

深远海空间布局方法与空间用途管控 ——以粤东外海为例

王秋璐¹, 王江涛¹, 吴佩², 杨潇¹, 程永鑫¹

(1. 国家海洋信息中心, 天津 300171; 2. 自然资源部海洋战略规划与经济司, 北京 100812)

摘要: 探究深远海空间布局管控方法对推动海洋空间优化配置, 释放“蓝色潜力”, 缓解中国近岸海域资源、生态环境和空间利用等多重压力, 推动实现海洋强国战略具有重要意义。该研究面向多要素、多维度、长时序的深远海空间格局解析, 构建基于多源数据空间化的识别方法, 以粤东外海为实证对象布局“三类空间”, 并挖掘各类用海活动的时空特征, 建立空间用途管控规则。结果表明: 1) 深远海空间可划分为保护、保留和利用空间, 分别对应维护安全的保护功能、保留功能和开发利用功能; 2) 粤东外海保护空间占比达到46%, 高于保留空间(43%)和利用空间(11%), 生态保护、自由航行、矿产勘探等用途优先于其他开发利用活动; 3) 以时间尺度和垂直深度表征用海活动特征, 结合可移动性和空间占用范围, 分析用海活动的时空轨迹与冲突关系, 提出以合理利用空间资源, 精细化管理为目标的空间准入规则。研究结果对于深远海空间规划的理论研究与方法构建具有一定借鉴意义, 也可为推动中国空间利用、健全国土空间规划体系提供决策支持。

关键词: 深远海空间; 空间布局; 空间识别; 用途管控; 用海活动; 时空轨迹

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404076

中图分类号: TU981

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-22-0306-09

王秋璐, 王江涛, 吴佩, 等. 深远海空间布局方法与空间用途管控——以粤东外海为例[J]. 农业工程学报, 2024, 40(22): 306-314. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404076 <http://www.tcsae.org>

WANG Qiulu, WANG Jiangtao, WU Pei, et al. Layout approach and use management for deep and far sea space: A case study on the outer sea of eastern Guangdong Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(22): 306-314. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404076 <http://www.tcsae.org>

0 引言

海洋是支撑未来发展的资源宝库和战略空间, 在国家经济发展格局和对外开放中的作用显著, 在维护国家主权、安全、发展利益中的作用突出。海岸带及近岸海域是人类活动最为集中、开发利用程度最高的区域^[1]。但由于长期高强度的开发, 近岸资源环境承载能力整体已接近上限^[2], 经统计, 海水养殖是中国最主要用海活动, 主要分布在沿岸滩涂和近海, 随着近年来对空间需求不断上升, 可用于海水养殖的近岸空间日渐缩小。与此同时, 随着科技进步, 以海洋渔业生产、海上风电开发为代表的行业迅速发展, 逐步突破了深海科技壁垒, 探索谋划从沿海滩涂到深海养殖, 从近海作业到远洋开发的新路径^[3-4]。在此背景下, 依托海洋空间, 以海洋生物资源保护开发为手段, 以协调近海与远海空间利用为目标, 优化海洋空间开发保护格局成为学者研究和政府部门关注的重点^[5]。

习总书记指出“树立大农业观、大食物观; 全方位

多途径开发食物资源”。2023年《关于加快推进深远海养殖发展的意见》要求“拓展深远海养殖空间”“合理规划布局深远海养殖”。2022年《“十四五”可再生能源发展规划》实施, 提出“优化近海海上风电布局, 开展深远海海上风电规划”, 并鼓励融合发展和综合利用。由此, 政策已然推动向深远海寻找增量空间。

从国际经验分析, 走向深远海是海洋大国发展的必然选择和途径^[6]。早在20世纪80年代西方国家通过建立自然保护区, 开展渔业资源、海上风能资源等利用, 开启了向深远海空间的探索^[7-8]。《公约》诞生后, 澳大利亚, 英国, 欧盟等逐步建立了完善的制度体系, 制定并实施了各国专属经济区和大陆架空间规划, 用以指导并规范深远海空间利用^[9-10]。统计欧盟官方发布资料(European MSP Platform, <https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/msp-practice/countries>), 至2023年底已有17个国家针对全部或部分专属经济区及大陆架海域批准实施了空间规划。CHARLES等^[11]研究表明10%的专属经济区实施了空间规划, 预计到2025年末, 接近33%~50%的全球专属经济区将批准实施规划。制定并实施专属经济区和大陆架海洋空间规划已经成为世界主要海洋国家普遍采取的、用以加强深远海空间保护与利用的重要策略^[12]。2019年中国国土空间规划工作全面开展, 自然资源部发布《资源环境承载能力和国土空

收稿日期: 2024-04-12 修订日期: 2024-09-21

基金项目: 自然资源部海洋生态监测与修复技术重点实验室“揭榜挂帅”项目(编号: MEMRT2024JBGS01)

作者简介: 王秋璐, 高级工程师, 研究方向为海洋空间规划与管理技术。

Email: 87675694@qq.com

间开发适宜性评价指南(试行)》(简称“双评价”),将生物多样性、生态脆弱性和海岸防护功能作为生态重要性评价指标;将水质优良、自然灾害风险低的水域确定为渔业养殖适宜区,但并未给出具体指标与方法。海洋空间开发适宜性愈发受到包括地理学、海洋科学、规划学等领域的关注与重视,相关学者围绕海洋空间识别^[13]、功能评价^[14]和空间管控规则^[15]等形成了一定的研究成果,运用“多要素空间叠置分析”^[16-17]、“生态模型”^[18]和“功能冲突分析”^[19]等方法在不同海域开展了案例研究。但聚焦深远海空间的研究不足,特别是空间功能识别、开发适宜性评价、空间分区及用途管控等方法与规则的适用性和实践性研究缺乏。本文在海洋空间宏观格局的基础上,通过解析深远海空间开发面临的挑战,建立空间布局方法,明确用海管控规则,实现深远海空间利用的区块化、场景式推进,以期为健全海洋空间利用秩序,破解海洋资源供需矛盾、实现蓝色经济可持续发展提供优选方案和技术方法支撑。

1 深远海空间概念和空间开发的挑战

1.1 概念

中国管辖海域包含内水、领海、毗连区、专属经济区和大陆架组成。专属经济区和大陆架是领海与世界大洋的连接和过渡空间,专属经济区从测算领海宽度的基线量起至二百海里,大陆架是中国陆地领土的全部自然延伸,扩展到大陆边外缘的海底区域的海床和底土(图1),蕴含了丰富的自然资源和生物资源^[20-21],战略价值极高^[22],但也存在划界等海洋权益问题。

