

基于物元分析理论的山区公路平面交叉涉路工程安全评价*

王晓安¹, 杨俊¹, 刘兵², 计斌¹, 陈瑶¹

(1.云南省交通科学研究院有限公司, 云南 昆明 650032; 2.云南省交通投资建设集团有限公司, 云南 昆明 650011)

摘要:为提高山区公路平面交叉涉路工程安全评价的效率,从公路平面交叉设置要求、技术要求 and 防护要求方面提取 10 个平面交叉涉路工程安全评价指标,采用物元分析理论,结合层次分析法建立山区公路平面交叉涉路工程安全评价模型,并应用于云南省典型山区公路平面交叉涉路工程安全评价。

关键词:交通安全;公路;平面交叉;涉路工程;安全评价;物元分析模型

中图分类号:U412.351

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)03-0040-07

平面交叉涉路工程是指公路、沿线进出口、加油站、服务区等和既有公路平面交叉或搭接的涉路工程^[1]。山区公路受地形地貌和技术经济条件限制,道路平面、横断面和纵断面等设计指标普遍较低,导致交叉口交叉角度小、搭接道路纵坡大、安全设施不完善、平面交叉口视距不能满足行车安全要求^[2]。对山区公路平面交叉涉路工程开展安全评价是保障山区公路平面交叉口行车安全的必要条件^[3]。

国外对平面交叉涉路工程的安全评价主要集中在平面交叉口安全设计、安全评价和交通管控方面,形成了一系列研究成果和标准规范^[4-6]。国内对山区公路平面交叉涉路工程的安全评价起步较晚,主要集中在城市道路交叉口研究方面^[7-10],公路平面交叉口安全设计相关理论还不成体系。选择合适的评价方法是提高山区公路平面交叉涉路工程安全评价效率的关键。本文基于物元分析理论,结合层次分析法建立评价模型,对山区公路平面交叉涉路工程的安全性进行评价。

1 物元分析理论简介

物元分析的基本原理:先确定给定事物的物元特征量值和等级区间,再根据物元特征向量确定经典域物元矩阵与节域物元矩阵,最后计算各物元数值的关联函数、关联度和特征值,根据关联度和特征值所在等级区间确定求解结果^[11]。该方法能将不相容问题、定量和定性问题辩证统一,有效避免主观

判断带来的评价结果失真。

1.1 物元

具有不同特征(如名称、特征和量值)的事物组成物元的基本要素,用 N 表示给定事物的名称, c 和 v 分别表示事物的特征和量值,则事物名称 N 、特征 c 和量值 v 之间的关系如下^[12]:

$$R = (N, c, v) \quad (1)$$

因给定事物的量值与事物名称、特征紧密相关,事物的量值 v 可由名称 N 和特征 c 共同确定,描述为:

$$v = c(N) \quad (2)$$

物元亦可表示为:

$$R = (N, c, c(N)) \quad (3)$$

一个事物有多个特征,如果事物 N 用 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应量值 v_1, v_2, \dots, v_n 描述,则物元可表示为:

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中, $R = (N, C, V)$, 其中:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

把待评价的事物和所分析的数据用物元 R_0 表示为:

* 基金项目:云南省交通科学研究院有限公司自主立项科研项目(JKYZLX-2020-12)

$$\mathbf{R}_0 = \begin{bmatrix} P_0 & c_1 & v_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: \mathbf{R}_0 为所评价事物的物元矩阵; P_0 为所评价事物的名称; c_i 为所评价事物的第 i 个特征值; v_i 为所评价事物的第 i 个特征的基本量值。

