

# 区域城市公路货运节点重要度识别及网络构建研究

张璿, 张庆年

(武汉理工大学 交通与物流工程学院, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 根据轴辐式网络理论, 利用因子分析法对区域城市货运发展水平进行评价, 得到单个城市的货运发展得分; 引入引力模型和社会网络理论, 明确枢纽城市及城市间的引力关系, 然后基于隶属度模型确定枢纽城市辐射范围及隶属关系, 最终确定区域公路货运网络的空间布局。以安徽省 16 个地级市为例进行分析, 构建以合肥为主要轴心城市, 芜湖、马鞍山、滁州、六安为次轴心城市, 其他城市为辐点城市的区域公路货运网络, 为区域货运网络构建与优化提供借鉴。

**关键词:** 公路运输; 货运网络; 节点重要度; 引力模型; 社会网络理论; 区域经济

中图分类号: U491.13

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)03-0012-07

区域经济的发展正在由单一经济体向区域整合经济体过渡。区域经济体以城市为节点、城市间的大通道为连线, 形成连接多种要素的综合网络。随着中国城市化进程的加快, 对区域城市货运进行合理规划成为城市群建设的重要问题, 城市货运重要度评价及货运网络构建成为具有现实意义的研究课题<sup>[1]</sup>。

关于运输网络, 国外研究聚焦于轴辐系统量化及枢纽区位的确定, 轴辐式系统及网络具备高效的运输结构、经济的成本优势、便捷的方式转化, 不仅适用于单一城市发展, 更适用于城市群的发展。O'Kelly E. M. 最早对轴辐式网络进行研究, 利用美国城市群案例建立网络模型, 通过整数规划求得了枢纽选址<sup>[2]</sup>。Jeong S. J. 等通过对法国和意大利铁路货运系统的分析, 采用启发式算法解决了轴辐式网络的不适配问题<sup>[3]</sup>。Ishfaq R. 等基于拉格朗日理论, 利用中位数建立模型, 采用禁忌搜索算法对物流网络枢纽选址进行了求解<sup>[4]</sup>。Konings R. 验证了将轴辐式网络用于港口水运的可行性<sup>[5]</sup>。国内关于轴辐式网络的研究起步较晚, 且侧重于网络的空间演化及区域运输网络构建。李文博等采用层次聚类方法确定枢纽节点位置, 并构建了浙江省物流轴辐式网络<sup>[6]</sup>。庞继军研究多枢纽多式联运轴辐式物流网络, 以总成本最小为目标构建上层模型, 以货物等待时间最小为目标构建下层模型<sup>[7]</sup>。彭会萍等运用社会网络理论对 132 个地级市的物流网络结构特征进行了分析<sup>[8]</sup>。唐建荣等采用引力模型, 结合 ArcGIS 可视化方法, 研究了长江经济带物流网络的演变

情况<sup>[9]</sup>。

网络中节点重要度识别方法主要有两种, 一是指标直接评价法, 二是考虑交通网络拓扑结构进行重要度计算。指标直接评价法对基础属性指标进行赋权计算, 以计算结果作为节点的划分依据, 如 Xi S. E. 从交通量、区位条件、经济水平等方面建立交通枢纽评价指标体系, 采用模糊层次分析法对公路交通枢纽规划节点重要性进行了评价<sup>[10]</sup>; 唐建荣等通过 TOPSIS 计算节点的物流水平, 采用引力模型计算节点之间的隶属度, 进而对节点城市的辐射范围进行划分, 构建了江苏省区域物流网络<sup>[11]</sup>。总体来说, 指标直接评价法忽略了节点间的相互关联性, 评价较片面。考虑拓扑结构的重要度计算通过辨别中心点对网络进行评价, 如 Chen D. B. 等定义半局部中心性概念, 并扩展其覆盖范围, 得出了一种精度较高的重要度计算方法<sup>[12]</sup>; Mishra R. 等通过节点删除方法计算节点重要度<sup>[13]</sup>。这类方法虽然从复杂网络角度对节点进行了分析, 但忽略了节点固有属性和节点间的相互作用。本文将这两种方法相结合, 对区域城市公路货运节点进行识别并构建公路货运网络。

