

基于POI要素空间聚集特征的城市多中心结构识别 ——以郑州市为例

李欣

河南财经政法大学中原经济区“三化”协调发展河南省协同创新中心, 河南财经政法大学资源
与环境学院, 郑州 450046; E-mail: lixin992319@163.com

摘要 为了有效地提高城市多中心结构的识别效率和准确性, 为城市规划提供科学依据, 利用核密度分析、热点分析和加权叠加分析方法, 探索城市要素的空间聚集形态和特征。设计基于公众依赖性、空间聚集度和属性特征值的空间加权叠加分析方法, 利用精度高、更新快、覆盖全、可以从多个角度体现城市要素的空间聚集特征的兴趣点(POI)数据, 实现对郑州市主城区的聚集特征衡量和多中心识别。结果表明: 郑州市主城区的各类城市要素呈现中心集中、沿线蔓延的圈层状空间分布结构, 具有结构不均衡的特点, 规划中的多中心与识别出的多中心之间存在一定程度的差异, 尤其是外围功能性中心, 由于位置偏远且配套设施不足, 未实现副中心应有的分散疏解作用, 因此需加强产业统筹规划, 以交通为纽带, 提升副中心的向外辐射和向内吸引能力。

关键词 多中心结构; POI 要素; 空间聚集; 多中心识别; 郑州

Recognition of Urban Polycentric Structure Based on Spatial Aggregation Characteristics of POI Elements: A Case of Zhengzhou City

LI Xin

Collaborative Innovation Center of Three-Aspect Coordination of Central Plain Economic Region, College of Resource and Environment, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046; E-mail: lixin992319@163.com

Abstract In order to improve the recognition efficiency and accuracy of urban polycentric structure and provide scientific basis for urban planning, this paper uses kernel density analysis, hotspot analysis and weighted overlay analysis to explore the spatial aggregation patterns and characteristics of urban elements, and designs a spatial weighted overlay analysis method based on public dependence, spatial aggregation degree and attribute values. By using the POI data with high accuracy, fast update and full coverage, which can reflect the spatial aggregation characteristics of urban elements, the method realizes the measurement of aggregation characteristics and the polycentric recognition of Zhengzhou city. The results show that the POI elements in main urban area of Zhengzhou city present an annular spatial distribution structure. It has the characteristics of centralizing in the center and spreading along the road. The polycentric structure is unbalanced. There are some differences between the planned sub-centers and the identified ones. Because of the remote location and lack of supporting facilities, the peripheral functional centers with lower development level is far from achieving the dispersal and evacuation role they should have. Therefore, it is necessary to improve the overall planning of the industry to enhance the outward radiation and inward attraction of the sub-center through the link of transportation.

Key words polycentric structure; POI elements; spatial aggregation; polycentric recognition; Zhengzhou City

国家自然科学基金(41771445, 41871159)、河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(202102310013)和河南财经政法大学博士科研基金(800257)资助

收稿日期: 2019-06-25; 修回日期: 2019-08-19

随着中国经济的发展,城市空间不断向外扩展,城市结构越来越复杂。从宏观层面看,城市化的质量并不高,社会保障不完善、规划布局不合理以及能源交通环境等“城市病”问题突出。同时,随着城市面积的扩大和常住人口的增长,传统的单中心城市结构虽然具备较强的集聚效益,但过度集聚使城市边际成本超出边际经济效益的增加量,也使城市核心区域产生交通拥堵、环境污染和居所密集等严重影响居民生活体验的社会问题。

城市空间结构多中心化是地理科学与城市规划领域的重要概念,其目标在于将过度集中的城市社会功能分散化,从而缓解和消除大城市病问题。城市多中心结构泛指空间形态上分离的、功能上多样化且相互联系的城市空间聚集形态^[1],在城市主中心之外形成多个次中心,通过聚集人口,扩大经济 and 产业规模,与主中心形成竞争、合作和优势互补的关系。因其相对均衡的聚集形态,多中心结构在一定程度上可以提高城市的整体经济效能,起到疏解城市职能和减轻城市压力的作用。因此,北上广深等一线特大城市均在城市总体规划中提出多中心发展目标,并出现越来越多的专业职能中心(如金融中心、媒体中心、健身娱乐中心和会展文化中心等),其空间分布也在更为分散的城市外围区域,成为特大城市多中心结构的重要特征。因此,开展对城市多中心结构的识别、绩效检验和治理路径等相关研究,有利于指引城市空间的有序拓展,优化城市空间发展战略布局,具有重要的理论意义和实践价值。

目前对城市多中心结构的研究主要涉及理论分析、结构识别和绩效检验等方面^[2],经过多年研究与探索,已形成一定的理论体系,如针对高度密集城市的有机分散理论^[3]、针对主次经济胞体职能划分的多核心模式理论^[4]以及针对大都市核心区域和外围结构的都市圈理论^[5-6]等,这些论述都体现城市发展过程中多中心结构的思想。

基于上述理论的研究主要包括多中心结构形成机理^[7]、多中心结构的识别方法^[8]、多中心对交通拥堵的疏解作用^[9]以及多中心网络节点间的关系^[10]等。在结构识别方面,学者们主要通过地理空间分析和形态分析等方法,从不同的角度对多中心的形态和功能进行识别,如基于服务业的多中心网络分析^[11-12]、基于网络通勤流量的多中心结构分析^[13]、基于点轴线性模式和分散组团模式的多中心空间结

构分析^[14]、按人口分布划分的松散式、郊区式、不均衡式和舒展式的紧凑多中心结构分析^[15]、基于城市聚集特征和规模经济效益分析的城市经济多中心结构分析^[16]、基于案例对比和关联叠加分析和大都市多中心组团结构分析^[17]。由于受到数据与技术的限制,上述研究主要从宏观方面,从单一的角度,对城市多中心结构进行识别和分析。但是,城市的多中心空间形态演化过程会受到人口分布、产业结构、交通条件、空间地形和政策导向等多方面因素的影响,因此,通过分析多类要素的形态分布规律来识别城市的多中心结构,能够更全面、更准确地反映城市多中心的演化特征。

随着大数据采集与处理技术的进步,具有空间定位特征的感兴趣点(point of interest, POI)数据为城市多中心结构的识别提供了更加有效的高精度数据基础。POI数据是包含地理实体的空间和属性信息的点状数据,从要素种类上划分为餐饮、购物、交通、教育、金融、住宅、医疗和生活服务等多个子类,具有数据量大、精度高、分类细、更新快和覆盖全的特点,已经在城市边界提取^[18]、分层地标提取^[19]、城市业态分析^[20-22]、人口活动研究^[23-25]和空间结构识别^[26-28]等方面得到广泛的应用。针对各个城市的不同特点,选择并优化空间分析方法,利用POI数据,从多种城市功能的角度进行多中心结构识别,可以有效地节约数据采集和整理时间,提高结构分析的准确程度。

