

陆张维,徐丽华. 基于 GIS 的中心城区建设用地适宜性评价——以浙江省杭州市为例[J]. 江苏农业科学,2016,44(6):488-492.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.142

# 基于 GIS 的中心城区建设用地适宜性评价 ——以浙江省杭州市为例

陆张维<sup>1,2</sup>, 徐丽华<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学环境与资源学院,浙江临安 311300;2. 浙江大学公共管理学院,浙江杭州 310029)

**摘要:**利用主成分分析方法和地理信息系统(GIS)技术,对杭州市中心城区建设用地适宜性从栅格尺度进行评价,探索中心城区这一特定土地利用空间建设用地适宜性评价的特点,以丰富建设用地适宜性评价的方法体系,确定杭州市中心城区建设用地适宜性空间格局。研究表明:杭州市中心城区建设用地适宜性的空间格局呈从已有建成区、主干道沿线以及未来城市规划区向外递减的圈层结构;影响中心城区建设用地适宜性的影响因素应以经济适宜性为主,兼顾生态适宜性,其中建成区邻域密度、道路密度和城市规划区邻域密度是影响中心城区建设用地适宜性的关键因素,决定了中心城区建设用地适宜性的总体格局。利用主成分分析方法确定的中心城区建设用地适宜性空间格局经验证与杭州市城市开发进程相吻合,可以为杭州市中心城区建设用地优化布局与结构调整提供借鉴与参考。

**关键词:**土地评价;适宜性;主成分分析;建设用地;中心城区

**中图分类号:** F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0488-05

当前,中国经济正处于快速增长阶段,城市化水平不断提高,建设用地日趋紧张,如何合理利用有限的建设用地资源,发挥建设用地的最大效益已经成为我国土地利用的重要任务。特别是中心城区,作为区域经济发展的核心与载体,其土地利

用优化更是直接关系到整个区域土地资源的合理利用和社会经济的可持续发展。而针对土地利用活动,土地适宜性评价是土地利用决策的重要因素<sup>[1]</sup>,目的在于根据人类意愿和未来活动的预测确定土地利用最适合的空间模式<sup>[2-3]</sup>,引导人们按照土地的内在适宜方向进行开发,对于提高土地社会经济生态价值、保证土地资源合理利用具有重要的指导意义<sup>[4-5]</sup>。《雅典宪章》有关建设用地选择的理论也认为,城市土地用途确定必须考虑土地的适宜性<sup>[6]</sup>,才能实现城市土地资源的优化配置<sup>[7]</sup>。因此,中心城区建设用地适宜性评价是土地利用总体规划 and 城市总体规划有关城市土地利用的重要基础工作,可以为

收稿日期:2016-01-01

基金项目:国家自然科学基金(编号:51508513);浙江省自然科学基金(编号:LY15D010006)。

作者简介:陆张维(1983—),男,浙江慈溪人,博士,主要研究方向为城市土地利用与管理。

通信作者:徐丽华,博士,副教授,主要研究方向为地理学及空间分析。

[11] Reid J P, Adair E C, Hobbie S E, et al. Biodiversity, nitrogen deposition, and CO<sub>2</sub> affect grassland soil carbon cycling but not storage[J]. *Ecosystems*, 2012, 15(4):580-590.

[12] Lorenz K, Lal R. Biogeochemical C and N cycles in urban soils[J]. *Environment International*, 2009, 35(1):1-8.

[13] Kaye J P, McCulley R L, Burke I C. Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems[J]. *Global Change Biology*, 2005, 11(4):575-587.

[14] 李房英,吴少华,雷波. 福州市园林绿地植物应用调查研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2002, 15(1):50-52.

[15] Cramer M, Myers J. Growth and photosynthetic characteristics of euglena gracilis[J]. *Archives of Microbiology*, 1952, 17(1/2/3/4):384-402.

[16] Talling J F. Photosynthetic characteristics of some freshwater plankton diatoms in relation to underwater radiation[J]. *New Phytologist*, 1957;29-50.

[17] Van T K, Haller W T, Bowes G. Comparison of the photosynthetic characteristics of three submersed aquatic plants[J]. *Plant Physiology*, 1976, 58(6):761-768.

