 多万 m^3 ,且有继续增长的态势。在全球气候变化问题加剧、可持续发展意识加强背景下,低品位蒸汽和廉价电力的水电联产利用、热膜耦合等技术集成成为国际海水利用技术主要发展趋势之一。

国外海水利用起步较早,技术发展相对成熟,海水利用成本随着技术进步也在不断降低。但海水利用中仍存在一些技术问题需要突破,以进一步降低海水利用成本和扩大利用规模。在利用海水进行工业冷却时,最大技术问题是防海水腐蚀和防海洋生物附着。国外海水直接利用主要是采用直排式,选用耐腐蚀的特种材料,如钛材、铜镍合金及特种不锈钢等,或配合采用电化学保护,防腐效果虽相对国内较好,但成本消耗大。海水利用后的废弃物处理及其排放对生态环境的影响,仍是各国有待解决的问题。如海水淡化浓盐水排入海会引起海水盐度一定程度的升高,从而会影响海水水质以及海洋生物的生存问题;海水淡化厂浓排水中含有大量的金属离子(铜离子等),直接排入海会对海洋环境产生不利影响等。

3. 我国海水利用发展现状

我国于 2005 年颁布了《海水利用专项规划》,提出了发展海水利用的目标、任务和保障措施等。该规划是指导近期我国海水利用事业发展的纲领性文件。此后,《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》、《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020)》、《高技术产业发展“十一五”规划》等规划文件分别对发展海水利用做出明确要求。为加快海水利用发展步伐,2011 年、2012 年国务院相继发布了《中共中央、国务院关于加快水利改革发展的决定》、《关于加快发展海水淡化产业的意见》两份文件,提出大力推进和积极开展海水淡化和综合利用工作、海水淡化产业发展指导意见。部分沿海省市也陆续制定了各类本地区海水利用事业发展政策。这些政策极大的推动了海水淡化技术的发展。

3.1. 海水的直接利用现状

我国在海水直接利用关键技术方面取得重大突破，海水循环冷却技术已跻身国际先进水平。我国沿海地区新建高耗水行业普遍采用海水作为工业冷却水，海水直流冷却技术在沿海电力、石化等行业得到了广泛应用。先后完成了天津碱厂 2500 m³/h 化工系统海水循环冷却和深圳富华德电厂 28,000 m³/h 电力系统海水循环冷却及青岛海之韵 46 万 m² 大生活用海水等一批标志性示范工程。海水直流冷却、海水循环冷却、大生活用海水技术得到不断应用，年利用海水作为冷却水量达 841 亿 t，海水循环冷却最大单机循环量已达每小时 10 万 t。我国海水作冷却水用量仅占世界的 6% 左右[7]。城市生活用水占城市供水的 20% 左右，而城市中大生活用水即冲厕用水要占城市生活用水的 35% 左右，因此大生活用水是海水直接利用技术的一个重要方面。香港地区从五十年代末期采用海水冲厕，目前，每天冲厕海水用量已达 56 万 m³，占全部冲厕用水的 70%。

3.2. 海水淡化发展状况

在海水淡化关键技术方面亦有一定发展，低温多效海水淡化技术位列国际先进水平。截至 2012 年底，全国已建成各类海水淡化工程 95 个，日产淡水总量达到 77.4 万 t。海水淡化水日产量仅占世界的 1% 左右[7]。海水淡化工程规模最大的达到日产 20 万 t。我国的淡化水主要应用于沿海石化、电力、钢铁等高耗水行业以及海岛生产生活用水。我国海水淡化主要采用反渗透法和低温多效蒸馏技术，每吨产水平均成本已经降低至 6 元~8 元。我国在建、待建的海水淡化产水规模已达到近 200 万 t/d [8]。目前全国的海水淡化，每年就能节省约 400 万 m³ 陆地水，对保证沿海工业生产的需要和居民生活用水发挥了重大作用。

