

doi:10.3969/j.issn.1672-0598.2025.04.005

跨境铁路运输网络节点城市的物流发展水平与空间联系测度^{*}

魏海蕊, 章文慧

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要:中欧班列和南向班列是推进国家优化区域开放布局的重要举措,分析其物流空间联系有利于整合和协调节点城市的物流资源。在搜集中欧班列 51 个节点城市,新增 24 个南向班列节点城市的实际数据基础上,构建跨境铁路运输网络。利用熵权 TOPSIS 综合评价法测算城市的物流发展水平,并采用修正的引力模型研究城市间的物流空间联系。结果表明:跨境铁路运输网络节点城市的物流发展水平差异显著,且网络中的节点城市物流联系主要表现为弱联系、较弱联系和中度联系,较强联系和强联系较少。总体来看,该网络呈现出明显的区域集聚特征,主要集中在珠三角、长三角、西三角经济圈、环渤海海湾四大区域。为了进一步优化跨境运输物流网络结构,最终选定深圳、苏州、重庆、成都、西安、济南、武汉为物流枢纽城市,并将义乌和南宁作为备选枢纽城市。

关键词:中欧班列;南向班列;修正引力模型;物流空间联系;节点城市

中图分类号:F532

文献标志码:A

文章编号:1672-0598(2025)04-0051-13

一、引言

随着“一带一路”倡议的不断推进,内陆地区的跨境物流发展需求激增。中欧班列作为推进“一带一路”的重要载体,2011 年“渝新欧”开通以来,截至 2024 年 4 月底,累计开行超 8.9 万列,通达欧洲 25 个国家 223 个城市。中欧班列以三分之一的海运时间、五分之一的空运价格,从海运与航空运输中脱颖而出,为内陆地区提供了一种省时的国际物流模式^[1]。例如,从重庆到鹿特丹港的海运集装箱运输平均时间为 40~45 天,而中欧班列仅为 12~14 天,前者的运输时间是后者的 4 倍^[2]。此外,随着欧亚贸易和物流环境的变化以及托运人对跨境铁路运输服务的需求不断增加,中欧班列作为空运和海运之外的第三种选择,将变得越来越重要^[3]。

然而,中欧班列的开行线路增加和运输网络辐射范围的进一步扩大在带来便利的同时也面临着一些亟须解决的问题。首先,由于中欧班列存在同质化、货源区域具有重叠性、运输网络存在交错性等问题,出现各条线路独立运营、货物运输无序竞争的局面,缺乏整体网络的规划和协调^[4];其次,中欧班列的运

^{*} 收稿日期:2024-12-21

基金项目:国家社会科学基金项目(24CGL039)“跨境陆路物流链‘双循环’协同视角下中欧班列平台市场化转型路径研究”

作者简介:魏海蕊(1985—),女,山东聊城人;博士,上海理工大学管理学院副教授,主要从事物流与供应链研究。

章文慧(2001—),女,江苏盐城人;上海理工大学管理学院硕士研究生,主要从事供应链管理及应用研究。

本文引用格式:魏海蕊,章文慧.跨境铁路运输网络节点城市的物流发展水平与空间联系测度[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2025,42(4):51-63.

营表现差异很大,许多班列面临需求低、班次不频繁、严重依赖地方政府补贴等问题^[5]。张建斌等^[6]认为究其原因,主要是中欧班列运营网络依赖的相关节点城市物流发展的支撑不足,因此,根据中欧班列运输网络现状,有必要对中欧班列网络结构和合理布局进行规划。

值得一提的是,南向班列虽然起步较晚,与中欧班列相比,开通路线和班列的整体规模较小。但随着RCEP的生效,西部陆海新通道、中老铁路班列以及中越铁路班列等国际战略的实施,南向班列已经进入发展的快车道。例如西部陆海新通道自2019年建设以来,已经辐射我国18个省份70个市144个站,并与中欧班列实现无缝对接,辐射范围涵盖100多个国家和地区的200多个港口,成为连接东盟和欧亚大陆的重要通道。这不仅加强了中国西部、东南亚和世界其他地区之间的互联互通,而且东盟国家、中亚地区与欧盟之间的国际贸易也可以通过中国西部城市现有的跨境铁路运输服务得到改善^[7]。随着RCEP的生效,中国与东盟之间的贸易潜力将得到进一步释放,南向班列将更加繁忙,可以预计未来南向班列会与中欧班列、中亚班列以及海运和航运等运输通道实现对接,推动通道沿线国家和城市的经济社会发展。因此,南向班列的开通势必也会影响跨境铁路运输班列物流网络节点城市的物流网络结构,对于我国中西部内陆城市尤其重要。

综上所述,本文针对中欧班列货物运输无序竞争以及各线路间的差距扩大化趋势,研究如何优化中欧班列节点城市的物流网络结构,选择合适的节点城市作为中转集运中心,通过班列节点枢纽的重新布局实现中欧班列的直达以及中转的协同运作。考虑南向班列的影响,将南向班列融入跨境铁路运输班列节点城市的物流网络,对中西部等内陆城市来说,该物流网络结构又会产生什么影响?本文旨在运用熵权TOPSIS结合改进后的引力模型,构建跨境铁路运输物流网络,并进行空间联系研究,进一步优化国内跨境班列运营网络,提升跨境班列的开行效率和质量。

