

文章编号:1671-8879(2012)03-0079-07

公路隧道群运营安全性综合评价方法

易富君¹, 韩 直¹, 邓 卫²

(1. 招商局集团 重庆交通科研设计院有限公司, 重庆 400068; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘 要:在分析公路隧道群运营安全性综合评价特点和评价方法需求的基础上,提出基于集成云模型和物元分析理论的公路隧道群运营安全性综合评价方法,既能通过物元模型建立起评价对象与评价指标的对应关系,实现评价系统的信息反馈,又能通过云模型建立起概念数值表示与自然语言值描述之间的不确定性转换关系,从而实现语言值评价指标的不确定评估。最后,以西安—汉中高速公路隧道群区段为例进行工程实践应用分析。结果表明:该评价方法原理简单,可以对评价指标体系进行可拓变换,易于计算机编程研发公路隧道群运营安全性综合评价系统软件的工程推广应用。

关键词:隧道工程;公路隧道群;安全评价;云模型;物元分析理论

中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Comprehensive safety evaluation method of expressway tunnel group

YI Fu-jun¹, HAN Zhi¹, DENG Wei²

(1. Chongqing Communications Research & Design Institute Co Ltd, China Merchants Group, Chongqing 400067, China; 2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu, China)

Abstract: Through analyzing the expressway tunnel group operation safety features and evaluation theory demand, a comprehensive safety evaluation method with cloud model and matter-element analysis theory was proposed. This method can use matter-element model to establish the corresponding relations between evaluation objects and evaluation indexes for realizing the information feedback of evaluation system, and also can use cloud model to set up the uncertainty conversions between numerical value concept and natural language for realizing the uncertainty evaluation of language evaluation indexes. Finally, the method was verified by a project example of Xi'an—Hanzhong expressway tunnel group. The result show that this method can take the extension transformation into the evaluation index system, and give easy way to develop comprehensive safety evaluation system software by computer programming for engineering application. 3 tabs, 1 fig, 8 refs.

Key words: tunnel engineering; expressway tunnel group; safety evaluation; cloud model; matter-element analysis theory

收稿日期:2011-07-20

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2008 318 740 014);重庆市自然科学基金项目(2010BB0148);
国家科技支撑计划项目(2009BAG13A02)

作者简介:易富君(1983-),男,四川宜宾人,工学博士,E-mail:dengwei@seu.edu.cn。

0 引言

为了科学评估公路隧道群的运营管理水平,分析其交通运营中存在的安全问题和隐患,以便在运营过程中针对性的制定相关改善措施或安全强化设计方案,提高公路隧道群运营安全性,亟需研究合理的、适宜的评价方法,对其运营管理水平现状进行综合评估^[1]。本文以陕西省西汉(西安—汉中)高速公路隧道群为成果应用示范工程,从动态属性评价指标和静态属性评价指标 2 个方面,建立了西汉高速公路隧道群运营安全性评价体系。动态属性评价指标,主要评估带有随机性和突发性的可变交通环境;静态属性评价指标,主要评估公路隧道群道路设施、交通工程设施和交通环境等条件。

本文在综合分析公路隧道群运营安全评价体系的构成和特点的基础上,对综合评价方法进行比选,构建了集成云模型和物元分析理论的综合评价模型。该模型采用可拓评价方法,建立评价对象物元和评价指标物元,一方面通过对评价对象物元关系的分析,体现评价的层次性;另一方面通过对评价对象物元与指标物元的关系分析,建立起评价对象与评价指标的对应关系,从而实现评价系统的信息反馈。同时,在公路隧道群运营安全性评价过程中,为了解决自然语言描述评价指标的量化问题,采用云模型建立起概念数值表示与自然语言值描述之间的不确定性转换关系,从而实现语言值评价指标的不确定评估^[2]。

1 基础理论

1.1 物元理论基本原理

物元理论是中国著名学者蔡文教授于 1983 年创立的一门系统科学、思维科学和数学交叉的学科,通过研究事物变化的条件、途径、规律和方法,解决现实世界中的矛盾或不相容问题,不仅可以对多因素评价指标体系进行综合评估,还可以对评价指标体系进行动态的添加和删除,而不会引起评价过程很大的变化^[3]。

