

基于宜出行大数据的多中心空间结构分析

——以重庆主城区为例

段亚明¹ 刘勇² 刘秀华³ 何东³¹

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193;

2. 重庆大学管理科学与房地产学院, 重庆 400045;

3. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

【摘要】: 多中心已成为中国大多数城市的空间发展战略, 多中心结构的有效识别对于规划效果评价、规划策略制定具有重要意义。相比于百度热力与手机信令数据, 腾讯宜出行数据具有时空分辨率高、获取成本低的优点, 可精细比较城市主副中心的人口集聚能力, 为多中心结构的动态识别提供新的手段。论文以重庆主城区为例, 基于连续一周的宜出行热力数据, 利用核密度分析等方法, 识别其多中心城市结构、影响范围与组团发育情况。结果表明: 作为山地城市, 重庆在自然限制、经济驱动与规划引导下主动选择了“多中心、组团式”结构。重庆内环以内的各个城市中心人口高度集聚、用地规模相近、发育相对成熟, 并强于内环以外的副中心。研究指出, 西永、茶园副中心及外围组团的发展与人口集聚能力有待提高。

【关键词】: 城市空间结构 多中心 宜出行数据 重庆

多中心通常指由多个不同等级、规模与职能的城市中心构成、具有多向功能联系的城市空间结构(Harris et al, 1945; Kloosterman et al, 2001), 是应对交通拥堵、环境恶化等城市病所提出的城市发展策略(吴一洲等, 2016)。多中心结构兼具集聚与分散的优势, 既发挥了各城市中心的集聚功能, 又避免单个中心由于人口和经济要素过度集中引起的外部性。多中心被视为理想的的城市空间结构, 广泛应用于国内外城市的规划中(Anas et al, 1998; Timberlake, 2008; Liu et al, 2016; Cheng et al, 2018), 成为城市地理与城市规划领域的研究热点之一。

当前, 国内外研究主要集中在形态与功能多中心 2 个方面: 形态方面主要根据不同城市要素, 如人口(Huang et al, 2017)、产业(Gordon et al, 2015)、建筑(Li et al, 2018)、价格(Wen et al, 2015)、灯光(Cai et al, 2017)等的空间分布特征, 描述城市中心的形态与规模(Huang et al, 2017; Li et al, 2018); 功能方面则多基于“流空间”视角, 如交通流(De Goei et al, 2010; Yang et al, 2018)、信息流(Green, 2007)等测度城市中心的网络结构(Green, 2007)。其中, 从人口视角识别城市多中心结构的研究较多: 第一, 基于人口时空格局的形态分析。例如, 基于人口普查与经济统计数据, 分析人口密度的峰值分布, 识别城市内居住与就业中心, 并提取中心范围边界, 进而分析各中心规模体系及其演变规律(Small et al, 1994; Liu, Liu, 2018)。

基金简介: 国家自然科学基金项目(41771534)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41771534.]

第一作者简介: 段亚明(1994—), 男, 河南洛阳人, 博士生, 研究方向为土地利用与规划。E-mail: 527931407@qq.com

通信作者简介: 刘勇(1980—), 男, 湖南岳阳人, 副教授, 主要从事城市地理、城市生态、土地管理等方面研究。

E-mail: liuyong80@cqu.edu.cn

研究方法包括探索性空间数据分析、Lorenz 曲线、人口密度模型等(吴一洲等, 2016; Liu, Liu, 2018)。也有学者基于城市热力数据、社交媒体签到数据等大数据对精细时空下的人口分布进行定量分析(吴志强等, 2016; Cai et al, 2017)。第二, 基于人口流动的多中心功能联系, 如利用通勤数据——地铁、公交刷卡(黄洁等, 2018)、手机信令数据(钟炜菁等, 2017), 分析城市人口的通勤行为与职住关系(Yang et al, 2018; 申犁帆等, 2019), 进而探讨多中心的影响范围、功能均衡与相互联系(Green, 2007; De Goei et al, 2010; 丁亮等, 2017)。研究方法包括网络分析、核密度分析等(Green, 2007; Yang et al, 2018)。近期也有学者尝试从“形”与“流”两方面探讨多中心的形态与功能联系(Green, 2007; Timberlake, 2008; 李峰清等, 2017)。

随着人口普查、百度热力图、公交刷卡、手机信令等多源数据的发展, 基于城市人口的多中心分布识别精度得到显著提高。但是, 目前的研究还存在一些不足: 尽管人口普查数据覆盖范围广、基于全样本数据, 但数据更新周期长, 以行政区为统计单元, 无法实时与精确反映城市人口的时空变化特征; 百度热力图具有较高的时间分辨率, 但由于是分级后的栅格数据, 像元取值范围有限, 空间分辨率不高, 难以精细比较各城市中心的人口集聚程度; 公交刷卡数据记录了城市内部公交、地铁运营状态, 能准确反映人口流向, 但无法准确反映人口空间分布特征; 手机信令数据覆盖了大量城市人口, 具有很高的时空精度, 能够识别人群出行轨迹与集聚程度, 但数据获取成本高、难度大, 相关研究也以北京、上海等大城市居多(丁亮等, 2017; 钟炜菁等, 2017; 黄洁等, 2018)。相比较而言, 腾讯宜出行数据也是一种人口分布热力图, 通过记录腾讯公司相关在线产品的位置信息, 以空间点数据(间隔 25 m)的方式给出了人口热力度, 具有获取成本较低、空间分辨率较高、实时动态变化的特点, 可从人口动态变化视角刻画城市空间结构, 弥补了传统普查数据与已有大数据的诸多不足, 从而为定量识别城市内部的人口多中心格局提供了新来源。然而, 目前基于宜出行大数据的多中心研究尚不多见, 只有用于识别社区尺度城市功能划分的零星研究(Chen et al, 2017)。