作为河南省的省会及中原城市群的核心城市,郑州市中心城区的建成区面积已达到443 km²,2018年的常住人口超过一千万,GDP突破一万亿元。因此,将郑州市作为多中心结构的研究和评价对象具有很好的代表性。本文利用核密度分析、热点分析和空间加权叠加分析等多种手段,对POI要素数据进行分析,从功能类型和宏观方面识别郑州市主城区的多中心结构,为城市科学规划提供参考。

1 研究区域与数据来源

郑州市是中原地区的新一线特大城市,2018年5月由郑州市规划局公示的《郑州市中心城区总体城市设计》(<http://zzland.zhengzhou.gov.cn>)中提出的城市总体结构为“一脉贯通、双心凝核、三轴为枢、四环聚城”。其中,“一脉贯通”指城市主轴方向为东西向,“双心凝核”指以二七广场和郑东新区为双中心,“三轴为枢”指西部历史文化轴线、中部商

贸文化轴线和东部商务文化轴线,“四环聚城”指商城历史文化环、城市公共聚集环、城市核心快速环和城市外围公路环。

在城市空间形态规划方面,将城市主要结构归纳为“二主、五副、三环、两纵、两横、四特、八区”(图 1),内容如下。

二主:二七广场主中心和郑东新区主中心。

五副:龙湖副中心、东站副中心、花园路副中心、福塔副中心和碧沙岗副中心。

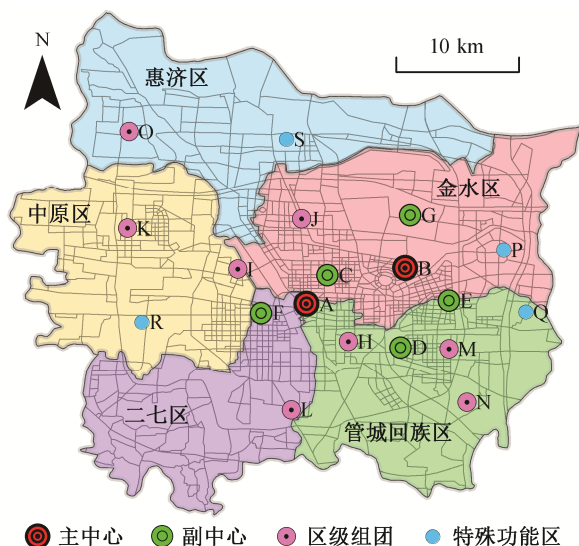
三环:以地铁 5 号线、三环路和四环路作为内外输配环。

两纵:以机场路—中州大道和京沙快速通道为南北向交通纵轴。

两横:以金水路和陇海路为东西向交通横轴。

四特:惠济会展特殊功能区、大学城教育特殊功能区、市级市民文化特殊功能区和省级市民文化特殊功能区。

八区:金水区、二七区、中原区、管城区、惠济区、郑东新区、经开区和高新区。从行政归属上分类,郑东新区属于金水区,经开区属于管城回族区,高新区属于中原区,因此图 1 中将其合并至对应的行政区划。



城市多中心与组团位置根据 2018 年 5 月《郑州市中心城区总体城市设计》绘制。A: 二七广场主中心; B: 郑东新区主中心; C: 花园路副中心; D: 福塔副中心; E: 东站副中心; F: 碧沙岗副中心; G: 龙湖副中心; H: 紫荆山路区级中心; I: 北站区级中心; J: 城北区级中心; K: 高新区组团中心; L: 二七新城组团中心; M: 经开区区级中心; N: 经开新区组团中心; O: 古荥组团中心; P: 大学城教育特殊功能区; Q: 省级市民文化特殊功能区; R: 市级市民文化特殊功能区; S: 惠济会展特殊功能区。下同

图 1 郑州市城市多中心结构设计图

Fig. 1 Urban polycentric structure design in Zhengzhou City

本文所用 POI 数据来源于 2018 年 4 月的高德地图。由于 POI 数据的主要应用方向为导航服务,因此不但包含的要素种类较为齐全,而且各个实体目标的空间位置都较为准确,可以体现城市中各类实体在空间分布形态上的真实状态。经过清洗和纠偏之后,得到郑州市域范围内 POI 数据 264890 条。依据高德地图 POI 分类体系,结合各类要素在城市中所起的作用及其对应的城市功能,本文将其分为公共服务、公司商务、生活居住、消费服务和休闲娱乐 5 类。郑州市主城区 POI 数据分布情况如图 2 所示,数据分类如表 1 所示。

2 研究方法

2.1 技术路线

本文的研究方法分为数据处理、空间统计和空间分析 3 个步骤,技术路线如图 3 所示。

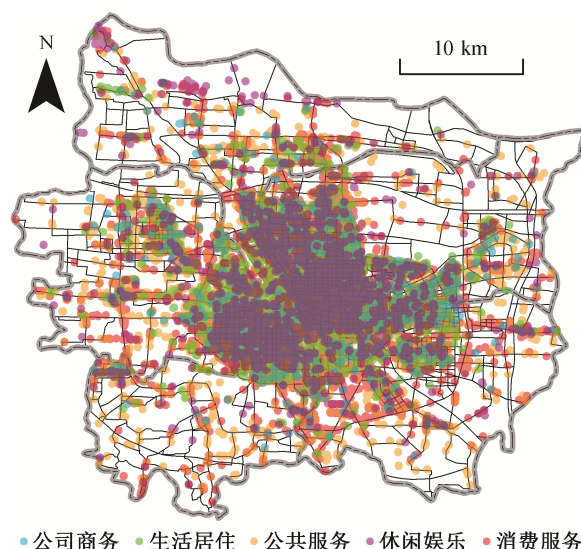


图 2 郑州市主城区 POI 数据分布

Fig. 2 POI data distribution map of Zhengzhou City

表 1 郑州市主城区 POI 数据分类

Table 1 POI data classification of Zhengzhou City

POI 分类	数据内容	数量/个	占比/%
公共服务	公安、医疗、教育、科研交通设施、政府单位等	50182	18.94
公司商务	公司、企业、金融、银行等	23197	8.76
生活居住	居民小区、别墅、宿舍等	8789	3.32
消费服务	餐饮、购物、快递、加油站、停车场等	171640	64.80
休闲娱乐	景点、公园、运动场、娱乐场所、电影院等	11082	4.18
合计		264890	100.00

