

“双碳”背景下福建海上风电的挑战与机遇

王强¹,毛冰晶²,王小俊²,彭荔红²

(1.中国三峡新能源(集团)股份有限公司 南昌 330038;2.厦门大学 厦门 361102)

摘要:福建具有丰富的海上风能资源,是我国海上风电重点布局区域之一,其海上风电发展也是我国海上风电发展的缩影。文章在“双碳”背景下,采用SWOT分析法综合分析福建海上风电的发展优势,以及其面临的平价上网、走向深远海、项目用海和碳减排等挑战与机遇,并提出考虑海底电缆与生态红线的兼容、海上风电的产业协同、统筹协调各部门关系以及调整单机用海面积范围等相应的管理对策,旨在更好地在“双碳”背景下抓住机遇,尽早实现福建的“双碳”目标,同时为福建乃至全国海上风电的发展和管理提供决策参考。

关键词:海上风电;用海冲突;产业协同;碳减排

中图分类号:P74;TM614

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2022)10-0091-07

Challenges and Opportunities of Fujian Offshore Wind Power Under the Background of ‘Dual Carbon’

WANG Qiang¹, MAO Bingjing², WANG Xiaojun², PENG Lihong²

(1.China Three Gorges Renewables (Group) Co.,Ltd.,Nanchang 330038,China;

2.Xiamen University,Xiamen 361102,China)

Abstract: Fujian, which is one of the key areas for offshore wind power distribution in China, has abundant offshore wind energy resources. At the same time, its development is also the epitome of China's offshore wind power development. Therefore, in the context of the “dual carbon” target, SWOT analysis was used to analyze the advantages of offshore wind power development, as well as the challenges and opportunities it faced, such as parity grid access, “deep sea” steps, using sea for projects, and carbon emission reduction in Fujian Province. Finally, this paper proposed corresponding management countermeasures, considering the compatibility of submarine cables and the ecological protection red line area, the industrial synergy of offshore wind power, coordinating the relationship between various departments and adjusting the sea area of a single machine, etc.. And it will not only better seize the opportunity in the context of the “dual carbon” target and realize the “dual carbon” target of Fujian Province as soon as possible, but also provide decision reference for the development and management of offshore wind power in Fujian and even in China.

Keywords: Offshore wind power, Maritime use conflict, Industry synergy, Carbon emissions reduction

收稿日期:2021-12-13;修订日期:2022-09-23

作者简介:王强,高级工程师,硕士研究生,研究方向为可再生能源开发管理

通信作者:彭荔红,教授,博士,研究方向为产业生态、循环经济和能源政策

0 引言

2020 年我国宣布“将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和”^[1-3]。目前我国的碳排放仍处于增长期,为实现碳达峰、碳中和目标,降低电力行业的碳排放是主要的减排任务。风能和太阳能是深化电力体制改革和推动清洁能源发电的“主力军”。2021 年我国提出“深化电力体制改革,构建以新能源为主体的新型电力系统”^[4]。

我国海上风电具有靠近用电负荷中心、不占用土地、风速大、利用时间长和风能资源稳定等优势^[5]。近年来,沿海地区的风电发展重心逐渐转为海上风电,国内最大的清洁能源集团和五大发电集团都在寻求用电负荷中心周围的海上风电能源基地。2020 年我国海上风电新增装机容量为 306 万 kW,占全球新增海上风机容量的 50%^[6]。目前我国已迈入“十四五”发展新征程,大力发展海上风电是构建新型电力系统以及实现碳达峰、碳中和目标的必然选择。

受台湾海峡“狭管效应”的影响,福建丰富的海风资源集中于闽江口以南到厦门湾以北的广大海域,包括海坛海峡、兴化湾、湄洲湾和泉州湾等,该海域年平均风速大且风向稳定,是全国风能资源最丰富的地区之一^[7]。厦门以南与闽江口以北地区(漳浦和霞浦等地)的近海风能资源也较为丰富^[8]。此外,福建具有较好的海上风电场开发建设条件,近海区域靠近用电负荷中心,接入线路短,施工交通条件较好,适合大规模开发海上风电^[9]。截至 2020 年年底,福建海上风电并网容量达到 76 万 kW,同比增长 65%^[10]。本研究梳理福建海上风电现状与规划发展的优势,探讨福建发展海上风电所面临的挑战与机遇,并提出海域管理对策建议,以期“双碳”目标下福建乃至全国海上风电的开发管理提供参考。

