

基于车路协同的山区道路交通安全预警模型研究

屈 贤

(重庆工程职业技术学院 机械工程学院,重庆 402260)

摘要:山区道路山高坡陡,车辆安全评价指标复杂多变。系统分析影响山区道路安全的人、车、路、环境等因素,运用聚类分析法构建评价体系;结合单因素评价模型、转弯车速安全性评价模型和多因素综合评价模型,建立基于车路协同的道路交通安全预警模型。实例研究表明该模型可准确评估道路行驶安全度,为道路的安全适应性评价提供一种有效、简捷的方法,有效减少道路交通事故的发生率。

关键词:山区道路;权的最小平方法;预警模型;模糊综合评价;车路协同

中图分类号:U495 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2017)02-0058-06

近年来,交通事故频发,全国交通事故年死亡人数高达十万^[1]。在偏远山区,受其公路等级低、线性差等影响,交通事故更为严重。因此,对山区道路交通安全进行研究已迫在眉睫。

国内外许多学者对道路交通安全进行了大量研究,取得了丰硕的成果。德国德斯累顿工业大学的 Roeder 通过观测车辆在弯道路段的横向位置,提出了 4 种安全性等级并用于公路的安全性评价^[2];英国利兹大学交通研究所的 Jamson 等提出了采用停车距离算法来实现碰撞预警,通过对制动反应时间、最小车头时距等参数的分析与评价,验证停车距离算法用于车辆碰撞预警系统的可行性^[3-4];中国人民公安大学的王晓辉等运用层次分析法研究城市道路交通安全预警指标体系^[5];华南理工的温惠英等运用 PNN 对山区高速公路路段进行评价,以山区高速公路交通事故历史数据和实时速度参数作为评价指标,建立了安全状态评价模型^[6]。

综上所述,交通事故安全度评价虽已取得一些研究成果,但在确定预警评价指标时,受主观因素影响较大,同时选用的评价模型单一,影响评价结果的准确性和客观性。本文在国内外学者研究的基础上,综合考虑影响交通大系统的主要因素,运用聚类分析法分析道路交通安全影响因素并构

建评价体系;同时结合单因素评价模型、转弯车速安全性评价模型和多因素综合评价模型,建立基于车路协同的道路交通安全预警模型。

1 山区道路交通安全度评价体系的建立

1.1 指标参数的获取方案

影响山区道路交通安全的因素包括动态因素和静态因素。静态因素可以通过数据库得到,如路面平整度、路面抗滑性等;动态数据则通过车路信息采集技术与多传感器采集技术融合得到,如行驶车速等。图 1 为基于车路协同的预警系统动态指标参数的获取方案。

1.2 安全预警评价体系的确定

影响山区道路交通安全的因素多且复杂,在系统工程理论和相关研究的基础上初步确定指标参数顺序,利用 MATLAB 对指标体系的重要性进行模糊聚类分析,最终确定预警评价体系。现以道路因素 B_3 为例说明聚类分析确定指标模糊顺序的过程。

道路因素 B_3 包括安全标志线设置 B_{31} 、道路几何线性 B_{32} 、道路安全防护设施 B_{33} 、路面抗滑性 B_{34} 、路面平整度 B_{35} 几个要素。根据专家打分评判法请 5 位道路安全和车辆安全方面的专家,对

