

DOI: 10.5846/stxb201512152505

储金龙, 王佩, 顾康康, 汪勇政. 山水型城市生态安全格局构建与建设用地开发策略. 生态学报, 2016, 36(23): 7804–7813.

Chu J L, Wang P, Gu K K, Wang Y Z. Ecological security pattern establishment & strategies for developing construction land in landscape-type city. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7804–7813.

山水型城市生态安全格局构建与建设用地开发策略

储金龙^{1,2}, 王佩¹, 顾康康^{1,2,*}, 汪勇政^{1,2}

1 安徽建筑大学建筑与规划学院, 合肥 230022

2 安徽省城镇化发展研究中心, 合肥 230022

摘要: 辨析城市生态用地、构建生态安全格局, 进而提出建设用地开发策略, 对于城市生态保护与空间规划具有重要意义。以安庆市为例, 运用高分辨率遥感影像识别生物多样性保护、水资源安全、地质灾害规避 3 类生态用地, 采用 GIS 空间分析技术并基于多因子综合评价, 将生态用地划分为极重要、较重要、一般重要 3 个级别。将极重要生态用地与相关法规、标准及政策所规定的禁建区作为源, 利用最小累积阻力模型, 获得安庆市高、中、低不同安全水平的综合生态安全格局。最后, 在生态安全格局基础上, 基于可建设用地生态影响及开发潜力评价, 将建设用地分为优先发展区、适度发展区、控制发展区以及禁止发展区, 并提出建设用地开发策略。

关键词: 山水型; 生态安全格局; 建设用地开发策略; 安庆市

Ecological security pattern establishment & strategies for developing construction land in landscape-type city

CHU Jinlong^{1,2}, WANG Pei¹, GU Kangkang^{1,2,*}, WANG Yongzheng^{1,2}

1 School of Architecture & Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China

2 Research Center of Urbanization Development in Anhui Province, Hefei 230022, China

Abstract: For the urban ecological protection and special planning, it is meaningful to analyze and identify urban ecological land, establish ecological security pattern and propose the strategy for developing construction land. As a case study of Anqing City, we divide ecological lands into three types, biological diversification protection, water resource security and geological disaster avoidance by the high resolution remote sensing imagery, and classify ecological land into three levers (very important, medium important and commonly important) by GIS spatial analysis method. The ecological protection area is 394.1 km², accounting for land use planning area proportion of 44.5%, it is exploitation-prohibited region, and where can only build the necessary road and municipal utilities, ecological agricultural facilities, parkland and tour necessary facilities. Then we take the very important ecological land and the prohibited-construction areas stipulated by relevant laws, standards and policies as the source to gain Anqing City comprehensive ecological security pattern at different safety levels by using minimum cumulative resistance model. Beside the 'Source' and low security pattern of land, the city construction land will be 303.1 km², and it is enough to the demand of land in urban master planning at 2030. At last, based on the ecological security pattern and ecological influence and construction potency of construction land, we divide the construction land into prioritized, moderate, restricted and prohibited zones, and then point out developing strategies for each zones.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41471422, 41101566); 2016 年度安徽高校自然科学研究重点资助项目(KJ2016A150)

收稿日期: 2015-12-15; 修订日期: 2016-05-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kangkangu@ahjzu.edu.cn

<http://www.ecologica.cn>

(2006—2020)、规划区地形图(1:10000)、以及安庆市水源保护区、自然保护区及工程地质分布图等。基于上述数据资料并结合实地调研,将研究区划分为城市建设用地、道路用地、村庄建设用地、林地、耕地、园地、湿地、河流湖泊、水库、坑塘沟渠、草地、其他建设用地等类型(图3)。社会经济评价指标主要数据来源为《安庆市统计年鉴》。

1.3 研究方法

首先为重要生态用地即“源”的识别,利用GIS空间分析技术,结合研究区“山、湖、城、江”现状自然生态特征,选择识别生物多样性保护、水资源安全、地质灾害规避3类生态用地,并综合叠加上述分析结果,将研究区生态用地划分为极重要、较重要、一般重要3个级别;最后,将极重要生态用地与相关法规、标准及政策所规定的禁建区作为“源”,利用最小阻力模型构建不同水平生态用地安全格局^[9]。在此基础上,结合城市空间扩展动力因素,以各乡镇为评价单元通过生态约束和发展需求双重评价进行建设用地开发分区,并提出相应开发策略。

