

湖南省省际高速公路通道衔接状况评价^{*}付康林¹, 刘鑫², 肖勇超³, 况爱武³

(1.湖南高速设计咨询研究院有限公司, 湖南 长沙 410026; 2.湖南省交通运输厅 规划与项目办公室, 湖南 长沙 410029; 3.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:从结构性能、服务质量和衔接性能三方面构建省际高速公路通道衔接状况评价指标体系,结合层次分析法和熵权法确定各指标的权重,基于云模型建立衔接通道综合评价方法对湖南省省际高速公路衔接通道状况进行评价。结果表明,现状湖南省省际高速公路衔接通道综合评价等级为Ⅲ级(一般),未来应着重加强与广东、贵州、江西、湖北四省之间的高速公路规划和建设。

关键词:公路交通;省际高速公路通道;衔接状况评价;主客观集成赋权法;云模型

中图分类号:U491.13

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)03-0019-05

省际高速公路衔接通道是区域公路网的重要组成部分,是连接相邻省区市的重要出入口道路,对加强省际联系、促进区域经济社会发展具有重要意义。长期以来,省际高速公路衔接通道主要依据国家及各省域公路网规划由不同省域负责建设,由于不同省域的经济、人口、交通需求及公路网规划期限差异较大,省际高速公路衔接通道的发展程度、建设时序、建设标准、对接要求等均存在一定差异。为合理确定中长期省际高速公路衔接通道的位置、数量及车道数规模,应对省际高速公路衔接通道现状进行科学评价。

学者们对公路网现状及规划方案进行了较深入的研究。从评价指标来看,朱顺应等分析了公路网规划评价指标的选取准则与方法^[1];张娟敏从高速公路网规划的技术、经济、资源、社会和环境评价出发,在系统分析常用公路网评价指标的基础上,提出了高速公路网规划评价指标体系^[2];崔洪军等从规模合理、衔接顺畅、网络均衡 3 个维度选取评价指标,建立了区域路网一体化综合评价指标体系^[3];王龙研究了省际干线公路衔接通道建设优化问题,分别针对规划未连通、建成已运营的省际干线公路衔接通道提出了通道连接需求评价指标和通行能力差距评价指标^[4];熊又萱等从衔接性能、服务水平、经济效益三方面构建评价体系,采用基于序关系分析的模糊综合评价法对高速公路与城市道路的衔接水平进行了评价^[5]。从评价方法来看,林忠等综述公

路网规划综合评价方法,分析了各典型评价方法的优缺点^[6];吴涛等以二级模糊综合评价为框架,采用层次分析法确定方案影响因素及子因素的权重,结合模糊决策中的无条件模糊优越集合理论建立了公路网规划方案评价模型^[7];涂圣文等在分析干线公路过境规划影响因素的基础上,提出了规划方案的多目标、多级模糊综合评判方法^[8];高贺等构建公路网规划方案可拓评价模型,运用简单关联函数确定指标权重,计算各指标的综合关联度及级别偏向特征值,对规划方案进行了评价^[9];李晓伟以可拓学、关联函数为基础构建综合交通一体化视角下公路网评价指标体系,提出了一种基于可拓学的公路网现状特征提取方法^[10];刘学军等根据衔接路网相关理论,从交通运行状况和路网布局两方面对高速公路出入口衔接路网进行了分析评估^[11];王辉等以改进灰色欧几里得关联度法作为评价方法构建西部区域公路网灰色关联分析模型,以甘肃省公路网为例,对西部区域公路网的技术性能进行了分析评价^[12]。现有研究多局限于某一特定区域,少有研究针对不同行政区划间的衔接网构建评价指标体系;评价方法多采用层次分析法、模糊综合评价法等,这些方法在确定指标权重上存在较大的主观性,一定程度上降低了评价结果的可信度。本文从结构、衔接、服务三方面构建评价指标体系,基于主客观集成赋权法确定各指标权重,采用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。

^{*} 基金项目:湖南省交通运输“十四五”规划项目;湖南省教育厅重点项目(20A023)

