

# 农村道路条件安全分析及模糊层次评价

洪胜伟<sup>1</sup>, 傅航<sup>2</sup>

(1.新疆农业大学 交通与物流工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2.新疆交通科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**为减少农村道路交通事故发生、改善农村道路安全环境、建设美丽乡村,文中通过分析农村道路的设计线形、路面质量、交通设施等因素对其交通安全的影响确定影响农村道路安全的指标,建立农村道路条件安全评价指标体系;按照模糊层次评价理论构建农村道路条件安全评价数学模型,并利用工程实例对该模型进行验证,分析其可行性、实用性。

**关键词:**交通安全;农村道路;道路条件;模糊层次评价

**中图分类号:**U491.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-2668(2019)01-0037-04

据统计,截至 2017 年末,中国农村公路里程达到 400.93 万 km,其中县道里程达 55.07 万 km,乡道里程达 115.77 万 km,村道里程达 230.08 万 km。随着人民生活水平的提高,乡村小汽车数量剧增,加上农村道路和城市道路相比其技术等级较低,后期养护维修资金短缺,监管维护不及时、不到位,导致其路面质量及配套设施不完善,不能保障车辆的安全出行和人民生命财产的安全。

许多专家学者从农村道路横断面、线形设计及交通量等方面对其交通安全进行了研究;J. L. Ottosen 等建立了平曲线运行车速测算回归模型;Ralf Roos 利用计算机可视化技术,根据视觉规则定量评价了道路几何线形设计的优劣。道路交通安全是各因素共同作用的动态系统,但目前大多数研究没有整体考虑因素间的相互作用。该文从农村道路的设计线形、路面质量、交通安全设施 3 个方面进行分析,采用模糊层次法对影响农村道路安全的因素进行分析评价。

## 1 农村道路条件安全分析及评价体系确定

### 1.1 农村道路条件安全分析

#### 1.1.1 设计线形对交通安全的影响

由于缺乏资金的大力支持,中国农村道路建设中随地形地貌进行道路线形设计,以避免大规模填、挖方导致建设成本增加。平面线形设计中,直线路段大多按照短直线的线形来设计,可能会增加车辆转弯频率,对车辆安全行驶极其不利,容易导致交通事故。因此,设计中直线段长度需满足一定要求(见表 1)。设计转弯半径太小,车辆在弯道行驶时受离心力作用行驶不稳定,易向外倾翻;行车视距会受到

线形的反复或遮挡而不通畅,引起车辆相撞。

表 1 直线段长度的限定

设计速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	最小直线长度/m		最大直线 长度/m
	同曲线	反曲线	
40	240	80	800
60	360	120	1 200
80	480	160	1 600

农村道路纵断面线形设计依照地形条件进行,造成纵坡过大、竖曲线半径过小、坡长过大。凸形竖曲线半径较小,会减小道路对汽车轮胎的垂直反力,可能导致车辆失重、转向失灵而引起事故;另外,车辆上坡过程中,驾驶员的视距几乎为零,出现大片盲区,对向是否有车辆通过完全无法判别,极易造成碰撞事故。凹形竖曲线半径较小,会缩短车灯的照射距离,进而影响行车视距,使驾驶员不易分辨前方路况,造成对突发事件的反应有效时间过短,极易导致交通事故。因此,农村道路设计中应根据车速控制竖曲线半径(见表 2)。

表 2 竖曲线最小半径和长度与设计车速的关系

设计速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	凹形半径/m		凸形半径/m		最小长 度/m
	一般值	极限值	一般值	极限值	
40	700	400	700	400	35
60	1 500	1 000	2 000	1 400	50
80	3 000	2 000	4 500	3 000	70

农村道路线形设计中存在大量线形组合段,包括平面线形组合和平纵线形组合,导致路线设计更复杂,会增大车辆驾驶信息处理量,容易导致事故发

生。在地形条件好的地区应尽量选直线以减少工程量,同时为减少驾驶员疲劳行驶,需引入缓和曲线或圆曲线避免直线过长造成交通事故。总之,线形组合设计应遵循“平包竖”的原则,使长度很小的平曲线不和长度很小的竖曲线组合,保持行车视距的连续性和平缓过渡性,进而保证行车安全、舒适。

