

# 国内外海洋能进展及 前景展望研究

麻常雷 夏登文 王海峰 编著



海洋出版社

# 国内外海洋能进展及前景展望研究

麻常雷 夏登文 王海峰 编著

海洋出版社

2017年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

国内外海洋能进展及前景展望研究 / 麻常雷, 夏登文, 王海峰编著. —北京: 海洋出版社, 2017. 8

ISBN 978 - 7 - 5027 - 9885 - 7

I. ①国… II. ①麻… ②夏… ③王… III. ①海洋动力资源 - 研究 IV. ①P743

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 187861 号

责任编辑: 郑跟娣 钱晓彬

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷

2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 9.75

字数: 110 千字 定价: 48.00 元

发行部: 010 - 62132549 邮购部: 010 - 68038093

总编室: 010 - 62114335 编辑部: 010 - 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换



# 前 言

2010 年以来，我国海洋能开发利用工作得到了国家的高度重视，在海洋可再生能源专项资金的大力支持下，海洋能技术研发及示范应用项目出现爆发式增长，数十台海洋能发电技术样机相继开展了海试，部分技术达到或接近国际先进水平，多数技术根据海试发现的问题和得到的经验在持续改进。总体来说，我国海洋能技术经过前期的广泛性支持，已逐步向重点自主创新技术集中发展，近期将围绕边远海岛开发、深远海仪器设备供电、海洋牧场等目标领域发展，以期实现海洋能技术的产业化突破。

随着“建设海洋强国”战略和“21 世纪海上丝绸之路”倡议的深入推进，“十三五”期间，我国海洋可再生能源发展迎来新的战略机遇期。随着我国海洋能核心及关键共性技术的解决，海洋能开发利用装备制造必将成长为对经济社会长远发展具有重大引领作用的战略性新兴产业，为构建我国清洁、高效、安全、可持续的现代能源体系做出应有的贡献。

在海洋能专项资金“2017 年海洋能综合支撑服务平台建设”的支持下，我们持续开展了国内外海洋能技术和产

业进展的业务化跟踪研究，系统总结分析了近年来国际海洋能技术和产业现状以及发展趋势，希望为我国海洋能技术的产业化发展提供有益参考，进一步凝聚我国海洋能技术从业人员的发展共识，增强我国海洋能技术发展信心。

本书共分为海洋能概念和特点概述、国际海洋能技术进展、国际海洋能产业现状及发展趋势、我国海洋能技术进展、我国海洋能产业发展展望5章及5个附录。

本书由麻常雷、夏登文和王海峰编著，王萌、张多、李彦、王项南、杨立、汪小勇、徐伟、赵宇梅、吴姗姗、王鑫、高艳波、石建军、彭洪兵等人也提供了重要帮助。在本书编写过程中得到了国家海洋技术中心罗续业主任以及中心业务处、战略室、能源室、质检室、工程中心等部门的大力支持，在此一并表示感谢。

鉴于海洋能工作涉及范围广，专业领域多，书中难免有不足之处，热忱欢迎读者提出批评和指正。

编 者

2017年6月

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 海洋能概念和特点概述 .....         | 1  |
| 第一节 海洋能概念及分类 .....           | 1  |
| 第二节 海洋能的特点 .....             | 9  |
| 第二章 国际海洋能技术进展 .....          | 11 |
| 第一节 国际潮汐能技术进展 .....          | 11 |
| 第二节 国际潮流能技术进展 .....          | 15 |
| 第三节 国际波浪能技术进展 .....          | 24 |
| 第四节 国际温差能技术进展 .....          | 31 |
| 第五节 国际盐差能技术进展 .....          | 34 |
| 第六节 国际漂浮式风电技术进展 .....        | 35 |
| 第三章 国际海洋能产业现状及发展趋势 .....     | 38 |
| 第一节 国际海洋能政策分析 .....          | 38 |
| 第二节 国际海洋能组织对海洋能产业的发展判断 ..... | 44 |
| 第三节 国际海洋能产业现状 .....          | 48 |
| 第四节 国际海洋能市场发展分析 .....        | 58 |
| 第四章 我国海洋能技术进展 .....          | 63 |
| 第一节 我国海洋能资源概况 .....          | 63 |

