



武汉大学学报(信息科学版)

Geomatics and Information Science of Wuhan University

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目: 城市群开发边界探究——以上海杭州湾城市群为例
作者: 肖锐, 蒋旭晨, 张鹏林
DOI: 10.13203/j.whugis20220699
网络首发日期: 2023-07-07
引用格式: 肖锐, 蒋旭晨, 张鹏林. 城市群开发边界探究——以上海杭州湾城市群为例 [J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版). <https://doi.org/10.13203/j.whugis20220699>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI:10.13203/j.whugis20220699

引用格式：

肖锐, 蒋旭晨, 张鹏林. 城市群开发边界探究——以上海杭州湾城市群为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20220699(XIAO Rui, JIANG Xuchen, Zhang Penglin. Study on the boundary of urban agglomeration development: A case study of Shanghai-Hangzhou Bay urban agglomeration[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20220699)

城市群开发边界探究——以上海杭州湾城市群为例

肖锐^{1,2}, 蒋旭晨¹, 张鹏林^{1*}

1 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北武汉 430000

2 自然资源部地理国情监测重点实验室, 湖北武汉 430000

摘要：城市群是城市发展到成熟阶段的空间组织形式, 城市间的协调发展是城市群可持续发展的必要条件。本研究基于“双评价”视角, 结合 PLUS(patch-generating land use simulation, PLUS)模型和多目标规划, 构建可持续协调发展情景, 对上海杭州湾城市群进行多种情景下的 2035 年土地利用模拟, 并进行城镇开发边界的划定研究。结果表明: (1) 相较于自然发展情景, 可持续协调发展情景下城镇建设用地扩张更符合城市群协同发展的需要, 同时模拟的土地利用格局充分发挥了地区的自然资源优势; (2) 基于可持续协调发展情景划定的城镇开发边界, 符合上海杭州湾城市群以上海、杭州、宁波三市为发展中心的发展格局, 且特别用途区保证了城市发展和对生态资源和人居环境的保护; (3) 通过双评价视角下建立多目标规划模型, 将上海杭州湾城市群未来土地利用经济和生态效益最大化, 模拟的土地利用分布格局也更为合理。本研究采用的城镇开发边界划定方法能够为我国城市和城市群城镇发展边界的划定提供技术方法上的帮助。

关键词：城镇开发边界; 城市群; 可持续协调发展; 土地利用模拟

Study on the boundary of urban agglomeration development: A case study of Shanghai-Hangzhou Bay urban agglomeration

XIAO Rui^{1,2}, JIANG Xuchen¹, ZHANG Penglin^{1*}

1 School of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan, Hubei Province, 430000

2 Key Laboratory of Geography and State Monitoring, Ministry of Natural Resources, Wuhan,

项目资助: 自然资源部地理国情监测重点实验室开放基金(2022NGCM03); 国家自然科学基金重大项目(42192580,42192583); 湖北省自然科学基金(2021CFB402); 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室开放基金课题(2023NRMK04)。

第一作者: 肖锐, 博士, 副教授, 主要从事城市发展和生态环境变化研究, Email: rxiao@whu.edu.cn

通讯作者: 张鹏林, 博士, 教授, Email: zpl@whu.edu.cn

Abstract: Objectives: The coordinated development between cities is a necessary condition for the sustainable development of urban agglomeration. The urban development boundary can balance urban development with ecological and agricultural protection. Methods: Based on the perspective of "double evaluation" and combined with PLUS model and multi-objective planning, this study constructed a sustainable and coordinated development scenario, simulated the land use of Shanghai-Hangzhou Bay urban agglomeration in 2035 under various scenarios, and studied the demarcation of urban development boundary. Results: (1) Compared with the natural development scenario, the urban construction land expansion under the sustainable and coordinated development scenario is more in line with the needs of the coordinated development of urban agglomeration, and the simulated land use pattern gives full play to the advantages of natural resources in the region. (2) The urban development boundary based on the scenario of sustainable and coordinated development is in line with the development pattern of Shanghai, Hangzhou and Ningbo as the development center of the Shanghai-Hangzhou Bay urban agglomeration, and the special purpose area ensures the urban development and the protection of ecological resources and living environment; (3) A multi-objective planning model was established from the perspective of dual evaluation to maximize the positive and ecological benefits of future land use in the Shanghai-Hangzhou Bay area, and the simulated land use distribution pattern was more reasonable. Conclusions: The method of urban development boundary demarcation adopted in this study can provide technical help for the demarcation of urban development boundary in China and urban agglomerations.

Keywords: Urban development boundaries; Urban agglomeration; Sustainable and coordinated development; Land use simulation

中国经济进入新发展阶段,城市群是区域协调发展的必然产物^[1]。发展壮大城市群和都市圈,分类引导大中小城市发展方向和建设重点,形成疏密有致、分工协作、功能完善的城镇化空间格局是“十四五”规划中的重要内容^[2]。同时,“新型城镇化建设”战略的实施使得城市群的建设步伐大大加快^[3]。基于此,相关学者进行了一系列对城市群扩张和空间格局的分析研究^[4,5,6]。然而,城市群的快速、无序扩张也加重了生态和耕地负担。绿色协调可持续发展是城市群发展

必然的选择^[7]。因此,合理统筹规划城市群的三生空间,优化城市群土地利用空间布局显得愈发重要。而城市群的合理空间规划往往需要考虑到城市间的空间相互作用^[5]、生活服务设施^[8]、地理环境、气候等多方面要素,故而通过科学有效的方式进行合理规划对城市群的未来发展具有重要意义。

