

引用格式: 杨喜平, 方志祥, 尹凌. 城市空间结构要素与人群聚散稳定性的关联性探索[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(6): 791-798. [ Yang X P, Fang Z X, Yin L. Exploring the relationship between urban spatial structure and the stability of human convergence-divergence[J]. Journal of Geo-information Science, 2018, 20(6): 791-798. ] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180026

# 城市空间结构要素与人群聚散稳定性的关联性探索

杨喜平<sup>1,2</sup>, 方志祥<sup>3\*</sup>, 尹凌<sup>4</sup>

1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 西安 710119; 2. 陕西省旅游信息科学重点实验室, 西安 710119; 3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079; 4. 中国科学院深圳先进技术研究院, 深圳 518055

## Exploring the Relationship between Urban Spatial Structure and the Stability of Human Convergence-divergence

YANG Xiping<sup>1,2</sup>, FANG Zhixiang<sup>3\*</sup>, YIN Ling<sup>4</sup>

1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Tourism Informatics, Xi'an 710119, China; 3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 4. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

**Abstract:** The relationship between human mobility and urban spatial structure has been a long research topic in human geography, which is helpful for understanding the impacts of human mobility and assessing the rationality of urban spatial structure, thus, important and meaningful for urban planning, traffic management, location selection and emergency management. Traditional studies take advantage of travel survey dataset to investigate the relationship between human travel behavior and urban built environment, which makes it difficult to study human convergence and divergence due to the limitation of small sample size. Recently, with the development of Information Communication Technology (ICT), it is possible to collect massive and long-term human spatio-temporal tracing dataset (such as mobile phone data, social media check-in data, floating cars data and so on), which brings a new perspective of studying urban human mobility, spatial structure and their relationship. Based on the previous study, this study focus on the stability of human convergence and divergence, takes traffic analysis zones as spatial analysis unit, aims to explore the correlation between urban spatial structure and the stability of human convergence and divergence. The indicators representing urban structure are constructed from the aspects of socio-economic, land use patterns and urban road network characteristics, respectively. The multiple linear programming is employed to examine the influence of these indicators on the stability of human convergence and divergence. We found that the bigger the population size and density of a place, the less stable the human convergence and divergence. The degree of the mixture of the land use is positively associated with the stability. As for the centrality of road network, the local centrality has significant

收稿日期 2018-01-02; 修回日期: 2018-03-19.

基金项目 : 国家重点研发计划项目(2017YFC1405302, 2017YFB0503802); 国家自然科学基金项目(41771473、41231171、41771441、41571135); 中国博士后科学基金项目(2017M623112、2018M632860); 中央高校基本科研业务费资助项目(GK201803049、2042017kf0235)。 [ **Foundation items:** National Key Research and Development Program of China, No.2017YFC1405302, 2017YFB0503802; National Natural Science Foundation of China, No.41771473, 41231171, 41771441, 41571135; China Postdoctoral Science Foundation, No.2017M623112, 2018M632860; Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.GK201803049, 2042017kf0235. ]

作者简介: 杨喜平(1986-), 男, 博士, 讲师, 主要从事时空轨迹大数据挖掘与人群移动行为研究。E-mail: xpyang@snnu.edu.cn

\*通讯作者: 方志祥(1977-), 男, 博士, 教授, 主要从事时空 GIS 与行人智慧导航研究。E-mail: zxfang@whu.edu.cn

influence on the stability of human mobility and the impact is different with the increasing of search distance. These knowledges can deepen our understanding of relationship between human mobility and urban spatial structure, which can be utilized by urban operators to guide urban planning, traffic management and make some emergency measures.

**Key words:** spatial structure; human convergence and divergence; mobile phone data, stability; land use

**\*Corresponding author:** FANG Zhixiang, E-mail: zxfang@whu.edu.cn

**摘要:** 人群移动和城市空间结构的关系研究一直是人文地理关注的焦点,它可以帮助理解人群城市空间中移动的潜在动力和影响因素,从而评价城市空间结构的合理性,对城市规划、选址具有重要意义。轨迹大数据为研究城市大规模群体活动、城市空间结构以及二者的关系提供了新视角。本文以人群聚散稳定性为切入点,以深圳市交通小区为分析单元,从社会经济属性、土地利用模式和路网中心性3个方面定量探索城市空间结构特征与人群聚散稳定性的关联性。结果发现:区域的人口数量和密度越大,人群聚散稳定性越低;土地利用混合度越高,均衡性越低,人群聚散稳定性越低;与路网全局中心性比,局部范围内的路网中心性对人群聚散稳定性的影响较大,并且随着距离不同而发生变化。这些知识帮助加深理解人群聚散与城市空间结构特征之间的关系。

