

# 海洋能海上试验场进展及其启示

孙慧慧<sup>1</sup>, 邓 乾<sup>1</sup>, 李 坚<sup>1</sup>, 史宏达<sup>2</sup>

(1. 崂山实验室, 山东 青岛 266237;

2. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100)

**摘 要:** 海洋能技术的成熟度和可靠性需要经过海上试验的检验才能进入成果转化和市场推广阶段。海上试验场可为此提供专业化的公共测试平台。本文概述了海洋能开发利用技术进展, 得出潮流能和波浪能技术正处于原型(大比尺模型)海上测试的产业化前阶段; 分析了国际上具有代表性的英、美、日等国家的海洋能海上试验场的建设成效, 归纳总结了我国海洋能海上试验场建设情况和功能定位。通过总结分析海洋能海上试验场建设运行情况, 从政策、资金、建设运行主体、许可获取等方面提出了对我国的启示和相关建议。建议我国加强对国际化标准化的海洋能海上试验场的支持力度, 加快潮流能和波浪能技术成熟度和可靠性的检验步伐, 促进海洋能技术进步和成果转化, 助力我国“双碳”目标的实现。

**关键词:** 海洋能; 海上试验场; 公共服务平台

**中图分类号:** TK79; P743

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-3682(2025)02-0099-17

**doi:** 10.12362/j.issn.1002-3682.20240912001

**引用格式:** 孙慧慧, 邓乾, 李坚, 等, 2025. 海洋能海上试验场进展及其启示[J]. 海岸工程, 44(2): 99-115. SUN H H, DENG Q, LI J, et al, 2025. Progress of marine energy test sites and its inspiration[J]. Coastal Engineering, 44(2): 99-115.

海洋中蕴藏着储量巨大的可再生能源, 称为海洋可再生能源, 简称海洋能。狭义的海洋能指的是与海水有关、以海水为能量载体的可再生能源, 包括潮汐能、潮流能、波浪能、温差能和盐差能等(IEA-OES, 2007)。随着可再生能源开发利用的交叉融合, 广义的海洋能还包括海上风能、海上太阳能等在海上开发的可再生能源, 也称为海上可再生能源。

海洋能的理论储量巨大, 足够满足目前和将来的全球电力需求(IRENA, 2020a)。国际可再生能源署(International Renewable Energy Agency, IRENA)分析评估了所有海洋能技术的综合开发潜力, 认为海洋能每年可产电量介于 45 000~130 000 TWh, 甚至超过 130 000 TWh(IRENA, 2020b), 远远超过 2022 年全球电力需求(EMBER, 2023)。开发利用海洋能是保证能源安全、应对气候变化、实现净零排放的重要途径(Borthwick, 2016; 史宏达等, 2017; 彭伟等, 2022; IEA-OES, 2023a)。

20 世纪 70 年代石油危机爆发以后, 各国开启了开发海洋能的热潮(Falcão, 2010)。进入 21 世纪, 全球范围内对于海洋能的投入加大, 海洋能技术取得了显著进步(Khojasteh et al, 2023; IEA-OES, 2024), 但除了潮汐能外, 其他海洋能技术尚未实现大规模商业化利用(刘伟民等, 2018; Melikoglu, 2018; IRENA, 2021), 还处于发展阶段。潮流能和波浪能技术接近成熟, 已经有多个原型样机示范运行, 进入预商业化阶段; 温差能和盐差能开发利用的关键技术尚未实现突破, 离商业化利用距离较远(崔琳等, 2021; IEA-OES, 2023b, 2023c; Rehman et al, 2023)。未来 10 年是将全球升温控制在 1.5 °C 以内的决定性 10 年(IPCC, 2023)。可再生能源在全球能源供给中的比重将呈数倍增长(IEA, 2023), 其中的海洋能将起到重要作用(IRENA, 2023)。为了加快海洋能技术的成熟, 使之尽早实现规模化利用, 应加大海洋能领域的投资和支持, 促进技术验证和示范应用, 促使海洋能产业像风电和光

收稿日期: 2024-09-12 网络首发日期: 2025-04-10

资助项目: 山东省重点研发计划(软科学)项目(2023RZA02016)

作者简介: 孙慧慧(1982—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋能开发利用方面研究. E-mail: hhsun@qnlm.ac

(责任编辑 王 燕)

伏等可再生能源产业一样实现快速发展(IEA-OES, 2023a; IRENA et al, 2023)。

海洋能装置的海上试验是检验海洋能装置可靠性和技术成熟度的关键环节, 是海洋能装置走向市场和规模化开发的必经阶段, 对海洋能技术进步和产业发展起着关键作用(Letcher, 2022)。海上试验耗资大、操作难、风险高, 用海用地审批流程长, 对于装置研发人员来说难以承受, 一定程度上制约着海洋能技术验证和成果转化, 影响了产业化进程和应用推广。海洋能海上试验场是海洋能装置的海上试验及其性能测试和评价的专业化公共服务平台, 是连接海洋能技术研发和商业化应用的核心节点。该试验场可为海上试验提供必需的基础设施和仪器设备, 是专业的测试和评价平台, 对于海洋能技术进步和产业发展不可或缺。海洋能的开发利用越来越受到重视, 国内海洋能海上试验场的建设水平和服务能力尚不能满足日益增长的海洋能装置海上试验需求, 应鼓励具备实力的海洋领域国家级科研机构尽快推动海洋能海上试验场建设和功能完善, 以促进我国海洋能技术的成熟和产业化, 有力支撑海洋能在我国海洋强国和“双碳”目标实施中作用的发挥(李伟等, 2024; 麻常雷等, 2024)。

本文通过回顾海洋能开发利用技术进展, 明确海洋能各能种技术发展水平; 归纳和分析国外具有代表性的海洋能海上试验场建设和运行情况以及我国海洋能海上试验场建设和使用情况, 提出对我国建设海洋能海上试验场的启示, 以期为我国相关决策和管理部门以及建设和运行机构提供参考。

## 1 海洋能开发利用技术进展

全球范围内, 海洋能开发利用技术仍处于初步发展阶段。当前, 潮汐能技术相对成熟, 已建成多个商业化运行的潮汐电站。潮流能技术已趋于稳定, 水平轴潮流能装置成为主流技术, 目前正处于原型样机及示范工程的海上测试验证阶段, 并即将进入商业化开发。相比之下, 波浪能技术尚未达到技术收敛状态, 其能源捕获形式多样, 尽管已有若干示范工程项目, 但整体仍处于原型样机的可靠性测试阶段。此外, 温差能与盐差能的开发利用受地理条件限制显著, 且关键技术尚未突破, 短期内难以实现大规模模型验证及规模化开发。总体而言, 海洋能技术的商业化应用仍面临诸多挑战, 需进一步的技术突破与工程实践。

### 1.1 潮汐能

潮汐能指海水受月球和太阳引力作用而形成的潮汐运动(海水周期性的涨落)中蕴含的能量。全球每年潮汐能资源理论储量可达到 25 880 TWh, 其中 90% 分布在澳大利亚、加拿大、英国、法国和美国五个国家(Neil et al, 2018)。我国的潮汐能资源比较丰富, 主要集中在东南沿海地区, 其中浙江省和福建省储量最大(罗续业等, 2015)。

潮汐能技术是海洋能技术中最成熟的发电技术, 传统的拦坝式潮汐能技术早在 20 世纪 60 年代就实现了商业化开发。世界上第一座大型潮汐电站——法国的朗斯电站于 1966 年正式运行并持续发电, 总装机容量为 240 MW。2011 年完工的韩国始华湖电站总装机容量为 254 MW, 是目前世界上最大的潮汐电站。安纳波利斯电站是加拿大首个也是唯一一个曾经运营的潮汐电站, 装机容量为 20 MW。该电站于 1984 年投入运行, 2019 年由于部件故障停止发电, 随后被终止; 运行期间引发了一些环境问题, 还造成了海洋生物的死亡(Letcher, 2022)。我国的潮汐能技术目前已经达到了国际先进水平(王项南等, 2021)。江厦潮汐电站是我国运行时间最长、装机容量最大的潮汐电站, 总装机容量为 4.1 MW, 已稳定运行 40 余年(李晓超等, 2021)。

传统的拦坝式潮汐电站占用海岸线, 施工成本高, 对海域生态环境、水动力环境的影响十分明

显, 因此, 目前各国政府对建设大型潮汐电站持谨慎态度。近些年, 利用自然形成的潮汐潟湖发电成为新的研究热点。英国的斯旺西潮汐潟湖项目是世界上第一个计划建造的潮汐潟湖电站, 预计装机容量为 320 MW(OES-Environmental, 2022), 但经论证后未能获得政府支持(Letcher, 2022), 技术成熟性和经济性有待提高。

## 1.2 潮流能

潮流能是指海水在潮汐过程中由于周期性的水平运动而产生的动能。全球每年可利用的潮流能储量约为 1 200 TWh, 主要集中在海峡、海湾和河口等海岸线附近(Li et al, 2023)。潮流能与其他海洋能相比, 具有较强的可预测性和较高的能量密度, 且潮流能开发利用装置对海洋环境影响小, 近些年受到了越来越多的重视(张继生等, 2021)。

