

# 基于生态系统服务重要性的城镇优化管理 ——以福州沿海地区为例

阮俊杰

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

**摘要:**在 RS 与 GIS 技术支持下,选择研究区比较重要的生物多样性保护、土壤保持、水源涵养和洪水调蓄 4 个生态系统服务功能,对福州沿海地区生态系统服务功能进行综合评估,并采用最小累积阻力模型开展基于生态系统服务重要性的城镇建设用地空间分区优化研究。结果显示:(1)福州沿海地区生态系统服务重要性程度较高,极重要和重要区域的面积占总面积的 66%,且空间差异明显,北部较高,南部较低;(2)研究区域可划分为适宜建设区(2 698.06 km<sup>2</sup>)、限制建设区(1 345.06 km<sup>2</sup>)、生态保护区(655.08 km<sup>2</sup>)与重点生态保护区(459.92 km<sup>2</sup>),建议结合区域实际情况开展差异化发展。

**关键词:**城镇;建设用地;生态系统服务重要性;最小阻力模型;福州沿海地区

**中图分类号:**F301.24;X826

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)05-0186-05

## Research on Optimal Management of Urban Expansion Based on Importance of Ecosystem Service —A Case Study of Fuzhou Coastal Areas

RUAN Junjie

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** We selected four major ecosystem services such as biodiversity conservation, soil conservation, water conservation and flood storage to evaluate the importance of ecosystem services of Fuzhou coastal areas using RS and GIS techniques. We chose the minimum cumulative resistance model to conduct urban space dividing research based on a combination of ecosystem service importance assessment models. The results indicate that: (1) the ecosystem service importance of Fuzhou coastal areas is higher, the most important areas and regional area account for 66% of the total area, and the obvious spatial of ecosystem service importance is different, and the ecosystem service importance is high in the north and low in the south; (2) the total area can be divided into four parts: Suitability land for construction, restrictive land for construction, ecological conservation land and key ecological conservation land, the areas of which were 2 698.06 km<sup>2</sup>, 1 345.06 km<sup>2</sup>, 655.08 km<sup>2</sup> and 459.92 km<sup>2</sup>, respectively. We suggest alternative development plans with respect to the actual conditions of each area.

**Keywords:** urban; construction land; ecosystem service importance; minimum cumulative resistance model; Fuzhou coastal areas

生态系统服务功能是生态系统及其生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用,是人类生存和发展的基础<sup>[1-2]</sup>。从 20 世纪 70 年代起,短短二十几年时间内,对生态系统服务的研究已经发展成为生态学及其相关领域的研究前沿、热点,备受研究人员关注<sup>[1-6]</sup>。生态系统服务重要性评价是

针对区域典型生态系统,分析生态系统服务的区域分异规律,明确各种生态系统服务的重要区域,可以为生态系统的科学管理、生态保护关键区的确定、生态保护和建设政策的制定提供依据<sup>[7-8]</sup>。

近年来,我国工业化和城镇化进程加快,城镇建设用地快速扩张,大大削弱生态系统服务能力的发

挥,环境污染、水土流失、植被破坏、生物多样性减少等一系列生态环境问题凸显,严重威胁区域生态安全和可持续发展<sup>[9]</sup>。因此,在城镇空间拓展的同时,要注重土地资源的优化配置,达到城镇建设需求与生态需求相互和谐。目前土地资源优化配置的研究多集中于土地利用数量结构的优化,而忽视了土地利用空间格局对诸多生态过程和功能的影响。本研究以福州沿海地区为例,基于地理信息系统(GIS)空间分析技术,评价区域生态系统服务重要性,并在此基础上构建最小阻力模型,对土地资源进行优化配置,以期为地区的可持续发展和生态保护提供支持。

