基于 GIS、景观格局和网络分析法的厦门 本岛生态网络规划

王海珍 张利权*

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要 以厦门本岛 2000 年 Landsat-TM 卫星影像解译的土地利用现状图、绿地系统现状图与规划图为基础资料, 在地理信息系统(GIS)支持下, 运用景观格局分析方法, 选用多种景观指数, 评价了厦门本岛绿地系统的现状与已有规划。在此基础上, 应用网络分析法构建了旨在优化生态网络的不同新方案。通过 α 指数、 β 指数、 γ 指数等网络结构指数, 进行不同方案的比较, 从中选出最优的规划方案。将选出的生态网络 E 的廊道宽度设为 50 m, 叠加到厦门市绿地系统规划图上, 并应用景观指数, 定量评价了该优化方案对厦门本岛绿地系统的改善情况。其结果表明: 该优化方案能使景观的破碎化程度得到改善, 绿地斑块形状的复杂性程度进一步增加, 景观连接度得到提高, 说明优化方案生态网络 E 可进一步明显改善厦门本岛现有绿地系统的数量和质量。我们的研究结果也表明: 应用景观指数和网络分析法相结合的方法, 不仅可以定量评价城市绿地系统现状以及规划的合理性, 而且可以优化城市生态网络的方案, 使其更符合城市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。

关键词 生态网络 景观格局分析 网络分析法 厦门本岛

A GIS, LANDSCAPE PATTERN AND NETWORK ANALYSIS BASED PLANNING OF ECOLOGICAL NETWORKS FOR XIAMEN ISLAND

WANG Hai-Zhen and ZHANG Li-Quan*

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract Urbanization is arguably the most dramatic form of land transformation with profound impacts on the natural environment, biological diversity and human life. Human activities have inevitably altered the structure, function, and dynamics of ecological systems, such as fragmentation of natural elements in the urban landscape. Therefore, it has become increasingly important for large-scale ecological research and applications (e.g., urban landscape planning, land use planning, and biodiversity conservation) to consider the ecological consequences of these dramatic land transformations. It is a major task for urban landscape planners to construct effective and harmonious urban greenbelt networks and maintain a sustainable urban development environment.

Based on a land use map created from a Landsat-TM satellite image from the year 2000, a map of a greenbelt system from 2002 and a map of a planned greenbelt system, we used landscape spatial pattern analysis and a series of landscape pattern metrics on a GIS platform to assess the present situation and the planned greenbelt system for Xiamen Island. Based on these analyses, a number of new planning scenarios were designed by using network analysis methods for optimizing the ecological network of Xiamen Island. Some indices that reflected corridor characteristics, such as corridor length and corridor density, were also calculated for every planning scenario. Using network indices such as α -, β -, γ indices, cost ratio and corridor metrics, an optimal planning scenario E was selected among those planning scenarios of ecological networks. The optimal planning scenario E was then overlaid on the existing plans for a greenbelt system on a GIS platform. A series of landscape metrics were then calculated to assess the improvement of the optimal planning scenario E on the ecological network of the existing greenbelt system plans for Xiamen Island.

Our results showed that the greenbelt system plan for Xiamen Island was an improvement as indicated by a decrease in patch density and increase in edge density, mean patch fractal dimension on the patch level, landscape diversity, landscape evenness, and landscape connectivity. Compared to the existing greenbelt system plan, the optimal planning scenario E would improve the network connectivity and network circuitry considerably. The optimal planning scenario E greenbelt system could improve the degree of landscape fragmenta-

tion, increase the shape complexity of greenbelt patches and increase the landscape connectivity greatly.

Our results indicated that the methods used were able to integrate landscape pattern metrics with network analyses and quantitatively assess the present situation and the rationality of planning for urban greenbelt systems. Also we demonstrated that these methods could be used to optimize planning scenarios for urban ecological networks to make them more aligned with the principles of conformity, harmony, circulation, safety, diversity and sustainability.

