陆海统筹视角下海岸带生态修复分区研究

——以象山港流域为例

鲍维科，林倩

（宁波市自然资源和规划研究中心　宁波　315040）

摘要：为系统推进海岸带生态修复和实现海岸带可持续发展，文章以象山港流域为例，基于国土空间重塑理论和景观生态理论，在陆海统筹视角下构建“本底评估－风险诊断－格局构建－分区修复”的海岸带生态修复分区技术框架，并进行生态修复分区。研究结果表明：象山港流域的生态重要性整体较高，其中林地水体生态系统是核心，约有50%为生态极敏感区域和生态高度敏感区域；12个生态源地通过生态廊道相互连接，呈现“两横一纵”的总体生态安全格局；结合生态安全格局构建、生态重要性和生态敏感性分析以及海洋功能区划，象山港流域可划分为2个等级生态源点、3条生态带、1个恢复区、3个缓冲区、3个保育区和5个修复区，分别开展相关生态修复工程。

关键词：陆海统筹；海岸带；生态修复；生态廊道；生态系统

中图分类号：X171.4；P748　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2022)04－0003－08

The Ecological Restoration Zoning of Coastal Zone from the Perspective of Land Sea Coordination: Take Xiangshan Port basin as an example

BAO Weike, LIN Qian

(Ningbo Natural Resources & Planning Research Center, Ningbo 315040, China)

Abstract: In order to systematically promote the ecological restoration and realize the sustainable development of the coastal zone, this paper took Xiangshan Port basin as an example, based on the theory of land space reconstruction and landscape ecology, from the perspective of land and sea coordination, built a zoning technical framework for coastal zone ecological restoration of “background assessment-risk diagnosis-pattern construction-zoning restoration”, and carried out ecological restoration zoning. The results showed that on the whole, the ecological importance of Xiangshan Port basin was very high. Among them, forest and water ecosystems were the core. The 12 ecological sources connected each other through the ecological corridors, presenting the overall ecological security pattern of “two horizontal and one vertical”. Combined with the con-

收稿日期：2021-07-05；**修订日期**：2022-03-31

基金项目：国家自然科学基金面上项目“基于生态系统服务的社会-生态多过程耦合模拟与优化调控”(42071284).

作者简介：鲍维科，高级工程师，注册城乡规划师，研究方向为国土空间规划

通信作者：林倩，工程师，注册城乡规划师，硕士，研究方向为国土空间规划、土地政策和生态修复

struction of ecological security pattern, analysis of ecological importance and ecological sensitivity and marine functional zoning, Xiangshan Port basin could be divided into 2 hierarchical ecological source points, 3 ecological belts, 1 restoration area, 3 buffer areas, 3 conservation areas and 5 restoration areas, and relevant ecological restoration projects could be carried out respectively.

Keywords: Land and sea coordination, Coastal zone, Ecological restoration, Ecological corridor, Ecosystem

0 引言

目前生态修复已成为全球共识[1],其是建设美丽国土和实现国土可持续发展的重要手段[2-3],同时是国土空间规划领域关注的热点和焦点之一[4]。新时期的国土空间生态修复更加强调生态系统是整体的功能单元,须遵循国土空间"命运共同体"的理念,统筹考虑和整体推进,统一国土空间用途管制,避免片面、单一和局部的治理和修复方式[5]。因此,国土空间生态修复须从工程性修复思维转向以保护优先和以自然恢复为主的修复模式,从末端解决问题的"治疾病"转向源头预防问题的"治未病"[6],从自然生态系统视角转向社会-生态复合系统视角[7],在保护生态系统完整性的同时提升其多重服务价值[8]。