为此, 本文以重庆主城区为例, 基于腾讯宜出行数据, 利用核密度分析等空间分析方法, 验证城市人口的多中心分布规律, 比较不同中心、组团的发育特征及其差异。之所以选择重庆为例, 主要是考虑重庆作为典型的山地城市, 受山水限制与规划引导的影响, 长期以来都采用了“多中心、组团式”的城市空间结构, 具有代表性和典型性, 与近年来才开始由单中心向多中心转变的平原城市形成鲜明对比(段亚明等, 2018)。基于重庆的案例研究, 可为多中心城市的相关研究提供有益参考, 为合理引导城市人口分布、优化公共设施配置、科学制定空间规划提供政策依据。

1 研究区域、数据来源与研究思路

1.1 研究区概况

本文选择重庆主城的主要建成区为研究区域, 剔除了北碚、渝北及巴南区尚未建成、且以山地为主的农村区域(图 1)。重庆主城 9 区 2017 年 GDP 达 7569 亿元, 常住人口 865.06 万人, 以 7%的土地面积承载全市 39.4%的 GDP 与 28.1%的人口, 城市化率达到 90%。



图1 研究区范围

重庆是中国典型山地城市，位于长江上游的川东平行岭谷区，也是面积最大的直辖市，成渝城市群的核心城市之一。缙云山、中梁山、铜锣山、明月山4条山脉由南向北嵌入重庆主城。长江、嘉陵江自西向东在渝中半岛交汇。“一岛两江，三谷四脉”构成了重庆主城多中心发展的自然本底。重庆主城发源于渝中半岛的沿江地带，自1890年开埠后，城市逐步跨越两江并向南北发展，并随着交通条件的改善，主城逐步向西扩展。抗战时期，为躲避日军轰炸，城市要素纷纷向郊区疏散，由此奠定了重庆“大分散、小集中”的发展模式。1949年后的三线建设时期，重庆郊区接纳了大批军工企业，为日后重庆的多中心发展奠定基础。

重庆在历次城乡规划中均强调“多中心、组团式”发展策略。目前已经形成以解放碑为主中心，沙坪坝、杨家坪、观音桥、南坪、西永、茶园为副中心的多中心结构。城乡规划确定的组团数量为21个，具体如图1所示，其中内环以内的组团大部分区域已经建成，内环以外的部分组团还处于快速城市开发阶段。需要说明的是，中心和组团不是等级与层次的差异；中心是指商业商务和公共活动中心，而组团是功能较为独立、相对自给自足的城市建设区；7个城市(副)中心均位于组团内部，往往是人口集聚强度的峰值区域。

1.2 数据来源

宜出行数据来源于腾讯位置大数据服务窗口(<https://heat.qq.com/index.php>)，是基于腾讯系列产品大量的用户基数，记录了腾讯QQ(8亿)、微信(3.5亿)、空间(6亿)、游戏(2亿)和网页(1.3亿)等腾讯产品活跃用户的实时位置，可以反映研究区人口的空间分布情况(Chen et al, 2017)。本文通过Python程序抓取2018年3月17—23日连续1周的重庆主城范围内的宜出行热力数据(17、18日为休息日、19—23日为工作日)，获取间隔为2h。原始数据为CSV格式，包含count、经度、纬度、

获取时间 4 个字段，count 字段携带人口热力信息，在使用前利用 Arc-GIS 软件根据经纬度信息将原始数据转换为点数据(空间分辨率 25 m)。

1.3 研究方法

现有研究表明，城市内部人口的日常活动通常以周为单位呈周期性变化，休息日与工作日的人口分布具有一定的差异(吴志强等，2016)。因此本文研究基于不同时段出行数据制作人口热力图，进而分析人口空间集聚特征及多中心分布规律。

1.3.1 基于核密度分析生成出行热力图

核密度分析在城市热点探索方面应用广泛(段亚明等，2018)。由于出行原始数据为空间点数据，因此本研究利用 ArcGIS 软件的核密度分析工具对出行数据进行还原(population 字段设置为 count)，根据不同时段分析结果的峰值分布验证重庆主城多中心城市结构并分析人口空间分布特征。结合已有研究经验及多中心识别的需要，经多次实验(500、1000、1250、1500 m)，发现搜索半径为 1000 m 时，模拟结果更接近腾讯大数据平台的热力分布图。同时，为了更好地反映人口分布规律、降低数据误差，通过栅格计算器对工作日、休息日相同时刻核密度分析结果求平均值。

1.3.2 基于分区统计结果分析城市中心影响范围与组团发育程度

由于不同城市区域的人口集聚程度不同，因此基于 ArcGIS 软件的重分类工具，利用自然断点法识别热力数据中的固有分组，在热力变化最大处设置边界，使分类结果组内热力差异最小、组间最大。结果共分 3 组，取热值较高的前 2 组分别命名为高、中集聚区，并根据 ArcGIS 软件的分区统计工具，计算不同区域不同时段的热力均值，分析各城市中心的影响范围与不同时段的人口集聚程度。