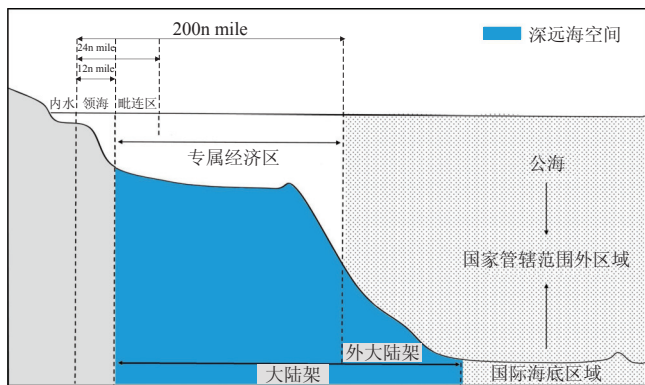


图1 深远海空间示意图(据王子昂^[22], 2023 修改)

Fig.1 Schematic diagram of deep and far sea

国家于2012年实施《全国海洋功能区划》,对黄海和东海的大陆架海域开发保护进行了战略指引和原则性安排。2015年《全国海洋主体功能区规划》将专属经济区和大陆架海域划分为重点开发区域和限制开发区域,提出“推动深远海适度开发”。从相关行业的需求空间分析来看,《关于加快推进深远海养殖发展的意见》中提出,将低潮位水深不小于20 m或离岸10 km以上的海域作为深远海养殖的发展空间。国家号召新增海上风电向深水远岸布局,即离岸距离30 km以外或水深在30 m以上布局。由此参考规划中的表达,文中所述深远海空

间位于专属经济区和大陆架,是相对内水、领海的深水、远岸空间。

1.2 国土空间规划背景下深远海空间开发面临现实挑战

在自然状况方面,中国深远海地形地貌多以岛礁、海槽和平原为主^[23-24];水团活动复杂多样,分布有冷水团、暖水团、上升流、陆架混合水和黑潮^[25];生态系统类型趋于更加综合,尤其在纵深方向上呈现不同深度的海洋要素及其组合状态^[26]。和近海相比,人类活动相对较少,环境更趋于“原始化”,开放性和立体性的特征更加突出。在规划方面,深远海没有开展海洋功能分区,未明确空间管控模式。从实践来看,深远海的用海活动倾向于多种用途“打包式”组合,比如海洋人工岛屿、设施和结构并不仅仅单一化用于矿产资源、海洋能、风能利用,还可同时附于建设海洋观测设施、航行安全的灯塔、海上仓储空间等广泛用途^[27]。多用途的开发活动无法归并于单一用海类型,也并不能完全被某一种海洋功能区所囊括。在政策方面,中国《海域使用管理法》和现行的海域使用分类体系的适用范围为内水和领海,未从法律上细化专属经济区和大陆架海域建设和使用人工构筑物的管理制度,同时相关海域政策也未给予明确导向和使用程序,不能满足实际管理需要。

国家建立并实施了国土空间规划体系,空间布局与用途管控是规划核心,也是开发利用活动的许可依据。目前中国覆盖深远海的空间规划仅为原则性和战略性布局,对科学、有效指导空间保护与利用面临诸多现实挑战,主要有:1)规划数据基础薄弱。中国国土空间规划的基础调查未覆盖专属经济区和大陆架海域,对此区域相对较全面的海洋基础调查要追溯到十几年前,已致现阶段海洋资源和生态环境本底状况掌握不清晰,不具备系统化大尺度开展海洋生态重要性评估的条件。此区域的开发利用基本集中在油气勘探开发、海上风电、海洋渔业等行业用海以及船舶通行、海洋科研观测和海底光缆、线缆设施穿越等活动,行业内的调查、勘测、监测等仅从行业需求考虑,基础性连续性调查数据较少,且覆盖范围局限,行业间数据共享和融合机制不健全。2)空间布局技术方法不完善。“双评价”是优化国土空间开发保护格局的重要依据,主要是识别生态保护重要区域,明确开发利用的合理规模和适宜空间,但由于资源禀赋和生态特征的差异,深远海生态保护重要性评价无法通过生态系统分布、生物物种状况等指标量化评估。深远海空间开发的适宜性条件相对近海差异化更强,既有的海洋功能分区体系和技术方法,以及设定的空间准入规则和管控要求都无法直接照搬移植。3)用海秩序不明确。在积极响应党中央建设海洋强国号召、积极进军深海之际,深远海利用需求爆发式增长会带来新一波的“抢滩”潮,以及相关行业的调查活动、保障平台也出现了同质化发展现象和低水平重复趋势。因此,亟需强化深远海空间利用的统筹协调,借鉴国土空间用途管控规则,考虑深远海空间利用特征,构建国之大的用海秩序。

2 深远海空间布局方案

2.1 深远海空间划定思路

空间识别和用途分区是支撑深远海空间利用的重要基础。中国国土空间规划将“底线思维，保护优先”作为基本原则，以生态保护红线管控，资源环境底线约束为基础，通过分析资源环境禀赋、研判国土空间开发利用风险与问题，从而确定空间开发的最大规模与适宜程度^[28]。深远海空间内要素识别是实现空间布局优化的基础。本文提出了以保障生态安全、通航安全、资源安全等国家利益为前提，以空间利用需求为驱动，制定区域性空间布局方案，逐步实现全域空间覆盖。空间布局的

划定思路是：以国家权益、生态保护和资源能源安全等条件为依据，建立水文、地形、生态和资源分布等空间化识别关系，选划保护空间；以海上风电开发、海洋渔业资源利用为场景，从空间开发适宜性角度关联基本特征参数，评估适宜条件，识别利用空间；从海洋灾害、低氧、酸化等现象分布刻画脆弱空间特征，识别保留空间。经空间叠合分析，构建“两保一利（保护、保留、利用）”的深远海空间格局（图2）。保护空间是生态重要性高，分布水下遗迹、富集矿产，以及航路所在的空间；利用空间是开发适宜性高，保护重要性一般且海洋风险性低的空间；保留空间是海洋风险性高，或者保护重要性一般，开发适宜性一般的空间。