生态修复分区是有序开展国土空间生态修复的前提和基础[9-11]。目前主流技术模式是运用景观生态学理论,从构建和实现生态安全格局的角度进行国土空间生态修复分区[12-15]。大部分生态修复分区研究主要集中在陆域,对于海域生态修复分区的研究较少。海岸带是陆地和海洋的交叉地带,具有特殊的生态环境,是自然和社会活动的活跃区、陆海统筹战略的重要"阵地"以及典型的生态脆弱区和环境敏感区[16]。以海岸带为切入口,加强陆地与海洋的有效联动和优势互补,已成为陆海统筹战略的实施重点[17]。然而由于陆地和海洋的行政管理部门不同,出现生态修复分区不统筹以及对生态整体性考虑不全面等问题。因此,在陆海统筹视角下进行海岸带生态修复分区是保护海岸带生态系统完整性的关键,具有较强的理论和实践意义。本研究以象山港流域为研究区域,针对目前海岸带管理存在的主体多元和条线割裂现状,采用景观生态学耦合与海洋功能区划集成的科学模式,探讨陆海统筹的生态修复分区方法,系统推进海岸带生态修复。

1 研究区域和数据

1.1 研究区域

宁波是"一带一路"建设的支点、长江经济带的"龙眼"和长江三角洲的"金南翼"。宁波的象山港地处浙江东北部和宁波中部,是由东北向西南深入内陆的狭长形半封闭型海湾,是浙江沿海重要的"三湾一港"之一,海岸线总长约 400 km。象山港是典型的生态经济型港湾[18],因具有蜿蜒曲折的海岸线、独特的水文动力条件以及宽阔平稳的水面而成为避风性能良好的海湾型海港。象山港具有优越的区位条件和资源禀赋、发达的社会经济以及悠久的人文历史,沿岸工业涉及化工制造业、电镀业、船舶制造修理业、造纸业、漂染业和火力发电业等多个类型。

象山港流域按山脊线和行政区划涉及 23 个乡镇(街道),以山丘地为主,拥有众多森林公园,是全国海洋生物繁殖育种基地、东海舟山渔场鱼类洄游产卵基地和浙江最大的水产养殖基地,被誉为"宁波后花园"。象山港流域发育有众多河流,其中有 95 条大、小河流注入港湾,且多为"源近流短"的小流域河流,具有典型的港湾地区河流特点。由于环境容量极为有限和资源约束日益趋紧,象山港流域各类生态问题频发以及人-地矛盾突出,亟须加强顶层设计和统筹推进生态修复,从而实现整体生态价值。

目前象山港流域大部分区域为林地、耕地、建设用地和未利用地以及湿地,其中建设用地主要集中在沿海和沿河流区域,分布较不规则。从生态体量上看,森林等绿色植被覆盖区域和水体区域的面积十分可观,生态服务功能得到有效保障

（表 1）。

表 1　象山港流域的地类面积　　km^2

地类	面积
林地	873.60
水体	106.40
草地	7.58
园地	68.86
耕地	203.15
湿地	133.21
交通运输用地	43.34
建设用地和未利用地	143.61
合计	1 579.75

