

Development Status, Challenges and Solutions of Offshore Wind Power Industry—A Case Study on Offshore Wind Power in Hainan

Jian Xu¹ Shengquan Li^{2*} Huabin Hu¹ Yuanhang Chen¹ Jiayi Li¹

1. Powerchina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

2. Hainan Institute, Zhejiang University, Sanya, Hainan, 572024, China

Abstract

Hainan, the largest province in terms of sea area, possesses abundant offshore wind energy resources, particularly in the western and northeastern coastal regions, where wind power density is particularly high. This provides a favorable foundation for the development of the offshore wind power industry. Concurrent with the establishment of the Free Trade Port, the Hainan Provincial Government is proactively promoting the development of a clean energy island, exploring the implementation of a carbon peak and a carbon neutral route through the “14th Five-Year Plan” and other policy measures to significantly boost the large-scale development of offshore wind power. The government plans to build an offshore wind power equipment manufacturing base through technological innovation and industry chain optimization, develop new technologies such as wind power hydrogenation, and enhance industrial competitiveness. However, there are problems such as conflict in the utilization of marine resources, weak industrial chain, and typhoon disasters in the development process. To address these challenges, this paper proposes a series of countermeasure recommendations. These recommendations aim to enhance the wind power industry chain, bolster environmental protection and ecological compensation, and foster the integrated development of offshore wind power and other industries. The ultimate objective of these recommendations is to ensure the sustainable and healthy development of the offshore wind power industry in Hainan Province.

Keywords

Offshore Wind Power; Industry Development; Status, Challenges and Solutions

海上风电产业发展现状、挑战与对策——以我国海南省海上风电为例

徐健¹ 黎圣泉^{2*} 胡华宾¹ 陈远杭¹ 李佳禧¹

1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

2. 浙江大学海南研究院, 中国·海南 三亚 572024

摘要

海南作为海域面积最大的省份,拥有丰富的近海风能资源,尤其在西部和东北部沿海区域风功率密度高,为海上风电产业发展提供了良好基础。恰逢自贸港建设之时,海南省政府积极推动清洁能源岛建设,研究碳达峰、碳中和的实施路线,通过“十四五”规划等政策措施,大力推动海上风电规模化发展。政府计划通过技术创新和产业链优化,建设海上风电装备制造基地,开发风电氢化等新技术,提升产业竞争力。然而,发展过程中存在海洋资源利用冲突、产业链薄弱及台风灾害等问题。为此,本文提出完善风电产业链、强化环境保护与生态补偿、推动海上风电与其他产业融合发展的对策建议,以实现海南省海上风电产业的可持续健康发展。

关键词

海上风电; 产业发展; 现状、挑战与对策

1 引言

海上风电发展源于全球对清洁能源的需求增长,以及

沿海国家和地区丰富的风能资源,旨在减少碳排放、优化能源结构,实现绿色可持续发展。海南作为中国海域面积最大的省份,拥有丰富的近海风能资源,尤其在西部和东北部沿海区域,风功率密度较高,为海上风电产业的发展提供了得天独厚的条件。在自贸港建设背景下,海南省政府积极推动清洁能源岛建设,通过“十四五”规划等政策措施,大力发展海上风电。然而,海洋资源利用冲突、风电产业链薄弱及台风灾害等问题仍制约着产业的发展。本文将简要探讨海南

【作者简介】徐健(1993-),男,中国江苏盐城人,硕士,工程师,从事港口工程研究。

【通讯作者】黎圣泉(1999-),男,中国海南海口人,硕士,从事力学分析研究。

省海上风电产业的现状、面临的挑战，并提出相应的对策建议。

2 风电产业现状分析

2.1 资源及规划情况

海南岛受琼州海峡和亚热带季风性气候的影响，近海风能资源特别丰富。据海南省可再生能源协会统计，近海区域90米高度年平均风速为6.76~7.78m/s之间，年平均风功率密度在343.1~692.1W/m²之间，具备大规模开发利用近海风能资源的条件。此外，根据国家气候中心数据研究，海南省在离岸100公里水深50米的条件下，海上风电技术可开发量达到25.43GW。在海上风电开发规划方面，“十三五”期间，海南规划建设海上风电总装机容量为395万千瓦，包括东方海域70万千瓦、乐东海域165万千瓦、临高海域50万千瓦等。

