

城市物流中心引力势力范围 及空间交互强度画像分析 ——以郑州市为例*

李欣

河南财经政法大学资源与环境学院 / 城乡协调发展河南省协同创新中心, 河南 郑州 450046

摘要: 识别和分析城市物流中心的影响范围和交互强度, 有利于优化物流要素的空间布局, 对实现物流行业降本增效具有重要意义。本文首先分别利用空间句法和词向量理论, 对引力模型中的综合实力参数和距离参数度量方法进行优化, 将物流要素出行时对空间结构的主观感受和偏好规律, 与物资供需端的空间分布形态相结合, 实现了对城市物流中心的识别, 及其引力势力范围的划分, 然后在此基础上构建复杂网络, 利用边权值呈现了物流中心间的空间交互强度, 最终完成城市物流中心动静形态的画像分析。通过空间统计和实地调查验证发现: ① 从引力势力范围分布来看, 郑州市物流业以市辖区为核心, 东西南三向延伸的空间动静特征, 与规划文件中重点支持的物流建设项目空间分布具有较高一致性, 物资需求端与供给端的空间匹配程度较高; ② 从空间交互关系来看, 除了物资的供需关系, 区域空间可达性对物流要素空间分布也具有较大影响, 通过基础设施和物流要素的规划建设, 可以增强市辖区与周边县市的空间交互强度, 带动城市产业升级, 促进区域共同发展。

关键词: 物流中心; 空间句法; 词向量; 引力模型; 空间交互

中图分类号: K902 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2023)04-0021-11

Analysis on gravitational influence sphere and spatial interaction intensity of urban logistics centers—A case of Zhengzhou city

LI Xin

College of Resources and Environment, Henan University of Economics and Law / Collaborative Innovation Center of Urban-Rural Coordinated Development, Henan Province, Zhengzhou 450046, China

Abstract: Identifying and analyzing the influence sphere and interaction intensity of urban logistics centers is conducive to optimizing the spatial distribution of logistics elements, which is of great significance to reduce costs and increase efficiency in the logistics industry. Firstly, this paper optimizes the measurement methods of comprehensive strength parameters and distance parameters in the gravity model by using the spatial syntax and word vector theory, combining the subjective feeling and preference law of logistics elements on the spatial structure with the spatial distribution form of the logistics supply and demand side, and realizes the identification of urban logistics center and the division of its gravity sphere of influence. Secondly, this paper constructs a complex network and presents the spatial interaction intensity between logistics centers by using chain weight. Finally, the dynamic and static

* 收稿日期: 2022-10-10

录用日期: 2023-01-03

网络首发日期: 2023-05-05

基金项目: 国家自然科学基金(41871159, 41771141); 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(202102310013)

作者简介: 李欣(1981年生), 男; 研究方向: 城市空间大数据挖掘与分析; E-mail: lixin992319@163.com

forms of urban logistics centers are analyzed. Through spatial statistics and field investigation, it is found that: from the view of the distribution of the gravitational influence sphere, Zhengzhou's logistics industry has the spatial dynamic and static characteristics of taking the municipal district as the core and extending from the core to the east, west, and south. These characteristics are highly consistent with the spatial distribution of logistics-construction projects mainly supported in the planning documents. The space matching between the demand side and the supply side is very high. From the view of the spatial interaction intensity, in addition to the supply-demand relationship of materials, regional spatial accessibility also has a great influence on the spatial distribution of logistics elements. The planning and construction of infrastructure and logistics elements can enhance the spatial interaction between the core districts and surrounding areas, drive the upgrading of urban industries, and promote regional development.

Key words: logistics center; spatial syntax; word vector; gravity model; spatial interaction

随着电子商务和外卖配送等新兴产业的快速发展,城市中物流活动的主体正逐步由传统的物流企业,向快递员个体扩展,它们的空间选址规则和出行移动规律,同时受到行业政策、内部竞争和新技术手段的影响(Allena et al., 2012)。因此,需要基于兴趣点和移动轨迹等大数据,利用新技术手段,准确分析城市物流业空间区位现状,为优化城市物流空间布局提供参考依据。

大城市作为物资需求产生地,向来是物流企业和物流节点的重点布局地(Heuvel et al., 2013),政府规划物流用地和企业进行配送中心选址时,均期望取得最优的物资流转效率。在物流业发展早期,物流企业主要承担实体分销或公共服务功能,研究成果如邻近制造产业的配送中心和分销仓库选址问题(刘海燕等, 2000),以及注重社区服务的物流中心空间布局规划问题(Taniguchi et al., 1999; 袁庆达等, 2001)等,此类研究大多基于城市空间尺度,针对特定行业物流中心的选址与布局优化问题进行研究。而随着近些年产业融合和经济一体化,物流业与产业链、供应链、销售链的联系愈发紧密,相关企业和管理部门对探索更加高效运行方式的需求更加迫切。研究成果发现:① 物流企业和节点在空间分布上,呈现总体集中聚集的“极化”现象,和局部沿交通线“蔓延”的空间形态(Dablanc et al., 2012; Sakai et al., 2015);② 物流节点向大城市周边的聚集趋势,使得物流活动的空间组织形式不断产生变化(Dablanc et al., 2014; 曹卫东, 2011);③ 大城市远郊区域的海空港口、高速公路节点和内陆走

廊,逐渐成为物流节点的聚集区域,此空间分布有利于加强与其他地区的物流联系(潘裕娟等, 2012; Verhetsel et al., 2015; Rivera et al., 2016; Rivera et al., 2014)。这些成果大多基于物流园区和物流节点的空间分布,并结合企业运营数据和相关经济统计数据进行分析,从较为宏观的角度,对物流网络线路优化和空间区域联系进行了探索挖掘。