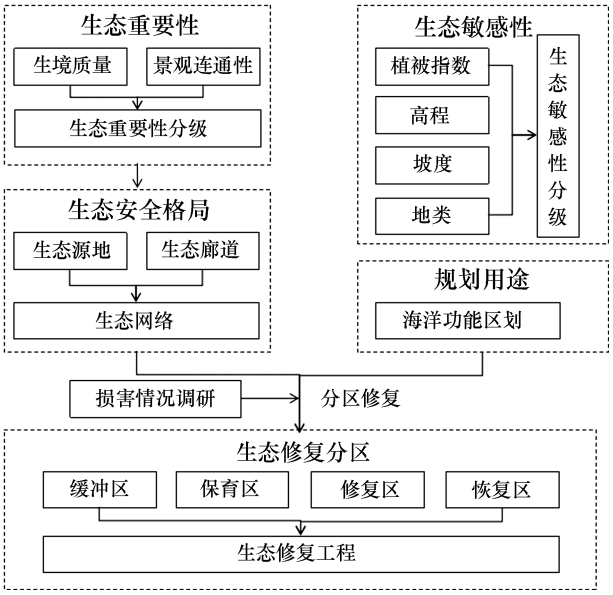

图 1　海岸带生态修复分区技术框架

1.2　研究数据

研究数据涉及土地利用现状、MODIS 归一化植被指数（NDVI）和数字高程模型（DEM）。土地利用现状的数据源为地理空间数据云提供的拍摄于 2020 年 10 月 19 日的一景 LANDSAT 8 OLI 遥感影像（行列号：118-40），并采用 ENVI 5.2 软件对原始遥感影像进行预处理；MODIS 数据集和高程数据的数据源为美国国家航空航天局地球科学数据和信息系统（ESDIS）项目管理的陆地过程分布式活动档案中心。

2　研究方法

2.1　总体思路

国土空间生态修复分区的本质是空间政策表达[8]，这是加强生态修复规划可实施性的关键。本研究以生态修复分区为落脚点，综合象山港流域的地域差异、主导功能和生态问题[19]，统筹推进生态修复规划的编制、政策配套和实施，构建“本底评估－风险诊断－格局构建－分区修复”的海岸带生态修复分区技术框架。在生态重要性本底评估的基础上，综合考虑生态敏感性和规划用途进行风险诊断，从构建生态安全格局的角度切入，根据人-地系统耦合的国土空间重塑理论[20]和景观生态理论进行生态修复分区，进而制定不同的生态修复政策以及引导生态修复工程落地（图 1）。

2.2　生态重要性

结合生境质量和景观连通性评价生态重要性。生境质量评价采用 In VEST 模型的生境质量模块，其中耕地、农村居民点、城镇居民点、交通运输用地和工矿用地被视为主要威胁源（表 2）。

表 2　生境质量的主要威胁源

威胁源	最大影响距离/km	权重	衰退方式
耕地	1	0.2	线性
农村居民点	6	0.7	指数
城镇居民点	10	1.0	指数
交通运输用地	9	0.9	指数
工矿用地	5	0.5	指数

针对各地类对威胁源的敏感度进行赋值，赋值越接近 0 表明敏感度越低（表 3）。

表 3　威胁源的敏感度赋值

地类	威胁源				
	耕地	农村居民点	城镇居民点	交通运输用地	工矿用地
水田	0.3	0.3	0.6	0.5	0.7
旱地	0.3	0.3	0.6	0.5	0.7
园地	0.4	0.3	0.6	0.4	0.7
林地	0.1	0.1	0.5	0.5	0.7
草地	0.3	0.3	0.5	0.4	0.7
农村居民点	0.2	0	0.3	0.3	0.5
城镇居民点	0	0	0	0	0

续表 3

地类	威胁源				
	耕地	农村居民点	城镇居民点	交通运输用地	工矿用地
交通运输用地	0	0	0	0	0
公共服务和特殊用地	0	0	0	0	0
公园绿地	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6
工业用地	0	0	0	0	0
水利设施用地	0	0	0	0	0
沟渠和坑塘	0	0	0	0	0
河流湖泊	0.3	0.3	0.7	0.7	0.8
滩涂和水库	0.1	0.1	0.2	0.1	0.7
商业服务用地	0	0	0	0	0
其他	0.1	0.1	0.3	0.4	0.3

生境适宜度是各地类的生境质量分数，取值范围为 0～1，分数越高表明生境适宜度越高(表 4)。

表 4 各地类的生境适宜度

地类	生境适宜度	地类	生境适宜度
水田	0.7	公园绿地	0.7
旱地	0.7	工业用地	0
园地	0.8	水利设施用地	0
林地	1.0	沟渠和坑塘	0.4
草地	1.0	河流湖泊	1.0
农村居民点	0.6	滩涂和水库	0.6
城镇居民点	0	商业服务用地	0
交通运输用地	0	其他	0.3
公共服务和特殊用地	0		

