

DOI: 10.5846/stxb201804100817

张亮,岳文泽.城市生态空间的多元综合识别研究——以杭州市为例.生态学报,2019,39(17): - .

Zhang L, Yue W Z. Integrated recognition of urban ecological space: A case study on Hangzhou. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): - .

# 城市生态空间的多元综合识别研究 ——以杭州市为例

张 亮<sup>1,2</sup>, 岳文泽<sup>2,\*</sup>

1 浙江树人大学城建学院, 杭州 310058

2 浙江大学土地科学与不动产研究所, 杭州 310058

**摘要:**城市生态空间是维护城市生态安全和提供持续生态服务的基本保障。以杭州市为研究区,从城市生态斑块的自然、人工以及自然-人工交互的属性特征 3 个方面选取了 12 个评价因子建立辨识指标体系,采用空间加权叠加的方法评价生态空间强度并识别核心型、辅助型、底线型生态空间和非生态空间 4 种类型。研究表明:(1)建立的辨识体系较好地反映了城市生态空间分布情况,适用于城市生态空间识别;(2)核心生态空间以林地为主要用地类型,集中分布在城市西翼,辅助型生态空间围绕核心生态空间周边。两类生态空间分别占总面积的 21.28%、20.33%。(3)杭州市生态空间在分布上呈现出局部聚集的特征。以北部余杭区分布最为集中,且斑块连通度较高。城市不同区域生态空间分布特征具有较大差异性,针对其空间分布与生态功能提出不同的管理建设措施,能够为研究区未来的生态基础设施建设与维护提供科学依据。

**关键词:**生态安全;生态空间;加权叠加;杭州

## Integrated recognition of urban ecological space: A case study on Hangzhou

ZHANG Liang<sup>1,2</sup>, YUE Wenzhe<sup>2,\*</sup>

1 Urban Construction College, Zhejiang Shuren University, Hangzhou 310058, China

2 Institute of Land Science and Real Estate, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

**Abstract:** Urban ecological space is the basic guarantee for maintaining ecological safety and providing sustainable ecological services. An integrated identification index system is established on the basis of natural, artificial, and natural-artificial interactive attributes of the ecological patch, considering its own functions and structural importance in the landscape. We used Hangzhou as an example to assess urban ecological space on the basis of the index system in combination with spatial weighted superposition. The results show that this index system reflects the layout of the urban ecological space well, attesting its feasibility for urban ecological space identification. Four types of urban ecological space, namely, core, auxiliary, transitional, and non-ecological space, were identified. The core ecological space, which mainly consists of forest land, is situated in the western part of the city, whereas the auxiliary ecological space is located around the core ecological space. These two types account for 21.28% and 20.33% of the areas, respectively. The spatial distribution of ecological space in Hangzhou is characterized by local agglomeration. The ecological space is concentrated mostly in the northern suburb, where patch connectivity index is high. The distribution characteristics of ecological space vary greatly in different urban areas. All these results provide a scientific basis for future construction and protection of ecological infrastructure in the study area.

**基金项目:**中国科学院战略性先导科技专项(XDA20040400);国家自然科学基金项目(41671533,41871169);中央高校基本业务费校长专项资助(2017XZA216)

收稿日期:2018-04-10; 网络出版日期:2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzyue@zju.edu.cn

**Key Words:** ecological security; ecological space; weighted overlay; Hangzhou

城市是城市居民在生产、生活中改造和适应周围自然环境基础上建立起来的自然-经济-社会复合生态系统<sup>[1]</sup>。人口的高度集聚使城市生态系统安全更具脆弱性<sup>[2]</sup>。快速城市化进程下,城市生态安全问题逐渐成为国内外学者和组织共同关注的热点<sup>[3-4]</sup>。为减弱城市生态问题,许多城市纷纷把公共绿地、水体等提供城市生态功能的用地空间作为保障生态系统稳定、社会经济发展和居民身心健康不可或缺的支持性“基础设施”<sup>[5-8]</sup>来维护。在空间上有效辨识维护城市生态安全的关键性区域,对合理规划城市空间格局,明确可持续发展空间,保护城市生态环境具有重要的现实意义。