同时，鉴于城市内部人口集中区域往往拥有大量商业、金融机构与完备的生活、公共等服务设施，城市发展水平较高。因此在此数据重分类的基础上，计算各组团内部高、中集聚区的面积及占组团规划范围的比率，从人口角度分析各组团的发展水平，并与已有研究进行对比。

2 结果与分析

2.1 研究区多中心识别与影响范围分析

基于休息日、工作日各时段核密度分析结果^②(图 2a、表 1)，研究区共出现 9 处明显且稳定的热力峰值，各时段下不同峰值的空间位置基本相同，分别位于解放碑商务中心、世纪环岛、沙坪坝商圈、杨家坪商圈、大坪、石桥铺高新技术开发区、观音桥商圈、南坪商圈与回兴。根据定义，在中央商务区以外的人口或就业分布的次高峰，即次高峰的人口分布相对密度高于周边地区，可以视为潜在的次中心。因此各时段下研究区人口分布特征与城市规划的预期目标基本吻合，呈以解放碑为主中心，以沙坪坝、观音桥、杨家坪、南坪、西永、茶园为副中心的多中心结构。除解放碑外，其余副中心在休息日的人口热力大于工作日；世纪环岛、大坪、石桥铺商圈的人口集聚强度已经接近杨家坪副中心；内环外侧，茶园、西永副中心的热力峰值不明显，人口集聚能力低于内环内的城市(副)中心与外侧的回兴地区，发展水平明显滞后。不同时段下，城市中心峰值统计显示(图 3)，内环内侧各中心人口在上午 7:00~9:00 不断集聚，热力值迅速提升，9:00~17:00，各中心热力值相对稳定，基本在 15:00 达到最高值，17:00 后热力值逐渐降低。

