

系统保护规划方法对我国构建海洋保护地 选划布局体系的启示

李韵洲^{1,2}, 孙铭^{1,2}, 任一平^{1,3}, 陈勇²

(1. 中国海洋大学水产学院 青岛 266003; 2. 缅因大学海洋科学学院 奥朗诺 04469;
3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266237)

摘要: 海洋保护地是保护海洋生态系统和生物资源的重要措施,在我国海洋保护体系中具有重要作用。近年来,我国积极深化海洋保护体系的改革和完善,海洋保护工作进入全面深化改革的新阶段,对我国海洋保护地的科学选划和合理布局提出迫切需求。文章系统分析当前我国海洋保护地在选划布局过程中面临的一系列挑战,主要包括缺乏顶层设计和系统规划、对海洋生态系统连通性考虑不足、选划依据滞后于海洋保护理论的研究和发展以及缺乏可靠的技术手段和明确的量化指标以权衡保护与开发的关系;在建设分类科学、布局合理、保护有力和管理有效的,以国家公园为主体的自然保护地体系的新形势下,介绍国际海洋保护地选划布局的主流方法即系统保护规划,并对其技术路线进行解读;对采用该方法促进我国海洋保护地的科学选划与管理提出 6 项建议,即明确保护目标和保护对象、筛选保护空缺和优先保护区域、平衡保护与开发的关系、加强海洋保护地的完整性和连通性、加强海洋保护地选划的多方参与和论证以及开展适应性管理。

关键词: 海洋保护地;系统保护规划;海洋生态系统;物种分布;保护成本

中图分类号: P76; X36

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2020)02-0041-07

The Implication of Systematic Conservation Planning on China's Marine Protected Area Planning System

LI Yunzhou^{1,2}, SUN Ming^{1,2}, REN Yiping^{1,3}, CHEN Yong²

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. School of Marine Sciences, University of Maine, Orono 04469, USA;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory
for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China)

Abstract: Marine protected areas (MPAs) are essential tools to protect marine ecosystems and resources and are playing an important role in China's marine conservation actions. Recently, China has proposed a national-level marine conservation revolution, which has posed urgent demands on

收稿日期: 2019-07-25; 修订日期: 2020-02-10

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”专项项目(2018YFD0900904, 2018YFD0900906); 国家留学基金项目(201806330042, 201806330043)。

作者简介: 李韵洲, 博士研究生, 研究方向为海洋保护区规划与评估

通信作者: 任一平, 教授, 博士, 研究方向为渔业环境生态学以及海域功能区划与规划

moving the existing MPA planning system toward a more systematic and science-based one. This study systematically analyzed the challenges in China's MPA planning, including the lack of national-level systematic planning, insufficient consideration of connectivity in the planning, out-of-date planning guidelines, and the lack of evaluating methods and metrics to support the trade-off analysis between conservation and exploitation. As China promotes a well-organized, systematically-planned, adequately-enforced, and effectively-managed protected areas system with national parks as the main backbone, the theory and methods of systematic conservation planning were elaborated, which had been widely used in international MPA practices. Furthermore, 6 recommendations for its application in China were provided to address the challenges in MPA planning and management, including 1) clarifying conservation objectives and features, 2) identifying conservation gaps and priorities, 3) striking a balance between conservation and exploitation, 4) improving the adequacy and connectivity of MPAs, 5) encouraging stakeholder engagement throughout the MPA planning process, and 6) implementing adaptive management.

Key words: Marine protected areas, Systematic conservation planning, Marine ecosystem, Species distribution, Protection cost

0 引言

海洋保护地又称海洋保护区(marine protected areas, MPAs),是保护海洋生态系统和生物资源的重要措施,在我国海洋保护体系中发挥重要作用^[1]。经过 50 余年的发展与建设,我国已形成以海洋生物多样性保护为主要目标、以海洋自然保护区和海洋特别保护区为主要手段的海洋保护体系。截至 2018 年年底,我国已建成海洋保护地 271 处,主要包括海洋自然保护区和海洋特别保护区(包括海洋公园)2 个类型以及国家级和地方级 2 个级别^[2],总面积达 12.5 万 km²,在维系海洋生态系统和保护生物多样性等方面发挥不可替代的作用。

