

深圳快速城市化地区公路沿线土地利用空间集聚

吕晓芳^{1,2}, 王仰麟^{1,2}, 彭建¹, 吴健生²

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

2. 北京大学深圳研究生院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055)

摘要: 以 2005 年深圳市主要公路沿线 6 类城市建设用地为研究对象, 基于景观格局指数和空间数据挖掘 (SDM) 中的空间关联规则, 研究不同缓冲带内其建设用地单一类型、相邻类型及组合类型的空间集聚特征。结果表明: 主要公路两侧以工业用地为主, “三来一补”、“三资”企业为主体的外向型乡镇企业加快了特区外的农村城市化进程; 城市公共设施、教育和医疗卫生用地缺乏, 一定程度上妨碍了城市经济功能的协调; 单一类型建设用地景观分异特征趋向于距公路越远, 出现频率越小, 且随着逐渐远离公路线出现了若干次级集中区, 距公路 500-1000 m 可作为识别该次级中心的特征带; 两类建设用地之间的空间邻近分布特征表明, 以各类建设用地为中心与其他类建设用地在公路线附近均表现邻近, 沿线附近和较远距离上随工业用地出现峰值, 同时出现其周围住宅用地的集聚, 特区外该类现象尤为明显; 土地利用组合特征表明各类建设用地均呈很强的空间自相关性, 其中以各类建设用地与工业用地的组合尤为普遍, 体现了研究区尤其是特区外主要工业承载区中经济活动空间以工业区为中心的集群效应。

关键词: 快速城市化地区; 景观分异; 集聚特征; 邻域; 土地利用组合; 深圳

1 引言

城市作为人类活动高度聚集的区域, 其土地利用状况反映了城市中各产业经济行为的空间格局^[1], 不同土地利用类型的空间集聚特征体现了城市不同的经济发展形态^[2,3]。对城市土地利用空间格局的剖析有助于城市经济活动的空间集聚特征识别和城市扩展模型构建中优势尺度及特征阈值的获取^[4-6], 对城市的科学发展具有重要意义。

作为快速城市化地区经济廊道的交通干线是区域产业集聚和扩散的重要支撑体系^[7], 同时它也带来了交通沿线建设用地快速扩张和土地利用景观剧烈变化的廊道效应^[8], 这种现象在中国尤其是经济高速增长的沿海地区很明显^[9], 深圳市作为中国沿海典型的快速城市化地区, 对其交通沿线城市建设用地的空间集聚特征的分析有利于探索快速城市化进程中城市土地利用格局与交通系统的响应规律。

近年来较多学者探讨了城市土地利用的空间集聚特征, 多采用景观指数、土地利用指数等, 结合梯度分析和空间统计^[10-12]方法, 探讨城市绿地^[13]、城市产业集群^[14, 15]、城市土地利用变化^[16-18]等的集聚指数、空间自相关性、及关联度等空间集聚特征。考虑到上述研究多是对宏观、静态的土地利用格局进行分析, 不能有效表征城市中不同土地利用类型在空间上的相互依存关系, 有学者开始对土地利用类型的邻域特征^[5, 19-22]等进行探讨。在交通沿线的城市土地利用研究中^[9, 23-25], 通过对交通沿线城市土地利用景观空间分异特征和空间邻近分布特征等进行多尺度分析, 探索城市经济活动的空间集聚特征的研究目

收稿日期: 2007-07-16; 修订日期: 2008-05-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40635028) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 40635028]

作者简介: 吕晓芳 (1978-), 河北省人, 博士研究生, 主要从事景观生态与土地利用研究。

通讯作者: 王仰麟, E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

前还处于探索阶段。本文以典型快速城市化地区—深圳市为案例，分别从城市土地利用中的单一类型、相邻类型及组合类型三个层面，探讨研究区主要公路沿线6类城市建设用地的空间集聚特征，为快速城市化地区公路沿线的产业空间集聚和合理布局及交通规划与近期建设规划的衔接提供理论依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

深圳市位于珠江三角洲东南部，北接惠州市和东莞市，南与香港毗邻（图1），总面积1952.84 km²（不包括内伶仃岛），地势东南高、西北低。行政辖区包括罗湖区、福田区、南山区、盐田区、宝安区和龙岗区。随着经济特区的建立，近30年来深圳迅速成为中国沿海经济高速增长的特大城市^[26]，

2005年末常住人口已达827.75万人^[27]，城市建设用地快速扩张在公路沿线表现尤为剧烈。

2.2 数据来源

本研究采用的数据源为2005年覆盖全市的Landsat TM影像和2004年12月SPOT影像，在遥感影像解译时采用监督分类方法和人工目视解译分类法，结合深圳市1:10000地形图、数字高程图（DEM）、高分辨率航空像片，并参照近期深圳市土地利用数据、近期交通规划图和城市建设用地规划图^[28]，选取市内9条主要公路提取沿线城市建设用地数据。所用遥感图像及矢量数据处理软件为PCI geomatics V 7.0和Arcgis 9.0。

2.3 研究方法

2.3.1 单一类型 识别公路沿线各类建设用地的多尺度景观分异特征。基于GIS空间叠加分析模块，以选取的公路为轴线向两侧建立50 m分辨率高频缓冲带，探究6类城市建设用地随着远离公路表现出的景观指数分异。由于部分公路干线分布在市区边缘，在构建缓冲区时考虑建设用地需相对集中及尽量减少边缘误差，最大缓冲距离为距公路两侧2450 m，共48个缓冲带。由于考虑到以缓冲带为评价单元，采用斑块数和斑块面积来体现单一类型建设用地的景观分异特征。

