

基于生态系统的海洋空间规划:研究进展与启示

胡文佳^{1,2}, 陈彬^{1,2}, 马志远^{1,2}, 俞炜炜^{1,2}, 肖佳媚³, 张典¹

(1. 自然资源部第三海洋研究所 厦门 361005; 2. 福建省海洋生态保护与修复重点实验室 厦门 361005;
3. 厦门大学海洋与地球学院 厦门 361005)

摘要:为满足新形势下我国海洋空间规划的需求,保障我国海洋生态安全,文章系统总结近年来国际上基于生态系统的海洋空间规划原则、方法和应用进展,并提出展望和启示。研究表明:由部门管理上升至空间管理是基于生态系统的海洋空间规划的基本特点,在规划过程中应遵循生态系统管理原则;目前主流的规划工具包括生态系统服务评估和情景分析、权衡取舍分析、博弈论决策以及空间制图和系统规划;将生态系统方法运用于海洋空间规划,可在维持生态系统服务和功能的前提下实现科学的海域空间分配,从而达成多目标的可持续管理,对我国现阶段的海洋空间规划具有重要的启示作用。

关键词:海洋空间规划;基于生态系统的管理;海洋生态保护;陆海统筹

中图分类号:P7

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2020)04-0003-09

The Research Progress and Enlightenment of Ecosystem-based Marine Spatial Planning

HU Wenjia^{1,2}, CHEN Bin^{1,2}, MA Zhiyuan^{1,2}, YU Weiwei^{1,2}, XIAO Jiamei³, ZHANG Dian¹

(1. Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Xiamen 361005, China;

3. College of Ocean and Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In order to meet the demand of marine spatial planning under the new spatial governance system and to maintain marine ecosystem security, the paper reviewed the recent research progress of ecosystem-based marine spatial planning, including the principles, methods, applications and prospects. The research results showed that the change from departmental management to spatial management is the key characteristic of ecosystem-based marine spatial planning. The principles of ecosystem management should be followed during the planning process. The main planning tools include ecosystem service assessment and scenario analysis, trade-off a-

收稿日期:2019-08-29;修订日期:2020-03-18

基金项目:科技部国家重点研发计划项目“典型脆弱生态修复与保护研究专项”(2017YFC0506105);国家自然科学基金项目(41906127);海洋公益性行业科研专项项目(201405007).

作者简介:胡文佳,助理研究员,博士,研究方向为海洋生态评价与管理

通信作者:马志远,高级工程师,研究方向为海洋科学和生态规划

analysis, game theoretical analysis, ecosystem mapping and systematic planning tools. Applying the ecosystem approach to marine spatial planning can achieve scientific marine spatial allocation while maintaining ecosystem services and functions, contributing to multiple sustainable goals. This study has an important enlightenment for China's current marine spatial planning.

Key words: Marine spatial planning, Ecosystem-based management, Marine conservation, Land and sea coordination

0 引言

在过去的50年里,人类活动对海洋生态系统造成的改变超过历史上任何时期^[1]。人口的增长、技术的革新以及对海洋生态系统产品和服务日益增长的需求,使得人类对海洋资源的利用逐步扩展至更深更广的海域^[2]。水产养殖、能源开采、航运和旅游等各类海洋开发利用活动大大增加了海洋空间的需求,在部分地区人类对用海空间的综合需求已超过实际可用海洋空间的3倍^[3-4]。不同的用海目标出现空间重叠,但并非所有用途都能够兼容在同一个空间内,这就导致各类用海活动竞争海洋空间,并产生负面的相互影响^[5]。除用海活动自身的冲突外,当前亟待解决的关键问题还在于用海活动与海洋环境之间的冲突。海洋资源是有限的,人类在社会经济发展的前提下对海洋开展竞争性使用,导致捕捞过度、生境丧失、海洋污染和气候变化等各种问题,已对海洋生态空间和资源造成破坏。

为实现经济和环境的可持续发展,亟须通过综合管理和科学有效的空间分配手段来减轻用海活动与海洋环境之间以及用海活动自身的冲突。2006年联合国教科文组织在第一届海洋空间规划国际研讨会上发布相关报告,将海洋空间规划的概念定义为“分析并分配三维海洋空间各部分的特定用途,以实现通常通过政治过程达成的生态、经济和社会目标”^[6]。该报告指出,缺乏规划工具是在海洋空间内实施基于生态系统的管理的主要挑战,并强调海洋空间规划正是应对这种挑战的手段。在过去10年中,作为实现多目标海洋管理的方法,基于生态系统的海洋空间规划已被广泛接受。据不完全统计,全球至少有13个国家已批准海洋空间规划,覆盖7%的专属经济区和领海。预计到2025年,海洋空间规划能够在40余个国家得以实施^[7]。

