

基于可拓理论的交通污染物排放分级方法研究<sup>\*</sup>周晨璨<sup>1</sup>, 魏明<sup>1</sup>, 徐望<sup>2</sup>

(1.南通大学 交通学院, 江苏 南通 226019; 2.南通广播电视台新媒体中心, 江苏 南通 226019)

**摘要:**以可拓理论为基础,根据交通污染物排放的 7 个影响因素构建经典域物元和节域物元,建立了交通污染物排放特征分级模型,解决交通污染物排放的不确定性、模糊性及在不同条件下的可变性,使交通污染物排放分级更具科学性和客观性;以某道路的 2 个交通污染物排放样本为例,通过排放等级关联度计算,确定其污染等级。

**关键词:**公路交通;交通污染;排放分级;可拓理论

**中图分类号:**U491.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-2668(2018)01-0029-05

交通污染是指道路交通中车辆排放的烟、尘、有害气体的数量、浓度和持续时间超过大气自然净化能力和允许标准,使人和生物等蒙受其害。近年来,随着机动车数量的增加,CO、NO<sub>x</sub>、HC、气化铅及烟微颗粒物造成的大气污染,都市化和机械化造成的噪声污染,路面排水造成的水质污染等给环境带来巨大挑战,确定交通污染物排放因素和污染等级,可实现对污染源的有目的防治。

针对交通污染问题,魏明等提出了考虑决策者主观偏好的交通污染排放纯语言多属性群决策模型,Wei M.等提出了基于区间直觉模糊集和案例推理理论的交通排放预测模型,李铁柱等提出了城市交通环境污染分析系统结构框架及其功能并应用灰色聚类决策理论对城市道路交通空气污染进行了评价,王晓宁等利用可拓学建立了基于物元模型的交通污染评价模型,李铁柱开发了城市交通大气环境影响评价及预测软件,袁涛等开发了交通污染评价决策支持系统。各类交通污染物排放是相互联系、相互作用的,具有不确定性、模糊性及在不同条件下的可变性。因此,交通污染物排放特征分级实质上是不相容问题。可拓理论是解决矛盾问题、不相容问题的有效方法。现有研究鲜有将可拓理论应用于交通污染分级,仅有针对道路立交部的污染评价,且尚未将具体道路条件和车辆行驶条件作为评价指标。针对现有研究的不足,该文以物元理论和可拓集合为基础构建评价体系,建立交通污染物排放特征分级模型,计算待评样本相对于污染等级的关联度,为交通污染物排放分级提供新的解决方法。

## 1 交通污染物排放影响因素分析

造成交通污染的影响因素有很多,如道路坡度、道路坡长、车辆行驶速度、道路限行等。在不同天气状况下,相同因素影响下的排放污染等级不同,如晴天和阴雨天,同一辆车在同一路面以同一速度行驶,由于与地面的摩擦系数不同,二者所造成的污染等级不同。同样,在相同天气状况和路面环境下,小轿车与大货车造成的污染等级也会有区别。借鉴相关文献的研究结论,从道路条件、机动车行驶条件等出发,建立图 1 所示交通污染物排放分级综合评价集。

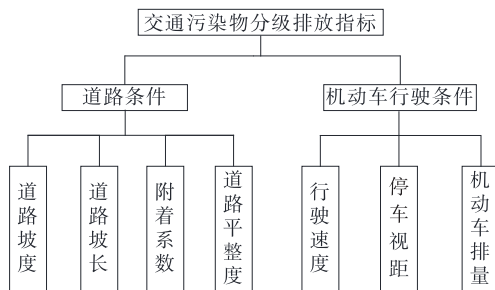


图 1 交通污染物排放分级指标

## 2 构建交通污染物排放特征可拓分级模型

可拓集合和物元概念根据事物关于特征的量值判断事物属于某个集合的程度,运用关联函数对特征参数与研究对象的从属关系进行分析,从而把属于或不属于的定性描述扩展为定量描述,实现数据分类。与传统评价方法相比,基于可拓理论的评价方法排除了较多主观因素,对样本量没有严格要求,

