

# 海上新能源发电建设实践与思考

张宗旭

山东国华时代投资发展有限公司 山东 济南 250001

**摘要：**我国海上新能源发电发展迅猛，风电累计装机连续多年全球第一，光伏处于起步阶段。实践中，技术上取得大型化、深远海开发等突破，但也面临设备可靠性、能源传输等瓶颈；环境与社会方面需平衡生态保护与开发、协调利益相关方；经济与政策上受高成本、补贴退坡等挑战。未来需技术创新、环境友好开发、完善政策市场机制、推动产业协同与金融支持，以实现高质量发展。

**关键词：**海上新能源；发电建设；实践与思考

引言：在全球能源转型与“双碳”目标引领下，新能源开发利用成为关键。陆地资源开发渐趋饱和，广袤海洋蕴含着丰富的风能、太阳能、潮汐能、波浪能等新能源，海上新能源发电建设应运而生且前景广阔。它不仅是保障能源安全、推动绿色发展的重要举措，更是培育新质生产力的新增长点。然而，海上新能源发电建设面临诸多复杂挑战。本文深入剖析其建设实践现状，探讨核心挑战，并提出优化路径与对策，助力行业可持续发展。

## 1 海上新能源发电技术与实践现状

### 1.1 主要技术类型与特点

(1) 海上风力发电：固定式风机技术成熟，通过桩基固定于海底，适用于浅海区域，成本相对较低但受水深限制；漂浮式风机借助浮体结构可在深海作业，能利用更丰富风能资源，不过技术复杂度与建设成本较高，目前处于规模化示范阶段。(2) 海上光伏发电：海上光伏多布置在近海滩涂及浅海区域、核电温排水区、盐田盐池、围海养殖区以及海上风电厂区内，组件铺设于水面上的桁架平台，可节省土地资源；漂浮式光伏采用柔性支架与浮体结合，能适应海上波浪环境，但其抗风浪、防腐蚀设计难度大，发电效率易受海水反光影响<sup>[1]</sup>。

(3) 潮汐能与波浪能发电技术：潮汐能利用潮涨潮落的水位差发电，能量稳定可预测，但受地理条件限制，仅适用于潮差大的河口、海湾；波浪能依赖海浪动能转化，资源分布广泛，然而能量密度低、设备受波浪冲击易损坏，技术商业化进程缓慢。(4) 多能互补集成系统：以风光储一体化为例，整合海上风电与光伏发电，搭配储能设备平抑出力波动，提升能源供应稳定性，同时通过智能调度优化能源分配，可降低对电网的冲击，是未来海上能源开发的重要方向。

### 1.2 国内外典型实践案例分析

(1) 国内案例：江苏如东海上风电场是国内较早规模化开发的项目，采用固定式风机，总装机容量超百万千瓦，为长三角地区提供稳定清洁能源；广东阳江海上风电项目结合深水海域特点，试点应用漂浮式风机，推动我国深海风电技术突破。(2) 国际案例：欧洲北海风电集群涵盖英国、德国、丹麦等多国项目，通过联网调度实现资源共享，总装机规模居全球首位；荷兰“海上风电+氢能”项目将风电转化为氢能储存，解决风电间歇性问题，探索新能源综合利用新模式。

### 1.3 技术成熟度与规模化应用瓶颈

(1) 设备可靠性：海上高盐雾、强台风环境易导致设备腐蚀、结构损坏，目前风机、光伏组件的抗腐蚀涂层寿命有限，抗台风设计需进一步优化，增加了设备维护成本与故障风险。(2) 能源传输与并网技术：海底电缆面临敷设难度大、运维成本高的问题，且长期运行易受海洋生物附着、海水压力影响；柔性直流输电技术虽能适应远距离传输，但设备造价高，大规模应用经济性不足。(3) 智能化运维技术：数字孪生技术可实现设备状态实时监测，但模型构建需大量数据支撑，部分偏远海域数据采集难度大；无人机巡检虽能提高效率，但在恶劣天气下作业受限，智能化故障诊断准确率有待提升。

## 2 海上新能源发电建设的核心挑战

### 2.1 技术挑战

(1) 深海环境适应性：随着海上发电向深海推进，漂浮式风机的锚固技术成为关键难题。深海海域水流复杂、海底地质条件多样，传统锚固方式如重力式基础、吸力式基础难以满足稳定性要求，而新型的张力腿平台、半潜式平台锚固系统，不仅设计难度高，还需应对长期海水侵蚀与暗流冲击，目前相关技术仍处于优化阶段，尚未实现大规模成熟应用。(2) 极端天气下的设备稳定性：海上台风、暴雨、强寒潮、海冰等极端天气频