本研究全面总结近年来国际上基于生态系统的海洋空间规划的重要观点和研究进展,包括基于生态系统的海洋空间规划的特点和工作原则,系统梳理规划方法及其应用情况,在此基础上提出对我国海洋空间规划的启示,以期为优化我国海洋空间规划和促进生态文明建设提供理论借鉴。

1 基于生态系统的海洋空间规划特点

在海洋管理中,传统的管理活动通常侧重于单一物种、部门或开发活动^[8]。而基于生态系统的管理往往以空间或区域为基础,关注特定的生态系统以及影响该生态系统的一系列活动^[9-10]。对空间对象的重视是基于生态系统的管理的关键特征,并且与传统的管理方式有着明显差异^[11]。由部门管理上升至空间管理,意味着不再是各部门管理在某特定空间的特定地点发生的特定活动,而是在确定某特定空间后,针对整个区域的所有开发活动建立起可持续发展的管理策略^[12]。从生态系统出发,在区域内进行跨部门的海域空间分配方案评估和决策权衡,从而实现多目标的可持续管理,这是基于生态系统的海洋空间规划与传统管理活动的本质区别。

在基于生态系统的海洋空间规划中,生态系统的理念指导并应用于整个规划过程。欧洲的2个区域性海洋环境保护委员会(东北大西洋海洋环境保护委员会和波罗的海海洋环境保护委员会)曾共同确立空间用海管理的生态目标^[13-14],即基于生态系统及其动态的最佳科学知识,对人类活动进行全面和综合管理,以便识别影响海洋生态系统健康的关键因子并采取行动,从而实现生态系统产品和服务的可持续利用,并维护生态系统完整性。Foley等^[15]总结海洋空间规划的4项基本生态理念,包括维持本土生物多样性、维持生境多样性和异质性、

维持关键物种种群以及维持生态连通性。可见,基于生态系统的海洋空间规划已从单纯解决人类自身对海洋空间用途的冲突,演变至保护和维持生态系统对人类提供的产品和服务,这对于推动海洋资源的可持续利用具有深远的意义和价值。

综上所述,从管理行为和管理理念的角度来看,基于生态系统的海洋空间规划与传统的空间用海管理有所不同,其具备2个关键特点:①基于生态系统的海洋空间规划是跨部门的空间管理行为,具备覆盖整个目标区域的综合性和全面性;②基于生态系统的海洋空间规划的出发点是维持生态系统产品和服务,而不仅是解决人类自身的用海冲突,其终点的作用对象是人类活动,尤其是对生态系统产品和服务有重大影响的人类活动。

2 基于生态系统的海洋空间规划工作原则

基于生态系统的海洋空间规划本身是管理行为,因此须遵循一定的管理工作原则。目前国际上应用较普遍的生态系统管理原则是《生物多样性公约》中的“马拉维原则”^[16]。针对海洋空间规划的特点,有学者提出基于生态系统的海洋空间规划的工作原则,并应用于若干海洋空间规划案例的审查和评估^[17-19]。

本研究归纳基于生态系统的海洋空间规划的7项工作原则:①公平性原则,即同等对待社会、经济和环境价值,公平分配各方利益;②连通性原则,即考虑与规划区相邻的生态系统和人类活动,基于水体的连通性进行跨区管理;③生态经济学原则,即评估生态系统产品和服务的经济价值,采用经济手段提出激励措施;④生态系统优先原则,即规划开展时应充分描述生态系统的功能和动态,进行定量的生态风险评估和不确定性分析,通过规划消减人类活动对生态系统的威胁;⑤承载力原则,即规划的开发活动不能突破生态系统承载力,开展生态预警监测和适应性管理并及时采取预防措施,进行持续的环境评估和监测计划;⑥管理尺度优化原则,即灵活制定规划边界(例如结合使用行政边界和生态系统边界),必要时可基于生态连通性扩展管理范围(例如除海域边界外也考虑陆地和流域的范围);⑦保护与利用平衡原则,即制定从严格保护