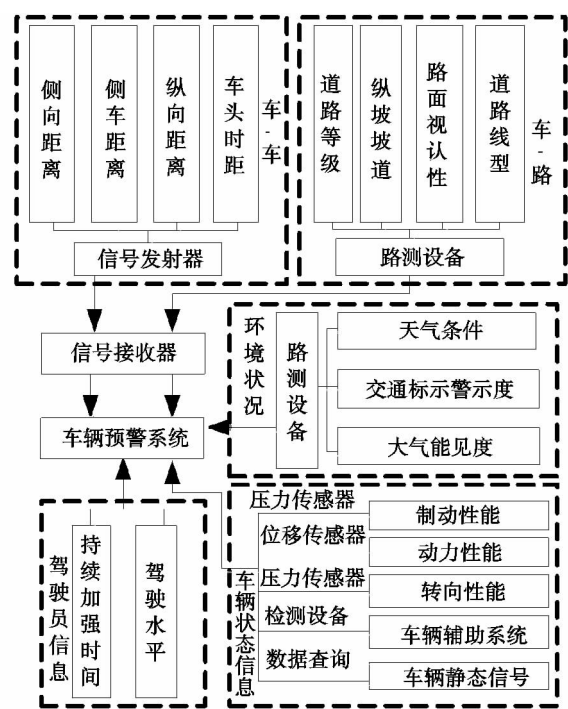


图1 交通安全度评价指标获取方案

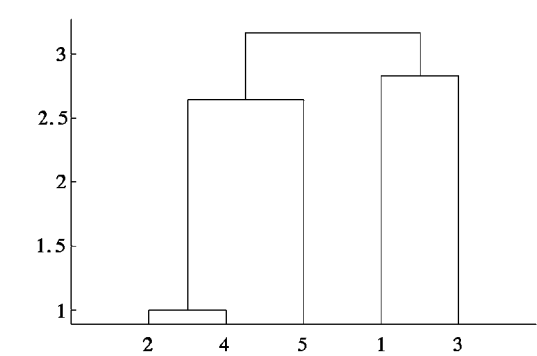


图2 道路指标的聚类分析图

Fig.2 Cluster analysis chart of road indexes

B_{34} 对道路因素 B_3 的重要性为重要,路面平整度 B_{35} 对道路因素 B_3 的重要性为较重要,安全标志线设置 B_{31} 和道路安全防护设施 B_{33} 对道路因素 B_3 的重要性为一般重要,则指标相对重要性的模糊排序为(2,4)、5、(1,3)。同理可得人的因素、车辆因素、交通环境因素的指标模糊排序。山区道路预警评价指标体系如表2所示。

表2 山区道路交通安全评价体系
Table 2 Evaluation system of traffic safety in mountainous road

目标层	准则层	指标层
指标评价 体系	人的因素 B_1	驾驶水平 B_{11}
		驾驶时间 B_{12}
	车辆因素 B_2	车辆突发机件失效 B_{21}
		行驶车速 B_{22}
		车辆使用年限 B_{23}
	道路因素 B_3	安全标志线设置 B_{31}
		道路几何线性 B_{32}
		道路安全防护设施 B_{33}
		路面抗滑性 B_{34}
		路面平整度 B_{35}
	交通环境因素 B_4	大气能见度 B_{41}
		道路周边环境 B_{42}

2 基于车路协同的安全预警模型的构建

预警模型的建立是预警系统研究最主要的内容,其好坏直接关系到预警系统功能是否充分发挥。本文采取单因素评价模型、转弯车速安全性评价模型和多因素综合评价模型相结合的方法,构建基于车路协同的道路交通安全预警模型。

2.1 单因素交通安全状态判别

单因素交通安全状态预警警度划分如表3所示。在对单因素交通安全状态判别后,选取预警警度最高的进行报警^[9]。

道路因素 B_3 的几个指标重要度进行打分评判。依据文献[7],采取5分模糊评分标准对指标打分,其中5分表示对上一层产生的影响很大;4分表示对上一层产生的影响大;3分表示对上一层产生的影响较大;2分表示对上一层产生的影响不大;1分表示对上一层几乎不产生影响。根据上述评分准则,5位专家对道路因素打分,结果如表1所示。

表1 5位专家打分表
Table 1 Scoring table for five experts

指标	分值				
安全标志线设置 B_{31}	2	3	2	3	2
道路几何线性 B_{32}	5	5	4	5	4
道路安全防护设施 B_{33}	3	4	3	2	4
路面抗滑性 B_{34}	5	5	4	5	5
路面平整度 B_{35}	4	3	5	4	4