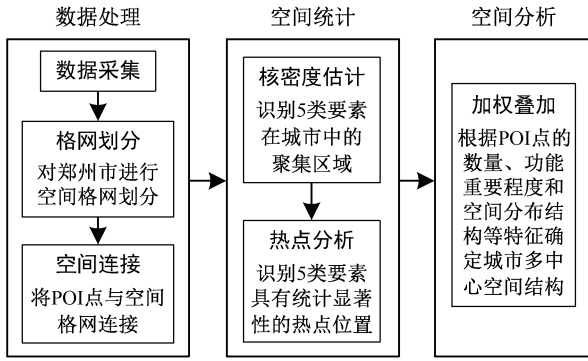


图3 郑州市多中心识别研究技术路线

Fig. 3 Flowchart of polycentric structure recognition in Zhengzhou City

1) 数据处理: 首先对郑州市主城区进行空间格网划分, 并将离散的 POI 点与格网进行空间连接处理, 记录每个格网单元的 POI 点数量, 便于进行后续的热点分析和加权叠加分析。

2) 空间统计: 针对五大类要素进行核密度估计和热点分析, 识别各类要素在郑州市主城区的聚集区域和具有统计显著性的热点位置, 分析各类业态的聚集特征, 并与规划的城市功能中心进行对比。

3) 空间分析: 对五大类要素的聚集特征进行加权叠加分析, 根据其 POI 点数量、功能重要程度和空间分布结构等特征, 确定目前的城市多中心空间结构, 并与城市总体设计进行对比, 为城市规划发展提供建议。

2.2 核密度估计分析聚集区域

核密度分析是探索城市多中心结构聚集区域的重要方法, 可以对空间点要素或线要素的分布密度进行连续模拟, 有效地挖掘各类要素的聚集区域。核密度分析的基本原理是, 利用一个移动单元格, 对点或线的分布密度进行核心估计, 从而模拟该类对象的详细分布情况。设样本点为 x_1, x_2, \dots, x_n , 则计算二维数据时, 核密度估计函数为

$$f_n(x) = \frac{1}{n\pi r^2} \sum_{i=1}^n K \left[\left(1 - \frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{r^2} \right) \right]^2, \quad (1)$$

其中, K 为核函数; $(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2$ 为点 (x_i, y_i) 到点 (x, y) 的欧式距离平方; r 为核密度带宽, 即搜索半径; n 为半径范围内样本点个数。搜索半径会对分析结果产生较明显的影响, 较小的半径会使分析结果中产生较多的高值或低值区域, 适用于体现局部聚集特征; 较大的半径则会使核密度等值线更加平滑, 适用于体现全局尺度的聚集区域。

核密度估计的步骤如下: 1) 利用 Silverman 的“经验法则”方法^[29], 结合郑州市主城区面积及空间分析精度, 计算得到搜索半径约为 0.5 km; 2) 对 5 类 POI 要素进行核密度估计分析, 并生成核密度表面; 3) 按照自然间断点法, 提取核密度分析等值线, 使各等级间差异最大化; 4) 分析 5 类 POI 要素核密度高值区域的面积和分布形态; 5) 将现有城市规划的多中心空间位置与分析结果相叠加, 统计规划中心与实际密度高值区域的重合情况, 并分析原因。

2.3 热点分析识别聚集特征

热点分析是利用空间自相关性来表现某一位置上某种地理属性与邻域同一地理属性之间关系的一种方法, 其分析结果可以体现具有统计显著性的热点或冷点位置, 在更深的层次上挖掘地理现象的聚类分布特征。在城市多中心结构研究中, 该方法可用于消费、娱乐、商务和居住等地理现象聚类特征的分析, 为多中心识别提供定量依据。

本文使用的热点分析方法为局域 Getis-Ord G_i^* 指数法, 是一种基于空间权重矩阵的空间自相关性指标计算方法。基本原理是, 计算某个要素在指定范围内的相邻要素总和, 使之与所有要素的总和相比较, 从而分析该要素在局部的空间聚集特征。局域 Getis-Ord G_i^* 统计量的标准化形式(Z 得分)如式 (2) 所示:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{X}^2} \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2}{n-1}}}, \quad (2)$$

其中, x_j 为要素 j 的属性值, w_{ij} 为要素 i 与 j 之间的空间权重, n 为要素总数, G_i^* 即为 Z 得分。若 Z 得分为正且数值较大, 说明空间单元 i 为高值聚类单元, 反之则为低值聚类单元。

热点分析的步骤如下: 1) 由于城市街区面积差异较大, 且要素分布不均, 容易产生分析误差, 因此本文首先对分析区域进行格网划分, 格网边长取核密度分析时的搜索半径 0.5 km, 将 POI 点与格网进行空间连接, 并计算每个格网单元的要素密度值; 2) 利用 Moran's I 指数, 分析要素属性的空间自相关性; 3) 基于所有要素至少有一个相邻要素的原则, 利用临近点距离计算工具, 求得热点分析使用的距离参数; 4) 根据热点分析公式, 对郑州市 5 类要素的热点聚集特征进行可视化显示和研究。

2.4 加权叠加分析多中心结构

叠加分析是一种对空间对象的空间特征或属性信息进行集合运算的方法,尤其是多层数据的叠加分析,能够挖掘多层数据间的相互联系和结构变化特征。康盈等^[17]利用土地分类、公共服务、交通互连和经济产业数据进行叠加分析,识别和探讨重庆市的多中心组团结构以及区域关联度。本文使用的POI数据分为五大类,尽管均为点状数据,但分别对应不同的城市功能,5类POI要素的空间聚集形态共同影响着人、车、物的流动和聚集,因此需要分析居民对各类要素的依赖程度、要素在各个空间单元的聚集程度及其分类和分级等属性特征,从而确定其影响权重,最终进行加权叠加分析,用叠加分析结果来体现城市多中心空间结构。

进行加权叠加时,5类要素的权重可用公众依赖性、空间聚集度和属性特征值3个指标来衡量^[19],即可构成5类POI要素的多中心权重模型:

$$\text{POIWeight} = c_1 \times \text{Dep} + c_2 \times \text{Agg} + c_3 \times \text{Att}, \quad (3)$$

其中,Dep为公众依赖性指标,Agg为空间聚集度指标,Att为属性特征值指标; c_1 、 c_2 和 c_3 为3个指标对应的权重系数,其和为1;POIWeight为每一个空间格网单元的权重指数。

