

文章编号:1671-6833(2017)02-0030-06

# 基于集对分析的城市道路交通安全性评价

张劲楠, 钱晓东

(兰州交通大学 交通运输学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 传统评价方法对城市道路交通安全进行评价时,只能对其中所包含的部分不确定信息进行处理,而集对分析方法可以对不确定性因素引起的所有模糊性、不确定性信息做出统一的处理和描述,本文采用集对分析方法对城市道路交通安全作出评价.以城市道路交通系统为研究对象,首先,建立指标权重的集对分析模型,对影响城市道路交通安全因素的权重进行分析;其次,将所评价城市的各实测指标值组成一个集合,将城市道路评价标准所对应的指标值组成另外的一个集合,使这两个集合组成一个集对进行评价.由于评价标准等级不同,所以构成的集对有多个.通过计算这些集对联系度的大小,选出联系度最大的等级作为此城市道路交通安全等级的最终评价结果.通过实例分析验证该方法的可行性及现实价值.

**关键词:** 集对分析;交通安全;安全评价;城市道路;指标权重

**中图分类号:** X951 **文献标志码:** A **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2017.02.008

## 0 引言

集对分析方法是一种用联系数统一处理模糊、随机、中介和信息不完全所致不确定性问题的系统理论和方法<sup>[1]</sup>,其特点是客观承认、系统描述、定量刻画、具体分析.目前,该方法已经在水质综合评价<sup>[2]</sup>、生态经济系统健康评价<sup>[3]</sup>、水资源系统评价<sup>[4]</sup>、粒子群优化算法<sup>[5]</sup>、公路评价<sup>[6]</sup>等方面得到了比较广泛的应用,但是在城市道路交通安全评价中应用较少.鉴于集对分析理论可以很好地解决系统中的随机性、模糊性和灰色性等不确定性问题,而道路交通安全系统又恰好是一个包括随机性、模糊性、灰色性等不确定性的系统,所以笔者采用集对分析方法对城市道路交通安全系统进行评价分析.

## 1 建立模型

### 1.1 集对分析的基本理论

集对分析的核心思想是把被研究的客观事物的确定性联系与不确定性联系作为一个确定不确

定系统来分析和处理<sup>[7]</sup>.将两个事物的确定不确定关系从同、异、反 3 个方面进行刻画.将两个集合的“同一性关系”、“差异性关系”、“对立性关系”用联系度 $\mu$ 来定量地刻画.联系度 $\mu$ 的基本定义如下:对于给定的两个集合组成的集 $H = (A, B)$ ,在具体研究问题的背景 $w$ 之下对集对 $H$ 的特性展开研究,共得到 $N$ 个特性,其中,有 $S$ 个特性为集对 $H$ 中的两个集合所共有,两个集合在其中的 $P$ 个特性上相互独立,其余的 $F = N - S - P$ 个特性既不对立,也不统一.

$$\mu = S/N + (F/N)i + (P/N)j. \quad (1)$$

式中: $j$ 为对立度系数, $j = -1$ ;  $i$ 为差异度系数, $i \in [-1, 1]$ .令 $S/N = a$ ,  $F/N = b$ ,  $P/N = c$ ,于是式(1)可以简化为

$$\mu = a + bi + cj. \quad (2)$$

式中: $\mu$ 为联系度; $a$ 为同一度; $b$ 为差异度; $c$ 为对立度.将式(2)中的 $bi$ 拓展为 $bi = b_1i_1 + b_2i_2 + \dots$ ,可得多元联系度.

$$\mu = a + b_1i_1 + \dots + b_{k-2}i_{k-2} + cj. \quad (3)$$

式中: $a + b_1 + b_2 + \dots + b_{k-2} + c = 1$ ;  $b_1, b_2, \dots, b_k$ 为

收稿日期:2016-07-01;修订日期:2016-10-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71461017)

作者简介:张劲楠(1991—),女,甘肃兰州人,兰州交通大学研究生,主要从事道路交通安全研究,E-mail:429159014@qq.com.