## 1 研究方法

### 1.1 区域货运发展水平评价指标体系构建

公路货运发展水平评价指标应从不同角度集成以反映网络中节点的物流发展水平。区域城市货运发展水平直接影响经济的发展, 指标选取时, 应考虑经济结构与经济规模; 节点城市在不断发展, 选取指

标时必须考虑未来的发展状况。此外,还要考虑节点位置、物流基础设施发展、物流供需状况等。考虑以上因素,借鉴文献[14—15]的研究成果,结合区域公路货运特点构建节点城市货运发展评价指标体系(见表1)。

表1 节点城市货运发展评价指标体系

一级指标	二级指标
社会经济发展水平	国内生产总值 $A_1$
	进出口总额 $A_2$
	社会消费品零售总额 $A_3$
	工业生产总值 $A_4$
	规模企业数量 $A_5$
货运市场供需状况	物流固定资产投资额增长率 $A_6$
	公路营运载货汽车拥有量 $A_7$
	公路货运量 $A_8$
	公路周转量 $A_9$
	公路里程 $A_{10}$
基础设施支撑能力	城镇非私营交通从业人员 $A_{11}$
	普通高校数量 $A_{12}$
	互联网用户数 $A_{13}$
	固定电话用户数 $A_{14}$

## 1.2 因子分析法

考虑数据的相关性,采用因子分析法<sup>[16]</sup>对节点城市货运发展水平进行评价。计算过程:

(1) 由于评价指标数据存在量纲差异,采用 Z-Score 法对事故数据进行归一化,并通过 KMO 检验和 Bartlett 球形检验验证数据是否适宜进行因子分析,要求 KMO 检验统计量大于 0.5、Bartlett 检验统计量的显著性水平小于 0.01。

(2) 利用 SPSS 软件,采用主成分分析法求解因子荷载,求解其特征值和特征向量,提取特征值大于 1 的主因子。

(3) 对荷载矩阵进行方差最大化正交旋转,采用最小二乘意义上的回归法估计因子值系数,进而计算因子得分。

(4) 将方差贡献率作为主因子的权重,计算节点城市的最终得分。

## 1.3 引力模型

采用引力模型计算节点城市之间的引力强度,公式如下:

$$F_{ij} = k \frac{M_i M_j}{L_{ij}^\gamma} \quad (1)$$

式中: $F_{ij}$  为节点城市之间的物流联系强度,即引力; $k$  为引力系数,其值通常取 1; $M_i$ 、 $M_j$  分别为节点城市  $i$ 、 $j$  的物流质量; $\gamma$  为距离衰减系数,其值通常取 2; $L_{ij}$  为节点间的距离。

## 1.4 社会网络中心性评价

社会网络分析的中心性指标可用来评价物流网络中不同节点的作用及地位,分析节点对网络整体的影响。网络中心性是社会网络分析的重要内容,其对网络边权进行量化,更加直接地反映物流网络中节点的重要性,中心值越高,则节点在区域内拥有越高的地位,反之则处于边缘地位。中心性指标分为:

(1) 点度中心性。点度中心性主要反映与节点直接相连的网络其他节点数量,表现节点的连接范围,按式(2)计算。节点的点度中心性值越大,则该节点在网络中的连接范围越广。