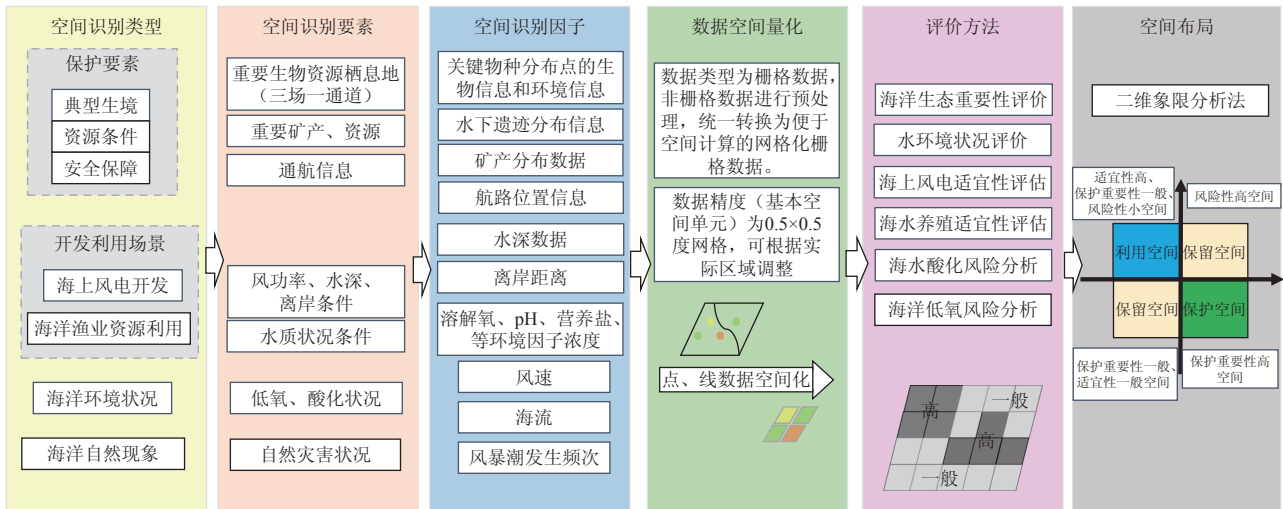


图2 深远海空间布局技术路径图

Fig.2 Diagram of deep and far sea space layout route

2.2 空间识别与选划方法

2.2.1 识别因子选择

按照空间类型，选择可量化、可操作、有代表性、可借鉴的识别因子^[29]。其中保护空间的识别因子依据保护对象选取，具体包括：1) 维护生态安全，充分识别重要生态系统，海洋生物产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道等重要海洋生境纳入保护空间；2) 保障重要矿产资源安全，调查石油、天然气、可燃冰等重要矿产资源的分布区域，开发利用本区域的有关活动时应予以充分保护；3) 遵守航行安全权益，依据中国《海上交通安全法》规定“未经有关主管机关的批准，不得在主管机关公布的特定地区的航路内设置、建造设施或者进行其他有碍航行安全的活动”，将确需保护的航线资源纳入保护空间。4) 实施水下文物保护，充分遵循中国《文物保护法》《水下文物保护管理条例》等法律法规，调查并识别保护文物分布区域，纳入保护空间。由此，对应选择识别因子，具体见表1所示。

利用空间识别因子选择时充分考虑用海需求，按照海洋资源条件差、风险高的区域确定为不适宜区的原则，研究确定海上风电开发，海洋渔业资源利用的空间开发适宜性评价因子。其中水深、离岸距离和风速是海上风电开发的基础条件，作为海上风电开发适应性评价因子^[30]；

海水水质状况作为海水养殖适宜空间的评价因子^[31]。海洋内诸多自然灾害和生态脆弱现象是人类活动不可抗力的重要因素，选择 pH、溶解氧特征性指标作为酸化、低氧的识别因子^[32]；并将赤潮、风暴潮等风险高发区域纳入保留空间。

2.2.2 空间评价与选划方法

1) 空间评价

将水质、水深、海流、风速，以及关键物种、重要渔业资源、重要矿产等分布的点、线、面数据，以及水下遗迹、通航、风险区等信息资料，进行空间化转换，形成栅格数据层，网格分辨率不低于 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。根据数据类型（数值型或出现型），设定空间评价分级标准（表1）：

数值型数据包括：①水深数据将 30、50、100 m 作为水深阈值临界点；离岸距离将 30、60、100 km 作为距离临界点；以临界点为分类间隔，对应赋级。②物种多样性、风功率密度、pH 和溶解氧数据序列，运用自然间断法对数据进行分类赋级。③海水水质参数（包括营养盐、pH、溶解氧），依据海水评价技术规范（HJ1300-2023），采用单指标等级判定法和综合质量评价法确定栅格数据水质状况等级，并以 II、III、IV 等级为临界点分类赋级。

出现型数据包括：关键物种出现点、产卵场、索饵场、洄游通道、矿产分布、水下遗迹分布、航路分布和

灾害风险区等记录数据，按照出现和无出现两类分级。

按照空间类型，不同栅格数据层进行叠加，以格网为单元等权重集成评价因子。对保护空间评价时，当识别因子出现重要等级，格网单元即判定为重要等级；对

利用空间评价时，当识别因子出现适宜等级，即判定为适宜单元；对保留空间评价时，当识别因子出现高等级，格网单元即判定风险高。由此，形成三类空间的格网数据集。

表 1 深远海空间识别与评价指标体系

Table 1 Deep and far sea spatial identification and evaluation index system

| 空间类型 Space type | 分级标准 Grade standard | | 空间类型 Space type | 分级标准 Grade standard | | | 空间类型 Space type | 分级标准 Grade standard | |
|--------------------|------------------------|---------------------|--------------------|---|---|---|--------------------|---------------------------------------|---|
| | 重要 Important | 一般 General | | 适宜 Suitable | 一般 General | 不适宜 Unsuitable | | 高 High | 一般 General |
| 关键物种、物种多样性 | 关键物种出现点；物种多样性数据序列前 1/2 | 无关物种；物种多样性数据序列后 1/2 | 海上风电开发适宜空间 | 水深 30~50 m；离岸距离 30~60 km；风功率密度数据序列前 1/3 | 水深 50~100 m；离岸距离 60~100 km；风功率密度于 1/3~2/3 | 水深大于 100 m；离岸距离大于 100 km；风功率密度数据序列后 1/3 | pH | 数据序列前 1/2；小于 7 的数据 | 数据序列后 1/2，且中位数不低于 7；当中位数低于 7 时，大于 7 的数据 |
| 保护空间 | 重要渔业资源 | 分布产卵场、索饵场、洄游通道 | 利用空间 | 海水水质状况为 II 类及以上水质 | 海水水质状况为 III 类水质 | 海水水质状况为 IV 类及以下水质 | 溶解氧 | 数据序列前 1/2；小于 3 mg·L ⁻¹ 的数据 | 数据序列后 1/2，且中位数不低于 3 mg·L ⁻¹ ；当中位数低于 3 mg·L ⁻¹ 时，大于 3 mg·L ⁻¹ 参考的数据 |
| | 水下遗迹矿产航路 | 分布分布分布 | | | | | 灾害 | 赤潮、风暴潮高发区 | 无 |

2) 选划布局

基于三类空间格网数据集，开展空间叠置分析，利用二维象限分析法^[3]划分深远海空间。其中保护重要性作为首要条件，当出现保护重要等级时，即选划为保护空间；其次筛选风险高等级单元选划为保留空间，适宜单元选划为利用空间；最后将剩余单元最终纳入保留空间。空间选划还应充分考虑空间连续性和完整性，当选划为利用空间的格网以单独或少量间断式分布时，应将此重新选划为邻近空间类型（保护或保留空间）。

3 实证分析

3.1 研究区概况

本文以粤东外海作为研究海域，116°E~122°E，19°N~24.5°N，位于中国南海东北部，与广东、福建两省的管辖海域邻接（图 3）。海洋生境多样，是重要渔业资源

产卵场和珍稀海洋生物栖息地；海域开阔，沉积层主要为软土、黏性土和砂层，属近海地貌-大陆架单元，水深超过 200 m^[23]；风能资源富集，海水水质优良，沿岸流、台湾暖流等密集交织；同时分布有丰富的油气资源和交通航线。考虑到该研究区域的自然状况和环境特征较为典型，用于空间分析的数据易于获取，且不存在海洋权益争端。

