

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2025.04.012

<https://xuebao.xaut.edu.cn>

引文格式:童思永,侯海荣,苏振宇.我国西南地区电商物流网络空间结构与形成机制[J].西安理工大学学报,2025,41(4):572-583.

TONG Siyong, HOU Hairong, SU Zhenyu. Spatial structure and formation mechanism for E-commerce logistics network in Southwest China[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2025, 41(4): 572-583.

我国西南地区电商物流网络空间结构与形成机制

童思永^{1,2}, 侯海荣¹, 苏振宇²

(1. 台州市城乡规划设计研究院有限公司, 浙江 台州 318000;

2. 昆明理工大学 建筑与城市规划学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 为探究西南地区电商物流网络的空间结构及其形成机制,基于2022年3月至2022年5月的菜鸟运输市场官网中的快递物流线路数据,运用社会网络分析方法,在县级空间尺度下对地区物流网络的空间结构特征展开分析,并利用QAP回归模型探讨了物流网络空间结构的形成机制。结果表明:西南地区物流网络格局具有显著的层级特征,少数高级别的中心城市构成了地区物流网络的核心枢纽,网络联系整体呈现出以中心城市为核心的“棱形结构”;物流输出区集中在经济较为发达的市区层面,其中中心城市市区的物流输出区属性最为突出,而普通县市则表现出较强的物流输入区属性;四大中心城市市区的物流网络腹地在空间分布上既呈现出基于经济联系的层级特征,又呈现出基于空间邻近的地理区位特征,同时,跨区域分布和空间重叠现象十分明显;人口密度和经济发展水平是西南地区物流网络形成的重要因素,并且随着公路设施的不断完善,空间距离对物流网络的影响将会逐渐减弱,同时,高速铁路的贯通将有利于物流网络的发展。

关键词: 电商物流网络; 空间结构; 形成机制; 西南地区

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2025)04-0572-12

Spatial structure and formation mechanism for E-commerce logistics network in Southwest China

TONG Siyong^{1,2}, HOU Hairong¹, SU Zhenyu²

(1. Taizhou Urban and Rural Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Taizhou 318000, China;

2. Faculty of Architecture and City Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: To explore the spatial structure and formation mechanism for E-commerce logistics networks in the Southwest region, based on the express logistics route data on the official website of Cainiao Transportation Market from March 2022 to May 2022, the social network analysis method was used to analyze the spatial structure characteristics of regional logistics networks at the county-level spatial scale, with the QAP regression model used to explore the formation mechanism of spatial structure of logistics networks. The results show that the logistics network pattern in the Southwest region has significant hierarchical characteristics, with a few high-level central cities forming the core hub of the regional logistics network. The overall network connection presents a "pyramid structure" with the central city as the core. The logistics output areas are concentrated at the level of economically developed urban areas, among which the logistics output

收稿日期: 2024-06-14; 网络首发日期: 2024-11-25

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/61.1294.N.20241125.1634.002>

基金项目: 云南省科技厅基础研究专项面上项目(202201AT070792)

第一作者: 童思永,男,硕士,助理工程师,研究方向为区域发展与规划。E-mail: 1625624119@qq.com

通信作者: 苏振宇,男,博士,教授,研究方向为国土空间规划。E-mail: 3171317965@qq.com

areas in the central urban areas are the most prominent, while ordinary counties and cities show strong logistics input area attributes. The logistics network hinterland of the urban areas of the four major central cities presented both hierarchical characteristics based on economic connections and geographical location characteristics based on spatial proximity in terms of spatial distribution. At the same time, the phenomenon of cross regional distribution and spatial overlap was very obvious. Population density and economic development level are important factors in the formation of logistics networks in Southwest China. With the continuous improvement of highway facilities, the impact of spatial distance on logistics networks will gradually weaken. At the same time, the connection of high-speed railways will be beneficial to the development of logistics networks.

Key words: E-commerce logistics network; spatial structure; formation mechanism; Southwest region

城市网络作为城市间相互联系的空间反映和城市体系的重要表征^[1],是近年来我国学术界的研究热点之一。上世纪 70 年代以来,随着经济全球化进程的加快和现代交通与通信技术的变革,城市间的相互联系变得愈发紧密,吸引了大批学者对此现象的关注。在此背景下,学者 Castells^[2]于 1996 年提出了著名的“流动空间”理论,推动城市与区域的研究视角从以往的城市等级逻辑^[3]迈向城市网络逻辑^[4]。

在实证研究方面,除了基于传统的企业-分支机构数据进行分析外,在交通和通讯网络技术跨越式发展的背景下,各种“流数据”被逐渐运用到城市网络的研究中。作为流空间最直观的空间反映,以航空^[5]、铁路^[6]和公路^[7]为代表的交通流是早期学术界关于城市网络研究的主要内容。随着互联网的普及和大众化,以互联网骨干网络^[8]、网络带宽连接^[9]、互联网搜索引擎^[10]等为代表的信息流成为城市网络研究的重点。大数据时代下,微博签到数据^[11]、手机信令数据^[12]和腾讯迁移数据^[13]等基于个人移动客户端产生的大数据流又为城市网络研究提供了新思路。

近年来,互联网经济的迅速崛起让电商物流业成为我国高速发展的新兴产业,它也为理解和分析城市网络提供了一个重要的动态视角。目前,学术界针对电商物流网络的研究尚处于起步阶段。国家层面上,刘正兵等^[14]基于“第一物流网”数据,分析了我国地级市之间公路货运的网络特征;任梦瑶等^[15]基于我国最大的电子商务平台旗下的零担专线物流数据,在地级空间尺度层面分析了我国物流联系网络的空间格局、城市物流职能分异及其形成机制。地区层面上,现有关于电商物流网络的研究主要集中在以京津冀、长三角和珠三角为代表的东部经济发达地区^[16-18],并在物流网络格局、时空演化和驱动因素等方面取得了丰富的成果。此外,也

有学者开始关注中部地区^[19-20]的电商快递物流网络结构,但对于广袤的西部地区,现有研究仍较为缺乏,尚待进一步探索。

西南地区^①作为我国西部大开发战略的重点区域,区位类型多样、发展空间广袤、人口和资源优势突出。目前,在以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局下,西南地区近年来通过大力投资公路、铁路、机场等基础设施建设,极大地提升了其市场空间和发展潜力,加之拥有成渝城市群、黔中城市群和滇中城市群三大国家级城市群,未来有望成为拉动我国经济增长的重要引擎。基于此,本文以西南地区为研究对象,基于电商快递物流线路数据,运用社会网络分析方法来探究西南地区县级物流网络的空间结构特征及其形成机制。本文一方面丰富了城市网络研究的理论成果,另一方面,通过厘清西南地区各县级单元间的相互联系特征,为促进要素跨区整合和区域一体化发展提供参考。

1 研究区域、方法与数据

1.1 研究区域

本文的西南地区具体包括四川省、贵州省、云南省和重庆市。其中,四川省辖 21 个地级行政单元和 183 个县级行政单元;重庆市辖 38 个县级行政单元;贵州省辖 9 个地级行政单元和 88 个县级行政单元;云南省辖 16 个地级行政单元和 129 个县级行政单元;共计 46 个地级行政单元和 438 个县级行政单元。