|                                             |        |
|---------------------------------------------|--------|
| 第二节 我国潮汐能技术进展 .....                         | 69     |
| 第三节 我国潮流能技术进展 .....                         | 74     |
| 第四节 我国波浪能技术进展 .....                         | 81     |
| 第五节 我国温差能及盐差能技术进展 .....                     | 88     |
| <br>第五章 我国海洋能产业发展展望 .....                   | <br>92 |
| 第一节 发展背景分析 .....                            | 92     |
| 第二节 政策环境分析 .....                            | 94     |
| 第三节 我国海洋能公共支撑体系建设 .....                     | 101    |
| 第四节 我国海洋能产业现状 .....                         | 109    |
| 第五节 我国海洋能产业发展前景 .....                       | 113    |
| <br>附录                                      |        |
| 附录1 海洋可再生能源发展“十三五”规划 .....                  | 119    |
| 附录2 海洋可再生能源资金项目实施管理细则（暂行） .....             | 134    |
| 附录3 能源生产和消费革命战略（2016—2030）（摘录） .....        | 140    |
| 附录4 战略性新兴产业重点产品和服务指导目录（2016版）<br>（摘录） ..... | 144    |
| 附录5 全国海洋经济发展“十三五”规划（摘录） .....               | 146    |

# 第一章 海洋能概念和特点概述

海洋能具有开发潜力大、可持续利用、绿色清洁等优势，国际上非常重视海洋能的开发利用，将其作为战略性资源开展技术储备。但海洋能利用也存在开发难度较大、能量密度不高、稳定性较差、分布不均匀等不足，国际海洋能技术研发还面临着诸多风险和不确定性。

我国海洋能资源可开发量丰富，因地制宜开发海洋能，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、拓展发展空间具有战略意义。

## 第一节 海洋能概念及分类

海洋能(又称为海洋可再生能源)是海洋中所有可再生能源的总称，是以海水为介质，利用海水动能、势能、化学能或热能的能源，海洋能开发利用技术就是将这些可再生能源资源转化为可用的能源形式(通常是电能)。广义的海洋能还包括海上风能、太阳能以及海洋生物质能等海洋可再生能源。本书所指的海洋能主要包括波浪能、潮流能(海流能)、潮汐能、温差能、盐差能以及漂浮式风电，不包括海洋生物质能、海底热液能、近海风能、海上太阳能等。

## 一、潮汐能

太阳和月球对地球的引力与地球的自转相结合,导致海平面的周期性变化,称为潮汐。海水涨落运动会通过海盆共振以及海岸线地形变化予以放大,从而在特定地理区域产生较大的海平面高度变化。在全球大多数沿海地区,每天会发生两次高潮和低潮(“半日潮”),有些地方每天仅经历一次高潮和低潮(“全日潮”),其余地方潮汐特点是半日潮和全日潮的混合(“混合潮”)。高潮和低潮之间的水位差称为潮差,随着太阳和月亮位置的变化,潮差每天也不一样。几个世纪以来,人们已经对潮汐进行了卓有成效的研究,可以提前数年做出准确预测。由于潮汐是由万有引力作用引起的,因此是一种可再生能源资源。

潮汐利用一般有两种方式。一种是利用高潮和低潮之间的海平面高度差所产生的势能,即潮汐能;另一种是利用流体动力学原理,俘获潮汐水平流动时产生的动能,即潮流能。

潮汐能技术是基于常规水力发电原理,需要自然或人工结构体(如水坝或天然屏障)拦蓄海水。在潮汐运动周期中,当蓄水区域外的海水高度发生变化时,通过安装在结构体中的水轮机(低水头型)将水排入或排出蓄水区域。为此,通常在河口处建造一个潮汐围坝,在其后形成一个或多个蓄水库,或者是在远离河口处修建围坝(称之为“潮汐潟湖”)。全球潮汐能资源分布如图 1-1 所示。对于具体的潮汐发电项目而言,最好建于合适的河口或港湾处。

目前,在各种海洋能技术中,只有潮汐能技术是成熟的技术。世界上第一座大型潮汐电站是装机容量为 240 兆瓦的法国朗斯(Rance)电站,1966 年在法国布列塔尼(Brittany)建成运行,至今仍由法国电力公司(EDF)运营。2011 年,装机容量为 254 兆瓦的韩国始华湖