近年来,党中央高度重视生态文明建设,积极深化我国海洋保护体系的改革和完善。2019 年 6 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》(以下简称《指导意见》),将海洋保护地纳入宏观的国家自然保护地体系,并强调“建立分类科学、布局合理、保护有力、管理有效的以国家公园为主体的自然保护地体系”。我国海洋保护工作已进入全面深化改革的新阶段,为我国海洋保护体系的发展创造新的机遇。

与此同时,新时代我国海洋保护地建设仍面临

诸多挑战,其中最严峻的挑战就是在实现“分类科学、布局合理”的过程中,缺少具有广泛性和可操作性以及科学系统的选划标准和流程。Leslie^[3]提出海洋保护目标的实现必须建立在科学系统的海洋保护地选划方法上。因此,整合优化海洋保护地和构建海洋保护地选划布局体系,是我国进一步发展海洋保护事业的重要路径。

1 我国海洋保护地选划布局的现状和挑战

我国首个海洋保护地(大连蛇岛自然保护区)始建于 1963 年。《中华人民共和国海洋环境保护法》颁布并实施后,我国海洋保护地建设进入快速增长期,但主要采取“抢救式保护”原则,即抢救性地保护珍稀濒危的海洋生物和重要的海洋生态系统^[4]。2015 年后,我国海洋保护地的增长开始减速。总体来说,我国海洋保护地建设已取得明显成效,海洋保护地的数量和面积均高于世界平均水平,相关管理体制和法律法规也逐步完善。

与此同时,我国海洋保护地在空间布局和选划体系方面仍面临诸多挑战,严重制约海洋保护成效的进一步提升。

1.1 国家层面

我国海洋保护地缺乏清晰明确的顶层设计和系统规划,尤其缺乏用于选划的量化指标。长期以

来,我国海洋保护地的选划规划主要采用自下而上的模式。以国家级海洋自然保护区为例,沿海省(自治区、直辖市)海洋管理部门负责研究制定本行政区域毗邻海域内海洋保护地的选划建设,经国家海洋行政主管部门评审后,最后由国务院审批。而与此相对的,自上而下的海洋保护地顶层设计仅涉及海洋保护地的定性申报条件以及相关法律法规和选划论证技术导则,并未对海洋保护地的空间布局 and 整体目标做出科学、具体和可定量评估的规划方案。以海洋自然保护区为例,其申报条件主要包括典型的自然地理区域,珍稀濒危野生动植物物种的天然集中分布区域,具有特殊保护价值的海域、海岸和岛屿,具有重大科学文化价值的自然遗迹以及经国务院或省级人民政府批准,需要予以特殊保护的其他自然区域^[5]。然而这些选划标准在执行层面存在定义不清晰和保护目标不明确的问题,例如:我国典型的自然地理区域和珍稀濒危物种是否有明确名录作为参考?保护对象是否有优先顺序或相对重要性?海洋保护地对不同自然地理区域和物种分布是否有覆盖率指标?

在缺乏清晰、明确和可定量评估的顶层设计的情况下,自下而上的海洋保护地建设易倾向于机会主义选划(opportunistic planning),即投机地在发展和管理阻碍较小的区域建设海洋保护地,而不是从保护需求的角度系统地开展海洋保护地的选划。目前我国海洋保护地分布不均衡和保护对象较单一的现象也从侧面反映这一问题。在我国沿海地区中,山东的国家级海洋保护地数量最多(32个),而生物多样性相对更丰富的海南和广西海洋保护地的数量却不足10个。此外,海洋保护地的保护对象以滨海湿地、河口和红树林等近岸生态系统和生物资源为主,而超过12 n mile管辖海域的生态系统或珍稀濒危物种分布区域却较少被划入海洋保护地范围。

1.2 区域层面

区域层面的海洋保护地选划缺乏对海洋生态系统连通性的考虑。作为我国自然保护地体系的组成部分,海洋保护地的选划规划工作统一遵循自然保护地的选划规划准则,而该准则主要为陆地保

护地服务。根据自然保护地的选划流程,地方部门主要承担保护地的选划规划工作,这就使海洋保护地的选划易受行政区划的限制,从而形成小型化、斑块状和孤立化的空间分布格局。实际上,与陆地生态系统相比,海洋生态系统具有更高的动态性和连通性,如许多海洋生物在个体发育的过程中会主动或被动地在不同栖息生境之间迁移^[6]。因此,仅以行政区划作为海洋保护地选划区域的模式极易忽视海洋生态系统的连通性,严重削弱海洋保护地的保育效果。