潮流能技术发展迅速, 多个国家在技术研发、工程示范和政策支持等方面取得了显著进展, 尤其是欧洲国家技术成熟度较高。从全球发展水平来看, 潮流能技术发展迅猛, 单机容量已进入兆瓦级时代, 多个探索性商业化发电项目已开展示范运行, 但尚未实现大规模商业化应用(孙科等, 2024)。英国是潮流能技术的先驱, 资源潜力巨大, 拥有多个重要的示范项目, 并在技术研发、政策支持和商业化应用方面处于世界领先地位(Iyer et al, 2013; 王世明等, 2020)。SIMEC Atlantis Energy 公司开发的 MeyGen 项目是世界上最大的潮流能项目, 位于苏格兰北部, 预计总装机容量为 398 MW, 分阶段实施建设, 至 2024 年底已并网发电 6 年, 总发电量 70 GWh, 该项目的成功运行证明了潮流能阵列发电的可行性和商业潜力(SAE, 2024)。我国的潮流能技术已接近国际先进水平, 浙江大学于 2014 至 2019 年间先后研发并测试了 60、120、650 和 300 kW 的水平轴潮流能装置并实现并网发电(Liu et al, 2022; Si et al, 2022); 浙江舟山联合动能新能源开发有限公司(LHD)研发的“奋进号”1.6 MW 水平轴潮流能装置于 2022 年安装后并网发电, 为我国首台兆瓦级潮流能装置(Wang et al, 2023)。

水平轴水轮机是潮流能装置中最成熟和广泛应用类型, 成了商业应用的主流(Letcher, 2022)。目前, 潮流能开发利用成本依旧较高, 需要进一步提高装置的效率、耐腐蚀性、抗疲劳性和可靠性, 以降低成本; 同时, 海上安装和维护成本高, 需要开发更经济的施工技术和方法。与西方国家相比, 我国大部分潮流能装置缺乏长期的海上测试、运行和维护经验, 技术成熟度尚未得到充分检验。

## 1.3 波浪能

波浪能来自风与水的相互作用, 风吹过水面形成的波浪具有动能和势能, 可以转化为电能。波浪能全球分布广泛, 资源储量丰富, 据估计理论上每年约为 29 500 TWh, 可开发潜力巨大(IEA-OES, 2017; 沈旭伟等, 2024)。南半球波浪能资源总体呈上升趋势, 这可能与全球变暖有关(Shao et al, 2022); 高纬度地区和西海岸通常拥有更丰富的波浪能资源(Letcher, 2022), 比如西欧、澳大利亚等。

波浪能开发利用装置形式多样, 有振荡水柱式、振荡体式 and 越浪式等, 装置形式尚未收敛(史宏达等, 2021), 其中, 振荡水柱式发展最早, 已经有了百年历史; 漂浮振荡浮子式是近些年的研究热点。英国、丹麦、日本、美国等对波浪能的开发利用起步较早, 技术领先, 已建立了多个大型示范项目, 部分装置开展了商业化尝试(张亚群等, 2019)。英国的 Pelamis 是世界上第一台联网发电的波浪能装置, 其后的 Oyster 也开展了联网发电示范, 由于两者技术并不完善, 最终均以失败告终, 未能成功商业化, 波浪能开发也一度陷入低谷, 但其经验和教训对波浪能开发具有重要的参考价值(Jin et al, 2021)。随着波浪能开发的热度回归, 新一代波浪能技术进入了商业化初期。瑞典的 CorPower Ocean 公司在欧盟 HiWave-5 项目支持下, 于 2023 年成功在葡萄牙阿古萨多拉海域安装了

其首个商业规模的 300 kW 波浪能装置 C4, 该装置在示范运行期间经历了多次风暴依旧正常运行, 证明了其生存能力; 整个项目将安装由 4 台波浪能装置组成的 1.2 MW 并网阵列, 并将开展商业化运行示范(Corpower Ocean, 2024)。

我国对波浪能的开发利用可以追溯到 20 世纪 60 年代, 但近 10 年来发展迅速, 技术水平和研发能力不断提升(路晴等, 2022)。大型波浪能装置“万山号”于 2015 年成功海试; “先导一号”于 2018 年成功并入三沙市永兴岛电网; 2019 年交付的养殖平台“澎湖号”集波浪能发电养殖和旅游观光为一体; “南鲲”号于 2023 年并网发电并示范运行(央视新闻, 2023); 2024 年 4 月, 新型波浪能海洋生态监测浮标“合作者号”投入使用。总体来讲, 我国波浪能装置功率普遍较小, 可靠性和稳定性不高, 距离商业化推广还有一定的距离(Liu et al, 2017; 刘延俊等, 2021)。

## 1.4 温差能

温差能是海洋表层温暖海水与深层冰冷海水之间的温度差所蕴含的能量, 主要集中在南北回归线之间且最大水深达 1 000 m 的热带海域(Letcher, 2022)。南海是我国温差能资源最丰富的海域。温差能发电技术的历史可以追溯到 19 世纪 80 年代。美国、日本等国家率先进行了温差能发电技术研究和示范工程建设, 我国于 20 世纪 80 年代开始进行温差能的相关研究。目前, 温差能发电系统的转换效率仅为 5%~10%, 高效热交换技术、深海管道技术等核心技术不成熟(张继生等, 2019)。温差能尚处于关键技术突破和发电系统效率提升的发展阶段, 未来需要加大对温差能发电系统的研发投入(刘伟民等, 2022), 加强技术创新, 推动温差能技术向安全高效、多能互补、综合利用的方向发展。

## 1.5 盐差能

盐差能即海水和淡水之间由于盐度差异而产生的化学势能。盐差能的理论潜力巨大, 但其能量密度低, 转换效率低, 渗透膜技术不成熟, 远未达到成本竞争力(Lin et al, 2024)。盐差能技术尚未突破实验室研究阶段, 其实现实际应用和商业化还面临诸多挑战(王项南等, 2021)。荷兰 REDstack 公司的 50 kW 盐差能项目是目前世界上首个持续运行的盐差能发电装置, 但仍处于试点阶段(王项南等, 2021)。

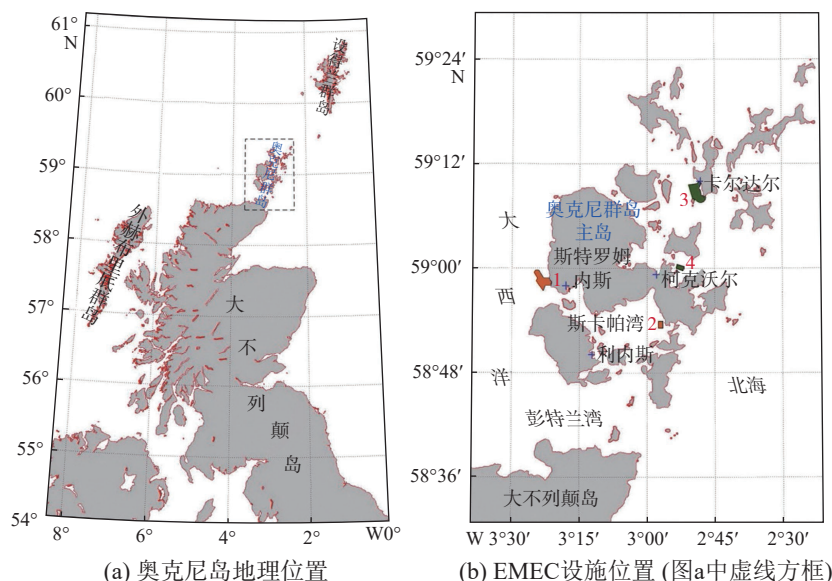
# 2 国外代表性海洋能海上试验场进展

全球海洋能海上试验场主要聚焦于潮流能与波浪能装置的测试, 与当前技术发展阶段及需求高度契合。作为推动海洋能技术创新与产业发展的关键枢纽, 试验场为原型样机从安装、运行到退役的全生命周期提供了实践平台。另外, 通过标准化测试流程的建立, 加速了技术迭代与商业化进程。欧美国家在该领域占据领先地位, 英国以先进的测试技术见长, 美国则以试验场数量多体现其规模化优势。与此同时, 日本与韩国积极探索海洋能开发, 加紧推进试验场建设, 展现了后发潜力。全球海洋能试验场的发展呈现以欧美为引领、东亚为新兴力量的多元化格局, 为海洋能技术的全球推广与产业化提供了重要支撑。

## 2.1 英国的欧洲海洋能中心(European Marine Energy Centre, EMEC)

EMEC 是世界上第一个且公认的最权威的海洋能测试中心, 其性质为非营利性机构, 坐落于英国苏格兰的奥克尼群岛, 具体位置如图 1 所示。该机构的成立源于 2001 年英国下议院科学技术委员会提出的建议, 旨在建立一个波浪能和潮流能测试设施, 以推动英国的海洋能产业发展。自 2003 年 EMEC 成立以来, 在其位于奥克尼岛的 Billia Croo 波浪能测试点以及 Fall of Warness 潮流能

