

基于修正熵权与改进 TOPSIS 法的 运输通道节点重要度评价

李广路, 朱海, 吕明

(西南交通大学 交通运输与物流学院 四川 成都 610031)

摘要: 节点重要度评价是进行区域综合运输通道布局的重要环节。为准确评价区域节点重要度,基于通道需求影响因素分析,系统地构建了多层综合评价体系。针对模糊综合评价权重难以确定问题,同时为兼顾主观和客观因素,利用修正的熵权法进行权重确定。同时针对传统 TOPSIS 模型的缺点,引入分层域重合度的概念进行模型改进。最后通过实例分析进行算法说明和适用性验证。

关键词: 通道规划; 节点重要度; 修正熵权; 改进 TOPSIS

中图分类号: U113 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)01-0078-06

0 引言

综合运输通道是地域经济的重要组成部分和区域经济发展的命脉,合理地规划运输通道对区域经济发展有重要意义。节点重要度评价是通道规划的重要环节,它关系到节点分层和通道规划的节点可达性,因此,客观、准确地评价节点重要度对运输通道规划至关重要。

杨涛^[1]提出以人口、工业产值和商品零售总额三项指标作为规划节点重要度的定量分析指标,并对各指标主观赋权进行重要度评价。王元庆等^[2]提出以“人口、国内生产总值、农民人均收入等”作为指标进行线性加权来进行农村公路网规划的节点重要评价。张生瑞等^[3]选取区域 GDP、人口等经济社会指标,以层次分析法确定指标权重评价节点重要度。宋新生、王啸啸等^[4]以人口、GDP、人均收入等为指标,采用以因子分析法进行重要度评价。

总结前人关于交通规划中节点重要度的评价方法可发现,节点评价指标选取相对单调,对如何系统地构建综合评价指标体系研究较少;节点重要度评价中,赋权方法多单独采用客观赋权或主观赋权,未见有效地兼顾两者。基于对综合运输通道需求的分析,系统地、分层次地构建评价指标体系,兼顾主客观进行权重确定,并对 TOPSIS 模型进行改进,不仅得出节点重要度排序,还可以同时得到节点分层,对后续通道规划有重要参考意义。

1 节点选取及重要度评价指标体系

城市是经济产业集聚地区,也是大量人口、信息集中转换的场所和交通汇聚中心,因此通道规划宜以城市为节点。交通规划学者和经济地理学者大都把运输通道作为一种结点间特定空间域和时间域的运输联系而研究其需求的分布和流动规律。节点运输需求的根源是社会经济发展、资源利用条件等因素,通道依托于一定的经济实体,分布于经济发达、人口密集、城市分布集中的经济走廊并覆盖节点,实现通道功能。运输通道中节点的交通需求是社会活动和经济结构布局的派生性需求,故通道节点的指标选取应从以下几方面入手:

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.01.16

收稿日期: 2013-03-09

作者简介: 李广路 男 1991 年出生 硕士研究生

基金项目: 中国中铁二院科研项目(科-201146)

(1) 经济实力。社会经济的发展提高了交通需求的频率和质量,体现了地方工农业等发展水平,从而也体现了节点的交通需求强弱。经济总量直接反映出区域经济发达程度,进而决定了居民的交通消费能力和机动车保有量。衡量地区经济总量的一般性指标有地方财政收入、固定资产投资总额、社会消费品零售总额、财政支出、GDP;经济结构反映出地方经济发展的经济构成,由于不同的经济发展模式对于交通依赖性和选择性都有所不同,所以经济结构也在宏观上制约着交通需求的结构。反映地区经济结构的指标有第三产业产值、农林牧副渔总产值、工业总产值。以上各指标的单位都是亿元。

(2) 社会实力。影响交通需求的显性因素是人口,节点覆盖区域人口的增加使得出行总量直接增大,从根本上决定了交通需求的规模。区域年末人口总量(万人)反映区域总的出行规模,人口密度(人每平方千米)则反映区域出行强度;交通需求有意义的前提是具有支付能力,区域人口的生活质量是居民出行支付能力的最直观的体现。衡量这一方面的指标主要是农村居民人均纯收入(元);城镇人均可支配收入(元)。

(3) 资源条件。通过节点的通道覆盖区域面积决定了通道的辐射强度,并对沿线交通需求的产生起到带动作用,覆盖面积的增大可将更多的运输需求纳入到经过节点中来,故选择土地总面积作为评价指标,单位平方千米;矿产资源储量是地区经济实力的一个重要体现,无论是区域内销还是外运都需要强大的运输能力作为基础,故以矿产资源储量为评价指标。此处矿产资源指以煤炭为主的能源矿产和铁矿石等各种金属矿产,单位亿吨。

