

文章编号: 1009-6000(2021)08-0002-08
中图分类号: F291 文献标识码: B
doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2021.08.001

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB2100702)。

作者简介: 关文川, 广州大学地理科学与遥感学院, 硕士研究生;
吴志峰, 通信作者, 广州大学地理科学与遥感学院, 教授、博士生导师;
吴卓, 广州大学地理科学与遥感学院, 讲师;
曹峥, 广州大学地理科学与遥感学院, 讲师;
刘星南, 广州大学地理科学与遥感学院, 硕士研究生。

基于微信宜出行数据的城市人口活动时空探测及其影响因素分析

Study on Spatial-Temporal Detection and Influencing Factors of Urban Population Activity Based on Easygo Data

关文川 吴志峰 吴卓 曹峥 刘星南

GUAN Wenchuan WU Zhifeng WU Zhuo CAO Zheng LIU Xingnan

摘要:

探究城市人口活动变化有利于感知城市空间的使用状况, 对城市规划和社会治理有着重要意义。文章基于微信宜出行热力图数据, 对广州市天河区城市人口活动进行时空变化分析, 并使用地理探测器工具对影响城市人口活动的因素进行探究, 结果表明: (1) 天河区城市人口活动呈现“南强北弱”的特征, 城市人口活动主要集中分布在地铁沿线地区; (2) 工作日时间天河区城市人口活动呈现显著的职住通行规律, 休息日时间城市人口活动变化规律较为复杂; (3) 城市服务功能是影响城市人口活动最核心的因素, 其中餐饮类服务功能的影响力最高; (4) 城市服务功能影响着城市人口活动的分布格局, 交通服务则引导着人口活动的发展方向, 两者交互作用下能够促进城市人口活动聚集。

关键词:

城市人口活动; 地理探测器; 时空分析; 功能混合度; 道路整合度

Abstract: Exploring the variation of urban population activity is beneficial to the perception of the use of urban space, which is meaningful for urban planning and social governance. This paper studies urban population activity in Tianhe district of Guangzhou city in time and space aspect, exploring the influencing factors of urban population activity based on Easygo data and geodector. The result shows that: (1) The urban population activity in Tianhe district is strong in the south and weak in the north, and urban population activities are mainly concentrated in the areas along the subway; (2) In workday, the variation of urban population activity in Tianhe district presents a significant law of occupation and residence passage. However, the variation law of urban population activities during rest days is relatively complex; (3) Urban service function is the core factor that affects the variation of urban population activity, and catering service function has the highest influence; (4) Urban services functions affect the distribution pattern of urban population activity, while transportation services guide the development direction of population activity. The interaction between the two can promote urban population activity aggregation.

Key words: urban population activity; geodector; spatial-temporal analysis; functional mixing; road conformity

0 引言

城市是由多要素组成的综合体, 作为人类活动的场所, 其既有实体物质空间的外在表征, 也有社会文化空间的内在规律^[1-2]。随着社会的发展进步, 人类活动变得快速化、多样化,

巨大的影响, 城市空间正在不断地重构。过去城市为了满足经济发展的需求, 常通过空间扩张的方式新增大量城市建设用地, 为城市发展提供大量资源条件。而如今, 国土资源的约束性日渐显现, 城市发展需回归人类本

1.2 研究数据

微信宜出行是腾讯公司旗下的一个位置服务产品，其目的在于帮助用户实时查看某地区的人流状况以及拥挤度，原始数据为点阵数据，数据点间距离为 25m，数据属性包含时间、经度、纬度和人口活动强度 4 部分，更新频率为 1h。本文运用抓包工具，获取广州市天河区在 2019 年 8 月 12 日到 2019 年 8 月 18 日共一周的微信宜出行热力图数据，数据时间间隔为 1h，在对数据进行坐标纠正和核密度分析后，形成 168 张城市热力图，根据前人已有研究^[20-22]，本文将颜色级别为 6 级和 7 级的地区定义为城市人口活动高热区，颜色级别为 4 级和 5 级的地区定义为城市人口活动中热区（图 2）。

本研究中 POI 数据是通过高德地图网站（<https://lbs.amap.com/>）所提供的位置搜索 API 接口爬取获得，原始数据共有餐饮、购物等 13 类兴趣点数据，根据分析需要把兴趣点数据进行合并，最后把数据归类为餐饮类 POI 数据、娱乐类 POI 数据、服务类 POI 数据、住宅小区类 POI 数据和公司企业类 POI 数据；土地利用数据是通过地理空间数据云网站（<http://www.gscloud.cn/>）所提供的 Landsat8 遥感图像数据，通过人工目视解译方法并进行精度验证后，得到包括耕地、园地、林地、草地、城镇用地、交通用地、公共服务设施用地、水域和其他用地共 9 种类型的土地利用数据。

1.3 研究方法

在对比后发现城市工作日时间和周末时间内热力图变化规律整体相似，因此在本研究中选取 2019 年 8 月 14 日（周三）作为工作日时间城市人口活动变化的研究样本，将 2019 年 8 月 17 日（周六）作为休息日时间城市人口活动变化的研究样本。

本文研究思路如下（图 3）：（1）将所有时间段的城市人口热力图进行栅格平均化，对城市人口活动的总体特征进行分析；（2）参照前人研究^[20]，将 0:00 到 7:00 定义为休息时段，7:00 到 17:00 定义为工作时段，17:00 到