Key words Ecological network, Greenbelts, Landscape pattern analysis, Network analysis method, Xiamen Island

就全球而言,城市化趋势正在不断加速,人类活动的加剧使城市景观中的自然景观要素数量不断减少、类型趋于单一,绿色空间破碎化现象日益明显。因此,城市景观生态规划的任务之一是营造良好的城市空间环境,建设高效和协调的城市绿色网络系统,以实现城市的可持续发展。城市生态网络的建设必须针对地方生态特征,注意维护和构筑自然斑块之间的联系,形成城市环境与自然环境和谐的城市空间;要善于利用城市中的自然山水,构建城市的生态廊道,尽可能将分散的城市绿地组合成网络,以建设自然、多样、高效、完善和具有一定自我维持能力的城市绿色空间体系(张庆费,2002)。

景观指数能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置等方面特征。近十几年来,用于景观格局分析的景观指数已在城市生态学研究得到了广泛应用(Luck & Wu, 2002; 张利权等, 2004)。定量分析城市绿地系统的景观格局对于城市生态网络建设也是很必要的。景观指数可用来判断城市绿地系统的异质性(李贞等,2000),可用于可持续景观规划(Leitão & Ahern, 2002)和对规划方案进行辅助评价(钟林生等,2002),是把景观生态学概念应用到实际规划中的重要工具之一。但在城市生态网络评价和规划中,目前应用还甚少(Cook, 2002; Leitão & Ahern, 2002)。

网络分析是运筹学的一个分支,主要运用图论方法研究各类网络的结构及其优化问题。网络分析方法在地理学中得到了广泛的应用,如城市地域结构、交通问题、商业网点布置等(李江和郭庆胜, 2002)。生态网络的分析和规划被认为是提高城市开敞空间系统生态质量的有效方法(Cook, 1991),可以把复杂的城市绿地系统进行简化,将绿地斑块抽象为节点,将绿色廊道抽象为连线。因此,城市绿地系统可简化为由节点和连线组成的图论意义下的网络,可以进一步定量地测度它们的拓扑结构、连通性

和复杂性。在一系列测度指标中, α 指数、 β 指数和 γ 指数经常被用来评价网络的连接度(Forman & Gordon, 1986),而且在生态网络的连接度和有效性评价中也常使用这些指数(Linehan *et al.*, 1995; Cook, 2002)。目前,生态网络分析较多应用于自然保护规划(Linehan *et al.*, 1995; Jongman, 1995),而在城市生态网络建设方面的应用则较少。

厦门市作为我国东南沿海开放城市和经济特区,曾被评为“国家园林城市”、“中国优秀旅游城市”、“国际花园城市”,但随着城市化进程的不断加快,城市中自然生境不断受到人为干扰,质量不断下降,影响到城市生态系统的健康和城市的可持续发展。在《厦门市生态城市概念性规划》¹⁾中,我们在市域大尺度范围内,基于自然生态环境、生态系统承载能力和城市发展规划,并按照整合性、和谐性、流通性、安全性、多样性和持续性的原则,规划和设计了“碧海圈、绿环、六楔、多廊道”的厦门市域生态安全保障主体构架。在此基础上,本研究在中尺度范围内,1)应用景观格局分析与网络分析法相结合的方法,以斑块-廊道-网络分析为基础,评价厦门本岛绿地系统现状与已有的绿地规划;2)应用网络分析法,构建旨在优化生态网络的新方案,从中选出最优的规划方案。

1 研究区域

厦门市地处福建省东南部九龙江口,位于 $24^{\circ}24' \sim 24^{\circ}55' \text{ N}$, $117^{\circ}53' \sim 118^{\circ}25' \text{ E}$ 之间,背靠漳州、泉州,面对大小金门岛,与台湾、澎湖列岛隔海相望。厦门市由厦门本岛、鼓浪屿岛、北部内陆部分及附近小岛、海域组成,全市陆域面积 $1\,565 \text{ km}^2$,海域面积 344 km^2 (图1),2002年6月全市总人口192.5万。厦门属南亚热带季风型海洋性气候,气温变化小,年平均气温 20.9°C ,年平均降水量为 $1\,388 \text{ mm}$ 。

