

本文引用格式: 林世爵,刘启强.广东海上风电产业发展现状及对策建议[J].自动化与信息工程,2023,44(2):1-5;15.

LIN Shijue, LIU Qiqiang. Development status and countermeasures of offshore wind power industry in Guangdong province[J]. Automation & Information Engineering, 2023,44(2):1-5;15.

广东海上风电产业发展现状及对策建议

林世爵 刘启强

(广东省科学技术情报研究所, 广东 广州 510040)

摘要: 海上风电作为一种清洁可再生能源, 具有发电利用效率高、不占用土地资源、适宜大规模开发等优势。大力推动海上风电开发建设, 对保障能源安全、推进绿色低碳发展、实现“双碳”目标具有重要意义。首先, 介绍全球海上风电产业发展现状及技术趋势; 然后, 对广东省发展海上风电的利弊条件进行分析; 最后, 给出推进广东省海上风电产业加快发展的 5 点建议。

关键词: 海上风电产业; 发展现状; 对策建议

中图分类号: T-1

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2023)02-0001-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2023.02.001

Development Status and Countermeasures of Offshore Wind Power Industry in Guangdong Province

LIN Shijue LIU Qiqiang

(Guangdong Institute of Science and Technology Information, Guangzhou 510040, China)

Abstract: As a kind of clean and renewable energy source, offshore wind power has the advantages of high power generation utilization efficiency, no occupation of land resources, suitable for large-scale development and so on. Vigorously promoting the development and construction of offshore wind power is of great significance to ensuring energy security, promoting green and low-carbon development, and achieve the goal of carbon peaking and carbon neutrality. Firstly, introduce the current development status and technological trends of the global offshore wind power industry; Then, analyze the advantages and disadvantages of developing offshore wind power in Guangdong Province; Finally, five suggestions are proposed to accelerate the development of offshore wind power industry in Guangdong Province.

Keywords: offshore wind power industry; development status; countermeasures and suggestions

0 引言

海上风电是世界公认并竞相布局发展的绿色能源。广东作为能源消费大省, 大力发展海上风电对优化能源结构, 引领绿色能源革命, 实现“碳达峰”、“碳中和”目标意义重大^[1]。广东海上风电产业发展的潜力巨大、前景广阔, 但也存在一些制约因素。本文在介绍全球海上风电产业发展现状的基础上, 对广东发展海上风电的利弊条件进行了分析, 找出存在的主要问题, 并给出推动海上风电产业加快发展的若干建议。

1 海上风电产业发展现状及技术趋势

1.1 海上风电产业发展现状

1.1.1 全球海上风电产业呈快速增长态势

作为一种无污染、可再生的高效清洁能源, 海上风电已成为全球可再生能源发电的重要增长点^[2]。根据全球风能理事会 (global wind energy council, GWEC) 发布的《全球风能报告 2022》显示: 2021 年, 全球海上风电新增装机容量 21.1 GW, 同比增长两倍, 创历史最大增幅; 海上风电累计装机容量达 57.2 GW, 为 5 年前 (2017 年, 18.8 GW) 的 3 倍。但与同期陆

上风电（装机总容量为 780 GW）相比，海上风电占比仍然较低，仅为 7.3%。

1.1.2 中国成为海上风电产业全球领导者

2021 年，中国海上风电新增装机容量近 17 GW，占全球的 80%，连续 4 年保持全球第一^[3]；累计装机容量达 27.7 GW（国家能源局的数据显示，截至 2021 年底，中国海上风电累计并网装机容量为 26.39 GW），超越英国成为全球海上风电累计装机容量最多的国家。欧洲的德国、荷兰、丹麦分列全球第三、四、五位。除中国和欧洲之外，越南以 779 MW 的新增装机容量，成为第三大海上风电市场。2021 年全球各国（地区）海上风电新增装机容量占比情况如图 1 所示。截至 2021 年底全球各国（地区）海上风电累计装机容量占比情况如图 2 所示。

