

重庆市通勤高峰高速公路与城市道路衔接评价研究^{*}熊又莹¹, 戚将军²

(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.重庆市公路学会, 重庆 400074)

摘要: 高速公路与城市道路衔接水平影响高速公路的通行效率。文中从衔接性能、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,对通勤高峰时段连接成都、重庆的成渝环线高速公路在进入重庆主城后与城市道路的衔接状况进行评价,为未来重庆市高速公路规划提供参考。

关键词: 城市交通;高速公路;城市道路;衔接状况;通勤高峰时段

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)03-0011-04

衔接道路介于高速公路与城市主干路之间,具有双重性质,衔接高速公路一端具有高速公路的性质,靠近城市道路一端具有城市道路的性质。结合文献[1]对衔接道路的研究,定义高速公路互通口方圆 5 km 内的道路为衔接道路。衔接道路是连接城市内外交通的重要桥梁,实现高速公路与城市道路网的有机协调衔接是构建可持续的高速公路—城市体系系统的重要前提,对高速公路与城市道路衔接状况进行评价具有重要意义。文献[2]运用模糊综合评价法对道路衔接状况进行评价,并研究了衔接线类型和横截面形式。文献[3]运用改进的模糊综合评价法分析了城市道路与高速公路衔接线网存在的问题。文献[4]运用 IAHP—可拓理论对湖北荆州某段高速公路与城市道路的衔接状况进行了评价。文献[5]建立多级可拓评价模型,采用定性定量相结合的方法对兰武(兰州—武威)高速公路与兰州市城市道路的衔接情况进行了评价。文献[6]运用序关系—云模型对长沙市骨架道路网与高速公路的融合状况进行了评价。近年来,随着重庆城市化、机动化进程的加快和“成渝双城经济圈”等国家战略规划的实施,城市间和区域内人流量、车流量、信息流量快速增加,对高速公路与重庆城市道路的协调提出了更高要求。该文对通勤高峰时段连接成都、重庆的成渝环线高速公路在进入重庆主城后与城市道路的衔接状况进行评价。

1 评价指标体系

影响高速公路与城市道路衔接的因素众多,结

合重庆市实际情况,参考现有研究成果,主要从衔接性能、服务水平、经济效益三方面选取评价指标,建立评价指标体系。

1.1 衔接性能

(1) 里程拥堵率。里程拥堵率 y 是指某区域在通勤高峰期处于拥堵状态的道路里程在总衔接道路里程中所占比例:

$$y = \frac{L_i}{L} \times 100 \quad (1)$$

式中: L_i 为处于拥堵状态下道路里程; L 为总衔接里程。

(2) 出入口平均间距。出入口平均间距 \bar{L} 是指某区域内或某条高速公路上出入口间距的平均值:

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum L_i \quad (2)$$

式中: n 为高速公路在某区域的出入口数量; L_i 为两出入口间距。

(3) 路网等级匹配度。路网等级匹配度 δ_i 是指研究区域高速公路与城市道路在道路等级上的匹配程度,按下式计算:

$$\delta_i = \frac{1}{G} \quad (3)$$

$$G = \frac{\sum g_i l_i}{\sum l_i} \quad (4)$$

式中: G 为研究区域衔接路网平均技术等级; g_i 为研究区域衔接路段的技术等级,1、2、3、4、5 分别表示高速公路、快速路(一级路)、主干路(二级路)、次

^{*} 基金项目: 重庆市交通局科技项目(2020-02)

干路(三级路)、支路(四级路); l_i 为研究区域衔接路段的里程。

1.2 服务水平

(1) 平均车速。平均车速 v 是指在通勤高峰期单位时间内车辆在衔接段的平均行驶速度:

$$v = \frac{LN}{\sum t_i} \quad (5)$$

式中: L 为衔接路段长度; N 为衔接路段小时交通量; t_i 为通过衔接路段各车辆的行程时间。

(2) 交通负荷度。交通负荷度 s 是指道路通勤高峰期交通量与设计交通量的比值,即:

$$s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{c_i} \quad (6)$$

式中: n 为衔接路段数量; v_i 为路段 i 的实际交通量; c_i 为路段 i 的设计交通量。

(3) 平均延误。平均延误 \bar{t} 是指通勤高峰期某区域机动车受外界其他车辆和因素干扰所造成的时间延误,计算公式如下:

$$\bar{t} = \frac{t}{n} \quad (7)$$

式中: t 为车辆总延误时间; n 为被延误车辆总数。

1.3 经济效益

(1) 高速公路单位建设成本。指建设中1 km衔接道路所产生的费用,包含占地拆迁费用、工程投资支出、养护工程花费等,反映衔接线建设的可行性。

(2) 高速公路单位运输费用。指车辆在衔接道路行驶时每公里花费的费用,体现衔接线经济效益的合理性。

2 基于序关系分析的模糊综合评价法

序关系分析法对权重的确定具有简单明了、直观性强等特点,模糊综合评价法具有可量化评价指标、系统性强等优点。高速公路与城市道路衔接评价涉及的指标多,且便于量化,将序关系和模糊综合评价法相结合对其进行评价。

2.1 序关系分析法

(1) 确定指标的序关系。将各级指标根据对衔接合理性的影响程度进行排序。

(2) 确定指标重要度。以 r_i 表示指标 a_{i-1}^* 和 a_i^* 之间的重要度,公式如下:

$$r_i = \frac{w_{i-1}^*}{w_i^*} \quad (8)$$

式中: w_{i-1}^* 、 w_i^* 分别为评估指标 $i-1$ 与 i 的权重。

(3) 计算各指标权重,最后一个指标 a_n^* 的权重系数为:

$$w_n = [1 + \sum_{k=2}^n \prod_{i=k}^n r_i]^{-1} \quad (9)$$

$$w_{i-1} = r_i w_i \quad (i = n, n-1, \dots, 2) \quad (10)$$

2.2 模糊综合评价法

(1) 确定评价指标集 A 。评价体系中评价指标分为两级,分别为 $A = \{A_1, A_2, A_3\}$, $A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}\}$, $A_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}\}$, $A_3 = \{a_{31}, a_{32}\}$ 。

(2) 确定评语集 V 。评语集是等级评定的集合。为避免评价级别过多导致计算复杂,将评价结果分为1、2、3、4、5 5个等级,分别对应差、较差、一般、较好、好。

(3) 确定隶属度。专家根据自身经验和相关理论对评价指标打分,根据专家评分确定评价指标隶属度。

(4) 模糊综合评价。将各指标模糊综合隶属矩阵和权重矩阵进行结合,形成一级模糊综合评价矩阵 B_i ,再由 B_i 确定二级模糊综合评价矩阵 E 。

3 重庆市高速公路与城市道路衔接评价

3.1 背景分析

连接重庆和成都的高速公路有成渝环线、渝蓉、渝昆(重庆—昆明)高速公路,成渝环线高速公路是3条中唯一一条进入主城区的高速公路,在出行早高峰期最拥堵。选用成渝环线高速公路进入重庆市主城后的6个互通口在通勤高峰期的交通数据进行衔接评价。进入重庆市主城后的路段见图1,衔接路段各指标数据见表1。

3.2 衔接状况评价

3.2.1 确定指标序关系

邀请12位专家对各指标打分,得到指标的重要



图1 成渝环线高速公路进入重庆主城后的路段

表1 衔接路段各评价指标的实测值

评价指标	实测值
里程拥堵率/%	12.80
出入口平均间距/km	4.46
路网等级匹配度/%	51.80
平均车速/(km·h ⁻¹)	45.02
交通负荷度/%	35.00
平均延误/(s·km ⁻¹)	18.70
高速公路单位建设成本/(万元·km ⁻¹)	7 000.00
高速公路单位运输费用/(元·km ⁻¹)	0.80

度排序。

(1) 对一级指标进行排序。目标集为 $\{A_1, A_2, A_3\} = \{\text{衔接性能}, \text{服务水平}, \text{经济效益}\}$, 9位专家给出的序关系为 $A_1 > A_2 > A_3$, 则衔接性能 $A_1^* >$ 服务水平 $A_2^* >$ 经济效益 A_3^* 。

(2) 对衔接性能指标进行排序。目标集为 $\{a_{11}, a_{12}, a_{13}\} = \{\text{里程拥堵率}, \text{出入口平均间距}, \text{路网等级匹配度}\}$, 6位专家给出的序关系为 $a_{11} > a_{13} > a_{12}$, 则里程拥堵率 $a_{11}^* >$ 路网等级匹配度 $a_{13}^* >$ 出入口平均间距 a_{12}^* 。