“生态空间”一词来源于“绿色空间(Green Space)”。19世纪60年代后期,欧美学者开始从城市角度审视生态空间发展,形成了一系列关于人类与生态环境关系的著作<sup>[9]</sup>。国内学者从1990年开始正式使用“景观生态空间”一词<sup>[10]</sup>,并从生态功能论和生态要素论这两种视角探索其概念内涵<sup>[11]</sup>。有学者将其定义综合归纳为:城市地表人工、半自然或自然的植被及水体等生态单元所占据的为城市提供生态系统服务、维护区域关键生态过程、维持区域生态安全和可持续发展的空间<sup>[11-13]</sup>。当前,生态空间的研究主要集中在空间识别和评价<sup>[12,14]</sup>、生态空间格局及演化特征分析<sup>[15-16]</sup>、生态空间重构与优化<sup>[17-19]</sup>、生态空间规划与管控<sup>[20-21]</sup>、生态用地需求规模测算<sup>[22-24]</sup>等方面。在空间识别方面,得益于3S技术和新型数据的发展,为提取生态空间信息开辟了新路径<sup>[14]</sup>。从现有研究来看,城市生态空间辨识研究体现在生态安全格局中源地确定<sup>[25-26]</sup>以及城市生态基础设施识别<sup>[27-31]</sup>两个方面。前者从生态斑块在安全格局中的作用出发,通过识别源斑块和廊道等生态安全格局组分确定生态空间;后者从生态基础设施评价角度辨识生态核心区域。辨识方法可分为两类:一类是直接识别<sup>[32-35]</sup>。基于多光谱的遥感影像,依据斑块的大小和形状对地物要素进行识别,或根据可获取的资料和空间数据,将符合一定面积标准的林地、湿地、主要河流、生态保护区、自然保护区和风景名胜区的核心区直接提取作为生态空间。第二种是以多因子构建综合指标体系评价斑块<sup>[30,36-38]</sup>或生态功能重要性<sup>[13]</sup>。第一种方法简单明确,易于操作,但没有统一的选取标准,需要根据经验和研究区实际情况进行具体分析。斑块选取相对主观,识别准确性依赖于所获取空间数据的精确性。后者通过建立指标体系,从多个角度选取指标,较为灵活、全面,更适宜生态空间的识别。在指标选取中大部分研究侧重考虑生态斑块自身功能属性,而忽略生态斑块在整个基质景观中的空间结构重要性以及与周围环境间的关系<sup>[39]</sup>。鉴于此,研究参考不同的识别方法,充分吸收以往方法的基础上,从城市这一自然-经济-社会复合生态系统属性出发,兼顾生态斑块自身功能以及斑块与景观环境之间关系,以综合全面的角度构建城市生态空间辨识方法体系,为生态斑块识别提供技术参考。研究选取了长三角地区经济发展与生态环境交互频繁的杭州市进行案例研究。快速城市化下,杭州市湿地、耕地等用地面积变化迅速,城市生态空间保护与城市空间增长的用地需求存在强烈的空间利益博弈。通过识别城市生态空间,明确城市关键性保护区域,并对杭州市生态安全现状提出建议,对于快速城市化下提高城市生态服务功能,构建生态基础设施网络具有重要的现实意义。

## 1 研究区域与数据

### 1.1 研究区概况

杭州市位于长江三角洲南翼,浙江省的西北部,京杭大运河南端,东临杭州湾。杭州既是长三角经济区核心城市之一,也是浙江省政治、经济、文化、金融中心。区域地势西高东低,西部属浙西丘陵区,东部属浙北平原,自西向东地貌结构的层次和区域过渡性十分明显。城市森林覆盖率达64.77%,水文特征明显,河网与湖泊密布,具有典型的“江南水乡”特征。世界上最长的人工运河—京杭大运河和以大涌潮闻名的钱塘江穿城而过。区域内拥有西湖风景区、西溪湿地公园等国家级风景名胜区。整个城市形成江、河、湖、山交融的自然景观。研究以杭州中心城区为对象,即所辖上城、下城、拱墅、西湖、江干、滨江、余杭和萧山8个行政区的辖区范围。