加权叠加分析的步骤如下:1)对调查问卷数据进行统计处理,得到公众对5类POI要素的依赖性质量化数据;2)对局域Getis-Ord G_i^* 指数法计算得到的空间格网单元的Z得分进行线性变换,得到该单元的空间聚集度指标;3)对各类POI目标进行分类和等级值变换,求得格网单元的属性特征值指标;4)按照多中心权重模型,计算每个格网单元的权重指数;5)对前面得到的5类要素核密度分析结果,按照格网权重进行加权叠加,得到郑州市主城区多中心结构空间分布的总体形态。

3 城市多中心结构识别与分析

3.1 城市要素空间聚集形态分析

城市发展过程中,政策规划、产业聚集、历史发展和人口流动都会对城市中心的聚集形态产生影响,因此不同类型的功能要素聚集中心在空间上也存在差异。从表1看出,不同类型的POI数据占比差异较大,其中消费服务数量最多,占64.8%,其次是公共服务,占18.94%,其他3类的占比均不足10%。POI要素的分类、分级及各个子类对应的空间分布形态,恰恰能真实地体现该类要素在城市中

所起的作用以及城市功能多中心的空间分布特征。

根据前述核密度分析步骤,得到郑州市主城区各类要素的核密度分布图,将其与《郑州市中心城区总体城市设计》规划的主、副中心和组团中心叠加,得到郑州市主城区5类POI要素核密度分布图(图4)。可以看出,各类POI数据的集中分布区域和覆盖范围不尽相同,但核密度高值区域较为集中,主要分布在金水区西南部、管城回族区西北部、二七区北部和中原区东部,呈现较典型的连片分布和沿线蔓延形态,连片中心主要包括二七广场、花园路农业路、南阳路黄河路、大学路陇海路、桐柏路中原路和瑞达路科学大道等,蔓延干线主要包括金水路、中原路、陇海路、农业路、紫荆山路、花园路和京广快速路等。

将各类要素的核密度分布图与《郑州市中心城区总体城市设计》规划的主、副中心和组团中心叠加后,得到郑州市主城区的规划中心与实际核密度高值区域的叠加结果(表2)。

结合图4和表2可以看出,规划中的双主中心二七广场和郑东新区都位于5类要素的核密度高值区域,说明这两个区域的各类功能设施建设较好,已经形成功能较为完善的城市中心。但是,郑东新区的各类要素核密度值远低于二七广场,这是因为,作为新的中央商务区,郑东新区虽然建设发展速度更快,周边写字楼、居民区和路网等基础设施已经建成,但相关配套服务设施(如银行、快递、餐饮和停车场等)不如二七广场区域完善,郑东新区作为主中心之一的相关建设还需加强。

副中心当中,花园路、福塔和碧沙岗都位于5类要素核密度高值区域,东站副中心位于公共服务、公司商务和休闲娱乐高值区域,龙湖副中心位于5类要素的核密度低值区域。形成此种空间布局的原因在于,郑州东站是位于郑东新区的重要交通枢纽,城市规划中,其周边多为商业用地,新建写字楼、公司、电影院和娱乐场所相对密集,虽然已形成较为集中的就业中心,但周边的居民小区、医疗、教育和政府机构等设施相对较少,作为城市副中心的经济绩效和交通绩效尚未达到理想的效果。龙湖副中心是继郑东新区中央商务区之后的又一商务金融中心,是集办公、金融、文化和生活等功能为一体的综合性城市区域,但目前该区域仍处于各类设施规划建设状态,作为城市副中心的作用仍相去甚远。