二、文献综述

(一) 中欧班列研究所关注的问题

目前,学者主要从中欧班列的运营现状以及发展对策对中欧班列进行研究分析。例如,王萌等^[8]认为中欧班列开通能够显著促进中国城市出口结构的升级,西部城市、非资源型城市和中心节点城市更易享有政策红利。宋锴^[9]对铁路网运输能力现状进行分析,剖析铁路网运输能力堵点及成因,提出一系列关于打通铁路网运输能力堵点的对策。王一剑等^[10]指出中欧班列正面临运能饱和、协调机制约束力不足、政策扶持待优化等问题。胡梦影等^[11]针对中欧班列开行数量供不应求的现象,提出将有限的运力资源释放给运营效益高的中欧班列,并使其均衡到达口岸以缓解口岸拥堵。依绍华^[12]对中欧班列整体发展状况进行总结,从中欧班列发展的优势与面临的挑战出发,提出中欧班列的未来发展建议。为了提高跨境运输网络的效率,研究网络结构特征以及核心节点的规划是学者们目前所关注的研究方向。例如,Zhao等^[13]基于复杂网络理论,运用TOPSIS模型评估了节点重要性,并且运用整数规划模型,考虑政策以及运营等因素,最终得出将太原、西安、郑州、武汉、苏州作为中欧班列运输网络的最佳集运中心。Zhang等^[14]从“一带一路”规划的角度出发,考虑中欧班列与海港的连通性,结合结构洞理论识别中欧班列运输网络的重要节点,考虑内陆节点城市和海港节点城市的连通性,对内陆节点和海港节点做出重要性排名。Qian等^[15]运用Space-P方法对中欧班列2013年、2016年、2019年的数据进行分析,基于整体网络结构指标和节点重要性指标研究其网络结构和空间演化。

(二) 物流网络空间联系特征

引力模型在空间联系中的实证研究已有不少成果。例如,马欣颖等^[16]根据改进的引力模型和社会网络分析方法选取密度、关联度、中心度、限制度等指标对京津冀区域物流网络结构进行分析。李颖等^[17]运用引力模型得出物流联系强度及物流联系隶属度,并采用社会网络分析法,对粤港澳大湾区物流

网络结构的网络密度、中心度、凝聚子群、核心-边缘结构进行分析。路少武^[18]运用社会网络分析法,从整体网络密度、节点中心性维度,分析长三角公路物流网络结构,基于多元线性回归模型,分析公路物流网络水平与城市经济发展的协调性。刘文龙等^[19]从物流网络流动格局、节点特征和运输轴线3个方面,以云南省为例,基于社会网络分析与空间分析方法构建考虑流入-流出双向性的工业大宗物资铁路物流网络特征分析体系。然而,研究多集中在单要素流动的空间联系,常选用相对较单一的指标测度研究对象的质量、距离及引力系数。

综上所述,首先,跨境班列铁路运输网络是近几年学者关注的研究方向。再加上近年来南向班列的兴起,跨境铁路运输物流网络结构和其节点枢纽的布局仍值得深入研究。其次,虽然现有文献将引力模型应用在物流领域中,但学者大多研究的是具体城市群的物流网络空间联系特征。最后,许多学者选择引力模型刻画物流网络,并从质量、距离及引力系数方面进行改进,但在引力系数上,学者往往只考虑一个方面,本文则考虑了城市内部发展能力与外部吸引能力两方面,以期数据更加合理。

三、研究方法

(一) 指标体系构建与多指标评价方法

本文借鉴已有研究成果^[20-22],选取出现频率较高的指标,再结合物流经济发展水平、物流信息化情况,跨境铁路运输网络与班列开行质量等4个因素的15个评价指标来构建跨境铁路运输物流网络节点城市物流发展水平评价指标体系,如表1所示。

表1 跨境铁路运输物流网络节点城市物流发展水平评价指标体系

因素	指标
物流经济发展水平	地区生产总值
	地区人均生产总值
	货运量
	货运周转量
	境内公路里程
	铁路货运量
	进出口贸易总额
	社会消费品零售总额
物流信息化情况	移动电话用户数
	互联网接入用户数
	邮政业务总量
跨境铁路运输网络	班列连接的主要铁路线数量
班列开行质量	班列开行密度
	发送箱数
	发送列数

本文将熵权和TOPSIS法结合,对跨境铁路运输物流网络节点城市物流发展水平进行质量评价,具体计算步骤如下:

1. 数据规范化处理

该矩阵设有*i*个评价对象(中欧班列以及南向班列所涉及的节点城市)*i*个评价指标,则第*i*个城市的第

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \text{ 个评价指标为 } X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \text{ 初始化矩阵 } X = (x_{ij})_{m \times n} =$$

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \text{其中 } i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n \quad (1)$$

其中, x_{ij} 为第 i 个评价对象的第 j 个指标数据, i 为评价对象次序; j 为评价指标次序; X 为初始矩阵。

2. 归一化

各指标的量纲不同,为了消除指标的量纲对评价造成影响,需要将所选取的指标矩阵进行标准化处理,得到标准化矩阵 Y 。

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} = \frac{x_{ij} - x_{ij\min}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}} \quad (2)$$

3. 计算各评价指标的熵值和熵权

计算第 j 个指标的熵值 e_j :

$$e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n y_{ij} \ln(y_{ij}) \quad (3)$$

各指标的权重即熵权为:

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

4. 根据物流评价指标的权重得到加权矩阵 P

$$P = (p_{ij})_{m \times n} = (w_j y_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} w_1 y_{11} & \cdots & w_n y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 y_{m1} & \cdots & w_n y_{mn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

5. 确定评价对象的理想解和负理想解

$$V^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J_1), (\min v_{ij} | j \in J_2) | i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n\} \quad (6)$$

$$V^- = \{(\min v_{ij} | j \in J_1), (\max v_{ij} | j \in J_2) | i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n\} \quad (7)$$

其中, J_1 为效益型指标集合; J_2 为成本型指标集合。 V^+ 为效益型指标集的理想解和负理想解; V^- 为成本型指标集的理想解和负理想解。

6. 评价对象到正负理想解的贴近度

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - V_j^+)^2} \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - V_j^-)^2} \quad (9)$$

其中, D_i^+ 为第 i 个评价对象到正最大值的接近度; D_i^- 为第 i 个评价对象到负最大值的接近度。

7. 确定最终得分

$$c_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (10)$$

当 c_i 越接近 1 时,即表示对应的城市物流综合实力越强。通过相对接近度 c_i 可以对一个区域内部的不同物流节点进行排序比较。

(二) 修正引力模型

本文从跨境铁路运输物流网络的实际角度出发,基于引力模型的思想,通过对模型具体参数内涵的

重构,以测度节点之间的物流空间强度。

计算公式为:

$$F_{i \rightarrow j} = G \frac{M_i M_j}{d_{ij}^2} \quad (11)$$

1. 质量参数的修正

在物流质量 M 方面,应该反映跨境铁路运输物流网络下各个节点城市的物流综合实力。本文选取跨境铁路运输物流网络节点城市物流发展水平评价指标体系,作为引力模型中的质量参数。通过熵权 TOPSIS 法计算每个属性的信息熵来确定各个参数的权重,并以此作为修正引力模型后的物流质量参数。