1 评价指标体系构建

1.1 评价指标

考虑省际高速公路间的衔接与融合是否顺畅、能否实现省域内外快速转换交通功能,从结构性能、服务质量和衔接性能三方面提出 8 个评价指标,其中结构性能包括道路衔接密度、重要节点连通密度、断头路密度 3 个指标,服务质量包括平均饱和度和平均车速 2 个指标,衔接性能由边界两侧道路密度一致性、车道数匹配度和建设时序匹配度 3 个指标构成。

(1) 道路衔接密度。路网密度在一定程度上反映公路网发展水平及路网结构的合理性,是公路网规划评价的重要技术指标。道路衔接密度 ρ 为省域间衔接道路数量 N 与省界线长度 L_p 的比值,即 $\rho = N/L_p$ 。

(2) 重要节点连通密度。省际间重要节点的连通对提高省际公路运行效率具有重要意义,能在一定程度上判断省际边界市(州)行政中心和区县是否能便捷地上下省际公路通道。重要节点连通密度 m 为区域内跨境道路数量 N_r 与省际相邻重要节点(如县、市、区)对数 N_p 的比值,即 $m = N_r/N_p$ 。

(3) 断头路密度。断头路是指在边界线两侧距离边界线 k 公里范围内中断的过境方向道路,根据文献[3]的研究, k 取值为 3 km。边界区域的断头路密度 ρ^d 为边界区域的断头路数量 x 与两地区的边界线长度 L 的比值,即 $\rho^d = x/L$ 。

(4) 平均饱和度。省际衔接道路平均饱和度为各省际衔接道路饱和度的加权平均值,表示整个衔接网的拥挤和利用程度,反映整个路网承担交通负荷的能力,从整体上体现路网的畅通性能,是反映道路运行质量的重要指标。计算公式为:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i / C_i$$

式中: S 为衔接网平均饱和度; Q_i 、 C_i 分别为第 i 条衔接道路的交通量和通行能力。

(5) 平均车速。道路平均车速由道路交通系统中车辆系统、公路系统和运营管理系统共同决定,是反映路网综合性能的重要指标。路网平均车速为网络中各路段上车辆行驶速度的里程加权平均值,计算公式如下:

$$v = \sum_{i=1}^N v_i L_i / \sum_{i=1}^N L_i$$

式中: v 为路网平均车速(km/h); v_i 、 L_i 分别为第 i 条衔接道路的行车速度和里程长度。

(6) 边界两侧道路密度一致性。为确保跨行政区划的路网有效衔接和完好接合,杜绝断头路现象,相邻行政区过境方向的道路数量在邻近边界范围内应趋于一致,保持在均衡匹配水平。边界两侧道路密度一致性的计算公式为:

$$\mu = 1 - \frac{|x - y|}{(x + y) / 2}$$

式中: x 、 y 分别为相邻地区沿着边界线在边界区域范围内过境方向的道路数量。

(7) 车道数匹配度。受行政区划影响,在边界附近过境通道的车道数可能会有所不同,并导致过境交通很不顺畅。用下式检验区域内跨境通道两侧的车道数是否匹配:

$$\gamma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[1 - \frac{|p_i - q_i|}{(p_i + q_i) / 2} \right]$$

式中: γ 为车道数匹配度; p_i 、 q_i 分别为第 i 条跨境通道在边界两侧的车道数。

(8) 建设时序匹配度。建设时序匹配度主要是对公路衔接通道建设时序的匹配度进行评价,直观描述省域间公路衔接通道的建设时序是否一致。计算公式如下:

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[1 - \frac{|r_i - s_i|}{(r_i + s_i) / 2} \right]$$

式中: δ 为建设时序匹配度; r_i 、 s_i 分别为第 i 条跨境通道在边界两侧的建设时间。

1.2 指标合理性分析

省际高速公路衔接通道网的结构性能评价主要考察其规划建设、布局、连通状况、技术水平等满足经济社会发展和公路运输需求的程度。道路衔接密度反映省际高速公路通道的发展水平,在一定程度上体现省际高速公路通道网的内部结构;重要节点连通密度从路网布局方面反映网络的结构特点;边界区域断头路密度可直观反映各地区间路网衔接状况和互联互通程度。

省际高速公路衔接通道网的交通运行质量评价是考察公路网所能提供的交通服务对交通需求的适应程度。平均饱和度反映省际高速公路通道网的运输能力和服务水平,考虑了道路现状或规划的交通量和通行能力;平均车速反映道路的服务水平,也是计算公路运输经济效益的依据。