1 福建海上风电的发展优势

1.1 规划布局

面对缺油、缺气和少煤的能源利用状况,福建发挥山、水、海岸线和港口的优势,加快发展水、核、

风等多种清洁能源,从曾经的能源自然储备小省转变成清洁能源大省^[11]。2020 年福建可再生能源电力消纳量达 473 亿 kW·h,占全社会用电量的比重超过 19%^[12]。水电、核电和风电是福建主要的可再生能源,然而一方面,水电资源基本开发殆尽,除以防洪、供水和灌溉等为主兼顾发电的水资源开发项目外,福建原则上不再新建水电站^[13];另一方面,由于存在辐射等安全隐患,核电的开发也受到诸多约束。在这种形势下,风电成为近年来福建发展最快的可再生能源。

与陆上风电相比,海上风电的风力稳定且充足,靠近耗电区域且不占用土地,具有一定的发展优势^[14]。2017 年《福建省海上风电场工程规划报告》规划福州、漳州、莆田、宁德和平潭所辖海域的 17 个风电场,总规模达 1 330 万 kW(表 1)^[15]。

表 1 福建海上风电场规划布局

所属海域	所属地区	场址名称
闽东沿海	宁德	宁德霞浦海上风电场
		连江外海海上风电场
		长乐外海海上风电场
	福州	长乐东洛海上风电场
		福清东壁岛海上风电场
		福清海坛海峡海上风电场
闽江口以南到厦门湾	平潭	福清兴化湾海上风电场
		平潭海坛海峡海上风电场
		平潭大练海上风电场
	莆田	平潭长江澳海上风电场
		平潭草屿海上风电场
		莆田石城海上风电场
厦门湾以南	漳州	莆田南日岛海上风电场
		莆田大麦屿海上风电场
		莆田平海湾海上风电场
		龙海隆教海上风电场
		漳浦六鳌海上风电场

1.2 开发现状

截至 2021 年 7 月,福建已核准建设的海上风电场已建成 2 个、在建 9 个、待建 3 个,主要分布在福州、莆田和平潭地区(表 2)。

表 2 福建已核准建设的海上风电场

项目名称	装机容量/MW	核准年份	工程进展
莆田平海湾海上风电场一期	50	2014	建成
福清兴化湾海上风电场一期	77	2017	建成
莆田南日岛海上风电场一期	400	2015	在建
福清海坛海峡海上风电场	300	2016	在建
平潭长江澳海上风电场	185	2016	在建
平潭大练海上风电场	240	2016	在建
莆田平海湾海上风电场二期	250	2016	在建
莆田平海湾海上风电场 F 区	200	2017	在建
福清兴化湾海上风电场二期	280	2017	在建
莆田石城海上风电场	200	2018	在建
莆田平海湾海上风电场三期	312	2018	在建
长乐外海海上风电场 A 区	300	2018	待建
长乐外海海上风电场 C 区	498	2018	待建
漳浦六鳌海上风电场 D 区	402	2018	待建

2015 年 11 月莆田平海湾 50 MW 近海风电项目并网发电,该项目装载 10 台湘电 5 MW 直驱永磁海上风电机组^[16];2015 年 12 月莆田南日岛海上风电场一期项目首批 4 台风力发电机组顺利并网发电^[17];2017 年 2 月平潭长江澳海上风电项目和平潭大练海上风电场项目开工^[18-19];2018 年 7 月国内首个大功率海上风电试验风场——福清兴化湾海上风电场一期项目完成 14 台风机安装,包括 GE、金风、海装、太重、明阳、东气、湘电和上气 8 种类型的风机,总装机容量约为 77 MW^[20];2018 年 12 月莆田石城海上风电场项目开工建设^[21];2019 年 6 月莆田平海湾海上风电场二期项目首批机组成功并网发电^[22];2020 年 4 月莆田平海湾海上风电场 F 区项目首批风机基础主体工程顺利完工^[23];2020 年 7 月福清兴化湾海上风电场二期项目首台 10 MW 海上风电机组成功并网发电^[24];2020 年 12 月福清海坛海峡海上风电场项目首台风机并网发电^[25];2021 年 1 月莆田平海湾海上风电场三期项目成功受电^[26]。此外,5 个海上风电场项目已被明确授予开发权并开展相关前期工作,包括宁德霞浦 20 万 kW 海上风电场 A 区项目、宁德霞浦 30 万 kW 海上风电场 B 区项目、莆田平海湾 40 万 kW 海上风

