

# 海洋能开发利用发展对策研究

麻常雷,夏登文

(国家海洋技术中心 天津 300112)

**摘要:**海洋能具有储量巨大、绿色清洁等特点,是全球应对气候变暖、调整能源结构的重要选择之一,欧、美等发达海洋国家非常重视发展海洋能,将其作为战略性资源进行技术储备。我国海洋能资源既有着总量丰富、种类齐全、区域性强等优势,也存在密度较低的劣势。在财政部、科技部、国家海洋局等的大力支持下,我国海洋能利用技术取得了明显进步,潮流能和波浪能等代表性技术和装置经历了长期海试,为稳定示范应用奠定了坚实的基础。在建设海洋强国、实施国家能源战略、发展战略性新兴产业、推进生态文明建设、21世纪海上丝绸之路的背景下,随着我国海洋能核心技术不断突破,海洋能装备制造及运行维护必将成长为对经济社会长远发展具有重大引领带动作用的战略性新兴产业。

**关键词:**海洋能;技术;产业;现状;展望;发展对策

中图分类号:P74 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2016)03-0051-06

## On the Development and Utilization Countermeasures of Marine Renewable Energy in China

MA Changlei, XIA Dengwen

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)

**Abstract:** Marine Renewable Energy (MRE) has such characteristics as huge resources potential, green and clean, and sustainable utilization characteristics. As an important option to counter with the global warming, the developed marine countries have attached great importance to the development and utilization of MRE and regarded it as a kind of strategic resources. China has rich MRE resources which can be utilized, whereas the density of tidal and wave energy is relative low. From 2010, China has increased the support for the development and utilization of MRE. The Ministry of Finance (MOF) and the State Oceanic Administration (SOA) have jointly set up the special funding program for marine renewable energy (SFPMRE) to promote the rapid improvement of Technology Readiness Level (TRL) in China, which has provided a solid foundation for future development. In the context of building maritime power and 21st century Sea Silk Road strategy, the MRE industry would grow up to an important strategic emerging industry in China.

**Key words:** Marine renewable energy, Technology, Industry, Status, Prospect, Development measures

**基金项目:**海洋能专项资金项目“海洋能综合支撑服务平台建设 2013”(GHME2013ZC01),“海洋能综合支撑服务平台建设 2014”(GHME2014ZC01)。

**作者简介:**麻常雷,工程师,硕士研究生,研究方向为海洋能战略研究,电子邮箱:notemachanglei@163.com

海洋能是指海洋中所蕴藏的可再生的自然能源,一般包括以海水为能量载体的潮汐能、潮流能、波浪能、温差能、盐差能等<sup>[1]</sup>。海洋能具有蕴藏量大、可持续利用、绿色清洁等特点,是全球应对化石能源短缺以及气候变暖,发展清洁能源、调整能源结构的重要选择之一。欧、美等发达海洋国家非常重视开发利用海洋能,将其作为战略性资源进行技术储备。我国海洋能资源储量丰富。根据国家海洋局实施的“我国近海海洋综合调查与评价”专项(“908专项”)调查成果,我国近岸海洋可再生能源(潮汐能、潮流能、波浪能、温差能、盐差能、海洋风能)资源储量约为15.8亿kW。因地制宜地开发海洋能,可切实解决海岛发展、海上设备运行、深远海开发等用电用水需求问题,对于维护国家海洋权益、保护海洋生态环境也具有十分重要的意义<sup>[2]</sup>。

## 1 国际海洋能发展现状

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的一项研究<sup>[3]</sup>(2011年5月)表明,全球海洋能资源理论上每年可发电2000万亿kW·h,约为2008年全球电力供应量的100多倍。当然,不同种类的海洋能资源的技术可开发量可能会远小于理论资源量,这主要取决于海洋能技术的发展情况。

### 1.1 技术现状

根据国际可再生能源署(IRENA)发布的研究报告<sup>[4]</sup>(2014年8月),国际潮汐能技术是海洋能技术中最为成熟的技术,其技术成熟度(TRL)达到9级(商业化运行阶段),国际潮流能技术TRL达7~8级(全比例样机实海况测试阶段),国际波浪能技术TRL达6~7级(工程样机实海况测试阶段),国际温差能技术TRL为5~6级(实海况测试阶段),国际洋流能技术和盐差能技术TRL为4~5级(实验室技术验证阶段)。

#### 1.1.1 潮汐能技术

拦坝式潮汐能技术早在数十年前就已实现商业化运行,例如建成于1966年的法国朗斯电站(240 MW)。拦坝式潮汐能技术主要包括单库双向、单库单向、双库单向、双库双向等几种方式。目前,国际上在运行的拦坝式潮汐电站主要采用单库方式。2011年8月,韩国始华湖(Siwha Lake)电站

