

张晓瑞, 华茜, 程志刚. 基于空间句法和LBS大数据的合肥市人口分布空间格局研究[J]. 地理科学, 2018, 38(11): 1809-1816. [Zhang Xiaorui, Hua Qian, Cheng Zhigang. Space Pattern of Urban Population Distribution Based on Space Syntax and LBS Big Data. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(11): 1809-1816.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.11.008

基于空间句法和LBS大数据的合肥市人口分布空间格局研究

张晓瑞^{1,2}, 华茜¹, 程志刚³

(1. 合肥工业大学城市规划系, 安徽 合肥 230601; 2. 合肥工业大学数字人居环境研究实验室, 安徽 合肥 230601;
3. 安徽省城乡规划设计研究院, 安徽 合肥 230022)

摘要:针对目前城市人口分布研究现状,在传统的空间句法模型基础上,将LBS大数据技术有机引入到城市人口分布研究中,从而构建了理论分布和实际分布有机结合的城市人口分布研究新思路。合肥市中心城区的案例研究显示:空间句法模型与LBS大数据分析所得到的集聚区域在空间上并不完全一致;根据空间句法模型和LBS大数据分析结果的综合对比,合肥市中心城区被划分为高密度、中密度和低密度3类人口分区,同时提出了不同密度分区的人口分布发展建议。研究表明,LBS大数据的适时、动态特点能弥补传统数据的不足,其与空间句法模型有机结合将能为城市人口分布研究提供更加精确高效的工具与方法。

关键词:空间句法;LBS大数据;城市人口分布;合肥

中图分类号:K901 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2018)11-1809-08

人是城市经济社会活动的载体和城市化进程中最活跃的因素^[1],人口分布空间格局是城市地理和城市规划研究的重要课题^[2]。总体上,国内外已有研究取得了丰富成果,主要包括城市人口空间分布的理论模型建构^[3-6],国家与区域尺度上的人口分布特征分析^[7-9],城市人口分布的特征及其模拟预测^[10-12]等方面。在研究方法上,通常采用基于数据驱动的理论建模、统计分析、抽样调查、参观访谈等多种方法。但应看到,传统的城市人口分布研究数据获取速度慢、数据更新滞后,同时数据的数量和质量也难以得到保障^[13]。在当前快速城市化的进程中,城市人口规模日益扩大,空间分布变化也更加频繁和复杂,传统的数据获取方法难以捕捉最新的发展态势。但是,随着大数据技术的兴起和广泛应用,其为城市人口分布研究提供了全新的方法工具^[14]。另一方面,人口的空间分布活动与城市空间结构存在紧密的互动关系,其是城市空间结构变化的流动载体。在研究城市人口分布活动与空间结构的关系上,空间句法模型是

一个经典的技术方法^[15],其为探索人口分布活动与城市空间的关系提供了一个桥梁和中介^[16]。

大数据为城市人口分布研究提供了新数据和新方法,而把传统的空间句法模型与大数据技术有机结合起来将是一次有益的探索和尝试。这既能发挥经典理论的特长,又能充分应用大数据“海量、实时、动态、精确”的特点,更重要的是通过对两者研究结果进行对比分析,将能进一步提高研究的科学性和有效性。基于此,本文尝试提出了基于空间句法和大数据相结合的城市人口分布研究新思路,并以合肥市为实证案例,以期对相关研究和规划实践提供方法参考。

1 研究方法

研究首先利用空间句法模型计算城市空间的句法形态指标并得到城市空间中集聚人口能力强的区域(R_1);再利用大数据技术分析城市人口在空间中的分布情况并得到实际的人口集聚区域(R_2)。 R_1 是理论上的人口分布集聚区域, R_2 则是实

收稿日期:2017-11-28; **修订日期:**2018-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41601581)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41601581).]

作者简介:张晓瑞(1976-),男,安徽太和人,博士,教授,国家注册城市规划师,主要从事城市与区域规划研究。E-mail: rgdhf@126.com

际的人口分布集聚区域,对其进行对比分析,将发现两者是否存在重合、哪些区域存在重合等问题,这将对规划政策制定提供重要的基础信息和科学的决策依据,最后再根据分析结果提出针对性的城市空间优化建议。

1.1 空间句法模型

空间句法模型巧妙地把空间与人口活动的关系通过一系列可测度的定量句法指标展示出来。常用的空间句法指标包括连接值 C_i 、控制值 C_{vi} 、深度值 D 、集成度 I_i 。