建设用地规模及其分布是衡量一个地区经济社会发展状况的关键指标^[9]。城镇开发边界是在国土空间规划中划定的,一定时期内指导和约束城镇发展,在其区域内可以

进行城镇集中开发建设,重点完善城镇功能的区域边界^[10]。国内众多地区先后开展了城镇扩张和开发边界划定的相关工作和研究:文献^[11]利用遥感影像和多元地理信息参考资料,开展了该京津冀的城区边界提取;文献^[12]通过 DecisionTree-CA 对广东省城市扩张进行模拟预测;文献^[13]通过 FLUS 模型与双评价结合的方式对宜昌市进行城镇开发边界划定研究。总体而言,城镇开发边界在市、县级尺度上进行了较多的探索和研究^[14,15],但对于注重协调发展的城市群尺度上的研究较少。而单一的市级城镇开发边界划定可能存在部分城市由于区域内资源分配不均导致发展潜力不足的问题。且仅从市域内进行城镇开发边界划定未考虑到更大区域内的发展规划,可能导致地区发展区域内发展不协调的问题。同时城市群的规划发展又需要依赖于城镇发展边界、基本农田、生态红线的约束和帮助,因此进行城市群尺度上的城镇开发边界的研究将有利于城市群的发展以及基于相关政策参考。

相关研究证实,PLUS 模型相比于其他土地利用演变模型具有较高的模拟精度和更接近真实景观的景观格局指标^[16]。基于 PLUS 模型的相关研究也涉及了城镇景观分析^[17]、生态保护^[18]、单情景和多情景的城市用地扩张等方面^[19,20]。因此在研究中利用 PLUS 模型进行未来土地利用模拟较为科学合理,模拟的结果在精度上也较为可靠。

综上所述,本文以上海杭州湾城市群为研究区域,以双评价的视角结合多目标规划,统筹城市群区域内资源和发展潜力,构建可持续协调发展的城市群发展情景。最大限度发挥区域发展潜力,并充分考虑资源环境承载力。在此基础上,通过 PLUS 模型进行

2035 年土地利用模拟,最后在未来土地利用空间格局的基础上,划定上海杭州湾城市群的城镇开发边界。该方法有望应用于城市发展规划及国土空间规划的具体实施和实践中,能够为我国城市和城市群城镇发展边界的划定提供方法上的帮助。

1 研究区域概况和数据

1.1 研究区域概况

上海杭州湾大湾区,也指环杭州湾大湾区,包括上海、杭州、嘉兴、湖州、绍兴、宁波、舟山 7 个城市,总面积 46258 平方千米,人口超过 5500 万。上海湾城市群区位优势优秀,是长江三角洲城市群与“一带一路”等多重国家战略的交汇点,拥有连续 12 年荣登全球第一大港的宁波舟山港^[21]。同时上海杭州湾地区城市群发达,形成了以上海为龙头,以杭州、宁波为中心城市,城市间协同发展的格局,汇聚了全国约 1/4 的“双一流”高校,并贡献了全国 1/4 左右的 GDP^[22]。而上海、杭州、宁波的三足鼎立,更吸纳全国乃至全球名企、人才的加速汇流,为环杭州湾大湾区的发展提供了强有力的经济支持。

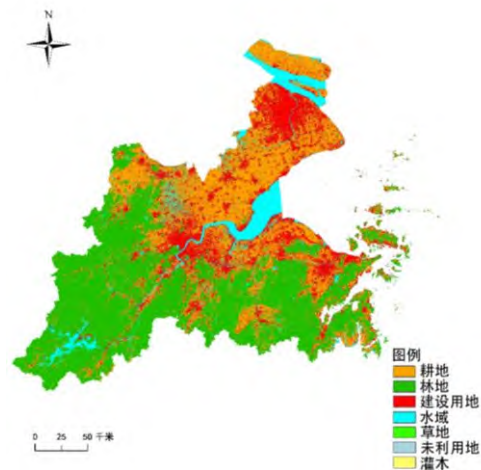


图 1 研究区域概况

Fig. 1 Overview of the Study Area

1.2 研究数据和预处理

本文章中的研究所使用的数据主要分为三类，包括：土地利用数据、驱动因子数据以及公报、年鉴的统计数据。土地利用数据来源于武汉大学杨杰和黄昕教授团队发布的 30m 分辨率的全国土地覆盖数据 (CLCD)，该数据将土地利用分为耕地、林地、建设用地、水域、草地、未利用地以及灌木 7 类，选取了 2010 年和 2020 年两期的土地利用数据^[23,24]。该数据集通过 GEE 上的遥感数据如 Landsat 和 MODIS，提供的长期地球观测，对长时序收集训练和验证的样本，最终获得长时序的土地利用数据。驱动因子包括 DEM、降水量和 GDP 等地理空间数据；各类 POI 数据，包括医院、公园、学校等，数据来源于高德地图，并将其采用欧氏距离法转变为距各类 POI 距离的栅格数据，作为驱动因子数据使用；统计数据主要来源于中国经济社会大数据研究平台以

及各地方政府的公报文件等 (表 1)。

2 研究方法

2.1 技术路线

研究的技术路线主要分为三部分：数据获取、PLUS 模型结合“双评价”的多情景土地利用模拟以及城镇开发边界划定。其中，数据获取的方式和途径已在 1.2 中阐述 PLUS 模型结合“双评价”的多情景土地利用模拟主要通过 PLUS 模型的 LEAS (land expansion analysis strategy, LEAS) 用地扩展分析策略获取土地利用扩张概率，即每种土地利用类型在空间上的适宜性；随后利用改进的 CA 模型进行土地利用模拟，并模拟自然生长条件下的自然情景和资源环境承载力约束条件下的可持续协调发展情景。最后根据《城镇开发边界划定指南》中的标准,进行研究区域的城镇开发边界划定^[25]。研究的技术路线图如图 2 所示。

表 1 研究使用的驱动因子数据

Tab. 1 Driver Data Used in the Study

		数据名称	数据来源
土地 利 用 扩 张 驱 动 因 子	地形地貌	高程数据	ASTER-GDEM-V2
		坡度	高程数据计算得到
	生态环境	年平均气温	www.resdc.cn
		年降水量	www.resdc.cn
		植被指数 (NDVI)	www.resdc.cn
	经济社会	GDP	www.resdc.cn
	交通	人口密度	worldpop
		距二级以上公路距离	高德地图
		距铁路距离	高德地图
		距高速出入口距离	高德地图
距公园距离		高德地图	
基础设施	距综合性医院距离	高德地图	
	距学校距离	高德地图	