厦门本岛位于厦门市南部,全岛总面积 132.8 km^2 ,在2000年土地利用以城镇建设用地为主,占

1) State key laboratory of estuarine and coastal research, East China Normal University (华东师范大学河口海岸国家重点实验室). 2003. A conceptual planning of ecological city for Xiamen metropolitan region. (in Chinese)

图1 厦门本岛区位图和2000年土地利用现状图

Fig.1 The location and year 2000 land use map of Xiamen Island

51.6% (68.6 hm^2), 自然绿地为 17.3% (23 hm^2), 人工绿地为 11.3% (15 hm^2), 农业用地为 9.8% (13 hm^2), 围垦养殖 4.1% (5.4 hm^2)、水体 3.3% (4.4 hm^2) 和待建用地 2.6% (3.4 hm^2)。岛内有万石植物园风景旅游区、狐尾山、仙岳山、虎仔山、薛岭山、园山等山体以及湖里公园、白鹭洲公园、南湖公园、中山公园等一系列公园。

2 研究方法

2.1 基础数据

本项研究的主要信息源是根据厦门市 2000 年 Landsat-TM 卫星遥感影像解译得到的土地利用现状图(图 1, 由厦门市环境信息中心提供)、2002 年厦门市绿地现状分布图和厦门市环境绿地规划图¹⁾。根据研究目的, 将土地利用现状原数据中有林地和具良好植被的天然山体归为自然绿地, 而把城市绿地、草坪和城市公园归为人工绿地。采用 ESRI 的 Arcview 3.2 软件, 分别把土地利用现状图、绿地现状分布图和绿地规划图数字化, 经图层叠加和校准, 得

出基于 GIS 的厦门本岛绿地系统现状图和厦门本岛绿地系统规划图(图 2)。

2.2 景观格局分析

首先, 把厦门本岛绿地系统中的自然绿地和人工绿地分为两种斑块类型, 用 ESRI 的 ArcView Spatial Analyst 将厦门本岛绿地系统现状图和绿地系统规划图(图 2)的矢量数据转换为栅格数据(栅格大小 10 m $\times$ 10 m), 随后应用专业软件 FRAGSTATS (McGarigal & Marks, 1995) 进行厦门本岛绿地系统的格局分析。景观格局特征可以在单一斑块、斑块类型和景观 3 个层次上分析。应用 FRAGSTATS 软件可得出众多的景观指数, 我们选用了文献中常用的景观指数, 并且结合厦门绿地系统的实际情况选择了具有明确生态学意义的 10 个景观指数, 其中包括非空间的组分指数(如斑块类型总面积 CA、斑块密度 PD、边界密度 ED、平均斑块面积 MPS、多样性指数 SHDI、均匀性指数 SHEI)和空间的配置指数(如景观形状指数 LSI、平均斑块分维数 MPFD、欧氏最近邻体距离 ENN 和连接度 CONNECT)(鄂建国,

1) Institute of landscape sciences, Tongji University(同济大学风景科学研究所) & Xiamen academy of urban planning and design(厦门市城市规划设计研究院). 2002. A planning of urban greenbelt system of Xiamen metropolitan region. (in Chinese)

图2 厦门本岛绿地系统现状图(A)和厦门本岛绿地系统规划图(B)
Fig.2 The maps of present situation (A) and planning of greenbelt system (B) of Xiamen Island

2000;张利权等,2004)。

2.3 网络分析

2.3.1 网络类型

网络可分为分枝网络和环形网络两种形式(图3),规定各连线之间不交叉,而且除顶点外,不能再有其它共同点。图3中网络a、b和c为分枝网路,网络d、e和f为环形网路。在分枝网络中,网络a是最基本的;网络b是一种等级网络,连线从一个中心节点发出;网络c是建造费用最小的网络,每个节点只与一条连线相接。在环形网络中,网络d是最基本的,由单环组成;网络e是使用费用最小的网络,网络中任意两个节点都被直接连接起来;网络f介于网络c和网络e之间,力求找到二者的平衡点(Hellmund,1989)。

