

广东阳江“海上风电+海洋牧场”生态发展 可行性初探

莫爵亭¹, 宋国炜¹, 宋焱^{2,✉}

(1. 三峡新能源阳江发电有限公司, 阳江 529500; 2. 广东省环境科学研究院, 广州 510045)

摘要: [目的] 海洋牧场与海上风电融合发展是现代农业和新能源产业高效结合发展的典型代表, 为了响应国家“用海空间立体化、资源利用最大化”的政策, 缓解港口海域水产资源的供给压力, 对广东阳江“海上风电+海洋牧场”生态发展可行性进行了初步探究。[方法] 根据《水和废水监测分析方法》和《海洋监测规范》, 采用紫外可见分光光度计、体视显微镜、生物显微镜等对三峡阳江海上风电海域的叶绿素 α 与初级生产力以及海洋生物种类进行了统计和分析。[结果] 研究表明: 调查海域叶绿素 α 含量平均值为 1.79 mg/m^3 , 初级生产力平均值为 $353.05 \text{ mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 共鉴定出浮游植物4门77种, 浮游动物11门76种, 大型底栖生物5门31种, 潮间带生物5门43种, 游泳动物3门37种。[结论] 本项目所处海域初级生产力较高, 浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物、游泳动物等物种丰富, 具备“海上风电+海洋牧场”融合发展的生态基础和优势, 也具有较大的渔业资源潜力和建设海洋牧场的可行性。

关键词: 海上风电; 海洋牧场; 海洋环境监测; 海洋生物调查

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)02-0122-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preliminary Discussion on the Ecological Development Feasibility of "Offshore Wind Power + Ocean Ranch" in Yangjiang, Guangdong

MO Jueting¹, SONG Guowei¹, SONG Lang^{2,✉}

(1. Three Gorges New Energy Yangjiang Power Co., Ltd., Yangjiang 529500, China;

2. Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China)

Abstract: [Introduction] The combination of ocean ranch and offshore wind power is a typical case of the efficient integrated development of modern agriculture and new energy industry. This paper makes a preliminary discussion on the feasibility of the ecological development of "offshore wind power + ocean ranch" in Yangjiang, Guangdong, which responding to the national policy of "three-dimensional use of sea space and maximum utilization of resources" and relieving the supply pressure of aquatic resources in port waters. [Method] According to *the methods of monitoring and analysis of water and waste water* and *the specifications for marine monitoring*, the chlorophyll α and primary productivity as well as the species of marine organisms in offshore wind power area of China Three Gorges Corporation in Yangjiang were counted and analyzed by means of ultraviolet visible spectrophotometer, stereomicroscope, biomicroscope, etc. [Result] It showed that the average value of chlorophyll α content was $1.79 \text{ mg}/\text{m}^3$ in the surveyed sea area, the average value of primary productivity was $353.05 \text{ mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Besides, There are 4 phyla and 77 species of phytoplankton, 11 phyla and 76 species of zooplankton, 5 phyla and 31 species of macrobenthos, 5 phyla and 43 species of intertidal organisms, and 3 phyla and 37 species of nekton. [Conclusion] The sea area of the offshore wind power has high primary productivity, which is also rich in phytoplankton and zooplankton, large benthic organisms, intertidal organisms, nekton, etc. Thus, it has ecological foundation and advantages of the integrated development of "offshore wind power + ocean ranch", and also has great potential for fishery resources and the feasibility of ocean ranch construction.

Key words: offshore wind power; ocean ranch; marine environmental monitoring; marine biological survey

海上风电是利用风机将海面上的风能转化为电能的绿色发电模式。而海洋牧场是在一定的海域范围内, 采用现代海洋工程技术改造和利用海洋生态和生物环境, 有计划地进行渔业资源增殖和管理而形成的人工渔场。海洋牧场与海上风电融合发展是现代农业和新能源产业高效结合发展的典型代表, 是节约集约用海的重要新型产业模式与未来发展方向^[1]。本研究通过海洋环境监测数据, 发挥海洋生物的指示作用, 科学评价当前海上风电建设海域与海洋牧场生态发展的可行性, 并为该海域海洋环境和海洋生物长期监测资料库提供数据支撑, 以期为能源与渔业协同发展和海洋环境保护发挥作用。