测试点已陆续开展了一系列测试工作(EMEC, 2024a), 其中包括世界上第一个成功向国家电网供电的浮式波浪能设备 Pelamis 750(EMEC, 2024b)。



注: 本图改绘自 Letcher(2022)。图 b 中 1 为 Billia Croo 波浪能测试点, 2 为 Scapa Flow 比例模型波浪能测试点, 3 为 Fall of Warness 潮流能测试点, 4 为 Shapinsay Sound 比例模型潮流能测试点。

图 1 奥克尼岛地理位置和 EMEC 设施位置  
Fig. 1 Location of Orkney and the EMEC facilities

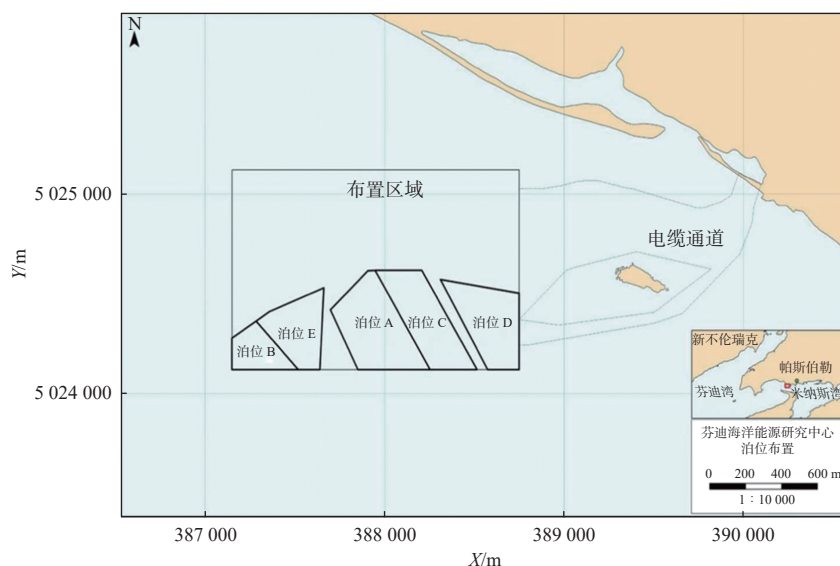
EMEC 是全球首个而且是目前唯一一个被国际电工委员会可再生能源设备认证互认体系(IEC (International Electrotechnical Commission) System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Application, IECRE)指定为可再生能源测试实验室(Renewable Energy Testing Laboratory, RETL)的海洋能测试中心, 按照测试实验室国际标准运作, 提供独立验证的性能评估和技术检查服务。EMEC 多年来与监管部门保持密切协作, 以优化海洋能装置海上测试许可的审批流程; 它能够提供专业的全流程服务, 协助用户完成法定许可的获取, 以确保海上测试计划顺利推进。除了波浪能和潮流能, EMEC 还将其业务扩展到了绿色氢能、浮式风能以及清洁交通等综合开发利用领域。例如, 2017 年, EMEC 在 Fall of Warness 潮流能测试点实现了世界上首个由潮流能驱动的氢气生成; 在奥克尼群岛西部开发国家浮式风电测试中心, 旨在为浮式风电开发商降低技术风险。

EMEC 通过技术创新和产业联动, 显著推动了英国绿色经济的发展。2003 年至 2023 年期间, 其创造的 3.7 亿英镑经济总增加值中, 苏格兰地区占比高达 70%, 凸显了其在区域经济结构转型中的核心作用(Energy, 2023)。作为奥克尼群岛前 20 大雇主, EMEC 不仅提供了高价值岗位, 更通过产学研合作培养属地人才, 使偏远有居民海岛实现了从传统渔业向零碳科技业的跨越式发展(EMEC, 2023)。这种“测试-孵化-产业化”的发展路径, 为全球海岛海洋能利用和商业化提供了可复制的模式。

## 2.2 加拿大的芬迪海洋能源研究中心(Fundy Ocean Research Centre for Energy, FORCE)

FORCE 是加拿大领先的潮流能测试中心, 位于新斯科舍省芬迪湾, 其泊位布置如图 2 所示。该中心于 2009 年成立, 是私立非营利机构, 由加拿大政府、新斯科舍省政府、海上能源研究协会

以及参与的开发者提供支持。FORCE 的成立是行业、政府、社区利益相关者、权利持有者和科学界合作的成果,旨在共同探索潮流能作为一种清洁能源的潜力。这种多方合作有助于确保潮流能的开发既在技术上可行,又能被社会和环境广泛接受。



注: 本图改绘自 Letcher(2022)。

图 2 加拿大 FORCE 泊位布置

Fig. 2 Locations of berths at FORCE in Canada

FORCE 获得了包括环境影响评价和发电机互联协议在内的省级和联邦批准,以及自主管理的海上作业许可。除了潮流能装置海上测试之外, FORCE 开展了 10 多年独立审查的环境影响监测项目和一系列应用研究项目。基于过去的研究成果,环境影响监测项目不断演进,目前重点关注龙虾、鱼类、海洋哺乳动物和海鸟及海洋噪音五个主要领域的监测。这些监测对于降低环境风险、促进技术创新、增强公众信任起到了重要作用(FORCE, 2024)。

围绕芬迪湾的潮流能产业活动已涉及 500 多家企业。Cape Sharp Tidal 公司在芬迪湾米纳斯水道开发的 4 MW 项目产生了 3 300 万加元的本地合同和 300 多个工作岗位。研究预测,若在米纳斯水道建造 150 个 2 MW 的潮流能发电装置,并且其中 60%~80% 的工作在当地完成,那么在 25 年的预测期内,将创造约 2.2 万个新的全职等效职位,并增加 17 亿加元的国内生产总值(Johnston, 2016)。

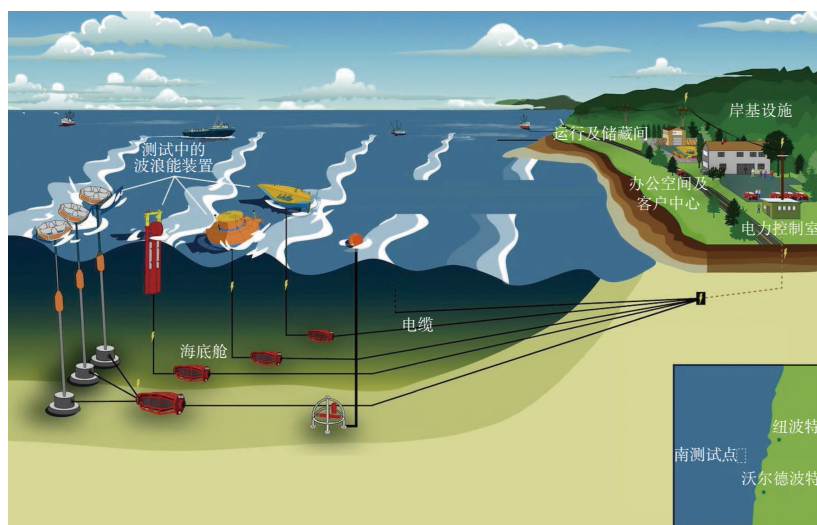
### 2.3 美国的太平洋海洋能中心(Pacific Marine Energy Center, PMEC)

PMEC 前身为西北国家海洋可再生能源中心(Northwest National Marine Renewable Energy Center, NNMREC),是美国能源部于 2008 年通过竞争性选拔设立的 3 个国家海洋可再生能源中心之一,是由美国太平洋西北地区的华盛顿大学、俄勒冈州立大学和阿拉斯加费尔班克斯分校三所大学组成的联盟组织,其目标在于通过研发、教育、宣传和参与等方式促进海洋可再生能源产业的发展(PMEC, 2024)。

PMEC 的海上试验场 PacWave 位于波浪能资源丰富的纽波特市外海域,由俄勒冈州立大学负责建设运营。它有南北两处测试点。北测试点已经建成,用于小型、原型波浪能装置的非并网测试,距离海岸约 3 km,相较于南测试点水深更浅,距离港口更近,可持续监测波浪、气象和海洋学数据,提供简化的许可流程。南测试点是一个正在建设且技术先进、获得预先许可并认证的并网波浪能测试点(图 3),由美国能源部、俄勒冈州、俄勒冈州立大学以及当地利益相关者共同开发,计

划于 2025 年春/夏并网测试, 将是美国本土首个并网的海上试验场(PacWave, 2024)。南测试点包括 4 个泊位, 占用大约 7 km<sup>2</sup> 的海域, 并有一条长约 19 km 的电缆连接到岸上; 可同时测试 20 台装置, 总输出能力为 20 MW。其选址经过公开征求意见确定, 包括当地渔民的重要意见。因为它已获得大多数类型的波浪能装置的预先许可, 所以客户无须在测试前经历耗时且昂贵的许可获取流程, 大大提高了装置测试的速度。