本项研究利用GIS查询功能,选取厦门本岛绿地系统规划图中面积大于6hm²的绿地共50块,将其抽象为节点,参照图3中常见的网络类型,构建厦门本岛的生态网络。网络包括廊道网络和斑块网络,本文所构建的网络主要指廊道网络,廊道网络由节点和连接廊道构成。

2.3.2 廊道结构分析

由于生态网络是由节点和廊道组成,因此生态网络的分析应包括生态廊道的结构分析。廊道的结构特征主要包括:宽度、组成成分、内部环境、形状、

图3 常见网络举例(Hellmund,1989)
Fig.3 Examples of the common networks(Hellmund,1989)

连续性等,其中廊道的宽度和连结度是控制廊道功能的主要因素。因此,我们选择廊道的数量、长度和密度进行廊道的结构分析。

2.3.3 网络结构分析

网络的复杂性可用网络连接度(Network connec-

tivity)、线点率、网络闭合度(Network circuitry)以及成本比(Cost ratio)进行描述。

网络闭合度是用来描述网络中回路出现的程度,即网络中实际回路数与网络中存在的最大可能回路数之比,可用 α 指数来测度:

$$\alpha = (L - V + 1) / (2V - 5)$$

β 指数也称线点率,是指网络中每个节点的平均连线数:

$$\beta = L / V$$

网络连接度是用来描述网络中所有节点被连接的程度,即一个网络中连接廊道数与最大可能连接廊道数之比,可用 γ 指数来测度:

$$\gamma = L / 3(V - 2)$$

其中, L 为廊道数, V 为节点数。 α 值的变化范围在 0~1 之间,当 $\alpha = 0$ 时,表示网络无回路,当 $\alpha = 1$ 时,表示网络具有最大可能的回路数(Hagget *et al.*, 1977)。当 $\beta < 1$ 时,表示形成树状格局, $\beta = 1$ 时,表示形成单一回路, $\beta > 1$ 时,表示有更复杂的连接度水平(Hagget & Chorley, 1972)。 γ 指数的变化范围为 0~1, $\gamma = 0$ 时,表示没有节点相连, $\gamma = 1$ 时表示每个节点都彼此相连(Hagget *et al.*, 1977)。

α 指数、 β 指数和 γ 指数是用来测度网络的抽象属性,成本比则考虑廊道的长度,主要反映了网络的有效性:

成本比(Cost ratio) = 1 - (廊道数量/廊道长度)(Dalton *et al.*, 1973)

针对所设计的生态网络,采用 α 指数、 β 指数、 γ 指数及成本比进行网络结构评价,从中选出厦门本岛生态网络优化方案。将生态廊道设为宽度为 50 m 的绿地,叠加到厦门市绿地规划图上,然后按前述的景观格局分析方法,定量检验该生态网络优化方案。

3 结果与分析

3.1 绿地系统现状图与规划图的景观格局分析

3.1.1 自然绿地和人工绿地的斑块类型分析

对厦门本岛绿地系统现状图和规划图(图 2)的景观格局分析,得到一系列斑块类型水平上的景观指数(表 1)。规划图中自然绿地的指数没有变化,说明该规划保持了现有的自然绿地,而人工绿地斑块的总面积从 1 491 hm^2 增加到 3 434 hm^2 ,斑块密度从 $2.98 \cdot \text{km}^{-2}$ 下降为 $2.74 \cdot \text{km}^{-2}$ 、平均斑块面积从 3.8 hm^2 增加到 9.5 hm^2 ,反映了该规划将人工绿地中较小的斑块连接成较大的斑块,使斑块的破碎化程度呈现下降趋势。反映斑块边界特征的边界密度明显上升,反映斑块形状的平均斑块分维数也有所增加,表明斑块形状的复杂性增加。说明该规划明显改善了厦门本岛现有绿地系统的数量和质量。