<sup>\*</sup> 基金项目:南通大学自然科学基金项目(13070125)

不要求服从任何分布,应用可拓法对交通污染物排放进行分级更客观、合理。

利用可拓理论建立分级模型的基本思路:先确定交通污染物评价指标和类别等级标准,据此建立各特征的经典域物元和节域物元,确定待评对象与各类别等级之间的关联度,再根据特征的权重系数计算综合关联度,确定待分级交通污染物的类别。

### 2.1 确定经典域 $M_o$ 、节域 $M_p$

以交通污染物为对象的排放因素及其量值范围所构成的三元组为:

$$M = (O, C, V) = \begin{bmatrix} O & c_1 & V_{ot1} \\ & c_2 & V_{ot2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & V_{otn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_i & c_1 & \langle a_{ot1}, b_{ot1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{ot2}, b_{ot2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{otn}, b_{otn} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $c_1, c_2, \dots, c_n$  为对象  $O_i$  的  $n$  个特征;  $V_{ij} (j=1, 2, \dots, n)$  为第  $j$  个特征的量值范围,即经典域。

交通污染物某一排放因素各等级经典域的并集则构成该特征的节域,记为:

$$M_p = (P, C, X_{pj}) = \begin{bmatrix} P & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $\langle a_{pj}, b_{pj} \rangle$  代表污染物排放特征  $c_j$  多个类别总的取值范围。

待分级交通污染物排放特征的物元矩阵为:

$$M_{is} = (P_{is}, c_j, x_{ij}) = \begin{bmatrix} P_{is} & c_1 & x_{i1} \\ & c_2 & x_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{in} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $P_{is}$  为第  $i$  个待分级的交通污染物;  $c_j$  为待分级交通污染物的各排放特征;  $x_{ij}$  为第  $i$  个交通污染物在某个排放特征  $c_j$  下的观测值。

### 2.2 确定关联函数

第  $i$  种交通污染物的第  $j$  个排放因素相对于污

染等级  $t$  的关联度为:

$$K_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_{ij}, V_{otj})}{|V_{otj}|} & x_{ij} \in V_{otj} \\ \frac{\rho(x_{ij}, V_{otj})}{\rho(x_{ij}, X_{pj}) - \rho(x_{ij}, V_{otj})} & x_{ij} \notin V_{otj} \end{cases} \quad (4)$$

$$\rho(x_{ij}, V_{otj}) = \left| x_{ij} - \frac{a_{otj} + b_{otj}}{2} \right| - \frac{b_{otj} - a_{otj}}{2}$$

$$\rho(x_{ij}, X_{pj}) = \left| x_{ij} - \frac{a_{pj} + b_{pj}}{2} \right| - \frac{b_{pj} - a_{pj}}{2}$$

$$|V_{otj}| = |b_{otj} - a_{otj}|$$

式中:  $V_{otj}$  为交通污染物排放各等级的节域;  $a_{otj}$ 、 $b_{otj}$  分别为节域的下限值和上限值。

### 2.3 关联度计算

待评样本  $P_{is}$  相对于交通污染物排放等级  $t$  的关联度为:

$$K_{it}(P_{is}) = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} K_{ij}(x_{ij}) \quad (5)$$

式中:  $\omega_{ij}$  为不同等级交通污染物排放特征的权重系数,按式(6)计算。

$$\omega_{ij} = \frac{x_{ij}/b_{otj}}{\sum_{j=1}^n (x_{ij}/b_{otj})} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \omega_{ij} = 1$$

### 2.4 交通污染物类别的确定

通过式(1)~(6)计算出的交通污染物  $P_{is}$  相对于评价类别的关联度记为  $K_i(P_{is})$ ,如果  $K_i(P_{is}) = \max[K_i(P_{is})] (i=1, 2, \dots, m)$ ,即待评交通污染物  $E_i$  与第  $i$  个类别的关联度最大,则属于该类。