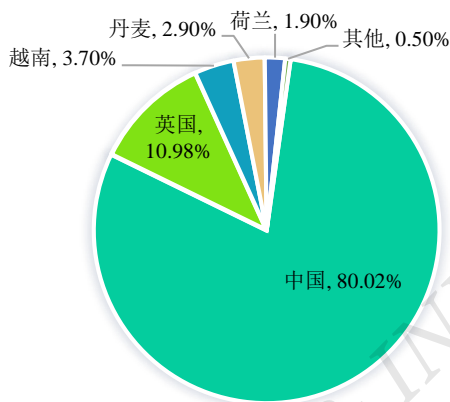


图 1 2021 年全球各国（地区）海上风电新增装机容量占比情况

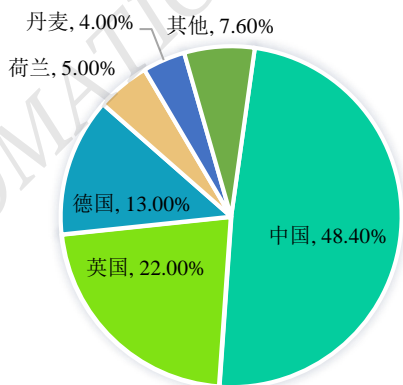


图 2 截至 2021 年底全球各国（地区）海上风电累计装机容量占比情况

1.1.3 亚太地区将成为全球海上风电产业增长引擎

据 GWEC 预测，2022—2031 年全球将新增超过 315 GW 的海上风电装机容量；到 2031 年底，海上风电累计装机容量将达到 370 GW，年新增装机容量有望增加一倍以上，从 21.1 GW 提高到 54.9 GW。亚洲将取代欧洲成为最大的海上风电市场，并将领先优势一直保持到 2030 年底^[4]。其中，中国未来 5 年有望新增装机容量 45.6 GW，越南（2.2 GW）、韩国（1.7 GW）和日本（1 GW）紧随其后。

1.2 海上风电技术趋势

近些年，欧美发达国家在海上风电技术集成与关键装备领域进步巨大，总体呈现“由浅入深、由近及远、由小及大”的发展趋势，即风场离岸距离和水深不断增加，分别超过 100 km 和 100 m，深远海化趋势明显；单机额定容量逐步增大，海上风电机组进入 10 MW 时代；风电场规模越来越大，单体规模超过百万千瓦，规模化开发趋势明显^[5]。

1.2.1 海上风电项目从近海逐步向深远海发展

当前，我国海上风电项目主要分布在水深不超过 50 m 的海域，近海风电项目场址日益紧张；相比之下，水深超过 50 m 的深远海域风能资源丰富，开发潜力巨大，且海事、环保制约性因素相对较少，容量系数高、出力稳定^[6]，必将成为未来海上风电发展的主战场。发达海洋国家纷纷将研究重点转向深海，我国沿海省份也都在积极规划深海风电。

1.2.2 风电场基础由固定式向漂浮式发展

近海风电场采用的各种类型固定式基础的自重和工程造价，随着水深的增加而大幅递增，在经济上变得不可行；而漂浮式风机基础具有不受水深及地质影响、安装成本低、视觉冲击和噪声污染小等优势，市场前景更加广阔。随着海上风电的规模化开发，适合建造固定式风机的场址越来越少，亟须加大海上漂浮式风电的研究和建设力度。

1.2.3 海上风电机组单机容量越来越大

大兆瓦机组是海上风电机组发展的必然方向，海上风电机组平均单机容量将由当前的 6.5 MW 增加到 2025 年的 10~12 MW。目前，国内外风电整机商都

在竞相打造大兆瓦风电机组。在国外，海上风机技术发展最为成熟的欧洲市场过去 10 年单机容量增加了 62%；在国内，通用电气（GE）海上风电揭阳总装基地生产的单机容量可达 12 MW，明阳智慧能源集团股份有限公司（以下简称“明阳智能”）自主研发的 8.3 MW 海上风机已在福建兴化湾成功吊装，16.6 MW 双机头海上风机也即将面世。

