

# 中国省域物流信息化水平空间 结构演化及其影响因素

马飞<sup>1</sup>, 崔睿颖<sup>2</sup>, 孙启鹏<sup>1</sup>, 赵成勇<sup>2</sup>, 蔡鑫<sup>1</sup>, 孙颖<sup>1</sup>, 刘屹东<sup>3</sup>

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 运输工程学院, 陕西 西安 710064; 3. 加拿大圣玛丽大学 商学院, 新斯科舍省 哈利法克斯 B3H3C3)

**摘要:** 物流信息化水平空间结构演化研究对统筹物流业发展、构建布局合理的物流体系具有重要意义。通过构建中国省域物流信息化水平评价指标体系, 运用熵值法测算指标权重, 进一步加权计算 2013—2018 年物流信息化综合指数, 从全国、省域两个视域对中国物流信息化水平进行测度; 利用标准差椭圆、探索性空间数据分析方法分析中国省域物流信息化水平空间结构演化特征; 利用修正后的引力模型确定中国省域物流信息化空间关联关系, 通过 QAP 分析其影响因素。研究认为: 中国省域物流信息化水平逐年增长, 地区间非均衡性增强; 中国省域物流信息化水平空间结构呈“东(偏北) - 西(偏南)”格局, 存在正向空间自相关关系, 且相关性逐渐弱化, 高值集聚和低值集聚的同质性现象占主导地位, 空间异质性现象增强; QAP 分析显示, 空间地理位置、城镇化水平、区域创新水平、区域开放水平对物流信息化发展具有显著促进作用。

**关键词:** 物流信息化; 物流强国; 空间结构演化; QAP 分析; 智能物流

中图分类号: F259.2; F49 文献标志码: A 文章编号: 1671-6248(2022)02-0078-12

## Spatial structure evolution and its influencing factors of China's provincial logistics informatization level

MA Fei<sup>1</sup>, CUI Ruiying<sup>2</sup>, SUN Qipeng<sup>1</sup>, ZHAO Chengyong<sup>2</sup>, CAI Xin<sup>1</sup>, SUN Ying<sup>1</sup>, LIU Yidong<sup>3</sup>

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

3. School of Business, Saint Mary's University, Halifax B3H3C3, Nova Scotia, Canada)

收稿日期: 2021-12-28

基金项目: 国家社会科学基金项目(18BGL258); 西安市社会科学基金项目(22GL89); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2022JM-423); 陕西省教育厅重点科学研究计划项目(21JF007, 20JZ015); 西安市未央区科技计划项目(202023)

作者简介: 马飞(1979-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 博士研究生导师, 管理学博士。

**Abstract:** The study on the evolution of the spatial structure of logistics informatization level is crucial to coordinating the development of logistics industry and building a logistics system with a reasonable layout. This paper measures the level of logistics informatization in China from the national and provincial perspectives, by constructing an index system for evaluating the level of logistics informatization in China's provinces, applying the entropy value method to measure the index weights, and further weighting the comprehensive index of logistics informatization from 2013 to 2018. The Standard Deviational Ellipse and exploratory spatial data analysis methods are used to analyze the spatial structure evolution characteristics of China's provincial logistics informatization level. The modified gravity model is used to determine the spatial correlation of China's provincial logistics informatization, and the influencing factors are analyzed by QAP. The results show that: the level of logistics informatization in China's provinces is growing year by year, and the non-equilibrium between regions is increasing; the spatial structure of the level of logistics informatization in China's provinces has an "east (northward)-west (southward)" pattern, with positive spatial autocorrelation, and the correlation is gradually weakening, while the phenomenon of homogeneity of high-value agglomeration and low-value agglomeration dominates, and the phenomenon of spatial heterogeneity is enhanced; QAP analysis shows that the spatial geographic location, urbanization level, regional innovation level and regional openness level have a significant role in promoting the development of logistics informatization.

**Key words:** logistics informatization; logistics-strong country; spatial structure evolution; QAP analysis; intelligent logistics

物流信息化是物流信息技术、计算机网络和管理方法等要素的集成,是推动物流业可持续发展的重要手段。党的十九大提出了“物流强国”战略目标,为物流信息化发展提供了战略支撑。物流业是国民经济发展的中坚力量,不同时期不同区域下物流空间结构展现出分异特征。

当前,关于物流信息化的研究主要集中在物流信息化的内涵、评价、物流空间结构演化特征、物流及信息化影响因素等方面。物流信息化旨在通过对信息流的整合,进而提升物流绩效,是信息技术在物流发展领域的融合应用<sup>[1-2]</sup>。物流信息化的内涵包括信息技术在物流业的应用及物流信息资源的开发利用等<sup>[3]</sup>。此外,信息技术能力、企业间现代信息技术共享均会对物流绩效产生影响<sup>[4]</sup>。如 BARBARA 通过实证研究指出 IT 战略导向、IT 合作关系和项目协作是物流信息化发展的重要因素<sup>[5]</sup>; VOLKER et al. 明确信息和通信技术在绿色物流中的应用现状,表明现代信息技术对物流发展具有重大推动作用<sup>[6]</sup>; LI et al. 指出加强信息连接与共享,

建设智能物流系统对物流业供给侧结构性改革有至关重要的作用<sup>[7]</sup>。综合现有研究,物流信息化是指利用物流现代化信息技术对物流活动中产生的信息进行处理、控制、资源优化整合,进而起到降低运营成本、提升物流服务质量、增强物流效益的作用。

近年来,许多学者基于物流信息化的内涵对物流信息化的评价过程进行了系统研究<sup>[8-9]</sup>。王小建等从物流产业角度分析了物流信息化的概念与内涵,依据物流信息化评价指标体系设计原则,从基础设施、信息化资源开发利用、信息技术应用、人才指标、可持续发展指标、其他指标等 6 个层面设计了 38 项具体评价指标<sup>[3]</sup>。ZHANG et al. 等从信息基础设施建设、业务运营情况、客户服务状态、成本和盈利能力 4 个维度为能源企业建立了物流信息化评价系统<sup>[8]</sup>。此外,一些学者针对智能物流信息系统设计展开研究,他们认为构建智能物流信息系统是高效组织物流与信息流的关键因素<sup>[10]</sup>。

