

中国海水利用技术与21世纪的发展*

DEVELOPMENT OF SEAWATER UTILIZATION TECHNIQUE IN THE 21 CENTENARY IN CHINA

徐丽君¹ 于廷芳² 于银亭¹ 殷 丽² 周仲怀¹

(¹中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

(²山东海洋技术开发中心 青岛 266071)

海水是海洋中最大的资源,其中约97 %是淡水,海水的总体积约 $13.7 \times 10^7 \text{ km}^3$,可以说是取之不尽,用之不竭的水资源。目前,世界上最大的资源危机是水资源危机。已知有100多个国家缺水,严重缺水的国家约26个。我国是淡水资源较为贫乏的国家。世界人均淡水总量约 $12\ 000 \text{ m}^3$,而我国淡水资源总量虽有 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,但人均水资源量只有约 $2\ 300 \text{ m}^3$,人均淡水资源占有量仅为世界人均占有量的1/4,位居世

界各国排名的第88位。据预测,我国从21世纪开始将全面进入水资源危机阶段。目前中国经济发达的沿海地区已经存在着严重的缺水危机,主要沿海大中城市都不同程度地严重缺水,尤其是华北沿海的大中城市

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第3428号。

收稿日期:1997-12-20;修回日期:1998-06-21

缺水严重,解决这一问题的唯一出路就是要充分利用海水,发展海水利用产业。

1 海水利用技术现状

1.1 海水直接利用 中国用水总量每年平均以5.3%的速度递增,特别是改革开放以来,中国城市化进入了一个新的发展高潮。1980年全国有城市223个,1993年达到570个,而且有逐年增加之势,用水总量也随之急剧增加,显然城市化快速发展是用水总量增加的原因之一。目前全国500多个城市中有300多个城市缺水,严重缺水的城市有100多个。华北地区沿海城市缺水尤为严重。全国城市日缺水量约 $1\ 600\times 10^4\text{ t}$,每年因缺水造成损失的工业产值估计约达 $1\ 200\times 10^8\sim 2\ 000\times 10^8$ 元,第二个原因是工业的发展和人口的增长,这在沿海城市尤为突出。据统计,城市用水总量中工业用水量占70%~80%,而工业用水中70%~80%是工业冷却用水。对沿海城市来说,海水是取之不尽的水资源。如何使海水在工业发展中起作用?首先要发展海水直接利用产业,许多城市以海水取代淡水作城市工业冷却用水,可节省城市工业用淡水的70%~80%左右。以海水取代淡水作城市生活冲厕用水,这将能节省城市生活用淡水的20%~30%。从节流这个角度考虑,可大大缓解沿海城市和地区淡水紧缺的局面。

海水直接用于工业冷却水的历史已久。日本早在20世纪30年代就开始利用海水作工业冷却水,到60年代海水量已占总用水量的60%以上,几乎沿海所有企业,如钢铁、化工、电力等部门都采用海水作为冷却水。日本仅电厂到1995年海水利用量就约达 $1\ 200\times 10^8\text{ m}^3$ 。美国预计到2000年有1/3工业用水用海水解决,西欧六国预计到2000年海水用量将达 $2\ 500\times 10^8\text{ m}^3$ 。不难看出,用海水取代淡水作工业冷却水对节约淡水起到的重大作用。

沿海城市利用海水取代淡水用于生活,目前主要是冲厕,已有40 a的历史。香港还立法规定用海水冲厕。以1992年为例,香港日需淡水 $240\times 10^4\text{ m}^3$,冲厕用水 $520\ 000\text{ m}^3$,占生活总用水量的21%。在冲厕水中,海水用量 $350\ 000\text{ m}^3$,占65%,每年可节约淡水 $1.9\times 10^8\text{ m}^3$ 。从海水冲厕取代淡水节约淡水用量来看,虽远不如海水用作工业冷水节约的淡水那样明显,但节约的淡水也是很可观的。

中国沿海城市利用海水作工业冷却用水的历史也很早。例如,青岛电厂1935年建厂时就用海水作冷凝器冷却降温和冲灰用,日用量达 $70\ 000\text{ m}^3$ 。水电部