C_i 是第 i 个单元空间的连接值,等于与 i 相连的其他单元空间的数量。 C_i 越大,则 i 与其他空间的关系越密切,通达性也越好。

控制值(C_{vi})是连接值倒数的和,表示 i 对与其相连单元空间 j (共有 k 个)的控制程度,计算公式为:

$$C_{vi} = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_j} \quad (1)$$

式中, C_j 为单元空间 j 的连接值。

深度值 D 是计算集成度指标的一个重要的中间变量,是指某一个单元空间到达其他所有单元空间的最少连接步数(最短距离),通常用平均深度值 MD_i 表示单元空间 i 到其他所有单元空间的平均最少连接步数,公式为:

$$MD_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}}{n-1} \quad (2)$$

式中,分子表示单元空间 i 的总深度值, d_{ij} 表示 i 到 j ($j \neq i$)的深度值,即 i 到 j 的最少连接步数, i 到其他所有节点的最少连接步数的和就是 i 的总深度值。 n 是城市空间的总节点数, $n-1$ 表明最多有 $n-1$ 个节点与 i 相连接。集成度 I_i 是城市空间研究中最常用和最有效的一个句法指标,其表征了一个单元空间与其他所有空间(全局集成度)或距其几步(通常是3步)范围内的部分空间之间的集聚或离散程度。集成度和平均深度值受到空间中节点数量的较大影响,为去除冗余节点的干扰,空间句法用相对不对称值 RA_i (relative asymmetry)和实际相对不对称值 RRA_i (realrelative asymmetry)来标准化平均深度值,即有:

$$RA_i = \frac{2(MD_i - 1)}{n-2} \quad RRA_i = \frac{RA_i}{D_n} \quad (3)$$

$$D_n = \frac{2 \left\{ n \left[\log_2 \left(\frac{(n+2)}{3} \right) - 1 \right] + 1 \right\}}{(n-1)(n-2)} \quad (4)$$

式中, MD_i 为平均深度值, n 是城市空间的总节点数。通常,用 RA_i 和 RRA_i 的倒数来表示单元空间 i 的全局集成度 I_i 和局部集成度 LI_i ,以便符合“值越大、集成度越大”的常规习惯,即有:

$$I_i = \frac{1}{RA_i} \quad (5)$$

$$LI_i = \frac{1}{RRA_i} \quad (6)$$

集成度体现了空间单元所具有的可达性、便捷性以及集聚吸引人口的能力,进而体现出一个单元空间相对其余单元空间的中心性。通常,集成度大于1且值越大时,空间的集聚性就越强,反之则越弱。关于空间句法模型更为详细的原理详见相关文献^[17],此处不再赘述。

1.2 LBS大数据

本文应用基于LBS(location-based service,即基于位置的服务)大数据的百度地图热力图作为数据来源。作为大数据的一种重要类型,LBS利用移动智能终端来获取用户的地理位置并将位置数据提供给服务供应商,再在GIS的支持下,为用户提供各种服务^[18]。在LBS系统中,移动智能终端用户的地理位置数据构成了LBS大数据,其是当前大数据时代进行城市科学研究和应用的热点^[19-21]。但应看到,基于LBS大数据的城市人口时空分布研究还相对较少。基于此,本文应用在国内较成功的基于LBS大数据的百度地图热力图作为研究工具。热力图是一种图形化表示,核心是获取用户的地理坐标数据,再通过用户数量渲染地图颜色,通常颜色越暖如红色,表示该区域的人口分布越集聚;颜色越冷如蓝色,表示该区域的人口分布越少。同时,百度地图热力图数据每15 min更新一次,由此在时间尺度上提供连续的动态实时数据。显然,通过基于LBS大数据的百度地图热力图可以快速、准确地获得城市人口在连续时空尺度上的分布特征和规律,由此提供了一个全新的观察城市人口时空分布特征的新方法。

2 合肥市人口分布空间格局分析

2.1 研究区概况

本文以合肥市中心城区为案例研究区。作为安徽省省会,合肥是长三角世界级城市群的副中心城市,是“一带一路”和长江经济带两大国家战略的双节点城市,同时合肥与北京、上海一起构成了三大综合性国家科学中心。根据2016年5月国

务院批复的《合肥市城市总体规划(2011~2020年)》,中心城区包括老城区、蜀山分区、包河分区、庐阳分区、瑶海分区、高新分区、经开分区和滨湖分区(图1)。在基于空间句法和LBS大数据的支持下,探讨合肥中心城区人口分布的空间格局特点,对于合肥城市空间的优化布局具有重要意义,也能为其他城市的人口分布研究提供参考和借鉴。