物元理论的主要思想是把事物用“事物、特征、量值”3 个要素来描述,并组成有序三元组的基本元,即物元,标记为 R ,事物标记为 M ,事物 M 的特征标记为 c ,相应的量值标记为 $v(x)$ (即表示事物 M 对其特征 c 相应量值 x 的隶属度),则有 $R = (M, c, v(x))$ 。若事物 M 用 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 及其对应的量值 $v(x_1), v(x_2), \dots, v(x_n)$ 来描述,则称为 n 维物元,简记为 $R = (M, C, V(x))$;若 m 个事物用其共

同的 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 及其相应的量值 $v_1(x_{1i}), v_2(x_{2i}), \dots, v_n(x_{mi})$, ($i = 1, 2, \dots, n$) 来描述,则称为 m 个事物的 n 维复合物元,记为

$$R_{nm} = \begin{bmatrix} M_1 & \cdots & M_m \\ C_1 & v_1(x_{11}) & \cdots & v_m(x_{m1}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & v_1(x_{1n}) & \cdots & v_m(x_{mn}) \end{bmatrix}$$

式中: R_{nm} 为 m 个事物的 n 维复合物元; M_j ($j = 1, 2, \dots, m$) 为第 j 个事物; $v_j(x_{ji})$ 为第 j 个事物的第 i 个特征 C_i 相应量值 x_{ji} ($j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n, i, j$ 为物元维数) 的隶属度。

1.2 云模型基本原理

云模型是用自然语言值表示的某个定性概念指标与其定量数值表示之间的不确定性转换模型。定义如下:设 U 是一个用精确数值表示的论域, U 对应定性概念 \bar{A} ,对于论域中的任意一个元素 x ,都存在一个有稳定倾向的随机数 $y = \mu_{\bar{A}}(x)$,称作 x 对 \bar{A} 概念的确定程度,而 y 在论域上的分布即称云模型,简称云^[4-5]。20 世纪 90 年代至今,云模型已发展出诸如正态云、三角形云、梯形云等多种分布形态^[6]。由于正态分布是概率理论中最重要的分布之一,钟形隶属函数是模糊集合中使用最多的隶属函数,因此,本文采用在这二者基础上发展起来的正态云模型,对物元分析理论进行改进。

在论域空间中,正态云模型中某一点的隶属度分布,符合统计学意义上的正态分布规律,以云的稳定倾向云期望曲线上的点为期望值。由期望和熵确定具有正态分布形式的云期望曲线方程为

$$C_T(x_i) = \exp\left(\frac{-(x - E_x)^2}{2(E_{n_i})^2}\right)$$

式中: $G_T(x_i)$ 为关于元素 x 的数学期望曲线函数;正态云通常表示为 (E_x, E_n, H_e) , E_x 为定性概念的期望值或中心值,即“云”的分布中心; E_{n_i} 为定性概念所属元素满足的正态分布的方差 σ 值参数的中心值,可用来衡量定性概念模糊程度,并且由于正态分布的“ 3σ ”性,可用来表示定性概念可被接受的数值范围; H_e 是“熵”值所服从的正态分布的 σ 值,反映了“熵”的不确定性。

通过这 3 个值的定义,即可以用“云”来表示定性概念的自然语言值。

2 集成云模型和物元分析理论的综合评价方法

2.1 确定待评物元

在物元理论中引入正态云后,若 m 个事物用其

共同的 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 及其相应的量值 $v_1(E_{x_{11}}, E_{n_{11}}, H_{e_{11}}), v_2(E_{x_{21}}, E_{n_{21}}, H_{e_{21}}), \dots, v_n(E_{x_{n1}},$

$$R_{mm} = \begin{bmatrix} & M_1 & \dots & M_m \\ C_1 & v_1(E_{x_{11}}, E_{n_{11}}, H_{e_{11}}) & \dots & v_m(E_{x_{m1}}, E_{n_{m1}}, H_{e_{m1}}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & v_1(E_{x_{1n}}, E_{n_{1n}}, H_{e_{1n}}) & \dots & v_m(E_{x_{mn}}, E_{n_{mn}}, H_{e_{mn}}) \end{bmatrix}$$

式中: $v_j(E_{x_{ji}}, E_{n_{ji}}, H_{e_{ji}})$ 为第 j 个事物的第 i 个特征 C_i 相应标准云量值 $(E_{x_{ji}}, E_{n_{ji}}, H_{e_{ji}})$ ($j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$) 的隶属度; $(E_{x_{ji}}, E_{n_{ji}}, H_{e_{ji}})$ 的 2 个下标分别表示事物的序号和事物特征的序号, 即正态云物元维数。