(254 MW)建成投产,装有10台各25.4 MW的灯泡贯流式水轮机组,是目前世界上装机容量最大的潮汐电站。此外,英国、荷兰等国的研究机构还开展了开放式潮汐能开发利用技术研究,提出了潮汐潟湖(Tidal Lagoon)、动态潮汐能(DTP)等新型环境友好的潮汐能技术,前者利用半封闭或封闭式的潟湖,在围坝上建设潮汐电站,利用潟湖内外涨落潮时形成的水头推动涡轮机发电,对海域生态损害很小;后者通过建造垂直于海岸的T型水坝,干扰沿海岸平行传播的潮汐波,在T型坝两侧引起潮汐相位差,从而产生水位差并推动安装在坝体内的双向涡轮机进行发电。

#### 1.1.2 潮流能技术

国际潮流能发电技术已进入实海况示范试验甚至前商业化应用阶段。潮流能发电技术主要分为垂直轴式、水平轴式、振荡水翼式等。目前,国际上达到前商业化应用水平的潮流能装置约10余个,主要采用水平轴式工作方式。例如,英国海流涡轮机公司(Marine Current Turbines, MCT)研发的1.2 MW SeaGen潮流能发电装置,作为世界上首台商业化潮流能发电装置,于2008年布放在北爱尔兰斯特兰福德湾示范运行并实现并网发电,截至2014年2月,该电站累计发电已超过900万kW·h。

#### 1.1.3 波浪能技术

国际波浪能发电技术基本进入了实海况示范试验阶段。波浪能发电技术类型较多,主要包括振荡水柱式、振荡浮子式(摆式、筏式、点吸收式、衰减器式等)和越浪式等。目前,国际上经过多年海试的波浪能装置较多,但还都未具备商业化运行条件。例如,总装机296 kW的西班牙Mutriku振荡水柱式波浪能电站,自2011年运行以来年均发电40万kW·h;美国海洋电力技术(OPT)公司研发的PowerBuoy点吸收式波浪能发电装置,于2011年进入前商业化应用阶段,有40 kW和150 kW两种规格产品;英国海蓝宝石能源公司(Aquamarine Power)研发的800 kW Oyster摆式波浪能发电装置,2012年布放到欧洲海洋能中心(EMEC)进行测试并实现并网发电。

#### 1.1.4 温差能技术

海洋温差能转换(OTEC)技术根据构成热力循

环系统所用工质及流程不同,可分为开环式循环、闭环式循环和混合式循环3种类型。美国、日本、韩国、印度等国家非常重视发展 OTEC 技术,但国际 OTEC 技术仍处于初期样机阶段。2013 年 6 月,日本在冲绳建设的 100 kW 混合式温差能电站投入示范运行。OTEC 技术除用于发电外,还在海水制淡、空调制冷、海洋水产养殖以及制氢等方面有着广泛的应用前景。

### 1.1.5 盐差能技术

国际盐差能技术仍处于样机研发阶段,正在研究的发电技术主要包括缓压渗透法、反向电渗析法以及蒸汽压法。其中,缓压渗透法和反向电渗析法的研究较多,其核心技术主要在渗透膜的研究上,近年来,日本富士胶片公司和日本电工公司(Nitto)均在开发盐差能专用膜技术。2009 年,挪威 Statkraft 公司建成了世界上第一个盐差能发电示范装置——4 kW 缓压渗透式发电样机,并持续运行到 2013 年 12 月。但国际盐差能技术在短期内并不具备竞争性。

## 1.2 产业现状

国际海洋能产业已经初现雏形,近几年,西门子、阿尔斯通、通用电气、三菱重工、现代重工等一批国际知名公司通过并购、投资等多种方式开始进军海洋能产业,国际海洋能产业相关机构已达 2 500 余家;国外专门用于海洋能技术试验和测试的海上试验场已有 20 多个投入业务化运行,极大地促进了国际海洋能技术的成熟。海洋能发电装置装机成本已呈现快速下降的趋势,加快了海洋能技术产业化的步伐。

### 1.2.1 海洋能海上试验场

海上试验场作为海洋能技术测试检验的服务平台,在海洋能产业链中具有重要作用,经过海上试验场严格的实海况测试与检验,是海洋能发电装置定型及产品化的必经之路。发达海洋能国家在海上试验场建设与运行等方面处于领先地位,极大地促进了国际海洋能技术的成熟与发展,同时也为企业进入海洋能产业领域开展技术定型、设备制造、发电场建设等提供了重要的参考。根据 OES 发布的 2014 年年度报告统计<sup>[5]</sup>,国际上已有 20 多个