### 1.1.2 路面质量对交通安全的影响

路面质量状况对农村道路交通安全的影响重大。但由于乡村道路建设资金投入不足,农村道路路面施工质量出现较多问题,如路面平整度、压实度、抗滑性不能满足相关技术要求,车道宽度不符合规范要求;路面出现坑蚀、局部沉陷、路面鼓屈等病害,在雨、雾、冰雪天气条件下会导致跳车现象,车速过快时安全威胁极大;道路排水设施不完善,排水能力不足,按照经验设计纵坡,缺乏合理性,车辆容易掉进边沟且很难驶出。后期养护缺乏资金支持,导致路面维修养护不及时或不到位,也是导致道路质量状况较差的原因。因此,农村道路设计中需充分考虑路面质量因素,路面性能应满足规范要求,路面平整度、抗滑性及压实度等根据农村道路的特殊情况进行适当调整。国家也应加大农村道路投资力度,进行农村道路养护制度改革,健全农村道路建设养护规章制度,明确责任分工,加强道路施工监察力度,提高道路养护强度,进而提高农村道路安全状况,减少交通事故和人民财产损失。

### 1.1.3 交通设施对交通安全的影响

农村道路建设缺乏资金支持,导致其防护栏、隔离设施、防眩设施、道路标志、标线及标志牌等安全保障设施配备不完善。根据相关调查,在一些偏远地区,存在红绿灯缺少、道路标线不合理、标志牌不完备等问题,给驾驶员带来极大的安全风险。农村居民对交通标志、标线等交通规则不清楚,也是导致农村道路安全事故的因素。此外,农村道路照明设施不完备,特别是在雨雪冰冻的夜晚,可能导致驾驶员误判道路信息进而发生交通事故。

## 1.2 建立农村道路条件安全评价指标体系

基于农村道路的实际情况,遵循科学性、系统性及可用性等原则构建农村道路条件安全评价指标体系(见表3)。

## 2 建立道路条件模糊层次评价模型

模糊层次评价是由模糊综合评价和层次分析法结合而成的一种评价方法。该方法按照模糊综合评

表3 农村道路条件安全评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	确定方法
农村道路条件安全评价指标体系A	设计线形 $B_1$	弯道曲线半径 $C_{11}$	统计数据推算
		线形组合 $C_{12}$	统计数据推算
		道路斜坡及边坡 $C_{13}$	统计数据推算
		驾驶员视距 $C_{14}$	统计数据推算
	路面质量 $B_2$	路面平整度 $C_{21}$	核查与调查
		路面压实度 $C_{22}$	核查与调查
		路面抗滑性 $C_{23}$	核查与调查
		车道宽度 $C_{24}$	核查与调查
		排水设施 $C_{25}$	专家评分
	交通设施 $B_3$	夜间照明 $C_{31}$	专家评分
		标志、标线完备率 $C_{32}$	核查与调查
		防护安全设施 $C_{33}$	专家评分

判法对评估对象建立因素集和评判集,利用层次分析法确定各评价因素对评价对象的权重向量,采用专家评定法或三角形隶属函数法等形式形成评判矩阵,然后通过选取合适的模糊算子进行综合评价。

### 2.1 建立因素集

在模糊层次评价中,因素集是建立的评价指标体系中各因素组成的集合,可表示为:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$

根据表3,准则层(一级指标)的评价因素集为:

$$A = \{\text{设计线形 } B_1, \text{路面质量 } B_2, \text{交通设施 } B_3\}$$

指标层(二级指标)的评价因素集为:

$$B_1 = \{\text{弯道曲线半径 } C_{11}, \text{线形组合 } C_{12}, \text{道路斜坡及边坡 } C_{13}, \text{驾驶员视距 } C_{14}\}$$

$$B_2 = \{\text{路面平整度 } C_{21}, \text{路面压实度 } C_{22}, \text{路面抗滑性 } C_{23}, \text{车道宽度 } C_{24}, \text{排水设施 } C_{25}\}$$

$$B_3 = \{\text{夜间照明 } C_{31}, \text{标志、标线完备率 } C_{32}, \text{防护安全设施 } C_{33}\}$$

### 2.2 建立评判集

将评价对象即农村道路安全划分为四个等级:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\} = \{\text{好, 较好, 一般, 差}\}$$