电 D 区和 E 区项目、漳浦六鳌 40 万 kW 海上风电场二期项目以及平潭外海 10 万 kW 海上风电场项目^[27]。

在海上风电技术方面,福建依托福州江阴海上风电国际产业园实现一系列突破。一方面,大容量风机研发技术取得重要进展。研发和推广大容量海上风电机组既有利于海上风电的建设、运维和度电成本降低,也有利于减少用海面积和提高海洋利用率,实现海上风电高质量发展^[28]。2020 年 5 月由金风科技研发的国内首台 8 MW 海上风电机组在福清兴化湾二期海上风电场成功吊装^[29];2020 年 7 月由三峡集团与东方电气集团联合研发的,单机容量亚太地区最大和全球第二大的国内首台 10 MW 海上风电机组在福清兴化湾二期海上风电场成功并网发电,标志着我国风电开发能力实现历史性跨越^[30]。另一方面,海上风机抗台风技术逐渐成熟。福建位于台风多发区,是我国受台风影响最为频繁的沿海地区之一。台风对海上风电开发有利有弊:利处在于,若遇较弱的热带气旋(如热带风暴量级)或较强的热带气旋外围环流,海上风电场可经历较长的“满发”时段,从而获得很好的满负荷发电收益;弊处在于,若遇风速较大、湍流强度较大和方向变化剧烈的强台风,不仅耽误船舶作业,而且易导致风力机叶片甚至支撑塔失效^[31-32]。因此,台风在一定程度上限制海上风电开发,台风影响范围内的海上风力发电机组的技术研发会将台风的因素考虑在内,优化叶片和塔筒的设计,同时引入海上风电抗台风控制策略运行模式^[33]。作为最新一代的大容量海上风电机组,福清兴化湾二期海上风电场的 10 MW 海上风电机组针对福建和广东等海域的 I 类风区设计,具备超强抗台风能力,是我国海上风电技术创新的又一突破^[30]。

2 福建海上风电的挑战与机遇

2.1 平价上网

市场化和竞争化有利于促进海上风电的发展。为实现“双碳”目标,我国采取一系列措施促进风电行业加快摆脱对财政补贴的依赖,逐渐进入竞价阶段。2021 年新核准的海上风电项目全部通过竞争方式确定上网电价,且不得高于 2020 年调整的

0.75 元/(kW·h)的指导价^[34]。福建发改委积极响应国家号召,开展年度海上风电项目竞争配置工作。为实现风电与煤电平价上网的目标,从 2022 年开始中央财政不再对增建海上风电项目进行补贴,海上风电将提前进入平价时代^[35]。

这是福建大力发展海上风电的重要机遇。作为新兴产业,海上风电的度电成本较高,许多企业在 2021 年抢装海上风电设备,催生“抢装”浪潮。现阶段海上风电仍处于发展的关键时期,产品开发等大量投入带动一系列风电产业的发展。为避免 2022 年后海上风电发展的后劲不足,地方政府亟须提供有效的政策支持,协助海上风电向平价上网平稳过渡。

2.2 走向深远海

在“碳中和”目标下,海上风电发展迅猛,近海的海上风电场日渐饱和,开发规模受限。此外,由于 80% 的海上风能处于深远海,为尽量减少对周边环境功能、活动和基础设施网络的影响并充分利用海上风能,海上风电场正逐步由潮间带向深远海发展,建设项目的离岸距离和水深不断增加。漂浮充电是深远海风电机组发展的主力,关系大型风电漂浮式机组和海上智慧运行。2018 年福建核准的海上风电场有 4 个满足“双十”标准,即离岸距离不少于 10 km、滩涂宽度超过 10 km 时水深不少于 10 m^[36](表 3)。