规定每发 $10\ 000\text{ kW}\cdot\text{h}$ 电耗淡水 200 m^3 ,而青岛电厂仅用 6 m^3 。再如,青岛碱厂是用水大户,日需淡水 $3\ 800\text{ m}^3$ 。由于用海水取代淡水用于溶盐(氯化钠)、化灰和冷却等工艺,纯碱产量逐年上升,耗淡水量不断下降。吨碱耗淡水量由1974年的 13.08 m^3 降到1988年的 0.9 m^3 。为解决海水直接利用,天津塘沽区1990年建成一座日处理 $10\ 000\text{ m}^3$ 的海水净化厂,总投资 300×10^4 元,据说当年即可收回投资。青岛市设计了日供水 $280\ 000\text{ m}^3$ 的海水净化厂,一期工程日处理海水能力为 $100\ 000\text{ m}^3$,现已投产。利用海水作工业冷却用水,成本低廉,只有淡水成本的5%~10%,具有明显的社会效益和经济效益。山东省已有电力、化工、橡胶、纺织、机械、塑料、食品等行业使用海水,年利用量从80年代的 $3.5\times 10^8\text{ m}^3$ 增加到90年代的 $12\times 10^8\text{ m}^3$,其中青岛市年利用量就达到 $7.7\times 10^8\text{ m}^3$ 。大连市用海水作工业冷却水年用量也在 $5\times 10^8\text{ m}^3$ 以上,上海石化总厂和天津大港电厂年海水用量均在几亿立方米以上。总的来说,中国沿海城市年利用海水量只有约 $60\times 10^8\text{ m}^3$,与国外相比,差距是很明显的。

海水冷却,目前国内外大多采用直接冷却方式和技术。由于海水直接冷却存在着取水量大、海洋生物附着不易控制、排污量大、影响生态环境及总体运行费高等问题,国外从70年代起研究更为经济、合理的循环冷却方式和技术,并使其得到了实际应用。中国循环冷却技术研究还处于起步阶段。循环冷却技术的突出问题是腐蚀、结垢、海洋生物附着、盐沉积和盐飞溅等。根据中国的实际情况,在相当时间内海水冷却仍然是以直接冷却技术为主。

2 海水淡化

2.1 现状

我国海水淡化的研究始于20世纪50年代中后期,首先是利用电渗析法进行海水淡化的技术研究,其中山东海洋学院(现为青岛海洋大学)、中科院化学研究所、国家海洋局第二海洋研究所(现海水淡化部分已成为国家海洋局杭州水处理中心)、上海医药工业研究院等单位均先后研究过。目前电渗析法已广泛应用于苦咸水淡化等多个方面,1994年异相膜年产量已达 $450\ 000\text{ m}^3$,居世界首位。1974年中国建成供海军使用的 $7\text{ m}^3/\text{d}$ 淡水的海水淡化电渗析器;1977年在浙江嵎泗岛建成日产淡水 24 m^3 的风力发电电渗析海水淡化实验室;1986年在西沙永兴岛建成日产 200 m^3 淡水的电渗析淡化站;1991年援助马尔代夫建成了日产 50 m^3 电渗析海水淡化站。

中国用于生产的电渗析装置数量和设备的年生产量为世界之首。生产的电渗析器、装置等已出口一些国家,进入了国际市场。

中国于60年代中期开始研究反渗透技术。分别在中科院海洋研究所和国家海洋局二所成立了全国性的会战组,主要研究以醋酸纤维素等制成的膜的反渗透海水淡化装置。此后,中国科学院海洋研究所,国家海洋局二所及北京环保所等单位进行了多方面的研究。1973年中国科学院大连化学物理所、天津纺织工学院等单位开展了芳香聚酰胺中空纤维反渗透膜技术的研究。目前中国从事反渗透技术研究的单位和生产厂已有数十个,已能定型生产卷式和中空纤维反渗透膜脱盐组件。反渗透技术已用于苦咸水淡化,工业用水和高纯水制备等水处理和化工领域。1989年国家海洋局杭州水处理中心与海军医学研究所在山东长岛建成地下苦咸水淡化站,将含盐3 000 mg/L的苦咸水淡化成饮用水,日产60 m³。尽管国外反渗透技术早已用于海水淡化,其装机容量仅次于海水蒸馏而居第二位,但中国利用反渗透技术用于海水淡化尚需有相当时间才能真正实现规模生产。据中国海洋报1998年报道,国家海洋局杭州水处理中心已在浙江舟山建立了海水淡化示范工程试验,这是利用反渗透技术迈向实用工业化的极为可喜的一步。

