

基于最小累积阻力模型的围垦新区景观格局优化 ——以连云港连云新城为例

乔富珍¹, 郑忠明^{1*}, 李加林², 郑文兵¹

(1. 宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波大学 建筑工程与环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 以连云港连云新城为研究对象, 运用 GIS 技术, 采用最小累积阻力模型对景观格局进行优化研究. 结果显示: (1) 连云新城生态功能分异显著, 斑块破碎度高, 连通性差; (2) 基于水文分析原理和方法, 分析最小累积阻力面, 获得生态廊道、辐射道和生态节点的空间布局; (3) 生态源地周围效应明显, 建立源地缓冲带是保护生态源地的关键; (4) 生态廊道和辐射道是提高连通性的重要措施.

关键词: 景观格局指数; 生态服务功能价值; 水文分析原理; 滩涂围垦

中图分类号: Q149

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 03-0119-05

景观格局与生态过程的关系是景观生态学研究中的核心内容. 景观格局影响生态过程的运行, 而生态过程又塑造着景观格局的形成. 然而, 生态过程不是孤立于某一个景观类型或某一种生态系统运行, 而是在组成景观的各个生态系统之间水平流动, 景观格局中的各个景观类型对于特定的生态过程均具有一定的作用, 或促进、或阻碍、或起中介作用. 景观中存在某种空间格局可以使特定生态运行最畅通, 使生态效益最大化, 这种景观格局即为生态安全格局^[1]. 识别和建立景观安全格局是景观格局优化的理论依据.

目前, 国内外景观格局优化的研究方法主要有概念模型、数学模型和计算机空间模型^[2]. 概念模型是基于景观格局和生态过程一般规律的经验土地利用模式, 是数学模型和计算机空间模型等所有景观格局优化方法的最基本格局依据. 数学模型是利用统计学理论优化景观格局, 强调的是景观要素的数量配置^[3]. 随着计算机技术的发展, 计算机空间模型克服了数学模型的不足, 从数量和空间配置进行优化, 但是由于景观格局演变和生态过程的复杂性导致计算机编程不能很好地与

实际耦合. 最小累积阻力模型是建立在“景观流”理论^[4]和“源”“汇”^[5]理论基础上, 具有图论清晰、数据信息适度、运算法则简便快速、计算结果直观形象等特点, 而且在 ArcGIS 各种桌面程序包中就可以实现, 使复杂的大尺度景观分析的实际操作成为可能^[6-8], 目前普遍运用于土地规划和物种保护管理中. 国内外学者运用最小累积阻力模型分析公路网络路径^[9]、评价土地生态适宜性^[10]、模拟灾害蔓延趋势^[11]等, 均取得良好效果.

海涂围垦是沿海地区实现土地总量动态平衡的主要途径之一, 但是滩涂围垦破坏了景观的自然演替规律, 重建的景观格局在生态方面是否合理, 生态格局是否安全, 已引起学界广泛重视. 笔者利用最小累积阻力模型对连云新城进行景观优化, 旨在为海涂围垦区城市土地规划和生态建设提供参考, 使区域环境与经济协调发展.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

连云新城是连云港新一轮城市发展战略中的重要一环, 是集金融商街、行政主轴、滨海居住、

收稿日期: 2013-07-12.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项 (201205005).

第一作者: 乔富珍 (1988—), 女, 山西朔州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 海涂围垦区景观格局演变. E-mail: 875172350@qq.com

*通信作者: 郑忠明 (1965—), 男, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 水域生态学. E-mail: zhengzhongming@nbu.edu.cn

旅游内湾等功能为一体的滨海新城。连云新城地理优势明显,东依北固山,南靠 242 省道,西接临洪河口湿地,北面海洲湾,是滩涂围垦城市利用的典型案列。土地来源大部分为匡围滩涂和填海造地,该区域人为干扰强度大,前后景观格局和生态功能差异显著。