1 研究区概况

研究区域位于福州东部,毗邻东海,下辖福州的 5 区 2 市 2 县(鼓楼区、台江区、仓山区、晋安区、马尾区、长乐市、福清市、罗源县和连江县),面积 5 574 km<sup>2</sup>,人口 260 万。该区域介于长江三角洲和珠江三角洲之间,台湾岛西面,区位条件优越,对台合作优势突出。福州沿海地区产业基础坚实,港口岸线资源丰富,文化底蕴深厚,生态环境良好,其不但是福州的政治、经济和文化中心,亦是福建乃至海峡西岸经济区政治、经济、文化、科研中心以及现代金融服务业中心。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究所用到各项数据,主要包括研究区行政边界、DEM、土地利用数据、卫星遥感数据以及相关的气象数据、土壤数据、生态敏感目标分布和生物资源分布等。上述数据来源于国家基础地理信息中心、中国科学院生态环境研究中心、环境保护部卫星环境应用中心、福州市环境保护局以及前期的研究成果。

2.2 生态系统服务重要性评价

在已有的研究成果的基础上,结合研究区域的生态环境特征,选择比较重要的生物多样性保护、土壤保持、水源涵养和洪水调蓄 4 个生态系统服务功能建立评价模型,对福州沿海地区的生态系统服务重要性进行综合研究。

2.2.1 生物多样性保护重要性评价 不同的生态系统类型保持生物资源的能力不同,同时重要的生态保护关键区对特殊物种和珍稀、濒危生物的保护作用突出<sup>[10]</sup>。因此,根据生态系统类型重要性,并结合自然保护区、森林公园、风景名胜区和重要湿地等关键生态保护区范围进行划分,确定研究区生物多样性保护重要性等级(表 1)<sup>[10-11]</sup>。

表 1 生态系统服务重要性分级

生物多样性保护重要性 生态系统类型/生态保护区类型	土壤保持重要性 分级标准土壤保持 量/(t·hm <sup>-2</sup> )	水源涵养重要性 分级标准产水 量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	洪水调蓄重要性 湿地类型	重要性等级
自然保护区、森林公园、风景名胜区、重要湿地	>3000	>400	主干河流、湖泊、水库	极重要
林地、湿地	1000~3000	200~400	覆盖有植被的湿地	重要
灌木林、园地、草地	300~1000	20~200	其他类型湿地	中等重要
农田、城镇、其他类型	<300	<20	非湿地类型	一般重要

2.2.2 土壤保持重要性评价 采用 InVEST 模型<sup>[12]</sup>对研究区域的生态系统土壤保持功能进行评估。InVEST 模型中的土壤保持模块是以通用土壤流失方程为基础,综合考虑气候、土壤、地形和植被等各影响土壤侵蚀的因子,并综合考虑其自身的泥沙持留量,计算土壤保持量:

$$A_c=R \cdot K \cdot LS(1-C \cdot P)+S \tag{1}$$

式中: $A_c$ ——土壤保持量[t/(hm<sup>2</sup>·a)]; $R$ ——降雨侵蚀力指标[(MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h·a)]; $K$ ——土壤可蚀性因子; $LS$ ——坡长坡度因子; $C$ ——地表植被覆盖因子; $P$ ——土壤保持措施因子; $S$ ——泥沙持留量。然后根据表 1 进行土壤保持重要性评价。

2.2.3 水源涵养重要性评价 采用 InVEST 产水量模型<sup>[12]</sup>,通过径流调节量的大小进行评估。InVEST 产水量模型是基于 Budyko 曲线和年均降雨

量的数学模型,其中,产水量等于降水量减去蒸散量,公式如下:

$$Y_{xj}=(1-AET_{xj}/P_{xj})P_{xj} \tag{2}$$

式中: $Y_{xj}$ ——第  $j$  土地利用类型栅格  $x$  的产水量; $AET_{xj}$ ——第  $j$  土地利用类型栅格  $x$  的每年实际蒸发量, $P_{xj}$ ——第  $j$  土地利用类型栅格  $x$  的年降雨量。通过 InVEST 产水量模型,估算区域年度产水量及其空间分布特征,然后根据表 1 进行水源涵养重要性评价。