1 研究背景

海床上的风机桩基基础会被底栖生物当作栖息地, 甚至吸引非本地物种定居^[2], 这种生物聚集现象被称为“礁石效应”^[3], 是海上风电项目对海洋生态的最重要的影响之一^[4], 这使得其与水产养殖具有协同发展的可能性。近年来法国沿岸开发的海上风电项目迅速增加, 其中英吉利海峡因其优越的风资源而成为重点规划海域^[3]。研究发现, 处于运行期的海上风力发电机组的桩基下会聚集鱼类, 能起到类似人工鱼礁的作用^[5]。此外, 丹麦早在1991年就建成了全球首个海上风电场, 运行期间风电场海域的生物多样性、物种丰富度和生物量均有所增加, 风机基础能为部分海洋生物提供良好的生存环境^[6]。丹麦政府鼓励在风电场之间搭建水产养殖设施, 以提高海洋空间利用率和增强发展的可持续性^[7]。

阳江市位于广东省西南部, 南濒南海, 海洋风力资源丰富, 目前已有17个海上风电相关项目落地, 正规划建设成为世界级海上风电产业基地。广东省既是海洋大省, 又是人口大省。近年来日益增加的人口带来了港口海域水产资源的供给压力, 同时一些港区存在因潮位低、流水不畅而发生缺氧死鱼的风险。“海上风电+海洋牧场”的协调发展模式不仅是解决上述问题的关键手段, 还能很大程度上响应国家“用海空间立体化、资源利用最大化”的政策。当前, 德国、荷兰、比利时、挪威、韩国等国家已经开展了海上风电和海水养殖结合项目^[1], 而在我国此类项目处于起步阶段, 有必要利

用现有资源开展“海上风电+海洋牧场”的协同发展。

海洋环境监测过程开展的海洋生物多样性状况调查和定期评价, 便于全面了解海上风电场所处海域的基本情况, 及时掌握主体工程建设引起的区域环境质量变化动态, 同时将促进渔业管理模式向精细化、科学化的管理体系发展。

2 监测方法

2.1 监测位置

根据《广东省海上风电发展规划(2017—2030年)(修编)》, 阳江沙扒海上风电场规划装机总容量为2 000 MW。其中, 中国三峡新能源公司拟投资和分期建设700 MW, 第一期装机规模300 MW, 拟安装55台5.5 MW风电机组, 场址面积43.2 km², 场址水深范围27~32 m。

如图1所示, 本研究位于河北港海域, 共布设海洋生态调查站位6个, 潮间带生物调查断面2个, 渔业资源站位3个, 分别布设于工程场区、海缆路线以及码头附近。本次调查时间为2019年8月27~28日。

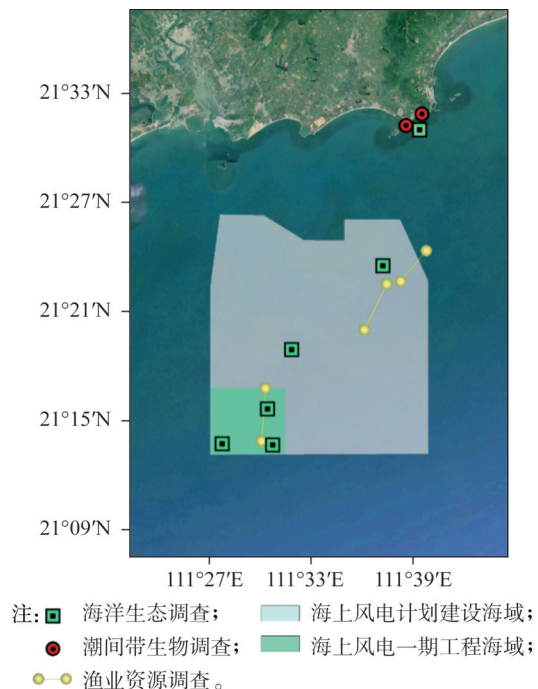


图1 广东阳江海洋调查位置分布(来自 Google Map)
Fig. 1 Location distribution of marine survey in Yangjiang, Guangdong (via Google Map)