3.2 数据来源与预处理

研究数据主要包括海洋物种分布数据、海水水质数据、海洋资源分布数据等，其中水质数据中营养盐为无机氮（氨氮-N、硝酸盐-N 和亚硝酸盐-N）和磷酸盐，水质数据采用 2018—2021 年连续调查频次（2 或 3 次/a）的多层（水深）数据平均值。风、海流数据采用 2018—2021 年业务化观测记录（月度）数据的均值。渔业资源、灾害信息、矿区分布、航路等数据均来源公开资料和官方发布，各数据来源及预处理过程见表 2。

表 2 数据来源及预处理

Table 2 Data sources and preprocessing

| 名称 Name | 来源 Source | 预处理 Preprocessing |
|------------|---|--|
| 海洋珍稀物种分布数据 | 《中国物种红色名录》； | 将海洋珍稀濒危物种出现记录，以 0（无）或 1（出现）标记在栅格数据集； |
| 重要渔业资源数据 | 《中国海洋渔业水域图（第一批）-南海区渔业水域图》，2002 年； https://www.gebco.net/； 中海油 2009、2012、2017 年公布； | 将重要渔业资源产卵场、越冬场和洄游通道分布以 0（无）或 1（出现）标记在栅格数据集； 将高程数据转化为 0.5 度栅格数据； |
| 水深数据 | | |
| 矿区数据 | | 将中海油开放区块分布位置以 0（无）或 1（出现）标记在栅格数据集； |
| 航路航线 | 《全国沿海船舶航路总体规划》（2011 年）；广东海事局 2023 年 8 月发布； | 将广东省沿海主要公共航路位置以 0（无）或 1（出现）标记在栅格数据集； |
| 风、海流数据 | 海洋观测业务化数据（2018-2021 年）； | 将风功率密度、海流数据分别空间化到 0.5 度格网单元，计算格网单元平均值形成栅格数据集； |
| 灾害信息 | 《中国海洋灾害公报》； | 将风暴潮发生频次以 0（无）或 1（出现）标记在栅格数据集； |
| 水质数据 | 海洋生态环境预警监测数据（2018-2021 年） | 将溶解氧浓度、pH、营养盐等含量分别空间化到 0.5 度格网单元，计算格网单元平均值形成栅格数据集。 |

3.3 空间识别与布局

经查阅国家文物局公开信息，本研究海域没有大型沉船遗址。因此，从关键物种、重要渔业资源、重要航线、油气资源四个方面识别保护空间要素（图 3a）。《中国海洋渔业水域图》记录表明研究区北部、西部是马鲛、旗鱼等中上层鱼类的产卵场和越冬场。《中国物

种红色名录》记录了黑鳃舌鲷、长鳍等珍稀生物栖息于研究区西南和台湾岛西南海域。同时此区域是台湾暖流和沿岸流的穿流区，暖流携带较丰富的营养物质和高生产力，在识别该要素时与关键物种和渔业资源的识别范围相关联。通过资料比对与空间量化，生态重要性空间占比约为 10%。经《全国沿海船舶航路总体规划》和广

东海事局公开信息比对, 研究区北部横跨东西方向识别琼州海洋-台湾海峡干线航路, 宽度设置为3海里。依据

中海油公开资料识别南海油气资源分布, 主要位于研究区西南部, 面积可达36 km²。

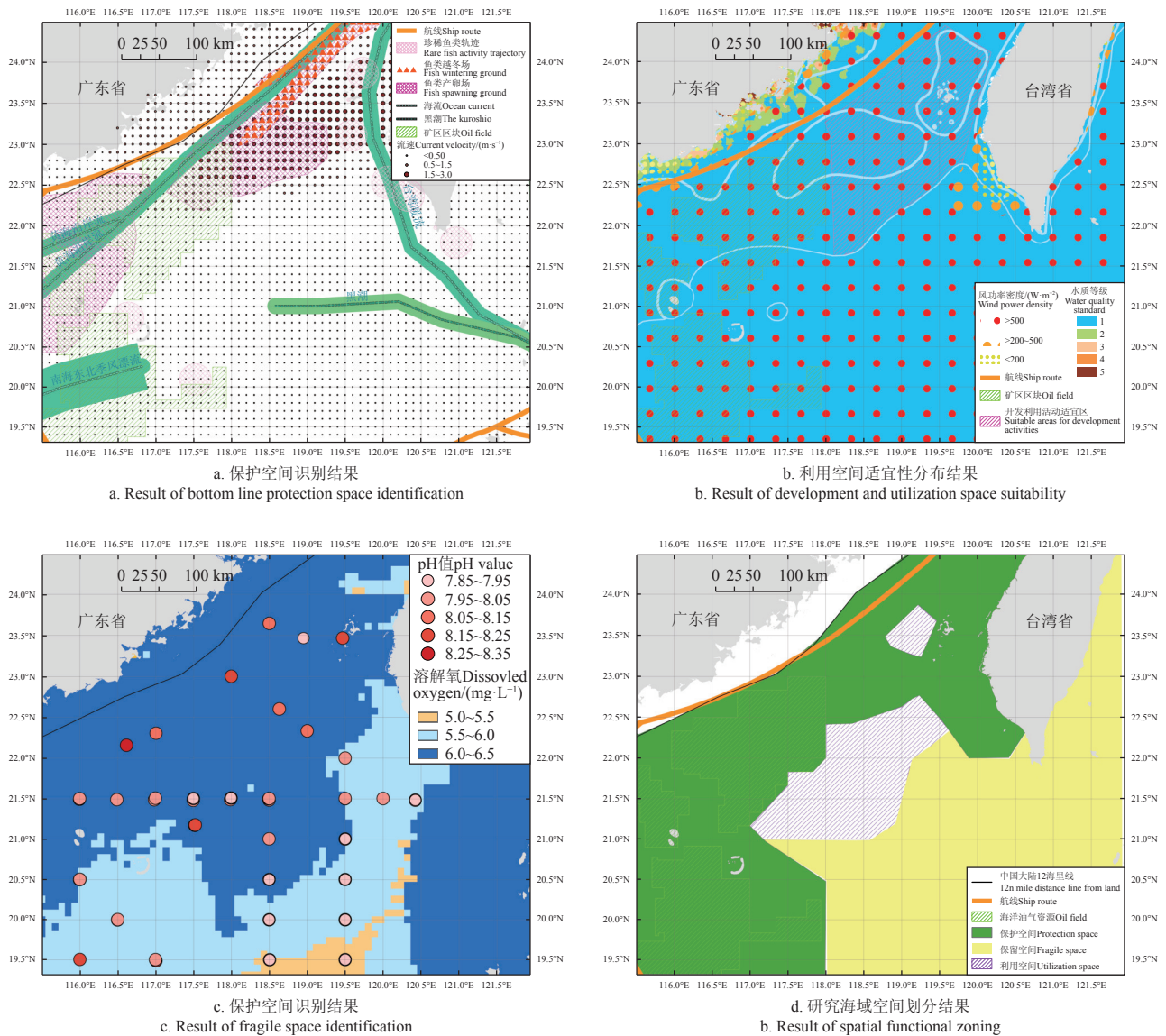


图3 粤东外海空间识别与分区图

Fig.3 Space identification and functional zoning in the southern of the East Guangdong Sea