2.2.4 洪水调蓄重要性评价 洪水调蓄是水生态系统自身水循环的一个过程,能够起到自身调节作用,间接为人类减轻水系的洪水威胁,减少洪水和严重暴雨带来的更大范围的损失。洪水调蓄功能是通过衡量水体能够容纳调蓄的洪水量来体现,包括河道调蓄量、防洪库容及湿地调蓄量,其重要性分为极重要、重要和一般重要 3 个等级(表 1)<sup>[13]</sup>。

2.2.5 生态系统服务重要性评价 以各单项生态系统服务及其空间特征评价为基础,对生态系统服务进行综合评价。采用取大方法评价等级,利用 GIS 获得生态系统服务重要性空间特征:

$$S=\text{MAX}(S_1,\cdots,S_i) \quad (3)$$

式中: $S_i$ —— $i$  种生态系统服务重要性最高等级, $i=1,\cdots,4$ 。

### 2.3 城镇扩张优化管理

2.3.1 最小阻力模型 最小累积阻力是反映最小费用距离的重要概念,反映了物种在从源到目的地运动过程中所需耗费的最小代价<sup>[14-18]</sup>。从城镇扩张的角度来讲,阻力值反映的是对不同景观单元对于城镇空间扩张的阻力或适宜程度<sup>[19]</sup>。最小累积阻力模型最早由 Knappen 等<sup>[17]</sup>于 1992 年提出,经国内俞孔坚等<sup>[18]</sup>修改用下式表示:

$$\text{MCR}=f\min\sum_{j=n}^{i=m}D_{ij}R_i \quad (4)$$

式中:MCR——最小累积阻力值; $f$ ——与阻力因素呈正相关的函数; $D_{ij}$ ——从源  $j$  到单元  $i$  的空间距离; $R_i$ ——景观单元  $i$  对某物种迁移的阻力系数。模型的计算通过 GIS 空间分析(Spatial Analyst)模块中的成本距离(cost distance)功能实现。

2.3.2 参数设置 源的确定:选择 2010 年研究区域内的主要城镇建成区作为城镇用地的扩张源,包括了福州市主城区及周边郊区区县乡镇的建成区。

阻力面的构建:参照已有研究成果<sup>[20-22]</sup>,将区域景观主要分为廊道、斑块与基质,并赋予相对阻力系数。廊道指不同于两侧景观的狭长地带,多呈线性或带状结构。根据在城镇扩张过程中所起的不同作用,将廊道分为通道型廊道(道路)和阻隔型廊道(河流)两种。斑块指与周围环境在外貌或性质上不同,并具有一定内部均质性的空间单元。与廊道相同,亦可分为跳板(居民点)和障碍(生态敏感目标)两种。基质

指斑块镶嵌内的背景生态系统或土地利用形式,是景观分布中最广、连续性最大的背景结构。本研究的基质以先前的生态系统服务重要性评价为基础,根据评价等级确定阻力系数。各景观阻力系数确定如表 2 所示。

表 2 主要景观组分阻力赋值

项目	类型	阻力值
廊道	道路	5
	河流	80
斑块	居民点	1
	生态敏感目标	100
基质 (生态系 统服务 重要性)	一般重要	10
	中等重要	30
	重要	50
	极重要	80

2.3.3 城镇建设用地适宜性分区 根据最小累积阻力计算结果,利用 GIS 的“再分类(Reclassfy)”工具中的“几何周期(Geometrical Intervals)”分类模型,将最小累积阻力值划分为 4 个等级,阻力值反映了城镇空间扩展的空间阻力,阻力值越高的地方,城镇空间越难以扩展,越不适宜于城镇开发建设,可占用性越小;反之,越高。根据阻力值划分结果,将研究区划分为适宜建设区、限制建设区、生态保护区和重点生态保护区 4 类。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态系统服务重要性评价

3.1.1 生物多样性保护重要性 生物多样性保护重要性如图 1、附图 7—8 所示,其中,极重要地区面积 629.25 km<sup>2</sup>,占总面积的 12.2%,主要分布在晋安区和闽清的西部地区;生物多样性保护重要地区面积最大,达 2 261.76 km<sup>2</sup>,占比 43.85%,重要地区主要分布在罗源县、连江县、马尾区和福清市西部;中等重要和一般重要的面积为 1 002.44,1 264.68 km<sup>2</sup>,分别占总面积的 19.43%,24.52%,主要分布在福州主城区及东部沿海地区。