[18] Koehl M R, Alberte R S. Flow, flapping, and photosynthesis of

*Nereocystis leutkeana*: a functional comparison of undulate and flat blade morphologies[J]. *Marine Biology*, 1988, 99(3):435-444.

[19] Karlsson P S. Photosynthetic characteristics and leaf Carbon economy of a deciduous and an evergreen dwarf shrub: *Vaccinium uliginosum* L. and *V. vitisidaea* L. [J]. *Ecography*, 1985, 8(1):9-17.

[20] 张璐,张纪林,教忠意,等. 不同光照条件下3种冬青属植物的光合特征日变化研究[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(3):490-495.

[21] 郑淑霞,上官周平. 不同功能型植物光合特性及其与叶氮含量、比叶重的关系[J]. *生态学报*, 2007, 27(1):171-181.

[22] 龚吉蕊,赵爱,苏培玺,等. 黑河流域几个主要植物种光合特征的比较研究[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(4):587-592.

[23] 常宗强,冯起,苏永红,等. 额济纳绿洲胡杨的光合特征及其对光强和CO<sub>2</sub>浓度的响应[J]. *干旱区地理*, 2006, 29(4):496-502.

[24] 刘绍辉,方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响[J]. *生态学报*, 1997, 17(5):19-26.

[25] 李玉宇,王关玉,李伟. 土壤呼吸作用和全球碳循环[J]. *地学前缘*, 2002, 9(2):351-357.

[26] 王森,姬兰柱,李秋荣,等. 土壤温度和水分对长白山不同森林类型土壤呼吸的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8):1234-1238.

城市空间构造、城市用地选择及城市用地功能分区等提供科学依据<sup>[8]</sup>,影响城市未来发展的整体布局和社会经济发展,对于提高城市土地利用管理绩效有着重要的现实意义。

土地适宜性评价研究早期以农用地适宜性评价为主,随着城市用地扩展、农业土地变化、旅游用地开发、土地整理等活动的日益增多,各类用地的适宜性评价日益增多,建设用地适宜性评价方面的研究也逐步发展起来。在建设用地适宜性评价研究区域的选择方面,主要有城市群<sup>[9]</sup>、市域<sup>[10]</sup>、资源型城市<sup>[11]</sup>、县域<sup>[12]</sup>、城镇<sup>[13]</sup>、村庄<sup>[14]</sup>、半城市化地区<sup>[15]</sup>、山区<sup>[16]</sup>等,还未见主要针对中心城区的研究。在建设用地适宜性评价方法的研究方面,早期多以定性评价为主,随着定量研究和地理信息系统(GIS)空间分析技术的发展,通过建立评价指标体系,构建单因素评价图层,借助GIS技术进行综合加权叠加<sup>[11,17]</sup>,关键在于权重的确定。还有学者用遗传算法和神经网络等人工智能方法进行适宜性评价,也取得了一定的成绩<sup>[18-19]</sup>,但人工智能方法在普及上存在难度。在建设用地适宜性评价指标的选取方面,已有研究中主要有地形地貌、地质结构、水文条件、地质灾害等工程施工因素,以及自然保护区、水域、人文景观、生态脆弱区、植被盖度、环境污染、基本农田保护等生态因素,以及风向、湿度、气温等气象因素,还有交通、建成区密度、离市中心距离、经济发展水平、基础设施条件、经济政策等经济因素<sup>[17,20-27]</sup>。这些评价指标的选取首先评价某地块是否适宜作为建设用地,其次是适宜的程度。而中心城区是一个区域政治、经济和文化中心,通常是在自然地理等条件相对较好的地方逐渐发展起来的,以平原谷地居多,因而根据上述因素进行分析,中心城区周边通常是建设用地适宜区,适宜性评价应该重点关注作为建设用地的适宜性程度。城市土地的优化配置以“效益”为核心,中心城区尤为如此<sup>[7]</sup>,并且城市开发主体更多的是关心用地的经济效益,而这种效益的差异主要由土地的经济区位决定。还有,在中心城区这一尺度上,像工程施工因素、气象因素通常不会成为城市发展的限制因素,是次要因素,而且相对均质。笔者认为,中心城区的建设用地适宜性评价有其自身特点,应该着重考虑经济因素,辅以生态因素,并且应该从栅格尺度上借助GIS技术进行分析。