海洋能海上试验场进入业务化运行阶段(表 1)。

表 1 国际海洋能海上试验场统计

国家	海上试验场	是否并网
英国	EMEC	是
	WaveHub	是
	FaBTest	否
美国	海军波浪能测试场	是
	PMEC 北方海洋能测试场	否
	PMEC 华盛顿湖测试场	否
	PMEC—阿拉斯加测试场(河流能)	否
	新罕布什尔大学海洋能中心	否
加拿大	Camp Rilea 测试场	否
	FORCE	是
西班牙	CHTTC(河流能)	是
	Bimep	是
葡萄牙	PLOCAN	是
	OceanPlug	是
爱尔兰	国家 1/4 比例样机测试场	是
	大西洋海洋能测试场	是
丹麦	DanWEC	是
意大利	GEM	是
	ISWEC	是
	KOBOLD	是
瑞典	Lysekil 波浪能测试场	是
	Söderfors	是
新加坡	Sentosa 潮流能测试场	是
	TMFT	否

注:除意大利的 GEM 和 ISWEC 以及爱尔兰的大西洋海洋能测试场尚在建设中,其他均进入业务化运行阶段。

### 1.2.2 越来越多的原始设备制造商进入海洋能产业

根据爱尔兰科克大学的统计,国际上从事海上风能、潮流能、潮汐能、波浪能产业相关的机构(包括企业、大学、科研机构、行业组织等)超过 2 500 个。其中,英国海洋能产业从业机构最多,在 1 100 余个海洋能从业机构中,海洋能装置研发机构约 60 个、海洋能发电场项目开发机构约 40 个、海洋能项目运营商 10 个,其余近 90% 的机构为海洋能产业链中海洋工程、专业材料、仪器设备、海上运输等跨产业海洋机构,例如,海流计生产商安德拉公司、海洋特种

材料供应商 SRI 公司等。

近几年,一批国际知名公司通过并购、投资等多种方式开始进军海洋能产业,之前主要由中小企业和科研机构从事海洋能装置研发及示范的状况有所改观。由于这些大型原始设备制造商(OEM)和电力部门具有足够的能力和资源进行大型海洋能项目的开发,因此必将极大地推动海洋能商业化进程。以德国西门子公司为例,2012年,西门子公司收购了英国 MCT 公司,一跃成为潮流能装备新兴市场的领军者,借助西门子的强大资源和综合实力,SeaGen 技术已开始研制 2 MW 型装置,并计划用于在威尔士以及加拿大建设 10 兆瓦级潮流能发电场。

### 1.2.3 发电成本有望快速下降

随着海洋能技术的日渐成熟,尤其是大型原始设备制造商进入海洋能产业领域,引进规模化生产和工程经济学理念,海洋能发电成本已开始呈现快速下降的趋势,成本构成也出现较大变化,有助于加快海洋能技术产业化的步伐。

根据 2011 年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的研究报告,2010 年潮流能和波浪能发电装置的建造成本(CAPEX)中值约为 11 000~12 000 美元/kW,随着全球累计装机容量的快速增长,到 2020 年,潮流能和波浪能发电装置的 CAPEX 中值有望下降到 2 600~5 400 美元/kW,均化发电成本(LCOE)有望下降到 13~25 美分/kW·h。

2015 年 5 月,OES 发布的海洋能技术成本分析报告也显示,当前国际波浪能、潮流能、温差能发电装置的 CAPEX 中值分别为 11 000 美元/kW、9 850 美元/kW、35 000 美元/kW;2020 年以后,波浪能、潮流能、温差能发电装置的 CAPEX 中值将下降到 5 900 美元/kW、4 450 美元/kW、10 000 美元/kW。

## 2 我国海洋能发展现状

随着国家对海洋能开发利用工作的重视,国务院及相关部委在制定的多项法律法规及规划中都提出要支持海洋能发展,中央财政通过专项和科技计划等加大了对海洋能的财政支持力度。为了推进我国海洋可再生能源的开发利用,2010 年 5 月 18 日,财政部和国家海洋局联合设立了海洋可再生能