海水水质状况评估结果显示, 研究区内磷酸盐、溶解氧和 pH 值的单因子评级结果均为 I 类, 其中 pH 值平均含量在 7.8~8.4 之间; 磷酸盐平均含量低于 0.03 mg/L, 呈现自近岸向外海升高趋势; 无机氮在研究区西北部零星出现高于 0.2 mg/L, 单因子评级为 II 类, 其余均为 I 类等级, 并呈现由近岸向外海显著降低趋势。综合状况评估研究区域海水水质状况等级为 I 类, 水质条件适宜海洋渔业资源利用。基于水深、风速和离岸条件评价分析, 研究区拥有优越风能资源, 区域内年平均风功率密度大于 500 W/m²; 台湾海峡南部分布有浅滩地形, 且离岸距离小于 100 km、水深在 30~100 m 之间, 符合开发适宜性评估的“适宜至一般”等级。同时考虑到深远海规模化开发和风电-养殖的融合发展趋势, 将台湾海峡南部 (位于研究区北部) 至 200 m 等深线以浅海域识别为开发利用适宜区 (图 3b)。

2018—2021 年溶解氧评均含量统计, 均值范围为 4.8~6.7 mg/L, 研究海域表现出自北向南的降低趋势, 其中 6—9 月期间, 南部海域出现相对性低氧区, 溶氧含量低于 4 mg/L, 该区域水深平均超过 200 m, 离岸距离超过 300 km (图 3c), 将溶解氧数据序列中前二分之一识别为高等级风险区。参考《中国海洋灾害公报》和中国气象网公开信息, 考虑热带气旋影响, 位于研究海域东南部是强风和强湍流风的密集活动区域, 对深远海开发利用带来较高难度和不确定性, 识别为高风险区。

经以上图层叠置分析, 保护要素所覆盖的空间与开发适宜性空间重合面积约为 21 050 km²。基于二维象限分析, 按照保护优先原则, 依次划分保护空间、保留空间和利用空间 (图 3d)。其中, 划定保护空间面积为 131 269 km², 占比 46.2%, 保护空间内油气资源分布区与产卵场重叠, 其他保护要素空间分布相对独立。将风

险高的空间划定为保留空间，面积为 814 356 km²。在以上分区结果基础上将开发适宜性高的空间划为利用空间，面积为 30 734 km²，空间占比 10.8%，适宜发展深海养殖和海上风电开发。剩余空间一并纳入保留空间，最终划定保留空间为 122 264 km²，占比为 43%。

4 深远海空间用途管控

从中国用海管理实践中发现，海洋空间并非“非此即彼”的准入式管控，如航行和海底管廊等线性用海的穿越往往与其他利用活动同时存在，因此仅依靠空间分区无法精细、准确地实施海域管理。将空间布局作为基础，即明确空间类型和基本功能，再叠加建立用海秩序，可实现多维度的差异化用途管控。

深远海空间的主要用海活动包括：海洋生物多样性保护、矿产资源勘探开发、交通航运、海上风电开发、深海养殖以及海底电缆管道铺设等。基于海域使用分类和管理实践，将用海活动按照空间尺度划分为占用水面（含上覆空间）、水体、海床和底土等层次的活动^[34]；在时间安排上划分为长期（1 年（含）以上）、短期（1 年以下）占用两个层次，如图 4 所示

通过时空属性分解，以空间立体性占用为指标分析发现，国防用途、风电开发和矿产资源勘探占用纵向全域空间，空间属性强于其他活动；以时间跨越长短为指标分析发现，生境和水下文物保护、矿产资源勘探开发、通航、海底电缆管道铺设为长期永久性活动，时间属性更为突出。时空属性显化各类用海活动不同时期的空间

足迹，以“避免冲突”为目标，分析存在足迹重叠的用海活动并提出解决方案^[34]，主要有：1) 如果用海活动在垂直深度上没有空间重叠（例如航运和海底电缆），可以同时存在；2) 如果用海活动在垂直深度上空间重叠，在不影响优先用途的前提下，制定其他用海活动的管理要求；3) 如果用海活动为长期占用海域空间，在不影响优先用途的前提下，制定其他用海活动的管理要求；4) 如果用海活动为短期占用海域空间，在确保海域状态可恢复的前提下，按照时间次序，避免用海活动时间交叉。用海活动秩序安排与管控规则见表 3。