差异度分量;  $i_1, i_2, \dots, i_{k-2}$  为差异度分量系数。

## 1.2 城市道路交通安全评价的集对分析模型

影响城市道路交通安全的因素有路面状况、道路等级、道路线形、驾驶员能力与素质、车辆性能、交通环境、气象环境、安全管理、救援管理等<sup>[8]</sup>。将这些影响因素构成一个评价指标体系,评价指标体系中的各指标值组成一个集合,再将此集合与给定的评价标准组成一个集对,集对作为城市道路交通安全性的评价标准<sup>[9]</sup>。

### 1.2.1 指标权重的集对分析模型及其应用

首先设评委会由  $r$  个评委组成,评价指标集  $X = \{x_k\} (k = 1, 2, \dots, n)$ 。每个评委将评价指标两两比较,从而构成一个判断矩阵  $M_{zkl}$ , 表示第  $z$  个评委对两指标间相对重要性的看法。取值采用 1-9 标度,

$$M_{zkl} = \begin{bmatrix} x_{z11} & \cdots & x_{z1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{znl} & \cdots & x_{znn} \end{bmatrix}, (z = 1, 2, \dots, r; k = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

对判断矩阵进行一致性检验,不满足一致性的矩阵剔除。各个评委对所有的指标进行评价时,他们的意见极少会出现截然相反的情况。所以我们采用  $\mu = a + bi$  的同异模型<sup>[10]</sup>。

利用联系度矩阵形式建立描述,指标相对重要性关系的联系度模型  $\mu_{qkl}$ , 即:

$$\mu_{qkl} = A_{kl} + B_{kl}i = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{nl} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{nl} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} i. \quad (5)$$

式中:  $A_{kl}$  为描述评委会对指标间的相对重要性的认识同一性矩阵;  $B_{kl}$  为描述评委会对各个指标之间的相对重要性的认识差异性矩阵。

$$a_{kl} = \begin{cases} \min\{x_{zkl}\}, x_{zkl} \geq 1 \\ \max\{x_{zkl}\}, x_{zkl} < 1 \end{cases}$$

( $z = 1, 2, \dots, r; k = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, n$ );

$$b_{kl} = \begin{cases} |\max\{x_{zkl}\} - \min\{x_{zkl}\}| & x_{zkl} \geq 1 \\ (-1) |\max\{x_{zkl}\} - \min\{x_{zkl}\}| & x_{zkl} < 1 \end{cases}.$$

$a_{kl}$  为各个评委对指标间相对重要性所达成的共同认识。当  $a_{kl} \geq 1$  时,标度值  $\min\{x_{zkl}\}$  所对应的情况为最坏的情况,所有  $x_k$  和  $x_l$  的关系都至少满

足  $\min\{x_{zkl}\}$  所对应的情况。由此可知,当  $a_{kl} < 1$  时,因  $x_{zkl} = \frac{1}{x_{zlk}}$ , 所以,  $\max\{x_{zlk}\} = \frac{1}{\min\{x_{zkl}\}}$ ,  $a_{kl} = \frac{1}{a_{lk}}$ 。

对同一性矩阵进行一致性检验,以保证同一性矩阵的有效性。通过采用相容矩阵法对此矩阵进行一致性处理,这里令

$$d_{kl} = \sqrt[n]{\prod_{p=1}^n a_{kp} \cdot a_{pl}}. \quad (6)$$

得到确定权重向量的基础矩阵,即相容矩阵为  $D_{kl} = (d_{kl})_{n \times n}$ 。

这样得到指标权重

$$w_k = \frac{c_k}{\sum_{s=1}^n c_s} (k = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

其中:

$$c_s = \sqrt[n]{\sum_{l=1}^n d_{sl}}. \quad (8)$$

### 1.2.2 建立评价指标分级标准

等级评定标准应根据国家有关法律、标准、规范来确定。对于可以量化的指标,一般是以各种法规、规范和标准等要求的数据为依据;对于一些定性指标,很大程度上依靠主观判断,评分标准是文字描述,具体参考城市的实际条件。