### 2.3 建立权重集

#### 2.3.1 建立递阶层次结构

递阶层次结构通常包括目标层、准则层和指标层,图1为典型的层次结构。

#### 2.3.2 构造判断矩阵

采用1~9标度法对每层中的各评价指标进行两两比较,构造判断矩阵  $A = [a_{ij}]_{mn}$  (见表4),其

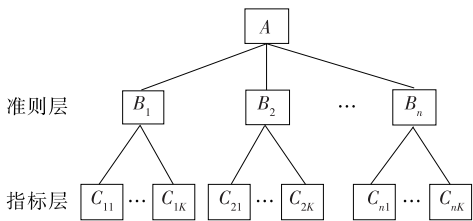


图 1 递阶层次结构示意图

中,  $a_{ij} > 0, a_{ij} = 1/a_{ji}, a_{ii} = 1 (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。判断矩阵元素的值反映同级别指标中两两指标的相对重要性。

表 4 判断矩阵

A	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
$B_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
$B_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
...	...	...	...	...
$B_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nn}$

对判断矩阵进行一致性检验, 计算一致性指标  $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$  和一致性比率  $CR = CI / RI$ 。当  $CR < 0.1$  时, 认为判断矩阵满足一致性, 各指标因素权重分配合理。否则, 进行修改, 直到满足一致性要求。

2.3.3 计算指标权重向量

判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  对应的特征向量为  $w$ , 对  $w$  进行归一化处理即可得到该层各指标的权重向量。

2.3.4 建立权重集

利用层次分析法建立判断矩阵, 并求得每层指标的权重向量  $w$ , 构成该层的权重集。第一层权重集为:

$$W = [w_1, w_2, w_3]$$

第二层权重集为:

$$w_i = [w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, \dots, w_{ij}]$$

$$(i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

2.4 模糊层次评价

2.4.1 一级模糊评价

根据专家经验对  $U_i$  的单因素进行评判, 得到单因素评判矩阵  $R_i$ , 选择合适的模糊算子进行运算, 得到单因素综合评价向量:

$$B_i = W_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4})$$

2.4.2 二级模糊评价

单因素综合评价向量  $B_i$  构成二级模糊评价集:

$$R = (B_1, B_2, B_3)$$

二级模糊评价评判模型为:

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

根据最大隶属度原则对评价结果作进一步反模糊化处理, 安全等级隶属于:

$$b_{i\max} = V_i \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

3 实例验算

新疆乌鲁木齐县某农村道路为沥青路面, 全长 50 km。在建成后的几年中带动当地经济快速发展。但随着人民生活水平的提高, 居民汽车拥有量增加, 该道路的交通量显著增大, 加上所在地区冬季环境恶劣, 冰雪、大风等灾害天气经常发生, 该道路经常发生交通事故。下面应用上述评价模型对该农村道路条件对交通安全的影响进行评价。

3.1 建立指标权重集

按照九标度法, 请道路工程相关专家对每层指标在交通安全中的重要度进行两两比较, 得到各指标相对于上层的判断矩阵。利用 MATLAB 软件编程求解第一层判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 3.025$ , 对应特征向量  $w_0 = (0.854 \ 0, 0.499 \ 4, 0.146 \ 0)$ , 归一化后得到一级指标的权重集  $w = (0.570, 0.333, 0.097)$ 。  $CR = 0.021 \ 2 < 0.1$ , 该判断矩阵满足一致性要求, 各指标权重分配合理。同样可求出第二层判断矩阵的最大特征值, 得到表 5 所示指标权重。

表 5 各指标的权重分配

准则层指标	权重	指标层指标	权重
$B_1$	0.570	$C_{11}$	0.320
		$C_{12}$	0.495
		$C_{13}$	0.082
		$C_{14}$	0.103
		$C_{21}$	0.135
$B_2$	0.333	$C_{22}$	0.241
		$C_{23}$	0.414
		$C_{24}$	0.135
		$C_{25}$	0.074
		$C_{31}$	0.540
$B_3$	0.097	$C_{32}$	0.163
		$C_{33}$	0.297

根据表 5, 得权重集:

$$W_1 = (0.320, 0.495, 0.082, 0.103)$$

$$W_2 = (0.135, 0.241, 0.414, 0.135, 0.074)$$

$$W_3 = (0.540, 0.163, 0.297)$$

### 3.2 构建评判矩阵

邀请 10 位道路工程专家根据道路实际情况对因素集  $U_i$  进行单因素评判, 得到单因素评判矩阵  $R_i (i=1, 2, 3)$ :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.3 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.5 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.4 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 \end{bmatrix}$$