1.2 经典域与节域

根据物元矩阵的特征向量取值范围不同,物元矩阵由经典域物元矩阵和节域物元矩阵组成。经典域是指所评价事物特征向量取值随事物属性变化的数值区间,表达式如下:

$$\mathbf{R}_{0j} = (P_{0j}, C_i, X_{0ji}) = \begin{bmatrix} P_{0j} & c_1 & x_{0j1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{0jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{0j} & c_1 & (a_{0j1}, b_{0j1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{0jn}, b_{0jn}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: \mathbf{R}_{0j} 为所评价事物 P_{0j} 的第 j 个等级的物元矩阵; P_{0j} 为第 j 个所评价事物的物元; C_i 为所评价事物 P_{0j} 的第 i 个特征; X_{0ji} 为所评价事物 P_{0j} 关于 C_i 特征的量值范围,其中经典域 X_{0ji} 的取值范围为 $(a_{0ji}, b_{0ji}) (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ 。

节域是指所评价事物的特征向量中每个评价指标对应的数值区间,与经典域取值范围相同,表达式如下:

$$\mathbf{R}_p = (P, C_i, X_{pi}) = \begin{bmatrix} P & c_1 & x_{p1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: \mathbf{R}_p 为所评价事物 P 的评价等级物元矩阵; P 为所评价事物; C_i 为所评价事物 P 的所有特征; X_{pi} 为所评价事物 P 关于 C_i 的特征量值范围,其中节域 $X_{pi} = (a_{pi}, b_{pi})$ 。

1.3 关联函数

关联函数是用代数形式刻画在实数轴上具有某种性质的元素的可拓集合。有界区间 $\langle a, b \rangle$ 的模 d 定义为:

$$d = |X| = |b - a| \quad (9)$$

实数轴上任意两点 x 和 y 之间的距离可表示为:

$$\rho = (x, y) = |x - y| \quad (10)$$

点 x 与实数轴上有界区间 $X = \langle a, b \rangle$ 之间的距离可表示为:

$$d(x, X) = \begin{cases} 0, & x \in X \\ \inf \rho(x, y), & x \notin X \end{cases} \quad (11)$$

实数轴上任一点 x 和有限区间 $X = \langle a, b \rangle$ 之间的距离即为可拓距 $\rho(x_0, X)$:

$$\rho(x_0, X) = \left| x_0 - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2} = \begin{cases} a - x_0, & x_0 \leq (a+b)/2 \\ x_0 - b, & x_0 > (a+b)/2 \end{cases} \quad (12)$$

位值是指实数域上任意一点 x 与 $X_0 = \langle a_0, b_0 \rangle$ 和 $X = \langle a, b \rangle$ 组成的区间套的位置关系,可表示为:

$$D(x, X_0, X) = \rho(x, X) - \rho(x, X_0) \quad (13)$$

关联函数如下:

$$K(x) = \begin{cases} \frac{\rho(x, X)}{D(x, X_0, X)}, & D(x, X_0, X) \neq 0, x \in X \\ -\rho(x, X_0) + 1, & D(x, X_0, X) = 0, x \in X_0 \\ 0, & D(x, X_0, X) = 0, x \notin X_0, x \in X \\ \frac{\rho(x, X)}{D(x, X, \hat{X})}, & D(x, X, \hat{X}) \neq 0, x \in R - X \\ -\rho(x, \hat{X}) - 1, & D(x, X, \hat{X}) = 0, x \in R - X \end{cases} \quad (14)$$

式中: $\hat{X} = X \cup X_- = \langle c, d \rangle$; X_- 为过渡负域, $X_- = \langle c, a \rangle \cap \langle b, d \rangle$; R 为实数域。

2 涉路工程安全评价物元分析模型

(1) 构建基本物元矩阵:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} P & c_1 & v_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (15)$$

(2) 构建评价模型的经典域矩阵。根据山区公路平面交叉涉路工程各评价指标对行车安全的影响,将各评价指标划分为多个等级,并代入经典域物元矩阵中,构建山区公路平面交叉涉路工程安全评价经典域物元评价模型:

$$\mathbf{R}_j = (P_j, C_i, X_{ji}) = \begin{bmatrix} P_j & c_1 & x_{j1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中: \mathbf{R}_j 为平面交叉涉路工程 P_j 第 j 个等级的物

