

# 上海市生态网络体系评价方法研究\*

## Research on Evaluation and Construction of Ecological Network System in Shanghai

阎凯 王宝强 沈清基

文章编号1673-8985 (2017) 02-0082-08 中图分类号TU981 文献标识码A

**摘要** 利用GIS技术,以2009年和2013年上海市TM影像、矢量化道路和绿道网络,以及现状土地利用作为数据源,通过4个非空间组分指数和4个空间配置指数进行景观格局分析,利用反映景观连接度和景观连通性的 $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 及成本比指数进行生态网络评价,以及最小成本路径方法进行生态网络构建。结论认为,研究时间段内,上海市景观斑块的破碎化程度和景观多样性、景观均匀性有所降低,景观连接度略为提升,其中中心城区相较于市域在上述指标的变化上更为明显。最后从斑块和廊道建设两个方面、市域和中心城区两个维度提出关于优化上海市绿地系统景观格局的建议。

**Abstract** Taking the TM image, vector road and green gallery, and the land use of Shanghai as the data source, this paper attempts to analyze the landscape pattern by Spatial Configure Index(SCI) and Non Spatial Component Index(NSCI), to evaluate the ecological network via  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  and cost ration that reflect landscape connectivity properly, and to establish ecological network through the least-cost path method with GIS technology. From what has been discussed above, we draw a conclusion that the fragmentation of landscape patch and the landscape diversity and uniformity have been reduced, while the landscape connectivity has been promoted. Compared to city region, urban center shows an obvious variation in the above indices. Finally from the perspective of both urban center and city region, we offer proposals about how to optimize the green system and landscape pattern by patches and corridors construction.

**关键词** 生态网络 | 评价与构建 | 上海市

**Keywords** Ecological network | Evaluation and construction | Shanghai

### 作者简介

阎凯

同济大学建筑与城市规划学院

博士研究生

王宝强

华中科技大学建筑与城市规划学院

讲师,博士

沈清基 (通讯作者)

同济大学建筑与城市规划学院

高密度区域智能城镇化协同创新中心

教授,博士生导师

### 1 研究背景

生态网络 (Ecological network) 源于北美景观建筑和规划术语,北美较多称为绿道网络 (Greenway network)<sup>[1]</sup>,欧洲则多称为绿地生态网络 (Ecological network)<sup>[2]</sup>,并认为生态网络由核心区域 (Core area)、缓冲带 (Buffer) 和生态廊道 (Ecological corridor) 组成<sup>[3]</sup>,但这种构成具有一定地域性,主要适应欧洲发达国家的自然保护区及农业景观地区,强调解决景观破碎化的问题<sup>[4]</sup>。国内学者大多认为生态网络是由诸如森林、城市公园、山脊线之间形成互利共生的网络,即由斑块—廊道—基质组成的网络系统<sup>[5-6]</sup>。城市生态网络的建设对于城市生态环境改善具有不可替代

的作用,主要体现在4个方面:生态服务功能、保护生物多样性功能、景观游憩功能和引导城市空间发展的功能<sup>[7]</sup>。当前,人类活动和快速城市化进程导致景观破碎化和生境面积减小成为威胁生物生存的普遍性问题,例如城市建设用地无序扩张、农村居民点布局分散、生态景观破碎度大、重要生态廊道被阻断等,造成生态环境可持续发展受到威胁<sup>[8-9]</sup>,因此构建合理有效的生态安全空间格局对特大城市来说显得尤为重要。

2011年上海市建设用地总面积已达2 961 km<sup>2</sup>,占全市陆域总面积的47%,远远超过了《上海市城市总体规划 (1999-2020)》预测的2020年1 500 km<sup>2</sup>的总量。为促进资源约束

\*国家自然科学基金项目“基于洪涝脆弱性评估的城市适灾弹性空间研究”(编号:51608213)、中央高校基本科研业务费资助项目“基于大数据-空间分析技术的城市生态空间信息图谱研究”(HUST:2016YXMS054)资助。同济大学高密度区域智能城镇化协同创新中心、上海同济城市规划设计研究院课题 (KY-2013-C02):基于SSM-ES-GIS的城市生态安全空间格局分析及构建研究部分成果。

条件下的城市发展转型,维护城市生态安全,上海市城市规划设计研究院于2009—2010年开展了《上海市基本生态网络规划》(以下简称《规划》)研究,在建设总量倒逼用地转型的新形势下,该规划旨在通过对非建设区域的优先控制应对城市存量扩容。本文借《规划》研究的契机,利用遥感信息和GIS技术,以景观格局指数分析上海市2009—2013年生态空间(集中于绿地)的景观水平,以景观连接度对上海市道路系统和绿地系统进行拓扑分析,指明网络构建过程中存在的不足和缺陷,以期通过对上海市主要生态空间的景观格局和网络性能的分析,为构建健康合理的上海市生态安全空间格局提供技术支撑和规划建议。

## 2 研究区域生态现状与生态网络分析方法

### 2.1 研究区域生态建设现状

至2008年底,上海市建成区外围现状生态用地(包括耕地、园林地和内陆湿地等)面积约3 895 km<sup>2</sup>(同期现状建设用地总面积约2 860 km<sup>2</sup>),约占陆域总面积的57%(如加上现状建成区内绿地约162 km<sup>2</sup>,生态用地总面积约4 057 km<sup>2</sup>)(图1)。同时,随着上海城市建设和社会经济的快速发展,生态用地保护压力逐渐加大。主要体现在:一是生态用地总量减少趋势比较明显;二是生态连通性不够,整体效益较差;三是生态用地分布不均衡;四是生态空间建设难度比较大<sup>①</sup>。