2 广东发展海上风电的“四大优势”和“四大掣肘”

2.1 广东发展海上风电的“四大优势”

从 2018 年 4 月首个海上风电示范项目并网实现“零的突破”，到 2021 年底广东省海上风电累计并网装机容量位居全国第二（约 650 万千瓦，占全国的 24.6%），广东海上风电产业实现了跨越式发展^[7]。作为海洋大省，广东海岸线长、风力资源丰富、海洋装备产业基础雄厚，这为海上风电发展壮大奠定了坚实的基础。

2.1.1 资源优势

广东沿海处于我国南部沿海风能丰富区，粤西海域风功率密度等级可达 5~6 级，年平均风速可达 7 m/s 以上；粤东海域风功率密度等级为 3~4 级，年平均风速可达 9 m/s 以上，风功率密度和发电利用小时数较高，海上风能资源丰富、品质良好。

2.1.2 规划优势

根据《广东省海上风电发展规划(2017—2030 年)（修编）》数据，广东将规划建设海上风电场址 23 个，总装机容量 6 685 万千瓦，全国排名第一。其中，近海浅水区场址 15 个，装机容量 985 万千瓦；近海深水区场址 8 个，装机容量 5 700 万千瓦。目前，广东省已有 5 个项目实现全容量投产，共 132 万千瓦；在建项目 16 个，共 558 万千瓦。广东省“十四五”期间将实现新增装机容量超过 1 400 万千瓦，截至 2025 年底海上风电累计装机容量将达到 1 800 万千瓦。重点省份海上风电“十四五”规划情况如图 3 所示。

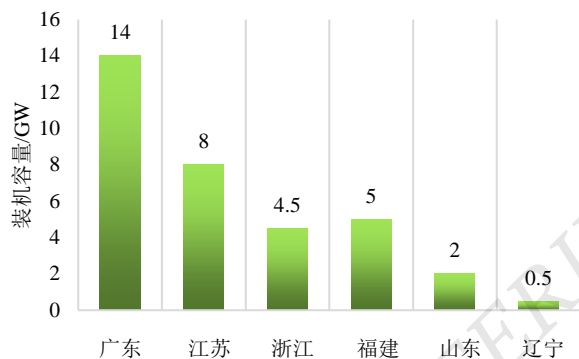


图 3 重点省份海上风电“十四五”规划情况

2.1.3 创新优势

为适应海上风电规模化开发的需要，近年来广东省加大了对海上风电技术研发、重大装备研制、创新平台建设、人才引进等方面的支持力度，有力地促进了行业的创新发展。

在科研攻关方面，聚焦海上风电产业前沿及“卡脖子”技术领域的关键科学问题，组织实施广东省基础与应用基础研究海上风电联合基金和广东省重点领域研发计划“新能源”重点专项，支持明阳智能、先进能源科学与技术广东省实验室阳江分中心（以下简称“阳江海上风电实验室”）、南方电网数字电网研究院有限公司等数十家企业、研究机构和创新平台围绕海上风电领域系统集成、硬核技术、关键材料、运维技术等短板实施攻关，提升关键核心技术的研发能力。

在平台建设方面，加快推进先进能源科学与技术广东省实验室阳江分中心、汕尾分中心以及广州、珠海、湛江 3 个南方海洋科学与工程广东省实验室的建设，支持阳江、汕头、揭阳、汕尾陆丰四大海上风电产业基地建设研发中心等创新平台发展。