**关键词:** 城市空间结构;人群聚散;手机位置数据;稳定性;土地利用

## 1 引言

城市是人群活动与空间结构长期相互作用的结果,城市人群移动行为与空间结构特征密切相关。在时空行为研究中,学者们采用问卷调查数据从个体的角度研究了城市空间结构特征(如城市基础设施、土地利用模式、可达性等)对人的移动距离、活动空间和通勤模式的影响<sup>[1-3]</sup>。由于调查数据样本量较小,无法对城市大规模群体移动行为进行研究。近来,轨迹大数据帮助学者从群体、动态、时空的角度理解城市人群移动行为和空间结构的关系<sup>[4-6]</sup>。目前大部分研究遵循“数据-人群移动模式-城市空间结构”的研究思路,即从轨迹大数据中挖掘人群移动模式进而识别城市空间结构如城市土地利用特征<sup>[7-8]</sup>、多中心性交互结构<sup>[9-10]</sup>和职住空间分布等<sup>[11-12]</sup>,但是对城市空间结构与人群移动行为相互作用关系的研究较少。本研究试图从群体的角度探索城市空间结构要素与人群移动时空行为的关联性,帮助揭露城市人群移动的潜在动力,对于城市的规划、交通管理和政策制定具有重要指导意义。

人群聚散是人群在城市中移动形成的一个普遍但非常重要的现象,与城市空间结构特征密切相关的<sup>[13-14]</sup>。人群聚散的稳定性反映了一个地方人群突变的程度,潜在反映了该地方对交通需求的稳定性和人群活跃程度。Fang等<sup>[15]</sup>提出了一种基于轨迹大数据的人群聚散稳定性评价模型,评价了深圳市交通小区、公交站和公交线路覆盖人群的

动态稳定性。本文在该研究的基础上进一步探讨城市空间结构与人群聚散稳定性的关系,分析一个地方人群聚散的稳定性是否与该地方的城市空间结构存在关联,以及与城市空间结构中那些要素关联性较大。

## 2 人群聚散稳定性

图1给出了地方A和地方B的人群随时间聚散变化序列,地方A一天中人群的聚散变化较平稳,而地方B人群聚散变化幅度较大。人群聚散的稳定性帮助衡量人群聚散变化剧烈程度,潜在的反映了该方法交通需求的稳定性。Fang等<sup>[15]</sup>通过对人群聚散时间序列进行分析,将其分为聚集和消散的交替过程,构建聚集消散过程的稳定性模型,最后建立评价人群聚散序列的稳定性模型,并

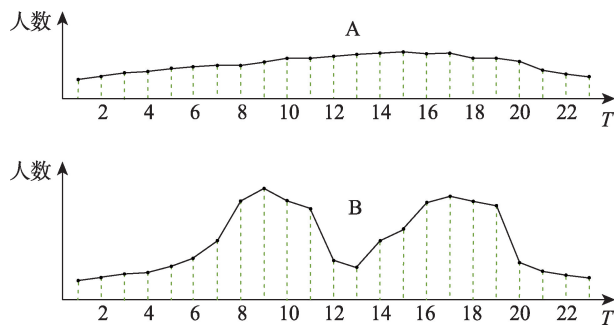


图1 人群聚散变化序列示意图

Fig. 1 The time sequence of human convergence and divergence

以手机位置大数据为例,利用模型评价了深圳市各交通小区覆盖人群的聚散稳定性(图2),稳定性值越大表示人群聚散活动越稳定。本文在此基础上进一步探索交通小区空间结构特征与人群聚散稳定性的关联性。