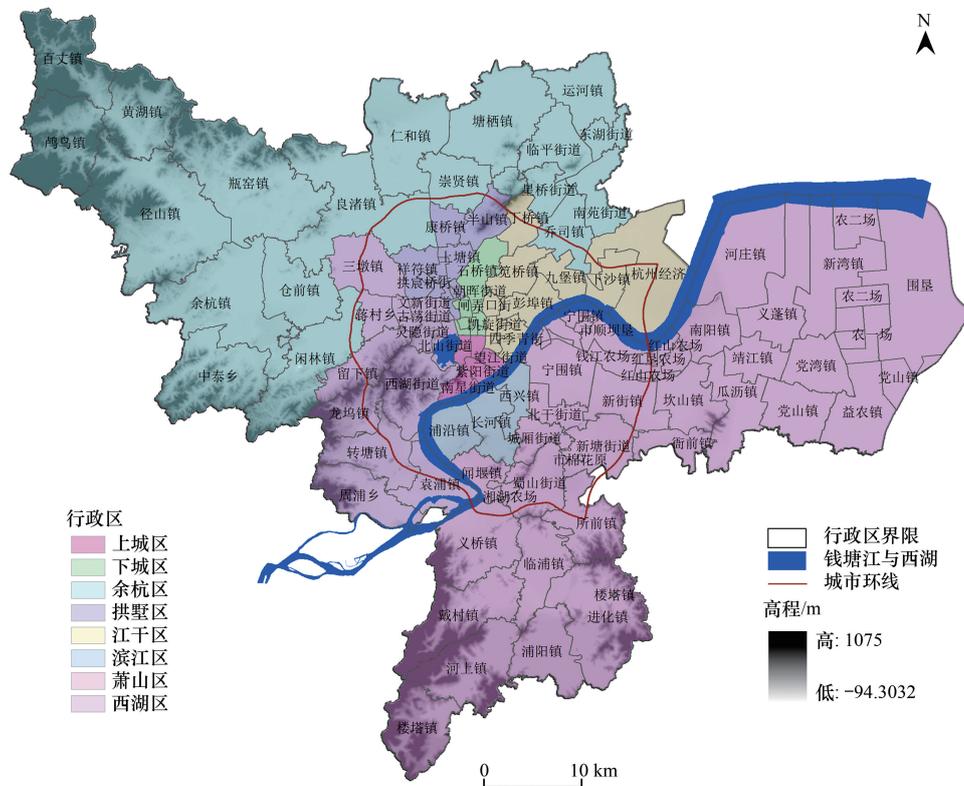


图 1 研究区概况

Fig.1 The general situation in the study area

### 1.2 研究数据支持

研究数据主要包括基础地理信息数据、土地利用数据、遥感影像数据、社会经济发展数据 4 个方面的数据文件。基础地理信息数据包括美国国家航天局(National Aeronautics and Space Administration, 简称 NASA) 研制提供的全球 30 米数字高程模型数据(Digital Elevation Model, 简称 DEM)、城市交通数据、行政区划空间数据等。其中,城市交通数据包括一般市区道路、城市环线、地铁、省道、国道、铁路的矢量图层(2015 年)。行政区划数据包括中心城区行政界线、区级行政界线以及街道(乡镇)行政界线。土地利用数据主要是 2015 年遥感解译后形成的土地利用现状数据集以及土地调查形成的地质灾害点分布图。遥感影像数据是杭州市中心城区尺度下 2015 年 Landsat8 卫星影像数据。美国国家地理信息中心提供的 DMSP/OLS 夜间灯光数据仅到 2013 年,考虑到对研究时点的影响在可控范围,研究采用 2013 年杭州市夜间灯光数据替代 2015 年。社会经济数据包括 2015 年人口调查数据、2007 年正式批复的杭州市城市总体规划(2001—2020 年)、土地利用总体规划(2006—2020 年)、生态带概念规划(2007—2020 年)、生态功能区划(2006—2020 年)等规划图件。

研究数据如 DEM 数据、Landsat 遥感数据以及 DMSP/OLS 夜间灯光数据分别从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)、美国地理调查局网站(United States Geological Survey, 简称 USGS, <http://glovis.usgs.gov/>)以及美国国家海洋和大气管理局网站(National Oceanic and Atmospheric Administration, 简称 NOAA, <https://ngdc.noaa.gov/>)下载。统计年鉴、规划图件等从杭州市统计局、国土资源局以及建设局收集。运用 ArcGIS 软件将数据统一空间参考,进行初步空间数据处理和分析。

## 2 研究思路与方法

### 2.1 研究思路

城市生态空间作为城市空间不可或缺的部分,是自然系统和人工系统的空间耦合下形成的不同生态服务

功能。研究从这一属性特征切入,借鉴现有的研究<sup>[30,36,39]</sup>,从生态斑块的自然系统特征、人工系统特征以及自然-人工交互系统特征 3 个方面选取相应的评价指标,建立辨识指标体系。自然系统特征是斑块作为自然资源呈现出的禀赋特征,是城市的天然基底;人工系统特征则是体现城市人口活动下形成的完全的人工属性特征;自然-人工交互系统特征既反映了斑块的天然属性,也反映出一定的人工属性。在指标的具体选取上,除了考虑生态斑块自身功能属性,还在每个评价因素层中选择一个指标来反映生态斑块在整个景观结构中的重要性或斑块与周围环境间的关系。建立辨识的初步指标体系后,需要对每个指标空间信息进行处理与提取,统一数据格式并基于一定空间逻辑对数据进行分级和指标权重的赋值,从而进行多指标的栅格运算。通过综合判断形成不同强度等级的生态斑块,以此为依据划分城市生态空间类型。辨识的技术路线如下图 2:

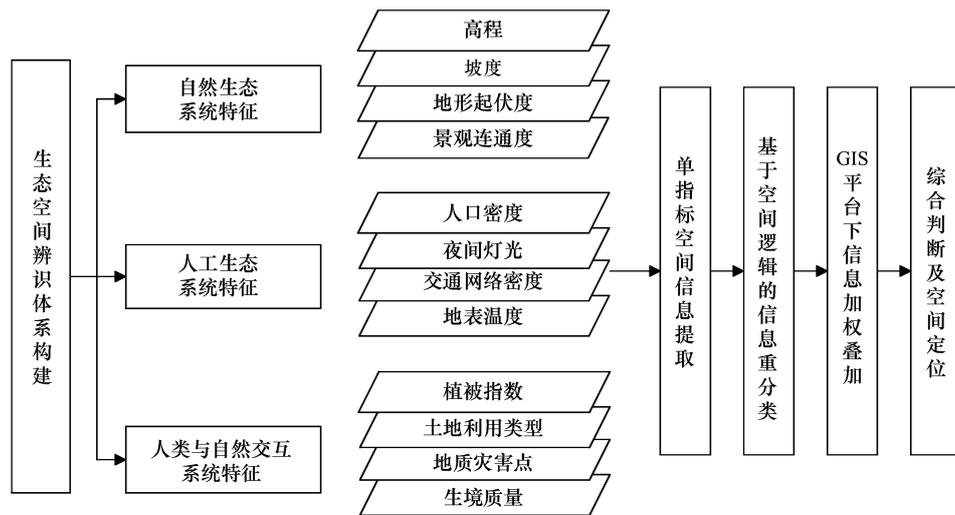


图 2 城市生态空间辨识技术路线

Fig.2 Technology roadmap for identifying urban ecological patch

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 自然生态系统特征评价

自然生态系统特征选取了数字高程模型 (DEM)、地面坡度、地形起伏度和景观连通度 4 个指标来表征。高程表达地表高低起伏,高程越高的城市用地区域越可能担负起水源涵养、动物栖息等生态功能<sup>[30]</sup>。坡度和地形起伏度与生态空间存在呈正相关,坡度越大,起伏度越大的区域,越有可能是生态空间的组成部分。景观连通性则是自然禀赋特征下,衡量景观生态过程的重要指标,反映景观中各生态斑块对维持整个基质景观生态要素流动的便利或阻碍程度<sup>[40]</sup>。维持良好的连通性是保护生物多样性和维持生态系统稳定性和整体性的关键因素之一<sup>[41]</sup>。连通性良好、重要性越高的斑块可以更有效地实现其生态功能<sup>[42]</sup>。

