引文格式: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),2025,50(3):439-448.DOI:10.13203/j.whugis20220699

Citation:XIAO Rui,JIANG Xuchen,ZHANG Penglin.Study on Urban Agglomeration Development Boundary: A Case Study of Shanghai-Hangzhou Bay Urban Agglomeration[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University,2025,50(3):439-448.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,430079

2 自然资源部地理国情监测重点实验室,湖北 武汉,430079

**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。基于双评价视角,结合PLUS(patch-generating land use simulation)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,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;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及人居环境的保护;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。所提的城镇开发边界划定方法能够为中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

**中图分类号**:P208 **文献标识码**:A **收稿日期**:2024-05-10

**DOI**:10.13203/j.whugis20220699 **文章编号**:1671-8860(2025)03-0439-10

# Study on Urban Agglomeration Development Boundary: A Case Study of Shanghai-Hangzhou Bay Urban Agglomeration

*XIAO Rui*[1,2] *JIANG Xuchen*[1] *ZHANG Penglin*[1]

1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Key Laboratory of Geography and State Monitoring, Ministry of Natural Resources, Wuhan 430079, China

**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, this paper combines with patch-generating land use simulation model and multi-objective planning. It constructs a sustainable and coordinated development scenario, simulates the land use of Shanghai-Hangzhou Bay urban agglomeration in 2035 under various scenarios, and studies the demarcation of urban development boundary. **Results**: 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. 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. Additionally, the

**基金项目**:国家自然科学基金重大项目(42192580,42192583);国家自然科学基金(42371299,42361144861)。

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

**通信作者**:张鹏林,博士,教授。zpl@whu.edu.cn

special purpose area ensures the urban development and the protection of ecological resources and living environment. A multi-objective planning model is established from the perspective of dual evaluation to maximize the positive and ecological benefits of future land use in the Shanghai-Hangzhou Bay urban agglomeration, and the simulated land use distribution pattern is more reasonable. **Conclusions**: The proposed method of urban development boundary demarcation can provide technical help for the demarcation of urban development boundary in China and urban agglomerations.

**Key words**: urban development boundary; 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,学者们进行了一系列对城市群扩张和空间格局的分析研究[4-6]。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,开展了京津冀的城区边界提取;文献[12]对广东省城市扩张进行模拟预测;文献[13]通过FLUS(future land use simulation)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。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(patch-generating land use simulation)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,并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。本文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,能够为中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46 258 km$^2$,人口超过5 500万,如图1所示。上海-杭州湾城市群区位条件优秀,是长江三角洲城市群与多重国家战略的交汇点,拥有全球排名前列的宁波舟山港[21],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的知名高校,并贡献了全国1/4左右的国内生产总值(gross domestic product,GDP)[22]。而上海、杭州、宁波的三足鼎立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。

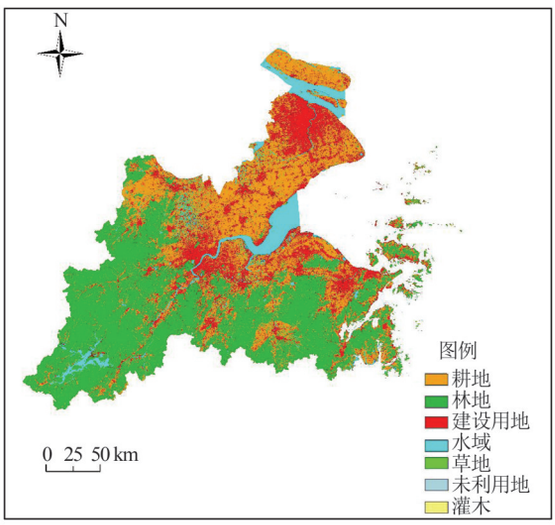



图 1　研究区域土地利用图

Fig. 1　Land Use of the Study Area

### 1.2　研究数据和预处理

本文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 30 m 分辨率的全国土地覆盖数据,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]。该数据集通过谷歌地球引擎的遥感数据(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。驱动因子包括数字高程模型(digital elevation model, DEM)、降水量和 GDP 等地理空间数据;各类兴趣点(point of interest,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。研究使用的土地利用扩张驱动因子数据见表 1。