到多用途利用的多级管理措施,灵活采纳多种组合的管理方案。

2.1 管理目标的公平性

土地、水和生物等自然资源的管理目标取决于社会选择,海洋空间规划在目标设定时应公平分配社会各方的利益。上述利益不仅包括社会和经济价值,而且包括环境价值。在规划的过程中应将环境价值、社会价值和经济价值纳入同等考量,并分别对上述3种价值进行识别和空间表征,尤其应根据社会价值和经济价值评估人类活动对环境的累积影响。

2.2 基于连通性开展跨区管理

由于海洋生态系统具有开放性和连通性,生态系统管理者应考虑其管理行为对相邻其他生态系统产生或潜在的影响,将与规划区域相邻的生态系统和开发活动也纳入规划的考虑,并关注水质等具有连通性特点的跨管理边界问题。此外,还应充分评估拟实施的海洋空间规划对邻近社区的影响,并进行环境影响评估。

2.3 运用生态经济学方法

在管理行动中,既要获取直接利益,也应充分了解潜在利益,通常须从经济价值的角度理解和管理生态系统。管理者应意识到生态系统向人类社会提供的产品和服务也具有经济价值,运用生态经济学方法对其价值开展评估并采用经济手段进行管理,从而将与生物多样性相关的成本和收益内部化,纠正市场的倾向并提出激励措施。具体到规划的过程,应从经济角度充分识别和估算生态系统提供的产品和服务,并明确纳入空间分析。

2.4 以保护生态系统的结构和功能以及维持生态系统服务为优先

基于生态系统的管理的优先任务是保护生态系统的结构和功能以及维持生态系统服务。生态系统的结构和功能是维持生态系统服务的重要基础,因此保持生物环境和非生物环境之间的动态关系以及消减人类活动对生态系统的威胁是管理中的关键问题。在基于生态系统的海洋空间规划技术体系中,应提供有关生态系统动态的描述,评估生态系统的结构和功能所面临的威胁,并考虑开展

定量风险评估和不确定性分析,通过降低风险促进生态系统结构和功能的恢复。

2.5 关注生态系统自身的承载力

在生态系统结构和功能的承载力范围内开展空间规划管理。应限制对生态系统资源的需求,减少开发活动对海洋环境的不利影响,保护生态系统的生产力、结构、功能和多样性。在该原则的实施过程中,建议采用生态预警监测和适应性管理的方法,以避免或尽可能地减少对海洋环境的潜在不利影响。明确识别不可持续的开发方式,开展持续的环境评估和监测计划。当预测开发活动有可能超出生态系统承载力时,应及时采取预防措施。

2.6 确定恰当的时空管理尺度

海洋空间规划应在恰当的时空尺度内应用生态系统方法,固定的行政边界往往会限制基于生态系统的管理。划定管理边界是海洋空间规划的关键步骤^[20],在实际操作过程中往往需要同时考虑社会—生态系统的连通性、自然资源行政管理的现状以及区域合作/协作的情况。应给予规划制定者一定的灵活性,综合考虑并使用行政或生态系统边界,必要时可为促进生态连通性而扩展管理范围,如除海域边界外也考虑陆地和流域的范围。

2.7 保护与利用的平衡

生态系统方法应在生物多样性的保护和利用之间寻求平衡。生物多样性的管理并非只有严格保护和非保护2种极端方式,应采取更灵活的方法。在实际规划过程中,可充分考虑生物多样性和资源的可持续利用,推广从严格保护到多用途开发的多级措施。多种组合的管理方案可用于实现生物多样性保护和利用的平衡,在优化生态系统服务供给的同时保护生态环境。

3 基于生态系统的海洋空间规划方法

从全球来看,海洋空间规划方法的应用正从特定的部门规划转向基于生态系统的多目标规划,并向更大尺度发展。为协调生态系统背景下的不同空间、时间和社会经济尺度的用海活动,多目标海洋空间规划方法和分析工具的开发十分重要^[21],近年来空间分析技术的发展也为更复杂的海洋空间规划实践提供可能性^[22]。

在这种发展趋势下,已有大量的海洋空间规划方法和决策工具被研发并应用^[23-25],但这些方法在实际规划过程中的成效各不相同。有学者对全球28个海洋空间规划案例加以总结,将基于生态系统的海洋空间规划的有效方法归类为5种用途,即数据收集、经济分析和评估、情景创建和分析、用海冲突分析和沟通以及管理方案制定^[26],同一个方法有时会应用于多个用途。