边界两侧道路密度一致性从整体上评价边界两

侧道路数量是否趋于一致,从交通协同发展的要求来看,边界两侧道路密度差异越小越好,差异过大不利于整体路网的衔接;车道数匹配度评价省际高速公路通道的车道数在边界线附近是否发生变化,车道数不匹配会使过境交通不顺畅,交通量过大时可能发生拥堵;建设时序匹配度反映省际高速公路在不同行政区域的建设情况,边界两侧道路建设时序差异过大易造成道路资源浪费。

上述省际高速公路衔接通道网评价指标不仅符合指标选择的系统性、独立性原则,而且能较全面地反映省际高速公路通道在结构性能、服务质量和衔接性能层面的状况,可用于评价湖南省省际高速公路通道衔接状况。

2 评价方法

2.1 指标权重确定

采用主客观集成赋权法,首先基于层次分析法和熵权法分别计算评价指标权重,然后根据最小信息熵原理计算评价指标的组合权重。熵权法是一种客观赋权法,它无须依赖专家打分来确定评价指标的权重,仅依赖数据本身的离散性,能保证评价结果的客观性。该方法利用熵值判断评价指标的离散程度,指标的离散程度越大,该指标对综合评价的权重越大。层次分析法是一种定性与定量相结合的方法,可将专家经验判断进行量化。该方法将同一层次各因素按照相对重要性进行两两比较和判断,确定该层次各因素相对于上一层次因素的重要性,得到递阶层次结构中最低层各因素对最高层指标的权重。

假定熵权法确定的指标 i 的权重为 w_{1i} ,层次分析法确定的指标权重为 w_{2i} ,根据最小相对信息熵原理,利用拉格朗日乘子法优化得组合权重为:

$$w_i = \frac{(\tau_{1i}\tau_{2i})^{0.5}}{\sum_{i=1}^K (\tau_{1i}\tau_{2i})^{0.5}}$$

式中: K 为评价指标的数量。

2.2 云模型评价方法

云模型可实现定量与定性概念之间的不确定性转换。云模型用期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e 3 个数字特征整体表征一个概念,其过程分为正向云发生器与逆向云发生器两大类^[13-14]。本文采用正向云发生器,通过输入某定性概念的期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e ,并给定云滴数,得到云滴在数域空间的定

量位置及每个云滴代表该概念的确定度。算法流程如下:1) 产生一个均值为 E_n 、标准差为 H_e 的正态随机数 E'_n 。2) 产生一个均值为 E_x 、标准差为 E'_n 的正态随机数 x' 。3) 令 x 为定性概念的一次具体量化值,称为云滴,按式(1)计算确定度 y 。 y 为 x 属于该定性概念的确定度, $\{x, y\}$ 完整地反映一次定性、定量转换的全部内容。4) 重复步骤 1~3,直到产生 N_0 个云滴。

$$y = e^{-\frac{(x-E_x)^2}{2(E'_n)^2}} \tag{1}$$

3 湖南省省际高速公路衔接通道现状评价

据调查,湖南省与周边六省区市规划建设高速公路省际衔接通道 32 条,目前已建高速公路通道 27 条。湖南与相邻省区市的高速公路通道情况见表 1,湖南省省际高速公路现状网络见图 1。

表 1 湖南省省际高速公路衔接通道现状

相邻省区市	已建省际高速公路衔接通道
湖北	G0422、G4、G55、G0421、G56、G5515、S71
江西	G60、G6021、G72、G76、G1517、S19、S20
广东	G0422、G4、G0421、G55
广西	G59、G65、G72、G76、S81
贵州	G56、G60、S86
重庆	G65