为了更精细地测度地级市内部市区在网络结构中的作用,本文将地级市的市辖区进行合并,统一划分为市区,针对一些新撤县设区的空间单元,由于并

① 西南地区在行政区划上包括四川省、重庆市、贵州省、云南省和西藏自治区。为突出研究的地域性,本文的西南地区特指在语言文化和生活风俗等方面更为接近的四川省、重庆市、贵州省和云南省,不包括西藏自治区。

没有完全城市化,故仍将其归类为县市。以昆明市为例,将其所辖的五华区、盘龙区、官渡区、西山区和呈贡区合并为昆明市区,而作为新撤县设区的晋宁

区并不包括在内。通过上述处理,最终得到 33 个市区、42 个县级市和 316 个县(区),共计 391 个县级分析单元(见图 1)。

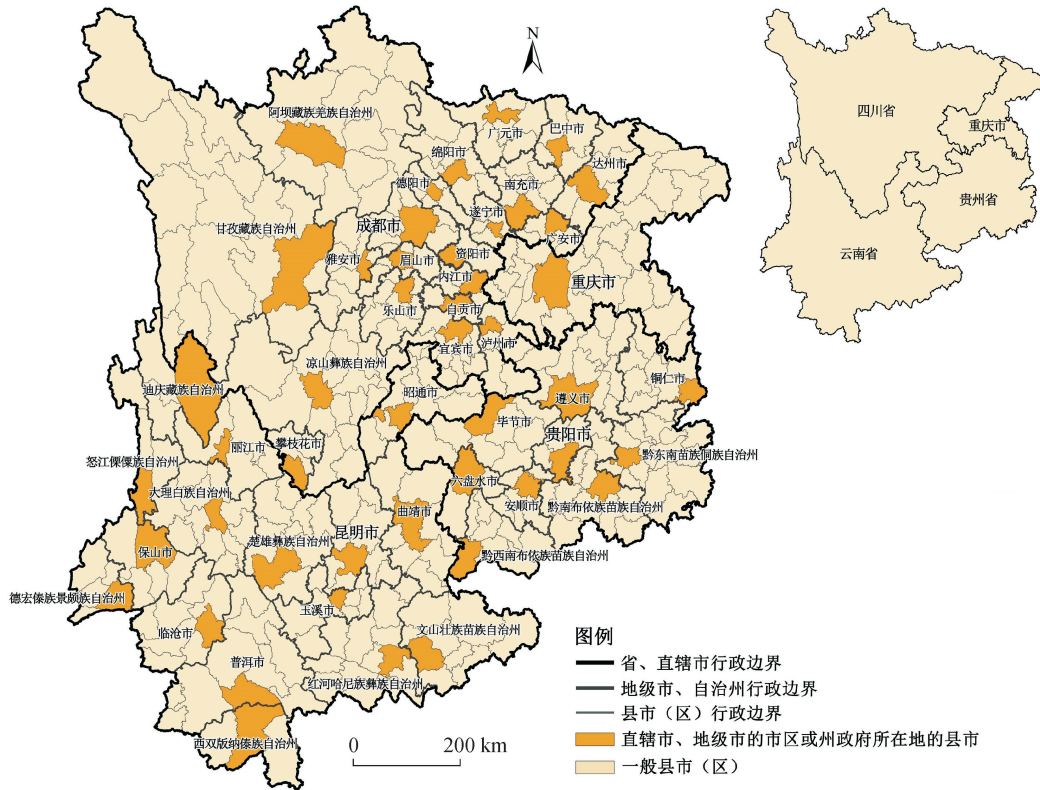


图 1 研究区域

Fig. 1 Research area

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2766 的标准地图制作,底图无修改。

1.2 研究方法

1.2.1 网络构建

以图论理论为基础,构建有向加权物流空间网络。该空间网络以西南地区调整后的县级分析单元为网络结构节点,以两节点间的有向物流线路为连边,以线路数目为权重。

1.2.2 网络关联度

网络关联度是指网络结构中两节点之间物流线路的总和,反映了两节点间的联系强度,其值越大,说明两节点间的物流联系越紧密。计算公式为:

$$P_{ij} \text{ 或 } P_{ji} = P_{i \rightarrow j} + P_{j \rightarrow i} \quad (1)$$

式中: P_{ij} 或 P_{ji} 为节点 i 与节点 j 之间的网络关联度; $P_{i \rightarrow j}$ 为节点 i 到节点 j 的电商物流线路数目; $P_{j \rightarrow i}$ 为节点 j 到节点 i 的电商物流线路数目。

为了便于直观比较,对网络关联度进行标准化处理:

$$p_{\text{new}} = \frac{p - p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}} \quad (2)$$

式中: p 为两分析单元之间的网络关联度; p_{\max} 、 p_{\min} 为网络结构中最大、最小的网络关联度; p_{new} 为处理后的标准值。

采用自然间断法将标准化后的网络关联度划分为 5 个等级。

1.2.3 网络中心度

网络中心度是指网络结构中某一节点与其它所有节点的联系程度,反映了该节点在网络中相较于其他节点的核心程度。在有向网络中,节点网络中心度又包含点入度和点出度两个指标。网络中心度、点入度和点出度的表达式分别为:

$$C(n_i) = C_{\text{in}}(n_i) + C_{\text{out}}(n_i) \quad (3)$$

$$C_{\text{in}}(n_i) = \sum_j^{k-1} r_{ji, \text{in}} (j = 1, 2, 3, \dots, k-1, j \neq i) \quad (4)$$

$$C_{\text{out}}(n_i) = \sum_j^{k-1} r_{ij, \text{out}} (j = 1, 2, 3, \dots, k-1, j \neq i) \quad (5)$$

式中: $C(n_i)$ 为节点 i 的网络中心度; $C_{\text{in}}(n_i)$ 为节点 i 的点入度; $C_{\text{out}}(n_i)$ 为节点 i 的点出度; k 为网络节点单元数; $r_{ji, \text{in}}$ 为从节点 j 到节点 i 的物流线路数; $r_{ij, \text{out}}$ 为从节点 i 到节点 j 的物流线路数。

同样,对网络中心度进行标准化处理:

$$c_{\text{new}} = \frac{c - c_{\min}}{c_{\max} - c_{\min}} \tag{6}$$

式中： c 为分析单元的网络中心度； c_{\max} 、 c_{\min} 为网络结构中最大、最小的网络中心度； c_{new} 为处理后的标准值。

标准化后的网络中心度通过自然间断法划分为 5 个等级。

1.2.4 网络方向分析

Alderson 等^[21]认为,城市网络在具有层级特征的同时,由于城市之间关联的不对称,也表现出显著的方向特征,即向外的辐射特征和向内的集聚特征。为准确把握各分析单元的物流网络方向特征,参考已有研究,采用网络关联方向指数来量化物流网络方向,计算公式为:

$$D(n_i) = \frac{C_{\text{out}}(n_i) - C_{\text{in}}(n_i)}{C_{\text{out}}(n_i) + C_{\text{in}}(n_i)} \tag{7}$$

式中： $D(n_i)$ 为分析单元 i 的网络关联方向指数； $C_{\text{out}}(n_i)$ 为分析单元 i 的点出度； $C_{\text{in}}(n_i)$ 为分析单元 i 的点入度。