关于物流空间结构演化的研究多集中于美国、

日本等发达国家或地区。RIVERA et al. 利用水平集聚区位熵及物流企业占比系数两指标综合法对美国物流集群的空间聚集特性进行分析,发现集群内县域物流活动的聚集程度比集群外高<sup>[11]</sup>; SAKAI et al. 利用 1980—2003 年东京大都市货运调查数据,对物流基础设施的空间结构分布及演化特征进行研究,发现物流基础设施由中心向外扩散,但扩散程度低于欧美国家<sup>[12]</sup>; KUMAR et al. 利用空间聚类方法对美国各地物流集群空间分布模式进行研究<sup>[13]</sup>。沈玉芳等利用区位基尼系数、区位熵等方法对长三角区域的物流空间演化结构进行分析<sup>[14]</sup>; CUI et al. 利用空间聚类分析对中国 2003—2012 年物流业空间集聚特征进行分析,研究结果表明空间溢出效应对中国物流业发展作用重大<sup>[15]</sup>。

关于物流及信息化的影响因素,学者发现物流空间结构受到土地价格、交通可达性、市场需求、政府政策等方面的影响<sup>[16]</sup>。ALJOHANI et al. 指出物流基础设施的合理布局影响着物流水平的扩张<sup>[17]</sup>。JABEUR et al. 指出智能物流的发展受信息、人员与政府决策的影响<sup>[18]</sup>。GREGOR et al. 认为智能物流是促进物流业发展的关键,智能物流的发展受到信息化物流设备、大数据、物联网等支撑<sup>[19]</sup>。宓泽锋等在分析航空、陆路、水路货运 3 个尺度物流联系特征的基础上,选取经济发展水平、物流服务能力、开放程度等 7 个方面作为自变量,对长江经济带物流联系的影响因素进行了回归分析<sup>[20]</sup>。学者们还认为信息化发展与经济社会发展水平密不可分,经济发展水平、人力资本存量、创新能力等因素对信息化空间关联具有重要作用<sup>[21-22]</sup>。

综上所述,现有的研究多集中于物流及信息化的空间结构特征,鲜有将二者融合对物流信息化水平空间演化特征的研究,且未能从不同角度对物流信息化水平测度分析及对主要影响因素进行分析。探究物流信息化水平空间结构演化特征有利于丰富物流业空间结构研究,物流信息化空间关联影响因素分析有助于健全物流体系,优化物流产业结构,促进合理的物流产业布局。本文在借鉴学者们

对物流信息化研究的基础上,首先,构建了物流信息化水平综合评价体系,采用熵值法确定评价指标的权重,测算物流信息化水平综合指数,从全国、省域两个层面进行综合评价。其次,利用标准差椭圆、探索性空间数据分析方法(ESDA)中的空间自相关(Global Moran's I)分析、聚类和异常值(Anselin Local Moran's I)分析探索物流信息化水平空间结构演化特征及其空间相关性。接着,利用修正后的引力模型得出中国省域物流信息化水平空间关联关系,利用 QAP 分析中国省域物流信息化空间关联的影响因素。最后得出研究结果,并提出研究的局限性及未来展望。

## 一、研究方法

为探究中国省域物流信息化水平空间结构演化特征,本文首先利用熵值法对物流信息化水平评价指标进行客观赋权,进一步测算物流信息化水平综合指数,为中国省域物流信息化水平空间结构演化分析奠定基础;然后运用标准差椭圆方法分析其空间分布结构方向;进而通过探索性空间数据分析方法,运用莫兰指数探索不同地区物流信息化水平的空间分布与演化特征;最后通过构建影响因素模型对影响中国省域物流信息化水平空间结构的关键因素进行分析。

### (一) 熵值法

熵值法是一种客观赋权法,通过原始矩阵的实际观测值提供的信息以及各项间的相互关系来得到权重,能够避免主观赋权的随意性<sup>[23-24]</sup>。熵的大小常用于衡量不确定性程度,熵值越小,所包含的信息量越大,不确定性越低。本文通过指标数据的离散程度判断指标对评价结果的影响,指标离散程度越大,其熵值越小,对综合评价结果的影响越大。熵值法评价步骤如下。

第一,构建初始矩阵  $X = (x_{ij})_{mn}$ ,  $n$  为样本数量,  $m$  为指标数量,  $x_{ij}$  为第  $i$  地区第  $j$  项指标的数值

$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ 。

第二, 指标数据标准化。由于各项评价指标计量单位不同, 本文采用标准化进行无量纲化处理, 消除不同质指标造成的不可比性。正向指标和负向指标的处理方法略有不同, 具体方法如下。

正向指标

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, \dots, x_{nj})}{\max(x_{1j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, \dots, x_{nj})} \quad (1)$$

负向指标

$$y_{ij} = \frac{\max(x_{1j}, \dots, x_{nj}) - x_{ij}}{\max(x_{1j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, \dots, x_{nj})} \quad (2)$$

式中:  $y_{ij}$  为标准化处理后第  $i$  个地区第  $j$  项指标的数值 ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ )。

第三, 计算第  $j$  项指标的熵值  $E_j$ 。

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n b_{ij} \ln(b_{ij}) \quad (3)$$

式中:  $E_j$  为第  $j$  项指标的熵值;  $k = \frac{1}{\ln(n)}$ ;  $b_{ij}$  为第  $j$  项

指标下第  $i$  地区指标值的比重,  $b_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}}$ ;  $i = 1,$

$2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

第四, 计算第  $j$  项指标的权重  $w_j$ 。

$$w_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j} \quad (4)$$

式中:  $w_j$  为第  $j$  项指标的权重;  $j = 1, 2, \dots, m$ 。

第五, 计算第  $i$  个地区物流信息化水平综合指数  $C_i$ 。

$$C_i = \sum_{j=1}^m w_j y_{ij} \times 100 \quad (5)$$

式中:  $C_i$  表示第  $i$  个地区的物流信息化水平综合指数;  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

## (二) 标准差椭圆

标准差椭圆(Standard Deviational Ellipse, SDE)是有效揭示经济要素空间分布特征的空间统计方法之一。标准差椭圆通过长短轴、中心点、方位角等参数定量描述经济要素在空间分布上的方向性、中心性等特征<sup>[25-27]</sup>。标准差椭圆长轴方向反映中国省域物流信息化水平在二维空间的方向趋势。