在人才聚集方面，依托阳江海上风电实验室、中山大学、明阳智能等，聚集引进了一批海上风电领域的院士、教授、海归学者等高层次创新人才。

2.1.4 产业优势

近年来，广东省委、省政府高度重视海上风电企业的培育发展，不仅培育出明阳智能等本土企业，还

引进了新疆金风科技股份有限公司、上海电气集团股份有限公司、美国通用电气公司等多家全球风电整机制造龙头企业落户广东。目前，已初步形成涵盖研发、设计制造、施工安装、检测认证、风电运维、储能、装配、电缆、数据采集等海上风电上中下游全产业链发展的格局，海上风电整机组装年产能 650 台(套)、约 450 万千瓦。广东省海上风电产业配套情况如表 1 所示。

表 1 广东省海上风电产业配套情况

配套	支撑力量
研发机构	中山大学、华南理工大学、南方科技大学、南方电网科学研究院有限责任公司、明阳智能等
设计制造	明阳智能、中山海上风电研发中心、上海海上工程研发中心、RISØ DTU 丹麦国家可再生能源实验室、NREL 美国国家可再生能源实验室等
施工安装	广东省建筑工程集团有限公司、中国广核集团有限公司、中国能源建设集团广东火电工程有限公司、招商局重工有限公司、广州打捞局、保利长大工程有限公司、中交第四航务工程局有限公司、中铁大桥局集团有限公司、华电重工股份有限公司、江苏龙源振华海洋工程有限公司
检测认证	广东鉴衡海上风电检测认证中心有限公司、中国质量认证中心、国家海上风电装备质量监督检验中心
风电运维	中国三峡新能源有限公司
储能	珠海桂山海上风电场
装配	广东精钢海洋工程股份有限公司、通用电气(GE)海上风电揭阳总装基地
电缆	广东东方海缆技术有限公司、揭阳亨通海洋技术有限公司、中天科技海缆股份有限公司
数据采集	广东省海上风电大数据中心

注:表 1 资料来源于工业和信息化部、国家能源局等主管部门。

2.2 广东发展海上风电的“四大掣肘”

海上风电开发建设是一项复杂的系统工程，受政策、技术、成本、风险等方面的制约和影响。

2.2.1 项目审批问题

在用海方面，海域开发涉及国家发展和改革委员会、自然资源部、生态环境部、国家能源局等国家部委审批和军方意见，审批时间长、办理程序繁琐。

在规划方面，广东省前期规划的主要场址位于专属经济区，因国家尚未出台专属经济区海上风电项目开发建设管理办法，广东省前期规划的主要场址项目暂时未能开工建设。

在测试方面，风电企业在推出新型机组后，需要在新项目中完成测试和认证，但因建设周期长，无法迅速完成测试认证工作。

2.2.2 技术瓶颈问题

首先，关键领域受制于人，轴承、变流器、电控系统、柔直换流阀等关键零部件与国际先进水平存在 5 年左右的差距，大兆瓦机的主轴轴承技术和市场长期被德国舍弗勒集团、瑞典斯凯孚(SKF)集团等跨国巨头垄断；风电机组设计软件及载荷评估所用的软件几乎 100% 依赖美国、挪威、法国等国家产品；风电机组中的巴沙木(叶片材料)100% 从南美进口。

然后，基础零部件配套较为薄弱，多数零部件仍然依赖广东省外配套，包括齿轮箱、发电机、海缆、玻纤、树脂、航空灯、偏航系统、偏航维护平台等。

最后，技术迭代升级过快也一定程度地影响了产品的可靠性。一般而言，大型成套装备从研制到投产需要经过成熟且规范的检测验证流程，如果风电设备升级过快，有可能出现产品验证时间过短等问题。

2.2.3 成本造价问题

海上风电要实现平价上网，平均造价需达到 12 000 元/千瓦，甚至更低。但广东海上风电成本较高，平均造价在 16 200~17 600 元/千瓦，深水区达到 25 000 元/千瓦，高于江苏、浙江等省份。重点省份海上风电造价对比如表 2 所示。

表2 重点省份海上风电造价对比^[8]

省份	单位千万投资(元/千瓦)
福建	17 300~18 500
广东	16 200~17 600
浙江	15 600~16 500
江苏	14 400~16 300