元矩阵; P_j 为第 j 个平面交叉涉路工程评价物元; C_i 为平面交叉涉路工程 P_j 的第 i 个评价指标; X_{ji} 为平面交叉涉路工程 P_j 关于 C_i 评价指标的取值范围 $(a_{jn}, b_{jn}) (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ 。

(3) 确定评价模型的节域矩阵。构建山区公路平面交叉涉路工程安全评价经典域物元评价模型后, 将各评价指标等级的量值代入节域物元矩阵中, 确定山区公路平面交叉涉路工程安全评价模型节域矩阵:

$$\mathbf{R}_p = (P, C_i, X_{pi}) = \begin{bmatrix} P & c_1 & x_{p1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (17)$$

式中: \mathbf{R}_p 为平面交叉涉路工程 P 的评价等级物元矩阵; P 为平面交叉涉路工程所有评价等级; C_i 为平面交叉涉路工程 P 的所有评价等级特征; X_{pi} 为平面交叉涉路工程 P 关于 C_i 的特征量值范围 $(a_{pi}, b_{pi}) (i=1, 2, \dots, n)$ 。

(4) 计算关联函数。按式(18)、式(19)分别计算实数轴上任意一点 x_i 和区间 X_{ji} 、 X_{pi} 之间的可拓距 $\rho(x_i, X_{ji})$ 、 $\rho(x_i, X_{pi})$, 按式(20)计算关联函数。

$$\rho(x_i, X_{ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) \quad (18)$$

$$\rho(x_i, X_{pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \quad (19)$$

$$K_j(x_i) = \frac{\rho(x_i, X_{ji})}{\rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{ji})} \quad (20)$$

$j=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, n$

(5) 综合评价。采用式(21)计算评价等级的关联度。 $K_j = \max K_j(P_0)$ 时, 平面交叉涉路工程安全评价物元 P_0 的安全等级为 j , 关联度 $K_j = \max K_j(P_0)$ 即为平面交叉涉路工程安全评价结果。将关联度 $K_j(P_0)$ 进行加权平均计算, 按式(22)、式(23)计算山区公路平面交叉涉路工程安全评价结果等级。

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n \delta_i K_j(X_i); j=1, 2, \dots, m \quad (21)$$

式中: $K_j(P_0)$ 为山区公路平面交叉涉路工程安全

评价物元关于评价等级的综合关联度; δ_i 为山区公路平面交叉涉路工程安全评价物元各评价指标的权重。

$$\overline{K_j(P_0)} = \frac{K_j(P_0) - \min K_j(P_0)}{\max K_j(P_0) - \min K_j(P_0)} \quad (22)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \times \overline{K_j(P_0)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(P_0)}} \quad (23)$$

式中: j^* 为平面交叉涉路工程安全评价项目 P_0 的评价等级特征值, 其值越大, 评价结果偏向于相邻等级的程度越高。

3 评价指标权重的确定

采用层次分析法确定山区公路平面交叉涉路工程安全评价指标的权重。步骤如下:

(1) 构造判断矩阵。采用标度法进行山区公路平面交叉涉路工程安全评价指标判断矩阵构建。将评价指标分为好、较好、一般、较差、差 5 个等级, 通过专家评价, 采用 1~9 标度法(标度值的含义见表 1)对各评价指标的重要度进行两两对比, 构造平面交叉涉路工程安全评价指标判断矩阵 \mathbf{A} [见式(24)]。

表 1 标度值的含义

标度值	权重比值含义
1	两个指标相比, 指标 i 与指标 j 同样重要
3	两个指标相比, 指标 i 比指标 j 稍微重要
5	两个指标相比, 指标 i 比指标 j 明显重要
7	两个指标相比, 指标 i 比指标 j 强烈重要
9	两个指标相比, 指标 i 比指标 j 极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断比值的中值

注: 指标 i 与指标 j 相比, 判断出 a_{ij} ; 指标 j 与指标 i 相比, 判断出 $1/a_{ij}$ 。

$$\mathbf{A} = [a_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & 1 & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & 1 & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (24)$$