杭州市 DEM 是在美国 NASA 研制提供的全球 30 米数字高程数据基础上,通过研究区界线的矢量图层裁切得到。并借助 ArcGIS 栅格计算器移动窗口法依次对地面坡度、地形起伏度进行计算。景观连通度 (DPC) 是根据生态斑块的可能连通度指数 (PC) 来计算所有生态斑块的空间整体连通度<sup>[43-44]</sup>,利用 ArcGIS 9.3、插件模块 Conefor Inputs for ArcGIS 9. x 和 Conefor Sensinode 2.6,从土地利用现状覆被中提取耕地、林地、园地、湿地以及水域作为生境斑块,研究区整体作为背景景观,计算生境斑块维持景观连通性的重要程度。

### 2.2.2 人工生态系统特征评价

选择人口密度、夜间灯光强度、交通网络密度以及地表温度 4 个指标反映生态斑块的人工生态系统特征。人口密度表示人口在城市内部的分布与密集程度;夜间灯光数据较好表征了城市化水平、经济状况、人口密度、能源消耗等人类活动因子,是人类活动强度和范围的良好体现<sup>[45]</sup>;交通网络密度体现城市交通基础设施建设强度。斑块被交通网络切割,对大面积生态斑块的形成以及斑块与基质景观之间的信息交流会产生影响;地表温度则反映城市热岛效应的强弱程度。这四类指标体现的是人类对于自然系统的干扰强度,与生态

斑块的存在可能性呈现负相关性,即人口密度越大、夜间灯光强度越强、交通网络密度越大、地表温度越高,这一区域成为生态空间的可能性越低。

根据研究区各街道的人口数据借助 ArcGIS 克里金模型插值生成人口密度趋势面获得人口密度图层;夜间灯光强度是对 DMSP/OLS 夜间灯光数据裁切获得;交通网络密度利用 ArcGIS 对道路矢量数据进行线密度计算得到;地表温度指数是利用 ENVI5.1 软件对研究时点的 Landsat8 卫星遥感影像采用辐射传输方程法<sup>[46-47]</sup>进行反演得到。

### 2.2.3 人工与自然生态系统交互特征评价

选取了归一化植被指数、土地利用类型、地质灾害点分布情况及生物质量这四个指标来反映人工与自然生态系统交互下呈现的特征。归一化植被指数能够反映人类活动影响下城市生态系统服务价值,城市内部植被覆盖越繁茂成为生态空间的可能性越大。土地利用类型表达了城市生态系统人工化(或自然化)的相对强度<sup>[30]</sup>。人类生产生活需求下对土地资源进行改造形成了不同的土地利用类型,水域、湿地和林地等能够提供完善的生态功能,成为生态空间的可能性更高,而建设用地、耕地等可能性相对更低。城市的地质灾害高发点和易发点则反映了人类对土地的不合理改造活动造成的结果,是城市发展必须避开的区域,应受到保护和生态修复,这类区域成为生态空间的可能性更高。生境质量反映斑块受干扰程度,体现斑块与周围环境的关系。生境质量越好的区域,往往作为栖息地和生态保育区等,越有可能构成生态空间的重要组成部分。

归一化植被指数借助 ENVI 5.1 波段运算工具对研究区 Landsat 8 的多光谱数据进行运算获得。土地利用类型根据用地现状进行归并,形成耕地、园地、林地、建设用地、水域、湿地以及未利用地 7 大类。地质灾害点图层是根据杭州市国土资源局调查得到的地质灾害点分布情况,利用 ArcGIS 进行缓冲区分析获得。生境质量以 INVEST 模型的 Habit Quality 模块计算得到。

### 2.2.4 因子等级划分与权重赋值

在确定了 12 个评价因子后进行指标空间信息提取和权重赋值(具体指标与计算公式见下表 1)。单因子采取梯度分级赋值的方法,利用 ArcGIS 中的重分类工具,以自然断点法将 11 个因子划分为 9 个等级,并根据各因子对生态斑块强度的正向和负向影响程度,分别赋值 1—9 或 9—1;土地利用类型划分为 7 个等级,针对不同用地类型分别赋值。考虑到 12 个因子中可能存在相关的多变量空间数据,在 ArcGIS 技术支持下,以二维空间中 200 m×200 m 的栅格作为基本操作单元,采用空间主成分分析(SPCA)的方法将把各空间变量对应一个矩阵后,通过主成分分析将相关的空间变量对因变量的影响程度分配到相应的主成分因子,用每个主成分所对应的方差贡献率表示每个指标的权重<sup>[48-49]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态空间的组成及空间分布

根据上述方法进行栅格运算得到每个栅格像元上的生态重要性综合评价结果及其分布,结果值越大,生态重要性越高。统计栅格频率分布,进行突变检测得到突变点,将这些突变点作为分级依据划分为 4 种类型,形成生态空间可能性判定专题图。结果如下图 3:

#### 3.3.1 城市生态空间的类型组成

(1)核心型生态空间。核心型生态空间由高强度斑块(值域范围 616—864)构成,面积约为 684.55 km<sup>2</sup>,占总面积的 21.28%。该区域以林地为主要用地类型,集中分布在城市西北翼的百丈、坞鸟、径山等镇以及南部的塔楼、戴村、河上等镇。该空间内生态斑块分布集中,自然面貌保护较好,包含了西北部釜托寺生态保护区、坞鸟—黄湖山地生态区、径山森林生态保护区以及东明山森林生态保护区;西南部西湖山区生态保护区、中泰-闲林森林生态保护区、龙坞和灵山外围森林生态保护区;南部石牛山和青化山森林生态保护区。核心型生态空间为城市供水源涵养、森林生态保育、空气调节、水源供应、生物多样性保育等重要的生态功能,是生态保护的重点区域。

表 1 辨识指标体系与权重赋值

准则	指标	指标提取或计算公式	权重
Dimensions	Indicators	Indicator interpretation	Weights
自然因素影响 Natural feature	高程	数字高程模型 DEM	0.01
	坡度	根据 DEM 获取坡度信息	0.03
	地形起伏度	根据 DEM 获取地形起伏度信息	0.01
	景观连通度	$PC = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_i a_j P *_{ij} / A_L^2$ $DPC = \frac{PC - PC_{remove}}{PC} \times 100$ <p><math>n</math> 表示景观中斑块总数; <math>a_i</math> 和 <math>a_j</math> 分别表示斑块 <math>i</math> 和斑块 <math>j</math> 的属性(面积); <math>A_L</math> 是研究区的最大景观属性(总面积); <math>P *_{ij}</math> 斑块 <math>i</math> 和斑块 <math>j</math> 之间所有可能路径的最大乘积概率; DPC 表示景观连通的重要程度</p>	0.11
人类影响 Artificial feature	人口密度	以街道人口和街道面积计算人口密度	0.03
	夜间灯光强度	研究区界线裁切 DMSP/OLS 夜间灯光数据	0.05
	交通网络密度	以交通线路进行线密度分析	0.03
	地表温度	Landset8 遥感影像采用辐射传输方程法计算	0.03
自然与人类共同影响 Interactive feature	归一化植被指数	Landsat8 多光谱遥感影像数据计算	0.05
	土地利用类型	划分为耕地、园地、林地、建设用地、水域、湿地和未利用地 7 种类型	0.60
	地质灾害点分布情况	根据地质灾害调查资料将地质灾害点上图后进行点密度分析	0.03
	生境质量	INVEST 模型 Habit Quality 模块计算	0.02

(2) 辅助型生态空间。中等强度的生态斑块(值域范围 490—615)构成了辅助型生态空间,面积约 654.23 km<sup>2</sup>, 占总面积的 20.33%。由耕地、水域、湿地、林地等多种用地类型构成。辅助型生态空间为核心型生态空间提供保护屏障和缓冲地带。其主要分布在钱塘江流域,城市东面围垦区和前进街道,西北部径山和瓶窑镇的核心生态空间周边。该区域以城市湿地保育区和优质耕地区为主,是城市生态控制与协调以及发展生态农业的重要区域。

(3) 底线型生态空间。低强度斑块(值域范围 299—489)面积约 752.43 km<sup>2</sup>, 占总面积的 23.39%。该区域受到人类活动影响,生态功能较弱,是生态因素和人类活动的主要交互区域。底线型生态空间分布于核心生态空间或辅助型生态空间与城市建成区之间,集中在西北部仓前、良渚、仁和镇以及东部党湾、益农镇一带。用地类型以耕地、园地等为主。为城市提供生态农产品生产以及观光休闲娱乐等生态功能。

(4) 非生态空间。非生态斑块(值域范围 108—298)面积约 1126.10 km<sup>2</sup>, 占总面积的 35.00%。区域内以建设用地为主要用地类型。在人类活动强烈影响下,生态强度非常低,表现为城市建成区中公园、绿地、绿化带等形式。

### 3.1.2 城市生态空间分布与管理建议

从行政区来看,上城区、下城区以及拱墅区仅有少量生态空间,以非生态空间为主导。江干区和滨江区有少量辅助型和底线型生态空间,生态斑块类型相对单一,且区域内只有钱塘江作为生态要素对外交流的通道,

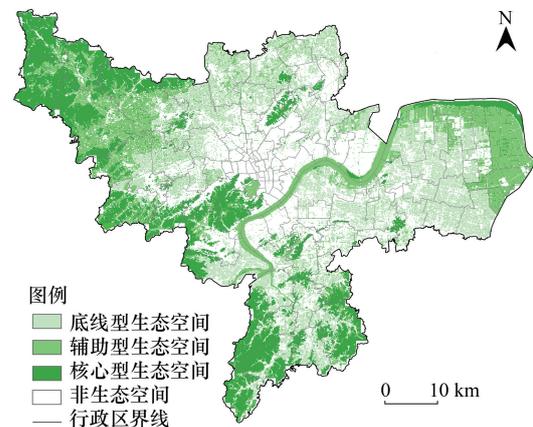


图 3 城市生态空间辨识结果图

Fig. 3 The identification and classification of the urban ecological patch

缺少与其他方向的生态源间联结。这类生态空间易受干扰,未来应以生态维持、污染治理为主,加强生态网络结构建设。西湖区包含有部分城市重要的核心型生态空间,表现为城市的人文和自然景观,为城市提供空气调节、水源供应、山地观光、休闲娱乐、湿地生物多样性保育等重要的生态功能,并承担连接西北部和南部生态空间的作用。西湖区受到城市发展的影响较大,未来该区域应以加强水源涵养、湿地生态保育、生态农业和山地生态旅游为生态建设的重点,通过优化生态网络尽量降低人类活动对区域的负面影响。