PMEC 与 EMEC、NREL 和 Aquatera 等众多机构合作, 这些机构为 PMEC 在安全流程、运营维护、质量标准等领域提供支持指导。



注: 本图改绘自 PacWave(2024)。

图 3 PacWave 南测试点布局示意图

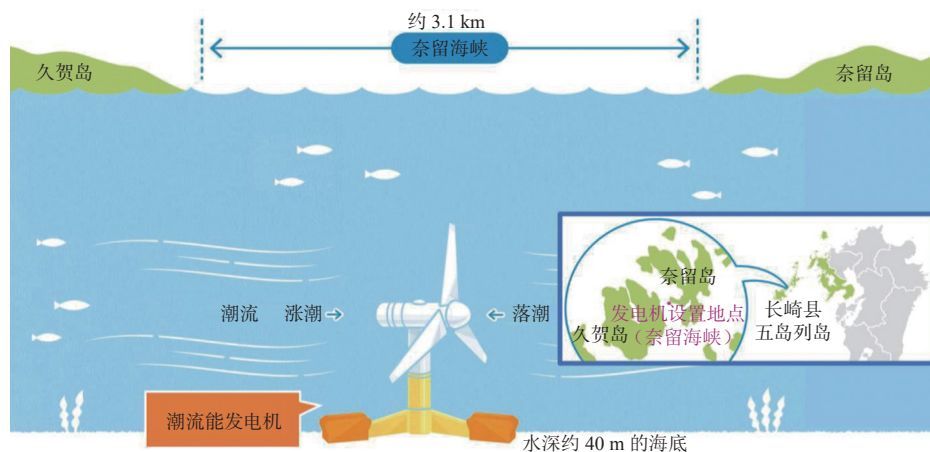
Fig. 3 Layout diagram of PacWave south test site

## 2.4 日本长崎-亚洲海洋能中心(Nagasaki-Asian Marine Energy Centre, Nagasaki-AMEC)

Nagasaki-AMEC 于 2014 年 7 月由日本政府认定为国家级试验场, 由日本长崎县五岛市的奈留海峡潮流能测试点、杵岛浮式风能测试点和西海市的江岛·平岛潮流能测试点组成(内閣府総合海洋政策本部事務局, 2014)。长崎海洋产业集群形成促进协会(简称“协会”)是由长崎县设立的非营利性机构, 负责推进 Nagasaki-AMEC 发展(長崎海洋産業クラスター形成推進協議会, 2024)。

2019 年 5 月, 位于长崎县的九州电力集团子公司九电未来能源公司和协会共同承担了环境省的潮流发电技术实用化推进项目, 采用英国 SIMEC Atlantis Energy 公司的潮流发电机, 将其安放在最大流速为 3 m/s 的奈留海峡测试点, 在日本国内首次进行了 500 kW 规模的潮流发电实证试验; 2021 年 1 月在海底设置发电机并开始发电, 同年 5 月通过了基于日本电气事业法的预使用检查(九電みらいエナジー株式会社, 2024)。

2022 年 3 月, 九电未来能源公司和协会在共同承担的环境省“令和 4 年度基于潮流发电的地区脱碳化示范建设项目”中, 将奈留海峡测试点确定为日本国内第一个商用规模大型潮流发电实证试验场地, 并将之前的 500 kW 潮流发电机改造为日本国内首个商用规模的 1 000 kW 级潮流发电机, 放在与 2021 年度相同的实施场所进行测试, 并进行与电力系统相关的实证研究, 旨在确立符合日本国内环境和技术标准等要求的潮流发电技术, 促使其尽快产业化(九電みらいエナジー株式会社, 2022)。该发电机布置情况如图 4 所示。



注：本图改绘自九電みらいエナジー株式会社(2022)。

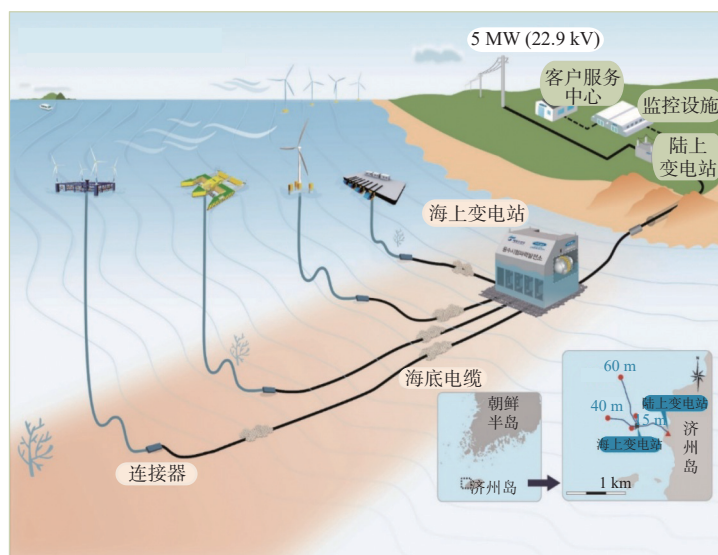
图 4 日本奈留海峡大型潮流能发电机布设

Fig. 4 Deployment diagram of the large scale tidal current device in Naru Strait, Japan

## 2.5 韩国的波浪能测试场(Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering-Wave Energy Test Site, KRISO-WETS)

KRISO-WETS 位于济州岛西侧水域，由韩国船舶与海洋工程研究所(KRISO)于 2016 年开始建设，2020 年 9 月正式对外开放。

KRISO-WETS 建有 5 个泊位，其中 1 个泊位安装了 Yongsoo 振荡水柱式(OWC)波浪能发电装置，海上变电站；其他 4 个泊位中，2 个位于浅水区，2 个位于较深海域，总容量为 5 MW，如图 5 所示。另外，测试场设置了 AIS、V-PASS 和 X 波段雷达等观测和监测设备，能够确保测试场的海域安全，实时获取波、流和风等海洋环境数据。



注：本图改绘自 IEA-OES(2018)。

图 5 KRISO-WETS 布局示意图

Fig. 5 Diagram of KRISO-WETS

KRISO-WETS 积极拓展测试场的业务领域, 开展装置性能评价和综合利用, 承担了波浪能发电数字孪生项目、海上波浪能制备绿氢项目和 8 MW 浮式海上风机验证项目等, 筹划推动韩国“海洋能实证研究中心”建设([International WaTERs, 2024](#))。

KRISO 在 KRISO-WETS 建设和运行过程中与 EMEC 开展了密切合作, 建设期的合作内容主要集中在测试场设计方面(如电气基础设施、数据采集和监控系统等)和运行方面(如环境监测和许可指南等); 正式运行后, EMEC 提供关于环境影响、海气数据、商业拓展和第三方验证等方面的进一步指导([EMEC, 2024c](#))。

### 3 我国海洋能海上试验场建设进展

我国 10 多年前开始布局建设海洋能海上试验场。全国已建的和正在建设的各种海上试验场中, 有 2 个具备开展海洋能装置海上测试的功能, 其中 1 个是尚在建设中且部分投入使用的国家海洋综合试验场, 另 1 个则是初步建成的斋堂岛海洋能海上试验场。

#### 3.1 国家海洋综合试验场

在财政部于 2010 年设立的海洋可再生能源专项资金支持下, 我国从事海洋能技术研发的单位在部分候选海域成功开展了波浪能、潮流能和海岛海洋能独立供电等示范工程, 为试验场的确立奠定了良好的基础([麻常雷, 2022](#))。2018 年, 自然资源部批复同意试点建设国家海洋综合试验场浅海试验场区(威海)([国家海洋技术中心, 2023a](#))。按照“北东南, 浅海+深远海”布局, 采取部省共建模式, 建设山东威海、浙江舟山、广东珠海和海南三亚四个试验场区, 其中位于三亚的试验场为深海试验场区, 其余为浅海试验场区。

国家海洋综合试验场在我国北、东、南海域布局场区, 覆盖了我国沿海的典型海域, 具备浅海和深海测试条件, 可为不同类型的海洋能发电装置和海洋观测监测仪器设备的海上试验、测试和评估提供专业化服务。

##### 3.1.1 国家海洋综合试验场(威海)

2021 年 9 月, 自然资源部与山东省人民政府签署共建协议, 国家海洋综合试验场(威海)正式揭牌, 成为首个国家级海上试验场([自然资源部, 2021](#))。其位于山东威海的褚岛北部海域, 距离陆地大约 1.4 km, 平均深度为 45 m。特别是在离岸约 700 m 的位置, 有一条东西走向的海沟, 其深度可达 70 m, 为海上试验提供了优越的条件([国家海洋技术中心, 2023a](#))。国家海洋综合试验场(威海)正在推进建设, 包括海上试验平台、背景场监测系统、仪器设备测试系统等([威海市人民政府, 2024](#)), 可为波浪能和潮流能比例样机以及海洋装备开展测试服务。

