

# 海水淡化，水资源，开发利用

1999年  
第1期

南海研究与开发  
NANHAI YANJIU YU KAIFA

1999年  
6月

59-64

P747

## 推广海水淡化技术，加强水资源的开发 TV<sup>213</sup> 9

李仲钦 毛艳华

(国家海洋局南海环境监测中心 广州 510300)

**摘要** 展示了人类正面临水资源危机的严峻形势，全面论述海水淡化是开发水资源、解决当前日益尖锐的淡水供需矛盾的重要途径；最后提出了发展广东省海水淡化事业的对策，以求增创广东经济发展的新优势。

水，如同空气、阳光，是人类生命的基础；水，好比煤炭、石油，是工农业生产的命脉。由此，可以认为，水是增创经济发展新优势之源和本。

种种现实已经深刻地表明，水是可以耗尽的，水资源是取之不尽、用之不竭的观点应当改变。而且，还必须清醒地看到，“在石油危机之后的下一个危机便是水”。更严重的问题还在于，“能源可有代替，而水源是无法替代的”。这是联合国早在1977年世界水会议上发出的郑重警告。

因此，保护水资源，并加强水资源的开发，是增创新优势并实施可持续发展决策的一项具有重大战略意义的举措，而海水淡化是沿海地区水资源开发的必然趋势和最终归宿。

### 1 人类面临水资源危机的严峻挑战

随着现代化建设的高速发展，人口的急剧膨胀，以及人们物质文化生活水平的极大提高，水的用量剧增，但是供水量却有减无增，而且水体污染日趋严重，因此，全球范围乃至全国性的供水矛盾日益突出。由于缺水，已经引起了世界各国社会、经济和自然生态等一系列问题，而且大有不断发展、蔓延之势。所以，合理地开发利用和有效地保护水资源已成为全世界共同关注的热点，防止水危机的呼声一浪高过一浪，正席卷全球。

据联合国气象组织1997年度统计，自本世纪初以来，人类对淡水资源的需求急剧增加，从1990年到1995年，水的消耗量增长了6倍，比人口增长速度还快2倍。目前全世界约有80个国家和地区严重缺水，占地球陆地面积的60%，有13亿人口缺少饮用水，20亿人得不到安全的用水。至今已发现由于饮用水源不符合卫生要求而导致的疾病有50多种，平均每天发生与水相关的疾病65万例，夺去2.5万人的生命。据联合国1997年发布的信息称，到2000年，全世界人均占水量将减少24%。美国水资源研究的权威人士预

1999-01-05 收稿。

测,假如不改变人类传统的用水方式,按每年取水量递增4%—5%计,到2100年地球上所有河水将被耗尽,到2230年,人类将耗尽地圈内所有储备的淡水资源。

我国水资源总量不可谓不丰,河川地面径流量平均每年为2.6万亿 $m^3$ ,居世界第六位;但按人口平均,每人每年仅2400 $m^3$ ,仅为世界人口平均占有量的1/4。中国人口占世界22%,而淡水占有量仅为8%,世界排序名列第109位,是世界12个严重贫水国之一。而且径流的时空分布很不均衡,包括北京、上海、广州、沈阳、长春、大连等在内的我国40多个城市都被列入世界性严重缺水的名单中。据资料表明,全国近600多座城市中,有半数到2/3的城市缺水,严重缺水的城市就有100多个。我国城市到2000年缺水将达600亿 $m^3$ ,每年因缺水而造成的损失,仅工业产值就达2400亿元。

广东地处亚热带季风气候区,雨量充沛。多年来平均水资源量约为1800亿 $m^3$ ,人均水资源量2700 $m^3$ ,略高于全国平均水平,但是时空分布极不均匀,水量的70%—80%集中在汛期,以洪水形式出现,实际利用率低。同时粤西、粤东水源供蓄条件差,粤北石灰岩地区难于涵养水源。所以,多雨的广东也经常深感干渴。广州、湛江等城市在全国缺水城市中也榜上挂名。近年南海、潮阳、汕尾、台山沿海、海陵岛、电白、雷州半岛等地也纷纷亮出缺水的红牌。

