

反渗透海水淡化水的市政应用研究

王晓楠, 潘献辉, 郝军, 刘昱

(国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所 天津 300192)

摘要: 反渗透海水淡化水具有洁净、纯度高和供给稳定的特点, 可缓解淡水资源匮乏的问题。文章介绍海湾国家、美国和中国反渗透海水淡化水市政应用现状以及一些典型案例, 在此基础上, 提出政策扶持和企业协调并重、推进装备核心部件和关键技术国产化以及建立健全相关标准和加强监管等建议, 以期促进我国反渗透海水淡化水的大规模市政应用。

关键词: 海水淡化; 海水利用; 反渗透淡化; 市政供水; 淡水资源

中图分类号: P747

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2017)12-0077-04

Development of Water for Drinking by Reverse Osmosis Seawater Desalination Plants

WANG Xiaonan, PAN Xianhui, HAO Jun, LIU Yu

(The Institute of Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, SOA, Tianjin 300192, China)

Abstract: Reverse osmosis desalinated water has the characteristics of clean, high purity and stable, which can alleviate the problem of fresh water shortages. This paper summarized the municipal application of reverse osmosis desalinated water, including the Gulf countries, the United States and China. Meanwhile, recommendations contains policy support, enterprises coordination, equipment and key technologies promoted, related standards have been put forward, with a view to promoting China's large-scale municipal applications of reverse osmosis desalinated water.

Key words: Seawater desalination, Seawater utilization, Reverse osmosis seawater desalination, Municipal water supply, Fresh water resources

1 引言

水资源危机已是世界性问题。随着人口的增长、经济的发展, 对淡水的需求将继续增加。预计到 2025 年, 世界上将会有 30 亿人面临缺水, 40 个国家和地区淡水严重不足^[1-3]。我国淡水资源严重

匮乏, 不仅总量不够, 而且时空分布不均衡, 经济发达、人口密集的沿海地区尤为短缺。

世界市政淡水来源除河流外, 主要有地下水、远程调水以及海水或苦咸水淡化 3 种。《2013 年海水淡化年报》数据显示, 在全球 8 090 万 m³/d 的脱

收稿日期: 2017-08-21; 修订日期: 2017-11-22

基金项目: 2016 年中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K-JBYWF-2016-T15)。

作者简介: 王晓楠, 工程师, 硕士, 研究方向为海水淡化和水质分析

盐总产能中,对脱盐有效总量贡献最大的是海水淡化,占 59%,产能约为 4 773 万 m^3/d ;其次是苦咸水淡化,占 22%,产能约为 1 780 万 m^3/d 。

此外,具有“不淹地、不移民、不争水、不受气候影响”特点的海水淡化,作为淡水资源供给的重要途径已经得到全球范围内缺水国家的广泛认可和接受。反渗透海水淡化能够在低能耗的条件下将海水脱盐生产高品质的淡水,凭借设备模块化、工艺流程简单及综合成本低等优势,已成为解决淡水资源短缺的重要海水淡化技术^[4-6]。在全球海水淡化技术分布中,反渗透海水淡化占比为 62%,已成为海水淡化市政应用的主流技术。其他技术包括多级闪蒸海水淡化和多效蒸馏海水淡化等。反渗透海水淡化技术的应用,不仅有助于缓解淡水资源供水紧张的局势,而且对于开源增量优化用水结构具有十分重要的意义。

2 全球反渗透海水淡化水市政供水应用现状

反渗透海水淡化水具有洁净、高纯度以及供给稳定的特点,是安全可靠的高品位水源。目前,在全球范围内,反渗透海水淡化水作为淡水资源的替代水源,已广泛应用于市政供水、工业、电厂、灌溉、旅游等领域^[7-11]。在市政供水应用上,反渗透海水淡化水进入自来水管网,作为城镇居民生产、生活的重要水源,也作为海岛、船舶、海上平台等主要水源;可作为企业生产和生活用水,以及作为以发电等锅炉补水为代表的工业用高纯水和工艺用水。