本研究拟采用主成分分析方法,结合GIS技术,从栅格尺度对杭州市中心城区建设用地适宜性进行评价,探索中心城区这一特定土地利用空间建设用地适宜性评价的特点,丰富建设用地适宜性评价的方法体系,以期对杭州市中心城区建设用地优化布局与结构调整提供借鉴与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 区域与数据

杭州市位于中国东南沿海,是浙江省省会和经济、政治、文化中心,是长三角中心城市之一,是国家历史文化名城和著名的风景旅游城市。以杭州市中心城区为研究靶心,包括主城、江南副城和下沙副城,以绕城高速公路为界,土地总面积为813.78 km<sup>2</sup>(图1)。

本研究采用的资料主要包括:2005年11月27日Landsat TM影像和2010年9月21日Landsat ETM影像(轨道号为P119、R39),用于获取建成区邻域密度和水体邻域密度,以及2005—2010年间建设用地扩展情况;其他数据还包括1987

年杭州市1:5万地形图,2005年土地利用现状图、2001—2020年城市规划资料、主城区行政区划图、道路交通图、基本农田分布图和工业中心分布图,用于获取杭州市主城区2005年的坡度、农居点邻域密度、城市规划区邻域密度、基本农田邻域密度、道路密度、离工业中心距离和离CBD距离。所有数据空间化以后,都统一到杭州市地方坐标系。

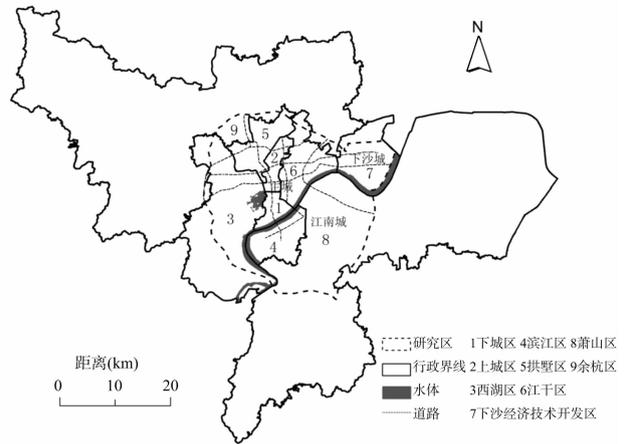


图1 研究区位置

### 1.2 研究方法

1.2.1 评价因子的选取与计算 中心城区建设用地适宜性评价着重考虑用地的经济适宜性,兼顾生态保护。已有建成区周边,规模效益明显,容易引起城市开发的进一步集聚;交通设施是城市扩展的重要解释变量,交通沿线的土地开发成本较低、通达性好、扩展阻力最小,因而城市扩展倾向于沿交通线向外扩展,是用地适宜性的重要评价指标;在未来城市规划范围内,政府会提供城市基础设施(如道路)和城市发展所需的城市配套设施(如安全、健康、教育、医疗),以保证城市的正常运转和推动城市的可持续发展,是非常适宜开发的区域;长期以来,城市工业的发展通常以集聚的方式为主,特别是各工业区、开发区在集聚企业方面更具有吸引力<sup>[28]</sup>,20世纪90年代初期以来,城市产业退二进三,工业开始郊区化发展,从杭州市工业用地的布局来看,工业在城市扩展中起到了重要作用;竞租理论认为,市中心具有最高的租金,然后租金随着离市中心距离的增加而降低,因此离市中心的距离越近,用地效益越高,越适宜开发。坡度较大的区域通常是林地,从生态保护角度考虑不适宜开发,而坡度平缓的区域,建筑成本较低,更适宜开发;大面积水体是优越的景观条件,从环境保护的角度看,认为不适宜开发,并且容易导致可开发土地的破碎化和开发成本的上升;基本农田是规划期内未经国务院批准不得占用的耕地,基本农田保护区的存在限制了某一区域未来的发展空间,同时也有助于发挥耕地的生态价值;城市建设用地扩展过程中会遇到很多农村居民点,征地拆迁困难,而且在土地补偿和村民安置方面需要支付高额的经济成本和社会成本。因此,本研究选取建成区邻域密度、道路密度、城市规划区邻域密度、离工业中心距离、离CBD距离、坡度、水体邻域密度、基本农田保护区邻域密度、农居点邻域密度作为建设用地适宜性评价的评价因子。本研究最终评价单元是210 m×210 m的栅格,各指标运用Zonal Statistic统计方法将结果统计到栅格单元上。