**表 1　土地利用扩张驱动因子数据**

Table 1　Driver Data of Land Use Expansion

| 土地利用类型 | 数据名称 | 数据来源 |
|---|---|---|
| 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 | http://www.resdc.cn |
| | 年降水量 | |
| | 植被指数 | |
| 经济社会 | GDP | http://www.resdc.cn |
| | 人口密度 | WorldPop 数据集 |
| 交通 | 距二级以上公路距离 | 高德地图 |
| | 距铁路距离 | |
| | 距高速出入口距离 | |
| 基础设施 | 距公园距离 | 高德地图 |
| | 距综合性医院距离 | |
| | 距学校距离 | |
| 区域特点 | 区位熵 | http://data.cnki.net |

## 2　研究方法

### 2.1　技术路线

研究的技术路线主要分为 3 个部分,即数据获取、PLUS 模型结合双评价的多情景土地利用模拟、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首先通过 PLUS 模型的用地扩张分析策略(land expansion analysis strategy,LEAS)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;然后利用改进的元胞自动机(cellular automata,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]。本文方法的技术路线图如图 2 所示。

### 2.2　方法原理

#### 2.2.1　用地扩张分析策略

PLUS 模型中的 LEAS 通过随机森林算法,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 $k$ 在单元 $i$ 上的扩张概率 $P_{i,k}^{d}(\boldsymbol{x})$ 计算式为:

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

式中,变量 $d$ 的值为 0 或 1,1 表示有其他土地利用类型转变为土地利用类型 $k$,0 则表示发生其他的土地利用类型转变;$I(\cdot)$ 表示决策树集的指示函数;$h_n(\boldsymbol{x})$ 表示驱动因子向量 $\boldsymbol{x}$ 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,随机森林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]。

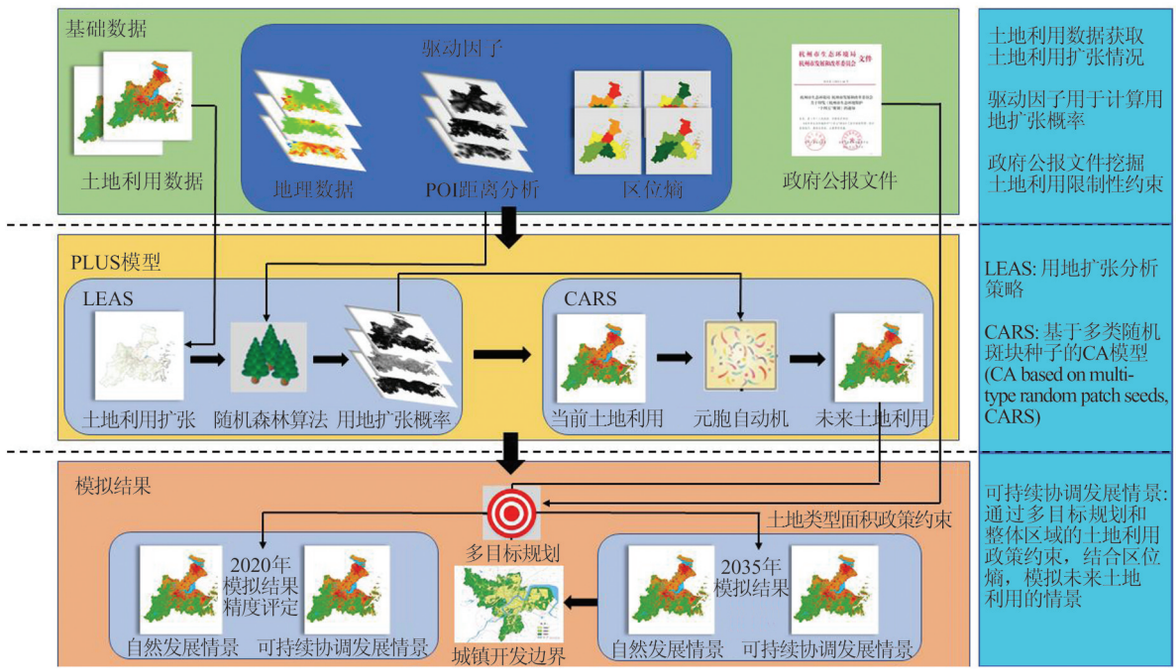



图2 研究方法技术路线图

Fig. 2 Flowchart of the Proposed Method

2.2.2 多类随机斑块种子的CA模型

CA及其改进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[16]。随机种子生成和阈值递减的计算式分别为:

$$O_{i,k}^{d=1,t}=\begin{cases}P_{i,k}^{d=1}r\mu_k D_k^t,\Omega_{i,k}^t=0\text{且}r<P_{i,k}^{d=1}\\P_{i,k}^{d=1}\Omega_{i,k}^t D_k^t,\text{其他}\end{cases}\tag{2}$$