全球海水淡化规模近年来不断攀升。截至 2015 年年底,全世界海水淡化日产水规模大约 8 655 万 t。在应用分布中,自 2006 年以来全球海水淡化水每年的市政应用均远高于其在工业中的应用,市政供水占比已达 62%、工业用水占比 26%、电厂用水占比 6%,其他的应用占比较小且较分散。从开发及应用反渗透海水淡化技术最广泛的国家来看,反渗透海水淡化水在中东地区用于市政供水的比例为 86%,在美国南部 3 个地区为 89.5%,在中国为 30%,解决了全球近 2 亿人的生活用淡水问题。全球海水淡化合同容量在不断增大,预计到 2018 年,全球淡化工程总装机容量将达到 1.38 亿 t/d 。

3 反渗透海水淡化水市政供水应用

3.1 海湾国家

在全球海水淡化最大的市场海湾国家,集中了大型淡化工程,海水淡化产能排名居前。其海水淡化水的 86% 用于市政供水,许多居民饮用淡化水已经长达 25 年之久。科威特、卡塔尔、沙特、阿曼、阿联酋、巴林、伊朗、伊拉克、以色列都制定了用海水淡化水作为市政供水的政策。其中,科威特和卡塔尔几乎全部都用淡化水作为饮用水。沙特阿拉伯是世界淡化水产量最大的国家,其淡化水产量占世界淡化水产量的 30%;沙特属于干旱沙漠气候,全年降水稀少,境内又无淡水河流,其生产和生活 70% 的用水为淡化海水;目前沙特拥有淡化水输送管道 4 157 km、泵站 29 座,沙特 Shuaiba 海水淡化厂的设计规模为 88 万 m^3/d 。阿联酋通过加快发展大型淡化装置以满足不断增长的城市用水需要,已成为世界上人均淡化水拥有量最多的国家。

以色列自 20 世纪 60 年代起就积极致力于海水淡化技术的研究。自 1999 年起,在政府的大力鼓励与扶持下,以色列相关企业开始通过海水淡化彻底改变国家缺水的状态。目前已拥有先进的海水淡化技术和设备,海水淡化水在供水结构中所占份额不断增大。以色列建立集中水输送系统,由北方的水源地集中输送至南部及半干旱水资源短缺地区。目前以色列 70% 的市政供水来自海水淡化,2020 年计划整个以色列的海水淡化水源将完全替代水库水源,海水淡化将 100% 覆盖全国用水要求。

3.2 美国

美国部分地区淡水资源短缺,尤其是加利福尼亚州、德克萨斯州及佛罗里达州的淡水资源短缺尤为严重,用水问题已成为制约当地社会及经济发展的“瓶颈”。反渗透海水淡化成为解决当地淡水资源短缺的重要技术,得到了大范围的应用。反渗透海水淡化工程占所有已建海水淡化工程总装机规模的 97%,应用于市政、电力、旅游、军事等领域。其中市政供水应用占比达到 89.5%,电力占比 6.9%,旅游占比 2.5%,示范占比 0.5%,军事占比 0.4%,灌溉占比 0.2%。同时美国是膜生产大国,聚集了反渗透膜陶氏、海德能、GE、Koch 等国际著

名品牌。

尽管当前美国的海水淡化工程发展缓慢,但根据全球水智的数据预测,美国将成为世界第二大海水淡化市场,有向大型及超大型工程发展的趋势,用于市政的海水淡化水比例将逐年增加。

3.3 中国

中国在“建设海洋强国”“东部率先发展”“海上丝绸之路”“京津冀协同发展”等战略的推动下,海水淡化技术进入快速发展期。《关于加快发展海水淡化产业的意见》已经提出,在确保人体健康的前提下,允许海水淡化水依法进入市政供水系统。加快推广反渗透海水淡化水在居民生活用水中的应用,扩大其市政应用规模,发挥反渗透海水淡化水的保障作用,是我国海水淡化产业的重点发展方向。

我国反渗透海水淡化发展迅猛,截至 2015 年年底,全国已建成海水淡化工程 121 个,应用反渗透技术工程 106 个,产水规模为 100.88 万 t/d,最大海水淡化工程规模为 20 万 t/d。其中,万吨级以上海水淡化工程 31 个,万吨级以下、千吨级以上海水淡化工程 36 个,千吨级以下海水淡化工程 54 个。