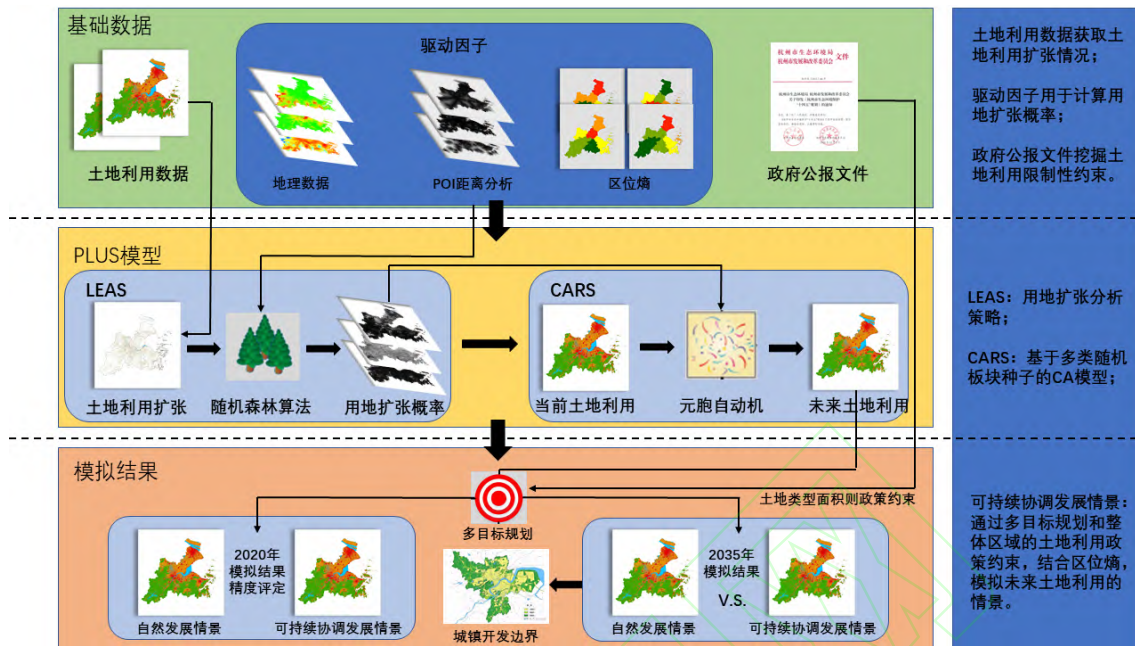


图 2 研究技术路线图

Fig. 2 The Technical Line of Research

2.2 研究方法

2.2.1 用地扩张分析策略

PLUS 模型中的 LEAS 模型通过随机森林算法 (Random forest, RF), 分析各类土地利用的扩张生长与研究所用的驱动因子间的关系^[16]。最终得到各驱动因子对某一土地利用类型扩张的贡献程度, 以及在这些驱动因子下各土地利用类型在空间上的扩张概率。土地利用类型 k 在 i 单元上的扩张概率 $P_{i,k}^d(\mathbf{x})$ 如公式 (1) 计算得到:

$$P_{i,k}^d(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{n=1}^M I(h_n(\mathbf{x}) = d)}{M} \quad (1)$$

其中, d 的值为 0 或 1, 1 表示有其他土地利用类型转变为 k 土地利用类型, 0 则表示发生其他的土地利用类型转变; $I(\cdot)$ 是决

$$OP_{i,k}^{d=1,t} = \begin{cases} P_{i,k}^{d=1} \times (r \times \mu_k) \times D_k^t & \text{if } \Omega_{i,k}^t = 0 \text{ and } r < P_{i,k}^{d=1} \\ P_{i,k}^{d=1} \times \Omega_{i,k}^t \times D_k^t & \text{all others} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $OP_{i,k}^{d=1,t}$ 为 k 类土地利用的总体概率;

策树集的指示函数; $h_n(\mathbf{x})$ 是驱动因子向量 \mathbf{x} 作用下的第 n 个决策树的预测类型; M 是决策树的总数。经研究证实, RF 算法能够较好地衡量自变量对因变量的重要程度, 因此在分析多驱动因子的土地利用扩张概率时具有较好的效果^[26]。

2.2.2 多类随机斑块种子的 CA 模型

元胞自动机 (cellular automata, CA) 及其改进的模型在土地利用模拟和演变方面得到了广泛的应用^[27]。PLUS 模型中基于多类随机斑块种子的 CA 模型 (CA based on multi-type random patch seeds, CARS) 通过多类随机种子生成和阈值递减的方式动态模拟土地利用的时空变化。其中随机种子生成原理如下公式所示:

$\Omega_{i,k}^t$ 为 k 土地利用类型的邻域覆盖比率; D_k^t

为 k 土地利用类型的未来用地需求; r 为0到1的随机值, μ_k 为输入的 k 土地利用类型生

成新斑块的阈值。阈值递减原理如公式(3):

$$\begin{cases} \text{Change } P_{i,c}^{d=1} > \tau \text{ and } TM_{k,c} = 1 \\ \text{No change } P_{i,c}^{d=1} \leq \tau \text{ and } TM_{k,c} = 0 \end{cases} \tau = \delta^l \times r1 \quad (3)$$

其中 δ 是降低阈值 τ 的衰减因子; $r1$ 是0-2范围的符合正态分布的随机值, 平均值为1; l 是衰变步数, $TM_{k,c}$ 为土地利用类型转换矩阵。通过多类随机种子生成以及阈值递减发, 能够更好地模拟未来情况下土地利用的演变^[16]。

2.2.3 多情景土地利用模拟和多目标规划

不同情景下的土地利用模拟会产生不同空间分布的土地利用模拟结果^[28]。本研究中土地利用模拟设置了自然发展和可持续协调发展两种情景。在自然发展情景下, 不设置其他约束, 利用马尔科夫链 (Markov chain) 预测预期年份的各类别土地利用的面积需求。然而, 生态系统服务的重要性以及粮食安全等需求是不容忽视的^[29]。加之城市间协调发展是城市群发展的必要要求, 故本研究通过多目标规划和限制条件设置了可持续协调发展情景。在协调发展情景下, 通过资源环境承载力约束, 利用多目标规划最大化区域内的生态服务价值和经济效益; 同时通过政府文件等规划要求添加区域内的限制条件 (表2)。