图1 合肥市中心城区规划结构
Fig. 1 The planning structure of central city in Hefei

2.2 数据获取与处理

以合肥市2020年规划期末的用地布局图和2011年规划基期的用地现状图为基础数据,根据公式(1)~(6),利用Axwman模块得到研究区在2011年和2020年的空间句法指标测度结果及其可视化表达。以2017年6月5日~6月11日连续一周内的合肥市中心城区百度地图热力图为基本数据,数据的取样时间段为9:00~23:00,间隔为1 h,共获取105张热力图。研究将获取的热力图划分为5个等级,并赋值以表征不同的人口时空分布密度等级(即热力度),密度最高的区域赋值为5,最低的赋值为1,由此得到不同密度等级的人口分布集聚区。在ArcGIS软件平台中,对热力图进行地理空间配准和校正,进而计算人口分布集聚区面积。

2.3 结果分析

2.3.1 空间句法分析

通过上述数据处理与计算,得到研究区在2011年和2020年的城市空间全局集成度 I 如表1和图2所示。总体上,2011年 I 的平均值为1.017 2,2020年 I 的平均值为1.087 7,比2011年提高了6.93%,表明规划后的合肥城市空间的总体可达性、便捷性和空间集聚人流的能力有一定增强。图2根据等间距原则把全局集成度分成了10级,2011年单元空间数量最多的是第4级,占比22.34%, I 的范围是0.903 3~1.030 7;2020年单元空间数量最多的是第5级,占比26.62%, I 的范围是0.982 8~1.126 7。对比可知,规划前后空间数量最多的分级占比尽管相差不大,但规划后 I 的范围值则有较大提高,分别提高了8.80%~9.31%,这也从另一个角度表明了规划后城市空间的可达性和集聚能力有一定增强。

表1 规划基期和末期的全局集成度指标统计

Table 1 Global integration at the beginning and end of planning

全局集	平均值	最小值	最大值	标准差
成度	基期	末期	基期	末期
数值	1.0172	1.0877	0.5209	0.4073
	1.7955	1.8461	0.2051	0.2240

根据图2,2011年全球集成度最高的第10级单元空间有2个,即东西向黄山路和南北向徽州大道所代表的区域(图2红色线条);2020年全球集成度最高的第10级单元空间有4个,即除了黄山路和徽州大道以外,增加了南北向的合作化路和东西向太湖路所代表的区域(图2红色线条),由此形成了以两纵两横为骨架的城市集成度集中区,这意味着规划后城市空间中集聚能力大的区域有所增加,未来人口分布的集聚区域也将随之增加。

进一步,研究得到合肥市中心城区在2011年和2020年的城市空间局部集成度 LI 如表2和图3所示。总体上,在平均值、最小值、最大值和标准差指标上,2020年的 LI 值均高于2011年的对应值,这表明规划后的局部空间的可达性和集聚能力都得到了提高。在 LI 的分级上,两期单元空间数量最多的都是第5级,但2020年的 LI 范围(1.883 3~2.270 8)要明显高于2011年的对应值(1.725 3~2.073 5)。2011年 LI 最高的第10级单元空间有4个,即黄山路、南北向的潜山路(北)和天