为便于 MATLAB 程序运算,安全标志线设置 B_{31} 、道路几何线性 B_{32} 、道路安全保护措施 B_{33} 、路面抗滑性 B_{34} 、路面平整度 B_{35} 分别用代号 1、2、3、4、5 表示。经过运算,并选取标尺值为 2.5^[8],得到道路因素的聚类分析图,如图2所示。

由图2可知,道路几何线性 B_{32} 和路面抗滑性

表 3 单因素预警警度划分细则

Table 3 Classification rules of single factor forewarning warning degree

预警警度	能见度 a/m	雨 b (以 5 min 为测量单位)	雪 c (以 5 min 为测量单位)	道路标线、标志 d	安全护栏、避险车道 e
红色预警	$a < 50$	$b \geq 2.8$	$c \geq 0.105$	无标线、标志	无
橙色预警	$50 \leq a < 200$	$b \geq 1.4$	$c \geq 0.07$	无明显的标线、标志	—
黄色预警	$200 \leq a < 500$	$b \geq 0.7$	$c \geq 0.042$	无较明显的标线、标志	—
蓝色预警	$500 \leq a < 1\,000$	$b \geq 0.35$	$c \geq 0.028$	—	—
绿色预警	$a > 1\,000$	短时间内无降雨	短时间内无降雪	标志、标线俱全	俱全

对能见度、降雨、降雪和安全设施情况进行初步判定后,当预警警度高于或等于橙色预警时,才可进行转弯车速安全状态判别。

2.2 转弯车速安全状态判别

车辆在连续多弯、高坡度的山区道路行驶时,极易发生侧翻和侧滑^[10]。依据车辆系统动力学,车辆处于侧翻临界状态时,其最大行驶速度为

$$V_{f\max} = \sqrt{gR(B + 2h_g i_0)/(2h_g - Bi_0)} \quad (1)$$

式中, R 为弯道半径, m ; B 为轮距, m ; h_g 为汽车的质心高度, m ; i_0 为弯道的横向坡度。

当车辆处于侧滑临界状态时,其最大行驶速度为

$$V_{h\max} = \sqrt{gR(\varphi + i_0)/(1 - \varphi i_0)} \quad (2)$$

式中, φ 为路面附着系数。我国高速公路普遍采用沥青和水泥作为路面材料^[11],车辆一道路附着系数的值如表 4 所示。

表 4 车辆—路面附着系数

Table 4 Adhesion co-efficient of vehicle-road

路面状况		附着系数 ϕ
干燥		0.80
微湿		0.70
积水		0.60
积雪	松软	0.35
	压实	0.20
结冰		0.1

由式(1)和式(2)可得,汽车在弯坡组合路段行驶时,不发生侧翻、侧滑的极限条件为

$$V_{\max} = \min(V_{h\max}, V_{f\max}) \quad (3)$$

则当 $V \geq V_{\max}$ 时,即可发布红色预警,否则不予报警。

2.3 多因素综合安全评价判别

山区道路交通系统是个多源、动态的大系统。基于其影响因素多、模糊概念多的特点,选用基于权的最小平方方法进行安全评价。基于权的最小平方方法模糊综合评价流程框图如图 3。

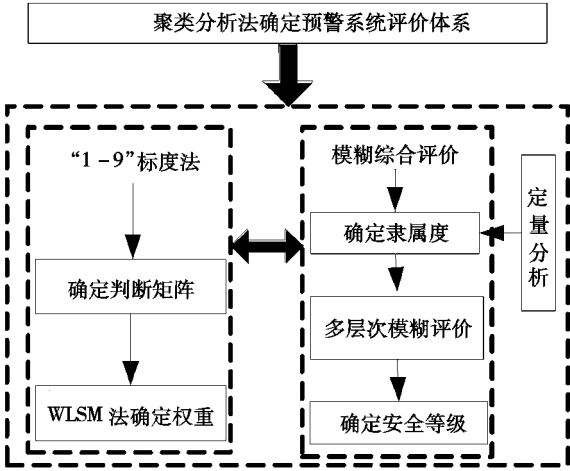


图 3 基于权的最小平方方法模糊综合评价的流程框图

Fig.3 Flow chart of fuzzy comprehensive evaluation based on weighted least mean method