日趋严重的污染不仅导致大量洁净的淡水资源的丧失,而且造成对生态环境的破坏和对人体健康的极大危害。据预测,到2000年全世界污水总排放量将达69000亿 $m^3$ ,仅仅为了稀释这些污染物,就要耗尽全球河水量。据报道,我国目前每年废水排放量超过350亿t之多,致使全国138个城市河段中的133个河段已受到不同程度的污染,78%的河段不适宜作饮用水源,50%的城市地下水也蒙遭危厄。全国现有的七大水系重点河段中仅有三成符合地面水环境质量标准的第一、二类标准。广东1997年的统计资料表明,全省废水排放量达37亿多吨,废气排放总量为8300亿 $m^3$ ,固体废渣产出量约2700万t。广州从1986年起,仅生活污水排放量即以每年10%的速度在递增,而且未经处理,平均每天向珠江排放的污水足有300多万吨,使目前珠江河段污染率高达60%,其中亚硝酸盐和氨氮含量均超过标准值。昔日珠江鱼虾成群,如今却难觅踪迹,难怪人们一次又一次地发出救救母亲河的呼唤!又据有关资料显示,我国现有大约7亿人口饮用大肠菌群超标的水,10.7亿人饮用受有机污染的水。可见,目前水质恶化程度是何等触目惊心。

此外,江河淤塞、围湖造田以及对水的毫无节制的使用和惊人浪费又进一步加剧了水的供需矛盾。以黄河为例,因河床中泥沙的堆积,不仅造成河流被迫改道,而且时而产生断流,仅1997年断流已达7次之多。我国湖泊星罗棋布,总面积逾557万公顷,占我国淡水水面的1/3,但是无计划的围湖造田已使水面减少167万多公顷。用水的无度更是习以为常、司空见惯。如广州市人均日用水量高达500多升,实属罕见,比地处热带的现代化都市新加坡以及世界名都的法国巴黎都高出2倍以上,令人难以置信。而且广东省水源的重复利用率仅为20%—40%,不仅远远低于世界水平,甚至比国内水准也低一半多。

总之,世界范围缺水,中国缺水,广东也缺水;人叫渴,土地叫渴,工厂机器也叫渴,都因为缺水。如此严峻的水形势已经明显地成为影响和制约全国、全省现代化建设的“瓶颈”,又象一把钳子似的正在逼近我们城市的咽喉。不能再为所欲为地糟蹋宝贵的水资源了,否则,人类的最后一滴水有可能就是自己的眼泪!

## 2 海水淡化是水资源开发的重要途径

科学家们发现,迄今为止宇宙中唯一有水的星球便是地球。

是的,地球不仅有水,而且水量极其丰富,是名符其实的“水球”,素有“水的行星”之称,其总储水量约有 14.5 亿  $\text{km}^3$  之巨。如浩瀚无际的海洋、奔腾不息的江河、星罗棋布的湖泊、波光潋滟的水库、银光闪烁的冰川、珍珠连串的降雨、漫天飞舞的飘雪,还有暗伏潜流的地下水,都广布于地球上的任何空间。可以说,地球无处不是水的寓所,地球确是水的故乡,尤其是海洋,更是人类世界最大的水库,它覆盖地球表面积的 71%,水的储量约有 13.7 亿  $\text{km}^3$ ,占地球总水量的 95%,占地表水总量的 98%。然而,十分遗憾的是,又苦、又咸、又涩的海水无法为人们直接饮用。事实上,人类真正可获的淡水总量仅有 3 000  $\text{km}^3$ ,占陆地水量的 0.64%,不足地球总储水量的十万分之三。

淡水资源如此紧缺,而海洋中却蕴藏着丰富的淡水,其总量约占海水的 97%,相当于 13.3 亿  $\text{km}^3$  之多。因此,发展海水淡化技术、向海洋索取淡水已成为人们多少世代以来的梦寐以求。由于陆地水资源越来越贫乏,开发和利用海洋中的淡水资源更成为现代社会的当务之急。海水不但总量巨大,而且不受季节气候影响,对人类长远来说,是一种稳定可靠的淡水资源,是解决淡水供需矛盾的重要途径。