应用分布上,我国海水淡化工程产水的终端用户主要分为工业用水和生活用水。截至 2015 年年底,我国海水淡化水用于工业用水的工程规模为 67.726 万 t/d,占总工程规模的 67.14%(集中在电力、石化、钢铁领域);用于居民生活用水的工程规模为 33.132 5 万 t/d,占总工程规模的 32.84%。

区域分布上,主要集中在水资源严重短缺的沿海地区 and 海岛,其中北方的天津、河北、山东等地以电力、钢铁等大规模高耗水工业用海水淡化工程为主;南方的浙江(宁波)、福建(厦门)、海南等地以民用海水淡化工程居多,以百吨级和千吨级工程为主。

除工程规模数量上的不断增加外,与地表水及地下水提取、跨流域取水、南水北调等综合成本相比,随国内区域性淡水资源的日益短缺导致整体水价不断上升,以及反渗透海水淡化市政用水综合成本的逐渐降低,反渗透海水淡化水大规模市政应用初步具备了经济效益。目前我国反渗透海水淡化产水成本集中在 5~8 元/t,已接近甚至低于地下水提取和跨流域取水等其他取水成本。以青岛为例,

水资源主要来自地表水及地下水、引黄水和南水北调水。地表水及地下水制水成本约为 4 元/t,引黄济青成本约为 5.05 元/t,南水北调制水成本约为 5.5 元/t,反渗透海水淡化成本为 4~6 元/t。随着海水淡化设备国产化进程的加快、技术提高进一步降低能耗,反渗透海水淡化水成本可进一步降低,其市政应用的优势将更加显著。

4 反渗透法海水淡化水应用典型案例

4.1 以色列索莱克海水淡化厂

以色列索莱克海水淡化水厂是目前世界上规模最大、技术最先进的反渗透海水淡化厂,其产水量为 62.4 万 m³/d。采用 16 英寸膜垂直布置、地下盾构技术,以稳定的水量、高质量水质、高利用率为当地超过 150 万居民提供淡水,相当于以色列 20% 的城市用水,并且不会对海岸环境有任何影响。

4.2 新加坡新泉海水淡化工程

新加坡的新泉海水淡化厂是新加坡乃至亚洲目前最大的淡化项目,可供应 13.6 万 m³/d 淡化海水,能够满足国内 10% 的用水需求。所生产的淡化水由输水管引入最近的公用事业局储水池,按 1:2 的比例与普通淡水混合,直接进入城市供水,供西部居民饮用。

4.3 摩洛哥 Laayoune 海水淡化工程

Laayoune 为 7 000 m³/d 反渗透海水淡化工程,将产品水与地下水(含盐量为 1 600 mg/L,规模为 5 616 m³/d)混合后输送到供水管网,同时采用 NaOH 调节 pH 值以减小对输送管路的腐蚀,最后用氯进行消毒,达到 12 600 m³/d 的饮用水供应量。

4.4 西班牙巴塞罗那海水淡化工程

巴塞罗那产水量为 20 万 m³/d 的膜法海水淡化工程在欧洲规模最大,其反渗透淡化水经过矿化和氯化处理后,利用泵压输至 11 km 外弗恩桑塔的各大主要储水池,同时直接进入饮用水管网,为巴塞罗那地区约 450 万居民提供饮用水,满足 15%~20% 的饮用水需求。

4.5 澳大利亚黄金海岸海水淡化工程

澳大利亚黄金海岸的 12.5 万 m³/d 海水淡化工程为澳大利亚昆士兰州东南地区供水,其供水量达到了该地区总供水量的 20%。为提高淡化水的

品质,首先在二级反渗透前将 pH 值提至 10.2 左右以提高硼的脱除率,然后通过添加熟石灰和二氧化碳进行矿化实现水质的稳定,最后采用次氯酸钠进行消毒并进入城市供水系统。

5 反渗透海水淡化水市政应用建议

从全球淡水形势来看,反渗透海水淡化水已成为缺水国家生活、生产用水的重要组成部分,并且应用的范围和比例呈逐年递增的趋势。我国反渗透海水淡化项目的大规模建成投产,使得淡化水逐渐进入市政供水系统。但是要得到终端消费者的普遍认可和保障国家用水安全,仍亟须重点解决 3 方面的问题。

