

# 基于集对论和变权理论的高速公路安全系统评价

崔洪军<sup>1</sup>, 李霖<sup>1</sup>, 李昊<sup>2</sup>, 杜子涛<sup>1</sup>, 马新卫<sup>1</sup>

1. 河北工业大学土木工程学院, 天津 300401

2. 河北工程技术高等专科学校, 沧州 061000

**摘要** 针对高速公路安全事故频发的现状, 为有效地降低交通事故发生率, 建立健全高速公路管理机制, 对高速公路安全系统进行评价。通过对安全系统内各指标进行同、反、异三方面分析, 运用集对论确定联系度, 提出集对评价分析方法; 基于高速公路安全体系实际情况, 建立惩罚-激励的指标权重确定方法, 与集对理论结合, 通过计算联系度, 确定了高速公路安全系统集对变权综合评价方法; 通过对呼集高速公路安全系统进行实例评价。结果表明, 综合评价方法计算简便, 评价结果客观科学, 对公路系统安全评定方面具有一定的应用和推广价值。

**关键词** 集对论; 变权; 高速公路; 安全评价

**中图分类号** U417.12

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.16.011

## Evaluation of expressway safety system using set pair theory and variable weight principle

CUI Hongjun<sup>1</sup>, LI Lin<sup>1</sup>, LI Hao<sup>2</sup>, DU Zitao<sup>1</sup>, MA Xinwei<sup>1</sup>

1. School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China

2. Hebei Engineering and Technical College, Cangzhou 061000, China

**Abstract** According to the current situation that highway accidents happen frequently, it is necessary to evaluate the highway safety system in order to effectively reduce the incidence of traffic accidents and establish a sound mechanism for highway management. Through the identical-different-contrary analysis of every safety index of the system and the connection degree, an evaluation analysis method using set pair theory is presented. Considering the actual situation of expressway safety system, a punishment-excitation variable weight determination method is also given. By combining the set pair theory and calculating the connection degree, a set pair variable weight comprehensive evaluation method is proposed. Taking the evaluation of the Huji Expressway Safety System for example, the rationality of the evaluation method is verified. The method is simple in calculation and the evaluation results are objective and scientific, and it has great application and popularization values on the safety evaluation of highway systems.

**Keywords** set pair theory; variable weight; expressway; safety evaluation

随着社会发展, 国民收入的不断提高, 高速公路作为一项非常重要的基础设施, 是一个国家交通水平和现代化程度的标杆。然而, 伴随着高速公路建设的大踏步前进, 高速公

路事故率呈现上升趋势, 交通事故致死人数也逐年增加。为有效减少高速公路交通事故、降低事故受害程度, 对高速公路的安全系统进行评价, 这对预防和处理交通事故具有重要

收稿日期: 2015-02-13; 修回日期: 2015-04-17

基金项目: 河北省科技计划项目(07216923)

作者简介: 崔洪军, 教授, 研究方向为道路交通安全管理科学与技术, 电子信箱: cuihj1974@126.com

引用格式: 崔洪军, 李霖, 李昊, 等. 基于集对论和变权理论的高速公路安全系统评价[J]. 科技导报, 2015, 33(16): 72-76.

的指导意义,为提高管理水平,构建现代化高速公路管理机制具有现实意义。

高速公路安全系统由人、车、路和环境4个部分组成,每个部分又由多个细化的指标构成。组成高速公路安全系统的指标又有确定性和不确定性之分,各种因素相互影响、相互作用,组成了一个非常复杂的确定-不确定的动态系统。作为一种普遍存在的客观自然现象,一定条件下,确定性和不确定性可以相互转化。集对分析法以确定-不确定系统为研究对象,将确定性与不确定性的转化看做连续动态的过程,这是一种专门处理确定-不确定系统的系统分析方法。

高速公路安全系统评价传统的分析方法中,在处理不确定性方面存在严重不足<sup>[1-5]</sup>,本文运用集对分析法,对安全系统评价价值分别进行同、反、异分析,确定关键影响因素;同时采用变权机制,根据评价价值对常权向量进行科学的惩罚-奖励,即使用变权函数,最终提出高速公路安全系统评价模型。

