

DOI:10.11918/201910084

区域城市轴辐式货运网络模型构建与应用

刘 杰¹, 陈旭梅¹, 方曾利², 唐华军³, 张义鑫¹

(1.综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室(北京交通大学),北京 100044;
2.郑州综合交通运输研究院有限公司,郑州 450011;3.澳门科技大学 商学院,澳门 999078)

摘 要:为研究区域城市轴辐式货运网络构建思路及方法,基于轴辐理论,从社会经济、运输能力、运输人才三大方面确定反映区域城市货运能力的 17 个技术经济指标,使用主成分分析法降维量化单体城市货运综合竞争力,明确区域范围内枢纽城市备选集. 根据计算结果,进一步引入速度指数和运费指数以改进引力模型和隶属度模型,从而更有效地量化区域城市间货运吸引力关系,明确枢纽城市辐射范围,确定分支城市隶属关系,构建区域城市运输通道体系,最终确定区域城市轴辐式货运网络空间布局. 以河南省 18 个地市为研究对象进行货运网络构建,结果表明:依据本模型建立的以郑州为中心、呈现“一环六枢纽七通道”空间特征的河南省轴辐式货运网络结构符合客观实际. 所建模型客观合理,能有效指导区域城市轴辐式货运网络的构建及运营.

关键词: 综合交通运输;轴辐式网络;引力模型;货运网络;区域经济

中图分类号: U113 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2020)09-0001-07

Model design and application of regional hub-and-spoke freight network

LIU Jie¹, CHEN Xumei¹, FANG Zengli², TANG Huajun³, ZHANG Yixin¹

(1. Key Laboratory of Transport Industry of Big Data Application Technologies for Comprehensive Transport (Beijing Jiaotong University), Beijing 100044, China; 2. Zhengzhou Comprehensive Transportation Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450011, China;
3. School of Business, Macau University of Science and Technology, Macao 999078, China)

Abstract: To study the design methods of regional hub-and-spoke freight network, 17 technical and economic indicators that reflect regional urban freight capacity were determined from three perspectives including social economy, transportation capacity, and transportation professionals. The principal component analysis was used to quantify the comprehensive freight competitiveness of each city and determine the set of hub cities in the region. Based on calculation results, speed and cost indexes were further introduced to improve gravity model and membership model, which can effectively quantify the freight attraction between regional cities, define the influencing range of the hub city, determine the subordination of the branch city, construct the regional urban transport corridor system, and thereby help to determine the regional hub-and-spoke freight network layout. By taking 18 cities in Henan province as an example, a freight network was constructed. Results show that the obtained hub-and-spoke freight network in Henan province was in accordance with real situations, which has Zhengzhou as the center and presents the spatial characteristics of “one ring, six hubs, and seven corridors”. Therefore, the proposed model is reasonable and can effectively guide the design and operation of regional hub-and-spoke freight network.

Keywords: integrated transportation; hub-and-spoke network; gravity model; freight network; regional economy

城市经济的发展形态正在从单一经济体过渡到区域经济体协同发展阶段,区域经济体是一种新的生产综合体,以城市为节点,通道为连线,形成连接商品、经济、信息等要素的网络,通过网络效应促进城市经济发展,而货运是区域经济体发挥网络效应的基石,因此构建城市间货运网络成为发展区域经

济体的首要任务. 如何从实际出发,科学定点、合理构网,优化城市间货运枢纽选址和网络布局,成为具有社会价值和现实意义的研究课题. 轴辐式网络具备高效的运输性能、经济的运输价格、集约的运输结构,即通过构建连接枢纽节点和非枢纽节点的网络结构,实现货物集聚,从而降低运输成本,提高运输效率,其不仅适用于单一城市发展,也适用于城市群发展. 文献[1]指出运输行业须多措并举发展“通道+枢纽+网络”的现代运输体系的必要性,因此轴辐式网络将成为未来城市间货运网络的发展趋势. 文献[2]对轴辐式网络问题进行了研究,首次提出了轴

收稿日期: 2019-10-14

基金项目: 河南省交通运输厅科技计划项目(2019G-2-8,2019G5);
中央高校基本科研业务费重点项目(2017JBZ106)