2.2.4 风电消纳问题

在储能方面,目前海上风电储能技术仍处于初期阶段,普遍还不成熟。

在电网配套方面,部分地区电网侧配套不完善,导致风电场限电或较长时间无法并网,浪费风力资源并影响了风电场的发电收益。

在调峰储能方面,广东海上风电夜大昼小的日特性和冬大夏小的季特性明显,出力的波动性、间歇性显著,呈现反调峰特征,与广东负荷特性匹配性较差。

3 推进广东省海上风电产业加快发展的建议

聚焦广东发展海上风电的“四大掣肘”,建议从加大政策支持力度、加快推进技术创新、做优做强海上风电企业、推动风电产业高质量发展和加强海上风电前沿问题研究等5个方面寻求破解之策。

3.1 加大政策支持力度

1) 积极争取国家将千万千瓦级海上风电基地落户广东,并配套相关扶持政策;2) 争取已列入广东海上风电规划的粤东专属经济区5 000万千瓦项目场址纳入国家统一规划,并同意广东省“十四五”期间开展试点建设;3) 落实广东省有关海上风电补贴政策,推动项目开发由补贴向平价平稳过渡;4) 进一步完善海上风电消纳保障机制。

3.2 加快推进技术创新

1) 加强关键核心技术研发,支持先进能源科学与技术广东省实验室、中山大学、南方电网科学研究院等高校、院所加强基础理论和共性技术创新,积极开展风机基础型式、漂浮式风机基础、柔性直流送出、发电侧配套储能等研发攻关^[9],力争突破一批受制于

人的关键核心技术;2) 加强人才队伍建设,既要着力引进一批海上风电领域的领军人才和创新团队,又要加快培育海上风电的海缆技术研发、高端装备制造、专业海工运维等全产业链人才;3) 加快推进首台(套)推广应用,将符合条件的海上风电装备纳入广东省首台(套)重大技术装备推广应用指导目录,积极争取国家首台(套)重大技术装备的政策支持^[8]。

3.3 做优做强海上风电企业

1) 加快培育一批产业研发、风机制造、风机配套、风机运维等专精特新海上风电企业,不断增强强链、延链、稳链、控链能力,坚持陆海并重,推动风电协调快速发展,进一步完善海上风电产业链;2) 大力支持海上风电龙头企业做大做强,支持明阳智能等成长性好、发展潜力大的企业加大研发投入、积极引进高层次科研人才,壮大产业规模,提升品牌价值,发挥辐射带动作用;3) 支持在粤的国内外海上风电大企业深化互利合作,形成海上风电开发的整体合力。

3.4 推动风电产业高质量发展

1) 降低开发建设成本,鼓励引导企业通过技术改造和技术创新,提高风机单机容量和效率,降低设备成本;鼓励探索将电力转变为氢气,并通过液氢或高压氢的储运技术,以氢储能的方式来替代直接输电,降低储能成本;引导项目业主在场址海域中开展波浪能、海水养殖等综合开发利用,降低运营综合成本。

2) 壮大产业规模,全面推进海上风电大规模开发和高质量发展,坚持集中式与分布式并举,加快推进粤东、粤西2个千万千瓦级海上风电产业基地建设;支持阳江海上风电产业基地高标准打造成为世界级、全球化的海上风电产业城,形成具有国内乃至全球影响力的海上风电产业集群。

3.5 加强海上风电前沿问题研究

1) 趋势性研究,致力打造具有国际影响力的海上风电高峰论坛,积极推动开展国内外海上风电前沿问题的研讨和交流合作;2) 安全性研究,借鉴陆上风电场和国外相关海上风电场的安全管理经验,加强

(下转第15页)

由表 2 可知，测量误差的标准差为 0.02 mm，可满足工业测量需求。

4 结论

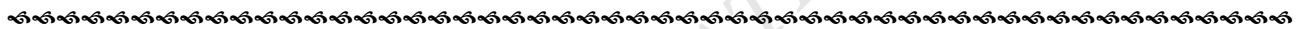
本文设计的基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统，实现零件多个几何量参数的快速测量，提高了小型零件的测量效率和可靠性，为企业推动自动化测量提供基础条件。

参考文献

[1] 全燕鸣,李倩,黄富华.基于机器视觉的中小零件连续自动检测系统设计[J].自动化与信息工程,2017,38(6):12-18.
 [2] 郭联金,朱日龙,杨国卿,等.浅谈机器视觉技术在自动化制造业中的应用[J].机电一体化,2015,21(8):63-67.