$$C_D(i) = \frac{\mu_i}{N-1} \quad (2)$$

式中: $C_D(i)$  为节点  $i$  的点度中心性值; $\mu_i$  为节点  $i$  的度; $N-1$  为最大可能的度。

(2) 接近中心性。接近中心性主要反映节点到其他节点的距离,体现该节点与网络中心的距离远近,按式(3)计算。节点的接近中心性值越大,则该节点距离其他节点越近。

$$C_C(i) = \frac{N-1}{\sum_{j=1, j \neq i}^N L_{ij}} \quad (3)$$

式中: $C_C(i)$  为节点  $i$  的接近中心性值; $L_{ij}$  为节点  $i$  距节点  $j$  的最短距离。

(3) 中介中心性。中介中心性主要反映节点的衔接能力,即节点的中转实力,按式(4)计算。节点的中介中心性值越大,则该节点的中转能力越强。

$$C_B(i) = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{j \neq i, h \neq i}^N \frac{\mu_{jh}(i)}{\mu_{jh}} \quad (4)$$

式中: $C_B(i)$  为节点  $i$  的中介中心性值; $n$  为与节点  $i$  相连的节点数; $j$  为与节点  $i$  相连的节点; $h$  为与节点  $j$  相连的节点; $\mu_{jh}$  为从节点  $j$  到节点  $h$  的最短路径总数; $\mu_{jh}(i)$  为最短路径中通过节点  $i$  的数量。

(4) 强度中心性。强度中心性主要反映节点的联系量在整个社会网络中所占比例,按式(5)计算。节点的强度中心性值越大,则该节点在网络中的荷载越大。

$$C_s(i) = \frac{q_i}{Q} = \frac{\sum_{j \in N_i} q_{ij}}{Q} \quad (5)$$

式中:  $C_s(i)$  为节点  $i$  的强度中心性值;  $q_i$  为节点  $i$  的边权;  $Q$  为网络中边权的和;  $N_i$  为与节点  $i$  相连的所有节点的集合;  $q_{ij}$  为与节点  $i$  连接边的权。

### 1.5 多属性决策方法

现有研究表明单一指标的中心性评价对网络的分析具有重要作用。但单一指标往往存在片面性, 现实的网络都较复杂, 很多情况下无法运用单一指标进行全面评价。因此, 采用改进熵权—灰色关联分析方法对货运网络进行综合评价。计算过程:

(1) 确定评价指标, 建立评价矩阵。设矩阵中有  $m$  个评价指标、 $n$  个评价对象, 则评价矩阵为:

$$X_{mn} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

(2) 按式(7)对指标数据进行规范化处理。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

式中:  $x'_{ij}$  为第  $i$  行第  $j$  列数据标准化后的值;  $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  分别为指标的最大、最小值。

(3) 按式(7)计算信息熵  $H_i$ 。

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n \frac{x'_{ij}}{\sum_{j=1}^n x'_{ij}} \cdot \ln \frac{x'_{ij}}{\sum_{j=1}^n x'_{ij}} \quad (8)$$

(4) 按式(9)计算熵权值  $\omega_i$ 。

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^m H_j + 1 - 2H_i}{\sum_{h=1}^m (\sum_{j=1}^m H_j + 1 - 2H_h)} \quad (9)$$

(5) 进行灰色关联分析。首先采用 Z-Score 法进行数据标准化, 然后按式(10)计算关联系数, 最后基于改进熵权值按式(11)计算综合关联度  $P_j$ 。

$$\gamma_{ij} = \frac{\min_i \min_j |x_{ij} - x_{oj}| + p \max_i \max_j |x_{ij} - x_{oj}|}{|x_{ij} - x_{oj}| + p \max_i \max_j |x_{ij} - x_{oj}|} \quad (10)$$

式中:  $\gamma_{ij}$  为关联系数;  $x_{ij}$  为标准化后数据;  $x_{oj}$  为参考序列值;  $p$  为分辨系数, 其值为  $[0, 1]$ 。

$$P_j = \sum_{i=1}^n \omega_i \gamma_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