对其中6类城市建设用地（表1）的斑块数进行量算时，发现若以48个缓冲带上的斑块数量序列作多尺度分异曲线，变化趋势较杂乱，干扰了序列的真实变化特征。为更清晰的提取变化特征，采取小波消噪方法剔除序列中的噪音。小波分析方法近年来在对一维序列中高频成分和低频成分的信噪分离研究中应用较多且效果较好^[29, 30]。其原理基于：

$$s(n) = f(n) + \sigma e(n) \quad (1)$$

式中： $s(n)$ 为含噪信号； $f(n)$ 为有用信号， $e(n)$ 为白噪声。具体过程为：选择合适的小波函数，确定小波分解层次；对信号进行N层小波分解后，对每层高频系数，进行门限阈

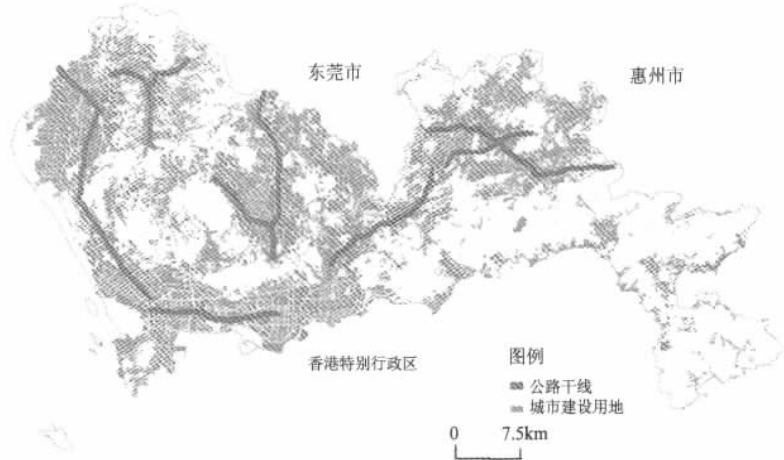


图1 深圳市主要公路及城市建设用地示意图

Fig. 1 Map of main highways and urban land use in Shenzhen

表 1 研究区城市建设用地类型说明

Tab. 1 Definition of urban land use types in the study area

ID	用地类型	具体含义
1	工业用地	包括工业生产及设施用地、采矿地、仓储及保税区分区
2	住宅用地	包括城镇居民住宅及城市内村民宅基地
3	服务业用地	包括商业、金融业、餐饮旅馆业及其他经营性服务业及其设施用地
4	办公及其他用地	包括政府、团体、科研等办公用地及军事、宗教及其它特殊用地
5	城市休闲地	包括公益性文化体育设施用地及名胜古迹、公园、广场、城市公共绿地等
6	公共设施用地	包括城市给排水、供电、供热、邮政等基础设施用地及教育和医疗卫生用地

值量化处理;根据小波分解的第N层的低频系数和经过量化处理后的第1层到第N层的高频系数,进行信号的小波重构后得到消噪信号,可以识别研究序列在不同尺度下的变化趋势。考虑到研究序列受噪音污染较轻,采用Db4正交小波对各类城市建设用地斑块数量序列进行1级Mallat小波分解,获得了6类城市建设用地的斑块数量序列变化趋势。

2.3.2 相邻类型 量测公路沿线两类城市建设用地之间的空间集中邻近程度。土地利用邻域特征分析多出现在城市扩展理论及土地利用变化过程模拟^[5, 19-21]研究中,用以解析不同土地利用方式之间的相互影响规律。借鉴前述研究,因城市建设用地斑块形状大多较规则,可以各土地利用类型的各斑块重心为原点,采用Arcgis9.0中Analysis模块中的最邻近距离算法,量测其在公路沿线不同缓冲带上与其他类建设用地斑块重心之间的最邻近距离。

考虑到部分土地利用斑块形状的不规则会产生其重心分布的偏差,采用景观形状指数来选择不规则斑块进行重心纠正,公式^[31]如下:

$$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

LSI指数反映斑块形状偏离正方形的程度,LSI > 1,无上限,LSI值越大,表明斑块形状越偏离正方形。设定LSI阈值,选出形状复杂的斑块进行重心纠正。

对不同缓冲带中土地利用类型之间的距离统计结果,采用SPSS软件中Descriptive Statistics模块,进行统计分组,来去除异质点,并根据不同样本的出现频率对结果的影响不同,采用加权平均法,得出多个缓冲带上各用地类型之间的邻近距离。加权平均公式^[32]如下:

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i d_i \quad (3)$$

式中: \bar{d} 为加权平均结果, f_i 为分组频数表中各组数据出现的次数, d_i 为各组的组中值。

2.3.3 土地利用组合类型 辨识公路沿线各类建设用地邻域中出现频繁的土地利用组合及其空间聚集特征。目前基于空间数据挖掘Spatial Data Mining(SDM)方法,通过GIS数据库的地理空间认知特性来解析土地利用景观特征的研究较少^[33, 34]。本研究采用空间数据挖掘(SDM)中的空间关联规则(Association rule)^[35],运用最邻近距离变量(用near to算子来表达)作为GIS空间谓词,以各斑块空间重心坐标为关联,建立以各土地利用类型斑块为出发点,在其影响扇区内出现其他土地利用斑块组合的布尔型关系表,搜索GIS中隐含的空间邻近关系的显示表达和概括(工作原理见图1、图2)。图中 f_i 为相邻斑块,