### 3 城市空间结构要素

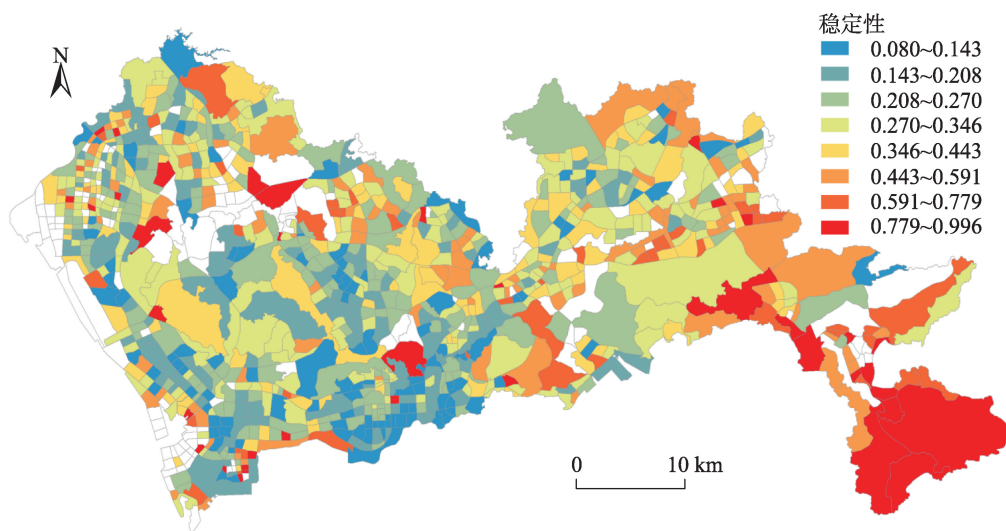
城市空间结构是指城市各个要素通过其内在机制的相互作用而形成的相对区位关系和空间形态,是城市社会经济存在和发展的空间形式,也是长期过程中人类空间活动和区位选择的积累结果<sup>[16]</sup>。在城市中,一个地方的社会经济属性(如经济发展程度,人口,面积等)会影响人群的移动行为<sup>[17]</sup>。土地利用结构是描述城市空间结构的一个重要要素,城市土地功能的空间分布模式决定了人群移动的时空模式和社区的人群活力<sup>[14,18]</sup>。此外,城市道路网结构特性也是影响人群移动行为的另一个重要因素,路网的拓扑特性和可达性直接反应城市不同空间道路设计的合理性和可达难易程度,在一定程度上影响人群在空间上的出行行为<sup>[19]</sup>。因此,本研究将从社会经济属性、土地利用结构和路网结构3个方面来构建描述城市空间结构特征的指标,并采用多元线性回归模型定量分析城市空间结构要素与人群聚散稳定性的关联性,加深对二者关系的理解。

#### 3.1 社会经济属性

社会经济属性是指城市人群的社会经济活动所赋予的特性,是可以反映一个区域一些固有特征的属性。本文采用交通小区的人口、面积、人口密度和房价4个解释变量衡量交通小区的社会经济属性。其中,人口  $P_i$  是通过从手机数据中识别城市居民的职住分布获得,房价是从安居客网站(<http://shenzhen.anjike.com/>)爬取深圳市范围内所有房屋交易价格(数据获取时间为2013年7月),对于每个交通小区,求取房屋价格的平均值作为该小区的房价  $V_i$ 。

#### 3.2 土地利用结构

土地利用结构是指一个区域内各种功能用地类型的比例及其相互影响、相互作用所形成的空间结构关系。徐萍<sup>[20]</sup>认为土地利用结构的内涵主要包括4个方面:① 土地利用的组成要素及其性质和特点;② 各要素之间的相互依赖关系,如比例关系;③ 各要素的相互作用;④ 各要素相互关系的发展变化。根据土地利用结构定义及内涵,本文将从土地利用的比例、区位熵、信息熵和均衡度4个方面来构建描述土地利用结构特性的解释变量。本文根据《城市用地分类与规划建设用地标准》,将土地利用划分成6个大类:商业用地(C)、工业用地(I)、居住用地(R)、公共用地(P)、交通用地(T)和其他用地(O),分别计算每个交通小区的土地利用比例、区位熵<sup>[21]</sup>、信息熵和均衡度。



注:空白为没有数据的交通小区

图2 深圳市交通小区稳定性<sup>[15]</sup>

Fig. 2 The stability of Traffic Analysis Zones (TAZs)



### 3.3 路网中心性

在复杂网络理论中,中心性是用来衡量一个节点或边的重要程度,反映了节点或边在网络中的地位。城市道路网的中心性反映节点或边在城市交通运行中的重要性<sup>[22]</sup>,影响城市人群的移动行为。本文采用接近中心性、介数中心性和直达中心性3个指标来分析路网拓扑结构特性对人群聚散稳定性的影响。接近中心性( $C_i^C$ )是衡量一个节点与路网中其他所有节点的临近程度,是该节点到路网中其他所有节点的最短路径的倒数。介数中心性( $C_i^B$ )是衡量某一节点在路网中的起中介作用的程度,是路网中任意两个节点的最短路径中经过该节点的最短路径数量。直达中心性( $C_i^S$ )是衡量网络中节点到其他节点的直线系数,是这2个节点之间的欧氏距离与最短路径距离比值。

