

doi:10.3969/j.issn.1674-0696.2015.03.27

交通标志有效性的模糊综合评价

陈沅江,王 贇

(中南大学 资源与安全工程学院,湖南 长沙 410083)

摘要:从交通标志设计的版面设计、结构设计和布设等3个环节,对影响交通标志有效性的因素进行识别。运用层次分析法建立交通标志有效性评价指标体系,并借助数学中的多级模糊综合评价方法,分析了交通标志的有效性;利用1~9标度法和Boolean矩阵来确定各层次因素的权重集,并提出以70分为界的得分评价。实例计算表明:该方法不仅能够对交通标志的有效性进行整体评价,而且能够简单方便地辨识出影响其作用发挥的主要因素。

关键词:交通工程;交通标志;有效性;模糊综合评价;评价指标;得分评价

中图分类号:U491.52

文献标志码:A

文章编号:1674-0696(2015)03-135-07

Fuzzy Comprehensive Evaluation for Effectiveness of Traffic Signs

Chen Yuanjiang, Wang Yun

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract: Influence factors of traffic sign effectiveness were identified from the three links of traffic sign design: layout design, structural design and arrangement design. The analytic hierarchy process was used to establish the effectiveness evaluation index system of traffic signs, and the effectiveness of traffic signs was analyzed with the aid of multistage fuzzy comprehensive evaluation method of mathematics. In the process, it's 1~9 scaling method and Boolean matrix that were used to determine the weight of each level factors set, and the score evaluation at 70 points-boundary was put forward. The results of calculating example show that this method not only can evaluate the overall effectiveness of the traffic sign, but also can identify the main factors preventing it from working easily and conveniently.

Key words: traffic engineering; traffic signs; effectiveness; fuzzy comprehensive evaluation; evaluation index; score evaluation

0 引言

随着道路网络的发展与延伸,交通标志开始渗透到人们出行的每一个角落。作为道路信息的传递者,交通标志在整个交通系统中的引导作用无可替代。但是调查发现,当前的交通标志还存在着诸多问题^[1]:①缺乏可见性。标志中文字或图案大小不能满足驾驶员的视觉要求,标志的设置高度未能充分考虑驾驶员的视觉特性,标志被树木、建筑物或广告牌所遮挡,标志与周围环境对比不明显,可见性被弱化,标志缺乏养护和维修;②缺乏完整性。标志包含的信息量不足,标志包含的信息量适当,但是有效信息量不足,某些需要两个或多个标志配合使用的路段,标志设置不足;③缺乏效率性。标志表述方式不够精简,导致信息量过多,标志包含无关信息,导致信息量过多;④缺乏协调性。标志版面设计不合理,协调性差,标志提供的信息与其他沿线设施不一

致;⑤缺乏提示性。在不必要处设置标志,标志内容设计与实际情况不符。为此,有必要对交通标志的有效性进行评价,从而提出有针对性的改进措施和建议,最大程度地发挥交通标志的功能。

A. Chapanis^[2]研究了交通标志的颜色对于驾驶员识别的作用。1998年,交通部公路研究院通过试验,对交通标志的颜色、汉字结构、标志版面大小进行了较为系统的研究,取得了较好的成果,从而为GB 5768—1999《道路交通标志和标线》的制定提供了试验数据。J. G. Ells,等^[3]根据驾驶员理解的速度对具有象征性的交通标志和文字标志进行了评价。吴文静^[1]对交通警告标志设置的研究发现:当标志设置的正面效应抵消或大于对驾驶员整体危险感知产生的负面效应时,标志的设置是有效的。然而,仅从驾驶员的角度出发,选取所得的评价指标往往过于笼统抽象,在评定过程中难以具体;并且就现

收稿日期:2013-09-27;修订日期:2013-12-12

第一作者:陈沅江(1969—),男,湖南湘潭人,副教授,工学博士,主要从事道路交通安全方面的研究。E-mail: 1506983607@qq.com。

阶段的经济水平而言,还应当在充分考虑人的安全的同时,适当考虑标志的成本投入。H. T. Zwahlen, 等^[4]研究了交通标志的辨认距离。李艳玲,等^[5]分析驾驶员所处的人机系统,并建立了交通标志有效性评价指标体系。