3.1.2 绿地系统在景观层次上的格局分析

根据景观层次上格局分析的目的,先将厦门本岛绿地系统现状图和规划图中的自然绿地和人工绿地合并为一大类即绿地,将其它 5 种土地利用类型合并为另一大类即非绿地,在此基础上计算出厦门本岛绿地系统在景观层次上的一系列景观指数(表 2)。

分析结果表明,斑块密度从现状图的 $3.419 \cdot \text{km}^{-2}$ 下降为规划图的 $3.025 \cdot \text{km}^{-2}$,平均斑块面积从 29.25 hm^2 增加到 33.06 hm^2 ,反映出规划图中绿地系统的景观破碎化程度明显降低,斑块面积的离散程度下降,斑块面积分布均匀程度有所改善。反映景观边界特征的边界密度和反映斑块周长和面积比率的景观形状指数以及反映景观形状复杂性的平均斑块分维数等指数均有所增加。景观的多样性指数由 0.599 上升到 0.684,反映了景观多样性的提高,具体表现为各景观要素所占比例的差异有所缩小。均匀性指数由 0.864 提高到 0.987,表明景观中每种类型斑块分布的均匀程度大大改善,景观具有较强的均质性。从生态学意义上来说,较大的生境斑块有利于生物多样性的保护和物种的生存,而景观格局多样性的提高,可以提供更加多样化的生境,从而增

表 1 厦门本岛绿地系统现状和规划的斑块类型水平上的景观指数
Table 1 Landscape metrics on the patch level of the present and planning of greenbelt systems of Xiamen Island

景观指数 Landscape metrics	自然绿地 Natural greenbelt		人工绿地 Cultivated greenbelt	
	现状 Present	规划 Planning	现状 Present	规划 Planning
斑块类型总面积 (CA) (hm^2)	2 292	2 292	1 491	3 434
斑块密度 (PD)($\text{number} \cdot \text{km}^{-2}$)	0.23	0.23	2.98	2.74
边界密度 (ED) ($\text{m} \cdot \text{hm}^{-2}$)	11	11	29.7	45.4
平均斑块面积 (MPS)(hm^2)	73.9	73.9	3.8	9.5
平均斑块分维数 (MPFD)	1.07	1.07	1.07	1.08

CA: Total class area PD: Patch density ED: Edge density MPS: Mean patch size MPFD: Mean patch fractal dimension

表 2 厦门本岛绿地系统现状、规划以及生态网络 E 在景观水平上的景观指数对比

景观指数 Landscape metrics	现状 Present	规划 Planning	生态网络 E Network E
斑块密度 (PD) (number•km ⁻²)	3.419	3.025	3.017
边界密度 (ED) (m•hm ⁻²)	41.52	43.82	50.1
平均斑块面积 (MPS)(hm ²)	29.25	33.06	33.14
平均斑块分维数 (MPFD)	1.068	1.071	1.079
景观形状指数 (LSI)	11.93	12.6	14.4
欧氏最近邻体距离 (ENN) (m)	102.3	81.5	69.5
连接度指数 (CONNECT)	2.22	3.17	3.51
多样性指数 (SHDI)	0.599	0.684	0.688
均匀性指数 (SHEI)	0.864	0.987	0.992

PD, ED, MPS, MPFD: See Table 1 LSI: Landscape shape index ENN: Euclidean nearest neighbor distance CONNECT: Connection index SHDI: Shannon's diversity index SHEI: Shannon's evenness index

加物种多样性。

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。规划图的欧氏最近邻体距离从现状图的 102.3 m 减小为 81.5 m,连接度指数从 2.22 提高到 3.17,反映了景观在连接度方面的改善。绿地系统在景观层次上的格局分析也说明该规划明显改善了厦门本岛现有绿地系统的数量和质量。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。