### 1.6 隶属度模型

由于引力模型仅能得出轴心城市的辐射范围,

难以确定辐点城市的最终归属。为进一步确定区域城市的辐射范围及轴心城市和辐点城市间的相互关系, 引入隶属度模型。计算公式如下:

$$Q_{ij} = \frac{F_{ij}}{\sum_{j=1}^n F_{ij}} \quad (12)$$

式中:  $Q_{ij}$  为  $i$  市归属于  $j$  市的概率;  $F_{ij}$  为两市的引力大小;  $n$  为所有城市。

## 2 安徽省公路货运节点重要度识别

### 2.1 安徽省货运现状及数据来源

安徽是公路运输大省, 据统计, 2020 年各种运输方式完成的货运量中, 公路与铁路的比例为 32:1。公路运输与水路运输是安徽省的主要货运方式, 但只有部分城市有水路运输, 公路运输占主导地位。近年来, 安徽省积极扩大对外开放, 加快建设对外开放新高地, 但与周边省份相比, 开放水平还不够, 急需推进开放型大通道建设<sup>[17]</sup>。基于此, 以安徽省为例进行区域公路货运网络构建研究较为合理。

指标数据来自《中国统计年鉴—2020》及《安徽统计年鉴—2020》, 对于某些无法查到的数据, 运用均值插补法进行处理。节点城市之间的公路运输距离来源于好运物流网。

### 2.2 安徽省城市货运发展水平测算

选取安徽省 16 个地级市作为研究节点城市, 采用前述节点货运水平测算方法, 通过因子分析法计算节点城市公路货运发展水平。

对标准化后节点物流发展水平数据进行 KMO 和 Bartlett 检验, KMO 检验统计量为 0.684, Bartlett 检验统计量的显著性为 0.000, 说明所选变量之间无较强独立性, 适宜进行因子分析。运用方差贡献法提取主因子, 其中前 3 个因子特征值大于 1, 且累计方差贡献率为 89.87%, 提取这 3 个因子作为主因子代表 14 个指标, 主因子名称为荷载大于 0.5 的重要自变量(见表 2)。为使主因子意义更明显, 对荷载矩阵进行正交旋转。

表 2 主因子及其自变量

主因子编号	主因子名称	重要自变量
1	社会经济及基础设施因子	$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}$
2	物流运输因子	$A_7, A_8, A_9, A_{10}$
3	增长率因子	$A_6$

按 1.2 节中步骤 3 和步骤 4 计算每个主因子的得分及城市货运发展水平的最终得分,结果见表 3。由表 3 可知:合肥在社会经济及基础设施建设方面

拥有绝对优势,在物流运输与增长率方面阜阳和池州分别拥有较大优势,在城市货运发展水平排名中,合肥、阜阳、芜湖分列前三位。

表 3 主因子和城市货运发展水平的得分

节点城市	各主因子的得分			货运发展水平 的得分		节点城市	各主因子的得分			货运发展水平 的得分
	主因子 1	主因子 2	主因子 3				主因子 1	主因子 2	主因子 3	
合肥	3.358	0.807	1.000	2.343		六安	−0.685	0.914	−0.643	−0.195
阜阳	−0.407	2.325	−0.305	0.433		马鞍山	0.182	−1.003	−0.283	−0.226
芜湖	1.092	−1.210	−1.500	0.129		池州	−0.494	−0.680	2.243	−0.271
蚌埠	−0.524	1.046	0.984	0.107		淮南	−0.344	−0.409	0.042	−0.324
滁州	0.120	0.297	−1.567	0.001		宣城	−0.235	−0.447	−1.036	−0.381
宿州	−0.435	0.737	0.046	−0.030		铜陵	−0.245	−1.191	1.103	−0.395
安庆	0.220	−0.355	−0.563	−0.034		淮北	−0.575	−0.436	0.182	−0.456
亳州	−0.544	0.599	0.219	−0.119		黄山	−0.484	−0.995	0.072	−0.582

2.3 基于引力模型的节点间引力计算

由于各节点城市的物流得分中部分为非正值,为不影响最终结果,在计算物流引力前将得分加上数值 1,使节点城市的物流质量均为正值。由于安徽省现阶段还是以公路运输为主要运输方式,结合