笔者参考公安部 2012 年公布的《城市交通管理评价体系》,建立了各因素分级评价标准,如表 1 所示。实测城市道路交通安全等级如表 2 所示。

### 1.2.3 基于集对分析的城市道路交通安全评价

第一步建立联系度。将所评价城市的各实测指标值组成一个集合,将城市道路评价标准所对应的指标值组成另外一个集合,使这两个集合构成一个集对。 $N$  为评价指标的总个数; $s$  为样本集合中处于级别 I 内的指标个数,其对应的权重为  $u_1, u_2, \dots, u_s$ ;  $f$  为样本集合中处于级别 II 内的指标个数,其对应的权重为  $t_1, t_2, \dots, t_f$ ;  $p$  为样本集合中处于级别 III 内的指标个数,其对应的权重为  $v_1, v_2, \dots, v_p$ 。联系度  $\mu$  表达式<sup>[11]</sup>

$$\mu = \sum_{i=1}^s u_i + \sum_{k=1}^f t_k i_k + \sum_{l=1}^p v_l j_l. \quad (9)$$

其中:  $i_k$  表示实测指标值集合中权重为  $t_k$  的指标上所反映的两个集合的差异度系数。

第二步确定联系度系数  $i_k$  的值。 $s_{(1)}^k$  与  $s_{(2)}^k$  分别为 I 级和 II 级的限值。

$$\mu(x_k, b_1^k) = \frac{s_{(1)}^k s_{(2)}^k}{(s_{(1)}^k + s_{(2)}^k) x_k} +$$

$$\frac{(s_{(2)}^k - x_k)(x_k - s_{(1)}^k)}{(s_{(1)}^k + s_{(2)}^k)x_k}i + \frac{x_k}{s_{(1)}^k + s_{(2)}^k}j. \quad (10)$$

$$\mu = \sum_{i=1}^s u_i + \sum_{k=1}^f t_k(a_k + b_k i + c_k j) + \sum_{j=1}^p v_l j. \quad (11)$$

第三步计算联系度的数值.

由式(11)可知,当 $j = -1$ 时, $i$ 在 $[-1,1]$ 内

表 1 各因素分级标准  
Tab.1 Various factors level standard

| 项目       | 优(80~100)                 | 良(60~80)             | 差(60以下)                    |
|----------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| 路面状况     | ≥80                       | ≥60                  | ≥40                        |
| 道路等级     | I                         | II                   | III                        |
| 道路线形     | 道路线形圆顺平滑                  | 直线和曲线的衔接较自然          | 有许多连续急弯的线形                 |
| 驾驶员能力和素质 | 高                         | 中                    | 低                          |
| 车辆性能     | 转向性能、制动性能、<br>行驶性能优秀      | 转向性能、制动性能、<br>行驶性能良好 | 转向性能、制动性能、<br>行驶性能差        |
| 交通环境     | 交通顺畅有序,<br>交通量不大          | 交通较拥挤,<br>交通量较大      | 交通拥挤严重<br>且秩序混乱,交通量大       |
| 气象环境     | 天气晴朗,能见度高                 | 多云,有轻微的薄雾            | 有雨或雪,道路的<br>能见度非常低         |
| 安全管理     | 安全制度完善、规范、执行力强            | 安全制度较完善,<br>执行力不强    | 安全制度很不完善,<br>执行力差          |
| 救援管理     | 救援机制完善,出现问题<br>能在第一时间赶到现场 | 救援机制较完善,<br>执行力仍需提高  | 救援机制差,问题一旦出现,<br>不能得到及时的处理 |

表 2 道路交通安全实测等级表  
Tab.2 Actual level table

| 指标   | 路面状况 | 道路等级 | 道路线形 | 驾驶员能力<br>与素质 | 车辆性能 | 交通环境 | 气象环境 | 安全管理 | 救援管理 |
|------|------|------|------|--------------|------|------|------|------|------|
| 实际等级 | 75   | 70   | 80   | 85           | 80   | 55   | 90   | 85   | 82   |

取值,按照均分原则取  $i = 0$ ,最终得到联系数的取值.