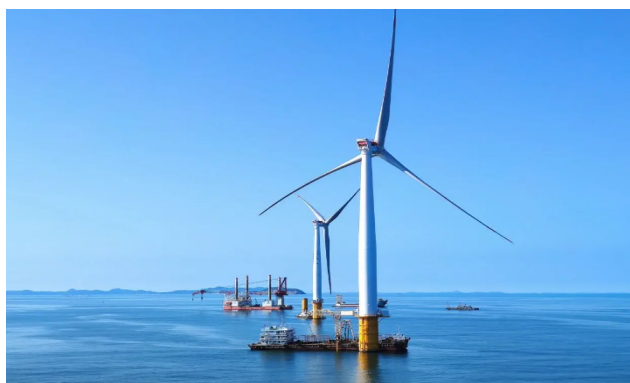


图1 海南省东方市海上风电CZ8场址^[1]

2.2 风电开发利用情况

为了稳步推进海上风能资源利用，《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021—2025年）》优选5处海域作为开发3GW海上风电的区域。在东方西部、文昌东北部、乐东西部、儋州西北部、临高西北部50米以浅海域优选5处海上风电开发示范项目场址，总装机容量300万千瓦，2025年实现投产规模约120万千瓦。中电建集团在万宁开发建设的漂浮式海上风电产业基地项目各项前期工作正在加快推进，未来将引进漂浮式海上风电研发、制造、安装、运维等产业，打造漂浮式海上风电全产业链。下表为海南目前已建设的风电场。

3 海南省海上风电产业的发展机遇及优势

3.1 独特的区位及政策优势

在《中共海南省委关于制定国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中提到，清洁能源岛建设加快推进，以及大幅提高可再生能源比重。其中第35条提出：建设清洁能源岛；全面提高能源资源利用效率，推动形成绿色生产生活方式；实施能源消费总量和碳排放总量及强度双控行动；大幅提高可再生能源比重。而风电产业正是获取清洁能源的重要方式，此举为海上风电的发

展做好铺垫。

海南将大力推进清洁能源岛建设，计划在2025年前实现碳达峰，初步建立一个以清洁、低碳为特点的安全高效能源体系，清洁能源发电装机容量占比达到83%，初见清洁能源岛雏形；到2035年，海南的能源结构将基本完成清洁转型，清洁能源发电占比将提升至89%，清洁能源岛建设将基本完成；并努力在2050年前实现碳中和的目标。

3.2 适宜的海上风电场建造环境

海南省（18° 10′ - 20° 10′ N 和 108° 37′ - 111° 03′ E）是中国最大的热带岛屿（33920 km²），它位于南海北部与中国大陆相隔琼州海峡。海南省发展海上风能和波浪能的潜力巨大^[2]，大部分海上海域的年风电密度达到150W/m²以上，考虑到成本效益，开发海上风能时，距海岸的最大距离为30公里。周晓等人设计了一种基于四阶段框架的海上风电场选址机制，适用于在海南岛周边海域选择合适的风机建设区域^[3]。依据之一是风能潜力的影响。

在风能资源利用方面，当风能密度高于50W/m²时，可以认为此海洋区域可用。由上图可知，仅需要排除4.1%的研究区域，即主要位于海南省北部海域和海南省南部和东部沿海地区的部分地区。剩余研究区域95.9%的可用面积，显示出巨大的风能利用潜力。

