

浙江省慈溪市宗汉街道城镇绿地生态网络构建

过萍艳, 蒋文伟, 吕 渊

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 以浙江省慈溪市宗汉街道为试验区, 应用地理信息系统(GIS)技术和景观格局指数方法, 分析试验区景观格局特征, 结合景观中心度指标节点度和紧密度, 确定了城镇区核心绿地斑块, 并划分为中心节点、关键节点及基本节点3种类型。运用生态适宜性分析方法和最小费用距离模型, 构建了城镇区绿地系统潜在的生态廊道。结果表明: 城镇区有53个绿地斑块, 构成了城镇区绿地生态网络节点的核心; 规划的14条潜在生态廊道能很好地结合绿地资源分布特点, 连通城镇区核心绿地斑块, 构建城镇区生态绿地网络系统。通过综合运用景观格局指数、最小费用距离模型、景观中心度评价等方法, 可以定量地评价城镇绿地系统现状, 优化城镇生态绿地网络, 为城镇绿地生态网络规划与管理提供科学的参考依据。图5表3参17

关键词: 园林学; 生态网络; 景观格局指数; 生态适宜性; 景观中心度; 最小费用距离模型; 宗汉街道

中图分类号: S731.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2014)01-0064-08

Construction of town green land ecological networks of Zonghan sub-district in Cixi City

GUO Pingyan, JIANG Wenwei, LÜ Yuan

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Taking Zonghan sub-district in Cixi City as a case study and applying GIS technology and landscape pattern index, this paper analyzed the characteristics of the landscape pattern in the study area. Based on the evaluation of landscape centrality index such as degree and closeness centrality, the research identified the town core green patches which were classified as three types, namely central, key and primary. Further, the ecological suitability analysis and the least-cost path model were utilized to establish the potential ecological corridors of the town green land system. Results showed that there were a total of 53 green patches which composed the core area of ecological network in town green land. A number of 14 potential ecological corridors were planned to connect the distribution of green land resources and the town core green patches in order to construct the town ecological green network system. The comprehensive methods supported by landscape pattern metrics, least-cost path model, and landscape centrality could be useful to evaluate the existing town green land system, optimize town ecological green network and supply the scientific basis for ecological network planning and management in town green land system. [Ch, 5 fig. 3 tab. 17 ref.]

Key words: landscape architecture; ecological network; landscape pattern index; ecological suitability; landscape centrality; the least-cost patch model; Zonghan sub-district

近年来, 随着中国工业化和城镇化进程的加快, 城镇空间拓展中建设用地的迅猛扩张造成了环境污染、水土流失、植被破坏、生物多样性减少等一系列生态环境问题, 大大削弱了生态用地为城镇发展提

收稿日期: 2012-12-18; 修回日期: 2013-03-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972342)

作者简介: 过萍艳, 从事风景园林规划与设计研究。E-mail: 670504881@qq.com。通信作者: 蒋文伟, 副教授, 博士, 从事城市生态学与景观生态学研究

供生态系统服务的能力,严重威胁着区域安全^[1]。全球气候变化也加剧了栖息地恶化过程。生态网络通过保护恢复重点栖息地及构建栖息地之间物质、信息及能量传播的连接廊道,可以在整体上维持生态系统的动态平衡^[2]。城市绿地生态网络是一个相对稳定的空间结构,能够最大程度地发挥绿地的生态效应,是由城市纵横交错的生态廊道和绿色节点有机构筑的绿色生态网络体系^[3-4]。城市绿地生态网络的构筑有助于修复绿地破碎化,提升生境斑块之间的连通性,促进绿地景观的完整性,提高城市生物多样性保护及生态系统服务功能^[5]。如何在城镇总体规划和城镇绿地系统规划中,综合运用多种城市生态分析方法,创建城镇生态绿地网络系统,是亟待深入研究的问题。本研究以浙江省慈溪市宗汉街道为试验区,在地理信息系统(GIS)技术和 Fragstats 技术支持下,采用景观中心度评价和生态适宜性分析相结合的生态绿地网络分析途径。通过景观格局指数、景观节点度指标和景观紧密度分析,确定出城市绿地系统的核心斑块。运用最小费用模型和景观阻力分析方法,进一步分析试验区潜在的生态廊道,最终构建城镇绿地生态网络系统。

1 研究区概况

慈溪市位于长江三角洲南翼,杭州湾南岸,宁绍平原北部,30°02′27″~30°24′00″N,121°03′02″~121°43′30″E。东南与镇海、江北区毗邻,西南与余姚市接壤,北面呈弧形突入杭州湾,有“两山一水七分地”之称。宗汉街道是慈溪市中心城区组成部分,位于慈溪市中心西北部,329 国道线北侧,规划区面积为 34 km²,建成区面积为 17 km²。宗汉街道系杭州湾沉积平原,母质为海积物,由钱塘江等输入海洋的泥沙在海水动力作用下堆积而成。地势平坦,区内河流较为密集,有大小河流 60 余条,总计长约为 140 km。宗汉街道地处北亚热带南缘季风气候区,气候温和湿润,平均气温为 17.9℃,植被类型主要以人工林为主,有常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、灌丛、草地等植被。