### 2.2 研究数据来源

#### 2.2.1 景观格局分析数据来源

本研究以2009年和2013年上海市TM影像为遥感数据源,进行波段组合、镶嵌、投影变换、图像增强、裁剪等处理;采用监督分类方法提取不同土地利用类型(图2)。数据预处理过程在ArcGIS 10.0和ERDAS Imagine 9.2支持下完成。原始遥感图像和分类后的土地利用见图3。

#### 2.2.2 生态网络分析数据来源

考虑到数据的可获取性,现状生态网

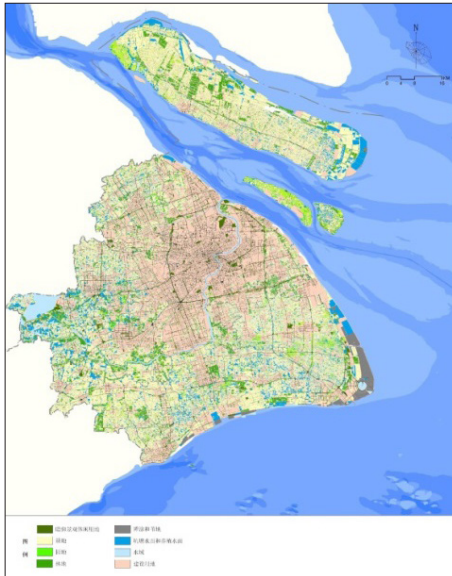


图1 上海市域生态用地现状图  
资料来源:上海市城市规划设计研究院,上海市基本生态网络结构规划, 2008。

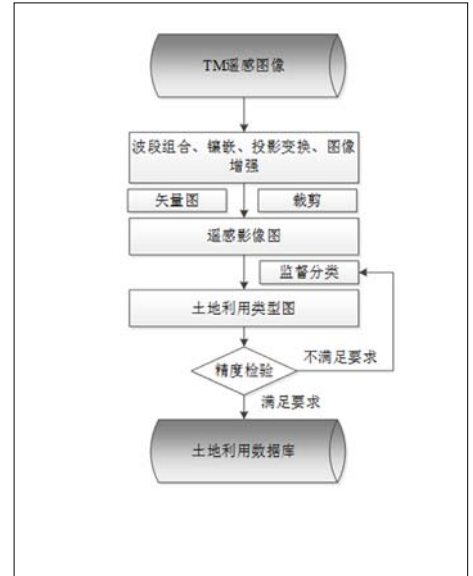


图2 数据预处理流程图  
资料来源:作者自绘。

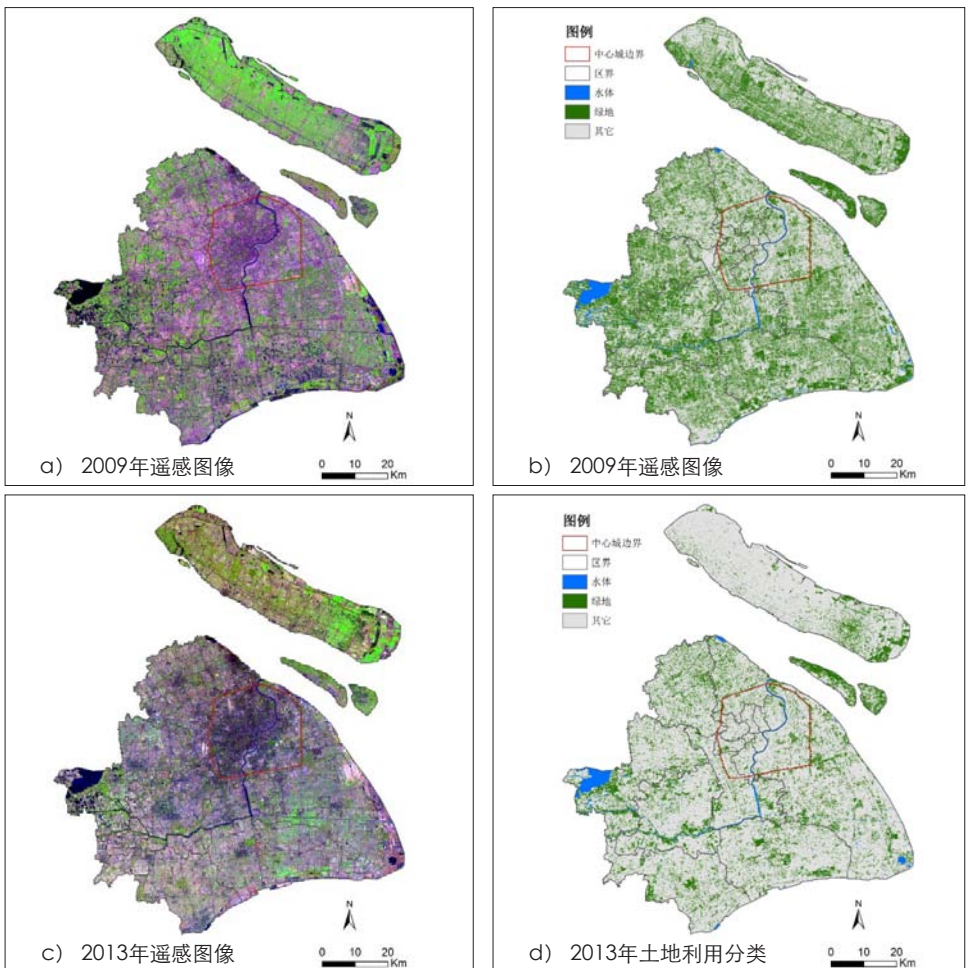


图3 2009年、2013年原始遥感图像和分类后土地利用图  
资料来源:作者自绘。

注释 ①上海市城市规划设计研究院,上海市基本生态网络结构规划, 2008。

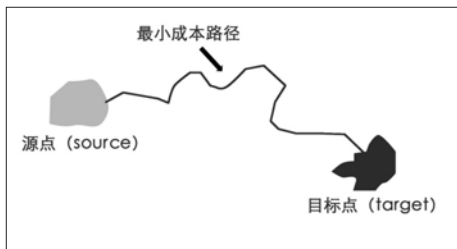


图4 最短路径示意图  
资料来源:作者自绘。

络数据来源于对2010年上海市现状道路和2009年绿道网络的矢量化。现状道路主要分为快速路、主干路和次干路。现状绿道网络数据主要来源于上海市生态用地现状。数字化过程在ArcGIS10.0平台下完成。

### 2.2.3 生态网络构建数据来源

通过遥感解译方法获取土地利用数据,包括生态斑块的识别、农田、水域、建设用地的提取,结合遥感反演获取林地数据,现状道路数据主要通过对地图的矢量化获取。

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 景观格局分析

本研究中,为更好分析上海市生态网络现状,同时为未来构建安全有效的生态网络提供铺垫,将采用景观指数分析上海市现状景观格局。根据景观指标的生态意义,结合研究需要,本研究选择4个非空间的组分指数(Non spatial component index, NSCI)和4个空间的配置指数(Spatial configure index, SCI)。