$D(n_i)$ 越趋近于 1,说明分析单元 i 在地区物流网络中作为“物流输出区”的对外辐射属性越强； $D(n_i)$ 越趋近于-1,说明分析单元 i 在地区物流网络中作为“物流输入区”的对内集聚属性越强； $D(n_i)$ 越趋近于 0,说明分析单元 i 在地区物流网络中的两种属性相对平衡,属于“物流平衡区”。

1.2.5 网络腹地界定

为揭示和比较网络结构中某些重要节点的核心影响范围,参考文献^[22],采用相对关联度法来界定节点的网络腹地。将节点 i 与网络中其它节点 j 的网络关联度 P_{ij} 与节点 j 的总关联度 N_j 做回归分析,进而分析残差 R_{ij} ,公式如下:

$$P_{ij} = a + bN_j + R_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, k-1, j \neq i) \tag{8}$$

式中： a 为常量； b 为回归系数； k 为网络节点单元数。

如果残差 R_{ij} 为正,则节点 i 与节点 j 之间的网络关联度超过线性回归的估计值,说明节点 j 与节点 i 之间是强关联,反之为弱关联。考虑到各样本的残差间的差异较大,难以界定观测值偏离回归值的程度,本文采用标准残差对节点间的联系强弱进行判断。参考已有研究,将标准残差大于 1 的节点视为节点 i 的强关联腹地单元,介于 0.5 ~ 1 的视为较强关联腹地单元,介于 0 ~ 0.5 的视为一般关联单元,介于-0.5 ~ 0 的视为弱关联单元,小于-0.5 的视为极弱关联单元,共分为 5 个层级,并取前两个层级,即标准残差在 0.5 以上的单元组成节点 i 的网络腹地。

1.2.6 QAP 回归分析法

为避免多重共线性问题,本文采用二次指派程序(quadratic assignment procedure, QAP)来探索物流网络的形成机制。公式如下:

$$F = f(a_1 X_1, a_2 X_2, a_3 X_3, \dots, a_n X_n) \tag{9}$$

式中： F 为电商物流联系强度矩阵； $X_1 \sim X_n$ 为影响因素关系矩阵； $a_1 \sim a_n$ 为回归系数。

根据已有研究,地区的快递物流发展水平与该区的人口规模、经济发展实力和基础设施完善程度密切相关。因此,本文将从这三个方面选取影响因素。人口规模方面,现有文献通常选取常住人口密度或常住人口总量来反映地区的人口规模。考虑到西南地区县级单元之间的行政区划面积差距过大,相较于人口总量,人口密度能更好地消除行政区划面积带来的影响,同时也能更好地反映出地区人口的集聚态势,因此本文采用常住人口密度来反映地区的人口规模。经济发展实力方面,参考已有文献并结合地方政府发布的官方权威性统计数据,选取地区生产总值、城乡居民人均可支配收入和社会消费品零售总额来反映地区的经济发展实力。基础设施完善程度方面,参考已有文献,选取公路网密度,空间距离和高铁、动车直达班次来反映地区的基础设施完善程度(见表 1)。

表 1 电商物流分布的影响因素及指标选取

Tab. 1 Influencing factors and indicator selection in E-commerce logistics distribution

影响因素	指标选取	关系矩阵构建说明
人口规模	常住人口密度/(人·km ⁻²)	两县级分析单元的常住人口密度和矩阵
	地区生产总值/亿元	两县级分析单元的地区生产总值和矩阵
经济发展实力	城乡居民人均可支配收入/元	两县级分析单元的城乡居民人均可支配收入和矩阵
	社会消费品零售总额/亿元	两县级分析单元的社会消费品零售总额和矩阵
	公路网密度/(km·km ⁻²)	两县级分析单元的公路网密度和矩阵
基础设施完善程度	空间距离/km	两县级分析单元的最短公路行驶距离和矩阵
	高铁、动车直达班次/班次	两县级分析单元的高铁、动车直达班次和矩阵

注:和矩阵为基于两县级分析单元统计值之和所构建的矩阵。

1.3 数据来源

本文所用数据主要包括三个部分。一是物流线路数据,来源于阿里巴巴旗下的菜鸟运输市场官网(<https://56.1688.com>)。考虑到物流线路的动态变化,同时为了避开“双 11”、“618”等购物高峰期的干扰,本研究于 2022 年 3 月至 2022 年 5 月共采集了 3 批有效数据,取其平均值作为分析的基础。通过清洗和汇总处理,最终获得县级分析单元之间 152 490 对 O-D 组合,共计 3 693 888 条有向线路数据。二是社会经济数据,来源于西南地区各省和直辖市的 2023 年统计年鉴。三是基础设施数据,其中,公路网密度和县市(区)之间的最短公路距离数据来源于 2022 年 OpenStreetMap 开源地图矢量数据库(<https://www.openstreetmap.ie>);两县级分析单元之间的高铁、动车直达班次数据则来源于盛名时刻表(数据版本为 2022 年 4 月 1 日)。

2 电商物流网络空间结构分析

2.1 网络格局分析

从网络中心度来看,各分析单元的网络中心度与其自身的社会经济和人口规模的宏观格局基本保持一致,并呈现出显著的层级特征(见表 2 和图 2)。

表 2 西南地区物流网络中心度分级数量统计
Tab.2 Classification quantity statistics of logistics network centrality in Southwest China

层级	网络中心度范围	数量/ 个	占比/ %	网络中心 度之和	占比/ %
第一层级	(0.393,1.000]	2	0.51	1.86	43.06
第二层级	(0.088,0.393]	2	0.51	0.73	16.90
第三层级	(0.007,0.088]	44	11.25	0.64	14.81
第四层级	(0.003,0.007]	101	25.83	0.51	11.81
第五层级	≤0.003	242	61.89	0.58	13.43
合计		391	100	4.32	100

成都和重庆作为西南地区城区常住人口规模超过千万的超大城市和首位中心城市,其市区的物流网络中心度位于第一层级;贵阳市区和昆明市区作为西南地区的次级中心城市,是省域范围内人口和经济产业集聚的核心,其物流网络中心度明显高于周边普通县市(区),仅次于成都市区和重庆市区,位于第二层级;虽然第一、二层级的数量占比之和仅有 1.02%,但其网络中心度占比之和却达到了 59.96%。第三层级的县市单元共有 44 个,主要分布在成渝城市群的腹地,其余则分布在以贵阳和昆明两大城市为核心的黔中与滇中地区,这也从侧面

反映出成渝地区是目前整个西南地区的经济活动中心,黔中与滇中地区的经济发展与成渝地区相比仍有较大差距;第四、五层级的县市单元数量为 343 个,广泛分布在地区物流网络的边缘。

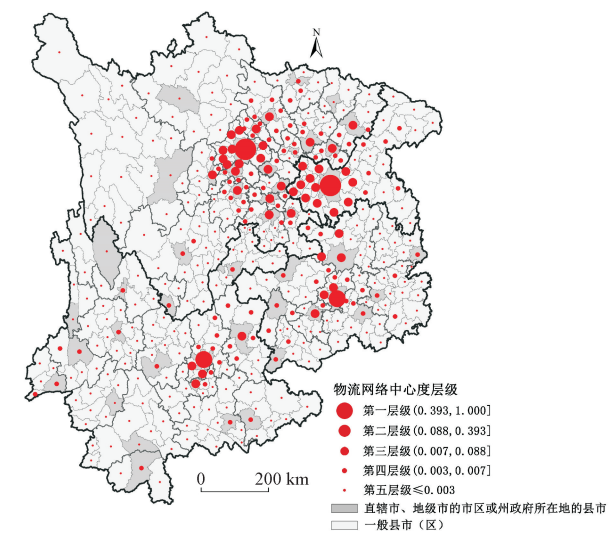


图 2 西南地区物流网络中心度空间分布
Fig.2 Spatial distribution of logistics network centrality in Southwest China