1.2.2 主成分分析 运用主成分分析将影响建设用地适宜性的多个因子归纳为几个变量进行评价。主成分分析是一种不掺杂主观意识的客观评价方法,并经过数学分析生成权重值,从而确定每个样本的贡献率。同时它又是一种降维技术,把多维向量简化为数量更少的综合因素,即多元变量系统中的主成分,并且通过旋转使得主成分之间互不相关,从而确定主成分的现实含义。利用主成分分析方法可以生成一系列独立不相关的新变量(主成分),摆脱了权重判断不合理的弊端,并能方便地利用分析得到的综合得分进行评价。

主成分分析原理是通过正交旋转变换来消除数据相关性或冗余度。正交旋转式为:

$$pc_{ij} = \sum_{k=1}^n X_{ik} E_{kj} \quad (1)$$

式中: $pc_{ij}$ 是对应于空间单元*i*的第*j*个主成分; $X_{ik}$ 是对应于空间单元*i*的第*k*个准则; $E_{kj}$ 是对应于第*k*行第*j*列的特征向量矩阵。特征向量和特征值可以由下列方程来求解:

$$E \text{cov} E^T = V \quad (2)$$

式中: $\text{cov}$ 是协方差矩阵; $V$ 是以特征值为对角值的矩阵; $E$ 是特征向量矩阵。在实际应用中,确定主成分个数的基本条件是满足主成分的贡献率与累计贡献率之间的均衡。

1.2.3 指标的标准化 影响建设用地适宜性的多个评价因子,无论从指标的分级值还是从计量单位上看,都不具有可比性,因此需要对指标进行标准化处理。采用级差标准化的方法对指标进行标准化,根据指标的不同特点,正相关指标(例如建成区邻域密度)采用公式(3)进行处理,负相关指标(例如离CBD距离)采用式(4)进行处理。相关公式如下:

$$(x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100\% \quad (3)$$

$$(x_{\min} - x_{ij}) / (x_{\min} - x_{\max}) \times 100\% \quad (4)$$

式中: $x_{ij}$ 为*i*栅格单元第*j*个指标的实际值; $x_{\max}$ 为各栅格单元该指标的最大值; $x_{\min}$ 为各栅格单元该指标的最小值。

## 2 结果与分析

### 2.1 建设用地适宜性评价因子的空间主成分分析

采用SPSS11.5统计软件对数据进行处理,首先进行Barlett球度检验和KMO检验。Barlett球度检验给出的相伴概率为0.000,小于显著性水平0.05,因此拒绝Barlett球度检验的零假设;KMO统计量为0.635,大于0.5,证明适于主成分分析。其次利用主成分分析,得到各个主成分的特征值和贡献率,建设用地适宜性评价指标的主成分分析结果见表1。由于前5个主成分已经包含了原始变量中85%的信息,已能较好地反映杭州市中心城区建设用地适宜性的空间格局,因此选取前5个主成分进行分析。

表1 主成分的特征值及贡献率

| 主成分 | 特征值   | 贡献率(%) | 累计贡献率(%) |
|-----|-------|--------|----------|
| 1   | 2.991 | 33.233 | 33.233   |
| 2   | 1.568 | 17.425 | 50.657   |
| 3   | 1.224 | 13.596 | 64.253   |
| 4   | 1.178 | 13.094 | 77.347   |
| 5   | 0.667 | 7.412  | 84.759   |
| 6   | 0.514 | 5.708  | 90.466   |
| 7   | 0.336 | 3.731  | 94.197   |
| 8   | 0.318 | 3.530  | 97.727   |
| 9   | 0.205 | 2.273  | 100.000  |