2. 重力影响参数的修正

由于城市间互相吸引力存在不对等的情况,引力系数为 1 的设定已不适用于计算城市间的物流吸引能力。相关文献显示,目前在这块领域上学者们普遍将单个节点城市物流能力值与两个节点城市物流能力值的比值作为修正后的引力系数。这属于从城市的自身发展能力去考虑是否对外部城市有物流吸引能力。此外,还有学者考虑引入城市地位模型、城市流强度等理论,这属于从外部的角度根据城市间吸引能力不对等的情况并对引力系数进行改进。以上方法虽然都从一定程度上解决了城市间吸引力不对等的情况,但城市间的吸引力或影响力不仅由两城内部差异决定,还受到外部多个城市相互作用的综合影响。因此,本文从内外视角共同出发,以多视角考虑城市物流吸引力不对等的情况对引力系数进行改进。

(1) 内部视角

从内部视角,城市之间是否互相吸引,取决于城市自身的物流发展水平。本文采用节点城市物流发展能力值与整体区域的物流发展能力值之比衡量城市自身发展能力。例如,如果发现基础设施对物流活动的影响极大,那么可以理解为在相同条件下,拥有基础设施的节点 a 城市和尚在建设基础设施的节点 b 城市都想和节点 c 城市进行物流活动时,具备较好基础设施的 a 城市对 c 城市的物流吸引力高于基础设施尚在建设中的 b 城市对 c 城市的物流吸引力。

物流吸引力为:

$$S_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (12)$$

(2) 外部视角

从外部视角,城市之间是否互相吸引,取决于城市互相之间的引力强弱。由于有些城市自身没有良好的基础设施水平,物流发展水平相对较低。但这些城市可能拥有较好的地理位置,能够辐射其他物流发展水平高的城市的物流活动。因此,这样的城市具有相对高的区域物流地位,对其他城市有较强的吸引力。在这里本文采取城市地位模型将城市间的吸引能力量化。

城市本底地位:

$$Z_1 = m_i \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n} \frac{1}{d_{ij}} \quad (13)$$

城市相对地位:

$$Z_2 = \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n} \frac{m_j}{d_{ij}} \quad (14)$$

城市地位为城市本底地位和相对地位之和,即:

$$Z_i = Z_1 + Z_2 = m_i \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n} \frac{1}{d_{ij}} + \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n} \frac{m_j}{d_{ij}} \quad (15)$$

综上所述,借鉴杨顺筱^[23]的处理方式通过内外部两个因素考虑后改进后的引力系数表达方式为:

$$G = P_{ij} = S_i \times Z_i \quad (16)$$

其中, P_{ij} 为城市 i 对城市 j 的引力系数, S_i 为城市 i 在考虑内部因素下的引力系数, Z_i 为城市 i 在考虑外部因素下的引力系数。

3. 距离参数的修正

该参数代表的距离衰减函数,反映的是两个节点之间产生空间联系的“阻力”。由于物流具有时效性,所以这里不仅考虑传统的地理因素,也将考虑经济因素。以空间距离和时间距离作为综合距离的变量共同考虑,能够更客观地表示两个城市间的货物往来方式,修正的距离公式表示为:

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^2 \lambda_k \sqrt{l_{ij_k} \times t_{ij_k}} \quad (17)$$

其中, k 表示两个城市之间第 k 种运输方式, $k=2$,即公路与铁路。 λ_k 表示第 k 种运输方式所占的比重,该权重为第 k 种运输方式对应的货运量占节点城市总货运量的比重。 l_{ij_k} 表示选择第 k 种运输方式时,城市 i 到城市 j 的实际最短距离, t_{ij_k} 表示选择第 k 种运输方式时,城市 i 到城市 j 花费的最短时间。

综上所述,最后修正后的引力模型为:

$$F_{i \rightarrow j} = G \frac{M_i M_j}{d_{ij}^2} = \left[\left(m_i \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n} \frac{1}{\sum_{k=1}^2 \lambda_k \sqrt{l_{ij_k} \times t_{ij_k}}} + \sum_{j=1, j \neq i}^{j=n} \frac{m_j}{\sum_{k=1}^2 \lambda_k \sqrt{l_{ij_k} \times t_{ij_k}}} \right) \times \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \right] \times \frac{M_i M_j}{\left(\sum_{k=1}^2 \lambda_k \sqrt{l_{ij_k} \times t_{ij_k}} \right)^2} \quad (18)$$

四、实证研究

(一) 跨境铁路运输网络节点城市的选取

本文以中欧班列及南向班列的开行城市为研究对象。首先,本文重点研究跨境铁路运输节点城市间物流网络结构特征,因此这些节点城市必须具备中转集货、货车重新编组等功能,所以增加以下筛选原则:具有运营中欧班列的经验、稳定的货源和固定的开行频次;由于多式联运是中欧班列未来运输方式发展的趋势,所以城市是否具有多式联运的能力将会成为选择核心节点城市的重要考虑因素。在此基础上再结合《中欧班列建设发展规划(2016—2020年)》本文共选出内陆主要货源地节点、主要铁路枢纽节点、沿海重要港口节点等作为中欧班列运输网络枢纽节点备选城市。各类节点详细信息如表2所示。

