

文章编号:1001-4179(2013)20-0076-04

基于最小累积阻力的崇明岛水系分区保护研究

沈 利¹, 张怀春², 邱卫国³

(1. 上海市崇明县人民政府, 上海 202150; 2. 中国船舶重工集团公司第726研究所, 上海 200240; 3. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

摘要:为体现河网水系保护空间上的差异性,可以根据河网水系特征,在空间上实行分区保护。以上海市崇明县为研究对象,引入最小累积阻力模型概念,分析了河网水系保护在城市化过程中的阻力面特征。研究结果表明:崇明县城镇用地扩张的阻力主要以城区为核心向外扩散,距离越远阻力越大,阻力最大的区域为崇明东滩;生态用地扩张的阻力主要表现为西部区域阻力较小,东部区域阻力增大。将河网水系保护区域划分为5个区,即河网水系特殊保育区、河网水系重点保护区、河网水系风貌保留区、河网水系生态建设区和河网水系景观恢复区,并提出了河网水系分区保护对策,为平原河网水系区域的生态保护提供了参考依据。

关键词:河网;最小累积阻力模型;水系分区;环境保护;崇明岛

中图法分类号:T 文献标志码:A

平原河网地区城市发达、人口众多,河网水系与区域间人类活动耦合作用明显,是受人类开发活动影响最为严重的生态系统类型之一。河网水系不仅是生物圈中物质循环的重要通道,而且具有保障水源、防洪防涝、休憩旅游和交通运输等众多生态服务功能,支撑着河网水系区域的生态系统平衡。近年来,随着城市化的快速发展和人类开发活动的不断加强,大量的工业废水和生活污水直接排入河网,对河网水系的干扰也日趋增强,水环境质量面临严重威胁,河网水系保护工作已经刻不容缓。目前,对河网水系保护方面的研究主要集中在河网结构、密度、水面率等方面,且研究方法比较单一与落后,难以满足河网水系保护空间上的差异性要求^[1]。

为了体现河网水系保护在空间上的差异性,可根据河网水系特征,在空间上实行分区保护。利用最小累积阻力模型来表述详细的地理信息和测算个体之间的链接度源于地理理论,在土地利用规划和物种保护管理中已经得到了广泛关注^[2]。最小累积阻力是指从“源”出发,不同类型的景观所需要克服的最小阻力或消耗的最小费用,反映的是一种可达性。将这一概

念延伸,利用最小累积阻力模型可以测定平原地区河网水系对城市化进程的响应特征。最小累积阻力模型的分析结果在空间上是一个连续的概念,每一种景观类型或景观斑块对应着一种阻力值,而基于此的功能分区在空间上则是一种整体上分割、局部连续的分布格局^[2]。

目前,对景观最小累积阻力的分析方法研究取得了较大进展,包括利用景观阻力面特征判断景观生态战略点^[3]、景观生态安全格局的判别等^[4]。本研究以上海市崇明县为研究对象,引入最小累积阻力模型概念,分析河网水系保护在城市化过程中的阻力面特征,提出河网水系分区保护对策,为平原河网水系区域的生态保护提供参考依据。

1 研究区域概况

崇明县辖崇明、长兴、横沙3岛,总面积1 411 km²,是仅次于台湾岛、海南岛的中国第三大岛,辖16个镇和2个乡,县政府所在地城桥镇是全县的政治、经济和文化中心。2010年全县常住人口70.37万人。崇明县地处北半球亚热带,属于典型的海洋性气候,温

收稿日期:2012-12-20

作者简介:沈利,男,高级工程师,主要从事农村水利建设、水资源保护及相关管理工作。E-mail:shenli425@126.com

通讯作者:邱卫国,男,副教授,博士,主要从事水资源保护、农田水利规划等方面的研究工作。E-mail:wqiu@sjtu.edu.cn

和湿润,全年日照数 2 094.2 h,年平均气温 15.2℃,无霜期 229 d。环江靠海,雨水充沛,年平均降雨量 1 025 mm,空气相对湿度常年保持在 80% 左右。

2 研究方法

2.1 最小累积阻力模型

最小累积阻力模型是从源到目的地运动过程中所需消耗的代价,它最早由 Knaapen 于 1992 年提出^[5],经俞孔坚等人修改后的模型如下^[4,6]:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} R_i \quad (1)$$

式中, f 是一个未知的正函数,反映空间中任一点的最小阻力与其到所有源的距离和景观表面特征的正相关关系; D_{ij} 是目标单元从源 j 到空间某一点所穿越某景观表面 i 的空间距离; R_i 是景观表面 i 对某种运动的阻力系数。