^②①由于休息日与工作日核密度分析结果的形态较为相似，因此对整周各时段结果求平均值，以图 2a 的方式呈现，休息日与工作日的统计值。

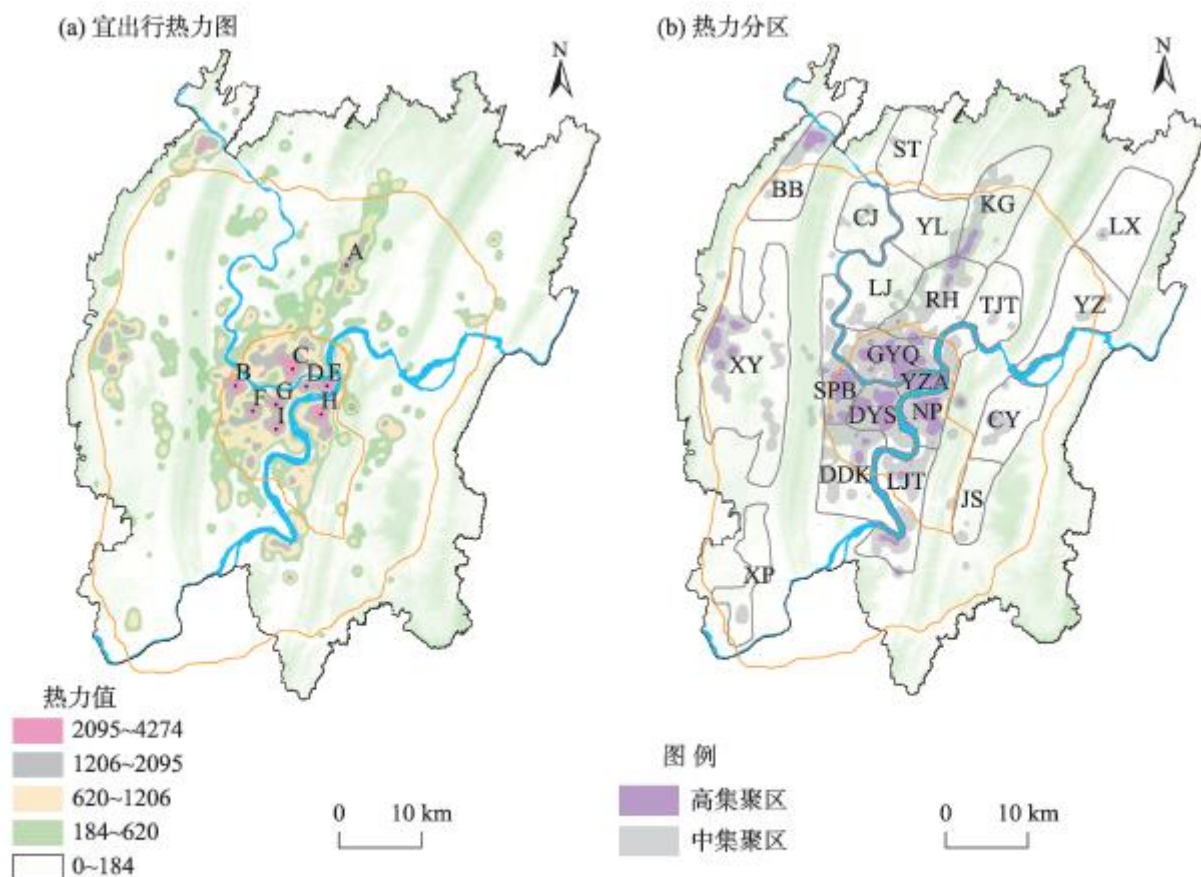


图2 核密度分析结果与热力分区

根据各时段热力数据重分类结果(图 2b), 高集聚区主要集中在内环以内, 及内环外的西永、茶园、北碚、空港、李家沱、大渡口等组团, 中集聚区分布在高集聚区外围, 不同时段下, 2 类区域均未出现明显位移。根据各类型区不同时段热力统计结果(图 4a), 各类区域休息日的热力均值比工作日高, 2 种区域的热力均值差距较大。7: 00~9: 00, 随着腾讯产品用户群体的增加及人群在城市中的移动, 各类型区热度增长最快, 而高集聚区大多包含城市商业中心, 区域内就业岗位密集, 因此热力增长速度与热力均值显著大于中集聚区; 9: 00~17: 00, 热力值相对稳定, 但有小幅波动, 于 15: 00 达到当天的峰值。面积变化方面(图 4b), 7: 00~9: 00 两类区域面积快速下降, 9: 00~15: 00 下降缓慢, 并在 15: 00 达到最低点后缓慢增加。结果表明, 城市人口在每天 7: 00~9: 00 开始向各类型区(特别是高集聚区)集中, 9: 00~17: 00 人口集聚状态维持稳定。17: 00 之后, 人群陆续下班使各区域热力值降低。由于高热力值聚集的连片区域, 不仅发挥着人口集聚功能, 也是城市各类商业中心与高新技术开发区的所在地, 可以认为是相对重要的主、次中心范围。因此, 内环内作为城市人口的核心集聚区, 除观音桥副中心外, 各中心影响范围相近且大于外围西永、茶园副中心。内环外侧的北碚、空港、大渡口与李家沱组团内部也出现与副中心类似的人口集聚形态。

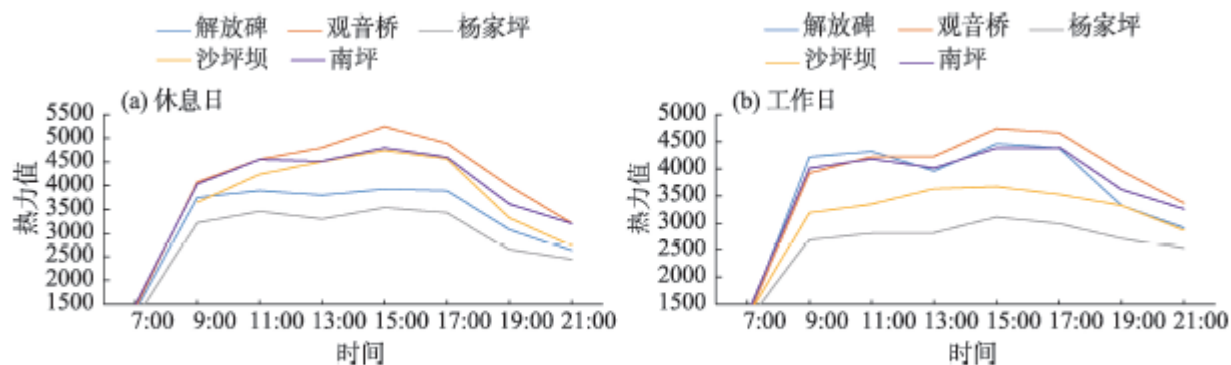
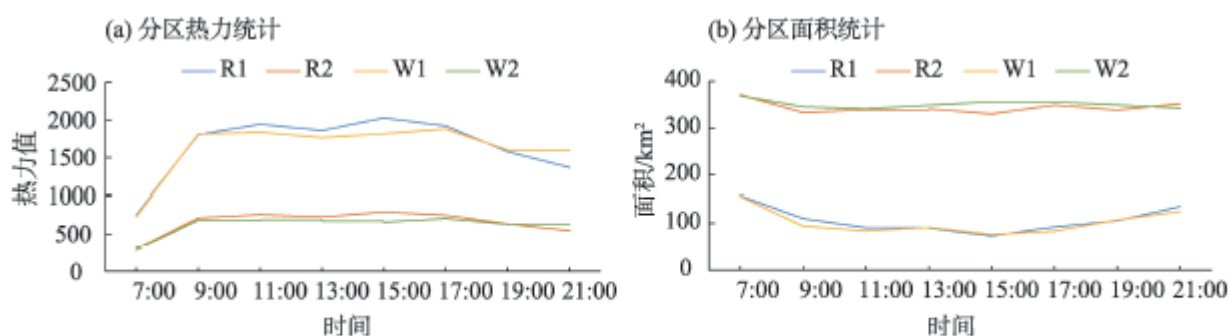


图3 内环内城市中心人口热力变化



注:R1、W1 分别表示休息日与工作日高集聚区;R2、W2 分别表示休息日与工作日中集聚区。

图4 不同类型区统计结果

2.2 重点组团人口集聚的动态特征及发展比较

鉴于各组团内的高集聚区是研究区人口集聚的核心区、城市商业中心的所在地，也是相对重要的主次中心范围，因此该区域的热力变化在一定程度上可以反映各组团整体的人口集散变化。因此通过目视解读各重要组团所属的高集聚区，并基于 ArcGIS 分区统计工具计算每个区域不同时间节点的平均热值。结果表明(图 5、表 2)，各城市组团内的人口在 7:00~9:00 开始集聚，并维持到 17:00。其中在 13:00，各组团热值出现小幅波动，该变化可能由人群在 11:00~15:00 外出就餐或回家休息并再次返回造成。休息日：内环内各组团人口集聚程度相近，除大杨石组团外，其余组团的平均热值均高于 2000；内环外，北碚组团集聚程度最高，茶园、李家沱组团最低。工作日：渝中、南坪组团的人口集聚程度明显高于内环内其他组团；内环外，西永、北碚人口集聚程度较高，李家沱、茶园较低。对比各组团在工作日与休息日的热值差异：除渝中、西永组团外，其余组团的工作日人口集聚程度比休息日低。