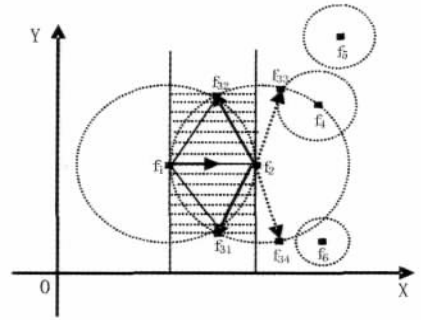


图 2 土地利用组合邻域分析原理

Fig. 2 The principle of neighborhood analysis of land use combination

阴影区为影响扇区。若运用最邻近距离算子选出的第三点落入影响扇区之外(如 f_{33} , f_{34}), 则根据其他斑块的影 响扇区确定其归属。

3 结果与分析

3.1 公路沿线单一建设用地类型空间集中与分散特征

3.1.1 各类城市建设用地总体数量结构特征

从表 2 中可以看出, 随着深圳市快速城市化和工业化进程, 目前主要公路沿线两侧 2450 m 范围内工业用地是最主要的城市建设用地类型, 约占总面积一半 (48.61%), 其数量也最多, 反映主要公路沿线的工业用地规模, 这与深圳市自改革开放以来加速发展外向型工业企业有直接关系。在空间分布上表现为特区外宝安和龙岗两区的工业用地比例较高, 随着特区内生居住用地与商业金融业等用地不断扩展, 其经济功能逐渐向金融、服务业等第三产业转型, 随着地价不断上涨, 工业企业用地趋向于向相对低廉的特区外扩张; 住宅用地面积约占到研究区总面积的 29.37%, 多分布于特区内 外公路沿线附近及主要道路交汇处; 政府、科研等办公用地的比例较高, 体现了深圳市在 城市化过程中政府配套服务及科研基础设施建设的力度; 服务业用地 (主要为商业服务及 设施用地) 仅占 4.84%, 且多集中于特区内, 随着特区外城市化进程的加速, 其第三产 业发展还有待挖潜; 公益性文化体育设施用地及公共绿地等城市休闲地多为沿公路干线的 城市绿化带和公路枢纽附近的大型广场绿地; 城市公共设施、教育及医疗卫生用地占比 重少, 一定程度上妨碍了城市经济功能的协调^[23]。

3.1.2 单一建设用地类型数量的空间分异 经过小波消噪处理后, 各类建设用地数量变化趋势较清晰 (图 3)。总体上各类用地 (除城市休闲地外) 随距离公路越远, 出现频率越 小。但离公路最近的缓冲带并不是各类用地出现最多的地区, 总滞后约一到二个缓冲带 (100-200 m) 才出现峰值 (图 3)。这与公路沿线地价偏高, 造成生产成本增加而导致建设 用地区位后移有关。且随着逐渐远离公路, 各类用地均出现若干次级中心, 尤其在离公

表 2 深圳市公路沿线城市建设用地统计
Tab. 2 Urban land use structure along highways in Shenzhen

用地类型	面积比例 (%)	斑块数量 (个)	斑块密度 (个/km ²)
工业用地	48.61	5227	12.83
住宅用地	29.37	3768	9.25
服务业用地	4.84	1165	2.86
办公及其他用地	8.23	1408	3.46
城市休闲地	4.92	1115	2.74
公共基础设施用地	4.04	885	2.17

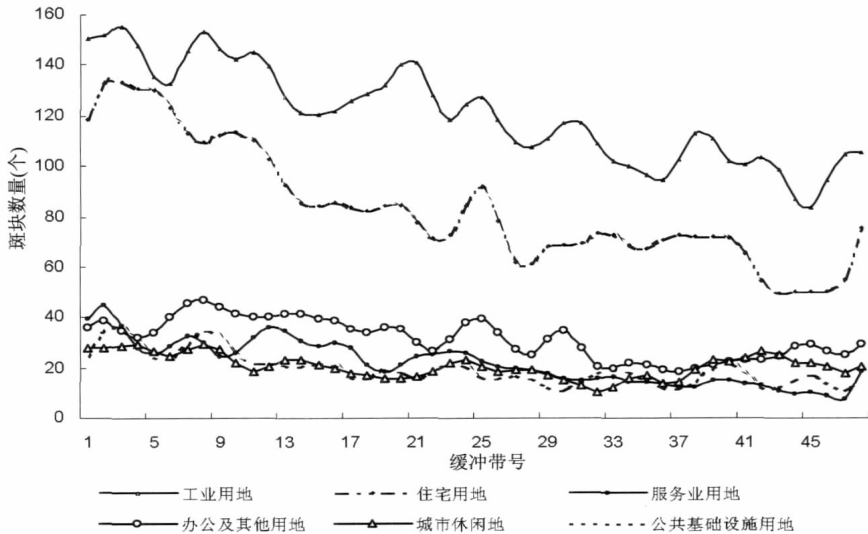


图 3 2005 年深圳市公路沿线各类城市建设用地斑块数量空间分异曲线

Fig. 3 Spatial variation curve of quantity of different urban land use along highway in Shenzhen, 2005

路 10-20 个缓冲带 (500-1000 m)，除工业用地数量出现相对低谷外，其他各类用地数量均为较明显的峰值。

就各类用地数量的空间分异来看，工业用地的变化趋势相对较为复杂 (图 3a)。总体上工业企业数量随着远离公路逐渐减少，但表现为明显的阶梯式下降，其次级集中地带分别为距公路 400-500 m、1000-1100 m、1200-1300 m、1500-1600 m，其中地价是重要驱动因素之一；住宅用地的数量变化随距离衰减的程度相对更剧烈，从图 3b 可得出其主要集中在距离公路较近的范围 (800 m 以内)，体现了住宅用地对出行可达性的需求；公共基础设施用地 (图 3e)和服务业用地 (图 3f) 的数量变化曲线形态虽有差异，但总体来看与住宅用地区位相似，表现为近距离集中，随后公共基础设施用地以 250 m 为间隔出现集中，此类空间集聚特征与以城市居民为对象，服务业和公共基础设施为支撑，从而达到较高用地效益的经济规律相符；办公及其他用地与城市休闲地在距离公路干线 1000-1900 m 范围内的集中分布趋势相似，有区别的是办公及其他用地 (图 3c) 在离公路较近范围 (400-1000 m) 内更为集中；而城市休闲地 (图 3d) 在远距离 (1900-2300 m) 上出现聚集，其中地形上属高海拔区域以林草地为主的绿地景观为外围城市休闲地的主要组成，反映了地形对建设用地空间集聚特征的影响。