在海水淡化研究中最先获得成功的技术便是海水蒸馏淡化法。海水蒸馏淡化装置20世纪初已在船上使用。30年代在中东地区开始建立了小型海水蒸馏淡化设备,几十年来,海水蒸馏淡化装置由小到大,现已可达到百万吨级规模。其特点是不受原水浓度的限制,适于海水为原料,淡化水纯度高,以及适合大规模生产等。这是其他海水淡化技术难以相比的,其主要问题是:结垢严重,传热系数降低,淡化效率下降,设备腐蚀严重,寿命缩短,排放的浓缩海水影响环境生态及成本高等。蒸馏法海水淡化最重要的条件是要有充足、价廉的能源供应,否则,成本高这一点就难以承受。

中国自60年代以来,已研制和生产了近千台各式蒸馏海水淡化器,单机产水能力近百吨。装置型式有真空沸腾、多级闪蒸、压汽式蒸馏、立式多级闪蒸等。50年代在兰州西固热电厂、邯郸马头电厂、北京和内蒙等电厂都建有多效蒸发设备,用以制锅炉用水。1974年天津大学和原天津市海水综合利用研究所(现国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所)合作建造了日产淡水百立方米的的多级闪蒸装置,1977年大连工学院建成了日产10 m³的竖管多效多级蒸馏模拟装

置。中国船舶工业总公司上海704所研究的机械蒸汽压缩淡化设备,日产淡水6 m³,已小批量生产。1986年天津大港电厂从美国引进了2台日产淡水3 000 m³的多级闪蒸海水淡化设备,用海水制锅炉用水,1993年每吨淡水成本为2.3元,而原引进的反渗透装置成本为5.7元/t。由此可见,电厂采用热电结合蒸馏法海水淡化是一条可行的途径。近10多年来,压汽蒸馏技术已成为我国电厂采用国内外发展最快的蒸馏技术之一,二级蒸汽通过热泵使之重新利用。目前中国中小型压汽蒸馏技术的研究与生产已进入成熟期,日产20~50 t,已进入海岛海水淡化、沙漠高浓度苦咸水淡化及医用蒸馏水领域。

从上述中国海水淡化技术研究现状来看,重点是电渗析、反渗透和蒸馏淡化等3种技术。在这3种技术中,以电渗析和蒸馏淡化技术最成熟,前者的优点是工艺简单,易于普及和实现自动化,缺点是耗能较高,其运行费用大体与反渗透法相当,装置容量大多为几立方米至几百立方米,属中小型淡化装置,多用于舰船、海岛和用水量不大的缺淡水地区。后者是世界上使用最多的一种技术,装机容量也是世界最高,在能源等条件具备的情况下,使用蒸馏法淡化技术解决沿海或有苦咸水的城市和地区用淡水是最理想的。反渗透技术在中国还不是一个很成熟技术,还在发展中。

2.2 存在的问题

2.2.1 有关部门和有识之士虽在各种场合利用各种舆论工具宣传水资源的紧缺和紧迫感,但至今有些地区对水资源的危机感仍然存在一定的问题,尤其是沿海城市的海水淡化,除少数城市重视外,许多城市尚未提到议事日程上来或迟迟下不了决心。因此,中国对于海水淡化技术的研究与开发是极不平衡的。海水直接利用也是这种情况,即使是青岛、大连等海水直接利用较好的城市,也不能说是很普遍的,沿海城市利用海水作为工业冷却水总量也不过60×10⁸ m³,与国外用海水量几百亿立方米至几千亿立方米相比,充分说明了中国与国外的差距是相当大的。

2.2.2 在海水直接利用方面,作为工业冷却水使用虽已有60余年的历史,但主要是靠经验性操作,开展系统的研究不够,不能提供完整的最佳设计参数、工艺条件和规范。因此,长期来未能推广应用。

