

西班牙海水淡化产业政策研究^{*}

刘伟¹, 张铭², 齐连明¹

(1. 国家海洋技术中心 天津 300112; 2. 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所 天津 300192)

摘要: 西班牙是目前应用海水淡化最多的西方国家, 主要发展反渗透等膜法淡化技术。西班牙政府自 2004 年起实施的“水资源管理和利用措施”(AGUA) 计划不仅使地中海沿岸的淡化产水能力迅速增长、产水能耗不断降低, 还提升了本国企业开拓海外市场的实力。西班牙政府在长期实践中制定了较完备的政策, 保障淡化产业可持续发展并有效应对其导致的环境影响。文章总结了西班牙海水淡化产业的发展现状, 并对产业促进和环境保护两方面的政策进行了研究, 最后依据我国当前海水淡化业发展形势, 参照西班牙的成功经验提出一些政策建议, 旨在为我国海水淡化产业的健康发展提供有益的参考。

关键词: 西班牙; 海水淡化; 反渗透; AGUA 计划; 能耗; 浓盐水

中图分类号: P74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9857(2015)03-0015-06

为发展旅游业, 西班牙于 1964 年在大西洋的加那利群岛上建造了欧洲第一座淡化装置。西班牙地中海沿岸享有优越的阳光和气候条件, 是欧洲著名的多产作物区和旅游目的地, 但长期干旱导致的水资源不足制约着社会经济的发展。为解决该问题, 政府曾计划从水资源丰富的北方埃布罗河流域调水。自 2004 年起, 新一届政府放弃了调水计划, 转而支持在最需水的地区就地发展海水淡化。目前 20 座反渗透淡化新厂满足了当地 50% 的需水量, 剩余需求也通过水再利用、提高灌溉效率等方法得到解决^[1], 这极大地促进了当地经济的发展。西班牙政府在长期实践的基础上制定了较为完备的产业政策, 大力促进产业发展, 这些经验对我国发展海水淡化产业有很好的借鉴意义。

1 西班牙淡化产业发展现状

西班牙淡化产业规模位居全球第四, 是目前应用淡化技术最多的西方国家, 淡化总产水能力至 2013 年已达 476 万 m³/d, 其中海水淡化 294 万 m³/d^[2]。

在产业分布方面, 西班牙海水淡化业兴起于加那利群岛, 之后向本土蔓延。目前, 地中海沿

岸大型反渗透工厂林立, 已经成为西班牙新的淡化产业中心; 同时西班牙也在大西洋和地中海的群岛上不断投产新型淡化厂, 用以满足当地用水需求。

在技术应用方面, 西班牙 20 世纪 70 年代投产的早期淡化厂多采用多级闪蒸、低温多效蒸馏等热法工艺。自 90 年代以来, 西班牙的反渗透技术和装备制造业发展迅速, 一系列大型海水反渗透工厂在地中海沿岸相继投产, 淡化厂吨水能耗已下降至约 3 kW·h/m³ 产水^[3] (图 1)。反渗透已成为西班牙淡化的主流技术 (图 2)。

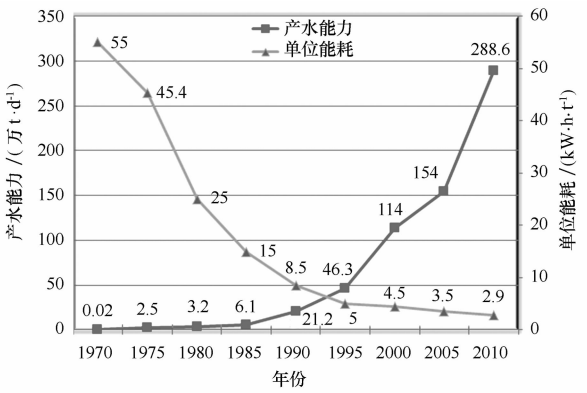


图 1 西班牙海水淡化产水能力和单位能耗的演变

^{*} 基金项目: 中国海洋发展研究中心青年项目(AOCQN2012); 国家自然科学基金青年基金项目(21206021)。

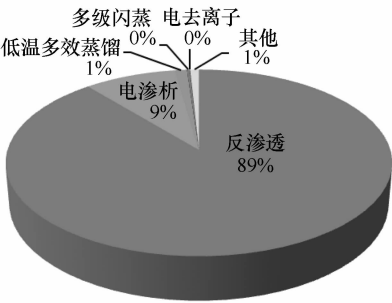


图 2 西班牙各类淡化技术的应用比例^[2]