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2766 的标准地图制作,底图无修改。

进一步分析各单元之间的物流网络关联度发现,网络关联度的空间分布与地区社会经济发展格局高度吻合(见表 3 和图 3)。作为地区的首位中心城市,成都市区和重庆市区的物流网络关联度位于第一层级;第二层级的物流网络关联度共有 5 对,分别为成都市区—贵阳市区、成都市区—昆明市区、重庆市区—贵阳市区、重庆市区—昆明市区、贵阳市区—昆明市区;第三层级的物流网络关联度共有 540 对,其中成都市区—其它市(区)和重庆市区—其它市区占了绝大多数,其次是贵阳市区—其它市区和昆明市区—其它市区,再次则是省内主要城市的市区之间形成的关联;第四层级的物流网络关联度共有 863 对,地区首位与次级中心城市的市区与周边县市的关联占据了主导地位;第五层级的物流网络关联度共有 74 836 对,主要包括地区首位及次级中心城市的市区与偏远地区县市的关联和普通县市与普通县市的关联。需要强调的是,尽管前 4 个层级的网络关联数量之和仅占总数的 1.85%,但其关联度之和所占的比例却达到了 30.24%;而第五层级的网络关联数量虽占到总数的 98.15%,但其关联度之和仅占 69.76%。由此可见,各单元之间的物流网络关联度也呈现出显著的层级特征。

表 3 西南地区物流网络关联度分级数量统计
Tab. 3 Classification quantity statistics of logistics network correlation strength in Southwest China

层级	网络关联度范围	数量/对	占比/%	网络关联度之和	占比/%
第一层级	(0.457,1.000]	6	0.01	4.50	2.72
第二层级	(0.213,0.457]				
第三层级	(0.042,0.213]	540	0.71	25.64	15.52
第四层级	(0.009,0.042]	863	1.13	19.83	12.00
第五层级	≤0.009	74 836	98.15	115.26	69.76
合计		76 245	100.00	165.23	100.00

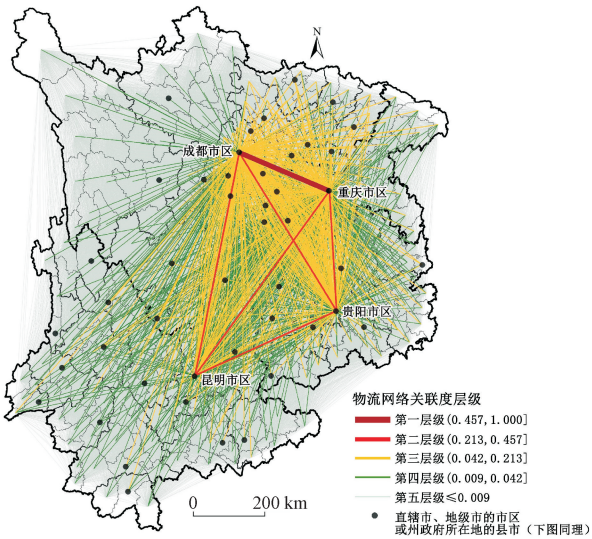


图 3 西南地区物流网络关联格局分析
Fig. 3 Analysis of logistics network correlation pattern in Southwest China

注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2766 的标准地图制作,底图无修改。

在县市单元物流关联网络层级分析的基础上,可将关联网络归纳为 3 种格局类型:1)地区四大中心城市的市区之间形成的关联,位于第一、二层级,构成多核心的关联格局;2)地区中心城市的市区与其它城市的市区和周边县市形成的关联,位于第三、四层级,构成放射状的关联格局,并与多核心的关联格局共同构筑了西南地区物流网络的“棱形结构”;3)普通县市与普通县市之间形成的关联,位于第五层级,构成散乱无序的关联格局。

2.2 网络方向分析

如图 4 所示,物流输出型的县市单元主要分布在成渝地区,其余分布在贵阳和昆明及其周边地区,均依托于区域中心城市的带动,“核心-外围”特征较为明显。作为地区首位中心城市,成都和重庆的市区物流网络方向指数均达到 0.7 以上,物流输出区属性最强,是西南地区最突出的货物输出地;同样作为成渝地区的重要节点城市,绵阳、南充、宜宾、内江和自贡等

城市的市区也表现出较强的物流输出区属性。昆明和贵阳作为地区的次级中心城市,其市区物流网络方向指数均在 0.4 以上,仅次于成都和重庆,是省内范围内物流输出最突出的地区。物流平衡型县市(区)主要分布在成都、重庆的市区周边和德阳、眉山、乐山等地,在昆明和贵阳市区的周边也有一定分布,在空间上与物流输出型县区较为邻近。物流输入型县市(区)数量最多,集中连片分布在远离中心城市的偏远地区,如四川省西部的阿坝州、甘孜州和南部的凉山州以及北部的广元市、巴中市,重庆东北部的巫山县、巫溪县和东南部的西阳县、秀山县,贵州省东北部的铜仁市和南部的黔东南州、黔南州、黔西南州以及西部的毕节市,云南省西北部的迪庆州、怒江州和西南部的临沧市、普洱市、西双版纳州以及东南部的红河州、文山州;其中,又以四川省的阿坝州、甘孜州和云南省的迪庆州、怒江州的物流输入区属性最为突出,在空间分布上最为集中,并且同时位于“胡焕庸线”的西北侧,这也从侧面体现出“线”两侧社会经济巨大差异。

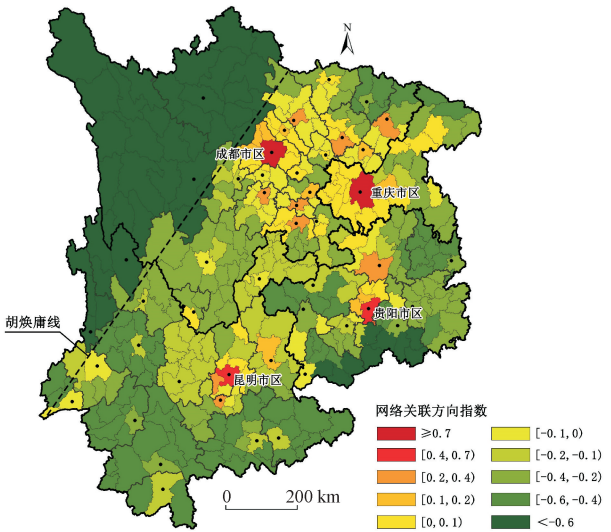


图 4 西南地区物流网络关联方向指数空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of logistics network correlation direction index in Southwest China
注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2766 的标准地图制作,底图无修改。

进一步结合物流网络中心度进行分析(见图 5),可以看出,目前就整个西南地区而言,网络中心度越高,物流输出区属性越明显;网络中心度越低,物流输入区属性越明显。从物流网络中心度来看,成都、重庆、贵阳和昆明四大城市市区的网络中心度在整个地区处于绝对领先水平,均表现出显著的物