(3) 对服务水平指标进行排序。目标集为 $\{a_{21}, a_{22}, a_{23}\} = \{\text{平均车速}, \text{交通负荷度}, \text{平均延误}\}$, 5位专家给出的序关系为 $a_{22} > a_{21} > a_{23}$, 则交通负荷度 $a_{22}^* >$ 平均车速 $a_{21}^* >$ 平均延误 a_{23}^* 。

(4) 对经济效益指标进行排序。目标集为 $\{a_{31}, a_{32}\} = \{\text{高速公路单位建设成本}, \text{高速公路单位运输费用}\}$, 8位专家给出的序关系为 $a_{31} > a_{32}$, 则高速公路单位建设成本 $a_{31}^* >$ 高速公路单位运输费用 a_{32}^* 。

3.2.2 确定指标权重系数

对专家打分进行处理, 去掉一个最低分和一个最高分, 对剩下的分值取平均值。根据表2所示重要度赋值, 得到一级指标权重为 $\{w_1, w_2, w_3\} = \{0.48, 0.32, 0.20\}$; 衔接性能、服务水平、经济效益的主观权重分别为 $\{w_{11}, w_{12}, w_{13}\} = \{0.468, 0.197, 0.335\}$ 、 $\{w_{21}, w_{22}, w_{23}\} = \{0.296, 0.476, 0.228\}$ 、 $\{w_{31}, w_{32}\} = \{0.643, 0.357\}$ 。

表2 相邻指标的重要度赋值

指标类型	重要度	赋值	指标类型	重要度	赋值
一级指标	r_2	1.5	二级指标	r_{22}	1.6
	r_3	1.6		r_{23}	1.3
二级指标	r_{12}	1.4	二级指标	r_{32}	1.8
	r_{13}	1.7			

3.2.3 确定隶属度

专家对各指标的评分见表3, 评价指标隶属度计算结果见表4。

表3 专家评分

一级指标	二级指标	各等级的评分				
		5	4	3	2	1
衔接性能	里程拥堵率	0	0	5	5	2
	出入口平均间距	0	6	4	2	0
	路网等级匹配度	5	5	2	0	0
服务水平	平均车速	0	2	5	5	0
	交通负荷度	4	3	4	1	0
	平均延误	0	3	4	5	0
经济效益	高速公路单位建设成本	0	2	7	3	0
	高速公路单位运输费用	5	4	3	0	0

表4 评价指标的隶属度

二级指标	各等级的隶属度				
	5	4	3	2	1
里程拥堵率	0.000	0.000	0.417	0.417	0.166
出入口平均间距	0.000	0.500	0.333	0.167	0.000
路网等级匹配度	0.417	0.417	0.166	0.000	0.000
平均车速	0.000	0.166	0.417	0.417	0.000
交通负荷度	0.333	0.250	0.333	0.084	0.000
平均延误	0.000	0.250	0.333	0.417	0.000
高速公路建设成本	0.000	0.167	0.583	0.250	0.000
高速公路运输费用	0.417	0.333	0.250	0.000	0.000

3.2.4 模糊综合评价

(1) 根据评价数据得到衔接性能、服务水平、经济效益的模糊评价矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.417 & 0.417 & 0.166 \\ 0.000 & 0.500 & 0.333 & 0.167 & 0.000 \\ 0.417 & 0.417 & 0.166 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.166 & 0.417 & 0.417 & 0.000 \\ 0.333 & 0.25 & 0.333 & 0.084 & 0.000 \\ 0.000 & 0.250 & 0.333 & 0.417 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.167 & 0.585 & 0.250 & 0.000 \\ 0.417 & 0.333 & 0.25 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

(2) 按 $B_i = W_i \circ R_i$ 计算, 得到一级模糊综合评价矩阵:

$$B_1 = (0.139 \quad 0.238 \quad 0.316 \quad 0.102 \quad 0.078)$$

$$B_2 = (0.159 \quad 0.225 \quad 0.358 \quad 0.258 \quad 0.000)$$

$$B_3 = (0.107 \quad 0.193 \quad 0.440 \quad 0.161 \quad 0.000)$$

(3) 按 $E = W \circ B$ 计算, 得到二级模糊评价矩阵:

$$E = (0.139 \quad 0.225 \quad 0.354 \quad 0.164 \quad 0.037)$$

(4) 对 A_1 、 A_2 、 A_3 和 E 进行等级评定:

$$c_1 = 0.139 \times 5 + 0.238 \times 4 + 0.316 \times 3 + 0.102 \times 2 + 0.078 \times 1 = 2.877$$

$$c_2 = 0.159 \times 5 + 0.225 \times 4 + 0.358 \times 3 + 0.258 \times 2 + 0.000 = 3.285$$

$$c_3 = 0.107 \times 5 + 0.193 \times 4 + 0.440 \times 3 + 0.160 \times 2 + 0.000 = 2.947$$

$$C = 0.139 \times 5 + 0.225 \times 4 + 0.354 \times 3 + 0.164 \times 2 + 0.037 \times 1 = 3.022$$