作者简介: 刘 杰(1996—),男,硕士研究生;
陈旭梅(1974—),女,教授,博士生导师

通信作者: 陈旭梅, xmchen@bjtu.edu.cn

辐式网络问题,并给出了轴辐式网络设计及优化模型.文献[3]构建了基于经济、人口及货运相关情况的评价模型,并对 20 个大都市进行轴辐式网络实证分析.同时在轴辐式网络理论演变过程中,文献[4-7]更侧重研究轴辐式网络枢纽选址和网络优化等微观问题.国内相关学者侧重于从宏观层面研究轴辐式网络问题,文献[8]引入轴辐式网络的相关理论,并应用于国内航空网络的轴辐式构建分析.文献[9]通过 PCA (principal component analysis) 定量分析西江流域若干城市的 12 个技术经济指标,确立了以柳州、南宁为一级枢纽节点的轴辐式物流网络.文献[10]基于主成分分析法,引入社会经济发展水平、物流市场供求状况、基础设施建设状况等因素,构建了海西区轴辐式物流网络.文献[11]基于引力模型结合熵权 TOPSIS 法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution), 研究构建了江苏省区域轴辐式物流网络.文献[12]构建了以武汉港为枢纽港,武汉港—洋山港为轴,其他港口到武汉港为辐的轴辐式网络,降低了 15% 广义总成本.文献[13]构架成渝城市群引力格局.文献[14]利用综合引力模型,将城市吸引力因素量化为影响因子,建立中国城市系统的节点结构.鉴于前人在构建轴辐式货运网络的方法上存在数据支撑不足、计算精细化程度较低等问题,本文综合已有研究成果,结合主成分分析法分析网络节点评价等级的指标体系、同时改进引力模型建立一种可行的轴辐式网络构建思路和方法,并基于河南省实例数据,构建河南省货运网络,最后结合河南省轴辐式货运网络构建结果提出了河南省货运发展建议.

1 模型构建

1.1 轴辐式网络

不同学者对于轴辐式网络定义不同,本文轴辐式网络定义为枢纽节点和若干分支节点相连,货物通过枢纽节点进行集聚、转运,充分发挥网络效应从而优化成本的一种网络结构,如图 1 所示.与传统网络相比,轴辐式网络结构简单,分支节点不直接相连,网络连线少,同时枢纽节点之间货运量大,规模经济效益突出.

根据轴辐式网络结构特点,轴辐式网络构建任务可划分为选定枢纽节点、划分枢纽节点辐射范围、明确分支节点隶属关系.因此本文中轴辐式网络构建步骤如下:通过构造城市货运综合竞争力模型选定枢纽节点;通过城市间货运吸引力模型划分枢纽节点辐射范围;最后通过隶属度模型确定分支节点隶属关系,从而量化构建轴辐式货运网络.

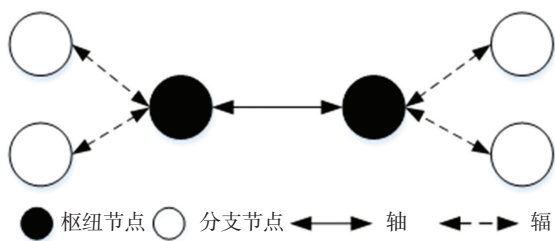


图 1 轴辐式网络拓扑结构

Fig.1 Topological structure of hub-and-spoke network

1.2 城市货运综合竞争力模型

城市货运综合竞争力是发展货运枢纽城市的基础条件,也是界定货运枢纽城市的主要依据.基于河南省实际情况,结合文献[15-18],构建以城市货运综合竞争力为一级指标,社会经济、运输总量、运输人才等二级指标为核心的城市货运综合竞争力指标体系,见表 1.

城市货运综合竞争力影响因素多,涉及方面广.主成分分析模型通过提取评价指标体系中线性无关的关键变量,以降维策略真实、简单、有效地反映城市货运综合竞争力.城市货运综合竞争力模型如下.

1) 标准化样本矩阵. 设原始数据为

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

城市货运综合竞争力评价指标体系包含指标个数多,单位不尽相同,通过 Z-Score 标准化方法统一量纲,进行标准化计算:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\text{var}(x_j)}}, i = 1, 2, \cdots, n, j = 1, 2, \cdots, p; \quad (2)$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}; \quad (3)$$

$$\text{var}(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}; \quad (4)$$

$$\mathbf{X}^* = \begin{bmatrix} x_{11}^* & \cdots & x_{1p}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^* & \cdots & x_{np}^* \end{bmatrix}. \quad (5)$$

式中: x_{ij}^* 为标准化后样本数据, x_{ij} 为城市 i 的 j 指标的数值, $\bar{x}_j$ 为第 j 列指标的平均值, $\text{var}(x_j)$ 为第 j 列指标的方差, $\mathbf{X}^*$ 为标准化后样本矩阵.