模型的计算通过 ARCMAP 9.3 空间分析 (Spatial Analyst) 模块中的 cost distance 功能实现。

2.2 模型假设

(1) 将区域的土地利用类型划分为两类:适宜建设的用地和适宜生态的用地。生态保护用地是最适宜的生态用地,城镇用地是最适宜的建设用地。

(2) 生态保护用地需最大限度的扩张,以实现生态保护效益的最大化;而城镇用地也需最大限度的扩张,以实现社会经济发展效益的最大化,两个过程相互制约。

(3) 用地扩张被看作是一种水平方向上的空间运动,以现有的城镇用地或生态用地作为源向周围扩散。

(4) 由于土地利用的空间异质性,城镇用地或生态用地在扩散的过程中将受到或高或低的阻力。

2.3 分区模型构建

城镇用地扩张和生态用地扩张是两个相互联系、相互制约的过程,本研究用城镇用地扩张和生态用地扩张两个过程的最小累积阻力差值作为河网分区保护的依据^[1],用下式表示。

$$MCR_{\text{差值}} = MCR_{\text{生态保护用地扩张}} - MCR_{\text{城镇用地扩张}} \quad (2)$$

式中, $MCR_{\text{生态保护用地扩张}}$ 为生态用地扩张过程的最小累积阻力, $MCR_{\text{城镇用地扩张}}$ 为城镇用地扩张过程的最小累积阻力。当被评价的土地单元的 $MCR_{\text{差值}} < 0$,则表示该区域适宜生态用地扩张; $MCR_{\text{差值}} > 0$ 表示该区域适宜城镇用地扩张;当 $MCR_{\text{差值}} = 0$ 时,表示为城镇建设用地和生态保护用地的分界线。

2.4 参数设置

(1) 源。城镇用地的扩张源为现有的城镇用地,

生态保护用地扩张源为生物多样性丰富、生态功能强的地区。在 MCR 模型中,源是能流和物流的主要集散地,对城市周围土地具有辐射作用,辐射能力随距离的增加而减弱,即成本随距离逐渐增大。

(2) 廊道。廊道是景观中与相邻两边环境不同,呈线状或带状的区域。廊道使周围土地单元的累积阻力减小,距离源越远,累积阻力减小幅度越大。道路是输送物质、信息流的主要载体,是城市用地向周围异质景观延展和覆盖的主要通道,是景观中的主要廊道。

(3) 斑块。斑块是与周围环境不同,具有一定内部均质性的空间单元。本研究根据斑块所起的不同作用,将其分为跳板和障碍两种类型。跳板在联系相邻源中起着关键作用;障碍为各种用地扩张过程中的屏障,不同的斑块其阻碍程度不同。

(4) 基质。基质是景观中面积最大、分布最广的区域。本研究将除了上述景观类型外的区域均划分为基质。在 MCR 模型中,需要根据用地扩张的特点对基质进行分级,分级的标准主要参考基质类型和该基质提供的生态服务价值,分级结果如表 1 所示。

表 1 基质等级划分标准

用地	景观类型	等级	生态服务价值/万元
城镇用地扩张	居住、公共用地	1	0 ~ 1.55
	工业、仓储用地	2	1.55 ~ 3.86
	绿地、园地	3	3.86 ~ 7.50
	农田	4	7.50 ~ 12.95
	林地	5	> 12.95
生态用地扩张	林地	1	> 11.81
	农田	2	6.70 ~ 11.81
	绿地、园地	3	3.54 ~ 6.700
	工业、仓储用地	4	1.40 ~ 3.54
	居住、公共用地	5	0 ~ 1.40

2.5 城镇用地扩张阻力面的确定

城镇土地利用可看作是对空间的竞争性控制和覆盖过程,而这一过程需要靠克服阻力来实现。土地的空间异质性决定了不同的土地单元具有不同的阻力系数,从而构成阻力面。结合金妍等的研究成果^[1],本研究中城镇用地扩张的阻力值设置如表 2 所示,基于此阻力值,可得崇明岛城镇用地扩张的阻力面特征如图 1 所示。

2.6 生态用地扩张阻力面的确定

生态用地扩张的情况与城镇用地扩张相反,结合金妍等的研究成果,本研究中生态用地扩张的阻力值设置如表 3 所示,基于此阻力值,崇明岛生态用地扩张的阻力面特征如图 2 所示。