标准差椭圆中心是经济要素空间分布的重心, 反映中国省域物流信息化水平在二维空间分布结构的相对位置。方位角为长轴与正北方向顺时针夹角, 反映经济要素空间分布方向。

## (三) 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA)通过探索数据的空间分布, 明确不同属性值之间空间分布、空间模式的规律<sup>[28-29]</sup>。本文运用全局莫兰指数(Global Moran's I)、聚类和异常值分析(Anselin Local Moran's I), 通过探索某地区的物流信息化水平与其邻近地区在空间上的显著程度以及不同地区在空间上的聚集程度, 明确不同地区物流信息化水平的空间分布及演化特征。

假设研究系统内的地区总数为  $n$ , 第  $i, j$  地区的物流信息化指数为  $x_i, x_j, \bar{x}$  为  $n$  个地区物流信息化水平综合指数的平均值, 地区  $i, j$  之间的空间权重为  $w_{ij}$ , 全局 Moran's I 指数的计算式

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (6)$$

式中:  $Z_i, Z_j$  是地区  $i$  的属性与其平均值的偏差;  $Z_i = (x_i - \bar{x}), Z_j = (x_j - \bar{x})$ ;  $S_0$  是所有空间权重的聚合;

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

局部 Moran's I 是全局 Moran's I 的修正统计量, 计算式

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (7)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{x})^2 \quad (8)$$

式中:  $x_i, x_j$  分别表示  $i, j$  地区物流信息化水平综合指数值,  $w_{ij}$  表示地区  $i, j$  之间的空间权重,  $n$  表示中国 31 个省区市,  $\bar{x}$  表示 31 个省区市物流信息化水平综合指数值的平均值,  $S^2$  表示全部地区物流信息化水平综合指数的方差。

## 二、指标体系及数据来源

### (一) 评价指标体系构建

截至目前学术界未有统一的物流信息化水平评价指标体系。董大伟从基础设施、物流公共信息平台 and 系统安全等方面对中国物流信息化建设进行研究<sup>[30]</sup>。为避免截面数据对信息损失较多,杨慧瀛等则采用分层因子分析方法,从基础设施投入、物流信息化规模和宏观发展水平 3 个方面对中国物流信息化水平进行测度<sup>[31]</sup>。对于物流信息化水平评价指标体系构建,徐婧等考虑物流企业自身的经济策略、基础设施建设、信息资费标准、人才培养和应用实践等方面,运用阶层分析建立以物流信息化评价为目标层的全面测度体系<sup>[32]</sup>。综合现有研究,物流信息化指标体系建设需要反映物流信息化内涵,体现信息化,使物流产业在结构升级、技术进步、节能减排等方面采用新的物流理念发展。

物流信息化基础设施是物流信息化发展的物化设备依赖和物质基础,直接关系到物流信息化发展是否具备应有的基本条件,故本文选取互联网普及率、互联网宽带接入端口、电信光缆线路总长度和每百人使用计算机数量反映物流信息化基础设施水平;物流信息化资源开发利用是物流信息化发展的基本内容,是决定物流信息化建设能否取得实效的关键,经过开发利用才能充分体现物流信息资源的价值,故本文选取邮电业务总量、每百家企业拥有网站数量和平均每一营业网点服务面积反映物流信息化资源开发利用水平;物流信息产业技术涉及物流运作的每个环节,关系到物流信息化建设的速度与质量,故本文选取电子商务交易额占 GDP 比重,交通运输、仓储和邮政业固定资产投资,物流就业人数和专利授权数量反映物流信息产业技术水平,其中选取专利授权数量指标作为信息技术研究成果转化的体现;物流发展水平是其余关键维度的具体体现,直接反映物流信息化水平的实际效益,故选取货物周转量和货运量反映物流业整体发

展水平。基于此,本文结合中国省域特点与数据的可获取性、综合指标的全面性、通用性原则,从物流信息化基础设施、物流信息化资源开发利用、物流信息产业技术、物流发展水平 4 个维度选取了 13 项具体指标构建物流信息化水平评价指标体系,如表 1 所示。

表 1 物流信息化水平评价指标体系

目标	分类	具体指标	指标性质
物流信息化水平	物流信息化基础设施(I)	I1 互联网普及率/%	+
		I2 互联网宽带接入端口/万个	+
		I3 电信光缆线路总长度/公里	+
		I4 每百人使用计算机数/台	+
	物流信息化资源开发利用(S)	S1 邮电业务总量/亿元	+
		S2 每百家企业拥有网站数/个	+
		S3 平均每—营业网点服务面积/平方公里	-
	物流信息产业技术(T)	T1 电子商务交易额占 GDP 比重/%	+
		T2 交通运输、仓储和邮政业固定资产投资/亿元	+
		T3 物流就业人数/万人	+
		T4 专利授权数/件	+
	物流发展水平(L)	L1 货物周转量/亿吨公里	+
		L2 货运量/万吨	+

### (二) 物流信息化水平测度结果

基于物流信息化水平评价指标体系,按照熵值法中计算公式(1)(2),对 2013—2018 年中国物流信息化水平评价指标数据进行标准化处理,按照公式(3)(4),得到评价体系各指标权重,如表 2 所示。

表 2 物流信息化水平评价体系指标权重

指标	权重	指标	权重
I1	0.044 3	T1	0.123 8
I2	0.078 2	T2	0.066 4
I3	0.082 3	T3	0.056 3
I4	0.064 1	T4	0.173 1
S1	0.123 6	L1	0.109 4
S2	0.010 5	L2	0.065 6
S3	0.002 4		

根据得到的评价体系指标权重与标准化指标数据,运用 Matlab,通过公式(5)计算得出 2013—2018 年中国 31 个省区市的物流信息化水平综合指数,如表 3 所示。