2) 相关系数矩阵计算. 城市货运综合竞争力评价指标存在较强相关性,通过构建相关系数矩阵 $\mathbf{R}$ 确定相关性较强的因素:

表 1 城市货运综合竞争力指标体系

Tab.1 Indicator system of comprehensive competitiveness of urban freight transportation

二级指标	三级指标	符号	单位
社会经济发展	GDP	A_1	亿元
	第一产业增加值	A_2	亿元
	第二产业增加值	A_3	亿元
	居民消费水平	A_4	元
	社会消费品零售总额	A_5	亿元
	进口总额	A_6	亿元
	出口总额	A_7	亿元
	综合能源消费量	A_8	万吨标准煤
交通运输总量	铁路货物到达量	A_9	万吨
	公路货运量	A_{10}	万吨
	公路货物周转量	A_{11}	亿吨公里
	交通运输及仓储邮政行业固定资产投资总额	A_{12}	亿元
	公路里程	A_{13}	公里
	载货汽车拥有量	A_{14}	辆
交通运输人力资源	交通运输仓储及邮政业从业人员	A_{15}	万人
	普通高等学校数量	A_{16}	个
	规模以上运输企业数量	A_{17}	家

$$r_{ij} = \frac{\text{Cov}(x_i, x_j)}{\sqrt{\text{var}(x_i)} \sqrt{\text{var}(x_j)}}, \tag{6}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{np} \end{bmatrix}. \tag{7}$$

式中： r_{ij} 为相关系数， $\text{Cov}(x_i, x_j)$ 为指标 i 和指标 j 的协方差， $\mathbf{R}$ 为相关系数矩阵。

3) 特征值、方差贡献率计算. 通过式(8) 计算得到特征值 λ 及方差贡献率, 方差值越高越能反映城市货运综合竞争力. 通过选择特征值>1 且累计方差贡献率>90%成分担当主成分, 减少评价因素.

$$|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{E}| = 0. \tag{8}$$

4) 主成分载荷计算. 主成分载荷反映了影响因素对于主成分的权重, 代入标准化数据计算城市各主成分得分情况, 计算公式为

$$U_i = A_i / \sqrt{\lambda_i}. \tag{9}$$

式中： U_i 为影响因素主成分载荷， A_i 为影响因素成分， λ_i 为对应主成分特征值。

5) 综合评价. 以主成分特征值比率为权重对城市货运综合竞争力进行综合评价, 计算公式为

$$Y = \frac{\lambda_1}{\sum_1^p \lambda_i} Y_1 + \frac{\lambda_2}{\sum_1^p \lambda_i} Y_2 + \cdots + \frac{\lambda_i}{\sum_1^p \lambda_i} Y_i. \tag{10}$$

式中： Y_i 为对应主成分城市货运综合竞争力得分， Y 为各城市货运综合竞争力综合得分。

1.3 城市间货运吸引力模型

通过改进引力模型计算城市间货运吸引力值, 明确货运枢纽城市的辐射范围集合, 网络由点及线.

1.3.1 城市间货运吸引力模型概述

城市间货运吸引力模型实质是万有引力公式, 常用于刻画物体间的相互吸引程度, 吸引力大小与物体本身质量正相关, 与物体间距离负相关^[11], 即

$$F = G \frac{Q_i Q_j}{D_{ij}^b}. \tag{11}$$

式中： F 为城市间货运吸引力； G 为引力常数, 通常取 1； Q_i 及 Q_j 为对应城市 i j 城市货运综合竞争力； D_{ij}^b 为对应城市 i j 之间的距离； b 为距离摩擦系数, 通常取 2.

