

最具潜力的海洋热能转换研究开发

倪娜,王海峰

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要:文章在综述主要国家的海洋热能技术开发现状的基础上,分析我国海洋热能开发的前景及存在的问题,阐明了我国在海洋热能方面的开发优势,进一步强调了开发海洋热能资源对于我国经济的持续发展,维护我国领土主权和海洋权益,确保我国能源安全具有重要的战略意义。

关键词:海洋能;海洋热能转换;研究开发

中图分类号:P743.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1005—9857(2015)09—0018—04

据计算,太阳每秒钟发射的电磁能总量达 3.8×10^{20} MJ,世界大洋每年吸收的太阳热能约 136×10^{16} MJ,但进入海水的太阳热能约有 60% 被厚度仅 1 m 的上层海水所吸收。太阳的热辐射使表层海水的温度上升,而深层海水的温度仍较低,特别是在热带海域表层水与深层水之间的温度差更大,甚至可达 20℃ 以上。利用海洋表层与深层海水之间的温度差,将热能转换为机械能后,再转换为电能,就是所谓的海水温差发电,亦称海洋热能转换(ocean thermal energy conversion,OTEC),而俄罗斯学者则称之 OTES,即海洋热电站(ocean thermal electric station)。

我国有着丰富的海洋热能资源,可开发利用的资源量超过 13 亿 kW,开发利用海洋热能资源对于我国的经济发展,特别是对于维护我国南海海洋权益以及海洋方向的国家安全具有十分重大的战略意义。目前,在海洋热能转换研究开发方面我国与美、日、法等国几乎处于同一起跑线,只要加大研发力度,我们就一定能很快赶上并超过他们。

1 海洋热能研究开发状况

海洋热能开发具有广阔的前景,据报道,世界海洋温差的理论蕴藏量达 20 亿 kW,但海洋热能转换的效率很低,通常只有 2%,一般认为,表层海水与深层海水之间的温度差达到或超过 18℃ 时才有利用价值,而且建设海水温差发电站还需要滨海区域的人口在 2 万人以上,或滨海区

电力需求量在 1 万 kW 以上才有开发价值。符合这些要求的区域通常是 10°N—10°S 之间的热带海域。此外,建设海洋热电站投资大、成本高、风险大,这在很大程度上制约了它的发展。

海洋热能转换的原理早在 1881 年就由法国物理学家阿松瓦尔提出来了,但直到 1948 年才在实践中得到运用:法国在现今非洲的科特迪瓦首都阿比让建成了世界上第一座海水温差发电站。电站采用 2 台功率为 7 kW 的涡轮发电机组,年发电量为 5 000 万 kW。

目前的海水温差发电系统主要由蒸发器、冷凝器、汽轮发电机泵、取水管和定位设备等装置组成,分为开路循环系统和闭路循环系统两类。开路循环系统利用海洋表层较高温度的海水在蒸发器中闪蒸得到蒸汽推动汽轮机发电,然后在冷凝器中用温度较低的深层海水冷却,再冷凝成水;而闭路循环又称“兰肯循环”,是以丙烷、氨、氟利昂等低沸点物质代替蒸汽,其热效率比开路循环更高。目前,世界上普遍采用闭路循环系统进行海水温差发电。

在海洋热能研究开发方面比较先进的国家有美国、日本和法国,此外,俄罗斯、英国、荷兰、瑞典、加拿大等国都开展了一些工作^[1]。

在美国,早期有关海洋热能转换潜力的乐观预测,使美国在 20 世纪 70—90 年代先后投资了 2 亿多美元进行海洋热能转换的研究开发工作,并于 1980 年颁布了《海洋热能转换法》,美国国家海洋与大气管理局还发布了执行该法的《海洋