1.3 地方层面

地方层面海洋保护地的选划缺乏基于科学系统的依据支撑。我国海洋保护地的选划规划主要依据《中华人民共和国自然保护区条例》《海洋自然保护区管理办法》《国家级海洋保护区规范化建设与管理指南》《海洋特别保护区选划论证技术导则》和《海洋特别保护区功能分区和总体规划编制技术导则》等,大多数条例和管理办法起草至今已有10余年,内容滞后于海洋保护理论的研究和发展。在海洋保护地的申报过程中,地方保护地必须进行充分的选划论证,但现有的选划论证主要停留在对调查资料的整理和定性分析,如选划区域的自然环境状况和物种种类组成等,而缺乏对自然环境条件和物种分布的定量分析、对生态系统各组成部分之间互动关系的分析以及对海洋保护地未来保护效果的模拟和预测,而这些分析工作需要长期科学调查数据的积累以及科学家的参与,在海洋保护地选划过程中至关重要。与美国、澳大利亚和新西兰等发达海洋国家相比,科学调查数据在我国海洋保护地选划过程中的应用仍处于初级水平,并未作为关键量化指标为决策提供支持。

1.4 关系平衡

平衡海洋生态保护和海洋开发利用之间的关系是我国海洋保护地选划和建设过程中的重要问题。目前我国主要采取功能分区的方式统筹海域使用的空间布局和协调不同用海之间的关系。《海洋特别保护区功能分区和总体规划编制技术导则》强调海洋保护地应“根据海域自然环境和社会经济发展现状进行功能分区,逐步形成人口、经济、资源

环境相协调的空间开发格局”^[7]。然而在实际规划的过程中,海洋保护地的功能分区主要以人为定性划分为主,主观随意性较大,缺乏可靠的技术手段来权衡海域使用的矛盾,同时缺乏明确的量化指标来评估功能分区的合理性。此外,多数海洋保护地在本底资料不足的基础上完成选划,存在实际海域使用与功能分区要求不统一的现象,导致保护地难以实施严格监管以及主要保护对象难以得到有效保护。

2 系统保护规划方法

21 世纪初,随着全球多个重要海洋保护地的建设和重新规划,海洋保护地选划的理论方法逐渐兴起。迄今为止对全球海洋保护地选划影响最为深远的是系统保护规划方法^[8]。不同于传统的基于专家决策和人为定性的保护地选划方法,系统保护规划通过量化保护目标和保护成本,综合考虑生态保护与开发利用之间的权衡关系以及生态系统连通性,利用计算机模拟辅助决策,最终实现保护地的科学系统选划^[8-9]。系统保护规划方法采用数学算法定量分析,避免人为主观因素的干扰,可实现对选划策略的评估和优化。目前该方法已成为国际主流海洋保护地的选划规划方法,在美国、澳大利亚和欧洲等的海洋保护地建设中得到广泛应用,并有效支持加州海洋保护地网络建设、大堡礁国家海洋公园规划和英吉利海峡保护地系统选划等大量成功决策^[10-12]。