3.1.3 单一建设用地类型面积的空间分异 从各类用地面积的空间分异来看 (图 4)，工业用地、服务业用地和住宅用地面积变化趋势明显，离公路越远，占地越少。将各类用地面积与其出现频率在同缓冲带上进行对照发现，就工业用地而言，随逐渐远离公路，工业用地面积减少程度远比其数量减少显著，表明沿线近距离范围内工业用地平均斑块面积较大，分布较集中，远离公路的工业区规模小且分散；城市休闲地在远距离 (1750-2300 m) 再次出现大面积分布，反映远距离上其数量少、规模大的分布特征，其中多为海拔较高、坡度较陡的山林地和园地，还分布着少量高尔夫球场；住宅用地平均斑块面积减少更为剧烈，尤其距公路两侧 1000-2000 m 范围内，住宅用地破碎化更为显著，其中居民住宅邻近交通设施，实现通行成本最小化的偏好是其主要原因；服务业用地和公共基础设施用地斑块面积和数量变化趋势相仿，表明该两类建设用地的平均斑块面积在各

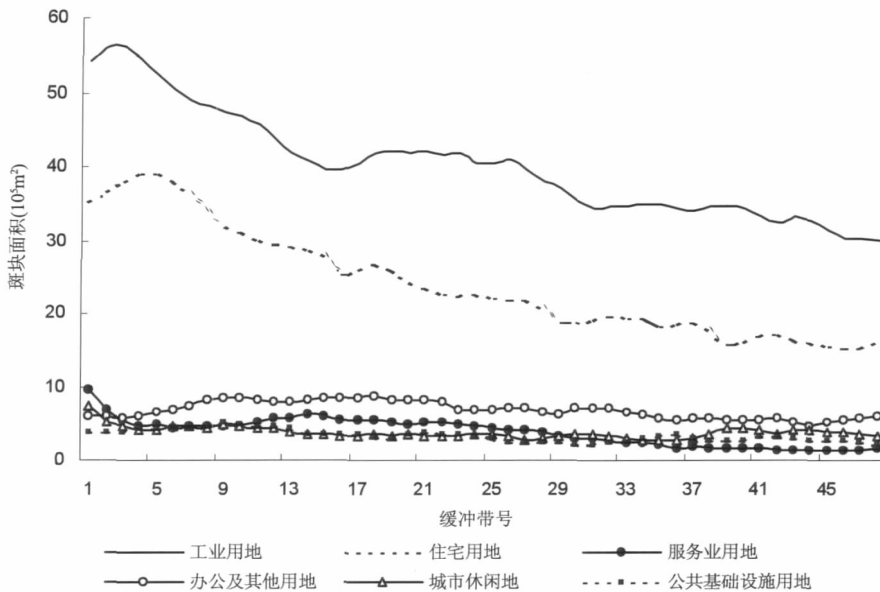


图 4 2005 年深圳市公路沿线各类城市建设用地斑块面积空间分异曲线

Fig. 4 Spatial variation curve of area of different urban land use along highway in Shenzhen, 2005

缓冲带内差异不大，沿线近距离上由于出行可达性强，其平均斑块面积达峰值；办公及其他用地也在沿线近距离 (350-1100 m) 内的平均斑块面积较大，随着离公路越远，在沿线两侧 1600-1850 m 范围内该类用地的平均斑块面积再次出现峰值，多为政府办公用地。

3.2 两类城市建设用地间的空间邻近分布

分别以各类建设用地斑块的重心为原点，计算其与其他类建设用地在多个邻域内的邻近距离，研究两类建设用地之间的空间邻近分布特征。考虑到若缓冲区范围偏小，在计算邻近距离时会产生较大边缘误差，因而将缓冲带宽度扩展到 200 m，共 11 个缓冲带。由于 A, B 两类建设用地在空间上的聚集特征同时取决于以 A 类用地为中心周围 B 类用地的空间分布，及以 B 类用地为中心周围 A 类用地的空间分布^[17]，因而 Distance (A, B) 与 Distance (B, A) 的变化趋势不同，当两值均较大时，才能证明两类用地空间邻近分布具有较强的一致性。

结果表明 (图 5)，以不同地类为中心向周围搜索其他类用地时表现明显的集中特征为：当距离路少于 200 m 时，多数用地类型与中心地类邻近距离为最小，随着逐渐远离公路，虽有波动，但总体上与中心地物的邻近距离逐渐增大，即趋于分散分布，尤以距离公路 1600-2000 m 缓冲带上分散状态最为明显。在离公路远距离上工业用地与其他用地之间相对最远，而同地段上城市休闲用地与周围其他类用地则较近，从侧面反映了公路沿线外围，尤其是特区外以“三来一补”、“三资”企业为主体的乡镇企业的工业用地分散且面积小，从而相对增加了其与周围其他类用地的距离。

从与周围其他类用地邻近度上来看，工业用地与周围住宅用地较邻近，并表现出平稳的分散趋势，在公路沿线附近和远距离 (1200-1400 m 和 1600-1800 m) 缓冲带上在工业用地出现峰值时，伴随着住宅用地在其周围的聚集，这种现象体现了深圳市在工业化进程中工业用地布局与居住区空间区位显著的相互依赖效应。工业用地与公共基础设施