2.3 土地利用模拟结果评价

精度评价是评价研究方法是否具有可靠性的重要方式^[30]。本研究中设计了自然发展以及可持续协调发展两种情景的土地利

用模拟, 对土地利用模拟结果评价采用了两种方式。首先通过2010年土地利用数据模拟2020年土地利用空间分布情况, 与2020年真实土地利用进行精度评价。此方法用于检验选取的驱动因子在模拟研究区域土地利用变化时的可靠性。其次通过区位熵评价两种模拟情景在城市群未来发展和农业、生态保护方面的优劣。区位熵的计算方法如公式(4)所示:

$$LQ_{ij} = \frac{q_{ij} \times q}{q_i \times q_j} \quad (4)$$

其中, LQ_{ij} 为 j 地区 i 土地利用类型的区位熵; q_{ij} 为 j 地区 i 土地利用类型的面积, q_j 为 j 地区总面积; q_i 为整个研究区的 i 土地利用类型面积, q 为研究区域总面积。区位熵能够表现某土地利用类型在该区域内的优势程度。

2.4 城镇开发边界划定方法

划定城镇开发边界时, 基于形态侵蚀和膨胀进行辅助划定, 将城镇建设用地进行边缘平滑以及内部填充获取城镇建设用地边界 (图3)。城镇开发边界划定参照《城镇开发边界划定指南》的标准, 将城镇开发边界划分为集中建设区、弹性发展区和特别用途区^[25]。

表2 多目标规划及其约束条件

Tab. 2 MOP and its Constraints

目标函数和约束条件	描述
-----------	----

$$\begin{cases} f_1(x) = 6.16x_1 + 0.64x_2 + 12.72x_5 + 1068.54x_7 \\ f_2(x) = 0.35x_1 + 1.26x_2 + 0.52x_3 + 2.04x_5 \end{cases}$$

$$\max\{f_1(x), f_2(x)\}$$

$$\sum_{i=1}^7 x_i = 54374.04$$

$$x_1 \geq 17222.58$$

$$23488.31 \leq x_2 \leq 23685.16_1$$

$$8163.36 \leq x_7 \leq 9337.81$$

$$x_3 \geq 0.55$$

$$2.178 \leq x_4 \leq 2.445$$

$$3511.45 \leq x_5 \leq 3919.33$$

$$1.418 \leq x_6 \leq 1.494$$

$f_1(x)$ 为经济效益，参考中国经济社会大数据平台； $f_2(x)$ 来源于谢高地等^[31]提出的生态系统服务价值。 x_1 表示耕地、 x_2 表示林地、 x_4 表示草地、 x_5 表示水域、 x_7 表示建设用地，单位为元/公顷。

目标函数，使得区域内经济效益和生态系统服务价值最大化。

研究区域土地利用总面积为 54374.04 平方千米。

耕地保护面积。根据上海杭州湾各地区耕地保护面积目标求和得到。

林地面积。根据上海杭州湾各地区森林覆盖率 2035 远景规划目标得到。

建设用地面积。通过各地区水资源通报和水资源约束法确定未来地区总建筑面积。

Markov 链预测的 2030-2035 年其他土地利用面积，作为预期年该类型土地利用面积的约束条件。其中 x_3 表示灌木， x_6 表示未利用地。

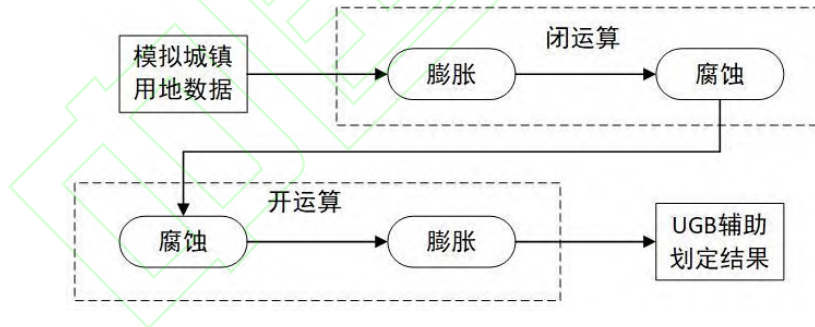


图 3 基于形态侵蚀和膨胀的划定方法

Fig. 3 Delineation Method Based on Morphological Erosion and Swelling

3 研究结果与讨论

3.1 土地利用模拟

将驱动因子加入 LEAS 模块进行土地利用扩张分析，得到土地利用扩张概率。通过 Markov 预测以及多目标规划获取两种情景下 2035 年各类型土地利用的需求面积（表

3）。用地面积预测结果表明，自然发展情景下，上海杭州湾地区林地和水域面积将会有较大幅度的减少，城镇建设用地增长幅度加大，耕地面积有略微的减少；而在可持续协调发展情景下，由于资源环境承载力约束和政策要求，林地，水域的面积减少得到了极大的遏制，耕地面积减少相比更多但是维持

在区域耕地保护目标面积以上，同时城镇建设用地面积也得到一定的增加。

将获得的土地利用扩张概率数据作为土地利用转变驱动数据，需求面积作为 2035 年各土地利用类型的目标面积，通过 CARS 模块进行土地利用模拟，得到不同情景下的 2035 年上海杭州湾地区土地利用模拟结果

(图 4)。对模拟结果中城镇建设用地的扩张强度进行了 5km*5km 的格网分析 (图 4 a2,b2)，从中可以看出，在自然发展条件下，城镇建设用地扩张主要集中在杭州市中心向外的辐射性扩张，而其他城市和区域的建设用地扩张强度相对较低。在可持续协调发展情景下，各区域扩张强度相对平均，同时

表 3 不同情境下土地利用预测面积 (2035)

Tab 3 Predicted Area of Land Use Under Different Scenarios

单位: 平方千米	耕地	林地	灌木	草地	水域	未利用地	城镇建设用地
2010 年	18609.38	24641.90	0.81	7.10	4828.877	0.92	6274.03
2020 年	18277.75	23683.54	0.56	2.48	4244.35	1.45	8162.91
自然发展情景	17970.39	22940.66	0.42	2.18	3511.45	1.45	9504.30
可持续协调发展情景	17625.40	23448.31	0.56	2.18	3919.33	1.42	9337.81