2.3.1 评价指标权重的确定

选取权的最小平方方法(WLSM)确定指标权重,其基本思想是对判断矩阵(非一致矩阵) $A = (a_{ij})$ 在约束条件(4)下,用函数(5)的极小化解 $\omega_{\theta} = (\omega_1 \ \omega_2 \ \cdots \ \omega_m)^T$ 作为排序权向量。

$$\sum_{i=1}^m \omega_i = 1 \quad \omega_i > 0 \quad (4)$$

$$J = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\omega_i - a_{ij} \omega_j)^2 \quad (5)$$

经过整理化简后得,

$$\omega_{\theta} = C^{-1}e/(e^TC^{-1}e) \quad (6)$$

式中,

$$C =$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m a_{i1}^2 + (m-2) & -(a_{12} + a_{21}) & \cdots & -(a_{1m} + a_{m1}) \\ -(a_{12} + a_{21}) & \sum_{i=1}^m a_{i2}^2 + (m-2) & \cdots & -(a_{2m} + a_{m2}) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -(a_{1m} + a_{m1}) & -(a_{2m} + a_{m2}) & \cdots & \sum_{i=1}^m a_{im}^2 + (m-2) \end{bmatrix};$$

$$e = [1 \quad 1 \quad \cdots \quad 1]^T_{m \times m};$$

判断矩阵(非一致矩阵) $A = (a_{ij})$,采用 Saaty 教授提出的“1-9 标度法”^[12]来构造,见表 5。

表 5 “1-9”评判标度准则

Table 5 "1-9" evaluation scale criterion

标度	含义
1	两个因素相比较,具有同等重要性
3	两个因素相比较, a_i 比 a_j 稍微重要
5	两个因素相比较, a_i 比 a_j 明显重要
7	两个因素相比较, a_i 比 a_j 十分重要
9	两个因素相比较, a_i 比 a_j 极其重要
2,4,6,8	两个因素相比较,处于上述两相邻判断之间
倒数	两因素 a_i 与 a_j 比较的判断值 a_{ij} ,则 a_j 与 a_i 比较的判断值 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 。

2.3.2 隶属度的确定

构造模糊评判矩阵的过程为:首先确定评价集 V 和影响因素评价指标标准,并以各影响因素评价指标标准为列,以评价等级为行,直接根据专家统计投票和概率分布原理得出 R_i 。其中, R_i 为第 i 个因素在模糊评价集 V 上的单因素模糊子集, $R_i = \{r_{i1} \quad r_{i2} \quad \cdots \quad r_{im}\}$ 。

通过归一整理,可得评判矩阵 R^1_i ,即:

$$R^1_i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

2.3.3 模糊综合评价模型的确定

对每个 U_i 的子集 U_{ij} 做指标层评价,得 U_i 的指标层评判模型为:

$$B^1_i = \omega_i R^1_i \tag{7}$$

其中, ω_i 为指标层第 i 因素所占权重子集, $i = (1, 2, 3, 4, 5)$; R^1_i 为指标层单因素模糊评判矩阵。

利用指标层评判得出的评判向量 $B^1_i (i = 1 \sim 5)$,构建单因素评判向量 R^2 ,得出准则层综合评判模糊评价模型 B^2 为:

$$B^2 = \omega^2 \cdot R^2 = [b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad b_4 \quad b_5] \tag{8}$$

其中, ω^2 为准则层权重向量; R^2 为准则层模糊评判矩阵, $R^2 = [B^1_1 \quad B^1_2 \quad B^1_3 \quad B^1_4]^T$ 。