表 2 城镇用地扩张阻力因子选取

项目	景观类型	阻力系数	项目	生态适宜等级	阻力系数
源	崇明县城区	1	基质	1	10
廊道	通道型	道路	2	30	
	阻隔型	河流	3	50	
斑块	跳板	自然村落	4	70	
	障碍	湖泊、池塘	5	90	

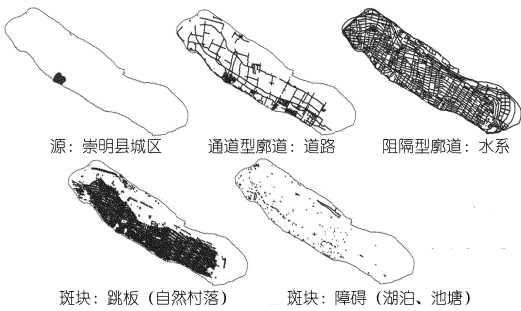


图 1 城镇用地扩张阻力面特征

表 3 生态用地扩张阻力因子选取

项目	景观类型	阻力系数	项目	生态适宜等级	阻力系数
源	明珠湖	1	基质	1	10
廊道	通道型	河流	2	30	
	阻隔型	道路	3	50	
斑块	跳板	湖泊、池塘	4	70	
	障碍	自然村落	5	90	

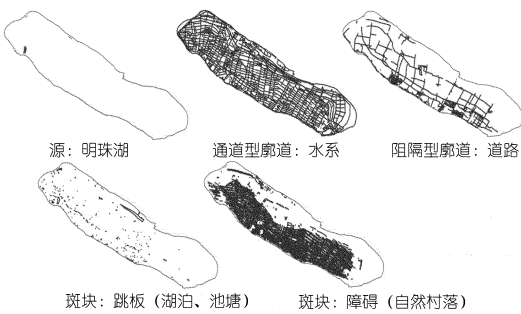


图 2 生态用地扩张阻力面特征

3 结果与分析

3.1 最小累积阻力分布

借助 ARCGIS 软件中的 cost distance 模块,分别计算城镇用地扩张和生态用地扩张两个过程的最小累积阻力表面,结果如图 3 和图 4 所示。城镇用地扩张的阻力主要以崇明县城区为核心向外扩散,距离越远阻力越大,其中阻力最大的区域为崇明东滩。生态用地扩张的阻力主要表现为西部区域阻力较小,东部区域阻力增大。

将生态用地扩张的最小累积阻力面减去城镇用地

扩张的最小累积阻力面,得到两种阻力的差值表面。如图 5 所示,生态保护用地扩张适宜区域主要分布于东部、西部和北部的边沿区域,城镇用地扩张主要位于东南部区域。

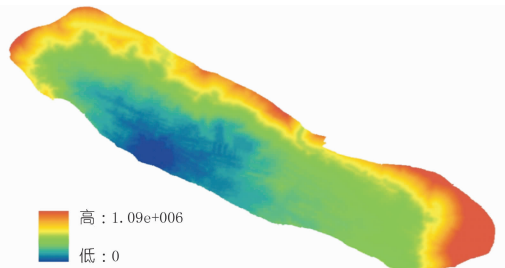


图 3 城镇用地扩张最小累积阻力表面

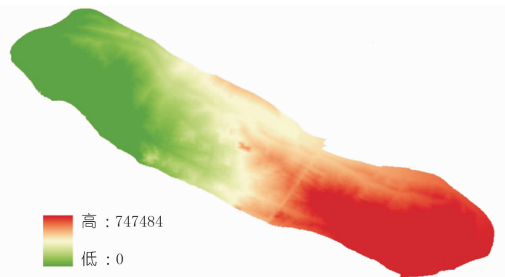


图 4 生态用地扩张最小累积阻力表面

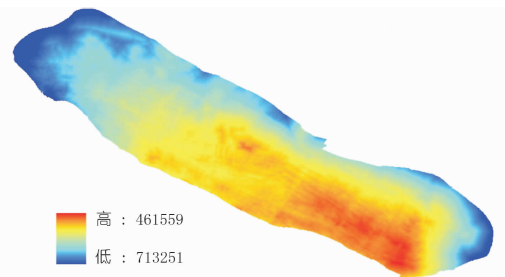


图 5 最小累积阻力差值表面

3.2 河网水系分区方案

由 MCR 差值表面获得差值与栅格数目之间的关系图(图 6),选取其中 4 个突变点,将河网水系保护区划分为 5 个区,分别命名为河网水系特殊保育区、河网水系重点保护区、河网水系风貌保留区、河网水系生态建设区和河网水系景观恢复区,各区的突变点阈值如图 6 所示。