从表2可以看出每个主成分包含原来变量的信息载荷情况,对应的载荷系数越大,包含原变量的信息就越多,借此分析各个主成分的内涵。第1主成分对建成区邻域密度、道路密度和城市规划区邻域密度具有较高的载荷量,主要反映城市开发对建设用地适宜性的影响,已有建成区密度大的地方具有良好的道路基础设施,也是未来城市规划重点发展的区域,体现了良好的区位;第2主成分对离工业中心距离和离CBD距离具有较高的载荷量,CBD和工业中心是城市发展的集聚中心,反映社会经济集聚规模效应对建设用地适宜性的影响;第3主成分对坡度和水体邻域密度具有较高的载荷量,坡度较高、水体分布多的区域应该注重生态保护,不适宜开发土地,反映了生态环境保护对建设用地适宜性的影响;第4主成分对于农居点邻域密度具有较高的载荷量,反映了征地拆迁成本对建设用地适宜性的影响;第5主成分对于基本农田密度具有较高的载荷量,反映了由于基本农田布局导致的城市发展的空间及生态约束对建设用地适宜性的影响。综合考虑各个主成分的主要贡献因子,影响中心城区建设用地适宜性的因子按照作用度大小,可以概括为区位、集聚规模效应、生态环境、征地拆迁成本和空间及生态约束等5个主因子。

表2 旋转后的主成分载荷矩阵

| 指标        | 第1主成分 | 第2主成分  | 第3主成分  | 第4主成分  | 第5主成分  |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 农居点邻域密度   | 0.068 | 0.012  | -0.060 | 0.958  | -0.045 |
| 城市规划区邻域密度 | 0.816 | 0.256  | 0.061  | -0.064 | 0.138  |
| 建成区邻域密度   | 0.907 | 0.120  | 0.008  | -0.064 | 0.039  |
| 水体邻域密度    | 0.530 | -0.040 | 0.669  | 0.089  | -0.149 |
| 基本农田邻域密度  | 0.141 | 0.248  | -0.056 | -0.042 | 0.944  |
| 离CBD距离    | 0.188 | 0.773  | -0.178 | 0.125  | 0.214  |
| 离工业中心距离   | 0.071 | 0.872  | 0.153  | -0.085 | 0.086  |
| 坡度        | 0.354 | -0.013 | 0.836  | -0.229 | -0.151 |
| 道路密度      | 0.854 | 0.000  | 0.084  | 0.225  | 0.064  |

从5个主成分在每个空间单元上得分的空间格局(图2)可以看出,PCA变换可以有效地将相关的空间因素对建设用地适宜性的影响分配到相应的主成分上。第1主成分代表原来9个指标中约1/3的信息,因此第1主成分可以初步描述中心城区建设用地适宜性的总体格局,其空间结构呈从已有建成区、主干道沿线以及未来城市规划区向外递减的圈层分布,该区域已有基础设施良好、交通发达,是未来政府基础设施建设投资、住宅开发、商业发展的重点区域,低值区主要分布在城市郊区。第2主成分代表社会经济集聚规模效应对建设用地适宜性的影响,高值区主要是在杭州市高新技术产业开发区之江区块、萧山经济技术开发区、下沙经济技术开发区、半山-石桥重型机械工业区、九堡家电工业区、小河和拱宸桥工业区以及城市中心区域。第3主成分代表生态环境对建设用地适宜性的影响,低值区主要分布在西湖风景区、城北半山、萧山南部的柴岭山和华眉山、西溪湿地、运河以及萧山湘湖和白马湖附近区域。第4主成分代表征地拆迁成本对建设用地适宜性的影响,低值区主要是在主城区和下沙之间的良山东路沿线、萧山城区北部、滨江区南部以及主城区北部的农村地区。第5主成分代表城市发展的空间及生态约束对建设用地适宜性的影响,低值区主要分布在萧山北部的钱江农场和南部的湘湖农场的基本农田保护区。