本研究系统参考各国的海洋空间规划案例,将主流方法归纳为4个类型,分别为生态系统服务评估和情景分析、权衡取舍分析、博弈论决策以及空间制图和系统规划。生态系统服务评估和情景分析主要用于经济分析和评估以及情景创建和分析。空间制图和系统规划主要用于收集数据和制定管理方案。权衡取舍分析和博弈论决策主要用于用海冲突分析和沟通,二者的区别在于:当海域内的多种空间用途均具备正收益时,可通过权衡取舍分析获得最优收益方案;而当海域内的多种空间用途明显存在不可协调的冲突时,可通过博弈论决策框架为受损方提供公平的补偿。

3.1 生态系统服务评估和情景分析

情景分析下的生态系统服务评估模型可为多目标的海洋空间规划提供生态、社会和经济的科学依据。在生态系统服务建模中,通常将人类活动的风险和收益量化为自然生境的结构和功能^[22],再通过生态系统服务功能模拟计算自然生境为人类生计和福祉带来的收益。通过生态系统服务评估,可获得区域内生态系统服务的分布,并识别用海冲突区域。此外,通过将多个生态系统服务指标与用海空间情景配对,可对海洋空间规划的不同备选方案进行比较,从而明确拟选用的海洋空间规划方案应如何在各类开发活动之间进行协调和平衡。

近10年来,随着生态系统服务概念的发展,这类方法在海洋空间规划过程中的应用越来越广泛,全球范围均有研究案例。有学者筛选23个可用于海洋空间规划评估的海洋生态系统服务类型并设计相应的评估指标^[27],目前多数研究案例所采用的海洋生态系统服务类型基本涵盖在这23个类型内。在生态系统服务评估的支持下,InVEST

和 Sea Sketch 等情景分析工具被应用于评估不同情景下用海目标的达成情况。一系列的研究结果表明,科学可靠的生态系统服务建模和成图可有效识别空间内的用海需求,并有助于在决策过程中平衡旅游业、可再生能源开发和商业捕捞等的竞争性用海^[28-30]。

3.2 权衡取舍分析

权衡取舍分析作为海洋空间规划工具可更好地平衡海洋空间利用的各种目标,包括水产养殖和风能开发等新兴用途,同时最大限度地减少用海对环境的负面影响^[31],这类方法主要用于海洋空间规划中的用海冲突分析和沟通。利用权衡取舍分析可考虑更多的目标,明确不同空间规划选项的成本和收益,从而做出较优的管理选择。

权衡取舍分析来源于经济学方法,用于在发展的背景下确定最佳决策方案^[32]。在经济学背景下,权衡取舍通常表现为估算机会成本,从而选出最优的替代方案。例如:在资源总量稀缺的情形下,为获取某些稀缺资源,个人或集体必须放弃另一些稀缺资源^[33]。在生态系统背景下,权衡取舍分析往往配合生态系统服务评估使用。在实践过程中,权衡取舍即通过人为干预,以牺牲一部分生态系统服务为代价,增强另一种服务的产出^[34-35],从而实现空间利用效益的最大化。

权衡取舍分析在用海空间紧张和用海冲突较大的区域具有更广泛的应用前景,该方法已在美国西南部和东北部沿海地区得到较成熟的应用。例如:美国南加州对多种类型近海养殖的空间规划进行研究^[36],该研究对当地近海海带养殖场、贻贝养殖场和鱼类养殖场3类海水养殖活动的生产率和盈利能力进行预测,并与4个现有养殖类型的空间模型相联系,评估区域内的捕捞利润、养殖污染、环境健康、病害风险和海洋景观影响等指数,对不同类型的海水养殖赋予一定的权重进行权衡取舍分析,最终确定最佳的空间规划方案。又如:美国马萨诸塞州的海上风电、商业捕鱼和观鲸旅游3种开发活动分别由3个部门管辖,定量的权衡取舍分析被用于评估区域生态系统为各部门提供的价值及其潜在冲突,在尽可能地减少这些冲突的前提下,最终

决定海上风电场的最佳选址;通过权衡取舍分析,可防止渔业和旅游部门遭受超过100万美元的损失,并可为能源部门带来超过100亿美元的额外价值;该研究还发现,采用权衡取舍分析的海洋空间规划的区域范围越大、所考虑的部门越多,其潜在意义和价值越高^[37]。

