

Doi: 10.11840/j.issn.1001-6392.2022.02.010

广东省实施海洋牧场与海上风电融合发展的可行性分析

陈灏^{1,2}, 孙省利^{1,2}, 张才学^{1,2}, 冯岚^{1,2}

(1. 广东海洋大学 海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088;

2. 广东海洋大学 化学与环境学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 海洋牧场是修复海洋生态环境和涵养近海渔业资源的新模式, 而海上风电是我国新的清洁能源产业。本文在分析广东省海上风电场建设的基础上, 分析了马尾藻礁建设在海洋风电场的适宜性和投放条件, 探讨了在广东省开展以人工藻礁场 + 海上风电场为特点的融合发展模式的可行性, 以及对于生态用海、生态管海和海域资源集约节约利用的必要性。研究认为“海洋牧场 + 海上风电”的发展模式将成为未来提高海域综合利用水平的重要发展方向。

关键词: 海洋牧场; 海上风电; 生态修复; 人工藻礁

中图分类号: P741

文献标识码: A 文章编号: 1001-6932(2022)02-0208-07

Feasibility analysis on the integrated development of marine ranch and offshore wind power in Guangdong Province

CHEN Hao^{1,2}, SUN Xingli^{1,2}, ZHANG Caixue^{1,2}, FENG Lan^{1,2}

(1. Monitoring Center of Ocean Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Chemistry and Environmental Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: Marine ranching is a new model for restoring marine ecological environment and conserving offshore fishery resources. Offshore wind power is a new clean energy industry in China. Based on the analysis of the construction of offshore wind farms in Guangdong Province, the suitability and deployment conditions of Sargasso algae reef in offshore wind farms were analyzed, and the feasibility of developing an integrated development model featuring artificial algae reefs + offshore wind farms in Guangdong Province, the necessity of ecological utilization and management of sea area, as well as the intensive utilization of ocean resources were discussed. It is believed that the development model of "marine ranching + offshore wind power" will become an important direction to improve the comprehensive utilization of sea areas in the future.

Keywords: marine ranch; offshore wind power; ecological restoration; artificial algae reef

近三十多年来, 在海洋渔业资源过度捕捞、大规模围填海和污染物排海等多种人类活动压力持续增强背景下, 我国近海海洋生态环境恶化、生物多样性下降、渔业资源衰退, 以及赤潮等海洋生态灾害频发等情况日趋严重。海洋牧场作为一种基于海洋生态系统水平的渔业新模式, 虽然其形式和内涵仍在不断发展, 但从国内外已有的相关实践和研究

看, 海洋牧场通过生境营造实现渔业资源的增殖和利用, 从而发挥海洋生态环境保护和修复功能的定位是明确的^[1-4]。2006年国务院发布《中国水生生物资源养护行动纲要》, 明确提出发展海洋牧场是中国恢复近海渔业资源、修复渔业水域环境和促进近海渔业可持续发展的重要政策^[5]。经过多年努力, 中国海洋牧场建设取得了巨大进步, 已完成覆

收稿日期: 2021-05-14; 修订日期: 2021-09-18

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项 (2014418018)

作者简介: 陈灏 (1994—), 硕士研究生, 主要从事海洋生态修复研究。电子邮箱: 429719883@qq.com

通讯作者: 孙省利, 博士, 教授, 博导。电子邮箱: xingsun@126.com

盖渤海、黄海、东海与南海四大海域的 86 个国家级海洋牧场示范区建设, 标志着我国海洋牧场的产业基础初具雏形^[6-7]。但是, 由于各类近岸海域空间资源开发活动的矛盾需求, 海洋牧场的用海选址实际上受到了较大限制。

海上风电具有资源丰富、发电利用小时数相对较高、技术相对高端的特点, 是新能源发展的前沿领域^[8]。发展海上风电对于促进沿海地区能源结构调整优化和转变经济发展方式具有重要意义^[9], 也是我国推进生态文明建设的重要任务。广东省海岸线长, 海域辽阔, 海上风能资源丰富。目前, 广东省正在积极进行海洋风电产业建设, 全省规划了 23 个海上风电场址, 总装机容量达 6.685×10^7 kW, 到 2020 年底, 建成投产海上风电装机容量达 1.0×10^6 kW; 到 2025 年底, 建成投产海上风电装机规模将达 3.0×10^6 kW, 初步形成海上风电规模化开发格局; 到 2030 年底, 建成投产海上风电装机规模将达 10.0×10^6 kW, 形成规模化沿海风电带^[10]。