热能转换法案》,甚至还准备为管理海洋热能开发工作而创建协调一致的体制和许可证制度。1979年8月美国在夏威夷凯路亚科纳近海海面建设了一座小型的“兰肯闭路循环”式海水温差发电站,采用氨作工质,发电机额定功率为50 kW,除系统本身消耗的电能之外,净输出功率仅18.5 kW。1982年美国又在夏威夷群岛的瓦胡岛建造了一座4万kW的岸式温差发电站和一座4万kW的海上温差发电站。1994年9月,美国又耗资1 200万美元在凯路亚科纳建造了一座开式循环海水温差发电站,电站总功率225 kW,净输出功率达104 kW,如果采用重量轻的复合材料,则可建成功率达1万kW的海洋温差发电站。美国还选用新材料制造海洋温差发电站热交换器,以降低成本。1996年1月曾在50 kW的闭路循环式温差发电站上进行新型材料制成的热交换器的试验,然后在夏威夷进行海上试验,并与印度签订建造一座船式海洋温差发电站的协议,该电站锚定在印度古勒塞克勒伯德纳姆近海海底的适当位置,通过电缆将所产生的电力输送到岸上。美国公司还准备在印度东海岸和西海岸的近海建造新的海洋温差发电站。通过上述活动,美国虽然获得了大量有用的技术信息,但还没有形成经济可行的技术,难以获得预期的经济效益,而且海水温差发电是一项资金和技术高度密集的产业,投资风险很大,美国国家海洋与大气管理局于是在1996年撤销了《海洋热能转换法案》,因此美国目前也没有负责审批和发放海洋热能转换商业性作业许可证的行政管理机构。但这并不影响美国在海洋热能研发工作的开展。美国的洛克希德·马丁公司不仅是世界顶级的军火“巨头”,数十年来在海洋热能转换技术研发方面也始终处于领先地位。据报道,该公司于2013年4月13日与华彬集团在北京签署协议,将在中国海南省建造一座10 MW的海洋热电站,这将是迄今为止规模最大的海洋热电站,它不仅可为数以千计的家庭提供电力,同时还为未来建造100 MW的海洋热电站奠定基础,并带动兴建更多10~100 MW价值数十亿美元的海洋热能电站,为一座小型城市提供所需电力。

日本于1981年先后在琉球的德之岛设置了

一座50 kW的海洋热能发电站,在九州设置了一台25 kW的试验电站,还帮助瑙鲁建造了一座100 kW的岸式海洋热能发电站。1990年日本又在鹿儿岛建造了一座1 000 kW的海水温差发电站,日本还计划建造大型的实用型海水温差发电装置,功率达10万千瓦级,分别设置在大隅群岛和富士湾。还安排了冲绳地区2012—2014年温差能研发项目:应用水深612 m的深层水进行冷却,每天水循环量达1.3万t,建成后装机容量将达到50~100 kW。

俄罗斯陆上能源资源虽然极其丰富,是煤炭、石油和天然气出口大国,却仍然高度重视海洋可再生能源的研究开发,由普京总统批准的《俄罗斯联邦至2020年期间的海洋政策》将研究开发海洋可再生能源列为“国家海洋政策的基本目的”,并将“开发世界海洋能源”,掌握利用海水温差发电的技术作为“国家海洋政策的职能方向”。俄罗斯在海洋可再生能源的研究开发方面也有着相当长的历史,早在20世纪70年代就开展了利用潮汐能、波浪能、潮流能、海上风能、海水温度差、盐度差发电的可行性研究,涌现了一大批有关海洋能资源及其开发利用的论著,80年代又应塞舌尔共和国政府的要求,对塞舌尔群岛附近海域的海洋可再生能源资源进行调查和评估^[2],研究了塞舌尔群岛附近海域的温度差、盐度差、潮汐、海流、波浪、风力能转换的特性,能量转换的最大理论系数、能量转换系统的技术数据,编制了塞舌尔区域海洋热能流密度曲线图,计算出该区域海洋热电站的总功率,并在此基础上提出了建设500 kW和10 000 kW海洋热电站方案和一个综合利用海水温度差和盐度差发电的方案。俄罗斯学者还研究了冬季在北极地区利用海水水温(-1°C)与海面上空大气气温(-28°C)之间的温度差获取电能的可能性,设计了北极海洋热电站系统和作业流程,确定了影响北极海洋热电站经济技术特性的主要因素,为北极海洋热电站设计的最佳化创造了重要条件。