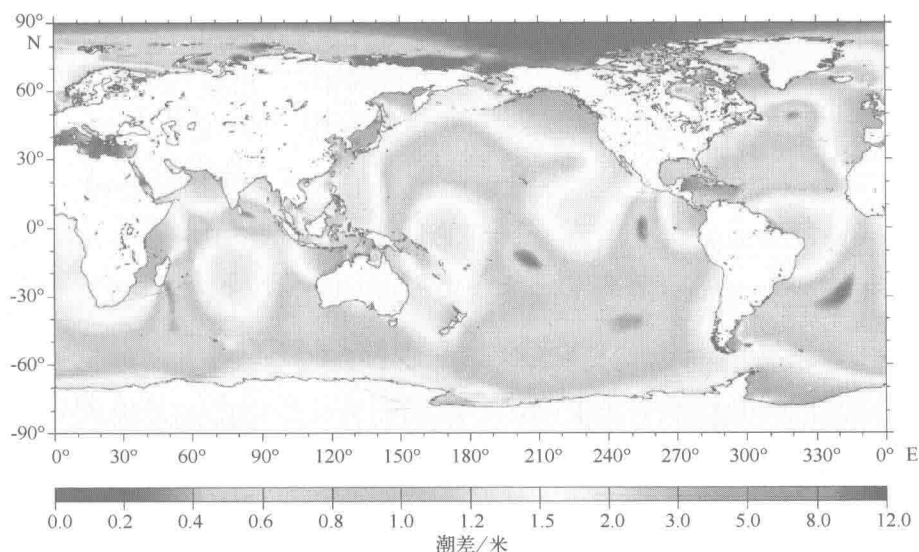


图 1-1 全球潮差分布图(澳大利亚国家潮汐中心)

(Sihwa Lake) 电站建成运行,成为全球最大的潮汐电站。这两座电站都采用传统的灯泡式水轮机组。目前,全球潮汐电站总装机容量约为 520 兆瓦。潮汐潟湖、动态潮汐能等新型潮汐能技术,如英国斯旺西湾潮汐潟湖电站目前尚处于论证阶段。

潮汐电站建设除了需要大量的资本投入以外,还必须考虑到环境影响。这在一定程度上导致了在过去 20 年里全球只新建了一座潮汐电站,不过随着全球对可再生能源电力需求的与日俱增,潮汐电站可能会重新得到重视。而且,潮汐电站在发电的同时,还具有防洪、水质管理等其他功能,或者在现有蓄水建筑需要改造时可结合开展潮汐发电应用。

值得一提的是,德国近期测试了利用海上风电储能的海水抽水蓄电系统,即在电网负荷低谷,利用多余的海上风电等可再生能源发电将海水抽进水库,在电网负荷高峰期,放水出库发电,有效调节近海风电场负载。这种利用方式可以解决海上风电间歇性发电的问题,如

果与潮汐能发电站结合利用，也有助于延长潮汐电站有效运行时间和发电效率。

## 二、潮流能

潮汐涨落时，伴随着海湾、港湾、河口内海水在水平方向的进入或退出，这种海水流动称为潮流。当潮差较大时，随着地形和海岸线的变化，潮流会非常强；在平潮期，基本没有潮流。

潮流能涡轮机将自由流动的海水动能转化为电能，其原理与风机将流动的风能转化为电能的原理一样。潮流能技术因其环境影响较低在世界上得到了广泛关注和发展。由于能量转换原理相同，因此大多数潮流能机组设计都是在风机基础上改进而来，以适应更高密度和不同特点的海水环境。尽管潮流能发电技术已发展到以三叶片和水平轴为主流，但与风电技术发展初期对各种不同设计进行试验相类似，目前潮流能技术也在试验多种设计方式，包括水平轴式、垂直轴式、导流罩式等。

目前，领先的潮流能技术研发商正处于在潮流能资源丰富的海域开展潮流能装置样机测试和示范的阶段，潮流能发电装置阵列化应用将是潮流能发电场商业化运行的主要方式。在该领域中处于领先地位的研发商，已经初步实现了小型潮流能阵列式发电技术示范。当通过提升知识、运营经验和规模经济性等使发电成本下降，并验证技术的可靠性之后，将会获得商业融资以开展潮流能发电场建设。随着越来越多的原始设备制造商(OEM)如阿尔斯通水电公司、安德里茨水电(Andritz Hydro)公司、法国国家船舶制造公司(DCNS)、现代重工、川崎重工、洛克希德·马丁公司、西门子、福伊特水电等进入潮流能领域，大规模潮流能发电场的开发将日益临近。