人类早在两千多年前就开始思考海水淡化的问题,并进行了种种试验,但是都没有取得成功。是科学技术的进步才使人们昔日的梦想终于变成了现实。

国外早在 40 年代就开始开发以蒸馏法为主的海水淡化技术,到 70 年代前后初步形成了工业化生产体系。美国最早于 1952 年首先开发了电渗析盐淡水淡化技术,继而在 60 年代初又开发了反渗透淡化技术,从 1952 年至 1974 年共投资 2.75 亿元,从 1974 年后继续保持每年 2 000 多万元的投资,并将研究成果广泛推向实际应用。截止 1997 年国际脱盐协会统计,全世界  $100 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$  以上的脱盐装置总容量为 1 623.6 万  $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ ,其地理分布为:中东地区占 54.9%,美国占 14.6%,欧洲 9%,亚洲 7.9%;按原水性质分,海水占 63.6%,地下苦咸水占 24%,其它原水占 12.4%;按淡化产水用途分,生活饮用水占 61.8%,城市工业用水占 24.9%,发电厂用水占 5.5%;按淡化工艺区分,蒸馏法占 59.7%,反渗透法占 32.9%,电渗析法占 5.5%;对完全以海水为水源的淡化,蒸馏法占 88.4%,反渗透法占 10.9%。又据近期报道,从 1991 年到 1997 年,全世界共有 100 t 级以上的海水淡化厂共 1.1 万家,淡化产水量已猛增至 2 437 万  $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ 。淡水产量最高是沙特阿拉伯,占世界总产量的 1/4;美国产量居第二位,占世界总产量的 15.2%。目前世界上最大的蒸馏法海水淡化厂建于沙特阿拉伯,日产淡水 46 万 t,是多级闪蒸造水与电厂热发电双重目的的结合,充分利用火力发电厂低压排气,作为蒸馏淡化热源,由此大大降低了淡化的电耗和成本。目前世界最大的反渗透海水淡化厂建在沙特的首都利雅德,日产淡水 5.68 万 t,早在 1989 年 4 月由日本三菱重工建造,装置中设有能量回收的配套设施,有利于降低淡化造水成本。

我国海水淡化事业起步于 1958 年,40 年来发展较快,取得了长足进步和显著的成绩,已逐步形成了一门综合性的技术学科和水处理技术产业。蒸馏法、电渗析法、反渗透

法、太阳能法等淡化技术在不同程度上得到较广泛的开发和应用,初具规模,并已取得良好的社会、环境和经济效益。全国拥有一支为数 8 000 人以上的专业技术队伍,从事科研与开发的单位 100 多个,设备生产厂 60 多家。其中膜法技术所占比重最大,约占 90% 以上。如国家海洋局杭州海水淡化与水处理技术开发中心和国家海洋局海水淡化综合利用研究所已成为我国南北两大中心和基地。据有关资料报道,1992 年我国膜行业(包括反渗透膜、离子交换膜、超滤膜和微孔滤膜)中膜装置的生产以及膜工程年总产值超过 1 000 万元的大户有:杭州西斗门、深圳新世纪公司、核工业部第八研究所、大连化学物理研究所、北京顺义水处理设备厂、庆江化工厂、天津纺织工学院膜公司、北京绿色源泉公司、八二七一厂、中国蓝星化学清洗总公司水处理公司、上海集美滤材公司、山东招远膜公司、湖州水处理设备厂等。上述单位膜产业(含超滤和微孔滤膜)的年产值合约 3.80 亿美元,其中国家海洋局杭州水处理中心与香港汇丰银行合资的膜企业——西斗门公司 1997 年创下了 6 000 万元产值的最高记录。

我国蒸馏法海水淡化试验研究从 1964 年开始,百吨级多效多级和多级闪蒸 2 套海水淡化装置早在 1971 年和 1981 分别通过鉴定;日产 5—50 吨级不同规格的多级闪蒸及压汽式陆用和船用蒸馏淡化装置已在工厂系列化生产,并有 300 多台套在船上应用;陆用日产 24 吨级常压压汽式海水淡化装置已在大连长海县投入使用。经过多年研究和试验,目前基础和配套技术已有很大提高,材料、防腐、阻垢等关键技术已初步解决。在与热电厂结合双目的造水方面,天津大港电厂 1988 年已从国外引进了 2 台日产淡水均为 30 000 多吨的设备,至今运行情况正常,积累了可贵的经验。

