

基于 Voronoi 图的高密度城区停车场空间布局分析 ——以广州市海珠区为例

张杏娟¹, 文雅^{1*}, 吴志峰^{2,3}, 程炯²

(1. 华南农业大学信息学院, 广州 510642; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650;

3. 广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要: 停车场是高密度城区基础设施的重要组成部分, 对人口、道路、建筑等具有一定空间依赖, 并形成其特定的分布规律。本文以广州市海珠区为例, 运用 Voronoi 图对高密度城区停车场空间布局特征和空间聚集度与其影响因子的空间自相关性进行了 GIS 系统分析。通过研究区内及各街道区域内建立停车场 Voronoi 多边形, 计算 C_i 值、聚类指数及停车场聚集度。分析表明: (1) 在高密度城区内, 全区范围及各街道区域内停车场有集聚布局的趋势。集聚核出现在西北面江南大道商业圈和北面广州新中轴线贯穿的海珠区中心区段, 高密度城区停车场有围绕商圈、中心发展区等高密度城区特征, 突出区域集聚的趋势。(2) 人口密度、道路密度、建筑密度等因子在全局及局部上影响着停车场的空间布局, 而人口密度的影响最明显。(3) 高密度城市化发展水平越高, 各影响因子对停车场的密度与集聚程度影响越显著。

关键词: 停车场; 高密度城区; Voronoi 图; 空间布局; 空间自相关

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00415

1 引言

高密度城区是人口、道路、建筑、经济的集聚中心^[1]。停车场是高密度城区基础设施的重要组成部分, 故其成了当前城市发展的一大重要制约因素。

城市交通和城市停车场二者相互依存, 国内外关于停车场研究多是关于停车需求、停车场规划设计、停车定价、停车管理等较微观的理论研究^[2-9]。停车场作为一空间地物, 从宏观地理空间分析停车场的空间布局, 分析与地理位置相关的数据间具有的相应空间依赖性及其空间自相关性, 并通过地图可视化极具现实意义, 而这方面研究却相对缺乏。停车场作为空间点状地物, 具有自身的分布特点, 在空间布局上有一定的规律性, 并受人口、道路、建筑等其他空间地物的制约影响。本文利用经典的计算几何学概念 Voronoi 图^[10]分析高密度城区海珠区停车场整体空间和各街区的空间布局结构及集聚

情况, 对停车场与人口密度、建筑密度、道路密度等多个要素之间进行空间自相关分析, 研究各因子对停车场空间布局的影响程度, 为进一步解决高密度城区停车场布局的问题提供有效的思路和手段。

2 研究区概况与数据源分析

(1) 海珠区位于广州市区南部, 北临天河区、越秀区、荔湾区等中心城区, 在 $23^{\circ}2'N \sim 23^{\circ}6'N$ 、 $113^{\circ}14'E \sim 113^{\circ}24'E$ 之间, 研究区总面积约 79.5km^2 , 海珠区辖内有 18 个行政街道, 2009 年全区总人口为 937 030 人^[11], 是广州市辖内 8 个行政区之一, 也是广州高密度城区之一^[12]。全区地势平坦, 区内包括海珠岛、东面的官洲岛和南面的丫髻沙岛, 由于丫髻沙岛交通、地理空间位置等相对独立, 高密度城区特征不明显, 因此, 将海珠岛和官洲岛作为本文主要研究区(图1)。

收稿日期: 2012-11-09; 修回日期: 2013-01-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171446, 31170445); 资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金项目(2010KF0006SA)。

作者简介: 张杏娟(1988-), 女, 硕士生, 主要从事遥感和 GIS 应用研究。E-mail: xingjuanzhang@yeah.net

*通讯作者: 文雅(1969-), 女, 副教授, 主要从事土壤资源与环境遥感研究。E-mail: wenyajx@126.com

(2) 研究数据采用2011年的分辨率达0.61m的快鸟图像提取了研究区边界、河流、建设用地,并结合广州市海珠区行政区划图和google地图提取道路网及18个街道行政边界。停车场数据主要来自于百度地图,广州停车网(<http://www.gzparking.com>)提供的海珠区部分停车场地理位置及名称等基本信息数据,因此,辅以作停车场数据的修改补