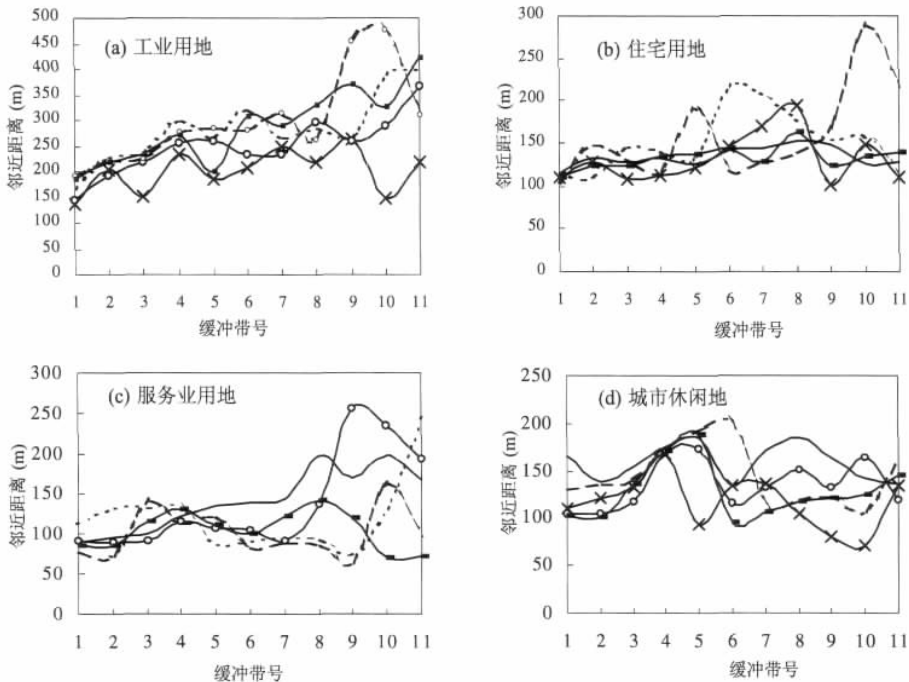


图 5 2005 年深圳市公路沿线各类城市建设用地空间邻近分布随距离变化特征

Fig. 5 Changes of distance-based characteristics of co-location distribution of different urban land use types along highway in Shenzhen, 2005

用地的邻近距离变化特征与住宅用地相仿,只是两者的次级集中区提前了2个缓冲带,这与公共设施对工业区和生活区的配套服务功能有关。工业用地周围的服务业用地最为集中,反映了工业与服务业行业间的空间邻近特征。工业用地和城市休闲用地的平均距离最远。

以住宅用地为中心,与周围工业用地的邻近距离趋势发现,多个缓冲带上两者距离均较小且差异不大,表明研究区大部分住宅用地是以工业用地区位为导向的空间格局特征。住宅用地与城市休闲用地相隔较远,从城市休闲地类型上看,公路沿线的城市绿化带、城市中心公园及远距离上分布的绿地与住宅用地邻近分布,反映了研究区住宅用地周围的休闲地虽局部集中,但总体面积较少的特点。住宅用地与服务业用地在距公路中间距离的地段更为分散,客流量及出行可达性是其影响主要因素;沿线近距离上服务业用地与办公及其他用地、城市休闲地及公共基础设施用地均邻近,而在公路沿线外围尤其是特区外,由于服务业用地数量锐减,城市休闲用地却出现局部集中,使得服务业用地与城市休闲用地远离,这与特区外交通路网以工业发展为主的交通型功能紧密相关;城市休闲地与周围各类用地的邻近程度在公路沿线近距离(0-800 m)上差异不大,其中与住宅用地和公共基础设施用地相对较为邻近,反映了沿线的城市休闲地局部集中于住宅区附近,在离公路800-1200 m缓冲带上城市休闲用地与其他各类建设用地最为分散。

3.3 土地利用组合类型

土地利用组合类型的空间分布特征是土地利用景观分异特征的重要组成^[30]。分别以各类用地斑块为起点,采用near to算子,以唯一的空间坐标为关联ID,在其影响扇区内寻找最邻近的三个用地斑块构建土地利用组合三角形,分析其组合类型及分布特征。考虑到不同土地利用组合之间的可能距离及其空间分布完整性,以离公路沿线2450 m缓冲带为研究范围,共搜寻到138种土地利用组合类型,分别以各类用地为起点统计其发生概率,并选取分布相对集中的类型,其中以城市休闲地为起点的组合类型数量很少,因而未参与分析。与两种类型间邻近距离的分析相似,以不同地类为中心搜索其邻域内他类地物时,受到两类地物相互邻近的数量和空间位置的影响,将导致其组合类型不同。

土地利用组合特征(表3)表现最为明显的是:各类建设用地内部均呈现较强的空间自相关性。在统计的土地利用组合类型中,大部分为两个顶点用地类型相同的组合,其中与工业用地的组合最多,这体现了研究区经济活动空间以工业区为中心的集群效应。

从各土地利用组合类型的出现频率上来看:工业用地与他类用地之间的组合较多。其中以两个顶点为工业用地,另一顶点为住宅用地的组合出现最多,反映工业区更接近于提供丰富劳动力资源的居住用地,在空间上特区内该类土地利用组合较少,而特区外尤其是龙岗区分布着近三分之二的该类组合,这与龙岗区作为深圳市主要工业承载区的区域经济功能相吻合;其次工业用地与办公及其他用地的组合较多,空间上多沿次级公路分布在宝安,龙岗两区的工业开发区附近,这与特区外支持乡镇企业发展的

表3 深圳市公路沿线城市土地利用组合类型数量统计

Tab. 3 Quantity of urban land use combination along highways in Shenzhen

组合类型	数量(个)	百分比(%)
1 2 1	547	44.66
1 4 1	268	20.41
1 6 1	102	7.77
1 3 1	87	6.63
1 5 1	80	6.09
2 1 2	193	30.68
2 1 1	85	13.51
2 4 2	79	12.56
2 3 2	55	8.74
2 6 2	52	8.27
2 5 2	34	5.41
3 2 3	35	18.40
3 1 3	22	11.58
3 1 1	19	10.00
3 2 2	15	7.89
3 5 3	11	5.79
3 6 3	11	5.79
4 1 4	56	25.57
4 1 1	42	19.18
4 2 4	29	13.24
4 2 2	22	10.05
4 1 2	7	3.20
5 2 5	26	13.98
5 1 5	23	12.37
5 6 5	21	11.29
5 3 5	20	10.75
5 4 5	17	9.14
5 1 1	14	7.53