0:00 定义为晚间时段，分别对工作日和休息日时间城市人口热力图进行时空变化分析，结合不同时段的城市人口活动热力面积统计图，探索城市人口活动在工作日与休息日时间的变化规律；（3）按照时段定义对热力图进行平均处理，得到 6 幅经过时段平均化的热力图，最后将同一时段的工作日热力图与休息日热力图进行栅格相减，得到休息时段、工作时段和晚间时段的人口活动热力差异图，分析工作日与休息日时间城市人口活动的空间变化差异；（4）使用地理探测器工具，根据所选定的探测因子，从分异及因子探测和交互作用探测两方面对影响城市人口活动的因素进行分析。

1.3.1 地理探测器

地理探测器是探究空间分异性的工具^[31]，其在自然和社会科学方面运用较多^[32-34]，对空间分异性具有良好的解释能力。本文使用了地理探测器中的分异及因子探测模块和交互作用模块对城市人口活动时空变化结果进行分析，分异及因子探测模块是用于检验自变量有多大程度能够解释因变量空间分异的能力，其能力大小以 q 值衡量，计算式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (1)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, \quad SST = N \sigma^2 \quad (2)$$

式中的 L 为自变量或因变量的分层，即分类和分区； N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数； Q^2_h 和 σ^2 分别是层 h 和全区的因变量方差。SSW 和 SST 分别为层内方差之和及全区总方差。q 值的值域为 [0,1]，q 值越大说明自变量对因变量空间分异的解释能力越强。

交互作用探测用于识别不同探测因子之间的交互作用，探究在两种因子的相互作用下是否可以增强或削弱对因变量的解释力。计算过程为首先分别计算两种探测因子的 q 值，随后计算两种探测因子交互下的 q 值，并进行前后对比，最后产生的交互作用可分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立和非线性增强。

本文从交通服务、服务功能和土地利用三方面选取探测指标（表 1）。在交通服务方面选取了道路密度、道路全局整合度、道路局部整合度和公共交通站点密度 4 类因子，道路密度可反映道路设施分布的均衡度，公共交通站点密度则反映公共交通设施分布的均衡度。道路全局整合度可反映节点与空间所有节点的集聚离散程度，道路局部整合度反映节点与附近几步范围内节点的集聚离散程度。在服务功能方面选取了餐饮类 POI 密度、服务类 POI 密度、娱乐类 POI 密度、公司企业类 POI 密度和住宅小区类 POI

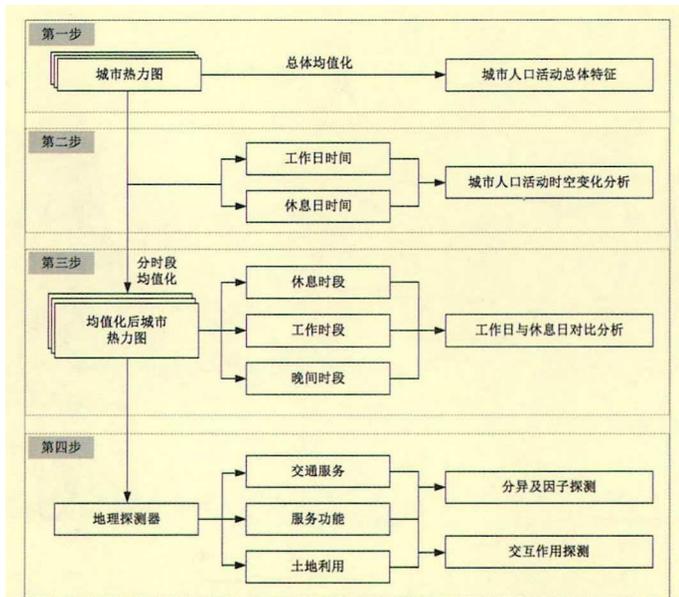


图3 研究技术路线图

密度。在土地利用方面,选取功能混合度、功能密度、建筑物高度和土地利用类型作为探测因子,其中功能混合度和功能密度反映土地利用混合度,建筑物高度反映土地利用强度。在探测因子计算中,密度测算均使用 Arcmap 软件中的核密度分析方法,道路整合度通过空间句法软件 Axwoman 计算得出^[35],功能混合度则通过信息熵计算得出^[23],最后全部计算结果在 Arcmap 软件中通过格网化的方法以 100m*100m 的网格进行统计。

1.3.2 空间句法

空间句法是把人口与空间的关系用具体定量指标表示,其中整合度是城市研究中最常用且最有效的句法指标^[35-36],整合度分为全局整合度与局部整合度,全局整合度是计算一个单元空间与其他所有空间的聚集离散程度,而局部整合度是计算一个单元空间与三步连接步数距离内的单元空间的聚集离散程度。整合度能够反映空间单元的可达性水平,整合度水平数值越高说明其空间可达性水平越高。全局整合度 I_i 和局部整合度 LI_i 计算公式如下:

$$MD_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}}{n-1} \quad (3)$$

$$RA_i = \frac{2(MD_i-1)}{n-2} \quad RRA_i = \frac{RA_i}{D_n} \quad (4)$$

$$D_n = \frac{2\{n \left[\log_2 \left(\frac{(n+2)}{3} - 1 \right) \right] + 1\}}{(n-1)(n-2)} \quad (5)$$

$$I_i = \frac{1}{RA_i} \quad (6)$$

$$LI_i = \frac{1}{RRA_i} \quad (7)$$

式中, MD_i 代表单元空间 i 到其他所有单元空间的评价最少连接步数, d_{ij} 表示 i 到 j 的深度值, n 是城市空间的总节点数, I_i 为全局整合度, LI_i 为局部整合度,为了消除冗余节点对整合度的影响,因此以 RA_i 相对不对称值和 RRA_i 实际相对不对称值来标准化评价深度值。