2 评价模型建立

2.1 基于熵权法的指标权重确定及修正

熵值法是由评价指标值来确定指标权重的一种方法^[5]。在信息论中,熵值是对系统无需程度的表达,表现为系统的某项指标的变异度^[6]。建模过程如下:

(1) 将 m 个可行方案的 n 个指标值的原始数据 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) 组成初始矩阵 X , 进行数据标准化处理得到 $P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$, 然后计算各指标的熵 E_j

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

(2) 计算评价指标的熵权 ω_j

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

(3) 为避免熵值法在客观计算上的缺陷,考虑通道规划中的具体情况,以本文提出的指标体系为基础,采用 AHP 法请专家打分,得到修正系数 λ_j , 其中 $\lambda_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 。进而计算修正的指标熵权 ω_j^0

$$\omega_j^0 = \frac{\lambda_j d_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j d_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

2.2 基于 TOPSIS 模型的节点综合评价方法

2.2.1 传统的 TOPSIS 综合评价法^[7]

(1) 基于 2.1 中的计算,构建加权标准化决策矩阵。

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1^0 p_{11} & \omega_2^0 p_{12} & \cdots & \omega_n^0 p_{1n} \\ \omega_1^0 p_{21} & \omega_2^0 p_{22} & \cdots & \omega_n^0 p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_1^0 p_{m1} & \omega_2^0 p_{m2} & \cdots & \omega_n^0 p_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(2) 确定理想解和负理想解。理想解 A^+ 表示最偏好方案, 负理想解 A^- 反之。

$$A^+ = \begin{cases} \max_i v_{ij} & j \text{ 为正向型指标} \\ \min_i v_{ij} & j \text{ 为负向型指标} \end{cases} \quad A^- = \begin{cases} \min_i v_{ij} & j \text{ 为正向型指标} \\ \max_i v_{ij} & j \text{ 为负向型指标} \end{cases} \quad (5)$$

(3) 计算节点与理想解的相对接近度, 并根据各方案与负理想解的距离在解集中所处位置来确定方案排序。每个方案与理想解与负理想解的距离分别为

$$d_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j+})^2} \quad d_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j-})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

式中, v_{j+} 是集合 A^+ 中对应的元素; v_{j-} 是 A^- 中对应的元素。

2.2.2 TOPSIS 法的改进

传统的 TOPSIS 评价方法仅可得到各方案基于理想解接近度的节点排序, 而通道规划过程需要基于建设条件对节点进行分层。为克服传统 TOPSIS 模型的缺点, 对其进行改进。

在得到理想解与负理想解的基础上, 基于区域运输通道规划的要求进行节点分层, 参考可拓思想对各评价指标下的目标区间进行划分, 并赋予这些区间相应的重要度评语集。目标区间即为各方案的理想解与负理想解构成的极值区间。

在针对区域范围的运输通道规划中, 区域节点选择是一个节点重要度对比的过程, 在权重约束下的相对比较中, 绝对量的区间划分对评价结果影响不大。且全国不同区域经济发展水平差异显著, 所以并不适宜确定统一的节点重要度评价指标的评语参考区间值。一般采用两种方式处理:

第一种是对各统计指标的极值区间进行等距划分, 构建重要度等级区间。这种方法比较简单, 且不易造成指标数据突出参考区间的漂移现象, 已在实际工程中应用并取得良好效果。

第二种是采用拟合逆推法, 实质是一种基于统计分析的重要度区间匡算方法。统计区域范围内所有节点的实际对外客货运量, 并将年度客货运量与各经济指标进行拟合, 求出其函数关系。然后构建区域内所有节点的客货运量极值区间并均匀划分, 由客货运量逆推相应评价指标的区间值。拟合方法包括线性回归法、弹性系数法、神经网络法、支持向量机法等。

此处引入分层域重合度的概念, 用以描述各节点在加权标准化决策矩阵中对应元素与各评语区间的贴近度。假设划分的节点层次数为 S , 则将加权标准化决策矩阵各列的极值区间等距划分为 S 层, 每层的分层域为 $V'_{jt} = (x'_{jt}, y'_{jt})$, $j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, S$ 。各 V'_{jt} 共同组成权标准化决策矩阵 V 的各列的值域 $[v_{j-}, v_{j+}]$, $j = 1, 2, \dots, n$ 。则标准化决策矩阵 V 中各方案对应元素与相应分层域的分层域重合度为

$$D(v_{ij}, V'_{jt}) = \left| v_{ij} - \frac{x'_{jt} + y'_{jt}}{2} \right| \quad (7)$$