4个非空间的组分指数分别为斑块密度 (Patch density, PD)、边界密度 (Edge density, ED)、平均斑块面积 (Mean patch size, MPS) 和Shannon多样性指数 (Shannon's Diversity Index, SHDI), 4个空间配置指数分别为景观形状指数 (Landscape shape index, LSI)、平均斑块分维数 (Mean patch fractal dimension, MPFD)、欧式最近邻近距离 (Euclidean Nearest Neighbor Distance, ENN) 和连接度 (Connectance index, CONNECT) ②。

### 2.3.2 生态网络评价

景观连接度和景观连通性都是衡量景观

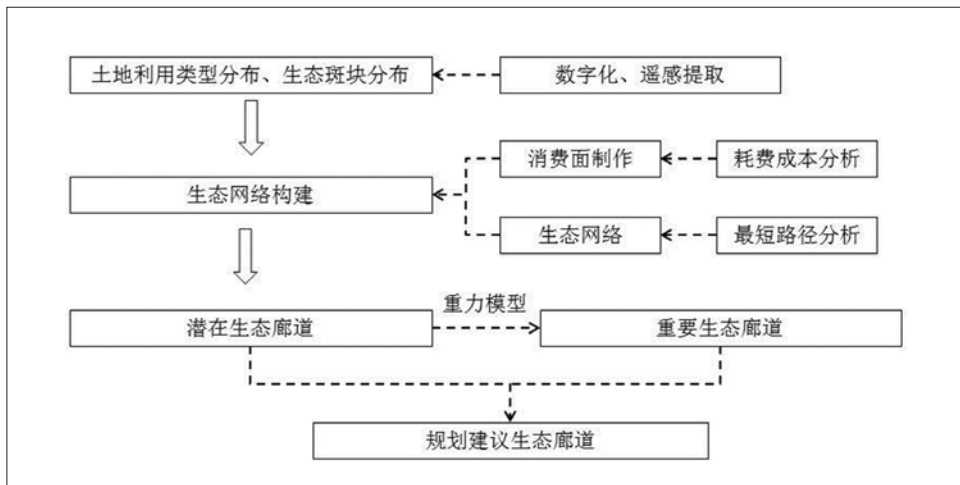


图5 生态廊道提取流程图  
资料来源:作者自绘。

生态过程的重要指标<sup>[10]</sup>。本研究利用拓扑指数对上海景观生态网络连接度和连通性进行描述,通过指数计算,描述城市景观生态网络在空间上的耦合关系及其生态效能,强调网络之间的生态耦合途径及其生态功能的整体性和有机性,通过上述分析指明上海市道路网络系统和绿地网络系统现状发展的概况和不足。

#### (1) $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 指数

$\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  指数是以拓扑空间为基础产生的,主要揭示节点和连接数的关系,反映网络的复杂程度,但并不能反映实际距离、线性程度、连接线的方向及节点的确切位置。

$\gamma$  是网络中连线的数目与该网络最大可能的连线数之比。以L表示网络中实际存在的连线数, V表示网络中实际的节点数,通过V可以确定最大可能的连线数Lmax。 $\gamma$  取值在0到1之间, 0表示节点间没有连线, 1表示每个节点间都相互连通。 $\gamma$  指数为:  $\gamma = L / L_{max} = L / (V - 2)$ 。

$\alpha$  指数为网络环通路的量度,又称环度,是连接网络中现有节点的环路存在的程度。网络连接度的 $\alpha$ 指数的变化范围在0(网络无环路)和1(网络具有最大环路数)之间。 $\alpha$ 指数为:  $\alpha = (L - V + 1) / (2V - 5)$ 。