2 实例分析

以兰州市某街道为例,使用集对分析方法对该街道安全性进行分析评价,对影响道路安全的主要因素进行分析,通过建立指标权重的集对分析模型,得出各影响因素的权重.将实测指标值组成一个集合  $A$ ;Ⅰ级标准指标值组成的集合为  $B_1$ ;Ⅱ级标准指标值组成的集合为  $B_2$ ;Ⅲ级标准指标值组成的集合为  $B_3$ .

2.1 指标权重的集对分析模型及其应用

笔者采用调查问卷的形式,邀请了3名研究交通安全方面的专家和3名该城市的交警对城市道路交通安全评价指标体系的指标进行两两比较.通过对这6张调查问卷的整理与计算,发现有2张调查问卷的计算结果不满足矩阵一致性检验,故将其剔除.根据剩下4张调查问卷的

结果构造判断矩阵,定义  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 、 $M_4$  为4份调查问卷对评价指标两两打分所得到的矩阵.

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 5 & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 5 & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ 2 & 4 & 1 & 2 & 3 & \frac{1}{2} & 4 & 2 & 5 \\ 3 & 3 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 6 & \frac{1}{3} \\ 6 & 3 & \frac{1}{3} & 3 & 1 & \frac{1}{4} & 5 & 3 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 4 & 1 & 4 & \frac{1}{4} & \frac{1}{6} \\ 5 & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \\ 2 & 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 4 & 2 & 1 & \frac{1}{4} \\ 2 & 4 & \frac{1}{5} & 3 & \frac{1}{2} & 6 & 3 & 4 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \\ 3 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 1 & 5 & 1 & 1 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} \\ 3 & 4 & \frac{1}{5} & 1 & 1 & \frac{1}{5} & 3 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 5 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ 3 & \frac{1}{2} & 1 & 2 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ 2 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_4 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} \\ 3 & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 2 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 4 & 5 & 1 & 5 & 2 & 1 & 6 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{5} \\ 3 & 4 & \frac{1}{2} & 2 & 1 & \frac{1}{2} & 4 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 1 & 5 & 2 & 1 & 4 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} \\ 2 & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & 3 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} \\ 3 & 3 & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & 5 & 3 & 1 & \frac{1}{3} \\ 6 & 5 & \frac{1}{2} & 5 & \frac{1}{3} & 2, & 6 & 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

根据式(5)计算出各个专家对指标间的相对重要性的认识同一性矩阵  $A_{kl}$  和认识差异性矩阵  $B_{kl}$  .

$$M_3 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ 3 & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ 6 & 4 & 1 & 3 & 3 & \frac{1}{3} & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 3 & \frac{1}{3} \\ 6 & 4 & \frac{1}{3} & 2 & 1 & \frac{1}{3} & 3 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 2 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 2 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ 4 & 4 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 3 & 4 & 1 & 1 \\ 4 & 4 & \frac{1}{2} & 3 & \frac{1}{2} & 3 & 4 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_{kl} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 \\ 3 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{2} \\ 3 & 3 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 3 & 3 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ 2 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{3} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 \\ 2 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{3} & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$B_{kl} = \begin{bmatrix} 0 & -0.133 & -0.333 & 0 & -0.167 & -0.25 & -0.3 & -0.25 & -0.833 \\ 2 & 0 & -0.133 & -0.167 & -0.083 & -0.25 & 3 & -0.75 & -0.8 \\ 4 & 2 & 0 & 4 & 3 & -0.667 & 5 & 1 & 4 \\ 0 & 1 & -0.8 & 0 & -0.667 & -0.3 & -0.667 & 5 & -0.3 \\ 3 & 1 & -0.3 & 2 & 0 & -0.3 & 2 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 0 & 3 & -0.3 & -0.833 \\ 3 & -0.3 & -0.833 & 2 & -0.133 & -0.75 & 0 & -0.25 & -0.75 \\ 2 & 3 & -0.167 & -0.833 & 0 & 3 & 2 & 0 & -0.75 \\ 5 & 4 & -0.8 & 3 & -0.167 & 5 & 5 & 3 & 0 \end{bmatrix}.$$

其中:  $i \in [-1,1]$  ,对  $i$  取中间值  $i = 0$  ,得到  $A_{kl} = A'_{kl}$  ,采用相容矩阵法对  $A'_{kl}$  进行一致性处理,相