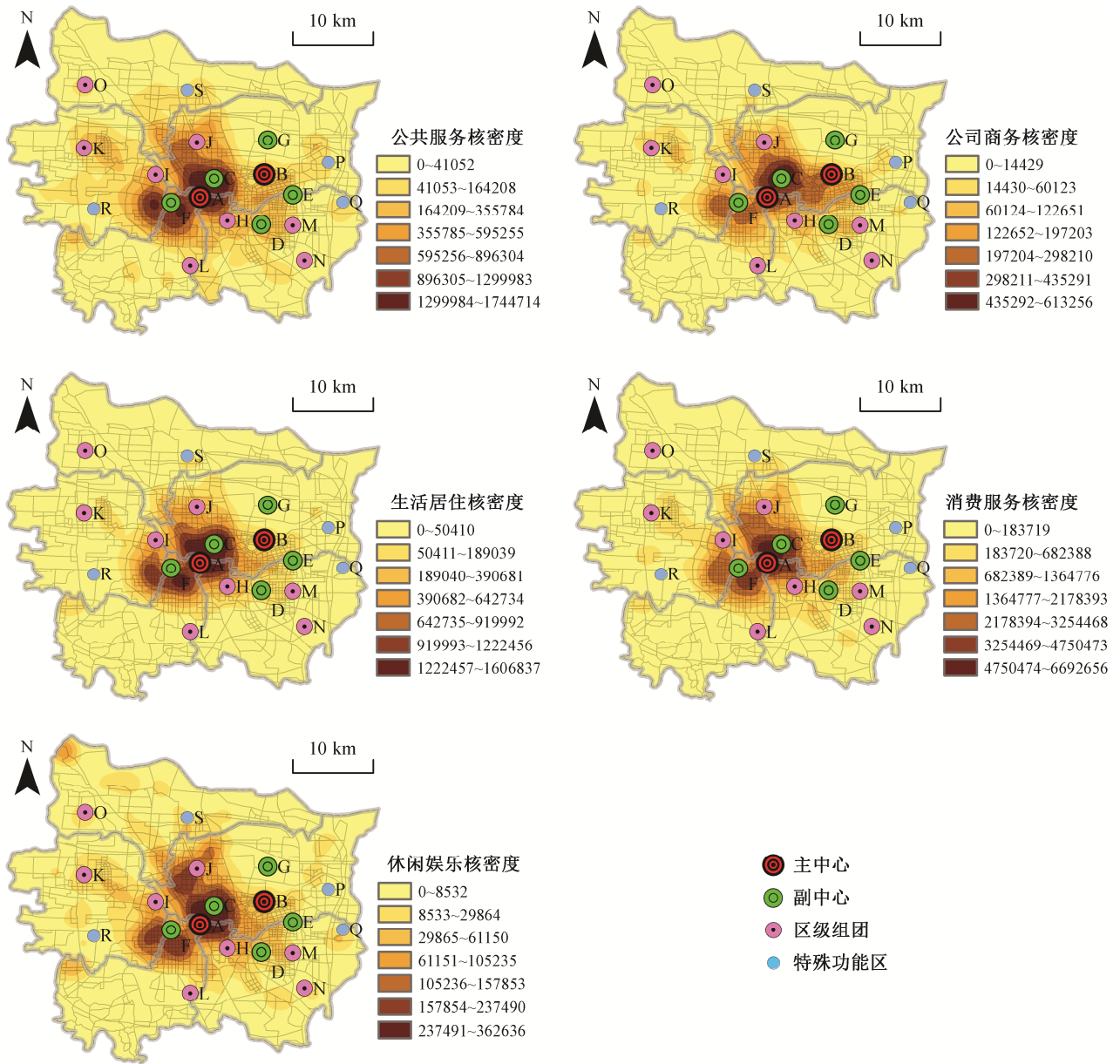


图 4 郑州市主城区 5 类 POI 要素核密度分布

Fig. 4 Kernel densities distribution map of five types of POIs in central Zhengzhou City

表 2 郑州市主城区 5 类 POI 要素空间聚集区域分布

Table 2 Spatial aggregation area distribution statistics of five types of POIs in central Zhengzhou City

功能分类	POI 聚集区域			
	主中心	副中心	区级组团	特殊功能区
公共服务	AB	CDEF	HIJKLMO	PQRS
公司商务	AB	CDEF	HIJKM	P
生活居住	AB	CDF	HIJM	S
消费服务	AB	CDF	HIJL	—
休闲娱乐	AB	CDEF	HIJKLMO	QS

区级组团和特殊功能区与 5 类要素核密度高值区分布的差异较大, 公共服务和休闲娱乐类要素高值区覆盖的组团中心和功能区中心较多, 其他 3 类相对较少。这是因为这两类次级城市中心的位置更分散, 多处于三环与四环之间, 人口密度和物资流量远小于三环以内区域, POI 要素的分布也相对稀疏。此类次级中心主要分布于核密度低值区。

3.2 城市要素空间聚集特征分析

为了进一步验证城市多中心结构的时空聚集特征, 本文选用局域 Getis-Ord G_i^* 指数法, 对 5 类要

素进行热点分析。由于郑州市街区面积差异较大,会出现包含大量POI点的大面积街区的实际POI点密度反而较小的情况,从而影响热点分析的准确度。因此,本文选用规则格网,对郑州市进行空间划分,以格网单元为基本空间单位进行热点分析。根据前述热点分析步骤得到的郑州市主城区聚集特征(Z 得分)可视化结果如图 5 所示。

经过热点分析后,每一个格网单元都包含 P 值和 Z 得分两种属性,其中 P 值表示概率,当其小于某阈值时,说明该空间聚类特征几乎不可能由随机过程产生, Z 得分表示标准差的倍数,二者都与标准

正态分布相关联。一般情况下,认为 Z 得分的绝对值大于 1.96 且置信度高于 95%(概率似然值 $P < 0.05$) 时,可以拒绝零假设。该要素可以体现具有统计显著性的空间聚类结构,即不但格网单元的 POI 密度为高值,同时还被密度高值的格网包围,因此该格网单元为显著性热点单元。

将各类要素热点单元所占面积与郑州市主城区面积进行对比,将热点单元包含的 POI 点数与该类要素的 POI 点总数进行对比,同时将热点分布图与《郑州市中心城区总体城市设计》规划的主、副中心和组团中心进行叠加,得到郑州市主城区 5 类