表3 2013—2018年中国31个省区市物流信息化水平评价结果

地区	2013	2014	2015	2016	2017	2018
北京	19.974 0	29.127 9	31.341 0	32.328 0	37.194 3	38.816 2
天津	10.293 3	13.589 2	15.310 7	15.487 1	15.467 3	17.048 5
河北	19.626 5	22.176 8	23.658 5	25.807 3	28.753 8	34.117 2
山西	11.852 1	13.517 5	14.801 9	15.598 6	16.706 2	20.448 4
内蒙古	11.238 8	12.918 6	14.507 4	16.283 6	18.597 3	19.765 4
辽宁	19.468 2	22.521 7	23.856 0	25.047 3	26.755 9	28.609 4
吉林	6.912 9	8.572 7	9.700 7	11.007 7	12.247 0	14.260 3
黑龙江	8.886 0	10.213 2	11.718 0	12.848 1	15.496 2	16.307 5
上海	23.051 9	35.692 0	37.492 4	39.349 7	41.710 4	45.940 5
江苏	32.437 2	35.705 2	39.796 5	40.672 1	44.739 6	52.602 9
浙江	28.142 3	32.683 5	39.651 3	40.580 0	44.172 7	53.371 0
安徽	19.853 7	23.844 6	24.255 9	26.889 6	30.098 6	35.212 6
福建	15.648 1	18.892 7	22.155 3	23.357 8	25.696 5	29.965 4
江西	8.842 1	11.578 8	14.253 7	15.755 6	19.032 5	22.180 4
山东	23.378 2	26.706 7	30.777 2	34.304 3	40.117 9	46.693 1
河南	16.341 9	19.854 3	23.332 0	26.204 8	28.981 8	35.160 3
湖北	14.697 6	18.063 0	20.746 5	23.484 9	26.474 2	30.195 7
湖南	13.391 0	16.665 4	18.401 5	19.934 9	22.983 7	26.701 7
广东	38.142 6	46.229 0	52.336 6	59.032 0	69.744 8	83.785 1
广西	10.975 3	12.962 8	14.184 9	16.012 7	17.703 5	22.185 2
海南	6.415 1	10.152 1	11.084 8	11.026 6	11.349 3	11.904 2
重庆	10.357 3	14.747 2	16.959 0	18.689 3	20.290 7	23.568 9
四川	17.050 5	21.018 6	24.098 6	26.644 3	31.337 7	37.485 4
贵州	7.244 9	10.230 9	12.118 9	14.002 2	15.662 2	19.080 7
云南	8.863 5	13.976 4	16.243 9	16.015 9	19.331 4	23.430 7
西藏	2.293 7	4.163 7	5.237 9	6.484 0	6.893 3	7.637 8
陕西	12.225 7	14.725 1	16.853 1	18.983 0	20.503 8	24.101 6
甘肃	5.955 9	8.049 2	8.991 0	10.127 1	11.442 6	13.058 1
青海	4.606 4	5.774 7	11.119 3	9.820 0	8.267 4	9.476 6
宁夏	4.372 0	5.772 5	6.638 6	7.590 6	8.406 0	8.941 4
新疆	8.443 1	10.267 7	12.388 7	11.971 5	14.707 5	16.605 1
最大值	38.142 6	46.229 0	52.336 6	59.032 0	69.744 8	83.785 1
最小值	2.293 7	4.163 7	5.237 9	6.484 0	6.893 3	7.637 8
标准差	8.305 9	9.860 4	10.785 2	11.625 8	13.400 1	15.960 7
全国	14.225 2	17.754 6	20.129 4	21.656 2	24.221 4	28.021 2
东北	11.755 7	13.769 2	15.091 6	16.301 0	18.166 4	19.725 7
东部	21.710 9	27.095 5	30.360 4	32.194 5	35.894 7	41.424 4
中部	14.163 1	17.253 9	19.298 6	21.311 4	24.046 2	28.316 5
西部	8.635 6	11.217 3	13.278 4	14.385 4	16.095 3	18.778 1

### (三) 研究区域及数据来源

鉴于数据的可获取性,本文研究区域为除港澳

台地区外的31个省、自治区和直辖市。各项指标数据均来源于2013—2018年《中国统计年鉴》。其中,邮电业务总量为邮政业务量与电信业务量之和;平均每一营业网点服务面积由该地区面积与邮政业营业网点处比值所得;物流就业人数为交通运输、仓储、邮政就业总人数。在影响因素分析中,关于地理邻近关系项,海南省与广西省、广东省做相邻处理,取值为1,区域创新能力综合效用值数据源于《中国区域创新能力评价报告》。

## 三、中国省域物流信息化发展水平测度

为研究物流信息化的空间整体发展规律与局部发展规律,探究空间演化进程,发现各区域下省域间的发展联系,本文从全国到省域视角进行聚焦,并通过板块划分剖析省域间物流信息化水平。

### (一) 全国视域下物流信息化水平测度分析

从整体看,中国物流信息化水平在2013—2018年间呈逐年增长态势,由2013年的14.225 2增长到2018年的28.021 2,增幅达96.98%。其中,2017—2018年中国物流信息化整体水平增幅最大,为15.70%,或许是因为随着“物流强国”战略、《关于进一步推进物流降本增效促进实体经济发展的意见》等政策的推行,物流信息化水平得到迅速发展。标准差由2013年的8.305 9增长到2018年的15.960 7,说明物流信息化整体水平提高的同时,各地区差异逐渐加大,非均衡性增强。

### (二) 省域视域下物流信息化水平测度分析

依据中国社会发展形势,本文将全国划分为东北、东部、中部、西部4个区域。将四大区域中各个省域2013—2018年物流信息化水平可视化,如图1所示,东北省域物流信息化水平从高到低依次为辽宁>黑龙江>吉林。