则各指标下方案的加权分层域重合度为

$$G_j(N_i) = 1 - \sum_{t=1}^S \omega_j^0 D(v_{ij}, V'_{jt}) \quad (8)$$

式中, N_i 表示节点, 以 $\max_j G_j(N_i)$ 所在等级 j_0 作为节点 N_i 的评价等级。其中

$$G_j(N_i)' = \frac{G_j(N_i) - \min_j G_j(N_i)}{\max_j G_j(N_i) - \min_j G_j(N_i)} \quad (9)$$

在某些情况下, 有可能会出现两种及以上方案处于同一评价等级中, 为了将这两种方案区别开来, 可通过计算其层次特征值 j' 来加以区分。

$$j' = \frac{\sum_{j=1}^m j G_j(N_i)'}{\sum_{j=1}^m G_j(N_i)'} \quad (10)$$

3 案例分析

3.1 用改进的熵权法计算权重

以江苏省为例进行案例计算,评价指标中的数据来源为江苏省统计年鉴 2010 版^[8]。由于篇幅原因,此处暂以经济实力指标中经济总量指标层的数据作为示例在矩阵中展示,但在权重确定及后续计算中考虑了所有指标,且指标顺序为 GDP、地方财政收入、固定资产投资总额、社会消费品零售总额、财政支出、第三产业产值、工业总产值、农林牧副渔总产值、区域年末人口总量、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入、人口密度、土地总面积、矿产资源储量。矩阵各行分别代表南京、无锡、徐州、常州、苏州、南通、连云港、淮安、盐城、扬州、镇江、泰州、宿迁的指标数据。

(1) 将经济总量的指标数据构成初始矩阵 X , 并进行标准化得到 P_{ij} 。

(2) 利用公式(2) 计算所有指标的熵权 $\omega = [0.091\ 6\ 0.102\ 4\ 0.082\ 4\ 0.108\ 5\ 0.085\ 2\ 0.110\ 0\ 0.098\ 1\ 0.065\ 9\ 0.054\ 2\ 0.027\ 6\ 0.027\ 0\ 0.024\ 5\ 0.059\ 8\ 0.062\ 9]$ 。

由层次分析法进行专家打分,进行数据处理可得各指标熵权修正系数 $\lambda_j = [0.174\ 1\ 0.052\ 3\ 0.040\ 0\ 0.052\ 3\ 0.061\ 0\ 0.055\ 7\ 0.069\ 6\ 0.017\ 4\ 0.174\ 1\ 0.066\ 2\ 0.043\ 5\ 0.048\ 8\ 0.087\ 1\ 0.057\ 8]$ 。

由公式(3) 可得修正的熵权系数 ω^0 , 并计算加权标准化决策矩阵 V

$\omega^0 = [0.221\ 4\ 0.074\ 3\ 0.045\ 8\ 0.078\ 7\ 0.072\ 1\ 0.085\ 0\ 0.094\ 8\ 0.015\ 9\ 0.130\ 9\ 0.025\ 4\ 0.016\ 3\ 0.016\ 6\ 0.072\ 3\ 0.050\ 5]$ 。

$$X = \begin{bmatrix} 3\ 825.76 & 409.42 & 2\ 008.36 & 1\ 814.13 & 424.34 \\ 2\ 597.85 & 260.13 & 1\ 325.00 & 984.05 & 255.22 \\ 1\ 036.78 & 82.60 & 616.27 & 438.53 & 104.85 \\ 1\ 897.70 & 178.64 & 952.62 & 674.55 & 171.56 \\ 1\ 895.21 & 299.97 & 995.62 & 890.03 & 287.18 \\ 1\ 144.90 & 102.39 & 529.67 & 406.28 & 102.39 \\ 369.54 & 45.05 & 303.90 & 148.16 & 54.16 \\ 685.61 & 67.01 & 416.25 & 249.21 & 89.77 \\ 528.42 & 46.85 & 330.79 & 210.93 & 60.90 \\ 814.49 & 73.88 & 340.90 & 283.50 & 81.37 \\ 741.26 & 56.02 & 425.69 & 231.25 & 64.34 \\ 383.18 & 62.40 & 225.65 & 143.31 & 71.36 \\ 282.05 & 27.30 & 183.75 & 97.10 & 50.24 \end{bmatrix},$$