$$\tau=\delta^l r_1\tag{3}$$

式中,$O_{i,k}^{d=1,t}$、$\Omega_{i,k}^t$、$D_k^t$分别为土地利用类型$k$的总体概率、邻域覆盖比率和未来用地需求;$r$为0~1的随机值;$\mu_k$为输入的土地利用类型$k$生成新斑块的阈值;$\delta$为降低阈值$\tau$的衰减因子;$r_1$是0~2范围的符合正态分布的随机值,平均值为1;$l$为衰变步数。

由此可得判断土地利用类型是否发生变化的条件为:

$$\begin{cases}\text{变化},P_{i,c}^{d=1}>\tau\text{且}T_{k,c}=1\\\text{不变},P_{i,c}^{d=1}\leqslant\tau\text{且}T_{k,c}=0\end{cases}\tag{4}$$

式中,$T_{k,c}$为定义是否允许土地利用类型$k$转换为类型$c$的过渡矩阵中的元素值。

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]。本文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,利用马尔可夫链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,故本文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]。本文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,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。然后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。

区位熵的计算式为:

$$E_{uv}=\frac{q_{uv}\times q}{q_u\times q_v}\tag{5}$$

式中,$E_{uv}$为$v$地区中土地利用类型$u$的区位熵;$q_{uv}$为$v$地区中土地利用类型$u$的面积;$q_v$为$v$地区面

**表 2　多目标规划及其约束条件**

Table 2　Multi-objective Optimization Problem and Its Constraints

| 目标函数和约束条件 | 描述 |
|---|---|
| $\begin{cases} f_1(x)=6.16x_1+0.64x_2+12.72x_5+1\,068.54x_7 \\ f_2(x)=0.35x_1+1.26x_2+0.52x_3+2.04x_5 \end{cases}$ | $f_1(x)$为经济效益,参考中国经济社会大数据平台;$f_2(x)$来源于文献[31]提出的生态系统服务价值,其中$x_1$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/ha。 |
| $\max\{f_1(x),f_2(x)\}$ | 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 |
| $\sum_{i=1}^{7}x_i=54\,374.04$ | 研究区域土地利用总面积为 54 374.04 $km^2$ |
| $x_1\geqslant 17\,222.58$ | 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 |
| $23\,488.31\leqslant x_2\leqslant 23\,685.16$ | 林地面积,根据上海-杭州湾各地区森林覆盖率2035年远景规划目标得到 |
| $8\,163.36\leqslant x_7\leqslant 9\,337.81$ | 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 |
| $x_3\geqslant 0.55$ | |
| $2.178\leqslant x_4\leqslant 2.445$ | 马尔可夫链预测的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。 |
| $3\,511.45\leqslant x_5\leqslant 3\,919.33$ | |
| $1.418\leqslant x_6\leqslant 1.494$ | |

积;$q_u$为研究区中土地利用类型$u$的面积;$q$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]。

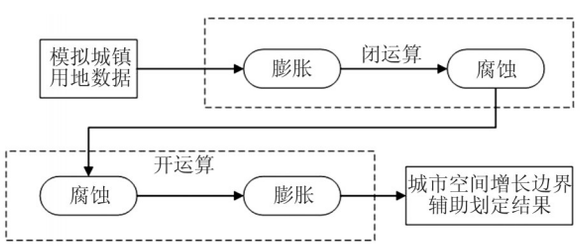



图 3　基于形态侵蚀和膨胀的划定方法

Fig. 3　Delineation Method Based on Morphological Erosion and Swelling

## 3　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。通过马尔可夫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,结果见表3。用地面积预测结果表明,在自然发展情景下,上海-杭州湾地区林地和水域面积将会较大幅度减少,城镇建设用地增长幅度加大,耕地面积略微减少;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,林地和水域的面积减少得到了较大遏制,耕地面积减少更多,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,并对模拟结果中城镇建设用地的扩张强度进行了5 km×5 km的格网分析,如图4所示。从图4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,这种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。