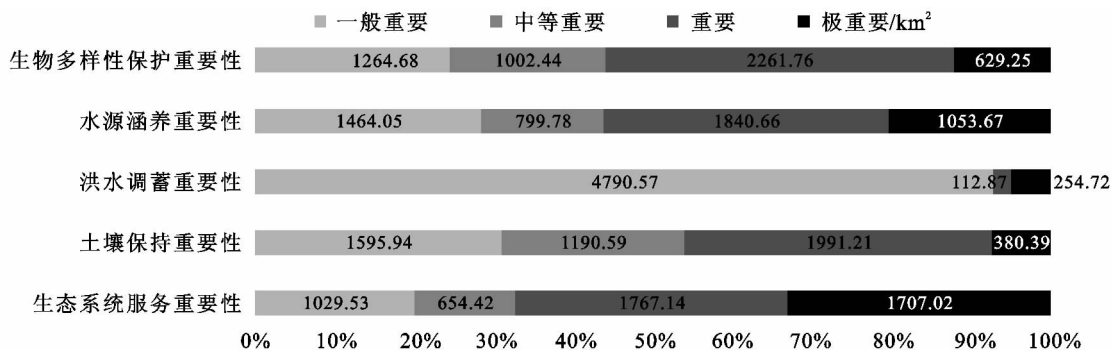


图 1 生态系统服务重要性评价结果

3.1.2 土壤保持重要性 福州沿海地区土壤侵蚀程度较轻,土壤保持极重要地区面积 380.39 km<sup>2</sup>,占总面积的 7.37%,主要分布在区域北部的山区地带;土壤保

持重要地区面积最大,为 1 991.21 km<sup>2</sup>,占比 38.6%,主要分布在闽江以北地区,南部地区分布相对较少;中等重要和一般重要的面积为 1 190.59,1 595.94 km<sup>2</sup>,

分别占总面积的 23.08%,30.94%,主要分布在福州主城区、长乐市和福清市的东部地区。

**3.1.3 水源涵养重要性** 研究区水源涵养功能突出,其中,水源涵养极重要和重要地区的面积分别为 1 053.67,1 840.66 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 20.43%,35.69%,该区域主要分布在闽江以北地区,南部的长乐市和闽清市交界处及闽清市西部;中等重要和一般重要的面积为 799.78,1 464.05 km<sup>2</sup>,分别占总面积的 28.38%,15.51%,这些区域的分布状况和土壤保持重要性相似,主要分布在福州主城区、长乐市和福清市的东部地区。

**3.1.4 洪水调蓄重要性** 如图 1、附图 7—8 所示,极重要和重要地区面积分别为 254.72,112.87 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 4.94%,2.19%,这些地区主要分布在闽江沿岸、中西部大型湖泊水库以及东部沿海地区,其余地区均为洪水调蓄一般重要地区,面积 4 790.57 km<sup>2</sup>,占比 92.88%。

**3.1.5 生态系统服务重要性** 如图 1、附图 7—8 所示,区域内生态系统服务极重要和重要地区分布面积较大,面积分别为 1 707.02,1 767.14 km<sup>2</sup>,分别占区域总面积的 33.09%,34.26%;而中等重要和一般重要地区的面积相对较小,分别为 654.42,1 029.53 km<sup>2</sup>,分别占总面积的 12.69%,19.96%。从空间上看,北部地区生态系统服务重要性较高,南部地区较低,最高值主要分布在晋安区中北部,而最低值主要分布在福州主城区、长乐市东部和福清市东南部地区。