##### 3.1.2 国家海洋综合试验场(舟山)

2024 年 5 月, 自然资源部和浙江省人民政府共建的国家海洋综合试验场(舟山)揭牌([舟山市人民政府, 2024](#)), 采取“一场两区”模式, 分舟山、象山两个场区建设([浙江省科学技术厅, 2024](#))。舟山场区位于舟山市普陀山岛与葫芦岛之间, 主要面向潮流能发电装置海上测试试验和海洋仪器设备性能检验。中国长江三峡集团公司牵头承担了“舟山潮流能示范工程建设”项目, 其建造的 2 台 450 kW 水平轴潮流能发电机组已在舟山场区海域实现并网运行([国家海洋技术中心, 2023b](#))。象山场区位于宁波市象山县檀头山岛, 聚焦海洋新材料研发试验、海洋高技术装备验证等。

##### 3.1.3 国家海洋综合试验场(珠海)

2022 年 11 月, 自然资源部与广东省人民政府签署共建协议, 标志着国家海洋综合试验场(珠海)正式落户广东([广东省自然资源厅, 2022](#))。2024 年 10 月, 揭牌仪式举行([国家海洋技术中心, 2024](#))。

珠海濒临南海,毗邻港澳,具有显著的地理和海洋资源优势。试验场区可为波浪能发电装置、智能船(艇)、海洋观/监测仪器等提供测试服务,验证原理样机、试验样机等的技术成熟度(国家海洋技术中心,2024)。万山岛海域已成为波浪能技术示范工程的重要基地。国家海洋综合试验场(珠海)正在建设大万山岛兆瓦级波浪能试验场、波浪能海岛独立电力系统示范基地等。

### 3.1.4 国家海洋综合试验场(深海)

2022年8月,自然资源部和海南省人民政府签署协议共建国家海洋综合试验场(深海),致力于打造一个全面、开放的深海测试环境,满足我国在深海装备产业发展、海洋观测监测体系建设、海洋环境保护以及海洋可再生能源利用等方面的重大需求,建成集技术研发、测试试验、成果转化和产品孵化等于一体的公共服务平台(自然资源部,2022)。

## 3.2 斋堂岛海洋能海上试验场

斋堂岛位于山东省青岛市西海岸新区琅琊镇东南海域,距陆地最短距离仅800 m,由中岛、南岛(又称“前岛”)和北岛(又称“后岛”)组成,如图6所示。岛南北长1.6 km,东西宽0.25 km,面积为0.4 km<sup>2</sup>;南岛海拔69 m,北岛海拔27 m,两岛之间由一道狭窄的沙丘连接。岛上常住居民不足300人,主要居住在中岛,老龄化问题突出,渔业和旅游业为岛上居民主要创收方式。

斋堂岛南侧海域波浪能资源较为丰富,分布比较均匀、相对稳定,冬季波能密度大于夏季(刘鑫,2015);潮流能资源也比较丰富,最大流速超过1.5 m/s(史廉博,2014)。中国海洋大学研制的10 kW组合型振荡浮子波浪能发电装置和100 kW潮流能发电装置都曾在此海域试验。

斋堂岛海洋能海上试验场在山东省支持下由崂山实验室建设运行,目前它是专门应用于适合北方海域资源特点的波浪能和潮流能装置比例样机,以及原型样机测试和评价的公共服务平台。它位于斋堂岛南侧海域,水深30~40 m,布局如图7所示。

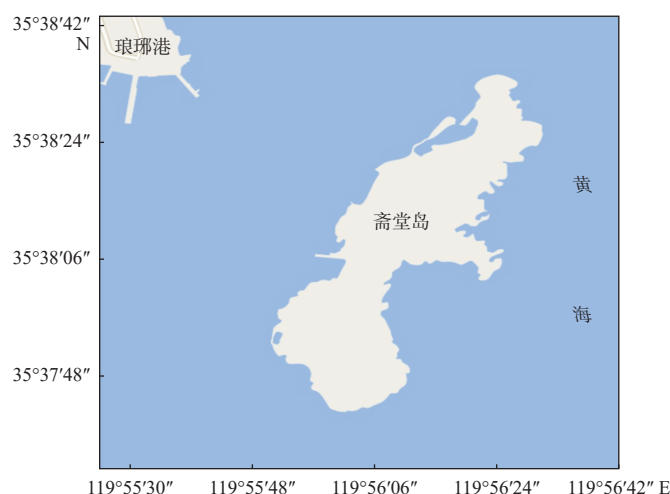


图6 斋堂岛位置

Fig. 6 Location of Zhaitang Island

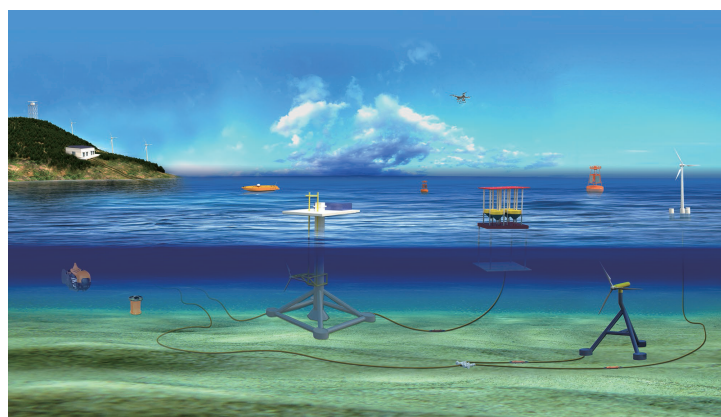


图7 斋堂岛海洋能海上试验场布局示意图

Fig. 7 Layout diagram of marine energy test site in Zhaitang Island

斋堂岛海洋能海上试验场是通过国际合作方式引入 EMEC 先进设计理念而研建完成的, 铺设的海缆连接海上多功能测试平台和岛上控制室, 配备了海上观测浮标、X-波段雷达、气象仪、无人船和视频监控系统等设备, 建设了 1 个波浪能装置测试泊位、1 个潮流能装置测试泊位以及海洋水文气象观测系统, 具备波浪能和潮流能装置海上测试能力, 正在开展试运行, 探索构建海洋能装置测试评价服务与准入认证体系, 示范海岛绿色供能与可持续发展。斋堂岛海洋能海上试验场为波浪能和潮流能装置可靠性及技术成熟度提供国际化、规范化的验证平台, 同时为海岛提供了绿色能源和就业机会, 为我国海岛的能源供给和可持续发展提供方案。

## 4 国内外海洋能海上试验场建设运行情况对我国的启示

英国在 20 年前建成了 EMEC, 对英国乃至全球海洋能技术的进步起到了举足轻重的作用。它已经成为波浪能和潮流能技术测试和评价领域的权威, 牵头起草了多项国际标准。美国、法国等海洋强国也布局了多个海洋能试验场。日韩等邻国近年加紧追赶, 日本内阁于 2018 年颁布了促进海洋能发电装置布设海域利用的法案([内閣府総合海洋政策推進事務局, 2018](#)), 从法律上对海域利用予以规范。我国对于海洋能试验海域探索较早, 多个波浪能和潮流能装置成功示范运行, 但目前我国还没有一个设施完备、功能齐全、团队专业的海洋能海上试验场正式投入使用。

### 4.1 给予建设期试验场多方位支持

海洋能属于战略性新兴领域, 无显著收益预期, 难以吸引社会投资。海洋能海上试验场的建设作为技术走向市场的关键环节不可或缺, 政府应给予政策和资金的引导和支持, 鼓励有资源优势的地方政府主动作为, 建设测试服务公共平台。

试验场所占海域和陆域涉及多方权益, 仅凭建设者协调获取海域和陆域使用权难度大、周期长。当地政府相关部门应从规划设计阶段尽早参与, 发挥统筹优势, 提供专业指导和帮助, 促使各权益方尽快达成利益一致, 加快试验场建设步伐。

### 4.2 依托非营利性机构开展建设和运行

EMEC、FORCE 和 Nagasaki-AMEC 由专业非营利性机构负责管理, PMEC 和 KRISO-WETS 分别由大学和研究所负责。这种模式使海洋能试验场的建设和运行责任主体清楚, 便于组织和管理。

海洋能试验场是提供测试服务的公益平台, 不以营利为目的, 专注于对科技进步和产业发展的促进作用, 所以承担试验场建设和运行的法人单位为非营利性机构有助于其公益属性职能的发挥。鉴于目前海洋能技术的发展现状, 可以探索设立试验场海试基金, 鼓励经费有限但有潜力的研发人员开展海洋能装置海上试验, 推进海洋能技术的成熟和转化。

### 4.3 简化海试许可审批流程

海洋能装置在试验场海域的安装、运行和拆除等作业均需提前获得行政许可。通常来讲, 许可的获取需要按照规定的流程一步步申请, 耗费大量的时间和精力, 大大增加了研发人员的成本, 甚至造成了负担。