政府办公设施建设用地增加有关；由于公共基础设施与住宅用地的空间邻近特性，工业用地与公共基础设施用地的组合类型多离散分布于特区外住宅用地较为集中的工业区附近，三者形成更高层次的组合格局，而特区内由于住宅用地与工业用地各自集中分布，使得该类组合出现频率少；以住宅用地为两个顶点，另一顶点为工业用地的组合则多分布在特区内主要公路附近和龙岗区的住宅用地密集区，这从侧面揭示了研究区中与工业用地最为邻近的住宅用地区位，对于进一步研究深圳市工业区劳动力供给的空间范围提供了线索。

就各类建设用地而言，其土地利用组合结构差异较大。从工业用地组合来看，工业用地与住宅用地组合最为频繁，其次为与办公及其他用地的组合，这反映了研究区工业用地区位与劳动力和消费市场分布及其办公配套服务区位的空间邻近，从而达到高效集约的用地需求，而工业用地与商业服务业用地组合较少则表明目前研究区工业化进程中第二、三产业之间要素流通的经济空间还有待进一步规划和完善；以住宅用地为起点与工业用地的组合在其组合结构中占绝大多数，约44.19%，与前述中以工业用地为起点与住宅用地的组合相对应，得出研究区住宅用地与工业用地在空间上最为集中，尤其是特区外量多且分散的工业区与周围居住区具有很强的空间相关性。住宅用地与办公及其他用地的组合出现也较多，但其空间分布与前述组合差异较大，办公及其他用地总体上虽呈离散分布，但在特区内和龙岗区的住宅密集区附近出现了局部集中成片分布格局。以住宅用地为两个顶点，另一顶点为服务业用地或是公共基础设施用地的两种土地利用组合不仅出现频率相似，其空间上也相互重叠，有规律的沿特区外主要公路附近呈线状分布，在特区内则呈团聚状分布在人口密度较大生活区，侧面反映了发展成熟的居住区对服务业及公共基础设施的需求，而当居住区小且分散时，其服务业及公共基础设施（如教育，医疗等）则主要依赖交通便捷性来吸引较远的居民。

以服务业为起点的土地利用组合类型可看出其更趋向于具有消费市场的居民生活区；以办公及其他用地为起点，向周围寻找其与工业用地的组合远多于其与住宅用地的组合，前者大多分布于目前正处于新一阶段工业化进程中的龙岗区，后者则更倾向于特区内的住宅密集区，体现了特区内不同的经济发展阶段对城市土地利用空间集聚特征的影响；对城市休闲地而言，与住宅用地的组合略多于与工业用地的组合，且多出现在特区内部。特区外尤其是龙岗区，其住宅用地和工业用地周围城市休闲地很少，反映了该区域工业建设及农民自建的高层住宅对建筑周边的绿化及休闲娱乐场所建设的考虑欠缺，这将影响区域整体经济活动功能的发挥。

4 结论和讨论

基于景观格局指数和空间数据挖掘 (SDM) 中的空间关联规则，本研究分别从公路沿线的6类城市建设用地的单一类型、两两邻近类型及组合类型出发，分析并选择适合的缓冲距离，以选取的主要线路为轴向两侧建立缓冲带，探讨了6类用地随着远离公路出现的景观指数分异特征；两类建设用地之间的空间邻近分布特征；以不同建设用地类型斑块为出发点，在其影响扇区内出现其他土地利用斑块组合的频率及其空间分布规律。主要特征为：

(1) 区域城市建设用地结构表明，深圳市主要公路两侧2450 m范围内工业用地是最主要的建设用地类型，以“三来一补”、“三资”企业为主体的外向型乡镇企业加快了特区外的城市化进程；住宅用地多分布于公路附近及较大的公路交汇处；服务业用地（主要为商业服务及设施用地）少且集中于特区内，随着特区外城市化进程的加速，第三产业的发展有待挖潜；城市公共设施、教育和医疗卫生用地所占比重很少，从一定程度上妨碍

了快速城市化地区经济功能的整体协调。

(2) 单一建设用地类型的多尺度景观分异趋向于距公路越远, 出现频率越小且出现了若干次级中心, 距公路 500-1000 m 范围可作为识别次级中心的特征尺度; 沿线近距离内工业用地分布集中、面积大, 随着逐渐远离公路, 工业用地规模变小且零散化; 住宅用地在距公路干线两侧 1000-2000 m 范围破碎化显著, 住宅邻近交通设施, 实现通行成本最小化的偏好是其主要影响因素; 城市休闲地在远距离上聚集, 其中高海拔区内以林草地为主的绿地景观为其主要组成, 反映了地形对建设用地空间集聚特征的影响。

(3) 两类建设用地之间的空间临近特征表明: 以不同用地为中心与其他各类用地在离公路较近 (0-800 m) 范围上集中, 随后呈明显分散特征; 在沿线附近和远距离上随着工业用地出现峰值, 出现了住宅用地在其周围聚集, 特区外该类现象尤为明显, 侧面反映了研究区工业化进程中工业布局与居住区位的相互依赖。

(4) 土地利用组合特征最明显的是各类用地均呈强空间自相关性, 其中以各类用地与工业用地的组合尤为普遍, 体现了研究区尤其是特区外主要工业承载区中经济活动空间以工业区为中心的集群效应。两个顶点为住宅用地另一顶点为工业用地组合的空间分布揭示了与工业用地最为邻近的住宅用地区位, 对进一步研究深圳市工业区劳动力供给的分布提供了线索。住宅用地与服务用地或公共基础设施用地组合的空间区位相互重叠, 在特区外公路干线附近呈线状分布, 在特区内则呈团聚状分布在规模较大的生活区, 从侧面解释了成熟居住区对服务业及公共基础设施的需求, 当居住区小且分散时, 其服务业及公共基础设施 (如教育, 医疗等) 则主要依靠交通便捷性来吸引较远的社区居民。

在沿海快速城市化地区, 交通系统周边的城市建设用地扩张特征对揭示区域经济发展形态及识别城市发展中存在的问题具有重要价值。在探讨区域土地利用空间格局时, 基于缓冲带分析, 将景观格局指数和空间数据挖掘 (SDM) 中的空间关联规则 (Association rule) 相结合, 识别不同用地类型的分异特征和空间关联模式, 可以定量探究城市土地利用格局特征及其梯度效应, 发现城市空间结构的优势尺度及特征阈值。但对区域产业结构对城市土地利用格局影响的定量分析还需要进一步研究, 这将有利于对城市扩展机制更全面地把握。