2 结果分析

2.1 城市人口活动总体特征

城市人口活动总体特征代表着一

周中城市人口活动的平均状态,可以直观地看出城市空间场所对城市人口的吸引力。从图中可见(图4),天河区城市人口活动主要集中于天河区南部,高人口活动热度的地点以石牌村等广州市典型城中村为主,同时在重要的交通枢纽站如天河客运站,以及在城市大型商业办公区如天河中央商务区中都有着较高的人口活动热度。总体上城市人口活动围绕在地铁轨道线路附近,城市人口活动热度随着与地铁线路的距离增大而减小。由此可推测,天河区城市人口活动空间较为多样,因职住往返需要城市人口在天河区的主要商业办公地和交通站点会出现一定规模的人口聚集情况,同时城市居民出行活动对公共交通工具的依赖度高,在地铁轨道线路周边地区容易形成人口活动聚集。在城市人口活动高热度点中,城中村是天

河区人口活动较为频繁的地点之一,其吸引人口活动聚集的原因主要有三方面:(1)城中村能够提供居住服务,在天河区此类生活消费水平较高的地区中,人们在居住上需要花费大量经济成本,而城中村因其土地的复杂性常以较低价格出租房屋,因此吸引大量城市人口在此居住;(2)城中村交通条件良好,天河区多个城中村在地理位置上临近地铁交通站点,人们交通出行都十分方便;(3)地铁站点因其交通条件优越容易形成商业办公集中地,而地理位置和交通条件的特殊性使得城中村与商业办公地十分邻近,因此城市人口活动常在此聚集。

2.2 工作日时间城市人口活动时空变化分析

城市人口活动具有时间和空间两重属性,探究人口活动的时空规律需从多个维度进行分析,从工作日

表1 城市人口活动探测因子

探测因子类别	探测因子符号	探测因子名称	均值	标准差
交通服务类因子	RD ₁	道路密度	17.87	11.34
	RD ₂	道路全局整合度	205.16	191.10
	RD ₃	道路局部整合度	423.76	429.98
	RD ₄	公共交通站点密度	105.41	116.08
服务功能类因子	FC ₁	餐饮类POI密度	442.43	701.27
	FC ₂	服务类POI密度	600.44	854.18
	FC ₃	娱乐类POI密度	653.31	1045.55
	FC ₄	公司企业类POI密度	19.22	25.20
	FC ₅	住宅小区类POI密度	27.00	40.19
土地利用类因子	LU ₁	功能混合度	0.18	0.25
	LU ₂	功能密度	1924.00	2935.78
	LU ₃	建筑物高度	8.90	14.22
	LU ₄	土地利用类型	—	—

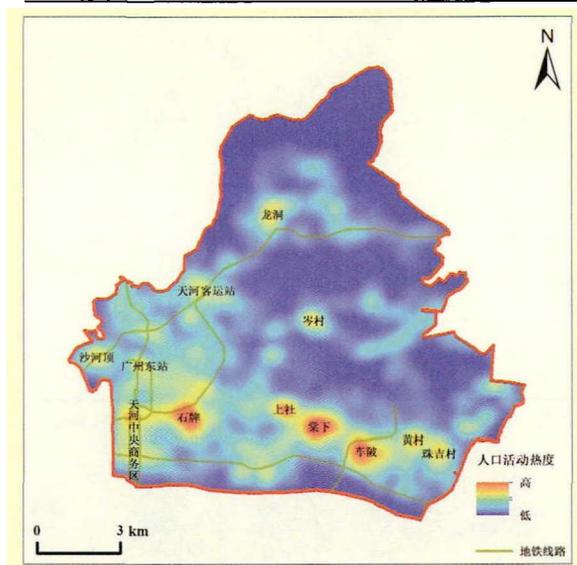


图4 天河区总体人口活动特征

城市人口活动热力面积统计图中可见(图5):

(1)从曲线变化上看,城市人口活动中热区面积显著大于人口活动高热区面积,整体上两者面积曲线都呈现先增加后减少的变化趋势,但城市人口活动中热区面积变化幅度较高且变化速率更快。在峰值和谷值上,城市人口活动高热区面积在9:00出现峰值,城市人口活动中热区面积在21:00达到峰值,两条曲线在3:00同时出现谷值。在各时段上,城市人口高热区面积在工作时段变化最大,在晚间时段变化较平缓,在夜间时段基本无明显变化。城市人口中热区面积在工作时段和休息时段都出现较大变化,而在晚间时段变化较平缓。出现此变化的原因可能是在早高峰时间城市人口大量聚集在商务办公地,在晚间时段城市人口活动较为分散且活动热度没有迅速下降,而到了休息时段仅剩少量居民在休息地附近活动。

(2)从空间变化上看,休息时段内由于城市居民处于休息状态,城市人口活动基本无变化,高活动热力点集中在天河区的城中村和居住小区内。工作时段内城市人口需要进行职住通行,人口活动热力点从聚集在城中村和居住小区快速转变为集中在天河中央商务区中,同时在空间上出现两条明显沿地铁轨道分布的人口活动热力带。晚间时段城市居民开始下班,天河中央商务区人口活动热力度开始缓