### 1 高速公路安全系统指标体系

高速公路安全系统影响因素多,结构复杂,但其具有相对明确的层级性,可分解为多层结构,各种影响因素之间关系错综复杂。每个因素又都可以成为一单独的评价指标,要建立一个全面、合理、科学的评价体系非常困难<sup>[6-8]</sup>。

本文利用层次分析法(AHP)进行综合分析,侧重于对高速公路道路自身特性及环境因素两个客观条件来评价,即评价这两个方面对驾驶人的影响程度,进而反映道路环境系统的安全性,采用文献[2]建立的高速公路安全系统指标体系(表1)。

**表1 高速公路安全系统评价指标体系**  
Table 1 Evaluation index system of the expressway safety system

目标层Z	准则层B	指标层I
高速公路安全系统	道路线性 B <sub>1</sub>	I <sub>1</sub> ,一般值以下圆曲线长度比例
		I <sub>2</sub> ,3%以上纵坡长度比例
		I <sub>3</sub> ,平纵组合不良路段比例
	交通设施 B <sub>2</sub>	I <sub>4</sub> ,标志标线
		I <sub>5</sub> ,护栏与护墙
		I <sub>6</sub> ,照明设施 I <sub>7</sub> ,防眩、视线诱导设施及视觉过度设施
	路面状况 B <sub>3</sub>	I <sub>8</sub> ,路面平整度
		I <sub>9</sub> ,横向力系数SFC
	交通特性 B <sub>4</sub>	I <sub>10</sub> ,大中型车占交通量比例
		I <sub>11</sub> ,实测运行车速速度差
	交通环境 B <sub>5</sub>	I <sub>12</sub> ,年不良气候天数
		I <sub>13</sub> ,山岭重丘区路线比例

## 2 集对变权模型

### 2.1 集对论分析原理

集对论分析理论中,联系度表达式为

$$\mu = a + bi + cj \quad (1)$$

式中,  $a$  为同一度,  $b$  为差异度,  $c$  为对立度,  $i$  为不确定度,  $j$  为对立度。一般来讲,  $i$ 、 $j$  用来描述数值的属性,起标示作用,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  可定量描述。联系度表达式以量的维度作为标准对集对论中两个集合之间的联系与变化关系,能反映两个集合既确定又不确定程度,该表达式在工程实践中可以通过多种方法确定<sup>[9,10]</sup>。

特定条件下,当  $i$ 、 $j$  被定量时,  $i$  在  $[-1,1]$  区间可根据情况不确定取值,  $j$  取  $-1$ ,代表  $j$  所在项与  $a$  在数值上相反,  $\mu$  则转化为联系数。

实际上,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  与  $i$ 、 $j$  分别代表对同一事物在两个不同层面上的刻划。  $a$ 、 $b$ 、 $c$  是宏观上的刻划;  $i$ 、 $j$  是微观上的刻划,也是对发展趋势的一种描述。如需实现对四维动态及其不确定过程的描述,即需要进一步扩展空间、进一步延续时间,  $a + bi + cj$  也可以拓展到  $(a_1 + a_2 + \dots + a_n) + (b_1 + b_2 + \dots + b_n)i + (c_1 + c_2 + \dots + c_n)j$  的形式。

集对论认为确定与不确定、同与反,是一个既对立又统一的整体;当  $i$  使  $b$  分解且对  $a$ 、 $c$  有好处时,量变与质变的转变关系出现,  $a$ 、 $c$  的比值可能发生变化。这就是集对论中的否定之否定,即利用联系度,使得确定性的结论能受到不确定性的否定,而不确定性因素又可以通过否定自身在一定条件下转化为确定,从而实现确定、不确定的统一。