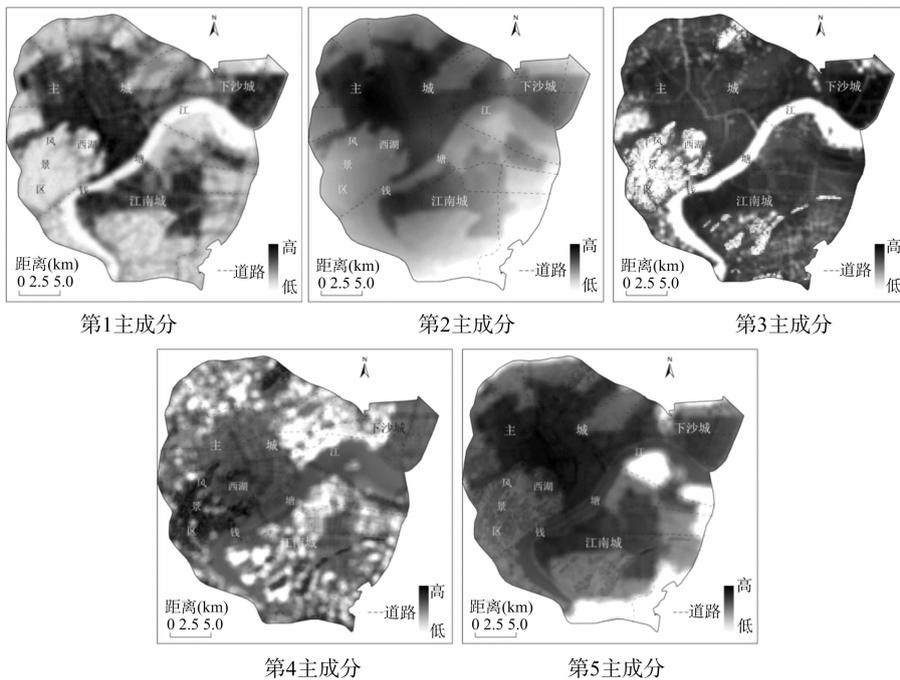


图2 建设用地适宜性5个主成分的空间分布格局

2.2 建设用地适宜性综合评价

影响建设用地适宜性的因素很多,主成分分析得到的5个主成分基本上可以概括影响建设用地适宜性格局的主导因子。利用主成分分析,确定杭州市中心城区建设用地适宜性的综合评价模型如下:

$$Y = 0.3323Y_1 + 0.1743Y_2 + 0.1360Y_3 + 0.1309Y_4 + 0.0741Y_5 \quad (5)$$

式中:Y为建设用地适宜性综合得分;Y<sub>1</sub>为区位因子;Y<sub>2</sub>为集聚规模效应因子;Y<sub>3</sub>为生态环境因子;Y<sub>4</sub>征地拆迁成本因子;Y<sub>5</sub>为空间及生态约束因子。

按照上述评价模型,根据上述各个主导因子的得分,可以模拟出杭州市中心城区建设用地适宜性的空间格局(图3)。其空间结构与第1主成分基本一致,呈从已有建成区、主干道沿线以及未来城市规划区向外递减的圈层分布,根据中心城区建设用地适宜性的空间格局,接下来城市的发展可能是中心城区往城区北部,城东往下沙方向,下沙城西部往主城区方向,滨江区沿钱塘江南岸,以及萧山城区往北部发展。

2.3 建设用地适宜性空间格局与城市扩展的对比分析

从理论上讲,在城市发展过程中,建设用地适宜性最高区域应该是优先开发的区域。因此,通过对比分析杭州市中心城区2005—2010年间新增建设用地的分布与本研究分析得到的2005年建设用地适宜性评价的空间格局,以验证本研究结果的现实性。

从遥感解译上看,2005—2010年杭州市中心城区新增建设用地增长情况见图4,新增建设用地50.34 km<sup>2</sup>,发现杭州市中心城区的城市扩展具有10个增长点,分别是文一西路两侧、古墩路和莫干山路两侧、上塘高架两侧、石大快速路北侧、艮山东路和德胜东路两侧、下沙1号大街西侧、下沙城区的填充开发、滨江城区的填充开发、萧山市心北路两侧和萧山城区东北部杭甬高速南侧的工业区,与建设用地适宜性评价所确