对于待评事物, 如果其指标 c 可以得到确定的量值, 则可以使用一般物元方法具体数值表示。

2.2 确定评价指标云模型描述方法

2.2.1 定量指标的云模型描述

定量指标的标准范围具有上下界, 形如 $x_{ji} (a_{ji}, b_{ji})$, 采用正向云模型对定量指标进行云化, 采用约束条件的中值作为期望值, 并取主要作用区域为双边约束区域的云来近似描述这个定量变量^[7]。云的参数通过下式确定为

$$E_{x_i} = (a_{ji} + b_{ji})/2; E_{n_i} = (E_{x_i} - E_{x_{(i-1)}})/3;$$

$$H_{e_i} = \sigma$$

式中: a_{ji}, b_{ji} 为评价标准范围的上下边界值; σ 为常数, 可以根据指标变量本身的模糊阈值具体调整。

对于只有单边界限的定量指标变量, 形如 $x_{ji} \in (-\infty, b_{ji})$ 或 $x_{ji} \in (a_{ji}, +\infty)$, 可先根据测试数据的最大上限或下限, 确定其缺省的边界参数或期望值, 然后再参照上式计算云参数。

在评价指标体系中, 评价指标分为 5 个级别标准, 量化范围分别记作 $x_{1i} \in (a_{1i}, b_{1i}), x_{2i} \in (a_{2i}, b_{2i}), x_{3i} \in (a_{3i}, b_{3i}), x_{4i} \in (a_{4i}, b_{4i}), x_{5i} \in (a_{5i}, b_{5i})$, 各个级别评价标准分别对应于模糊评价语言“安全、较安全、一般安全、次安全、非安全”5 个状态。评价标准对应的 5 个定性模糊评价语言中的云滴和其确定度之间的联合分布如图 1 所示。

为了有效处理评价指标之间的模糊性和随机性, 本文根据公路隧道群评价等级标准的具体情况, 对隶属度函数进行了如下改进。

(1) 当标准化后的评价指标值 x_{ji} 在 M_1 级标准中点 $E_{x1} = (a_{1i} + b_{1i})/2$ 的左边时, 由于 M_1 级标准的左端点边界是确定的, 故本文确定该评价指标属于 M_1 级标准的隶属度 $C_1(x_{ji})$ 为 1, 而该评价指标

$E_{n_{n1}}, H_{e_{n1}})$ 来描述, 称为 m 个事物的 n 维复合正态云物元, 记为

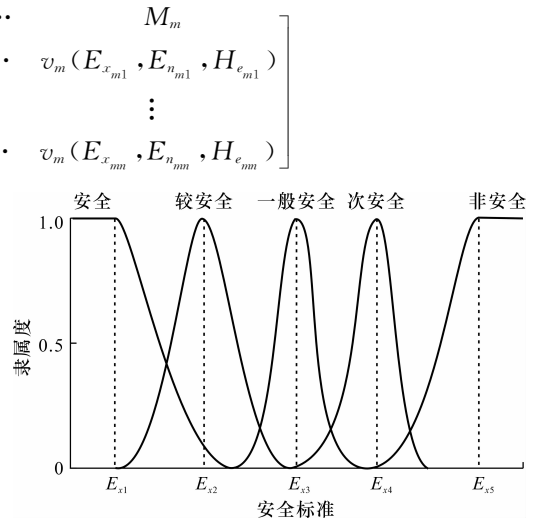


图1 评价指标分级标准定性概念云图

属于其他级别的隶属度为 0。

(2) 当标准化后的评价指标值 x_{ji} 在 M_m 级标准中点 $E_{xm} = (a_{mi} + b_{mi})/2$ 的左边时, 由于 M_m 级标准的右端点的边界是确定的, 故本文确定该评价指标属于 M_m 级标准的隶属度 $C_m(x_{ji})$ 为 1, 而该评价指标属于其他级别的隶属度为 0。

(3) 当评价指标值 x_{ji} 在其他范围时, 采用正态云模型隶属度函数, 以确定该评价指标分别属于 $M_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 级的隶属度。