1.2 数据资料来源与处理

由江苏海涂围垦中心获得连云新城土地利用总体规划图。连云新城为滩涂围垦城市利用型,在规划建设时,保留了临洪河口的原生态自然湿地,因而将临洪河口湿地作为单独景观类型。建设用地区域为城市标志,而绿地、水域、山体起主要生态作用,因而结合连云新城规划总图土地利用特征和基于生态功能评价的景观格局优化目标,将景观划分为建设用地、山体、湿地、城市绿地以及水域 5 类。基于土地利用总体规划图,利用 ERDAS IMAGINE 9.2 和 ArcGIS 9.3 对土地覆盖类型进行合并和重分类,获连云新城景观分类(图 1)。

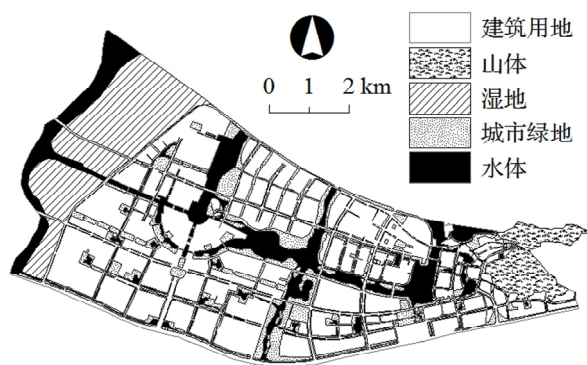


图 1 连云新城景观分类

1.3 景观格局指标的选取与计算

据研究目标,从景观破碎程度和景观单元连通性来表征研究区景观格局特征。在综合了解每个景观格局指数的生态意义和所反映的景观格局侧重面前提下,在类别水平上选取景观面积百分比 P 、斑块密度 P_D 、景观形状指数 E 、平均斑块面积 S_A 、连通度 C 共 5 个景观指数。在景观水平上选取连通性作类别水平上的补充,基于景观分类图,运用 FRAGSTATS 3.3 软件进行各景观格局指数的计算。

1.4 最小累积阻力模型和生态安全格局组分识别

景观生态功能的发挥实质是依靠景观单元之间物质和能量的循环,即景观流的运行。景观流的

运行需要克服一定的阻力,最小累积阻力模型就是基于这个原理。最小累积阻力是指生态流从“源”经过不同阻力的景观所耗费的费用或者克服阻力所作的功,最早由 Knaapen 等^[12]提出,主要考虑源地、距离和土地覆盖类型 3 要素^[13]。笔者采用文献^[10]中的计算公式:

$$P_{MCR} = f \min \sum_{j=m}^{i=n} (D_{ij} \times R_i),$$

式中: P_{MCR} 为最小累积阻力值, D_{ij} 表示源 j 到景观单元 i 的欧氏距离, R_i 表示景观单元 i 对特定生态过程运动的阻力系数, f 表示最小累积阻力与距离、地表摩擦阻力因子的正相关关系。

最小累积阻力模型借助于 GIS 中的空间分析模块平台来实现。这个模型需要 2 个 GIS 图层, 1 个源图层和 1 个阻力层^[14]。GIS 空间分析输出的结果是最小累积阻力面,最小累积阻力面是描述阻力属性空间的有序数值阵列。一个潜在的景观生态安全格局包括生态源地、生态廊道、辐射道和节点这些控制特定景观水平生态过程的关键区域、点和空间关系^[1]。借鉴水文分析原理和方法^[15],最小累积阻力面的表面形态特征将作为生态安全格局组分识别的重要依据^[16]。

1.5 景观生态服务价值及阻力系数的确定

景观生态服务价值是生态系统通过其结构、过程和功能直接或间接提供给人类的有形产品和无形服务在市场经济体系下的市场评定价值^[17]。据文献^[18]计算出连云新城不同景观类型的生态服务功能价值。利用 ArcGIS 9.3 对连云新城景观分类进行 300 m×300 m 的重分类^[19],根据生态服务功能价值从网格水平计算各网格所代表的景观类型的生态服务功能强度(图 2)。