电渗析法在我国起步最早,技术成熟,工艺研究达到世界先进水平,开发活跃,应用较广。早在 1982 年,日产 200 t 级海水淡化已在西沙群岛永兴岛启用,是世界上同期和同类型中最大的装置。从海水(盐度 34)脱盐至饮用水要求(盐度 0.5)电耗为  $16 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1}$ ,成本是船运淡水成本的 1/4。广东番禺市沙仔岛于 1984 年春节建成了我国第一个海(咸)水民用电渗析淡化站,日产淡水 300 t,平均电耗  $1.07 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{t}^{-1}$ ,吨水成本 1.02 元,为我国沿海县市咸害区改水供水提供了成功的范例。此外,共计 20 多套电渗析苦咸水淡化车正广泛地在新疆沙漠地区推广应用。

我国反渗透技术研究从 1967 年开始,先后开发成功板框式、卷式、管式和中空纤维型等多种类型膜件和装置,日产 5 t 和 10 t 的苦咸水淡化器和日产 1 t 和 2—3 t 海水淡化器也通过了技术鉴定。近 10 年来,反渗透技术在我国后来居上,大有匹敌于电渗析之势,发展很快,除在工业和医药等行业中广泛应用于制备纯水和高纯水外,1997 年 10 月 16 日由国家海洋局杭州水处理技术开发中心在浙江省舟山市嵊泗县的嵊山岛建成了我国第一座日产 500 t 级海水淡化站,当年已投入运行,可将浓度为  $26\,780 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的海水淡化至  $163 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的淡水,水质优于国家饮用水标准。这一示范性工程是浙江省科委批准立项并参与投资的省属重大科技项目,总投资 616 万元。为了降低能耗,工程系统中首次采用能量回收装置,使单位电耗降低约 30%,保证生产 1 t 淡水耗电低于  $5.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,造水总成本为每吨 7.28 元。有关专家认为,该工程的技术和经济指标已达到了国际先进水平。

我国太阳能淡化技术的开发研究从 70 年代中期开始。初期在甘肃省苦咸水地区试验;接着由中国科学院广州能源研究所在南海蜈蚣州岛和西沙中建岛为解决当地军民用

水问题而研制并建成两台顶棚式直接蒸发装置;而后于 80 年代末又在浙江省嵊泗岛建成一台设备较完善、性能良好的装置。目前仍在对集热器和顶棚设计等关键性技术问题进行深入研究。

总之,海水淡化是水资源开发的重要途径,而且梦已成真、可望可即,已经成为现实的可能。可以肯定,随着陆用水资源的日渐枯竭,海洋必将成为海水淡化技术的主战场。

### 3 发展广东省海水淡化事业的对策

广东陆用水资源并不丰足,也和全国一样正面临着水量日渐短缺和水质日趋恶化的挑战和威胁。然而,广东是个海洋大省,濒临总面积达 350 km<sup>2</sup> 的南海,仅广东自身拥有的海域面积就达 45 万 km<sup>2</sup>,是陆地面积的 2.5 倍。全省还有长达 3 368 km 的大陆海岸线和 2 414 km 的岛岸线,为全国之冠;多达 1 431 个岛屿,其中面积 500 m<sup>2</sup> 以上的海岛 759 个,仅次于浙江和福建。因此广东省发展海水淡化事业非但十分必要和迫切,而且具有得天独厚的区位优势、水源环境和淡化条件。

除优越的自然条件外,广东省还有发展海水淡化事业的良好基础。

一是海水淡化具有开创性和指导意义的成功范例。如全国第一座电渗析海水淡化示范工程建在南海西沙,全国第一座民用电渗析海(咸)水淡化站落户于珠三角,都为全国海岛供水和沿海咸害区城镇改水提供了具有示范性意义的技术经验。

二是具有长期从事海水淡化与水处理专业技术研究开发的基础力量。全省从事电渗析、反渗透及太阳能等淡化技术及其配套技术研究和应用的开发单位计有国家海洋局南海环境监测中心、中国科学院广州化学研究所、中国科学院广州能源研究所、暨南大学化学系水处理研究室、华南理工大学化工系、中山大学材料科学研究所、广东工业大学化工系、广州市水质净化研究所、广州军区后勤部水质净化研究所等 9 个单位,科研人员约 160 多人,其中不乏我国早期从事淡化研究的专家、教授和工程技术带头人,多年来不断取得颇有建树的科研成果,有些成果已达到实用化的水平。

