

# 基于物元模型的高速公路交通安全评价体系

陈毕伍<sup>1</sup>, 石宝林<sup>2</sup>, 雷茂锦<sup>3</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 交通部科学研究院, 北京 100029;  
3. 江西省交通科学研究院, 江西 南昌 330038)

**摘要:**为了真实反映高速公路安全的实际情况,基于科学性、可行性、实际性、可比性和定性与定量相结合原则,筛选高速公路交通安全的相关因素,建立高速公路交通安全评价体系。运用物元理论,建立了高速公路交通安全评价的物元模型,该模型以定量数值表示道路交通安全状况属于某等级的程度大小;其中可拓集合关联函数的应用使得道路交通安全的多指标评定更为精细化。江西某高速公路的该模型应用实例表明:该物元模型可较好地给出交通安全等级评定结果,并且能够较完整地反映高速公路交通安全的综合水平。

**关键词:**交通工程;交通安全;高速公路;物元模型

**中图分类号:**U491

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-6248(2008)04-0020-05

高速公路交通安全评价是对高速公路的道路条件、交通安全措施、交通管理设施和服务水平等方面作出相对满意度的判断。其目的是便于及时掌握道路交通安全问题演化的内在规律,是从技术管理及行政管理层面上指导交通安全管理政策、措施制定的重要途径。高速公路交通安全评价的意义在于有效预防交通事故发生,减少人员伤亡和财产损失。目前对高速公路交通安全评价较多采用路面条件、交通隔离、防护设施、监控设施、拥挤度、事故率和隧道设施等评价指标<sup>[1-5]</sup>。长期以来,大多学者在进行这类高速公路交通安全评价时,通常采用定性方法实施评价,即以评价者主观感觉判断事物的优劣,从而评价高速公路交通安全系统的“好”与“坏”。其缺陷主要表现为:评价结果不能够真实地反映高速公路安全的实际情况,而且评价依据缺乏科学性、现实性和可比性。同时,由于高速公路交通安全评价

体系是由多指标构建而成,且不同评价指标的值域也不尽相同,因此在交通安全综合评价中,需要对各指标的值域换算成统一的标准值域,而学者大多采用过于简单的线性类比方法,无法反映指标之间的差异。

依据高速公路的特点,建立高速公路交通安全评价指标体系,利用物元理论,在定性分析和定量分析相结合的基础上,建立高速公路交通安全的物元评价模型,并运用这一评价模型对江西省某高速公路(K0+000~K79+700段)交通安全状况进行综合评价。

## 一、评价指标体系的建立

道路交通安全管理涉及人员、车辆、道路和法律法规等方面,是一个包括交通管理与交通控制、车辆

收稿日期:2008-09-09

基金项目:江西省交通厅科技资助项目(200403)

作者简介:陈毕伍(1961-),男,江西樟树人,工学博士研究生。

管理、交通事故处理、交通安全宣传和教育、交通执法、道路交通安全监督管理等工作内容的综合系统。此外,道路交通安全政策和机制、道路交通安全综合规划、保持良好的道路安全条件、道路交通事故紧急救援等方面均是解决道路交通安全问题必不可少的重要内容。因此,道路交通安全综合评价体系具有多层次结构,必须采取多目标原则的思路来构建。

依据道路交通现状,从交通工程学原理出发,把高速公路交通安全系统中的驾驶员特征、道路主体工程、交通运行状况、交通安全设施、交通监控系统、交通安全管理、道路养护管理、交通安全环境<sup>[6-9]</sup>等作为交通安全评价体系的主要因素。在这些众多因素中,有些因素之间可能存在较大的相关性,或者至少在目前情况下难以获取有些指标的数据。由于指标过多会给实际操作带来一定难度,同时有可能出现重复评价现象,致使综合评价模型的稳定性下降,从而影响评价精度。因此,在不影响交通安全评价体系基本结构的情况下,应适当减少指标,这其中应考虑以下原则。

(1)科学性原则。科学性原则是指评价方法能够真实地反映事物的本质,体现道路交通的安全性能。只有坚持科学性原则,评价才具有可靠性与客

观性,评价结果才具有可信性。

(2)可行性原则。可行性原则是指评价方法切实可行。这要求基础数据要切实可行,即应选择尽可能少并容易得到的数据进行评价;又包括评价过程切实可行,即评价过程应清晰明了,易于操作。只有坚持可行性原则,评价方法才容易为基层服务,被使用部门接受。

(3)实际性原则。实际性原则是指评价方法应紧密联系实际,应该体现中国目前的道路交通现状。只有坚持实际性原则,才能通过评价得出准确的安全结论,为治理整改措施的实施提供可靠依据。