随着宗汉街道行政区划调整,余慈大道建成,杭州湾大桥顺利通车,以及与周边地区通达性增加,使其成为慈溪市西部门户重要的交通枢纽中心。同时,也加剧了本地区生态保护与经济发展之间的矛盾。因此,当地城建部门也着力寻找在高速城镇化发展过程中,如何实现城镇绿地生态网络建设,减少城镇绿地破碎化,维持和增加生态用地之间的连通性,合理保留生态用地空间,提升城镇居民生活品质的建设途径^[5]。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究以宗汉街道规划区 34 km² 为研究对象,以慈溪市 2009 年高空分辨率航空影像(1:5 000)为主要数据源,结合城市总体规划图(2002–2020),城市绿地系统规划图(2003–2020)及相关部门的现状调查资料作为空间信息提取的基本信息源。

首先,利用 ENVI 4.3 图像处理软件对图像进行几何校正,转换成 Xian_1980 坐标体系,并对图像进行拼接裁剪处理,获得试验区区域的影像图。本研究参照 GB J137–1990《城市用地分类与规划建设用地标准》中的城市用地分类体系,并根据试验区的土地利用现状、土地性质及景观格局分析的特点,将试验区土地利用类型重新整合为城镇绿地、水域、农田、交用地、居住用地、工业用地和其他用地等 7 类。将城镇绿地类型分为公园绿地、滨水绿地、道路绿地、附属绿地、生产绿地等 5 种类型。通过调查以及对试验区生态环境现状、主要生态问题进行分析,并咨询相关专家以及参考已有类似研究的基础上,确定了景观阻力系数,最终确立了土地类型分类与栅格阻力值^[6-8](表 1)。然后利用 ArcGIS 9.2 进行人工目视解译,结合实地调查对试验区土地利用类型分布进行矢量化,并将矢量文件通过空间分析模块(conversion-tools)转换成大小为 10 m × 10 m 的栅格数据^[9],形成试验区土地利用类型图(图 1)。

2.2 研究方法

2.2.1 研究框架 本研究旨在建立景观中心度^[9]和生态适宜性分析方法相结合的绿地生态网络规划方法体系。首先,通过绿地斑块的空间分布特征和景观指数分析,了解试验区绿地斑块的空间分布特征和景观指数分析,了解研究区绿地斑块的破碎化程度和优势斑块的分布情况^[7]。以景观中心度的度量指标节点度和紧密度^[10]来确定各绿地斑块的优势程度及斑块和斑块间的功能联系程度,从而确定绿地系统的核

表 1 土地类型分类与栅格阻力值确立^[6-7]

Table 1 Establishment of raster resistance based on land use type classification^[6-7]

土地利用类型	描述	面积比例/%	景观阻力系数
城市绿地类型	公园绿地	包括风景旅游区、森林公园、城市公园、社区公园、村级公园等	2.6
	滨水绿地	包括河流两旁分布防护林带、景观带、行道树等	1.7
	道路绿地	包括道路两旁分布防护林带、景观带、行道树等	1.9
	附属绿地	包括居住小区、工业区、村庄内的绿地	5.3
	生产绿地	包括苗圃、花圃等	7.5
	农田	包括农田、旱地等	27.7
其他土地利用类型	交通过地	包括城市快速路、对外交通主干道、次干道等	4.1
	水域	包括河流、池塘、养殖水面等	3.8
	居住用地	主要包括居民建筑、学校、行政机关、商业区、村庄建筑等	31.1
	工业用地	工业园区、工厂、仓储用地、物流园区等	13.1
	其他	包括裸地、荒地、未开发用地等	1.2

心斑块。然后，从生态功能区的空间分布出发，以一定规模大小的城镇公园(绿地)选定为源，借助最小费用距离模型，模拟在城镇生态空间中从生态源向周围空间扩展的过程，对不同类型空间的生态适宜性进行分析^[11]，确定研究区潜在的生态廊道，并分析各潜在生态廊道的重要程度和空间布局的合理性，从而确定试验区生态网络规划方案。