充。为达到减少数据畸变误差,提高图像自身质量,以及使所用数据具有相同空间参考等目的,对截取的影像数据进行几何校正、图像增强等操作。同时,通过GIS分析提取了各街道人口、面积、建筑面积、道路总长度、停车场数(包括露天停车场及地下停车场)等基础数据,如表1。

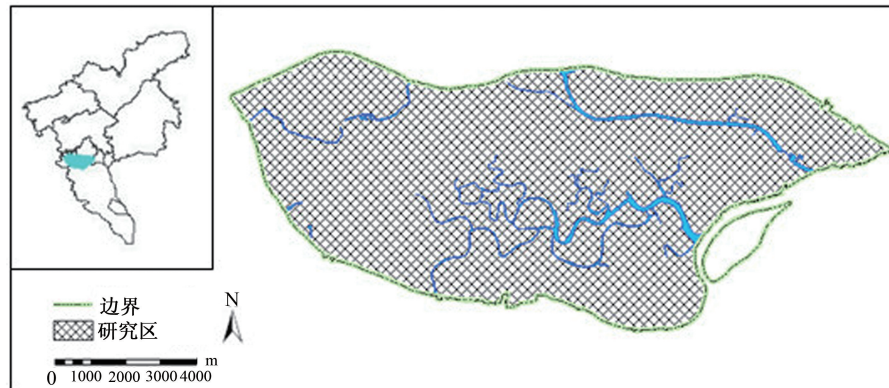


图1 研究区分布示意图

Fig.1 Location of the research area

表1 2011年研究区基本数据

Tab.1 Basic data of the research area in 2011

街道名	人口(人)	面积(m ²)	建筑面积(m ²)	道路总长度(m)	停车场数(个)
新港街	79 831	2 997 218	2 964 554	11 504	82
素社街	50 422	1 152 280	1 137 060	17 554	76
沙园街	53 951	1 396 797	1 392 837	10 979	50
瑞宝街	45 117	4 025 788	3 931 593	29 552	45
琶洲街	19 676	9 094 966	3 640 899	32 316	6
南洲街	23 648	11 615 903	8 785 384	62 548	51
南石头街	68 475	4 610 761	4 549 435	25 367	68
龙凤街	78 532	1 751 332	1 700 246	13 551	105
江南中街	68 518	1 456 985	1 412 251	15 962	90
江海街	25 836	4 372 889	3 583 078	30 584	54
华州街	16 762	11 833 938	3 522 408	49 214	20
华南西街	41 223	809 602	778 213	7 980	34
海幢街	65 826	1 267 866	1 267 866	13 446	75
官洲街	23 284	10 693 935	7 304 723	52 401	43
凤阳街	47 127	4 013 660	4 004 782	33 668	75
赤岗街	84 713	5 317 291	5 211 727	35 490	170
昌岗街	825 23	1 749 831	1 738 611	16 018	84
滨江街	61 566	1 358 988	1 352 592	16 472	71
总计	9 37 030	79 520 030	58 278 258	474 605	1199

注:人口数据来源于海珠区2010年鉴

3 基于Voronoi图的高密度城区停车场空间布局分析

3.1 Voronoi图对停车场点集的空间剖分

通过Voronoi图对停车场点集进行空间分割,不同分布的停车场点集可形成Voronoi多边形面积的不同变化,计算点状目标的Voronoi多边形面积的变异系数(C_v 值)以分析停车场的空间分布特征^[13]。Voronoi图的定义如下:

设平面上的一个离散发生点集 $S = \{ p_1, p_2, \dots, p_n \}$, 则任意点 p_i 的Voronoi图定义为^[13-16]:

$$T_i = x: d(x, p_i) < d(x, p_j) \quad p_i, p_j \in S, p_i \neq p_j \quad (1)$$

式中, d 为欧氏距离; x 表示集合 T_i 中的元素; T_i 是一个凸多边形,且在特殊情况下是一个具有无限边界的凸多边形。Voronoi图是对平面的一种剖分,在任意一个凸Voronoi多边形中,任意一个内点到该凸多边形的发生点 p_i 的距离都小于该点到其他任何发生点 p_j 的距离,这些发生点也叫Voronoi图的质心或发生元。 C_v 值是Voronoi多边形面积的标准差与平均值的比值,其计算公式为:

$$C_v \text{ 值} = \text{标准差} / \text{平均值} \times 100\% \quad (2)$$

C_v 值可以衡量停车场在空间上的相对变化程度。当停车场的空间分布为均匀分布时,其Voronoi多边形面积的可变性小, C_v 值低;当停车场空间分布为集群分布时, C_v 值高^[16]。但是,规则的周期结构和周期性重复出现的集群分布也会形成较高的 C_v 值。本文运用DUYCKAERTS提出的3个建议值^[17]:当停车场点集为随机分布时, C_v 值为57% (包括33%~64%的值);当停车场点集为集群分布时, C_v 值为92% (包括大于64%的值);当停车场点集为均匀分布时, C_v 值为29% (包括小于33%的值)。

聚类指数是通过选取Voronoi多边形为聚类基数,标记每一Voronoi多边形面积落入的区间。面积大小相近,聚类指数相同;空间越集聚的局部Voronoi多边形,其聚类指数小的多边形个数越多^[18]。

3.2 双变量区域空间自相关分析

利用双变量区域空间自相关分析高密度城区停车场密度与各影响因子的空间相关性。Anselin^[19]提出的双变量区域空间自相关定义如下:

$$I_{kl}^i = z_k^i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_l^j \quad (3)$$

其中, w_{ij} 为空间单元 i, j 之间的空间连接矩阵,

$z_k^i = \frac{X_k^i - \bar{X}_k}{\sigma_k}$, $z_l^j = \frac{X_l^j - \bar{X}_l}{\sigma_l}$, X_k^i 是空间单元 i 属性 k 的值、 X_l^j 是空间单元 j 属性 l 的值, \bar{X}_k 、 \bar{X}_l 是属性 k, l 的平均值, σ_k 、 σ_l 是属性 k, l 的方差。

双变量LISA散点图,即Moran's I散点图, Moran指数I的值介于(-1, 1)之间,当I>0时,表示特征值相似的区域存在集聚(高值或低值集聚);当I<0时,表示特征值不相似的区域存在集聚(“低-高”或“高-低”集聚)^[20];I的值越接近1或者-1,则表示空间自相关的程度越大^[21]。双变量LISA分布图可表示研究区停车场密度与其影响因子间是高高(High-high)或低低(Low-low)的空间正相关,以及低高(Low-high)或高低(High-low)的空间负相关^[22]。

3.3 停车场空间布局分析

3.3.1 停车场的空间分布

以研究区及区内各街道为设置目标,在ArcGIS上创建以每个停车场为发生元的Voronoi多边形集合(图2(a)、(b)),再根据Voronoi多边形的面积计算 C_v 值,确定研究区停车场的空间分布类型。考虑那些位于边缘点的Voronoi多边形直接受到人为划定边界的影响,特别是停车场分布较稀疏的区域,边界影响较大,因此,可以建立缓冲区的方法来消除边界的影响。即在研究区域的边界选择一定范围的缓冲区,各街道则在各个街道边界选择缓冲区,增加那些位于缓冲区内的停车场一起构建Voronoi图,并计算位于研究区停车场的 C_v 值^[13]。

全区范围内,以停车场为质心,共构建了1199个Voronoi多边形,每个多边形包含一个停车场斑块,多边形的大小代表其与邻近多边形距离的远近^[16]。区内斑块面积大小差异明显,东部多边形斑块面积较大,停车场分布相对稀疏,西部斑块细小,停车场相对密集。全区 C_v 值为2.79(表2),停车场总体空间布局趋势表现为集群分布。各街道范围内,昌岗街 C_v 值0.62低于0.64,表现为随机分布,其余所有17个街道的 C_v 值均高于0.64(表2),停车场各街道内部布局集聚。

Voronoi多边形面积的大小与邻近多边形距离

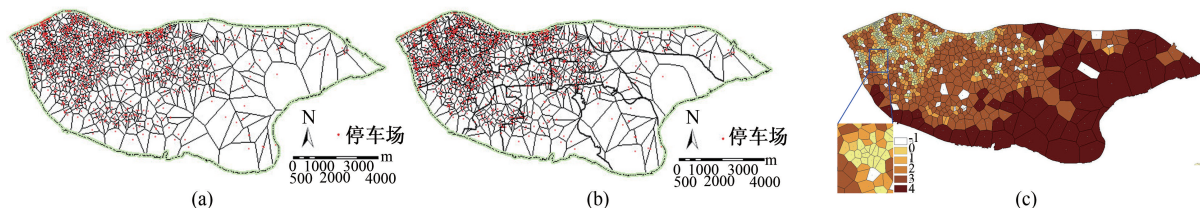


图2 (a)研究区全区停车场 Voronoi 多边形集合;(b)研究区各街道停车场 Voronoi 多边形集合;
(c)基于 Voronoi 多边形面积的聚类指数灰度图