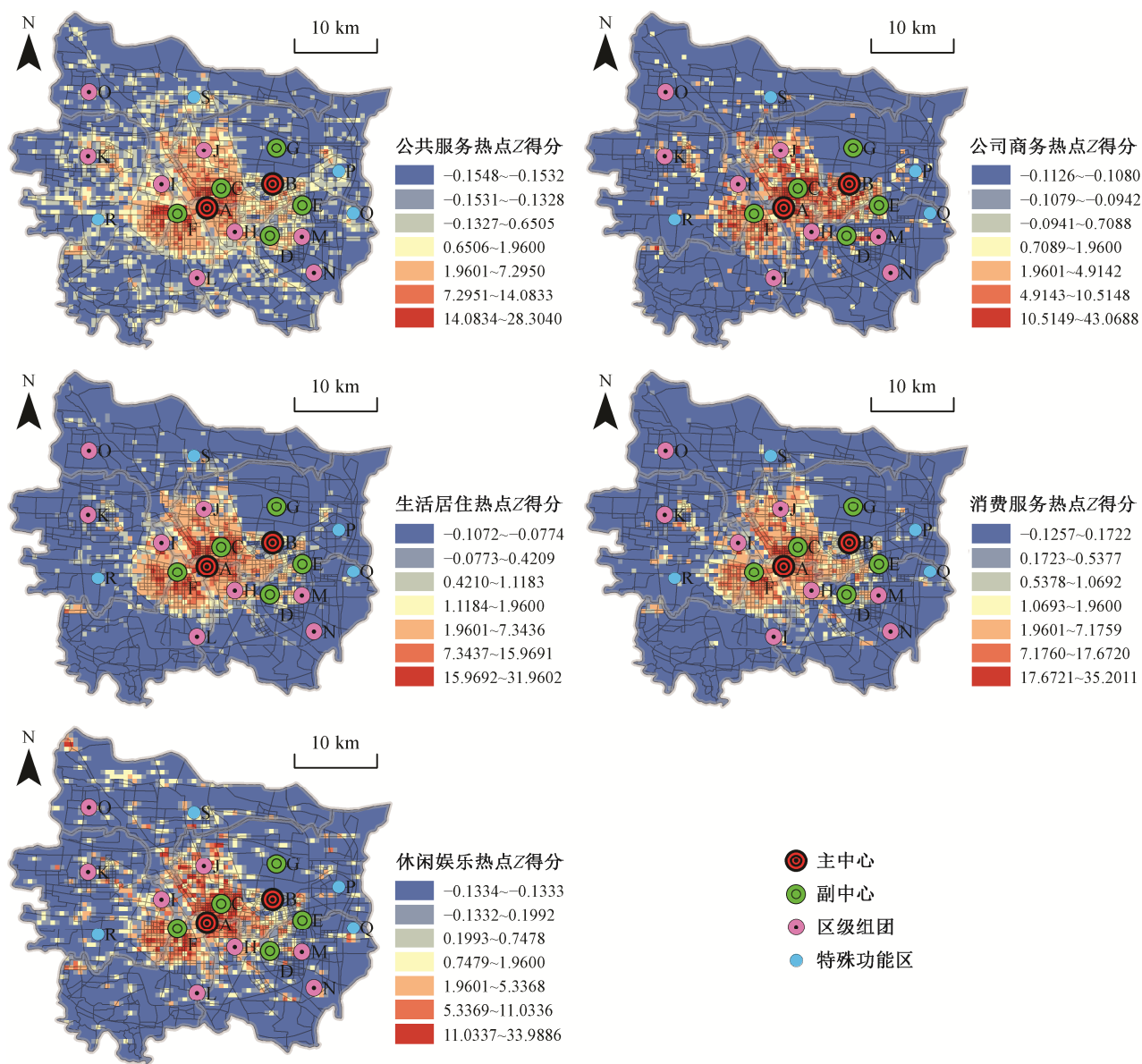


图 5 郑州市主城区 5 类 POI 要素热点分布

Fig. 5 Hotspots distribution map of five types of POIs in central Zhengzhou City

表 3 郑州市主城区 5 类 POI 要素空间热点区域分布
Table 3 Spatial hotspot area distribution statistics of five types of POIs in central Zhengzhou City

POI 分类	数量占比/%	面积占比/%	位置分布			
			主中心	副中心	区级组团	特殊功能区
公共服务	81.91	12.55	AB	CDF	HIJKLO	—
公司商务	94.75	12.06	AB	CDEF	HIJKLO	P
生活居住	89.50	11.37	AB	CDF	HIJ	—
消费服务	86.45	11.22	AB	CDF	HIJLO	—
休闲娱乐	87.54	11.39	AB	CDF	HIJKO	—

POI要素空间热点区域分布情况(表3)。可以看出,5类要素的热点区域占郑州市主城区面积的比例约为12%,但所包含的POI点数量均达到总量的80%以上,聚集效应显著。但是,规划的城市各级多中心空间分布与热点区域分布之间存在较大的差异,如副中心中的东站副中心和龙湖副中心,区级组团中心中的经开新区组团中心以及几乎全部4个特殊功能区,均位于热点区域之外。造成这种空间聚集特征的原因与前述核密度空间分布相同。

因此,综合核密度分析和热点分析得到的要素空间聚集形态特征可以发现,郑州市主城区的5类要素呈现中心集中、连片分布和沿线蔓延的圈层状空间分布形态,聚集特征显著。由于相关政策规划、产业聚集、建设周期和人口流动都会对要素实际空间聚集形态产生影响,《郑州市中心城区总体城市设计》中规划的各级城市中心与5类要素的实际核密度高值区域和热点区域的分布形态不完全一致,因此还需基于要素的数量和质量特征,对其进行空间加权叠加分析,进一步准确地识别郑州市主城区的多中心结构特征,为科学地优化城市规划提供依据。

3.3 城市多中心结构识别

由于各类POI要素的数量比例及其在城市功能中的重要性程度不同,因此需要对5类要素的空间分布形态进行加权叠加。

不同年龄和职业的人群对不同类型POI要素的依赖性各不相同,通过统计调查,可以较准确地挖掘公众对5类要素的依赖程度。本文通过问卷调查获取公众对5类POI要素的依赖性指标。受访者年龄分布和男女比例均匀,职业分布广泛,且在郑州市生活和工作5年以上。受访者根据自身情况,对5类POI要素的依赖程度进行“高、较高、中、较低、低”的判断,共收回532分有效问卷。根据5级

量表法,对调查数据进行赋值后,对统计数据进行均值和标准差计算,同时对各类要素的依赖性均值做极差正规化处理,即得公众依赖性指标(表4)。

空间聚集度体现POI要素在城市空间中的聚集特征。本文将郑州市主城区进行规则格网空间划分,为每个格网单元添加空间聚集度字段,并将每个格网单元的Z得分线性变换至区间[0,1]进行字段赋值,得到该单元的空间聚集度。

不同类型的POI数据包含的属性特征及分类方式各不相同,可以按照现有国家或行业分类标准或固有特征对POI目标进行分类分级(如酒店按星级分类,医院按照三级三等分类)。完成分类后,每个POI目标的等级值可线性变换至区间[0,1],然后求得位于同一空间格网单元的POI目标属性平均值,即得该对应要素分类的格网单元的属性特征值,实现使用相同计量标准来反映POI个体对象属性特征差异的目标。

5类要素对应的核密度分析格网单元的公众依赖性、空间聚集度和属性特征值指标确定后,将其代入式(3)进行加权叠加分析的权重指数计算,将计算结果作为格网单元的权重字段,利用叠加分析工具得到加权叠加聚集度,然后使用自然间断点法对其进行分级,并绘制等值线,得到郑州市主城区多中心结构空间分布的总体形态。在此空间分布形态的基础上,按照加权叠加聚集度分级,对城市多中

表 4 5 类 POI 要素的公众依赖性指标
Table 4 Public dependence indexes of five types of POIs

POI 分类	均值	标准差	公众依赖性
公共服务	4.472	0.829	1.000
消费服务	4.158	1.329	0.801
公司商务	3.628	2.473	0.465
生活居住	3.379	1.746	0.307
休闲娱乐	2.894	1.284	0

心空间位置进行识别,同时结合该位置周边重要单位或设施的数量和等级进行分析,即可实现郑州市主城区多中心结构分布总体形态的识别。

图 6(a)为经过加权叠加分析后识别得到的城市多中心,共计 18 个(用小写字母表示),按照其所在位置的加权叠加聚集度,可以将其分为 3 级: a, c, f, g 和 m 为一级中心,主要分布在郑州市最核心的中心老城区; b, d, e, h, i 和 n 为二级中心,主要分布在一级中心的北部和东部区域; j, k, l, o, p, q 和 r 为三级中心,分散地分布在更为边缘的区域。

图 6(b)为规划多中心的位置分布,通过对比可以发现,识别得到的多中心分布位置与规划位置一致或接近的有 13 个。空间位置一致的有 5 个: a-二七广场、b-郑东新区、c-花园路农业路、d-中原福塔以及 h-紫荆山路航海路。空间位置接近的有 8 个: e-东风南路商鼎路与 E-东站副中心、f-大学路陇海路与 F-碧沙岗副中心、i-南阳路东风路与 I-北站区级中心、j-花园路三全路与 J-城北区级中心、k-瑞达路科学大道与 K-高新区组团中心、r-西四环中原路与 R-市级市民文化特殊功能区、p-龙子湖与 P-大学城教育特殊功能区、q-东四环陇海路与 Q-省级市民文化特殊功能区。