2.2 监测项目及方法

监测项目包括叶绿素 α 与初级生产力、浮游生

物、大型底栖生物、潮间带生物、鱼类浮游生物、游泳生物等。监测项目及分析方法如表1所示。

表1 监测项目及分析方法

Tab. 1 Monitoring items and analysis methods

监测项目	分析方法	分析仪器名称
叶绿素 α 与初级生产力	初级生产力测定 叶绿素 α 的测定(B) 《水和废水监测分析方法》(第四版增补版) 国家环境保护总局(2002年)	紫外可见分光光度计;T6新世纪
浮游生物	海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测 浮游生物生态调查 GB 17378. 7—2007	体视显微镜 SZX10 生物显微镜 CX41 电子天平 SQP-Secura225D-1CN
大型底栖生物	海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测 大型底栖生物生态调查 GB 17378. 7—2007	体视显微镜 SZX10 电子天平 JJ1023BC
潮间带生物	海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测 潮间带生物生态调查 GB 17378. 7—2007	体视显微镜 SZX10 电子天平 JJ1023BC
游泳生物	海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查 游泳动物调查 GB/T 12763. 6—2007	电子天平 30002
鱼类浮游生物	海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查 鱼类浮游生物调查 GB/T 12763. 6—2007	体视显微镜 SZX10 生物显微镜 CX41

3 监测结果与讨论

3.1 叶绿素 α 与初级生产力

海洋初级生产力作为最基本的生物生产力,是海域有机物或经济产品生产的基础,也是估计海域生产力和渔业资源潜力大小的重要标志之一^[8]。本次调查使用紫外分光光度法测定叶绿素 α 含量;初级生产力采用叶绿素 α 法。结果表明,调查海区叶绿素 α 含量范围是0.289~8.65 mg/m³,平均值为1.79 mg/m³,初级生产力变化范围是102.36~1386.35 mg·C/(m²·d),平均值为353.05 mg·C/(m²·d),高于我国海洋初级生产力平均水平^[9],说明本海域具有较大的海域生产力和渔业资源潜力,具备建设海洋牧场的先天优势。

3.2 浮游植物

浮游植物素有“海洋牧草”之称,是海洋牧场中鱼类和其他经济动物的直接或间接的饵料,世界著名渔场都处于藻类丰富的海域。根据本次调查海域所采集到的样品,共鉴定出浮游植物4门77种。如图2(a)所示,硅藻门种类数最多,为54种,占总70.13%;蓝藻门1种,占1.30%;甲藻门21种,占27.27%;金藻门1种,占1.30%。优势种为

颤藻(*Oscillatoria species*)、热带骨条藻(*Skeletonema tropicum*)、微刺哲水藻(*Canthocalanus pauper*)等。从上述结果可知,本海域浮游植物种类丰富,硅藻种类最多,而硅藻作为水中贝类、鱼类、虾类及其幼体的主要食物来源,与其他藻类等浮游植物一起构成了海洋的初级生产力,这些浮游植物与渔业生产有十分密切关系^[10]。因此本海域具备开发渔业资源的前提条件,同时具备节约饲养鱼类等经济动物所需饵料的的优势。

3.3 浮游动物

浮游动物是中上层水域中鱼类和其他经济动物的重要饵料^[9]。本海域浮游动物共有11门76种,桡足类最多,为33种,占43.42%;浮游幼体类有13种,占17.11%;腔肠动物有10种,占13.16%;腹足纲有8种,10.53%;被囊类和毛颚类各有3种,分别占3.95%;枝角类有2种,分别占2.63%;十足类、端足类、多毛类和介形类各有1种,分别占1.32%。优势种为鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)等。从上述结果可知,本研究海域浮游动物物种丰富,为海洋牧场中的鱼虾贝等