作者简介:

李小菁,女,1991年生,硕士研究生,工程师,主要研究方向:长度计量。E-mail: xjli_author@163.com



(上接第 5 页)

海上风电场、机组基础结构、运维管理等安全管理研究; 3) 技术标准研究,重点开展海上风电基础理论和共性应用技术、风电检测与认证标准体系、并网相关标准和技术规范等研究创新,建立健全海上风电技术标准体系; 4) 能效指标评价研究,重点研究海上风电规模化后电力运行评价指标问题,包括科学选择和测定海上风电装机可替代率、可用率或其他可客观反映海上风能发电效能的指标。

参考文献

[1] 中国科协科普部.海上风电:清洁能源新方向[EB/OL]. (2022-10-26)[2023-4-11]. http://www.xinhuanet.com/science/2022-10/26/c_1310670582.htm.
 [2] 陈皓勇,席松涛.海上风电成本构成及价格机制[J].风能, 2022(1):12-15.
 [3] 夏云峰.2021 年全球新增风电装机 93.6GW[J].风能, 2022(6):

[3] 马文娟.基于机器视觉的零件平面尺寸自动测量[D].济南:山东大学,2006.
 [4] 张晓明.基于 CCD 的小轴径零件全自动测量系统研究[D].西安:西安理工大学,2010.
 [5] 谢红,廖志杰,邢廷文.一种非接触式的圆孔形零件尺寸检测[J].电子设计工程,2016,24(19):155-158.
 [6] 丁海洋,朱兴龙,成沁源.基于单目视觉的圆形物体直径测量方法[J].机械设计与制造工程,2017,46(2):84-86.
 [7] 殷炜棋.轴类零件尺寸的视觉测量技术研究[D].长春:吉林大学,2017.
 [8] 杨宏贤,朱世根,白云峰,等.基于机器视觉的扁平细长带钩零件检测系统研发[J].仪表技术与传感器,2021(5):117-121.
 [9] 张广军.视觉测量[M].北京:科学出版社,2008.
 [10] 胡子文.亚像素视觉测量技术研究[D].武汉:华中科技大学,2019.

38-43.
 [4] 赵靛.2022—2031 年全球海上风电市场展望[J].风能, 2022(7):46-51.
 [5] 刘吉臻,马利飞,王庆华,等.海上风电支撑我国能源转型发展的思考[J].中国工程科学, 2021,23(1):149-159.
 [6] 杨新明,徐爱银.“后补贴时代”海上风电如何做大做强[N/OL].南通日报, 2022-06-10[2023-04-11]. <https://www.nantong.gov.cn/ntsrnzf/zwyw/content/cbfd0b01-8763-4df1-bd5-94a8e8ae6a2a.html>.
 [7] 李汉龙.广东:海上风电 风生水起[J].环境,2022(4):24-27.
 [8] 桑桑.不同地区海上风电项目造价及成本构成[EB/OL]. (2020-07-20) [2023-04-24]. <https://news.bjx.com.cn/html/20200720/1090472.shtml>.
 [9] 广东省人民政府.广东省人民政府办公厅关于印发促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展实施方案的通知[J].广东省人民政府公报,2021(17):23-29.

作者简介:

林世爵,男,1988年生,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向:科技情报、科技战略。E-mail: 462238757@qq.com
 刘启强,男,1978年生,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向:科技情报、科技传播。E-mail: 79429778@qq.com