根据以上改进, 对于评价指标对应的评价标准的 5 个定性概念隶属度的云模型表示方法如下:

$$\text{左半云: } C_1(x_{ji}) = \begin{cases} 1, x_{ji} \in (-\infty, E_{x1}] \\ C(E_{x1}, (E_{x2} - E_{x1})/3, \sigma), \text{其他} \end{cases}$$

$$\text{中间云: } C_2(x_{ji}) = \{C(E_{x2}, (E_{x2} - E_{x1})/3, \sigma)\}$$

$$\text{中间云: } C_3(x_{ji}) = \{C(E_{x3}, (E_{x3} - E_{x2})/3, \sigma)\}$$

$$\text{中间云: } C_4(x_{ji}) = \{C(E_{x4}, (E_{x4} - E_{x3})/3, \sigma)\}$$

$$\text{右半云: } C_5(x_{ji}) = \begin{cases} C(E_{x5}, (E_{x5} - E_{x4})/3, \sigma), \text{其他} \\ 1, x_{ji} \in [E_{x5}, +\infty) \end{cases}$$

式中: $C_1(x_{ji}), C_2(x_{ji}), C_3(x_{ji}), C_4(x_{ji}), C_5(x_{ji})$ 分别对应于 M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 级标准的隶属度。

2.2.2 定性指标的云模型描述

对于某一定性评价指标, N 位专家提出的 n 种云模型表示的定性变量, 其云模型描述方式可以采用一个综合云来表示, 数字特征模型如下式所示。

$$E_{x_1} = (E_{x_{11}} E_{n_{11}} + E_{x_{12}} E_{n_{12}} + \dots + E_{x_{1n}} E_{n_{1n}}) / (E_{n_{11}} + E_{n_{12}} + \dots + E_{n_{1n}})$$

$$E_{n_1} = E_{n_{11}} + E_{n_{12}} + \dots + E_{n_{1n}}$$

$$H_e = (H_{e_{11}} E_{n_{11}} + H_{e_{12}} E_{n_{12}} + \cdots + H_{e_{1n}} E_{n_{1n}}) / (E_{n_{11}} + E_{n_{12}} + \cdots + E_{n_{1n}})$$

2.3 确定关联度

2.3.1 计算确定性数值指标与云模型描述指标之间的关联度

确定性数值表示的物元与云模型表示的物元之间的关联度,可通过计算云模型的确定度转换为物元模型中的关联度,具体转换过程如下式所示。

$$k_{ji} = \mu(x_{ji}), \quad j = 1, 2, \cdots, m; i = 1, 2, \cdots, n$$

式中: k_{ji} 为第 i 个特征的第 j 个比较事物 M_j 与标准事物 M_0 之间的关联系数; $\mu(x_{ji})$ 为第 j 个比较事物 M_j 的第 i 个特征 C_i 相应量值 x_{ji} 的确定度。

云模型确定度的具体计算步骤如下:

(1) 生成一个期望值为 E_n 、标准差为 H_e 的正态随机数 E_{ni}' 。

(2) 令该指标数值为 x_{ji} , 称为云滴。

(3) 计算 x_{ji} 确定度 $u(x_{ji}) = \exp(-((x_{ji} - E_x)^2) / (2(E_{ni}')^2))$, $u(x_{ji})$ 即为确定性数值指标 x_{ji} 与云模型描述指标之间的关联度。

2.3.2 计算云模型表示的事物指标之间的关联度

由于正态云模型 99.74% 的云滴都将落在区间 $((E_x - 3E_{ni}'), (E_x + 3E_{ni}'))$ 上, 因此, 考虑 2 个云模型(设为云 a 、云 b) 表示的事物指标之间的关联度 k_{ji} 用以下方法计算。

将区间 $((E_x - 3E_{ni}'), (E_x + 3E_{ni}'))$ 表征一个集合, 则云 a 与 b 之间的共有部分如下式表示^[8]。

$$X_{ji} = \{(E_x' - 3E_n', E_x' + 3E_n')\} \cup \{(E_x' - 3E_n', E_x' + 3E_n')\}$$

又令 $Y_{ji} = \{(E_x' - E_n', E_x' + E_n')\} \cup \{(E_x' - 3E_n', E_x' + 3E_n')\}$, 则云 a 与 b 之间的关联度为 $k_{ji} = |X_{ji}| / |Y_{ji}|$ 。