流输出区属性,反映出其在物流网络中的核心地位;同样,作为物流网络中心度排名前二十的遵义、自贡、南充、绵阳和内江等城市的市区,同样表现出较强的物流输出区属性。而作为物流网络中心度排名靠后的贡山县、德钦县、香格里拉市、汶川县和马尔康市等县市(区),则表现出显著的物流输入区属性。

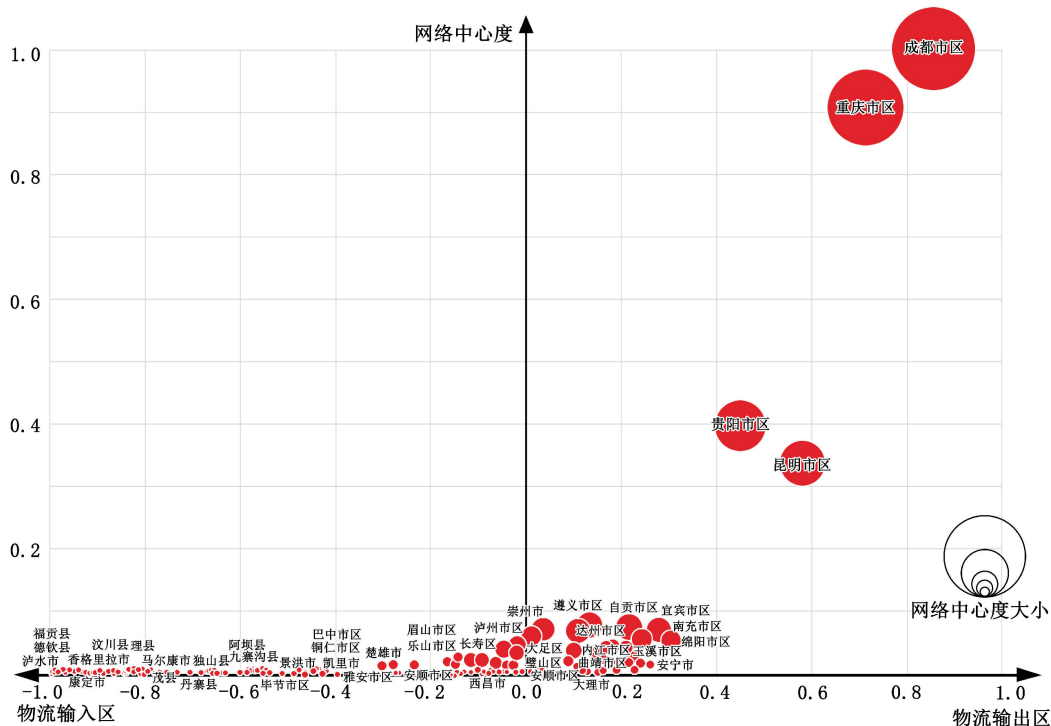


图 5 西南地区物流网络方向与网络中心度分析

Fig. 5 Analysis of logistics network direction and network centrality in Southwest China

2.3 网络腹地分析

根据上文的分析,成都、重庆、贵阳和昆明四大中心城市的市区在西南地区电商物流网络的形成中起到了至关重要的作用;对此,有必要进一步分析其在物流网络中的影响范围,即“网络腹地”,进而分析四大中心城市市区的网络腹地的空间分布特征。基于相对关联度法,本文逐一测度了成都、重庆、贵阳和昆明四大中心城市市区的网络腹地(表 4,图 6)。

首先,成都市区的强关联腹地单元的数量占比为 6.67%,在空间分布上较为分散,除了在本省范围内有所分布,在重庆市、贵州省和云南省均有一定的分布,并且集中在经济较为发达的市区层面,但与之关联最强的重庆市区却不在其中,即存在绝对联系较强但相对联系较弱的网络格局现象;较强关联腹地单元的数量占比为 21.54%,集中分布在成渝地区县市这个层面,其余分散分布在贵阳市区和昆明市周边县市。其次,重庆市区的强关联腹地单元的数量占比为 8.21%,主要集中分布在重庆市东北部和东南部的县区,其余分散分布在成渝地区

的部分市区和县市以及贵州省和云南省的部分市区,同样不包括成都市区;较强关联腹地单元的数量占比为 21.54%,在空间分布上与成都市区较为相似,但与成都市区明显不同的是,重庆市区的网络腹地在黔北地区也有着连片集中的分布,表明重庆市区物流网络核心的影响范围正在突破传统的成渝边界,开始向邻近的贵州延伸。再次,贵阳市区的强关联腹地单元的数量占比为 2.05%,集中分布在贵阳市市区的周边的县市和北部的遵义市区,其余分布在成都市区、重庆市区和昆明市区;较强关联腹地单元的数量占比为 8.46%,集中分布在贵阳市西部的毕节市和北部的遵义市,其余则分散分布在成渝地区和云南省的部分市区。最后,昆明市区的强关联腹地单元的数量占比为 2.56%,主要分布在昆明市区周边的县市和东部的曲靖市区,其余则分布在成都市区、重庆市区和贵阳市区;较强关联腹地单元的数量占比为 10.00%,集中连片分布在以昆明市区为核心的周边县市,其余则分散分布在省内的大理州、普洱市、红河州以及西双版纳州,在成渝地区和贵州省也有少量分布。

表 4 西南地区四大中心城市市区的物流网络腹地单元分级数量统计

Tab. 4 Classification quantity statistics of logistics network hinterland units in the urban areas of the four major central cities in Southwest China

市区	强关联腹地单元/个	较强关联腹地单元/个	一般关联单元/个	弱关联单元/个	极弱关联单元/个
成都市区	26(6.67%)	84(21.54%)	81(20.77%)	134(34.36%)	65(16.67%)
重庆市区	32(8.21%)	84(21.54%)	70(17.95%)	129(33.08%)	75(19.23%)
贵阳市区	8(2.05%)	33(8.46%)	148(37.95%)	86(22.05%)	115(29.49%)
昆明市区	10(2.56%)	39(10.00%)	107(27.44%)	173(44.36%)	61(15.64%)