(2) 确定指标权重。对判断矩阵 \mathbf{A} 按列规范化, 计算公式见式(25); 按行相加得合数 $\overline{w_i}$ [见式(26)]; 将合数 $\overline{w_i}$ 进行归一化, 按式(27)计算权重 w_i 。

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}; i, j = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}; i, j = 1, 2, \dots, n \quad (26)$$

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}; i, j = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

(3) 一致性检验。按式(28)计算判断矩阵 A 的最大特征根 λ_{\max} 。分别按式(29)、式(30)计算一致性指标 I_{CI} 、一致性比率 R_{CR} 。若 $R_{CR} < 0.10$, 则判断矩阵 A 通过一致性检验; 若 $R_{CR} \geq 0.10$, 则重新修改或构造判断矩阵 A , 直至 $R_{CR} < 0.10$ 。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A\bar{w})_i}{\bar{w}_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{w}_j}{\bar{w}_i} \quad (28)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$I_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (29)$$

$$R_{CR} = \frac{I_{CI}}{I_{RI}} \quad (30)$$

式中: I_{RI} 为平均随机一致性指标, 其取值见表 2。

表 2 平均随机一致性指标与判断矩阵阶数 n 对应表

n	I_{RI}	n	I_{RI}
1	0.00	6	1.26
2	0.00	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.46
5	1.12	10	1.49

4 实例分析

选取云南省普洱市某项目出入口搭接思澜(思茅—澜沧)二级公路 K0+252 处路段开口涉路工程为例, 采用物元分析模型对其进行安全评价。

4.1 项目概况

该平面交叉口为 T 形交叉口, 东西向为思澜公路, 南北向为该项目进出道路方向, 设计速度为 60 km/h(见图 1)。

进出道路与思澜公路平面交叉口涉路工程安全评价指标如下:

(1) 设置要求 B_1 。1) 设置位置 C_1 。该项目开口为市政道路与思澜二级公路平面交叉口, 红线宽度为 20 m(3 m 人行道+7 m 行车道+7 m 行



图 1 拟建项目进出道路与思澜公路平面交叉口涉路工程位置图

道+3 m 人行道), 设计速度为 20 km/h。2) 交叉角度 C_2 。开口路段线形良好、视野开阔, 交叉口交叉角度为 90° , 开口处渠化半径为 15 m。

(2) 技术要求 B_2 。1) 横坡和纵坡 C_3 。路面采用直线+圆曲线拱, 道路全线横坡为 2%, 共设 1 个纵坡, 纵坡为 1.07%。2) 视距 C_4 。思澜公路开口路段限制速度 40 km/h, 该项目与思澜公路交叉口处 70 m×5 m 的通视三角区内存在遮挡视距的障碍物。3) 交叉口岔数 C_5 。该项目进出道路与思澜公路交叉处为三路 T 形交叉口。4) 交叉口间距 C_6 。该项目进出道路开口距磨思(磨黑—思茅)高速公路普洱南收费站立交出口 340 m。

(3) 防护要求 B_3 。1) 排水设施 C_7 。根据该项目设计文件, 该平面交叉口路段未设置排水设施, 排水设施缺乏。2) 路面条件 C_8 。该平面交叉口为新建项目, 思澜公路按二级公路标准设计, 采用沥青混凝土路面, 路面平整度和稳定性较好, 抗滑性能一般。3) 照明系统 C_9 。搭接道路两侧均未设置路灯, 照度不满足照明需求。4) 交通管理措施 C_{10} 。该平面交叉口采用信号配时方案分别对进出交叉口的车辆和行人进行控制。思澜公路主线为双向四车道, 中间采用双黄线分割, 标线存在磨损情况; 搭接开口道路为双向四车道, 中间采用双黄线分割, 标线尚未施划。

邀请 5 位交通安全和交通工程领域的专家进行实地调查, 并查阅项目相关资料, 对该平面交叉口涉路工程安全评价指标进行打分, 结果见表 3。

4.2 安全评价

4.2.1 确定物元矩阵

(1) 将该项目进出道路与思澜公路平面交叉口涉路工程安全评价指标的评分代入式(15), 得到各评价指标的现状物元矩阵:

表 3 拟建项目出入口与思澜公路平面交叉口安全评价指标的评分

安全评价指标	评分	安全评价指标	评分
设置位置	0.94	交叉口间距	0.79
交叉角度	0.86	排水设施	0.67
横坡和纵坡	0.91	路面条件	0.89
视距	0.93	照明系统	0.56
交叉口岔数	0.59	交通管理措施	0.92

$$R_0 = \begin{bmatrix} P_0 & c_1 & v_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 & c_1 & 0.94 \\ & c_2 & 0.86 \\ & c_3 & 0.91 \\ & c_4 & 0.93 \\ & c_5 & 0.59 \\ & c_6 & 0.79 \\ & c_7 & 0.67 \\ & c_8 & 0.89 \\ & c_9 & 0.56 \\ & c_{10} & 0.92 \end{bmatrix}$$

(2) 根据安全评价指标等级划分,评级等级 $U = \{\text{好, 较好, 一般, 较差, 差}\} = \{[0.9, 1], [0.8, 0.9], [0.7, 0.8], [0.6, 0.7], [0.0, 0.6]\}$ 。确定安全评价指标从属的安全等级,根据式(16)、式(17)确定该项目进出道路与思澜公路平面交叉口涉路工程安全评价的经典物元矩阵 R_{0j} 和节域矩阵 R_p 。

$$R_{0i} = (P_{0i}, C_i, X_{0ji}) = \begin{bmatrix} P_{0j} & c_1 & x_{0j1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{0jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{0j} & c_1 & (0.9, 1.0) \\ & c_2 & (0.8, 0.9) \\ & c_3 & (0.9, 1.0) \\ & c_4 & (0.9, 1.0) \\ & c_5 & (0.0, 0.6) \\ & c_6 & (0.7, 0.8) \\ & c_7 & (0.6, 0.7) \\ & c_8 & (0.8, 0.9) \\ & c_9 & (0.0, 0.6) \\ & c_{10} & (0.9, 1.0) \end{bmatrix}$$

$$R_p = (P, C_i, X_{pi}) = \begin{bmatrix} P & c_1 & x_{p1} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{pn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} P & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & (0, 1) \\ & c_2 & (0, 1) \\ & c_3 & (0, 1) \\ & c_4 & (0, 1) \\ & c_5 & (0, 1) \\ & c_6 & (0, 1) \\ & c_7 & (0, 1) \\ & c_8 & (0, 1) \\ & c_9 & (0, 1) \\ & c_{10} & (0, 1) \end{bmatrix}$$

4.2.2 权重计算

根据式(24)~(30)计算评价指标的权重并进行矩阵一致性检验,二级指标判断矩阵及权重计算结果见表4,三级评价指标判断矩阵及权重计算结果见表5~8。各级判断矩阵均通过一致性检验。

表 4 一级指标判断矩阵及权重计算结果

安全评价指标	B_1	B_2	B_3	权重
B_1	1	1/2	2	0.297 2
B_2	2	1	3	0.539 0
B_3	1/2	1/3	1	0.163 8

表 5 设置位置指标判断矩阵及权重计算结果

设置要求	C_1	C_2	权重
C_1	1	3	0.750 0
C_2	1/3	1	0.250 0

表 6 技术要求指标判断矩阵及权重计算结果

技术要求	C_3	C_4	C_5	C_6	权重
C_3	1	1/2	4	3	0.288 0
C_4	2	1	7	5	0.531 8
C_5	1/4	1/7	1	1/2	0.067 8
C_6	1/3	1/5	2	1	0.112 4

表 7 防护要求指标判断矩阵及权重计算结果

防护要求	C_7	C_8	C_9	C_{10}	权重
C_7	1	1/2	2	1/3	0.157 5
C_8	2	1	3	1/2	0.271 8
C_9	1/2	1/3	1	1/5	0.088 3
C_{10}	3	2	5	1	0.482 4