2.2.2 绿地生态网络斑块景观格局分析 本研究采用Fragstats 3.3 景观格局分析软件计算景观格局指数。景观格局指数是指能够高度浓缩景观格局信息，反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标^[12]。通过景观格局指数分析可以揭示各绿地景观要素的变化特征和变化机制以及对区域生态系统的影响。根据本研究区域的特点，本文研究选择的景观格局指数有斑块数(NP)，斑块类型面积(CA)，斑块面积比例(PLAND)，斑块密度(PD)，最大斑块指数(LPI)，平均斑块面积(AREA_MN)，斑块面积标准差(AREA_SD)，面积加权平均斑块面积(AREA_AM)，多样性指数(SHDI)，均匀性指数(SHEI)，斑块结合度(COHESION)等。

2.2.3 绿地景观中心度评价与核心斑块的确定 滕明君、周志翔等基于网络理论和生态网络的基本特征，提出景观中心度(andscape centrality, LC)的概念。当节点具有较高的景观中心度时，该节点代表的斑块所担负的景观流较多，在生态网络结构组织中具有重要意义。该斑块的缺失将导致网络结构严重退化或生态过程断裂。景观中心度的度量指标包含节点度、中介度、紧密度、特征向量度和子图度等 5 个基本指标。本研究选取节点度和紧密度这 2 个指标进行分析。节点度也称中心集中度，是景观中心度中的一个基本指标，指网络结构中某一节点相连的连接数的数量，反映了生态网络中某一斑块功能性连接的整体特征。紧密度指网络中某特定点到其他所有点距离的总和。它反映了网络中特定斑块与其他斑块间的功能联系程度，其值越大说明斑块间功能联系度越高，反之则越低^[9]。紧密度可用以下公式计算： $C_i = (N-1) / \sum d(i, j)$ 。其中： C_i 为 i 点的紧密集中度，距离 $d(i, j)$ 为点 i 与点 j 之间最短路径的数目。本项研究利用 GIS 查询功能，选取试验区现状绿地中面积大于 1 hm² 斑块，对斑块相连的连接线数量进行计算统计，选择连接数较多的斑块，并根据相关资料和实地勘察调研，综合分析斑块在生态网络空间结构关系和生态过程中是否具有重要程度或影响力，或者在局部

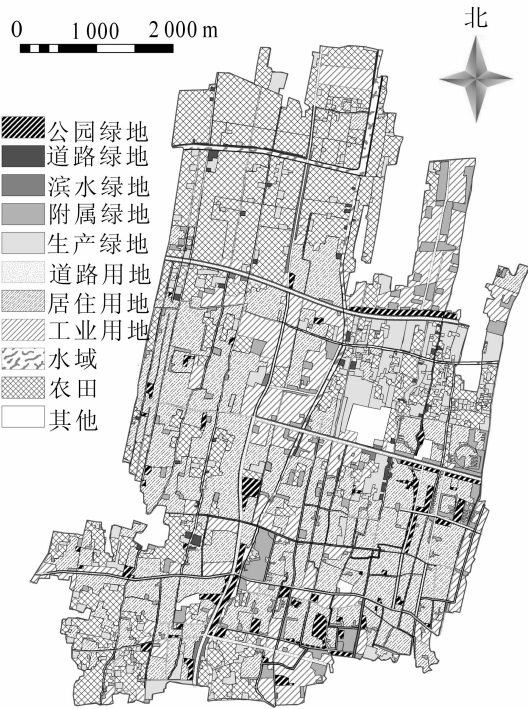


图 1 宗汉街道土地利用类型图
Figure 1 Map of land use type in Zonghan sub-district

景观中是否具有相对重要的中心位置，发挥着连接不同功能结构体或“踏脚石”斑块的重要作用。对选取的核心斑块进行分类，分别将其抽象为中心节点、关键节点、基本节点。如果一个斑块具有较好的生境面积和生境质量，那么它将具有较高的资源选择价值，因而将吸引更多的有机体或为种群的存活提供更多的资源支持^[13]。因此，景观中心度可较好地识别出生态网络中的核心斑块^[10]。

2.2.4 潜在生态廊道构建 根据土地利用类型确定景观阻力表面，利用 ArcGIS 空间分析中 Reclassify 模块，实现生态适宜性分析。根据生态适宜性分区结果，将试验区划分为从高到低的适宜性景观阻力值分布。在此基础上，对试验区航片进行解译，结合有关资料，提取试验区内林冠连续覆盖面积达到一定规模(面积大于 1 hm²)，具备城市森林特征的公园绿地(广场、街头绿地)、附属绿地等大型绿地斑块作为源或目标^[14]，在 ArcGIS 中的 Spatial-Analyst 模块下，采用 Shortest-Path 命令生成各核心斑块间的潜在生态廊道。