随着快递、外卖、跑腿等新兴应用场景的爆发式增长,物流行业的业务范围和运营模式产生了较大变化,先进的信息技术和大数据技术的应用愈发广泛,从海量的兴趣点POI和轨迹数据中挖掘物流业空间区位特征,能够更加准确地体现物流行业的实际运行状态。研究成果如,利用POI数据分析物流及相关行业的热点聚集特征、空间区位特征及分异机制(李国旗等, 2017; 于丙辰等, 2018),利用社会网络分析方法或标准差椭圆方法分析城市物流空间发展格局及演化机制(叶士琳等, 2018),利用轨迹数据分析城市交通热点区域和空间交互规律(李欣, 2019; 秦昆等, 2017; 周博等, 2019)等。此类研究所使用的数据,已逐渐由传统的物流企业和物流节点的空间位置、运营数据和经济统计数据,向POI和轨迹等体现物流终端个体移动规律的数据转变,数据的准确程度和现势性均得到了提高,但在空间聚类或引力分析等分析方法上,还需要针对大数据的特点,根据应用需求进行有针对性的改进。

本文拟利用多源大数据,使用空间句法和词向量理论,对引力模型参数进行改进修正,以分析城市物流中心的引力势力范围和空间交互特征,

通过定量分析和定性评价展现城市物流业的发展态势，为优化城市物流业协调发展提供参考依据。

1 研究区域与数据源

1.1 研究区域

郑州市(除市辖区外，还下辖新郑市、新密市、荥阳市、中牟县、巩义市和登封市)作为中原城市群的核心城市，凭借地理中心优势，已成为重要的国家物流枢纽中心，已建成的交通设施除了四通八达的高速公路网络，还包含米字型高铁网络和航空港经济试验区，此类交通基础设施的建成与完善，极大地增强了郑州市与外部的联系，为发展现代物流业奠定了坚实的基础。根据政府印发的《郑州市国土空间总体规划(2020—2035年)》、《河南省物流业转型发展规划(2018—2020年)》和《郑州市人民政府加快现代物流业转型发展的实施意见》，需要大力加强物流园区建设，发展创新技术业态模式，推动物流降本增效。因此，基于新型大数据对郑州市物流行业的空间区位特征进行研究，具有较为重要的理论和实践意义。

1.2 数据来源

本文使用的数据除了包括传统的人口、经济、统计年鉴和道路交通数据之外，还包括物流兴趣点POI数据和物流轨迹数据等。

参考国家标准《物流术语》(GB/T 18354-2021)和《物流企业分类与评估指标》(GB/T 19680-2005)，结合徐寿波(2007)对物流要素的分类理论，将物流要素分为物流节点、物流企业和物流相关设施3大类。物流节点体现为承载物资的空间场所，包含物流园区、配送中心、物流中心和货运场站4个子类；物流企业是物流活动的执行主体，包含仓储运输、货运代理、快递邮政和综合物流4个子类；物流相关设施主要指与物流活动关系密切的单位和设施，包含海陆空港口、海关、综合市场和工业园区4个子类。图1为郑州市物流要素空间分布图。

物流轨迹数据包括县区内轨迹(短途)、跨县区轨迹(中途)和跨市域轨迹(长途)，本文主要研究中短途物流轨迹形成的市域范围内空间交互规律。2019年初郑州市为市民电动自行车和快递物流车辆免费上牌并安装防盗定位设备，利用交通综合管理系统采集的物流车辆轨迹，即可挖掘市域内或跨县区的短途物流车辆的空间交互

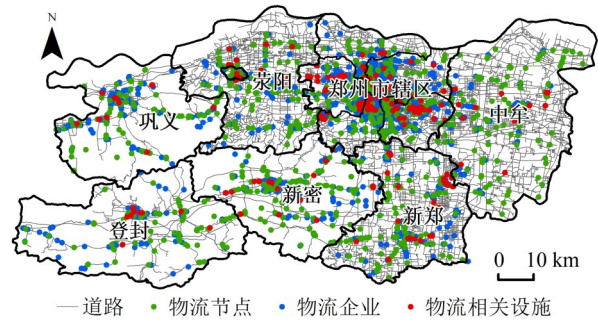


图1 郑州市物流要素空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of logistic elements in Zhengzhou

规律。

2 研究方法

2.1 Huff引力模型及其参数优化思路

研究方法分为数据处理、引力模型参数优化计算、物流中心空间形态画像分析等3部分，技术路线如图2。首先借鉴空间句法和词向量理论对引力模型参数进行优化，通过引力分析识别物流中心，并划分其势力范围，从静态角度揭示城市物流空间聚集分布形态，然后以此为基础引入复杂网络理论中的边权值，从动态角度揭示城市物流的空间交互规律，全面展现和评价物流业在城市中的发展现状。

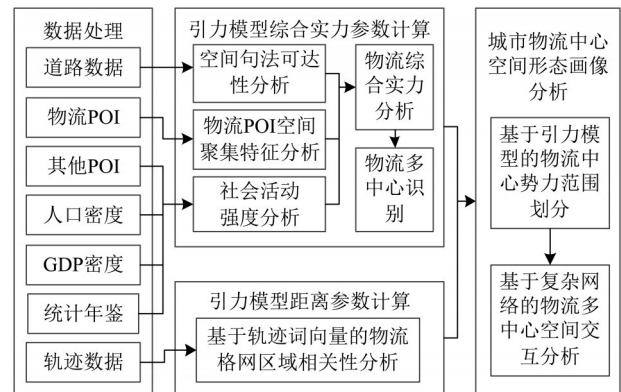


图2 技术路线

Fig. 2 Technical route

Huff引力模型(Huff et al., 1962)通过概率计算，模拟了城市某一区域对其他区域的吸引强度。城市物流中心是人车物集散的枢纽节点，可以通过引力分析较好呈现其空间分布形态。模型公式为

$$P_{ij} = \frac{S_j T_{ij}^{-2}}{\sum_{j=1}^n S_j T_{ij}^{-2}}, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, \quad (2)$$

式中 P_{ij} 为区域 i 是物流中心 j 的势力范围的概率; S_j 为物流中心 j 的综合实力值; T_{ij} 为区域 i 到物流中心 j 的距离; α 为距离衰减系数, 经研究验证其值可取 2.5(丁亮等, 2020); n 为物流中心个数。