1.3.2 城市间货运吸引力模型的改进

城市间货运吸引力模型中, D_{ij}^b 为城市间空间地理距离, 但随着科技进步, D_{ij}^b 拓展为包括运输方式、经济、速度、地理距离等因素的引力距离. 引力距离引入速度指数和运费指数, 揭示引力距离和空间地理距离的联系, 计算公式为

$$D_{ij} = \text{SQRT}(\sum_{k=1}^2 \lambda_k \frac{C_k}{V_k} D_{ijk}). \tag{12}$$

式中： λ_k 为采用第 k 种运输方式的概率, 由区域各运输方式对应的货运量占比决定； D_{ijk} 为选择第 k 种运输方式时, 城市 i 与 j 的最短里程； C_k 为运费指数； V_k 为速度指数。

根据引力距离定义,运费越低,速度越快,引力距离越短,故定义速度指数以及运费指数,用于刻画速度及运费关系. 一般来说,铁路货运速度取普速货物列车平均速度为 80 km/h,公路货运速度取高速公路平均速度为 100 km/h,根据二者速度值之比,铁路速度指数为 0.44,公路速度指数为 0.56.

平均运费和运费指数,根据铁路货运运价和公路货运运价计算得出,即

$$p_1 = (0.033 + 0.039) l_1 + 7.9,$$

(13)

$$p_2 = 0.35 l_2,$$

(14)

$$C_k = \frac{p_k}{p_1 + p_2}.$$

(15)

式中: p_1 为铁路货运平均运费; p_2 为公路货运平均运费; l_k 为运输方式 k 平均运输里程, $k = 1$ 时表示铁路运输方式, $k = 2$ 时表示公路运输方式; C_k 为运费指数,反映运输方式运费比值.

城市间货运吸引力模型最终结果为

$$F = \frac{Q_i Q_j}{\sum_{k=1}^2 (\lambda_k \frac{C_k}{V_k} D_{ijk})}.$$

(16)

1.4 城市隶属度模型

为进一步明确城市间货运吸引力方向,即隶属关系,引入城市隶属度模型. 城市隶属度与城市货运综合竞争力正相关,即该城市货运综合竞争力越强,其他城市隶属于该城市的概率越大,计算公式为

$$K_{ij} = \frac{Q_i}{Q_i + Q_j}.$$

(17)

式中 K_{ij} 为城市 i 对城市 j 的隶属度,其值大于 0.5 时城市 j 隶属于城市 i , 小于 0.5 时城市 i 隶属于城市 j , 等于 0.5 时两者相互依存.

2 河南省货运轴辐式网络案例分析

国务院 2017 年印发《中国(河南)自由贸易试验区总体方案》,战略定位为“加快建设贯通南北、连接东西的现代立体交通体系和现代物流体系,将自贸试验区建设成为服务于‘一带一路’建设的现代综合交通枢纽”. 因此,探究构建河南省轴辐式货运网络,以郑州为核心的城市群交通联系,对促进河南经济发展具有参考价值.

2.1 河南省轴辐式货运网络枢纽城市布局

2.1.1 河南省城市货运综合竞争力

选取河南省 18 个地市为样本,计算货运综合竞争力,通过对 18 个城市货运综合竞争力评价指标影响因素进行降维处理,去除相关性叠加影响后得到 3 个不相关变量,记主成分 1、2、3. 其累计方差贡献率达 90.215%,且特征值均大于 1,可更为合理地反映城市货运综合竞争力,故将上述 3 个主成分作为新的变量,见表 2. 通过主成分载荷计算 3 个主成分分别对应的载荷 U_1 、 U_2 、 U_3 , 主成分对应的指标系数见表 3. 根据综合评价公式,得河南省城市货运综合竞争力,见表 4.

2.1.2 河南省城市货运综合竞争力结果分析

根据表 4 城市货运综合竞争力计算结果,郑州得分最高,达到 26.05,划分为第 1 层次城市. 洛阳市和南阳市得分均在 7 分以上,处于第 2 层次,商丘、信阳远低于 7 分但趋于 1,划分为第 3 层次,其他城市划分为第 4 层次,其空间分布特征如图 2 所示.