系统保护规划的具体流程如图 1 所示。

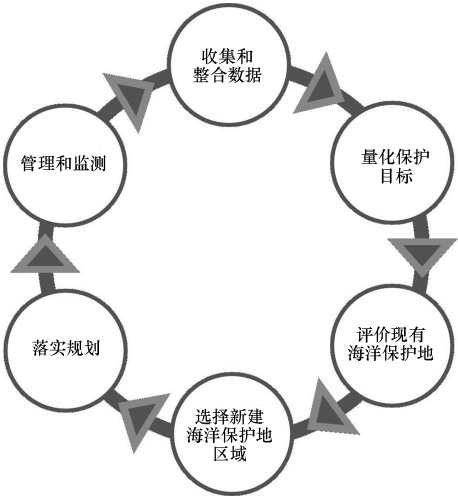


图 1 系统保护规划流程

2.1 收集和整合数据

系统保护规划的核心是对保护对象进行量化保护以及对保护成本进行量化分析。因此,获取物种分布数据和保护成本数据是开展系统保护规划的基础。

物种分布数据的选择取决于海洋保护地的保护目标。目前常用的物种分布数据包括保护对象物种的分布范围、重要生境和出现概率等^[11],这些数据可从实地调查中获取或通过物种分布模型进行预测。在数据有限的情况下,专家意见和传统知识也被认为是选划的重要依据^[13]。考虑到获取海洋生物调查数据比陆地难度更大,替代数据被广泛应用于海洋保护地的选划。以保护海洋生物多样性目标为例,生物多样性的替代数据可包括 1 种或多种区域代表性物种的分布和底质类型的空间分布等^[14]。

系统保护规划充分考虑保护地选划过程中的社会经济因素,并将保护成本最小化,从而解决海洋保护和其他海域使用矛盾的问题^[8],因此保护成本数据必不可少。与物种分布数据类似,保护成本数据的选择应按照海洋保护地的社会经济目标来确定。常见的社会经济目标包括减少海洋保护地的管理成本和海洋保护地对其他海域开发利用项目的影响^[11]。相应地,海洋保护地的管理成本和机会成本等数据可用于不同社会经济目标下的保护地选划。

为确保物种分布数据和保护成本数据在后续计算机模拟过程中可进行空间叠加分析,保护成本数据须以空间数据的形式进行收集和整合,并保留一定的精度。

2.2 量化保护目标

保护目标以量化的形式作为选址优化模型的限制条件。在现有的海洋保护地规划案例中,多数将保护对象空间分布的覆盖率作为量化指标,如海洋保护地对各类栖息地、物种分布和脆弱生态系统的覆盖率^[8]。需要注意的是,保护目标的设定并非一成不变,规划者应根据保护对象的动态变化及时调整保护目标,从而确保其合理性^[15]。此外,不同等级的保护目标也可用于海洋保护地的初期选划,以探究多种保护目标情景下的效果差异。

2.3 评价现有海洋保护地

这一阶段的目的是在上一步确定定量保护目标的基础上,评价现有保护体系的目标完成情况,以指导后续选划工作。空缺分析(gap analysis)是国际最为常用的评价方法,用以识别现有保护地的管理效果是否与管理目标存在差距,其主要思路是将物种分布数据和现有保护地进行叠加分析,在保护地系统内未出现的物种类型的分布区即是保护空缺区域^[16]。随着计算机技术的发展,将物种分布模型和栖息地适宜性模型等计算机模型与地理信息系统相结合,对海洋生态系统进行空缺分析逐渐成为海洋保护研究的热点。

2.4 选择新建海洋保护地区域

在掌握现有海洋保护体系现状的前提下,该步骤主要解决通过新的保护地选址以实现保护目标的问题。保护地选址优化模型是当前主流的计算机决策支持工具,为保护地的科学选划提供技术支撑。MARXAN和ZONATION是在海洋保护地选划中应用最为广泛的软件模型,其技术路径为使用模拟算法,将保护成本最小化或将保护目标最大化,实现海洋保护地的选址优化,目前已应用于我国部分海域海洋保护地的理论研究^[15]。

2.5 落实规划

在多数情况下,优化模型得出的海洋保护地选划方案并非最终方案。规划的落实还须经过政府部门、规划机构、社区居民和利益相关者等^[8]多方参与讨论。这一环节须厘清海洋保护地建设的优先区域,充分讨论选址方案的合理性,并起草具体实施方案。

2.6 管理和监测

海洋保护地的建设是长期的过程。在保护体系建成后,海洋保护地仍须进行管理、监测和评估,掌握保护对象的动态变化,以确保其能持久达到保护效果。随着数据的更新以及生态环境和社会经济条件的变化,应及时调整海洋保护地选划方案,以适应新的保护需求。

3 系统保护规划方法对我国海洋保护地选划布局体系的启示

系统保护规划的实质是逻辑框架,即将保护地

选划流程系统化,有助于保护地的顶层设计和科学选划,并能推进保护地的适应性管理。目前该方法在我国保护地的实际管理应用主要局限于陆地,而在海洋方面存在许多应用空白^[15,17]。鉴于海洋生态系统的特殊性以及海洋保护地选划体系构建的重要性和紧迫性,本研究从6个方面阐述系统保护规划方法对我国海洋保护地选划布局体系的启示。