已有研究,将节点城市间的距离定义为公路运输距离和运输时间的几何平均数,公路运输距离和时间均来源于“好运物流网”(限于篇幅,原始数据未展示)。按式(1)计算节点城市间的物流引力强度,结果见表 4。

表 4 节点间物流引力值

节点城市	合肥	芜湖	蚌埠	淮南	马鞍山	淮北	铜陵	安庆	黄山	滁州	阜阳	宿州	六安	亳州	池州	宣城
合肥	—															
芜湖	123	—														
蚌埠	166	22	—													
淮南	206	14	193	—												
马鞍山	110	401	14	9	—											
淮北	24	5	28	10	3	—										
铜陵	76	78	8	7	26	2	—									
安庆	103	30	10	9	14	3	44	—								
黄山	18	10	3	2	5	1	12	8	—							
滁州	172	53	47	25	80	25	14	11	3	—						
阜阳	101	13	43	60	9	18	6	9	2	18	—					
宿州	57	10	93	29	7	217	4	6	2	17	29	—				
六安	270	17	21	24	11	4	14	23	4	16	43	9	—			
亳州	28	5	18	11	3	28	17	3	1	7	89	42	10	—		
池州	62	42	7	18	17	2	109	147	10	10	7	4	12	2	—	
宣城	35	134	6	4	45	2	33	14	5	16	5	3	5	2	19	—

注:由于不考虑引力方向,只列出两节点城市之间物流引力强度的单向数据,反向引力值与它一致;表中数据为原始数据×10<sup>6</sup>后取整数,以方便计算和观察。



市( $F \leq 0.66$ ),分类结果见图 2。由图 2 可知:合肥为重要城市;芜湖、马鞍山、滁州、六安为次重要城市;铜陵、蚌埠、淮南、安庆、阜阳、宿州、池州为一般城市;其他城市为次一般城市。将前两类城市作为货运网络枢纽,其中合肥为一级轴心城市,芜湖、马鞍山、滁州、六安为二级轴心城市,其他城市为辐点城市。

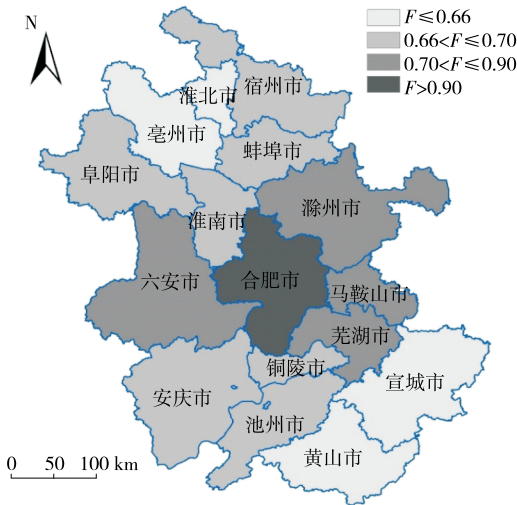


图 2 安徽省节点城市货运发展层次聚类分析结果

3 安徽省公路货运轴辐式网络构建

3.1 隶属度计算

按式(12)计算轴心城市与辐点城市之间的隶属度,结果见表 7。

表 7 轴心城市与辐点城市之间的隶属度

辐点城市	与下列轴心城市的隶属度				
	合肥	芜湖	马鞍山	滁州	六安
蚌埠	0.245	0.032	0.021	0.069	0.030
淮南	0.331	0.022	0.015	0.041	0.039
淮北	0.067	0.013	0.009	0.076	0.012
铜陵	0.169	0.174	0.057	0.031	0.031
安庆	0.237	0.068	0.032	0.025	0.053
黄山	0.209	0.113	0.055	0.040	0.043
阜阳	0.222	0.024	0.020	0.030	0.094
宿州	0.108	0.021	0.013	0.033	0.017
亳州	0.107	0.018	0.012	0.025	0.037
池州	0.134	0.089	0.036	0.021	0.025
宣城	0.108	0.408	0.137	0.050	0.014