图 2 河南省城市货运综合竞争力示意图
Fig.2 Schematic of comprehensive competitiveness of urban freight transportation in Henan province

表 2 特征根与方差贡献率

Tab.2 Characteristic roots and variance contribution rates			
主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	10.928	64.283	64.283
2	3.244	19.084	83.368
3	1.164	6.847	90.215

表 3 主成分载荷表

Tab.3 Principal component load

载荷矩阵	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇
U ₁	0.30	0.06	0.29	0.20	0.30	0.26	0.27	0.20	0.23	0.21	0.20	0.25	0.28	0.29	0.11	0.26	0.28
U ₂	-0.04	0.52	-0.09	-0.31	0.03	-0.23	-0.21	-0.18	0.21	0.24	0.23	0.11	-0.18	-0.05	0.50	0.21	-0.01
U ₃	0.00	0.22	-0.05	0.01	0.02	0.21	0.19	-0.47	-0.45	-0.46	0.27	0.37	0.15	0.04	0.03	0.00	-0.08

表 4 河南省城市货运综合竞争力

Tab.4 Comprehensive competitiveness of urban freight transportation in Henan province

城市	Y_1	Y_2	Y_3	Y
郑州	37.95	-5.04	1.07	26.05
洛阳	10.50	1.16	-3.06	7.50
南阳	8.37	6.53	-0.08	7.34
商丘	0.68	4.16	0.04	1.37
周口	-0.01	3.55	2.22	0.91
信阳	-0.44	4.66	-0.18	0.66
驻马店	-1.39	2.92	1.15	-0.28
焦作	-0.67	-2.16	-0.22	-0.95
安阳	-1.09	-0.60	-1.47	-1.02
新乡	-1.48	0.23	-1.05	-1.09
平顶山	-2.57	-0.39	-0.64	-1.96
许昌	-3.10	-0.93	0.39	-2.38
开封	-4.95	-1.07	1.31	-3.65
濮阳	-5.90	-1.24	0.53	-4.42
三门峡	-7.05	-2.12	-0.33	-5.50
漯河	-8.73	-1.94	0.46	-6.60
鹤壁	-10.06	-2.72	-0.23	-7.76
济源	-10.05	-5.00	0.10	-8.21

2.2 河南省轴辐式货运网络枢纽城市辐射范围

河南省内城际货运方式以公路和铁路为主. 根据文献[19] 的数据,2018 年河南省各运输方式完成

货运量中,公路占比 90.6%,铁路占比 3.9%,故公路权重取 0.95,铁路权重取 0.05.

利用 GIS 软件,计算得到河南省境内铁路运价平均里程为 324 km,平均运费为 31.228 元,公路运价平均里程为 256 km,平均运费为 89.6 元. 根据式 (15) 得到铁路运费指数为 0.24,公路运费指数为 0.76,引力模型参数见表 5.

表 5 引力模型参数

Tab.5 Gravity model parameters

运输方式	λ_k	V_k	C_k
铁路	0.05	0.44	0.24
公路	0.95	0.56	0.76

将相关参数代入引力模型计算得到河南省城市间货运吸引力 F , 见表 6. 数据结果显示,郑州洛阳对河南省其他城市具有强吸引力. 若仅以最大值原则确定城市吸引关系,则忽视了其他城市之间的吸引力. 故本文选取除郑州、洛阳外单个城市吸引力排前三,即纵列除郑州、洛阳外排名前三的城市构建吸引关系,为了避免城市隶属关系紊乱,去除同一列吸引力差值大于 3 倍的数值以反映枢纽城市的货运辐射真实情况.