式(2)中的变量 S_j 和 T_{ij} , 针对物流中心的空间形态分析, 二者的计算方法还存在优化的空间。综合实力参数 S_j , 以往成果大多建立了仓储面积、运力资源、运输结构和运输时效等评价指标体系(任为等, 2011), 但此类指标仅面向相对微观的单个物流企业, 物流要素在空间上的分布形态、区位特点和可通达性均难以准确体现。因此, 本文拟构建城市物流中心综合实力评价体系, 引入空间句法理论和层次分析法对各类指标进行计算, 可视化呈现物流综合实力空间分布形态。

对于距离参数 T_{ij} , 常用取值方式包括欧氏空间距离(甘霖等, 2016)、网络空间距离(许培源等, 2015)以及衍生出的移动耗费时间等, 但此类方式仅与空间位置、路网结构和交通工具相关, 物流个体的移动偏好规律等体现吸引强度的信息并未考虑在内。本文拟借鉴词向量理论, 将物流轨迹的空间位置信息、分段结构和上下游关系统一以词向量形式表达, 将其向量范数作为引力模型距离参数 T_{ij} , 实现更加准确的物流中心引力分析。

2.2 物流中心综合实力参数优化和度量方法

物流综合实力评价指标体系, 包括社会活动强度、物流要素空间分布和空间可达性 3 大类指标, 通过确定权重、格网划分、数据链接和空间加权叠加后, 可揭示物流综合实力静态空间分布形态。表 1 为利用层次分析法求得的各指标权重。

表 1 物流综合实力评价指标及其权重

Table 1 The comprehensive strength evaluation indexes of logistics and their weights

一级指标	二级指标	权重
社会活动强度空间分布	人口空间分布	0.109 3
	GDP 空间分布	0.117 9
	POI 要素空间分布(物流类除外)	0.106 1
物流要素空间分布	物流节点	0.062 7
	物流企业	0.251 7
	物流相关设施	0.018 9
空间可达指标	空间句法可达性	0.333 3

社会活动强度空间分布指标, 可以间接体现某区域内社会活动对物资的需求量, 即需求端的消耗量。二级指标人口和 GDP 空间分布数据, 从中国科学院资源环境科学与数据中心获取, POI 要素的空间分布, 可利用局域 Getis-Ord G_i^* 指数法(陈蔚珊等, 2016)对各类 POI 要素进行热点分析, 通过加权叠加综合呈现社会活动强度的空间分布状态。

物流要素空间分布指标, 体现了 3 类物流要素在某区域内的物资供给能力, 即供给端的提供量。结合物流要素的类型、等级、仓储面积、集散能力和服务范围等, 对其进行综合能力评分, 再对 3 类物流要素进行热点分析, 综合能力强且在空间上聚集分布的区域, 即为物流要素聚集热点区域。

空间可达指标, 体现了需求端和供给端联系的便利程度, 也是本文改进重点。以往研究(Kesumsook et al., 2010; 王成金等, 2014; 李一曼等,

2014)主要考虑了客观存在的城市或道路的空间结构, 而未考虑人在出行时的主观选择。因此本文借鉴空间句法理论(比尔, 2008; 江斌等, 2002; 张安琪等, 2018), 在兼顾人对空间结构主观感受的同时, 实现空间可达性的定量分析。

空间句法整合度的含义是拓扑空间中某区域到其他区域最短路径之和的倒数, 公式为

$$\text{Integration} = \frac{n(\log_2 \frac{n+2}{3} + 1)}{(\text{MD} - 1)(n - 1)}, \quad (3)$$

式中 MD 为某区域平均深度值(拓扑空间中两相邻区域的深度值计为 1), n 为区域总数, Integration 为该区域整合度, 值越大可达性越高, 可利用 DepthMapX 软件进行整合度分析。

而城市中某区域的可达性与合围该区域的路段密切相关, 进行空间格网划分后, 某格网单元的可达性 SSA(space syntax accessibility), 可根据

其周围路段整合度进行计算，

$$SSA = \max \{ \text{Integration}_i^{1 - \frac{d_{ij}}{D_i}} \}, \quad (4)$$

式中 Integration_i 为路段 i 的整合度， d_{ij} 为路段 i 到格网 j 的欧氏距离， D_i 为路段 i 影响半径。图3为路段对格网单元可达性影响示意图。

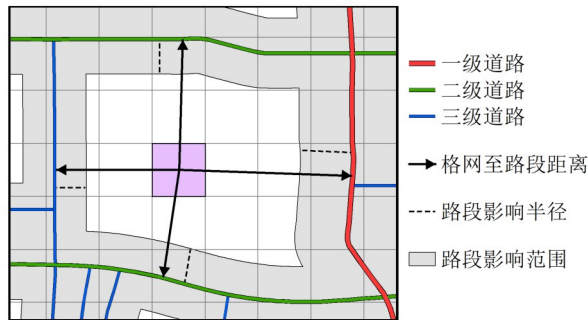


图3 路段对格网单元可达性影响示意图

Fig. 3 The influence of road section on the accessibility of grid cells

通过此方法可求得每个格网单元的空间句法整合度，即评价指标中的空间可达指标，与其他指标进行空间加权叠加后，即为以格网为空间单元的物流综合实力空间分布分析结果，也可以将其作为综合实力参数代入引力模型进行后续分析。同时，依据物流综合实力空间分析可视化结果，结合郑州市物流业规划文件，及物流要素在城市中的实际发展状态，可以进行物流中心识别，为其引力势力范围划分建立基础。

2.3 物流中心引力距离参数优化和度量方法

进行物流中心空间分布形态识别后，即可利用物流轨迹和词向量理论，计算引力模型距离参数 T_{ij} ，继而实现物流中心引力分析及其势力范围划分。

词向量技术 (Bengio et al., 2000) 原本是表达自然词句的上下文关系，实现计算机对语义理解

的数据挖掘技术。而轨迹与词句一样存在分段和上下游的特征(刘康等, 2017)，因此可以构造轨迹与词句的类比关系，分析其在空间上的相关关系。本文除了利用轨迹词向量完整描述其位置方向、分段结构、上下游信息和偏好规律，还通过向量范数计算和统计求和，表达物流中心与其他研究区域之间的空间相关性，由于其具备距离含义，因此可以作为引力模型距离参数 T_{ij} 参与后续引力势力范围分析。基于词向量的物流区域相关性度量方法，流程如图4。