发,对发电设备稳定性构成严峻考验。以风机为例,强台风可能导致叶片断裂、塔筒倾斜,而极端低温会影响电气设备绝缘性能,降低发电效率。尽管现有设备已进行抗风、抗寒设计,但面对突发极端天气,仍存在故障风险,如何进一步提升设备结构强度与应急防护能力,是亟待突破的技术瓶颈。(3)多能互补系统的协同控制技术:多能互补系统整合风电、光伏、储能等多种能源形式以及海上制氢制氨等能源转化,但其协同控制难度较大。不同能源出力特性差异显著,如风电受风速影响波动大,光伏依赖光照变化,需通过精准调度实现能源供需匹配。然而,当前控制系统在数据采集精度、负荷预测准确性、储能充放电策略优化等方面仍有不足,易出现能源浪费或供应短缺问题,难以充分发挥系统整体效益。

## 2.2 环境与社会挑战

(1)海洋生态保护:海上发电项目建设与运营可能对海洋生态造成影响。一方面,风机叶片旋转可能干扰鸟类迁徙路径,导致鸟类碰撞伤亡;另一方面,项目选址若位于渔业资源丰富区域,会占用鱼类栖息地,影响渔业捕捞作业,甚至改变海洋食物链结构。如何在项目开发中兼顾能源生产与生态保护,平衡经济发展与生物多样性维护,成为重要课题。(2)海上施工对海洋环境的短期与长期影响:海上施工过程中,桩基打设、电缆敷设等作业会产生大量悬浮泥沙,导致局部海域水质浑浊,影响浮游生物生存;施工船舶排放的废气、油污、生活污水,也可能造成海洋污染。从长期来看,发电设备长期占用海域,可能改变海洋水流方向与潮汐规律,进而影响海岸地貌与海洋生态系统平衡,相关环境影响的评估与修复技术仍需完善<sup>[2]</sup>。(3)利益相关方协调:海上发电项目涉及渔业、航运、军事等多方面用海需求,易引发利益冲突。例如,风电场建设可能占用传统渔场,导致渔民收入受损;海上电缆敷设区域可能影响船舶航行安全,需划定禁航区;部分海域涉及军事用海,项目开发需避让敏感区域。由于各利益相关方诉求不同,协调难度大,若无法达成共识,将严重延误项目建设进度。

## 2.3 经济与政策挑战

(1)高初始投资与度电成本(LCOE):海上新能源发电建设初始投资高昂,覆盖设备研发、海上施工、海底电缆铺设等环节,风机、储能设备与海底电缆成本占比超60%;叠加海上运维难度大、成本高,致使度电成本显著高于陆上新能源发电,如海上风电度电成本约为陆上的1.5-2倍,高成本制约项目市场竞争力。(2)

补贴退坡后的市场化竞争压力:各国推进新能源补贴退坡,海上新能源发电项目盈利空间收窄,若无法通过技术创新降本增效,部分企业可能亏损退出,影响行业长期稳定;“136号文”发布后,项目资本金回收周期进一步拉长。(3)跨区域政策协同与标准体系缺失:海上发电项目常跨行政区域,涉及多环节审批,但跨区域政策协同机制不完善、地区政策差异大,导致审批繁琐、周期长;行业设备质量、施工规范、环保评估等标准不统一,增加建设难度,引发质量安全隐患,阻碍行业规范化发展。

## 3 海上新能源发电建设优化路径与对策建议

### 3.1 技术创新方向

(1)核心材料国产化:针对高强度海缆、耐腐蚀涂层等关键材料依赖进口的问题,需加大研发投入,建立“产学研用”协同创新机制。鼓励国内企业联合高校、科研机构开展技术攻关,突破海缆用高强度钢丝、耐海水腐蚀陶瓷涂层等核心技术,降低材料进口依赖度。同时,完善材料性能检测体系,制定统一的质量标准,提升国产材料的可靠性与稳定性,从源头降低项目建设成本<sup>[3]</sup>。(2)数字化与智能化升级:推动AI预测维护技术在海上发电设备运维中的应用,通过在风机、光伏组件等设备上安装传感器,实时采集运行数据,利用AI算法分析设备故障风险,实现提前预警与预防性维护,减少停机时间。探索区块链能源交易模式,构建去中心化的海上能源交易平台,实现风电、光伏等新能源的点对点交易,提高能源利用效率与交易透明度,促进新能源市场化流通。(3)漂浮式风电与柔性直流输电技术突破:针对漂浮式风电,重点优化浮体结构与锚固系统,研发轻量化、高强度的浮体材料,提升设备在深海环境中的稳定性;同时,开展多机组协同控制技术研究,实现规模化漂浮式风电场的高效运行。对于柔性直流输电,加大换流阀、控制保护系统等核心设备的研发力度,降低设备造价;推动柔性直流输电与新能源发电的深度融合,提升远距离、大容量能源传输能力。