1.3.1 单因子的生态用地识别

(1) 生物多样性保护

该类生态用地的划分依据为生物多样性,通过谢高地等人制定的生物多样性服务当量即单位面积内每种土地利用类型所能提供生物多样性保护相对贡献大小的潜在能力^[10-11]予以间接表征。依据研究区不同土地利用类型计算出各评价单元生物多样性服务价值,并可通过保护级别予以修正。计算式如下:

$$S = l \times n \times m$$

式中, S 为生物多样性服务价值, l 为土地利用, n 为生物多样性服务当量, m 为保护级别修正值,其中大龙山森林公园、高程大于120m林地、重要湿地保护区等区域赋值为1.5,高程50—120m林地赋值为1.25,其他区域为1。通过GIS空间分析计算得到研究区各土地利用类型的 S 值,并运用自然断裂法对该类生态用地进行敏感性分区。

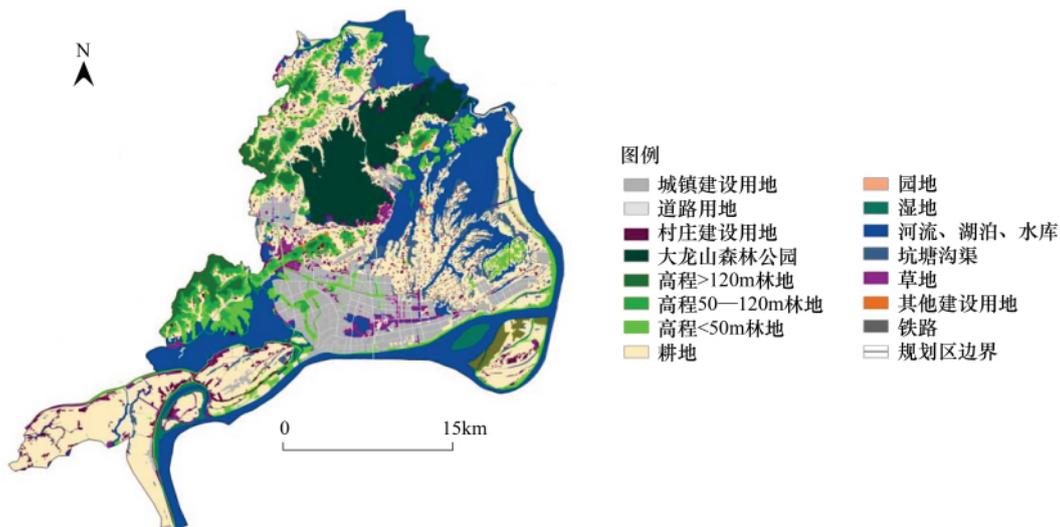


图3 安庆市规划区土地利用现状

Fig.3 Current situation of land use in planning area

(2) 水资源安全

结合研究区现状水资源特征,选取水源保护、洪水淹没区范围、地表重要水源安全、洪水调蓄区作为水资源安全重要评价因子^[12]。其划分标准(表1)主要为参考相关研究成果得到。水源保护区及洪水淹没区范围主要依据为安庆市各类专项规划、《安庆市城市总体规划(2010—2030)》、《安庆市城市给水工程规划(2012—2030)》。地表水源安全与洪水调蓄区类型分别是利用ArcGIS 10.0缓冲区分析与水文分析工具获得。最终

将 4 个指标叠加, 基于“木桶”原理进行水资源安全敏感性分区。

表 1 水资源安全评价指标与敏感性分级标准

Table 1 Water resource security evaluation index and sensitivity grading standard

因子 Factors	高敏感 Hypersensitivity	较高敏感 Sensitivity	中敏感 Low-sensitivity	低敏感 Insensitivity
水源保护区 Water conservation district	1 级	2 级	3 级	其他区域
洪水淹没区 Flooded area	10 年一遇 洪水淹没范围	20 年一遇 洪水淹没范围	50 年一遇 洪水淹没范围	其它区域
地表水源安全 Water protection	≤50m	50—100m	100—150m	≥150m
洪水调蓄区 Flood storage area	3 级	2 级	1 级	其它区域

(3) 地质灾害规避

崩塌、泥石流、采空塌陷、滑坡为研究区地质灾害的主要类型。而其主要受到坡度、地形起伏度、高程及人类活动强度等的影响。基于前人研究成果^[8], 得到地质灾害敏感性划分标准(表 2), 并将敏感值以 150、120、100 作为其划分的断裂点^[9]。在此基础上, 叠加已有的地质灾害易发区, 最终获得研究区地质灾害规避敏感性等级划分范围。