源专项资金,重点支持海岛独立电力系统示范,海洋能并网电力系统示范,海洋能关键技术产业化示范,海洋能综合开发利用技术与试验,海洋能开发利用标准及支撑服务体系建设等 5 类项目<sup>[6]</sup>。截至 2015 年 10 月,专项资金共投入经费近 10 亿元,支持了 96 个项目。在国家相关部门大力支持下,我国海洋能整体水平得到明显提升,技术研发水平与国际差距逐步减小,初步形成了海洋能技术研发、装备制造、海上施工、运行维护等专业队伍。

### 2.1 技术现状

#### 2.1.1 潮汐能技术

1980 年建成的江夏潮汐试验电站(4.1 MW),目前装机规模位居世界第四,先后经历多次技术改造,积累了丰富的基础研究和运营实践,为今后建设潮汐电站提供了宝贵的经验。2010 年以来,我国相继开展了健跳港、乳山口、八尺门、马銮湾等多个万千瓦级潮汐电站工程预可研项目。此外,还开展了环境友好型潮汐发电新技术研究。

#### 2.1.2 潮流能技术

我国潮流能发电技术研发起步较早,目前已研发了 10 余个潮流能试验装置,基本实现了小功率(十千瓦级)机组的海上稳定发电,大功率(百千瓦级)机组的实海况试验效果还有待改进。例如,浙江大学 60 kW 半直驱水平轴潮流能发电装置自 2014 年起进行海上现场试验,累计发电超过 2 万 kW·h,目前正在开展百千瓦级机组定型项目研究。

#### 2.1.3 波浪能技术

我国波浪能资源适于发展大功率装置的海域不多,因此主要开展了一些小功率装置的研发试验。2010 年以来,有近 20 个波浪能装置开展了海试,部分装置取得了较为理想的海试效果。例如,中科院广州能源所研制的鹰式一号 10 kW 样机海试效果较好,累计发电超过 1 000 kW·h,目前正在开展百千瓦级机组定型项目研究。国家海洋技术中心研制的 50 kW 浮力摆式波浪能装置 2012 年开展了海试,目前正在其技术基础上开展 50 kW 装置样机定型。浙江海洋学院、集美大学、山东大学等多家单位研制的波浪能装置也取得了较好进展。

#### 2.1.4 温差能等技术

我国温差能发电技术尚处于原理验证阶段,国

家海洋局第一海洋研究所于2012年开展了15 kW温差能发电装置的短期试验,目前正在开展高效氨透平、热交换器等关键技术研发;国家海洋技术中心正在开展温差能技术为海洋观测仪器供电的研究。

我国盐差能利用技术还处于原理研究阶段,中国海洋大学近期开展了缓压渗透式盐差能发电关键技术研究。

2011年以来,中科院海洋所、中国海洋大学、中科院南海所等单位还开展了海洋微藻高效培养、海洋微藻生物柴油制备等技术研究,在海洋微藻培养中试、规模化培养、微藻养殖耦合CO<sub>2</sub>减排等方面取得了一定进展。中国海洋大学开展的海泥电池供电技术研究,成功实现了海泥电池驱动小型海洋监测仪器平稳运行,并实现一年多的海上示范运行。

## 2.2 与国外的差距

尽管已取得了较大进展,但与国际先进海洋能技术相比,我国海洋能技术的总体水平还存在一定差距。例如,基础研究相对薄弱,原创性技术较少,公共平台建设进展缓慢,装置转换效率、可靠性和稳定性普遍不高,示范应用效果不佳。

### 2.2.1 基础研究相对薄弱

在海洋能资源调查方面,尽管“908专项”调查对我国近海海洋能资源进行了普查,但现有调查数据尚无法满足海洋能资源区划与选划以及海洋能电站选址等工程要求,海洋能资源精细化评估技术和方法等研究不够,难以适应电站低成本规模化建设的需要。在海洋能发电理论研究方面,跨学科、多领域交叉的应用基础研究开展较少,能量俘获与转换机理、俘获系统对海洋环境的适应性及响应控制、装置结构在海洋环境下的腐蚀及疲劳作用机理、最佳功率跟踪及负载特性匹配等基础研究亟须加强。

### 2.2.2 关键技术未取得突破、示范应用规模较小

我国潮汐能技术尚未拥有万千瓦级潮汐电站建设实践。总体上看,我国海洋能关键技术尚未取得突破,潮流能、波浪能、温差能等发电装置均存在可靠性和稳定性较差等问题,距离产品化应

用水平尚有差距。此外,我国海洋能装置示范应用规模(不足百千瓦级)远远小于国际上的兆瓦级水平。

### 2.2.3 公共服务平台建设滞后

海洋能发电装置的海上布放和运行维护具有投资大、工程复杂、风险高等特点,海洋能示范应用还面临着用海用地难、审批手续繁琐等问题,亟须建设海洋能海上公共测试场与示范区,为海洋能发电装置提供标准统一的检测与认证服务。国内海洋能公共服务平台规划和设计开展得较早,但由于落实用海用地等多方面原因,至今尚未建成。