### 2.2 联系数的确定

定义  $Z$  为评价系统的评价对象空间,  $I_m$  为  $Z$  中每一指标。要对  $Z$  进行评价,首先要测量各个指标值,用  $I_1, I_2, \dots, I_m$  表示。定义  $Z$  的评价集为  $(C_1, C_2, \dots, C_k)$ ,  $C_j (1 \leq j \leq k)$  表示质量等级。表2为质量评价标准,其中  $e_{ij}$  为不同类别的分类限值。

**表2 评价对象单因素指标等级划分**  
Table 2 Classification table of single factor index in evaluation object

Z	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	...	C <sub>k</sub>
I <sub>1</sub>	e <sub>11</sub> - e <sub>12</sub>	e <sub>13</sub> - e <sub>14</sub>	e <sub>15</sub> - e <sub>16</sub>	...	e <sub>1(2k-1)}</sub> - e <sub>1(2k)}</sub>
I <sub>2</sub>	e <sub>21</sub> - e <sub>22</sub>	e <sub>23</sub> - e <sub>24</sub>	e <sub>25</sub> - e <sub>26</sub>	...	e <sub>2(2k-1)}</sub> - e <sub>2(2k)}</sub>
I <sub>3</sub>	e <sub>31</sub> - e <sub>32</sub>	e <sub>33</sub> - e <sub>34</sub>	e <sub>35</sub> - e <sub>36</sub>	...	e <sub>3(2k-1)}</sub> - e <sub>3(2k)}</sub>
			⋮		
I <sub>m</sub>	e <sub>m1</sub> - e <sub>m2</sub>	e <sub>m3</sub> - e <sub>m4</sub>	e <sub>m5</sub> - e <sub>m6</sub>	...	e <sub>m(2k-1)}</sub> - e <sub>m(2k)}</sub>

与隶属度法不同,集对分析法构造的是一种“广域式”函数,能够充分运用已知的所有信息,使评价体系更加趋近真实情况,其关键环节是联系度的准确确定。

定义  $b_{ij}$  为第  $i$  指标在第  $j$  级别的联系数,联系度的具体确

定方法:当待评价指标包含于某一级别数值区间内时,认为具有同一性,联系数取值为1;当待评价指标处于相隔的级别数值区间内,认为是对立,联系数取值为-1;若待评价指标处于相邻的评价级别范围内,联系度由表3所示确定准则经计算得到

$$b_{m2} = 1 + \frac{2(x_m - e_5)}{e_5 - e_3} \quad (2)$$

$$b_{m4} = 1 + \frac{2(x_m - e_6)}{e_6 - e_8} \quad (3)$$

式中,  $x_m$  为评价指标具体数值。

表3 联系数  $b_{ij}$  的确定准则

Table 3 Method for determining connection coefficient

评价等级	评价指标	$x_m$ 的 $b_{ij}$ 值
$C_1$	$e_{11} - e_{12}$	-1
$C_2$	$e_{13} - e_{14}$	[-1, +1], 由式(1)求
$C_3$	$e_{15} - e_{16}$	+1
$C_4$	$e_{17} - e_{18}$	[-1, +1], 由式(2)求
$C_5$	$e_{19} - e_{100}$	-1

### 2.3 变权综合法

#### 2.3.1 常权权重 $w_i^0$

通过采用层次分析法建立评判矩阵确定指标的权重,即常权权重,其表达式为

$$w_i^0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_m^0), \text{ 且满足 } \sum_{i=1}^m w_i^0 = 1 \quad (4)$$

#### 2.3.2 变权权重 $w_i$

对变权方法原理进行分析,认为指标变权向量  $w_i(x)$  是指标准常权向量  $w_i^0(x)$  与状态变权向量  $S(x)$  的 Hadamard 乘积,其表达式为

$$w_i(x) = \frac{w_i^0(x_{ik}) \times S(x_{ik})}{\sum_{i=1}^m w_i^0(x_{ik}) \times S(x_{ik})} \quad (5)$$