一般情况下，潮流速度至少达到 1.5 ~ 2 米/秒时才能保障潮流能

涡轮机的有效运行。除了特定地形影响外，一般潮差大的海域潮流都比较大，因此图 1-1 也一定程度上给出了全球主要潮流能利用区。

受到海表风和海洋温盐环流驱动，开阔大洋上会形成洋流(图 1-2)。通常情况下，洋流比潮流速度慢但持续时间更长，洋流通常位于深海，但是在接近海面时更活跃。与潮流相比的另一个区别是，洋流呈单向性。但目前尚不清楚全球洋流中哪些适合开发利用。随着技术的发展，如果能充分利用这些较低流速的洋流能资源，将比潮流能的利用规模大很多。

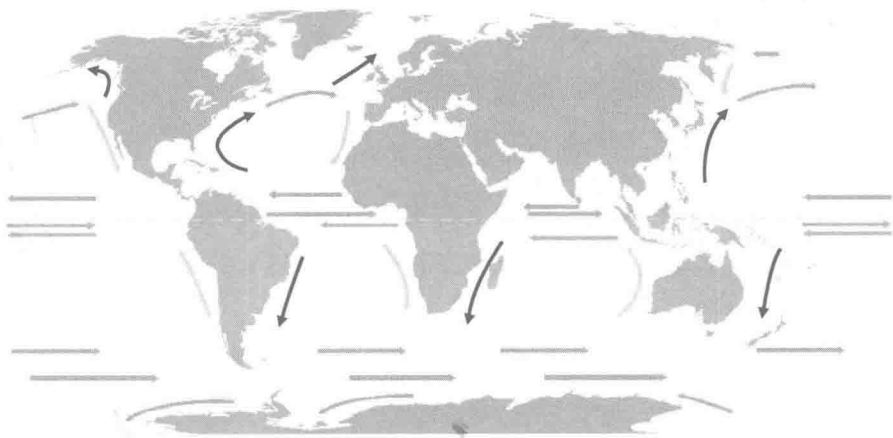


图 1-2 全球洋流分布图(黑色代表暖流，灰色代表冷流)

潮流能涡轮机因其相同的流体动力学方法和运行原理可以应用在洋流能利用中。在深海应用涡轮机，需要开展漂浮式系统或浸没式系统研究。目前，美国、日本、英国、意大利和西班牙的一些大学和公司正在开展相关研究，尚未有全比例洋流发电样机开展海试或示范。

目前，位于美国佛罗里达大西洋大学的国家东南海洋可再生能源中心(SNMREC)正在开展利用佛罗里达洋流进行发电的研究，致力于研发全球首个洋流能发电装置。

### 三、波浪能

波浪能转换装置是将海表波浪的动能和势能转化为另一种能量形式(如电能)的装置。海浪主要是由海风吹过海洋表面产生的,虽然空气与海洋的相互作用和能量转移机制十分复杂,但海洋表面波浪的形成主要是受风速、风吹持续时间和风区长度的影响。由于太阳能导致大气中不同位置空气的温度差而产生风,因此波浪能也被认为是太阳能的一种能量形式。与其他可再生能源资源相比,波浪能的能量空间集中度是其主要优势。

如图 1-3 所示,全球波浪能资源集中在纬度为  $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$  之间的海域,大陆西海岸是最大波浪能区域。波浪能资源具有相对较好的海况可预测性,大多数海域冬季比夏季有更好的波况,每天 24 小时都存在波浪,而且由于海况惯性的存在,波浪能资源不会出现突发性减少等情况。