表 3 4 个海上风电场的离岸距离和水深

场址名称	离岸距离/km	水深/m
莆田平海湾海上风电场三期	13.0(中心)	15~25
长乐外海海上风电场 A 区	31~45	40~42
长乐外海海上风电场 C 区	33~48	41~47
漳浦六鳌海上风电场 D 区	25.1~31.5	34~42

“十四五”期间福建将着力打造深远海海上风电基地示范工程^[37]。海上风电走向深远海意味着施工技术难度大幅提升,而福建独特的地理位置也加大施工作业的难度。福建右靠台湾海峡,管辖海域狭窄且潮差和波浪较大^[38]。例如:福清海坛海峡海上风电场位于龙高半岛东北侧的海坛海峡中北

部,该海域是世界三大风口之一,技术挑战性极高^[25],海上风电场建设受此影响进展缓慢。在海上风电走向深远海的过程中,产业协同是积极应对挑战的关键。发展海上风电基地是推动产业集聚发展、降低开发和运输成本、带动核心技术研发以及引导产业升级的有效措施^[39]。福建已建成拥有综合性海上风电研发中心和海上风电设备生产制造基地的三峡海上风电国际产业园,在大容量风机制造方面取得重大突破。下一步,对福州江阴等已建成的海上风电先进装备园区,可通过招商方式拓展海上风电产业链,以补齐全产业链的供应链为主,推动已签约项目尽快落地和建成投产;宁德、莆田和漳州等地可通过布局产业基地促进海上风电装备制造及服务业的集聚发展。

2.3 项目用海

海上风电场占用海域面积较大,且与其他海域空间存在交叉,可能造成用海冲突,如风机设施影响海洋捕捞以及施工干扰雷达信号^[40]。现有海上风电场的建设实践表明,除技术难关外,各部门所辖海域的用海冲突也会阻碍海上风电开发进度。

海洋牧场与海上风电相融合是新型产业发展模式。海上风电场的风机基础在“礁石效应”下会附着大量贝类和吸引其他鱼类,加上海上风电场附近海域限制捕捞,通常海洋生物种群数量多且生物多样性丰富^[41]。推进海上风电与海水养殖融合发展,有利于充分利用海域立体空间,解决与远海海洋农渔业区的功能区划符合性问题。

在“碳中和”目标下,推进海上风电开发进度是各方所需。因此,除技术上的产业协同外,渔业和军事等部门应统筹协调,解决部门用海冲突的矛盾。

2.4 碳减排

在“双碳”目标下,我国海上风电的碳减排潜力受到重点关注。福建作为我国东部沿海地区,拥有丰富的海上风能资源,其海上风电的建设和完善对“双碳”目标的助力不容小觑,然而海上风电场在生命周期内产生的二氧化碳同样值得关注。魏逸群^[42]利用 GaBi 软件预测计算福清兴化湾海上风电一期项目在整个生命周期内的二氧化碳排放量约为 124 433 t,其中投入部分约为 134 922 t,回收部

分约为 10 489 t,主要排放构成为风电机组基础(39.23%)、风机生产用电(26.38%)和风电机组(21.58%)(排除回收部分)。由此可见,海上风电场建设阶段的二氧化碳排放量占比较大,而运行阶段的二氧化碳排放量占比很小,即风力发电过程的温室气体排放转移到风电场建设上游。由于部分设备将在服务期结束后再循环利用,回收活动使二氧化碳排放量减少约 10 489 t。因此,为实现碳减排,应更加重视海上风电场建设环节,同时加快海上风电产业的协同步伐。