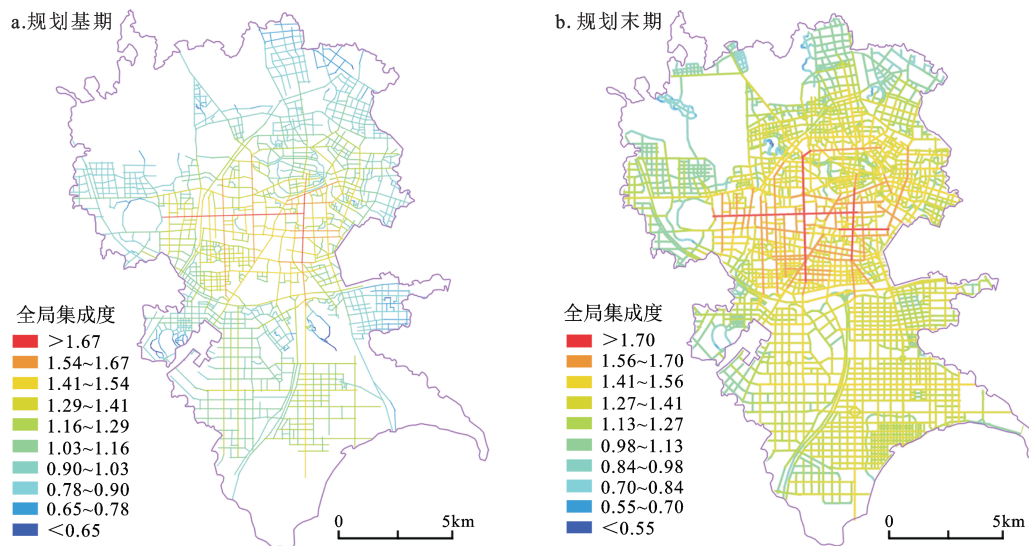


图2 规划基期和末期的全局集成度分析

Fig. 2 The global integration of the beginning and end of planning

都路(南)、东西向的紫云路所代表的区域(图3红色线条);2020年 LI 最高的第10级单元空间则有11个,即除了黄山路、徽州大道、合作化路以外,所增加的主要分布在滨湖分区(图3红色线条)。显然,规划后城市空间的局部集成度在滨湖分区形成了一个最大值集中区,表明该区域在局部空间上的可达性和集聚能力显著提高,将成为合肥市中心城区的次中心。

表2 规划基期和末期的局部集成度指标统计

Table 2 Local integration at the beginning and end of planning

全局集成度	平均值		最小值		最大值		标准差	
	基期	末期	基期	末期	基期	末期	基期	末期
数值	1.7846	1.9939	0.3313	0.3729	3.8136	4.2083	0.5809	0.6778

根据全局集成度分析图可知,合肥市中心城区集成度较高的区域(暖色线条)主要分布在老城区、蜀山分区和包河分区;而根据局部集成度分析图可知,将在滨湖分区形成次中心。滨湖分区是合肥市近年来重点打造的城市综合功能新区,人口、产业集聚较快,而空间句法分析也表明该区域的人口承载能力具有较大潜力,将能成为未来城市空间的新中心。

2.3.2 LBS大数据分析

对一周内合肥市中心城区的105张热力图进行系统分析可知:工作日和非工作日的人口分布

特征存在明显差异,这突出说明了人口分布特征与工作状态具有紧密关系。工作日期间,人们多选择具有商业、办公、医疗、教育文化性质的城市功能区,而非工作日期间人们主要选择具有居住、娱乐休闲、餐饮购物性质的城市功能区,表明了人口的分布特征与城市空间功能结构具有较高的一致性。工作日期间平均每天的人口分布变化为(图4):9:00~17:00,整体上人口分布集聚区的数量逐步增加,面积逐步扩大,人口活动逐步由分散走向集聚,并且在17:00达到全天峰值;17:00~19:00,人口分布集聚区面积迅速减少,人口活动强度迅速减弱,空间分布呈分散状态。19:00~23:00,人口分布集聚区逐渐消失,人口集聚程度达到了最小值,热力图呈现淡紫色的冷色调状态(图5)。特别的,12:00时刻人口集聚达到了上午峰值,之后到13:00显著下降,说明在中午下班休息时间内,人口在空间上分散和集聚的变化波动较大。图5是周五(6月9日)的人口分布热力图,其明显地反映出上述“分散-集聚-分散”的变化特征。

根据105张热力图可以发现合肥市中心城区的人口分布主要形成了6个集聚区:老城区的长江中路两侧区域,蜀山区的五里墩立交桥区域和潜山路区域,包河区的金屯立交桥区域,地铁1号线的部分区域(合肥工业大学南区地铁站周边、朱岗地铁站周边和合肥南站地铁站周边),滨湖分区的滨湖世纪城区域。而根据上述12:00和17:00两个