3.3 基础设施和产业链初步建设

在《海南省风电装备产业发展规划（2022—2025年）》^[4]中，已经明确“一园两基地”产业布局，“一园”是西部海上风电产业园，“两基地”是儋州洋浦、东方海上风电装备制造基地，提出打造海上风电千亿级产业集群的发展目标。依托风场开发建设，海南先后引进东方明阳、洋浦申能电气、洋浦大唐、儋州远景等四个风电整机制造产业项目，初步形成整机制造产能300万千瓦/年，具备10兆瓦级海上风电机组和超大型海上风电叶片制造能力。

此外，结合深远海风场的规划布局，海南省将积极支持开展海上风电制氢工程示范，探索海上风电技术与海水制氢、新型储能、深远海养殖等产业的融合发展。这一策略旨在丰富海上风电的消纳路径和利用方式，推动海上风电产业的全面发展。

4 海南省海上风电产业发展存在的问题和挑战

4.1 海洋资源利用冲突日益凸显

海南作为海洋大省，是重要的渔业资源区，海上风电项目的建设和运营会占用一定的海域空间，影响渔船的作业区域和渔业资源的分布。因为风机塔架的基础结构采用钢管柱直接打入海底，并在其四周铺设块石或碎石，会破坏桩基及周围的底栖生态环境，使得这些区域的底栖动物失去栖息地。此外，风电场电缆的埋设需要开挖电缆沟也会损害沟内的底栖生物，并且开挖过程中会使海底泥沙再度悬浮，增加海域的含沙量，从而对海洋生物造成一定的影响^[5]。

4.2 风电产业链薄弱，高端制造与技术研发不足

由于海上风电装机容量的持续增长，所以电力外送的

需求大幅上升,但是目前的电网建设速度还未能跟上这一扩展步伐,从而造成大量的电力供应不足或电力浪费的情况。又因为海上风电具有波动性和间歇性的特点,使得电力系统在资源配置及安全稳定性方面面临较大挑战^[6]。海南电网的负荷中心位于北部和南部,但电源大多集中在西部,进而导致西电北送和西电南送通道承受较大压力,电网的整体结构缺乏韧性,难以有效应对突发的负荷变化和外部压力。虽然海南与南方电网的联网工程已完成,海南电网的电力交换能力得到提升,但“电网小、机组大”的问题依旧存在。

4.3 台风灾害频发,防范措施单薄

从海南岛受台风影响下最大风速的空间分布来看,沿海地区的最大风速较大,且50年一遇最大风速值较大,相对应地海南海上最大风速会更大些。故在海南近海建设风电场风机选型时,一定要根据相关参数进行选择,以确保风机运行的安全^[7]。宋丽莉等人^[7]依据热带气旋对风电场影响效果确定了热带气旋的分类标准:效益型热带气旋(最大风力10级以下)、防御型热带气旋(最大风力10~11级)和破坏型热带气旋(最大风力12级以上)。根据热带气旋对风电场影响效果分类标准统计,效益型台风相对较多,但因海上建设条件较为特殊及风速较大,风电场建设时还需以防范为主。

海南作为一个台风频发的地区,为确保风电机组的安全运行,风机选型时不仅需要考虑相关设计标准,还要依据不同热带风暴等级的实际影响来做选择。纵观全年热带风暴的影响,海南西部风电场则在春季(4月和5月)达到最大出力,而东部的风电场通常在冬季(12月和1月)表现出最高的出力。北部风电场在12月时是最大出力的时期,其余时期如2月和7月的出力也较为突出。

5 促进海南省风电产业可持续性发展的对策建议

5.1 推动海上风电规模化发展,依托技术创新实现高质量提升

海南岛周边海域仍有大量空间可以建设大型风电场集群,将加强全岛及周边海域风能资源勘查,科学有序推进海上风电开发,鼓励发展深远海风电。利用自贸港政策优势,吸引国内外企业,鼓励企业进行大规模投资,整合多个风电项目,采用规模经济原理降低设备和施工成本,优化资源配置。