$\beta$  指数是度量一个节点与其他节点联系难易程度的指标。以L表示网络中实际存在的

连线数;V表示网中实际的节点数,则 $\beta$ 指数为:  $\beta = L / V$ 。

#### (2) 成本比

成本比指数用来量化网络的平均消费成本,主要反映网络的有效性。具体计算公式如下:

$$\text{Cost ratio} = 1 - l/d$$

其中式中Cost ratio为成本比指数, l为网络廊道数, d为整个廊道长度。

### 2.3.3 生态网络构建

本研究拟采用最小路径方法 (Least-Cost Path method, LCP) 对现有上海生态源地进行识别,判定影响生态网络构建的阻力因素,在上述基础上构建安全合理的生态网络系统。最短路径是用来计算并显示从源点到目标点的最短路径或最小成本路径,该路径是生物物种迁移与扩散的最佳路径 (图4),可以有效避免外界的各种干扰,利用这一分析方法可以找到可通达性考虑得到的最好的路线。基于最小消费路径的生态网络构建过程大致可以分为生态源地辨识、景观阻力评价、消费面制作、生态网络构建4个步骤<sup>[11]</sup>。在构建潜在生态网络基础上,结合重力模型提取重要生态廊道,最后在上述网络构建基础上,提出规划建议生态廊道 (图5)。

#### (1) 生态源地辨识

大型生境斑块为区域生物多样性提供了重要的空间保障,是区域生物多样性的重

注释 ②王海珍. 城市生态网络研究. 华东师范大学, 2005.



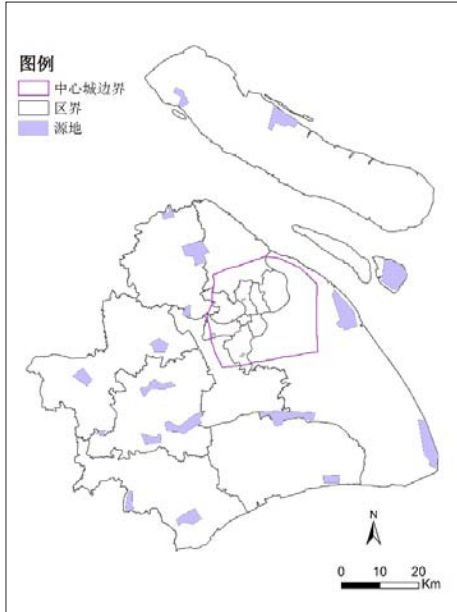


图6 选取的上海地区生态源地  
资料来源:作者自绘。

要源地。根据上海市区域的自然生态特点,将自然保护区、森林公园、风景林、大型林地等生境较好的斑块确认为源 (Source) 或目标 (Targets)。以尽量选择野生动物栖息地为原则,同时结合面积大小和空间分布格局,选取21个斑块作为区域生物多样性的“源地 (Sources)”(图6),总面积为307.21 km<sup>2</sup>。

(2) 景观阻力评价

生境适宜性是指在某一生境斑块对物种生存、繁衍、迁移等活动的适宜性程度。景观阻力是指物种在不同景观单元之间进行迁移的难易程度,它与生境适宜性的程度呈反比,斑块生境适宜性越高,物种迁移的景观阻力就越小。根据上海的土地利用现状,结合数据的可获取性,确定了不同土地利用类型或生境斑块的景观阻力大小 (表1)。

(3) 重要生态网络的提取

源与目标之间的相互作用强度能够用来表征潜在生态廊道的有效性和连接斑块的重要性。大型斑块和较宽廊道生境质量均较好,会大大减少物种迁移和扩散的景观阻力,增加物种迁移过程中的幸存率。基于重力模型 (Gravity model),构建生境斑块 (源与目标) 间的相互作用矩阵。然后,根据矩阵结果,将

表1 不同土地利用类型的景观阻力值

土地利用类型	具体说明	阻力取值范围
自然保护区	国家级、省级等	1
城市绿地	公园绿地、广场绿地	3
森林公园	国家级、省级	5
风景名胜区	国家级、省级	15
林地	NDVI <sup>③</sup> ≥ 0.1	3
	0 ≤ NDVI < 0.1	5
农业用地	NDVI < 0	9
	—	50
水域	主要水系、大中型水库	300
	一般水系、小型水库	200
建设用地	—	1 000
	高速和铁路	1 000
交通用地	国道、省道、快速路	800
	主干路、次干路	500

资料来源:尹海伟,孔繁花.城市与区域规划空间分析实验教程[M].南京:东南大学出版社,2014。

表2 2009年、2013年上海市域和中心城区绿地在斑块类型水平上的景观指数

景观指数	2009年		2013年	
	市域	中心城区	市域	中心城区
斑块密度 (PD) (个/km <sup>2</sup> )	12.52	18.10	16.72	22.61
边界密度 (ED) (m/hm <sup>2</sup> )	147.65	132.23	83.44	84.62
平均斑块面积 (MPS) (hm <sup>2</sup> )	3.18	1.60	1.09	0.65
平均斑块分维数 (MPFD)	1.05	1.05	1.04	1.04

资料来源:作者自制。

相互作用力大于一定阈值的潜在重要生态廊道提取出来,并剔除经过同一绿地斑块而造成冗余的廊道,得到规划研究区最终的重要生态廊道。重力模型的计算公式如下:

$$G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \frac{\left[ \frac{1}{P_a} \times \ln(S_a) \right] \left[ \frac{1}{P_b} \times \ln(S_b) \right]}{\left( \frac{L_{ab}}{L_{max}} \right)^2}$$

$$= \frac{L_{max}^2 \ln(S_a) \ln(S_b)}{L_{ab}^2 P_a P_b} \quad (1)$$

式中G<sub>ab</sub>是生境斑块a和b之间的相互作用力, N<sub>a</sub>和N<sub>b</sub>分别是两斑块的权重值, D<sub>ab</sub>是a和b两斑块间潜在廊道阻力的标准化值, P<sub>a</sub>为斑块a的阻力值, S<sub>a</sub>是斑块a的面积, L<sub>ab</sub>是斑块a到b之间廊道的累积阻力值, L<sub>max</sub>是研究区中所有廊道积累最大阻力值。