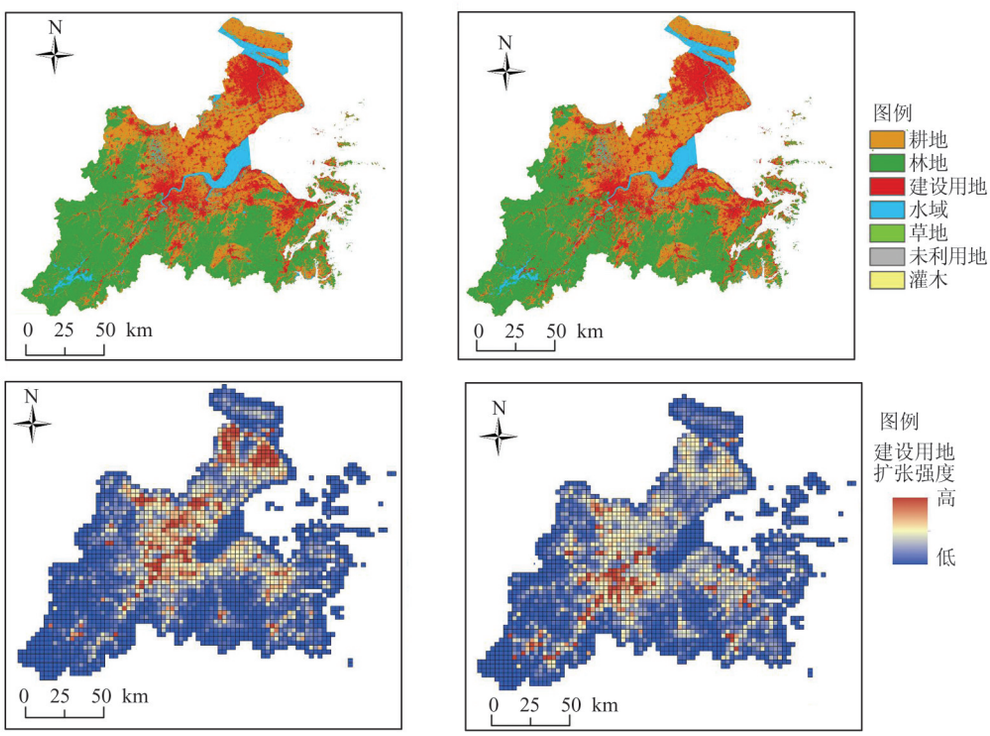
### 3.2　模拟结果评价

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0.79,两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。

**表3 不同情景下土地利用预测面积/km²**

Table 3 Predicted Area of Land Use Under Different Scenarios/km²

| 年份 | 情景 | 耕地 | 林地 | 灌木 | 草地 | 水域 | 未利用地 | 城镇建设用地 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | | 18 609.38 | 24 641.90 | 0.81 | 7.10 | 4 828.877 | 0.92 | 6 274.03 |
| 2020 | | 18 277.75 | 23 683.54 | 0.56 | 2.48 | 4 244.35 | 1.45 | 8 162.91 |
| 2035 | 自然发展 | 17 970.39 | 22 940.66 | 0.42 | 2.18 | 3 511.45 | 1.45 | 9 504.30 |
| | 可持续协调发展 | 17 625.40 | 23 448.31 | 0.56 | 2.18 | 3 919.33 | 1.42 | 9 337.81 |




(a) 可持续协调发展情景 (b) 自然发展情景

图4 不同情景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

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]。本文采用区位熵分析上海-杭州湾城市群2020年与2035年模拟结果的自然资源和人为活动的优势性和变化程度,如图5所示。

由图5可以看出,以区位熵大于1.2作为优势阈值,结果显示,相较于自然增长情景,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)呈现出明显的资源优势更加突出的变化趋势。其中,可持续协调发展情景下存在4个优势区位熵增加,而自然增长情景下只有3个。同时,可持续协调发展情景下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。其中可持续协调发展情景下12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;而自然情景下只有10个。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,本文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,本文划定了集中建设区面积9 717.23 km²,弹性发展区面积1 234.54 km²,特别用途区面积1 056.76 km²。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