3 结果与分析

3.1 绿地景观格局

对试验区进行景观格局分析，得到城镇区绿地斑块景观指数(表 2)。分析结果表明：试验区绿地多样性指数为 1.44，均匀度指数为 0.90，表明试验区绿地植物群落较丰富，各类绿地斑块分布较分散。而从斑块数、面积加权平均斑块面积可以看出，试验区内景观破碎度较大，斑块分布虽均匀但比较分散。各类绿地斑块类型面积大小排序为生产绿地>附属绿地>公园绿地>道路绿地>滨水绿地，其中公园绿地、道路绿地、滨水绿地面积差异不大。由此可知，各类绿地中生产绿地占有主导地位，控制着整个试验区绿地景观功能。这是因为试验区作为慈溪市中心城区的一部分，其中近 1 / 2 面积位于城郊，分布着较多的农田和村庄，建有苗圃地、果园等基地，向城区提供绿化所需的植物材料。这些生产绿地主要集中在漾山路江东、北段，三塘江南部、余慈大道以西。从斑块结合度可以看出，生产绿地>道路绿地>公园绿地>附属绿地>滨水绿地，表明斑块类型中生产绿地分布最聚集，说明其景观的空间连通性程度也最高，其次是道路绿地、公园绿地、附属绿地，而最低的是滨水绿地，应在规划中加强滨水绿地的景观连通性。在试验区绿地斑块面积比例和最大斑块指数中，生产绿地是优势景观类型，而公园绿地、道路绿地、滨水绿地等斑块面积比例很小，应该促进城镇绿化的均衡布局，引导绿地景观结构优化布局，实现城镇用地和空间资源的有序配置，从而改善现存绿地斑块的数量和质量。在生态学意义上，较大生境斑块有利于生物多样性的保护和物种的生存。随着景观格局多样性增加，可提供更加多样化的生境，将会显著提高生物物种多样性。

表 2 试验区现状绿地斑块景观指数

Table 2 Landscape index of the present green land patches in the study area

斑块类型	斑块数	斑块密度	面积/hm ²	占总数/%	最大斑块 指数	面积加权平均斑 块面积/hm ²	平均斑块 面积/hm ²	多样性 指数	均匀度 指数	斑块 结合度
公园绿地	55	8.69	86.27	13.63	1.47	3.48	1.57			96.89
滨水绿地	1 725	272.60	57.8	9.13	0.81	1.54	0.03			93.59
道路绿地	282	44.56	63.61	10.05	1.17	3.34	0.23			97.05
附属绿地	204	32.24	177.25	28.01	2.44	3.63	0.87			96.00
生产绿地	160	25.28	247.87	39.17	6.47	11.51	1.55			97.74
合计或平均	2 426	383.37	632.80	100.00	12.36	23.50	4.25	1.44	0.90	

3.2 绿地生态网络核心斑块

核心斑块的识别与定位是生态网络规划与管理的重要内容^[10]。一般来说，城镇绿地系统的核心斑块主要是城镇公园和城镇区域内的自然保护地。这些区域覆盖面积较大，植被保存较好，能形成物种保护的适宜生境^[7]。本研究利用 GIS 查询功能，选取斑块面积大于 5 hm² 的主要绿地作为中心节点，面积 2~5 hm² 的主要绿地作为关键节点，选取斑块面积 1~2 hm² 的主要绿地作为基本节点，并参考节点度和紧密度指标^[10]。同时，结合慈溪中心城区绿地系统规划，实地勘察分析植被组成、绿地布局等因素，得到试验区基于景观中心度构建的核心节点图(图 2)。图 2A 和图 2B 是根据景观节点度指标得出，节点度指网络结构中某一节点相连的连接数的数量。图 2A 和图 2B 中每个基本节点的节点度连接数为 0~3 个，

每个关键节点的节点度连接数为 2~4 个，每个中心节点的节点度连接数为 2~5 个，不同等级节点的节点度连接数从小到大依次升高，即中心节点度>关键节点度>基本度节，表明生态网络高等级斑块功能性连接的整体特征较强，低等级的斑块功能性连接的整体特征相对较弱。将图 2B，图 2C 进行景观紧密度计算，得到结果如表 3。研究结果表明：在现状斑块中，中心节点 6 个，关键节点 11 个，基本节点 21 个，紧密度分别为 21.48，14.84，28.10 km。规划后，斑块中心节点 11 个，关键节点 15 个，基本节点 27 个，比规划前增加了 15 个；紧密度分别为 38.92，19.38，43.48 km，比规划前增加了 37.46 km(表 3)。规划确定的大多数节点比规划前具有较高的紧密度，表明网络中斑块聚集程度有所提高，相互之间的联系更紧密，更有助于生物种在生态廊道及网络中扩散与迁移，提高生态系统功能。