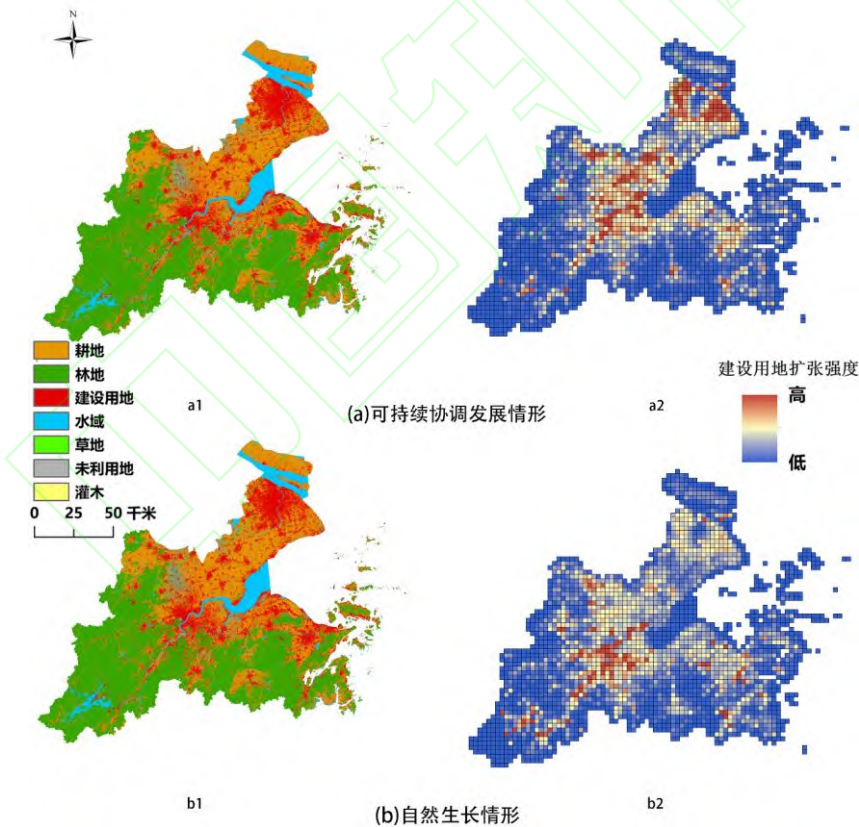


图 4 不同情境下土地利用模拟结果和城镇建设用地扩张强度

Fig. 4 Land Use Simulation and Urban Construction Land Expansion Intensity Under Different Scenarios

呈现出以上海、杭州、嘉兴、宁波的城镇建设用地扩张强度相对更高的空间分布，此城市扩张的基本格局更加符合上海杭州湾地

区以上海、杭州、宁波三市为发展中心的城市群发展规划。

3.2 模拟结果评价

通过 2010 年的上海杭州湾土地利用数据，对 2020 年上海杭州湾土地利用数据进行模拟预测，并与 2020 年的真实土地利用数据进行精度评价。其中，模拟所使用的驱动因子数据来源与表 1 中各数据来源相同，各类土地利用目标面积为 2020 年上海杭州湾土地利用数据中各地类面积。结果显示，模拟整体精度为 0.86，kappa 系数为 0.79；此外，两种情景下的各地类模拟精度均大于

75%。因此利用 PLUS 模型进行上海杭州湾土地利用模拟具有较高的可靠性。

城市间的协调发展是城市群发展的必然结果。而协调发展需要城市间充分利用区域优势和产业优势，促进中心大城市与周边中小城市形成生态共享互补，产业高效分工的协同发展格局^[32]。本研究采用区位熵分析上海杭州湾个城市群的 2020 到 2035 年模拟结果的自然资源和人为活动的优势性和变

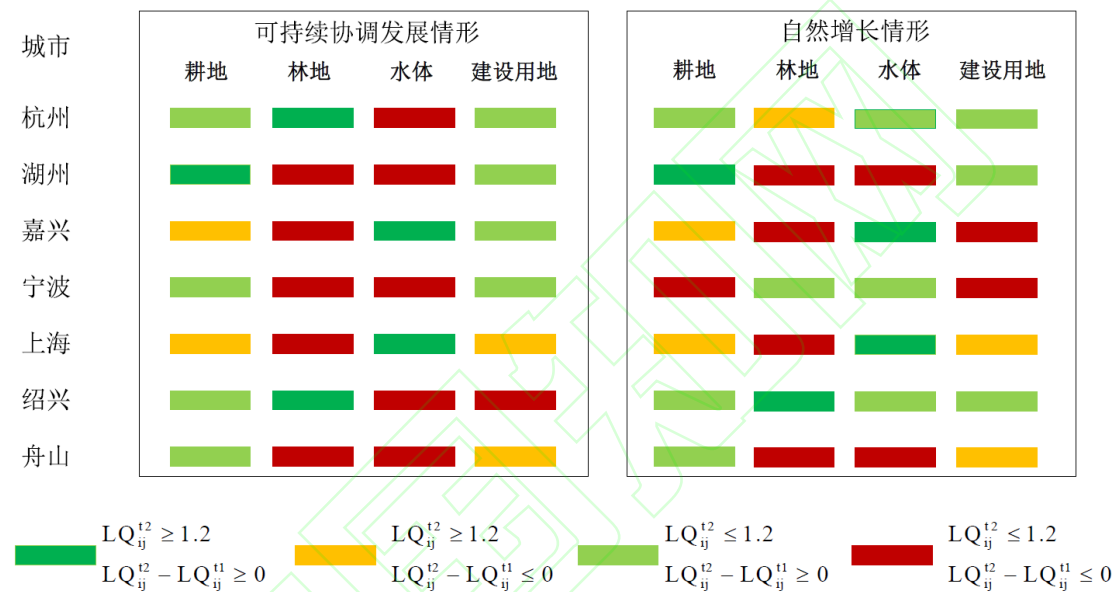


图 5 2035 年模拟结果区位熵与 2020 年变化

Fig.5 Variation of Location Entropy of Simulation Results in 2035 and 2020

化程度（图 5）。以区位熵大于 1.2 作为优势阈值，结果显示，相比于自然增长情景，可持续协调发展情景下，上海杭州湾地区的自然资源（林地、水体）呈现出更加明显地资源优势更加突出的变化趋势（4 个（自然情景 3 个）优势的自然资源区位熵增加）；同时相比之下，可持续协调发展情景的人为活动的土地利用类型（耕地、建设用地）区位熵差距减小更加明显（12（自然情景 10 个）个人为活动土地利用类型出现非优势区位熵增加，优势区位熵减少）。而自然资源的优势聚集，有利于发挥生态系统服务价值，加