通过加权叠加分析可以验证,大部分识别得到的多中心位置分布与规划中心位置一致或接近,这些位置一部分位于主城区中心各类设施的高度聚集区域,核密度值远高于其他区域,也是城市经过多年发展,各类设施建设最完善的区域。另一部分位于城区边缘,为某几类权重较高的功能要素聚集区

域,这些部位虽然核密度值不及核心城区,但是相对于周边区域,仍然呈现较为集中的聚集形态,如 k-瑞达路科学大道为高新区核心位置,该区域聚集相当数量的公司企业、两所高校和居民社区,配套设施较为完善,符合高新技术开发区的功能定位。另外, n-龙子湖区域是 15 所高等院校聚集的大学城,为教育特殊功能区,湖心岛规划有商场、超市、宾馆和学术交流中心等为高校服务的配套设施,该区域的师生和员工已达 20 万人以上,其教育特殊功能区的作用已得到较为充分的展现。

此外,部分规划城市中心未落在加权叠加分析的高值聚集区域,主要包括 G-龙湖副中心、H-经开新区组团中心、I-经开区区级中心、K-二七新城组团中心、M-古荥组团中心和 P-惠济会展特殊功能区。这些区域主要位于核心城区边缘,如 G-龙湖副中心虽然规划为集办公、金融、文化和生活等功能为一体的综合城市区域,但目前处于各类设施规划建设状态,作为城市副中心的作用仍相去甚远。因此,若期望按照城市规划发展相应的功能中心,还需政策支持,加大投入力度,完善该区域的各类设施建设。

4 讨论及建议

4.1 郑州市多中心结构特征讨论

1) 从形态上分析,郑州市多中心结构的首要特征是核心城区和边缘城区的要素密度差异大,呈现中心集中、沿线蔓延的圈层状空间分布状态。虽然 5 类 POI 要素中各要素的集中分布区域和覆盖范

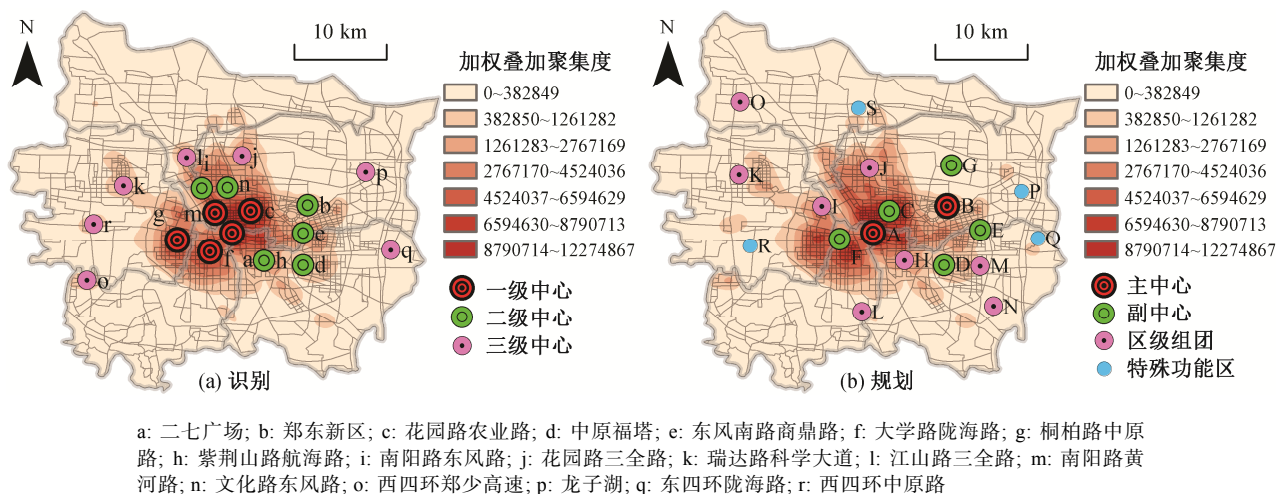


图 6 郑州市主城区多中心结构总体空间分布形态
Fig. 6 Spatial Distribution of polycentric structure in central Zhengzhou City

围不尽相同,但均呈现以二七广场为核心,沿金水路、中原路、陇海路、农业路、紫荆山路、花园路和京广快速路等主干道向四周蔓延的圈层状空间分布形态,三环范围内也是 POI 目标分布最集中的区域。多中心结构在布局上呈现较明显的东西向延伸趋势,空间分布较为均衡。形成这种分布形态的原因在于,二七广场及其周边区域为郑州市的核心老城区,人口密集,相应的功能设施建设完善,随着城市的发展和扩张,各类设施会沿着出行便利的交通干线优先建设,然后随着人流、物流和交通流的增加,逐步向周边蔓延,形成目前中心集中、连片分布和沿线蔓延的圈层状空间分布形态。

2) 内密外疏,结构不均衡。虽然大部分识别的与规划的多中心空间位置一致或接近,但核心区域的要素密度以及对应的城市服务水平远高于边缘区域。原因在于,郑州市地处平原,受山水阻隔和交通条件的限制较少,可以较容易地通过规划来促成城市多中心形态,构成城市的功能多中心结构,并且,核心城区各类要素密度趋于饱和,已沿交通干线外溢,在一定程度上形成圈层状副中心结构。但是,各个边缘中心人口分散,位置偏远,配套不齐,对人流、物流和交通流的吸引能力不足,尚未实现边缘副中心应有的聚集效应,未起到对核心城区进行有效的疏导,减轻核心城区城市负担的作用。

3) 功能中心引力不足,发展缓慢。建设规划中的 4 个特殊功能区是分散城市功能,实现错位发展的重要环节。但是,通过核密度分析和热点分析,发现只有龙子湖大学城教育特殊功能区相对成熟,这与该区域相对较大的师生人口密度以及完善的教育设施和配套设施密切相关。就其他 3 个特殊功能区而言,虽然已在规划中形成功能中心的概念,但由于位置偏远,功能单一,配套设施建设进展缓慢,导致其特殊职能远未发育成熟,与其他中心的联系较为薄弱,尚未产生足够的人员和物资吸引能力,作为外围功能性中心的分散能力不足。

4.2 对城市规划的建议

1) 加强区域统筹和产业规划,因地制宜地加快配套建设。郑州市的城市发展基本上不受山水阻隔的影响,因此可以通过规划手段,积极促进多中心的发育与成熟。作为城市发展的重要推动因素,产业是城市经济的根基,因此多中心规划中必须根据该区域的人口、环境和交通特点,因地制宜,准确地定位其城市职能,按照功能需求,加强公共配套