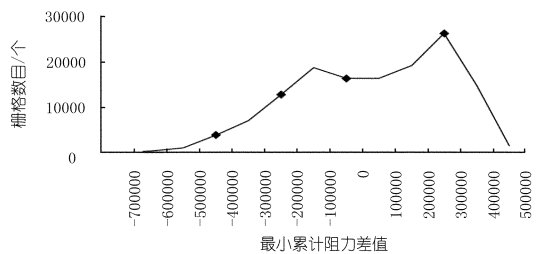


图 6 最小累积阻力差值与栅格数目的关系

根据上述分区阈值的设置,对崇明岛的河网水系进行了空间分区,结果如表 4 和图 7 所示。由表 4 和图 7 可知,河网水系特殊保育区面积最小,为 54.22 km²,占崇明岛总面积的 3.91%,从空间分布来看,主要分布于崇明岛的东部和西部边沿区域;重点保护区面积 199.22 km²,占总面积的 14.35%,主要分布于东部和西部区域,紧邻特殊保育区;生态建设区的面积最大,为 620.14 km²,占总面积的 44.67%,主要分布于中部区域;景观恢复区的面积为 162.99 km²,占总面积的 11.74%,主要分布于南部区域,分布较为集中。

表 4 河网水系保护面积与比例

分区	面积/km ²	比例/%
特殊保育区	54.22	3.91
重点保护区	199.22	14.35
风貌保留区	351.79	25.34
生态建设区	620.14	44.67
景观恢复区	162.99	11.74

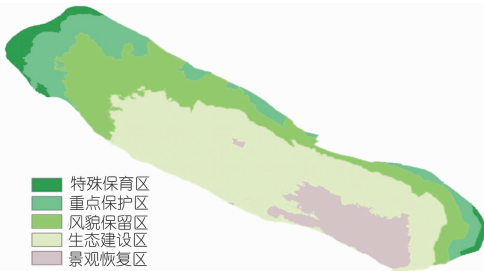


图 7 河网分区保护空间

3.3 分区保护建议

(1) 在河网水系特殊保育区范围内,应重点强调河流、湖泊的自然形态和生态服务功能的维持,严禁一切对水质和水量产生不利影响的开发建设活动^[2]。

(2) 重点保护区水系发达且湖泊、池塘众多,应严格禁止人类开发活动,禁止随意截弯取直和填埋村级河道,着重强调河流湖泊的自然形态和连通性。

(3) 风貌保留区重点在于对河网水系风貌的保留和维护,以及对水系文化的传承。

(4) 生态建设区是人类开发活动聚集比较集中的区域,城市化水平高,应合理开发建设,重点放在河流的生态建设与保护,尤其是对主干河流的保护。

(5) 景观恢复区是受人类活动影响最为严重的区域,河网结构简单,部分河流生态系统服务功能受到一定损害,因此应以修复受损河流生态服务功能为主,开展河网水系生态修复工作。

4 讨论与结论

河网水系在崇明岛具有明显的廊道效益,也是该区域重要的自然遗产。近年来,在快速城市化过程中,河网水系区域受到人类各种开发活动影响越来越严重,河流生态服务功能受到不同程度阻碍。根据不同区域人类活动的特点和河网水系分布规律,充分考虑空间差异性特征,对河网水系进行分区保护是修复河网水系生态服务功能的有效途径。本研究采用最小累积阻力模型,通过分析各种土地利用类型对城市扩张和生态扩张的不同生态阻力特征,将崇明岛划分为特殊保育区、重点保护区、风貌保留区、生态建设区和景观恢复区 5 个区,其中特殊保育区的面积最小,仅占崇明岛总面积的 3.91%,生态建设区面积最大,占总面积的 44.67%。根据各区实际情况,分别提出了空间保护对策,有利于崇明岛河网水系的分区保护与管理。

最小阻力模型的应用是建立在众多假设基础之上的,其中,阻力系数的确定是分析生态用地扩张和城市用地扩张的重要前提。基于不同土地利用类型对城市用地和生态用地阻力不同的假设,本研究将研究区的土地利用类型分为基质、廊道、跳板和障碍 4 种类型,并分别赋予了不同的阻力系数。这里的阻力系数强调的是不同土地利用类型对城市用地或生态用地的相对影响大小,并不是绝对值。