慢下降,但在地铁轨道沿线地区仍有较高的活动热度,随着时间推移高人口活动热度点变为分散在各个居住小区和城中村中。

2.3 休息日时间城市人口活动时空变化分析

从休息日城市人口活动热力面积统计图中可见(图6):

(1)从曲线变化上,城市人口活动中热区面积依旧显著大于人口活动高热区面积,整体上城市人口活动高热区面积曲线变化不明显,中热区面积则呈现随时间上下波动的趋势。在峰值和谷值上,城市人口活动高热区面积在17:00出现峰值,在6:00出现谷值,城市人口活动中热区面积在19:00出现峰值,在4:00出现谷值。在各时段上,城市人口高热区面积在工作时段和晚间时段有一定波动,城市人口中热区面积在工作时段和晚间时段都出现较大变化,在休息时段则变化较平缓。出现此变化的原因可能是休息日时间城市居民不用担心上班出行的问题,人们一般选择在晚间时段出门活动,活动空间较为分散。

(2)从空间变化上,休息时段内变化规律与工作日晚间一致,工作时段高城市人口活动热度点由只集中在居住区,逐渐变为分散在商业区和城中村,空间上呈现与工作日晚间不一样的单条人口活动热力带,其热力带方向与地铁轨道三号线一致。晚间时段人口活动热力点总体变化不大,随

着时间变化在天河商业区的人口活动热度有所减小。

2.4 工作日与休息日时间城市人口活动对比分析

探究工作日与休息日时间城市人口活动空间差异,需对两者各时间段内热力图进行对比分析,从图中可见(图7):

(1)休息时段城市人口活动热度在工作日与休息日期间差异明显,整体上城市人口在休息日休息时段活动热度更高。工作日休息时段城市人口活动热度较高的地点主要集中在居住小区和规模形态较大的城中村,而休息日休息时段城市人口活动热力度较高的地点空间分布较为分散,并没有形成较大范围的集中区域。

(2)工作时段城市人口活动在工作日与休息日期间差异较小,总体上工作日工作时段城市人口活动热度更高。工作日工作时段高城市人口活动热度的地点主要集中在天河中央商务区天河科技园,同时在体育中心周边地区与地铁三号线一带也有着较高的人口活动热度,休息日工作时段高城市人口活动热度的地点集中在居住小区和城中村。

(3)晚间时段城市人口活动热力分布在工作日与休息日期间差异不大,城市人口活动热度在休息日晚间时段更高。工作日晚间时段城市人口活动热度较高的地点集中在天河中央商务区等商务办公地外,城市居民在居住

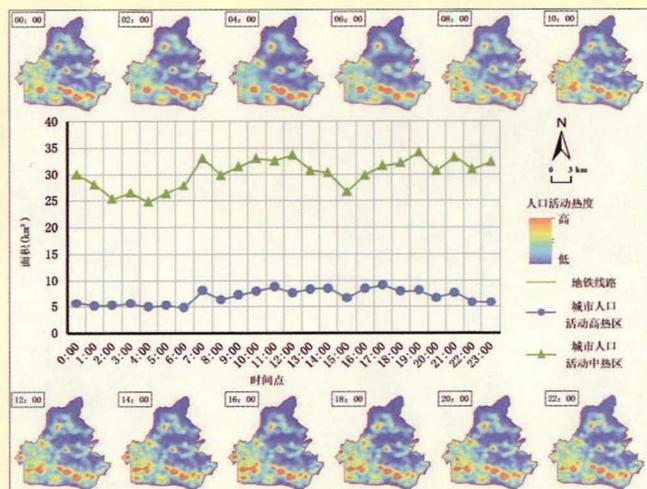
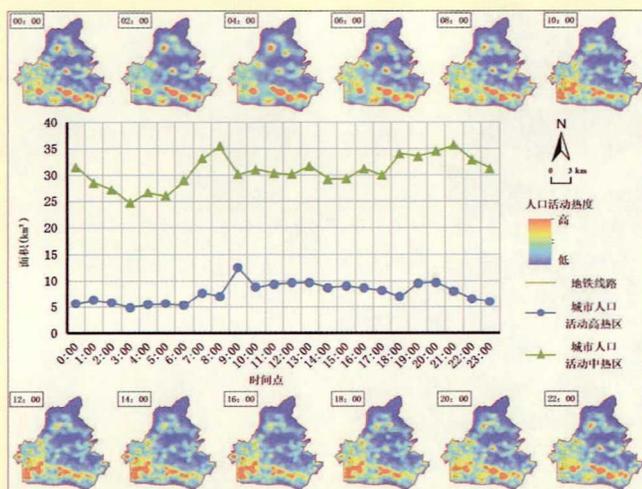


图5 工作日城市人口活动热力面积统计图

图6 休息日城市人口活动热力面积统计图

小区、体育场馆和小型公园广场也有一定水平的活动热度。休息日晚间时段城市人口活动热度较高的地点集中在天河城等大型商业购物中心外，在大型公园广场和重要交通枢纽中也有着较高水平的活动热度，同时城市人口在城中村也有着一定的活动热度。