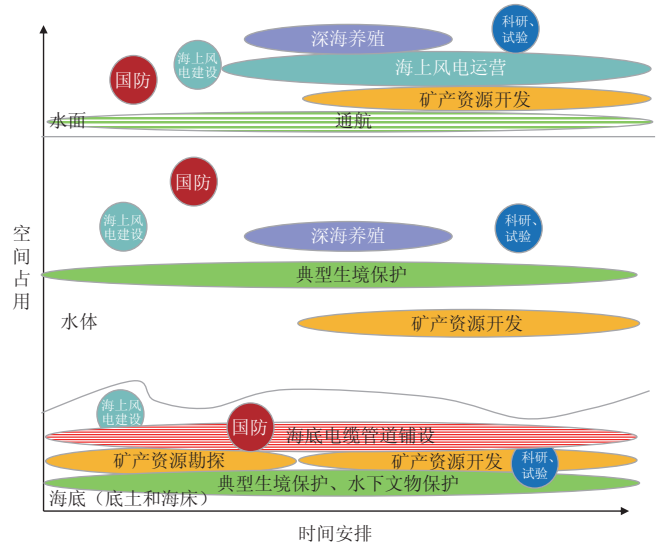


图 4 用海活动的时空轨迹图

Fig.4 Spatiotemporal trajectory of sea use activities

表 3 深远海用海活动秩序与规则

Table 3 Maritime use order and rules in the deep and far sea

| 空间用途 Space usage | | 时空属性 Spatiotemporal attributes | 用海秩序 Utilization order |
|---------------------|--|-----------------------------------|--|
| 国防军事用途 | 国防军事用途排他使用的空间 | 空间：立体区域性占用； 时间：短期 | ●可准入至各类空间； ●在该活动进行期间，不与其他活动时空重叠。 |
| 典型生境、水下文物保护 | 为保护海洋生物物种及其栖息地，以及有重大科学、文化、景观和生态服务价值等要素需要而划定的空间 | 空间：水体、海底区域性占用； 时间：长期 | ●可准入至各类空间； ●可与空间属性不重合的活动、且不破坏和影响重要生境和水下文物资源，同时存在。 |
| 矿产资源勘探开发 | 开发利用矿产资源，包括可供石油、天然气和固体矿产等勘探、开采作业，等的海域空间 | 空间：立体区域性占用； 时间：长期 | ●基于矿产资源分布、可采范围和可采量的识别结果，准入至各类空间； ●与其他活动时空不重叠。 |
| 通航 | 船舶航行排他使用的空间 | 空间：水面线性使用； 时间：长期 | ●可准入至各类空间； ●可与空间属性不重合的活动、且不会影响通航安全，同时存在。 |
| 海上风能开发利用 | 建设和运营海上风电，以及联合其他海洋能和可再生能源、渔业资源利用等多用途活动的海域 | 空间：立体区域性占用； 时间：长期 | ●准入至利用空间； ●避让海底管廊及安全区域范围； ●在经科学评估基础上，与海水养殖、海洋能利用以及用于海洋观测的构筑物设施等，同时存在。 |
| 海洋渔业资源利用 | 开发利用渔业资源、开展海洋渔业生产所使用的海域 | 空间：水面、水体区域性占用； 时间：短期 | ●准入至利用空间； ●对养护性渔业资源利用，经过评估论证在有利于生物多样性保护的前提下，可准入至生物多样性保护为目的的空间内； ●避让海底管廊及安全区域范围； ●在经科学评估论证基础上，与海上风电等构筑物设施等，同时存在。 |
| 海底管廊铺设 | 埋(架)设海底通讯光(电)缆、电力电缆、油气开采输油管道、深海排污管道、输水管道及输送其它物质的管状设施等所使用的海域。 | 空间：海底线性使用； 时间：长期 | ●不得准入至以海底生境、水下文物保护为主要用途的保护空间； ●避开渔业资源利用、休闲渔业等为主要用途的利用空间。 |
| 科研、试验优先利用 | 促进海洋能利用、相关技术的试验应用等，经相关管理部门批准可从事该活动的空间 | 空间：立体区域性占用； 时间：短期 | ●在不干扰、影响保护空间内各类活动前提下，可在准入至各类空间。 |

5 讨论

5.1 合理设置空间选划范围

深远海空间开阔, 现有基础资料难以支撑全域实施空间识别与选划。欧盟等国家运用法律制度的约束力为专属经济区规划的有效实施提供了法律保障和制度体系保障。例如, 德国《空间规划法》是其制定专属经济区空间规划的直接法律依据^[10], 而中国在专属经济区编制空间规划尚无法律基础。因此在研究完善法律及配套制度的同时, 分步骤、分区域实施空间布局, 借鉴国际经验, 选择特定海域或锁定开发场景^[9], 科学合理确定边界范围。但由于中国深远海属于西太平洋边缘海, 与大洋连通, 没有明确的地理边界, 所以很难类比欧洲特定海域方式确定布局边界。本案例中研究海域位于粤东外海、台湾海峡南部, 风能资源丰富, 水质条件优良, 是海上风电建设、海洋渔业资源利用的适宜区域, 并可以获取到业务化观测和生态预警监测的水文、水质等连续数据。按照空间尺度划分, 中国黄海、东海、南海属于宏观尺度的空间单元, 在生态分区研究中粤东、台湾海峡是中微观单元^[23], 因此本案例研究范围为中微观尺度, 锁定渔业利用和海上风电为开发场景, 以调查线路和站位可辐射到的边缘确定空间范围, 同时满足区域内自然地理单元、生态系统边界和资源分布范围相对完整等条件。

以该区域调查所提供的“现在”状况的时间为基准年。根据开发利用活动类型和用途特征, 考虑开发利用活动的全生命周期, 设置布局方案的年限。以风电开发为例一般风电场的退役年限为20~30 a, 同时考虑与国土空间规划体系的时限一致性, 设定本区域的布局方案期限为风电场建设年份至风电场退役年份, 设置近期时限至2035年, 远期展望至退役年份。

5.2 对“双评价”方法的优化考虑

本研究优化了保护空间的识别要素。2019年印发的《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》提出要优先保障生态安全、粮食安全、国土安全。目前中国近海仅通过海洋空间生态重要性评价支撑划定了生态保护红线, 而深远海空间的保护对象不仅有生态要素。本案例海域是矿产资源的富集区, 维护能源安全也是国家安全的重要方面; 同时《公约》中提出“无害通过”权利, 研究海域自东向西分布有琼州海洋-台湾海峡干线航路, 将合法航行权利作为保护要素识别, 也是维护国家利益和国际规则的重要方面。

在“双评价”方法体系中, 国土空间开发适宜性是承载力评价的扩展延伸^[17], 要求在生态保护极重要区以外的区域, 将海洋资源条件差、生态风险高的区域确定为海洋开发利用不适宜区。低温低氧高压的深海环境, 以及巨浪、风暴潮、酸化等异常现象和自然灾害, 使得深远海空间开发难度远高于近海。同时对其认知水平有限, 应用到深海的开发技术尚不非常成熟, 诸多原因成为了空间利用的极限因素, 对源自多场景间的不具有通约性的各类知识进行转换并综合考虑, 提出优化深远海空间开发适宜性评价方法。

5.3 处理利益相关者关系

海洋油气勘探开发、海上风电建设, 以及利用大型构筑物开展海水养殖等是专属经济区和大陆架空间内行使主权和管辖权的主要开发利用活动。自然资源, 渔业、生态环境、能源、交通等诸多领域均依据各自职责权限在领海外实施行政管理。深远海空间利用的重要任务之一是解决用海矛盾, 建立行业用海秩序与规则。在此方面, 欧盟等国家在规划编制与实施环节积累了丰富的经验可供借鉴, 包括推动利益相关者参与草案制定, 收集多源数据和信息; 开展社会公众和各政府部门的意见征询; 建立工作层面、政策层面和管理层面的合作机制等^[9]。中国领海内空间规划的编制主体是对应层级的政府或自然资源管理部门, 在制定过程中主要体现了政府意愿, 利益相关者及公众参与程度远远不够。结合欧盟经验分析, 在空间布局和实施管理过程中, 建立政府、开发活动的“业主”和活动相关者间的信任, 达成共性认知, 是深远海空间成功管理的关键因素。

6 结论

本研究尝试在梳理国内外深远海空间利用相关政策和实践进程的基础上, 针对中国深远海空间特征和空间利用面临的诸多挑战, 提出深远海空间布局方法和管控规则, 并以粤东外海为例进行实证研究。主要结论如下:

1) 优化空间布局方法。明确保护、保留和利用空间类型, 通过生态、资源、环境等多源数据的空间化识别关系, 确定布局要素和识别因子; 量化保护重要性、开发适宜性和区域风险性评级标准, 并利用空间叠置和二维象限法, 实施保护、保留和利用3项不同目标的空间选划。该方法实现了以安全、生态为前提, 以适宜空间利用为目标的深远海空间结构及分布的模拟。

2) 以粤东外海为对象构建“两保一利”空间格局, 研究区域识别保护要素主要为关键物种、重要渔业资源、重要航线和油气资源, 保护空间主要位于研究区域西北部, 面积占比达到46%; 研究区东南部海洋低氧和气象灾害突出, 不适宜开发建设的保留空间面积占比为43%; 适宜海洋渔业和海上风电建设的利用空间位于台湾海峡南部至200 m等深线以浅海域, 面积占比可达11%。