海上风电建设需要广阔的海域空间, 风电桩基间的间隔较远, 但风电机组透水构筑物用海和海底电缆用海一般不会超过风电场海域面积的 10%。如何集约高效地利用剩余约 90% 的海域空间, 海洋牧场与海上风电融合发展无疑是个好思路。2019 年 12 月农业农村部公布的第五批国家级海洋牧场示范区名单中就列有“广东省阳西青州岛风电融合海域国家级海洋牧场示范区”。国内有学者认为, 海洋牧场与海上风电融合发展是节约集约用海的重要新型产业模式与未来发展方向^[11]。鉴于广东省海洋牧场建设迫切需要推进, 海上风电又进入了高速发展阶段, 以及近海海洋生态环境恶化和渔业资源严重衰退的现状, 本文对海上风电建设和运营时的主要生态环境影响进行了分析, 探讨了广东现代海洋牧场与海上风电融合发展的可行性, 并重点探讨了在海上风电场海域投放人工藻礁的适宜性。

1 海上风电发展现状

1.1 国内外海上风电发展现状

1991 年, 丹麦在罗兰岛西北沿海建成了世界

上第一个海上风电场, 拥有 11 台 450 kW 的风电机组。2002 年, 丹麦又在北海海域建成了世界上第一座大型海上风电场, 安装了 80 台 2×10^3 kW 海上风电机组, 装机容量达 1.6×10^5 kW。随着海上风电技术的不断进步和成熟, 瑞典、德国、英国、比利时、法国等诸多欧洲北海和波罗的海沿岸国家陆续投入到海上风电的商用建设中。截至 2019 年, 欧洲已建成海上风电场 10 座, 并网海上风电机组 502 台, 海上风电已是欧洲北海和波罗的海沿岸国家重要的补充和替代能源^[9]。

我国海上风电建设起步较晚, 2013 年 8 月才正式在江苏盐城开建我国首个海上风电项目。截至 2016 年底, 全国建成海上风电装机容量约 1.48×10^6 kW, 其中江苏约 1.12×10^6 kW、上海约 3×10^5 kW、福建约 6×10^4 kW。2016 年 11 月国家能源局发布了《风电发展“十三五”规划》, 提出重点推动江苏、浙江、福建、广东等省的海上风电建设, 并积极推动天津、河北、上海、海南等省(市)的海上风电建设, 探索性推进辽宁、山东、广西等省(区)的海上风电项目。至此, 我国海上风电建设进入了高速发展阶段, 呈现由近海到远海、由浅水到深水、由小规模示范到大规模集中开发的特点。到 2020 年, 全国海上风电开工建设规模达到 1.0×10^7 kW。

1.2 广东省海上风电发展现状

广东省海岸线长约 4300 km, 海域辽阔, 海上风能资源丰富。但是, 广东省海上风电发展较晚, 2016 年广东首个珠海桂山海上风电示范项目(装机容量 1.2×10^5 kW)核准开工建设, 正式拉开了广东省海上风电发展的序幕。根据海上风能资源分布情况, 综合考虑海上风电建设条件、产业基地配套和项目经济性等因素, 全省规划了 23 个海上风电场址(图 1), 总装机容量 6.685×10^7 kW。包括: 近海浅水区(35 m 水深以内)海上风电场址 15 个, 装机容量 9.85×10^6 kW, 其中粤东海域 4.15×10^6 kW, 珠三角海域 1.5×10^6 kW, 粤西海域 4.2×10^6 kW; 近海深水区(35~50 m 水深)海上风电场址 8 个, 装机容量 5.7×10^7 kW, 分布在粤东、粤西海域^[4]。