景观连通性评价是对景观空间结构单元之间连续性的度量，较高的景观连通性有利于维护生态过程和生物多样性。运用 Conefor 2.8 软件计算景观连通性指数，并运用整体连通性指数(IIC)和可能连通性指数(PC)评价研究区域的景观连通性。在计算景观连通性指数的基础上，计算斑块连通性指数(dIIC)即每个斑块对整体连通性的重要程度，以表征斑块连通重要性。在斑块连通性指数的计算过程中，斑块距离的阈值设为 500 m，连通概率设为 0.5，计算公式为：

$$dIIC = (IIC - IIC_{remove})/IIC \times 100\%$$

式中：IIC_{remove}表示移除某个斑块后剩余斑块的整体连通性指数。

根据生态重要性评价指标体系(表 5)，将生境质量和景观连通性等权叠加，得到生态重要性评价结果。采用自然断点法将生态重要性分为一般重要、较重要、中等重要、高度重要和极重要 5 个等级，最终得到生态重要性空间格局。

表 5 生态重要性评价指标体系

影响因子	重要性赋值					权重
	1	3	5	7	9	
景观连通性	0～2	2～8	8～14	14～19	19～34	0.5
生境质量	0～0.2	0.2～0.4	0.4～0.6	0.6～0.8	0.8～1.0	0.5

2.3 生态安全格局

2.3.1 生态源地和生态阻力面

生态源地是生物栖息地和生物扩散的源点，是维持景观完整性和生态系统稳定性的重要区域，往往具有较好的生境质量和生态服务功能。

生态阻力面是对生物空间运动状态和趋势的反映。生态阻力是生物从源地扩散的过程中须克服的阻力，阻力值越高表明生物扩散的阻力越大。将象山港流域的主要地类归纳为 7 个斑块类型，同时综合考虑高程和坡度 2 个影响因子，分别赋予其相对生态阻力值(表 6)，分别得到基于地类、高程和坡度的生态阻力面。

表 6 各影响因子的生态阻力值

影响因子		阻力值
地类	林地	1
	湿地/园地/草地	10
	水体	20
	耕地	30
	其他用地	70
	交通运输用地	80
	建设用地	100

续表 6

影响因子		阻力值
高程/m	不大于 48	10
	48～121	20
	121～205	40
	205～302	60
	302～421	80
	大于 421	100
坡度/(°)	不大于 5	10
	5～15	30
	15～25	50
	25～35	70
	大于 35	100

将地类、高程和坡度 3 个影响因子的权重分别设置为 0.80、0.15 和 0.05，并将基于地类、高程和坡度的生态阻力面分权叠加，得到研究区域的综合阻力面，从而更为细致和精确地表征生态阻力差异。

2.3.2　生态廊道和生态网络

基于“斑块-廊道-基质”的景观生态学模式[21]，通过识别生态源地和提取生态廊道形成生态网络，从而构建生态安全格局。

生态廊道是指连接生态源地的线状或带状生态景观，即生物动态迁徙的通道。最小累积阻力(MCR)指生物从源地扩散的过程中须克服的最小累积阻力。在识别生态源地和构建生态阻力面的基础上，根据最小累积阻力模型分析其空间分布特征和数值，提取生态源地之间的低阻力通道作为生态廊道，将生态源地与生态廊道叠置组合形成研究区域的生态网络。

最小累积阻力的计算公式为：

$$\mathrm{MCR}=\int \min \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i$$

式中：D_{ij} 表示某种生物从源地 j 扩散到景观单元 i 的空间距离；R_i 表示景观单元 i 对某种生物扩散的阻力值。

2.4　生态敏感性

生态敏感性评价是对区域发生生态问题的可能性及其影响程度的综合性评价，并以此反映人类活动可能造成的生态后果。生态敏感性越高表明生态系统稳定性越低，即较易发生生态问题。

综合考虑数据的可获得性、可靠性、分辨率和学界认可度，选取地类、NDVI、高程和坡度 4 个影响因子，构建生态敏感性评价指标体系(表 7)。对每个影响因子划分相应的敏感性区间，基于层次分析法确定的指标权重对各影响因子的敏感性赋值进行加权运算，得到生态敏感性评价结果。