表 2 地质灾害规避评价指标与敏感性分级标准

Table 2 Geological disaster avoidance evaluation index and sensitivity grading standard

因子 Factors	敏感性赋值 Sensitivity values				权重 Weight
	10	50	100	200	
坡度 Slope/(°)	>15	10—15	5—10	<5	0.3
地形起伏度 Topographic relief/m	>9	6—9	3—6	0—3	0.25
高程 Elevation/m	≥135	115—135	100—115	≤100	0.2
地震断裂带 Seismic fault zone	距断裂轴部 100m 范围	断裂带两侧 500m	断裂带两侧 2000m	其他区域	0.15
人类活动强度 Human activity intensity	高程 ≥50m 林地、 道路用地、城镇建 设用地	村庄建设用地其 他建设用地	园地、耕地	河流、湖泊、水库、 坑塘沟渠、林地、 草地	0.1

1.3.2 综合生态用地的识别

本研究运用 GIS 加权总和工具将生物多样性保护、水资源安全、地质灾害规避三类生态用地分析结果进行等权重叠加, 即认为上述 3 个生态过程对于维护研究区生态安全具有同等作用。将叠加的分析结果以自然断裂法进行分类, 最终将研究区生态用地分为极重要、较重要、一般重要 3 个级别。

1.3.3 生态用地安全格局构建

(1) “源”的确定

“源”从物种保护的角度来看, 应为保护物种生存的栖息地^[13]。本研究认为“源”是生态保护核心区域, 因此应将上述分析所确定的极重要生态用地与相关法规、标准及政策所规定的禁建区用地叠加得出的最大用地范围作为“源”。

(2) 阻力面的建立

研究利用最小累积阻力模型(Minimum Cumulative Resistance, 简称 MCR) 来建立反映生态用地空间运动趋势阻力面^[14-16]。该模型需要 3 方面因素, 即源、距离和景观介面特征, 计算式如下:

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

该公式是根据 Knaapen 等人的模型及地理信息系统中常用的费用距离模块修改而来^[17]。MCR 为物种由出发点到任意一目标点之间所耗费的最小累积阻力。式中 f 是未知函数, 反映空间中任一点的 MCR 值与

$(D_{ij} \times R_i)$ 正相关关系。 D_{ij} 是物种从源 j 到空间某目标点所穿越的景观基面 i 的运动距离; R_i 为景观 i 对某物种运动的阻力。 $(D_{ij} \times R_i)$ 可被看作是物种从源到空间目标点的某一路径的相对易达性的衡量。因此,阻力面反映了生态用地水平运动的潜在可能性及趋势^[4,18]。

(3) 依据阻力面判别研究区生态安全格局

依据生成的阻力面,可判剔除源之外的生态安全格局的其他组成部分,主要包括^[19-20]:

缓冲区 其为 MCR 阻力面上源周围的低阻力区。相关研究表明依据阻力面得到的 MCR 值与面积的关系曲线存在着某些阶段性的“门槛值”^[4,9,19],研究以其门槛值作为不同安全水平生态缓冲区划分依据。

“源”间廊道 即任意“源”之间低累积阻力谷线,为连通相邻“源”最便捷、最高效生态廊道。

战略点 是联系相邻“源”之间有关键意义的节点,在控制生态过程方面起到重要的作用。通过增加战略点,可提高区域生态用地之间的连通性。

1.3.4 基于生态安全格局的可建设用地开发分区

在得到生态用地基础上,基于可建设用地生态影响及开发潜力评价,进行建设用地开发适宜性分区(图4)。首先基于生态约束的角度进行生态影响分区,即选取生态底线用地与易损性用地占比来衡量生态环境影响指数水平。其比值越高则生态底线用地规模越大,相应生态环境影响力就越大。与此同时进行经济发展需求分析,通过多元统计因子分析法,得到各评价单元的经济需求能力排名。最终通过综合发展分区分级矩阵将建设用地分为优先发展区、适度发展区、控制发展区以及禁止发展区。