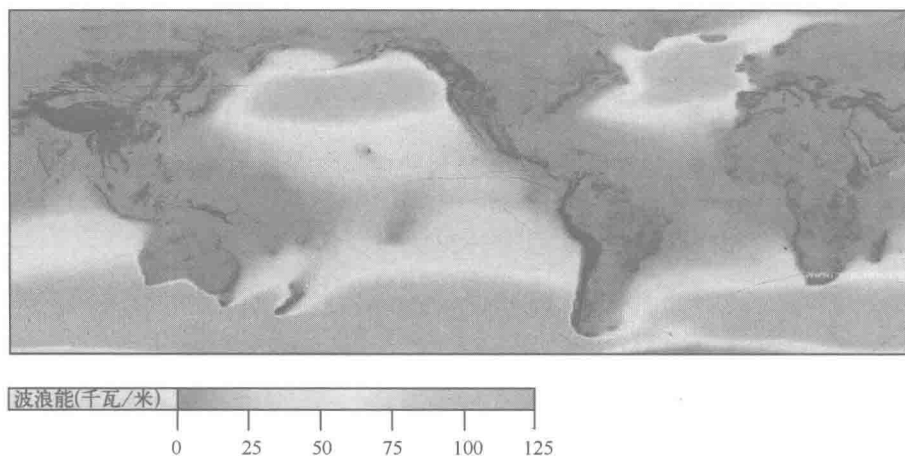


图 1-3 全球年均波浪能分布图(IEA OES)

规模化、低成本开发利用波浪能已被证明极具挑战性,直到近年才开始研发出全比例样机。随着越来越多的并网波浪能转换装置的出

现,有望在十年左右研制出商业化应用的波浪能装置。

#### 四、温差能

太阳能入射到海洋,大部分能量被海洋表面上层海水所吸收,以热能方式储存在海水中。海洋表层海水与温度更低的深层海水(一般水深在1 000 米以下)之间的温度差(最好为20℃以上)可被用于发电。如图1-4所示,温差能资源主要分布在赤道两侧的热带地区。

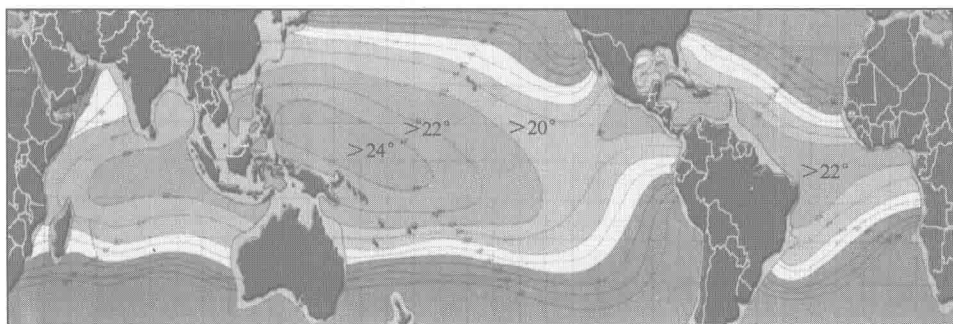


图1-4 全球海表暖水与1 000 米深冷水年均温差20~24℃廓线图(美国能源部)

尽管温差存在轻微的季节性变化,温差能资源还是被认为是连续可用的。在各种海洋能技术中,温差能全球资源潜力理论上是最高的。然而,相比其他海洋能技术,温差能资源的能量密度比较低,因此在温差能技术的成本效益方面,将是一个持续的挑战。

温差能技术可分为开式循环、闭式循环和混合式循环三种。开式循环系统使用真空室来“闪蒸”温度较高的表层海水,产生的蒸汽作为系统工作流体,通过涡轮发电机之后再经深海冷水对其进行冷凝。在海水淡化的应用上,也有可能使用这种开式循环技术。闭式系统具有更高效的热性能,它将温度相对较高的表层海水泵送经过热交换器,使二级工作流体(如低沸点氨)蒸发为气体,由此产生高压蒸汽驱动涡轮机,随后蒸汽被深层冷海水冷却返回。在闭式循环转换中,由于二级工作流体的工作压力更高,因此,系统尺寸通常小于开式循

环技术。混合式循环系统中, 闪蒸产生的蒸汽被用作闭式朗肯(Rankine)循环的热源, 而朗肯循环使用二级工作流体。

## 五、盐差能

盐差能技术是利用淡水和海水之间的化学势能, 包括压力延滞渗透法(Pressure Retarded Osmosis, PRO)、反电渗析法(Reverse Electro Dialysis, RED)等方式。