3.1 明确保护目标和保护对象

采取任何保护措施均须设定清晰的保护目标,其他规划、监测和评估活动都将该保护目标为中心。保护目标代表海洋保护地建设的预期效果,是衡量海洋保护地进展的标准。系统保护规划以数字、百分比和时间等形式尤其强调保护目标量化的重要性,以确保海洋保护地进展是可衡量的。

目前我国以时间为节点,对自然保护地体系的构建提出3个阶段性目标,即“到2020年构建统一的自然保护地分类分级管理体制;到2025年初步建成以国家公园为主体的自然保护地体系;到2035年自然保护地的规模和管理达到世界水平,全面建成中国特色自然保护地体系”。这些目标明确项目实现的时间,但侧重于管理体制,而未对保护地的规模和保护目标做出具体的描述。根据系统保护规划在其他国家实施的案例,保护目标可包括2020年保护至少10%的沿海和海洋区域以及海洋保护地至少覆盖某物种生境的20%等^[10-11]。对我国而言,2012年《全国海洋功能区划(2011—2020年)》提出“到2020年,我国海洋保护区总面积将达到我国管辖海域总面积的5%”,可作为海洋保护地顶层设计的保护目标之一,但该目标还可细化到各生态区域或更小尺度。

此外,保护目标还须具体到各类保护对象。

①通过关键生态属性和评估指标明确重点保护对象,并对其保护重要性进行评级,确定优先次序;②明确各类保护对象的现状、具体目标和保护预期效果。一般来说,保护对象可分为3种基本类型,即生态系统(如红树林生态系统、珊瑚生态系统和河口生态系统)、生态群落(如潮间带群落)和物种(如珍稀濒危物种和重要保护物种生境)。

3.2 筛选保护空缺和优先保护区域

当前系统保护规划在我国保护地的应用主要

集中在筛选保护空缺和优先保护区域。例如:Li 等^[15]运用物种分布模型,在我国海州湾识别海洋生物多样性、重要保护物种和经济鱼类产卵场的保护空缺区域;Wu 等^[17]从保护生物多样性的角度,绘制陆地优先保护区域图。系统保护规划方法可系统地分析保护空缺和优先保护地区,提出保护地和生物廊道的综合规划,有助于实现《指导意见》提出的“自然保护地整合优化”的目标。

3.3 平衡保护与开发的关系

与其他传统规划方法相比,系统保护规划的特点在于同时考虑自然资源要素和保护成本,强调选划海洋保护地时不仅考虑自然属性和生物学特征,而且考虑建立保护地所需的社会和经济成本。系统保护规划在欧美地区的应用也主要集中于减少海洋保护地建设对当地社区、渔民群体和其他海域使用者的社会和经济影响^[10]。

基于我国面临的保护与开发利用矛盾突出的挑战,系统保护规划具有非常重要的应用价值,可用于协调生态保护与资源利用之间的关系,从而促进海洋生物资源的可持续发展。此外,从数据整合的角度来看,系统保护规划要求对数据进行规范化管理,有助于提高我国海洋保护地本底资料的整合水平以及完善海洋保护地系统选划的数据基础。

3.4 加强海洋保护地的完整性和连通性

《指导意见》提出整合优化现有自然保护地、归并相邻保护地以及保持生态系统完整性和连通性的要求。随着系统保护规划理论的发展,出现专门用于加强保护地完整性和连通性的选划优化模型^[18]。这些工具可用于评估我国现存海洋保护地的完整性和连通性,探究海洋保护地整合和归并的统筹方案,进而推进海洋保护地的科学选划。

3.5 加强海洋保护地选划的多方参与和论证

系统保护规划在国际海洋保护行动中获得广泛应用的重要原因之一是其流程的透明化,即鼓励多方参与保护地选划过程,尤其是在落实规划的环节,政府部门、研究机构、规划方、投资方、当地社区和利益相关者都可对不同选划方案进行积极讨论和适当调整。这也是实现我国海洋保护地社区共管和引进社会公益资金的重要途径。