式中,  $w_i^0(x_{ik})$  为修正前的权重;  $w_i(x_{ik})$  为修正后的权重;  $S(x_{ik})$  为局部变权向量;  $x_{ik}$  为经归一化处理成[0, 1]的第  $i$  项指标的取值。

$S(x_{ik})$  为常权的惩罚-激励型状态变权函数,数值由式(6)确定

$$S(x_{ik}) = \begin{cases} \frac{c_1 - c_2}{\lambda - \mu} \mu \ln \frac{\mu}{x_{ik}} + c_2 & 0 < x_{ik} \leq \mu \\ -\frac{c_2 - c_1}{\lambda - \mu} x_{ik} + \frac{c_2 \lambda - c_1 \mu}{\lambda - \mu} & \mu < x_{ik} \leq \lambda \\ C + \frac{c_2 - c_1}{2(\lambda - \mu)(\alpha - \lambda)} (\alpha - x_{ik})^2 & \lambda < x_{ik} \leq \alpha \\ C & \alpha < x_{ik} < \beta \\ K(1 - \beta) \ln \frac{1 - \beta}{1 - x_{ik}} + C & \beta \leq x_{ik} \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $0 < \mu < \lambda < \alpha < \beta < 1$ ,  $0 < C < c_1 < c_2 < 1$ ,  $\alpha$  为惩罚水平,  $\beta$  为激励水平。  $C$ ,  $c_1$  和  $c_2$  为评价策略,  $K$  为调整系数。

此类变权主要有以下3方面特点:

1) 满足  $x_i \in (0, 1)$ , 如不满足这一条件,可进行归一化处理。  $\beta$  逼近1,即  $(\beta, 1)$  区间很窄,该区间的状态受到的激励迅速而强烈。

2)  $\alpha$  逼近  $\beta$ , 即  $[\alpha, \beta]$  很窄,此区间内的状态既不受惩罚,也不受激励。

3) 区间  $(0, \alpha)$  为受到惩罚的区域,该范围较广,分为否决阶段  $(0, \mu]$ 、强惩罚阶段  $(\mu, \lambda)$  和初惩罚阶段  $(\lambda, \alpha)$  三个区间。  $(\lambda, \alpha)$  受到较弱惩罚,在  $(\mu, \lambda)$  受到强烈惩罚,  $(0, \mu]$  由于子目标评价值较低但权重较大,造成整体目标的评价价值骤降,当等于或小于预设的否决值时,否决整个目标。

需要注意的是,当归一化后的指标值  $x_{ik}$  越接近1,该指标等级越趋于优时,可直接使用该惩罚-激励型状态变权函数得到变权权重;若当归一化后的指标值  $x_{ik}$  越接近1,等级越趋于差时,应将  $1 - x_{ik}$  作为自变量带入式(6)中计算得到变权权重。

### 2.4 评价等级的判定

在确定了各个指标的联系度和相应变权权重后,由式(7)确定总联系度

$$H_j = \sum_{i=1}^m (b_{ij} w_i) \quad (7)$$

式中,  $w_i$  为第  $i$  个指标的变权权重,  $H_j$  分别为各评价指标在变权时对于第  $j$  个级别的总联系度。

评价等级判定:由式(7)求出所有联系度  $H_j$ ,取最大值所对应的等级,作为评价结论等级。

$$H_p = \max\{H_j\} \quad 1 \leq j \leq k, p \in [1, 2, \dots, k] \quad (8)$$

则认为该对象评价等级属于  $P$  类。

## 3 高速公路安全系统集对变权评价模型建立步骤

### 3.1 评价指标集的建立

评价指标集是由评价对象的各个评价指标组成的集合,高速公路安全系统评价指标如表1所示。

### 3.2 评价等级和单项指标等级划分的建立

通过对国内外高速公路安全指标等级的研究,结合本文建立的评价系统,将高速公路安全系统评价等级设为5级,  $C_1 = \{\text{优}\}$ ,  $C_2 = \{\text{良}\}$ ,  $C_3 = \{\text{中}\}$ ,  $C_4 = \{\text{次}\}$ ,  $C_5 = \{\text{差}\}$ ,建立安全系统单项指标划分见表4。