3) 提出用海活动秩序与规则。以时间尺度和垂直深度表征深远海主要用海活动特征, 构建用海时空轨迹, 结果显示风电开发和矿产资源勘探等活动空间属性强; 通航、生境保护、电缆管道等时间属性较强。通过分析各类用海间时空轨迹的冲突关系, 构建了以“避免冲突”为目标的秩序规则。

[参考文献]

- [1] 马元, 文超祥, 林小如. 跨界视角下海岸带空间规划的冲突识别及治理路径探讨—以厦门湾为例[J]. *城市发展研究*, 2023, 30(11): 26-33.
MA Yuan, WEN Chaoliang, LIN Xiaoru. Discussion on conflict identification and governance path of coastal zone spatial planning under cross-border perspective: Taking Xiamen Bay as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(11): 26-33. (in Chinese with English abstract)

- [2] 侯勃, 岳文泽, 马仁锋, 等. 国土空间规划视角下海陆统筹的挑战与路径[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(4): 880-894. HOU Bo, YUE Wenze, MA Renfeng, et al. Research on the challenges and realization path of sea-land coordination in territorial spatial planning[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(4): 880-894. (in Chinese with English abstract)
- [3] 侯娟, 周为峰, 王鲁民, 等. 中国深远海养殖潜力的空间分析[J]. *资源科学*, 2020, 42(7): 1325-1337. HOU Juan, ZHOU Weifeng, WANG Lumin, et al. Spatial analysis of the potential of deep-sea aquaculture in China[J]. *Resources Science*, 2020, 42(7): 1325-1337. (in Chinese with English abstract)
- [4] HUAN X, SHAN J, HAN L, et al. Research on the efficacy and effect assessment of deep-sea aquaculture policies in China: Quantitative analysis of policy texts based on the period 2004-2022[J]. *Marine Policy*, 2024, 160(10):105963.
- [5] 金贵, 郭柏枢, 成金华, 等. 基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J]. *地理学报*, 2022, 77(3): 534-546. JIN Gui, GUO Baishu, CHENG Jinhua, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(3): 534-546. (in Chinese with English abstract)
- [6] 盛朝迅. 新时代推动海洋制造业高质量发展的思路与对策[J]. *经济纵横*, 2023(5): 38-49. SHENG Chaoxun. Research on ideas and countermeasures for promoting high-quality development of marine manufacturing industry in the new era[J]. *Economic Review*, 2023(5): 38-49. (in Chinese with English abstract)
- [7] HENNING V N. Marine protected areas: Global framework, regional MPA networks and a national example[R]. Germany: Handbook on Marine Environment Protection, 2018.
- [8] KATHERINE L, DAVID S, CARISSA J. Ocean zoning for conservation, fisheries and marine renewable energy: Assessing trade-offs and co-location opportunities[J]. *Journal of Environmental Management*, 2015, 152: 201-209.
- [9] 陈汉雪, 付秀梅, 汤慧颖, 等. 典型国家专属经济区及大陆架规划文本比较及对中国的启示[J]. *海洋通报*, 2018, 37(3): 254-263. CHEN Hanxue, FU Xiumei, TANG Huiying, et al. Comparison of typical national exclusive economic zone and continental shelf planning and its enlightenment to China[J]. *Marine Science Bulletin*, 2018, 37(3): 254-263. (in Chinese with English abstract)
- [10] 白蕾, 顾小艺. 新版《德国北海和波罗的海专属经济区空间规划》对我国的启示[J]. *海洋经济*, 2023, 13(4): 96-104. BAI Lei, GU Xiaoyi. The new "Spatial Plan for the German Exclusive Economic Zone in the North Sea and the Baltic Sea" and its Enlightenment to China[J]. *Marine Economy*, 2023, 13(4): 96-104. (in Chinese with English abstract)
- [11] CHARLES N E. Perspective: The present and future of marine spatial planning around the world[J]. *Marine Ecosystem and Management*, 2013, 6(4): 4-5.
- [12] CHARLES N E. Two decades of progress in marine spatial planning[J]. *Marine Policy*, 2021(132): 104-134.
- [13] 王斌, 杨振姣. 基于海洋生态质量目标识别的海洋生态安全格局研究[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(1): 33-37. WANG Bin, YANG Zhenjiao. The study on marine ecological safety pattern based on marine ecological quality aims identification[J]. *Chinese Journal of Marine Environmental Science*, 2018, 37(1): 33-37. (in Chinese with English abstract)
- [14] 刘柄麟, 张振克, 纪学朋, 等. 海岸带国土空间开发适宜性评价及功能空间配置: 以海南岛为例[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(4): 862-879. LIU Binglin, ZHANG Zhenke, JI Xuepeng, et al. Research on suitability evaluation of land space development and functional space allocation in coastal zone: A case study of Hainan Island[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(4): 862-879. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李彦平, 刘大海, 姜伟, 等. 国土空间规划视角下海洋空间用途管制的关键问题思考[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(4): 895-909. LI Yanping, LIU Dahai, JIANG Wei, et al. Insights on key issues of marine space use control from the perspective of territorial space planning[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(4): 895-909. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张永蕾, 栾乔林, 熊昌盛, 等. 基于多源空间数据的“三生”空间异质性评价与分区划定[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(10): 214-223. ZHANG Yonglei, LUAN Qiaolin, XIONG Changsheng, et al. Spatial heterogeneity evaluation and zoning of production-living-ecological space based on multi-source spatial data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(10): 214-223. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李杨帆, 张倩, 向枝远, 等. 基于生态系统服务的海洋空间开发适宜性评价方法及应用——以粤港澳大湾区伶仃洋为例[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(4): 999-1009. LI Yangfan, ZHANG Qian, XIANG Zhiyuan, et al. Evaluation of marine space development suitability based on ecosystem service: A case study of Lingdingyang Bay of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(4): 999-1009. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张令达, 侯全华, 段亚琼. 黄土高原地区流域生态空间管控模式[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(10): 206-213. ZHANG Lingda, HOU Quanhua, DUAN Yaqiong. Governance pattern of basin ecological space in Loess Plateau of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(10): 206-213. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李彦平, 陈逸洋, 刘大海, 等. 海域立体分层利用的空间冲突及管理——基于时空行为视角[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(10): 2475-2489. LI Yanping, CHEN Yiyang, LIU Dahai, et al. Spatial conflict and management of three-dimensional and layered utilization of sea areas: Based on the perspective of spatio-temporal behavior[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(10): 2475-2489. (in Chinese with English abstract)
- [20] TANG Q. "Changing states of the Yellow Sea large marine ecosystem: anthropogenic forcing and climate impacts" in *Sustaining the World's Large Marine Ecosystems[C]/IUCN, Gland, Switzerland, 2009: 77-88.*
- [21] FABINYI M, LIU N. The Chinese policy and governance context for global fisheries[J]. *Ocean and Coastal Management*. 2014(96): 198-202.
- [22] 王子昂, 陶春辉, 宋成兵, 等. 国家管辖范围外区域海洋空间规划[J]. *地质通报*, 2023, 42(10): 1674-1683. WANG Ziang, TAO Chunhui, SONG Chengbing, et al. Marine spatial planning in areas beyond national jurisdiction[J]. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(10): 1674-1683. (in Chinese with English abstract)
- [23] HUANG H Y, LU W H, ZUO G C, et al. Ecological distribution patterns in Chinese seas and adjacent waters: Marine ecological zones[J]. *Science of the Total Environment*, 2023(905): 167259-167259.
- [24] 栾锡武, 彭学超, 王英民, 等. 南海北部陆架海底沙波基本特征及属性[J]. *地质学报*, 2010, 84(2): 233-245. LUAN Xinwu, PENG Xuechao, WANG Yingmin, et al. Characteristics of sand waves on the Northern South China sea shelf and its formation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(2): 233-245. (in Chinese with English abstract)
- [25] 冉祥滨, 徐腾飞, 赵彬, 等. 东海区域海洋学调查研究回顾[J]. *海洋科学进展*, 2024, 42(1): 1-20.