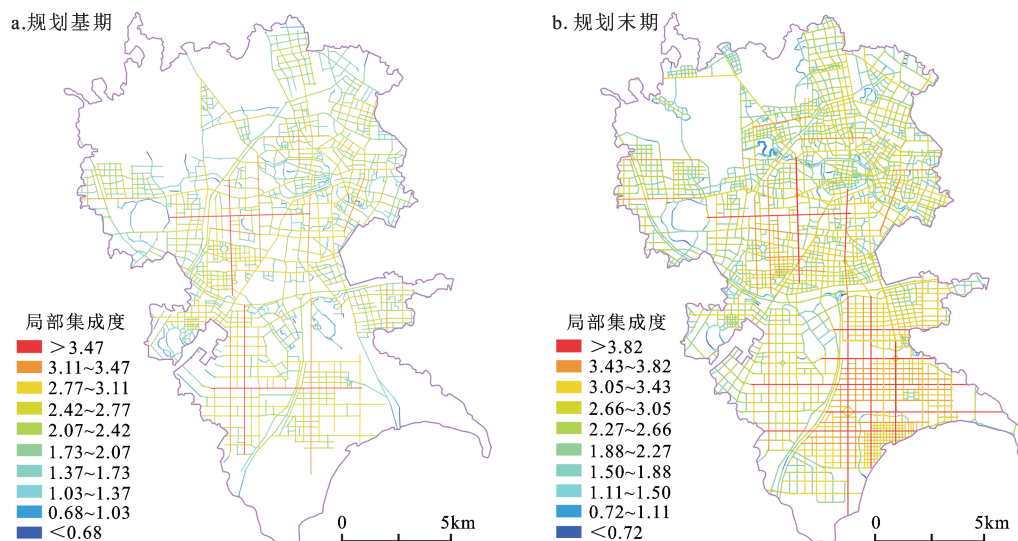


图3 规划基期和末期的局部集成度分析

Fig. 3 The local integration of the beginning and end of planning

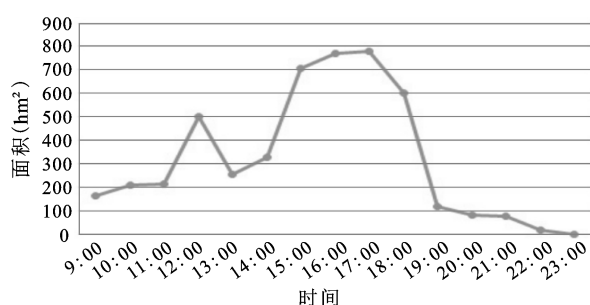


图4 工作日(9:00~23:00)人口分布集聚区的面积变化

Fig. 4 The area change of population distribution in working day

区的长江中路两侧区域、蜀山区的五里墩立交桥区域和潜山路立交桥区域、包河区的金屯立交桥区域、地铁1号线的部分区域(合肥工业大学南区地铁站周边、朱岗地铁站周边和合肥南站地铁站周边)。对比可知,两个关键时刻的人口集聚区中少了滨湖分区的滨湖世纪城区域(图6)。这就表明,尽管滨湖分区是合肥市近年来正着力打造的新城区,但和传统的合肥市中心城区其他区域相比,其吸引人口集聚的能力仍有待提高。

2.3.3 综合对比分析

空间句法模型从理论上得到了未来城市人口

峰值时刻看,人口分布主要形成了5个区域即老城

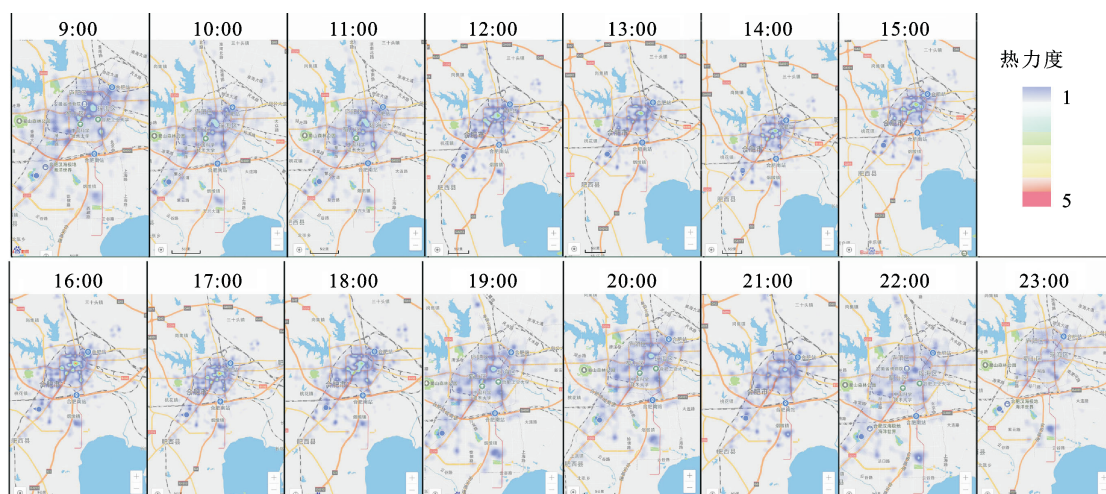


图5 周五(6月9日)的人口分布热力图

Fig. 5 The heat map of population distribution on Friday (June 9th)