截至 2020 年, 广东省已建成 6 个海上风电项目, 风电场面积为 412 km², 总装机容量为 1.62×10^6 kW(表 1)。

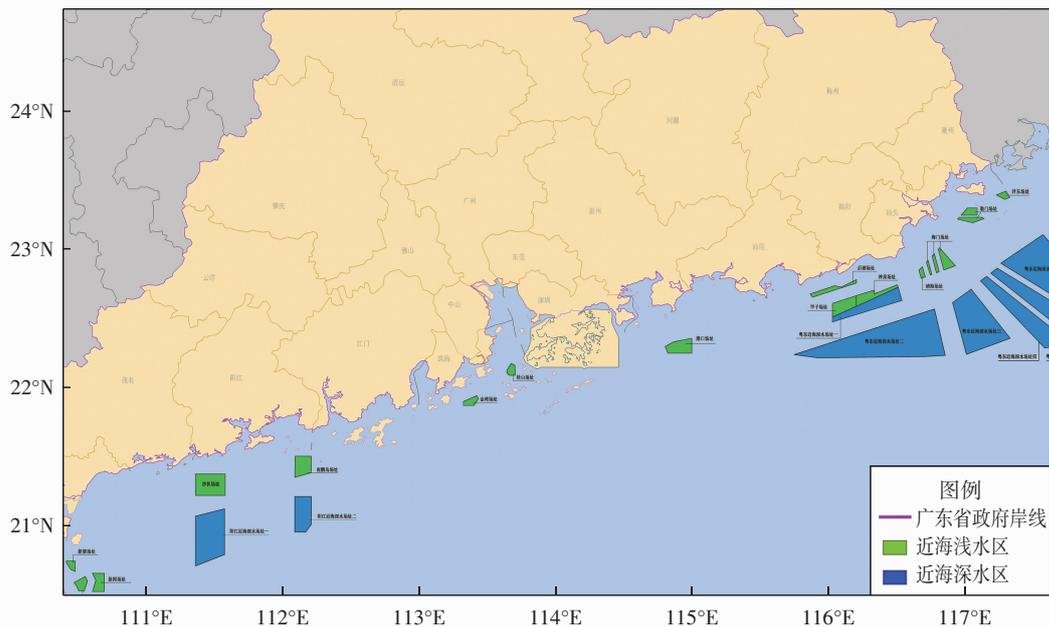


图 1 广东省拟建海上风电场址

(资料来源:《广东省海上风电发展规划(2017—2030年)》(修编))

表 1 广东已建成海上风电分布及实施情况(近海浅水区)

序号	项目名称	容量/ kW	实施情况	面积/ km ²	单位面积容 量/(kW·km ⁻²)
1	珠海桂山海上风电场示范项目(一期)	1.2×10 ⁵	2018年4月3台并网发电,2018年12月全部并网发电。	305	393.44
2	中广核阳江南鹏岛400MW海上风电项目	4×10 ⁵	2017年9月16日核准,2017年12月4日开工。	18	2.22×10 ⁴
3	中节能阳江南鹏岛300MW海上风电项目	3×10 ⁵	2017年10月31日核准,预计2019年4月海上开工。	19	1.57×10 ⁴
4	粤电阳江沙扒300MW海上风电项目	3×10 ⁵	2017年9月核准,2017年10月12日开工。	20	1.5×10 ⁴
5	三峡新能源阳西沙扒300MW海上风电项目	3×10 ⁵	2017年11月核准,2017年12月15日开工。	21	1.428×10 ⁴
6	广东粤电湛江外罗海上风电项目	2×10 ⁵	2017年11月10日核准,2017年12月28日开工。	29	6.89×10 ³
合计		1.62×10 ⁶		412	7.45×10 ⁴

2 海洋牧场与海上风电融合发展的可行性分析

2.1 海上风电建设主要生态环境影响因素

随着全球海上风电的迅速发展,海上风电在建设施工和运营时对周边海域生态环境的影响也引起了社会各界的广泛关注^[2]。海上风电施工期对生态环境的影响主要是钢管桩基础施工和海底电缆敷设作业过程中扰动海床产生的悬浮泥沙污染扩散对水环境的影响,以及打桩、施工船舶行驶和电缆埋设等产生的水下噪声对海洋生物的影响。海上风电运营期对生态环境的影响主要来自风机运转时产生的水下噪声,海底输电线路产生的电磁辐射,以及钢管桩的电化学防腐牺牲阳极材料(铝-锌-钢

合金)中的Zn溶出等。此外,桩基基础局部冲刷也会对风电机组结构安全带来不利影响,需采取抛石防护措施。

2.2 海上风电对生态环境影响分析

海上风电施工期较短,工程作业面也较小,在施工期引起的海床扰动对周边生态环境的影响也是暂时的、局部的,随着工程施工的结束,这些变化会逐步减小以至消失。由于风电场区地处开阔海域,运营期溶解出的Zn会随着海水的运动较快扩散,因此对工程海域水质的影响也极为有限。袁健美等研究了电磁对12种海洋生物的影响,结果表明海上风电电磁辐射影响范围很小,距离海底电缆1.2m外的电磁场强度一般小于0.2mT,在黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)能耐受的磁场强度范围内^[13]。