土地利用的演变,尤其是城市用地和生态保护用地是一个复杂而多变的过程,其中不仅涉及到阻力大小的问题,也受到社会、经济和人口等多方面因素的影响。本研究较多考虑了土地扩张的自然压力,为使研究结果更有实践指导意义,下一步的研究中应综合考虑上述因素,提高模型模拟的精度。

参考文献:

- [1] 金妍,车越,杨凯.基于最小累积阻力模型的江南水乡河网分区保护研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(1):8-14
- [2] 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
- [3] 俞孔坚.景观生态战略点方法与理论地理学的表面模型[J].地理学报,1998,(53):12-20
- [4] 俞孔坚.生物保护的景观生态安全格局[J].生态学报,1999,19(1):8-15
- [5] Kaaapen J P, scheffer M. H. B. Estimating habitat isolation in landscape[J]. Landscape and Urban Planning,1992,23:1-16
- [6] 刘孝富,舒俭民,张林波.最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用——以厦门为例[J].生态学报,2010,30(2):0421-0428

(编辑:常汉生)

(下转第 88 页)

- [4] 许世远. 苏州河底泥污染与整治[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] GB4284-84 农用污泥中污染物控制标准[S].
- [6] 石正宝. 苏州河底泥的污染特性、污染控制指标与处置方式研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
- [7] 苏州河下游段底泥疏浚工程中试研究报告[R]. 上海: 上海市水利工程设计研究院, 2007.
- [8] 苏州河下游段底泥疏浚中试环境监测分析报告[R]. 上海: 上海市环境科学研究院, 2007.
- [9] 苏州河下游段防汛墙加固改造和底泥疏浚工程可行性研究报告(底泥疏浚部分)[R]. 上海: 上海市水利工程设计研究院, 2008.
- [10] 苏州河下游段防汛墙加固改造和底泥疏浚工程初步设计报告(底泥疏浚部分)[R]. 上海: 上海市水利工程设计研究院, 2009.
- [11] CJJ17-2004 生活垃圾卫生填埋技术规范[S].
- [12] 苏州河下游段底泥性状与吹填尾水分析报告[R]. 上海: 上海市环境科学研究院, 2008.

(编辑: 徐诗银)

Research on key technology of sediment dredging in Suzhou River

SHI Zhengbao

(Shanghai Water Engineering Design & research Institute Co., Ltd., Shanghai 200061, China)

Abstract: Sediment dredging in Suzhou River is different from general engineering dredging and the dredging section can not be simply determined according to drainage section. So far, specifications such as "Control Code of Sediment Pollutant in River and Lake" has not been published in China, dredging design of Suzhou River can only be conducted according to vertical pollution distribution characteristics of sediment, soil quality standard, biological toxicity index of the river, soil background value etc. and referring the research achievements and practical experience in American, Canada, the Europe, Hongkong area and Taiwan of China. In the dredging design of Suzhou River, the pollutant control indexes of sediment was researched and the expected dredging elevation line was determined firstly and then the 65 typical sections were fitted and determined one by one by comprehensively considering the requirements of flood control wall stability, landscape reservoir and construction control etc. The design experience can be referred by other projects.

Key words: bottom sediment dredging; pollutant control index; sediment disposal field; impervious cover; mud blowing station

(上接第 79 页)

Research on river network partition protection of Chongming Island based on minimum cumulative resistance model

SHEN Li¹, ZHANG Huaichun², QIU Weiguo³

(1. The People's Government of Chongming County, Shanghai 202150, China; 2. No. 726 Institute, China Shipbuilding Industry Corporation, Shanghai 201108, China; 3. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: To reflect the spatial diversity of river network protection, partition protection measure can be adopted according to the characteristics of river water system. Taking Chongming Island as a research object, the minimum cumulative model is introduced and the resistance characteristics of river water system protection in the process of urbanization are analyzed. The results show that the resistance of urban land expansion spreads to the surrounding from the county town of Chongming Island, which is characterized by the farther the distance, the greater the resistance, and the biggest resistance area is the east beach of Chongming Island; the ecological land expansion resistance is smaller in the west and increase in the east. The whole river network area can be subdivided into 5 sub-zones, namely, river network special conservation zone, river network key protection zone, river network landscape reservation zone, river network ecological construction zone and river network landscape restoration zone. The protection measures for each sub-zone are put forward to provide reference for regional ecological protection of plain network area.

Key words: river network; minimum cumulative model; zoning of water network; environmental protection; Chongming Island