2.2.3 在利用海水作为工业冷却用水时,冷却系统存在的最大技术问题是防海水腐蚀和防海洋生物附着问题。国外海水直接利用大都是采用直排式,主要是选用耐腐蚀的特种材料,如钛材、铜镍合金及

特种不锈钢等,有的也配合采用电化学保护,防腐效果较好。由于中国有关企业目前存在经济上无力承担、技术上又没有成熟的经验,致使要解决上述两大方面的问题成为目前和今后开展海水直接利用的主要难题。一些单位虽在缓蚀剂、阻垢剂、防海洋生物的杀生剂以及在防腐的自动监测等方面进行过许多研究,但从优化角度考虑,尚需继续深化。

2.2.4 资金投入不够(含科技投入)是中国海水直接利用不能顺利推广应用的一个主要问题。

3 21世纪的发展

3.1 在21世纪中,虽然海水直接利用与海水淡化同时发展,但从条件和效果看,应把海水直接利用放在首位,力争在21世纪20年代有一个大的发展。与此同时,积极抓好海水淡化的研究、开发和生产三位一体相结合的工作,使海水淡化在21世纪头10 a 在沿海城市建立以蒸馏法为主的万吨级规模的海水淡化工厂。如果在2020年左右能实现大面积推广应用,沿海城市的淡水供应紧张局面将大为改观。

3.2 在海水淡化技术与开发中,首先要发展适合城市需要的大规模生产的海水蒸馏淡化法。而在该技术中又是考虑以热电结合方式和可以利用低温余热的低温多效蒸馏海水法和压汽蒸馏海水淡化法的发展为主。期望在21世纪10~20年代在沿海或有地下苦咸水的城市得到推广应用,使百万人口以上的城市可得到稳定而可靠的淡水来源。

电渗析法在已取得推广应用的前提下,21世纪继续向定型化、标准化、系列化和大型化方向发展,进一步降低生产成本,使其应用面进一步扩大。

反渗透法目前尚未达到应用于海水淡化的工业化水平,只能适用于苦咸水淡化。经过努力,21世纪初达到小型反渗透海水淡化装置问世,21世纪20年代中型反渗透海水淡化装置达到工业化。

3.3 在21世纪内在发展海水蒸馏淡化技术中特

别要强调发展热泵技术。在工业生产中,不但需要大量能源,而且产生和浪费大量多种形式的余热,特别是低温余热。实践证明,低温余热完全可以作为二次能源进行开发和利用。回收和利用低温余热的方法很多,采用热泵技术也是一种重要方法。近年来,国外对热泵技术的开发和应用极为重视,并已成功地应用于许多工业部门,取得了良好的节能效果。热泵的研究和应用在中国还属于起步阶段。将热泵技术与压汽蒸馏等技术相结合,提高热能利用效率,将使压汽蒸馏技术更加先进,使有低温余热的工厂热利用率从40%提高到90%以上,淡化水的成本也可得到进一步的降低。因此,应尽快使热泵技术在21世纪得到应用,特别是应用于低温多效蒸馏和压汽蒸馏海水淡化技术中,使蒸馏海水淡化技术得到进一步的发展。

3.4 21世纪在研究防海水腐蚀和防海洋生物附着方面有新的发展。特别是研制出高效无毒缓蚀剂、阻垢剂和杀生剂等(以上均含复合型的),使中国在这方面的研究领域处于国际领先水平。

3.5 在海水直接利用中,首先应考虑直排式海水冷却,使其在21世纪头10 a 得到全面推广应用。循环式海水冷却在建立示范工程基础上,在21世纪20年代得到全面的推广。到那时,沿海许多城市和地区的淡水供应将大大地得到缓解,有利于工业的发展。

3.6 21世纪中国应将海水淡化、发电与浓缩海水化学资源综合利用有效地结合起来,使可以利用的资源得到充分利用,以利于进一步降低淡水生产成本,消除环境污染。这个三结合最终将形成大型的电力与化工联合企业。

参考文献

- 1 杨耀中.海洋技术,1995,14(1):8~24
- 2 徐梅生.海洋技术,1995,14(4):79~87