城市核心生态空间主要聚集在城市外围的余杭区和萧山区。余杭区高强度生态斑块分布最为集中,斑块连通度高,景观生态功能流通较畅通,能够为城市提供重要的多样性生态功能。未来该区应以维护城市生态安全、保持自然生态功能和系统完整为目的,对区域生态空间和重要生态网络进行有效保护和建设。萧山区的生态空间规模仅次于余杭区,分为南部山地区和东部平原两个重要部分。南部山地区受人类活动影响相对较低。生态建设以加强森林生态保育和区域对外源间联结通道建设为主。东部的生态空间主要集中在沿江区域,这一地区集中了杭州市的优质耕地和湿地,为城市提供湿地生物多样性保育、绿色农产品生产和水产养殖等重要的生态功能。随着城市未来东扩的发展策略影响,东部生态建设应以加强区域生态保育、污染防治与污染控制为重点。

### 3.2 辨识结果与多源数据对比

《杭州市主城区主体功能区划》、《杭州市生态带概念规划》以及《杭州市土地利用总体规划》采用资源环境承载力、生态敏感度评价以及直接识别等方法划定城市中的禁止建设区和限制建设区。将规划中这类空间进行提取,形成多源数据下杭州市的基本生态控制线。主城区主体功能区划的禁止准入区、土地利用规划的禁止建设区、生态带规划的禁止建设区和限制建设区的范围如下图 5。主城区主体功能区划的禁止准入区主要包括 6 个区域:西湖风景名胜保护区、西溪湿地资源保护区、龙坞景区资源保护区、灵山景区资源保护区、长安沙风景保护区以及半山-皋亭山森林资源保护区,面积约为 98.89 km<sup>2</sup>;土地利用规划设置的禁止建设区主要分布在城市西北面和西南面的一级水源保护区和自然保护区等,面积约为 113.64 km<sup>2</sup>。生态带规划的禁止建设区范围相对较广,包括基本农田保护区、地表一级源保护区;限制建设区呈零星状沿着禁止建设区周边,包括自然和人文景观保护区、地质灾害易发生区、山林绿化区以及重要生态廊道。两区面积约为 1705.97 km<sup>2</sup>。土地利用总体规划和主体功能区划的禁止建设区都考虑了钱塘江水体的生态保护,除了城市水域部分,生态带规划的禁止建设区基本涵盖了后两者设定的禁止建设范围。

将多源空间数据进行矢量化,形成城市基本生态控制界限的范围,与核心用地的辨识结果进行对比分析。结果显示,高强度斑块和基本生态控制区域总体无冲突,局部有零星斑块存在不一致。首先,核心型生态空间与规划中划定的生态控制区具有较高的重叠度,超过 94% 面积的核心生态斑块处于生态控制区域范围内,是生态斑块 4 个级别中冲突最小的。可见现行规划中设置的基本生态控制线可以保护绝大部分重要生态斑块,同时也表明这一识别方法是可行的。其次,值域范围集中在 616—737 的高强度斑块中有 43.88km<sup>2</sup>不在基本生态控制区域范围内,主要位于钱塘江南北岸、临浦、戴村以及义桥三镇交接处,瓜沥、坎山以及衙前三镇交界处和益农镇、萧山围垦区交界处。从用地现状来看,属于内陆滩涂、河流水面、城市绿地以及城市周边水田。另外,在城市东面钱塘江水域作为高强度斑块不在基本生态控制区域内。

对不一致区域进行具体分析,发现城市内部作为绿地的生态斑块形状较为规则,受人类活动影响较大,且分布松散。但这类斑块能够为城市提供必要的生态服务功能以及保持城市内部生境质量和景观连接度,作为

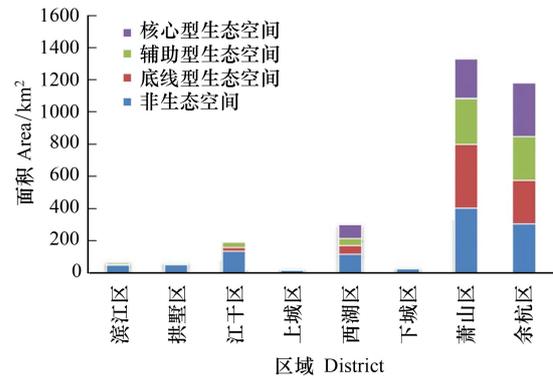


图 4 杭州市各区不同类型生态空间分布统计

Fig.4 The distribute statistics of each grade of ecological patch

核心生态斑块是合理的。而水田和其他农用地等生态斑块,相对集中的斑块可以保留,以维持区域生境质量;零星斑块以及分布独立的小斑块,在人类活动影响下容易改变用途,这类斑块可不再保留为核心生态斑块。另外,水文因素对于杭州市的城市发展起着重要的作用,钱塘江水域和周边内陆滩涂作为城市生态系统的主要构成,其对于人类生活影响起着缓冲作用以及生态保护作用,这部分生态斑块应纳入核心型生态空间范围。