$$V = \begin{bmatrix} 0.052\ 3 & 0.017\ 8 & 0.010\ 6 & 0.021\ 7 & 0.016\ 8 \\ 0.035\ 5 & 0.011\ 3 & 0.007\ 0 & 0.011\ 8 & 0.010\ 1 \\ 0.014\ 2 & 0.003\ 6 & 0.003\ 3 & 0.005\ 3 & 0.004\ 2 \\ 0.025\ 9 & 0.007\ 8 & 0.005\ 0 & 0.008\ 1 & 0.006\ 8 \\ 0.025\ 9 & 0.013\ 0 & 0.005\ 3 & 0.010\ 7 & 0.011\ 4 \\ 0.015\ 6 & 0.004\ 4 & 0.002\ 8 & 0.004\ 9 & 0.004\ 1 \\ 0.005\ 0 & 0.002\ 0 & 0.001\ 6 & 0.001\ 8 & 0.002\ 1 \\ 0.009\ 4 & 0.002\ 9 & 0.002\ 2 & 0.003\ 0 & 0.003\ 6 \\ 0.007\ 2 & 0.002\ 0 & 0.001\ 7 & 0.002\ 5 & 0.002\ 4 \\ 0.011\ 1 & 0.003\ 2 & 0.001\ 8 & 0.003\ 4 & 0.003\ 2 \\ 0.010\ 1 & 0.002\ 4 & 0.002\ 3 & 0.002\ 8 & 0.002\ 6 \\ 0.005\ 2 & 0.002\ 7 & 0.001\ 2 & 0.001\ 7 & 0.002\ 8 \\ 0.003\ 9 & 0.001\ 2 & 0.001\ 0 & 0.001\ 2 & 0.002\ 0 \end{bmatrix}。$$

3.2 基于改进 TOPSIS 法的节点重要度综合评价

基于 3.1 中计算,以公式(4) 求得加权标准化决策矩阵,再根据公式(5) 可得各指标的理想解: $v_{1+} =$

0.052 27 $\mu_{2+} = 0.017 78$ $\mu_{3+} = 0.010 62$ $\mu_{4+} = 0.021 74$ $\mu_{5+} = 0.016 83$ $\mu_{6+} = 0.011 15$ $\mu_{7+} = 0.017 73$, $\mu_{8+} = 0.003 01$ $\mu_{9+} = 0.027 06$ $\mu_{10+} = 0.002 81$ $\mu_{11+} = 0.001 85$ $\mu_{12+} = 0.001 64$ $\mu_{13+} = 0.013 14$ $\mu_{14+} = 0.007 43$; 同理可计算各指标的负理想解。

在通道规划过程中,初步假设将节点分为 4 层,即 $S = 4$,则将区域中所有节点等距离划分为 4 层。以 GDP 指标为例,由于 $v_{1+} = 0.052 27$ $\mu_{1-} = 0.003 85$,划分可得 4 个分层域: $V'_{11} = [0.003 9 \ 0.016 0]$, $V'_{12} = [0.016 0 \ 0.028 1]$, $V'_{13} = [0.028 1 \ 0.040 2]$, $V'_{14} = [0.040 2 \ 0.052 3]$ 。这 4 个分层域分别代表节点的 4 种重要度等级,按重要度由轻到重命名为一级节点、二级节点、三级节点、四级节点。其他评价指标也按照这种方法划分分层域。

以无锡市为例,由公式(9)计算可得无锡的加权分层域重要度为: $G(\text{无锡}) = [0.989 4 \ 0.994 5 \ 0.997 5 \ 0.993 8]$,因为 $\max_j G_j(\text{无锡}) = 0.997 5$,故无锡是三级节点。由公式(10)得

$$G_j(\text{无锡})' = [0.468 4 \ 0.736 5 \ 1.000 0 \ 0.782 1],$$

$$j'_{(\text{无锡})} = \frac{0.468 4 \times 1 + 0.736 5 \times 2 + 1 \times 3 + 0.782 1 \times 4}{0.468 4 + 0.736 5 + 1 + 0.782 1} \approx 2.70。$$

说明从特征值角度讲,无锡处于节点分层的第二层和第三层之间,且靠近第三层。同理可得其他所有节点的加权分层域重合度和层次特征值,如表 1 所示。

表 1 节点重要度评价结果

排名	节点	$j'_{(N_i)}$	$\max_j G_j(N_i)$	等级	排名	节点	$j'_{(N_i)}$	$\max_j G_j(N_i)$	等级
1	南京	3.688	0.997 3	4	8	扬州	1.772	0.999 2	2
2	无锡	2.702	0.997 5	3	9	镇江	1.682	0.999 3	2
3	苏州	2.663	0.997 3	3	10	盐城	1.630	0.998 7	2
4	常州	2.533	0.996 1	3	11	连云港	1.554	0.997 3	2
5	南通	2.094	0.996 6	2	12	泰州	1.377	0.998 0	1
6	徐州	2.012	0.997 3	2	13	宿迁	1.396	0.997 4	1
7	淮安	1.880	0.998 3	2					