表 7　生态敏感性评价指标体系

影响因子	敏感性赋值					权重
	1	3	5	7	9	
地类	建设用地和交通运输用地等	未利用地	耕地和草地	园地和林地	湿地和水体	0.32
NDVI	0～0.25	0.25～0.50	0.50～0.65	0.65～0.80	大于 0.80	0.28
高程/m	不大于 60	60～150	150～250	250～400	大于 400	0.20
坡度/(°)	不大于 5	5～15	15～25	25～35	大于 35	0.20

3　结果与分析

3.1　生态重要性

根据象山港流域生态重要性空间格局(表 8)，象山港流域的生态重要性整体较高，其两侧的林地水体生态系统是整个流域的核心。生态重要性中等重要区域位于林地水体生态系统和滨海湿地生态系统与人类活动区域交界的边缘区域，主要包括耕地、园地和滩涂养殖区域；该区域受人类活动和互花米草入侵的影响，原有生态系统被较轻程度地改造，导致生态重要性有所降低。生态重要性一般重要区域主要是典型的城市硬化平地，该区域完全是人类活动区域，除少数植被外没有完整、立体和复杂的生态系统。

表 8 象山港流域生态重要性空间格局

等级	面积/km²	占比/%
一般重要	113.79	7.20
较重要	147.76	9.35
中等重要	223.86	14.17
高度重要	637.37	40.35
极重要	456.97	28.93

3.2 生态安全格局

以象山港流域生态重要性空间格局为基础，结合实地调研，最终确定 12 个斑块作为生态源地，并划为一级和二级生态源地进行分级保护。①林地水体生态源地，包括大嵩江水系、横山水库、东江、岙溪、梅溪水库、鲤龙潭森林公园和平潭水库以及石门溪 7 处周边的林地水体生态系统。其中，大嵩江水系、横山水库、梅溪水库以及鲤龙潭森林公园和平潭水库 4 处周边的林地水体生态系统为一级生态源地，均分布于象山港流域东、西方向的森林条带；一级生态源地作为象山港流域生态系统的核心区域，代表生物集散和能量流动等活动的核心点。②耕地生态源地，包括沿东江流域和沿梅溪水库下游水域 2 处周边的耕地生态系统，均是典型的水源地周边农耕聚集地。③滨海湿地生态源地，包括西沪港、铁港和黄墩港 3 处滨海湿地生态系统，均是象山港流域最典型的滨海湿地生态系统。其中，西沪港滨海湿地生态系统是天然的地理因素冲淤型，港内水文和气候适宜，非常适合生物繁衍生息；铁港和黄墩港地处入海口，是淡水和海水交互影响的滩涂湿地区域，潮间带生物丰富，海鸟类生物觅食活动较多。

象山港流域生态阻力值最小的区域为地势较低的平原林地和滨海湿地，由这些区域向人类活动改造区域的生态阻力值逐渐变大，至城镇区域达到最大值。

象山港流域的 12 个生态源地通过生态廊道相互连接，组成 3 条生态带并整体呈“匚”型分布，呈现“两横一纵”的总体生态安全格局。其中，北部“一横”以山区林地水体为主、耕地为辅，南部“一横”自山区林地至西沪港滨海湿地，“一纵”连接“两横”以及连接南、北方向 2 个滨海湿地(图 2)。

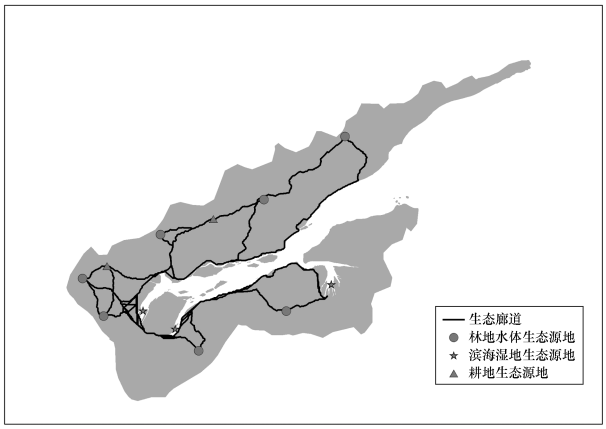

图 2 象山港流域生态安全格局

从生境质量来看，象山港流域的林地水体生态系统占整个生境的绝大部分且处于核心地位；从景观连通性来看，象山港流域的滨海湿地生态系统是连接各生态源地的纽带以及生态廊道的位置所在，在生物迁徙过程中发挥最重要的作用。