表2 中欧班列枢纽节点备选城市

节点类型	城市
内陆主要货源地节点	重庆、成都、郑州、武汉、苏州、义乌、长沙、合肥、沈阳、东莞、西安、兰州
主要铁路枢纽节点	北京、天津、沈阳、哈尔滨、济南、南京、郑州、合肥、武汉、长沙、重庆、成都、西安、兰州、乌鲁木齐、乌兰察布
沿海重要港口节点	大连、天津、青岛、连云港、宁波、厦门、广州、深圳、钦州
其他境内备选节点	石家庄、保定、贵阳、临沂、淄博、徐州、赣州、长春、呼和浩特、太原、上海、金华、绵阳、鹰潭、铁岭、南昌、唐山、廊坊、南平、烟台、德州、福州、石河子、武威

从表2可知,有9个节点城市既是内陆主要货源地节点也是主要铁路枢纽节点,有1个节点城市既是主要铁路枢纽节点又是沿海重要港口节点,为了避免重复,本文选择12个内陆主要货源地节点、7个主要铁路枢纽节点、9个沿海重要港口节点、24个其他境内备选节点。涉及的51个主要城市如下:重庆、成都、郑州、武汉、苏州、义乌、长沙、合肥、沈阳、东莞、西安、兰州、北京、天津、哈尔滨、济南、南京、乌鲁木齐、乌兰察布、大连、青岛、连云港、宁波、厦门、广州、深圳、钦州、石家庄、保定、贵阳、临沂、淄博、徐州、赣州、长春、呼和浩特、太原、上海、金华、绵阳、鹰潭、铁岭、南昌、唐山、廊坊、南平、烟台、德州、福州、石河子、武威。

鉴于本文的研究对象是跨境铁路运输,因此在研究南向班列时,本文重点关注中老以及中越班列的节点货源城市。四川、云南、广西等沿线省市是西部新通道建设的关键区域,分析其物流网络结构特征具有重要意义。另外,其他部分城市如南通,南阳,邯郸也搭上了南向班列的快车道。通过查阅各省市的官方网站

和权威新闻报道,本文选取了中老铁路国际货运班列和中越铁路国际货运班列24个开通城市作为新增节点,纳入跨境铁路运输物流网络中。各类节点详细信息如表3所示。

表3 南向班列枢纽节点备选城市

节点类型	城市
境内备选节点	宜宾、攀枝花、南宁、昆明、九江、柳州、曲靖、南通、怀化、江门、南阳、邯郸、南充、宝鸡、红河、达州、德阳、西宁、石嘴山、遂宁、内江、自贡、广元、定州

本文研究所需的跨境铁路运输物流发展水平指标体系数据均来自《中国统计年鉴》《中国第三产业统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》以及中欧班列门户网站和“一带一路”网。为了确保数据的连贯性,对于个别缺失的指标采用线性插值法进行填补。在引力模型的应用中,由于研究对象是跨境班列各个节点城市,对于铁路里程和铁路运输时间采用城市间的铁路最短铁路里程(包括中转)以及对应时间,此数据通过查询中国铁路12306网站获得;各城市间公路交通距离和公路运输时间采用选取城市之间驾车最短里程及其对应的运输时间,此数据通过查询高德地图获得。

(二) 节点城市物流发展水平能力分析

本文将南向班列节点城市作为新增节点融入中欧班列节点城市,形成最终的跨境铁路运输网络。通过熵权TOPSIS方法,测算出各跨境铁路运输节点城市的物流发展水平,具体结果见表4。根据物流发展水平对节点城市进行排序,结果如图1所示。

表4 跨境铁路运输节点城市物流业发展水平综合评价排名

城市	C值	排名	城市	C值	排名	城市	C值	排名
上海	0.56	1	石家庄	0.07	26	攀枝花	0.03	51
广州	0.41	2	连云港	0.07	27	柳州	0.03	52
西安	0.39	3	哈尔滨	0.06	28	南昌	0.03	53
重庆	0.33	4	乌兰察布	0.06	29	宝鸡	0.03	54
成都	0.28	5	临沂	0.06	30	红河	0.03	55
郑州	0.26	6	太原	0.05	31	保定	0.03	56
济南	0.25	7	烟台	0.05	32	达州	0.03	57
深圳	0.24	8	南通	0.05	33	内江	0.03	58
北京	0.2	9	怀化	0.05	34	钦州	0.02	59
苏州	0.17	10	大连	0.05	35	广元	0.02	60
天津	0.15	11	贵阳	0.05	36	绵阳	0.02	61
南宁	0.14	12	福州	0.04	37	德阳	0.02	62
武汉	0.14	13	南阳	0.04	38	遂宁	0.02	63
长沙	0.14	14	赣州	0.04	39	西宁	0.02	64
青岛	0.13	15	唐山	0.04	40	江门	0.02	65
宁波	0.13	16	呼和浩特	0.04	41	廊坊	0.02	66
南京	0.11	17	长春	0.04	42	淄博	0.02	67
合肥	0.1	18	邯郸	0.04	43	德州	0.02	68
东莞	0.09	19	石嘴山	0.04	44	南平	0.01	69
沈阳	0.09	20	兰州	0.04	45	自贡	0.01	70
金华	0.09	21	乌鲁木齐	0.04	46	武威	0.01	71
义乌	0.09	22	宜宾	0.04	47	石河子	0.01	72
昆明	0.09	23	曲靖	0.04	48	铁岭	0.01	73
徐州	0.09	24	九江	0.03	49	鹰潭	0.01	74
厦门	0.08	25	南充	0.03	50	定州	0.01	75