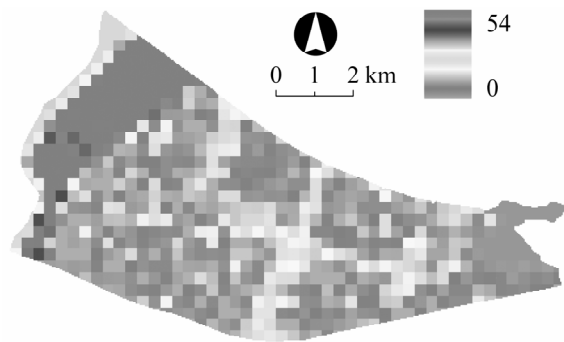


图 2 生态服务功能强度

同时,依据生态服务功能强度面来判定景观单元阻力系数。

2 结果与分析

2.1 景观生态格局分析

表1是基于图1在FRAGSTAT 3.3下计算出的各景观格局指数,用于描述未来连云新城的景观格局特征。结果显示:建筑用地占地面积最大;湿地、水域、绿地相仿,在15%左右;山体最小。在斑块密度上,绿地处于10以上,远大于其他景观类型;水域为2.1839;建筑用地、湿地和山体最低,均小于0.5。在平均斑块面积上,湿地和山体最大,在200以上;建筑用地次之,为142.2655;而水域为7.7822;绿地仅为1.2997。在连通度上,绿地连通性最差,小于0.5;水域在1~1.5之间,湿地连通性最好达到30之多,建筑用地也达到10之多,而山体相互连接无谓连通度,景观水平上的连通度为0.3965,与绿地在一个连通水平上。因而,从斑块类别上看,湿地和山体斑块数目较少,集聚度较高,绿地和水体斑块破碎度高,连通性差。综合分析,连云新城景观类型面积相对平衡,但是景观破碎程度较高,整体连通性较差。

表1 连云新城景观格局指数

景观类型	面积/%	斑块密度/(个·hm ⁻²)	景观形态指数	平均斑块面积/hm ²	连通度
湿地	13.4193	0.0489	2.8639	274.4595	33.3333
建筑用地	51.0096	0.3586	18.2500	142.2655	10.3896
山体	3.8957	0.0163	2.2857	239.0341	—
水域	16.9956	2.1839	16.9789	7.7822	1.3803
绿地	14.6798	11.2944	35.8068	1.2997	0.3499

2.2 阻力面确定与生态源地

表2显示,湿地生态服务价值最大,草地、水体、森林依次减小,建筑用地为0。运用ArcGIS中

表2 连云新城各景观类型生态系统服务功能价值

景观类型	景观面积/hm ²	单位面积服务功能价值/(元·hm ⁻²)	服务功能价值/(万元·hm ⁻²)	所占比例/%
森林	239	5397.6	129	2
草地	897	18723.4	1679	31
湿地	824	35287.8	2907	54
水体	1046	6698.3	700	13
建筑用地	3147	0	0	0

raster calculator 工具对连云新城生态服务价值强度面进行计算,获得连云新城阻力面。笔者根据景观生态服务功能价值评价和源地内聚性和外延性特征^[20],选取新城中呈“工”字主干的西部湿地、东部山体和“竖”划上2个大的水体斑块作为源地。

2.3 生态廊道与辐射道

基于最小累积阻力模型,依靠ArcGIS 9.3空间分析模块,输入生态源地图层和阻力面图层,得到最小累积阻力面(图3)。运用ArcGIS 9.3水文分析模块,分析最小累积阻力面,提取最小耗费路径网(图4)。最小耗费路径网呈树枝状,一系列从山体向内部扩散蔓延,一系列由湿地向内部短距离扩散。将最小耗费路径网与连云新城景观分类图叠加分析可知,连云新城生态廊道规划比较合理,生态廊道多为河流廊道,小部分为绿地廊道。