### 3.3 模糊层次评价

#### 3.3.1 一级综合评价

按  $B=W \cdot R$  计算, 得到单因素评价结果, 其中设计线形评价结果为:

$$B_1 = W_1 \cdot R_1 = [0.150, 0.350, 0.350, 0.150]$$

路面质量评价结果为:

$$B_2 = W_2 \cdot R_2 = [0.159, 0.290, 0.348, 0.203]$$

交通设施评价结果为:

$$B_3 = W_3 \cdot R_3 = [0.146, 0.200, 0.230, 0.424]$$

#### 3.3.2 二级综合评价

由一级综合评价可得到总评判矩阵  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.150 & 0.350 & 0.350 & 0.150 \\ 0.159 & 0.290 & 0.348 & 0.203 \\ 0.146 & 0.200 & 0.230 & 0.424 \end{bmatrix}$$

由一级指标权重集  $w = (0.570, 0.333, 0.097)$ , 用二级评价模型  $B=W \cdot R$  求出综合评价结果:

$$B=W \cdot R = [0.570, 0.333, 0.097] \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.150 & 0.350 & 0.350 & 0.150 \\ 0.159 & 0.290 & 0.348 & 0.203 \\ 0.146 & 0.200 & 0.230 & 0.424 \end{bmatrix} =$$

$$[0.153 \quad 0.315 \quad 0.338 \quad 0.194]$$

### 3.4 评价结果分析

各单因素评价及综合评价相对于评判集  $V$  中各等级的隶属度见表 6。

表 6 评价结果相对于各等级的隶属度

评价对象	各等级的隶属度			
	好	较好	一般	差
设计线形 $B_1$	0.150	0.350	0.350	0.150
路面质量 $B_2$	0.159	0.290	0.348	0.203
交通设施 $B_3$	0.146	0.200	0.230	0.424
综合评价 $B$	0.153	0.315	0.338	0.194

根据最大隶属度原则, 该道路的安全综合评价结果为一般安全, 与其实际安全状况一致, 说明该评价模型具有适用性和科学性。

## 4 结语

鉴于农村道路交通安全影响因素的复杂性和模糊可变性, 该文按照模糊层次评价理论建立数学模型对农村道路条件进行模糊层次评价。实例评价结果表明, 评价等级和实际状况一致, 该模型可用于农村道路安全评价, 可为建设四好农村道路、建设美好乡村提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] 交公路发[2015]73号, 关于推进“四好农村路”建设的实施意见[S].
- [2] 交通运输部综合规划司. 2017年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. 交通运输部网站, 2018-03-30.
- [3] Ruediger Lamm, Basil Psarianos, Theodor Mailaender. Highway design and traffic safety engineering handbook[M]. McGraw-Hill Professional, 1999.
- [4] Hassan Y, Sayed T, Tabernero V. Establishing practical approach for design consistency evaluation[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(4).
- [5] Agarwal P K, Jain V, Bhawsar U. Development of a hierarchical structure to identify critical maintenance components affecting road safety[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 104(3).
- [6] Gibreel G M, Easa S M, Hassan Y, et al. State of the art of highway geometric design consistency[J]. Journal of Transportation Engineering, 1999, 125(4).
- [7] 邹健. 浅论道路线形设计对交通安全的影响及改善措施[J]. 公路, 2002(6).
- [8] 李荣彪, 邓毅萍, 柴干. 农村道路条件对交通安全的影响分析[J]. 公路与汽运, 2015(3).
- [9] J L Ottesen, R A Krammes. Speed-profile model for a design-consistence evaluation procedure in the United States[J]. Transportation Research Record, 2000, 1701.