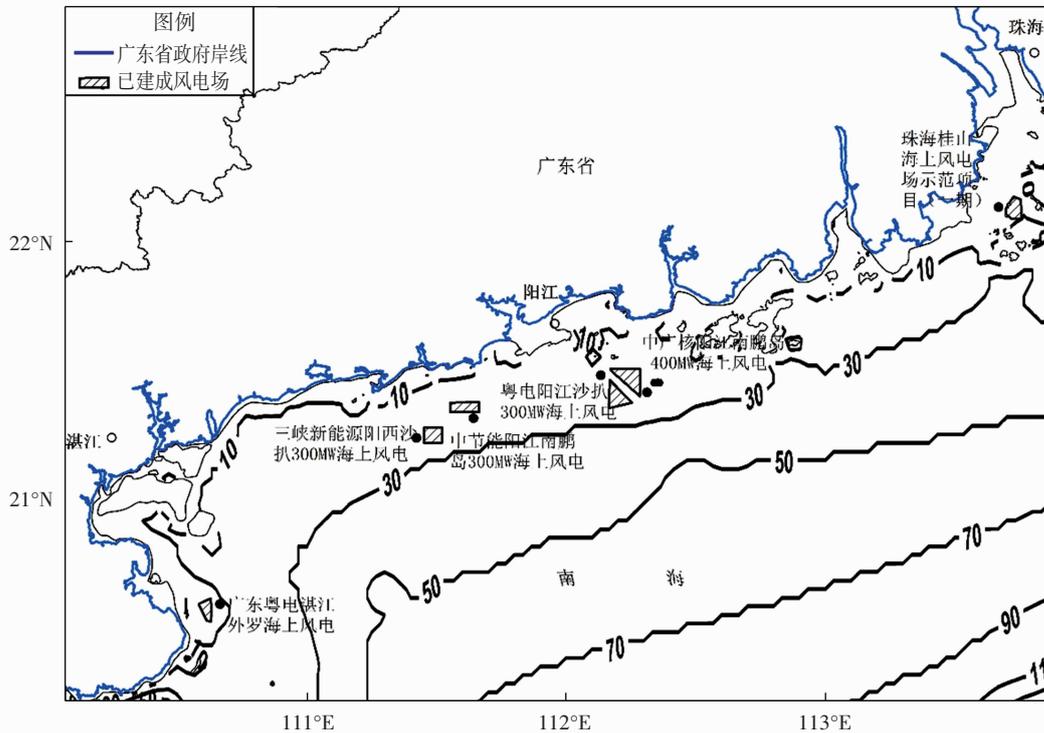


图2 广东已建成的海上风电分布及实施情况示意图(近海浅水区)

国内外对海上风电的生态环境影响多关注于水下噪声对生物的影响。打桩施工产生的水下噪声对海洋生物影响明显。比利时 Belwind 海上风电建设期间, 测量到 B10 钢管桩施工时在距 560 m 和 14 km 远处的水下噪声峰值声压级分别为 196 dB 和 160 dB, 并观察到港海豚 (*Phocoena phocoena*) 在风电桩基打桩施工时向外围逃离^[14]。港海豚在距离打桩 20 km 内存在强烈的躲避行为, 而鳍足类则是在 44 km 内表现出强烈的躲避行为, 宽吻海豚 (*Tursiops truncatus*) 在距离打桩 50 km 内行为会受到干扰, 而对于须鲸 (*Balaenoptera*) 该距离值为 40 km。汪启铭实测了南海某风电场打桩时的水下噪声, 在距离打桩点 200 m 和 1000 m 处的水下噪声峰值声压级分别为 187.2 dB 和 149.3 dB, 比最大背景噪声分别提高了约 45 dB 和 18 dB; 采用噪声剂量分贝值参数评估该工程水下打桩噪声对中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 的影响安全距离为 2373.5 m^[15]。Tougaard 等探究了 3 种不同功率的海上风机运营水下噪声对港海豚和港海豹 (*Phocavitulina*) 的影响。结果表明, 港海豚的行为几乎不会受到水下噪声的影响, 由于相对港海豚, 港海豹对低频段噪声更加敏感, 因此该水下噪声对港海豹的影响会达到几百米范围, 但噪声强度还不足以掩蔽港海豚和港海豹的