1) 训练语料库。首先对物流轨迹点进行筛选、纠偏和路网匹配，按定位时序生成轨迹后，再依据路网拓扑进行分段，然后基于轨迹与词句的类比关系，利用 Python 工具包 Gensim 训练轨迹语料库，其中包含所有轨迹段的标识和实数向量。

2) 计算轨迹起讫点相关性。基于语料库可计算任意轨迹段与其他轨迹段的余弦相似度，该值反映了轨迹段之间上下游相关性的高低。对于整条物流轨迹，可对其包含的子轨迹段词向量求和，得轨迹句向量，其向量范数即为整条轨迹起讫点之间的相关性。

3) 计算物流中心区域相关性。筛选“起点在格网单元 j 内，且终点在物流中心 i 邻域内”的所有轨迹，并对其向量范数求和，可得格网 j 与物流中心 i 的相关性度量值，即距离参数 T_{ij} 。

2.4 物流中心引力势力范围划分和交互强度分析

综合实力参数 S_j 和距离参数 T_{ij} 计算完毕后，即可实现 Huff 引力模型的典型应用势力范围划分，以格网为空间单元，计算其属于某个物流中心的概率，再引入绝对势力范围的概念(丁亮等, 2017)(概率最大，且高于0.27)，即可完成物流中心势力范围划分，较为准确呈现物流中心空间结构的实际演化状态和影响范围。

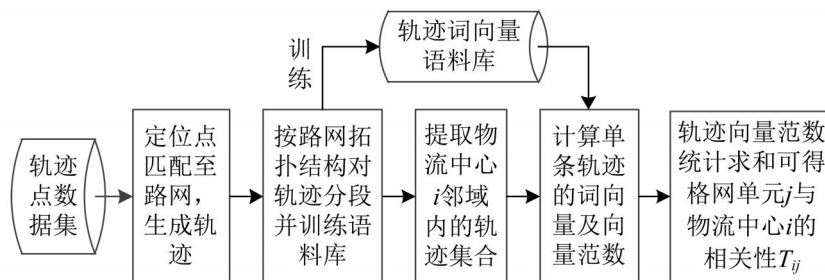


图4 基于词向量的区域相关性计算方法

Fig. 4 Regional correlation measurement method based on word vector

另外, 物流中心之间的动态交互强度也是刻画城市物流业现实发展状态的重要方面。复杂网络理论是一种研究复杂系统拓扑性质和统计特征的理论, 可以反映要素间的空间交互关系。以识别出的物流中心为节点, 跨势力范围的物资流动为网络连接, 构建有向加权交互网络, 对物流轨迹进行分类空间统计, 可得网络边权值。设 v_i 和 v_j 为物流网络中的节点, 划分势力范围后, 计算“节点 v_i 对节点 v_j 势力范围内所有格网单元引力强度均值”, 得到两者间的单向边权值, 可反映了某物流中心对其势力范围之外区域的吸引能力, 即不同物流中心之间的联系紧密程度。

3 实验与分析

3.1 物流中心综合实力参数测定

对3种社会活动强度二级指标数据进行空间加权叠加后, 得到的2015年和2021年郑州市社会活动强度空间分布形态(图5), 体现了社会活动对物资的需求量。可以看出, 经过6年时间发展, 郑州市各区县的社会活动强度均有提高, 市辖区

和新郑市尤为明显, 原因在于, 在国家中心城市政策的支持下, 城市产业升级带动了经济的发展, 城市吸引力不断增强, 除了人口之外, 还吸引了各类产业和资源向城市聚集, 同时航空港经济试验区位于新郑市, 结合城市总体规划多中心城市的建设方案, 港区的发展及其和主城区之间的互联互通, 成为城市发展的重要方向。

对物流节点、企业及相关设施3类要素进行空间加权叠加后, 得到的2015年和2021年综合物流要素空间分布形态(图6), 体现了物资供给端的供给能力。经统计, 物流要素空间分布密度高值区域占比, 从11.93%(2015年)提高到了19.88%(2021年), 这主要得益于省市市政府关于物流业发展的政策支持, 以及受到社会活动对于物资需求的带动, 3类物流要素均呈现良好的发展态势, 尤其是物流规划中涉及的重点园区, 对物资产生了明显的聚集效应, 提升了物资供给能力。

对于空间可达性指标, 对城市路网进行整合度分析可得图7(a), 然后结合格网单元与周边路段的距离、路段属性和整合度, 即可计算格网单

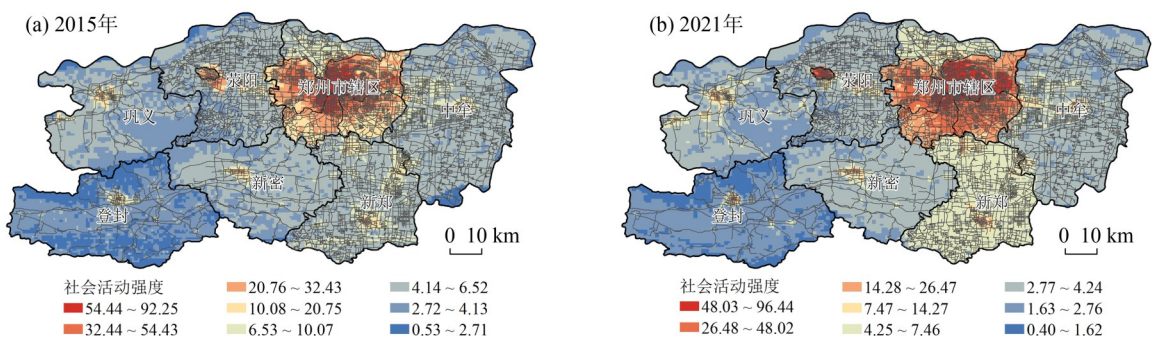


图5 社会活动强度空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of social activity intensity