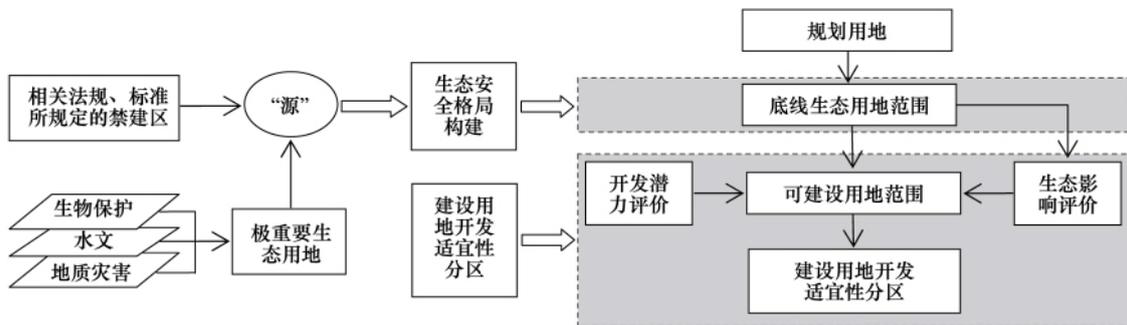


图4 研究框架
Fig.4 Research framework

2 结果与分析

2.1 综合生态用地识别分析

2.1.1 基于单因子的生态用地识别

生物多样性保护生态用地识别中(表3和图5),高敏感区域面积为 201.7km²,占规划区总面积 22.8%,主要分布于大龙山森林公园等森林茂密,野生动植物种类繁多区域;水资源安全生态用地识别中(表3和图5),高敏感区域面积 268.5km²,所占比例为 30.3%,分布于长江流域、石塘湖等重要地表水源涵养区;地质灾害规避生态用地识别方面(表3和图5),高敏感区域面积为 152.8km²,所占比例为 17.2%,此区域是崩塌与山体滑坡等地质灾害易发区。

2.1.2 多因子综合评价的生态用地分级

基于自然断裂法将 GIS 叠加分析的结果进行分类(表3和图5),得出极重要即底线型生态用地范围,其为安庆市规划区生态保护核心区域,面积 394.1km²,所占比例为 44.5%,需加以严格保护,禁止开发建设。

2.2 生态用地安全格局的构建

2.2.1 景观生态流阻力面构建

依据相关研究,各生态保护源地与土地覆被类型越接近,其运动所消耗的阻力值就越小,反之则越大。本

表 3 单因子与多因子综合生态用地分级结果

Table 3 Identifying results of different ecological land

因子 Factors	等级划分 Grade classification	面积/km ² Area	%	因子 Factors	等级划分 Grade classification	面积/km ² Area	%
生物多样性保护 Biodiversity conservation	高敏感	201.7	22.8	地质灾害规避 Geological disasters avoidance	高敏感	152.8	17.2
	较高敏感	248.9	28.1		较高敏感	34.4	3.9
	中敏感	19.8	2.2		中敏感	53.4	6.1
水资源安全 Water resource security	低敏感	415.6	46.9	综合评价 Comprehensive assessment	低敏感	645.4	72.8
	高敏感	268.5	30.3		极重要	394.1	44.5
	较高敏感	32.8	3.7		较重要	45.3	5.1
	中敏感	36.3	4.1		一般重要	133.4	15.1
	低敏感	548.4	61.9		其他区域	313.2	35.3