3.2 生态网络规划

在厦门本岛绿地系统规划图的基础上,选取斑块面积大于 6 hm² 的主要绿地作为节点,并参考图 3 中的网络类型,可以构建下述生态网络 A-E(图 4)。其中,生态网络 A 和 B 没有形成封闭的环。若将生态网络 B 中的主通道闭合,可构建为生态网络 C,该网络中廊道数较少。在生态网络 C 的基础上,用生态廊道将所有节点连接起来,但避免其间具不可逾越的障碍(如城市建筑等)以及廊道间相交或重复,即可构建具较高复杂性的生态网络 D。厦门本岛是城市化程度较高的地区,城镇建设用地占到 50% 以上,生态廊道的设计会受到城市用地现状的影响。然而城市景观中的道路可以构建为绿色廊道并整合到生态网络中(Viles & Rosier, 2001),因而在生态网络 D 的基础上,结合厦门本岛的城市用地现状和绿地系统现状,将一些廊道(如岛西北部和东北部的廊道)由直线设计为沿道路走向的绿化廊道,而与万石山节点相连的廊道设计为与其实际边界连接,经过调整后得到生态网络 E。

规划的生态网络 E 将厦门本岛上生态环境较

好、生境斑块面积较大的山体和绿地连接起来,岛中部东西向的生态廊道贯通了狐尾山、仙岳山、园山、薛岭山以及虎头山等一系列原本孤立的山体。岛内四条纵向廊道将万石山及附近山体与其它小型人工绿地连接起来,万石山是国家级风景名胜區,山体自然植被保护较好,具有向其它绿地斑块进行生态扩散的潜力。同时,建设环厦门本岛的网络具有重要的生态意义。厦门岛的地理位置决定了其沿海地带是海洋生态系统和陆地生态系统的过渡带,是海陆生态交错带,而生态交错带具有栖息地作用、通道作用、过滤器作用等功能。环岛生态网络可以为许多边缘种提供栖息地,为某些生态流提供通道,同时阻碍另一些组分,如抵御海潮、风浪等自然灾害,具有非常重要的生态防护功能。因而,生态网络 E 中规划的生态廊道可进一步促进这些生态过程。

3.3 生态廊道分析

图 4 中各生态网络构建方案的廊道结构分析结果见表 3。其中,生态网络 A、B、C 和 D 4 个方案是抽象的生态网络,斑块被抽象为节点,廊道都设计为直线,因此廊道的长度取绿地斑块中心点之间的距离,而生态网络 E 考虑了城市土地利用现状,以避免廊道的重复计算。5 个方案中,生态廊道数量的顺序依次为网络 E = D > C > B > A,生态廊道长度和生态廊道密度的顺序为网络 D > E > C > B > A,说明生态网络 D 和 E 具有较高的复杂性。较高的生态廊道密度可以为更多的物种尤其是边缘种提供栖息地,更有利于发挥廊道作为线性生境的功能。

3.4 网络结构分析

图 4 中各生态网络构建方案的网络结构分析结果见表 4。网络 A 只选取 22 个面积大于 20 hm² 的重要斑块进行连接,还有 28 个斑块是孤立存在的,且网络中不存在回路,因此 α 、 β 、 γ 指数都是最低的,其中 α 指数出现负值,而成本比最高。网络 C

图 4 厦门本岛生态网络构建方案
Fig.4 The planning scenarios of ecological networks for Xiamen Island

表 3 生态网络规划方案的廊道结构指数
Table 3 The corridor metrics of planning scenarios of the ecological networks

网络 Network	廊道数量 Corridor number	廊道长度 Corridor length (km)	廊道密度 Corridor density (km ² ·km ⁻²)
A	21	42.08	0.32
B	49	69.14	0.52
C	50	71.83	0.54
D	66	119.12	0.90
E	66	103.74	0.78

表 4 生态网络规划方案的网络结构指数
Table 4 The network metrics for planning scenarios of the ecological networks

网络 Network	节点 Node	廊道 Corridor	α 指数 α index	β 指数 β index	γ 指数 γ index	成本比 Cost ratio
A	50	21	-0.29	0.42	0.15	0.50
B	50	49	0.00	0.98	1.02	0.29
C	50	50	0.01	1.00	1.04	0.30
D	50	66	0.18	1.32	1.38	0.45
E	50	66	0.18	1.32	1.38	0.36