在计算路网中心性时,通过计算该节点到路网中其他所有节点的最短路径距离,从全局的角度来搜索路网中其他所有的节点,最终所计算的值为全局中心性值,记为 $C_g^C$ 、 $C_g^B$ 和 $C_g^S$ 。Porta等<sup>[23]</sup>认为全局中心性会受到边缘地区的影响而出现边界效应,即越靠近城市的边缘地区,全局中心性的值越低,而局部的中心性可以克服这种边界效应。Rui等<sup>[24]</sup>认为局部中心性可以帮助了解路网在局部尺度的一些特性,能够揭露人群在局部区域水平上的位置选择行为。本文计算了路网的局部中心性,分析路网的局部中心特性对人群聚散稳定性的影响。局部中心性是指在计算中心性时只搜索节点一定距离范围内的节点,超出该距离范围无需计算。本文分别计算了5、10、15、20、25和30 km共6个范围内的局部接近中心性、局部介数中心性和局部直达中心性,记为( $C_{L5}^C, C_{L10}^C, C_{L15}^C, C_{L20}^C, C_{L25}^C, C_{L30}^C$ )、( $C_{L5}^B, C_{L10}^B, C_{L15}^B, C_{L20}^B, C_{L25}^B, C_{L30}^B$ )和( $C_{L5}^S, C_{L10}^S, C_{L15}^S, C_{L20}^S, C_{L25}^S, C_{L30}^S$ )。

## 4 多元线性回归分析

多元线性回归是用来研究一个因变量和多个自变量之间的相互关系,已经被广泛的应用到交通和地理分析中,如研究建筑环境对个人通勤行为的影响<sup>[25]</sup>、分析城市中不同类型社区职住分离的空间差异性及其影响因素<sup>[1]</sup>、以及城市土地利用混合度对居民职住分离的影响<sup>[26]</sup>。本文首先对因变量和

解释变量进行Z-score标准化,通过控制模型的解释变量来构建不同的模型,用以分析城市空间结构中不同特征对人群聚散稳定性的影响;然后,分别对社会经济属性、土地利用和路网结构的解释变量来构建回归模型,来分析城市空间结构要素对人群聚散稳定性具有显著影响的解释变量。具体而言,本文将从以下3个方面来分析人群聚散稳定性的影响因素。

(1)社会经济属性对人群聚散稳定性的影响。在不考虑土地利用和路网结构特性的情况下,只分析社会经济属性中人口、面积、人口密度和房价这四个解释变量对人群聚散稳定性的影响。

(2)土地利用结构对人群聚散稳定性的影响。不考虑社会经济属性和路网结构特性,只分析土地利用结构中比例、区位熵、信息熵和均衡度对人群聚散稳定性的影响。

(3)路网结构对人群聚散稳定性的影响。不考虑社会经济属性和土地利用结构的情况下,分别分析路网结构中密度、接近中心性、介数中心性和直达中心性对人群聚散稳定性的影响。

## 5 结果分析

本文运用R语言,利用最小二乘法(OLS)来求解模型中解释变量的系数,结合系数的大小和显著性来解释每个变量与因变量的关联强度,识别城市空间结构中社会经济属性、土地利用结构和路网结构与人群聚散稳定性存在显著关联的解释变量,进一步加深理解城市空间结构和人群活动之间的关系。

### 5.1 社会经济属性对人群聚散稳定性影响

由于并不是所有的交通小区都具有房价信息,在构建社会经济属性回归模型时,只采用具有房价信息的交通小区,共403个。表1给出了社会经济属性对人群聚散稳定性的回归结果。从表1可以看出:①交通小区内人口数量对人群聚散稳定性具有显著的负向影响( $p < 0.01$ ),具体表现为当交通小区内人口数量每增加一个单位,则人群聚散稳定则减少29.3%,注意这里是指经过标准化后的单位;②交通小区的面积对人群聚散的稳定性并没有显著的影响,即交通小区的面积和人群动态稳定性并不呈线性相关;③交通小区人口密度对人群聚散稳定性具有显著负向影响( $p < 0.01$ ),具体表现为当交