容矩阵为:

$$D_{kl} = \begin{bmatrix} 1 & 0.622 & 0.359 & 0.464 & 0.359 & 0.406 & 0.622 & 0.501 & 0.501 \\ 1.608 & 1 & 0.576 & 0.783 & 0.541 & 0.703 & 1 & 0.794 & 0.819 \\ 2.794 & 1.737 & 1 & 1.361 & 0.944 & 1.220 & 1.737 & 1.379 & 1.423 \\ 2.053 & 1.277 & 0.735 & 1 & 0.693 & 0.897 & 1.277 & 1.013 & 1.046 \\ 2.961 & 1.841 & 1.060 & 1.442 & 1 & 1.293 & 1.841 & 1.461 & 1.509 \\ 2.289 & 1.423 & 0.819 & 1.115 & 0.773 & 1 & 1.423 & 1.130 & 1.167 \\ 1.608 & 1 & 0.576 & 0.783 & 0.543 & 0.702 & 1 & 0.794 & 0.819 \\ 2.026 & 1.260 & 0.725 & 0.987 & 0.684 & 0.885 & 1.260 & 1 & 1.032 \\ 1.963 & 1.220 & 0.702 & 0.956 & 0.663 & 0.857 & 1.220 & 0.969 & 1 \end{bmatrix}.$$

根据公式 (7) 可得指标权重为  $w_j = (0.054, 0.088, 0.153, 0.112, 0.162, 0.125, 0.088, 0.111, 0.107)$ . 由此可知, 车辆性能(0.162) > 道路路线(0.153) > 交通环境(0.125) > 驾驶员能力与素质(0.112) > 安全管理(0.111) > 救援管理(0.107). 车辆性能所占的权重最大, 因此要定期对车辆的性能进行检查, 关注车辆制动、转向等性能是否良好. 另外在进行道路规划时, 交通规划部门应该对道路进行综合考察以及合理的规划, 以减少交通事故.

2.2 城市道路安全性集对分析

根据各因素分级标准表实测城市道路交通安全等级, 如表 2 所示. 根据公式 (5) 得出  $\mu(A, B_1) = 0.733 + 0.054i_1 + 0.088i_2 + 0.125j$ . (12)

根据公式 (6) 和 (7) 得出

$$\mu(A, B_1) = 0.801 + 0.001i + 0.198j. \quad (13)$$

当  $i = 0, j = -1$  时,

$$\mu(A, B_1) = 0.603.$$

同理可得

$$\mu(A, B_2) = 0.082 ;$$

$$\mu(A, B_3) = -0.613.$$

通过对兰州某街道的道路交通实测指标值分别与等级 I 组成集合的联系度  $\mu(A, B_1)$ , 与等级 II 组成集合的联系度  $\mu(A, B_2)$ , 与等级 III 组成集合的联系度  $\mu(A, B_3)$  进行对比, 得出  $\mu(A, B_1) > \mu(A, B_2) > \mu(A, B_3)$ . 确定联系度最大的  $\mu(A, B_1)$  所对应的 I 级为此街道道路交通安全等级的最终评价结果, 由此可见该条道路的安全性良好, 安全等级是 I 级.

2.3 集对分析法与其他评价法的结果比较

2.3.1 集对分析法与模糊综合评价法的结果比较

将兰州道路交通安全评价指标分为 I 级(优秀)、II 级(良好)、III 级(差)3 个等级, 依据兰州

道路交通安全评价指标现状评分结果, 构造每个评价指标相对于 3 个等级的隶属度矩阵  $R$ ,

$$R = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}.$$

为了验证城市道路安全集对分析模型的准确性, 设专家对于城市道路交通安全模糊综合评价模型中各层评判权重和城市道路交通安全集对分析模型中的权重相同. 最终得出兰州市该条道路交通安全评价分数为 80.785, 属于 I 级, 说明该条道路交通安全状况良好. 并且模糊综合评价结果与集对分析法评价结果安全等级相同.