3.3. 海水化学资源的综合利用

经过“七五”、“八五”、“九五”科技攻关，我国在高效低毒农药二溴磷研制、天然沸石法海水和卤水直接提取钾盐、制盐卤水提取系列镁肥、含溴精细化工产品及无机功能材料硼酸镁晶须研制等技术取得突破性进展。“十五”期间开展了海水直接提取钾盐产业化技术、气态膜法海水卤水提取溴素及有关深加工技术的研究与开发。我国已在山东、河北、天津等地建成数家万吨级规模的浓卤水制取硫酸钾厂[9]，国家“十五”攻关项目 10,000 t/a 海水提取硝酸钾示范工程也在天津建成。海水淡化后的浓盐水中各种化学资源的浓度基本上为原海水的 2 倍，用这种浓海水制取食盐，提溴，提钾，可大幅度降低能耗，提高提取率，发展前景广阔[5]。

4. 国内外海水利用比较分析

4.1. 国内外海水利用比较

与国际上海水利用相比，我国海水利用发展总体处于从示范工程到推广的过渡阶段。现有发展水平与社会需求不相符合，海水淡化实际发展速度明显落后于《海水利用专项规划》所提出的发展目标，较世界平均水平有很大差距。我国海水淡化日产量不及世界总产量的 1%，年海水直接利用量约占世界总量的 3%。我国其他方式的海水利用则基本处于小规模示范阶段。

我国海水淡化主要用于解决沿海城市工业用水和海岛生活饮用水，用于市政供水的大型海水淡化工程刚刚起步，有较大的发展空间。国内已建成的万吨级海水淡化工程几乎全部采用国外技术，本土化的海水利用成套化技术尚待成熟，大型海水利用工程关键核心技术亟待突破，缺乏领军型海水利用企业，难以应对国内市场需求和与国外公司抗衡。

在海水资源综合利用上，我国攻克海水提取钾、溴、镁等关键技术，建成万吨级海水提取硝酸钾示

范工程、万吨级浓海水制取膏状氢氧化镁示范工程、百吨级气态膜法提溴、硼酸镁晶须中试装置等，与国际水平持平。

4.2. 我国海水利用存在的问题

我国海水利用除存在技术和应用规模上的问题外，还存在一些不利于海水利用发展的问题。1) 我国淡化海水多限于企业自用，对外以及为民用供应的极少；2) 与自来水相比，缺乏科学合理的水价体系和运行机制。亟待解决淡化水进入市政管网、建立科学合理的淡化水水价体系、实现区域供水问题，明确海水在城市水资源配置特别是在市政供水中的作用和地位；3) 非沿海地区利用海水还将带来海水淡化与长距离输水相结合的问题。这些问题的存在都在不同程度阻碍了我国海水利用产业的发展。

在科学研究上，国内也有很多学者关注海水利用发展。从文献看，国内对海水淡化的研究多关注海水利用和设备制造工艺等技术方面，或者海水利用的必要性、海水利用的环境影响、海水利用产业化等方面的理论问题。对我国海水利用的现状及相关管理对策尚十分欠缺。

4.3. 我国发展海水利用的优势

我国海岸线漫长，具有发展海水利用得天独厚的自然条件。海水利用在我国存在很大发展空间，同时也有诸多有利条件和优势为海水利用的长足发展奠定基础，将促进我国海水利用技术和产业化发展。

4.3.1. 水价改革、海水淡化成本降低，具备市场竞争能力

从我国水资源收费制度看，水资源的价值和价格严重背离，水价过低不利于海水利用事业的发展。在传统的水资源配置中，将供水事业划归公益性事业，而海水淡化划归盈利性产业，淡化的海水供水与现行的城市供水相比，水价过高，抑制了海水淡化产业的发展。目前国家计委会同水利部拟定了《供水价格管理办法》。新的水价改革办法主要特点是：水价作为商品价格之一，纳入价格管理范畴进行管理。2010年北京市居民生活用水水价已提高到4元，与海水淡化成本基本持平。

