

# 海洋波浪能发电装置的发展与应用

谭丽容<sup>1</sup> 袁子怡<sup>2</sup> 岳扬<sup>3</sup> 刘文昊<sup>4</sup>  
西安石油大学 陕西西安 710300

**摘要:** 海洋波浪能作为清洁可再生能源,对缓解能源危机与应对气候变化具有重要战略价值。波浪能发电主要为振荡体式、振荡水柱式及聚波越浪式三种技术路径以实现能量捕获与转换。研究依据波浪能发电的技术、装置分类及其原理,结合国内外波浪能发电装置工程实例,发现现有技术仍面临能量转换效率低、深海环境适应性差及成本高昂等瓶颈,提出以下优化建议:未来发展需通过材料创新、智能控制优化及多能互补系统开发,助力波浪能发电在碳达峰与碳中和进程中发挥关键作用。

**关键词:** 波浪能发电装置;技术分类;可再生能源;工程应用

## 引言

随着社会发展,国际能源短缺危机以及全球气候问题日益突出<sup>[1]</sup>,我国提出应该加快发展方式绿色转型、积极稳妥推进碳达峰碳中和。在全球能源转型加速的背景下,通过构建多维度政策体系,我国将清洁能源发展纳入国家战略框架,海洋可再生能源作为全球能源体系的重要构成,其开发潜力备受关注。波浪能是海洋能的核心能源之一,兼具能量密度高、环境负荷低的双重特性,具备可持续开发的技术基础,更在海洋经济与碳中和战略中展现出广阔的应用前景。研究波浪能发电对解决能源危机、岛屿用电及通讯、海洋环境污染防治、海洋监测等领域的电力供应问题意义重大,可有力促进中国海洋可持续发展及权益维护,对中国实施“海洋强国”和“双碳”战略目标具有重要推动作用<sup>[2]</sup>。

## 一、海洋波浪能发电装置

### (一) 波浪能发电技术

波浪能发电是将海洋波浪的动能和势能通过特定机械结构转换为电能,通过波浪能量捕获、能量传递与转换和电能输出三个环节展开。一级转换为通过捕能装置捕获波浪能,转化为机械能;二级转换为优化机械能的波动性,转换为稳定可控的中间能量形式;三级转换为通过发电设备将中间能量转化为电能,经整流、稳压后并入电网或储能系统。

## (二) 波浪能发电装置分类

波浪能发电技术多样,目前主要分类方式有:工作原理(振荡体式、振荡水柱式、聚波越浪式)、安装形式(固定式、漂浮式)、安装位置(岸式、近岸式、离岸式)、波能吸收方式(衰减式、点吸收式、截至式)和能量传递方式(气动式、液压式、机械式、磁式)。研究将按照最常见的“工作原理”分类进行分析。

### 二、各类波浪能发电装置原理

#### (一) 振荡体式发电原理

振荡体式波浪能发电装置通过浮体、摆体或筏式等捕能结构直接与波浪相互作用,将波浪的动能和势能转化为机能,再通过能量传递系统驱动发电机发电。基于简单的装置结构,该类装置具有结构灵活、造价成本低、适应性强和可扩展性好的特点。振荡体式装置一般分为:点吸收式,单个浮子垂荡运动驱动液压系统或直线发电机;结构简单,适合中小功率场景<sup>[3]</sup>;摆式,铰接摆体受波浪横向力摆动,带动液压缸或旋转发电机;抗极端海况能力强<sup>[4]</sup>;阀式,多段筏体利用波浪相位差产生相对运动,驱动铰接点液压系统;适合大功率离岸应用<sup>[5]</sup>。

#### (二) 振荡水柱发电原理

振荡水柱式(OWC)发电装置通过气室内水柱的垂直振荡驱动空气透平发电。装置下部开口与海水相连,形成封闭气室,当波浪进入时,气室内的水柱随波浪做上下振荡运动。气室顶部的空气透平利用往复气流驱动旋转,透平设计为自整流式,确保单向驱动发电机转轴旋转,将空气动能转换为机械能。透平转轴连接发电机,通过电磁感应原理将机械能转换为电能,最终通过电缆