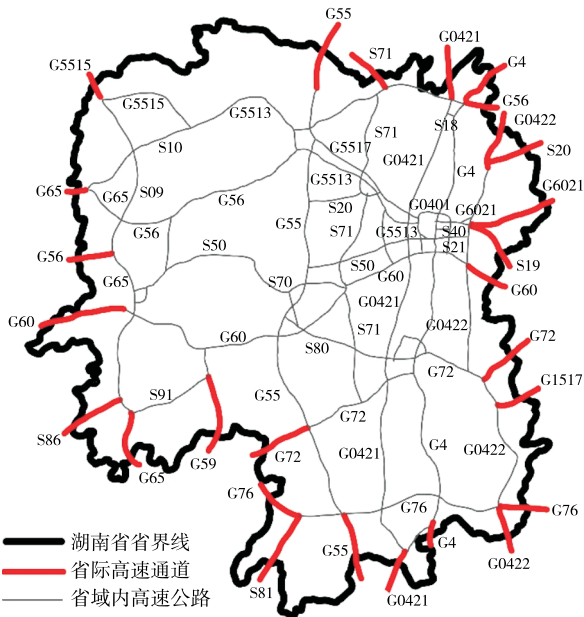


图 1 湖南省省际高速公路现状网络图

将省际高速公路通道衔接状况划分为 4 个等级,分别为Ⅰ级(很好)、Ⅱ级(好)、Ⅲ级(一般)、

Ⅳ级(差),各评价指标隶属于某一等级的确定度用一个综合云表示,云模型 3 个数字特征的分级方法见表 2。

用 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_8 分别表示道路衔接密度、重要节点连通密度、断头路密度、平均饱和度、平均车速、边界两侧道路密度一致性、车道数匹配度、建设时序匹配度 8 个评价指标。根据湖南省与周边六省区市高速公路衔接通道的数量、工程技术指标、建成时间及交通运行状况等计算得到各

表 2 云模型数字特征分级方法

分级	E_x	E_n	H_e
Ⅰ级	$E_{x1}=(a+b)/2$	$E_{n1}=(E_{x2}-E_{x1})/3$	0.01
Ⅱ级	$E_{x2}=(b+c)/2$	$E_{n2}=(E_{x2}-E_{x1})/3$	0.01
Ⅲ级	$E_{x3}=(c+d)/2$	$E_{n3}=(E_{x3}-E_{x2})/3$	0.01
Ⅳ级	$E_{x4}=(d+e)/2$	$E_{n4}=(E_{x4}-E_{x3})/3$	0.01

注: a 、 b 、 c 、 d 、 e 分别代表分级指标中的各边界值。

评价指标值(见表 3)。

表 3 湖南省省际高速公路衔接通道网评价指标计算结果

相邻省区市	$\rho/[\text{条} \cdot (100 \text{ km})^{-1}]$	$m/(\text{条} \cdot \text{对}^{-1})$	$\rho^d/[\text{条} \cdot (100 \text{ km})^{-1}]$	S	$v/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	μ	γ	δ
湖北	0.66	0.30	0.00	0.41	72.35	1.00	0.95	0.81
江西	0.94	0.39	0.13	0.19	86.29	0.85	1.00	0.89
广东	0.82	0.40	0.41	0.38	74.03	0.60	0.93	0.77
广西	0.55	0.29	0.11	0.16	90.96	1.00	1.00	0.90
贵州	0.40	0.19	0.27	0.23	89.68	0.71	1.00	0.73
重庆	0.80	0.25	0.00	0.23	94.00	1.00	1.00	1.00
湖南	0.64	0.30	0.17	0.27	75.60	0.82	0.98	0.83

根据湖南省省际高速公路衔接通道现状,分别采用熵权法和层次分析法计算各评价指标的权重,

基于最小信息熵原理获得各评价指标的组合权重(见表 4)。

表 4 湖南省省际高速公路衔接通道评价指标的权重

评价指标	熵权法权重	层次分析法权重	组合权重	评价指标	熵权法权重	层次分析法权重	组合权重
C_1	0.113	0.136	0.111	C_5	0.155	0.283	0.318
C_2	0.115	0.108	0.090	C_6	0.100	0.035	0.025
C_3	0.131	0.072	0.069	C_7	0.094	0.054	0.037
C_4	0.160	0.267	0.308	C_8	0.132	0.044	0.042

利用云模型对湖南省省际高速公路衔接通道状况进行评价,评价结果见表 5。

表 5 湖南省省际高速公路衔接通道状况综合评价结果

衔接省区市	各指标的评价等级								综合评价等级
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	
湖南—湖北	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅲ级
湖南—江西	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
湖南—广东	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅳ级	Ⅱ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅲ级	Ⅳ级
湖南—广西	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级
湖南—贵州	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅲ级	Ⅲ级
湖南—重庆	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级
湖南	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级

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