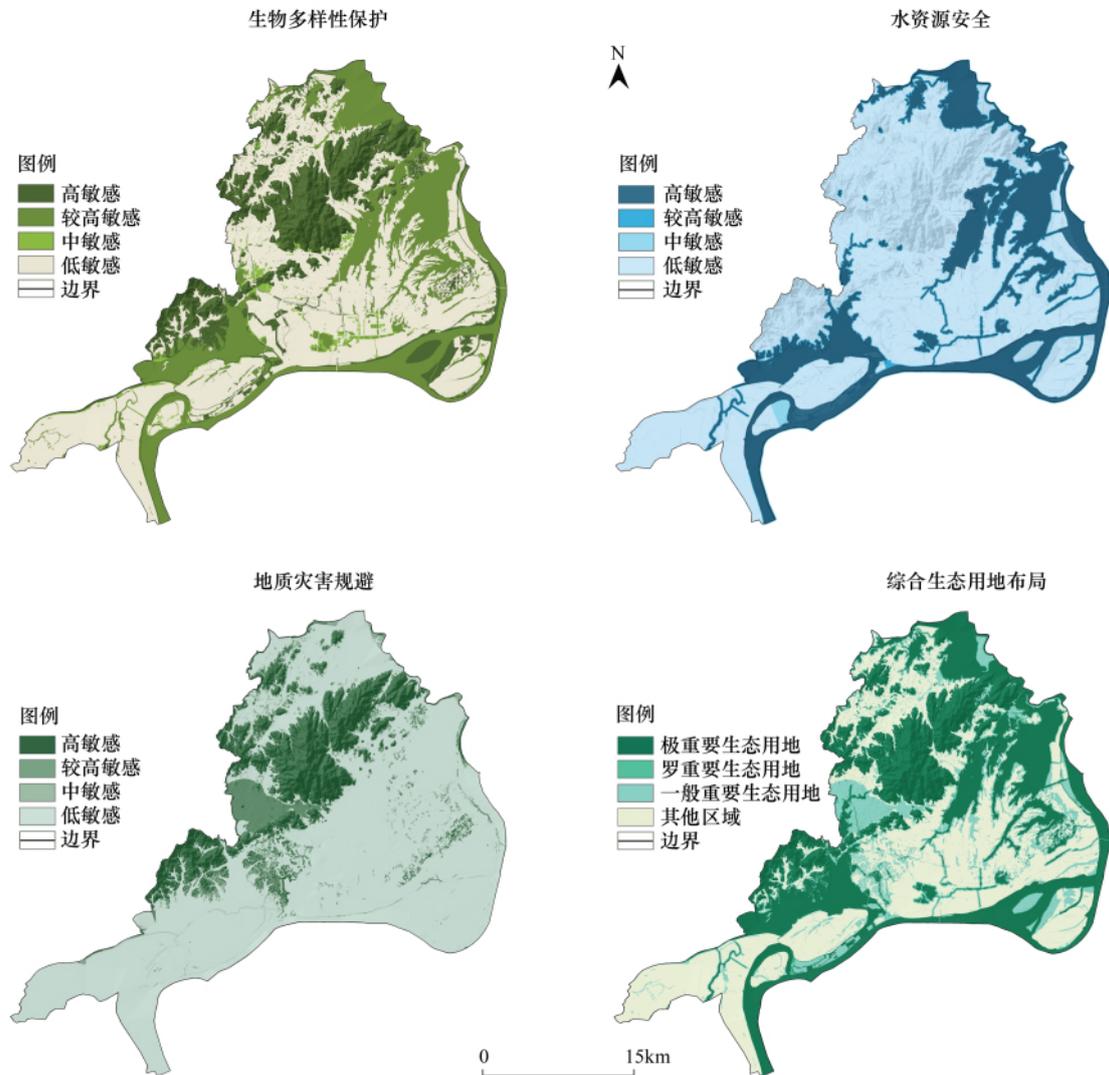


图 5 单因子生态用地敏感性划分与综合生态用地等级分布

Fig.5 Spatial distribution of different ecological land sensitivity class and comprehensive ecological land

文将极重要生态用地与相关法规、标准及政策所规定的禁建区作为“源”(表4),以土地覆被类型为阻力因子,参考前人研究成果获得不同土地覆被类型的阻力系数值^[2,9](表5)。在此基础上运用 ArcGIS 10.0 距离分析模块,计算出各生态保护源地与各土地覆盖类型之间的费用距离,最终获得生态保护源地最小累积阻力面(图6)。

表4 相关法规及标准所规定的禁建区

Table 4 Prohibited-construction zone stipulated by relevant laws and standards

政策管制区 Policy control area	主要依据 Main basis	划定要求 Demand for specification
风景名胜区 Scenic area	《风景名胜区条例》;《风景名胜区规划规范》	风景名胜区范围划为禁建区
自然保护区 Natural reserve	《中华人民共和国自然保护区条例》	自然保护区核心区、缓冲区应划入禁建区;
湿地、绿洲 Wetland, oasis	《湿地公约》	湿地、绿洲生态敏感区应划入禁建区
水源保护区 Water conservation district	《饮用水水源保护区划分技术规范》	一级水源保护区划为禁止建设区
地震断裂带 Seismic fault zone	《城乡用地评定标准》	地震断裂带范围应划入禁建区
地形、地貌 Topography, landform	《城市用地竖向规划规范 CJJ83-99》	坡度大于25%的城市山地
区域性基础设施控制区或廊道 Regional infrastructure controlled zone or corridor	高压线、通信设施等区域市政设施廊道;高速公路、铁路等重大交通基础设施用地	从城市建设占用角度将其列入进驻城市建设活动介入的范围,划入禁建区