表4 高速公路安全系统评价单项指标划分

Table 4 Classification table of single factor index in the expressway safety system

Z	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$I_1$	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2
$I_2$	<1	1.0~1.5	1.5~2.0	2~3	>3
$I_3$	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2
$I_4 \sim I_9$	100~90	90~80	80~70	70~60	60~0
$I_{10}$	0~25	25~40	40~50	50~70	>70
$I_{11}$	<5	5~10	10~15	15~20	>20
$I_{12}$	0~10	10~20	20~30	30~50	>50
$I_{13}$	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100

### 3.3 指标权重的确定

首先利用层次分析法和九标度法确定初始权重,再确定变权,变权权重的确定采用式(5)和(6)变权方法。

### 3.4 评价等级的确定

由式(7)计算高速公路安全系统各评价等级的总联系度,再由式(8)最终确定评价等级。

## 4 以呼集高速公路安全系统为例进行评价

呼集高速公路起始点为乌盟集宁市,止于呼和浩特罗家营,是内蒙古自治区进入内陆地区的交通大动脉。然而,随着近年来经济的快速发展,呼集高速交通量激增,交通安全问题也日益凸显。本文根据文献[2]所述,利用统计数据推算和专家打分等方式,得到呼集高速公路安全系统各评价指标的现状值,并用九标度法得到初始权重,具体数据见表5。

表5 呼集高速安全系统各评价指标现状值及初始权重

Table 5 Present value and initial weights of Huji expressway safety system

Z	初始权重 $w_i^0$	现状值	Z	初始权重 $w_i^0$	现状值
$I_1$	0.05	0.4(%)	$I_8$	0.05	70
$I_2$	0.06	1.2(%)	$I_9$	0.07	95(%)
$I_3$	0.12	0.3(%)	$I_{10}$	0.06	70(%)
$I_4$	0.08	84.75	$I_{11}$	0.05	18(Km/h)
$I_5$	0.13	93.75	$I_{12}$	0.1	20(%)
$I_6$	0.10	94	$I_{13}$	0.06	16(%)
$I_7$	0.07	92			

为突出高速公路安全系统安全第一和评价从严的原则,在变权函数中取评价策略  $\mu=0.5$ ,  $\lambda=0.6$ ,  $\alpha=0.8$ ,  $\beta=0.9$ ,  $C=0.3$ ,  $c_1=0.4$ ,  $c_2=0.5$ ,  $K=2$ ,由式(6)得状态变权函数为式(9)

$$S(x_{ik}) = \begin{cases} 0.5 \ln(0.5/x_{ik}) + 0.5 & 0 < x_{ik} \leq 0.5 \\ -x_{ik} + 1 & 0.5 < x_{ik} \leq 0.6 \\ 1.9 - 4x_j + 2.5x_{ik}^2 & 0.6 < x_{ik} \leq 0.8 \\ 0.3 & 0.8 < x_{ik} < 0.9 \\ 0.2 \ln[0.1/(1-x_{ik})] + 0.3 & 0.9 \leq x_{ik} \leq 1 \end{cases} \quad (9)$$

对各指标现状值进行归一,由式(9)、式(5)计算各指标变权权重,计算结果如表6所示。

从表6可以看出,呼集高速安全系统中13个指标值由于大多数处于优秀、良好状态,权重受激励作用并不是很显著;但  $I_{10}$ (大中型车占交通量比例)和  $I_{11}$ (实测运行车速速度差)较差,两项指标受到惩罚,因此权重值相对变大。因此当安全系统中某个指标特别突出时,其整体在一定程度上会受到影响,这样可以更好地反映安全系统的实际状况。