表1 社会经济属性回归结果

Tab. 1 The regression results of socio-economic factors

自变量	因变量:聚散稳定性		
	系数( $\beta$ )	标准差( $sd$ )	$t$ 值
常数项	0.000	0.044	0
人口( $P$ )	-0.293***	0.064	-4.580
面积( $A$ )	0.061	0.047	1.306
人口密度( $D$ )	-0.188***	0.066	-2.859
房价( $V$ )	-0.024	0.044	-0.528
$R^2$		0.207	
调整 $R^2$		0.199	
$F$ 检验		26.27***	

注:\*\*\* $p<0.01$ 

通小区内人口密度每增加一个单位,则人群聚散稳定则减少18.8%。④交通小区房价对人群聚散稳定性并没有显著影响。

从回归结果可看出,人口数量、人口密度与人群聚散稳定性呈负相关,也就是说,一个区域人口数量或人口密度越大,则该区域人群动态的稳定性就越差。本文的人群聚散稳定性模型是基于区域人群净流量提出的,净流量越大,人群聚散就可能越不稳定,可见一个区域人口数量或人口密度越大,则该区域人群净流量可能越大。结合深圳市土地利用功能区的空间分布可以发现,面积较大的交通小区大多位于城市中人群活动稀少的山林、水系和农田等功能区,这些区域人群聚散的稳定性较高(图2中红色区域),但从模型回归结果看,面积和房价与人群聚散的稳定性并没有显著的线性关系,说明人群聚散稳定性并不受交通小区的面积和经济发展水平的影响。

## 5.2 土地利用结构对人群聚散稳定性影响

表2给出了土地利用结构对人群聚散稳定性的影响。从表2可看出:①交通小区内各土地利用类型的比例和区位熵对人群聚散稳定性没有显著影响;②交通小区内土地利用信息熵对人群聚散稳定性具有显著负向影响,具体表现为当交通小区内土地利用的混合度每提高一个单位,则该小区内人群聚散的稳定性减少53.9%;③交通小区内土地利用类型均衡度对人群聚散稳定性具有显著的正向影响,具体表现为当交通小区内土地利用的均衡性每增加一个单位,则该小区内人群聚散的稳定性提高43.7%。由上述结果可知,一个区域内人群动态的稳定性与该区域不同土地利用类型的比例之间没

表2 土地利用结构的回归结果

Tab. 2 The regression results of land use

自变量	因变量:聚散稳定性		
	系数( $\beta$ )	标准差( $sd$ )	$t$ 值
常数项	-0.0001	0.005	-0.004
土地利用比例			
商业( $land\_p^c$ )	-7.100	5.540	-1.280
工业( $land\_p^i$ )	9.020	0.211	0.427
居住( $land\_p^r$ )	22.900	0.183	1.250
公共( $land\_p^p$ )	-1.200	0.108	-0.110
交通( $land\_p^t$ )	-1.140	0.107	-0.107
其他( $land\_p^o$ )	-4.690	0.259	-0.181
土地利用区位熵			
商业( $Q^c$ )	0.926	0.109	0.085
工业( $Q^i$ )	-33.700	0.436	-0.773
居住( $Q^r$ )	-44.500	0.394	-1.130
公共( $Q^p$ )	-11.300	0.229	-0.494
交通( $Q^t$ )	-11.800	0.226	-0.522
其他( $Q^o$ )	-25.600	0.432	-0.594
信息熵和均衡度			
信息熵( $H$ )	-0.539***	0.085	-6.360
均衡度( $J$ )	0.437***	0.088	4.990
$R^2$		0.241	
调整 $R^2$		0.229	
$F$ 检验		20.809***	

注:\*\*\* $p<0.01$ 

有明显的线性相关性。区域内不同土地利用类型的区位熵的变化对人群动态稳定性没有影响,即无论何种土地利用类型,它的区位优势增加或减少,人群移动稳定性没有明显变化。对于土地利用的混合度,一个区域内土地利用的混合度越高,则人群聚散越不稳定,这说明土地利用的混合度可以提高一个区域内人群移动的活力<sup>[18,27]</sup>。但当该区域内这些不同土地利用类型之间的均衡程度越高时,该区域内人群移动的动态稳定性越高。

## 5.3 路网中心性对人群聚散稳定性影响

### (1) 路网接近中心性

表3给出了路网的接近中心性对人群聚散稳定性的回归结果。由表3以看出,路网的全局接近中心性对人群聚散稳定性没有显著影响。路网的一些局部接近中心性对人群移动稳定性具有显著影:①路网5 km和15 km范围内的局部接近中心性对人群动态稳定性具有显著( $p<0.01$ 和 $p<0.1$ )正向影响,其中当一个区域5 km范围内路网的接近中心性