参考文献 (References)

- [1] Gerardo A zócar, Hugo Rom ero, Rodrigo Sanhueza et al. Urbanization patterns and their impacts on social restructuring of urban space in Chilean mid-cities: The case of Los Angeles, Central Chile. *Land Use Policy*, 2007, 24: 199-211.
- [2] He Chunyang, Chen Jin, Shi Peijun et al. City expansion model of metropolitan area in China: A case study of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 294-304. [何春阳, 陈晋, 史培军等. 大都市区城市扩展模型: 以北京城市扩展模拟为例. *地理学报*, 2003, 58(2): 294-304.]
- [3] Gong Jianzhou, Xia Beicheng. Temporal-spatial grading diversification of land-cover at landscape level in Guangzhou since 1990. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(2): 181-190. [龚建周, 夏北成. 1990 年以来广州市土地覆被景观的时空梯度分异. *地理学报*, 2007, 62(2): 181-190.]
- [4] Lambin E F, Rounsevell M D A, Geist H J. A re agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity. *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 321-331.
- [5] Verburg P H, Ton C M de Nijs, Jan Ritsem a van Eck et al. A method to analyze neighborhood characteristics of land use patterns. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2004, 28: 667-690.
- [6] Roose Antti, Kalev Sepp, Erki Saluveer et al. Neighbourhood-defined approaches for integrating and designing landscape monitoring in Estonia. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79: 177-189.
- [7] Mao Jiangxing, Yan Xiaopei. Study on mutual mechanism between urban transport system and urban space pattern: A case study of Guangzhou. *City Planning Review*, 2005, 29(5): 45-49. [毛蒋兴, 闫小培. 城市交通系统与城市空间格局互动影响研究: 以广州为例. *城市规划*, 2005, 29(5): 45-49.]
- [8] Zhu Jianjun, Cui Baoshan, Yao Huarong et al. Landuse changes and expansion effects caused by road construction in longitudinal range-gorge region. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(4): 507-514. [朱建军, 崔保山, 姚华荣等. 纵向岭谷公路沿线土地利用变化与扩展效应. *自然资源学报*, 2006, 21(4): 507-514.]
- [9] Yan Xiaopei, Mao Jiangxing. The mutual relationship between urban transport system and land use in highly-densely developed cities: A case study of Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 643-652. [闫小培, 毛蒋兴. 高密度开发城市的交通与土地利用互动关系 - 以广州为例. *地理学报*, 2004, 59(5): 643-652.]
- [10] Li Jingyu, Yang Shengtian, Xu Zongxue et al. Change of land use/land cover and landscape pattern in the backwater variation area of the Sanmenxia Reservoir. *Transaction of the CSAE*, 2007, 23(3): 61-68. [李景玉, 杨胜天, 徐宗学