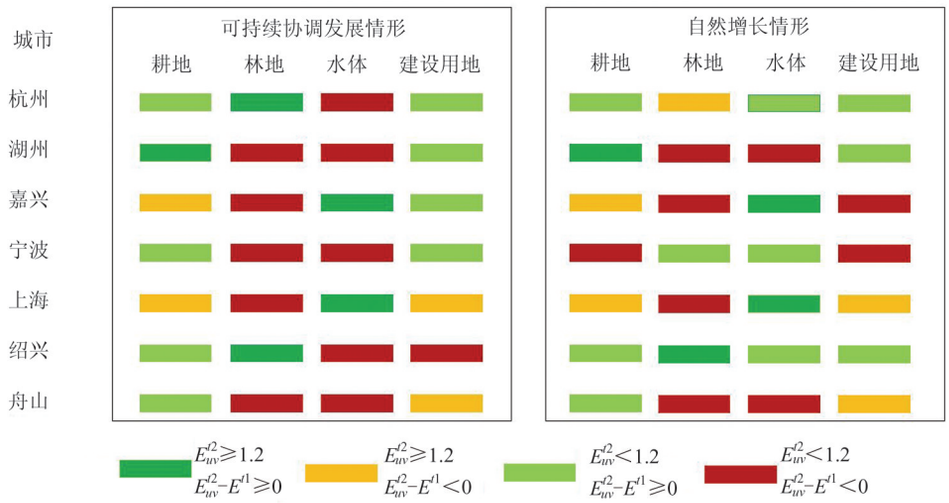



图 5　2020 年与 2035 年模拟结果的区位熵变化

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

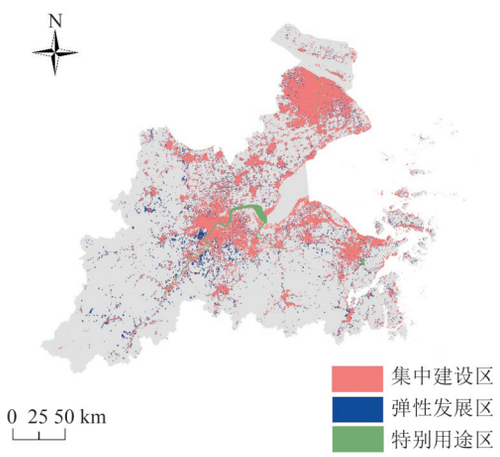



图 6　上海-杭州湾城市群城镇开发边界划定结果

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

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 1 056.76 km$^2$,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。

### 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;城镇弹性发展区是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]。本文在土地利用模拟结果的基础上进行城市区域扩张 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]。本文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],但该方法具有较强的主观因素。FLUS 模型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 模型相较于 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。

在此前的研究中,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],《城镇开发边界指南》中进行城镇开发边界划定也以市域作为对象。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也受到一定阻碍。在此尺度之上,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,充分发挥城市群发展潜力,同时解决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 语

本文基于双评价视角,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。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。

相较于以城市为单位划定城镇开发边界的传统研究方法,本文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。

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。本文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] 魏后凯,年猛,李玏. “十四五”时期中国区域发展战略与政策[J]. 中国工业经济,2020(5):5-22.
WEI Houkai, NIAN Meng, LI Le. China's Regional Development Strategy and Policy During the 14th Five-Year Plan Period[J]. *China Industrial Economics*, 2020(5): 5-22.

[2] 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).
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).

[3] 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(2):347-359.
XU Huan, FU Bihong, GUO Qiang, et al. Temporal-Spatial Growth Pattern and Driving Forces of Urban Expansion in Xi'an over Past 30 Years[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2018, 22(2): 347-359.

[4] 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(2):280-286.
WANG Yufeng, WANG Juan. Spatiotemporal Differentiation Structure Evolution of Population and Land in Zhejiang Urban Agglomeration[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(2): 280-286.

[5] 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(4):462-467.
HE Jianhua, SHI Xuan, GONG Jian, et al. Modeling the Spatial Expansion of Urban Agglomeration Considering Their Spatial Interaction: A Case Study of Wuhan Metropolitan Area[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(4): 462-467

[6] 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,2005,21(4):51-55.
LI Peng. Theoretical Basis and Practical Methods of Regional Economic Synergistic Development[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(4): 51-55.

[7] 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(1):1-12.
LENG Mengsi, ZHANG Liping, DENG Yao, et al. The Spatial-Temporal Evolution and Influencing Factors Identification of Green Development Level of Urban Agglomeration in the Upper Reaches of the Yangtze River[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2022, 55(1): 1-12.

[8] 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]. 武汉大学学报(信息科学版),2024,49(3):473-481.
YANG Wenrui, REN Zhouqiao, HE Jianhua. Analysis of Spatial Disparity Based on Supply and Demand Service Level of Life Service Facilities: A Case of Jianghan District in Wuhan City[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2024, 49(3): 473-481.

[9] 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(8): 1236-1244.
LI Xinghua, BAI Xuechen, LI Zhengjun, et al. High-Resolution Image Building Extraction Based on Multi-Level Feature Fusion Network[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(8): 1236-1244.