表3 路网接近中心性的回归结果

Tab. 3 The regression results of closeness centrality

自变量	因变量:聚散稳定性		
	系数( $\beta$ )	标准差( $sd$ )	$t$ 值
常数项	0.000	0.030	0.000
$C^C$	0.029	0.097	0.300
$C_{L5}^C$	1.136***	0.183	6.217
$C_{L10}^C$	-1.024**	0.424	-2.416
$C_{L15}^C$	1.887*	1.032	1.829
$C_{L20}^C$	-3.388***	1.025	-3.304
$C_{L25}^C$	0.883	0.809	1.092
$C_{L30}^C$	0.342	0.225	1.518
$R^2$		0.156	
调整 $R^2$		0.150	
$F$ 检验		24.488***	

注: \* $p<0.1$ ; \*\* $p<0.05$ ; \*\*\* $p<0.01$

每提高一个单位,该区域人群聚散稳定性提高113.6%;当一个区域15 km范围内路网的接近中心性每提高一个单位,该区域人群聚散稳定性可能增加188.7%;②路网10 km和20 km范围内的接近中心性对人群聚散稳定性具有显著( $p<0.05$ 和 $p<0.01$ )负向影响,其中当一个区域10 km范围内路网的接近中心性每提高一个单位,该区域人群聚散稳定性减少102.4%;当一个区域20 km范围内路网的接近中心性每提高一个单位,该区域人群聚散稳定性可能减少338.8%;③路网25 km和30 km范围内接近中心性对人群动态稳定性没有显著影响。从上面结果可知,一个区域内路网在局部的可接近程度对人群聚散稳定具有显著影响,并且随距离的不同发生变化,超过25 km范围,局部接近中心性对人群聚散稳定性没有显著影响。

(2)路网介数中心性

表4给出了路网介数中心性对人群聚散稳定性的影响。从表4可看出:①路网的全局介数中心性对人群聚散稳定性有显著的正向影响( $p<0.01$ ),具体为当一个区域内路网的全局介数中心性提高一个单位,则该区域内人群聚散稳定性增加30.6%;②对于路网的局部介数中心性,只有在5 km范围内,介数中心性对人群动态稳定性存在显著的负向影响,具体为当一个区域内路网局部(5 km)中心性提高一个单位,该区域人群聚散稳定性减少42.1%。全局介数中心性较高的路网主要为城市快速路,这些路段主要围绕在深圳市山林地附近,人群的活动较稀少,所以人群稳定性较高。局部5 km

表4 路网介数中心性的回归结果

Tab. 4 The regression results of betweenness centrality

自变量	因变量:聚散稳定性		
	系数( $\beta$ )	标准差( $sd$ )	$t$ 值
常数项	0.000	0.031	0.000
$C^B$	0.306***	0.073	4.216
$C_{L20}^C$	-0.421***	0.074	-5.676
$C_{L20}^C$	0.227	0.168	1.354
$C_{L15}^B$	0.077	0.293	0.262
$C_{L20}^B$	0.307	0.457	0.672
$C_{L25}^B$	-0.981	0.567	1.731
$C_{L30}^B$	-0.221	0.335	-0.660
$R^2$		0.118	
调整 $R^2$		0.111	
$F$ 检验		17.685***	

注: \*\*\* $p<0.01$

范围内介数中心性较高的区域位于城市中心的核心商业区以及每个行政区的商业中心,这些区域的人群流动非常不稳定。

(3)路网直达中心性

表5给出了路网介数中心性对人群聚散稳定性的影响。从5表可看出:①路网的全局直达中心性对人群聚散稳定性具有显著( $p<0.01$ )正向影响,但影响程度较小,具体为当一个区域内路网全局直达中心性提高一个单位,该区域内人群聚散稳定性仅仅提高9.3%;②对于局部直达中心性,在5 km和30 km范围处对人群聚散稳定性具有显著( $p<0.01$ )负向影响,即当局部直达中心性提高一个单位,人群动态稳定性则分别减少28.9%和33.5%。从上述分