表5 各土地覆被类型阻力系数

Table 5 Each land-cover type resistance coefficients

土地覆被类型 Land cover types	阻力系数 Resistance value	土地覆被类型 Land cover types	阻力系数 Resistance value
林地 Forest land	1	耕地 Cultivated land	50
河流、湖泊、水库 Rivers, lakes and reservoirs	5	园地 Field	100
坑塘沟渠 Pond and ditch	10	村庄及其他建设用地 rural and other construction land	400
草地 meadow	30	城镇建设用地、道路 Urban construction land, road	500

2.2.2 生态用地安全格局构建

在获得阻力面的基础上,参考 GIS 水文分析原理,根据研究区现状景观特征,运用 GIS 中的水文分析模块确定连接相邻“源”之间的最小耗费路径,进而获得生态廊道的空间分布。通过提取“源”间生态流水平运动的最大耗费路径和最小耗费路径的交汇点,并结合现状特征,获得“战略点”的位置。最终获得安庆市高、中、低3种水平的综合生态安全格局(图7)。“源”与低水平生态安全用地总面积为 582.9km²,是保障城市生态系统服务的核心区域,占规划区总面积的 65.8%,此区域应加强对原有生态资源的保护,严格禁止进行与生态保护无关的开发建设活动。中、高水平生态安全用地总面积为 163.1km²,所占比例为 18.4%,该区域可作为未来安庆市规划区生态基础设施培育区,同时也是城市严格的限制建设区,应严格控制城市在该区域的开发强度与用地开发性质。分析结果表明依山临水、组团式城市用地布局是安庆市基于生态安全格局的、合理的发展模式,大龙山镇、老峰镇、海口镇为未来城市空间扩展的主要区域。除去“源”与低水平的生态安全用地,城市可建设用地为 303.1km²,满足 2030 年城市总体规划用地规模需求。

2.3 基于生态安全格局的建设用地开发策略

传统的建设用地选择主要依据经济发展需求,本文先构建生态安全格局,确定哪些生态用地是不可开发的,再结合经济发展需求确定建设用地开发分区。选取乡镇为基本评价单元,运用生态约束和经济发展需求 2 类指标评价^[21]。经济发展需求选择的主成分因子分别为城镇建设与经济发展因子、经济效率与人口集聚因子、对外交通因子(表6)。依据生态约束和发展需求双重评价(表7),获得安庆市规划区综合发展分区分