注:括号外为该类型单元的数量统计,括号内为该类型单元的数量占比。

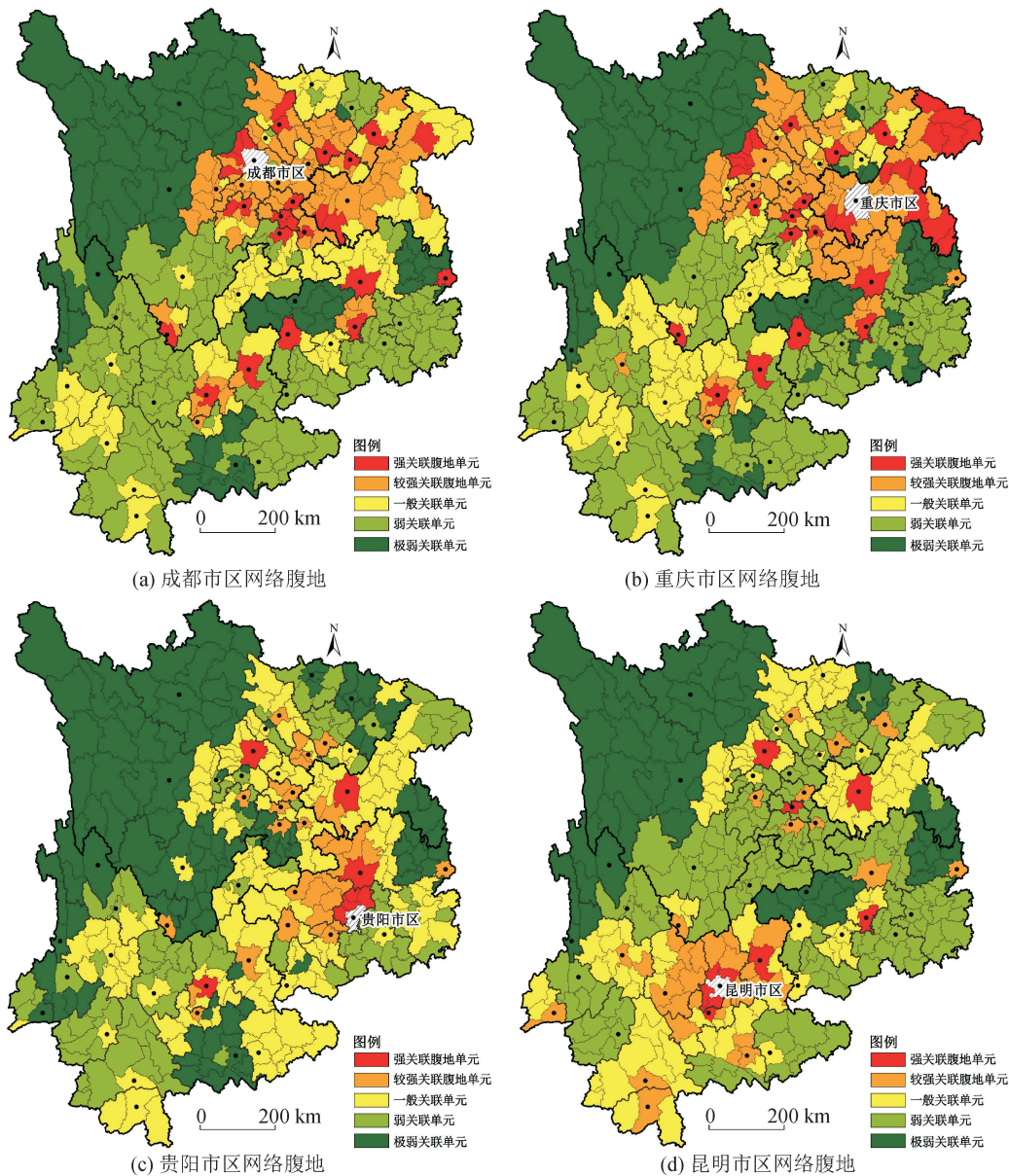


图 6 西南地区四大中心城市市区的物流网络腹地分析

Fig. 6 Analysis of logistics network hinterland in the urban areas of the four major central cities in Southwest China
注:此图基于国家自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS(2023)2766 的标准地图制作,底图无修改。

总体上,结合上述四大中心城市的市区物流网络腹地的空间分布特征,可以看出物流网络腹地在

空间分布上既呈现出基于经济联系的层级特征,又呈现出基于空间邻近的地理区位特征;西南地区四

大中心城市市区的强关联腹地单元大多集中在经济较为发达的市区层面,而较强关联腹地单元则以普通县市居多,体现出经济发展水平与关联强度之间的密切联系;同时,结合四大中心城市市区的周边县市在网络腹地的相对关联程度上表现出的强腹地单元属性,可以看出得益于地理上的空间邻近性,中心城市市区的周边县市相比于更外围的普通县市在与中心城市市区的快递物流联系方面能够获得更多的地域性优势,并且这一点在经济发展稍弱的贵阳市区和昆明市区表现得更为突出。另一方面,不同于传统克里斯塔勒的中心地理论中的“腹地”,流动空间下的“网络腹地”不受行政区经济和空间距离的约束,具有明显的跨区域分布和空间重叠性特征:四大中心城市市区的物流网络腹地在空间分布上均体现出较强的跨省空间联系,空间重叠现象明显,其中,成都市区和重庆市区的网络腹地跨省分布单元数量最多,重叠交织现象也最为显著,在网络腹地的分布上具有较强的相似性。

3 电商物流网络空间结构形成机制

为进一步探讨西南地区电商物流网络空间结构的形成机制,采用 QAP 进行回归分析,得到样本可决定系数 $R^2 = 0.776$,调整后决定系数 $R^2 = 0.794$,这表明所选指标对西南地区电商物流网络的解释力度达到了 79.4%,具有显著的解释水平。

根据表 5,首先,在人口规模方面,人口密度的标准化回归系数(0.314)最高,且通过 0.001 的显著性检验;同时,通过进一步分析网络中心度与人口密度的关系,发现二者的相关系数高达 0.825,即地区物流网络格局的形成与人口密度之间存在高度的相关性。结合全国第七次人口普查数据公报,成渝地区是目前西南地区规模最大的人口分布密集地区,县市(区)单元的人口密度普遍在 400 人/ km^2 以上,人口密度超过 1 000 人/ km^2 的高度密集区则集中分布在成都、重庆、昆明和贵阳的中心城区^[23]。由此可见,地区人口密度高,不仅有利于电商快递产业的集聚发展,而且也带来了巨大的消费需求潜力,因而对物流网络的形成发挥着决定性作用。相比之下,位于“胡焕庸线”以西的川西北、川西和滇西北地区由于人口密度不足 50 人/ km^2 ,使得这些地区对物流网络的形成影响力弱,处于物流网络的边缘区^[23]。

其次,在经济发展实力方面,地区生产总值(0.131)、城乡人均可支配收入(0.111)和社会消费品零售总额(0.068)的标准化回归系数均为正,且通

过 0.1 的显著性检验,综合反映出地区经济发展实力是物流网络形成的重要基础。地区生产总值作为衡量地区经济发展水平的重要指标,能够反映出本地的货物生产能力和居民消费水平,总体上与物流的输出和输入十分密切。跟据官方发布的统计数据,2022 年成都、重庆、贵阳和昆明四大城市市区的地区生产总值分别占当年全省或全市地区生产总值的 30.03%、76.74%、19.63%和 19.28%,远超本省或直辖市范围内的其它县市(区)。并且,通过分析点出度和点入度与地区生产总值的关系,发现二者与地区生产总值的相关系数分别达到了 0.894 和 0.712,均呈现出显著的相关性,但点出度与地区生产总值的相关系数更高,说明地区生产总值对物流输出能力的影响要强于物流输入能力,这也从侧面反映出对物流输出需求较大的货物生产加工产业对地区生产总值的贡献较强,是影响西南地区物流网络的主要因素。城乡居民人均可支配收入从整体上反映了居民的消费能力,是推动居民从潜在购物需求向实际购物转变的重要保障。在西南地区,尤其是以成都市区和重庆市区为核心的成渝地区,居民的收入和消费水平均相对较高,庞大的商品需求刺激了服务产业的日益壮大,也促进了货物的广泛流通和对内输入,使得成渝地区成为西南地区重要的快递物流集散区。社会消费品零售总额主要反映地区城乡居民和社会集团对实物商品消费需求的总量情况。因此,地区社会消费品零售总额较高往往说明该地区的消费市场需求十分旺盛,居民的购物消费水平普遍较高,进而促进了电商物流网络的快速发展。根据官方统计数据,2022 年成都、重庆、贵阳和昆明四大城市市区的的社会消费品零售总额占当年全省或全市社会消费品零售总额的 30.01%、22.80%、34.25%和 24.71%,大幅领先于本省或直辖市内的其它县市(区)。庞大的消费市场带来了地区货物的广泛流通,使成都、重庆、贵阳和昆明四大城市的市区成为电商物流网络的重要节点。