## 3 实例分析

某城市道路有 2 个待评样本  $P_{1s}$ 、 $P_{2s}$ ,运用上述模型进行交通污染物排放分级。

### 3.1 交通污染物排放特征分级指标的选取

综合考虑交通污染的分级标准,用单因素法将交通污染程度分为 5 个级别,取值范围见表 1。等级范围  $a \sim b$  表示  $a < x \leq b$ ,为方便计算,将机动车排量指标中等级  $i$  的下限值取为零。

由于各评价指标的计量单位不同,不具有可比性,对其进行无量纲化处理。其中:  $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_4$ 、 $c_7$  属于成本型指标,其值越小,交通污染越小,按式(7)处理;  $c_3$ 、 $c_5$ 、 $c_6$  属于效益型,其值越大,交通污染越严重,按式(8)处理。无量纲化处理结果见表 2。

表1 评价指标交通污染等级的取值范围

评价等级	道路坡度 $c_1/\%$	道路坡长 $c_2/\text{m}$	附着系数 $c_3$	道路平整度指数 $c_4/(\text{mm} \cdot \text{km}^{-1})$	车辆行驶速度 $c_5/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	停车视距 $c_6/\text{m}$	机动车排量 $c_7/\text{L}$
I	0.3~3.0	0~400	0.80~0.90	0~2 890	60~80	70~110	0.0~1.0
II	3.0~5.0	400~450	0.68~0.80	2 890~3 490	50~60	60~70	1.0~1.6
III	5.0~6.0	450~500	0.55~0.68	3 490~4 580	45~50	45~60	1.6~2.5
IV	6.0~7.0	500~550	0.20~0.55	4 580~4 910	40~45	35~45	2.5~4.0
V	7.0~8.0	550~700	0.10~0.20	4 910~5 670	30~40	30~35	4.0~8.0

表2 评价指标交通污染等级取值范围无量纲化处理结果

评价等级	道路坡度 $c_1$	道路坡长 $c_2$	附着系数 $c_3$	道路平整度指数 $c_4$	车辆行驶速度 $c_5$	停车视距 $c_6$	机动车排量 $c_7$
I	0.65~1.00	0.43~1.00	0.88~1.00	0.49~1.00	0.6~1.0	0.50~1.00	0.88~1.00
II	0.39~0.65	0.36~0.43	0.73~0.88	0.38~0.49	0.4~0.6	0.38~0.50	0.80~0.88
III	0.26~0.39	0.29~0.36	0.56~0.73	0.19~0.38	0.3~0.4	0.19~0.38	0.69~0.80
IV	0.13~0.26	0.21~0.29	0.13~0.56	0.13~0.19	0.2~0.3	0.06~0.19	0.50~0.69
V	0.00~0.13	0.00~0.21	0.00~0.13	0.00~0.13	0.0~0.2	0.00~0.06	0.00~0.50

$$y = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (8)$$

式中: $y$  为无量纲化后评价指标值; $x$  为评价指标的实际值; $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  分别为评价指标的最大、最小标准值。

### 3.2 物元的构造

根据表2所示各评价指标交通污染等级取值范围无量纲化处理结果构造各交通污染等级的经典域物元。第I级( $t=1$ )交通污染物元为:

$$M_1 = \begin{bmatrix} O_1 & c_1 & \langle 0.65, 1.0 \rangle \\ & c_2 & \langle 0.43, 1.0 \rangle \\ & c_3 & \langle 0.88, 1.0 \rangle \\ & c_4 & \langle 0.49, 1.0 \rangle \\ & c_5 & \langle 0.6, 1.0 \rangle \\ & c_6 & \langle 0.5, 1.0 \rangle \\ & c_7 & \langle 0.88, 1.0 \rangle \end{bmatrix}$$

第II级( $t=2$ )交通污染物元为:

$$M_2 = \begin{bmatrix} O_2 & c_1 & \langle 0.39, 0.65 \rangle \\ & c_2 & \langle 0.36, 0.43 \rangle \\ & c_3 & \langle 0.73, 0.88 \rangle \\ & c_4 & \langle 0.38, 0.49 \rangle \\ & c_5 & \langle 0.4, 0.6 \rangle \\ & c_6 & \langle 0.38, 0.5 \rangle \\ & c_7 & \langle 0.8, 0.88 \rangle \end{bmatrix}$$