表 6 河南省城市间货运吸引力

Tab.6 Freight attraction between cities in Henan province

F	郑州	开封	洛阳	平顶山	安阳	鹤壁	新乡	焦作	濮阳	许昌	漯河	三门峡	南阳	商丘	信阳	周口	驻马店	济源
郑州		2.9	5.2	2.1	1.9	0.4	4.1	3.8	0.9	2.9	0.7	0.7	2.6	2.1	1.3	2.0	1.7	0.2
开封	2.9		0.6	0.2	0.3	0.1	0.5	0.4	0.2	0.4	0.1	0.1	0.4	0.5	0.2	0.4	0.2	0
洛阳	5.2	0.6		1.1	0.6	0	0.9	1.4	0.3	0.8	0.2	0.5	1.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.3
平顶山	2.1	0.2	1.1		0.2	0	0.3	0.3	0.1	0.6	0.2	0.1	1.0	0.3	0.4	0.6	0.5	0
安阳	1.9	0.3	0.6	0.2		0.3	0.7	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0
鹤壁	0.4	0.1	0	0	0.3		0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0	0
新乡	4.1	0.5	0.9	0.3	0.7	0.2		1.0	0.3	0.4	0.1	0.1	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.1
焦作	3.8	0.4	1.4	0.3	0.4	0.1	1.0		0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.1
濮阳	0.9	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3	0.2		0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0
许昌	2.9	0.4	0.8	0.6	0.3	0.1	0.4	0.4	0.1		0.3	0.1	0.7	0.4	0.4	0.7	0.6	0
漯河	0.7	0.1	0.2	0.2	0.1	0	0.1	0.1	0	0.3		0	0.3	0.2	0.2	0.5	0.3	0
三门峡	0.7	0.1	0.5	0.1	0.1	0	0.1	0.2	0.1	0.1	0		0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0
南阳	2.6	0.4	1.5	1.0	0.4	0.1	0.5	0.5	0.2	0.7	0.3	0.2		0.5	0.9	0.8	0.8	0.1
商丘	2.1	0.5	0.7	0.3	0.3	0.1	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2	0.1	0.5		0.4	0.8	0.4	0
信阳	1.3	0.2	0.6	0.4	0.2	0	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.1	0.9	0.4		0.5	0.9	0
周口	2.0	0.4	0.7	0.6	0.3	0.1	0.4	0.3	0.2	0.7	0.5	0.1	0.8	0.8	0.5		0.9	0
驻马店	1.7	0.2	0.6	0.5	0.2	0	0.3	0.3	0.1	0.6	0.3	0.1	0.8	0.4	0.9	0.9		0
济源	0.2	0	0.3	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	

2.3 河南省轴辐式货运网络隶属关系

根据式 (17) 对河南省城市隶属度关系计算分

析,得表 7 所示结果,该结果表示城市之间的货运隶属关系,以开封和郑州为例,其值为 0.1,小于 0.5,说

明开封在货运关系上隶属于郑州.

2.4 “一环六枢纽七通道”空间布局构建

表 4 为城市货运综合竞争力模型计算结果,郑州、洛阳、南阳、商丘、周口城市货运综合竞争力均在 0.9 以上,具备作为河南省轴辐式货运网络枢纽城市的合理性. 表 6 为城市间货运吸引力模型计算结果,郑州、洛阳、南阳、周口、商丘、安阳等 6 市多条通

道汇聚,表明对其他城市具备更强的吸引力,具备作为枢纽节点备选集的合理性,进一步验证了枢纽城市节点布局合理性,同时明确了相关运输通道. 最后结合表 7 确定城市隶属关系,以联系不同枢纽城市的最短径路通道作为主要通道确定运输网络体系,使用 SUPERMAP 9D GIS 软件绘制出河南省轴辐式货运网络,如图 3 所示.

表 7 河南省城市隶属度
Tab.7 Subordination scale of cities in Henan province

K	郑州	开封	洛阳	平顶山	安阳	鹤壁	新乡	焦作	濮阳	许昌	漯河	三门峡	南阳	商丘	信阳	周口	驻马店	济源
郑州		0.9	0.7	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0
开封	0.1		0.2	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	0.5	0.4	0.7	0.6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.8
洛阳	0.3	0.8		0.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9
平顶山	0.2	0.6	0.3		0.5	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.9
安阳	0.2	0.6	0.3	0.5		0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.8	0.7	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9
鹤壁	0	0.2	0.1	0.2	0.2		0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6
新乡	0.2	0.6	0.3	0.5	0.5	0.8		0.5	0.6	0.5	0.8	0.7	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9
焦作	0.2	0.6	0.3	0.5	0.5	0.9	0.5		0.6	0.5	0.8	0.7	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9
濮阳	0.1	0.5	0.2	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4		0.4	0.6	0.6	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8
许昌	0.2	0.6	0.3	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5	0.6		0.7	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.9
漯河	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.6	0.2	0.2	0.4	0.3		0.4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7
三门峡	0.1	0.4	0.2	0.3	0.3	0.7	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6		0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8
南阳	0.3	0.7	0.5	0.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8		0.6	0.6	0.6	0.6	0.9
商丘	0.2	0.7	0.4	0.6	0.6	0.9	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.4		0.5	0.5	0.5	0.9
信阳	0.2	0.6	0.4	0.6	0.6	0.9	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.4	0.5		0.5	0.5	0.9
周口	0.2	0.6	0.4	0.6	0.5	0.9	0.5	0.5	0.7	0.6	0.8	0.7	0.4	0.5	0.5		0.5	0.9
驻马店	0.2	0.6	0.3	0.6	0.5	0.9	0.5	0.5	0.7	0.6	0.8	0.7	0.4	0.5	0.5	0.5		0.9
济源	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