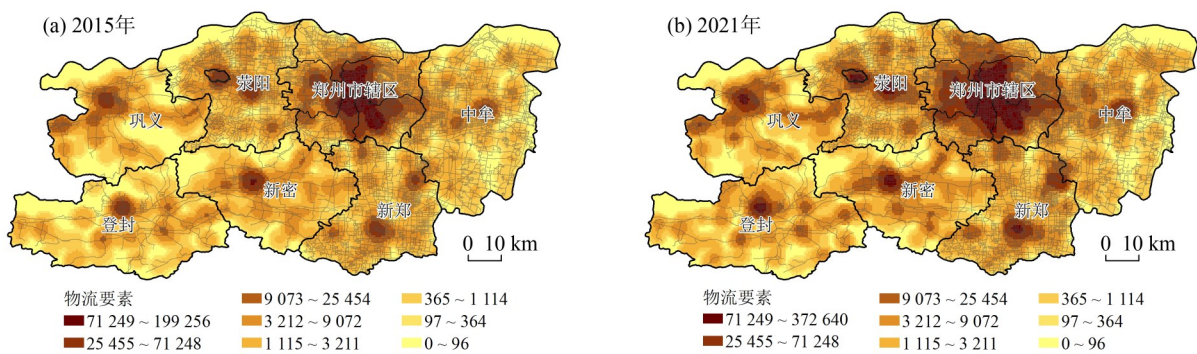


图6 物流要素空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of logistics elements

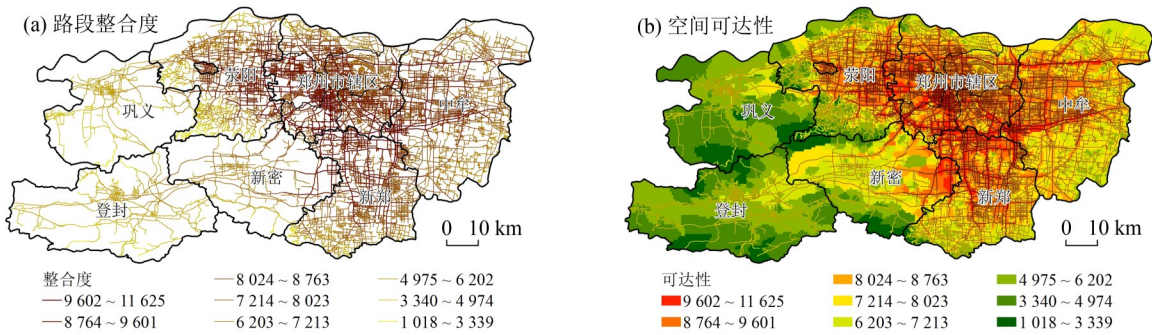


图7 空间句法可达性分析

Fig. 7 Spatial syntactic accessibility analysis

元的空间句法可达性 SSA，分析结果如图 7(b)，它体现了物资需求端和供给端联系的便利程度。可以看出，宏观上郑州市市辖区及东西南 3 个方向社会活动频繁、路网密集的区域可达性更高，微观上较长且平直的城市主干道和快速路可达性更高，而空间距离较远的新密市、巩义市和登封市可达性相对较低。利用轨迹数据进行空间统计验证，可以发现实测轨迹流量大小与区域可达性高低一致性较高，符合物流车辆移动时对路径的选择规律，也较好地体现了人对空间结构的主观感受。

对社会活动强度、物流要素空间分布和空间可达性指标的分析结果进行空间加权叠加，可得物流综合实力空间分布，同时结合物流要素的实地分布进行物流中心识别，共识别出 21 个物流中

心，如图 8(图中字母见表 2)。对物流中心邻域内的综合实力均值进行空间统计并划分等级，如表 2。

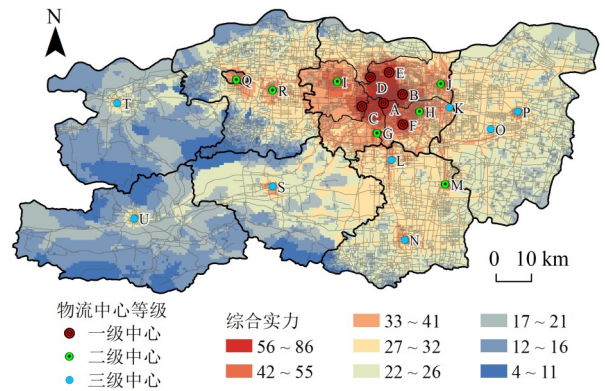


图8 物流综合实力分析与多中心识别

Fig. 8 Analysis of logistics comprehensive strength and identification of multi-centers

表2 郑州市辖区物流中心综合实力等级

Table 2 Comprehensive strength level of logistics centers in Zhengzhou city

所属区划	物流中心	综合实力	等级	所属区划	物流中心	综合实力	等级
郑州	A 二七广场	75	1	新郑	L 龙湖镇	33	3
	B 郑东新区	72	1		M 航空港经济综合试验区	42	2
	C 碧沙岗	61	1		N 新郑市	34	3
	D 信基建材市场	59	1	中牟	O 万邦农产品物流园	28	3
	E 郑州北站	60	1		P 中牟县	33	3
	F 金岱产业集聚区	56	1	荥阳	Q 上街区	41	2
	G 百荣世贸商城	44	2		R 荥阳市	38	2
	H 河南保税物流中心	45	2	新密	S 新密市	34	3
	I 高新技术开发区	48	2		巩义	T 巩义市	28
	J 龙子湖高校园区	40	2	登封		U 登封市	28
	K 郑州国际陆港	35	3				