**课题项目:** 西安石油大学大学生创新创业训练计划项目(S202310705072)

输送至电网或储能系统。该装置运动构件少，且核心部件位于水面以上或气室内部，不直接接触海水，减少了海水腐蚀和机械磨损问题，维护成本低，适合长期在恶劣海洋环境中运行。可设计为固定式或漂浮式，适应不同水深和海况条件，尤其适合波浪能资源丰富但地形复杂的区域。气室结构对波浪冲击有缓冲作用，相比其他类型装置，在强风暴中更不易损坏。

### （三）聚波越浪式发电原理

聚波越浪式装置不同于前面两类，该类装置通过人工聚波效应将分散的波浪能量集中，利用水位差驱动水轮机发电。波浪在收缩波道或斜坡地形聚集，波高显著提高，然后翻阅堤坝进入高位蓄水池，形成与海面的水位差，蓄水池内的水通过泄水孔驱动低水头水轮机，带动发电机输出电能。

越浪式装置一级转换没有活动部件，整体稳定性高，可靠性好，对极端海况的适应能力较强。该装置可以与堤岸结构集成为一体，节省了建造基础的费用，在经济

上具有很大可行性。但是成本高，对地形有要求，且在小波浪的条件下效率较低。

### 三、国内外波浪能发电装置工程实例

法国的Girard父子（1799）最早获得了第一个波浪能转换系统的专利，成为波浪能利用的最早获益人。日本的Yoshio Masuda（1940）发明振荡水柱式波浪能发电装置并入航海浮标灯中，这种浮标后续在日本实现了商业化。随着全球能源转型加速，波浪能技术成为海洋可再生能源布局的重点领域，截至2024年，全球波浪能专利数量从2020年的6800件激增增至1.7万件，中国占比39%。在未来，波浪能发电将向规模利用和独立稳定发电方向发展，为边远海和海上设施提供清洁能源。

#### （一）国外发展

在21世纪，振荡体式技术崛起，包括浮子式、摆式及筏式装置。在近年来，技术向多能互补、阵列化及智能化控制发展，图1展示了近年来国外典型波浪能发电装置。

转换方式	工程实例	安装方式	PTO 类型	额定功率	研发机构	投入年份
振荡体式（摆式）	Oyster800	近岸海底固定式	液压系统	800kW	英国 <a href="#">AquamarinePower</a>	2009
振荡体式（点吸收）	OPT Power Buoy	离岸漂浮锚泊	直线发电机	150kW	美国 <a href="#">OceanPowerTechnologies</a>	2005
	<a href="#">Wello Penguin</a>	离岸漂浮式	旋转发电机	500kW	芬兰 <a href="#">WelloOy</a>	2012
	Lean Con	离岸漂浮式	空气透平	4.6MW	丹麦	2015
越浪式	Wave Dragon	离岸漂浮式	低水头水轮机	7MW	丹麦 <a href="#">Nissem Bredning</a>	2003
	SSG	近岸固定式	涡轮发电	350KW	挪威 TAPCHAN	1985
混合系统	CETO6	近岸海底固定式	液压泵+发电机	1MW	澳大利亚 <a href="#">CarnegieCleanEnergy</a>	2015

图1 国外典型装置介绍

#### （二）国内发展

当前，我国波浪能技术研发仍处于产业化前期探索阶段，技术应用主要集中于发电领域，尚未形成成熟的商业化运行模式。在科技部重点研发计划支持下，已在南海、黄海等海域试点实施了多项波浪能转换装置示范工程，涵盖振荡浮子式、摆式及振荡水柱式等多种技术