通信行为^[16]。

海上风电钢管桩基础施工和风机运营产生的水下噪声主要能量集中在 1 kHz 以下的低频段, 相比于鲸豚类, 鱼类对低频噪声更为敏感。根据国家海洋渔业局现行海洋生物(过渡性)保护门限值, 水下噪声对石首科鱼类 (*Sciaenidae*) 幼鱼产生伤害的阈值为 150 dB, 可推算出风机基础打桩施工对石首科鱼类的安全距离为 3 km。运营期的水下噪声主要由风机运转而产生, 牛富强对海上风电场运营期水下噪声的类比监测结果表明, 海上风机运行所产生的水下噪声强度变化不明显, 与风电场区其他点位所测量的背景噪声基本相近^[17]; 与周边海域环境状况变化如下雨、水生生物移动、船舶运行等所带来的噪声级改变相比, 在特定频段 (120 Hz~1.5 kHz) 的噪声级并未明显提高^[18]。而该频段的噪声级对周边海域的水生生物不会造成伤害。

2.3 海洋牧场与海上风电融合发展分析

目前, 各国在建设海洋牧场时普遍采用人工鱼礁作为海底资源恢复和生态环境修复的重要方式。人工鱼礁不仅可为贝藻类提供附着基, 还能够吸引岩礁性鱼类和其他海洋动物, 为其提供栖息庇护场和索饵繁育场, 是修复改善海底生态环境, 涵养渔业资源的一种重要手段^[19]。风电场桩基已被证明可

以充当人工鱼礁,从而增加鱼类和其他底栖生物的数量^[20-22]。由于风电场具有排他性,所在区域禁止捕鱼,可形成禁渔区。因此,在海上风电场内融合发展海洋牧场不仅具有理论可行性,更具有实践性。

Ashley 等根据海上风电场对大量具有经济效益的重要甲壳类动物有积极影响这一现象,提出可将海上风电场与海洋保护区共置一地,有利渔业资源的养护^[23]。德国、荷兰、比利时、挪威和韩国等先后开展了海上风电和海水增养殖结合的试点研究,结果表明双壳贝类和海藻等资源量出现了增加现象^[24]。杨红生等根据现代化海洋牧场建设中海上供电难、空间开发不足和立体开发技术模式缺乏等突出问题,提出了海洋牧场与海上风电“空间融合、结构融合和功能融合”的发展思路^[6]。

综合考虑海上风电运营期水下噪声对鲸豚类活动影响较小,但对鱼类可能会有一定的影响,以及风电运维需保障机组结构和海底输电线路安全,因此海洋牧场与之融合时需因地制宜,充分研究海洋牧场构建环境适宜性。在空间和结构融合上需考虑增养殖设施、浮式鱼礁和坐底鱼礁等牧场设施对风电机组结构和海底输电线路安全运维的影响,海面和海底空间立体开发对鲸豚类珍稀保护物种栖息活动空间的影响,以及鱼类、贝类和藻类等牧场目标生物的环境适应性,设计开发既能防护风电桩基冲刷,又能养护渔业资源,改善海域生态环境的生态增殖型人工鱼礁。

2.4 海洋牧场与海上风电融合的经济可行性

我国海上风电和海洋牧场的建设起步较晚但发展迅猛,尤其是广东省在两方面的建设都比较快。在海上风电场与海洋牧场建设投产使用后,我国的生态效益和经济效益都将有显著的提升^[10]。

根据国家能源局资料统计,以 2030 年广东省海上风电装机容量约 3000×10^4 kW 的发电量测算,可节约标煤约 2603×10^4 t 左右。此外二氧化碳排放量减少约 6920×10^4 t,硫化物(以燃煤电厂脱硫后为标准)排放量减少约 1×10^4 t。

近年来,广东省大力投入海洋牧场的建设,主要以投放人工鱼礁为基准。广东省现已建成的海洋牧场每年可固碳 70 000 t、消减氮 6000 t 和磷 600 t,生态效益产值可达 212 亿元。同时,海洋牧场渔获物中优质鱼类的比例相比建设前有显著提高,每年

直接经济效益达 496.51 元/ha,每年增加渔获量 3.8×10^5 t,休闲渔业每年增加效益 403 亿元,并有效带动了其他关联产业的投资发展^[25]。

3 广东省海上风电与海洋牧场融合发展探讨

3.1 海洋牧场在风电场内建设的适宜性

广东省海水增养殖产量与面积在近 10 年发展相对稳定;随着渔业捕捞和淡水养殖的产值占比下滑,海水增养殖业产值在渔业生产总值中的占比持续增加^[10,26],且海水增养殖业已经形成了完整的种苗孵化、饲料加工、养殖和深加工的产业链和供应链。但由于海洋工程项目与增养殖空间的冲突日益加剧,致使增养殖空间不断压缩。