3.3 生态敏感性

基于象山港流域生态敏感性空间格局(表 9)，象山港流域的生态敏感性从山区向平原逐渐降低。其中，生态极敏感区域和生态高度敏感区域的面积约占总面积的 50%，多位于山脉丘陵，地势起伏较大，地类多为植被覆盖率高的林地，人类活动或自然灾害会对其生态环境造成不可恢复的破坏；滨海湿地区域和内陆滩涂区域为生态轻度敏感区域，主要是由于滨海湿地区域受互花米草入侵和人类活动的破坏影响严重，生物多样性和生态服务功能均有所降低，亟须开展生态修复以提升生态质量。

表 9 象山港流域生态敏感性空间格局

等级	面积/km²	占比/%
不敏感	200.67	12.70
轻度敏感	318.62	20.17
中度敏感	277.26	17.55
高度敏感	388.03	24.56
极敏感	395.17	25.02

3.4 生态修复分区

根据生态修复方式的不同，生态修复分区划定保育区、缓冲区、恢复区和修复区 4 个类型。保育区侧重生态系统保护和复育，落实最严格的生态管控

手段，严格控制人类活动强度；缓冲区允许适当发展生态产业；恢复区和修复区均针对生态系统已有损失的区域，其中恢复区侧重自然恢复，修复区侧重人工干预。基于此，本研究通过构建生态安全格局以及分析生态重要性和生态敏感性，结合海洋功能区划，以陆海统筹为视角在象山港流域划分“两级三带十二区”，即 2 个等级生态源点、3 条生态带、1 个恢复区、3 个缓冲区、3 个保育区和 5 个修复区（表 10）。

表 10　象山港流域生态修复分区

类型	名称	面积/km^2
修复区	穿山半岛山海修复示范区	145
	象山港北岸生态减灾修复示范区	144
	横山森林水体修复示范区	145
	铁港和黄墩港水文动力修复示范区	151
	西沪港盐沼湿地修复示范区	177
保育区	大嵩江流域森林水体生态系统保育区	151
	白岩山森林生态系统保育区	140
	天台山余脉森林生态系统保育区	277
缓冲区	莼湖生态缓冲区	197
	西周生态缓冲区	35
	贤庠生态缓冲区	109
恢复区	象山港海洋资源恢复区	335

1 个恢复区即象山港海洋资源恢复区，面积共计 335 km^2，占比约为 17%，覆盖大部分海域和滩涂，重点加强对海洋渔业资源的监管和保护；3 个缓冲区面积共计 341 km^2，占比约为 17%，允许适当发展生态农旅产业；3 个保育区面积共计 568 km^2，占比约为 28%，严格遵守生态红线相关规定，重点加强植被恢复和森林生态系统维护；5 个修复区面积共计 762 km^2，占比约为 38%，分类分区推进相关生态修复工程的实施，主要包括修复矿山、修复蓝色海湾、维护生物多样性、优化海水水质和水文动力以及治理互花米草。

4　结语

海岸带是陆地和海洋的交叉地带，具有特殊的生态环境，是自然和社会活动的活跃区、陆海统筹战略的重要“阵地”以及典型的生态脆弱区和环境敏感区。面对当前海岸带管理存在的主体多元和条线割裂问题，为更好地推进海岸带生态修复和加强陆海统筹，本研究以象山港流域为研究区域探索海岸带生态修复分区。