#### 4 结论与讨论

以杭州市为例,研究从城市生态斑块的属性特征出发,以自然生态系统属性、人工生态系统属性以及自然-人工交互系统属性 3 个方面,考虑生态斑块自身属性与斑块在基质景观的作用,选取了高程、景观连通度、地表温度、生境质量等 12 个因子,构建了城市生态空间重要性强度辨识体系。针对其空间分布与生态功能维护提出不同的管理建设措施;对比多源数据综合划定的城市生态控制区,该辨识体系较全面的反映了城市生态空间分布特征,方法具有可行性。

根据生态斑块的重要性强度将杭州城市生态空间划分为核心型、辅助型以及底线型 3 种类型,面积分别为 684.55、654.23、752.43 km<sup>2</sup>。核心型生态空间以林地为主要用地类型,集中分布在城市西北翼以及南部等山地区域,包含城市的多个森林生态保护区;辅助型生态空间的构成类型多样,主要分布在钱塘江流域、城市东面围垦区以及大面积核心生态空间周边,是城市的主要湿地保育区和优质耕地区。这两者是对维持城市生态多样性、水源涵养与水土保持等生态功能具有重要意义。针对不同类型的生态空间建议采取差异化的管理措施以达到保护效益最大化。

本文参考不同的识别方法,在充分考虑吸收以往方法的基础上建立斑块重要性评估方法,虽然兼顾了生态斑块自身功能属性和景观中的重要性,但未来还可以考虑选取更多的反映生态斑块在景观中的空间结构重要性以及与周围环境间关系的指标,进一步完善评价体系。同时,未来研究还可以考虑多个时间序列下的生态空间的识别与对比,以动态变化来深入探讨城市关键性生态空间的保护以及其变化驱动机理。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- [ 2 ] 谢花林,李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. 北京师范大学学报:自然科学版, 2004, 40(5): 705-710.
- [ 3 ] Su S L, Chen X, DeGloria S D, Wu J P. Integrative fuzzy set pair model for land ecological security assessment: a case study of Xiaolangdi reservoir region, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2010, 24(5): 639-647.
- [ 4 ] Gong J Z, Liu Y S, Xia B C, Zhao G W. Urban ecological security assessment and forecasting, based on a cellular automata model: a case study of Guangzhou, China. Ecological Modelling, 2009, 220(24): 3612-3620.
- [ 5 ] Lockhart J. Green infrastructure: the strategic role of trees, woodlands and forestry. Arboricultural Journal, 2009, 32(1): 33-49.
- [ 6 ] Mell I C. Can green infrastructure promote urban sustainability? Engineering Sustainability, 2009, 162(1): 23-34.
- [ 7 ] Tzoulas K, Korpela K, Venn S, Yli-Pelkonen V, Kazmierczak A, Niemela J, James P. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: a literature review. Landscape and Urban Planning, 2007, 81(3): 167-178.
- [ 8 ] Walmsley A. Greenways: multiplying and diversifying in the 21st century. Landscape and Urban Planning, 2006, 76(1): 252-290.
- [ 9 ] 何梅,汪云,夏巍,李海军,林建伟. 特大城市生态空间体系规划与管控研究.北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [ 10 ] 赵景柱. 景观生态空间格局动态度量指标体系. 生态学报, 1990, 10(2): 182-186.
- [ 11 ] 王甫园,王开泳,陈田,李萍. 城市生态空间研究进展与展望. 地理科学进展, 2017, 36(2): 207-218.
- [ 12 ] 周锐,王新军,苏海龙,娄翼来. 平坝山新区生态用地的识别与安全格局构建. 生态学报, 2015, 35(6): 2003-2012.
- [ 13 ] 李益敏,管成文,朱军,余艳红. 基于加权叠加模型的高原湖泊流域重要生态用地识别——以星云湖流域为例. 长江流域资源与环境,

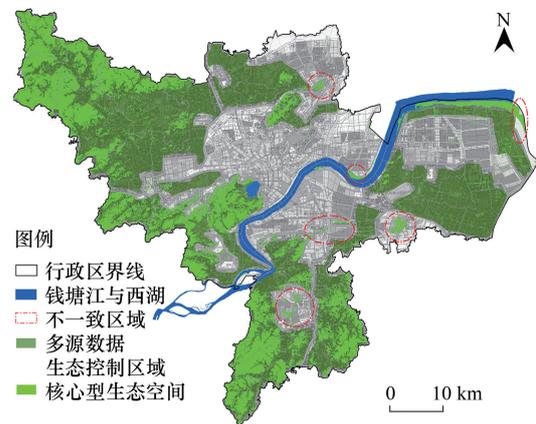


图5 多源数据的生态控制界区与生态空间辨识结果对比  
Fig.5 The area conflict between the important patches and the ecological control area