辐点城市对轴心城市的隶属度越大,表明该辐点隶属于轴心的概率越大。合肥在安徽省具有绝对优势,综合得分大于 0.9,但若仅以最大值确定城市隶属关系,则会忽视其他城市的吸引力。因此,在确定隶属关系时,除确定主位隶属关系外,还确定次位隶属关系,且确定次位隶属关系时排除合肥市。从表 7 可以看出:蚌埠的主位联系为合肥(隶属度为 0.245),次位联系为滁州(隶属度为 0.069);淮南的主位联系为合肥,次位联系为滁州;淮北的主位联系为滁州,次位联系为芜湖;铜陵的主位联系为芜湖,次位联系为马鞍山;安庆的主位联系为合肥,次位联系为芜湖;黄山的主位联系为合肥,次位联系为芜湖;阜阳的主位联系为合肥,次位联系为六安;宿州的主位联系为合肥,次位联系为滁州;亳州的主位联系为合肥,次位联系为六安;池州的主位联系为合肥,次位联系为芜湖;宣城的主位联系为芜湖,次位联系为马鞍山。

3.2 货运网络构建

根据货运引力及隶属度计算结果,合肥与芜湖辐射的城市较多。合肥基本上覆盖到整个安徽省,拥有绝对优势,为安徽公路轴辐式货运网络的一级轴心。芜湖是安徽省的第二大城市,作为副中心城市,它承担了安徽省内物流发展的重任,可以辐射铜陵、宣城、池州、黄山、淮北、安庆等城市。马鞍山、滁州和六安虽然没有辐射到特别多的城市,但也是轴心城市不可或缺节点。

在轴辐式网络中,轴心城市之间的通道称为干线通道,干线通道的形成有利于高度集散城市群的资源。根据货运引力计算结果,合肥与芜湖、合肥与马鞍山、合肥与滁州、合肥与六安、芜湖与马鞍山、芜湖与滁州、马鞍山与滁州之间的引力均大于 50,称为强引力,可以构成干线通道,而其他轴心城市之间的货运引力不足以构建干线通道;轴心城市与辐点城市之间的通道称为支线通道,其通行能力较小;辐点城市与次位联系的轴心城市连接形成的通道为次支线通道,为避免因部分城市引力过大而忽略其他城市的引力,次支线的通行能力小于支线。安徽省公路货运轴辐式网络见图 3。

3.3 安徽省公路货运网络发展建议

(1) 大力发展、完善枢纽功能。合肥、芜湖、马鞍山、滁州、六安作为安徽省货运网络的五大枢纽节点,承担着省内货物中转、集散、服务的重任,枢纽节点的功能及效率在很大程度上决定整个货运网络的



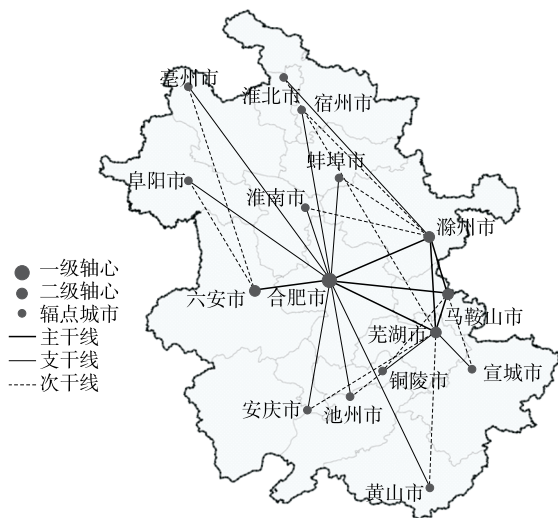


图3 安徽省公路货运轴辐式网络

能力,完善枢纽物流基础设施、提升枢纽城市货运能力对安徽省货运发展至关重要。

(2) 加强运输大通道建设,优化资源配置。枢纽城市之间的货运因运输货物的特性不同存在很大差异,区分不同枢纽节点的货物运输特性,打造符合运输特性的运输通道方案特别重要。