强生态文明建设^[33]。农业的集群发展更利于现代化农业的运行，也利于基本农田划定和保护。人类活动区域的齐头发展也利于构建经济共同发展，人民共同富裕的区域格局。因此，本研究模拟可持续协调发展情景土地利用格局相比于自然发展情景更加符合城市群发展的需要。

3.3 城镇开发边界划定

城镇开发边界结果如图 6 所示，本研究划定了集中建设区面积 9717.23 平方千米，弹性发展区 1234.54 平方千米，特别用途区 1056.76 平方千米。上海杭州湾城市群的上海、杭州、宁波三市除了集中建设区占据较

多面积外,划定的弹性发展区也较多地分布在以上三市的区域内。因此上海杭州湾城市群的城镇开发边界划定结果较为符合上海杭州湾城市群以上海、杭州、宁波三市为中心城市带动周边城市发展的区域格局。此外,上海杭州湾城市群特别用途区的划定面积达到了 1056.76 平方千米,包括贯穿杭州市区的钱塘江以及其他重要生态、水资源用地被划定为特别用途区。

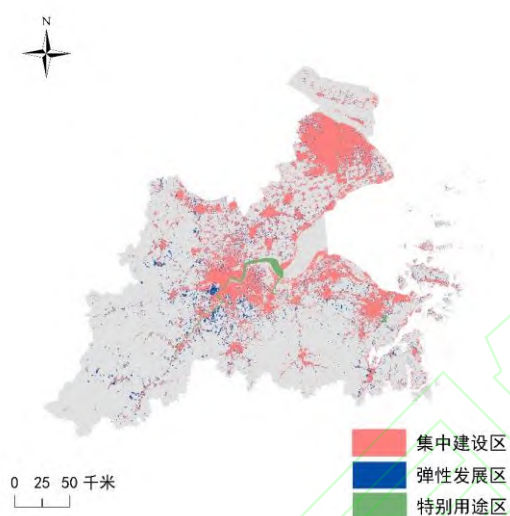


图 6 上海杭州湾城市群城镇开发边界划定结果

Fig.6 Result of Urban Development Boundary in Shanghai-Hangzhou Bay Urban Agglomeration

3.4 讨论

城镇开发边界分为集中建设区、弹性发展区和特别用途区。其中,城市集中建设区为主要的城市建设区域,在集中建设区内,包括其他零散的用地类型,能够起到增强城市发展边界的完整性的作用;城镇弹性发展区使为了应对城镇发展的不确定性,在城镇集中建设区外划定的,在满足特定条件下方可进行城镇开发和集中建设的地域空间,且不得超过集中建设区的 15%^[34]。本研究在土地利用模拟结果的基础上,再进行城市区域扩张 10%的模拟,并将扩张区域形态侵蚀和

膨胀后作为弹性发展区。特别用途区是为了完善城镇功能,提升人居环境品质,保持城镇开发边界的完整性,根据规划管理需划入开发边界内的重点地区^[35]。本研究将集中建设区和弹性发展区内重要的河湖资源以及研究区域内的生态保护区作为特别用途区,保证了城市发展的同时对生态资源和人居环境的保护也起到了重要作用。

城镇开发边界作为城市扩张发展的约束边界,可以有效保护永久性基本农田和生态保护红线,对缓解中国的三线矛盾起着重要作用。同时,开发边界内部功能的划分,可以合理规划城市空间布局,有利于促进高质量发展。在以往的研究中城镇开发适宜性评价一般采用专家打分法的方式赋予驱动因子权重^[36],但此方法具有较强的主观因素。FLUS 模型的提出,通过神经网络的方式给予城镇开发适宜性评价更为科学合理的评价方法,有利于更加科学有效地进行城镇开发边界划定^[27]。而 PLUS 模型经证明相比于 FLUS 模型具有更高的土地利用模拟精度,因此利用该方法辅助城镇开发边界地划定具有更好的可靠性和准确性。

中国特色社会主义进入新时代的 10 年来,区域内的协调发展已成为愈发重要的问题和研究内容。此前的研究中城镇开发边界主要应用于单一城市或县城,缺乏从区域、城市群的角度进行开发边界的划定研究^[14,36]。同时《城镇开发边界指南》文件中进行城镇开发边界划定的也以市域作为对象。然而在城镇开发边界的实际划定研究中,市级地方由于受到区域面积以及资源分配不均衡的问题,资源环境承载力不足导致部分城市开发潜力受限,城镇开发边界划定工作因此受到一定阻碍。在此之上,以城市群尺

度看待城镇开发边界问题,可以统筹更大区域范围内的各类资源,补短给长,充分发挥城市群发展潜力的同时解决了资源环境承载力不足的问题,达成区域协调可持续发展的效果。因此在“二十大”的新起点进行城市群尺度的城镇开发边界划定对于区域协调可持续发展具有更大的意义。

4 结论

(1) 基于“双评价”视角,本研究通过资源环境承载力约束以及政策约束等方式,构建多目标规划模型,建立了土地利用模拟的可持续协调发展情景,并基于此进行城镇开发边界划定研究。结果相较于自然发展情景,城镇建设用地扩张在城市群间更为平均,同时区位熵的变化也显示可持续协调发展所模拟的 2035 年上海杭州湾城市群土地利用格局更能充分发挥区域自然资源优势,且城市群间的协同发展也更加得以凸显。

(2) 相较于以城市为单位划定城镇开发边界的传统研究方法,本研究在更大尺度上以城市群为研究目标进行城镇开发边界划定。相较于单一城市进行开发边界划定,城市群能够统筹城市群资源取短给长,充分发挥各区域发展潜力,同时保证城市群发展与资源环境保护的平衡,达到区域可持续协调发展的效果。