- 2017, 26(8): 1251-1259.
- [14] 郑子豪, 陈颖彪, 吴志峰, 胡应龙. 基于多源遥感的城市生态用地识别及生态风险评价. 城市观察, 2017, 49(3): 19-30.
- [15] 许尔琪, 张红旗. 中国核心生态空间的现状、变化及其保护研究. 资源科学, 2015, 37(7): 1322-1331.
- [16] 姚娜, 马履一, 杨军, 贾黎明, 段劫, 黄从红. 北京市平原地区 1992—2013 年生态空间演变. 生态学杂志, 2015, 34(5): 1427-1434.
- [17] 郭荣朝, 苗长虹, 夏保林, 李军甫. 城市群生态空间结构优化组合模式及对策——以中原城市群为例. 地理科学进展, 2010, 29(3): 363-369.
- [18] 龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构. 地理学报, 2013, 68(8): 1019-1028.
- [19] 叶兴平, 何常清, 陈燕飞. 低碳生态视角下的江苏省生态空间规划研究. 城市规划, 2013, 37(2): 23-26.
- [20] 李晓丽, 曾光明, 石林, 梁婕, 蔡青. 长沙市城市生态用地的定量分析及优化. 应用生态学报, 2010, 21(2): 415-421.
- [21] 关小克, 张凤荣, 王秀丽, 赵华甫, 姜广辉. 北京市生态用地空间演变与布局优化研究. 地域研究与开发, 2013, 32(3): 119-124.
- [22] 李荷, 杨培峰. 城市自然生态空间的价值评估及规划启示. 城市环境与城市生态, 2014, 27(5): 39-43.
- [23] 欧维新, 赵丽宁, 李冉. 协调生态环境压力的区域生态用地需求模拟——以江苏省为例. 水土保持研究, 2014, 21(4): 274-278.
- [24] 孙琨, 钟林生, 张爱平, 张国平. 城市生态游憩空间休闲价值对比分析——以常熟市为例. 地理研究, 2016, 35(2): 256-270.
- [25] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [26] Yu K J. Ecological Security Patterns in Landscapes and GIS Application. Annals of GIS, 1995, 1(2): 88-102.
- [27] 傅强, 顾朝林. 基于绿色基础设施的非建设用地评价与划定技术方法研究. 城市与区域规划研究, 2015, 7(2): 25-51.
- [28] 李咏华, 马洪蔚, 范雪怡. 基于绿色基础设施评价的城市生态带划定——以杭州市为例. 地理研究, 2017, 36(3): 583-591.
- [29] 陈志毅, 尹海伟. 绿色基础设施导向的城市增长边界研究//规划 60 年: 成就与挑战——2016 中国城市规划年会论文集(04 城市规划新技术应用). 沈阳: 中国城市规划学会, 沈阳市人民政府, 2016: 14-14.
- [30] 汪洋, 赵万民, 段炼. 生态基础设施导向的区域空间规划战略——广州市萝岗区实证研究. 中国园林, 2009, 25(4): 59-63.
- [31] 徐翀崎, 李锋, 韩宝龙. 城市生态基础设施管理研究进展. 生态学报, 2016, 36(11): 3146-3155.
- [32] 何玲, 贾启建, 李超, 张利, 许峰. 基于生态系统服务价值和生态安全格局的土地利用格局模拟. 农业工程学报, 2016, 32(3): 275-284.
- [33] 张玉虎, 于长青, 塔西甫拉提·特依拜, 张自力. 风景区生态安全格局构建方法研究——以北京妙峰山风景区为例. 干旱区研究, 2008, 25(3): 420-425.
- [34] 李晶, 蒙古军, 毛熙彦. 基于最小累积阻力模型的农牧交错带土地利用生态安全格局构建——以鄂尔多斯市准格尔旗为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2013, 49(4): 707-715.
- [35] 李宗尧, 杨桂山, 董雅文. 经济快速发展地区生态安全格局的构建——以安徽沿江地区为例. 自然资源学报, 2007, 22(1): 106-113.
- [36] 朱恒楙, 李锋, 刘红晓, 叶亚平. 城市生态基础设施辨识与模型构建: 以广州市增城区为例. 生态科学, 2016, 35(3): 118-128.
- [37] 赵筱青, 王海波, 杨树华, 徐晓雅. 基于 GIS 支持下的土地资源空间格局生态优化. 生态学报, 2009, 29(9): 4892-4901.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 熊春妮, 魏虹, 兰明娟. 重庆市都市区绿地景观的连通性. 生态学报, 2008, 28(5): 2237-2244.
- [41] Taylor P D, Fahrig L, Henein K, Merriam G. Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos, 1993, 68(3): 571-573.
- [42] Matlack G R, Monde J. Consequences of low mobility in spatially and temporally heterogeneous ecosystems. Journal of Ecology, 2004, 92(6): 1025-1035.
- [43] Pascual-Hortal L, Saura S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. Landscape Ecology, 2006, 21(7): 959-967.
- [44] Saura S, Rubio L. A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. Ecography, 2010, 33(3): 523-537.
- [45] 梁友嘉, 徐中民. 基于 LUCC 和夜间灯光辐射数据的张掖市甘州区人口空间分布建模. 冰川冻土, 2012, 34(4): 999-1006.
- [46] Franc G B, Cracknell A P. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR · data in north-eastern Brazil. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(8): 1695-1712.
- [47] 刘长盛, 刘文保. 大气辐射学. 南京: 南京大学出版社, 1990.
- [48] 潘竟虎, 刘晓. 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——以张掖市甘州区为例. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3126-3136.
- [49] 王琦, 付梦娣, 魏来, 韩煜, 史娜娜, 李俊生, 全占军. 基于源-汇理论和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建——以安徽省宁国市为例. 环境科学学报, 2016, 36(12): 4546-4554.