表6 呼集高速安全系统变权评价结果

Table 6 Variable weight of Huji expressway safety system

Z	x	$w_i^0$	$s(x_{ik})$	$w_i^0 s(x_{ik})$	$w_i$	Z	x	$w_i^0$	$s(x_{ik})$	$w_i^0 s(x_{ik})$	$w_i$
$I_1$	0.4	0.05	0.3	0.015	0.04	$I_8$	70	0.05	0.33	0.0165	0.04
$I_2$	1.2	0.06	0.4	0.024	0.06	$I_9$	95	0.07	0.44	0.0308	0.07
$I_3$	0.3	0.12	0.3	0.036	0.09	$I_{10}$	70	0.06	0.76	0.0456	0.11
$I_4$	84.75	0.08	0.3	0.024	0.06	$I_{11}$	18	0.05	1.3	0.065	0.15
$I_5$	93.75	0.13	0.3	0.039	0.09	$I_{12}$	20	0.1	0.4	0.04	0.1
$I_6$	94	0.10	0.4	0.04	0.09	$I_{13}$	16	0.06	0.3	0.018	0.04
$I_7$	92	0.07	0.34	0.0238	0.06						

由式(2)、(3)计算可得各安全系统评价指标的系数,得到式(10):

$$b = (b_{ik})_{13 \times 5} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.6 & -1.0 & -1.0 & -1.0 \\ 0.6 & 1.0 & -0.2 & -1.0 & -1.0 \\ 1.0 & 0.2 & -1.0 & -1.0 & -1.0 \\ -0.05 & 1.0 & 0.05 & -1.0 & -1.0 \\ -0.25 & 1.0 & 0.25 & -1.0 & -1.0 \\ 1.0 & 0.2 & -1.0 & -1.0 & -1.0 \\ 1.0 & 0.6 & -1.0 & -1.0 & -1.0 \\ -1.0 & -1.0 & 1.0 & 1.0 & -1.0 \\ 1.0 & 0 & -1.0 & -1.0 & -1.0 \\ -1.0 & -1.0 & -1.0 & 1.0 & 1.0 \\ -1.0 & -1.0 & -0.2 & 1.0 & 1.0 \\ -1.0 & 1.0 & 1.0 & -1.0 & -1.0 \\ 1.0 & 0.6 & -1.0 & -1.0 & -1.0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

在式(10)的矩阵中,由上到下每一行数值分别为组成系统的  $I_1$  到  $I_{13}$  共13个指标的系数。分别将式(10)和变权权重  $w_i$  代入式(7),可得高速公路安全评价系统各级别的总联系度,计算式为

$$H_j = [0.0005 \quad 0.074 \quad 0.4305 \quad 0.43 \quad 0.75] \quad (11)$$

由式(11)计算结果,采用式(8)最大联系度准则进行评价,可知呼集高速公路安全评价系统最大联系度为0.074,处于第二个评价等级,对应的级别为良好,即呼集高速公路安全评价系统等级为良好。

由文献[2]可知,运用物元-可拓模型对呼集高速安全系统评价,等级也为良好,评价结果与本文相同,证明了集对变权理论在高速公路安全系统评价中的可行性。

## 5 结论

运用有关集对理论和变权方法,对高速公路安全系统进行评价,并通过实例进行了验证,表明该方法有效。

1) 提出了集对变权理论进行高速公路安全评价的新方法。经评价信息从同一、差异、对立、模糊四个方面特性进行分析。同时采用变权方法使评价结果更加可客观真实。该方法计算简便,在对公路系统安全评定方面具有一定的应用和推广价值;

2) 采用变权方法克服了以往权重固定不变情况,权重随指标值进行惩罚-激励变化更能反映真实情况。该方法不仅可

以对单一指标处于不良状态进行及时预警,还可综合反映高速公路的安全状况,得到了利用常权分析评价无法实现的效果。

参考文献(References)