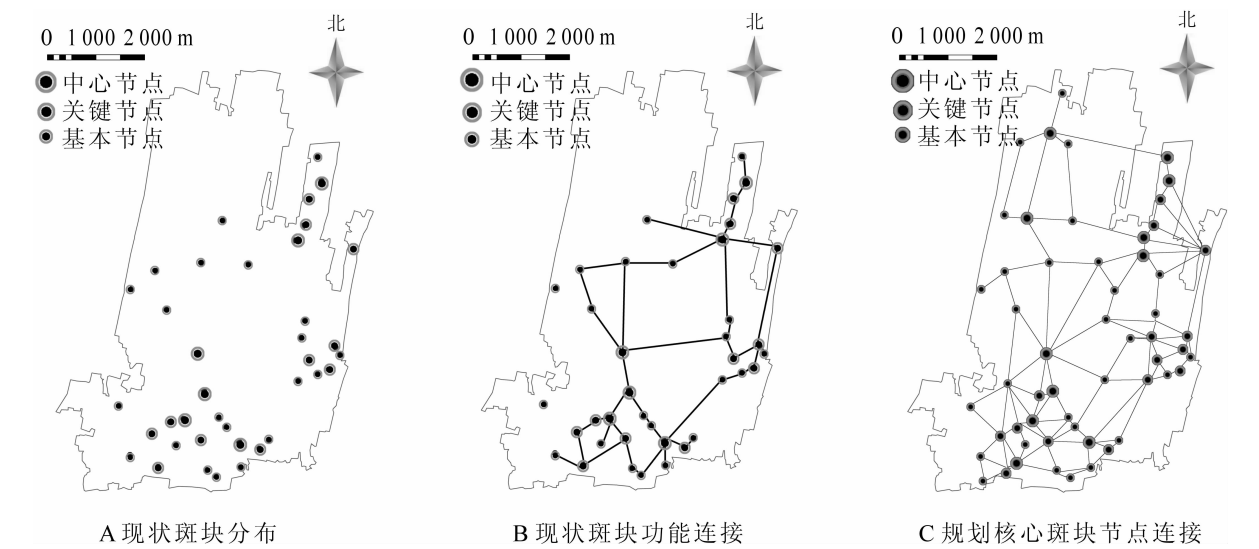


图 2 基于景观中心度构建的核心节点图

Figure 2 The core nodes construction map based on landscape centrality

表 3 网络紧密度计算结果

Table 3 Results of closeness centrality

斑块功能联系图	斑块尺度等级分类	节点数量/个	合计/个	紧密度/km	合计/km
现状 B	中心节点(>5 hm ²)	6	38	21.48	64.42
	关键节点(2~5 hm ²)	11		14.84	
	基本节点(1~2 hm ²)	21		28.10	
规划 C	中心节点(>5 hm ²)	11	53	38.92	101.88
	关键节点(2~5 hm ²)	15		19.38	
	基本节点(1~2 hm ²)	27		43.58	

图 2C 规划确定的绿地核心斑块主要分布在试验区东北部、南部、余慈大道东部等区域，主要是面积较大的各类公园绿地、街头绿地、单位附属绿地、居住小区附属绿地。试验区中心节点主要为教场山公园、庙山公园、漾山路江滨江公园、中横线公园、潮塘工业区附属绿地、坎墩工业区附属绿地，以及即将规划的潮塘江生态公园、北三环社区公园、三北社区公园、西部产业区碳汇林、中横线碳汇林等 11 个绿地。关键节点分别为宗汉广场、儿童公园、曙光社区公园、潮塘社区公园、现代农业示范园、村级公园等 15 个斑块。基本节点为村级小公园、社区公园、各类小广场和单位附属绿地等 27 个。

3.3 潜在生态廊道

生态廊道构建是景观生态学、城市规划和景观设计的等多学科交叉的研究热点。生态廊道可以将各生境岛屿连接在一起，可以减少景观破碎化对生物多样性的影响^[7]，它的特征主要包括：宽度、组成成分、内部环境、形状、连续性等，其中廊道的宽度和连接度是控制廊道功能的主要因素^[15]。利用表 1 设计的景观阻力系数标准和试验区土地利用类型分布(图 1)，得到了图 3 所示的研究区阻力值空间分布。区域中高阻力区占主导类型，主要分布在中部和南部，是建设用地、交通用地分布最为密集的类型区，

对生物物种扩散的阻隔作用明显，因此必须在未来的绿地规划中加以改善，以增加绿地斑块之间的连接度水平。同时,要改善其植被组成结构和增加生物物种的多样性，对于改善与优化城镇绿地网络结构非常重要^[16]。低阻力区除在试验区北部分布相对集中外，其余地区呈小型斑块散布。低阻力区主要以城镇绿地、农田、河流为主，是研究区内生态系统最为完整、生态环境质量最好的区域，承担着区域生态屏障和生物多样性保护的重要作用。尤其是潮塘江、三塘横江、陆中湾、漾山路江等滨河绿地，中横线、北三环、余慈大道、金轮大道、浒崇公路等道路绿地以及城镇广场绿地、城镇路网绿带、城镇生态防护林带等组成的城镇绿地，对于水源涵养、水土保持、生物多样性保护等起着不可替代的作用。