(4)可比性原则。可比性原则是指评价方法可以对道路交通安全性做出公正合理的比较,进而做出评判。可比性是建立评价方法和评价体系的重要标准,进行评价的目的就是分出优劣,只有坚持可比性原则才能实现评价的目标。

(5)定性与定量相结合原则。量化评价指标有利于进行准确、科学、合理的评价,对于一些难以量化的内容,可以采用定性的评价指标。

根据这些筛选原则,确定出高速公路交通安全评价指标体系,共计 6 个类别,18 个指标,体系结构和分级标准见表 1 所示。

表 1 高速公路交通安全评价指标体系

评价体系	评价指标	编号	权重	单位	评价等级			
					一	二	三	四
驾驶人特性 $P_1$	三年以下驾龄驾驶人比例	$P_{11}$	0.06	%	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 100
	车辆超速率	$P_{12}$	0.10	%	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 100
道路主体工程 $P_2$	一般值以下圆曲线半径比例	$P_{21}$	0.02	%	0 ~ 2	2 ~ 4	4 ~ 6	6 ~ 8
	超过纵坡最大值比例	$P_{22}$	0.06	%	0 ~ 2	2 ~ 4	4 ~ 6	6 ~ 8
	中间带宽度	$P_{23}$	0.02	m	9 ~ 4.5	4.5 ~ 3.5	3.5 ~ 2.5	2.5 ~ 2
	右侧路肩宽度	$P_{24}$	0.02	m	4.25 ~ 3.75	3.75 ~ 3.25	3.25 ~ 2.75	2.75 ~ 2
	横向力系数	$P_{25}$	0.10	无	54 ~ 50	50 ~ 45	45 ~ 40	40 ~ 0
交通工程及 沿线设施 $P_3$	标志设施	$P_{31}$	0.05	无	100 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	25 ~ 0
	标线完好率	$P_{32}$	0.05	%	100	100 ~ 99	99 ~ 98	98 ~ 0
	交通安全设施	$P_{33}$	0.10	无	100 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	25 ~ 0
	监控系统	$P_{34}$	0.02	无	100 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	25 ~ 0
交通特性 $P_4$	服务水平	$P_{41}$	0.10	无	0.58 ~ 0.44	0.44 ~ 0.29	0.29 ~ 0.15	0.15 ~ 0
	大、中型车占交通量比例	$P_{42}$	0.10	%	0 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 75	75 ~ 100
	设计车速	$P_{43}$	0.02	km · h <sup>-1</sup>	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 110	110 ~ 120
交通环境特性 $P_5$	年不良气候天数	$P_{51}$	0.06	d	0 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50
	路线通过山岭重丘地区比例	$P_{52}$	0.02	%	0 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 75	75 ~ 100
交通安全管理特性 $P_6$	道路交通安全责任制	$P_{61}$	0.03	无	100 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	25 ~ 0
	交通事故紧急救援系统	$P_{62}$	0.07	无	100 ~ 75	75 ~ 50	50 ~ 25	25 ~ 0

## 二、物元模型的建立

物元分析是蔡文教授首先提出来的,物元分析是解决矛盾问题的规律和方法,属于系统科学、思维科学和数学交叉的边缘学科,是贯穿自然科学和社会科学而应用较广的横断学科<sup>[10]</sup>。

关于物元理论的运用,可以设  $N$  为给定事物的名称,它关于特征  $C$  的量值为  $V$ ,以有序三元  $R = \{N, V, C\}$  组作为描述事物的基本元,简称物元。一个事物有多个特征,如果事物  $N$  有  $n$  个特征  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  和相应量值  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$  和描述,则表述为

$$R = \begin{bmatrix} N & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix}$$

式中: $R$  为  $n$  维物元,简记为  $R = \{N, V, C\}$ 。

物元方法为解决根据事物关于特征的量值集合程度的识别问题提供了一种新途径。物元中可拓集合的思想与识别问题是一致的,描述可拓集合的关联函数则使识别方法更加精细化。因而,可以建立一套识别既是而非的以及可变性事物的方法。

给定高速公路交通安全评价各分项指标的等级标准,根据实际情况判断交通安全的综合状况,可以归结为一个识别问题,从而利用物元分析方法建立道路多指标性能参数的高速公路交通安全评价模型。可把交通安全分成一、二、三、四共 4 个等级,并总结出各等级的标准数据范围。将待评价的高速公路各项实际指标代入各等级的集合中进行多指标评定。评定结果按它与某个等级集合的关联度大小进行比较,关联度越大,它与某等级集合的符合程度就愈佳,从而得到高速公路交通安全综合状况的评价等级<sup>[11]</sup>。