2.3.2 集对分析法与灰色评价法<sup>[12-13]</sup>的结果比较

对该条道路的交通安全进行灰聚类评价,  $k = 1$  表示第一灰类—“好”, 说明交通安全状况良好;  $k = 2$  表示第二灰类“中”, 说明交通安全状况中等;  $k = 3$  表示第三灰类“差”, 说明交通安全状况较差. 计算可得该条道路的灰聚类序列  $\sigma_1 = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ 0.931 & 0.663 & 0.427 \end{bmatrix}$ ,  $\sigma_{1k} = \max\{\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}\} = 0.931 = \sigma_{11}$ .  $k = 1$ , 即该条道路的交通安全状况为第一灰类“好”. 灰色评价法评价结果与集对分析法评价结果相同. 通过这两种方法与集对分析方法评价结果的比较, 验证了该评价方法的有效性及其实用性.

结果表明, 该方法相比于模糊综合评价方法和灰色评价法, 其优越性在于可以把系统中的确定性和不确定性作为一个系统来进行处理, 以系统的角度来分析确定性和不确定性的相互作用,

并且计算简单。

### 3 结论

采用集对分析理论建立了城市道路交通安全性评价的集对分析模型。此方法提出以联系度值的大小作为评价城市道路交通安全好坏的标准,从根本上量化评价了城市道路交通安全性。最后应用建立的城市道路交通安全性评价集对分析模型,对兰州市某道路的交通安全进行评价,得出的结论与实际的道路交通安全状况相吻合,从而验证了该评价方法的实用性。

### 参考文献:

- [1] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 11-23.
- [2] 孟宪萌, 胡和平. 基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2009, 40(3): 257-262.
- [3] CHEN J F. Ecological and economic system health assessment based on fuzzy set pair analysis: a case study of northwest region, china[J]. Chinese journal of population resources & environment, 2012, 10(3): 107-115.
- [4] DU C Y, YU J J. Operating mechanism and set pair analysis model of a sustainable water resources system[J]. Frontiers of environmental science & engineering, 2015, 9(2): 288-297.
- [5] LIU J C, YAN S L, QI J X. A hybrid particle swarm optimization approach with neural network and set pair analysis for transmission network planning[J]. Journal of central south university of technology, 2008, 15(2 Supplement): 321-326.
- [6] 马士宾, 王选仓, 王朝辉, 等. 基于集对论的路面使用性能变权综合评价方法[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, 31(6): 969-972.
- [7] 赵克勤. 集对分析中的不确定性理论[J]. 大自然探索, 1995(4): 87-88.
- [8] 马辉. 路网环境下高速公路交通安全和运行效率保障技术研究[D]. 西安: 长安大学汽车学院, 2013.
- [9] 李丽斌, 符铎砂. 基于集对分析的平面交叉口安全性评价[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(3): 542-544.
- [10] 叶义成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006. 125-129.
- [11] 张薇薇. 基于集对分析和模糊层次分析法的城市系统评价方法[D]. 合肥: 合肥工业大学土木与水利工程学院, 2007.
- [12] 牛会永. 基于灰色理论的城市道路交通安全评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(9): 92-95.
- [13] 蔺宏良, 余强. 基于模糊聚类的西安市区轿车行驶工况构建[J]. 郑州大学学报(工学版), 2015, 36(4): 96-99.

## Safety Evaluation of Urban Traffic Based on SPA

ZHANG Shaonan, QIAN Xiaodong

(School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The previous method in safety evaluation of urban traffic just proceed part of the uncertain information, while the SPA (Set Pair Analysis) theory was able to process and describe all the fuzzification and indeterminacy caused by uncertain factors uniformly. This paper adopted SPA to evaluate the safety of urban traffic. Taking urban traffic system as the object, the evaluation was conducted in the following two aspects. Firstly, it was to build the SPA model of index weight and to analyze the weight of influential factors; Secondly, it was to group the actual targeted value and the standard targeted value into two sets, which were consequently formed as one set pair. Due to the different evaluation criteria, there might be several set pairs. By calculating the connection degrees of those set pairs, the grade with the highest connection degree would be chosen as the final evaluation result. The feasibility and actual value of this method were verified by instance analysis.

**Key words:** set pair analysis; traffic safety; safety evaluation; urban road; index weight