Fig.2 (a)Voronoi polygon set of the research area; (b)Voronoi polygon set of the streets;
(c)Clustering index grayscale based on the area of Voronoi polygon

表2 研究区各街道停车场空间分布

Tab.2 Parking space distribution by street in the research area

街道	area			
	多边形数	面积标准差	平均面积(m ²)	C_v 值
华南西街	34	35 763	36 369	0.98
凤阳街	75	44 416	46 853	0.95
华州街	20	569 637	545 222	1.04
南洲街	51	248 256	215 019	1.15
南石头街	68	82 910	62 752	1.32
官洲街	43	245 167	244 137	1.00
新港街	82	29 226	33 278	0.88
江南中路	90	9 671	14 332	0.67
昌岗街	84	11 627	18 832	0.62
江海街	54	94 165	63 185	1.49
沙园街	50	17 972	23 947	0.75
海幢街	75	15 212	13 976	1.09
滨江街	71	14 600	17 697	0.82
琶洲街	6	1 223 989	952 909	1.28
瑞宝街	45	75 151	70 238	1.07
素社街	76	11 243	13 901	0.81
赤岗街	170	33 609	30 058	1.12
龙凤街	105	15 718	16 344	0.96
全区	1199	185 443	66 377	2.79

的远近有关。在全区及各街道内,停车场布局呈现出按区位优势发展的集聚空间状态,隐含的分布影响因素被抽象为停车场间距离的远近,借助聚类指数进一步分析其内部集聚程度。以 Voronoi 多边形面积为基数生成聚类指数灰度图(图2(c)),离散点聚类指数为-1,集聚点聚类指数为0、1、2、3,集聚团内聚类指数为0、1,均匀分布聚类指数为4。表3中,研究区内集聚斑块共1052个,占87.7%,覆盖大部分区域。聚类指数为0、1的斑块共416个,占34.7%,是集聚核,图2(c)的浅色区域,环状包围,呈带状或块状,分布在西北面江南大道商业圈和北

面广州新中轴线贯穿的海珠区中心区段所覆盖及影响的几个街道,包括华南西街、江南中街、昌岗街、沙园街、海幢街、滨江街、龙凤街、赤岗街、素社街。这些区域集中了高密度的人口、建筑及道路,车辆停泊需求较大,高密度城区的停车场集聚现象明显,从而出现集聚核。聚类指数为-1的斑块有84个,为停车场离散布局点,分布零散;聚类指数为4的斑块有63个,占5.3%,为停车场均匀分布点,分布在东部、南部外环区域。停车场的布局体现为围绕商圈、中心发展区等高密度城区特征突出区域集聚的趋势。

表3 聚类指数统计表

Tab.3 Statistics of clustering index

指数值区间	-1	0	1	2	3	4
斑块数	84	408	8	239	397	63
比例(%)	7	34	0.7	19.9	33.1	5.3

3.3.2 停车场布局与各影响因子关系分析

城市的高密度发展,包括人口密度、建筑物密度、交通密度,以及社会经济活动密度等^[23]。停车场空间布局的影响因素很多,研究区地势平坦可排除地形影响。停车场需求是由城市土地利用、居民出行水平、各类型用地停放特征等决定。随着社会经济的快速发展,人口密度速增,汽车拥有量也迅速增加,自然需要更多的停车场来安置车辆。停车作为出行过程的一部分,其需求特征与动态交通特征密不可分,因此路网的密度及分布也会对停车场布局有重要影响。城市中的商业区、居住区等建筑群是汽车活动的主要目的场所,建筑物高度集中也自然成了影响停车场布局的又一重要因子。

综上所述,本文利用 GeoDa 软件进行双变量空间自相关分析,向用户提供一个友好的图示界面用以描述空间数据分析,例如异常值指示和空间自相关统计等。进行双变量相关性分析前,首先基于