西班牙淡化厂使用的原水包括海水、河水、废水、卤水和内陆苦咸水等(图 3)。在淡化水的应用方面,约 343.3 万 m³/d 的淡化水用于市政饮用供水,81.2 万 m³/d 用于农业灌溉,其余部分供给工业、旅游业和军事等^[2,4](图 4)。

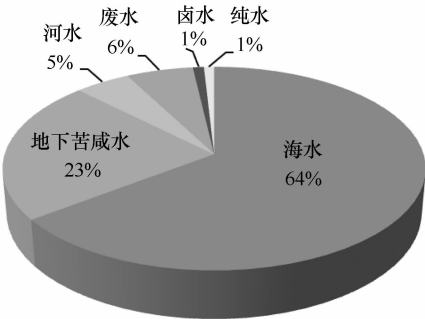


图 3 西班牙淡化厂使用的各类原水比例^[2]

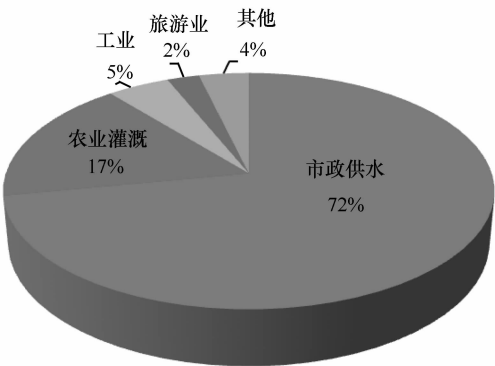


图 4 西班牙淡化水的应用^[4]

西班牙非常重视并大力支持淡化技术研发,例如,其参加了“欧盟第六框架专门计划(STREP)”中的“膜法淡化:综合方法”(Membrane-Based Desalination: An Integrated Approach, MEDINA)项目,重点对零液体排放方法、可再生能源淡化、先进复合型膜工艺等进行

研究^[5],旨在保持西班牙在膜法海水淡化领域的国际领先地位。

在从业公司方面,西班牙海水淡化企业数量也非常众多^[1]。其中既包括能够建造大型海水淡化厂的跨国公司,也不乏实力雄厚的装备制造公司。例如,安迅能(Acciona Agua)公司在全球参建过 70 多座海水淡化工程,这些淡化厂的总产水能力超过 175 万 m³/d;SPA 隶属于 FCC 集团的阿奎利雅(Aqualia)公司,是从事海水淡化设备设计和建造的专业公司。如今西班牙公司在淡化项目设计、建造、运营和维护方面均已成为世界海水淡化市场的有力竞争者和领跑者,在北美、印度、中东和北非市场占据着领先的市场份额。我国的青岛百发 10 万 m³/d 海水淡化工程就是由西班牙百菲萨公司总包的。

2 西班牙淡化产业发展政策

2.1 产业支持政策

西班牙政府的产业发展政策主要包括公共投资、价格补贴和产能建设 3 方面。1985 年出台的《国家水资源规划》(SNHP)中提出对水利基础设施和淡化产业的公共投资,规定优先投资不依赖外部输水的开发项目,鼓励采用非传统性方法获得高品质水源,例如淡化海水与苦咸水。

为使淡化饮用水价格与全国家庭用水平均水价相近,促进淡化产业发展,西班牙政府早在 1983 年就制定了对淡化产水的补贴政策,并根据《西班牙总预算法》每年一度地制定补贴方案,环境部自 1997 年起控制和分配该补贴。计算补贴使用的公式考虑了许多因素,如水资源量、淡化水成本、能耗量、管网渗漏和人口密度等。生产淡化水的公司必须实现家庭饮用水供应方能享受补贴。根据欧盟法规,对公司的补贴必须始终低于海水或苦咸水淡化的产水成本^[6]。该补贴政策促进了淡化产业的可持续发展。