与 B 相比,仅多了一条生态廊道,所以二者的网络指数比较相近,但同时可以发现,增加一条廊道使网络形成回路,会使网络 C 比 B 具有更高的连接度。

网络 B 和 C 的成本比在 5 个方案中是最低的,其设计较多地考虑了最近距离原则,因而是 5 个方案中建造费用最低的。网络 D 是最复杂的生态网络,其

连接度和环通度最高,但成本比也较高。与网络 D 相比,网络 E 具有相同的 α 指数、 β 指数、 γ 指数,但成本比则显著降低。因此,通过网络结构指数的比较,可以认为网络 E 是厦门本岛生态网络设计的优化方案。

城市生态网络的功能在于促进能流、物流和生物在景观中的流动,网络中廊道的连通性、廊道相互交叉的频率和这些交叉点扩展为斑块的程度,对迁移效率具有重要意义。很明显,网络 D 和网络 E 更有利于能流、物流和生物在景观中的流动,有利于提高城市生态环境的生物多样性。通过网络的连接度、网络闭合度即回路和成本比的计算,来合理选配和布局城市生态网络,这在生态、社会和经济上都具有重要意义。

3.5 生态网络 E 的景观格局分析

将生态网络 E 的廊道宽度设为 50 m,作为绿地,叠加到厦门本岛绿地规划图上(即包括了规划图中绿地系统),将其它 5 种土地利用类型合并为一大类即非绿地,在此基础上计算出生态网络 E 在景观层次上的一系列景观指数(表 2)。

分析结果表明,与厦门本岛绿地系统规划图相比,生态网络 E 中绿地面积仅增加了 204 hm²(占规划图中绿地面积的 3.6%),斑块密度下降,平均斑块面积增加,景观形状指数和平均斑块分维数均有所提高。景观的多样性指数和均匀性指数有所提高,欧氏最近邻体距离减小,连接度指数提高。说明优化方案生态网络 E 可进一步明显改善厦门本岛现有绿地系统的数量和质量。

4 讨 论

4.1 景观指数选取和景观类型分类在景观格局研究中的作用

景观指数通常能够高度浓缩景观格局信息,其特征可以在单一斑块、斑块类型和景观 3 个层次上分析。单一斑块指数是计算其它景观指数的基础,但它对了解整个景观结构的意义不是很大。与斑块密度和空间相对位置有关的斑块类型指数对描述和理解景观中不同类型斑块的格局特征具有较重要的意义。而景观层次上指数对理解和评价整个景观结构的意义很大(邬建国,2000)。因此,本文在比较厦门本岛绿地系统现状图和规划图中的自然绿地和人工绿地时,采用斑块密度、边界密度、平均斑块分维数等斑块类型水平指数来描述和评价这两种斑块类型的格局特征。而在评价厦门本岛绿地系统规划图

和优化方案生态网络 E 对厦门本岛绿地系统现状改善情况时,我们则选用了欧氏最近邻体距离、连接度、多样性和均匀性等景观水平指数。因此,在进行景观格局分析时必须根据所研究的生态学问题和研究层次,进行适当的斑块分类和选择恰当的景观指数。

4.2 景观格局分析和网络分析相结合的方法在城市生态网络建设中的重要性

定量分析城市绿地系统现状及其规划对于城市生态网络的建设是必不可少的手段。而理解城市生态网络的格局与过程,营造良好的城市空间环境,建设高效和协调的城市绿色网络系统,实现城市的可持续发展,都需要空间格局的定量化分析。