从整体上看,郑州市市辖区物流综合实力最强,中牟县、新郑市和荥阳市由于环绕市辖区,其综合实力次之,而新密市、巩义市和登封市空间距离较远,综合实力较弱。

从局部上看,①除了人口和城市要素聚集的核心城区之外,政府规划中重点支持的物流聚集区(如D、F、G、H、K、M和O)均被识别出来,识别准确度较高;②识别出的一级和二级物流中心大多集中在市辖区及邻近区域,且空间位置较为接近,此类物流中心周边社会活动强度高(物资需求旺盛),物流相关要素聚集(物资供给充沛),空间可达性高(需求端与供给端联系便利);③三

级物流中心主要在外围分布,除了人口、经济、城市或物流要素的空间分布会对其综合实力产生影响之外,空间可达性也会产生较为显著的影响。通过以上分析,即完成了物流中心的综合实力参数 S_j 的定量化计算。

3.2 物流中心距离参数测定

通过轨迹词向量计算和向量范数统计求和,可求得21个物流中心与所有格网单元的词向量相关性矩阵,由于此相关性是利用具有长度意义的向量范数计算得来,因此可以将其作为距离参数 T_{ij} 引入引力模型参与后续引力分析。图9为分别从3个等级中选取的较为典型的物流中心(一级A,二级M和三级S),实现词向量相关性可视化分析。

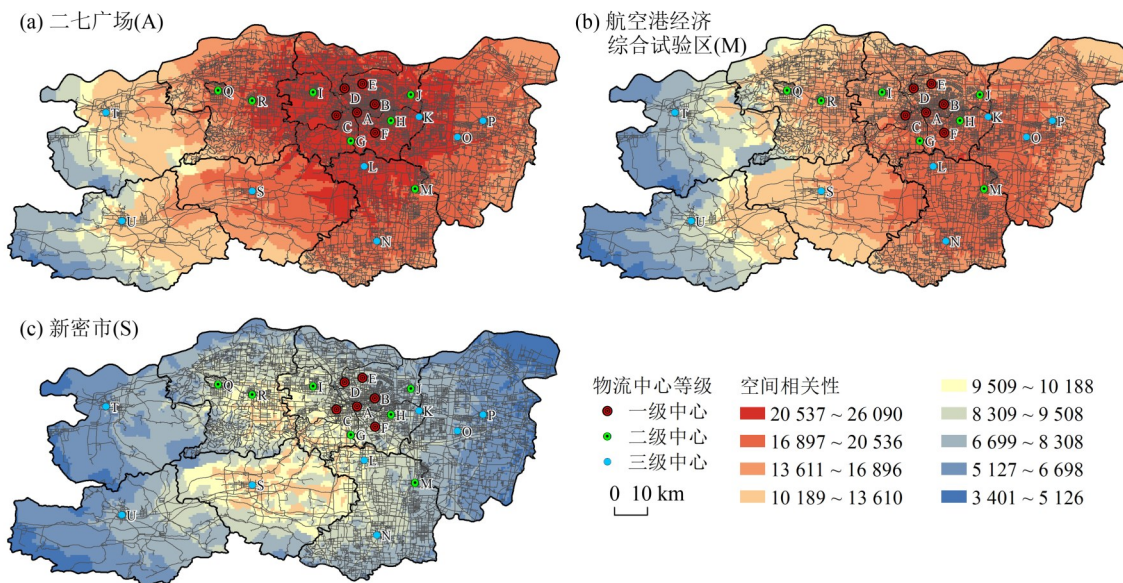


图9 物流中心区域相关性分析

Fig. 9 Regional correlation of logistics centers

可以看出:①各个等级物流中心的区域相关性差异较大,综合实力强、等级高的物流中心与周边区域的相关性明显高于低等级物流中心,因此利用社会活动强度、物流要素空间分布和空间可达性求得的物流中心综合实力,与区域相关性存在正相关关系;②各个物流中心的区域相关性总体呈现内高外低的环状分布,符合地理学的空间邻近性原则,但同时相关性高值区域呈现出向郑州市市辖区倾斜的趋势,这说明人口和城市要素高度聚集的市辖区,仍然是物流要素空间交互的主要方向;③相关性高值区域还呈现出较为明显的沿路网延伸的空间形态,说明对于物流行业,

相关移动要素所呈现的动态空间特征与路网结构关系密切,也应利用科学的方法准确表达。

3.3 物流中心势力范围分析

两种重要参数 S_j 和 T_{ij} 计算完毕后,即可代入引力模型实现势力范围分析,综合呈现物流中心的吸引能力和影响范围。图10为利用优化参数引力模型划分的物流中心势力范围。可以发现通过对引力模型参数的优化,将物流要素的主观移动偏好规律和空间相关性的倾斜趋势,更加充分地体现了出来,经过实地调查和空间统计验证,可以认为其引力势力范围具有较高准确性。