### 3.2 环境友好型开发模式

(1)生态修复与补偿机制:在项目建设前,结合海域生态特点,规划建设人工鱼礁、海藻床、增殖放流等生态修复工程,为海洋生物提供栖息地,弥补项目建设对渔业资源的影响。安装鸟类监测系统,实时监测鸟类迁徙路径,根据监测数据调整风机运行策略,如在鸟类迁徙高峰期降低风机转速或暂停运行,减少鸟类碰撞风险。建立生态补偿基金,从项目收益中提取一定比例资金,用于海域生态修复与受损渔民的经济补偿,实现能

源开发与生态保护的双赢。(2) 环境影响评估(EIA)的动态优化: 改变传统静态EIA模式, 构建全生命周期动态评估体系。在项目前期, 扩大评估范围, 不仅评估施工期与运营期的环境影响, 还需预测项目退役后的生态恢复情况; 引入大数据、遥感等技术, 实时监测海域水质、海洋生物多样性等指标, 及时发现环境问题并调整项目方案。建立EIA公众参与机制, 邀请渔民、环保组织等利益相关方参与评估过程, 提高评估结果的科学性与公正性<sup>[4]</sup>。

### 3.3 政策与市场机制完善

(1) 差异化电价与绿证交易制度: 针对不同海域、不同技术类型的海上新能源项目, 制定差异化电价政策, 对深海风电、波浪能发电等技术难度大、成本高的项目给予更高电价补贴, 激励企业参与技术创新。完善绿证交易制度, 扩大绿证覆盖范围, 将海上风电、光伏等项目纳入绿证交易体系, 鼓励企业、个人购买绿证, 通过市场机制提升项目收益, 降低补贴依赖。(2) 跨部门协同管理: 建立能源、海洋、环保等部门联动的协同管理机制, 设立专门的海上新能源项目审批窗口, 实现“一站式”审批, 缩短项目审批周期。制定跨部门信息共享平台, 整合海域规划、生态环境、航运安全等数据资源, 为项目选址、建设提供精准数据支持。建立协同监管机制, 开展联合执法检查, 确保项目建设与运营符合环保、安全等要求。(3) 国际合作与技术标准互认: 加强与欧洲、美国、日本等海上新能源技术先进国家的合作, 引进先进技术与管理经验, 同时推动我国自主技术与标准“走出去”。参与国际海上新能源标准制定, 推动中外技术标准互认, 减少国际贸易与项目合作中的技术壁垒。举办国际技术交流研讨会, 搭建产学研合作平台, 促进全球海上新能源技术创新与产业发展。

### 3.4 产业协同与金融支持

(1) 产业链上下游协同: 构建“设备制造—施工建设—运营维护”一体化产业链体系, 鼓励龙头企业发挥引领作用, 整合上下游资源, 建立产业联盟。在设备制造环节, 推动企业与零部件供应商合作, 实现关键零部件的规模化生产, 降低制造成本; 在施工建设环节, 加

强施工企业与设计单位、设备厂商的协同, 优化施工方案, 提高施工效率; 在运营维护环节, 建立专业的运维团队, 开展运维服务外包, 实现运维专业化、规模化, 降低运维成本。同时, 推动产业链企业开展技术创新合作, 共同研发新技术、新产品, 提升产业链整体竞争力<sup>[5]</sup>。(2) 绿色金融工具创新: 推广碳期货交易, 将海上新能源项目产生的碳减排量纳入碳期货市场, 允许企业通过交易碳期货实现收益增值, 吸引更多资本投入海上新能源领域。发行蓝色债券, 专门用于海上新能源项目建设与海洋生态保护, 鼓励金融机构、社保基金、保险资金等长期资本投资蓝色债券, 拓宽项目融资渠道。建立海上新能源项目风险补偿机制, 由政府与金融机构共同出资设立风险补偿基金, 对项目融资提供担保或贴息, 降低金融机构放贷风险, 提高金融机构对海上新能源项目的支持意愿。

### 结束语

海上新能源发电建设作为能源转型的关键方向, 意义重大且潜力无限。尽管在技术、环境、经济与政策等方面面临诸多挑战, 但通过持续的技术创新突破瓶颈, 践行环境友好开发模式, 完善政策市场机制, 加强产业协同与金融支持, 我们定能克服困难。相信在未来, 海上新能源发电将实现规模化、高效化、可持续化发展, 为全球能源供应注入绿色动力, 助力人类社会迈向更加清洁、低碳、美好的明天。

### 参考文献

- [1]王辉.海上光伏新能源项目建设的技术挑战与应对策略[J].新能源科技,2023(06):89-91.
- [2]李阳.浅析海上光伏项目的技术难点与解决方案[J].可再生能源,2023(05):78-80.
- [3]张华.海上光伏新能源项目建设技术研究[J].能源与环境,2023(04):56-58.
- [4]李明,张华.海上风电项目投资回报分析及风险评估[J].可再生能源,2023,41(5):78-79.
- [5]孙悦.海上光伏项目建设的技术问题及对策探讨[J].电力建设,2023(02):38-40.