3.3 博弈论决策

当遇到不可协调的目标时,博弈论决策规则有助于提供公平、公正和共赢的空间配置解决方案。这种情况往往出现在保护区与公益性基础设施项目冲突的前提下,基础设施建设给保护区带来的负面影响几乎是不可避免的,因此也无法通过协调来解决。这时可采取博弈论决策,通过某种形式的补偿以解决冲突问题^[38]。

在博弈的过程中,利益相关方(如项目开发者和保护区管理者)可通过谈判商定生态补偿。为使补偿为双方所接受,决策的前提应满足2个限制条件:①保护区生态系统的损失必须小于基础设施项目获得的收益;②补偿的结果应优于谈判之前双方的收益,即产生双赢的结果。在这种决策前提下,不仅可提高效率,而且可实现公平和公正^[39]。

博弈论决策的典型应用情景包括在已建海洋保护区中开发海洋可再生能源,通过谈判补偿保护区由于能源开发活动而导致的未来可能丧失的保护收益。在谈判的过程中,往往使用定量的货币化方法估算双赢的解决方案,将来自利益相关方共存/合作的盈利进行公平分配,从而解决冲突。该方法在英国北海 Dogger Bank 特别保护区有成功的研究案例,即通过合作博弈论框架内对利益相关方的替代策略和回报进行建模,从而对保护区内的渔业捕捞、自然保护和风电开发活动进行公平的空间划分^[40]。此外,博弈论已被应用于更大尺度的多国海洋空间规划决策,例如:欧盟海洋战略框架指令(MSD)要求欧盟各国在制定海洋战略和划定海洋保护区时兼顾邻国的用海活动和政策^[38],渔业和自然保护2种具体用海方式被纳入博弈论分析模型,用于判断和规划多个国家的多用途海洋保护区的最佳规模。

3.4 空间制图和系统规划

战略性的空间制图产品可有效辅助多部门和

多目标决策,这些产品包括海洋生物多样性制图以及空间评估和系统保护规划制图等^[41-43]。空间制图往往为基于生态系统的海洋空间规划提供基础依据和素材,通过空间制图可获取生态系统类型、栖息地边界、基线物种的组成和分布以及生态过程的完整性等规划所需信息。在综合空间制图中,物理采样、卫星遥感、飞机航拍和生物观测等信息被整合起来,在GIS技术的支持下实现数据组织和空间分析^[44]。

对基于生态系统的海洋空间规划最重要的决策辅助制图产品包括国家海洋生态系统类型分布图、主要渔业资源产卵场和育幼场分布图、人类活动分布和强度图、渔业管理图(如兼捕分布图)、现有管理空间分布图(如海洋保护区)以及反映生态系统威胁状况和保护水平的地图等^[45-46]。海鸟栖息地制图、底栖生境制图和鱼类种群分布制图等已被广泛应用在世界各地和各尺度的海洋空间规划中,不论是单个海洋公园还是大范围海域,空间制图都为规划提供充分的生物地理信息^[47-50]。配合空间制图的结果,可采用 Marine Map/Sea Sketch、Marxan/Mar Zones、Nature Serve Vista、Zonation 和 Atlantis 等空间决策模型进行进一步的系统规划分析^[51-54],从而获得最优规划方案。

4 对我国海洋空间规划的启示

基于生态系统的海洋空间规划是实现海洋可持续发展的工具,由传统的部门管理上升至区域空间管理是新时期海洋空间规划的重要特征。基于生态系统的海洋空间规划可在区域内进行跨部门的海域空间分配方案的评估和决策权衡,从而实现多目标的可持续管理。本研究已总结目前国际通行的各种基于生态系统的海洋空间规划原则和方法,可为我国海洋空间规划的实践提供启示和借鉴。

4.1 开展基于生态空间的统筹管理

基于生态系统的管理的标志性特点是区域空间管理。由于海洋生态系统具有开放性和连通性的特点,在基于生态系统的海洋空间规划的工作原则中,原则2和原则6即充分关注跨边界规划和管理的问题。这里的跨边界以生态系统完整性为优