- 等. 三门峡水库回水变动区土地利用 / 土地覆被变化及其景观格局分析. 农业工程学报, 2007, 23(3): 61-68.]
- [11] Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang et al. A study on the spatial-temporal dynamical changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 1-12. [刘纪远, 张增祥, 庄大方等. 20世纪90年代我国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12.]
- [12] Ding Shenyan, Liang Guofu. Landscape pattern change of regional wetland along the yellow river in Henan province in the last two decades. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 653-661. [丁圣彦, 梁国付. 近20年来河南沿黄湿地景观格局演化. 地理学报, 2004, 59(5): 653-661.]
- [13] Zhou Tingang, Guo Dazhi. GIS-based study on spatial structure of urban greenbelt landscapes: Taking Ningbo city as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 901-907. [周廷刚, 郭达志. 基于GIS的城市绿地景观空间结构研究—以宁波市为例. 生态学报, 2003, 23(5): 901-907.]
- [14] Li Leilei, Zhang Xiaodong, Hu Lingling. Cluster Modes of Advertising Industry: With the case study of Shenzhen. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 257-265. [李蕾蕾, 张晓东, 胡灵玲. 城市广告业集群分布模式. 地理学报, 2005, 60(2): 257-265.]
- [15] He Canfei, Liu Yang. Industrial agglomeration and sectoral distribution of foreign direct investment: A case study of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1259-1270. [贺灿飞, 刘洋. 产业地理集聚与外商直接投资产业分布—以北京市制造业为例. 地理学报, 2006, 61(12): 1259-1270.]
- [16] Li Xiaowen, Fang Jingyun, Piao Shilong. The evolving process and related spatial mechanism of urban land use in Shanghai region. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 438-446. [李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市土地利用转变类型及其空间关联分析. 自然资源学报, 2004, 19(4): 438-446.]
- [17] Li Xiaowen, Fang Jingyun, Piao Shilong. The intensity and modes of urban land use growth in Shanghai. [李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412-422.]
- [18] Yuan Yi, Shi Peijun, Liu Yinghui et al. A study on the pattern of land cover during rapid urbanization: Shenzhen City as a case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1832-1840. [袁艺, 史培军, 刘颖慧等. 快速城市化过程中土地覆盖格局研究. 生态学报, 2003, 23(9): 1830-1840.]
- [19] Marcon E, Puech F. Measures of geographic concentration of industries: Improving distance-based methods. *Cahiers de la Maison des Sciences Economiques, Série B lanche*, 2003, 18.
- [20] Liu Chunxia, Zhu Qing, Li Yuechen. Evaluating the geographic concentration of manufacturing industries of Beijing based on distance-based methods. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1247-1258. [刘春霞, 朱青, 李月臣. 基于距离的北京制造业空间集聚. 地理学报, 2006, 61(12): 1247-1258.]
- [21] Duan Zengqiang, Zhang Fengrong, Miao Limei. Neighborhood-based method for land-use spatial pattern analysis and its application. *Transaction of the CSAE*, 2006, 22(6): 71-76. [段增强, 张凤荣, 苗利梅. 基于邻域因子的土地利用空间格局分析: 以北京海淀区为例. 农业工程学报, 2006, 22(6): 71-76.]
- [22] Xie Hualin, Liu Liming, Li Bo et al. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land-use changes: a case study in Ongniud banner, Inner Mongolia. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(4): 389-400. [谢花林, 刘黎明, 李波等. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析: 以内蒙古翁牛特旗为例. 地理学报, 2006, 61(4): 389-400.]
- [23] Zhou Suhong, Yan Xiaopei. The relationship between urban structure and traffic demand in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 131-142. [周素红, 闫小培. 广州城市空间结构与交通需求关系. 地理学报, 2005, 60(1): 131-142.]
- [24] Bu Xinguo, Wang Yanglin, Wu Jiansheng et al. Rationality of city railway planning based on land use: A case study in Dongguan city, PRC. *Resources Science*, 2006, 28(2): 47-53. [卜心国, 王仰麟, 吴健生等. 基于土地利用的城市轻轨线路规划合理性研究: 以东莞市为例. 资源科学, 2006, 28(2): 47-53.]
- [25] Mao Jiangxing, Yan Xiaopei. Impacts of urban transport system on urban land use: Case study of Guangzhou city. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(3): 353-360. [毛蒋兴, 闫小培. 城市交通系统对土地利用的影响作用研究: 以广州为例. 地理科学, 2005, 25(3): 353-360.]
- [26] Shenzhen Planning Bureau. *Shenzhen Land Resources*. Beijing: China Mother Earth Press, 1998. [深圳市规划国土局. 深圳市土地资源. 北京: 中国大地出版社, 1998.]
- [27] Shenzhen Statistics Bureau. *2006 Shenzhen Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2006. [深圳市统计局. 2006深圳统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2006.]
- [28] <http://www.sz800.com/szmap/guinhua.htm>.
- [29] Xiao Zhixin, Yang Yuexiang, Yang Lin. Anomaly detection and implementation based on wavelet. *Computer Sciences*, 2006, 33(10): 116-118. [肖志新, 杨岳湘, 杨霖. 基于小波技术的网络异常流量检测与实现. 计算机科学, 2006, 33(10): 116-118.]
- [30] Wang Wenshen, Ding Jing, Li Yueqing. *Hydrology Wavelet Analysis*. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. [王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析. 北京: 化学工业出版社, 2005.]
- [31] Wu Jianguo. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Beijing: Higher Education Press, 2007. [邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2007.]
- [32] Zhang Chao, Yang Binggen. *Quantitative Geography*. Beijing: Higher Education Press, 1995. [张超, 杨秉庚. 计量地理学. 北京: 高等教育出版社, 1995.]
- [33] Jia Zelu, Liu Yaolin, Zhang Tong. Land grading and evaluating using spatial data mining. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2005, 27(3): 72-77. [贾泽露, 刘耀林, 张彤. 空间数据挖掘技术在土地定级估价中的应用. 地球科

学与环境学报, 2005, 27(3): 72-77.]

- [34] Li A inong, Zhou W ancun, Jiang X iaobo. The graphical infrom ation analysis of spatial pattern change of landuse/cover during lately 30 years in upper reaches of M injiang river. Journal of M ountain Science, 2005, 23(2): 241-247. [李爱农, 周万村, 江晓波. 岷江上游近 30 年土地利用 / 覆被空间格局变化的图形信息分析. 山地学报, 2005, 23(2): 241-247.]
- [35] M a Ronghua, M a X iaodong, Pu Y ingxia. Spatial association rule m ining from G IS database. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(6): 733-741. [马荣华, 马晓冬, 蒲英霞. 从 G IS 数据库中挖掘空间关联规则研究. 遥感学报, 2005, 9(6): 733-741.]

Spatial Concentration Characteristics of Urban Land Use along Highways in Rapidly Urbanized Region of Shenzhen

LV X iaofang^{1,2}, W ANG Y anglin^{1,2}, PENG Jian¹, W U Jiansheng²

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Shenzhen Graduate School of Peking University, The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Land use and land cover change research needs to paid more attention to identify spatial characteristics. Spatial concentration characteristics of urban land use along highways, as an important economic corridor in rapidly urbanized region, are helpful to identify spatial pattern of economic activities and expanding rules of urban land use in the future. This paper analyzed the spatial concentration characteristics of urban land use pattern along highways in Shenzhen in 2005 by means of landscape pattern metrics and association rule of spatial data mining. The paper measured spatial statistical characters and neighborhood characteristics of urban land use pattern along main highways in three dimensions respectively, including single land use type, co-location land use types, and combined land use types. The results are as follows: Industrial area was the primary land use type along highways in Shenzhen. Export-oriented township enterprises accelerated the urbanization process of rural areas outside the special zone. The area of urban public facilities for education and medical treatment was comparatively small, which disturbed the harmony of urban economic functions generally. The landscape metrics of single land use type in all buffer belts presented particular distance-based character, and they also showed a gradually reducing trend. There were some semi-concentration centers, especially in the region 500-1000 meters away from highways, and this could be taken as an important spatial threshold for further research. Co-location distribution pattern showed that two different urban land use types are much closer in adjacent buffer belts near highways. Industrial areas are extremely concentrated in adjacent and much more long-distance buffer belts away from highways, and followed by the concentration of residential districts in the neighborhood. That phenomenon was extremely obvious outside the special zone in Shenzhen. Concerning spatial characteristics of combined land use types, this study indicated strong spatial autocorrelation of each urban land use type in the study area. The combinations of industrial area with other land use types were comparatively common, which reflected the spatial pattern of economic activities of main industrial areas in Shenzhen, especially outside the special zone, and presented the effects of local industrial cluster.

Key words: rapidly urbanizing region; landscape diversification; concentration characteristics; neighborhood; land use combination; Shenzhen