根据上式则有: ① 若云 a 与云 b 完全相同, 则有该方法计算出的关联度 $k_{ji} = 1$, 符合实际情况; ② 若云 a 与云 b 完全不相同, 则共有部分 $X_{ji} = 0$, 所以关联度 $k_{ji} = 0$, 符合实际情况; ③ 如果云 a 与云 b 的期望 E_x 和熵 E_n 相同, 且超熵 H_e 存在区间范围, 则可以直观认为, 云 a 与云 b 差别不大, 关联度较高。

2.3.3 计算区间数值表示的事物指标与云表示的事物指标之间的关联度

对于计算区间数值表示的事物指标与云表示的事物指标之间关联度, 本文先将区间数值转换成云模型表示, 再运用云与云关联度的计算方法进行计

算。其中, 区间数值转换成云可采用指标近似法, 即将区间数值看成是一个双约束的指标 $[a_{ji}, b_{ji}]$, 则可用下列公式计算云参数。

$$E_x = (a_{ji} + b_{ji}) / 2, E_n = (a_{ji} - b_{ji}) / 6, H_e = \sigma$$

式中: σ 可以根据具体指标的不确定性和随机性具体调整。

2.4 确定评判原则

确定关联度复合云物元之后, 本文采用加权平均原则, 对公路隧道群运营安全性进行安全等级评价。记 W_j 为权重, 对各事物 N_j 进行加权平均所得数值作为评判结果, 即

$$P_i = \sum_{j=1}^m W_j M_j / \sum_{j=1}^m k_{ji}, \quad i = 1, 2, \cdots, n$$

式中: P_i 为第 i 类评价对象的综合评价值; M_j 为第 j 个事物的数值; W_j 为第 j 个事物的权重值。

2.5 确定指标权重

评价指标权重是某种数量形式对比、权衡被评价事物总体中诸因素相对重要程度的量值。为了使权重的赋予成为一种完全意义上的客观赋权法, 本文将采用标准化变换法改进的熵值法确定各评价指标权重, 此法不需要加入任何主观信息, 评价结果唯一, 有利于缩小极端值对综合评价的影响。

具体计算步骤如下。

(1) 将坐标平移, 消除负值。将评价指标 x_i 在第 j 种状态下的指标值 x_{ji} 经过平移后变成 x_{ji}' , 其中, $x_{ji}' = l + x_{ji}$, l 为坐标平移幅度。

(2) 计算评价指标 x_i 的比重, $P(x_i) = x_{ji}' / \sum_{j=1}^m x_{ji}'$ 。

(3) 计算评价指标 x_i 的熵值, $H(x_i) = -k \sum_{j=1}^m P(x_i) \ln(P(x_i))$ 。若给定在 j 种状态下的指

标值 x_{ji} 的评分全部相等, 则 $P(x_i) = x_{ji}' / \sum_{j=1}^m x_{ji}' = 1/m$, 此时 $H(x_i)$ 取极大值, 即 $H(x_i) = -k \sum_{j=1}^m (1/m) \ln(1/m) = 1$ 。

(4) 计算评价指标 x_i 的差异性因素的 g_i 。对于给定的指标 x_i 下, x_{ji} 的差异性越小, $H(x_i)$ 越大; x_{ji} 的差异性越大, $H(x_i)$ 越小。定义差异性因数向量 $G = (g_1, g_2, \cdots, g_n)$, 其中, $g_i = 1 - H(x_i)$, 则当 g_i 越大时, 评价指标越重要。

(5) 计算指标权重。对于定量评价指标 x_i 的权

重 $w_H(x_i) = g_i / \sum_{i=1}^n g_i$; 对于定性评价指标 x_i , 首先用差异性因素对初始权重 (即专家评定权重) 进行调整, $a_i = b_i g_i, i = 1, 2, \cdots, n$, 其中, b_i 为专家给出的评价指标的原始权重, 经过归一化处理后, 得到熵值法调整后的权重值: $w_H(x_i) = a_i / \sum_{i=1}^n a_i$ 。