第III级( $t=3$ )交通污染物元为:

$$M_3 = \begin{bmatrix} O_3 & c_1 & \langle 0.26, 0.39 \rangle \\ & c_2 & \langle 0.29, 0.36 \rangle \\ & c_3 & \langle 0.56, 0.73 \rangle \\ & c_4 & \langle 0.19, 0.38 \rangle \\ & c_5 & \langle 0.3, 0.4 \rangle \\ & c_6 & \langle 0.19, 0.38 \rangle \\ & c_7 & \langle 0.69, 0.8 \rangle \end{bmatrix}$$

第IV级( $t=4$ )交通污染物元为:

$$M_4 = \begin{bmatrix} O_4 & c_1 & \langle 0.13, 0.26 \rangle \\ & c_2 & \langle 0.21, 0.29 \rangle \\ & c_3 & \langle 0.13, 0.56 \rangle \\ & c_4 & \langle 0.13, 0.19 \rangle \\ & c_5 & \langle 0.2, 0.3 \rangle \\ & c_6 & \langle 0.06, 0.19 \rangle \\ & c_7 & \langle 0.5, 0.69 \rangle \end{bmatrix}$$

第V级( $t=5$ )交通污染物元为:

$$M_5 = \begin{bmatrix} O_5 & c_1 & \langle 0, 0.13 \rangle \\ & c_2 & \langle 0, 0.21 \rangle \\ & c_3 & \langle 0, 0.13 \rangle \\ & c_4 & \langle 0, 0.13 \rangle \\ & c_5 & \langle 0, 0.2 \rangle \\ & c_6 & \langle 0, 0.06 \rangle \\ & c_7 & \langle 0, 0.5 \rangle \end{bmatrix}$$

交通污染分级的节域由其经典域物元的各评价指标的取值范围决定,即:

$$M_p = \begin{bmatrix} P & c_1 & \langle 0, 1.0 \rangle \\ & c_2 & \langle 0, 1.0 \rangle \\ & c_3 & \langle 0, 1.0 \rangle \\ & c_4 & \langle 0, 1.0 \rangle \\ & c_5 & \langle 0, 1.0 \rangle \\ & c_6 & \langle 0, 1.0 \rangle \\ & c_7 & \langle 0, 1.0 \rangle \end{bmatrix}$$

参考文献[21], 交通污染物  $P_{1s}$  各指标取值如下: 道路坡度 4%; 坡长 200 m; 附着系数 0.26; 道路平整度 3 000 mm/km; 车辆行驶速度 57 km/h; 停车视距 60 m; 车辆排量 2.7 L。对各指标值进行无量纲化处理, 得第一个待评物元如下:

$$M_{1s} = \begin{bmatrix} P_{1s} & c_1 & 0.519\ 5 \\ & c_2 & 0.714\ 3 \\ & c_3 & 0.200\ 0 \\ & c_4 & 0.470\ 9 \\ & c_5 & 0.540\ 0 \\ & c_6 & 0.375\ 0 \\ & c_7 & 0.662\ 5 \end{bmatrix}$$

交通污染物  $P_{2s}$  各指标取值如下: 道路坡度 3%; 坡长 150 m; 附着系数 0.33; 道路平整度 2 500

mm/km; 车辆行驶速度 51 km/h; 停车视距 70 m; 车辆排量 1.5 L。对各指标值进行无量纲化处理, 得第二个待评物元如下:

$$M_{2s} = \begin{bmatrix} P_{2s} & c_1 & 0.649\ 4 \\ & c_2 & 0.785\ 7 \\ & c_3 & 0.287\ 5 \\ & c_4 & 0.559\ 1 \\ & c_5 & 0.420\ 0 \\ & c_6 & 0.500\ 0 \\ & c_7 & 0.812\ 5 \end{bmatrix}$$

### 3.3 关联度计算

按式(4)计算待评样本各级指标对于交通污染等级的关联度, 结果见表 3。根据式(6)计算各指标对应于污染等级的权重系数  $\omega_{ij}$ , 结果见表 4。