以城镇公园为源，依据图 3 所示景观阻力面，利用 ArcGIS 空间分析中的 Shortest-Path 命令得到了如图 4 所示的最小费用距离模型景观阻力分布。从图 4 可以看出：各生态廊道途经的区域主要以道路防护绿地、水系、河流防护绿地为主，穿越廊道的景观阻力较低，廊道构建成本也较小。构建的生态廊道符合绿地系统分布特征，所有绿地核心斑块间均有廊道互通^[7]。根据最小费用距离模型景观阻力分析，对潜在生态廊道进行系统分析，整合得到 14 条较重要的生态廊道。它们分别为东西向的中横线、北三环西路、开发大道、北二环；南北向的余慈大道、西二环、浒崇公路，共同构成“三纵四横”道路生态廊道网络。延续试验区内现有的水系结构、绿地及公共开放空间，并结合 5 条纵向水系(漾山路江、赵江路江、五灶江、六灶江、鸣山路江)及 2 条横向水系(潮塘横江、三塘横江)，形成“五纵二横”网络状滨水水公共空间及绿地系统，规划构建“八纵六横”共 14 条主要潜在绿地生态廊道，进而有效分隔城镇辖区空间，强化城镇绿地景观格局的连续性，为许多边缘生境物种及生态流提供栖息地和通道，将发挥出重要的生态防护和生命保障功能。

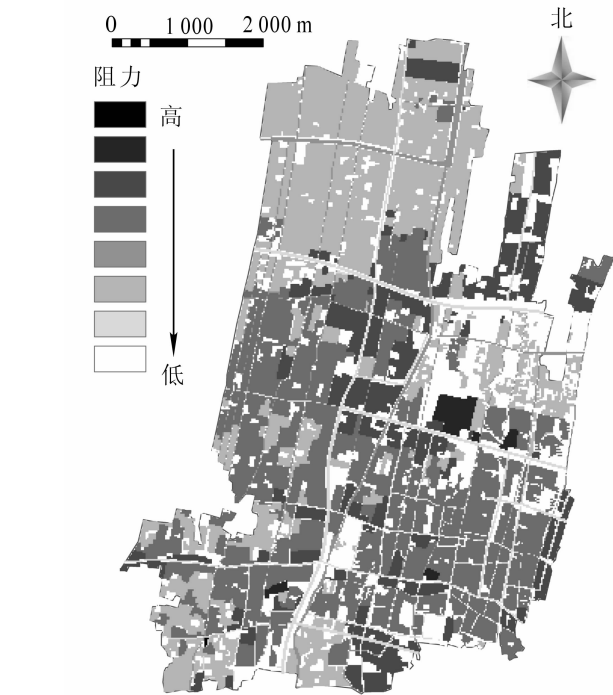


图 3 基于土地利用类型的景观阻力值空间分布
Figure 3 Spatial distribution of residence based on land use type

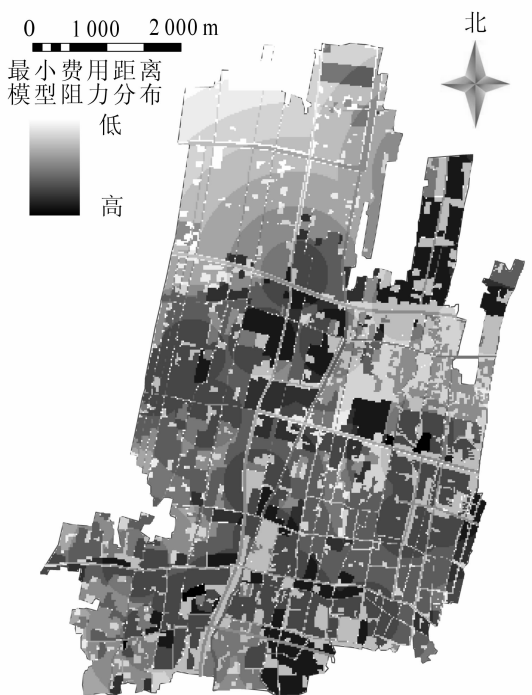


图 4 以城市绿地为源的最小费用距离模型阻力分布
Figure 4 Least-cost path resistance distribution using urban green land as source

3.4 生态网络规划构建

根据核心斑块和潜在廊道的研究结果，以试验区城镇公园为核心斑块，通过水网与道路绿化串联起城镇各个公园、街头绿地、附属绿地以及城郊风景区，构成点、线、面有机结合的生态网络格局^[17]，因而构建出慈溪市宗汉街道城镇生态网络空间结构(图 5)，将有力增强城镇区域景观绿地结构和景观生态服务功能。