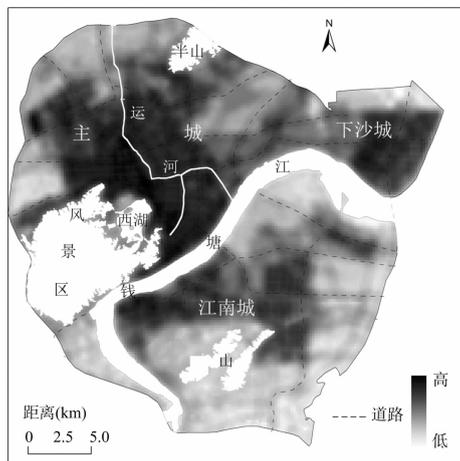


图3 杭州市中心城区建设用地适宜性空间格局

定的适宜性较好的区域基本吻合。具体来看,在研究区范围内,除去已有建设用地、山地、水域、风景保护区和基本农田等用地,共有213.66 km<sup>2</sup>土地可供开发,根据建设用地适宜性评价结果,选取其中50.34 km<sup>2</sup>最适宜的用地,则2005—2010年间,在栅格尺度上有14.31 km<sup>2</sup>约30%的新增建设用地位于该区域内。若将213.66 km<sup>2</sup>可开发土地分别按30%、30%、40%的比例划分为适宜性一等、二等、三等,则2005—2010年间位于一等、二等、三等的新增建设用地分别为47.16%、30.18%、22.66%。本研究确定的杭州市中心城区建设用地适宜性的评价结果可作为杭州市城市土地开发决策依据是科学合理的。

3 结论

本研究借助GIS空间分析技术,利用主成分分析方法对杭州市中心城区建设用地适宜性进行了综合评价,主要得出

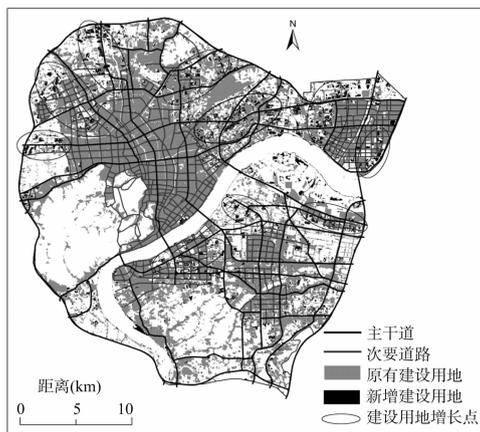


图4 2005—2010年杭州市中心城区建设用地的增长

以下结论:(1)杭州市中心城区建设用地的适宜性的空间格局呈从已有建成区、主干道沿线以及未来城市规划区向外递减的圈层分布,城市的适宜发展区可能是中心城区往城区北部,城东往下沙方向,下沙城西部往主城区方向,滨江区沿钱塘江南岸,以及萧山城区往北部发展,这与杭州市城市发展战略从“西湖时代”走向“钱塘江时代”相吻合。(2)影响中心城区建设用地的适宜性的影响因素以经济适宜性为主,兼顾生态适宜性,按重要性依次为区位、集聚规模效应、生态环境、征地拆迁成本和空间及生态约束。其中,建成区邻域密度、道路密度和城市规划区邻域密度是影响中心城区建设用地的适宜性的关键因素,决定了中心城区建设用地的适宜性的总体格局;离工业中心距离和离 CBD 距离对于城市周边开发区以及城市中心区域的建设用地的适宜性有着重要影响;坡度、水体邻域密度、农居点邻域密度和基本农田密度则是影响建设用地的适宜性的次要因素。(3)建设用地的适宜性是城市土地开发决策的重要依据,通过对比分析 2005 年杭州市中心城区建设用地的适宜性空间格局与 2005—2010 年中心城区新增建设用地的分布情况,建设用地的适宜性高的区域正是城市开发概率较高的区域,2005—2010 年位于建设用地的适宜性一等、二等、三等区域内的新增建设用地的占比分别为 47.16%、30.18%、22.66%。本研究针对中心城区特点选取指标体系是科学合理的,利用主成分分析方法确定建设用地的适宜性评价结果可为杭州市中心城区建设用地的优化布局与结构调整提供借鉴与参考。

#### 参考文献:

[1] 黄杏元,倪绍祥,徐寿成,等. 地理信息系统支持区域土地利用决策的研究[J]. 地理学报,1993,48(2):114-121.