2004—2011 年,西班牙政府启动并实施了“水资源管理和利用措施”(AGUA)计划,即以海水淡化技术作为战略关键依托,实现 300 万 m³/d (8.5 亿 m³/a)的可利用水资源量,为地中海流域提供充足的市政饮用水和灌溉用水,解决该地区水资源短缺引发的问题^[3]。该计划还包括实行严格的淡化水水质标准(包括降低硼含量)和能

耗标准。AGUA 计划总投资超过 10 亿欧元,并获得欧盟部分资助。AGUA 新建海水淡化厂的产水成本为 0.5~0.6 欧元/m³,为推广淡化的农业应用,淡化产水的硼浓度须低于 0.5 mg/L,并对不同类型的用户执行差异的水价标准^[7]:饮用水用户 0.5~0.6 欧元/m³;农业灌溉 0.3 欧元/m³;工业和服务业大于 1 欧元/m³。通过实施 AGUA 计划,西班牙不但增强了淡化技术力量,令海水淡化工业重心转移至地中海沿岸,还提高了淡化水在农业灌溉中的比例。西班牙企业则升级了技术、储备了人才,积累了建设和运营大型淡化厂的经验,并积极开拓海外市场,西班牙由此在国际淡化产业竞争中确立了领先地位。

2.2 环境保护政策

西班牙境内所有淡化厂必须遵守本国以及欧盟颁布的相关法律、法规和政策。西班牙环境、农村和海洋部主管全国淡化厂的环境影响评价。

在淡化厂的节能减排方面,随着能源和气候变化等环境问题日益受到关注,环境部早在 2004 年就表示政府将支持可再生能源淡化技术

的发展^[8];政府于 2011 年开始实施政策《行动计划 2011—2020:改进现有净水厂、供水、废水处理和淡化的能效》(SPA26)^[9],要求新建淡化厂尽可能采用可再生能源,避免加剧温室效应。例如,2009 年投产的巴塞罗那反渗透海水淡化厂在其 8 座建筑屋顶上安装了 5 200 多个太阳能光伏组件,每年可发电约 1 MW,还安装了风力发电装置。该淡化厂产水能力 20 万 m³/d,能耗仅为 3 kW·h/m³ 产水,每年可减排 850 t 二氧化碳^[10]。此外,通过参加欧盟 MEDINA 项目,并执行可再生能源淡化促进组织(PRODES)制定的《可再生能源淡化发展路线图》^[11],西班牙将在 2015 年前后建立起针对可再生能源淡化的法律构架与政策。

在淡化厂的浓盐水管理方面,地中海是半封闭海域,受气候影响蒸发旺盛,周围又无大河注入,海水盐度高、密度大、更新缓慢,不利于浓盐水稀释扩散,这对地中海的生境构成潜在威胁。西班牙政府通过法规管理和技术防范应对浓盐水排放引发的环境问题。欧盟和西班牙有关淡化厂浓盐水排放的主要立法见表 1^[12-13]。

表 1 欧盟和西班牙主要的海水淡化环境管理立法

立法机构	法律/法规名称	主要内容
欧盟理事会	欧盟水框架指令	到 2015 年使欧盟境内所有地表水和地下水体达到良好的水质和水量状态;成员国应运用最佳可利用技术控制排放,并制定排放限值和环境质量标准,如产生了扩散影响,控制方法应包括与之相应的最优的环境管理,逐步减少污染物排放;制定环境与管理监测计划,执行监督监测、运行监测和调查监测;将淡化列为增补性供水措施之一;依据该法制定的新标准有望将淡化浓盐水排放纳入管理,例如通过地面或底土渗滤间接排放
	环境影响评价指令	包括海水淡化在内的各类水资源项目在开发前必须进行正式的环境影响评价
	保护地中海免受污染公约	抵抗陆源污染物、保护地中海;对可能造成海洋生态系统紊乱、影响生物群落和受威胁物种的排放行为作了授权规定
西班牙议会	1999 年水法修正案	淡化活动必须先获得关于浓盐水排放和淡化水质要求的行政授权
	环境影响评价法	建立强制性环境影响评价制度;浓盐水排放活动必须得到授权
	西班牙海岸法	对浓盐水直接排放入海的情形进行审查;对排放物和受体水的质量标准进行了双重限制;排放物不能改变受体水的性质、威胁公共健康或超过自然界的承受能力;受纳浓盐水的海水应符合游泳用水条件,或适于软体动物幼体生存
加那利群岛自治区	生态影响评价规章	产水量大于 5 000 m ³ /d 的淡化装置必须通过详细的生态影响评价;保护海草场等重要生境
安达卢西亚自治区	沿海海水水质规章	制定了受倾排海域的海水水质目标