GeoDa中的weight工具创建研究区的空间权重文件,选择k-nearest邻近权重建立空间权重矩阵,邻接多边形个数设为9,显著度在0.05以下,可信度高。通过GeoDa进行停车场密度、人口密度、道路密度、建筑密度间的双变量空间自相关分析,生成双变量空间自相关LISA散点图和集聚图,进一步探讨比较研究区停车场与各影响因子的相关性。

从图3可知,研究区人口密度、建筑密度、道路密度与停车场密度的双变量LISA Moran值分别为,0.3169、0.1877、0.2608,呈显著的空间正相关性。而人口密度与停车场密度的双变量LISA Moran值,高于道路密度与停车场密度的双变量LISA Moran值,说明人口密度与停车场密度的空间相关性较道路密度与停车场密度的空间相关性相比,更为显著,因此,3个影响因子中,人口密度与停车场密度的空间相关性最明显。图3中,分布在第1、3象限的街道共有12个,占有所有街道的2/3,这些街道人口密度与停车场密度呈空间正相关性。具体的空间反映可见图4,有颜色区域是空间自相关显著性通过0.05的区域,4个颜色分别代表了正相关与负相关集聚的4种状态,白色区域无显著意义。红色是“高高”区域,即本地因子数值高,所处区域停车场密度高的街道,呈空间正相关;深蓝色是“低低”区

域,即本地因子数值低,所处区域停车场密度低的街道,呈空间正相关;浅蓝色是“低高”区域,即本地因子数值低,所处区域停车场密度高的街道,呈空间负相关;粉红色是“高低”区域,即本地因子数值高,所处区域停车场密度低的街道,呈空间负相关。

从图4可知,研究区各影响因子与停车场密度的双变量空间自相关热点地区基本一致,且热点区在空间上呈团块状分布。西北部华南西街、海幢街、滨江街、龙凤街、江南中街、昌岗街、素社街红色团块、北部赤岗街红色团块及东部、东南部的官洲街、琶洲街、江海街、华州街深蓝色团块,共12个街道,是人口密度、道路密度、建筑密度都与停车场密度高度正相关区域。除去白色不显著区域,剩下是各影响因子与停车场密度呈空间负相关的区域,从全区范围看,人口密度、建筑密度、道路密度与停车场密度是呈显著空间正相关性的,出现负相关的区域主要由于停车场对应于该影响因子分配不合理造成的,如南洲街在3个集聚图中均是粉红色区域,停车场分配明显不足。

西北部和北部的深红色地区主要受江南大道商业圈及广州新中轴线贯穿的海珠区中心区段影响,高密度的人口、道路、建筑是其基本特征。东部、东南部的深蓝色地区远离天河CBD辐射圈,东

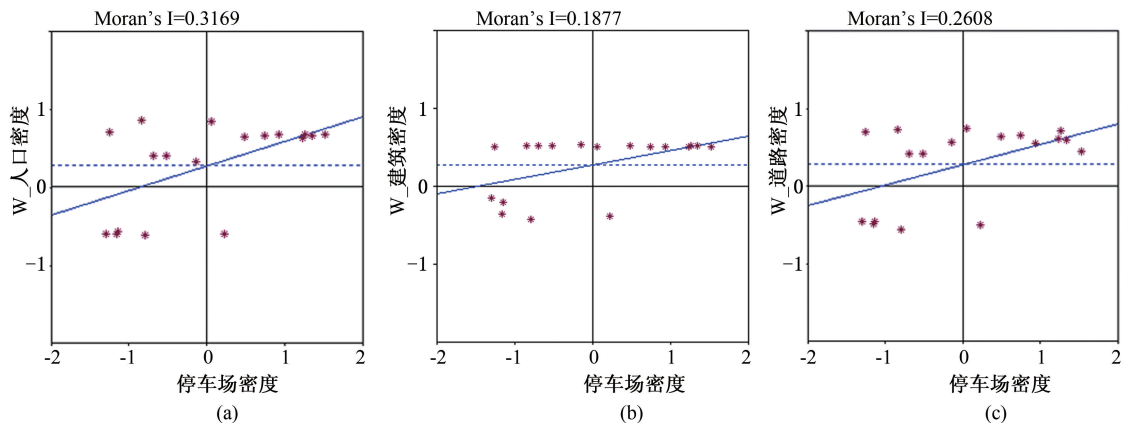


图3 各影响因子与停车场密度的双变量空间自相关LISA散点图

Fig.3 Double variable spatial autocorrelation LISA scatter diagram between impact factors and parking lot density