随着海水淡化技术的不断进步，近年来，能耗显著降低，从而导致吨水投资和成本大幅度下降，目前海水淡化的成本已经从南水北调论证时的每吨20多元降低到5元。在水电联产、水化(工)联产等综合生产条件下，甚至可控制在3.5元左右。在一定条件下，海水淡化水的成本已经具备了市场竞争力。在远距离调水水价与海水淡化比较已没有明显优势的情况下，海水淡化不失为解决沿海城市居民饮用水、特殊工艺用水等需求的有效措施。

4.3.2. 具有巨大的需求市场

随着世界淡水资源的匮乏，淡化水的市场需求在不断扩大，海水淡化在国际上已发展成为新兴的产业。国内沿海城市的淡水资源紧缺形势促进海水淡化技术产业化。海水淡化整套设备产业化的成功实施，可形成国家或有关省区新的经济增长点，并将带动相关产业的发展，而且同样的国产化设备成本在国际上比发达国家亦具有极强的竞争力。

4.3.3. 具备产业化的技术条件

我国的海水淡化已经形成了以国家海洋局海水淡化与综合利用研究所、国家液体分离膜工程技术研究中心和相关的高等院校、设计单位为龙头的科研机构，为海水淡化技术的开发形成了较为完备的专家群体。经“七五”、“九五”、“十五”、“十一五”科技攻关，已在海水淡化、海水冷却、海水冲厕以及海水综合利用等关键技术和配套设备(产品)等方面取得重大突破，随着技术进步、创新和海水淡化水价的进一步降低。

4.3.4. 国家政策日益重视

海水利用问题已经在国家层面受到高度重视。近年来，我国政府加大了对海水淡化和综合利用发展的扶持力度，相继制定出台了《全国海水利用规划》，在《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》中提出要“积极开展海水淡化和海水直接利用”，《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》中再次提出“积极开展海水淡化和综合利用”。这为我国海水利用发展提供了政策基础。

5. 结束语

通过对比分析，我国海水利用技术在政策扶持和引导下，得到了一定发展，但与国外海水利用相比较，还存在一定差距，海水利用规模有待进一步扩大。在我国经济持续高速发展态势下，淡水资源需求旺盛，可在经济上进一步支持海水利用技术研发，政策上支持和引导海水利用市场化、规模化发展。

基金项目

本文由自然科学基金项目(41101538)支持。

参考文献 (References)

- [1] 周洪军 (2009) 我国海水利用业发展现状与问题研究. *海洋经济*, **4**, 19-23.
- [2] <http://idadesal.org/desalination-101/desalination-by-the-numbers/>
- [3] 贾绍凤 (2009) 关于大力推广海水利用解决中国环渤海地区缺水问题的建议. *科技导报*, **27**, 10.
- [4] 张丽莉, 张卓 (2009) 沧州市水环境现状及改善对策. *现代农业科技*, **19**, 296.
- [5] 高忠文, 蔺智泉, 王铎等 (2008) 我国海水利用现状及其对环境的影响. *海洋环境科学*, **27**, 671-676.
- [6] 屈强, 张雨山, 王静, 赵楠 (2008) 新加坡水资源开发与海水利用技术. *海洋开发与管理*, **8**, 41-45.
- [7] 杨尚宝 (2007) 我国海水利用产业战略与规划. *水工业市场*, **8**, 11-14.
- [8] 尹娜 (2009) 专访国家海洋局科技司副司长雷波: 海水利用进入大发展阶段. *中国投资*, **1**, 80-82.
- [9] 陈璐, 黄浩云, 尹立峰 (2007) 天津市海水利用现状与发展趋势. *新农村建设与环境保护*, 292-294.

汉斯出版社为全球科研工作者搭建开放的网络学术中文交流平台。自2011年创办以来，汉斯一直保持着稳健快速发展。随着国内外知名高校学者的陆续加入，汉斯电子期刊已被450多所大中华地区高校图书馆的电子资源采用，并被中国知网全文收录，被学术界广为认同。

汉斯出版社是国内开源（Open Access）电子期刊模式的先行者，其创办的所有期刊全部开放阅读，即读者可以通过互联网免费获取期刊内容，在非商业性使用的前提下，读者不支付任何费用就可引用、复制、传播期刊的部分或全部内容。