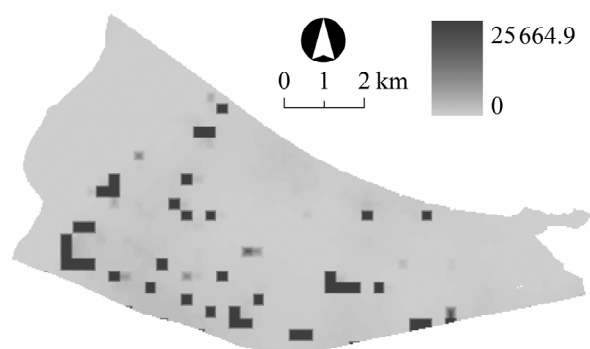


图3 最小累积阻力面

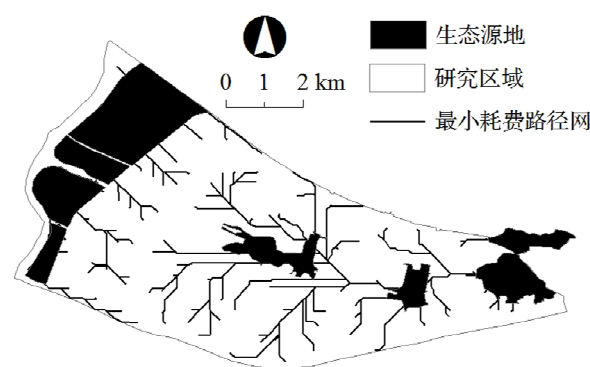


图4 最小耗费路径网

2.4 生态节点

生态节点是生态流在景观格局运行中起关键作用的点,一般指生态功能敏感和薄弱的区域,生态资源价值高和生态服务功能相互矛盾的区域^[21]。在生态节点的选取中分为3类:(1)为“最大耗费路径网”和“最小耗费路径网”的交汇点,这类地带

不利于生态流运行。(2)为“最小耗费路径网”的高级别结点,是生态流运行的潜在源点,易受外界干扰。(3)为“最大耗费路径网”的高级别结点,是生态流运行阻力汇集区。基于此,得到景观生态节点的空间分布位置(图5)。

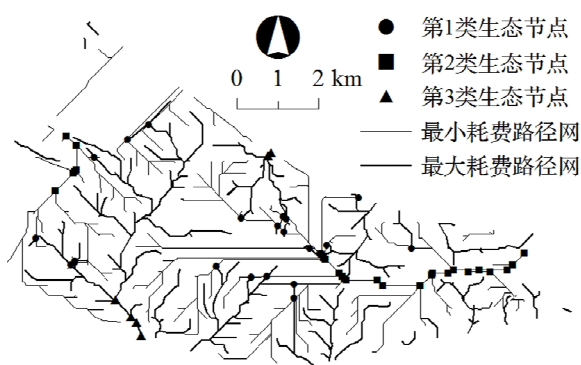


图5 生态节点空间布局

2.5 景观格局优化总体方案

景观格局优化通过调整景观单元的数量和空间布局来使景观格局更安全、功能更稳定。从生态源地、生态廊道和辐射道、生态节点3个方向阐述连云新城景观格局优化总体方案。

(1) 生态源地控制和促进景观生态功能的稳定发挥。本研究中生态源地主要包括生态功能服务价值高的西部湿地和东部山体、占据重要空间位置的内部2个大的水体斑块。这些源地应予以保护和建设,增大其核心斑块面积,建立源地缓冲区,避免人类干扰。

(2) 生态廊道和辐射道是关系到景观连通性的重要元素。本研究中水体廊道是生态廊道的主要组成部分,保护位于连云新城中心线连接山体、2个大的水体斑块和湿地呈东西向弧线的水道以及从2个水体斑块向南北边界辐射的水道,根据城市建筑扩展特征,建立有一定宽度的河堤绿化带。按照最小耗费路径网建设有一定长度和一定面积组团式的绿地使绿地作为生态廊道的重要组成部分,发挥其生态功能。建设连云新城海岸线向内陆蔓延的水体生态廊道,将海洋引入连云新城城市生态体系中。

(3) 生态节点。生态节点是人工景观对自然景观相互联系的干扰区。本研究获得的生态节点位于源地中较大的水体斑块周围、山体与内部河流连通线上、连云新城边界上,处于生态廊道连接断