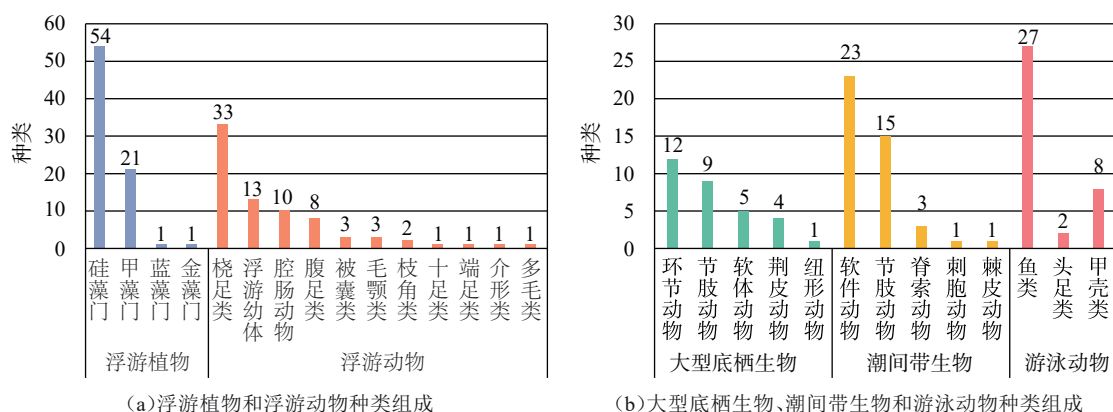


图2 广东阳江海洋调查生物种类组成

Fig. 2 Species composition of marine survey in Yangjiang, Guangdong

经济动物提供充足的天然食物来源。

3.4 大型底栖生物

大型底栖生物是海洋环境中一个重要的生态类群,其数量变动规律及其与海洋生物生产力和资源的关系,对渔业发展有重要意义^[11]。绝大多数底栖生物处于海洋食物链的中间层次,对海洋环境中的能量流动和维持生态环境的稳定起着促进作用。本次调查共采集鉴定出大型底栖生物5门31种,环节动物种类最多,为12种,占38.71%;软体动物5种,占16.13%;节肢动物9种,占29.03%;荆皮动物4种,占12.90%;纽形动物1种,占3.23%。大型底栖生物的优势种有滩栖阳隧足(*Amphiura vadicolata* Matsumoto)、日本和美虾(*Nihonotrypaea japonica*)、边鳃拟刺虫(*Linopherus paucibranchiata*)、裸盲蟹(*Typhlocarcinus nudus*)和薄饼干海胆(*Laganum depressum*)等。结果表明,本海域大型底栖动物种类十分丰富,存在许多可供食用的底栖生物种类,是渔业捕捞或养殖的对象,具有重要的经济价值。

3.5 潮间带生物

潮间带生物群落是海洋生态系统的重要生物群落之一。通过2个潮间带断面调查海域,共采集鉴定出潮间带生物5门43种,其中软体动物种类23种,占53.49%;节肢动物15种,占34.88%;脊索动物3种,占6.98%;刺胞动物与棘皮动物均为一种,各占2.33%。优势种为塔结节滨螺(*Nodilittorina pyramidalis*)、短滨螺(*Littorina brevicula*)、平轴螺(*Planaxis sulcatus*)等。

3.6 游泳动物

游泳动物是指在水中能克服水流阻力自由游动

的水生动物生态类群,绝大多数游泳动物是海洋生产力的终级水产品,也是人类食品中动物蛋白质的重要来源。本研究调查捕获的鱼类,分隶于5目20科,种类数为27种,占72.97%,优势种为黄斑鳊(*Leiognathus bindus*)、棕斑兔头鲷(*Lagocephalus spadiceus*)、乳香鱼(*Lactarius lactarius*)等;头足类分隶于2目2科,种类数为2种,占5.41%,无优势种;甲壳类分隶于2目3科,种类数为8种,占21.62%,优势种为三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)。由此可知,本海域水产品种类多,渔业资源丰富,本次调查及后续监测结果能为海洋牧场的经济动物的物种选择和养殖形式提供依据。