### 3.2 城镇建设用地适宜性评价

福州沿海地区东部地区累积阻力较低,西部地区累积阻力较高,总体适宜城镇建设发展(图 2、附图 9)。其中,适宜建设区、限制建设区、生态优先区和生态保护区的面积分别为 2 698.06,1 345.06,655.08,459.92 km<sup>2</sup>,分别占区域总面积的 52.31%,26.08%,12.7%,8.92%。从附图 9 中可以看出,重点生态保护区主要以西部山区的自然保护区、森林公园、风景名胜区和水资源保护区为主。生态保护区是区域内生态系统较为完整、生态环境质量较好的区域,多为山地。限制建设区主要是适宜建设区的外延,对于城镇空间与生态空间起到过渡、屏障的作用。适宜建设区则包含了城市主城区及周边城镇的建成区,是城镇空间扩展的主要区域。

### 3.3 分区调控管理

适宜建设区位于研究区域中部的福州中心城区,是福州市的政治、经济、文化中心。区域内人多地少,用地矛盾突出,应以优化开发利用为主,强化建设用地集约节约利用,优化整合土地利用结构和布局,强

化中心城区的吸引力及辐射带动功能。(1) 合理配置中心城区用地,通过用地安排科学有效引导人口集中,形成用地布局与人口规模相协调的格局;(2) 重点保障城市基础设施用地和城市生态用地,构建良好的人居生态环境。区域南、北两翼地区具有一定城镇化和工业化基础,发展潜力较大,资源环境承载力较强、集聚经济和人口条件较好的区域,是今后建设发展的重点区域。其中,北翼罗源和连江具有良好的生态及港口优势,开发发展潜力大;应以开发罗源湾为重点,积极支持临港工业用地建设;保障基础设施建设,承接中部地区经济辐射;协调土地利用与生态保护,保护生态用地,防止土地退化与污染。而南部长乐和福清人口众多,经济基础好,具有侨胞多、港口条件优越等优势;因地制宜安排用地布局,优化土地利用结构,引导工业集中区及经济开发区沿镇区发展方向布局;在增加建设用地的同时,加强建设用地内涵挖潜和优化整合,强化建设用地集约利用,提高单位用地投资强度和容积率;加强生态环境建设与保护,加强水土流失治理,提高水土保持林和沿海防护林比例。

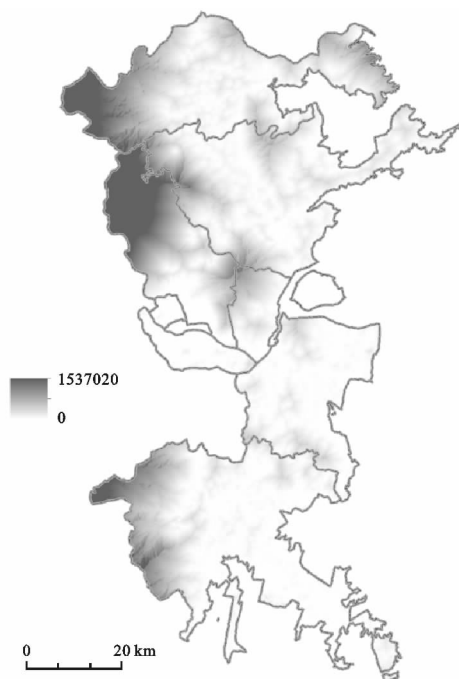


图 2 最小累积阻力分布

限制建设区多为适宜建设区的外延,是区域内耕地和园地的主要分布区。(1) 严格控制建设用地开发强度,限制企业发展规模,优先考虑低能耗、低污染的企业发展,确保城镇建设与工业区扩展尽量不占或少占耕地;(2) 加强耕地保护,建设高标准农田,推进土地整理、复垦和开发,进一步挖掘土地利用潜力,保证耕地补充来源;(3) 调整优化园地结构,发展观光

农业,提高园地的经济效益;(4)加强对生态系统的保护及维系治理,提高生态系统利用效益,实现生态环境的良性循环。

生态保护区:区内生态系统完整,生态质量良好的山地丘陵。(1)明确主导生态功能,建立生态功能保护区,制定管理规范,保护区域重要生态功能,防止和减轻自然灾害,协调流域及区域生态保护与经济社会发展;(2)保障生态系统完整,禁止建设用地开发,允许在合适的区域发展生态农业和休憩旅游设施;(3)优化生态安全空间格局,对生态脆弱区加强修复,构筑城市生态安全屏障。