规划以教场山公园、庙山公园等 11 个绿地为中心节点，宗汉广场、儿童公园等 15 个绿地为关键节点，各村级小公园、社区公园、各类小广场和单位附属绿地等为基本节点，形成核心斑块。通过“八纵

六横”共 14 条主要潜在绿地生态廊道为绿色屏障, 形成试验区内生态系统完整、生态环境质量较佳的城镇绿地生态网络格局, 承担起城镇区域生态屏障和生物多样性保护功能。同时, 也将有效分隔城镇空间格局, 强化城市景观格局的连续性, 在一定程度上发挥生态网络服务功能。而对于一些暂时难以建设的生态廊道, 可以在今后的城镇建设改造和规划中加以考虑和实现, 为城镇未来发展提供建设方向和技术指导。

4 结论与讨论

研究基于地理信息系统(GIS)技术、Fragstats 软件平台, 采用景观格局指数方法, 定量分析了浙江省慈溪市宗汉街道城镇绿地现状及空间组成, 并基于景观中心度评价, 研究了城镇绿地斑块之间相互作用强度。借助土地利用类型阻力值空间分布, 探讨不同程度阻力值空间分布趋势, 判断生态用地的适宜性程度, 进而基于最小费用距离模型, 确定了 14 条较重要的生态廊道, 提出了符合地域特点的城镇绿地生态网络系统。研究表明: 城镇公园绿地(广场、街头绿地)、滨水绿地、道路绿地、生产绿地是生态网络的优势绿地类型, 有着较高的景观中心度价值, 有助于在生态网络规划中发挥重要的生态功能。但有些绿地斑块和生态廊道在一定程度上难以建设, 一时难以发挥生态网络功能, 应强化对关键节点要素的识别和定位, 为今后进一步优化城镇绿地组成与空间布局奠定基础。在绿地生态网络规划中, 绿地核心斑块是区域生物多样性源地和物种重要栖息地。应该通过核心斑块的识别和确定, 从而确定城镇绿地系统规划和建设中需要重点保护和发展的生态节点, 需要考虑这些斑块节点的面积大小、生物多样性丰富程度和珍稀濒危动植物种类。斑块节点与绿地系统内其他斑块的连通性, 关系到物种在各生境斑块间的迁徙, 是构建城镇绿地生态网络所需要考虑的重要因素^[7]。

与传统的分析方法相比, 景观中心度可更好地反映斑块水平和景观水平网络结构特征和生态过程需求。在生态网络规划与管理中, 运用景观中心度模型可以更加深入开展对景观格局和景观过程分析。目前, 景观中心度模型研究和应用尚处于尝试阶段, 需要更多的案例进一步丰富和完善^[9]。据此相关模型与综合方法研究结果表明, 应用景观格局指数、最小费用距离模型、景观中心度等多种方法, 不仅可以定量评价城镇绿地系统现状及合理性程度, 而且可以优化城镇生态网络的规划方案, 使其更加符合城镇生态网络建设的整合性、和谐性、流通性、安全性、多样性和持续性原则, 将为城镇绿地系统和生态网络规划提供一个更全面、更有效的评价和构建途径。

参考文献:

- [1] 钟式玉, 吴菁, 李宇, 等. 基于最小累积阻力模型的城镇土地空间重构: 以广州市新塘镇为例[J]. 应用生态学报, 2012, **23**(11): 3173 – 3179.
ZHONG Shiyu, WU Qing, LI Yu, *et al.* Reconstruction of urban land space based on minimum cumulative resistance model: a case study of Xintang Town, Guangzhou City [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2012, **23**(11): 3173 – 3179.
- [2] 傅强, 宋军, 毛锋, 等. 青岛市湿地生态网络评价与构建[J]. 生态学报, 2012, **32**(12): 3670 – 3680.
FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, *et al.* Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(12): 3670 – 3680.
- [3] 鲁敏, 杨东兴, 刘佳, 等. 济南绿地生态网络体系的规划布局与构建[J]. 中国生态农业学报, 2010, **18**(3):