广东海上风电场的空间选址多在 10 m 以深的开阔海域,水交换条件好,水质清澈优良,风电场海域范围广,有一定的排他性用海,但可与海水增养殖用海兼容。因此,可从广东丰富多样的增养殖品种和模式中,针对不同增养殖生物物种生长特性和对风电场内的环境适应性,筛选具有良好经济价值的品种在风电场区内开展深水鱼类网箱养殖、贝藻类底播和筏式增养殖试点,探索海上风电和多营养层级海水增养殖融合发展,也可有效缓解当下海水增养殖空间不断压缩的问题^[6]。

同时,海上风电运营时对周边环境及某些海洋生物造成的影响一直是学界关注的焦点。尤其是风电场内鱼类的增养殖还存在不确定性,风电场内贝藻类的筏式增养殖也可能存在影响鲸豚类珍稀保护物种活动的问题。因此,在海上风电场内建设发展海洋牧场,投放人工藻礁是目前最好的选择。海藻是海洋中的初级生产者,同时也是海洋生态环境的修复者、稳定者^[27]。

目前,各国在建设海洋牧场时普遍以人工藻礁作为海底资源恢复和生态环境修复的方式。人工藻礁不仅可为藻类提供附着基,还可吸引周围海域海洋生物前来藻场内索饵和繁育,产生聚鱼的效果,最终达到优化海底环境、涵养渔业资源以及提高渔获物质量的目的,是恢复海底植被和提高生产力的重要手段^[9]。海洋牧场的设计与建设成功的关键在于人工藻礁的建设,使人工藻礁发挥出自然界海藻场的生态功能。

3.2 马尾藻藻礁在广东海上风电场内建设的适宜性

广东省沿海大型海藻场构建的主要优势种为亨氏马尾藻 (*Sargassum henslowianum*) 和半叶马尾藻 (*S. hemiphllum*), 其藻体生长长度可达 0.8~1.5 m, 覆盖度达 20%~50%, 可形成壮观的马尾藻海。马尾藻生长的适宜水温范围为 14~27 °C, 盐度范围为 26~34, 水深范围一般在 3 m 以浅, 但在透明度比较高的开阔外海岛礁区, 如南澎列岛海域分布水深可超 10 m^[28]。同时, 马尾藻还可吸引犬牙细棘鰕虎鱼 (*Acentrogo biuscaninus*)、褐蓝子鱼 (*Siganus fuscescens*) 和深鰕虎鱼 (*Bathygobius fuscus*) 等鲈鱼目 (*Perciformes*) 及成年紫海胆 (*Anthocidaris crassipina*), 其中褐蓝子鱼和成年紫海胆均以大型海藻为食, 可丰富该海域的渔业资源^[29]。

广东省已建成的 6 个海上风电场所在海域的海底地形坡度平缓, 海底地质稳定, 海底表面具备一定承载力, 水体交换通畅, 海水透明度可达到 10 m 以上, 10 m 水层水温全年变化范围为 14~26 °C。可见, 海上风电场所在海域的水温、盐度和深度条件都适宜马尾藻的生长。这样的海底底质条件、水文条件也适宜于人工藻礁的投放。

近年来人工藻礁的设计形式多样, 主要有种藻移植混凝土礁、框式种藻移植礁、浮缙海藻移植礁、沉绳海藻移植礁、固定可缠绕种藻移植礁等^[1]。其中, 混凝土礁表面凹凸粗糙, 表面和内部呈多孔质结构, 礁体内部材料添加藻类生长所需营养物质, 也可选用钢渣石块、煤灰来制作礁体, 目的是让藻类易附着于礁体表面, 稳定生长^[30-31]。

张磊等针对不同材料和形状的礁体开展了藻类自然附着试验, 比较了各种模型礁体的藻类附着效果^[32]。其结果表明, 不同材料及形状的藻礁对藻类的附着效果不同, 混凝土以及煤灰-混凝土混合材料制成的礁体藻类附着效果较好, 凸形表面模型礁的藻类附着效果要好于凹形表面模型礁。实验证明礁基混凝土中铁的含量高有助于大型海藻的附着和生长^[33], 因此钢渣可以作为藻礁的主要材料。礁体的材料会影响生物附着效果, 进而影响到礁体的聚鱼功能^[27,34-35]。