表5 路网直达中心性回归结果

Tab. 5 The regression results of straightness centrality

自变量	因变量:聚散稳定性		
	系数( $\beta$ )	标准差( $sd$ )	$t$ 值
常数项	0.000	0.029	0.000
$C^S$	0.093***	0.031	2.997
$C_{L5}^S$	-0.289***	0.056	-5.190
$C_{L10}^S$	0.058	0.089	0.648
$C_{L15}^S$	0.009	0.138	0.065
$C_{L20}^S$	-0.374	0.198	-1.893
$C_{L25}^S$	0.339	0.218	1.556
$C_{L30}^S$	-0.335***	0.141	-2.380
$R^2$		0.223	
调整 $R^2$		0.217	
$F$ 检验		37.821***	

注: \*\*\* $p<0.01$



析可以看出,路网直达中心性在局部5 km和30 km的范围内对人群移动稳定性产生影响。5km直达中心性较高的区域主要覆盖市中心商业区、写字楼办公区和城市的工业区,这些区域是人群白天较活跃的区域,人群聚散的稳定性较低。

## 6 结论

本文分别从社会经济属性、土地利用模式和路网拓扑中心性3个方面来构建描述城市空间结构特征的指标变量,采用多元线性回归模型定量分析了城市空间结构要素对人群聚散稳定性的影响因素。在城市空间结构要素中,土地利用的混合模式对人群活动具有显著的影响,土地利用混合度越高,人群聚散稳定性就越低;而土地利用的均衡性越高,人群聚散的稳定性越高。人口和人口密度对人群聚散稳定性具有负向影响,并且人口数量的影响程度较大。在城市路网中心性方面,不同距离范围的路网局部中心性对人群聚散稳定性的影响会存在较大差异。人群聚散稳定性与城市路网局部的结构特性存在较大关联,与城市路网整体中心特性的关联较弱,这可能是因为城市中大多数的人群更倾向于在局部范围内活动,而很少在整个城市空间范围内移动。这些结论帮助加深对城市群体移动行为与空间结构之间关系的理解,对城市的管理和规划具有重要指导意义。根据某区域已规划好的土地利用结构可初步提前预测该区域人群聚散的稳定特性,提前判断该区域的交通需求稳定性,从而建立必要的交通基础设施。

### 参考文献(References):

- [1] 柴彦威,张艳,刘志林.职住分离的空间差异性及其影响因素研究[J].地理学报,2011,66(2):157-166. [Chai Y W, Zhang Y, Liu Z L. Spatial differences of home-work separation and the impacts of housing policy and urban sprawl: Evidence from household survey data in Beijing [J]. Acta Geographica Sinica, 2011,66(2):157-166. ]
- [2] 翟瀚,陈洁,陆锋,等.群体互动时空可达性评价模型[J].地球信息科学学报,2014,16(6):859-866. [Zhai H, Chen J, Lu F, et al. An assesement model for interactive group space-time accessibility[J]. Journal of Geo- information Science, 2014,16(6):859-866. ]
- [3] Lee M, Holme P. Relating land use and human intra-city mobility[J]. PloS One, 2015,10(10):e0140152.
- [4] 刘瑜,肖昱,高松,等.基于位置感知设备的人类移动研究综述[J].地理与地理信息科学,2011,27(4):8-13. [Liu Y, Xiao Y, Gao S, et al. A review of Hhuman mobility research based on location aware devices[J]. Geography and Geo-Information Science, 2011,27(4):8-13. ]
- [5] 陆锋,刘康,陈洁.大数据时代的人类移动性研究[J].地球信息科学学报 2014,16(5):665-672. [Lu F, Liu K, Chen J. Research on human mobility in big data era[J]. Journal of Geo-information Science, 2014,16(5):665-672. ]
- [6] 牟乃夏,张恒才,陈洁,等.轨迹数据挖掘城市应用研究综述[J].地球信息科学学报,2015,17(10):1136-1142. [Mou N X, Zhang H C, Chen J, et al. A review on the application research of trajectory data mining in urban cities[J]. Journal of Geo- information Science, 2015,17(10):1136-1142. ]
- [7] Pei T, Sobolevsky S, Ratti C, et al. A new insight into land use classification based on aggregated mobile phone data[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014,28(9):1988-2007.
- [8] 韩昊英,于翔,龙瀛.基于北京公交刷卡数据和兴趣点的功能区识别[J].城市规划,2016,40(6):52-60. [Han H Y, Yu X, Long Y. Identifying urban functional zones using bus smart card data and points of interest in Beijing[J]. City Planning Review, 2016,40(6):52-60. ]
- [9] 钮心毅,丁亮,宋小冬.基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构[J].城市规划学刊,2014,219(6):61-67. [Niu X Y, Ding L, Song X D. Understanding urban spatial structure of Shanghai central city based on mobile phone data[J]. Urban Planning Forum, 2014,219(6):61-67. ]
- [10] Liu X, Gong L, Gong Y, et al. Revealing travel patterns and city structure with taxi trip data[J]. Journal of Transport Geography, 2015,43:78-90.
- [11] 许宁,尹凌,胡金星.从大规模短期规则采样的手机定位数据中识别居民职住地[J].武汉大学学报·信息科学版, 2014,39(6):750-756. [Xu N, Yin L, Hu J X. Identifying home-work locations from short-term, large-scale and regularly sampled mobile phone tracking data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014,39(6):750-756. ]
- [12] Long Y, Thill J C. Combining smart card data and household travel survey to analyze jobs-housing relationships in Beijing[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2015,53:19-35.
- [13] 杨喜平,方志祥,赵志远,等.城市人群聚集消散时空模式探索分析——以深圳市为例[J].地球信息科学学报,2016,18(4):486-492. [Yang X P, Fang Z X, Zhao Z Y, et al. Exploring urban human spatio-temporal convergence-dispersion patterns: A case study of Shenzhen city[J]. Journal of