### (一) 确定路况等级的物元集合

#### 1. 确定经典域

$$R_j = (N_j, C_i, X_{ji}) =$$

$$\begin{bmatrix} N_j & c_1 & X_{j1} \\ & c_2 & X_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & c_2 & (a_{j2}, b_{j2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{bmatrix}$$

式中: $N_j$  为所划分的  $j$  个评价指标等级,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $c_i$  为等级的特征,即分项指标,  $i = 1, 2, \dots, n$ ; 区间  $X_{ji} = (a_{ji}, b_{ji})$  为  $N_j$  关于  $c_i$  所规定的量值范围,即各

路况等级关于对应指标所取的数据范围。

#### 2. 确定节域

$$R_p = (N_p, C_i, X_{pi}) =$$

$$\begin{bmatrix} N_p & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix}$$

式中: $N_p$  为评价指标等级的全体;区间  $X_{pi} = (a_{pi}, b_{pi})$  为  $N_p$  关于  $c_i$  所取的量值范围,称为节域,显然有  $X_{ji} \subset X_{pi}$ 。

#### 3. 确定待评物元

对待评价的高速公路,把所有分析得到的各分项指标值用物元表示,称为待评物元。

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_0 & c_1 & x_{01} \\ & c_2 & x_{02} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{0n} \end{bmatrix}$$

式中: $N_0$  为待评价的高速公路; $x_{0i}$  为  $N_0$  关于  $c_i$  所取的量值,即待评价道路的实际指标值。

### (二) 确定待评价道路关于各路况等级的关联度

#### 1. 距的计算

点  $x_0$  与有限实区间  $X = (a, b)$  的距为

$$\rho(x_0, X) = \left| x_0 - \frac{a+b}{2} \right| - 0.5(b-a) = \begin{cases} a - x_0 & x_0 \leq \frac{a+b}{2} \\ x_0 - b & x_0 \geq \frac{a+b}{2} \end{cases}$$

采用距的概念可以较好地解决没有考虑实际数据落在等级标准区间中何处位置的问题。

#### 2. 关联函数 $K(x)$ 的计算

根据距计算关联函数值

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_{0i}, X_{ji})}{\rho(x_{0i}, X_{pi}) - \rho(x_{0i}, X_{ji})} & x_{0i} \notin X_{ji} \\ \frac{-\rho(x_{0i}, X_{ji})}{|X_{ji}|} & x_{0i} \in X_{ji} \end{cases}$$

其意义为待评价道路在第  $i$  个分项状况上属于等级  $j$  的程度。对于每个分项状况指标  $c_i$ , 若其权重系数为  $a_i$ , 则令

$$K_j(N_0) = \sum_{i=1}^n a_i K_j(x_i)$$

式中: $K_j(N_0)$  为待评价高速公路关于路况等级  $j$  的关联度。

(三) 交通安全等级的综合评定

若  $K_{j_0}(N_0) = \text{Max}K_j(N_0)$ ,  $j_0 \in (1, 2, \cdots, m)$ , 则判定  $N_0$  属于等级  $j_0$ 。直接利用已制定出的各分项路况等级标准,以  $K_i(x_i)$  为基础,采用关联度进行等级识别,克服了不同指标值域换算不足。此外,关联度的大小还反映出待评道路路况符合某等级标准的程度;数值越大,符合程度就越高;如果对于一切  $j_0$ ,  $K_i(x_i) \leq 0$ , 表示该路段的路况已不在所划分的一、

二、三、四等级之内,应当重新加以识别。

三、计算实例

利用江西某高速公路(K0 + 000 ~ K79 + 700 段)交通安全状况数据和表 1 所示的等级评价标准,计算各指标等级的关联度,并进行物元模型应用分析,评价结果见表 2 所示。

表 2 江西某高速公路交通安全评价实例

评价体系	评价指标	指标值	权重	关联度			
				等级一	等级二	等级三	等级四
驾驶人特性 $P_1$	三年以下驾龄驾驶人比例	15%	0.06	-0.500	0.500	-0.250	-0.500
	车辆超速率	28%	0.10	-1.800	-0.222	0.077	-0.067
道路主体工程 $P_2$	一般值以下圆曲线半径比例	0	0.02	0.000	-1.000	-1.000	-1.000
	超过纵坡最大值比例	0.40%	0.06	0.020	-0.980	-0.990	-0.993
	中间带宽度	2	0.02	-1.000	-1.000	-1.000	0.000
	右侧路肩宽度	3.75	0.02	0.020	-0.020	-0.510	-0.673
	横向力系数	46	0.10	-0.333	0.143	-0.111	-0.429
交通工程及 沿线设施 $P_3$	标志设施	60	0.05	0.440	-0.440	-0.720	-0.813
	标线完好率	100%	0.05	-0.500	2.000	-0.400	-0.700
	交通安全设施	75	0.10	0.020	-0.020	-0.510	-0.673
	监控系统	85	0.02	0.400	-0.400	-0.700	-0.800
交通特性 $P_4$	服务水平	0.11	0.10	-0.750	-0.621	-0.267	0.571
	大、中型车占交通量比例	87%	0.10	-2.480	-0.740	-0.480	5.600
	设计车速	100	0.02	-1.050	-0.050	0.056	-0.321
交通环境特性 $P_5$	年不良气候天数	25	0.06	-0.250	0.250	-0.167	-0.375
	路线通过山岭重丘地区比例	0	0.02	0.040	-0.960	-0.980	-0.987
交通安全管理特性 $P_6$	道路交通安全责任制	80	0.03	0.200	-0.200	-0.600	-0.733
	交通事故紧急救援系统	40	0.07	-0.467	-0.200	0.333	-0.273
交通安全综合评价				-0.640	-0.170	-0.347	0.196