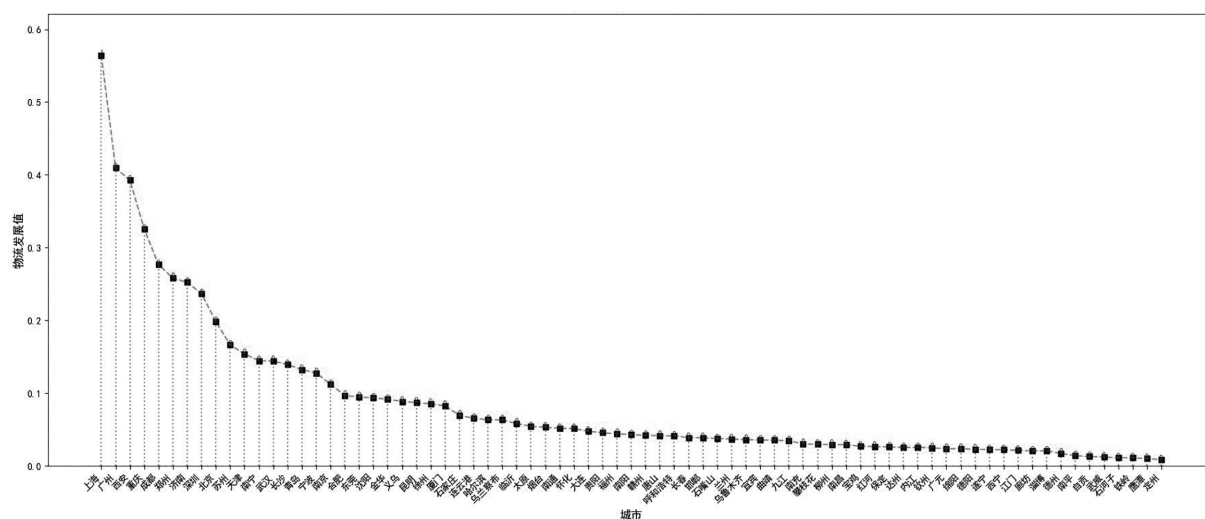


图 1 跨境铁路运输节点城市物流业发展水平排序

综上所述,跨境铁路运输节点城市物流业发展水平差异较大。其中,上海的物流业发展水平最高,达到 0.56,定州市最低,仅为 0.01。通过进一步分析,发现排名靠前的城市在《全国流通节点城市布局规划(2015—2020 年)》中大都定义为国家级流通节点城市。这些城市普遍具备以下特点:经济规模庞大,商品流通量居于全国前列;物流、资金流和信息流高度汇集;物流基础设施建设发展较完善,拥有发达的公路、铁路和港口运输网络,能够高效满足国内外货物流通的需求。以上优势使得这些城市成为全国物流网络的重要枢纽,推动了物流业的快速发展。

物流业发展水平排名较低的节点城市,普遍面临物流集散能力较弱、交通设施建设不足等问题。物流业发展水平不仅受城市经济发展水平的影响,还受到城市地理条件、交通基础设施布局、物流资源整合能力等多重因素的影响。例如鹰潭市,由于丹霞地貌为主、山地丘陵广布,复杂的地质环境条件对交通基础设施建设造成了一定困难,导致其物流网络的连接性和可达性较差,进而影响了其物流发展水平。

城市群内的物流网络连接紧密、货物流动频繁的城市,往往能够通过区域优势和产业集群效应提升物流发展水平。而相对偏远或地理条件不利的城市,则需要通过加大基础设施投入、提升区域物流协同发展能力来弥补自身的不足。

因此,进一步挖掘跨境铁路运输节点城市之间的物流联系强度,对物流网络的优化具有重要意义。通过分析不同城市之间的物流联系特征,为优化跨境运输网络结构、提升整体物流效率提供依据。这不仅有助于增强区域之间的物流协同效应,也能为物流资源的合理配置和政策制定提供科学依据,促进城市物流业的均衡发展。

(三) 节点城市的空间物流联系强度测度

将测算出来的节点城市的物流发展水平带入前文修正的引力模型中,得到跨境铁路节点城市的空间物流联系强度,计算结果见表 5。由于该研究的数据量较大,本文仅展示部分数据。为直观分析跨境铁路班列节点城市的具体情况,对所有节点城市的物流联系总强度值降序排列,如图 2 所示。

表 5 跨境铁路运输班列节点城市之间物流联系强度

城市	上海	广州	西安	重庆	济南	成都	郑州	深圳	...	石嘴山	西宁	红河
上海	0	117.04	31.61	19.37	43.50	6.53	21.51	12.78	...	0.01	0.004	0.005
广州	117.04	0	15.78	23.36	5.65	7.38	6.53	952.36	...	0.01	0.003	0.02
西安	31.61	15.78	0	59.72	17.64	25.97	51.60	5.99	...	0.12	0.02	0.01
重庆	19.37	23.36	59.72	0	5.12	141.25	6.90	7.52	...	0.02	0.01	0.02
济南	43.50	5.65	17.64	5.12	0	3.64	37.33	3.50	...	0.02	0.003	0.003

续表5

城市	上海	广州	西安	重庆	济南	成都	郑州	深圳	...	石嘴山	西宁	红河
成都	6.53	7.38	25.97	141.25	3.64	0	5.60	4.61	...	0.01	0.01	0.02
郑州	21.51	6.53	51.60	6.90	37.33	5.60	0	4.96	...	0.03	0.01	0.004
深圳	12.78	952.36	5.99	7.52	3.50	4.61	4.96	0	...	0.003	0.001	0.01
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
石嘴山	0.01	0.01	0.12	0.02	0.02	0.01	0.03	0.003	...	0	0.003	0.000 4
西宁	0.004	0.003	0.02	0.01	0.003	0.01	0.01	0.001	...	0.003	0	0.000 5
红河	0.01	0.02	0.01	0.02	0.003	0.02	0.004	0.008	...	0.000 4	0.001	0
合计	1 473.32	1 800.00	275.26	303.55	290.64	225.03	232.61	1 219.18	...	0.43	0.13	0.27