经运算,得到一个具有多种评判结果的评判指标集合 B^2 ,依据最大隶属度法则对山区道路安全状态作出评价。

即 $b_j = \max(b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad b_4 \quad b_5) \tag{9}$

2.4 山区道路交通安全预警警度的确定

结合山区道路实际情况、《国家突发公共事件总体应急预案》^[13]和文献[14],将预警级别划分为 5 个等级,分别用红色、橙色、黄色、蓝色和绿色表示。其中 I 级很危险、II 级比较危险、III 级一般危险、IV 级较安全、V 级安全,如表 6 所示。

表 6 预警警度区间划分

Table 6 Interval division of forewarning warning degree

等级	警度	灯号	区间
很危险	巨警	红色	[0.8 1.0)
比较危险	重警	橙色	[0.6 0.8)
一般危险	中警	黄色	[0.4 0.6)
较安全	轻警	蓝色	[0.2 0.4)
安全	无警	绿色	[0 0.2)

其中,0.8、0.6、0.4、0.2 分别为临界阈值,若指标超过其中之一,警度就发生变化。

3 实例验证

选取云南省罗富高速公路长下坡者桑坡为试验路段。这段路在云南富宁县者桑乡境内,有两段上下行线,其中富宁往广西百色方向(下行线)K896 至 K884 路段,连续长下坡;百色往富宁方向(上行线)K898 至 K904 路段,连续上坡 6 km,该路段经常发生交通事故。2013 年在 K896 + 200 m 处发生交通事故,一辆客车发生侧翻,事故发生时天气晴朗、微风、能见度好。

3.1 单因素模型评判

该危险路段单因素评判模型的指标评分如表 7 所示。

表 7 单因素评判模型的指标评分

Table 7 Index score of single factor evaluation model

评价指标	安全	较安全	一般危险	比较危险	很危险
能见度	10	0	0	0	0
降雨量	10	0	0	0	0
降雪量	10	0	0	0	0
道路标线	8	2	0	0	0
安全护栏	7	2	1	0	5

由于天气情况良好,能见度好,由表 3 和表 7 综合判断,单因素预警警度 $\geq$ IV 级,需进行转弯车速的安全状态判别。

3.2 转弯车速安全状态评判

该路段横坡度为 3%,路面附着系数取 0.8,

汽车轮距 B 为 2.58 m,质心高度 h_g 为 0.8 m,弯道半径为 60 m。通过传感器测得车辆实际速度为 20 m/s,根据式(3), $V_{\max} = \min(31.86,22.36) \geq 20$,车辆转弯车速正常,需要进行多因素综合安全评判。

3.3 多因素综合安全评判

咨询 10 位专家对采集的静态指标数据评分,如表 8 所示。

表 8 静态评价指标评分表

Table 8 Score chart of static evaluation index

评价指标	安全	较安全	一般危险	比较危险	很危险
驾驶水平	5	3	2	0	0
驾驶时间	5	2	3	0	0
车辆突发机件失效	4	3	2	1	0
车辆的使用年限	5	3	2	0	0
道路几何线性	0	1	2	2	5
路面抗滑性	4	2	2	1	1
路面平整性	6	3	1	0	0
道路周边环境	1	2	2	3	2

利用权的最小平方法求得各因素的权重,如表 9 所示。

通过式(6)、式(9)求得权重和安全评价值,故 $b_j = \max(0.079,0.023,0.240,0.631,0.027) = 0.631$ 。根据表 6,该路段的交通安全状态属于“比较危险”,应发布橙色预警。

与实际路况对照,该路段从 2009 年通车到 2012 年,据不完全统计发生交通事故 727 起,造成 96 人死亡,136 人受伤。与本文依据山区道路安全度模型计算出来的安全状况基本一致。

4 结论

(1)结合单因素评价模型、转弯车速安全性评价模型和多因素综合评价模型,构建了基于车路协同的道路交通安全度预警模型;