东部省域物流信息化水平高的地区为广东、浙

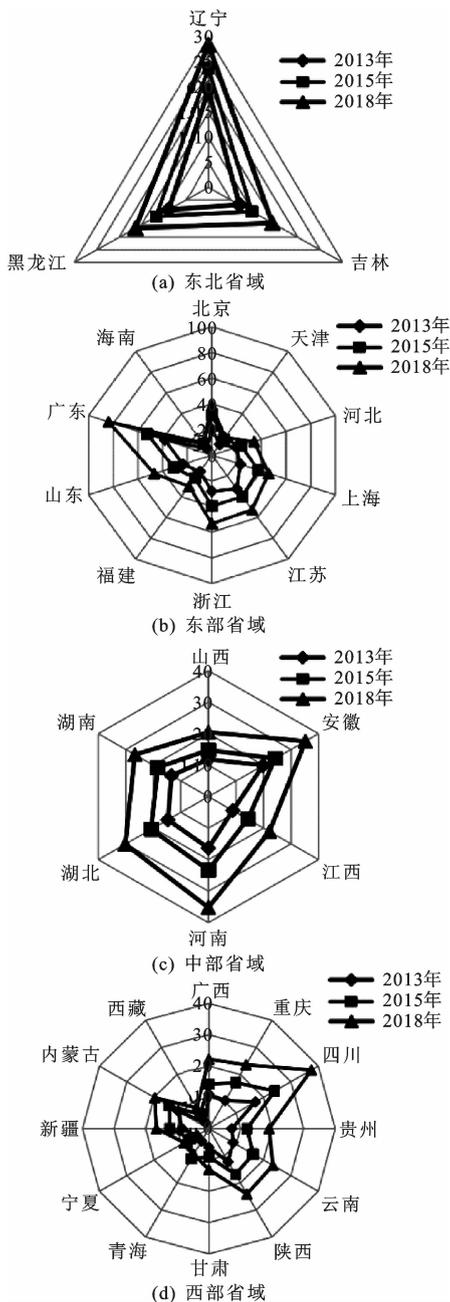


图1 东北、东部、中部、西部省域物流信息化水平

江、江苏等。其中,广东省物流信息化水平稳居最高位。广东省属于东部沿海发达地区且经济竞争力强,物流体量大,地理位置条件优越,政府部门大力支持物流信息化发展,在加强地区间合作、优化物流信息化服务方面提供一系列保障。海南物流信息化水平最低,究其原因,可能是因为海南物流业仍处于传统物流业发展阶段,物流基础设施建设不完善,缺乏专业物流技术人才,相关政策制度不

够健全,与信息化技术结合能力较弱,因此其虽为东部省域,物流信息化水平却与中部省域持平。

中部省域河南、安徽、湖北物流信息化水平较高。2018年河南省物流信息化水平为35.1603,发展水平较高。河南省地处中部枢纽地区,交通网络发达,是连接各地区交通与物流运输的重要枢纽,省会郑州作为全国重要的商品集散地,具有物流信息化水平高速发展的区位优势。

四川省为西部省域物流信息化水平最高地区。究其原因,国家近年来大力支持西部地区发展,交通状况明显转好,四川省经济实力迅速发展,同时更加注重对物流信息化设施的投入,重视专业化人才的培养。物流信息化水平相对低的地区为青海、宁夏、西藏,其中西藏物流信息化水平最低,但仍保持逐年增长态势。这是因为西藏交通区位条件较差,物流运输受限较大,信息化建设能力有限,虽然发展出如柳梧等物流信息中心来促进物流信息化水平提升,但是受固有自然区位条件限制,其仍处于物流信息化水平最低的地位。

## 四、空间结构演化特征及其自相关分析

### (一) 总体分异特征分析

基于物流信息化水平综合指数测算结果,选取2013、2015、2017、2018年相关数据,利用ArcGIS10.5的方向分布工具测算出中国省域物流信息化水平标准差椭圆相关参数。其中,椭圆级别选择包含68%样本地区的一个标准差,得到2013—2018年中国省域物流信息化水平标准差椭圆的轨迹变化及中心位置变化(图2)。可见,2013—2018年,中国省域物流信息化发展水平整体呈“东(偏北) - 西(偏南)”走向。研究期内,中国省域物流信息化发展水平空间结构中心位置均在河南省,在方向上产生了向西南移动的态势。方位角由2013年的66.174增加到2018年的69.127,说明中国省域物流信息化水平空间结构呈“东(偏北) - 西(偏南)”格局,且有逐步强化这种格局的趋势。

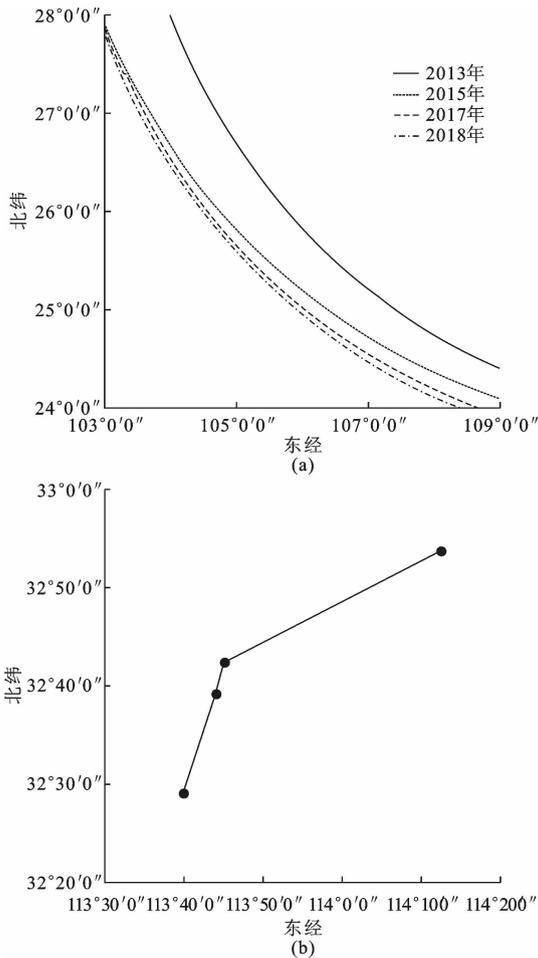


图2 2013—2018年中国省域物流信息化发展水平空间结构离散趋势

## (二) 全局空间自相关演化分析

为了解中国省域物流信息化水平发展的全局空间相关性,提出假设  $H_0$ :中国省域物流信息化水平随机分布; $H_1$ :中国省域物流信息化水平存在空间自相关。基于以上假设,测算 2013—2018 年中国省域物流信息化水平的全局 Moran's I 指数值,结果如表 4 所示。

表4 2013—2018年全局 Moran's I 分析汇总

年份	Moran I 指数	预期指数	方差	Z 得分	P 值
2013	0.180 4	-0.033 3	0.005 7	2.818 7	0.004 8
2014	0.184 0	-0.033 3	0.005 8	2.861 5	0.004 2
2015	0.165 8	-0.033 3	0.005 7	2.634 3	0.008 4
2016	0.148 5	-0.033 3	0.005 6	2.426 8	0.015 2
2017	0.121 3	-0.033 3	0.005 5	2.086 3	0.037 0
2018	0.117 9	-0.033 3	0.005 4	2.056 0	0.040 0

2013—2018 年物流信息化水平 Moran's I 指数均大于 0,P 值均小于 0.050 0,通过了 5% 水平下的显著性检验,且 Z 得分为正值,因此,拒绝  $H_0$  假设, $H_1$  假设成立。这说明中国省域物流信息化水平在空间格局上存在正向空间自相关关系。中国省域物流信息化水平 Moran's I 指数在 2013—2018 年呈波动态势,空间集聚性发生波动。整体来看,Moran's I 指数呈下降趋势,空间相关性逐渐减弱。