(3) 基于可持续协调发展情景下的上海杭州湾城市群城镇开发边界划定结果显示,该条件下划定的城镇开发边界,符合上海杭州湾城市群以上海、杭州、宁波三市为发展中心的发展格局,且特别用途区包括贯穿杭州市区的钱塘江以及其他重要生态、水资源用地被划定为特别用途区,保证了城市

发展的同时对生态资源和人居环境的保护也至关重要。本研究的划定方式可以为国城市和城市群城镇发展边界的划定提供技术方法上的帮助。

参 考 文 献

- [1] Wei Houkai, Nian Meng, Li Le. China's regional development strategy and policy in the 14th Five-Year Plan period [J]. *China Industrial Economics*,2020(05):5-22. (魏后凯,年猛,李功.“十四五”时期中国区域发展战略与政策[J].*中国工业经济*,2020(05):5-22.)
- [2] The Outline of the 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China and the Long-term Goal for 2035 [N]. *People's Daily*,2021-03-13(001).(中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[N]. *人民日报*,2021-03-13(001).)
- [3] XU Huan, FU Bihong, GUO Qiang, et al. Study on the Integration Process of Xixian and Urban Expansion[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2018, 22(02): 347-359.(徐焕,付碧宏,郭强,等.西咸一体化过程与城市扩展研究[J].*遥感学报*, 2018, 22(02): 347-359.)
- [4] Wang Yufeng, Wang Juan. Study on the evolution of spatial-temporal differentiation structure of population and land use scale in Zhejiang urban agglomeration. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,2022,47(02):280-286.(王雨枫,王娟.浙江城市群人口与用地规模的时空分异结构演变研究[J].*武汉大学学报(信息科学版)*,2022,47(02):280-286.)

- [5] He Jianhua, Shi Xuan, Gong Jian, et al. Spatial growth simulation of urban agglomeration linkage considering spatial interaction: A case study of Wuhan metropolitan area [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,2016,41(04):462-467. (何建华,施璇,龚健,等.顾及空间交互作用的城市群联动空间增长模拟——以武汉都市区为例[J].*武汉大学学报(信息科学版)*,2016,41(04):462-467.)
- [6] Li P. Regional economic synergy development and its theoretical basis and implementation approach. *Geography and Geo-Information Science*,2005(04):51-55. (黎鹏.区域经济协同发展及其理论依据与实施途径[J].*地理与地理信息科学*,2005(04):51-55.)
- [7] Leng Mengsi, Zhang Liping, Deng Yao, et al. Spatial and temporal characteristics of green development and its influencing factors in urban agglomeration in the upper reaches of the Yangtze River [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 222,55(01):1-12. (冷梦思,张利平,邓瑶,等.长江上游城市群绿色发展水平时空演变特征及其影响因素辨识[J].*武汉大学学报(工学版)*,2022,55(01):1-12.)
- [8] Yang Wenrui, Ren Zhouqiao, He Jianhua. Analysis on spatial difference of supply and demand service level of living service facilities: A case study of Jiangnan District, Wuhan City [J/OL]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University* :1-16[2022-10-05]. (杨文睿,任周桥,何建华.顾及生活服务设施供需服务水平的空间差异性分析——以武汉市江汉区为例[J/OL].*武汉大学学报(信息科学版)*:1-16[2022-10-05].)
- [9] Li Xinghua, Bai Xuechen, Li Zhengjun, et al. A multi-level Feature fusion Network for Building Extraction from high-resolution images [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,202,47(08):1236-1244. (李星华,白学辰,李正军,等.面向高分影像建筑物提取的多层次特征融合网络[J].*武汉大学学报(信息科学版)*,2022,47(08):1236-1244.)
- [10] Ministry of Natural Resources. Guidelines for Compiling General Land and Space Planning at the Municipal Level[R]. Beijing: Ministry of Natural Resources, 2020. (自然资源部.市级国土空间总体规划编制指南[R].北京:自然资源部,2020.)
- [11] Ning Xiaogang, Wang Hao, Zhang Hanchao, et al. High-precision urban boundary extraction and spatial-temporal expansion analysis of prefecture-level cities in China from 2000 to 2016 using remote sensing [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,2018,43(12):1916-1926. (宁晓刚,王浩,张翰超,等.2000—2016年中国地级以上城市高精度城区边界遥感提取及时空扩展分析[J].*武汉大学学报(信息科学版)*,2018,43(12):1916-1926.)
- [12] Li Xia, Li Dan, Liu Xiaoping. Geographical Simulation and Optimization System (GeoSOS) and Its Application in the Analysis of Geographic National Conditions[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46 (10): 1598-1608. (黎夏,李丹,刘小平.地理模拟优化系统(GeoSOS)及其在地理国