注1.合计指某个节点城市与其他所有节点城市物流空间联系强度之和。2.为方便计算和观察,上述数据为原始数值 $\times 10^8$ 。

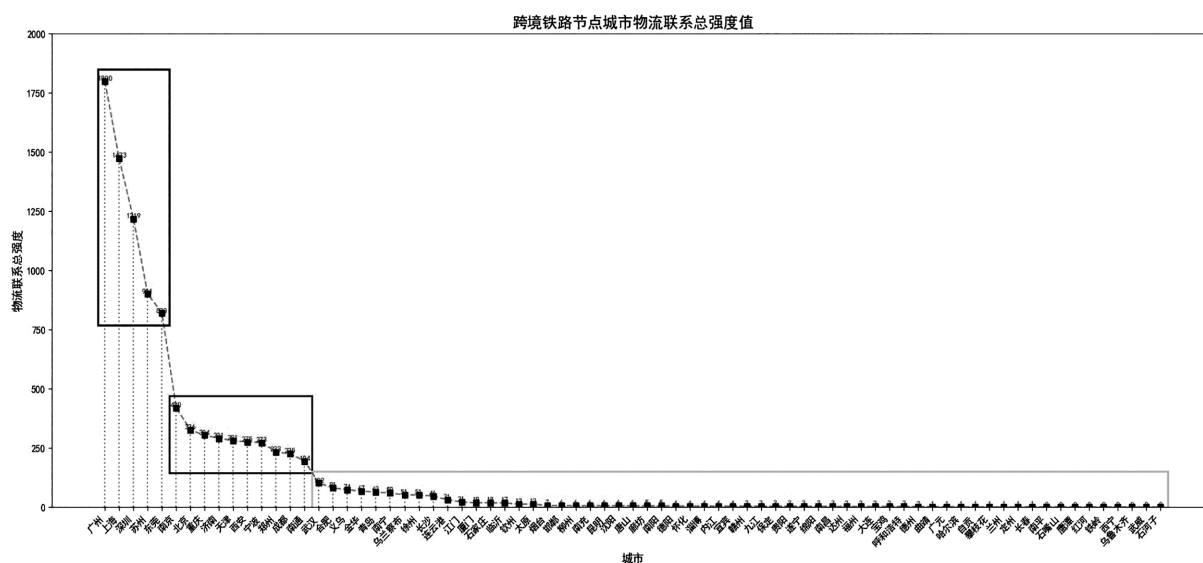


图2 跨境铁路运输节点城市物流联系总强度值排序

通过对节点城市的物流联系强度排序图分析可知,跨境铁路节点城市物流联系强度总量值跨度较大,按照物流联系强度总量进行聚类分析,可将重要的节点城市聚类分为3类:广州、上海、深圳、苏州、东莞属于第一类。排名在6—15的由高到低依次为南京、北京、重庆、济南等10个城市属于第二类。武汉、合肥、义乌等其他60个城市则属于第三类。如果规定该网络中物流联系强度总量排名在整体网络前10%的城市为核心节点,那么广州、上海、深圳、苏州、东莞、南京、北京、重庆属于网络核心节点。而这些具有强物流联系的节点城市大多位于重要的经济区域:广州、深圳、东莞位于珠江三角洲经济圈,上海、苏州、南京位于长三角经济圈,北京位于京津冀城市群,重庆位于长江经济带与丝绸之路经济带的交汇处。这8个节点城市的物流联系强度总量达到了75个节点城市联系总量的70%以上。其中,广州与深圳的物流联系强度最大,上海与苏州的物流联系强度次之。以上说明该跨境铁路运输班列核心节点城市主要位于珠三角、长三角、西三角以及环渤海海湾等区域。

接着,将跨境铁路运输节点城市的物流联系强度值代入 ArcGIS 中进行可视化分析,由于这些城市物流发展水平差异较大,其物流联系强度也有所不同。整体网络的联系强度表现出因网络内部节点城市物流发展水平不一致而导致的差异化现象。整体上弱联系、较弱联系与中度联系占据大部分,较强联系与强联系主要则占少部分。上海、广州、深圳、苏州、东莞、南京、北京、重庆、天津、西安等节点城市与其他城市之间存在着较强的物流联系,而红河、西宁、石河子、铁岭、定州等地与其他城市的联系强度则相对较弱。结合图1数据分析可知,城市的物流发展水平是影响城市之间物流联系强度的重要因素。具有较强

的物流联系表明一般也具有较高的物流发展水平,物流联系强度较弱的城市的物流发展水平也较弱。

对结果进行进一步分析,不难发现物流联系强的主要分布在国家规划和定位的中心城市和经济较发达地区。其中,上海、广州、深圳、苏州、北京、重庆、西安等自身的物流综合发展水平高,再依托强大的经济实力、优越的地理位置,大大增强了与其他节点城市间的物流吸引力;而有些节点城市虽然物流发展水平没有那么高,但是凭借自身的地理优势或在高物流发展水平城市的辐射范围内,同样也会产生较强的物流引力,如上海→南通、济南→北京、上海→宁波、义乌→金华等。

基于上述分析,本文对跨境铁路运输班列节点城市进行区域物流联系的分析与规划。对于中欧班列来说,可以根据《中欧班列建设发展规划(2016—2020年)》划分的东、中、西通道来划分节点的核心城市。在中欧班列西通道中,重庆市与其他节点城市之间的物流联系强度总量为303.55,排在西通道的第一位;西安市的物流联系强度总量为275.25,排在西通道的第二位;成都的物流联系强度总量为225.03,排在西通道的第三位;这说明重庆、西安和成都对西线货源地节点城市的影响力较强。在中通道中,除广东省的广州、深圳、东莞这3个城市的物流联系强度总量特大外,北京、武汉、郑州、合肥与其他城市之间的物流联系强度总量也较大,说明以上节点城市对其他节点城市的物流影响力较强。在东通道城市中,上海、苏州、宁波、济南、天津、南京、金华、义乌、青岛等城市的物流联系强度都处于强联系中,上海、苏州、南京分别排在东通道城市中的第一、第二、第三位,说明这3个节点城市对通道内其他节点城市的物流影响强。对于南向班列而言,南宁与其他城市存在着较强联系,物流联系总量为59.33。总体上看,南向班列相较于中欧班列的节点城市而言,物流联系强度较小,究其原因主要是开通南向班列的这些中西部城市大多数处于经济欠发达地区,自身物流综合水平不高。