## (三) 局部空间自相关演化分析

为进一步揭示内部空间布局特征,分析省域物流信息化水平空间演化特征,利用局部空间自相关分析,以统计出空间范围内物流信息化水平的高值或低值聚集情况以及空间范围内的异常值。除空间集聚特性不显著区域外,中国省域物流信息化发展水平存在 4 种空间关联模式:第一象限 High-High (HH) 空间关联表示该地区与邻近地区均为物流信息化高水平区,为高集聚状态;第二象限 Low-High (LH) 表示物流信息化低水平区被高水平区包围;第三象限 Low-Low (LL) 表示该地区与邻近地区均为物流信息化低水平,为低集聚状态;第四象限 High-Low (HL) 表示物流信息化高水平区被低水平区包围;各省域空间关联模式归类见表 5。

表5 各省域空间关联模式归类

空间关联模式	2013	2015	2017	2018
第一象限 (HH)	山东、江苏、上海、安徽、浙江、福建	山东、江苏、上海、安徽、浙江、福建、湖北	江苏、上海、安徽、浙江、福建、湖北	江苏、上海、安徽、浙江、福建、湖北
第二象限 (LH)	江西	江西	江西	江西、湖南
第三象限 (LL)	新疆、西藏、甘肃、青海	新疆、甘肃、青海	新疆、西藏、甘肃、青海	新疆、西藏、甘肃、青海
第四象限 (HL)	四川	四川	四川	四川

中国省域物流信息化发展的主要形式是高值集聚和低值集聚同质性现象,同时空间异质性现象增强。2013—2018 年东部地区的江苏、上海、安徽、浙江、福建均处于 HH,究其原因,东部沿海地区地理位置优越,经济状况良好,物流基础设施完善,人才吸引力强。同时,山东半岛物流区域、长三角物

流区域、珠三角物流区域等都是国家物流发展的重点区域,受到一系列相关政策的支持。西部地区青海、甘肃、新疆均处于 LL,究其原因,西部地区地理位置处于非枢纽地带,物流业发展的内在条件不足,经济发展缓慢,物流基础设施不完善,人才吸引力较弱。四川省 2013—2018 年均处于 HL,或许是由于四川为西部地区经济高水平省域,产业结构较为合理,物流基础设施投资大,物流信息化水平较高,但是被物流信息化低水平地区包围,因而产生较为明显的极化效应。江西 LH 由 2013 年的 1 个增长为 2018 年的 2 个,说明物流信息化水平的空间异质性增强,江西 2013—2018 年均处于 LH 内,表明该省份物流信息化水平低,且被物流信息化水平高地区包围,因而表现出非均衡性。

#### (四) 物流信息化水平空间演化特征

总体来看,中国物流信息化水平呈现出由东北向西南移动的态势,且中国省域物流信息化水平存在正向空间自相关关系,但整体的相关性逐渐减弱。此外,中国物流信息化发展主要表现出同质性发展现象,高质量发展地区与低质量发展地区均聚集出现,但随着时间发展,异质性现象正逐步加强。

### 五、影响因素分析

#### (一) 中国省域物流信息化空间关联影响因素模型构建

据现有研究,学者们多利用 Granger 因果检验法及引力模型等<sup>[33-35]</sup>确定空间关联关系。由于 Granger 因果检验法对时间序列的时间跨度要求过高,本文采用修正后的引力模型综合考虑经济、地理等因素,利用截面数据量化中国省域物流信息化联系强度。具体模型是

$$R_{ij} = K_{ij} \frac{\sqrt{I_i I_j}}{\left(\frac{d_{ij}}{g_i - g_j}\right)^2} \quad (9)$$

$$K_{ij} = \frac{I_i}{I_i + I_j} \quad (10)$$

式中: $R_{ij}$ 表示*i j*地区间的物流信息化引力; $I_i$ 、 $I_j$ 表示*i j*地区间的物流信息化水平综合指数值; $K_{ij}$ 表示*i*地区在*i j*地区间物流信息化水平空间关联作用中的贡献率; $d_{ij}$ 表示两地区间球面距离; $g_i - g_j$ 表示两地区间人均 GDP 差值。根据公式(9)测算物流信息化水平引力矩阵,取各列均值作为阈值,若大于阈值则取 1,小于则取 0,得到物流信息化水平空间关联二值矩阵。

为分析中国省域物流信息化空间关联的影响因素,本文通过对现有研究进行综合分析,发现空间地理位置、城镇化发展状况、经济发展水平、区域创新能力等是物流信息化发展的重点关注环节<sup>[22,36]</sup>。故本文选取空间地理位置( $L_o$ )、城镇化水平( $U_r$ )、经济发展水平( $E_c$ )、区域创新水平( $I_n$ )、区域开放水平( $O_p$ )、人均 R&D 经费( $R_d$ )构建中国省域物流信息化空间关联影响因素模型

$$R = f(L_o, U_r, E_c, I_n, O_p, R_d) \quad (11)$$

式中: $R$ 是由修正后的引力模型测算出的中国 31 个省区市物流信息化水平的空间关联二值矩阵; $L_o$ 用地理邻接关系矩阵表示,相邻则为 1,不相邻则为 0; $U_r$ 用地区城镇化水平 0-1 差异矩阵表示; $E_c$ 用地区人均可支配收入构成的 0-1 差异矩阵表示; $I_n$ 用区域创新能力综合效用值 0-1 差异矩阵表示; $O_p$ 用地区进出口总额除以 GDP 形成的 0-1 差异矩阵表示; $R_d$ 用人均 R&D 经费构成的 0-1 差异矩阵表示。

本文基于此模型构建关系矩阵,利用 UCINET 6 中的 QAP 相关分析及回归分析进行关系检验。

#### (二) QAP 分析

本文选择 5 000 次排列数目进行随机行列置换,得到物流信息化水平空间关联关系与影响因素的 QAP 相关分析结果,如表 6 所示。结果表明,空间地理位置、城镇化水平、经济发展水平、区域创新水平、区域开放水平 6 项因素皆与中国省域物流信息化水平空间关联有正向相关关系,且指标相关系数都通过了 1% 的显著性水平检验。因此,采用 QAP 回归分析具有合理性。