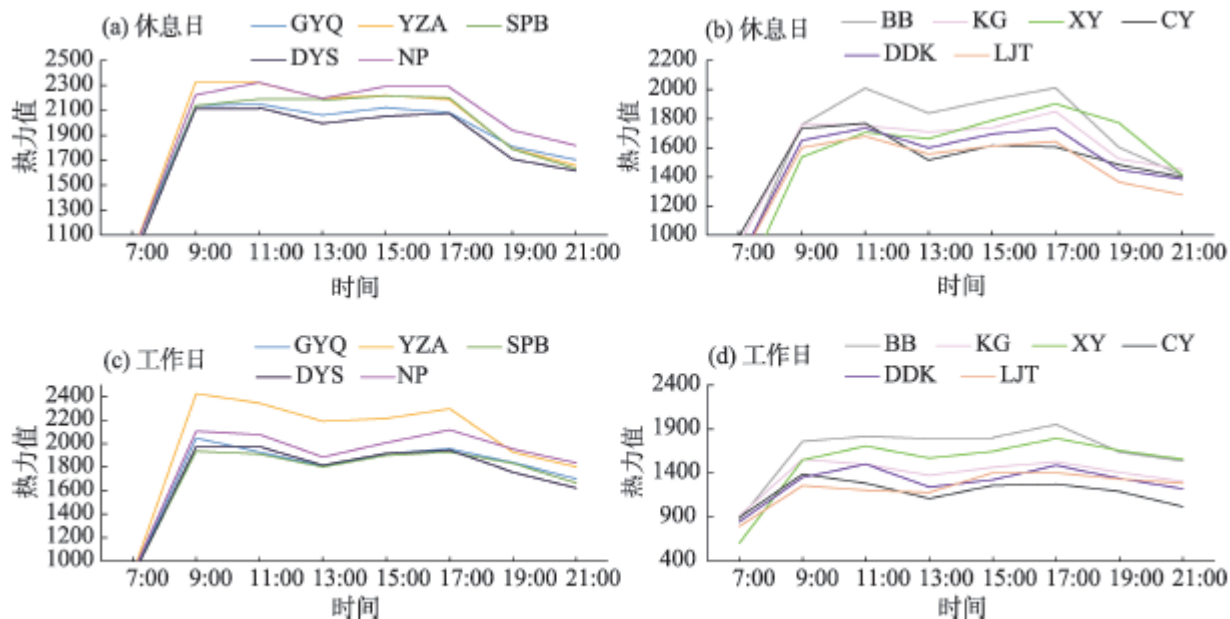


图5 重要组团热值统计

通过计算各组团内基于热力图与 POI 核密度分析结果(段亚明等, 2018)划分的高、中集聚区的面积与各类面积占不同组团规划范围的比率分析各组团发展水平, 并根据自然断点法对平均占比进行分级。由计算结果可知, 2 种维度下各组团发展排名相似, 除 7、8 位外, 前 10 位组团两项排名完全相同, 从而间接证明通过计算高、中集聚区的面积占比可以在一定程度上反映各组团的发展水平(图 6)。整体上城区内环两侧的组团发展差异较大: ①在规模上, 内环内, 各组团包含的 2 类高集聚区面积最大, 从大到小依次为观音桥、大杨石、南坪、沙坪坝、渝中组团; 内环外, 人和、大渡口、李家沱组团内中集聚区面积均值与传统城市中心所在组团相近, 均超过 14 km^2 (渝中除外); 其余组团内高、中集聚区面积相对较小(西永除外)。②发展方面(图 6), 内环内部以及由内环连接的组团发展较为成熟并显著高于外侧, 整体呈“内高外低”分布模式, 各组团发展水平相近, 其中渝中组团水平最高, 大渡口最低; 内环外, 不同组团的发展水平具有显著的跳跃性与不均衡性, 距离城市核心区较远的北碚、空港与山水阻隔的西永、茶园组团的发展水平较为接近, 而距离内环较近的礼嘉、蔡家、悦来组团发展相对落后, 其余组团发展也有待进一步提高。