先,既包括跨行政区域边界,也包括跨部门管理边界。

上述2条原则对我国的海洋空间规划具有重要的借鉴意义。我国此前“陆海分治”的管理体系导致空间规划缺乏在复合生态系统和陆海统筹等更高层面的整合和设计。海洋问题的产生具有重要的陆源影响因素,单纯的“就海管海”难以充分实现生态系统管理的目标。此外,目前我国的海洋空间规划普遍受行政边界的制约,而规划区域相邻生态系统的保存状态和开发活动往往会从外部对规划区域产生影响,规划区域内部的生态状况和开发活动也会对其外部区域产生外溢影响。因此,对相邻区域的跨界影响及其评估或协调机制亟待海洋空间规划中进一步引起重视。

4.2 在规划过程中充分运用生态系统方法

目前我国的海洋空间规划从以用海需求引导空间分区的方式(海洋功能区划),逐渐扩展至以海洋生态系统的基本类型及其特征引导空间规划的途径(海洋生态保护红线),在向基于生态系统的管理转变方面有重大进展^[55-56]。但在规划的具体技术方法上仍存在一些问题,包括空间决策的基础信息依据不足以及科学工具和方法的应用不足等。

基于生态系统的海洋空间规划需要充分的海洋生物地理空间数据支持,但海洋生态系统的特点决定海洋观测具有困难性和复杂性,这也导致长期以来我国海洋生物地理空间数据相对匮乏:①在国家尺度上,缺乏准确的国家海洋生态系统类型分布图、国家海洋生物多样性分布图、渔业资源分布图以及海洋生态系统威胁状况和保护水平分布图等可用于辅助决策的战略性数据产品;②在区域尺度上,缺乏长期、连续、标准统一和覆盖全面的海洋观测数据。这些基础信息对于海洋空间规划的科学决策,尤其是多部门和多目标的复杂决策十分重要,基础信息的缺乏会导致空间单元边界模糊不清、保护程度误判和保护管理目标难以量化等问题。

基础数据信息的缺乏同时制约基于生态系统的规划工具和方法的使用,造成目前海洋空间规划评估方法的科学性不足和分区范围界定的科学依据不充分等问题^[57-58],直接影响规划的准确性和可

操作性。未来的海洋空间规划应更充分地运用各种生态系统方法,包括生态系统服务价值评估、人类活动影响程度评估、情景分析和承载力评估等,以提升规划的科学性和指导性。

参考文献

- [1] World Resources Institute. Millennium ecosystem assessment: summary for decision-makers [R]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [2] BERKES F, HUGHES T P, STENECK R S, et al. Globalization, roving bandits, and marine resources [J]. *Science*, 2006, 311 (5767): 1557—1558.
- [3] MAES F, DE-BATIST M, VAN-LANCKER V, et al. Towards a spatial structure plan for sustainable management of the sea: mixed actions [R]. Brussel: Belgian Science Policy, 2005.
- [4] BARRY M, ELEMA I, VAN-MOLEN P. Ocean governance in the Netherlands North Sea [R]. Paris: FIG Working Week and 125th Anniversary, 2003.
- [5] CICIN-SAIN B, KNECHT R W, KNECHT R, et al. Integrated coastal and ocean management: concepts and practices [M]. Washington D C: Island Press, 1998.
- [6] EHLER C, DOUVERE F. Visions for a sea change: report of the first international workshop on marine spatial planning [R]. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission and the Man and the Biosphere Programme UNESCO Headquarters, 2007.
- [7] SMITH J. Options for adopting marine spatial planning [R]. Washington D C: World Bank Group, 2017.
- [8] CROWDER L B, OSHERENKO G, YOUNG O R, et al. Resolving mismatches in US ocean governance [J]. *Science*, 2006, 313 (4): 617—618.
- [9] MCLEOD K, LUBCHENCO J, PALUMBI S, et al. Scientific consensus statement on marine ecosystem-based management [R]. Communication Partnership for Science and the Sea (COMPASS), 2005.
- [10] CROWDER L, NORSE E. Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning [J]. *Marine Policy*, 2008, 32(5): 772—778.
- [11] KATSANEVAKIS S, STELZENMÜLLER V, SOUTH A, et al. Ecosystem-based marine spatial management: review of concepts, policies, tools, and critical issues [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2011, 54(11): 807—820.
- [12] Coast NET. Spatial planning in the coastal and marine environment: next steps to action [R]. London: University of London, 2003.
- [13] OSPAR-HELCOM. Statement on the ecosystem approach to the management of human activities [R]. Bremen: First Joint Ministerial Meeting of the Helsinki and OSPAR Commissions (JMM), 2003.
- [14] ICES Advisory Committee on Ecosystems. Report of the regional ecosystem study group for the North Sea [R]. Nantes: ICES, 2003.
- [15] FOLEY M M, HALPERN B S, MICHELI F, et al. Guiding ecological principles for marine spatial planning [J]. *Marine Policy*, 2010, 34(5): 955—966.
- [16] Secretariat of the Convention on Biological Diversity. The ecosystem approach (CBD Guidelines) [R]. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2004.
- [17] DOMÍNGUEZ-TEJO E, METTERNICHT G, JOHNSTON E, et al. Marine spatial planning advancing the ecosystem-based approach to coastal zone management: a review [J]. *Marine Policy*, 2016, 72: 115—130.
- [18] COLLIE J S, BECK M W, CRAIG B, et al. Marine spatial planning in practice [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2013, 117: 1—11.
- [19] CHARLES E, DOUVERE F. Marine spatial planning: a step-by-step approach towards ecosystem-based management [R]. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission and the Man and the Biosphere Programme, 2009.
- [20] PORTMAN M E. Marine spatial planning: achieving and evaluating integration [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(10): 2191—2200.
- [21] DE-SANTO E M. Missing marine protected area (MPA) targets: how the push for quantity over quality undermines sustainability and social justice [J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 124: 137—146.
- [22] ARKEMA K K, VERUTES G M, WOOD S A, et al. Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112(24): 7390—7395.
- [23] BECK M W, FERDAÑA Z, KACHMAR J, et al. Best practices for marine spatial planning [R]. Arlington V A: Nature Conservancy, 2009.
- [24] BOLMAN B, JAK R G, VAN-HOOF L. Unraveling the myth: the use of decisions support systems in marine management [J]. *Marine Policy*, 2018, 87: 241—249.
- [25] LOMBARD A T, DORRINGTON R A, ORTEGA-CISNEROS K, et al. Key challenges in advancing an ecosystem-based approach to marine spatial planning under economic growth imperatives [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 1—11.
- [26] PİNARBAŞI K, GALPARSORO I, BORJA Á, et al. Decision