(2)基于权的最小平方法确定多因素综合评价模型中的权重,克服了评价结果偏离实际状况的缺点。

(3)以云南省罗富高速公路者桑段为例,对模型进行了验证。结果表明该模型能较好地反应道路的实际路况。

表 9 各因素的权重

Table 9 Weight of factors

评价因素		权重	
1 级	2 级	1 级评价因素权重	2 级评价因素权重
驾驶员因素	驾驶时间	0.531	0.595
	驾驶水平		0.405
车辆因素	车辆突发机件失效	0.223	0.127
	车辆使用年限		0.154
	行驶车速		0.719
道路因素	道路几何线性	0.147	0.674
	路面抗滑性		0.245
	路面平整性		0.081
	安全标志线设置		
	安全防护设置		
环境因素	大气能见度	0.099	0.400
	道路周边环境		0.600

参考文献:

[1] 潘开扬. 山区二、三级公路汽车安全行驶状态研究[D]. 西安:长安大学,2009.

[2] 裴玉龙,王炜. 道路交通事故成因及预防对策[M]. 北京:科学出版社,2004.

[3] JAMSON A H, LAI F C H, CARSTEN O M J. Potential benefits of an adaptive forward collision warning system[J]. Transportation Research Part C:Emerging Technologies, 2008,16(4):471-484.

[4] 董因平. 高速汽车车道偏离预警系统的算法研究[D]. 长春:吉林大学,2004:30-40.

[5] 王晓辉,刘东,陈谦,等. 城市道路交通安全预警指标体系研究[J]. 公路与汽运,2010(2):48-51.

[6] 温惠英,罗钧,李俊辉. 基于 PNN 的山区高速公路路段安全状态评价[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2011,39(8):113-117.

[7] 李亨. 山区高等级公路黑点段鉴别及安全性评价研究[D]. 长春:吉林大学,2008:25-30.

[8] 赵宝峰. 基于 MATLAB 模糊聚类分析法治理矿井水害[J]. 煤炭科学技术,2013,41(7):89-92.

[9] 薛冰冰. 高速公路危险路段交通安全预警系统研究[D]. 长春:吉林大学,2013:50-60.

[10] 王慧丽,史忠科. 山区道路车辆侧翻模型与安全分析[J]. 交通信息与安全,2013,31(3):93-97.

[11] 佟鑫. 困难艰险山区高速铁路运营安全预警系统研究[D]. 成都:西南交通大学,2013:50-60.

[12] 田晶晶,李世武,孙文财,等. 基于车路协同的动态车辆安全状态评价模型[J]. 哈尔滨工业大学学报,2012(4):136-140.

[13] 国务院. 国家突发公共事件总体应急预案[A]. (2006-01-08)[2016-09-20]. [http://vdisk. weibo. com/s/uGJd. 1QtTbVW6](http://vdisk.weibo.com/s/uGJd.1QtTbVW6).

[14] 牛世峰. 公路弯道路段交通安全特性研究[D]. 吉林:吉林大学,2008.

Research on Traffic Safety Forewarning Model of Mountainous Road with Car-way Synergy

QU Xian

(College of Mechanical Engineering, Chongqing Vocational Institute of Engineering, Chongqing 402260, China)

Abstract: Mountains are high and slopes are steel in mountainous road. The indexes of vehicle safety evaluation are complex and changeable. Factors which affect the safety of mountainous road such as people, vehicles, roads, environment and so on are systematically analyzed. Cluster analysis method is used to build evaluation system. Combining the single factor evaluation model, cornering speed safety evaluation model and multi factor comprehensive evaluation model, a road traffic safety forewarning model based on car – way synergy is established. The case study shows that the model can accurately evaluate the safety degree of road travel and provide an effective and simple method for evaluating road safety adaptability, which can effectively reduce the incidence of road traffic accidents.

Keywords: mountainous road; weighted least mean method; forewarning model; fuzzy comprehensive evaluation; car-way synergy

(责任编辑:张英健)