3 福建海上风电管理对策

由于地理位置特殊,福建海上风电场的用海冲突问题尤为突出。“十三五”期间起草的《福建省海上风电场工程规划报告》与现有海上风电场的开发情况存在偏差,如 2020 年参与竞争配置的平潭外海海上风电场就不在该规划内,规划的滞后阻碍海上风电开发进度且造成资源浪费。因此,发展海上风电亟须利用更新的风、水文、海底管线、障碍物和地质地形等调查信息编制新规划,降低平准化度电成本。以整体思路统筹管理海上风电项目连片开发,可达到集约用海的目的,也可促进相关产业的可持续发展。

3.1 考虑海底电缆与生态红线的兼容

海上风电场的建设和运营存在与鸟类发生碰撞,对海洋物种产生噪声损害和电磁干扰,污染海洋环境以及影响水位、流速和潮汐容量等问题^[43-45]。为降低对环境的影响,根据国家对于海洋工程项目建设的相关规定,海上风电项目须编制海洋环境影响报告书^[46]。此外,《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》明确,在划定的生态红线区内不得规划布局海上风电场。然而在实际建设过程中,须考虑海底电缆与生态红线的兼容。由于海底电缆的施工期短且施工后的影响微乎其微,基本不会影响海底地貌和底栖生物。依据《广东省海洋生态红线登记表》,海洋生态红线区内允许海上风电项目的海底送出工程经过,如南鹏岛海上风电项目的电缆铺设路线就穿越“东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区”^[47]。生态红线区内不能铺设海底电缆的“一刀

切”式执行方案看上去很“严”很“好”,但本质上过于固化且忽视实际存在的用海紧张问题,应加以纠正。

3.2 “双碳”目标下海上风电场的产业协同

在“双碳”目标下,为更好地建立健全海上风电产业链,相关产业协同必不可少。其产业链包括海上风电的规划设计和选址,主设备、电站和风电场辅助设备,海风制氢、海水淡化和储能等“一条龙”系统以及海上风电专业服务、技术、软件和实验等^[48],均需政府加以合理的支持和引导。除此之外,海上风电场建设的原材料和能源产业都要相互促进和协同发展,如海风制氢为风电场建设提供氢能源。

3.3 统筹协调海上风电场与航道、国防和专属经济区的关系

一方面,海上风电场附近的航道对风电场和船舶运行都存在安全风险;另一方面,海上风电场运行可能干扰通信信号,继而对国防安全产生影响。此外,深远海海上风电场建设可能涉及专属经济区。根据《联合国海洋法公约》,沿海国在专属经济区内有开发可再生能源的权利,但在实际开发中,考虑到国际法和相关地区的利益,其用海和审批难度较大^[49]。航道、国防和专属经济区涉及国家和地方的用海和用地管理,项目核准和建设存在一定的不确定性^[50]。在规划海上风电场时应统筹协调与这些领域的关系,科学布局,避免冲突。

3.4 改进单机用海面积计算方法

根据《海上风电开发建设管理暂行办法》,单个风电机组塔架的用海面积按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50 m 为半径的圆形区域计算。这一方法适用于以往我国比较流行的 3 MW 机型,其叶片的直径范围为 104~112 m,风机基础多采用三角桩结构形式,在此情况下外扩 50 m 为半径的圆形区域能够起到保护风机基础和风机叶片的作用^[51]。然而随着大容量海上风机的快速发展,尤其对于 10 MW 和 12 MW 的超大容量风电机组,现行的单个风机用海面积界定方法已不能覆盖风机叶片的直径范围,存在一定的局限性。考虑到风机容量增大带来的风机叶片直径的变化,应改进海上风机单机用海面积计算方法,适应海上风机的发展

趋势。

4 结语

福建海上风电的发展是我国海上风电发展的缩影,探索福建海上风电的发展具有一定的代表性。现阶段福建海上风电的发展面临降低成本、走向深远海和解决用海矛盾的挑战,其中解决用海矛盾须有相关技术和政策的支持。针对海上风电的发展模式,本研究对福建海上风电提出管理对策,如兼容海底电缆和生态红线、促进产业协同、协调海上风电场与其他领域的关系以及重新界定单机用海面积,旨在更好地在“双碳”目标背景下抓住机遇,尽早实现福建的“双碳”目标,同时为福建乃至全国海上风电的发展和管理提供决策参考。