3 结果分析

3.1 景观格局结果分析

3.1.1 斑块类型水平上的景观格局分析

对上海市2009年、2013年市域和中心城区绿地进行景观格局分析,得到一系列在斑块类型水平上的景观指数 (表2)。2013年市域范围绿地系统斑块密度从12.52个/km<sup>2</sup>增加到16.72个/km<sup>2</sup>、平均斑块面积从3.18 hm<sup>2</sup>下降到1.09 hm<sup>2</sup>,这两个指数的变化直接反映出绿地系统的破碎化程度呈现明显的上升趋势,主要和城市化进程中人类活动对绿地的作用加强有关,由此引起斑块破碎化现象突出。反映斑块边界特征的边界密度由147.65 m/hm<sup>2</sup>下降到83.44 m/hm<sup>2</sup>,平均斑块分维数有所下降,表明绿地系统斑块形状的复杂性程度有所下降。景观斑块形状对斑块内部生态过程有一定的影响,如动物迁移、物质交流等。在景观面积相同的情况下,景观

注释 ③NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 为归一化植被指数。

表3 2009年、2013年上海市域和中心城区绿地在景观类型水平上的景观指数

景观指数	2009年		2013年	
	市域	中心城区	市域	中心城区
景观形状指数 (LSI)	425.97	146.51	299.32	70.92
欧氏最近邻体距离 (ENN) (m)	74.98	70.25	83.42	92.00
连接度指数 (CONNECT)	1.25	10.78	1.27	10.82
多样性指数 (SHDI)	1.16	1.11	1.08	0.69
均匀性指数 (SHEI)	0.83	0.80	0.78	0.50

资料来源:作者自制。

有较长的边界和形状较复杂的斑块,意味着拥有更多物质和能量交换的机会。2013年市域范围内绿地系统平均斑块分维数下降说明景观和景观要素之间较难进行能量、物质等的流动。2009年到2013年中心城区的斑块类型的景观指数变化情况和市域范围类似。值得说明的是,无论是2009年还是2013年,中心城区斑块密度比市域范围要大、平均斑块面积比市域范围要小,说明中心城区的绿地系统破碎化程度高于市域范围,城市化对中心城区的绿地系统影响更大。而中心城区的边界密度、平均斑块分维数和市域类似,说明中心城区和市域相比,绿地斑块的复杂程度类似。

### 3.1.2 景观类型水平上的景观格局分析

对2009年和2013年绿地系统景观格局进行分析,得到一系列景观水平上的景观指数(表3)。从市域范围来看,2013年景观形状指数由425.97降低到299.32。景观形状指数是反映景观形状复杂性的指标,景观形状复杂性降低说明景观为物质、能量计物种提供迁移和流动的机会下降。景观多样性是生物多样性的研究内容和组成部分,是对景观水平上生物组成多样性的反映,景观多样性指数从1.16下降到1.08,反映了景观多样性下降,具体表现为各景观要素所占比例有所上升。景观格局多样性下降,说明提供多样化生境机会降低,生物多样性有所下降。景观均匀性指数由0.83下降到0.78,表明景观中每种类型斑块分布的均匀程度有所恶化,即景观均质性下降。欧氏最近邻体距离是测量同一类型斑块之间的相对距离的指数,可

以作为景观连接度的替代指数。欧氏最近邻体距离由74.98 m增加到83.42 m,以及连接度指数也有所上升,反映了景观在连接度方面的改善。景观连接度反映景观中各元素有利或不利于生物群体在不同斑块之间迁移、觅食的程度,反映同类或异类斑块之间的景观元素、能量的交换和迁移过程。景观连接度的提高对于破碎景观中动植物栖息地、生物多样性保护与生物资源管理方面具有重要意义。从中心城区与市域比较来看,2009年和2013年中心城区景观形状指数小于市域、景观多样性指数低于市域、景观均匀性指数低于市域,说明中心城区景观要素更加单一,景观多样性和均匀性较低。且中心城区欧氏最近邻体距离低于市域、连接度高于市域,说明中心城区景观连接度优于市域范围,有利于保护生物多样性和生物资源。

## 3.2 生态网络评价结果

### 3.2.1 上海市城市景观生态网络 $\gamma$ 指数分析

通过对上海市景观生态网络连接度计算,道路网络( $\gamma=0.61$ )和绿地网络( $\gamma=0.64$ )均达到0.6以上,说明绿地网络和道路网络的网络连接度均较好,连接数量较多,节点间的连接性也较强。

### 3.2.2 上海市城市景观生态网络 $\alpha$ 指数分析

由城市景观生态网络连接度计算分析出,上海市道路网络和绿地网络的 $\alpha$ 指数都较低,分别为0.41和0.45,说明这两个网络的环路数量中等偏少,与 $\gamma$ 指数形成较大反差,使网络呈现出较高线性连接和较低环状连接的网络特征。路网的网状连接度较低,呈现出