为进一步探究  $Lo$ 、 $Ur$ 、 $Ec$ 、 $In$ 、 $Op$ 、 $Rd$  对中国省域物流信息化水平空间关联关系的影响程度强弱,选择 5 000 次随机行列置换进行 QAP 回归分析,回归分析结果见表 7。

表 6 物流信息化水平空间关联关系与影响因素的 QAP 相关分析结果

变量名称	实际相关系数	显著性水平	相关系数均值	最小值	最大值	$P \geq 0$	$P \leq 0$
$Lo$	0.132	0.001	-0.001	-0.128	0.169	0.001	1.000
$Ur$	0.310	0.000	0.000	-0.179	0.242	0.000	1.000
$Ec$	0.320	0.000	0.000	-0.181	0.214	0.000	1.000
$In$	0.317	0.000	0.001	-0.194	0.217	0.000	1.000
$Op$	0.355	0.000	0.000	-0.182	0.181	0.000	1.000
$Rd$	0.297	0.000	0.000	-0.229	0.182	0.000	1.000

表 7 物流信息化水平空间关联影响因素的 QAP 回归分析

变量名称	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性水平	$P_1$	$P_2$
截距	-0.008	0.000			
$Lo$	0.193	0.168	0.000	0.000	1.000
$Ur$	0.105	0.128	0.015	0.015	0.985
$Ec$	0.000	0.000	0.498	0.498	0.502
$In$	0.107	0.130	0.034	0.034	0.967
$Op$	0.169	0.207	0.001	0.001	0.999
$Rd$	0.009	0.010	0.436	0.436	0.564

回归结果显示,调整后判定系数  $R^2$  为 0.18,说明所选指标差异变化可以解释中国省域物流信息化水平空间关联关系变异的 18.0%。QAP 方法的相关研究表明, $R^2$  数值多位于 10.7%—26.7% 之间<sup>[37-39]</sup>,因此,本文指标选择较为适宜,具有良好的解释力度。

区域开放水平、空间地理位置、区域创新水平和城镇化水平对物流信息化具有影响作用。第一,区域开放水平及空间地理位置的回归系数在 1% 显著性水平下通过检验,具有正向显著性。可见,物流信息化发展水平与地区对外开放程度、地区间交互水平密不可分,物流信息化发展需要不断开放区域交流,加强对外信息交换。空间地理位置作为地区的固有属性,对物流信息化水平具有一定影响,但是关联关系较弱。第二,区域创新水平和城镇化水平的回归系数在 5% 显著性水平下通过检验,具

有正向显著性。二者均为影响物流信息化水平发展的关键因素,创新能力的提升与城镇化建设的逐步完善为物流信息化的发展注入了活力。第三,经济发展水平及人均 R&D 经费的回归系数未通过显著性水平检验,说明物流信息化水平空间关联暂未体现出与经济发展状况和人均 R&D 经费有较为显著的因果相关关系。因此,空间地理位置可作为物流信息化水平发展策略制定的考虑因素之一,要通过不断提升区域开放水平、城镇化水平、区域创新水平等来进一步提升物流信息化水平。

## 六、结语

物流信息化在物流业发展中扮演着不可或缺的角色,其空间结构演化影响着整个物流业空间结构的布局,进而对社会经济发展产生至关重要的作用。因此,首先,选取 2013—2018 年物流信息化水平面板数据,建立物流信息化水平评价体系,运用熵值法计算物流信息化综合指数,从全国、省域两个视域对中国物流信息化水平进行测度。然后,将 2013—2018 年中国省域物流信息化水平综合指数可视化,探究其空间结构演化特征。利用 ESDA 方法,从全局和局部两个角度,利用 Moran's I 指数分析中国省域物流信息化水平的空间结构自相关关系。最后,确立中国省域物流信息化水平空间关联关系,构建中国省域物流信息化空间关联影响因素模型,利用 QAP 分析其影响因素。主要研究结论如下。

第一,2013—2018 年中国省域物流信息化水平以较大增幅持续升高,省域间非均衡性增强。四大区域中,西部地区增长率最高,上升空间最大,东部区域水平最高。

第二,中国省域物流信息化水平总体空间结构呈现“东(偏北) - 西(偏南)”格局,且此种趋势逐步趋于稳定。另外,中国省域物流信息化水平存在正向空间自相关关系,且相关性逐渐减弱。在物流信息化发展过程中,高值集聚及低值集聚的同质性现象占主导地位,且空间异质性增强。

第三,物流信息化水平空间关联关系与空间地理位置、城镇化水平、经济发展水平、区域创新水平、区域开放水平、人均 R&D 经费 6 个因素密切相关,且均有正向作用。物流信息化水平提升应在考虑空间地理位置的前提下,不断提升区域开放水平、城镇化水平、区域创新水平。

本文在总结现有物流信息化水平评价研究的基础上,基于构建的物流信息化水平评价体系,创新性地从全国、省域两个视域对中国物流信息化水平进行综合测度分析,对中国物流信息化发展水平进行全面评估,利用综合测度指数对中国省域物流信息化水平进行空间演化特征分析,弥补现有研究中研究区域及研究视角单一的不足,为研究物流信息化水平评估提供新的研究思路,为全方位的中国物流信息化空间结构演化分析奠定了基础。

但是本文研究仍存在一定局限性。由于数据资源获取有限,考虑今后在如下方面展开进一步的研究:优化物流信息化水平评价指标体系,加入人才利用、可持续发展层面指标;深入细化研究层面,从城市尺度(包括中国地级及以上城市)分析中国物流信息化发展水平;加入更多相关因素进行影响因素分析,提升对中国省域物流信息化空间关联关系的解释力度。