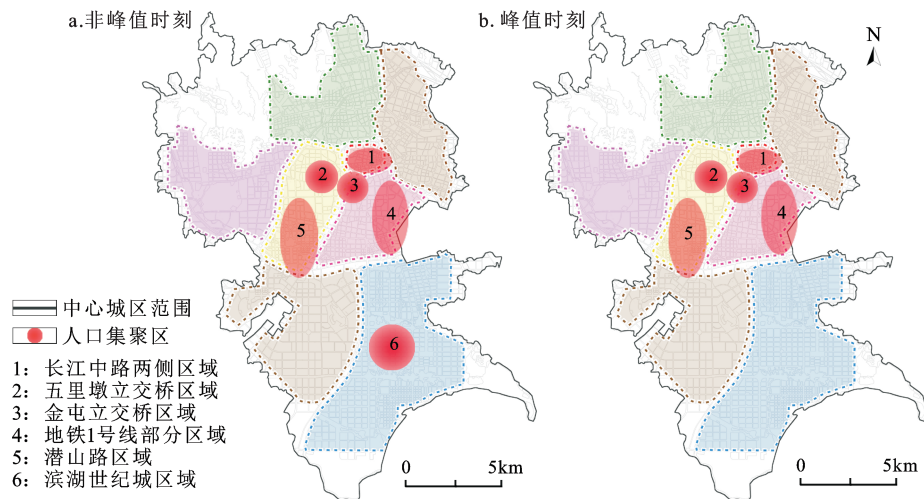


图6 人口分布集聚区的空间对比分析

Fig. 6 The spatial contrast analysis of population distribution areas

分布的集聚区,而LBS大数据则得到了客观现实中的人口分布集聚区。根据表3的对比分析可知,两种方法得到的合肥市中心城区人口集聚区域在空间上存在差异,老城区、蜀山区等在人口集聚区上存在吻合,而高新区、庐阳区则不存在吻合,如黄山路位于高新区的部分在空间句法分析中集成度等级最高,理论上应是人口分布集聚区,但现实的LBS大数据则表明目前仍不是人口集聚区。

表3 人口分布集聚区的综合对比分析

Table 3 The contrast of population distribution areas

空间句法分析	LBS大数据分析	所属分区(是否吻合)
徽州大道区域	长江中路区域	老城区(吻合)
黄山路区域	五里墩立交桥区域	蜀山区(吻合)
合作化路区域	潜山路立交桥区域	
黄山路区域	金屯立交桥区域	包河区(吻合)
太湖路区域	合工大南区地铁站出入口区域	
徽州大道区域	朱岗地铁站出入口区域	
徽州大道区域	滨湖世纪城区域	滨湖分区(吻合)
北一环路区域	----	庐阳区(不吻合)
黄山路区域	----	高新区(不吻合)

注:徽州大道南北贯穿老城区、包河区、滨湖分区;黄山路东西向贯穿蜀山区、包河区、高新区;太湖路东西向贯穿蜀山区、包河区。

在8个分区中,滨湖分区具有特殊性。首先,其在全局集成度分析中不具有优势,但在局部集成度分析中则具有明显优势,具有形成城市次中心的基础,综合来看,其空间可达性只能列为较

好。其次,在现实的人口分布大数据分析中,其属于人口集聚的6个区域,但从12:00和17:00两个关键时刻看,其并不是人口集聚区。因此,滨湖分区作为合肥市的新城区,尽管内部可达性好,但与其他分区仍存在连接不紧密的问题,这从理论上导致其全局集成度不理想,而在现实中则使其吸引人口集聚的能力仍有待提高。

研究进一步把8个分区分为3类:人口集聚度高且空间可达性好的区域为高密度人口分布区,其在理论上集聚人口能力大,同时现实中人口集聚也大,包括老城区、蜀山区和包河区;人口集聚度一般但空间可达性较好的区域为中密度人口分布区,其在理论上集聚人口能力大但现实中人口集聚少,包括滨湖分区、庐阳区和高新区;人口集聚度一般且空间可达性也一般的区域为低密度人口分布区,该区域在理论上和现实中人口集聚能力均较低,包括经开区和瑶海区。

为引导合肥市中心城区人口有序分布,特提出以下建议:对于高密度人口分布区,要制定措施疏解部分公共功能到中低密度人口分布区,从而引导人口有序流动,降低该区的人口压力,实现人口中心的优化发展。中密度人口分布区可以完善商业、教育、文化、医疗、办公等公共服务和设施,以吸引人口流向该区域,增加人口密度,由此形成新的城市人口副中心。低密度人口分布区要特别注意提高城市空间的可达性,在此基础上尽快增加公共服务和设施,从而提高该区域的人口集聚能力。