- Geo-information Science, 2016,18(4):486-492. ]
- [14] Yang X P, Fang Z, Xu Y, et al. Understanding spatiotemporal patterns of human convergence and divergence using mobile phone location data[J]. ISPRS International Journal of Geo-information, 2016,5(10):177.
- [15] Fang Z, Yang X, Xu Y, et al. Spatiotemporal model for assessing the stability of urban human convergence and divergence patterns[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017,31(11):2119-2141.
- [16] 顾朝林,甄峰,张京祥.集聚与扩散——城市空间结构新论[M].南京:东南大学出版社,2000. [ Gu C L, Zhen F, Zhang J X. Agglomeration and diffusion: A new theory of urban spatial structure[M]. Nanjing: Southeast university press, 2000. ]
- [17] Lenormand M, Louail T, Cantú-Ros O G, et al. Influence of sociodemographics on human mobility[J]. Scientific Reports, 2015,5:doi:10.1038/srep10075.
- [18] Yue Y, Zhuang Y, Yeh A G O, et al. Measurements of POI-based mixed use and their relationships with neighbourhood vibrancy[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017,31(4):658-675.
- [19] 陈洁,陆锋,翟瀚,等.面向活动地点推荐的个人时空可达性方法[J].地理学报,2015,70(6):931-940. [ Chen J, Lu F, Zhai H, et al. Making place recommendations: An individual accessibility measure to urban opportunities in space and time[J]. Acta Geographica Sinica, 2015,70(6):931-940. ]
- [20] 徐萍.城市产业结构与土地利用结构优化研究——以南京为例[D].南京:南京农业大学,2004. [ Xu P. Study on industrial structure and land-use structure optimization: A case study of Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2004. ]
- [21] 赵小汎.区位熵模型在土地利用变化分析中的新运用[J].经济地理,2013,32(2):162-167. [ Zhao X F. New application of location entropy model in analyzing land use change[J]. Economic Geography, 2013,32(2):162-167. ]
- [22] 李清泉,曾喆,杨必胜,等.城市道路网络的中介中心性分析[J].武汉大学学报·信息科学版,2010,35(1):37-41. [ Li Q Q, Zeng Z, Yang B S, et al, 2010, Betweenness centrality analysis for urban road networks[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010,35(1):37-41. ]
- [23] Porta S, Crucitti P, Latora V. The network analysis of urban streets: A dual approach[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2006,369(2):853-866.
- [24] Rui Y, Ban Y. Exploring the relationship between street centrality and land use in Stockholm[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014,28(7): 1425-1438.
- [25] Zhao P. The impact of the built environment on individual workers' commuting behavior in Beijing[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2013,7(5):389-415.
- [26] 党云晓,董冠鹏,余建辉,等.北京土地利用混合度对居民职住分离的影响[J].地理学报,2015,70(6):919-930. [ Dang Y X, Dong G P, Yu J H, et al. Impact of land-use mixed degree on resident's home-work separation in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2015,70(6):919-930. ]
- [27] Koster H R A, Rouwendal J. The impact of mixed land use on residential property values[J]. Journal of Regional Science, 2012,52(5):733-761.