(3) 提升枢纽多式联运功能。枢纽节点的货物集散可采用公路运输方式,但安徽省对外出口运到海港距离较远,需充分发挥铁路运输优势,大力发展公铁联运,完善铁路运输基础设施。

(4) 重点布局 and 加强枢纽建设地区的配套工程,重点培育枢纽的运营主体企业,创造良好的运营模式。在布局上,枢纽应依托所在城市,汇集关键的产业集群,并与其他枢纽建立联系,打造合理、完善、智慧、高效和绿色的枢纽网络体系。

#### 4 结论

(1) 从社会经济发展水平、货运市场供需状况、基础设施支撑能力三方面对安徽省公路货运网络节点重要度进行计算,得到各节点的综合得分,综合考虑了节点城市之间的物流引力大小及节点间的相互影响,而以往绝大多数研究只考虑节点城市的条件指标。

(2) 安徽省内,合肥、芜湖、马鞍山、滁州、六安可作为货运网络的轴心节点,其中合肥的综合评分大于0.9,拥有绝对的核心地位,是一级轴心节点,芜湖、马鞍山、滁州、六安为二级轴心节点。基于隶属度模型,计算安徽省其他城市对轴心城市的隶属度,得到辐点城市的主位联系和次位联系,构建轴心之

间的干线通道、轴心与辐点之间的支线和次支线通道。

(3) 完善枢纽功能、加强运输大通道建设及优化资源配置、提升枢纽多式联运功能、重点布局枢纽地区配套工程是安徽省建设对外开放新高地货运网络及现代运输体系的主要策略。

#### 参考文献:

- [1] 曹志强,杨箐,叶子瑜.“陆海新通道”下区域物流系统综合评价与轴辐网络构建研究:以广西为例[J].系统科学学报,2022,30(1):119—124.
- [2] OKELLY E M. A geographer's analysis of hub-and-spoke networks[J]. Journal of Transport Geography, 1998,6(3):171—186.
- [3] JEONG S J, LEE C G, BOOKBINDER J H. The European freight railway system as a hub-and-spoke network[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2007,41(6):523—536.
- [4] ISHFAQ R, SOX C R. Hub location-allocation in inter-modal logistic networks[J]. European Journal of Operational Research, 2011,210(2):213—230.
- [5] KONINGS R. Hub-and-spoke networks in container-on-barge transport[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2006, 1963(1):23—32.
- [6] 李文博,张永胜.浙江轴辐式现代物流网络构建的实证研究[J].经济地理,2011,31(8):1335—1340.
- [7] 庞继军.轴辐式物流网络的选址及路径分配研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [8] 彭会萍,曹晓军,刘晓航,等.社会网络视角下西部地区物流网络结构研究[J].商学研究,2019,26(2):98—106.
- [9] 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.
- [10] XI S E. Evaluation of nodes importance in of highway transportation hubs planning based on fuzzy-AHP[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 253—255: 1181—1187.
- [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—82.
- [12] CHEN D B, LÜ L Y, SHANG M S, et al. Identifying influential nodes in complex networks[J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2012, 391(4): 1777—1787.

(下转第23页)

由表 5 可知:目前湖南省省际高速公路衔接通道的综合评价等级为Ⅲ级,评价结果为“一般”;湖南与广西、重庆间的省际高速公路衔接通道综合评价等级为Ⅱ级,但道路衔接密度和重要节点连通密度的评价等级为Ⅲ级,评价结果为“一般”;湖南与周边其他省份的省际高速公路衔接通道的衔接密度和连通密度的评价等级都不高,特别是湖南与贵州之间,道路衔接密度和重要节点连通密度的评价等级为Ⅳ级,评价结果为“差”,建议增加与贵州的省际高速公路通道,提高衔接密度和连通密度;湖南与湖北、江西、广东、贵州间的省际高速公路衔接通道综合评价等级为Ⅲ级或Ⅳ级,其中与广东、贵州间的省际高速公路衔接通道网存在断头路密度高、道路建设时序匹配度低等问题,建议在下一阶段的高速公路网规划时加强湖南与广东、贵州间的高速公路规划与建设,统一建设时序和建设标准,以避免由于建设时序和建设标准不同造成衔接不顺畅。