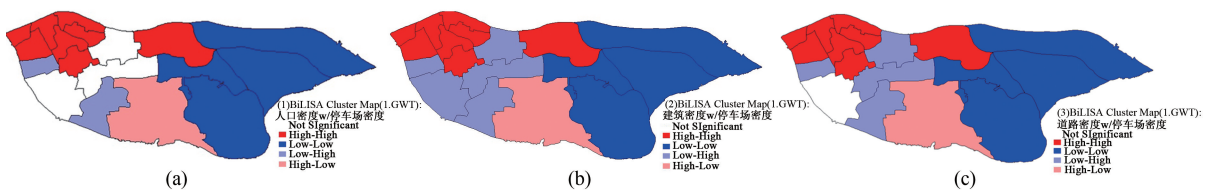


图4 各影响因子与停车场密度的双变量空间自相关LISA集聚图

Fig.4 Double variable spatial autocorrelation LISA concentration diagram between impact factors and parking lot density

南部华州街还保留有较大面积的果林生态绿地,城市发展相对较慢,人口、道路、建筑密度都相对较低。这些热点街区都落在停车场集聚核及均匀分布区域,停车场密度及集聚度受人口密度、道路密度、建筑密度的影响显著,是高密度城区停车场布局的主要影响因子。介于热点区之间的少数区域,高密度城市化还不明显,城市发展处于中等水平,人口、道路、建筑的影响并不统一,与停车场密度的空间正相关性不显著甚至出现负相关。总体上看,停车场密度与城市发展水平息息相关,高密度城市化发展水平不同,作用于空间自相关的程度和强度也不同。

4 结论

(1)运用 Voronoi 图,结合 C_v 值和聚类指数,定性、定量地分析了高密度城区海珠区停车场整体空间和各街区的空间布局结构及集聚分布。在高密度城区内,全区范围内及各街道区域内都受特定因素影响,停车场有集聚布局的趋势。其中,占 87.7% 的停车场表现集聚,集聚核出现在西北面江南大道商业圈和北面广州新中轴线贯穿的海珠区中心区段所覆盖及影响的 9 个街道。高密度城区停车场有围绕商圈、中心发展区等高密度城区特征突出区域集聚的趋势。

(2)影响因子的空间自相关分析表明,人口密度、道路密度、建筑密度等影响因子在全局及局部上影响着停车场的空间布局,人口密度的影响更明显。停车场的集聚核区域及均匀分布区域落在空间正相关的热点区域,表现为高密度城市化发展水平越高,各影响因子对停车场的密度与集聚程度影响更显著。随着研究区的城市规划发展,新高密度片区的出现,有可能新增新的停车场集聚区。

(3)高密度城区停车场数量的增长是必然趋势,本文试图寻找高密度城区的停车场布局规律,在未来持续的城市扩展中,为城市规划预留足够的停车场用地提供有效的理论和思路。同时,在影响因素选取上,寻找更具体更细化的影响因子,以求对停车场布局进行更合理的评价。

参考文献:

[1] 李明杰,钱乐祥,吴志峰,等.广州市海珠区高密度城区扩展 SLEUTH 模型模拟[J].地理学报,2010,65(10):1163-1172.