参考文献

- [1] 胡鞍钢.中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径[J].北京工业大学学报(社会科学版),2021,21(3):1-15.
- [2] 何建坤.经济增长与二氧化碳减排的双赢路径分析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(10):9-17.
- [3] 阮云志,涂丹丹.气候雄心峰会彰显全球雄心[J].生态经济,2021,37(2):1-4.
- [4] 王志轩.构建以新能源为主体的新型电力系统框架[J].闽江学刊,2021,13(3):35-43.
- [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(5):135-138.
- [6] 国家能源局.国家能源局2021年一季度网上新闻发布会文字实录[EB/OL].http://www.nea.gov.cn/2021-01/30/c_139708580.htm,2021-07-12.
- [7] 朱光华.福建省海上风电发展规划探讨[J].能源与环境,2012,31(5):5-7.
- [8] 耿克红.福建海域海上风能资源开发的难点与建议[J].海峡科学,2011(7):46-47.
- [9] 马晓红.福建风电产业发展研究[J].知识经济,2013(21):9-10.
- [10] 福建日报.福建海上风电加速“乘风破浪”[EB/OL].https://fjrb.fjdaily.com/pc/con/202103/25/content_60592.html,2021-07-12.
- [11] 李冰川.我国经济发达省份能源安全评价:以广东省和福建省为例[J].煤炭经济研究,2018(7):31-35.
- [12] 国家能源局.2020年度全国可再生能源电力发展监测评价报告[Z].2021.
- [13] 福建省人民政府.关于进一步规范水电资源开发管理的意见[Z].2013.
- [14] 叶军,仲雅娟.海上风能利用及其成本分析综述[J].太阳能,2018(6):19-25.
- [15] 国家能源局.国家能源局关于福建省海上风电规划的复函[Z].2017.
- [16] 福建省经济和信息化委员会.关于同意莆田平海湾50MW海上风电项目并网运行的批复[Z].2015.
- [17] 北极星风力发电网.龙源福建公司莆田南日岛海上风电场一期项目顺利并网发电[EB/OL].https://news.bjx.com.cn/html/20160105/697999.shtml,2021-07-12.
- [18] 风电之家.福建平潭长江澳185MW海上风电场开工建设[EB/OL].https://www.sohu.com/a/127150582_605895,2021-07-12.
- [19] 风电之家.中广核福建平潭大练300MW海上风电项目开工建设[EB/OL].https://www.sohu.com/a/127241490_605895,2021-07-12.
- [20] 张华.海上风电工程运营初期海洋环境影响初步研究:以福清兴化湾海上风电场一期(样机试验风场)项目为例[J].渔业研究,2020(3):223-233.
- [21] 福建省人民政府国有资产监督管理委员会.莆田石城海上风电场项目开工建设[EB/OL].http://gzw.fujian.gov.cn/zwgk/gzdt/gzyw/fjsnyjtyxzrgs_31446/201812/t20181203_4690547.htm,2021-07-12.
- [22] 福建省人民政府国有资产监督管理委员会.省重点项目莆田平海湾海上风电场二期项目首台风机成功并网发电[EB/OL].http://gzw.fujian.gov.cn/zwgk/gzdt/gzyw/fjst_zkfjtyxzrgs_31444/201906/t20190627_4908240.htm,2021-07-12.
- [23] 福建省人民政府国有资产监督管理委员会.三川海上风电F区项目首批风机基础主体工程顺利完工[EB/OL].http://gzw.fujian.gov.cn/zwgk/gzdt/gzyw/fjsnyjtyxzrgs_31446/202004/t20200415_5236947.htm,2021-07-12.
- [24] 人民网.国内首台10兆瓦海上风电机组成功并网发电[EB/OL].http://fj.people.com.cn/n2/2020/0714/c181466-34155433.html,2021-07-12.
- [25] 光明网.福清华坛海峡海上风电项目首台风机并网发电[EB/OL].https://www.sohu.com/a/442626717_162758,2021-07-12.
- [26] 福建省人民政府国有资产监督管理委员会.福建投资集团平海湾海上风电场三期项目成功受电[EB/OL].http://gzw.fujian.gov.cn/zwgk/gzdt/gzyw/fjstzkgfjtyxzrgs_31444/202101/t20210127_5527570.htm,2021-07-12.
- [27] 福建省发展和改革委员会.关于开展福建省2020年度海上风电项目竞争配置工作的公告[Z].2020.
- [28] 北极星风力发电网.大容量风机和技术革新促使海上风电成本大幅下降[EB/OL].https://news.bjx.com.cn/html/20161008/778075.shtml,2021-07-12.
- [29] 福建省发展和改革委员会.国内单机容量最大海上风电机组