欧美国家的试验场中, EMEC 获得了简化的许可流程; FORCE 授权了自主管理的作业许可; PMEC 则获批了预先许可。对于在试验场开展的海上试验, 如果当地政府相关部门允许通过简化的方式申请和获得许可, 将加速海洋能装置的海试进程, 节省研发的时间和资金成本, 提高海洋能装置的研发效率。

#### 4.4 建设运行遵循标准化和国际化

EMEC 是公认的国际上最权威的波浪能和潮流能装置测试认证机构,编制了 10 多个测试指南,其中多个被用作国际电工委员会(IEC)的国际标准草稿。它还牵头成立了国际海洋能测试场联盟,分享建设和运行经验,与国际能源署海洋能系统(IEA-OES)保持着长期交流与合作关系。

国际上多个新建的海洋能试验场借鉴 EMEC 的模式开展建设和运行,例如 P MEC、KRISO-WETS 等;我国的斋堂岛试验场通过与 EMEC 合作共同完成了试验场的建设方案。以国际化标准建设和运行试验场是促使试验场基础设施国际通用、测试结果国际互认的有效途径,也是促进我国海洋能技术进步的有力支撑。

#### 4.5 促进当地经济社会发展

从国际同行经验来看,成功建设并运行的海洋能试验场无一不显著推动了当地产业链的发展,激发了区域经济活力,同时有效提高了就业率。

海洋能试验场作为链接技术研发和转化的关键环节,对海洋能产业链的完善和强化起到了催化作用。海洋能装置的海上试验涉及加工制造、海上施工、运输服务及运行维护等环节,这些环节将有力推动当地产业发展,创造众多就业岗位,进而带动经济增长,提高就业率,为当地经济社会发展注入新活力。尤其对于位于偏远海岛周边海域的试验场,其不仅为海岛提供绿色能源,可以有效缓解能源短缺问题,还能汇聚人气,为海岛注入新的活力与生机。

### 5 结 语

全球海洋能开发潜力巨大,是典型的战略性资源。目前环境友好的波浪能和潮流能技术已经走出实验室,处于产业化前阶段,需要通过海上试验检验技术成熟度和可靠性。海洋能海上试验场为海上试验提供公共服务平台,打通产业化前最后一公里。

英国在海洋能装置海上试验领域遥遥领先,美国、加拿大等海洋强国也在加强海上试验的基础设施建设,日本、韩国等亚洲国家后起发力、从立法方面即规范试验海域使用。我国的国家海洋综合试验场经过多年筹备已经正式开展建设,海洋能装置测试是它的重要业务内容;斋堂岛海洋能海上试验场已经按照国际标准完成了一期建设,初步具备波浪能和潮流能装置测试能力。

我国应在规划、法律等方面加大对海洋能技术实证的支持,鼓励具备资源优势的地方政府在试验场建设和运行方面给予资金和政策支持,为试验场海域、陆域使用审批、海试许可办理等方面提供便利,促进海洋能技术进步和转化。同时,试验场在建设运行中,应持续开展环境监测,确保海洋生态环境健康稳定。

#### 参考文献 (References):

- 崔琳,李蒙,白旭,2021.海洋可再生能源技术现状与发展趋势[J].船舶工程,43(10):22-33. CUI L, LI M, BAI X, 2021. Current status and future trends of ocean renewable energy technologies[J]. Ship Engineering, 43(10): 22-33.
- 广东省自然资源厅,2022.自然资源部与广东省政府签署协议共同打造国家海洋综合试验场(珠海)[EB/OL].(2022-11-24)[2024-08-20]. [https://nr.gd.gov.cn/gkmlpt/content/4/4051/post\\_4051972.html#3093](https://nr.gd.gov.cn/gkmlpt/content/4/4051/post_4051972.html#3093).
- Department of Natural Resources of Guangdong Province, 2022. Ministry of Natural Resources signed an agreement with Guangdong Provincial Government to jointly build the national ocean comprehensive test site (Zhuhai)[EB/OL].(2022-11-24)[2024-08-20]. [https://nr.gd.gov.cn/gkmlpt/content/4/4051/post\\_4051972.html#3093](https://nr.gd.gov.cn/gkmlpt/content/4/4051/post_4051972.html#3093).
- 国家海洋技术中心,2023a.“海洋科技成果巡礼”专栏——国家海洋综合试验场[EB/OL].(2023-05-25)[2024-08-20]. <http://www.nmct.cn/>

- <http://www.notcsoa.org.cn/cn/index/project/show/3958>. National Ocean Technology Center, 2023a. Special column for ocean science and technology achievements: National Ocean Comprehensive Test Site[EB/OL]. (2023-05-25)[2024-08-20]. <http://www.notcsoa.org.cn/cn/index/project/show/3958>.
- 国家海洋技术中心, 2023b. 中心在舟山海域完成潮流能发电机组现场测试[EB/OL]. (2023-09-15)[2024-08-20]. <http://www.notcsoa.org.cn/cn/index/show/4089>. National Ocean Technology Center, 2023b. NOTC completed on-site testing of tidal current energy generator units in the sea area of Zhoushan[EB/OL]. (2023-09-15)[2024-08-20]. <http://www.notcsoa.org.cn/cn/index/show/4089>.
- 国家海洋技术中心, 2024. 国家海洋综合试验场(珠海)揭牌[EB/OL]. (2024-11-05)[2024-11-05]. <http://notcsoa.org.cn/cn/index/show/4332>. National Ocean Technology Center, 2024. National Ocean Comprehensive Test Site (Zhuhai) was officially unveiled[EB/OL]. (2024-11-05)[2024-11-05]. <http://notcsoa.org.cn/cn/index/show/4332>.
- 李伟, 史宏达, 刘臻, 等, 2024. 中国海洋能研究现状及未来发展建议[J]. 太阳能, (3): 79-88. LI W, SHI H D, LIU Z, et al, 2024. Research progress of ocean energy in China and its development proposals[J]. Solar Energy, (3): 79-88.
- 李晓超, 乔超亚, 王晓丽, 等, 2021. 中国潮汐能概述[J]. 河南水利与南水北调, 50(10): 81-83. LI X C, QIAO C Y, WANG X L, et al, 2021. An overview of tidal power in China[J]. Henan Water Resources and South-to-North Water Diversion, 50(10): 81-83.
- 刘伟民, 麻常雷, 陈凤云, 等, 2018. 海洋可再生能源开发利用与技术进展[J]. 海洋科学进展, 36(1): 1-18. LIU W M, MA C L, CHEN F Y, et al, 2018. Exploitation and technical progress of marine renewable energy[J]. Advances in Marine Science, 36(1): 1-18.
- 刘伟民, 陈凤云, 葛云征, 等, 2022. 海洋温差能系统效率研究综述[J]. 海岸工程, 41(4): 441-450. LIU W M, CHEN F Y, GE Y Z, et al, 2022. Review of the ocean thermal energy conversion system efficiency research[J]. Coastal Engineering, 41(4): 441-450.
- 刘鑫, 2015. 波流耦合作用下的青岛海域海洋能资源评估[D]. 青岛: 中国海洋大学. LIU X, 2015. Numerical estimates on ocean energy resources of Qingdao under wave-current interaction[D]. Qingdao: Ocean University of China.
- 刘延俊, 武爽, 王登帅, 等, 2021. 海洋波浪能发电装置研究进展[J]. 山东大学学报(工学版), 51(5): 63-75. LIU Y J, WU S, WANG D S, et al, 2021. Research progress of ocean wave energy converters[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 51(5): 63-75.
- 路晴, 史宏达, 2022. 中国波浪能技术进展与未来趋势[J]. 海岸工程, 41(1): 1-12. LU Q, SHI H D, 2022. Progress and future trend of wave energy technology in China[J]. Coastal Engineering, 41(1): 1-12.
- 罗续业, 夏登文, 2015. 中国海洋能近海重点区资源特性与评估分析[M]. 北京: 海洋出版社: 29-39. LUO X Y, XIA D W, 2015. Resource characteristics and evaluation analysis of offshore key areas for marine energy in China[M]. Beijing: China Ocean Press: 29-39.
- 麻常雷, 2022. 海洋能开发利用技术进展. 2020[M]. 北京: 海洋出版社: 25-27. MA C L, 2022. Progress of ocean energy development and utilization technology in 2020[M]. Beijing: China Ocean Press: 25-27.
- 麻常雷, 历鑫, 张彩琳, 2024. 中国海洋能产业发展分析[J]. 油气与新能源, 36(1): 16-21. MA C L, LI X, ZHANG C L, 2024. An examination of the growth of the ocean energy sector in China[J]. Petroleum and New Energy, 36(1): 16-21.
- 彭伟, 王芳, 王冀, 2022. 我国海洋可再生能源开发利用现状及发展建议[J]. 海洋经济, 12(3): 70-75. PENG W, WANG F, WANG J, 2022. Status and development suggestion for the development and utilization of ocean energy in China[J]. Marine Economy, 12(3): 70-75.
- 沈旭伟, 张洋, 王晓惠, 2024. 江苏沿海波浪能资源评估研究[J]. 海岸工程, 43(3): 182-193. SHEN X W, ZHANG Y, WANG X H, 2024. Assessment of wave energy resources in Jiangsu coastal area[J]. Coastal Engineering, 43(3): 182-193.
- 史宏达, 王传崑, 2017. 我国海洋能技术的进展与展望[J]. 太阳能, (3): 30-37. SHI H D, WANG C K, 2017. Progress and prospect of ocean energy technology in China[J]. Solar Energy, (3): 30-37.
- 史宏达, 刘臻, 2021. 海洋波浪能研究进展及发展趋势[J]. 科技导报, 39(6): 22-28. SHI H D, LIU Z, 2021. Research status and development tendency of ocean wave energy[J]. Science & Technology Review, 39(6): 22-28.
- 史廉博, 2014. 基于FVCOM的山东斋堂岛潮流试验场的潮流数值模拟[D]. 天津: 天津大学. SHI L B, 2014. The analysis