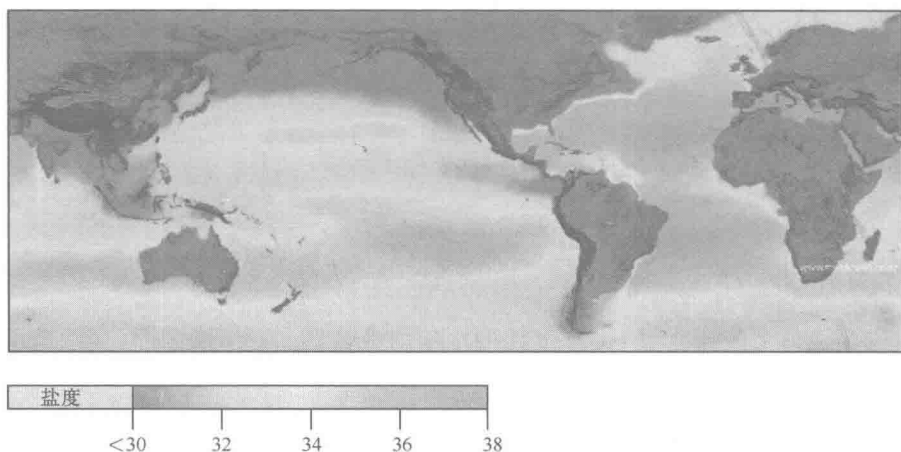


图 1-5 全球盐差能资源分布图(IEA OES)

盐差能资源主要分布于河流入海口, 目前, 盐差能技术所用的渗透膜的成本过高, 因而一定程度上阻碍了盐差能技术的商业化发展。

虽然几十年前就提出了盐差能技术的概念, 但目前仍处于研发早期阶段。全世界范围内, 只有少数几家研发机构对这一技术感兴趣, 还有部分大学开展了一些基础研究, 但大多数研究尚处于实验室阶段。2009 年, 挪威国家电力公司(Statkraft)曾建造了一座 4 千瓦的示范电站, 并运行到 2013 年 12 月。

## 第二节 海洋能的特点

### 一、潜力巨大

海洋能资源开发利用潜力巨大——理论上海洋能资源量远远超过全球电力需求量。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的一项研究报告表明,全球海洋能资源理论上每年可发电 20 000 000 亿千瓦时,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。国际上,英国、美国、加拿大等国非常重视海洋能资源的开发利用,欧盟在其蓝色增长计划中更是把发展海洋能作为战略目标,并将其视为彰显海洋实力的重要指标。

海洋能开发利用技术种类很多,包括潮汐能发电技术、波浪能发电技术、潮流能发电技术、温差能发电技术以及盐差能发电技术等。以温差能开发利用为例,全球有 98 个国家拥有海洋温差能资源,在不影响海水温度的前提下,全球海洋温差能技术可开发量足以满足全球电力需求。许多小岛屿国家在离岸 10 千米以内就具有丰富的温差能资源。对于热带海域的小岛屿国家,温差能发电结合空调制冷和海水淡化等综合利用,在近期极具可行性。

### 二、绿色可再生

海洋能技术可提供二氧化碳零排放的清洁电力,而且可保持能源供应的自主性,有助于实现能源供给的多样化。随着沿海国家陆地可再生资源适合开发场址的日渐稀少,海洋能技术将大大拓展可再生能源开发利用的空间。

新兴海洋能产业可创造出众多的“绿色就业”岗位。国际能源署海洋能源系统技术合作计划(IEA OES - TCP)在其发布的国际海洋能愿景中指出,到2050年,国际海洋能开发利用将创造68万个直接就业岗位,全球海洋能总装机将超过300兆瓦,年节省二氧化碳排放量高达5亿吨。欧盟估计到2035年海洋能产业将创造近4万个就业岗位。

### 三、开发难度较大

海洋能资源的能量密度不高,分布不均匀,使其开发利用难度较大。根据国际可再生能源署(IRENA)2014年8月发布的一项研究报告,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),潮流能技术TRL达7—8级(全比例样机实海况测试阶段),波浪能技术TRL达6—7级(工程样机实海况测试阶段),温差能技术TRL为5—6级(比例样机实海况测试阶段),盐差能技术TRL为4—5级(实验室技术验证阶段)。

当前,国际海洋能技术发展速度比预期的慢,主要是由于技术开发过程面临的成本、生态影响等综合挑战。尤其是2008年全球金融危机之后,各国对可再生能源开发利用的投资力度明显下滑,较大程度上影响了海洋能等新兴可再生能源技术的发展。