西班牙现行浓盐水排放方法主要包括潜没式排放;单一和多端口扩散排放以及直接排放至入海水道或砾石海滩的表层海水。地中海沿岸淡化厂通常将浓盐水排放至 5~40 m 深处。除浓度高于海水,浓盐水与海水的化学成分相似。淡化厂进行过滤器和反渗透膜清洗操作时会排放大量悬浮物、阻垢剂、除垢剂和洗涤剂。西班牙近年投产的淡化厂大多对这些污染物进行独立的净化处理,或将其低比例稀释后与浓盐水混合排放。

地中海浓盐水排放量不断增加可能会对海洋环境造成不利影响,因此西班牙公共工程研究和实验中心 (CEDEX) 专门开展浓盐水影响范围试验。CEDEX 研究表明:垂向排放角 65° 、潜没式多端口排放时,浓盐水具有最大的稀释度,而表层直接排放的混合稀释效应相对较弱^[14]。鉴于此,西班牙大多数海水淡化厂的浓盐水排放系统均已设计或改造成潜没式多端口排放。此项技术的改进有效防治了浓盐地对地中海生境的潜在影响。

环境、农村和海洋部要求海水淡化工程的建设方执行《海洋环境监测计划》,主要包括 4 个方面的质量控制:原海水流量变化质量控制、排放区周边环境质量控制、接纳海水质量控制,以及受保护的海洋生态系统质量控制。《海洋环境监测计划》要求在淡化设施运行前进行至少 6 个月的质量控制。海水进水、预稀释水、淡化产水和浓盐水的流速和盐度应每 3 h 采样测量 1 次;可能受影响的海底站位的盐度和 3 个站位剖面 100 m, 300 m, 1 000 m 处的水体盐度应每 4 周测量 1 次。在水深加深区域每 10 min 测量 1 次海床上方 20 cm 处的盐度,测定仪器的精度必须小于 0.01 psu,且仪器必须每 15 d 更换和校准 1 次。每周应该收集记录控制点的盐度值,并与地中海海草的盐度阈值进行系统比较。此外还应在控制点每周 1 次和不定期地测量 pH、浊度、溶解氧和硝酸盐等参数。为了表征决定远场浓盐水扩散行为的外界海流,流量计安装在海床上方 1 m 处。每年还应该对受保护的海洋生态系统进行两次现场调查,监测浓盐水引起的任何不利影响。

3 经验借鉴与建议

我国的淡水资源总量约为 $2\ 830\ \text{km}^3$,占全球水资源的 6%,名列世界第 4 位,但人均水资源量只有 $2\ 200\ \text{m}^3$,仅为世界平均水平的 1/4,是全球人均水资源最贫乏的国家之一。根据水利部的《全国水资源综合规划》,到 2030 年,我国沿海地区年缺水量仍将达到 214 亿 m^3 。水资源短缺已成为制约我国沿海地区经济社会可持续发展的“瓶颈”。海水淡化是一种水资源增量技术,对解决我国的水资源困局、确保国家水安全具有重大意义。结合海水淡化强国——西班牙的成功经验,为我国的海水淡化产业提出建议。

3.1 发展健全淡化产业链体系

我国人均淡水资源严重紧张,发展海水淡化是开辟新水源、保障国家水安全的一个重要措施。虽然近 10 年我国海水淡化产业发展态势良好,但仍存在一些问题,主要表现在:具有自主知识产权的关键技术不足、装备制造能力较弱、尚未形成完整的产业链体系。目前,我国的淡化市场也基本被国外公司垄断。为确保国家长久的水安全,我国发展海水淡化不宜走海湾国家的路线,即满足于淡化水市场的地位,而应努力发展完整的产业能力。参照西班牙的成功经验,我国应以技术输出国为目标,重点加强低能耗淡化技术和关键装备的研发,提升自主技术的比重;健全水资源利用市场机制,培育具有工程技术实力和创新力的水务企业在国际竞争中锻炼建设、运营大型淡化项目的能力。