[2] Hopkins L D. Methods for generating land suitability maps; a comparative evaluation[J]. Journal for American Institute of Planners,1977,34(1):19-29.

[3] Collins M G, Steiner F R, Rushman M J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements[J]. Environmental Management,2001,28(5):611-621.

[4] McHarg I. L. 设计结合自然[M]. 芮经纬,译. 北京:中国建筑工业出版社,1992.

[5] 马天峰. 城市规划中的土地适用性分析研究[J]. 规划师,2008,24(6):71-74.

[6] 南晓娜. GIS 支持下的山地城市建设用地适宜性评价研究[D]. 西安:西北大学,2009.

[7] 吴次芳,王建弟,许红卫,等. 城市土地资源分类评价及其与土地优化配置的关系[J]. 自然资源学报,1995,10(2):158-164.

[8] Marull J, Pino J, Mallarach J M, et al. A land suitability index for strategic environmental assessment in metropolitan areas[J]. Landscape and Urban Planning,2007,81(3):200-212.

[9] 尹海伟,孔繁花,罗震东,等. 基于潜力-约束模型的冀中南区域建设用地适宜性评价[J]. 应用生态学报,2013,24(8):2274-2280.

[10] 许嘉巍,刘惠清. 长春市城市建设用地适宜性评价[J]. 经济地理,1999,19(6):101-104.

[11] 何丹,金凤君,周璟. 资源型城市建设用地适宜性评价研究——以济宁市大运河生态经济区为例[J]. 地理研究,2011,30(4):655-666.

[12] 张雷,宗跃光,杨伟. 基于 GIS 的城市建设用地生态适宜性评价——以福建省连城县为例[J]. 山东师范大学学报:自然科学版,2008,23(3):94-98.

[13] 黄丽明,陈健飞. 广州市花都区城镇建设用地适宜性评价研究——基于 MCR 面特征提取[J]. 资源科学,2014,36(7):1347-1355.

[14] 薛继斌,徐保根,李湛,等. 村级土地利用规划中的建设用地的适宜性评价研究[J]. 中国土地科学,2011,25(9):16-21.

[15] 石龙宇,黄云凤,崔胜辉,等. 半城市化地区土地适宜性评价方法及应用——以厦门市集美区为例[J]. 中国土地科学,2010,24(5):53-57,63.

[16] 彭晓晴,赵克飞. 基于 GIS 的山地城镇空间拓展土地适宜性评价——以大埔县为例[J]. 热带地理,2013,33(4):480-488.

[17] 叶斌,程茂吉,张媛明. 城市总体规划城市建设用地适宜性评定探讨[J]. 城市规划,2011,35(4):41-48.

[18] Xu K, Kong C F, Li J F, et al. Suitability evaluation of urban construction land based on geo-environmental factors of Hangzhou, China[J]. Computers & Geosciences,2011,37(8):992-1002.

[19] Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview[J]. Progress in Planning,2004,62(1):3-65.

[20] 王琳,朱天明,杨桂山,等. 基于 GIS 空间分析的县域建设功能空间分区研究——以江苏省昆山市为例[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(7):725-731.

[21] 刘贵利,顾京涛. 土地适宜性评价引导的城市发展方向选择——以汕头市为例[J]. 城市发展研究,2008(增刊):290-296.

[22] 宗跃光,王蓉,汪成刚,等. 城市建设用地生态适宜性评价的潜力-限制性分析——以大连城市化区为例[J]. 地理研究,2007,26(6):1117-1126,图版 1,3.

[23] 王海鹰,张新长,康停军. 基于 GIS 的城市建设用地适宜性评价理论与应用[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(1):14-17.

[24] 梁艳平,刘兴权,刘越,等. 基于 GIS 的城市总体规划用地适宜性评价探讨[J]. 工程勘察,2001,37(2):51-53,58.

[25] 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.

[26] 李猷,王仰麟,彭建,等. 基于景观生态的城市土地开发适宜性评价——以丹东市为例[J]. 生态学报,2010,30(8):2141-2150.

[27] 荆世和. 土地资源与利用[M]. 厦门:厦门大学出版社,2000.

[28] 冯健. 转型期中国城市内部空间重构[M]. 北京:科学出版社,2006.