4.2.3 关联函数计算

按式(18)~式(20)计算该项目进出道路与思澜

公路平面交叉口涉路工程安全评价指标与评价等级 的关联函数值,计算结果见表 9。

表 8 安全评价指标的合成权重

一级指标	一级指标 权重	二级指标	二级指标 权重	合成权重	一级指标	一级指标 权重	二级指标	二级指标 权重	合成权重
设置要求	0.297 2	设置位置	0.750 0	0.223 0	防护要求	0.163 8	排水设施	0.157 5	0.025 8
		交叉角度	0.250 0	0.074 3			路面条件	0.271 8	0.044 5
		横坡和纵坡	0.288 0	0.155 2			照明系统	0.088 3	0.014 5
技术要求	0.539 0	视距	0.531 8	0.286 6			交通管理措施	0.482 4	0.079 0
		交叉口岔数	0.067 8	0.036 5					
		交叉口间距	0.112 4	0.060 6					

表 9 安全评价指标的关联函数值

评价指标	与评价等级的关联函数值				
	1 级(好)	2 级(较好)	3 级(一般)	4 级(较差)	5 级(差)
C_1	2.000 0	-0.400 0	-0.700 0	-0.800 0	-0.850 0
C_2	-0.222 2	0.400 0	-0.300 0	-0.533 3	-0.650 0
C_3	0.125 0	-0.100 0	-0.550 0	-0.700 0	-0.775 0
C_4	0.750 0	-0.300 0	-0.650 0	-0.766 7	-0.825 0
C_5	-0.430 6	-0.338 7	-0.211 5	-0.023 8	0.025 0
C_6	-0.343 8	-0.045 5	0.050 0	-0.300 0	-0.475 0
C_7	-0.410 7	-0.282 6	-0.083 3	0.100 0	-0.175 0
C_8	-0.083 3	0.100 0	-0.450 0	-0.633 3	-0.725 0
C_9	-0.435 9	-0.352 9	-0.241 4	-0.083 3	0.100 0
C_{10}	0.333 3	-0.200 0	-0.600 0	-0.733 3	-0.800 0

4.2.4 综合评价

(1) 计算评价等级的关联度。根据式(21)计算该平面交叉口涉路工程安全评价等级的综合关联度,结果见表 10。

表 10 安全评价等级的综合关联度

评价等级 j	$K_j(P_0)$	评价等级 j	$K_j(P_0)$
1	0.633 0	4	-0.650 2
2	-0.199 9	5	-0.721 0
3	-0.527 8		

(2) 计算指标关联度。根据式(22)计算该平面交叉口涉路工程安全评价指标的关联度,结果见表 11。

表 11 评价指标的关联度

评价等级 j	$\overline{K_j(P_0)}$	评价等级 j	$\overline{K_j(P_0)}$
1	1.000 0	4	0.052 3
2	0.384 9	5	0.000 0
3	0.142 7		

(3) 计算评价级别特征值。根据式(23)计算该平面交叉口涉路工程安全评价等级特征值:

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \times \overline{K_j(P_0)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(P_0)}} = \frac{1 \times 1 + 2 \times 0.384\ 9 + 3 \times 0.142\ 7 + 4 \times 0.052\ 3 + 5 \times 0}{1 + 0.384\ 9 + 0.142\ 7 + 0.052\ 3 + 0} = 1.52$$

4.2.5 评价结果分析

根据表 10, $K_j = \max K_j(P_0) = 0.633\ 0$, 该平面交叉口涉路工程的安全评价等级为 1 级,安全水平为“好”。评价等级特征值 $j^* = 1.52$, 该交叉口涉路工程安全评价等级介于 1 级和 2 级之间,且更靠近 2 级。根据评价指标权重和关联函数计算结果,该山区公路平面交叉口涉路工程的安全水平较高,但存在一定安全隐患。主要体现在:

(1) 设置要求。该平面交叉口处于直线路段,线形良好,且交叉角度为 90° ,设置条件较好,在后续设计和施工中无须进行调整。

(2) 技术要求。该项目横坡为 2%,纵坡为

1.07%,满足相关标准和规范要求。该交叉口交叉范围内视距良好,但由于该交叉口路段开口较多,且距离普洱南收费站较近,交叉口岔数和交叉口间距评价等级较差,须采取交通管理技术措施加以改善。

(3) 防护要求。该项目接入道路交叉口路段路面条件较好,且采取了有效的交通管理技术措施。但因交叉口路段未设置有效的排水设施和照明系统,排水设施和照明系统评价等级较差,有待进一步优化和完善。

5 结语

本文结合层次分析法,采用物元分析理论研究山区公路平面交叉涉路工程安全评价技术,从公路平面交叉口设置要求、技术要求和防护要求方面选取设置位置、交叉角度、横坡和纵坡、视距、交叉口岔数、交叉口间距、排水设施、路面条件、照明系统和交通管理措施作为评价指标,建立基于物元分析理论的山区公路平面交叉涉路工程安全评价模型,并将该模型应用于云南省典型山区公路平面交叉涉路工程安全评价。分析结果表明,采用物元分析理论对山区公路平面交叉涉路工程进行安全评价合理、可行,不仅能定性体现公路平面交叉涉路工程的风险等级,还能解决公路平面交叉涉路工程安全评价结果不能量化的问题,有利于提高山区公路平面交叉涉路工程安全评价效率,并可为平面交叉涉路工程规划、设计、建设和养护管理等提供理论支撑和技术指导。

参考文献:

[1] 王晓安,陈瑶,李昊明,等.平交和接入式涉路工程风险

源识别与分析[J].价值工程,2020,39(13):244—245.

[2] 王骥,杨俊毅,姚红云,等.山区公路平交口安全视距研究[J].公路,2017,62(3):203—207.

[3] 王骥.公路平交式涉路工程安全评价研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.

[4] Committee of Access Management. Access management manual[M]. Transportation Research Board of the National Academies,2003:3—5.

[5] American Association of State Highway and Transportation Official. A polygons geometric design of highway and streets[S]. American Association of State Highway and Transportation Official,2003.

[6] 美国交通运输研究委员会入口管理分会.道路出入口管理手册[M].杨孝宽,译.北京:中国建筑工业出版社,2009:65—67.

[7] 安徽省公路管理局(安徽省公路路政总队),交通部公路科学研究院.涉路工程安全评价规范:DB34/T 790—2008[S].北京:人民交通出版社,2008.

[8] 李伟,沈国华,彭道月.涉路工程安全评价技术指南与案例分析[M].北京:人民交通出版社,2009:7.

[9] 陈国佳.重要涉路行为安全评价技术研究[D].南京:东南大学,2016.

[10] 袁毓敏.涉路工程安全评价技术探讨[J].公路交通科技(应用技术版),2008(5):28—31.

[11] 蔡文.可拓集合和不相容问题[J].科学探索学报,1983(1):83—97.

[12] 蔡文.物元模型及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1994.

收稿日期:2022—05—12

(上接第32页)

[5] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路路线设计规范:JTG D20—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.

[6] 交通运输部公路科学研究院.城镇化地区公路工程技术标准:JTG 2112—2021[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.

[7] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施设计细则:JTG/T D81—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.

[8] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司.城市道路路线设计规范:CJJ 193—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[9] 屈成威.以电动自行车为主的市政道路非机动车道纵坡研究[J].工程建设与设计,2019(2):102—103.

[10] 杨雪琦.西部山地城市非机动车道设计探讨[J].西部交通科技,2021(1):182—184.

[11] 张玉.单侧双向非机动车道适应性及优化设计研究[C]//中国城市规划学会.共享与品质:2018中国城市规划年会论文集(06城市交通规划).北京:中国建筑工业出版社,2018:552—558.

[12] 陈永恒,王殿海,陶志兴.无物理隔离路段机动车与非机动车速度特性研究[J].交通运输系统工程与信息,2009,9(5):53—57.

收稿日期:2022—05—06