3.2 逐步完善淡化产业配套政策

海水淡化在我国尚处于起步阶段,截至 2013 年我国淡化总规模还不足 $80\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$ 。参照国际经验,这一阶段海水淡化产业的发展需要国家政策扶持。西班牙 30 年的支持政策对其海水淡化业产生了积极深远的影响,淡化水现广泛用于市政供水、农业灌溉和工业,成为国民经济不可或缺的部分。我国已出台一系列规划和政策文件,但这些政策多停留在原则性、指导性的宏观层面,缺乏有效的集成和具体的执行细则,其实际效果大打折扣。例如,由于淡化水使用和入网政策不完善,天津产水能力 $10\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$ 的北疆电厂海水淡化装置日产水不足 $2\ \text{万}\ \text{m}^3$,在淡化水入网过程

中遭遇诸多障碍,产能严重闲置。为了解决好我国淡化厂开工不足和我国沿海部分地区水资源严重短缺的矛盾,我们应借鉴西班牙发展经验,建立水价补贴机制,完善淡化水进入市政供水的配套政策,通过完善的政策引导淡化产业的快速、健康发展,保障我国沿海地区的用水安全。

3.3 积极发展高效低能耗淡化技术

淡化是以能源换淡水的过程,降低吨水能耗、最大限度地减少对环境的影响是技术发展的主要方向。西班牙多座海水反渗透新厂的能耗已降至 3 kW·h/t,接近当今世界最先进的标准,并且西班牙和欧盟在努力发展可再生能源淡化技术。随着低碳经济时代的到来,西班牙在节能减排方面所做的努力将令其淡化产业具备独特优势。我国淡化设施的能耗水平与西班牙相比还有一定的差距,如果国际社会未来制定更严苛的温室气体减排目标,或者欧盟为淡化业设立能耗门槛,将对我国淡化产业“走出去”造成重大影响。因此,我国发展海水淡化应以膜法为主要方向,并重视正渗透、膜蒸馏和可再生能源淡化等新兴高效低能耗技术的研发,为产业的发展提供有力的技术支撑。

3.4 基于预防原则规范淡化浓盐水管理

目前国际上对于淡化浓盐水排放影响的科学机理研究还处于实验室、小范围的阶段,尚未明确揭示浓盐水对环境的影响机制。尽管如此,西班牙等发达国家仍积极采取政策和技术措施将浓盐水可能造成的环境影响降至最低限度。管理者和淡化设施运营者均必须积极采取行动预防潜在的环境影响,不能以“缺乏浓盐水排放造成环境影响的明确证据”作为免责的借口,这

是对海洋环境和人民生命健康权的负责之举。

我国的渤海是水动力较差的半封闭海域,并且周边海水淡化厂分布较多,这与西班牙的地中海沿岸有类似之处。由于遭受过严重的石油污染,渤海与地中海相比生态系统更加脆弱。随着环渤海地区海水淡化产业的发展,浓盐水排放逐渐增多,其环境影响应引起足够重视。目前,我国已要求海水淡化工程就浓盐水对海洋生物的影响、环境风险、环保措施和风险防范措施进行全面充分的论证,对于环境影响较大、且不能通过采取有效措施减轻影响的项目不予核准^[15],这为浓盐水管理提供了政策依据,但我国仍亟须通过国家立法进一步明确浓盐水管理的“预防为主原则”,以避免对海洋环境的损害。法规和标准应规定最低稀释水平、扩散器系统的选用、化学药剂处理方法和排放系统应规避的敏感区域等一系列要素。同时,所有海水淡化项目必须开展持续的监测计划,评价淡化工程的取水和浓盐水排海等活动对海洋资源的影响程度。此外,还应通过充分开展研究确定适用于我国近海的浓盐水排放技术(如潜没式多端口扩散器排放、与电厂冷却水混合排放等)并进行推广,以此来降低我国淡化工程对海洋环境的潜在影响。