2.5 分异及因子探测分析

城市人口活动的时空变化规律是人口活动的外在表征，要掌握城市人口活动的内在规律需要空间统计模型方法。从表 2、表 3 中分析可得：

(1) 服务功能类因子对城市人口活动的影响力最大。在工作日时间服务功能类因子日平均 q 值为 0.5814，休息日时间日平均 q 值为 0.5835，可见在工作日或休息日时间城市居民对各城市服务功能的需求并无太大变化。从单因子的角度看，餐饮类 POI 密度、服务类 POI 密度、娱乐类 POI

密度、公司企业 POI 密度、住宅小区 POI 密度在工作日时间日平均 q 值为 0.6801、0.699、0.5721、0.4899、0.4662，休息日日平均 q 值为 0.7069、0.6922、0.6155、0.4384、0.4648，其中餐饮类 POI 密度和服务类 POI 密度 q 值大部分时间都在 0.7 上下浮动，娱乐类 POI 密度在休息日时间 q 值较工作日时间大大增加，公司企业 POI 密度 q 值在工作日时间比休息日时间高，而住宅小区 POI 密度 q 值在工作日时间比休息日时间低。

(2) 交通服务类因子对城市人口活动的影响次于服务功能类因子。工作日时间交通服务类因子日平均 q 值为 0.4057，休息日时间日平均 q 值为 0.3675，城市居民在工作日时间出行更为频繁。从单因子的角度看，道路密度、道路全局整合度、道路局部整合度和公共交通站点密度工作日日

平均 q 值分别为 0.3369、0.4665、0.4147 和 0.4051，休息日日平均 q 值为 0.2999、0.4183、0.3739 和 0.3783，道路全局整合度 q 值最高，其次是道路局部整合度、公共交通站点密度和道路密度，各因子最高 q 值都集中在工作日工作时段，最低值在工作日休息时段。

(3) 土地利用类因子对城市人口活动的影响力最小。工作日时间土地利用类因子日平均 q 值为 0.365，休息日时间日平均 q 值为 0.3711，土地利用类因子影响力在工作日和休息日时间变化不大，影响力均处于较低的水平。从单因子的角度可见，功能混合度、功能密度、建筑物高度和土地利用类型在工作日时间日平均 q 值分别为 0.3906、0.6615、0.2186 和 0.1893，休息日日平均 q 值为 0.3890、0.6762、0.2194 和 0.2000，功能密度 q 值在工作日和休息日时间都在 0.6600 以上，与土地利用类其他因子 q 值差距较大，功能混合度 q 值处于中等水平。

2.6 交互作用探测分析

城市人口活动除了受到单因子的影响外，在双因子的交互作用下也会出现不一样的变化规律，在本研究中探测因子交互作用类型只有双因子增强，因此挑选交互作用 q 值排列前 10 的探测因子用以分析（表 4），从表中可得：

(1) 工作日时间交通服务类因子与服务功能类因子交互作用最显著。在工作时段，服务类 POI 密度是交互作用的主要因子，其中与道路密度因子的交互作用最强， q 值达到 0.8092。而在晚间时段，餐饮类 POI 密度变为主要的交互因子，与交通服务类因子能够产生 q 值在 0.7900 以上的交互作用，同时服务类 POI 密度与交通服务类因子仍然能产生显著交互影响。到了休息时段，餐饮类 POI 密度依旧是主要的交互因子，但与交通服务类因子产生的交互作用明显较晚间时段低，餐饮类 POI 密度与道路密度产生的交互作用最强，交互 q 值为 0.7471。

(2) 休息日时间交通服务类因子和服务功能类因子仍然是核心的交互

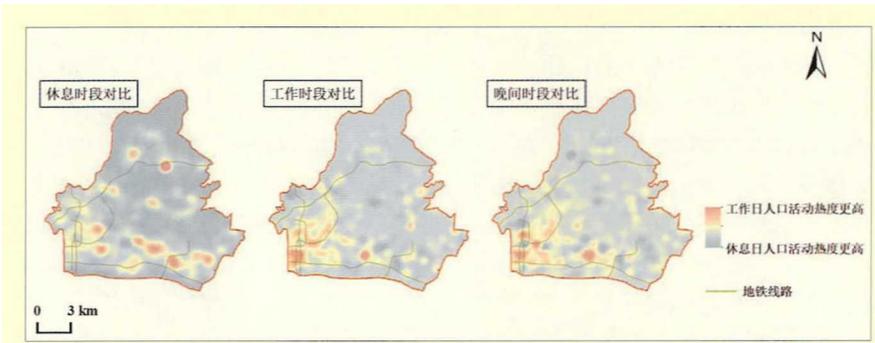


图7 休息时段、工作时段和晚间时段内工作日与休息日城市人口活动差异

表2 因子类别探测结果

因子类型	工作日			休息日		
	工作时段	晚间时段	休息时段	工作时段	晚间时段	休息时段
交通服务类因子	0.4896	0.4461	0.2815	0.3932	0.4083	0.3012
服务功能类因子	0.6249	0.6241	0.4954	0.6172	0.6162	0.5172
土地利用类因子	0.3889	0.3951	0.3110	0.3951	0.3940	0.3243