3.6 开展适应性管理

系统保护规划的优点之一是将保护地的选划、实施和成效评估完整结合,其中评估保护地有效性至关重要。良好的监测方案和可靠的评价指标可帮助管理者确定是否实现保护目标以及保护地的实施方案是否有效,进而帮助其调整保护方案,以实现最佳保护成效。因此,对我国构建自然保护地体系的任务来说,顶层设计应不仅考虑海洋保护地的选划布局设计,而且应充分考虑从选划到落实、评估、反馈再到选划的一整套管理机制设计。

4 结语

纵观历史发展,我国海洋保护地的数量和面积迅速增长,管理水平逐步提升,但保护成效与世界先进水平仍存在一定差距。我国正处于建设以国家公园为主体的自然保护地体系的关键时期,面临海洋保护地改革的一系列挑战,其中最为严峻的挑战是缺乏海洋保护地的顶层设计以及具有广泛性和可操作性的科学系统的选划方法,以支撑保护地的合理布局和科学选划。而这作为海洋保护地建设的基石,在很大程度上决定海洋保护地的有效性,在海洋保护地发展的新阶段具有至关重要的意义。

近 20 年来,系统保护规划方法在全球海洋保护地建设中得以广泛应用,并取得显著效果,其成功经验对我国海洋保护地选划决策支持和标准化选划流程具有一定的借鉴意义。建议在构建海洋保护地顶层设计的过程中纳入系统保护规划的理论方法,形成海洋保护地选划的国家标准和宏观指导,最终实现我国海洋保护地的系统规划和合理布局。

参考文献

- [1] LI Y, FLUHARTY D L. Marine protected area networks in China: challenges and prospects[J]. Marine Policy, 2017, 85: 8-16.
- [2] 赵林林, 程梦旋, 应佩璇, 等. 我国海洋保护地现状、问题及发展对策[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(5): 3-7.
- [3] LESLIE H M. A synthesis of marine conservation planning approaches[J]. Conservation Biology, 2005, 19(6): 1701-1713.
- [4] 黄宝荣, 马永欢, 黄凯, 等. 推动以国家公园为主体的自然保护

- 地体系改革的思考[J].中国科学院院刊,2018,33(12):73—82.
- [5] 国家海洋局.海洋自然保护区管理办法[Z].1995.
- [6] 杜建国,叶观琼,周秋麟,等.近海海洋生态连通性研究进展[J].生态学报,2015,35(21):6923—6933.
- [7] 国家海洋局.海洋特别保护区功能分区和总体规划编制技术导则:HY/T 118—2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [8] MARGULES C R, PRESSEY R L. Systematic conservation planning[J].Nature,2000,405(6783):243—253.
- [9] 张路,欧阳志云,徐卫华.系统保护规划的理论、方法及关键问题[J].生态学报,2015,35(4):1284—1295.
- [10] KLEIN C J, STEINBACK C, SCHOLZ A J, et al. Effectiveness of marine reserve networks in representing biodiversity and minimizing impact to fishermen: a comparison of two approaches used in California [J]. Conservation letters, 2008, 1(1): 44—51.
- [11] BALL I R, POSSINGHAM H P, WATTS M. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization [A]. Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools [C]. Oxford: Oxford University Press, 2009:185—195.
- [12] DELAVENNE J, METCALFE K, SMITH R J, et al. Systematic conservation planning in the eastern English Channel: comparing the Marxan and Zonation decision-support tools[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 69(1):75—83.
- [13] JANBEN H, CORDULA G, ANNE L. 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.
- [14] MELLIN C, STEVE D, JULIAN C, et al. Effectiveness of biological surrogates for predicting patterns of marine biodiversity: a global meta-analysis[J]. Plos One, 2011, 6(6):e20141.
- [15] LI Y, ZHANG C, XUE Y, et al. Developing a marine protected area network with multiple objectives in China [J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2019, 29(6):952—963.
- [16] SCOTT J M, DAVIS F, CSUTI B, et al. Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity[J]. Wildlife Monographs, 1993(123):3—41.
- [17] WU R, LONG Y, MALANSON G P, et al. Optimized spatial priorities for biodiversity conservation in China: a systematic conservation planning perspective [J]. Plos One, 2014, 9(7):e103783.
- [18] DAIGLE R M, METAXAS A, BALBAR A, et al. Operationalizing ecological connectivity in spatial conservation planning with Marxan Connect[J]. Biorxiv, 2018:315424.