- 在福清兴化湾海上风电场成功吊装[EB/OL].http://fgw.fujian.gov.cn/xxgk/gzdt/bwdt/202005/t20200509_5262519.htm,2021-07-12.
- [30] 福建省发展和改革委员会.亚太单机容量最大海上风机在福建成功并网发电[EB/OL].http://fgw.fujian.gov.cn/xxgk/gzdt/bwdt/202007/t20200714_5322461.htm,2021-07-12.
- [31] 张秀芝.中国近海风电开发气候知识之二台风与海上风电开发[J].风能,2018(3):44-46.
- [32] 刘必劲.福建省海上风电场选址影响因素探讨[J].福建水产,2015,37(4):320-324.
- [33] 陈俊生,张斌.海上风力发电机组抗台风分析[J].广东科技,2019,28(6):72-75.
- [34] 国家发展改革委.国家发展改革委关于完善风电上网电价政策的通知[Z].2019.
- [35] 财政部,国家发展改革委,国家能源局.关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见[Z].2020.
- [36] 国家能源局,国家海洋局.海上风电开发建设管理办法[Z].2016.
- [37] 福建省人民政府.关于印发福建省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要的通知[Z].2021.
- [38] 福建海洋与渔业局.福建省大比例尺海洋功能区划报告[M].北京:海洋出版社,2003.
- [39] 郑钊颖,冯奕敏.广东海上风电产业发展路径与对策研究[J].南方能源建设,2020,7(4):18-25.
- [40] 刘佰琼,徐敏,刘晴.我国海上风电发展的主要问题及对策建议[J].海洋开发与管理,2015,32(3):7-12.
- [41] 风能.大风电 小家庭:海上风电与一个渔村共同发展的故事[EB/OL].<https://news.bjx.com.cn/html/20210722/1165328.shtml>,2021-07-12.
- [42] 魏逸群.海上风电场生命周期的资源消耗与环境影响比较研究[D].厦门:厦门大学,2019.
- [43] ABBASI T,PREMALATHA M,ABBASI T,et al.Wind energy:increasing deployment,rising environmental concerns[J].Renewable & Sustainable Energy Review,2014,31:270-288.
- [44] KALDELLIS J K,APOSTOLOU D,KAPSALI M,et al.Environmental and social footprint of offshore wind energy.Comparison with onshore counterpart[J].Renewable Energy,2016,92:543-556.
- [45] CHEN G Q,YANG Q,ZHAO Y H.Renewability of wind power in China:a case study of nonrenewable energy cost and greenhouse gas emission by a plant in Guangxi[J].Renewable & Sustainable Energy Reviews,2011,15:2322-2329.
- [46] 中华人民共和国海洋环境保护法(2017年新修订)[M].北京:中国法制出版社,2017.
- [47] 央广网.国家海洋督察不断推进 群众建议严守海洋生态红线[EB/OL].http://www.cnr.cn/gd/gdtt/20171206/t20171206_524052271.shtml,2021-07-12.
- [48] 高志民.中科院院士陈十一:海上风电新增装机容量迅速翻倍[N].人民政协报,2021-11-18(5).
- [49] 陈挺.福建省深远海海上风电开发难点探究和发展建议[J].福建建材,2020(10):96-98.
- [50] 俞晓峰,王倩,李子林,等.深远海域海上风电工程风险和不确定因素研究[J].风能,2018(2):52-55.
- [51] 王勇智,孙永根,谷东起,等.我国近海风电场单机用海面积界定方法的探讨[J].海洋开发与管理,2015,32(1):22-26.