4 结论

西班牙是世界领先的海水淡化技术强国,拥有半个世纪的发展经验。借鉴其产业发展经验和相关产业发展政策,依据我国国情及淡化产业发展现状,不断优化我国淡化产业发展路线,对于促进我国海水淡化业健康、快速发展具有重要的参考意义。

参考文献

[1] GRABER C. Desalination in Spain: new technologies in Spain[R/OL]. <http://icex.technologyreview.com/articles/2009/01/desalination-in-spain/desalination-in-spain.pdf>.
[2] Global Water Intelligence. Desal Data[DB/OL]. <http://desaldata.com/projects>.
[3] 西班牙驻华大使馆经济商务处. 西班牙海水淡化行业报告[R/OL]. [2010-9-21]. <http://www.spainbusiness.com.cn/cn/cn/cn/contentTypes/common/records/mostrarDocumento/? doc=4399663>.
[4] CUENCA J C. Report on water desalination status in the mediterranean countries[R/OL]. http://www.imida.es/docspublicaciones/06_REPORT_ON_WATER%20DESALINATION.pdf.
[5] UNESCO Centre for Membrane Science and Technology, University of New South Wales. Emerging trends in desalination: a review[R/OL]. http://www.nwc.gov.au/_data/assets/pdf_file000911007/Waterlines_-_Trends_in_Desalination_-_REPLACE

_2. pdf.

[6] GASCÓ G. Influence of State Support on Water Desalination in Spain[J]. Desalination, 2004, 165: 111—122.

[7] ZARZO D, CAMPOS E, TERRERO P. Spanish Experience in Desalination for Agriculture[J]. Desalination and Water Treatment, 2012.

[8] Global Water Intelligence. Market leading analysis of private water projects[R].

[9] IDAE. Energy efficiency policies and measures in Spain[R/OL]. [2012—10—10]. <http://www.odyssee-mure.eu/publications/national-reports/energy-efficiency-spain.pdf>.

[10] SANZ M A. Intake and Brine discharge in SWRO desalination: two case studies, barcelona & perth[R/OL]. <http://www.symphos.comdownpresentations/Thematic%20Sessions/Thematic%20session%204%20-Dessalination%20technologies/T.S%204%20SYMPHOS%202013-%20Miguel%20SANZ.pdf>.

[11] PRODES. Roadmap for the development of desalination powered by renewable energy[R/OL]. [2010—11—5]. http://www.prodes-project.org/fileadmin/Files/ProDes_Road_map_on_line_version.pdf.

[12] 马丁·格里菲斯. 欧盟水框架指令手册[M]. 水利部国际经济技术合作交流中心组织, 译. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

[13] PRODES. Guidelines for the regulation of desalination[R/OL]. [2010—5—7]. http://www.prodes-project.org/fileadmin/Files/D6_2_Legislation_Guidelines.pdf.

[14] PALOMAR P, LOSADA I J. Desalination in Spain: recent developments and recommendations[J]. Desalination, 2010, 255: 97—106.

[15] 中国产业经济信息网. 国家海洋局相关业务司权威解读《关于促进海水淡化产业发展的意见》[N/OL]. [2012—11—19]. <http://www.cinic.org.cn/site951zcdt2012-11-19/606052.shtml>.

海洋出版社新书书讯

中国海洋工程与科技发展战略研究系列丛书

书名	图书定价	编著者	页码	开数	出版日期
中国海洋工程与科技发展战略研究:海洋能源卷	120.00	周守为	416	16 开	2015—01—07
中国海洋工程与科技发展战略研究:综合研究卷	180.00	潘云鹤 唐启升	836	16 开	2015—01—06
中国海洋工程与科技发展战略研究:海洋生物资源卷	120.00	唐启升	392	16 开	2014—12—30
中国海洋工程与科技发展战略研究:海洋运载卷	130.00	吴有生	424	16 开	2014—12—18
中国海洋工程与科技发展战略研究:海洋环境与生态卷	120.00	孟伟	400	16 开	2014—12—24
中国海洋工程与科技发展战略研究:海洋探测与装备	90.00	金翔龙	300	16 开	2014—12—30
中国海洋工程与科技发展战略研究:海陆关联卷	80.00	管华诗	268	16 开	2014—12—23