- support tools in marine spatial planning; present applications, gaps and future perspectives [J]. *Marine Policy*, 2017, 83: 83–91.
- [27] BÖHNKE-HENRICHS A, BAULCOMB C, KOSS R, et al. Typology and indicators of ecosystem services for marine spatial planning and management [J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 130: 135–145.
- [28] RUCKELSHAUS M, MCKENZIE E, TALLIS H, et al. Notes from the field: lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions [J]. *Ecological Economics*, 2015, 115: 11–21.
- [29] OUTEIRO L, HÄUSSERMANN V, VIDDI F, et al. Using ecosystem services mapping for marine spatial planning in southern Chile under scenario assessment [J]. *Ecosystem Services*, 2015, 16: 341–353.
- [30] NAHUELHUAL L, VERGARA X, KUSCH A, et al. Mapping ecosystem services for marine spatial planning: recreation opportunities in Sub-antarctic Chile [J]. *Marine Policy*, 2017, 81: 211–218.
- [31] LESTER S E, COSTELLO C, HALPERN B S, et al. Evaluating tradeoffs among ecosystem services to inform marine spatial planning [J]. *Marine Policy*, 2013, 38: 80–89.
- [32] GARLAND T. Trade-offs [J]. *Current Biology*, 2014, 24 (2): 60–61.
- [33] DE-GROOT R, FISHER B, CHRISTIE M, et al. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation [M]. Oxford: Taylor and Francis, 2012.
- [34] HAASE D, SCHWARZ N, STROHBACH M, et al. Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: an integrated multiscale framework applied to the Leipzig-halle Region, Germany [J]. *Ecology and Society*, 2012, 17 (3): 1–22.
- [35] ELMQVIST T, TUVENDAL M, KRISHNASWAMY J, et al. Managing trade-offs in ecosystem services [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2013.
- [36] LESTER S E, STEVENS J M, GENTRY R R, et al. Marine spatial planning makes room for offshore aquaculture in crowded coastal waters [J]. *Nature Communications*, 2018, 9 (1): 1–13.
- [37] WHITE C, HALPERN B S, KAPPEL C V. Ecosystem service trade-off analysis reveals the value of marine spatial planning for multiple ocean uses [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109 (12): 4696–4701.
- [38] PUNT M J, WEIKARD H P, GROENEVELD R A, et al. Planning marine protected areas: a multiple use game [J]. *Natural Resource Modeling*, 2010, 23 (4): 610–646.
- [39] KYRIAZI Z, LEJANO R, MAES F, et al. Bargaining a net gain compensation agreement between a marine renewable energy developer and a marine protected area manager [J]. *Marine Policy*, 2015, 60: 40–48.
- [40] KYRIAZI Z, LEJANO R, MAES F, et al. A cooperative game-theoretic framework for negotiating marine spatial allocation agreements among heterogeneous players [J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 187: 444–455.
- [41] LOMBARD A T, REYERS B, SCHONEGEVEL L Y, et al. Conserving pattern and process in the Southern Ocean: designing a marine protected area for the Prince Edward Islands [J]. *Antarctic Science*, 2007, 19 (1): 39–54.
- [42] LOMBARD A T, BAN N C, SMITH J L, et al. Practical approaches and advances in spatial tools to achieve multi-objective marine spatial planning [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 166–174.
- [43] HARRIS L R, HOLNESS S, FINKE G, et al. Systematic conservation planning as a tool to advance ecologically or biologically significant area and marine spatial planning processes [M]. Cham: Palgrave Macmillan, 2019.
- [44] COGAN C B, TODD B J, LAWTON P, et al. The role of marine habitat mapping in ecosystem-based management [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66 (9): 2033–2042.
- [45] SANBI and UNEP-WCMC. Mapping biodiversity priorities: a practical, science-based approach to national biodiversity assessment and prioritization to inform strategy and action planning [R]. Cambridge: UNEP-WCMC, 2016.
- [46] KIRKMAN S P, HOLNESS S, HARRIS L R, et al. Using systematic conservation planning to support marine spatial planning and achieve marine protection targets in the transboundary benguela ecosystem [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2019, 168: 117–129.
- [47] MALCOLM H A, JORDAN A, SCHULTZ A L, et al. Integrating seafloor habitat mapping and fish assemblage patterns improves spatial management planning in a marine park [J]. *Journal of Coastal Research*, 2016, 75 (sp1): 1292–1297.
- [48] MCGOWAN J, HINES E, ELLIOTT M, et al. Using seabird habitat modeling to inform marine spatial planning in central California's National Marine Sanctuaries [J]. *Plos One*, 2013, 8 (8): e71406.
- [49] MOURA R L, SECCHIN N A, AMADO-FILHO G M, et al. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank [J]. *Continental Shelf Research*, 2013, 70: 109–117.
- [50] GALAIDUK R, RADFORD B T, SAUNDERS B J, et al. Characterizing ontogenetic habitat shifts in marine fishes: ad-