- 情分析中的应用[J].测绘学报, 2017, 46(10): 1598-1608.)
- [13] Xuchen Jiang, Meng Wang, Gang Xu, et al. Urban Development Boundary Simulation Based on "Double Evaluation" and FLUS Model[J]. Journal of Geodesy and Geoinformation Science, 2022, 5(02): 7-18.
- [14] Zhao Xuan, Peng Jiandong, Fan Zhiyu, et al. Land Use Simulation and Urban Growth Boundaries Delineation in Wuhan Metropolitan Area Based on FLUS Model and "Dual Environment Evaluation"[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(11): 2212-2226.(赵轩, 彭建东, 樊智宇, 等.“双评价”视角下基于FLUS模型的武汉大都市区土地利用模拟和城镇开发边界划定研究[J].地球信息科学学报, 2020, 22(11): 2212-2226.)
- [15] Li Deren. On the Role of the Digital Province or / and City in the Territorial Planning and Construction of the City and Town[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2002(S1): 16-21.(李德仁.数字省、市在国土规划与城镇建设中的作用[J].测绘学报, 2002(S1): 16-21.)
- [16] Xun Liang, Qingfeng Guan, Keith C. Clarke, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 101569.
- [17] Li Chen, GAO Binpin, Wu Yingmei, ZHENG Kejun, Wu Yan. Dynamic simulation of urban landscape ecological risk in mountainous area based on PLUS model [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2022, 39(01): 84-94.(李琛, 高彬斌, 吴映梅, 郑可君, 武燕.基于 PLUS 模型的山区城镇景观生态风险动态模拟[J].浙江农林大学学报, 2022, 39(01): 84-94.)
- [18] Jianfeng Sun, Guangdong Li, Ying Zhang, et al. Identification of priority areas for afforestation in the Loess Plateau region of China[J]. Ecological Indicators, 2022, 140: 108998.
- [19] Guo Rong, Wu Tong, Wu Xiaochen, et al. Simulation of Urban Land Expansion Under Ecological Constraints in Harbin-Changchun Urban Agglomeration, China[J]. Chinese Geographical Science, 2022, 32(03): 438-455.
- [20] Shihe Zhang, Quanlin Zhong, Dongliang Cheng, et al. Landscape ecological risk projection based on the PLUS model under the localized shared socioeconomic pathways in the Fujian Delta region[J]. Ecological Indicators, 2022, 136: 108642.
- [21] Sun Jiuwen, Jiang Zhi. The path of high-quality development in China's coastal areas [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(02): 277-294.(孙久文, 蒋治.中国沿海地区高质量发展的路径[J].地理学报, 2021, 76(02): 277-294.)
- [22] Jiao Limin, Liu Yaolin. Sustainable urbanization and territorial space optimization [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(01): 1-11.(焦利民, 刘耀林.可持续城市化与国土空间优化[J].武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(01): 1-11.)
- [23] Yang Jie, Huang Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(08): 3907-3925.

- [24] Huang Xin, Li Jiayi, Yang Jie, et al. Annual dynamics and urban expansion patterns of 30m global impervious water surface observed by Landsat satellite (1972-2019)[J]. SCIENTIA SINICA Terrae, 2021, 51(11):1894-1906.(黄昕,李家艺,杨杰,等.Landsat 卫星观测下的 30m 全球不透水面年度动态与城市扩张模式(1972~2019)[J].中国科学:地球科学,2021,51(11):1894-1906.)
- [25] Ministry of Natural Resources. Guidelines for Delimiting Urban Boundary Development[R]. Beijing: Ministry of Natural Resources, 2019.(自然资源部.城镇边界开发划定指南[R].北京:自然资源部,2019.)
- [26] Yao Yao, Liu Xiaoping, Li Xia, et al. Simulating urban land-use changes at a large scale by integrating dynamic land parcel subdivision and vector-based cellular automata[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017, 31(12):2452-2479.
- [27] LIANG Xun, LIU Xiaoping, Li Dan, et al. Urban Growth Simulation by Incorporating Planning Policies into a CA-Based Future Land-Use Simulation Model[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2018, 32(11): 2294-2316.
- [28] Lu Chang, Qi Xiao, Zheng Zhongsen, et al. PLUS-Model Based Multi-Scenario Land Space Simulation of the Lower Yellow River Region and Its Ecological Effects[J]. Sustainability, 2022, 14(11):6942.
- [29] Costanza R, d'Arge R, DeGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [30] Chen Yunhao, Feng Tong, Shi Peijun, et al. Research on Remote sensing image classification based on object-oriented and rule [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2006(04):316-320.(陈云浩,冯通,史培军,王今飞.基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2006(04):316-320.)
- [31] Xie Gaudi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. An expert knowledge-based approach to ecosystem services valuation [J]. Journal of Natural Resources,2008(05):911-919.(谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法 [J].自然资源学报,2008(05):911-919.)
- [32] Gu Chaolin. Progress and prospect of urban agglomeration research [J]. Geographical Research,2011,30(05):771-784.(顾朝林.城市群研究进展与展望[J].地理研究,2011,30(05):771-784.)
- [33] Gui Dezhu, Cheng Pengfei, Wen Hanjiang, et al. Research on the innovative role of surveying and mapping geographic information technology in natural resources management [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2019,44(01):97-100.(桂德竹,程鹏飞,文汉江,等.在自然资源管理中发挥测绘地理信息科技创新作用研究 [J].武汉大学学报(信息科学版),2019,44(01):97-100.)
- [34] Liu Yaolin, Tong Zhaomin, Liu Sui, Huang Dan. Research progress and prospect of land use optimal allocation modeling [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan

University,202,47(10):1598-1614. (刘耀林,全照民,刘岁,等.土地利用优化配置建模研究进展与展望[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,47(10):1598-1614.)

[35] Fan Jie. Spatial Organization Approach of Regional Function-Structure- Discussion on the Implementation of the Main Functional Area Strategy in National Spatial Planning[J]. Geographical Research, 2019, 38(10): 2373-2387.(樊杰.地域功能-结构的组织途径——对国土空间规划实施主体功能区战略的讨论[J]. 地理研究,2019,38(10): 2373-

2387.)

[36] Xiang Guangxin, Fu Jinhao, Zeng Liting, et al. Urban development Boundary Demarcation technology based on "double Evaluation" : A case study of central urban area in Xiangtan County [J]. Journal of Natural Resources, 2020,35 (10) : 2401-2414(项广鑫,符金豪,曾丽婷,等.基于“双评价”的城镇开发边界划定技术——以湘潭县中心城区为例[J].自然资源学报, 2020, 35(10): 2401-2414.)

网络首发:

标题: 城市群开发边界探究——以上海杭州湾城市群为例

作者: 肖锐, 蒋旭晨, 张鹏林

DOI: 10.13203/j.whugis20220699

收稿日期: 2023-06-04

引用格式:

肖锐, 蒋旭晨, 张鹏林. 城市群开发边界探究——以上海杭州湾城市群为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, DOI: 10.13203/j.whugis20220699(XIAO Rui, JIANG Xuchen, Zhang Penglin. Study on the boundary of urban agglomeration development: A case study of Shanghai- Hangzhou Bay urban agglomeration[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, DOI: 10.13203/j. whugis20220699)

网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别, 请以正式出版文件为准!

您感兴趣的其他相关论文:

浙江城市群人口与用地规模的时空分异结构演变研究

王雨枫, 王娟

武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(2): 280-286

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20200221>