3.7 鱼类浮游生物

本研究调查海域所有站为鱼卵、仔稚鱼共鉴定5科5分类单元,其中优势种各有2种。鱼卵优势种为鳊属(*Leiognathus species*)和大头狗母鱼(*Trachinocephalus myops*),仔稚鱼优势种为鲙科(*Carangidae*)和沙丁鱼属(*Sardinella species*)。海水鱼仔稚鱼的摄食习性和饵料营养水平直接关系到其生长、发育和存活,跟踪并研究海水仔稚鱼在自然海域或人工育苗条件下的摄食习性、饲料营养和生长规律可对海水鱼育苗生产提供理论依据。

4 结论

本文针对广东阳江“海上风电+海洋牧场”生态发展的可行性和必要性进行了初步探究,分析了三峡阳江海上风电项目海洋环境跟踪监测数据对于“海上风电+海洋牧场”规划建设的参考价值。根据《水和废水监测分析方法》和《海洋监测规范》,本

文采用紫外可见分光光度计、体视显微镜、生物显微镜等对三峡阳江海上风电海域的叶绿素 α 与初级生产力以及海洋生物种类进行了分析和统计。研究表明,调查海域叶绿素 α 含量平均值为 1.79 mg/m^3 ,初级生产力平均值为 $353.05\text{ mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,共鉴定出浮游植物4门77种,浮游动物11门76种,大型底栖生物5门31种,潮间带生物5门43种,游泳动物3门37种。本项目所处海域初级生产力较高,浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、潮间带生物、游泳动物等物种丰富,具备“海上风电+海洋牧场”融合发展的生态基础和优势,也具有较大的渔业资源潜力和建设海洋牧场的可行性。后续将继续开展海洋环境跟踪监测工作,通过调查和收集更多海洋环境数据,分析海上风电项目建设及运行期间海洋生物多样性及种群密度变化,为能源与渔业协同发展和海洋环境保护发挥作用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] WILHELMSSON D, MALM T. Fouling assemblages on off-shore wind power plants and adjacent substrata [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2008, 79(3): 459-466.
- [3] AURORE R, GÉRALDINE L, PHILIPPE P J, et al. Measuring sensitivity of two OSPAR indicators for a coastal food web model under offshore wind farm construction [J]. Ecological Indicators, 2019, 96(1): 728-738.
- [4] PETERSEN J K, MALM T. Offshore windmill farms: threats to or possibilities for the marine environment [J]. Ambio, 2006, 35(2): 75-80.
- [5] 罗茵,方琼玫. “海洋牧场+海上风电”不止于构想[J]. 海洋与渔业, 2019(2): 73-75.
- [6] ALEXANDER K A, MEYJES S A, HEYMANS J J. Spatial ecosystem modelling of marine renewable energy installations: gauging the utility of ecospace [J]. Ecological Model, 2016, 331(6): 115-128.
- [7] SPYROS F, THEOCHARIS T. Strategies to improve sustainability and offset the initial high capital expenditure of wave energy converters (WECs) [J]. Renew and Sustain Energy Review, 2017, 70(4): 775-785.
- [8] 刘芳. 海洋中环环相扣的食物链[M]. 合肥:安徽文艺出版社, 2011.
- [9] 宁修仁,刘子琳,蔡昱明. 我国海洋初级生产力研究二十年[J]. 东海海洋, 2000, 18(3): 13-20.
- [10] 赵文. 水生生物学[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [11] 河海大学《水利大辞典》编辑修订委员会. 水利大辞典[M]. 上海:上海辞书出版社, 2015.

作者简介:



莫爵亭

莫爵亭

1995-, 男, 广东湛江人, 三峡新能源阳江发电有限公司, 高级主管, 硕士, 主要从事海上风电质量安全环保工作 (e-mail) mojuejing@foxmail.com。

宋国炜

1985-, 男, 湖北天门人, 三峡新能源阳江发电有限公司, 质量安全与环保部经理, 硕士, 主要从事海上风电质量安全环保工作 (e-mail) songlangzi@126.com。

宋焯 (通信作者)

1993-, 男, 吉林长春人, 广东省环境科学研究院, 助理工程师, 硕士, 主要从事环境规划与管理 and 环境监测等工作 (e-mail) larrysoong@foxmail.com。

(责任编辑 李辉)