网络分析法常借助图论方法研究各类网络的结构及其优化问题,将景观要素从真实的复杂状态,抽象为相对单调的“图”的水平,并进行定量分析。本文采用网络分析法将绿地斑块抽象为节点,将生态廊道抽象为连线,将复杂的城市绿地系统描述为网络,系统地分析了绿地斑块和生态廊道之间的拓扑关系。研究结果表明,应用网络分析法构建生态网络,可避免复杂的现实景观格局的影响,使网络结构更清晰。网络结构指数的应用可直接获得各生态网络规划方案的连接度、环通度等指标,从而评价出哪个方案更合理。网络分析方法可以进一步结合节点的重要性评价、潜在廊道的适宜性分析等,使结果更符合生态学和经济学的原理。在高度城市化地区设计生态网络,应兼顾远近期目标,综合考虑各种用地关系以及可操作性。如厦门岛中部西侧以湖滨东路为轴的生态廊道,穿过岛内比较繁华的区域,生态网络规划空间比较狭窄,近期内可以通过适当拓宽和改造道路绿化将仙岳山公园、体育中心附属绿地、南湖公园以及规划的儿童公园与万石山连接起来;东侧以铁路为轴的生态廊道,同样可以通过铁路沿线绿化将小东山公园、园山以及规划的岭西园、龙山公园与万石山连接起来,在一定程度上可以发挥生态网络的功能。而一些暂时难以建设的廊道,可以在今后的城市改造和规划中加以考虑和实现,为城市未来发展提供方向和指导。

我们的研究结果表明,应用景观格局分析和网络分析相结合的方法,不仅可以定量评价城市绿地系统现状以及规划的合理性,而且可以优化城市生态网络的规划方案,使其更符合城市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。

参 考 文 献

- Cook EA (1991). Urban landscape networks: an ecological planning framework. *Landscape Research*, 16, 7 – 15.
- Cook EA (2002). Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. *Landscape and Urban Planning*, 58, 269 – 280.
- Dalton R, Garlick J, Minshull R, Robinson A (1973). *Networks in Geography*. Phillip, London.
- Forman RTT, Godron M (1986). *Landscape Ecology*. Wiley, New York.
- Hagget P, Cliff AD, Fry A (1977). *Locational Analysis in Human Geography* 2nd edn. Wiley, New York.
- Hagget P, Chorley RJ (1972). *Network Analysis in Geography*. Edward Arnold, London. 348.
- Hellmund P (1989). *Quabbin to Wachusett Wildlife Corridor Study*. Harvard Graduate School of Design, Cambridge, MA.
- Jongman RHG (1995). Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks. *Landscape and Urban Planning*, 32, 169 – 183.
- Leitão AB, Ahern J (2002). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65 – 93.
- Li J (李江), Guo QS (郭庆胜) (2002). Quantitative representing complexity of urban traffic network base on GIS. *Journal of Central China Normal University (Natural Science Edition)* (华中师范大学学报 (自然科学版)), 36, 534 – 537. (in Chinese with English abstract)
- Li Z (李贞), Wang LR (王丽荣), Guan DS (管东生) (2000). Landscape heterogeneity of urban vegetation in Guangzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 11, 127 – 130. (in Chinese with English abstract)
- Linehan J, Gross M, Finn J (1995). Greenway planning: developing a landscape ecological network approach. *Landscape and Urban Planning*, 33, 179 – 193.
- Luck M, Wu J (2002). A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 17, 327 – 339.
- McGarigal K, Marks BJ (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351. Portland, OR: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Viles RL, Rosier DJ (2001). How to use roads in the creation of greenways: case studies in three New Zealand landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 55, 15 – 27.
- Wu JG (邬建国) (2000). *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (景观生态学: 格局、过程、尺度与等级). Higher Education Press, Beijing, 99 – 109. (in Chinese)
- Zhang LQ (张利权), Wu JP (吴健平), Zhen Y (甄), Shu J (束炯) (2004). A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan region. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 78 – 85. (in Chinese with English abstract)
- Zhang QF (张庆费) (2002). Urban green networks and its construction framework. *Urban Planning Forum* (城市规划汇刊), 137, 75 – 80. (in Chinese with English abstract)
- Zhong LS (钟林生), Xiao DN (肖笃宁), Chen WB (陈文波) (2002). Assistant assessment of landscape indices for general planning program of Wusuli River National Forest Park. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 13, 31 – 34. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 傅伯杰 责任编辑: 张丽赫