- [1] 廖军洪,张高强,邵春福.基于GIS的公路交通安全评价技术研究[J].公路交通科技,2011,28(8):125-130.  
Liao Junhong, Zhang Gaoqiang, Shao Chunfu. Research on GIS based highway safety assessment technology[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28(8): 125-130.
- [2] 王华晟.基于物元-可拓模型的高速公路安全系统评价研究[D].西安:长安大学,2009.  
Wang Huasheng. Traffic safety assessment for expressway based on matter-element extension model[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [3] 李翌,王金安.高速公路工程道路交通安全评价研究及工程应用[J].中国安全生产科学技术,2011,7(7):120-124.  
Li Zhao, Wang Jin'an. Study on evaluation of expressway traffic safety and engineering application[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(7): 120-124.
- [4] 孙文圃,许金良,刘文君.交通环境对高速公路运营安全性影响综合评价[J].公路交通科技,2014,31(12):124-131.  
Sun Wenpu, Xu Jinliang, Liu Wenjun. Comprehensive evaluation of effect of traffic environment on expressway traffic operational safety[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2014, 31(12): 124-131.
- [5] 刘彦,陈健蕾,刘志刚,等.山区高速公路路侧风险等级评价方法研究[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2015,34(1):87-90.  
Liu Yan, Chen Jianlei, Liu Zhigang, et al. Assessment method for roadside risk grade of freeway in mountainous areas[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2015, 34(1): 87-90.
- [6] 吴忠广.基于模糊-集对分析的公路施工安全评价模型[J].中国安全生产科学技术,2012,8(11):156-160.  
Wu Zhongguang. Research on safety evaluation model of highway construction based on fuzzy-set pair analysis[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(11): 156-160.
- [7] 李孜军,汪发松,马树宝.基于层次分析法和集对理论的硫化矿自燃倾向性评定[J].科技导报,2009,27(19):69-73.  
Li Zijun, Wang Fasong, Ma Shubao. Safety assessment of the spontaneous combustion tendency of sulfide ores based on AHP and SPA[J]. Science & Technology Review, 2009, 27(19): 69-73.
- [8] 吴忠广,李秀芳.基于模糊-集对分析模型的公路建设施工安全评价研究[J].公路,2012(5):243-247.  
Wu Zhongguang, Li Xiufang. Research on highway construction safety evaluation based on fuzzy-set pair analysis model[J]. Highway, 2012(5): 243-247.
- [9] 刘道斌.基于集对论的机关组织管理机制评价研究[J].武汉理工大学学报,2009,31(8):176-179.  
Liu Daobin. Research on evaluation of official management mechanism based on set pair theory[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(8): 176-179.
- [10] 胡启洲,陆化普,戴帅,等.基于属性识别的高速公路交通安全评价模型[J].中国安全科学学报,2009,19(11):146-151.  
Hu Qizhou, Lu Huapu, Dai Shuai, et al. Safety assessment model for expressway traffic based on attribute recognition[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2009, 19(11): 146-151.

(责任编辑 赵业玲)

·学术动态·



中国科学技术协会

2015世界机器人大会将在北京召开

为积极推动创新驱动发展战略,实现中国机器人技术与产业的跨越发展,中国科学技术协会、工业和信息化部将于2015年11月22—25日在北京举办主题为“协同融合发展,引领智能社会”的2015世界机器人大会。

2015世界机器人大会由3项内容组成:

1) 2015世界机器人论坛:设有工业机器人技术“智”造未来、服务机器人技术创新、医疗与康复机器人、“智慧城市”与“服务机器人”技术论坛、海洋机器人技术论坛、无人系统应用与推广、机器人产业发展与政府公共服务、机器人未来狂想等主论坛,将围绕世界机器人技术创新与产业发展交流研讨。

2) 2015世界机器人博览会:拟邀请世界机器人领域著名科研机构、高校及企业,按照工业机器人、服务机器人、特种机器人等功能分区,集中展示世界机器人领域的最新科研成果、应用产品与解决方案。

3) 2015国际青少年机器人邀请赛:包括WRO(国际青少年机器人奥林匹克竞赛)常规赛、VEX机器人工程挑战赛,拟邀请来自全球10多个国家和地区的130支代表队参赛。

详见2015世界机器人大会网<http://www.worldrobotconference.com>。