表3 单因子探测结果

探测因子	工作日						休息日					
	工作时段	排序	晚间时段	排序	休息时段	排序	工作时段	排序	晚间时段	排序	休息时段	排序
RD ₁	0.4066	11	0.3660	11	0.2383	11	0.3158	11	0.3310	11	0.2530	11
RD ₂	0.5672	5	0.5101	6	0.3222	8	0.4443	7	0.4694	6	0.3414	7
RD ₃	0.4941	8	0.4585	8	0.2915	9	0.3948	10	0.4191	8	0.3079	9
RD ₄	0.4907	9	0.4502	9	0.2744	10	0.4182	8	0.4139	10	0.3029	10
FC ₁	0.6932	3	0.7404	2	0.6070	1	0.7370	1	0.7464	1	0.6375	1
FC ₂	0.7719	1	0.7568	1	0.5684	2	0.7345	2	0.7449	2	0.5973	2
FC ₃	0.5659	6	0.6177	4	0.5328	4	0.6563	4	0.6318	4	0.5584	4
FC ₄	0.5713	4	0.5130	5	0.3857	5	0.4699	6	0.4611	7	0.3842	6
FC ₅	0.5227	7	0.4928	7	0.3832	6	0.4888	5	0.4971	5	0.4087	5
LU ₁	0.4231	10	0.4259	10	0.3228	7	0.4125	9	0.4174	9	0.3371	8
LU ₂	0.7144	2	0.7158	3	0.5544	3	0.7279	3	0.7202	3	0.5806	3
LU ₃	0.2399	12	0.2335	12	0.1826	13	0.2329	12	0.2341	12	0.1914	12
LU ₄	0.1783	13	0.2056	13	0.1842	12	0.2073	13	0.2046	13	0.1833	13

作用因子。工作时段餐饮类 POI 密度是产生交互作用的主要因子，与道路密度产生交互作用最强，交互作用 q 值为 0.8131。晚间时段交互作用因子排名并无太大变化，各因子交互作用较工作时段强，其中餐饮类 POI 密度与道路密度产生的交互作用 q 值最高，交互 q 值为 0.8250，同时道路可达性在交互作用中有着重要作用。到了休息时段因子排名仍无明显变动，各交互因子 q 值回落到 0.8000 以下，餐饮类 POI 密度与道路密度依旧产生最强的交互作用，交互 q 值为 0.7747。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文以广州市天河区城市人口活动为研究对象，利用微信宜出行人口热力图数据对城市人口活动及时空变化进行探析，并运用地理探测器分析影响城市人口活动的因素，最后得出以下结论：

(1) 微信宜出行热力图能够表征城市人口活动的动态变化，总体上广州市天河区城市人口活动呈现“南强北弱”的规律特征。通过对热力图数据进行分析后可发现，天河区城市人口活动在天河区南部有着较高的活动热度，高活动热度点除了集中在因职住往返需要的商业办公区和重要的交通枢纽站点外，在快速城市化的产物城中村中也有着较高的人口活动热度。城市人口活动主要沿着地铁轨道线路分布，在热力图上形成多条人口活动热力带，人口活动热度随着与地铁轨道线路距离增大而减小。

(2) 天河区城市人口活动在工作日与休息日时间内呈现不同的时空变化规律，工作日时间城市人口活动变化规律较为单一，休息日时间则复杂多样。在工作日时间，城市居民因为职住通行需要，在早高峰和晚高峰时间段出现大面积的人口活动热度变化，活动空间集中在居住区和商务办公区中，人口活动在两点间双向移动。而在休息日时间，城市居民不必进行上班通勤，城市人口活动热度在晚间时才出现显著提高，城市居民为了满

表4 交互作用 q 值排名前10的探测因子

排序	工作日	工作日	工作日	休息日	休息日	休息日
	工作时段	晚间时段	休息时段	工作时段	晚间时段	休息时段
1	RD ₁ ∩FC ₁ (0.8092)	FC ₁ ∩RD ₂ (0.8201)	FC ₁ ∩RD ₁ (0.7471)	FC ₁ ∩RD ₁ (0.8131)	FC ₁ ∩RD ₁ (0.8250)	FC ₁ ∩RD ₁ (0.7747)
2	FC ₂ ∩FC ₄ (0.8061)	FC ₁ ∩RD ₃ (0.8185)	FC ₁ ∩RD ₁ (0.8177)	FC ₁ ∩RD ₂ (0.8103)	FC ₁ ∩RD ₂ (0.8231)	FC ₁ ∩RD ₂ (0.7437)
3	FC ₂ ∩RD ₄ (0.8044)	FC ₁ ∩RD ₁ (0.8153)	FC ₁ ∩RD ₃ (0.7014)	FC ₁ ∩RD ₃ (0.8074)	FC ₁ ∩RD ₃ (0.8186)	FC ₁ ∩RD ₃ (0.7270)
4	RD ₂ ∩FC ₂ (0.8032)	FC ₁ ∩FC ₂ (0.8126)	RD ₁ ∩FC ₂ (0.6742)	FC ₁ ∩FC ₂ (0.8014)	FC ₁ ∩FC ₂ (0.8136)	RD ₁ ∩FC ₂ (0.7037)
5	RD ₃ ∩FC ₂ (0.8023)	RD ₁ ∩FC ₂ (0.7994)	FC ₁ ∩RD ₄ (0.6701)	RD ₁ ∩LU ₁ (0.7962)	FC ₁ ∩FC ₅ (0.7954)	RC ₁ ∩RD ₄ (0.7006)
6	FC ₁ ∩FC ₂ (0.7994)	RD ₂ ∩FC ₂ (0.7985)	FC ₁ ∩FC ₂ (0.6699)	RD ₁ ∩FC ₂ (0.7887)	RD ₁ ∩FC ₂ (0.7940)	FC ₁ ∩LU ₃ (0.6967)
7	FC ₂ ∩LU ₂ (0.7843)	RD ₃ ∩FC ₂ (0.7945)	FC ₁ ∩LU ₃ (0.6696)	RD ₃ ∩LU ₂ (0.7864)	FC ₁ ∩LU ₂ (0.7881)	FC ₁ ∩FC ₂ (0.6960)
8	FC ₂ ∩FC ₃ (0.7841)	FC ₂ ∩RD ₄ (0.7856)	RD ₁ ∩LU ₂ (0.6683)	RD ₂ ∩LU ₂ (0.7857)	RD ₂ ∩FC ₂ (0.7875)	FC ₁ ∩FC ₅ (0.6943)
9	FC ₁ ∩RD ₂ (0.7839)	FC ₁ ∩FC ₃ (0.7843)	FC ₁ ∩FC ₃ (0.6676)	RD ₁ ∩FC ₂ (0.7836)	RD ₁ ∩LU ₂ (0.7842)	RD ₁ ∩LU ₂ (0.6932)
10	FC ₂ ∩LU ₄ (0.7831)	FC ₁ ∩RD ₄ (0.7827)	RD ₂ ∩FC ₂ (0.6546)	FC ₁ ∩LU ₂ (0.7835)	FC ₁ ∩RD ₄ (0.7836)	RD ₂ ∩FC ₄ (0.6847)