级矩阵(表 8)。

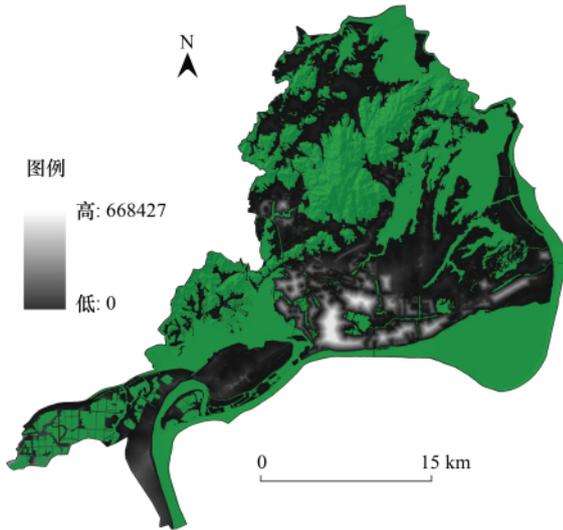


图 6 阻力面构建

Fig.6 Resistance surface Establishment

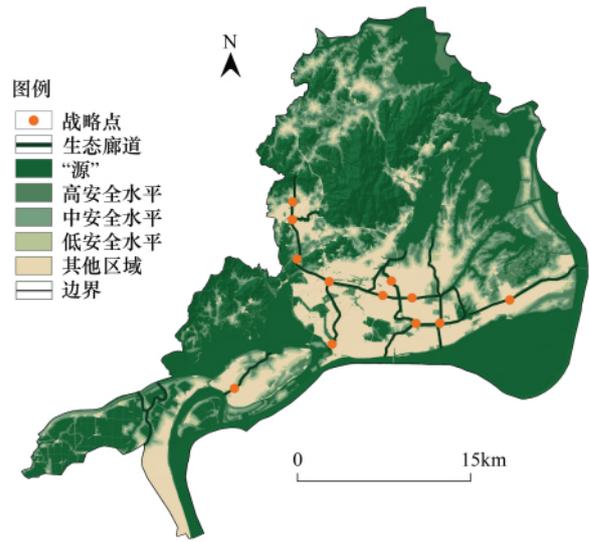


图 7 生态用地综合安全格局

Fig.7 Security pattern of critically ecological land

基于此将研究区分为优先发展区,包括老峰镇、大龙山镇、白泽湖乡、长风乡、海口镇,此区域经济发展需求强或较强、生态环境影响力中等或较低,是城市化发展重点区域,提倡高强度开发,可进行较大规模工业开发;适度发展区包括杨桥镇,该区域经济发展需求较高、生态环境影响力较高,应适度控制开发强度,尤其是控制建设用地扩展规模和速度,避免过度开发,适当发展无污染工业项目;控制发展区包括皖河农场、五横乡、山口乡、罗岭镇,该区域经济发展需求一般或低,生态环境影响力高或较高,因此应控制开发强度和规模,有节制地开发休闲、旅游、度假等同时具有自然生态保护意义与经济开发效益的绿色产业;禁止发展区包括新洲乡,此区域经济发展需求低、生态环境影响力高(图 8)。

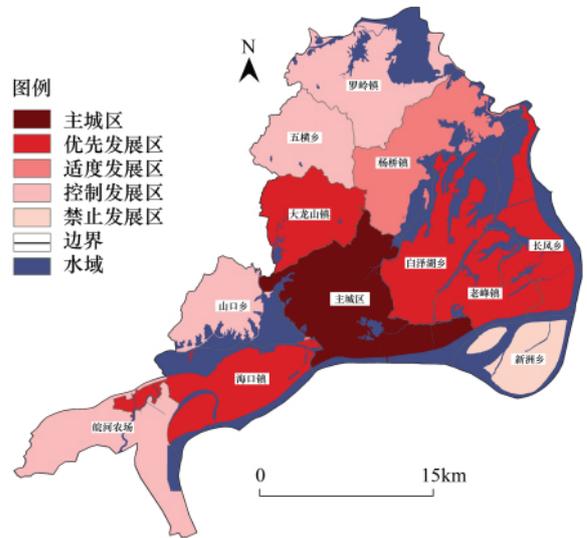


图 8 可建设用地开发分区

Fig.8 Construction land development zone

3 结论与讨论

(1) 构建山水型城市高、中、低 3 种水平生态安全格局,可有效协调该类城市空间扩展与生态要素限制之间的矛盾。除去“源”与低水平的生态安全用地,城市可建设用地为 303.1km²,即能维护该类城市固有的“山”“水”景观格局,延续和发展研究区原有山水特色风貌,也可满足 2030 年城市总体规划用地规模需求。

(2) 通过生态约束和发展需求双重评价,开展可建设用地适宜性分区,弥补了传统可建设用地选择仅考虑经济发展、忽略生态保护的弊端,评价结果具有较强的科学性。同时,评价单元以乡镇行政管理范围为依据可提高可建设用地管控的可操作性。

(3) 本研究在构建研究区生态安全格局基础上进行可建设用地开发策略分析,而基于土地生态服务的城市土地分类体系应不仅仅包括生态用地与建设用地,而应存在一些缓冲带即生态交错地,包括城乡结合部土

表 6 经济发展需求评价因子

Table 6 Economic development need evaluation factor

城镇建设与经济发展因子 Urban construction and economic development factors	城镇道路面积比重 现状城镇建设用地规模 与主城区交通距离 人均财政收入 人均工业产值
经济效率与人口集聚因子 Economic efficiency and population concentration factors	地均 GDP 人均 GDP 人口密度
对外交通条件因子 External traffic condition factors	港口岸线或码头资源条件 国省道长度 高速公路出入口数量

表 7 各评价单元生态影响力与经济发展需求排名

Table 7 Each evaluation unit ecological influence and economic development need ranking

单元名称 Unit	生态用地比重/% Ecological land ratio	排名 Ranking	单元名称 Unit	经济发展需求能力 Economic development ability	排名 Ranking
新洲乡	98.20	1	老峰镇	4.459	1
山口乡	92.89	2	白泽湖乡	3.238	2
杨桥镇	86.29	3	大龙山镇	3.145	3
罗岭镇	75.28	4	海口镇	0.862	4
五横乡	71.83	5	长风乡	-0.233	5
长风乡	69.56	6	杨桥镇	-0.559	6
皖河农场	66.05	7	罗岭镇	-0.992	7
海口镇	61.36	8	山口乡	-0.702	8
大龙山镇	59.06	9	五横乡	-0.957	9
白泽湖乡	49.44	10	新洲乡	-2.947	10
老峰镇	40.76	11	皖河农场	-3.314	11