通过分析各级物流中心势力范围的空间分布

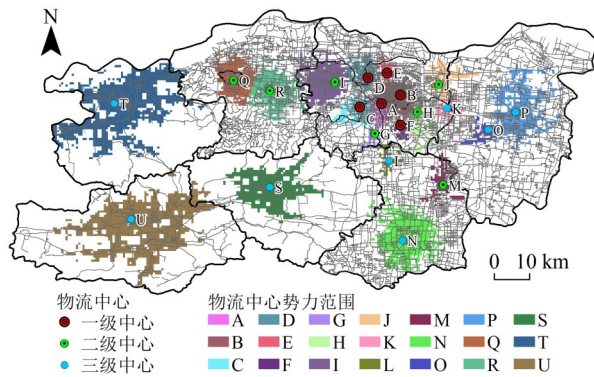


图10 物流中心势力范围

Fig. 10 Influence spheres of logistics centers

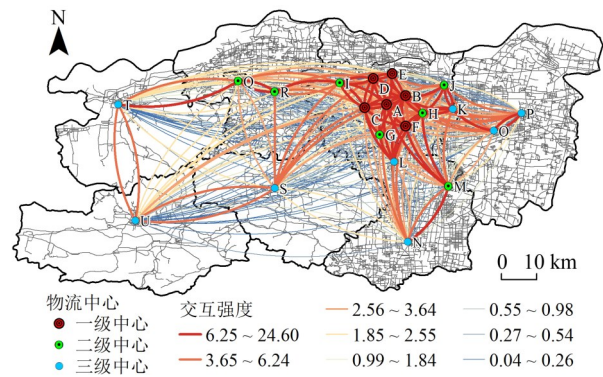


图11 物流中心空间交互强度

Fig. 11 Spatial interaction intensity of logistics centers

规律，可以发现：① 总体上看，物流中心势力范围符合地理学的邻近相关性原则，虽然少量格网单元并非属于空间距离最近的物流中心势力范围，但这也恰恰反映了不同物流中心吸引能力的差异，社会活动强度、物流要素分布和空间可达性均会对其空间吸引力产生影响；② 一级和二级物流中心主要集中在郑州市市辖区及邻近区域，虽然其具备较高的综合实力，以及和周边区域较强的空间相关关系，但势力范围面积相对较小，原因在于，主城核心区域人口聚集经济发达，对于物资的需求量大，同时位于供给端的物流要素也呈现聚集分布的形态，以保证供需平衡，而各类要素的聚集造成了物流中心势力范围在空间上的挤压和争夺；③ 三级物流中心主要分布在外围县市，势力范围面积较大，且呈现沿路网延伸的形态和向市辖区倾斜的趋势，原因在于，其空间位置较远，几乎不受核心城区挤压效应的影响，而且由于物流业具有明显的动态运输特征，因此与路网结构的相关程度较高，并呈现出与市辖区较强的空间联系。

3.4 物流中心空间交互强度分析

基于物流中心势力范围，可以利用复杂网络理论，计算物流中心节点之间的双向网络边权值，再通过分级可视化，即可呈现物流中心之间空间交互的联系紧密程度。图11为物流中心空间交互强度。

从整体上看，以市辖区为核心，东西南3个方向是物流中心空间交互的主要方向，而且等级较高、空间距离较近的物流中心之间的交互强度也相对较大。物资流动源于需求与供给，以及供需之间联系的便利程度，前文计算物流中心综合实力时的3类评价指标，则是对供需量及其相互联系

的量化计算，综合实力较高的区域，其物流中心的交互强度也较大，此态势与规划文件预期基本一致。

从局部上看，一二级物流中心间的交互强度明显高于三级中心，空间距离较近的三级中心之间也存在中等强度的空间交互。例如M航空港经济综合试验区是规划文件中重点支持的物流集散中心，与市辖区一二级物流中心间的联系较为密切，而S新密市、T巩义市和U登封市为距离市辖区较远的三级中心，它们除了相互之间具有中等强度的空间联系之外，与市辖区的空间交互强度明显较弱，这与前文分析的空间可达性和空间相关性指标具有较高一致性。基于引力势力范围分析和复杂网络理论，计算得到的空间交互强度，反映了各个物流中心对自身势力范围之外区域的空间吸引能力，可以较为准确呈现物流中心间空间交互的统计规律。

4 结论与建议

本文设计实现了基于优化参数引力模型的物流中心势力范围分析方法，及其基础之上的物流中心复杂网络空间交互分析方法，对物流综合实力参数、距离参数和网络边权值的度量方法进行了改进。通过分析实验，并且结合对物流要素的静态位置和物流轨迹动态特征的空间统计验证，可以认为本文方法能够将传统的宏观的物流要素空间分布规律，与动态的面向个体的物流要素移动偏好规律相结合，通过引力势力范围分析和空间交互分析，对城市物流行业动静特征的进行准确画像，为现代物流业转型发展中的过程评价和绩效评价提供参考依据，具有一定的理论意义和应用价值。得到如下结论：

1) 从引力势力范围整体分布来看,虽然社会活动强度体现的需求端与物流要素分布体现的供给端,由于受到空间可达性的影响,造就了不同区域物流综合实力的差异,但分析出的物流中心引力势力范围仍然基本覆盖了社会活动强度较高的区域,而从物流中心个体角度来看,市辖区的一二级物流中心物资供需量大,且空间距离较近,因此出现了其实力范围相互挤压的空间特征,外围县市的三级物流中心由于受到主城区吸引,其势力范围则呈现面积较大、沿路网延伸且向市辖区倾斜的特征,总体上物流中心势力范围符合地理学的邻近相关性原则,且识别出的物流中心与规划文件中重点支持的物流建设项目空间分布具有较高一致性,物资需求端与供给端的空间匹配程度较高。

2) 从空间交互整体态势来看,以市辖区为核心,东西南3个方向是物流空间交互的主要方向,而且等级较高、空间距离较近的物流中心之间的交互强度也相对较大,结合《郑州市国土空间总体规划(2020-2035年)》文件中对城市组团与核心板块的设计,以及《郑州市人民政府加快现代物流业转型发展的实施意见》中对物流产业服务体系的规划,也可以看出东西南3个方向是城市产业升级的优先发展方向,本文的分析结果与规划文件的期望基本一致,再从局部上看,例如M航空

港经济综合试验区虽处于核心市辖区外围,但由于受到政策重点支持,电商、快递和冷链物流重点项目均有规划和建设,不但增强了和市辖区空间交互的强度,而且带动了整个新郑市社会活动强度的提高,因此依托已有建设成果,合理规划物流产业空间布局,有利于增强核心城区与周边县市的空间联系,带动周边区域共同发展。

提出的规划建议为:①从空间匹配角度继续完善物流行业空间布局,为物流行业提供科学便利的空间选址服务,提高集散分拨和出行配送的运营效率;②优化道路基础设施配套建设,提升外围区域空间可达性与物资供需的匹配程度,实现物流行业降本增效。

后续还应对以下方面深入研究:①各种社会、人文和自然要素均可能对物流中心综合实力产生影响,因此还应继续探索科学的物流中心综合实力指标体系和评价方法;②本文研究的物流轨迹为中短途轨迹,空间尺度较小,而跨市域的长途轨迹也是物流运输的重要组成部分,还应进一步充实数据,扩大尺度,对分析方法进行修正完善;③本文实现的是对城市物流中心空间动静规律外在表象的分析方法,而形成此规律的内在机制并未深入研究,后续还应从驱动因素角度进行分析,为优化物流要素空间布局提供参考依据。