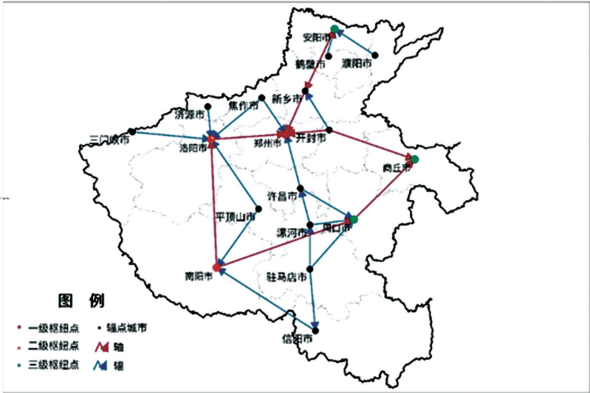


图 3 河南省货运轴辐式网络

Fig.3 Hub-and-spoke network of freight transportation in Henan province

综上,河南省满足以郑州、洛阳、南阳、周口、商丘、安阳为枢纽节点,郑州—洛阳、洛阳—南阳、南阳—周口、周口—商丘、商丘—开封、开封—郑州、安阳—郑州为主要运输通道的轴辐式货运环状网络结构,概括为“一环六枢纽七通道”.

2.5 河南省货运网络发展建议

- 1)完善、提升枢纽功能. 郑州、洛阳、南阳、周口、商丘、安阳作为河南省轴辐式货运网络的 6 大枢纽城市,承担着全省货物集聚、中转、扩散的重任,枢纽城市的能力与效率决定了网络的能力,因此完善枢纽城市货运基础设施设备、提升枢纽城市工作能力、增加轴辐式网络运行效率成为未来货运发展方向.
- 2)加强运输通道建设. 枢纽城市之间的货运组织方式因运输货物的种类、数量、价值等运输特性的不同而存在差异,城际间货运对不同运输方式也具有不同程度的依赖性,因此区分不同枢纽城市的货物运输种类,识别其运输特性,打造最符合其运输特性的运输通道方案显得尤为重要.
- 3)提高多式联运效率. “一环六枢纽七通道”的构建主要依托于公、铁干线,因此二者衔接对于运输效率的提升有着重要的作用,因而河南省需要大力发展公铁联运,充分发挥铁路运输骨干作用.

4) 加强体制机制政策保障. 河南省轴辐式货运网络的建设涉及城市枢纽功能和运输通道的建设, 政府管理者的决策支持不可或缺, 为更好地建立建设货运网络, 需要完善交通运输主管部门与铁路、民航等地方管理机构协同联动机制, 从体制政策上保障货运网络建设发展.

3 结 论

1) 依托轴辐理论和城市隶属度模型形成的区域城市轴辐式货运网络空间模型具有较好的实践性和推广性, 可为货运网络的轴辐化发展提供理论指导.

2) 以 17 项技术经济指标为基础, 制定以竞争力小于 1, 大于 1 小于 7, 大于 7 小于最大值, 以及最大值单列的四级枢纽城市等级划分标准, 明确了枢纽城市等级.

3) 案例研究表明, 以郑州为中心、呈现“一环六枢纽七通道”空间特征的河南省轴辐式货运网络结构与河南省货运发展规划发展具有高度的吻合性, 验算结果客观真实, 符合实际.

4) 案例分析指明, 完善并提升枢纽功能、加强运输通道建设、提高多式联运效率、加强体制机制政策保障等 4 项举措是河南省货运网络朝向“通道+枢纽+网络”的现代运输体系发展的主要策略.