在技术创新方面,利用海上风电制氢,是提高风能利用率的有效途径,既缓解了电网消纳风电的问题,实现泛储能化,又可以实现氢能产业链的无碳化^[8]。因此需要建立支持海上风电制氢核心技术发展的政策体系,氢气的制备、储运、加注等相关标准有待细化,以充分发挥标准对氢能产业发展的支撑作用;从引进、消化、吸收到技术创新,走出有中国特色的氢能经济发展之路,符合自贸港绿色能源转型的需求。

在人才方面,海南要通过利用自贸港政策优势,联手研究院,打造科技创新平台。推进人才激励政策,建立产业发展的长效机制。对海上风电行业引进人才要有配套政策支

持,让人才进得来、用得上、留得住。

5.2 强化环境保护与生态补偿,促进可持续发展

通常来说,海上风电与海域内其他项目的开发利用高度重合,特别是与海洋牧场等项目,可通过融合发展实现相互促进的效果,进而推动生态等多方面的协调发展^[9]。具体而言,海上风电项目不仅能用海洋养殖的收入来弥补建设成本的投入,还能修复风电建设对海洋环境的影响。此外,在风机基础周围建设养殖平台,能够为海洋生物提供栖息地,进而降低海洋牧场的运营成本,提升养殖效益,同时在消耗风电能源方面发挥作用。借助与海南政府的合作和央企平台资源,可以进一步推动地方与企业的共同发展,优化协作机制,为海南清洁能源岛的建设提供保障。

6 总结

本文以海南省为例,系统分析了其海上风电产业的现状、面临的机遇与挑战,以及应对策略建议。海南凭借丰富的近海风能资源和区位优势,制定了“十四五”期间实现120万千瓦风电投产规模的发展目标。然而,风电开发与海洋资源利用冲突、风电产业链薄弱、高端制造与技术研究不足和台风灾害频发等,对产业发展构成挑战。为此,提出加强技术创新与产业链整合、推动风电与氢能、海洋牧场等产业融合发展,以及强化环境保护与生态补偿机制等建议,旨在实现海南省海上风电产业的可持续健康发展,为海南省发展带来更美好的未来。

参考文献

- [1] 海南东方CZ8场址50万千瓦海上风电项目获批.国际新能源网.
<https://newenergy.in-en.com/html/newenergy-2426444.shtml>.
- [2] Y. Lin, S. Dong, Z. Wang, C.G. Soares. Wave energy assessment in the China adjacent seas on the basis of a 20-year SWAN simulation with unstructured grids. *Renew. Energy*, 136 (2019), pp. 275-295
- [3] Zhou X, Huang Z, Wang H, et al. Site selection for hybrid offshore wind and wave power plants using a four-stage framework: A case study in Hainan, China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2022, 218: 106035.
- [4] 海南省发展和改革委员会, 海南省电力发展“十三五”规划. (2017) <http://plan.hainan.gov.cn/attachment/cmsfile/sfgw/24886/201705/daofile/05751W020170608629898866694.pdf>
- [5] 许莉,李锋,彭洪兵.中国海上风电发展与环境问题研究[J].*中国人口·资源与环境*,2015,25(S1):135-138.
- [6] 王峰,逯鹏,张清涛,等.海上风电制氢发展趋势及前景展望[J].*综合智慧能源*, 2022,44(5):41-48.
- [7] 宋丽莉,毛慧琴,钱光明等.热带气旋对风力发电的影响分析[J].*太阳能学报*, 2006, 27(9): 961-965
- [8] 李娜,李志远,王楠,等.氢储能调峰站发展路径探索研究[J].*中国能源*, 2021,43(1):55-59,67.
- [9] 李丽旻.多地探索“海上风电+海洋牧场”模式[N].*中国能源报*, 2022-06-27(003)