[10] 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.
Ministry of Natural Resources. Guidelines for Compiling General Land and Space Planning at the Municipal Level[R]. Beijing: Ministry of Natural Resources,2020.

[11] 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.
NING Xiaogang, WANG Hao, ZHANG Hanchao, et al. High-Precision Urban Boundary Extraction and Urban Sprawl Spatial-Temporal Analysis in China's Prefectural Cities from 2000 to 2016[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 1916-1926.

[12] 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.
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.

[13] Jiang J, Wang W, Xu G, et al. Urban Development Boundary Simulation Based on "Double Evaluation" and FLUS Model[J]. *Journal of Geodesy and Geoinformation Science*, 2022, 5(2): 7-18.

[14] 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.
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.

[15] 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, 31(S1): 16-21.
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, 31(S1): 16-21.

[16] LIANG X, GUAN Q F, CLARKE K C, 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, 85: 101569.

[17] 李琛, 高彬嫔, 吴映梅, 等. 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(1): 84-94.
LI Chen, GAO Binpin, WU Yingmei, et al. Dynamic Simulation of Landscape Ecological Risk in Mountain Towns Based on PLUS Model[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2022, 39(1): 84-94.

[18] SUN J F, LI G D, ZHANG Y, et al. Identification of Priority Areas for Afforestation in the Loess Plateau Region of China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 140: 108998.

[19] GUO R, WU T, WU X C, et al. Simulation of Urban Land Expansion Under Ecological Constraints in Harbin-Changchun Urban Agglomeration, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2022, 32(3): 438-455.

[20] ZHANG S H, ZHONG Q L, CHENG D L, 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] 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(2): 277-294.
SUN Jiuwen, JIANG Zhi. Paths of High-Quality Development in China's Coastal Areas[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 277-294.

[22] 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(1): 1-11.
JIAO Limin, LIU Yaolin. Sustainable Urbanization and Territorial Spatial Optimization[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(1): 1-11.

[23] YANG J, HUANG X. The 30 m Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(8): 3907-3925.

[24] 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.
HUANG Xin, LI Jiayi, YANG Jie, et al. 30 m

Global Impervious Surface Area Dynamics and Urban Expansion Pattern Observed by Landsat Satellites: From 1972 to 2019[J]. *Science China Earth Sciences*,, 2021, 51(11): 1894-1906.

[25] 自然资源部. 城镇边界开发划定指南[R]. 北京:自然资源部,2019.
Ministry of Natural Resources. Guidelines for Delimiting Urban Boundary Development[R]. Beijing: Ministry of Natural Resources,2019..

[26] YAO Y, LIU X P, LI X, 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 X, LIU X P, LI D, 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 C, QI X, ZHENG Z S, 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, DE GROOT R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.

[30] 陈云浩, 冯通, 史培军, 等. 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, 31(4): 316-320.
CHEN Yunhao, FENG Tong, SHI Peijun, et al. Classification of Remot Sensing Image Based on Object Oriented and Class Rules[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(4): 316-320.

[31] 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, 23(5): 911-919.
XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Expert Knowledge Based Valuation Method of Ecosystem Services in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-919.

[32] 顾朝林. 城市群研究进展与展望[J]. 地理研究, 2011, 30(5): 771-784.
GU Chaolin. Study on Urban Agglomeration: Progress and Prospects[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(5): 771-784.

[33] 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(1): 97-100.
GUI Dezhu, CHENG Pengfei, WEN Hanjiang, et al. Technology Innovation of Surveying, Mapping and Geoinformation for Natural Resource Management[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44(1): 97-100.

[34] 刘耀林, 仝照民, 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.
LIU Yaolin, TONG Zhaomin, LIU Sui, et al. Progress and Prospects of Research on Optimal Land-Use Allocation Modeling[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(10): 1598-1614.

[35] 樊杰. 地域功能-结构的空间组织途径: 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.
FAN Jie. Spatial Organization Pathway for Territorial Function-Structure: Discussion on Implementation of Major Function Zoning Strategy in Territorial Spatial Planning[J]. *Geographical Research*, 2019, 38(10): 2373-2387.

[36] 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.
XIANG Guangxin, FU Jinhao, ZENG Liting, et al. Demarcation Technology of Urban Development Boundary Based on Evaluation of Carrying Capacity of Resources Environment and Suitability of Land Space Development: A Case Study of the Central City of Xiangtan County[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2401-2414.