按式(5)计算待评样本  $P_{1s}$ 、 $P_{2s}$  相对于交通污染物等级的关联度, 得:

$$\begin{aligned} K(P_{1s}) &= [K_1(P_{1s}), K_2(P_{1s}), K_3(P_{1s}), \\ &K_4(P_{1s}), K_5(P_{1s})] = [-0.098\ 6, \\ &-0.063\ 9, -0.263\ 8, -0.346\ 7, \\ &-0.451\ 6] \end{aligned}$$

$$K(P_{2s}) = [K_1(P_{2s}), K_2(P_{2s}), K_3(P_{2s}),$$

表 3 待评样本各评价指标与交通污染排放等级的关联度

评价 样本	交通污染 排放等级	各评价指标的关联度						
		$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$
$P_{1s}$	I	-0.213 6	0.498 7	-0.772 7	-0.039 0	-0.115 4	-0.250 0	-0.391 9
	II	0.498 0	-0.498 7	-0.726 0	0.173 6	0.300 0	-0.013 2	-0.289 5
	III	-0.212 3	-0.553 6	-0.642 9	-0.161 8	-0.233 3	0.026 3	-0.075 3
	IV	-0.350 6	-0.597 6	0.162 8	-0.373 6	-0.342 9	-0.330 4	0.144 7
	V	-0.447 7	-0.638 3	-0.259 3	-0.419 9	-0.425 0	-0.456 5	-0.325 0
$P_{2s}$	I	-0.001 8	0.375 9	-0.673 3	0.135 5	-0.300 0	0.000 0	-0.264 7
	II	0.002 5	-0.624 1	-0.606 2	-0.135 5	0.100 0	0.000 0	0.156 2
	III	-0.425 2	-0.665 2	-0.486 6	-0.288 8	-0.045 5	-0.193 5	-0.062 5
	IV	-0.526 1	-0.698 2	0.366 3	-0.455 7	-0.222 2	-0.382 7	-0.395 2
	V	-0.597 0	-0.728 8	-0.353 9	-0.493 2	-0.343 7	-0.468 1	-0.625 0

表 4 待评样本各评价指标对应于污染等级的权重系数

评价 样本	交通污染 排放等级	各评价指标的权重系数						
		$\omega_{i1}$	$\omega_{i2}$	$\omega_{i3}$	$\omega_{i4}$	$\omega_{i5}$	$\omega_{i6}$	$\omega_{i7}$
$P_{1s}$	I	0.149 2	0.205 1	0.057 4	0.135 2	0.155 1	0.107 7	0.190 3
	II	0.132 1	0.274 5	0.037 6	0.158 8	0.148 7	0.123 9	0.124 4
	III	0.166 6	0.248 2	0.034 3	0.155 0	0.168 9	0.123 4	0.103 6
	IV	0.166 1	0.204 7	0.029 7	0.206 0	0.149 6	0.164 1	0.079 8
	V	0.175 0	0.149 0	0.067 4	0.158 6	0.118 2	0.273 7	0.058 0

续表 4

评价 样本	交通污染 排放等级	各评价指标的权系数						
		$\omega_{i1}$	$\omega_{i2}$	$\omega_{i3}$	$\omega_{i4}$	$\omega_{i5}$	$\omega_{i6}$	$\omega_{i7}$
$P_{2s}$	I	0.161 8	0.195 7	0.071 6	0.139 3	0.104 6	0.124 6	0.202 4
	II	0.144 4	0.264 2	0.047 2	0.164 9	0.101 2	0.144 6	0.133 5
	III	0.183 1	0.240 0	0.043 3	0.161 8	0.115 5	0.144 7	0.111 7
	IV	0.180 0	0.195 3	0.037 0	0.212 1	0.100 9	0.189 7	0.084 9
	V	0.182 9	0.137 0	0.081 0	0.157 5	0.076 9	0.305 2	0.059 5

$$K_4(P_{2s}), K_5(P_{2s}) = [-0.041\ 0,$$

$$-0.184\ 5, -0.345\ 5, -0.442\ 8,$$

$$-0.521\ 9]$$

根据  $K_i(P_i)=\max[K_i(P_i)]$  的原则,  $P_{1s}$  的交通污染等级为 II 级,  $P_{2s}$  的交通污染等级为 I 级,  $P_{1s}$  造成的交通污染更严重。