辐射状延伸特征。绿地网络由于受到道路绿化和自然绿廊(河流)以及人工廊道的综合作用呈现出综合的环状连接特征。

### 3.2.3 上海市城市景观生态网络 $\beta$ 指数分析

从指数分布来看,上海市城市景观生态网络中道路网络和绿地网络的 $\beta$ 指数分别为1.81和1.88,基本上每个节点平均都具有1.8个连接线。道路网络和绿地网络的 $\beta$ 指数均大于1,处于适中水平,二者均具有适中的节点间连线途径和适中的节点间连接性,网络连接水平一般。

### 3.2.4 上海市城市景观生态网络成本比指数分析

成本比是一个经济学概念,反映投入和产出的关系,成本比越低,表明在经济上越有效,具体到生态网络,成本比指数较低对于生态网络的建设和利用都是非常有效的。从成本比指数来看,道路网络和绿地网络均高于0.7,表明上海市现状道路网络和绿地网络整体有效程度都较低(表4)。

### 3.2.5 小结

通过 $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 和成本比指数分析可以发现,道路网络和绿地网络均有相似的网络特征,两者网络连接度均较好、环路数量均较少、形成的节点间连接途径水平一般,且两者成本比都较高。形成这样的特征,可能是因为道路网络和绿地网络在建设过程中,注意所有节点的连接度,但是对于环路建设和节点间的相互连接有所欠缺。这些特征一方面反映出道路和绿地节点的廊道建设程度较低,另一方面节点建设存在节点孤立化、点状化和平面化的问题。未来在上海市生态网络建

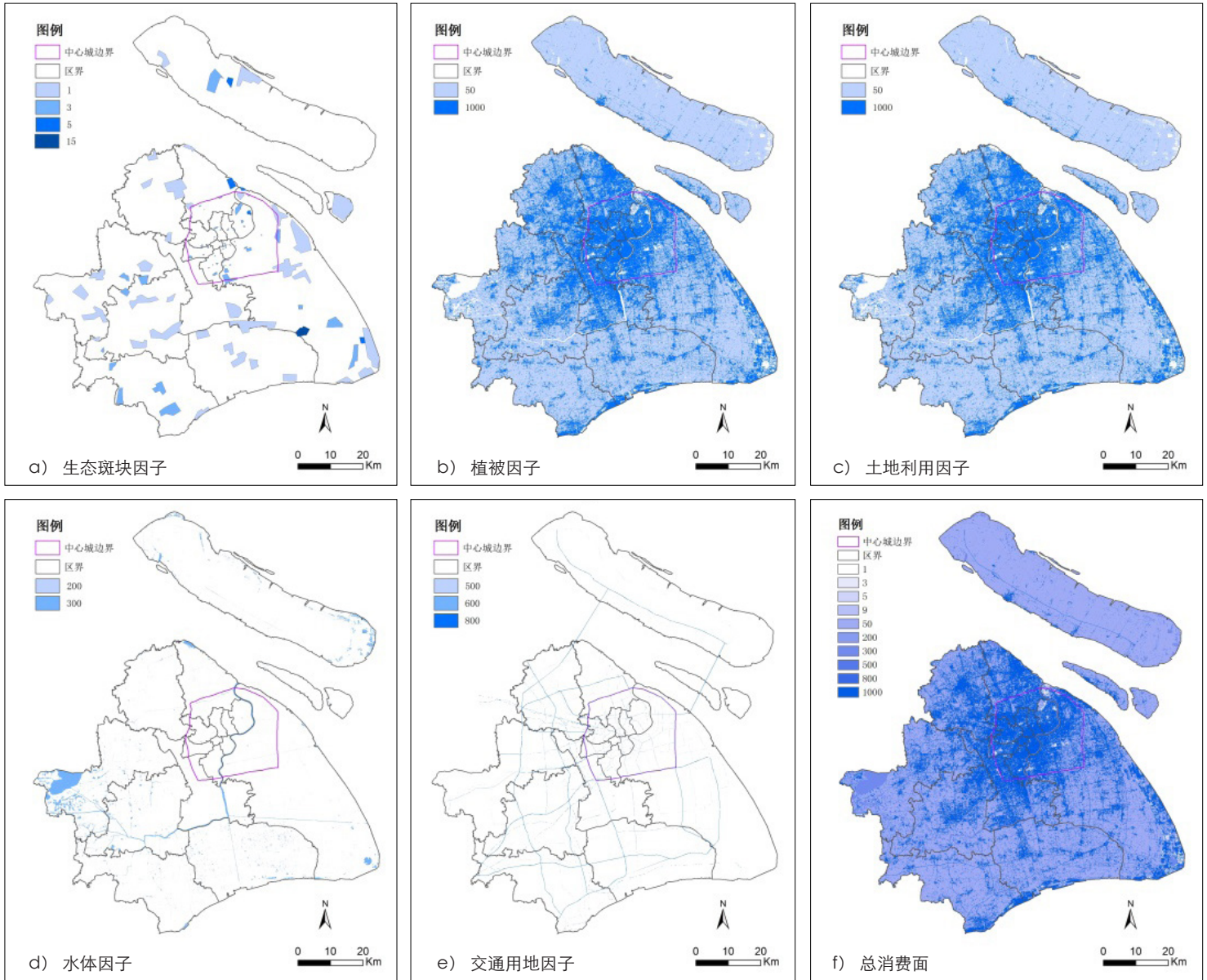


图7 成本栅格图  
资料来源:作者自绘。

设过程中,要加强节点间的连接程度,注意环路的建设,增加绿地斑块和廊道建设,改善连接的生境质量,降低生态网络建设成本比。

### 3.3 上海市生态网络构建

#### 3.3.1 消费面制作结果

根据上表不同土地类型的景观阻力赋值,分别制作成本栅格文件(图7)。

#### 3.3.2 潜在生态网络构建

基于GIS软件平台,采用最小路径方法

可以确定源和目标之间的最小消费路径,该路径是生物物种迁移和扩散的最佳路径,可以有效避免外界的各种干扰。最终通过连接21个绿地斑块的210条潜在廊道,组成了规划研究区的潜在生态网络(图8)。