2 研发的前景和存在的问题

在热带海域蕴藏着数量巨大的海水温差能,理论蕴藏量达20亿kW,且能流相当稳定,不像海上风能、潮汐能、波浪能那样多变,因而被视为

最具潜力的海洋能源。我国有着广阔的热带海域,丰富的海洋热能资源。我国西沙群岛和南沙群岛周边海域表层海水温度达 $25\sim 28^{\circ}\text{C}$,垂直温差可达 20°C ,完全适于开发利用海水温差能资源,估计在南海海域可开发利用的海水温差能量约 5 亿 kW,可开发的海域面积约 $3\,000\text{ km}^2$,具有相当可观的发展前景。在南海海域还散布着数以百计的岛礁,不乏诸如永兴岛、太平岛这样适于设立海洋热能电站的岛屿及潟湖,这些岛礁对于捍卫我国的领土主权,维护我国的海洋权益和海洋方向的国家安全,具有十分重要的战略意义,但岛上缺乏燃料和淡水,完全靠船舶运送,不仅成本高,而且海上运输还会受到天气的重大影响,一遇到台风或恶劣天气,船只无法运送,驻岛军民的工作和生活都会受到严重影响。尤其是在当前的国际形势下,随着美国亚太战略的调整,美国在经济上、军事上重返亚太地区,威胁我国海洋方向的安全,能源和淡水海上运输的安全也是一个不能忽视的问题。应用海洋热能交换系统获取电能和淡水,解决驻岛军民生产和生活之需,不仅有较大的经济价值,而且具有重大的政治意义和军事战略意义,这既是调整我国能源结构,确保我国能源安全战略的一个重要环节,又是把我国的南沙群岛和西沙群岛建设成捍卫我国领土主权,维护我国海洋权益的前沿基地和后勤补给基地的重要举措。

目前,海洋热能转换技术虽然取得了较大的进展,并有部分技术已实现商业化,但仍存在一些亟待解决的问题,其中主要是投资巨、成本高、风险大,特别是在我国南沙群岛偏远的小岛上建造海水温差发电站不仅要考虑发电成本,还要考虑到经济上的可行性,包括电站的高额投入和电站运行的巨额费用。然而如果综合考虑到开发利用南海海域温差能资源在政治、经济、军事、环境保护和国家安全方面的利益和重要性,开展海洋热能资源的研究开发仍然是十分必要的。

此外,通过技术改进和综合利用大幅度降低开发成本,如利用深层冷海水冷却低压锅炉中蒸汽时生产淡水,作为饮用水源;利用所抽取的深层温度较低的海水提供冷水空调,利用深层海水中富含的氮、磷、硅等营养物质进行海水养殖,利用海水温差发电设施建设海上乐园、发展海岛旅

游等等。此外,还可将海上温差和盐度差发电结合起来,亦可在一定程度上降低海水温差发电的成本。2013 年海南省第一个太阳能光热海水淡化商业示范工程项目在海南乐东县建成,进入试生产阶段。该项目是海南省重点推进的 20 万吨级太阳能光热海水淡化设备制造基地项目的重要一环,该示范工程的成功产水,不仅能降低海洋热能利用及海水淡化的成本,而且为沿海地区及海岛开发利用提供用水保障。再考虑到节能减排及环境保护效益,特别是由于石油价格的飙升,远距离运送能源和淡水的高额费用以及由此产生的安全问题,海洋热能转换在我国南海区域具有巨大的发展前景,而且随着科学技术的发展海洋热能发电的成本也可能大幅降低,甚至降低至可接受的价位,再将这类海水温差发电站的设置与前沿军事基地和后方补给基地的建设以及渔业及航运补给基地建设结合起来,海洋热能电站的建设也并非是不可行的。