3 结论与讨论

针对当前城市人口分布研究现状,本文尝试把传统的空间句法模型与现代LBS大数据技术有机结合起来,从理论和实际两个方面探讨了合肥市人口时空分布的特点和规律,主要结论如下:① 空间句法分析表明理论上合肥市人口分布集聚区主要包括徽州大道、黄山路、太湖路、合作化路等区域,LBS大数据分析显示合肥市实际人口分布集聚区主要包括长江中路、潜山路等区域,理论上和实际上的人口分布集聚区在空间上存在差异。② 滨湖分区是合肥近年来正在重点打造的城市新区,局部集成度分析显示其将能成为合肥市未来次中心,但在关键时刻点上其并不是实际的人口集聚区,由此表明其吸引人口集聚的能力仍有待提高。③ 综合人口理论分布和实际分布的特点,将合肥市8个城区划分为高密度、中密度和低密度3个人口分布区,进而提出了促进人口有序分布的对策建议,由此为合肥城市空间布局提供科学的决策依据。

城市人口分布对于保障城市实现可持续发展具有重要的理论价值和现实意义,因此应尽可能采用先进的技术方法来提高研究的精确性,本文正是把传统经典方法与当前最新大数据技术共同应用在城市人口分布研究中的一次探索和尝试。由于LBS大数据具有真实、实时、动态的特点,将其应用在传统的城市人口分布研究中,能大大拓宽基础数据的来源和时效性,由此增强研究的精确性,同时也为扩大LBS大数据的实践应用领域做出探索和参考。研究在一些方面仍需探讨,如空间句法分析所展现的空间特征仍要深入挖掘、LBS大数据的获取时间段可以更长以使得数据采集更丰富等。相信随着研究的深入,特别是现代大数据技术将能弥补传统方法的不足,由此促进城市人口分布空间格局研究的理论与技术方法体系逐步完善起来,从而能对城市实现全面协调的可持续发展起到更加科学的指导作用。

参考文献(References):

- [1] Champion A G. A changing demographic regime and evolving polycentric urban regions: Consequences for the composition and distribution of city populations [J]. *Urban Studies*, 2001, 38 (4):657-677.
- [2] 曾文,张小林,向梨丽,等. 2000-2010年南京都市区人口空间变

- 动特征研究[J]. *地理科学*, 2016, 36(1):81-89. [Zeng Wen, Zhang Xiaolin, Xiang Lili et al. The features of population redistribution of Nanjing metropolitan area in 2000-2010. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(1):81-89.]
- [3] Clark C. Urban population densities [J]. *Journal of the Royal Statistical Society (Series A)*, 1951, 114(4):490-496.
- [4] Newling B E. The spatial variation of urban population densities [J]. *Geographical Review*, 1969, 59(2): 242-252.
- [5] Anderson J E. Cubic spline urban density functions [J]. *Journal of Urban Economics*, 1982, 12(2):155-167.
- [6] Berry B J L, Kim H M. Challenges to the monocentric model [J]. *Geographical Analysis*, 1993, 25(1):1-4.
- [7] 刘睿文, 封志明, 杨艳昭, 等. 基于人口集聚度的中国人口集聚格局[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(10): 1171-1177. [Liu Ruiwen, Feng Zhiming, Yang Yanzhao et al. Research on the spatial pattern of population agglomeration and dispersion in China. *Progress in Geography*, 2010, 29(10): 1171-1177.]
- [8] 李莎, 刘卫东. 俄罗斯人口分布及其空间格局演化[J]. *经济地理*, 2014, 34(2): 42-49. [Li Sha, Liu Weidong. Spatial distribution of population in Russia and its evolution. *Economic Geography*, 2014, 34(2): 42-49.]
- [9] 于婷婷, 宋玉祥, 浩飞龙, 等. 东北三省人口分布空间格局演化及其驱动因素研究[J]. *地理科学*, 2017, 37(5):709-717. [Yu Tingting, Song Yuxiang, Hao Feilong et al. Space pattern evolution of population distribution and the driving factors in northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(5): 709-717.]
- [10] 冯健. 杭州市人口密度空间分布及其演化的模型研究[J]. *地理研究*, 2002, 21(5): 635-646. [Feng Jian. Modeling the spatial distribution of urban population density and its evolution in Hangzhou. *Geographical Research*, 2002, 21(5): 635-646.]
- [11] Luo Jun, Wei Yehua. Population distribution and spatial structure in transitional Chinese cities: A study of Nanjing [J]. *Eurasian Geography and Economics*, 2006, 47(5):585-603.
- [12] 梁昊光, 刘彦随. 北京市人口时空变化与情景预测研究[J]. *地理学报*, 2014, 69(10):1487-1495. [Liang Haoguang, Liu Yansui. Study on spatio-temporal change and simulation of population in Beijing based on census data. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10):1487-1495.]
- [13] 柴彦威, 赵莹. 时间地理学研究最新进展[J]. *地理科学*, 2009, 29(4):593-600. [Chai Yanwei, Zhao Ying. Recent development in time geography. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(4): 593-600.]
- [14] 王波, 甄峰, 张浩. 基于签到数据的城市活动时空间动态变化及区划研究[J]. *地理科学*, 2015, 35(2):151-160. [Wang Bo, Zhen Feng, Zhang Hao. The dynamic changes of urban space-time activity and activity zoning based on check-in data in sina web. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(2):151-160.]
- [15] Hiller B, Hanson J. The Social Logic of Space [M]. London: Cambridge University Press, 1984.
- [16] 张晓瑞, 程志刚, 白艳. 空间句法研究进展与展望[J]. *地理与地*