表 1 西汉高速公路隧道群运营安全评价指标量化信息汇总

元素属性			评价分类		评价指标		
	属性	权重	类别	权重	指标	权重	指标值
隧道群运营安全性评价体系	动态元素 X^d	0.415	交通条件 X_1^d	0.746	平均日交通量 $X_{11}^d / (\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1})$	0.301	12 014
					饱和度 X_{12}^d	0.125	0.64
					平均行驶车速 $X_{13}^d / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	0.326	70.22
					大车率 $X_{14}^d / \%$	0.248	42
			气候条件 X_2^d	0.254	能见度 X_{21}^d / m	0.440	1 200
					积雪厚度 X_{22}^d / cm	0.560	0.7
	静态元素 X^s	0.585	道路设施 X_1^s	0.686	隧道路面抗滑性 X_{11}^s	0.245	35
					隧道道路最小平曲线半径 X_{12}^s / m	0.286	175
					隧道最大坡度 $X_{13}^s / \%$	0.228	4.8
					长下坡长度 X_{14}^s / km	0.241	6.98
			安全设施 X_2^s	0.314	隧道通风设施 X_{21}^s	0.333	较安全
					隧道火灾防护设施 X_{22}^s	0.333	安全
					隧道照明设施 X_{23}^s	0.334	较安全

注:表中指标值为 2010 年原始数据。

3.1 确定公路隧道群运营安全性的评分区段标准

评分区间标准见表 2。

表 2 公路隧道群运营安全性评价得分区间标准

安全	较安全	一般安全	次安全	非安全
[100,90)	[90,80)	[80,70)	[70,60)	[60,0]

3.2 确定隧道群运营安全性评价复合物元

根据表 1 指标信息,构建动态属性指标和静态属性指标的正态云物元如下。

(1) 动态属性指标

$$R_1^d = \begin{bmatrix} X_{11}^d & 12\ 014 \\ X_{12}^d & 0.64 \\ X_{13}^d & 70.22 \\ X_{14}^d & 0.42 \end{bmatrix}$$

$$R_2^d = \begin{bmatrix} X_{21}^d & 700 \\ X_{22}^d & 0.6 \end{bmatrix}$$

(2) 静态属性指标

$$R_1^s = \begin{bmatrix} X_{11}^s & 35 \\ X_{12}^s & 175 \\ X_{13}^s & 0.05 \\ X_{14}^s & 6.98 \end{bmatrix}$$

$$R_2^s = \begin{bmatrix} X_{21}^s & (92.5, 1.667, 0.002) \\ X_{22}^s & (97.5, 1.667, 0.004) \\ X_{23}^s & (92.5, 1.667, 0.002) \end{bmatrix}$$

3 工程实例分析

选取的工程实例分析对象为西汉高速公路涝峪口至秦岭三号隧道进口(下行线)(K33+050~ K76+650),线路总长 43.6 km,共有隧道 25 个。构建的评价指标体系包含动态属性指标和静态属性指标 2 大类,详情见表 1。

式中的评价指标,其后对应的是指标量值或评价语言的云描述。

3.3 确定隧道群运营安全性评价复合云物元

本文采用云模型计算指标隶属的方法,确定各评价指标隶属度函数。以指标通风设施 X_{21}^s 为例,表 1 中关于通风设施 5 个专家初始评估值为“较安全”,经过定性指标定量化方法计算后,确定输入值为 93.4,则 $C_1(X_{21}^s) = 0.068, C_2(X_{21}^s) = 0.902, C_3(X_{21}^s) = 0.030, C_4(X_{21}^s) = 0, C_5(X_{21}^s) = 0$ 。

同理,确定其他各指标对应评价等级的隶属度,进而建立起相应的复合云物元,分别为

$$R_1^d = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ X_{11}^d & 0.902 & 0.088 & 0.010 & 0.000 & 0.000 \\ X_{12}^d & 0.866 & 0.119 & 0.015 & 0.000 & 0.000 \\ X_{13}^d & 0.000 & 0.004 & 0.442 & 0.538 & 0.016 \\ X_{14}^d & 0.000 & 0.000 & 0.012 & 0.090 & 0.898 \end{bmatrix}$$

$$R_2^d = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ X_{21}^d & 0.882 & 0.108 & 0.010 & 0.000 & 0.000 \\ X_{22}^d & 0.000 & 0.000 & 0.068 & 0.902 & 0.030 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_1^s = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ X_{11}^s & 0.000 & 0.000 & 0.012 & 0.900 & 0.088 \\ X_{12}^s & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \\ X_{13}^s & 0.000 & 0.000 & 0.040 & 0.858 & 0.102 \\ X_{14}^s & 0.000 & 0.000 & 0.022 & 0.060 & 0.918 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_2^s = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ X_{21}^s & 0.045 & 0.905 & 0.050 & 0.000 & 0.000 \\ X_{22}^s & 0.886 & 0.101 & 0.013 & 0.000 & 0.000 \\ X_{23}^s & 0.050 & 0.905 & 0.045 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