#### 3.3.3 重要生态网络的提取

根据公式(1)计算两两生态斑块之间的相互作用矩阵,结果如图9所示。根据相互作用矩阵中得分值的大小,结合规划研究区具体情况,将相互作用大于10的21条潜在重

要生态廊道提取出来(图10)。

#### 3.3.4 生态网络构建结果

为了减少破碎生境的孤立,保持生物多样性,通过生态网络的构建发展生态廊道来维持和增加生境的连接,在景观尺度上构建和发展生态廊道以增加生境斑块的连接性。根据上述提取的重要生态网络,结合所有生态斑块之间的生态网络,考虑最后创建绿廊的完整性、环路性以及全覆盖性,构建上海市的生态保护型绿廊并与上海市城市总体规划进行叠加,



表4 上海市城市生态网络基本特征度量表

景观生态网络	特征值	网络中的边数L	节点数V	最大可能环线数 (2V-5)	网络中最大可能连接数 [3(V-2)]	指数
道路网络系统连接特征	γ指数	469	259	513	771	0.61
	α指数	469	259	513	771	0.41
	β指数	469	259	513	771	1.81
	成本比指数	469	259	513	771	0.77
绿地网络连接特征	γ指数	258	137	269	405	0.64
	α指数	258	137	269	405	0.45
	β指数	258	137	269	405	1.88
	成本比指数	258	137	269	405	0.84

资料来源:作者自制。

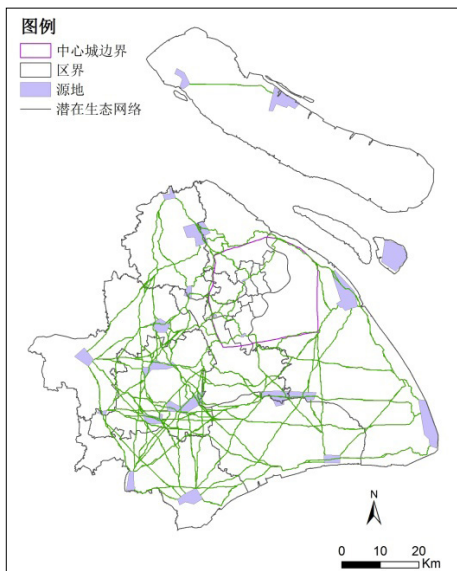


图8 上海市潜在生态廊道图  
资料来源:作者自绘。

联系强度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		3.0	168.5	1.9	2.9	2.2	4.0	0.5	3.6	80.2	0.1	8.3	5.5	-	4.0	0.4	2.4	-	2.7	-	0.3
2			8.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.5	21.6	0.0	0.3	0.3	-	0.1	0.0	1.4	-	0.3	-	0.0
3				4.8	7.2	5.6	15.0	1.3	16.6	173.1	0.1	46.4	20.7	-	6.6	0.7	7.3	-	9.0	-	0.1
4					1.4	3.4	1.8	2.1	3.2	34.4	0.0	0.4	0.9	-	0.2	0.0	0.9	-	5.2	-	0.0
5						7.4	7.2	0.2	2.7	15.8	0.0	1.1	4.0	-	0.5	0.0	0.6	-	4.0	-	0.0
6							6.1	0.4	4.2	18.8	0.0	0.7	1.8	-	0.3	0.0	0.7	-	10.6	-	0.0
7								0.3	6.8	23.4	0.0	2.6	20.1	-	0.6	0.0	1.1	-	7.3	-	0.0
8									0.8	20.2	0.0	0.1	0.2	-	0.0	0.0	0.3	-	0.9	-	0.0
9										51.3	0.0	1.0	2.4	-	0.3	0.0	4.2	-	14.0	-	0.0
10											7.6	11.5	17.5	-	6.1	0.3	289.8	-	38.6	-	2.1
11												0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.1	-	0.0	-	0.0
12													9.2	-	0.9	0.1	0.4	-	0.9	-	0.0
13														-	0.9	0.1	0.7	-	2.3	-	0.0
14															-	-	-	-	-	-	3.0
15																0.5	0.2	-	0.4	-	0.0
16																	0.0	-	0.0	-	0.0
17																		-	1.4	-	0.1
18																			-	-	-
19																			-	-	0.0
20																					-
21																					