- vancing nascent methods for marine spatial management[J]. *Ecological Applications*, 2017, 27(6): 1776–1788.
- [51] LINK J S, FULTON E A, GAMBLE R J. The northeast US application of Atlantis: a full system model exploring marine ecosystem dynamics in a living marine resource management context [J]. *Progress in Oceanography*, 2010, 87 (1/4): 214–234.
- [52] MOILANEN A. Landscape zonation, benefit functions and target-based planning: unifying reserve selection strategies [J]. *Biological Conservation*, 2007, 134(4): 571–579.
- [53] FYHR F, NILSSON Å S A, SANDMAN A N. A review of ocean zoning tools and species distribution modelling methods for marine spatial planning [C]. *Aquabiota Water Research Paper*, 2013.
- [54] JANBEN H, GÖKE C, LUTTMANN A. Knowledge integration in marine spatial planning: a practitioners' view on decision support tools with special focus on Marxan [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2019, 168: 130–138.
- [55] LU W H, LIU J, XIANG X Q, et al. A comparison of marine spatial planning approaches in China: marine functional zoning and the marine ecological red line [J]. *Marine Policy*, 2015, 62: 94–101.
- [56] 曾江宁, 陈全震, 黄伟, 等. 中国海洋生态保护制度的转型发展: 从海洋保护区走向海洋生态红线区 [J]. *生态学报*, 2016, 36(1): 1–10.
- [57] 林勇, 樊景凤, 温泉, 等. 生态红线划分的理论和技术 [J]. *生态学报*, 2016, 36(5): 1244–1252.
- [58] 高月鑫, 曾江宁, 黄伟, 等. 海洋功能区划与海洋生态红线关系探讨 [J]. *海洋开发与管理*, 2018, 35(1): 33–39.