## 3 我国海洋能发展前景展望

当前,国际海洋能技术尚未进入规模化应用阶段,为赶超国际先进水平,我们应紧抓“建设海洋强国”与“建设21世纪海上丝绸之路”战略机遇,坚持“技术突破、装备开发、工程示范、产业推进”的思路,提高海洋能发电技术自主创新能力以及装备设计、定型与制造能力,完善海洋能发展区域布局,通过示范工程的稳定运行带动技术发展,加速海洋能产业培育,为大规模海岛开发和深远海开发提供有效的能源保障。

### 3.1 近期目标

到2020年,掌握海洋能技术自主创新能力,突破兆瓦级潮流能机组设计及装备制造关键技术和百千瓦级波浪能发电关键技术,实现海洋能海岛示范应用的稳定可靠运行,海洋能总装机容量达到10万kW。

### 3.2 中长期目标

到2030年,海洋能技术达到国际先进水平:启动大规模潮流能和波浪能发电场建设,在南海开展兆瓦级温差能综合利用平台建设,海洋能公共测试及示范平台面向国内外开展业务化运行。

海洋能产业初具规模:海洋能成为边远海岛供电主要电源,海洋能总装机容量达到200万kW,形成完备的海洋能产业链;进军国际市场,在国际海洋能市场占据一定份额,尤其是21世纪海上丝绸之路沿线国家。

## 4 发展对策建议

### 4.1 加强顶层设计,加快海洋能技术产业化步伐

加强海洋能发展顶层规划设计,研究制定详尽的中长期海洋能发展路线图,明确我国海洋能发展目标以及各阶段的主要任务,研究制定海洋能产业激励政策体系,尤其是潮汐能等海洋能发电的电价补贴、差异化海洋能发电上网电价制度等政策。建立在国家海洋委员会和国家能源委员会协调指导下的跨部门协调机制,加强涉海部门间的沟通与协调。研究制定海洋能项目用海一站式审批等政策,协调海岛开发及海洋能示范基地建设等用地优惠政策。坚持以国家财政投入为主、社会多元化投入为辅的原则,继续实施并发挥国家专项资金在推进技术创新、提升公共服务能力、加强示范应用等方面的带动作用,并逐步实现由项目资助与补贴向装备制造奖励、电价补贴等多种方式的转变。

### 4.2 重视基础理论研究,提高自主创新能力

加强海洋能基础理论研究,掌握新型海洋能发电装置高效转换机理和系统化的海洋能装置实海况测试方法,摸清重点关注海域海洋环境特征及海洋能资源特性,开展海洋能资源精细化勘察与评估,为我国海洋能实际开发利用提供科学依据和技术支撑。支持在高等院校建立海洋能学科,加快专业基础人才培养;支持科研院所加快建立海洋能重点实验室和公共服务平台,突破海洋能共性关键技术;加大以企业为主体的自主创新力度,培育一批

海洋能产业化及中试基地,构筑科研院所与企业对接的平台,尽早实现自主海洋能装备的规模化生产。

### 4.3 加快提高技术成熟度,扩大示范应用规模

根据浅海海洋能试验场、潮流能专业试验场、波浪能专业试验场、深海海洋能试验场的总体布局,加快建成我国海洋能公共测试及示范平台,有效降低海洋能装置海试风险,为我国海洋能技术的持续改进及产品化提供支撑。突破海洋能核心装备技术,形成高可靠 300 kW 潮流能机组装备和模块化 100 kW 波浪能发电装备并具有稳定示范运行能力,掌握 1 MW 潮流能机组设计关键技术,掌握 100 kW 温差能发电及综合利用关键技术。开展多个典型海岛可再生能源独立微网示范,为推进海洋能规模化应用奠定基础。

## 参考文献

- [1] 夏登文,康健. 海洋能开发利用词典[M]. 北京:海洋出版社,2014.
- [2] 罗续业,夏登文. 海洋可再生能源开发利用战略研究报告[M]. 北京:海洋出版社,2014.
- [3] IPCC. Special report renewable energy sources[R]. 2011.
- [4] IRENA. Ocean energy technology readiness, patents, deployment status and outlook[R]. 2014.
- [5] IEA OES—IA. Annual report 2014[R]. 2015.
- [6] 国家海洋技术中心. 中国海洋能技术进展 2014[M]. 北京:海洋出版社,2014.