重点生态保护区:主要包括自然保护区、饮用水源地、重要湿地和森林公园等。(1)加强对自然保护区的管理和建设,禁止各类建设用地的的发展,确保区内自然生态系统、生物物种和自然遗迹的完好;(2)加强饮用水源地保护,不断提高水源地的水源涵养能力,确保水质安全;(3)加强湿地保护,优化湿地生态环境,并在湿地的周围陆域建立鸟类栖息保护地,提升区域生物多样性;(4)加强对森林公园的管理,充分保护森林风景资源、生物多样性和现有森林植被。

## 4 结论

本研究显示:福州沿海地区生态系统服务重要性程度较高,极重要和重要地区面积分别为 1 707.02, 1 767.14 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 33.09%,34.26%。空间上异质性明显,北部山区和闽清西部地区的生态系统服务重要性较高,中部建成区、沿海冲击平原及闽清东南部地区的生态系统服务重要性较低。根据这一明显的空间差异特征,可有效提高区域生态保护策略、生态系统服务功能管理与生态补偿机制的针对性。

本研究基于生态系统服务重要性评价,通过最小累积阻力模型得出城镇建设用地适宜性分区,结果显示:适宜建设区的面积达 2 698.06 km<sup>2</sup>,符合《福州市土地利用总体规划大纲(2006—2020年)》对于研究区域建设用地的需求,同时提出的分区管理调控措施对于区域开发建设过程中生产、生活空间对生态空间的占用以及区域生态安全格局的构建具有一定的指导意义。

### 参考文献:

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. World Environment, 1997, 387(6630): 3-15.
- [3] SCEP. Man's Impact on the Global Environment[M]. Cambridge: MIT Press, 1970.

- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being [M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [5] 马凤娇,刘金铜, Eneji A E. 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 5963-5972.
- [6] 郑华,李屹峰,欧阳志云,等. 生态系统服务功能管理研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [7] 王治江,李培军,万忠成,等. 辽宁省生态系统服务重要性评价[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1606-1610.
- [8] 王治江,李培军,王延松,等. 辽宁省生态功能分区研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1339-1342.
- [9] 钟式玉,吴箐,李宇,等. 基于最小累积阻力模型的城镇土地空间重构:以广州市新塘镇为例[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3173-3179.
- [10] 李月臣,刘春霞,闵婕,等. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 168-178.
- [11] 香宝,任华丽,马广文,等. 成渝经济区生态系统服务功能重要性评价[J]. 环境科学研究, 2011, 24(7): 722-730.
- [12] Tallis H T, Ricketts T, Nelson E, et al. InVEST 1.005 Beta User's Guide [Z]. Stanford: The Natural Capital Project, 2010.
- [13] 肖懿,陈圣宾,张路,等. 基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7357-7369.
- [14] Adriaansen F, Chardon J P, Blust G D, et al. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model[J]. Landscape & Urban Planning, 2003, 64(2): 233-247.
- [15] Environmental Systems Research Institute. Cell-based modeling with GRID[Z]. US: ESRI, Inc., 1991.
- [16] 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.
- [17] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. Landscape & Urban Planning, 1992, 23(92): 1-16.
- [18] 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.
- [19] 张有坤,樊杰. 基于生态系统稳定目标下的城市空间增长上限研究:以北京市为例[J]. 地理经济, 2012, 32(6): 53-58.
- [20] 陈燕飞,杜鹏飞,郑筱津,等. 基于 GIS 的南宁市建设用地生态适宜性评价[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2006, 46(6): 801-804.
- [21] 陈燕飞,杜鹏飞. 基于最小累积阻力模型的城市用地扩展分析[C]//中国城市规划学会. 和谐城市规划:2007中国城市规划年会论文集. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 2007.
- [22] 张小飞,王仰麟,李正国. 基于景观功能网络概念的景观格局优化:以台湾地区乌溪流域典型区为例[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1707-1713.