另一个不能回避的问题是海水温差发电对环境的可能影响。大量的深层低温海水抽取到海洋表层,造成局部地区海表层温度降低,海面蒸发率下降,对局部区域的气候将产生重大影响,而且深层海水中的大量营养物质被带到海面对海洋生态系统也可能造成影响,从而影响局部地区渔业的发展。

此外,防附着、耐腐蚀、高强度、轻型化的材料的研制,以及低沸点工质的选择和改进及其替代物质的研制,对于海水温差发电站的建设,降低这类电站建设和运营费用也具有重大的意义。

3 结论

虽然海洋热能转换为电力的效率很低,仅为 2%,但海洋热能蕴藏量巨大,且能流十分稳定,海洋热电站又能够全天候地运行,随着科学技术的发展,发电成本问题妥善的解决,海洋热能发电的前景相当可观。

我国海洋热能资源主要分布在南海,理论蕴藏量约为 $1.19\times 10^{19}\sim 1.33\times 10^{19}\text{ kJ}$,技术上可开发利用的能量约为 $8.33\times 10^{17}\text{ kJ}$,实际可利用的资源潜力达 13.31 亿~14.76 亿 kW,特别是在南海诸岛区域,如按海水垂直温差在 18°C 以上估算,可开发海域面积约 $3\,000\text{ km}^2$,可利用的热

能资源约 1.5 亿 kW^[3]。我国台湾以东海域表层水温全年在 24~28℃,500~800 m 以下深层水温 5℃以下,全年表层与深层水温差在 20~24℃,温度差能流蕴藏量约为 2.16×10^{14} kJ,也可用于海洋热能资源的开发^[4-6]。

海洋热能资源的开发利用对我国不仅有着重大的经济价值,可以带动海洋工程、原材料、机械制造、海水淡化、海洋旅游业、海洋养殖业、电力工业等一整条产业链的发展,而且对于节能减排、环境保护,维护我国能源安全,特别是维护我国海洋方向的国家安全和南海的海洋权益也具有深远的政治意义和重大的军事战略意义。因此,在海洋热能研究开发方面,不仅要算经济账,还要算政治账、环境账,特别是在维护国家领土主权和海洋权益,捍卫国家海洋方向的安全方面

可能起到的作用,它在这些方面的重要性,丝毫不会小于其经济意义^[5]。随着科学技术的发展,利用海水温差发电的成本也会不断降低,特别是通过综合开发利用,结合盐差能的开发利用,海水淡化,海洋热能发电成本也完全有可能降低到我们可以承受的程度。

目前在海洋热能发电研究开发方面,美、日、法国等国虽然做了一些工作,但进展都有限,我们与这些国家的差距并不大,几乎处于同一起跑线,最多也只是一步之差,而且在海洋热能研究开发方面,我国的地理条件要比日、法等国家更为优越;我们没有理由在新一轮技术竞争中落后。只要加大开发研究力度,注意吸收各国研究的先进经验和技术,不断创新,就完全能够赶上并超过他们。

参考文献

[1] 刘全根. 世界海洋能开发利用状况及发展趋势[J]. 能源工程,1999(2).
[2] A·K·伊利英,K·A·罗佳切夫. 塞舌尔群岛的海洋热能资源[M]. 海参崴(俄),1984.
[3] 黄小勇. 世界能源蓝皮书,世界能源发展报告(2013)[M]. 北京:社会科学出版社,2013.
[4] 国外海洋工作信息. 俄罗斯联邦至 2020 年期间的海洋政策[Z]. 2003.
[5] Annual Report 2012,Implementing Agreement on Ocean Energy Systems,OES
[6] 崔民选. 中国能源发展报告[M]. 北京:社会科学文献出版社,2009,2013.