最后,在基础设施完善程度方面,公路网密度的标准化回归系数为 0.069,通过了 0.1 的显著性检验,说明区域公路网密度越高,越有利于物流网络的形成和发展。根据 2022 年 OpenStreetMap 开源地图矢量数据库,成渝地区得益于地处川渝盆地的地形优势和经济发展优势,公路网密度普遍在 0.3 km/km^2 以上,明显高于其它地区;而位于“胡焕庸线”以西的川西北、川西和滇西北地区,由于地形复杂和经济发展水平落后,公路网密度普遍在 0.1 km/km^2 以下,使得这些地区难以支撑高效的货物

流通运转。空间距离的标准化回归系数为-0.012,通过了0.1的显著性检验,说明当前空间距离仍是阻碍物流网络发展的重要因素,但较其它因素,它对物流网络的影响力相对较小,究其原因,近年来西南地区整体的交通运输水平在不断提升,在一定程度上压缩了空间距离、克服了空间摩擦,在提高货物运输效率的同时,降低了货物运输成本。可以预见的是,未来随着交通运输水平和物流运输技术的不断提高,空间距离对物流网络的影响将会进一步降低。高

铁、动车直达班次的标准化回归系数为0.062,通过了0.1的显著性检验,表明高速铁路的贯通将有益于地区电商物流网络的发展,究其原因,不同于传统的客运与货运运输方式,高铁、动车能够实现客货的同时运输,并且相比于传统的长距离公路运输方式,其在运输速度、配送能力和货物安全性等方面具有明显优势。未来,可通过合理利用高速铁路的快速运输能力,推动物流与高速铁路的融合发展,来提高物流运输效率和加快电商物流产业的现代化进程。

表5 西南地区电商物流网络形成因素 QAP 回归分析结果
Tab.5 QAP regression analysis results of factors influencing the formation of E-commerce logistics network in Southwest China

影响因素	变量	标准化回归系数	显著性水平
人口规模	人口密度/(人·km ⁻²)	0.314***	0.000
	地区生产总值/亿元	0.131**	0.002
经济发展实力	城乡居民人均可支配收入/元	0.111**	0.006
	社会消费品零售总额/亿元	0.068*	0.064
	公路网密度/(km·km ⁻²)	0.069*	0.064
基础设施完善程度	空间距离/km	-0.012*	0.073
	高铁、动车直达班次/班次	0.062*	0.071

注:*表示显著性水平 $p<0.1$; **表示显著性水平 $p<0.01$; ***表示显著性水平 $p<0.001$ 。

4 结论及讨论

4.1 结 论

本文通过采集阿里巴巴旗下的菜鸟运输市场官网中的电商物流线路数据,运用社会网络分析方法,在县级空间尺度下分析了西南地区电商物流的网络格局、网络方向和网络腹地,并从人口规模、经济发展实力和基础设施完善程度三个方面对电商物流网络空间结构的形成机制进行了探讨。

1) 无论是各分析单元的物流网络中心度还是分析单元之间的物流网络关联度,均呈现出显著的层级特征。在网络中心度方面,网络中心度与数量之间呈现出“金字塔”式的层级分布特征,“网络中心度-数量”的匹配关系存在明显的极化趋势,四大中心城市(成都、重庆、贵阳和昆明)的市区构成了物流网络的绝对核心枢纽,大量中小城市围绕核心呈现出圈层式的分布,构成“核心-边缘”的空间分布格局。在网络关联度方面,地区中心城市的市区之间的网络关联度位于第一、二层级,构成多核心的关联格局;地区中心城市的市区与其它城市的市区和周边县市的网络关联度位于第三、四层级,构成放射状的关联格局,并与多核心的关联格局共同构筑了西南地区物流网络的“棱形结构”;普通县市与普通县

市之间的网络关联度位于第五层级,构成散乱无序的关联格局。

2) 分析单元的网络关联方向与自身的网络中心度密切相关,网络中心度越高,物流输出区属性越强,网络中心度越低,物流输入区属性越强。目前,西南地区物流输出区集中在经济较为发达的市区层面,其中以四大中心城市市区的物流输出区属性最为突出,而物流输入区则以普通县市居多。由此可见,西南地区物流网络的形成离不开少数核心城市的辐射带动,整个地区缺少高网络中心度的物流输入区,大量中小城市的物流辐射能力严重不足。

3) 物流网络腹地的空间分布既呈现出基于经济联系的层级特征,又呈现出基于空间邻近的地理区位特征;同时,网络腹地不受行政区经济和空间距离的约束,跨区域分布和空间重叠现象明显。另一方面,通过比较四大中心城市网络腹地的空间分布,成都市区和重庆市区的网络腹地跨省分布单元数量最多,重叠交织现象也最为显著,反映出以成都市区和重庆市区为核心的成渝地区内部的物流联系十分紧密,区域物流网络已逐渐走向成熟;而贵阳市区和昆明市虽然也存在跨省分布的网络腹地单元,但数量较少,尚未形成一定规模,且主要集中在本省以内,与成都市区和重庆市区相比,仍存在较大差距。

4) QAP 回归结果显示,人口密度在西南地区电商物流网络的形成中发挥了重要作用,在很大程度上决定了网络节点的中心度。地区生产总值与节点的点出度关系密切,地区生产总值越高,节点的物流输出能力越强;城乡人均可支配收入和社会消费品零售总额从整体上反映了居民的购物能力和消费需求,在刺激服务业发展和促进货物流通方面发挥了巨大作用。在公路设施不断完善的背景下,空间距离对物流网络的影响将会逐渐减弱;同时,相比于传统的陆运运输方式,高速铁路货运运输在运输速度、配送能力和货物安全性等方面优势明显,这将有利益于地区电商物流网络的发展。

4.2 讨论

通过对比已有研究,可以发现西南地区与东部地区的京津冀、长三角和珠三角城市群在物流网络结构方面既存在一定的相似性,也存在较大的差异性。具体来看,相似性主要在于二者的电商物流网络格局均呈现出显著的层级特征,这种非均衡的层级特征主要体现为网络中心度和网络关联度的非均衡分布,其原因在于核心城市的市区因其自身的社会经济和人口规模在物流网络中占据核心地位,与其他普通县市(区)之间存在较大的差距。与相似性形成对比的是,差异性则更多体现在县市(区)之间的发展差距方面;总体来看,东部三大城市群内部县市(区)之间的发展差距要明显低于西南地区,普通县市(区)在物流网络方向上主要体现为低水平的物流输入区和物流平衡区属性,同样也存在部分普通县市(区)表现出显著的物流输出区属性,中小城市的经济发展动力十分强劲。由此可见,与东部地区相比,目前西南地区的发展主要依靠高行政等级的核心城市带动,中小城镇的发展动力明显不足,这与长三角、珠三角和京津冀地区相比,尚存在较大差距。