(1) 政府政策扶持与企业协调并重。政府层面引导,对全国的水资源进行规划调配;将反渗透海水淡化水纳入市政供水体系管理,合理安排区域反渗透海水淡化工程的布局,给予优惠的财税政策和适当补贴;发挥国家质检机构对反渗透海水淡化水质的监督检验职能;与企业共同解决管网铺设、电费、水价、取水、排水等问题,改造现有供水管网、布局及建设输送反渗透海水淡化水的专业、优质管网。此外,高校开设反渗透海水淡化相关学科,增加公众获取反渗透海水淡化知识的途径和渠道。

(2) 加快推进反渗透海水淡化装备核心关键部件及工艺技术的国产化。不断提升具有自主知识产权的反渗透海水淡化工程建设的实力,稳定反渗透海水淡化工程运行,保证产水水质。不断提高高端膜市场产品的占有率,如通过采取开发性能更好的膜等技术手段,以降低海水淡化的处理成本,开发特种性能的膜和工艺以应对不同的处理需求。通过引进、消化吸收、重点扶持有自主知识产权的反渗透海水淡化技术,形成具有核心竞争力的反渗透海水淡化产业。

(3) 逐步建立健全标准、加强监管,确保我国已建成的反渗透海水淡化工程产水水质的安全可靠。世界上有数百种不同结构、不同工艺、不同容量的反渗透海水淡化装置,导致产品水的水质千差万别。应加快制定反渗透海水淡化产水相关的行业法规、工程规范、标准体系以及设计合理的预处理、

后处理工艺等。同时,强化第三方对产品水质量的监管,进而稳定和规范反渗透海水淡化市场,保证市政用水的质量,确保用水和饮水安全。

6 结语

反渗透海水淡化水生产工艺越来越成熟,已成为全世界范围内解决淡水资源匮乏的重要手段之一,是市政用水的重要组成部分。在我国,反渗透海水淡化尚处在海洋新兴产业阶段,发展的空间和广度非常大。随着海水淡化项目不断发展、淡化厂规模的大型化以及淡水供求矛盾的有效解决,反渗透海水淡化水的大规模市政应用是必然趋势。

参考文献

- [1] ELIMELECH M. The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment [J]. Science, 2011, 333: 712—717.
- [2] WANG X N, LIU Y, PAN X H, et al. Parameters for seawater reverse osmosis product water: a review [J]. Exposure & Health, 2016, 9(3): 157—168.
- [3] BALTASAR P L G. Current trends and future prospects in the design of seawater reverse osmosis desalination technology [J]. Desalination, 2012, 284(10): 1—8.
- [4] 王晓楠, 潘献辉, 刘昱, 等. 反渗透膜法海水淡化产品水质影响因素分析 [J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 37—42.
- [5] 刘可, 毕学军. 海水淡化用于市政供水的发展前景研究 [J]. 西南给排水, 2008, 30(2): 20—23.
- [6] 朱琳. 纵览全球发展态势解析海水淡化 60 年: 访中国工程院院士、中国海洋大学教授高从堦 [J]. 中国科技投资, 2012(11): 23—25.
- [7] 潘献辉, 郑睿, 王晓楠, 等. 膜法海水淡化厂产品水水质与饮用安全分析 [J]. 中国给水排水, 2016, 32(20): 19—23.
- [8] 刘艳辉, 冯厚军, 葛云红. 海水淡化产品水的水质特性及用途分析 [J]. 中国给水排水, 2009, 25(14): 88—92.
- [9] 葛云红, 刘艳辉, 赵河立. 海水淡化水进入市政管网需考虑和解决的问题 [J]. 中国给水排水, 2009, 25(8): 84—87.
- [10] 宿红波, 朱孟府, 王海燕, 等. 野战反渗透海水淡化机的水质分析 [J]. 医疗卫生装备, 2009, 30(4): 17—18.
- [11] KIM Y M, KIM S J. Overview of systems engineering approaches for a large-scale seawater desalination plant with a reverse osmosis network [J]. Desalination, 2009 (238): 312—332.