#### 参考文献:

- [ 1 ] LI X, LV F, XIANG F, et al. Research on key technologies of logistics information traceability model based on consortium chain[J]. IEEE access, 2020(8): 69754-69762.
- [ 2 ] CAO X, LI T, WANG Q. RFID-based multi-attribute logistics information processing and anomaly mining in production logistics[J]. International journal of production research, 2019, 57(17): 5453-5466.
- [ 3 ] 王小建, 王建伟. 物流信息化评价指标体系与评价方法研究[J]. 铁道运输与经济, 2009, 31(10): 70-74.
- [ 4 ] DANIEL P, JAN O. Supply chain integration and performance: the effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration[J]. International journal of production economics, 2012, 135(1): 514-522.
- [ 5 ] BARBARA D. Success factors for information logistics strategy—an empirical investigation[J]. Decision support systems, 2013, 54(3): 1207-1218.
- [ 6 ] VOLKER F, FRANK T. Information and communication technology in green logistics: status quo and research gaps[J]. Management review quarterly, 2017, 67(2): 65-96.
- [ 7 ] LI X. Contemporary logistics in China[M]. Singapore: Springer Nature, 2018.
- [ 8 ] ZHANG H, ZHANG X, GU F. Research on the construction of logistics informatization evaluation system for large state-owned energy enterprises[J]. IOP conference series materials science and engineering, 2019, 612: 42-48.
- [ 9 ] GAO J. Performance evaluation of manufacturing collaborative logistics based on BP neural network and rough set[J]. Neural computing and applications, 2021, 33(2): 739-754.
- [ 10 ] KIRCH M, POENICKE O, RICHTER K. RFID in logistics and production-applications, research and visions for smart logistics zones[J]. Procedia engineering, 2017, 178: 526-533.
- [ 11 ] RIVERA L, SHEFFI Y, WELSCH R. Logistics agglomeration in the U. S. [J]. Transportation research part A: policy and practice, 2014, 59: 222-238.
- [ 12 ] SAKAI T, KAWAMURA K, HYODO T. Locational dynamics of logistics facilities: evidence from Tokyo[J]. Journal of transport geography, 2015, 46: 10-19.
- [ 13 ] KUMAR I, ZHALNIN A, KIM A, et al. Transportation and logistics cluster competitive advantages in the U. S. regions: a cross-sectional and spatio-temporal analysis[J]. Research in transportation economics, 2016(61): 102-114.
- [ 14 ] 沈玉芳, 王能洲, 马仁锋, 等. 长三角区域物流空间布局及演化特征研究[J]. 经济地理, 2011, 31(4): 618-623.
- [ 15 ] CUI Y, SONG B. Logistics agglomeration and its impacts in China[J]. Transportation research procedia, 2017, 25: 3875-3885.
- [ 16 ] HE M, SHEN J, WU X, et al. Logistics space: a literature review from the sustainability perspective[J]. Sustainability, 2018, 10(8): 1-24.

- [17] ALJOHANI K, THOMPSON R. Impacts of logistics sprawl on the urban environment and logistics: taxonomy and review of literature [J]. *Journal of transport geography*, 2016, 57(12): 255-263.
- [18] JABEUR N, AL-BELUSHI T, MBARKI M, et al. Toward leveraging smart logistics collaboration with a multi-agent system based solution [J]. *Procedia computer science*, 2017, 109: 672-679.
- [19] GREGOR T, KRAJCOVIC M, WIECEK D. Smart connected logistics [J]. *Procedia engineering*, 2017, 192(7): 265-270.
- [20] 宓泽锋, 曾刚. 不同尺度下长江经济带物流联系格局、特征及影响因素研究 [J]. *地理科学*, 2018, 38(7): 1079-1088.
- [21] 宋周莺, 刘卫东. 中国信息化发展进程及其时空格局分析 [J]. *地理科学*, 2013, 33(3): 257-265.
- [22] 闫超栋, 马静. 中国省际信息化的空间关联及其影响因素分析 [J]. *情报科学*, 2017, 35(6): 145-153.
- [23] ZHAO J, JI G, TIAN Y, et al. Environmental vulnerability assessment for mainland China based on entropy method [J]. *Ecological indicators*, 2018, 91: 410-422.
- [24] LEVY R, LEBLANC J P F, GULL E. Implementation of the maximum entropy method for analytic continuation [J]. *Computer physics communications*, 2017, 215: 149-155.
- [25] YUILL. The standard deviational ellipse: an updated tool for spatial description [J]. *Geografiska annaler series B human geography*, 1971, 53(1): 28-39.
- [26] RAHMAN M, YANG R, DI L. Clustering Indian Ocean tropical cyclone tracks by the standard deviational ellipse [J]. *Climate*, 2018, 6(2): 39.
- [27] ERYANDO T, SUSANNA D, PRATIWI D, et al. Standard deviational ellipse (SDE) models for malaria surveillance, case study: sukabumi district-indonesia, in 2012 [J]. *Malaria journal*, 2012, 11(1): 130.
- [28] FEOLA G, BUTT A. The diffusion of grassroots innovations for sustainability in Italy and Great Britain: an exploratory spatial data analysis [J]. *The geographical journal*, 2017, 183(1): 16-33.
- [29] SALVATI L, VENANZONI G, SERRA P, et al. Scattered or polycentric? untangling urban growth in three Southern European metropolitan regions through exploratory spatial data analysis [J]. *The annals of regional science*, 2016, 57(1): 1-29.
- [30] 董大伟. 基于计算机网络技术的物流信息化建设 [J]. *物流技术*, 2013, 32(21): 461-463.
- [31] 杨慧瀛, 杨宏举. 我国物流业信息化水平测度及区域差异 [J]. *商业经济研究*, 2021(13): 98-102.
- [32] 徐婧, 闫建朝, 李玮. 物流企业信息化建设测度的综合评价模型构建 [J]. *科技资讯*, 2015, 13(26): 82-83.
- [33] 李敬, 陈澍, 万广华, 等. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法 [J]. *经济研究*, 2014, 49(11): 4-16.
- [34] 张德钢, 陆远权. 中国碳排放的空间关联及其解释——基于社会网络分析法 [J]. *软科学*, 2017, 31(4): 15-18.
- [35] 宋林, 谢伟, 郑雯. “一带一路”战略背景下我国对外直接投资的效率研究 [J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2017, 37(4): 45-54.
- [36] 王东方, 董千里. 中国城市物流发展空间结构演化及影响因素 [J]. *北京交通大学学报(社会科学版)*, 2019, 18(4): 125-139.
- [37] 马远, 徐俐俐. 丝绸之路经济带沿线国家石油贸易网络结构特征及影响因素 [J]. *国际贸易问题*, 2016(11): 31-41.
- [38] 曹允春, 罗雨. 空港型国家物流枢纽承载城市航空物流关联程度及其网络结构研究 [J]. *技术经济*, 2020, 39(8): 174-182, 190.
- [39] 唐建荣, 倪攀, 李晨瑞. 长江经济带物流网络结构演变特征及影响因素分析 [J]. *华东经济管理*, 2019, 33(8): 60-66.

(责任编辑:王佳)