根据上述计算结果,成渝环线高速公路与重庆市城市道路的衔接性能值 c_1 和经济效益值 c_3 在评价集 V 中处于较差等级,服务水平值 c_2 处于一般等级,整体评价值 C 处于一般等级,即衔接性能较差、服务水平一般、经济效益较差、整体状况一般。

4 结论及建议

构建由衔接性能、服务水平和经济效益 3 个一级评价指标和 8 个二级评价指标构成的评价指标体系,运用基于序关系分析的模糊综合评价法对成渝环线高速公路与重庆市城市道路的衔接情况进行评价,得出目前重庆市高速公路与城市道路的衔接水平一般。

根据一级指标的得分,目前服务水平不错,而经济效益属于客观原因且短时间内不能得到改变,要想改善衔接水平,必须提高衔接性能。里程拥堵率、出入口平均间距、路网等级匹配度影响衔接性能,从这 3 方面提出以下建议:

(1) 里程拥堵率。文献[8]提出里程拥堵率小于 5% 时行车条件良好。目前成渝环线高速公路进入重庆市主城后的实际拥堵率为 12.8%,与理想状态相差甚远,未来的高速公路规划中需格外关注拥堵问题。

(2) 出入口平均间距。合理的高速公路出入口

间距十分重要,间距过小会使车辆分流与合流频繁,影响行车质量;过大会造成车辆出入不方便。参考文献[9],高速公路出入口最小间距为 130~260 m。成渝环线高速公路进入重庆市主城后的 6 个互通口的间距为 4.46 km,与理想间距存在差距,应根据实际适当缩小。

(3) 路网等级匹配度。路网等级匹配度越高,高速公路与城市道路的衔接越好。成渝环线高速公路的路网等级匹配度为 51.8%。未来规划中应尽可能地提升匹配度,提高现有支路、次支路的道路等级,更好地实现内外交通转换。

参考文献:

- [1] 张濛允.高速公路与城市道路衔接线的综合评价[D].徐州:中国矿业大学,2020.
- [2] 王慧.高速公路与城市道路衔接段研究[D].西安:长安大学,2012.
- [3] 李淳.城市道路与高速公路衔接线网综合评价研究[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [4] 李嵘,刘艳,刘玉露.基于 IAHP—可拓理论的城市道路与高速公路衔接路段评价[J].交通科技与经济,2015,17(4):27—33.
- [5] 王花兰,梁院生.高速公路与城市道路间接线综合评价[J].兰州交通大学学报,2013,32(6):90—96.
- [6] 彭宇,马丽安娜,王正武.城市路网与对外高速公路网的融合评价[J].公路工程,2018,43(3):57—60+76.
- [7] 重庆市统计局.重庆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [8] 陈小鸿,林航飞.基于目标—评价分析的公路网规划方法[J].交通运输工程学报,2001,1(2):83—87.
- [9] 陈瑾.高速公路互通式立交出口和入口设置相关技术指标研究[D].西安:长安大学,2016.

收稿日期:2021-08-11

关于假冒杂志网站和邮箱的声明

目前互联网上出现以《公路与汽运》杂志名义建立的官方网站和投稿邮箱,它们盗用“公路与汽运”的名称,非法向外征稿并收取审稿费、版面费,严重损害了本刊的权益和声誉。为避免广大作者和读者上当受骗,本刊郑重声明:

1 本刊的网址为 <http://glyqy.csust.edu.cn>。互联网上以“公路与汽运”名义建立的其他网站都是假冒的,此类网站上发布的信息及由此造成的一切后果均与本刊无关。

2 本刊唯一的投稿邮箱是 gongluyuqiyeun@163.com,除此之外的任何以本刊名义设立的邮箱都是假冒的。本刊目前没有收取审稿费。

3 本刊强烈谴责这种假冒《公路与汽运》杂志名义、损害本刊和作者、读者权益的违法行为,并保留依法追究其法律责任的权利。

特此声明。

公路与汽运