按照物元模型评定准则,由于  $K_{j_0}(N_0) = \text{Max}K_j(N_0)$ ,  $j_0 \in (1, 2, \cdots, m)$ , 故判定该路段的交通安全综合评价等级为四级。

四、结 语

物元模型基于物元分析中的可拓识别方法,利用了关联函数可取负值的特点,使识别方法能够全面地分析对象属于某等级集合的程度。从物元分析观点看,现有的交通安全评价方法是可以改进的;并且该模型能以定量的数值表示评定结果,从而比较完整地反映事物状况的综合水平,同时易于用计算机进行编程处理。本文利用物元分析方法,建立了高速公路交通安全多指标的评价体系,将物元模型

应用于交通安全实际,为高速公路交通安全评价提供了新的途径。

参考文献:

[1] 王建军,刘乙橙,吴宜淞. 高速公路交通安全设施系统评价指标及评价方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2007,7(4):66-70.

[2] 胡启洲,张卫华. 高速公路交通安全的模糊区间评价[J]. 中国安全科学学报,2007,17(8):26-31.

[3] 张 巍. 基于 BP 人工神经网络的道路安全评价研究[D]. 西安:长安大学,2006.

[4] 陈 君,李聪颖,丁光明. 基于 BP 神经网络的高速公路交通安全评价[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(7):927-931.

[5] 折 欣,方守恩,于 霄. 高速公路事故预测微观模型

- 研究[J]. 交通标准化,2008,21(1):55-59.
- [6] 刘清,曹斌. 高速公路交通安全评价指标体系的建立[J]. 武汉理工大学学报:社会科学版,2005,18(6):832-835.
- [7] 吴义虎,刘文军,肖旗梅. 高速公路交通安全评价的层次分析法[J]. 长沙理工大学学报:自然科学版,2006,3(2):7-11.
- [8] 汪明春. 道路交通安全影响的模糊评价方法及数学模型的建立[J]. 公路交通技术,2008,24(2):125-127,130.
- [9] 严海,杨天军,关宏志. 城市道路交通安全管理决策支持系统[J]. 长安大学学报:自然科学版,2008,28(2):84-88.
- [10] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1994.
- [11] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.

## Traffic safety assessment for expressway based on matter element model

CHEN Bi-wu<sup>1</sup>, SHI Bao-lin<sup>2</sup>, LEI Mao-jin<sup>3</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China;

3. Jiangxi Transportation Sciences Institute, Nanchang 330038, Jiangxi, China)

**Abstract:** Based on the scientific, feasible, practical, comparable factors and in combination of qualitative and quantitative analysis, the paper selects the related factors for traffic safety assessment of expressway, and establishes the matter element model for traffic safety assessment of expressway. This model can quantitatively show the degree of traffic safety condition belongs to one grade, hence, the application of related function of exploitable sets makes the multi-guideline evaluation more elaborate. The example applied on the expressway in Jiangxi Province shows that the model can give better evaluation and more perfectly reflect the traffic safety assessment of expressway.

**Key words:** traffic engineering; traffic safety; expressway; matter element model

(上接第 19 页)

## Determination for the value of highway tolling rights and roles in financing by transferring of highway tolling rights

ZHOU Guo-guang, WEI Jing

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to study the problem on financing from the transferring of highway tolling rights, the paper, with the help of qualitative analysis and quantitative analysis, studies the highway tolling rights appraisal by using income present value method, and discusses its financing role. The results show that it is realistic selection for highway value appraisal by using income present value method. The choice of the discount rate is the discussing results of both trading sides. Non-regulatory dealing may enlarge the roles in financing from the transferring of highway tolling rights. If the government regulations are carried out strictly, only small amount of funds can be raised from the transferring of highway tolling rights.

**Key words:** traffic economics; highway tolling right; income present value method; appraisal for tolling right