3.3 马尾藻藻礁投放条件

海上风电场内马尾藻藻礁的投放选址尤为重要, 需要考虑的因素较多。例如, 风电桩基冲刷保护, 藻礁投放后能否产生良好的生态效应, 以及礁

体的稳定性是否会影响到风电运维安全等。

根据风电场水深和透明度条件, 一般选择坐底式、水面浮筏式或近底层悬浮式藻礁; 海上风电场内的电缆大多埋在浅层海底底泥中, 为避免重型礁体沉降而影响电缆安全, 投放重型藻礁前需了解海底电缆的走向分布, 适当调整礁体布放位置, 避开电缆; 投放礁体应选择底质稳定性较好、坡度较缓的海区, 底质最好为硬质泥沙底, 以避免礁体投放后由于底质太软而沉降甚至被掩埋。

投放马尾藻藻礁还可以与贝礁和鱼礁形成多营养层次的立体布放模式。如利用马尾藻具有气囊上浮的生物学特性, 在中上层水体布放浮缙式悬浮藻礁, 利用中上层充足的光照, 构建悬浮式藻床; 海底则将坐底式贝礁、鱼礁和藻礁按比例和空间优化布放, 充分发挥风电场内的海洋牧场立体生态系统效应。

4 展望

我国现代海洋牧场和海上风电建设均处于加速发展期, 对海域空间需求大, 海洋牧场与海上风电场融合发展是节约集约用海的重要新型产业模式与未来发展方向。一方面可带动海洋产业和海洋经济快速发展, 促进海洋新兴可再生能源的利用和海洋渔业的转型升级; 另一方面有利于修复海洋生态环境, 实现集约节约用海、生态用海、科学用海, 达到发展海洋经济和保护海洋生态环境有机结合的目的。

海上风电与海洋牧场的互动过程和机制是二者融合发展的核心问题, 主要包括海洋牧场管理和海上风机运维协调管理机制问题, 海上风电场内水下噪声对牧场中海洋生物的影响问题等。我国尚未有海洋牧场与海上风电场融合发展的先例, 亟待开展海上风电场与海洋牧场的互动机制研究, 查明海上风电场对海洋牧场的影响机理。

此外, 海洋牧场与海上风电场融合还存在许多技术难题, 如海洋牧场与海上风机融合布局设计, 水下噪声环境友好型海上风机的研发与应用, 风机基础人工鱼礁功能结构的研发与应用, 适宜海上风电场的资源养护型人工鱼礁的研发与应用, 适宜海上风电场的增殖品种和模式的研发与应用, 环保型海上风电施工和智能运维技术的研发与应用, 海

洋牧场与海上风电场配套设施的研发及应用,海上风电场对海洋牧场资源环境的影响观测与综合评价,以及各类海洋牧场设施的供电技术问题等。

广东省海域辽阔,海上风电规划建设规模大,沿海大型海藻场构建优势藻类马尾藻的资源丰富分布广,以马尾藻藻礁为基础的海洋牧场与海上风电场融合发展优势明显。广东省的海上风电场与海洋牧场建设都是由近及远建设,不仅可以带动海洋牧场建设技术的快速发展,养护近海海洋渔业资源和修复改善海洋生态环境,同时也可以促进海洋牧场与海上风电场融合区海洋捕捞业向高端游钓业及旅游业的转型升级,形成人海和谐的局面。