足休闲娱乐的需要，活动空间从居住区向各大商业区、交通站点以及公园广场来回变化，城市人口活动在多点间多向移动。

(3) 城市人口活动在不同时间段内受到各种因素的影响，服务功能类因子是影响天河区城市人口活动的主要因素。天河区城市人口活动在多种因素影响下呈现空间分异，其中服务功能类因子影响力最大，在工作日与休息日各时间段都与城市人口活动有着较高的相关性，在服务功能类因子中餐饮服务因子与城市人口活动密切相关，城市居民在工作日与休息日时间都对餐饮服务有着高水平的需求。同时交通服务类因子和土地利用类因子与城市人口活动也有着关联，道路可达性水平和土地功能密度对人口活动产生一定影响，城市人口活动在多种要素复合作用下呈现多样化的分布格局。

(4) 各类因子间的交互作用对城市人口活动产生显著影响力，交通服务类因子与服务功能类因子产生的交互作用极大地促进了天河区城市人口活动的集聚。天河区城市人口活动格局主要受限于城市服务功能的空间分布，城市人口活动多集中于服务功能较为丰富完善的地点，交通道路的可达性则影响着城市居民的出行方式和

活动方向，两种因素共同控制和引导城市人口活动空间格局与发展方向。

3.2 讨论

过去由于信息技术的限制，关于城市问题的研究往往需要大量的人力物力，研究成本成为城市研究的首要障碍，在大数据时代，对城市进行精细化研究成为了可能，手机信令数据、微博签到数据、城市热力图数据等等都为城市研究提供了即时丰富的数据来源。在本文中利用微信宜出行热力图数据，对广州市天河区城市人口活动时空变化规律及影响因素进行了分析，发现服务功能是影响天河区城市人口活动的核心要素，在亟需进行空间优化的天河区中，未来城市规划应注重对城市用地的存量改造。针对区内存在大量城中村的问题，应对建筑质量良好的城中村进行生活环境改造，对建筑质量欠佳的城中村在经济成本可行条件下进行拆除重建，提升区内生活环境质量与服务功能水平。同时在已有建成区中，应在不改变建筑物结构下进行功能转变，促进单一服务功能的建筑物向复合功能方向发展，提高城市用地的功能混合度^[37-39]。

虽然本研究使用热力图数据有效感知了城市人口活动的时空变化规律，但仍然存在不少可深化之处。(1) 本研究中所选用的微信热力图数据并不

能完整代表城市人口流动的真实情况,仅能代表使用该位置服务的人群流动状况,未来可结合百度热力图数据、手机信令数据等完善数据来源,以展现最真实的城市人口活动状况。(2)热力图数据仅有人口活动强度属性,未来可结合问卷调查数据,对城市人口活动的年龄、性别进行探究,从更深的层次挖掘城市人口活动规律。(3)近年来城市热力图已成为城市研究者常用的数据,未来可选用更多的数据源例如噪声数据等对城市人口活动规律进行研究。

参考文献:

- [1] WU C, YE X, REN F, et al. Check-in behaviour and spatio-temporal vibrancy: an exploratory analysis in Shenzhen, China[J]. *Cities*, 2018,77:104-116.
- [2] 曹劲舟,涂伟,李清泉,等.基于大规模手机定位数据的群体活动时空特征分析[J]. *地球信息科学学报*, 2017,19(4):467-474.
- [3] 李扬,刘慧,汤青.1985—2010年中国省际人口迁移时空格局特征[J]. *地理研究*, 2015,34(6):1135-1148.
- [4] 潘倩,金晓斌,周寅康.近300年来中国人口变化及时空分布格局[J]. *地理研究*, 2013,32(7):1291-1302.
- [5] 秦贤宏,魏也华,陈雯,等.南京都市区人口空间扩张与多中心化[J]. *地理研究*, 2013,32(4):711-719.
- [6] 边雪,陈昊宇,曹广忠.基于人口、产业和用地结构关系的城镇化模式类型及演进特征:以长三角地区为例[J]. *地理研究*, 2013,32(12):2281-2291.
- [7] 罗阳欢,祝善友,张桂欣,等.南京市秦淮区昼夜人口空间分布估算与分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2018,27(5):1020-1030.
- [8] 汪程,黄春晓,李鹏飞,等.城市中心区人群空间利用的时空特征及动因研究:以南京市新街口地区为例[J]. *现代城市研究*, 2016(7):59-67.
- [9] 康雨豪,王玥瑶,夏竹君,等.利用POI数据的武汉城市功能区划分与识别[J]. *测绘地理信息*, 2018,43(1):81-85.
- [10] 陈蔚珊,柳林,梁育填.基于POI数据的广州零售商业中心热点识别与业态集聚特征分析[J]. *地理研究*, 2016,35(4):703-716.
- [11] 秦萧,甄峰,朱寿佳,等.基于网络口碑的南京城区餐饮业空间分布格局研究:以大众点评网为例[J]. *地理科学*, 2014,34(7):810-817.
- [12] 谢栋灿,王德,钟炜菁,等.上海市建成环境的评价与分析:基于手机信令数据的探索[J]. *城市规划*, 2018,42(10):97-108.
- [13] 丁亮,钮心毅,宋小冬.利用手机数据识别上海中心城的通勤区[J]. *城市规划*, 2015(9):100-106.
- [14] 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(6):61-67.
- [15] 龙瀛,张宇,崔承印.利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行[J]. *地理学报*, 2012,67(10):1339-1352.
- [16] 丁家骏.基于共享单车数量和流动性的城市空间活力研究[J]. *上海城市规划*, 2018(5):93-99.
- [17] 高楹,宋辞,舒华,等.北京市摩拜共享单车车源汇时空特征分析及空间调度[J]. *地球信息科学学报*, 2018,20(8):1123-1138.
- [18] YU C, HE Z. Analysing the spatial-temporal characteristics of bus travel demand using the heat map[J]. *Journal of transport geography*, 2017,58:247-255.
- [19] 周素红,郝新华,柳林.多中心化下的城市商业中心空间吸引衰减率验证:深圳市浮动车GPS时空数据挖掘[J]. *地理学报*, 2014,69(12):1810-1820.
- [20] 刘云舒,赵鹏军,梁进社.基于位置服务数据的城市活力研究:以北京市六环内区域为例[J]. *地域研究与开发*, 2018,37(6):64-69.
- [21] 张程远,张淦,周海瑶.基于多元大数据的城市活力空间分析与影响机制研究:以杭州中心城区为例[J]. *建筑与文化*, 2017(9):183-187.
- [22] 吴志强,叶锺楠.基于百度地图热力图的城市空间结构研究:以上海中心城区为例[J]. *城市规划*, 2016,40(4):33-40.
- [23] 郝新华,龙瀛,石森,等.北京街道活力:测度、影响因素与规划设计启示[J]. *上海市城市规划*, 2016(3):37-45.
- [24] 潘碧麟,王江浩,葛咏,等.基于微博签到数据的成渝城市群空间结构及其城际人口流动研究[J]. *地球信息科学学报*, 2019,21(1):68-76.
- [25] 宁鹏飞,万幼,沈怡然,等.基于签到数据的城市热点功能区识别研究[J]. *测绘地理信息*, 2018,43(2):110-114.
- [26] 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.
- [27] 胡庆武,王明,李清泉.利用位置签到数据探索城市热点与商圈[J]. *测绘学报*, 2014,43(3):314-321.
- [28] 钟炜菁,王德,谢栋灿,等.上海市人口分布与空间活动的动态特征研究:基于手机信令数据的探索[J]. *地理研究*, 2017,36(5):972-984.
- [29] 王德,朱查松,谢栋灿.上海市居民就业地迁移研究:基于手机信令数据的分析[J]. *中国人口科学*, 2016(1):80-89.
- [30] 陈丽娜,吴升,陈洁,等.基于手机定位数据的城市人口分布近实时预测[J]. *地球信息科学学报*, 2018,20(4):523-531.
- [31] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J]. *地理学报*, 2017,72(1):116-134.
- [32] LIAO Y, WANG J, DU W, et al. Using spatial analysis to understand the spatial heterogeneity of disability employment in China[J]. *Transactions in GIS*, 2017,21(4):647-660.
- [33] 陶海燕,潘中哲,潘茂林,等.广州大都市登革热时空传播混合模式[J]. *地理学报*, 2016,71(9):1653-1662.
- [34] 丁悦,蔡建明,任周鹏,等.基于地理探测器的国家级经济技术开发区经济增长率空间分异及影响因素[J]. *地理科学进展*, 2014,33(5):657-666.
- [35] 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.
- [36] 叶宇,庄宇.新区空间形态与活力的演化假说:基于街道可达性、建筑密度和形态以及功能混合度的整合分析[J]. *国际城市规划*, 2017,32(2):43-49.
- [37] 周婷婷,熊茵.基于存量空间优化的城市更新路径研究[J]. *规划师*, 2013,29(S2):36-40.
- [38] 邹兵.由“增量扩张”转向“存量优化”:深圳市城市总体规划转型的动因与路径[J]. *规划师*, 2013,29(5):5-10.
- [39] 邹兵.存量发展模式的实践、成效与挑战:深圳城市更新实施的评估及延伸思考[J]. *城市规划*, 2017,41(1):89-94.