- of tidal current energy of the test field in Zhaitang Island of Shandong Province based on FVCOM[D]. Tianjin: Tianjin University.
- 孙科, 陈天宇, 2024. 海洋潮流能发电技术研究现状与趋势[J]. 船舶工程, 46(1): 16-27. SUN K, CHEN T Y, 2024. Current status and trends of research on ocean tidal energy generation technology[J]. Ship Engineering, 46(1): 16-27.
- 王世明, 李淼淼, 李泽宇, 等, 2020. 国际潮流能利用技术发展综述[J]. 船舶工程, 42(增1): 23-28, 487. WANG S M, LI M M, LI Z Y, et al, 2020. Development overview of international tidal energy utilization technology[J]. Ship Engineering, 42(Suppl.1): 23-28, 487.
- 王项南, 麻常雷, 2021. “双碳”目标下海洋可再生能源资源开发利用[J]. 华电技术, 43(11): 91-96. WANG X N, MA C L, 2021. Utilization of marine renewable energy resources under the goal of carbon peaking and carbon neutrality[J]. Huadian Technology, 43(11): 91-96.
- 威海市人民政府, 2024. 环翠区: 浅海试验区崛起“新硅谷”[EB/OL]. (2024-04-11)[2024-08-20]. [https://www.weihai.gov.cn/art/2024/4/11/art\\_58817\\_4476646.html](https://www.weihai.gov.cn/art/2024/4/11/art_58817_4476646.html). Weihai Municipal People's Government, 2024. Huancui district: the emerging “New Silicon Valley” at the shallow sea test area[EB/OL]. (2024-04-11)[2024-08-20]. [https://www.weihai.gov.cn/art/2024/4/11/art\\_58817\\_4476646.html](https://www.weihai.gov.cn/art/2024/4/11/art_58817_4476646.html).
- 央视新闻, 2023. “南鲲”试运行!每天可发电2.4万度的它有这些“超能力”[EB/OL]. (2023-06-15)[2024-08-20]. [http://www.news.cn/tech/2023-06/15/c\\_1129695161.htm](http://www.news.cn/tech/2023-06/15/c_1129695161.htm). CCTV News, 2023. “Nankun” is operating for trial and it can generate 24 000 kWh per day with “Superpowers”[EB/OL]. (2023-06-15)[2024-08-20]. [http://www.news.cn/tech/2023-06/15/c\\_1129695161.htm](http://www.news.cn/tech/2023-06/15/c_1129695161.htm).
- 张继生, 唐子豪, 钱方舒, 2019. 海洋温差能发展现状与关键科技问题研究综述[J]. 河海大学学报(自然科学版), 47(1): 55-64. ZHANG J S, TANG Z H, QIAN F S, 2019. A review of advances and key technologies in ocean thermal energy conversion[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 47(1): 55-64.
- 张继生, 汪国辉, 林祥峰, 2021. 潮流能开发利用现状与关键科技问题研究综述[J]. 河海大学学报(自然科学版), 49(3): 220-232. ZHANG J S, WANG G H, LIN X F, 2021. A review of recent development and key technology problems in utilization of tidal stream energy[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 49(3): 220-232.
- 张亚群, 盛松伟, 游亚戈, 等, 2019. 波浪能发电技术应用发展现状及方向[J]. 新能源进展, 7(4): 374-378. ZHANG Y Q, SHENG S W, YOU Y G, et al, 2019. Development status and application direction of wave energy generation technology[J]. Advances in New and Renewable Energy, 7(4): 374-378.
- 浙江省科学技术厅, 2024. 浙江省科学技术厅对省十四届人大二次会议宁56号建议的答复[EB/OL]. (2024-07-16)[2024-08-20]. [https://kjt.zj.gov.cn/art/2024/7/16/art\\_1229225191\\_72832.html](https://kjt.zj.gov.cn/art/2024/7/16/art_1229225191_72832.html). Department of Science and Technology of Zhejiang Province, 2024. Response from the Department of Science and Technology of Zhejiang Province to Ningbo No.56 proposal of the Second Session of the 14th Zhejiang Provincial People's Congress[EB/OL]. (2024-07-16)[2024-08-20]. [https://kjt.zj.gov.cn/art/2024/7/16/art\\_1229225191\\_72832.html](https://kjt.zj.gov.cn/art/2024/7/16/art_1229225191_72832.html).
- 舟山市人民政府, 2024. 舟山市召开东海实验室2周年新闻发布会[EB/OL]. (2024-05-23)[2024-08-20]. [https://www.zhoushan.gov.cn/art/2024/5/23/art\\_1229810549\\_59154326.html](https://www.zhoushan.gov.cn/art/2024/5/23/art_1229810549_59154326.html). Zhoushan Municipal People's Government, 2024. Zhoushan held a press conference to celebrate the 2nd anniversary of Donghai Laboratory[EB/OL]. (2024-05-23)[2024-08-20]. [https://www.zhoushan.gov.cn/art/2024/5/23/art\\_1229810549\\_59154326.html](https://www.zhoushan.gov.cn/art/2024/5/23/art_1229810549_59154326.html).
- 自然资源部, 2021. 自然资源部与山东省共建国家海洋综合试验场(威海)[EB/OL]. (2021-09-28)[2024-08-20]. [https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202109/t20210928\\_2682813.html](https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202109/t20210928_2682813.html). Ministry of Natural Resources, 2021. Ministry of Natural Resources and Shandong Provincial Government will jointly build the national ocean comprehensive test site (Weihai)[EB/OL]. (2021-09-28)[2024-08-20]. [https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202109/t20210928\\_2682813.html](https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202109/t20210928_2682813.html).
- 自然资源部, 2022. 自然资源部与海南省人民政府签署协议共建国家海洋综合试验场(深海)[EB/OL]. (2022-08-23)[2024-08-20]. [https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202208/t20220823\\_2757250.html](https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202208/t20220823_2757250.html). Ministry of Natural Resources, 2022. Ministry of Natural Resources signed an agreement with Hainan Provincial People's Government to jointly build the national ocean comprehensive test site (deep sea)[EB/OL]. (2022-08-23)[2024-08-20]. [https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202208/t20220823\\_2757250.html](https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202208/t20220823_2757250.html).
- BORTHWICK A, 2016. Marine renewable energy seascape[J]. Engineering, 2(1): 69-78.