资料来源:作者计算

图9 相互作用矩阵结果  
资料来源:作者自绘。



图10 上海市重要生态网络提取  
资料来源:作者自绘。

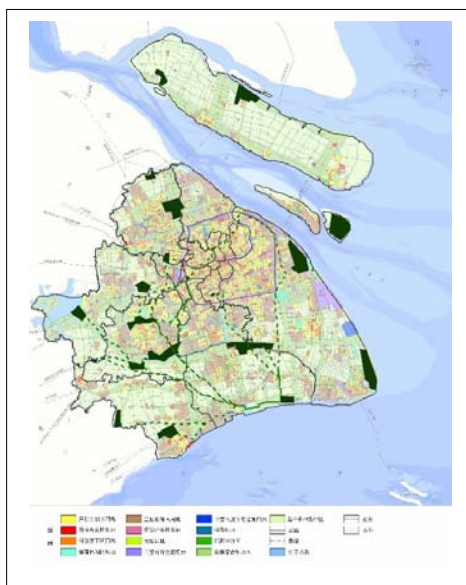


图11 上海市城市生态网络规划示意图  
资料来源:作者自绘。

形成上海市城市生态网络(图11)。

#### 4 结论与展望

通过对2009年和2013年上海市的绿地系统景观格局进行分析,构建一系列表征景观格局和生态网络的指数,该指数反映出2009年—2013年上海市在城市景观形状、多样性、均匀性以及景观连接度等方面发生了明显变化,其直观效果是加大了斑块的破碎化程度,降低了景观多样性和均匀性,但增强了景观连接度,一定程度上改善了绿地系统的质量。此外,表征景观生态网络的γ、α、β及成本比指数反映了路网的网状连接度较低,呈现出辐射状延伸特征以及节点建设的孤立化、点状化和平面化。值得注意的是,通过对以上指标的分析可以清楚地判断中心城

区和市域范围内景观格局和生态网络存在较大的差别,例如,中心城区的景观破碎度和景观多样性更低,景观要素更加单一。

综合以上研究,未来在上海市生态网络建设过程中,应注意以下两个方面:

(1) 市域范围内,结合上海市城乡建设用地增减挂钩、上海市新一轮总体规划等重大战略机遇,从全域角度构建生态网络的整体性。具体来说,加强节点间的连接程度,注意环路的建设,增加绿地斑块和廊道建设以改善连接的生境质量,降低生态网络建设成本比;

(2) 一方面,中心城区景观连接性高于市域是由于其路网密度较高,但路网密度并不能直接反映生态廊道密度。另一方面,针对中心城区景观破碎度低和要素单一的问题,未来以期结合工业改造和“退二进三”的实施得以提升,因此中心城区应该着力于结合产业升级、用地置换和旧城更新来增加绿地斑块,构建生态绿化廊道。

然而,生态安全的提升并不是一蹴而就的,网络构建也不是点线面的简单图示化理解,需要全局性的战略和政策指导,以及用地性质和功能转变、更新改造及道路建设等诸多环节的合作。最后本研究基于指标分析结果,通过景观生态方法对生境斑块进行串联,形成自然与人工结合的珠带式开放空间,对提升城市空间品质具有一定意义,也旨在对上海市未来生态网络构建提供借鉴。

## 参考文献 References

- [1] 王海珍. 城市生态网络研究——以厦门市为例[D]. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2005.  
WANG Haizhen. A study on urban ecological network: a case study for Xiamen city[D]. Shanghai: The Dissertation for Master Degree of East China Normal University, 2005.
- [2] 王鹏. 城市绿地生态网络规划研究[D]. 上海: 同济大学硕士学位论文, 2007.  
WANG Peng. The study of urban greenspace network planning: a case study of Shanghai city [D]. Shanghai: The Dissertation for Master Degree of Tongji University, 2007.
- [3] Henwood K, Pidgeon N. Talk about woods and trees: threat of urbanization, stability, and biodiversity[J]. Journal of Environmental Psychology, 2001, 21(2): 125-147.
- [4] 原煜涵. 哈尔滨主城区生态网络规划策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2012.  
YUAN Yuhan. The strategy research of ecological network planning in the main urban area of Harbin[D]. Harbin: The Dissertation for Master Degree of Harbin Institute of Technology, 2012.
- [5] 陈小奎, 莫训强, 李洪远. 埃德蒙顿生态网络规划对滨海新区的借鉴与启示[J]. 中国园林, 2012, 27(11): 87-90.  
CHEN Xiaokui, MO Xunqiang, LI Hongyuan. The reference and enlightenment for Binhai New Area from Edmonton ecological network planning[J]. Chinese Landscape Architecture, 2012, 27(11): 80-90.
- [6] 李琳. 生态网络城镇研究[D]. 石家庄: 河北师范大学硕士学位论文, 2010.  
LI Lin. A study on the ecological network of cities and towns[D]. Shijiazhuang: The Dissertation for Master Degree of Hebei Normal University, 2010.
- [7] 马志宇. 基于景观生态学原理的城市生态网络构建研究——以常州市为例[D]. 苏州: 苏州科技学院硕士学位论文, 2007.  
MA Zhiyu. Study on the construction of urban eco-network based on landscape ecological principal: taking Changzhou City as an example[D]. Suzhou: The Dissertation for Master Degree of Suzhou University of Science and Technology Architecture Department, 2007.
- [8] 张蕾, 苏里, 汪景宽, 等. 基于景观生态学的鞍山市生态网络构建[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5): 1337-1343.  
ZHANG Lei, SU Li, WANG Jingkuan, et al. Establishment of ecological network based on landscape ecology in Anshan[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(5): 1337-1343.
- [9] 滕明君, 周志翔, 王鹏程, 等. 景观中心度及其在生态网络规划与管理中的应用[J]. 应用生态

学报, 2010, 21(4): 863-872.

- TENG Mingjun, ZHOU Zhixiang, WANG pengcheng, et al. Landscape centrality and its applications in ecological network planning and management[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(4): 863-872.
- [10] 王云才. 上海市城市景观生态网络连接度评价[J]. 地理研究, 2009, 28(2): 284-292.  
WANG Yuncai. The connectivity evaluation of Shanghai urban landscape eco-network[J]. Geographical Research, 2009, 28(2): 284-292.
- [11] 尹海伟, 孔繁花. 城市与区域规划空间分析实验教程[M]. 南京: 东南大学出版社, 2014.  
YIN Haiwei, KONG Fanhua. Lab manual for spatial analysis in urban and regional planning[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2014.