参考文献:

- 比尔·希列尔, 2008. 空间是机器: 建筑组构理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 曹卫东, 2011. 城市物流企业区位分布的空间格局及其演化: 以苏州市为例[J]. 地理研究, 30(11): 1997-2007.
- 陈蔚珊, 柳林, 梁育填, 2016. 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, 35(4): 703-716.
- 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, (2): 63-70.
- 丁亮, 钮心毅, 宋小冬, 2020. 基于个体移动轨迹的多中心城市引力模型验证[J]. 地理学报, 75(2): 268-285.
- 甘霖, 曹广忠, 冯长春, 2016. 基于引力模型的城市区位潜力测度与区域双核结构刻画——以山东省济-青双核结构为例[J]. 地域研究与开发, 35(5): 60-66.
- 江斌, 黄波, 陆锋, 2002. GIS环境下的空间分析和地学视觉化[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 李国旗, 金凤君, 陈娱, 等, 2017. 基于POI的北京物流业区位特征与分异机制[J]. 地理学报, 72(6): 1091-1103.
- 李欣, 2019. 基于时空切分和词向量相似性的轨迹伴随模式挖掘[J]. 中山大学学报(自然科学版), 58(5): 35-43.
- 李一曼, 修春亮, 孙平军, 2014. 基于加权平均旅行时间的浙江省交通可达性时空格局研究[J]. 人文地理, 29(4): 155-160.
- 刘海燕, 李宗平, 叶怀珍, 2000. 物流配送中心选址模型[J]. 西南交通大学学报, 35(3): 311-314.
- 刘康, 仇培元, 刘希亮, 等, 2017. 利用词向量模型分析城市道路交通空间相关性[J]. 测绘学报, 46(12): 2032-2040.
- 潘裕娟, 曹小曙, 2012. 广州批发市场的供应物流空间格局及其形成机制[J]. 地理学报, 67(2): 179-188.
- 秦昆, 周勃, 徐源泉, 等, 2017. 城市交通热点区域的空间交互网络分析[J]. 地理科学进展, 36(9): 1149-1157.
- 全国物流标准化技术委员会, 2021. 物流术语: GB/T 18354-2021[S]. 北京: 中国标准出版社.

- 全国物流标准化技术委员会等, 2005. 物流企业分类与评估指标: GB/T 19680-2005[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 任为, 林子茵, 2011. 物流企业公路运输能力评价指标体系的构建[J]. 物流科技, 34(11): 103-106.
- 王成金, 王伟, 张梦天, 等, 2014. 中国道路网络的通达性评价与演化机理[J]. 地理学报, 69(10): 1496-1509.
- 徐寿波, 2007. 大物流再论[J]. 中国流通经济, 21(10): 7-10.
- 许培源, 叶丽云, 2015. 基于引力模型的厦漳泉大都市区城市空间结构研究[J]. 地域研究与开发, 34(2): 56-61.
- 叶士琳, 曹有挥, 王佳韡, 等, 2018. 长江沿岸港口物流发展格局演化及其机制[J]. 地理研究, 37(5): 925-936.
- 于丙辰, 刘玉轩, 陈刚, 2018. 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[J]. 地球信息科学学报, 20(6): 854-861.
- 袁庆达, 杜文, 黎青松, 2001. 区域公共物流中心规模和选址问题[J]. 交通运输工程学报, 1(4): 97-100.
- 张安琪, 王海军, 夏畅, 2018. 基于空间句法的道路通达度作用分计算[J]. 地理与地理信息科学, 34(3): 108-113.
- 周博, 马林兵, 胡继华, 等, 2019. 基于轨迹数据场的热点区域提取及空间交互分析——以深圳市为例[J]. 热带地理, 39(1): 117-124.
- ALLENA J, BROWNEA M, CHERRETTB T, 2012. Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form [J]. Journal of Transport Geography, 24(9): 45-57.
- BENGIO Y, DUCHARME R, VINCENT P, et al, 2000. A neural probabilistic language model [J]. Journal of Machine Learning Research, 3(6): 932-938.
- DABLANC L, OGILVIE S, GOODCHILD A, 2014. Logistics sprawl: differential warehousing development patterns in Los Angeles and Seattle [J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2410(12): 105-112.
- DABLANC L, ROSS C, 2012. Atlanta: A mega logistics center in the Piedmont Atlantic Megaregion [J]. Journal of Transport Geography, 24(9): 432-442.
- HEUVEL F, LANGEN P, DONSELAAR K, et al, 2013. Regional logistics land allocation policies: Stimulating spatial concentration of logistics firms [J]. Transport Policy, 30(30): 275-282.
- HUFF D L, HAGGERTY J W, 1962. Determination of intra-urban retail trade areas [J]. Revista Salud Uninorte, 28(3): 411-418.
- KEUMSOOK L, HEE Y L, 2010. A new algorithm for graph-theoretic nodal accessibility measurement [J]. Geographical Analysis, 30(1): 1-14.
- RIVERA L, SHEFFI Y, KNOPPEN D, 2016. Logistics clusters: the impact of further agglomeration, training and firm size on collaboration and value added services [J]. International Journal of Production Economics, 179(9): 285-294.
- RIVERA L, SHEFFI Y, WELSCH R, 2014. Logistics agglomeration in the US [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 59(11): 222-238.
- SAKAI T, KAWAMURA K, HYODO T, 2015. Locational dynamics of logistics facilities: Evidence from Tokyo [J]. Journal of Transport Geography, 46(6): 10-19.
- TANIGUCHI E, NORITAKE M, YAMADA T, et al, 1999. Optimal size and location planning of public logistics terminals [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 35(3): 207-222.
- VERHETSEL A, KESSELS R, GOOS P, et al, 2015. Location of logistics companies: a stated preference study to disentangle the impact of accessibility [J]. Journal of Transport Geography, 42(1): 110-121.

(责任编辑 秦社彩)