- CORPOWER OCEAN, 2024. Wave energy technology[EB/OL]. (2024-12-05)[2024-12-05]. <https://corpowerocean.com/wave-energy-technology/>.
- EMBER, 2023. Global electricity review 2023[R/OL]. (2023-04-12)[2024-12-05]. <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2023/>.
- EMEC, 2023. 20 years of EMEC instigates UK wide economic impact[EB/OL]. (2023-05-09)[2024-08-20]. <https://www.emec.org.uk/20-years-of-emec-instigates-uk-wide-economic-impact/>.
- EMEC, 2024a. Facilities[EB/OL]. (2024-08-20)[2024-08-20]. <https://www.emec.org.uk/facilities/>.
- EMEC, 2024b. Our history[EB/OL]. (2024-08-20)[2024-08-20]. <https://www.emec.org.uk/about-us/emec-history/>.
- EMEC, 2024c. Press release: EMEC supporting KRISO wave energy test site in Korea[EB/OL]. (2019-10-02)[2024-08-20]. <https://www.emec.org.uk/press-release-emec-supporting-kriso-wave-energy-test-site-in-korea/>.
- ENERGY, 2023. EMEC at 20: Pioneering a clean energy future[EB/OL]. (2023-11-24)[2024-08-20]. <https://www.innovationnewsnetwork.com/emec-at-20-pioneering-a-clean-energy-future/40409/>.
- FALCÃO A, 2010. Wave energy utilization: a review of the technologies[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3): 899-918.
- FORCE, 2024. Capabilities[EB/OL]. (2024-08-20)[2024-08-20]. <https://fundyforce.ca/capabilities>.
- IEA, 2023. Net zero roadmap: a global pathway to keep the 1.5 °C goal in reach(2023 update)[R/OL]. (2023-09-26)[2024-08-20]. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-1-5-0c-goal-in-reach>.
- IEA-OES, 2007. Ocean energy glossary[R/OL]. (2007-12-01)[2024-12-04]. <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-reports/guidelines/document/ocean-energy-glossary-2007-/>.
- IEA-OES, 2017. An international vision for ocean energy 2017[R/OL]. (2017-03-08)[2024-08-20]. <https://www.ocean-energy-systems.org/news/oes-vision-for-international-deployment-of-ocean-energy/>.
- IEA-OES, 2018. Annual report: an overview of ocean energy activities in 2017[R/OL]. (2018-05-15)[2024-08-20]. <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-annual-reports/document/oes-annual-report-2017/>.
- IEA-OES, 2023a. Ocean energy and net zero: an international roadmap to develop 300 GW of ocean energy by 2050 [R/OL]. (2023-11-23)[2024-12-05]. <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-documents/market-policy-/document/ocean-energy-and-net-zero-an-international-roadmap-to-develop-300gw-of-ocean-energy-by-2050/>.
- IEA-OES, 2023b. Tidal energy developments highlights[R/OL]. (2023-05-15)[2024-12-05]. <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-brochures/document/tidal-current-energy-developments-highlights-2023/>.
- IEA-OES, 2023c. Wave energy developments highlights[R/OL]. (2023-06-05)[2024-12-05]. <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-brochures/document/wave-energy-developments-highlights-2023/>.
- IEA-OES, 2024. Annual report: an overview of ocean energy activities in 2023[R/OL]. (2024-02-29)[2024-08-20]. <https://www.ocean-energy-systems.org/publications/oes-annual-reports/document/oes-annual-report-2023/>.
- INTERNATIONAL WATERS, 2024. KRISO-WETS[EB/OL]. (2024-08-20)[2024-08-20]. <https://www.internationalwaters.info/kriso-wets-korea-research-institute-of-ships-ocean-engineering-wave-energy-test-site>.
- IPCC, 2023. AR6 synthesis report: climate change 2023[R/OL]. (2023-03-20)[2024-08-20]. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- IRENA, 2020a. Fostering a blue economy: offshore renewable energy[R/OL]. (2020-12-01)[2024-12-05]. <https://www.irena.org/Publications/2020/Dec/Fostering-a-blue-economy-Offshore-renewable-energy>.
- IRENA, 2020b. Innovation outlook: ocean energy technologies[R/OL]. (2020-12-01)[2024-12-05]. <https://www.irena.org/Publications/2020/Dec/Innovation-Outlook-Ocean-Energy-Technologies>.
- IRENA, 2021. Offshore renewables: an action agenda for deployment[R/OL]. (2021-07-23)[2024-08-20]. <https://www.irena.org/Publications/2021/Jul/Offshore-Renewables-An-Action-Agenda-for-Deployment>.
- IRENA, 2023. World energy transitions outlook 2023: 1.5 °C pathway[R/OL]. (2023-06-22)[2024-08-20]. <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>.
- IRENA, OEE, 2023. Scaling up investments in ocean energy technologies[J]. (2023-03-27)[2024-12-05]. <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Scaling-up-investments-in-ocean-energy-technologies>.

- IYER A, COUCH S, HARRISON G, et al, 2013. Variability and phasing of tidal current energy around the United Kingdom[J]. *Renewable Energy*, 51: 343-357.
- JIN S, GREAVES D, 2021. Wave energy in the UK: Status review and future perspectives[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143: 110932.
- JOHNSTON M, 2016. Tidal series: the economics of tidal energy development in Nova Scotia[EB/OL]. (2016-01-29)[2024-08-20]. <https://theath.ca/opinions/the-economics-of-tidal-energy-development-in-nova-scotia/>.
- KHOJASTEH D, SHAMSIPOUR A, HUANG L, et al, 2023. A large-scale review of wave and tidal energy research over the last 20 years[J]. *Ocean Engineering*, 282: 114995.
- LETCHER M, 2022. Comprehensive renewable energy[M]. 2<sup>nd</sup> ed. Amsterdam: Elsevier: 80-103, 123-127.
- LI G, ZHU W, 2023. Tidal current energy harvesting technologies: a review of current status and life cycle assessment[J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 179: 113269.
- LIN S, WANG Z, WANG L, et al, 2024. Salinity gradient energy is not a competitive source of renewable energy[J]. *Joule*, 8(2): 334-343.
- LIU Y, LI Y, HE F, et al, 2017. Comparison study of tidal stream and wave energy technology development between China and some western countries[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76: 701-716.
- LIU H W, ZHANG P P, GU Y J, et al, 2022. Dynamics analysis of the power train of 650 kW horizontal-axis tidal current turbine[J]. *Renewable Energy*, 194: 51-67.
- MELIKOGLU M, 2018. Current status and future of ocean energy sources: a global review[J]. *Ocean Engineering*, 148: 563-573.
- NEIL S, ANGELOUDIS A, ROBINS P, et al, 2018. Tidal range energy resource and optimization: past perspectives and future challenges[J]. *Renewable Energy*, 127: 763-778.
- OES-ENVIRONMENTAL, 2022. Swansea Bay Tidal Lagoon (SBTL)[EB/OL]. (2022-09-23)[2024-08-20]. <https://tethys.pnnl.gov/project-sites/swansea-bay-tidal-lagoon-sbtl>.
- PACWAVE, 2024. Latest news[EB/OL]. (2024-07-11)[2024-08-20]. <https://pacwaveenergy.org/>.
- PMEC, 2024. Purpose & Organization[EB/OL]. [2024-08-20]. <https://www.pmec.us/purpose-organization>.
- REHMAN S, ALHEMS L M, ALAM M M, et al, 2023. A review of energy extraction from wind and ocean: technologies, merits, efficiencies, and cost[J]. *Ocean Engineering*, 267: 113192.
- SAE, 2024. MEYGEN[EB/OL]. (2024-11-24)[2024-12-05]. <https://saerenewables.com/tidal-stream/meygen/>.
- SHAO Z, GAO H, LIANG B, et al, 2022. Potential, trend and economic assessments of global wave power[J]. *Renewable Energy*, 195: 1087-1102.
- SI Y, LIU X, WANG T, et al, 2022. State-of-the-art review and future trends of development of tidal current energy converters in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167: 112720.
- WANG P Z, WANG L, ZHANG Q, et al, 2023. Performance and reliability study of China's first megawatt-scale horizontal-axis tidal turbine[J]. *Applied Ocean Research*, 138: 103648.
- 九電みらいエナジー株式会社, 2022. 国内初の商用スケール大型潮流発電による実証試験[EB/OL]. (2022-03-14)[2024-08-20]. [https://www.q-mirai.co.jp/files/optionallink/00000331\\_file.pdf?1648663734](https://www.q-mirai.co.jp/files/optionallink/00000331_file.pdf?1648663734).
- 九電みらいエナジー株式会社, 2024. 九電みらいエナジーの特長[EB/OL]. (2024-08-20)[2024-08-20]. <https://www.q-mirai.co.jp/renewables/service.html>.
- 内閣府総合海洋政策本部事務局, 2014. 海洋再生可能エネルギー実証フィールドの選定結果[EB/OL]. (2014-07-15)[2024-08-20]. [https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/h26\\_testfield.html](https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/h26_testfield.html).
- 内閣府総合海洋政策推進事務局, 2018. “海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律案”を閣議決定(平成30年3月)[EB/OL]. (2018-03-09)[2024-08-20]. <https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/yojo.html>.
- 長崎海洋産業クラスター形成推進協議会, 2024. 長崎県実証フィールド[EB/OL]. (2024-08-20)[2024-08-20]. <http://namicpa.sakura.ne.jp/ja/>.

## Progress of Marine Energy Test Sites and Its Inspiration

SUN Huihui<sup>1</sup>, DENG Qian<sup>1</sup>, LI Jian<sup>1</sup>, SHI Hongda<sup>2</sup>

(1. *Laoshan Laboratory*, Qingdao 266237, China;

2. *College of Engineering, Ocean University of China*, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Technology readiness level and reliability of marine energy need to be validated through at-sea experiments. Marine energy test site (METS) would be a professional public testing platform for at-sea experiments. In this paper, the development of marine energy technologies is introduced. We can know that tidal current energy and wave energy technologies are at the stage of pre-commercialization, which need to be tested and validated at sea. Internationally representative METSs in UK, US, Japan and so on. are introduced. Their progress and achievements are analyzed. Then construction progress of METSs of China is summarized, and their functions as well. Through analyzing progress of METSs in China and other countries, we can get some inspiration, which is about support from policies and funds, body for construction and operation, streamlined procedure for permit, and etc.. It can be concluded that we should give more support to METSs of China, which are constructed and operated normatively and internationally. It will help to break down the barriers at the stage of pre-commercialization of tidal current energy and wave energy devices. Technology development and transfer in marine energy will accordingly be promoted.

**Keywords:** marine energy; test site; public service platform

**Received:** September 12, 2024      **Online:** April 10, 2025