点和生态功能薄弱区。构建和保护生态节点,将建成区、湿地系统、山体系统通过水体、绿地等生态廊道有机地连通成一个生态功能网络结构,增强景观间功能联系,维护景观稳定。

3 结论

通过对景观格局指数的计算,分析了连云新城景观格局,显示连云新城景观类型单一、内部景观破碎度高、整体连通性差。进而,利用最小累积阻力模型,从景观格局与生态过程的关系出发,运用GIS空间分析技术,将生态流强度量化为生态服务功能价值,模拟了生态流运行态势,获得了生态廊道和生态节点的空间布局,提出了景观格局总体方案。从景观空间位置上,构建源地缓冲带、建设生态廊道和生态节点来提高连云新城生态网络的连通性,从而解决海涂围垦城市化过程中人为干扰引起的景观破碎化、景观连通性低、景观边界阻力大等生态问题。研究结果可为景观生态建设和城市生态规划提供参考。

参考文献:

- [1] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999, 19(1):10-17.
- [2] 韩文权, 常禹, 胡远满, 等. 景观格局优化研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12):1487-1492.
- [3] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000:185-191.
- [4] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001:126-130.
- [5] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义[J]. 生态学报, 2006, 26(5):1444-1449.
- [6] Adriaensen F, Chardon J P, De B G, et al. The application of “least-cost” modelling as a functional landscape model[J]. Landscape and Urban Planning, 2003, 64(4): 233-247.
- [7] Driezen K, Adriaensen F, Rondinini C, et al. Evaluating least-cost model predictions with empirical dispersal data: A case-study using radiotracking data of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*)[J]. Ecological Modelling, 2007, 209(2):314-322.
- [8] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程, 等. 基于最小费用模型的景观连接度评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8):2042-2048.
- [9] 康萃, 刘高焕. 基于耗费距离的公路网络路径分析模

- 型研究——以珠江三角洲公路网为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(6):54-58; 132.
- [10] 李平星, 陈东, 樊杰. 基于最小费用距离模型的生态可占用性分析——以广西西江经济带为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2):227-236.
- [11] Rodriguez G J, del B G, Duguy B. Assessing functional landscape connectivity for disturbance propagation on regional scales: A cost-surface model approach applied to surface fire spread[J]. Ecological Modelling, 2008, 211(1): 121-141.
- [12] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1):1-16.
- [13] 李晖, 易娜, 姚文璟, 等. 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划[J]. 生态学报, 2011, 31(20):5928-5936.
- [14] Chardon J P, Adriaensen F, Matthysen E. Incorporating landscape elements into a connectivity measure: A case study for the speckled wood butterfly (*Pararge aegeria* L.)[J]. Landscape Ecology, 2003, 18(6):561-573.
- [15] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006:446-449.
- [16] 俞孔坚. 景观生态战略点识别方法与理论地理学的表面模型[J]. 地理学报, 1998, 53(S1):11-20.
- [17] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25:3-15.
- [18] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2):189-196.
- [19] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. GIS 与 RS 技术支持下的北京西北地区景观格局优化[J]. 地理学报, 2007, 62(11):1223-1231.
- [20] 李纪宏, 刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2):217-224.
- [21] 张小飞, 李正国, 王如松, 等. 基于功能网络评价的城市生态安全格局研究——以常州市为例[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4):728-736.

Optimization of Landscape Pattern in New Reclaimed Region Based on Minimum Cumulative Resistance Model: Case Study

QIAO Fu-zhen¹, ZHENG Zhong-ming^{1*}, LI Jia-lin², ZHENG Wen-bing¹

(1.School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: With the New City of Lianyun as a research object, the landscape pattern is optimized by applying GIS technology and minimum cumulative resistance model. The modeled landscape pattern gives the following conclusions: (1) Ecological functions diversify significantly in New City of Lianyun, as demonstrated by land fragmentation and poor connectivity. (2) Using the Hydrologic Analysis, the spatial layout of ecological corridor, ecological network nodes and radiation channels are obtained by analyzing minimum cumulative resistance surface. (3) Neighboring effect of ecological source is noticeable, thus building the buffer zones is the key of conserving ecological source. (4) Ecological corridor and radiation channels are important for improvement of connectivity.

Key words: landscape pattern indices; ecosystem services value; hydrologic analysis; tidal flat reclamation

(责任编辑 史小丽)