#### 4 结论

本文构建省际高速公路通道衔接状况评价体系,并对指标合理性进行分析;结合层次分析法和熵权法确定各指标的权重,通过云模型对湖南省省际高速公路衔接通道状况进行综合评价。评价结果表明:目前湖南省省际高速公路衔接通道综合评价等级为Ⅲ级,评价结果为“一般”;在相邻六省区市中,湖南省与广西、重庆间省际高速公路衔接通道的综合评价结果较好,与其他四省间省际高速公路衔接通道的综合评价结果较差,未来湖南省应加强与广东、贵州、江西、湖北间的高速公路规划与建设。

#### 参考文献:

[1] 朱顺应,王红,李关寿.公路网规划评价指标选取[J].重

庆交通学院学报,2002,21(2):28—32.

- [2] 张娟敏.高速公路网规划评价指标体系研究[J].公路交通科技(应用技术版),2010(7):182—184.
- [3] 崔洪军,于佳丽,李霞,等.区域路网一体化综合评价指标体系[J].科学技术与工程,2018,18(15):299—304.
- [4] 王龙.省际干线公路衔接通道建设问题优化研究[J].湖南交通科技,2017,43(1):33—36+148.
- [5] 熊又萱,戚将.重庆市通勤高峰高速公路与城市道路衔接评价研究[J].公路与汽运,2022(3):11—14.
- [6] 林忠,宇仁德,田启华,等.公路网规划的综合评价方法研究综述[J].交通科技,2006(4):57—60.
- [7] 吴涛,瞿尔仁,陈志忠,等.公路网规划方案综合评价方法[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2002,25(3):389—393.
- [8] 涂圣文,过秀成,孙志华,等.干线公路过境规划评价方法研究[J].交通运输工程与信息学报,2009,7(1):32—37.
- [9] 高贺,夏晓英.基于可拓理论的公路网规划方案评价研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(3):501—505.
- [10] 李晓伟.交通一体化视角下的公路网衔接优化与实施决策[D].西安:长安大学,2012.
- [11] 刘学军,蒋明锋.高速公路出入口衔接路网适应性分析[J].公路与汽运,2018(6):19—21+27.
- [12] 王辉,曾俊伟,钱勇生,等.基于灰色关联分析的西部区域公路网技术评价[J].交通与运输,2017(增刊 2):168—171.
- [13] 李德毅,刘常昱.论正态云模型的普适性[J].中国工程科学,2004,6(8):28—34.
- [14] 高雅隼,许伦辉.基于云模型的交通状态评价系统及其应用[J].公路交通科技,2013,30(11):124—130+138.

收稿日期:2022—03—22

\*\*\*\*\*  
(上接第 18 页)

- [13] MISHRA R, CHATURVEDI S K. A cutsets-based unified framework to evaluate network reliability measures[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2009, 58(4):658—666.
- [14] 程涛.基于改进引力模型的区域物流网络结构分析及实证研究[D].保定:河北大学,2019.
- [15] ZENG J, SHAO C X, WANG X F, et al. Evaluation method for node importance based on attraction be-

tween nodes [J]. International Journal of Modern Physics C, 2018, 29(12):37—52.

- [16] 李良,艾旭升.SPSS 数据处理与分析[M].北京:人民邮电出版社,2020:217—230.
- [17] 周海燕.安徽省内陆开放新高地建设思路探究[J].产业创新研究,2019(8):25—26.

收稿日期:2022—05—19