需要指出的是,本研究仍存在一定的不足。鉴于城市网络研究是以“流动空间”理论为基础,同时考虑到数据的可获取性,本研究选取的是两地之间的电商快递物流运输线路数据,虽然从理论上讲,两地之间货物联系越紧密,相应的运输线路也越多,但相比于两地之间实际的货物成交量,该数据在反映两地之间的物流联系方面稍显逊色,这也是数据自身无法避免的缺陷。随着大数据的不断开放,未来将会有更好的数据源被运用到城市网络研究中,以支撑和推动这一领域的不断发展。

参考文献:

- [1] BERRY B J L. Cities as systems within systems of cities[J]. Papers of the Regional Science Association, 1964, 13(1): 146-163.
- [2] CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Oxford: Blackwell, 1996.
- [3] FRIEDMANN J. The world city hypothesis[J]. Development and Change, 1986, 17(1): 69-83.
- [4] TAYLOR P J. World city network: a global urban analysis[M]. London: Routledge, 2004: 92.
- [5] GOETZ A R. Air passenger transportation and growth in the U. S. urban system, 1950-1987[J]. Growth & Change, 1992, 23(2), 217-238.
- [6] 吴威, 曹有挥, 梁双波, 等. 中国铁路客运网络可达性空间格局[J]. 地理研究, 2009, 28(5): 1389-1400. WU Wei, CAO Youhui, LIANG Shuangbo, et al. The accessibility pattern of railway passenger transport network in China[J]. Geographical Research, 2009, 28(5): 1389-1400.
- [7] 周恺. 长江三角洲高速公路通达性与城镇空间结构发展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(2): 241-248. ZHOU Kai, Expressway network accessibility analysis and structured change of urban system in Yangtze Delta Megalopolis[J]. Progress in Geography, 2010, 29(2): 241-248.
- [8] HUH W K, KIM H. Information flows on the internet of Korea[J]. Journal of Urban Technology, 2003, 10(1): 61-87.
- [9] 汪明峰, 宁越敏. 城市的网络优势——中国互联网骨干网络结构与节点可达性分析[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 193-203. WANG Mingfeng, NING Yuemin. The network advantage of cities: an analysis of spatial structure and node accessibility of internet backbones in China[J]. Geographical Research, 2006, 25(2): 193-203.
- [10] 李鑫, 郭进利, 张禹. 互联网空间下的城市网络格局及结构研究[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(3): 808-812. LI Xin, GUO Jinli, ZHANG Yu. Framework and structure analysis of city network in internet space[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(3): 808-812.
- [11] ZHEN F, CAO Y, QIN X, et al. Delineation of an urban agglomeration boundary based on Sina Weibo microblog 'check-in' data: a case study of the Yangtze River Delta[J]. Cities, 2017, 60: 180-191.
- [12] 周永杰, 刘洁贞, 朱锦锋, 等. 基于手机信令数据的珠三角城市群空间特征研究[J]. 规划师, 2018, 34(1): 113-119. ZHOU Yongjie, LIU Jiezheng, ZHU Jinfeng, et al. Research on the spatial characteristics of Pearl River Del-

- ta urban agglomeration based on mobile signaling data [J]. *Planners*, 2018, 34(1): 113-119.
- [13] 朱鹏程, 曹卫东, 张宇, 等. 人口流动视角下长三角城市空间网络测度及其腹地划分[J]. *经济地理*, 2019, 39(11): 41-48, 133.
- ZHU Pengcheng, CAO Weidong, ZHANG Yu, et al. Measurement of urban spatial network and its hinter-world division in the Yangtze River Delta from the perspective of population flow[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(11): 41-48, 133.
- [14] 刘正兵, 戴特奇, 廖聪, 等. 中国城际公路货运空间网络特征——基于“第一物流”网站数据[J]. *经济地理*, 2017, 37(6): 28-35.
- LIU Zhengbing, DAI Teqi, LIAO Cong, et al. The characters of intercity freight transport networks in China—a case study on “FIRST CARGO” platform [J]. *Economic Geography*, 2017, 37(6): 28-35.
- [15] 任梦瑶, 肖作鹏, 王缉宪. 中国城际专线物流网络空间格局[J]. *地理学报*, 2020, 75(4): 820-832.
- REN Mengyao, XIAO Zuopeng, WANG Jixian. Spatial pattern of intercity less-than-truckload logistics networks in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 820-832.
- [16] 王启轩, 程遥. 公路货运视角下城市群网络特征及绩效探讨——以我国三大城市群为例[J]. *城市规划学刊*, 2020(2): 32-39.
- WANG Qixuan, CHENG Yao. Characteristics and performance of city network from the perspective of highway freight—the case of three major urban agglomerations in China [J]. *Urban Planning Forum*, 2020(2): 32-39.
- [17] 李苑君, 吴旗韬, 张玉玲, 等. 中国三大城市群电子商务快递物流网络空间结构及其形成机制研究[J]. *地理科学*, 2021, 41(8): 1398-1408.
- LI Yuanjun, WU Qitao, ZHANG Yuling, et al. Spatial structure and formation mechanism of E-commerce express logistics network in the three major urban agglomerations of China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(8): 1398-1408.
- [18] 李苑君, 吴旗韬, 吴康敏, 等. “流空间”视角的电子商务快递物流网络结构研究——以珠三角城市群为例[J]. *地域研究与开发*, 2021, 40(2): 20-26.
- LI Yuanjun, WU Qitao, WU Kangmin, et al. Structure of E-commerce express logistics network from the perspective of flow space: take the Pearl River Delta urban agglomeration as example[J]. *Areal Research and Development*, 2021, 40(2): 20-26.
- [19] 赵芮, 丁志伟. 基于流空间视角的中原城市群物流网络结构及其影响因素分析[J]. *地域研究与开发*, 2022, 41(4): 71-77.
- ZHAO Rui, DING Zhiwei. A nalysis of logistics network structure and its influencing factors in central plains urban agglomeration from the perspective of flow space [J]. *Areal Research and Development*, 2022, 41(4): 71-77.
- [20] 钟倩, 李功权. 长江中游城市群货运网络结构及影响因素分析[J]. *地域研究与开发*, 2023, 42(1): 20-25, 31.
- ZHONG Qian, LI Gongquan. Analysis on freight transport network structure and influencing factors of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Areal Research and Development*, 2023, 42(1): 20-25, 31.
- [21] ALDERSON A S, BECKFIELD J. Power and position in the world city system[J]. *American Journal of Sociology*, 2004, 109(4): 811-851.
- [22] 李涛, 周锐. 长三角地区网络腹地划分的关联测度方法比较[J]. *地理学报*, 2016, 71(2): 236-250.
- LI Tao, ZHOU Rui. Urban hinterworld in Yangtze River Delta: empirical comparison of two network-based methods[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 236-250.
- [23] 童思永, 王廷, 苏振宇, 等. 2000年以来我国西南地区人口分布演变特征与影响因素[J]. *小城镇建设*, 2023, 41(12): 13-21, 44.
- TONG Siyong, WANG Ting, SU Zhenyu, et al. Evolution characteristics and influencing factors of population distribution in southwest China since 2000 [J]. *Development of Small Cities & Towns*, 2023, 41(12): 13-21, 44.

(责任编辑 周 蓓)