- [2] 陈尧三,石丽芳.停车场规划选址新方法研究[J].交通科技,2009(S2):142-144.
- [3] 沈鸿,高冰松.试论城市静态交通——停车场建设[J].当代建设,1998(5):5-6.
- [4] 袁志业.大中城市停车场建设理论模型研究[J].中国科技信息,2006(11):259-260.
- [5] 阮朝扬,廉晓利.浅析城市道路停车场供求现状——以福州市五一路为例[J].经营管理者,2011(2):67-68.
- [6] 张席洲,何宁.城市停车场总体规划与区位协调设计[J].改革与开放,1999(11):25-26.
- [7] 刘颀,刘颀.关于我国停车场的博弈实证分析[J].重庆科技学院学报(社会科学版),2011(2):108-109.
- [8] 王劲峰.地图的定性和定量分析[J].地球信息科学学报,2009,11(2):169-175.
- [9] 林强,曹小曙.广州城市社区交通特征空间分异研究[J].现代城市研究,2008,23(4):74-82.
- [10] 刘金义,刘爽.Voronoi 图应用综述[J].工程图学学报,2004,25(2):125-132.
- [11] 海珠概况 [EB / OL]. http://www.haizhu.gov.cn/site/difangzi/hznj/2010nianjian/haizhukaikuang/201012/t20101203_116470.html, 2010-12-3.
- [12] 刘锐,何劲,胡伟平.广佛都市区道路网络与城镇建设用地间的影响分析[J].地球信息科学学报,2011,13(5):601-610.
- [13] 张红,王新生,余瑞林.基于 Voronoi 图的测度点状目标空间分布特征的方法[J].华中师范大学学报:自然科学版,2005,39(3):422-426.
- [14] 王新生,李全,郭庆胜,等.Voronoi 图的扩展、生成及其应用于界定城市空间影响范围[J].华中师范大学学报(自然科学版),2002(1):107-111.
- [15] 陈军,赵仁亮,乔朝飞.基于 Voronoi 图的 GIS 空间分析研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2003(S1):32-37.
- [16] Okabe A, Boots B, Sugihara K. Spatial tessellation: Concepts and applications of Voronoi diagrams[M]. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2002.
- [17] Duyckaerts C, Godefroy G. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones[J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 2000,20(1):83-92.
- [18] 覃瑜,师学义.利用 Voronoi 图的城乡居民点布局优化研究[J].测绘科学,2012,37(1):136-138,150.
- [19] Anselin L, Syabri I, Smirnov O. Visualizing multivariate spatial correlation with dynamically linked windows[C] // Anselin L, Rey S (eds.). New Tools for Spatial Data Analysis: Proceedings of the Specialist Meeting. Center for Spatially Integrated Social Science (CSISS), University of California, Santa Barbara, CD-ROM, 2002.

- [20] 向延平. 旅游发展与经济增长空间自相关分析——基于武陵山区的经验数据[J]. 经济地理, 2012(8):172-175.
- [21] 张松林, 张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007(4):93-97.
- [22] 李慧, 王云鹏, 李岩, 等. 珠江三角洲土地利用变化空间自相关分析[J]. 生态环境学报, 2011, 20(12):1879-1885.
- [23] 马蔚纯, 林健枝, 沈家, 等. 高密度城市道路交通噪声的典型分布及其在战略环境评价(SEA)中的应用[J]. 环境科学学报, 2002(4):514-518.

Analysis of Spatial Distribution of Parking Lot in High Density Urban Area Based on Voronoi Diagram: Take Haizhu District in Guangzhou City as a case

ZHANG Xingjuan¹, WEN Ya^{1*}, WU Zhifeng^{2,3} and CHENG Jiong²

(1. Collage of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, China;

3. School of Geographical Science, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: As the important part of infrastructure in high density urban area, spatial distribution of parking lot relies on population, roads and buildings. Under the influence of various factors, parking lot in high density urban areas owns a specific distribution rule. Combining GIS with Voronoi diagram, we discussed the spatial distribution characteristics and co-agglomeration of parking lot in high density urban areas, and analyzed the spatial autocorrelation between parking lot and various factors. Taking Haizhu District in Guangzhou City as a case, we calculated C_V value and clustering index by building Voronoi diagram in the researched area and streets. Through the analysis, we know that the parking lots agglomerated markedly in the whole district and every street. In high density urban areas, parking lots tend to gather in commercial circle and economic center such as Jiangnan Road commercial circle and center section of Guangzhou new axis which run through Haizhu District which are the cluster center of parking lots. It showed that population density, building density and road density affect the spatial distribution of parking lots obviously with two variable regional spatial autocorrelation analysis, which population density perform more significantly. Higher the development level of the high density city, more obvious the effect of various factors on density and the degree of agglomeration of parking lots.

Key words: parking lot; high density urban area; Voronoi diagram; spatial distribution; spatial autocorrelation

*Corresponding author: WEN Ya, E-mail: wenyajx@126.com