参 考 文 献

- [1] 陈丕茂,舒黎明,袁华荣,等.国内外海洋牧场发展历程与定义分类概述[J].水产学报,2019,43(9):1851-1869.
- [2] 杨红生,杨心愿,林承刚,等.着力实现海洋牧场建设的理念、装备、技术、管理现代化[J].中国科学院院刊,2018,33(7):732-738.
- [3] 孙松,臧文潇.海洋渔业与生态文明[J].科技导报,2020,38(14):40-45.
- [4] 全国水产标准化技术委员会渔业资源分技术委员会.海洋牧场分类:SC/T 9111-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [5] 中华人民共和国国务院.国务院关于印发中国水生生物资源养护行动纲要的通知[EB/OL].(2006-02-14)[2021-01-14].http://www.gov.cn/jzwgk/2006-02/27/content_212335.html.
- [6] 杨红生,茹小尚,张立斌,等.海洋牧场与海上风电融合发展:理念与展望[J].中国科学院院刊,2019,34(6):700-707.
- [7] 农业部渔业渔政管理局,中国水产科学研究院.中国海洋牧场发展战略研究[M].北京:中国农业出版社,2017.
- [8] 国家海洋局.国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见[EB/OL].(2016-11-02)[2021-01-12].<http://www.dadigui-hua.com/News/dn2503.html>.
- [9] 黄海龙,胡志良,代万宝,等.海上风电发展现状及发展趋势[J].能源与节能,2020(6):51-53.
- [10] 广东省发展改革委.关于印发广东省海上风电发展规划(2017—2030年)(修编)的通知[EB/OL].(2018-04-11)[2021-01-11].<http://www.china-nengyuan.com/news/125650.html>.
- [11] 杨红生.海洋牧场构建原理与实践[M].北京:科学出版社,2017.
- [12] PUNT M J, GROENEVELD R A, IERLAND E, et al. Spatial planning of offshore wind farms: a windfall to marine environmental protection[J]. Ecological Economics, 2009, 69(1):93-103.
- [13] 袁健美,贲成恺,高继先.海上风电电磁场对12种海洋生物存活率与行为的影响[J].生态学杂志,2016,35(11):3051-3056.
- [14] KERCKHOF F, RUMES B, JACQUES T, et al. Early development of the subtidal marine biofouling on a concrete offshore windmill foundation on the Thornton Bank (southern North Sea): first monitoring results[J]. Underwater Technology, 2010, 29(3):137-149.
- [15] 汪启铭.海上风电场建设水下噪声对中华白海豚影响研究[D].厦门:厦门大学,2014.
- [16] TOUGAARD J, WRIGHT A J, MADSEN P T. Cetacean noise criteria—a revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 90(1/2):196-208.
- [17] 牛富强,杨燕明,许肖梅,等.海上风电场运营期水下噪声测量及特性初步分析[J].振动与冲击,2016,35(12):215-220.
- [18] 陶毅,王强,许肖梅.海洋风电场水下噪声评估与管理研究[J].环境监测管理与技术,2021,33(2):1-4+8.
- [19] 于沛民.建设人工藻礁的意义[J].齐鲁渔业,2006(10):39-40+5.
- [20] DAN W, MALM T, HMAN M C. The influence of offshore windpower on demersal fish[J]. ICES Journal of Marine Science, 2006, 63(5):775-784.
- [21] PETERSEN J K, MALM T. Offshore windmill farms: threats to or possibilities for the marine environment[J]. Ambio, 2006(2):75-80.
- [22] FAYRAM A H, RISI A D. The potential compatibility of offshore wind power and fisheries: an example using bluefin tuna in the Adriatic Sea[J]. Ocean & Coastal Management, 2007, 50(8):597-605.
- [23] ASHLEY M C, MANGI S C, RODWELL L D. The potential of offshore windfarms to act as marine protected areas—a systematic review of current evidence[J]. Marine Policy, 2014, 45:301-309.
- [24] BUCK B H, LANGAN R. Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean: the untapped potential for marine resources in the anthropocene[M]. Cham: Springer, 2017.
- [25] 高晓霞.南海水产研究所资源养护与海洋牧场研究室负责人陈丕茂注重长期效益 广东做大养护型海洋牧场[J].海洋与渔业, 2019, 298(2):77-80.
- [26] 马志洲,欧小华.广东省海水养殖现状与持续发展[J].海洋与渔业, 2018(7):90-93.
- [27] 李恒,李美真.藻场的生态作用及人工藻场建设的现状[J].中国水产,2006(11):77-80.
- [28] 中国水产科学研究院南海水产研究所.广东大唐国际南澳勒门1海上风电场项目对自然保护区影响专题评价报告书[R/OL].(2018-07-06)[2021-01-06].<https://www.southchinafish.ac.cn/info/1003/18075.htm>.
- [29] 孙洁.湛江博罗港岩礁区全缘马尾藻栽培及底栖生物多样性演替研究[D].湛江:广东海洋大学,2020.
- [30] 于沛民,张秀梅,张沛东,等.人工藻礁设计与投放的研究进展[J].海洋科学,2007(5):80-84.
- [31] 于沛民.人工藻礁的选型与藻类附着效果的初步研究[D].青岛:中国海洋大学,2007.
- [32] 张磊,郝振林,张秀梅.不同模型礁底栖藻类附着效果的初步研究[J].南方水产科学,2011,7(2):1-7.
- [33] 田涛,陈勇,郑小贤.人工藻礁含铁量对附着生物影响的初步研究[J].大连水产学院学报,2010,25(2):127-131.
- [34] 黄梓荣,梁小芸,曾嘉,等.人工鱼礁材料生物附着效果的初步研究[J].南方水产,2006,2(1):34-38.
- [35] 张伟,李纯厚,贾晓平,等.人工鱼礁附着生物影响因素研究进展[J].南方水产,2008,4(1):64-68.

(本文编辑:崔尚公)