- 理信息科学,2014,30(3):82-87. [Zhang Xiaorui, Cheng Zhigang, Bai Yan. Review and prospect of space syntax. *Geography and Geo-information Science*, 2014,30(3):82-87.]
- [17] 江斌,黄波,陆峰. GIS环境下的空间分析和地学可视化[M].北京:高等教育出版社,2002. [Jiang Bin, Huang Bo, Lu Feng. *Spatial analysis and geoscience visualization in GIS environment*. Beijing: Higher Education Press, 2002.]
- [18] Gang S, Dan L, Hui L et al. L2P2: A location-label based approach for privacy preserving in LBS[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2016, 74(9):375-384.
- [19] 宁博,裴晓霞,李玉居,等. LBS大数据中基于固定网格划分四叉树索引的查询验证[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2016,56(7): 785-792. [Ning Bo, Pei Xiaoxia, Li Yuju et al. Query authentications based on a fixed grid partitioning quad-tree index in LBS big data. *Journal of Tsinghua University(Science and Technology)*, 2016,56(7): 785-792.]
- [20] 徐军,李大军. 基于实景地图的LBS服务[J]. 地理空间信息, 2012,10(5):157-160. [Xu Jun, Li Dajun. LBS services based on live maps. *Geospatial Information*, 2012,10(5):157-160.]
- [21] 陈晨,李浩然. 基于LBS大数据的南京市综合客运枢纽影响范围研究[J]. 现代交通技术,2017,14(2):63-66. [Chen Chen, Li Haoran. Study on the influence scope of Nanjing comprehensive passenger transport hubs based on LBS big data. *Modern Transportation Technology*, 2017, 14(2):63-66.]

Space Pattern of Urban Population Distribution Based on Space Syntax and LBS Big Data

Zhang Xiaorui^{1,2}, Hua Qian¹, Cheng Zhigang³

(1. *Department of Urban Planning, Hefei University of Technology, Hefei 230601, Anhui, China*; 2. *Laboratory of Digital Human Habitat Studies, Hefei University of Technology, Hefei 230601, Anhui, China*; 3. *Anhui Institute of Urban and Rural Planning and Design, Hefei 230022, Anhui, China*)

Abstract: The space pattern of urban population distribution is a classical research topic of urban science and urban planning. In terms of the current research situation of urban population distribution, the LBS big data technology which is considered as a new method and tool to observe the urban spatial and temporal characteristics is introduced into the research of urban population distribution based on the traditional space syntax model. Then, a new idea of urban population distribution research with the integration of theoretical distribution and actual distribution is established. The case study in the central urban area of Hefei City shows that: the spatial clustering areas obtained respectively by space syntax model and LBS big data analyses are different in space. According to the comprehensive comparison of space syntax model and LBS big data analysis, the central urban area of Hefei City is divided into 3 types of population distribution including high density, medium density and low density. The high density zoning consists of the old town, Shushan district and Baohe district. The medium density zoning includes Binhu district, Luyang district and High-tech area. Meanwhile, the low density zoning consists of economic developing area and Yaohai district. Finally, the suggestions of population distribution development in different density partitions are proposed. The research shows that the timely and dynamic characteristics of LBS big data can make up for the shortcomings of traditional data and greatly broaden the source and timeliness of basic data. Obviously, this will enhance the accuracy of the study. And, more importantly, it will provide more accurate and efficient tools and methods combined with the classical space syntax model for the study of urban population distribution. In addition, it is hoped that this research can make some exploration and reference for expanding the practical application field of LBS big data.

Key words: space syntax; LBS big data; urban population distribution; Hefei city