三是具有海水淡化设备配套生产能力。目前全省从事反渗透、电渗析淡化设备配套生产的单位有广州市白云山水处理设备有限公司、珠海莫高海水淡化设备工程有限公司、顺德市德力海水淡化设备厂、深圳嘉泉水处理科技公司、深圳久大水工科技有限公司、深圳市孚斯净化技术有限公司、广州花都市医药器械设备厂、南海市净源纯水设备有限公司等共 23 家之多,并具有一定的生产与组装的水平和能力。

四是淡化技术应用工程公司发展很快,根据不完全统计,目前至少有 80 家之多。淡化技术在广东已初步形成了产业群体,而且颇具规模,尤以反渗透技术更为活跃。无论是沿海电厂锅炉供水、电子工业纯水制造,还是饮料工业饮用纯净水和矿泉水的生产等,淡化技术都得到了较广泛的应用。目前,广东省仅饮用纯净水和矿泉水的生产厂就有 200 多家。

总之,广东省的海水淡化技术作为全国的后起之秀,近年已取得不断进步和发展,但是与沪杭、京津和苏南等发达地区相比仍有较大差距。为此必须加大力度,把发展海水淡化事业作为全省增创新优势的切入点,列入重要的议程,明确发展的战略目标,并采取有

效的对策。

(1)通过多种渠道和方式,大力加强,广泛开展宣传教育,提高各级领导和全社会对水是一种紧缺的战略资源的观念认识,树立起广东将面临缺水挑战的忧患意识,高度重视开发海洋淡水资源工作,从长计议落实向海洋索取淡水的战略思想。

(2)加强全省水资源开发利用和海水淡化工作的组织领导,建立相应的政府职能部门,统筹规划、统一管理、全面协调,并加大投入,完善配套。

(3)研究和确定广东省淡化技术发展的总体规划和战略目标。到2000年,各种淡化方法的总造水能力应超过 $1\text{万 t}\cdot\text{d}^{-1}$ ,其中海水淡化占10%,中低盐度咸水占40%,工业用水和工业重复用水占50%;从2000年至2010年,淡化造水总规模每年平均递增率应大于3%。

(4)研究和确定广东省海水淡化的技术政策。根据不同淡化方法的特点和适用制宜的原则,应优先发展和推广应用反渗透技术,沿海电力开发的供水着重于蒸发法,低盐度水处理以电渗析法为主。此外,应重视开发利用天然能源的淡化技术,如太阳能法,以及风能、海洋能的节能型淡化装置的研制。为了发挥海水淡化技术综合优势,还需加强不同方法组合工艺的试验研究。

(5)组建省级海水淡化科研、生产和工程应用一体化的造水技术中心及相应的总工程师公司,并大力培养和造就一支具有规模和实力的淡化技术队伍,还要加强省内外和国际间的合作交流,迅速提高广东省淡化技术水平。

(6)建立具有代表意义的应用示范工程和试验基地,如船舶海水淡化,沿海村镇咸害区改水,石油平台和岛屿的供水,近岸重点建设项目工艺用水等。

(7)坚持以经济建设为中心,大力发展海水淡化产业,形成具有规模的群体和新兴产业部门,增创良好的社会、环境和经济效益,不仅使淡化技术成为缓解我省沿海地区淡水资源供需矛盾的重要出路,而且为解决船舶、海岛和石油平台的供水提供从技术到设施的保障,同时在电子、电力、化工、轻纺、食品、医药等各行各业的工艺用水以及废污水处理回用方面发挥作用。

(8)加强海水淡化现有技术适用性和经济性的研究,努力降低海水淡化生产的成本,逐步满足沿海地区和海岛开发对海水淡化日益迫切的需求。降低成本的重点应放在减少能耗、回收能量以及提高水的回收率等方面。近期淡化成本的目标,力争每吨淡水耗电低于 $8\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。此外,着重于造水与发电、淡化与浓缩、分离与精制等多重目的和效用的开发研究,并且向装置大型、自动化和现代化方向发展。

(9)不断优化船舶淡化设施,以适应广东省海洋产业发展需要。研究与开发的重点在提高远洋运输和远海捕捞船舶的淡水自给率。

综上所述,为了实现水资源的可持续利用,必须大力加强海水淡化技术的研究开发和推广应用。海水淡化技术作为一门独立的新兴学科,已在我国初步形成了自己的体系和特色,也在广东省建立了良好的基础。海水淡化事业方兴未艾,它必将在全国全省水资源开发利用、增创经济发展新优势方面发挥越来越大的作用。