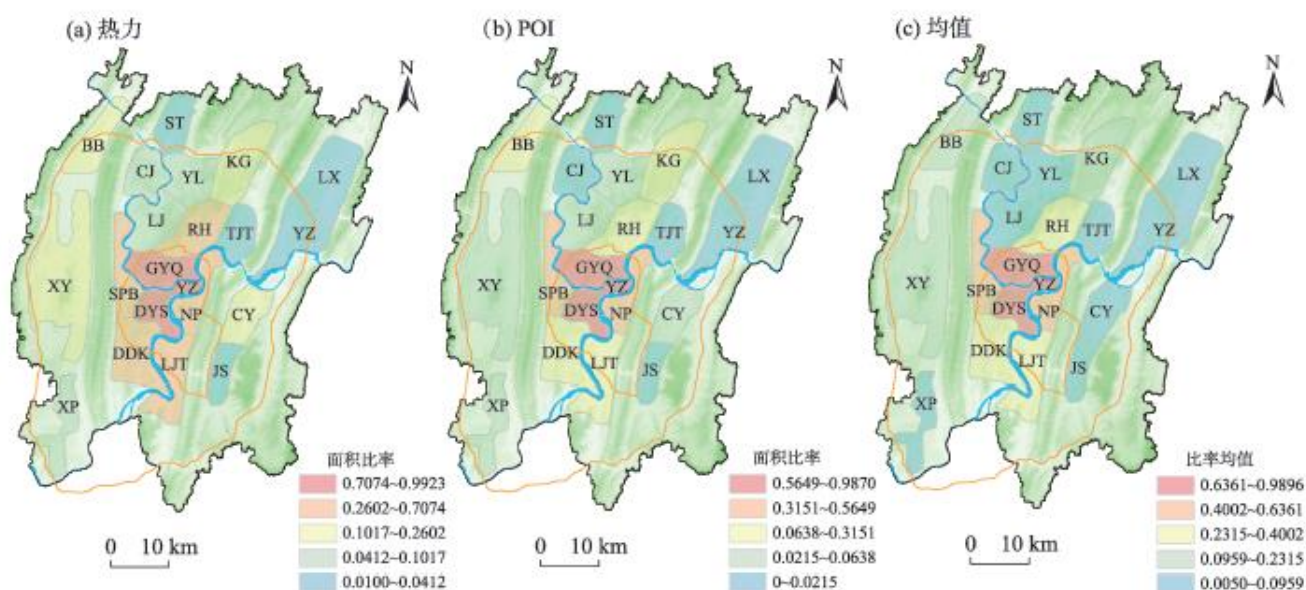


图6 组团内各类型区面积占比

3 讨论

3.1 基于宜出行大数据的多中心识别方法

根据宜出行热力分析结果,研究区人口具有明显的多中心分布特征,内环以内是人口的核心集聚区,集聚程度显著高于外围,各主/副中心人口集聚程度相近。内环以外,新规划的城市组团内人口聚集规模较小,在一些老的城市组团内部,如北碚、空港等,其人口集聚规模接近甚至超过了茶园、西永等副中心所在组团。与城市规划相比较,本文研究结果验证了重庆人口分布与城市规划设立的多中心发展目标具有相对一致性。而且,研究结果与基于兴趣点(POI)数据的研究结果也具有可比性(段亚明等,2018)。将本文宜出行热力图与基于兴趣点(POI)识别结果(段亚明等,2018)进行叠加,分休息日和工作日、分不同的POI功能,计算平均热力值与POI核密度的相关系数。结果表明,在形态上,基于人口热力划分的高、中集聚区与基于不同功能的分类结果具有较高的空间叠合度,人口高集聚区内汇集了大量不同功能的服务设施;在统计上,2个时段的人口热力值与整体及不同功能POI分析结果在0.01的水平上显著相关,商务、金融要素对人口的集聚作用主要体现在工作日,其余功能要素在休息日对人口的集聚作用,是休息日城市中心人口热力较高的主要原因。

基于宜出行大数据的多中心识别,可以快速、准确识别城市结构,反映不同区域、不同时段的人口集聚特征,从而为多中心城市研究提供新的方法。相比于传统普查数据,宜出行热力图的空间分辨率更高,更新频率较快,具有较好的时效性与分析精度,可以满足不同尺度(社区、街区、城市、城市群)的研究需要,更重要的是,数据获取成本很低,可用于大量城市的比较研究。需要说明的是,宜出行数据代表的是某一区域人口的相对密度而不是绝对密度,考虑到手机使用频率,该数据在9:00~19:00的获取效果最好。受热力数据本身的限制,本文主要从形态角度识别了多中心,功能多中心的研究有赖于新数据的引入。今后,可结合手机信令、居民通勤等多源数据,从“形”和“流”2个维度探讨多中心的形成与演变。

3.2 人口多中心格局形成的原因分析

从人口热力分布来看,重庆具有十分明显的多中心结构,其主要驱动因素包括自然环境、经济发展与城市规划。

第一,山水阻隔和空间有限奠定了重庆“多中心、组团式”格局的本底(黄光宇,2005;Liu et al,2017)。重庆早期的城市人口高度集聚于狭窄的渝中半岛,并沿江两岸的河谷地带向外带状延伸。由于两江阻隔,客观划定了城市中心的发展边界,限制了内环内部5个城市(副)中心的融合发展,使其形成目前规模均衡的多中心结构,而中梁山与铜锣山更是将西永、茶园2个新规划的副中心与内环核心区进行了有效隔离,这一现象在宜出行热力分析中也得到体现。而平原城市,例如北京、杭州等,由于缺少与重庆类似的自然屏障的刚性约束,其“主强副弱”的多中心格局与重庆形成鲜明对比(Yue et al,2010;于涛方等,2016;张亮等,2017;Liu, Liu,2018)。