象山港是典型的生态经济型港湾。本研究结合生态安全格局构建、生态重要性和生态敏感性分析以及海洋功能区划等影响因子，在人-地系统耦合的国土空间重塑理论和景观生态理论的基础上，构建“本底评估－风险诊断－格局构建－分区修复”的海岸带生态修复分区技术框架，根据人类活动影响程度提出陆海统筹的生态修复分区方法，以更好地指导相关生态修复工程的实施，系统推进陆海统筹的海岸带生态修复，可为同类区域提供参考经验。

由于数据受限，本研究仍存在不足，亟待深入和细化研究。①模型参数和生态阻力面构建采用经验系数，应进一步结合多源地理空间大数据，探索更加精细化的模型输出；②生态敏感性和生态重要性等分析采用已有景观为输入，而对未来人类活动影响和用地特征的研判仍须探索非场景预测。

参考文献

[1] SUDING K，HIGGS E，PALMER M，et al.Committing to ecological restoration[J].Science，2015，348(6235)：638－640.

[2] 尹向东，刘涛.空间规划语境下国土整治与生态修复的思考[J].中国土地，2020(7)：31－33.

[3] 马向明，魏冀明，胡秀媚，等.国土空间生态修复新思路：广东万里碧道规划建设探讨[J].规划师，2020，36(17)：26－34.

[4] 俞孔坚.基于自然，让自然做功：国土空间规划与生态修复之本[J].景观设计学，2020，8(1)：6－9.

[5] 王夏晖，张箫，牟雪洁，等.国土空间生态修复规划编制方法探析[J].环境保护，2019，47(5)：36－38.

[6] 宫清华，张虹鸥，叶玉瑶，等.人地系统耦合框架下国土空间生态修复规划策略：以粤港澳大湾区为例[J].地理研究，2020，39(9)：230－242.

[7] 白中科，周伟，王金满，等.试论国土空间整体保护、系统修复与综合治理[J].中国土地科学，2019，33(2)：1－11.

[8] 曹宇，王嘉怡，李国煜.国土空间生态修复：概念思辨与理论认知[J].中国土地科学，2019，33(7)：1－10.

[9] 陈新闯，李小倩，吕一河，等.区域尺度生态修复空间辨识研究进展[J].生态学报，2019，39(23)：8717－8724.

[10] 马蓉蓉，黄雨晗，周伟，等.祁连山山水林田湖草生态保护与修复的探索与实践[J].生态学报，2019，39(23)：8990－8997.

[11] 朱传耿，仇方道，马晓冬，等.地域主体功能区划理论与方法的

初步研究[J].地理科学,2007,27(2):136－141.

[12] 倪庆琳,侯湖平,丁忠义,等.基于生态安全格局识别的国土空间生态修复分区:以徐州市贾汪区为例[J].自然资源学报,2020,35(1):204－216.

[13] 方莹,王静,黄隆杨,等.基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别:以烟台市为例[J].自然资源学报,2020,35(1):190－203.

[14] 王晓玉,冯喆,吴克宁,等.基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护与修复[J].生态学报,2019,39(23):8725－8732.

[15] 王回茴,李汉廷,谢苗苗,等.资源型城市工矿用地系统修复的生态安全格局构建[J].自然资源学报,2020,35(1):162－173.

[16] 林小如,吕一平,王绍森.基于时空弹性与陆海统筹的海岸带土地利用模式:以厦门市翔安区为例[J].城市发展研究,2020,27(5):10－17.

[17] 王芳.对海陆统筹发展的认识和思考[J].国土资源,2009(3):33－35.

[18] 祝翔宇,何丛颖,丁页,等.宁波湾区经济发展中的海洋环境保护对策研究[J].环境与可持续发展,2019,44(2):85－88.

[19] 蔡海生,陈艺,查东平,等.基于主导功能的国土空间生态修复分区的原理与方法[J].农业工程学报,2020,36(15):269－278,333.

[20] 曹小曙.基于人地耦合系统的国土空间重塑[J].自然资源学报,2019,34(10):2051－2059.

[21] FORMAN R T T,GODRON M.Landscape ecology[M].New York:Wiley,1986.