(下转第 49 页)

$$B_1 = w_1 \times R_1 = (0.53, 0.31, 0.15, 0.01, 0)$$

$$B_2 = w_2 \times R_2 = (0.46, 0.41, 0.12, 0.01, 0)$$

$$B_3 = w_3 \times R_3 = (0.37, 0.29, 0.24, 0.08, 0.02)$$

$$B_4 = w_4 \times R_4 = (0.29, 0.31, 0.22, 0.14, 0.04)$$

$$B_5 = w_5 \times R_5 = (0.46, 0.33, 0.15, 0.06, 0)$$

对评价向量再次采用专家评分法进行评价,并统计目标层评价向量,得到总隶属评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.31 & 0.15 & 0.01 & 0.00 \\ 0.46 & 0.41 & 0.12 & 0.01 & 0.00 \\ 0.37 & 0.29 & 0.24 & 0.08 & 0.02 \\ 0.29 & 0.31 & 0.22 & 0.14 & 0.04 \\ 0.46 & 0.33 & 0.15 & 0.06 & 0.00 \end{bmatrix}$$

综合评价结果为:

$$A = W \times R = (0.46, 0.32, 0.17, 0.04, 0.01)$$

评语集  $V = (\text{优秀}, \text{较好}, \text{一般}, \text{合格}, \text{不合格})$ 。根据最大隶属原则,  $A = \max A = 0.46$ , 对应的评价等级为优, 即 K 线的综合评价结果为优。

同理可得 M、J 线的综合评价结果:  $A_M = W \times R = (0.33, 0.38, 0.17, 0.1, 0.02)$ 、 $A_J = W \times R = (0.32, 0.35, 0.19, 0.11, 0.03)$ , 对应评价等级均为较好。从最终隶属度值可得方案 K 为最优路线, 与项目实际确定的线路吻合。

#### 4 结语

影响伍益高速公路路线的指标主要有技术、经济、社会、环境和节能。该文从这 5 个方面, 采用模糊层次分析法就路线设计中的 K、M、J 线方案进行识别及评估, 得到 K 线方案最优、M 及 J 线较好, 计算结果与实际确定的路线相吻合。

#### 参考文献:

- [1] 周正祥, 刘妍娜, 袁武. 高速公路生态环境影响后评价的评价内容及量化模型[J]. 中外公路, 2008, 28(2).
- [2] Sadek S, Kaysi I, Bedran M. Geotechnical and environmental considerations in highway layout: an integrated GIS assessment approach[A]. ESRI User Conference [C]. 1998.
- [3] Li Li-ping, Xu Guang-li, Lu Xiao-li. A novel fuzzy route selection method based on multi-norm decision making [A]. 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology [C]. 2010.
- [4] 周林. 基于遗传算法的道路选线优化方法研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009.
- [5] 王玉标. 基于绿色交通的国家高速公路路线方案研究[J]. 公路与汽运, 2018(5).
- [6] 廖文周. 宁莞高速公路粤闽界至潮州古巷段路线方案研究[J]. 公路与汽运, 2015(2).
- [7] 吕宏韬, 王鹏程. 高速公路路线方案比选[J]. 黑龙江交通科技, 2009(9).
- [8] 莫细喜, 罗磊. 崇左至靖西高速公路路线方案决策研究[J]. 广西城镇建设, 2011(5).
- [9] 赵梅龙, 陈振伟. 基于层次分析法的山区高速公路路线方案比选研究[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2009(7).
- [10] 李春元, 翟秀春. 高速公路局局部路线方案动态比选研究[J]. 山西交通科技, 2010(4).
- [11] 卢冬生, 巴可伟. 基于多层模糊模型的路线方案社会评价[J]. 交通科技, 2010(5).
- [12] 王佐, 汪双杰, 屈强. 山区高速公路复杂路段路线方案的比选论证[J]. 公路, 2007(11).

收稿日期: 2018-07-26

\*\*\*\*\*  
(上接第 40 页)

- [10] Ralf Roos. Quantitative methods for the evaluation of spatial alignment of roads[R]. Publication of the Institute of Highway and Railroad Engineering, 2001.
- [11] 王涛, 陈峻. 基于模糊综合评价法的城市道路交通安全评价研究[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(4).
- [12] 周彬, 秦玉娟. 基于层次分析法的道路交通安全评估模型[J]. 信息技术, 2011(10).
- [13] 王艺颖, 郝丽, 贾燕红, 等. 道路交通安全灰色评价方

法[J]. 汽车实用技术, 2014(3).

- [14] 李相勇, 田澎, 蒋葛夫. 道路交通安全综合评价的人工神经网络方法[J]. 西南交通大学学报, 2006, 41(4).
- [15] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华东科技大学出版社, 2006.
- [16] 陈谦, 刘建军, 王连明. 农村公路交通安全现状分析与对策研究[J]. 公路与汽运, 2009(6).

收稿日期: 2018-05-10