4 结论

该文针对现有常规研究方法的不足,提出了交通污染物排放的可拓分级模型,对交通污染排放进行分级,为相关部门提供管控依据,为交通基础设施建设、车辆限行限速管理、交通设计和环境保护提供科学依据。影响交通污染排放的众多因素中不仅有车辆因素、道路情况,还有各种天气情况、驾驶员驾驶习惯等可变因素,只有综合考虑各因素对交通污染的影响,从定性和定量两个角度进行研究,才能得到较为合理的结果,这方面尚待进一步完善。

参考文献:

[1] 王康,易幼平.城市交通污染及其控制[J].河北工业大学学报,1996,25(4).

[2] 陈海波,毛保华.中国城市交通污染的现状及其控制策略[J].长沙铁道学院学报,2003,21(4).

[3] 杜譔,傅立新,朱汉昌,等.武汉市道路边环境机动车尾气污染的暴露评价[J].环境与健康杂志,2010,27(3).

[4] 魏明,李永利,陈浩,等.交通污染排放的纯语言型多属性群决策模型[J].广西大学学报:自然科学版,2016,41(2).

[5] Wei M,Dai Q X.A prediction model for traffic emission based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets and case-based reasoning theory[J].Journal of Intelligent & Fuzzy Systems,2016,31(6).

[6] 李铁柱,王伟,李修刚,等.城市道路交通环境污染控制系统[J].交通与计算机,2001,19(1).

[7] 李铁柱,王伟,武勇.城市道路交通空气污染灰色聚类决策评价[J].东南大学学报:自然科学版,2001,31(3).

[8] 王晓宁.道路立体交叉交通污染分析与评价研究[D].

哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.

[9] 王晓宁,安实,邓可.基于可拓的道路立交部交通污染评价模型[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(9).

[10] 林秀丽.基于可拓法的城市机动车尾气污染综合控制体系评价[J].环境科学与管理,2010,35(12).

[11] 李铁柱.城市交通大气环境影响评价及预测技术研究[D].南京:东南大学,2001.

[12] 袁涛.交通污染模拟评价决策支持系统研究与开发[D].上海:华东师范大学,2007.

[13] 徐成伟.武汉市机动车尾气排放管理决策支持系统[D].武汉:武汉理工大学,2009.

[14] 蔡文.可拓集合和不相容问题[J].科学探索学报,1983(1).

[15] 刘勇健,张丽娟,杨雪强.可拓聚类预测方法在地质灾害危险性评价中的应用[J].地质灾害与环境保护,2009,20(3).

[16] 刘明珠,孟凡顺,邓瑞,等.基于可拓分类理论识别沉积微相方法研究[J].物探化探计算技术,2010,32(1).

[17] 王书灵.基于驾驶员心理反应的山区双车道公路极限坡度坡长研究[D].北京:北京工业大学,2005.

[18] 杨春兰,鲁正兰.道路平整度对双车道路面通行能力的影响[J].中外公路,2006,26(1).

[19] 赵晶宇.浅议高等级公路设计中的视距要求[J].城市道桥与防洪,2011(10).

[20] 姜虹,李峰.不同路面条件下高速公路的停车视距建模与安全车速分析[J].西安工业大学学报,2012,32(1).

[21] 王永平,赵胜林,周磊.高速公路停车视距研究[J].交通标准化,2010(17).

[22] 张建民.机动车行驶速度对排放污染物的影响[J].江苏环境科技,2007(4).

[23] 袁捷.公路车速限制与行车安全视距关系的探讨[J].青海交通科技,2005(4).

[24] 孙会元,孙黎,韦干全.公路车速限制与行车安全视距关系研究[J].公路,2002(2).

[25] Dubois P H.Fuzzy sets and system,theory and applications[M]. New York:Academic Press,1988.