参考文献

[1] 谢雨蓉, 陆成云, 汪鸣. 构建国家物流枢纽网络重构高质量运输大格局[J]. 大陆桥视野, 2019, 10: 22
XIE Yurong, LU Chengyun, WANG Ming. Constructing national logistics hub network and reconstructing high quality transportation pattern[J]. New Silk Road Horizon, 2019, 10: 22

[2] O' KELLY M E. The location of interacting hub facilities[J]. Transportation Science, 1986, 20(2): 92

[3] LINDSEY C, MAHMASSANI H S, MULLARKEY M, et al. Regional logistics hubs, freight activity and industrial space demand: econometric analysis[J]. Research in Transportation Business & Management, 2014, 11: 98

[4] KRATICA F, STANIMIROVIC Z, TOSIC D, et al. Two genetic algorithms for solving the capacitated single allocationp-hub median problem[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 182(1): 15

[5] DAMGACIOGLU H, DINLER D, OZDEMIREL N E, et al. A genetic algorithm for the un-capacitated single allocation planar hub location problem[J]. Computers and Operations Research, 2015, 62: 224

[6] FONTES F F D C, GONCALVES G. A VNDS approach for the liner shipping transport in a structure of hub-and-spoke with sub-hub[J]. IFAC Papers Online, 2018, 51(11): 247

[7] ALKAABNEH F, DIABAT A, ELHEDHLI S. A Lagrangian heuristic and GRASP for the hub-and-spoke network system with economies-of-scale and congestion[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019(102): 249

[8] 金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究[J]. 地理研究, 2001, 20: 31
JIN Fengjun. Development of China's air passenger flow network and its regional system research[J]. Geographical Research, 2001, 20: 31

[9] 丁伟, 张亮, 李健. 轴-辐式现代物流网络构建及实证分析[J]. 中国软科学, 2010, 8: 161
DING Wei, ZHANG Liang, LI Jian. The construction of hub-and-spoke logistics networks and its empirical research[J]. China Soft Science, 2010, 8: 161

[10] 刘荷, 王健. 基于轴辐理论的区域物流网络构建及实证研究[J]. 经济地理, 2014, 34(2): 108
LIU He, WANG Jian. Construction and empirical study of regional logistics network based on hub and spoke theory[J]. Economic Geography, 2014, 34(2): 108

[11] 唐建荣, 张鑫, 杜聪. 基于引力模型的区域物流网络结构研究——以江苏省为例[J]. 华东经济管理, 2016, 30(1): 76
TANG Jianrong, ZHANG Xin, DU Cong. A study on regional logistics network structure based on gravity model—a case of Jiangsu province[J]. East China Economic Management, 2016, 30(1): 76

[12] 于风义. 基于轴辐式网络的长江集装箱航运枢纽港选择[J]. 上海海事大学学报, 2017, 38(3): 47
YU Fengyi. Hub port choice of Yangtze river container shipping based on hub-and-spoke network[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2017, 38(3): 47

[13] 蒋奕廷, 蒲波. 基于引力模型的成渝城市群吸引力格局研究[J]. 软科学, 2017, 31(2): 98
JIANG Yiting, PU Bo. Analysis of attraction pattern in Chengdu-Chongqing urban agglomeration based on a gravity model[J]. Soft Science, 2017, 31(2): 98

[14] HAN Ruiho, CAO Huhua, LIU Ziwei. Studying the urban hierarchical pattern and spatial structure of China using a synthesized gravity model[J]. Science China (Earth Sciences), 2018, 61(12): 1818

[15] 李鹏雁, 丁力. 城市人居环境评价指标及其多元统计分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(5): 116
LI Pengyan, DING Li. Evaluating indices and multivariate analysis of urban living environment[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(5): 116

[16] 王鑫磊, 王圣云. 中部地区“轴—辐”物流网络构建——基于公路和铁路运输成本的分析视角[J]. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1583
WANG Xinlei, WANG Shengyun. The hub-and-spoke logistics network system in central China based on road and railway transportation[J]. Progress in Geography, 2012, 31(12): 1583

[17] BOWEN J T. A spatial analysis of FedEx and UPS: hubs, spokes, and network structure[J]. Journal of Transport Geography, 2012, 24: 419

[18] NGUYEN T, 张锦, 闫妍. 东盟区域国际物流节点研究[J]. 综合运输, 2018, 40(7): 97
NGUYEN T, ZHANG Jin, YAN Yan. ASEAN regional logistics nodes analysis[J]. China Transportation Review, 2018, 40(7): 97

[19] 河南省统计局. 河南统计年鉴[M]. 郑州: 中国统计出版社, 2019
Henan Statistical Bureau. Henan statistical year book[M]. Zhengzhou: China Statistical Publishing House, 2019