基础设施的建设,优化和加强空间网络联系,增强多中心的产业聚集效应,促进良性互动发展,真正形成多中心、多层次的城市结构体系。

2) 以交通为纽带,提升城市副中心向外辐射和向内吸引的能力。郑州市主城区及周边路网发达,交通便利,城市各类要素呈沿线蔓延的空间聚集形态,说明交通要素是连接多中心的重要纽带,既是实现产业向外辐射的输出路径,又是吸引人和物的输入渠道。规划中提出的“三环、两纵、两横”和已建成的 3 条地铁线路均成为城市的快速输配线路,POI 要素也主要沿这些线路向外围蔓延。因此,还应提升交通设施建设的力度,以公共交通为主体,以轨道交通为骨干,形成完善而高效的客运交通网络,提高城市副中心的可达性,使其产生更强的聚集能力,缓解核心城区的压力。

5 结论与展望

本文利用 POI 大数据,对城市功能进行分类和空间连接,并利用核密度分析和热点分析方法,探索城市要素的空间聚集形态和特征,设计依据公众依赖性、空间聚集度和属性特征值来衡量 5 类 POI 要素权重的空间加权叠加分析方法,实现对郑州市主城区总体聚集特征的衡量和城市多中心的识别。

5 类体现不同城市功能的 POI 要素在空间分布形态上均呈现中心集中、沿线蔓延的圈层状空间分布结构,通过局域 Getis-Ord G_i^* 指数法得到的城市热点区域也体现 POI 内密外疏、结构不均衡的特点。

本文对几种空间统计和空间分析的方法做了有针对性的配置和优化,但存在一些不足之处,如 POI 数据为近几年产生的新型数据,难以获取更长时段同类数据用于时空演变分析,因此城市多中心结构的演化过程分析还需通过其他类型的数据和方法来实现。另外,虽然 POI 数据定位准确,但无法体现对应面状目标的空间范围,同时存在缺乏统一规范的分类标准和属性信息不够全面的问题,在进行数据处理或空间分析时,会对定量分析的准确度产生影响。因此,如何通过 POI 大数据采集、处理和分析的方法探索城市多中心结构的演化过程和发展趋势,还需进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 王旭辉,孙斌栋.特大城市多中心空间结构的经济绩效——基于城市经济模型的理论探讨.城市规划

- 学刊, 2011(6): 20-27
- [2] 杨俊宴, 章飙, 史宜. 城市中心体系发展的理论框架探索. 城市规划学刊, 2012(1): 33-39
- [3] 沙里宁. 城市: 它的发展、衰败与未来. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- [4] Harris C D, Ullman E L. The nature of cities. *Annals of the American Academy of Political & Social Science*, 1945, 242(1): 7-17
- [5] Friedmann J, Miller J. The urban field. *Journal of the American Planning Association*, 1965, 31(4): 312-320
- [6] Pred A R. City systems in advanced economies: past growth, present processes and future development options. London: Harvard University Press, 1977
- [7] Taylor P J, Evans D M, Hoyler M, et al. The UK space economy as practised by advanced producer service firms: identifying two distinctive polycentric city-regional processes in contemporary Britain. *International Journal of Urban & Regional Research*, 2010, 33(3): 700-718
- [8] Giuliano G, Small K A. Subcenters in the Los Angeles region. *Regional Science and Urban Economics*, 1991, 21(2): 163-182
- [9] Wachs M, Taylor B, Levine N, et al. The changing commute: a case study of the jobs-housing relationship over time. *Urban Studies*, 1993, 3(10): 1711-1729
- [10] Hall P. Looking backward, looking forward: the city region of the mid-21st century. *Regional Studies*, 2009, 43(6): 803-817
- [11] Hall P, Pain K. The polycentric metropolis: learning from Mega-city regions in Europe. London: Earthscan Publications, 2006
- [12] Green N. Functional polycentricity: a formal definition in terms of social network analysis. *Urban Studies*, 2007, 44(11): 2077-2103
- [13] Burger M, Meijers E. Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity. *Urban Studies*, 2012, 49(5): 1127-1149
- [14] 周振华. 崛起中的全球城市: 理论框架及中国模式研究. 上海: 上海人民出版社, 2008
- [15] 韦亚平, 赵民. 都市区空间结构与绩效——多中心网络结构的解释与应用分析. 城市规划, 2006, 30(4): 9-16
- [16] 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. 地理学报, 2014, 69(12): 1810-1820
- [17] 康盈, 肖礼军. 大都市区空间划分研究方法与技术路线探讨——以重庆市大都市区空间发展研究为例//中国城市规划年会. 北京, 2013: 1-12
- [18] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939
- [19] 赵卫锋, 李清泉, 李必军. 利用城市POI数据提取分层地标. 遥感学报, 2011, 15(5): 973-988
- [20] 李国旗, 金凤君, 陈娱, 等. 基于POI的北京物流业区位特征与分异机制. 地理学报, 2017, 72(6): 1091-1103
- [21] 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于POI大数据的城市零售业空间热点分析——以辽宁省沈阳市为例[J]. 经济地理, 2018, 38(5): 36-43
- [22] 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. 地理研究, 2016, 35(4): 703-716
- [23] 刘彤, 周伟, 曹银贵. 沈阳市城市功能区分布与人口活动研究. 地球信息科学学报, 2018, 20(7): 988-995
- [24] 淳锦, 张新长, 黄健锋, 等. 基于POI数据的人口分布格网化方法研究. 地理与地理信息科学, 2018, 34(4): 89-95
- [25] 徐冬, 黄震方, 吕龙, 等. 基于POI挖掘的城市休闲旅游空间特征研究——以南京为例. 地理与地理信息科学, 2018, 34(1): 59-64
- [26] 郭洁, 吕永强, 沈体雁. 基于点模式分析的城市空间结构研究——以北京都市区为例. 经济地理, 2015, 35(8): 68-74
- [27] 于丙辰, 刘玉轩, 陈刚. 基于夜光遥感与POI数据空间耦合关系的南海港口城市空间结构研究. 地球信息科学学报, 2018, 20(6): 854-861
- [28] 段亚明, 刘勇, 刘秀华, 等. 基于POI大数据的重庆主城区多中心识别. 自然资源学报, 2018, 33(5): 788-800
- [29] Silverman B W. Density estimation for statistics and data analysis. London: Chapman and Hall, 1986