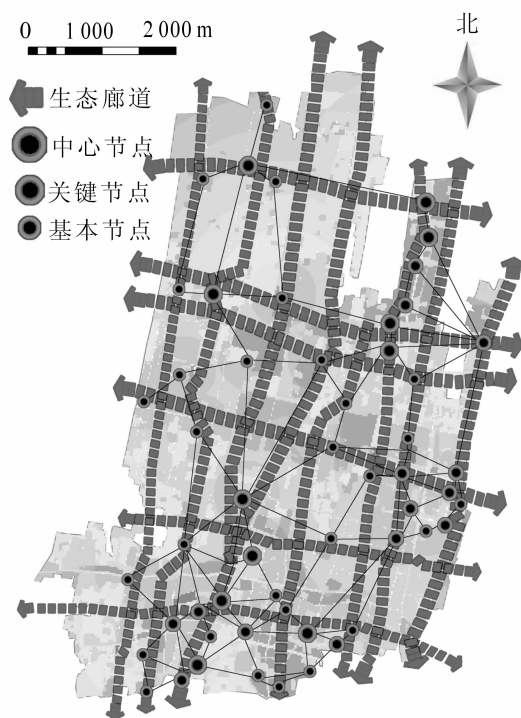


图 5 试验区生态网络空间结构

Figure 5 Spatial structure of ecological network in the study area

600 – 605.

LU Min, YANG Dongxing, LIU Jia, *et al.* Programming and construction of green space network ecosystem in Jinan [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2010, **18**(3): 600 – 605.

- [4] 陈姝, 蒋文伟, 王媛. 应用哈夫模型的慈溪市观海卫镇绿地布局分析[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(6): 887 – 895.
- CHEN Shu, JIANG Wenwei, WANG Yuan. Huff Model used for green space layout of Guanhaiwei Town, Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(6): 887 – 895.
- [5] 尹海伟, 孔繁花, 祈毅, 等. 湖南省城市群生态网络构建与优化[J]. 生态学报, 2011, **31**(10): 2863 – 2874.
- YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, *et al.* Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(10): 2863 – 2874.
- [6] 许文雯, 孙翔, 朱晓东, 等. 基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别[J]. 生态学报, 2012, **32**(4): 1264 – 1272.
- XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, *et al.* Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: a case study of urban district of Nanjing [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(4): 1264 – 1272.
- [7] 郭微, 俞龙生, 孙延军, 等. 佛山市顺德中心城区城市绿地生态网络规划[J]. 生态学杂志, 2012, **31**(4): 1022 – 1027.
- GUO Wei, YU Longsheng, SUN Yanjun, *et al.* Ecological network planning of urban green space in urban center of Shunde District, Foshan City, Guangdong Province of South China [J]. *Chin J Ecol*, 2012, **31**(4): 1022 – 1027.
- [8] 孔繁花, 尹海伟. 济南城市绿地生态网络构建[J]. 生态学报, 2008, **28**(4): 1711 – 1719.
- KONG Fanhua, YIN Haiwei. Developing green space ecological networks in Jinan City [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(4): 1711 – 1719.
- [9] 蒋文伟, 郭慧慧, 梅艳霞. 宁波鄞州新城区城市土地利用的空间趋向[J]. 应用生态学报, 2012, **23**(3): 701 – 709.
- JIANG Wenwei, GUO Huihui, MEI Yanxia. Study on spatial tendency of urban land use in Ningbo Yinzhou New City Zone [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2012, **23**(3): 701 – 709.
- [10] 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 Zhi xiang, WANG Pengcheng, *et al.* Landscape centrality and its applications in ecological network planning and management [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2010, **21**(4): 863 – 872.
- [11] 李平星, 陈东, 樊杰. 基于最小费用距离模型的生态可占用性分析: 以广西西江经济带为例[J]. 自然资源学报, 2011, **26**(2): 224 – 235.
- LI Pingxing, CHEN Dong, FAN Jie. Research of ecological occupiability based on least-cost distance model: a case study on Xijiang River Economic Belt in Guangxi [J]. *J Nat Resour*, 2011, **26**(2): 224 – 235.
- [12] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [13] ESTRADA E, BODIN O. Using network centrality measures to manage landscape connectivity [J]. *Ecol Appl*, 2008, **18**: 1810 – 1825.
- [14] 朱耀军, 王成, 贾宝全, 等. 基于 GIS 的广州中心城区城市森林可达性分析[J]. 生态学报, 2011, **31**(8): 290 – 2300.
- ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, *et al.* GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(8): 2290 – 2300.
- [15] 王海珍, 张利权. 基于 GIS、景观格局和网络分析法的厦门本岛生态网络规划[J]. 植物生态学报, 2005, **29**(1): 144 – 152.
- WANG Haizhen, ZHANG Liquan. A GIS, landscape pattern and network analysis based planning of ecological for Xiamen Island [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2005, **29**(1): 144 – 152.
- [16] COOK E A. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks[J]. *Landscape Urban Plan*, 2002, **58**: 269 – 280.
- [17] 李绥, 石铁矛, 付士磊, 等. 南充城市扩展中的景观生态安全格局[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(3): 734 – 740.
- LI Sui1, SHI Tiemao, FU Shilei, *et al.* Landscape ecological security pattern during urban expansion of Nanchong City [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(3): 734 – 740.