- RAN Xiangbin, XU Tengfei, ZHAO Bin, et al. A review on the progress of regional oceanography in the East China Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2024, 42(1): 1-20. (in Chinese with English abstract)
- [26] 刘天宝, 杨芳芳, 韩增林, 等. 人海关系地域系统视角下海洋本体的解构与研究重点[J]. *地理科学*, 2019, 39(8): 1321-1329.
- LIU Tianbao, YANG Fangfang, HAN Zenglin, et al. Deconstruction of marine ontology and important research issues in perspective of human-ocean regional system[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(8): 1321-1329. (in Chinese with English abstract)
- [27] MARGARITA S, HRISTO S, JACEK Z, et al. Supporting multi-use of the sea with maritime spatial planning: The case of a multi-use opportunity development-Bulgaria, Black Sea [J]. *Marine Policy*. 2022, 136: 104927.
- [28] 钟镇涛, 张鸿辉, 洪良, 等. 生态文明视角下的国土空间底线管控: “双评价”与国土空间规划监测评估预警[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(10): 2415-2427.
- ZHONG Zhentao, ZHANG Honghui, HONG Liang, et al. Territorial space baseline control from the perspective of ecological civilization: "Double evaluation" and monitoring-evaluation-warning[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2415-2427. (in Chinese with English abstract)
- [29] 张子晴, 张道军, 陈亮, 等. 黄河流域城镇化与耕地利用生态效率的耦合协调度评价、时空特征及驱动因素[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(16): 240-250.
- ZHANG Ziqing, ZHANG Daojun, CHEN Liang, et al. Coupling coordination evaluation, spatiotemporal characteristics and driving factors between urbanization and cultivated land use ecological efficiency in the Yellow River Basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2024, 40(16): 240-250. (in Chinese with English abstract)
- [30] 吴亚楠, 周庆伟, 武贺, 等. 中国近海太阳能资源特征分析及储量评估[J]. *太阳能学报*, 2023, 44(12): 162-169.
- WU Yanan, ZHOU Qingwei, WU He, et al. Characteristics analysis and reserve evaluation of offshore solar energy resources in china[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2023, 44(12): 162-169. (in Chinese with English abstract)
- [31] 张子牛, 王珍岩, 李桂花, 等. 基于层次分析法的人工鱼礁选址适宜性评价方法[J]. *海洋与湖沼*, 2023, 54(5): 1308-1321.
- ZHANG Ziniu, WANG Zhenyan, LI Guihua, et al. Evaluation method for site selection suitability of artificial reef areas based on analytic hierarchy process[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2023, 54(5): 1308-1321. (in Chinese with English abstract)
- [32] ZHAN Y Y, NING B Y, SUN J X, et al. Living in a hypoxic world: A review of the impacts of hypoxia on aquaculture[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 194: 115207.
- [33] LIAO Z H, SU K, JIANG X B, et al. Spatiotemporal variation and coupling of grazing intensity and ecosystem based on four quadrant model on the Inner Mongolia[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 152:110379 .
- [34] 李彦平, 刘大海, 陈逸洋, 等. 海域三维空间资源认知与立体化管理[J]. *自然资源学报*, 2024, 39(1): 49-61.
- LI Yanping, LIU Dahai, CHEN Yiyang, et al. Cognition and three-dimensional management of three-dimensional spatial resources in sea areas[J]. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(1): 49-61. (in Chinese with English abstract)

Layout approach and use management for deep and far sea space: A case study on the outer sea of eastern Guangdong Province

WANG Qiulu¹, WANG Jiangtao¹, WU Pei², YANG Xiao¹, CHENG Yongxin¹

(1. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China; 2. Marine Strategic Planning and Economic Department of the Ministry of Natural Resources, Beijing100812, China)

Abstract: Sea areas can often include the continental shelf, exclusive economic zones, and territorial seawaters. Among them, the deep and far sea space is the connecting and transitional area between territorial seas and the oceans, which is situated in the continental shelf and exclusive economic zone. It is highly valuable in biological and natural resources from a strategic standpoint. Therefore, the deep and far sea space can be explored to promote the ecological environment and spatial utilization in nearshore seas. Fresh space can also provide to reduce the various constraints on resources in the blue economy. In this study, the deep-sea spatial patterns were determined with multiple factors, dimensions, and long-term time series. A rapid and accurate recognition was constructed using multi-source data spatialization. The "three types of spaces" were laid out with eastern Guangdong as the empirical object. The spatiotemporal characteristics of various sea use activities were explored to establish spatial use management. The results show that: 1) Deep and far sea space was classified into the protection, preservation, and utilization spaces, corresponding to the protection, preservation, as well as development and utilization functions, respectively. The spatial identification relationship of multi-source data was examined and quantified, such as ecology, resources, and environment. The spatial selection of various targets was implemented using spatial stacking and two-dimensional quadrant methods. 2) The protected space in the eastern Guangdong Sea area was located mainly in the northwest of the study area, accounting for 46% of the total space; The proportion of preserved space area unsuitable for development and construction was 43%; Shallow seas below the 200m isobath in the southern Taiwan Strait (as much as 11% of the total area) were the appropriate utilization space for offshore wind power installation and marine fisheries. 3) A series of analyses was performed on the spatiotemporal trajectory and conflict relationship of sea use activities, combining mobility, vertical depths, and time scales with spatial occupancy range to characterize the features of sea use activities; Some activities shared the strong spatial attributes, such as wind power development and mineral resource exploration. There were much stronger time attributes of navigation, habitat protection, and cable pipelines. The finding can also provide a strong reference for the decision-making on the national spatial planning in the deep and far sea space for the marine spatial layout.

Keywords: deep and far sea space; spatial layout; spatial identification; spatial use management rules; sea use activities; spatiotemporal trajectory