第二,经济发展及产业演进构成了重庆人口多中心演化的主要驱动力(廖和平等,2007)。重庆开埠后,城市商贸功能得以强化,人口不断向渝中半岛集聚(易峥,2004)。抗战时期,重庆作为战时陪都,来自全国的政府、军工、教育、金融等机构根据分散、隐蔽的城市发展策略,在沿江地区形成了不同功能的副中心与组团,直接导致城市人口的分散化(易峥,2004)。三线建设时期,重庆承接大量军工及其他重工业企业,使人口多中心格局进一步强化(易峥,2004)。改革开放后,市场经济促进了重庆核心区的“退二进三”和服务业的兴盛,原有的城市中心逐步演变为金融、购物、娱乐、文化、旅游等产业中心,例如:解放碑中央商务区、观音桥商圈、沙坪坝商圈、南坪商圈,以及大杨石组团内的石桥铺、杨家坪、大坪商业中心等(易峥,2004;段亚明等,2018)。人口热力与不同功能POI的相关分析也说明,上述地区的复合功能使其成为重庆人口最稠密的地带,生活与休闲功能在休息日的人口集聚中发挥着较强作用。

第三,重庆长期坚持的多中心规划策略,在很大程度上促进了人口多中心格局的形成(Liu et al,2017)。1960年,重庆第一版城市总体规划确定9个片区与4个卫星城,提出了“有机松散,分片集中”的发展思路,并一直沿袭至今(易峥,2004)。1980年与1996年城市规划均以建设观音桥、南坪、沙坪坝、石桥铺(杨家坪)副中心为重点(易峥,2004)。2007年,新规划的西永、茶园副中心及2014年设立的“两江新区”则是对现有多中心体系的发展与强化。重庆城市总体规划在多中心建设中也十分注重各组团内部的职住问题,并配置相应数量居住用地保证职住的空间平衡,使重庆形成形态与功能兼备的多中心体系,与中国其他城市的形态多中心形成对比(黄光宇,2005;谭欣等,2016;Liu et al,2017;Liu,Liu,2018)。在工作日、周末不同时段中,热力峰值未发生明显空间位移,也间接说明了城市内部就业中心与居住中心在空间上有较高的重合度。

3.3 重庆主城多中心规划效果分析

将本文分析结果与城市规划方案进行对比,结果发现,研究区“多中心、组团式”结构在某种程度上实现了规划的预期目标。具体来说,内环以内的城市核心区,由于规划较早,经过多轮城市规划的强化,各中心发育程度与人口集聚规模相近,且显著高于内环以外的区域。外围新规划的副中心/组团由于设立时间较短,人口集聚规模小,发育相对缓慢。目前的主要问题是:①近年来,“两江新区”的设立使城市发展重心北移,北部人口集聚能力超过西部的西永和东部的茶园等副中心,南北发展明显失衡。②观音桥、礼嘉、人和、悦来、空港组团出现了粘连发展,城市开发突破了规划设定的绿带隔离边界。③内环两侧的中心/组团发展差距过大。在多中心发展方面:内环内5个城市(副)中心的人口集聚能力相近,而外围组团西永、茶园副中心内还未拥有与传统城市中心类似的人口集聚水平。在组团发展方面,内环以内,各组团只占研究区9.3%的用地面积,但承载44%左右的城市人口。其结果是房价持续攀升、交通越发拥堵。而外围占地面积较大,例如茶园、西永、礼嘉、悦来、蔡家、西彭、鱼嘴、唐家沱、界石、龙兴、水土等组团,城市用地开发较快,但产业及人口集聚能力有待加强。④内环外围组团的土地城镇化速度远大于人口城镇化速度,普遍出现城市蔓延现象,土地利用效率低,各类功能设施不足(Liu, Fan et al,2018;段亚明等,2018)。

基于上述问题,本文提出以下对策:①应加强内环外各副中心与组团的基础设施建设,提升教育、医疗、购物等公共服务设施水平,促进核心区人口与产业向外疏解,减轻内环内城市中心与组团的人口承载压力;②科学划定城市开发边界及永久基本农田,防止城市蔓延与组团粘连发展,促进多中心体系均衡发展;③组团内部宜采取公共交通导向的建设模式(TOD),促进城市土地集约、高效利用,不断培育城市活力。

4 结论

本文基于宜出行大数据,利用核密度分析等方法,根据热力数据空间分布特征识别重庆主城多中心城市结构并分析各组团发育程度。结论如下:研究区城市结构呈明显的“多中心、组团式”特征,内环内,各中心人口集聚度水平与发育程度相近且远超外围的茶园、西永副中心。各中心与组团内部的人口从每天早晨 7:00 开始集聚并维持到 17:00。休息日各中心人口集聚程度大于工作日。内环外侧西永、茶园、西彭、鱼嘴、界石等组团发育尚不成熟,组团内的人口集聚水平有待进一步提高。研究区多中心结构的形成整体受益于自然格局、经济发展与城市规划的共同作用,城市内部人口分布差异与各功能设施的密度密切相关。

参考文献:

1. 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 2017. 上海中心城区商业中心空间特征研究[J]. 城市规划学刊, (1): 63-70.
2. 段亚明, 刘勇, 刘秀华, 等. 2018. 基于 POI 大数据的重庆主城区多中心识别[J]. 自然资源学报, 33(5): 788-800.
3. 黄光宇. 2005. 山地城市空间结构的生态学思考[J]. 城市规划, (1): 57-63.
4. 黄洁, 王姣娥, 靳海涛, 等. 2018. 北京市地铁客流的时空分布格局及特征: 基于智能交通卡数据[J]. 地理科学进展, 37(3): 397-406.
5. 李峰清, 赵民, 吴梦笛, 等. 2017. 论大城市“多中心”空间结构的“空间绩效”机理: 基于厦门 LBS 画像数据和常规普查数据的研究[J]. 城市规划学刊, (5): 21-32.
6. 廖和平, 彭征, 洪惠坤, 等. 2007. 重庆市直辖以来的城市空间扩展与机制[J]. 地理研究, 26(6): 1137-1146.
7. 申犁帆, 张纯, 李赫, 等. 2019. 城市轨道交通通勤与职住平衡状况的关系研究: 基于大数据方法的北京实证分析[J]. 地理科学进展, 38(6): 791-806.
8. 谭欣, 黄大全, 赵星烁, 等. 2016. 基于百度热力图的职住平衡度量研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 52(5): 622-627.
9. 吴一洲, 赖世刚, 吴次芳. 2016. 多中心城市的概念内涵与空间特征解析[J]. 城市规划, 40(6): 23-31.
10. 吴志强, 叶锺楠. 2016. 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, 40(4): 33-40.
11. 易峥. 2004. 重庆组团式城市结构的演变和发展[J]. 规划师, 20(9): 33-36.
12. 于涛方, 吴唯佳. 2016. 单中心还是多中心: 北京城市就业次中心研究[J]. 城市规划学刊, (3): 21-29.
13. 张亮, 岳文泽, 刘勇. 2017. 多中心城市空间结构的多维识别研究: 以杭州为例[J]. 经济地理, 37(6): 67-75.
14. 钟炜菁, 王德, 谢栋灿, 等. 2017. 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, 36(5): 972-984.

15. Anas A, Arnott R, Small K A. 1998. Urban spatial structure[J]. *Journal of Economic Literature*, 36(3): 1426-1464. Cai J, Huang B, Song Y. 2017. Using multi-source geospatial big data to identify the structure of polycentric cities [J]. *Remote Sensing of Environment*, 202: 210-221.

16. Chen Y, Liu X, Li X, et al. 2017. Delineating urban functional areas with building-level social media data: A dynamic time warping (DTW) distance based K -medoids method[J]. *Landscape & Urban Planning*, 160: 48-60.

17. Cheng H, Shaw D. 2018. Polycentric development practice in master planning: The case of China [J]. *International Planning Studies*, (3): 1-17.

18. De Goei B, Burger M J, Van Oort F G, et al. 2010. Functional polycentrism and urban network development in the Greater South East, United Kingdom: Evidence from commuting patterns, 1981-2001 [J]. *Regional Studies*, 44(9): 1149-1170.

19. Gordon P, Richardson H W. 2015. Employment decentralization in US metropolitan areas: Is Los Angeles an outlier or the norm? [J]. *Environment and Planning A*, 28(10): 1727-1743.

20. Green N. 2007. Functional polycentricity: A formal definition in terms of social network analysis [J]. *Urban Studies*, 44(11): 2077-2103.

21. Harris C D, Ullman E L. 1945. The nature of cities [J]. *Annals of the American Academy of Political & Social Science*, 242(1): 7-17.

22. Huang D, Liu Z, Zhao X, et al. 2017. Emerging polycentric megacity in China: An examination of employment subcenters and their influence on population distribution in Beijing[J]. *Cities*, 69: 36-45.

23. Kloosterman R C, Musterd S. 2001. The polycentric urban region: Towards a research agenda [J]. *Urban Studies*, 38(4): 623-633.

24. Li J, Long Y, Dang A. 2018. Live-work-play centers of Chinese cities: Identification and temporal evolution with emerging data [J]. *Computers Environment & Urban Systems*, 71: 58-66.

25. Liu X, Wang M. 2016. How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities [J]. *Landscape & Urban Planning*, 151: 10-20.

26. Liu Y, Fan P, Yue W, et al. 2018. Impacts of land finance on urban sprawl in China: The case of Chongqing [J]. *Land Use Policy*, 72: 420-432.

27. Liu Y, Yue W, Fan P, et al. 2017. Assessing the urban environmental quality of mountainous cities: A case study in Chongqing, China [J]. *Ecological Indicators*, 81: 132-145.

-
- 28.Liu Z, Liu S. 2018. Polycentric Development and the role of urban polycentric planning in China's mega cities: An examination of Beijing's metropolitan area [J]. Sustainability, 10(5): 1588. doi: 10.3390/su10051588.
- 29.Small K A, Song S. 1994. Population and employment densities:Structure and change [J]. Journal of Urban Economics, 36(3): 292-313.
- 30.Timberlake M. 2008. The polycentric metropolis: Learning from mega-city regions in Europe [J]. Journal of the American Planning Association, 74(3): 384-385.
- 31.Wen H, Tao Y. 2015. Polycentric urban structure and housing price in the transitional China: Evidence from Hangzhou[J]. Habitat International, 46: 138-146.
- 32.Yang L, Wang Y, Bai Q, et al. 2018. Urban form and travel patterns by commuters: Comparative case study of Wuhan and Xi'an, China [J]. Journal of Urban Planning & Development, 144(1): 05017014. doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000417.
- 33.Yue W, Liu Y, Fan P. 2010. Polycentric urban development:The case of Hangzhou [J]. Environment & Planning A, 42(3): 563-577.