3.4 确定隧道群运营安全性评价权重云物元

应用本文构建的熵值法确定指标权重,以评价分类交通条件各指标权重计算进行说明。交通条件各评价指标 2007 ~ 2010 年原始数据见表 3。

表 3 交通条件评价指标原始数据(2007 ~ 2010 年)

年份	2007	2008	2009	2010
平均日交通量/(pcu·h ⁻¹)	8 514	9 814	11 055	12 014
饱和度	0.42	0.52	0.58	0.64
平均行驶车速/(km·h ⁻¹)	84.20	80.25	75.34	70.22
大车率/%	28	44	40	42

由表 3 给出的原始数据对评价指标进行赋值,再利用建立的基于云模型的数据量化方法,对各评价指标进行标准化处理,经过坐标平移消除负值影响后,计算得到归一化矩阵 \mathbf{R}_{10}^d 。

$$\mathbf{R}_{10}^d = [0.709]$$

基础数据经过标准化处理后,并征求专家意见,得到判断矩阵和主客观比例,应用改进熵值法对其进行调整,由改进熵值法计算过程中的步骤(5)计算出指标权重见表 1。

由此可得隧道群运营安全性评价权重云物元。

(1) 评价指标权重物元

$$\mathbf{R}_{w_H}^d(x_{ji}) = \begin{bmatrix} X_{11}^d & X_{12}^d & X_{13}^d & X_{14}^d & X_{21}^d & X_{22}^d \\ 0.301 & 0.125 & 0.326 & 0.248 & 0.440 & 0.560 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_{w_H}^s(x_{ji}) = \begin{bmatrix} X_{11}^s & X_{12}^s & X_{13}^s & X_{14}^s & X_{21}^s & X_{22}^s & X_{23}^s \\ 0.245 & 0.286 & 0.228 & 0.241 & 0.333 & 0.333 & 0.334 \end{bmatrix}$$

(2) 评价分类权重物元

$$R_{w_H}(x_j^d) = \begin{bmatrix} X_1^d & X_2^d \\ 0.746 & 0.254 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_{w_H}(x_j^s) = \begin{bmatrix} X_1^s & X_2^s \\ 0.686 & 0.314 \end{bmatrix}$$

(3) 评价元素属性权重物元

$$\mathbf{R}_{w_H}(x^{d/s}) = \begin{bmatrix} X^d & X^s \\ 0.415 & 0.585 \end{bmatrix}$$

3.5 专项评价(评价分类)结果分析

依据本文计算得到的隧道群运营安全性评价复合云物元和权重云物元,即可对各评价分类进行专项评价,评价过程以交通条件安全性评价进行说明。

交通条件综合评价复合云物元 $\mathbf{R}_j = \mathbf{R}_{w_H}^d * \mathbf{R}_1^d$, 其中,“*”表示运算符号,运算过程如下。

$$\mathbf{R}_j = \begin{bmatrix} X_{11}^d & X_{12}^d & X_{13}^d & X_{14}^d \\ 0.301 & 0.125 & 0.326 & 0.248 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ X_{11}^d & 0.902 & 0.088 & 0.010 & 0.000 & 0.000 \\ X_{12}^d & 0.866 & 0.119 & 0.015 & 0.000 & 0.000 \\ X_{13}^d & 0.000 & 0.004 & 0.442 & 0.538 & 0.016 \\ X_{14}^d & 0.000 & 0.000 & 0.012 & 0.090 & 0.898 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ 0.380 & 0.052 & 0.151 & 0.194 & 0.223 \end{bmatrix}$$

同时,为了直观量化评价结果,将 \mathbf{R}_j 乘以评分标准集合[95,85,75,65,30],可得综合评价得分为 71.15。由此可知,西汉高速公路交通条件安全性处于一般安全范畴,主要是由于车辆行驶速度过高、大车率较大造成的,运营过程中亟需加强限制车速的管理措施,以及做好大型车辆的安全防患工作。