另外,根据以上分析,可以进一步得到跨境铁路物流枢纽的优化布局启发。本文将跨境铁路运输班列的节点城市划分为两类城市:物流枢纽城市、备选物流枢纽城市。选择深圳、苏州、重庆、成都、西安、济南、武汉为物流枢纽城市,义乌和南宁作为备选枢纽城市。虽然上海在物流经济发展水平测度、节点城市物流引力测度结果得分最高,不过考虑到上海作为我国综合交通运输枢纽,不适宜作为“中欧班列”枢纽^[24]。同理,北京、广州也如此。此外,广州、深圳、东莞之间存在着特大的物流联系强度,但东莞相较深圳而言,对其他城市的吸引力并不显著。在珠三角城市群中,深圳物流业发展前景好,与其他节点城市也存在着较强的联系,具备建设跨境班列中转枢纽的基础与重新编组运输的能力,所以选取深圳作为物流枢纽城市。在长三角城市中,宁波虽然物流联系强,但由于宁波属于沿海城市,所以海运具有一定的优势,因此不在考虑范围内。结合上文对长三角节点城市联系强度的分析,苏州最有可能成为物流枢纽城市。苏州的物流业发展水平和物流联系强度均位于前列,且苏州位于长三角区域,可以整合上海、江苏、浙江等地区的货源,开行点对点直达的跨境班列,从而增强城市的竞争力。在西三角区域中,选取重庆、成都和西安作为中转集货枢纽。重庆和成都作为西三角重要的交通枢纽,能够有效集结西南等周边地区的货物;结合国家战略定位,西安自中欧班列开通以来的10年间,开行量和货运量等指标稳居全国第一,因此被划入到物流枢纽城市的范围。在环渤海湾区域中,将济南作为枢纽城市,能够集结北京、天津以及河南等地区的货源,避免运输路线的过度重叠与紊乱。根据实际调研情况,济南在2020—2022年连续3年中欧班列开行量稳居全省首位,并且位列全国前十;2024年6月,山东中欧班列累计开行突破1万列,济南市与青岛市在陆海统筹方面发挥了关键作用。这些成果都证明了济南持续加快国际陆港等基础设施,也具备高能级物流枢纽的能力。对于中部地区来说,湖南、江西的货物可以运至武汉,由武汉作为集运枢纽城市重新编排运输,进而降低物流成本。备选物流枢纽城市包括:义乌、南宁。义乌的物流发展水平虽然处于中间位置,但是义乌的物流联系总量达73.74;且义乌作为闻名世界的小商品城,具有稳定的

货源和专列运输需求,具有转型为中转集货枢纽的天然优势。南宁则可整合来自柳州、钦州等地区的货源,实现货物的集散与物流资源的整合优化。南宁与其他城市的物流联系较强,这与西部陆海新通道的发展密不可分。卢越等^[25]指出南宁能够向北联通成渝、贯通西北、辐射中西部,向南紧邻北部湾港口群、便利对接东盟陆上口岸。

综上所述,本文在优化跨境运输物流网络结构时,重点考虑了珠三角、长三角、西三角和环渤海湾区域的节点城市,提出了适宜的枢纽城市划分。在珠三角区域,深圳被选为主要物流枢纽;在长三角区域,苏州作为枢纽城市具有较强潜力;在西三角区域,重庆、成都、西安共同作为中转集货枢纽;济南作为环渤海湾区域的核心物流枢纽;武汉作为中部地区的物流集散中心。义乌和南宁则因其区域特色和稳定的货源被列为备选枢纽城市。

五、结论与政策建议

(一) 结论

本文将 51 个中欧班列开行城市以及 24 个南向班列开行城市作为研究对象,构建了跨境铁路运输班列物流网络,测算了这 75 个节点城市的物流业发展水平,建立了修正后的引力模型,得到了跨境铁路运输网络节点城市的物流发展测度与空间联系;以城市为节点,以物流联系强度关系为线利用 ArcGIS 刻画出跨境铁路运输的物流网络形态。基于此,得出以下结论:

1. 整体网络中,城市之间的物流联系强度总体偏低,且跨境铁路运输网络节点城市物流业发展存在明显的差异。广州、上海、深圳、苏州、东莞、南京、北京、重庆等城市与其他城市存在着较强的物流联系,红河、西宁、石河子、铁岭、定州等地与其他城市的联系强度则相对较弱。

2. 研究城市在物流联系方面反映出较强的区域集聚特征,主要集中在珠三角、长三角、西三角经济圈、环渤海湾 4 大区域。由于西北地区经济基础和交通基础设施等发展滞后,在该网络中表现较差。

3. 随着中欧班列和南向班列的进一步发展且货源量能够支撑开行更多规划开行的班列时,对物流枢纽提出了更高的要求。本文结合城市间物流空间联系强度关系及其各城市自身及其所在区位特征分析,进一步得到了分区域的跨境铁路物流枢纽的优化布局结论。将跨境铁路运输班列的节点城市划分为两类城市:物流枢纽城市、备选物流枢纽城市,分别选择出了深圳、苏州、重庆、成都、西安、济南、武汉为物流枢纽城市,义乌和南宁作为备选枢纽城市。

(二) 政策建议

基于以上研究结论,本文提出以下政策建议:

1. 鉴于整体网络节点城市之间物流联系强度总体偏低的情况,需不断增强各个通道之间的连接和节点地区核心功能,持续发展网络中各城市的基础设施承载力。根据数据的对比分析,网络中表现不佳的城市,如石河子、西宁、武威等需持续发展自身的物流基础设施,加强与周围核心节点城市的物流经济联系,提升物流业综合实力。

2. 针对该网络呈现出的集聚特征而言,跨境铁路运输网络中的核心节点要充分发挥自身的辐射带动能力,如重庆、西安等城市可以发挥对外物流产业的经济联结能力,促进西北部地区的协调发展,为跨境物流网络的发展贡献更多力量。西北地区自身也要不断完善交通基础设施,并增强与邻近枢纽城市之间的可达性,促进通道间的物流经济发展。

3. 重新编排班列枢纽集散中心,优化节点城市布局以及运输路线,将物流吸引力通过枢纽城市及备选枢纽城市辐射到更广的范围,实现城市之间的资源共享,从而带动跨境铁路运输网络班列节点城市的物流发展,提升该网络的运行效率和竞争力。