表 8 综合发展分级矩阵

Table 8 Comprehensive development classification matrix

生态影响力等级 Ecological influence ranking	经济发展需求等级 Economic development need ranking			
	高 High	较高 Restively high	中等 Medium	低 Low
低	老峰镇、大龙山镇、 白泽湖乡	—	—	—
中等	—	海口镇、长风乡	—	皖河农场
较高	—	杨桥镇	罗岭镇、五横乡	—
高	—	—	山口乡	新洲乡

地、农业用地等,对于该类用地应当如何进行开发、管理与保护还应进一步完善。与此同时,出于对山水型城市生态要素重要性、研究尺度等方面的考虑,生态用地识别仅选取生物多样性保护、水资源安全、地质灾害规避三类生态因子,没有将气候调节、水土保持等因素一起纳入指标体系,是否具有全面性与代表性还有待深入探讨,且单一生态过程的影响因子体系和经济发展需求能力评价因子的选择、单一生态过程敏感性和生态安全格局分级所涉及的“门槛值”与“断点法”由于缺乏相关标准难免会有遗漏,这都需要在今后的研究工作中不断完善。

<http://www.ecologica.cn>

参考文献(References):

- [1] 龙宏,王纪武. 基于空间途径的城市生态安全格局规划. 城市规划学刊, 2009, (6): 99-104.
- [2] 周锐. 快速城镇化地区城镇扩展的生态安全格局. 城市发展研究, 2013, 20(8): 83-87.
- [3] 胡海德, 李小玉, 杜宇飞. 大连城市生态安全格局的构建. 东北师大学报: 自然科学版, 2013, 45(1): 138-142.
- [4] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 9-14.
- [5] 潘竟虎, 刘晓基. 基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3126-3136.
- [6] 高永年, 高俊峰, 韩文权. 基于生态安全格局的湖州市城乡建设用地空间管制分区. 长江流域资源与环境, 2011, 20(12): 1446-1452.
- [7] 吕剑成, 周磊, 洪武扬, 李满春, 黄秋昊. 城市土地生态适宜性分区划分研究——以常州市武进区为例. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9): 1560-1566.
- [8] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 李春波. 北京市生态安全格局及城市增长预警. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [9] 周锐, 王新军, 苏海龙, 娄翼来. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建. 生态学报, 2015, 35(6): 1-12.
- [10] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [11] 谢花林, 李秀彬. 基于 GIS 的区域关键性生态用地空间结构识别方法探讨. 资源科学, 2011, 33(1): 112-119.
- [12] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 袁弘, 王思思. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1932-1939.
- [13] 吴健生, 张理卿, 彭建, 冯喆, 刘洪萌, 赫胜彬. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别. 生态学报, 2013, 33(13): 4125-4133.
- [14] Yu K J. Ecological security patterns in landscape and GIS application. Geographic Information Sciences, 1995, 1(2): 88-102.
- [15] Adriaansen F, Chardon J P, DE Blust G, Swinnen E, Villalba S, Gulinck H, Matthysen E. The application of 'least-cost' modeling as a functional landscape model. Landscape and Urban Planning, 2003, 64(4): 233-247.
- [16] Li F, Ye Y P, Song B W, Wang R S. Evaluation of urban suitable ecological land based on the minimum cumulative resistance model: A case study from Changzhou, China. Ecological Modelling, 2015, 318(24): 194-203.
- [17] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16.
- [18] 李绥, 石铁矛, 付士磊, 周乐, 刘淼, 王伟. 南充城市扩展中的景观生态安全格局. 应用生态学报, 2011, 22(3): 734-740.
- [19] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape ecological planning. Landscape and Urban Planning, 1996, 36(1): 1-17.
- [20] Teng M J, Wu C G, Zhou Z X, Lord E, Zheng Z M. Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model. Landscape and Urban Planning, 2011, 103(1): 1-14.
- [21] 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 黄光庆, 叶玉瑶, 吴旗韬, 黄宁生, 匡耀求. 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案. 生态学报, 2013, 33(5): 1524-534.