同理计算可得:气候条件综合评分为 77.43,为一般安全范畴;道路设施安全性综合评分为 45.86,为非安全范畴;安全设施综合评分为 87.91,为较安全范畴。

3.6 综合评价结果分析

根据以上专项评价结果得到的复合云物元,可得到动态元素及静态元素综合评价复合云物元 \mathbf{R}^d 和 \mathbf{R}^s 。

$$\mathbf{R}^d = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ 0.382 & 0.051 & 0.123 & 0.273 & 0.171 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}^s = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ 0.103 & 0.200 & 0.024 & 0.295 & 0.378 \end{bmatrix}$$

由上式可得,西汉高速公路隧道群运营安全性综合评价复合云物元 $R(x_{ji})$ 为

$$\mathbf{R}(x_{ji}) = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ 0.219 & 0.138 & 0.065 & 0.286 & 0.292 \end{bmatrix}$$

将其乘以评分标准集合,可得西汉高速公路隧道群运营安全性综合评价得分为64.76,为次安全范畴,隧道群整体运营安全形势较为严峻。

4 结 语

(1)在全面分析公路隧道群运营安全性评价指标体系构成、特点及其对评价方法的要求的基础上,建立了集成云模型和物元分析理论的综合评价方法,既能实现综合评价系统的信息反馈,又能解决自然语言描述评价指标的量化问题,达到概念数值表示与自然语言值描述之间的不确定性转换的目的,是云模型和物元模型集成理论在公路隧道安全研究领域的全新尝试和工程实践。

(2)本文提出的方法原理简单,易于计算机编程研发公路隧道群运营安全性综合评价系统软件,在公路隧道安全评价领域具有广阔的应用空间。

参考文献:

References:

[1] 郝志虎. 高速公路特长隧道群安全综合评价研究[D]. 西安:长安大学,2008.

[2] 胡 涛,王树宗,杨建军. 基于云模型的物元综合评估方法[J]. 海军工程大学学报,2006,2(1):85-88.

HU Tao, WANG Shu-zong, YANG Jian-jun. Matter-element integration evaluation method based on cloud model[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2006, 2(1): 85-88.

[3] 刘志峰. 绿色产品综合评价及模糊物元分析方法研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2004.

[4] Li D Y, Han J W, Shi X M. Knowledge representation and discovery based on linguistic atoms[J]. Knowledge-based Systems, 1998, 15(10): 431-440.

[5] 杜湘瑜,尹全军,黄柯棣,等. 基于云模型的定性定量转换方法及其应用[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(4): 772-776.

DU Xiang-yu, YIN Quan-jun, HUANG Ke-di, et al. Transformation between qualitative variables and quantity based on cloud models and its application [J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(4): 772-776.

[6] 蒋建兵,梁家荣,江 伟,等. 梯形云模型在概念划分及提升中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(5): 1235-1240.

JIANG Jian-bing, LIANG Jia-rong, JIANG Wei, et al. Application of trapezium-cloud model in conception division and conception exaltation[J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(5): 1235-1240.

[7] 何 雷,李丽平. 基于云模型的电力变压器状态综合评判[J]. 华北电力大学学报, 2009, 36(3): 98-103.

HE Lei, LI Li-ping. Synthetic evaluation of power transformer condition based on cloud model[J]. Journal of North China Electric Power University, 2009, 36(3): 98-103.

[8] 邓晓燕,张申如. 隶属云模型的统计性质和有限精度实现[J]. 解放军理工大学学报, 2003, 4(6): 22-24.

DENG Xiao-yan, ZHANG Shen-ru. Statistical characters of membership cloud models and their implementation by limited accuracy[J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2003, 4(6): 22-24.

《建筑科学与工程学报》入编 《中文核心期刊要目总览》

2012年1月,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会公布了中文核心期刊名单,《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2011年版之建筑科学类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2011年版系第六版,为了使期刊评价更加科学合理,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会课题组在总结前五版研制经验的基础上,进一步改进评价方法,运用定量评价和定性评价相结合的方法,根据被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web下载量9个评价指标进行定量评价,经过筛选和专家定性评审,从14400多种期刊中评选出1982种中文核心期刊。《建筑科学与工程学报》系首次入选,标志着《建筑科学与工程学报》在稳步发展中迈上了一个新台阶。