由结果可知,江苏省 13 个节点的重要度评价排名为南京市 > 无锡市 > 苏州市 > 常州市 > 南通市 > 徐州市 > 淮安市 > 扬州市 > 镇江市 > 盐城市 > 连云港市 > 泰州市 > 宿迁市。

由节点等级分层情况可知,南京、无锡、苏州、常州为重要节点,在通道规划中应优先考虑,重点保证这 4 个发达节点的通道覆盖以及与广域运输通道的便捷连接;南通、徐州、淮安、扬州、镇江、盐城、连云港这 7 个城市为较重要节点,在通道规划过程中应将其作为该区域(省域)运输通道骨架的支点,支撑起区域通道网络,实现通道网络在省域范围内的广泛覆盖;泰州和宿迁为一般节点,在通道网中起到辅助作用。在进行宏观运输通道备选节点的选取时,可将低层次的节点删除。将本算例的节点重要度排序与文献[9]基于 2009 年数据的计算的节点排序对比,结果基本一致;与江苏省城镇体系规划文献[10]的都市圈规划和城镇聚合轴(通道)规划方案对比,本算例的节点排序与分层情况与规划内容高度符合。

4 结论

针对以往关于通道节点评价指标体系研究的不足,本文基于通道需求分析,系统地构建了节点重要度评价指标体系;提出基于修正熵权改进 TOPSIS 法的区域运输通道节点重要度评价方法,修正熵权法结合了主观与客观两方面因素,使评价结果更合理;通过引入分层域重合度概念改进 TOPSIS 法,克服了传统 TOPSIS 法只能单一排序的缺陷,使评价结果反映出节点的分层情况,为运输通道规划提供了重要的参考资料。最后通过案例计算并与相关文献对比,结果表明本方法适用性强,结论清晰,对合理地规划区域运输通道具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 杨涛. 公路网规划[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 85.
- [2] 王元庆. 重要度区位联合农村公路网布局法[J]. 中国公路学报, 2002, 15(4): 86-89.
- [3] 张生瑞, 周伟. 公路网规划理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009: 175.

- [4] 宋新生. 城市群区域公路网节点重要度评估方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息 2011, 11(2): 84-89.
- [5] 宋志慧, 宋志艳. 基于熵理论的河北省可持续发展水平评价研究[J]. 石家庄铁道大学学报: 社会科学版 2012, 6(2): 12-17.
- [6] 陈伟珂, 龙昭琴. 基于熵权和可拓理论在评标中的应用[J]. 石家庄铁道大学学报: 社会科学版 2011, 5(3): 5-10.
- [7] 向隅. 基于三角模糊数的 TOPSIS 评价方法在新建铁路线路选择中的应用[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版 2011, 24(2): 56-60.
- [8] 江苏省统计局, 国家统计局江苏调查总队. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社 2010: 1-890.
- [9] 孟国连. 区域性运输通道布局规划方法及应用研究[D]. 北京: 北京交通大学交通运输学院 2010.
- [10] 江苏省建设厅. 江苏省城镇体系规划(2001~2020) [R]. 南京: 江苏省住房和城乡建设厅 2002.

Node Importance Evaluation in Comprehensive Transportation Corridors Based on Ameliorated Entropy Weight and Improved TOPSIS Model

Li Guanglu, Zhu hai, Lv Ming

(School of Transportation & Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Node importance evaluation is very important in regional comprehensive transport corridor planning. To evaluate the regional node important degree accurately, this paper analyzes the factors that influence the node important degree and builds a multi-level comprehensive evaluation index system. In order to give considerations to both subjective and objective factors when determining the weights of indexes, this paper puts forward a method based on ameliorated entropy weight. To overcome the shortcomings of traditional TOPSIS model, this paper puts forward the concept of hierarchical domain contact ratio for model improving. Finally this paper explains algorithms and tests the applicability through case analysis.

Key words: corridor planning; node important degree; ameliorated entropy weight; improved TOPSIS

(责任编辑 刘宪福)

~~~~~  
(上接第 59 页)

## Study on Control Measures for Improving Durability of Cement Concrete Pavement

Wang Yujie

(Zanhuang Roads and Traffic Administration, Zanhuang County 051230, China)

**Abstract:** Based on specific project, this article analyzes the main factors affecting the durability of cement concrete pavement, and gives some measures and suggestions on improving the durability of cement concrete pavement from the design and the construction.

**Key words:** cement concrete; pavement; durability; measures

(责任编辑 刘宪福)