路线，系统验证不同技术方案在复杂海洋工况下的可靠性与发电效能。如图2所示，整理了近年来国内波浪能发电装置的工程运用。

#### 结论

我国波浪能发电装置在近海浅水区域虽已开展应用，

转换方式	工程实例	安装方式	PTO 类型	额定功率	研发机构	投入年份
振荡体式	鸭式 I 号	漂浮式	液压式	10kW	中科院广州能源研究所	2009
	鸭式 III 号	漂浮式	液压式	100kW	中科院广州能源研究所	2013
	哪吒一号	漂浮式	直驱式	10kW	中科院广州能源研究所	2011
	哪吒二号	漂浮式	直驱式	20kW	中科院广州能源研究所	2013
	鹰式一号	半潜漂浮式	液压+直驱组合	20kW	中科院广州能源研究所	2012
	万山号	半潜漂浮式	液压式	100kW	中科院广州能源研究所	2015
	舟山号	漂浮锚泊式	双液压系统	500kW	中科院广州能源研究所	2020
	山大一号	漂浮式	双定子发电机	120kW	山东大学	2012
	海院一号	漂浮式(可升降)	液压式	5kW	浙江海洋学院	2013
	海灵号	桩柱固定式	液压式	10kW	中国海洋大学	2014
	集大一号	漂浮式	永磁发电机	10kW	集美大学	2014
振荡水柱式	BD102G 型航标灯	固定式	空气透平+发电机	10W	中科院广州能源研究所	2014
	大万山岛电站	岸式固定	威尔斯透平	20kW	中科院广州能源研究所	1996
	汕尾并网电站	岸式固定	空气透平	100kW	中科院广州能源研究所	2005
混合式	先导一号	半潜漂浮式	波浪能+太阳能互补	260kW	中科院广州能源研究所	2018
	澎湖号	半潜漂浮式	波浪能+太阳能互补	120kW	中科院广州能源研究所	2019

图2 国内波浪能发电工程实例

但距离大规模商业化应用仍存在显著差距。技术层面，能量转换设备适配性不足，通用发电机效率偏低，深海环境对材料强度、耐腐蚀性要求严苛，浮式结构设计及锚泊技术滞后。为此，未来可从研发深海浮式平台、耐腐蚀材料及智能控制系统，提升能量转换效率等方面入手。经济层面，发电成本远高于常规能源，制约了商业化发展，应该推动规模化生产，探索多能互补开发模式。工程方面，有复杂海况下设备可靠性不足，材料耐腐蚀性、结构耐久性缺乏系统性解决方案，设计标准与试验体系空白等方面的挑战，未来需加强极端海况可靠性验证，建立全生命周期管理体系。政策方面，行业标准缺失，国家级技术规范与试验认证体系尚未建立，我们亟需指定行业标准与激励政策。完成以上目标，方能推动波浪能发电真正实现从近海示范向深远海规模化应用的跨越，为我国能源结构转型与“双碳”目标实现注入新动能。

### 参考文献

- [1]JEBARAJ S, INIYANS, SUGANTHI L, et al.An optimal electricity allocation model for the effective utilization of energy sources in India with focus on biofuels[J].Management of Environmental Quality, 2008, 19 (4) :480-486.
- [2]施伟勇, 王传崑, 沈家法.中国的海洋能资源及其开发前景展望[J].太阳能学报, 2011, 32 (06) : 913-923.DOI: 10.19912/j.0254-0096.2011.06.025.
- [3]韩冰峰, 褚金奎, 熊叶胜, 等.海洋波浪能发电研究进展[J].电网与清洁能源, 2012, 28 (02) : 61-66.
- [4]张丽珍, 羊晓晟, 王世明, 等.海洋波浪能发电装置的研究现状与发展前景[J].湖北农业科学, 2011, 50 (01) : 161-164.DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2011.01.015.
- [5]李永国, 汪振, 王世明, 等.国外波浪能开发利用技术进展[J].工程研究-跨学科视野中的工程, 2014, 6 (04) : 371-382.