4. 加强备选枢纽城市的功能性提升,尤其是义乌和南宁这类备选枢纽城市。虽然这些城市的物流发展水平位于中等,但依托其独特的地理优势和稳定的货源,具备较强的发展潜力。

本研究也存在一定的局限性。首先,数据的时间跨度相对有限,可能未能全面捕捉城市物流发展的动态变化。其次,本文只将75个货源节点城市构成的网络作为研究对象,没有把所有开通班列的城市全部考虑进来。因此,在后续的研究中可以进一步扩大研究的范围。

参考文献:

- [1] 计明军,韩提提,方婉薇,等.中欧班列运输网络结构特征演化及影响因素[J].系统工程,2022(6):103-112.
- [2] WANG Y. Status, problems and suggestions on development of Sino-Europe block trains[J]. China Transportation Review, 2015(S1): 70-75.
- [3] CHOI K S. The current status and challenges of China Railway Express (CRE) as a key sustainability policy component of the Belt and Road initiative[J]. Sustainability, 2021(9): 5017.
- [4] YIN C Z, KE Y D, YAN Y, et al. Operation plan of China Railway Express at inland railway container center station[J]. International Journal of Transportation Science and Technology, 2020(3): 249-262.
- [5] CHENG Z L, ZHAO L J, LI H Y. Key factors that influence the performance of China Railway Express operations: Case studies of ten lines in China[J]. International Journal of Shipping and Transport Logistics, 2022(4): 395-431.
- [6] 张建斌,张雅薇,袁强.中欧班列节点城市物流经济发展测度与空间联系[J].商业经济研究,2021(1):106-109.
- [7] JIANG Y L, QIAO G Y, LU J. Impacts of the new international land-sea trade corridor on the freight transport structure in China, central Asia, the ASEAN countries and the EU[J]. Research in Transportation Business & Management, 2020(35): 100419.
- [8] 王萌,谢宇平.中欧班列开通对中国城市出口结构升级的影响研究[J].湖南大学学报(社会科学版),2024(2):85-94.
- [9] 宋锴.关于打通铁路网运输能力堵点对策探究[J].铁道经济研究,2024(2):8-13.
- [10] 王一剑,吕程,朱硕晟,等.“一带一路”倡议下的中欧班列高质量发展研究[J].海外投资与出口信贷,2023(6):19-24.
- [11] 胡梦影,王莹,张家瑞,等.中欧班列开行方案动态优化研究[J].铁道运输与经济,2023(10):27-34.
- [12] 依绍华.中欧班列对“一带一路”欧亚国家的影响及发展建议[J].商业经济研究,2023(16):116-118.
- [13] ZHAO L J, ZHAO Y, HU Q M, et al. Evaluation of consolidation center cargo capacity and locations for China Railway Express[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2018(117): 58-81.
- [14] ZHANG X, ZHANG W, LEE P T. Importance rankings of nodes in the China Railway Express network under the Belt and Road initiative[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020(139): 134-147.
- [15] QIAN P P, YANG Z Z, LIAN F. The structural and spatial evolution of the China Railway Express network[J]. Research in Transportation Economics, 2024(103): 101414.
- [16] 马欣颖,王红春.京津冀区域物流网络结构研究——基于社会网络分析视角[J].北京建筑大学学报,2020(3):95-102.
- [17] 李颖,颜李朝,李双琳.基于社会网络分析的粤港澳大湾区物流网络结构特征研究[J].广东石油化工学院学报,2022(1):69-73.
- [18] 路少武.长三角城市群公路物流网络特征实证分析[J].中国物流与采购,2021(10):44-45.
- [19] 刘文龙,陈方,戴晓峰,等.工业大宗物资的铁路物流网络空间结构特征研究——以云南省为例[J].资源开发与市场,2022(2):163-168,177.
- [20] 王东方,董千里,陈艳,等.中欧班列节点城市物流网络结构分析[J].长江流域资源与环境,2018(1):32-40.
- [21] 刘一凡,董岗.中欧班列集结中心选址优化研究[J].铁道运输与经济,2023(10):10-18.

- [22] 胡宇航. 西部陆海新通道物流网络结构特征及影响因素分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- [23] 杨顺筱. 西部陆海新通道物流网络空间结构与驱动因素研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- [24] 王姣娥, 焦敬娟, 景悦, 等. “中欧班列”陆路运输腹地范围测算与枢纽识别[J]. 地理科学进展, 2017(11): 1332-1339.
- [25] 卢越, 兰捷, 赖承略, 等. 加快建设南宁商贸物流枢纽平台促进我国面向东盟经贸合作提质发展[J]. 中国经贸导刊, 2023(10): 27-29.

Measurement of Logistics Development Levels and Spatial Linkages of Node Cities in the Cross-Border Railway Transportation Network

WEI Hairui, ZHANG Wenhui

(School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The China-Europe Railway Express and the Southbound Railway Express are significant initiatives for optimizing China's regional open-layout strategy. Analyzing their logistics spatial linkages is conducive to integrating and coordinating the logistics resources of node cities. Based on the actual data of 51 node cities of the China-Europe Railway Express and an additional 24 node cities of the Southbound Railway Express, this paper constructs a cross-border railway transport network. The entropy weight TOPSIS comprehensive evaluation method is employed to measure the logistics development level of cities, and a modified gravity model is used to study the logistics spatial linkages between cities. The results show that there are significant differences in the logistics development levels of node cities in the cross-border railway transport network. The logistics linkages among these cities are mainly characterized as weak, moderately weak, and moderate, with fewer strong and very strong linkages. Overall, the network exhibits distinct regional agglomeration features, primarily concentrated in four major areas: the Pearl River Delta, the Yangtze River Delta, the Western Triangle Economic Circle, and the Bohai Rim. To further optimize the structure of the cross-border transport logistics network, this paper ultimately selects Shenzhen, Suzhou, Chongqing, Chengdu, Xi'an, Jinan, and Wuhan as logistics hub cities, with Yiwu and Nanning as alternative hub cities.

Keywords: China-Europe Railway Express; Southbound Railway Express; modified gravity model; logistics spatial linkage; node city

(责任编辑: 杨 睿)