对于交通标志有效性的分析而言,测定多因素的量值是很困难的,甚至是根本无法测定的。而模糊数学法将模糊的安全信息定量化,可对多因素进行定量评价^[6],因此,利用模糊综合评价法分析交通标志的有效性,可以把原本量值测定困难或是无法测定的因素定量化,得出定量化的结果,以便更加直观地反映出被评价交通标志的有效程度。

笔者将从交通标志设计过程的版面设计、结构设计和布设等 3 个环节出发^[7],充分考虑人机工程学的相关原理选取评价指标^[8],运用多级模糊综合评价方法,对交通标志的有效性评价进行研究,以便

所得评价结果全面、合理、可靠。

1 交通标志有效性评价指标体系建立

交通标志设计过程 3 个环节影响交通标志有效性的因素见表 1。

表 1 交通标志有效性的影响因素

Table 1 Influence factors of traffic sign effectiveness

环节	影响因素
版面设计	图形符号和文字,颜色、形状和尺寸,亮度,信息量等
结构设计	结构形式,支撑结构
布设	布设地点,前置距离,横向位置,悬挂高度,悬挂倾角,遮挡程度,环境背景等

运用层次分析法建立交通标志有效性评价指标体系^[9],如图 1,在图中当标志版面的构成中不包含文字时, U_{14} 的相关内容删除,其他各符号均不变;当标志版面的构成中不包含图形符号时, U_{13} 的相关内容删除,其他各符号均不变。

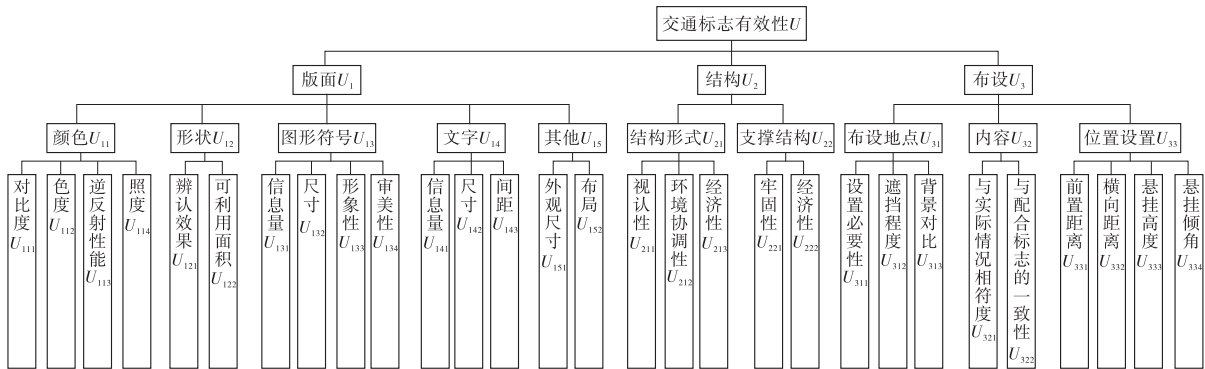


图 1 交通标志有效性评价指标体系

Fig.1 Effectiveness evaluation index system of traffic signs

2 交通标志有效性的模糊综合评价

根据所建立的评价指标体系,交通标志有效性的模糊综合评价分为 3 个层次。因此,采用多层次模糊综合评判^[10]对其进行评价。

2.1 建立因素集

按照多层次模糊综合评判,建立 3 层次因素集。

第 1 层次因素集: $U = \{U_1, U_2, U_3\}$ 。

第 2 层次因素集: $U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}\}$,

$U_2 = \{U_{21}, U_{22}\}$, $U_3 = \{U_{31}, U_{32}, U_{33}\}$ 。

第 3 层次因素集: $U_{11} = \{u_{111}, u_{112}, u_{113}, u_{114}\}$, $U_{12} = \{u_{121}, u_{122}\}$, $U_{13} = \{u_{131}, u_{132}, u_{133}, u_{134}\}$, $U_{14} = \{u_{141}, u_{142}, u_{143}\}$, $U_{15} = \{u_{151}, u_{152}\}$; $U_{21} = \{u_{211}, u_{212}, u_{213}\}$, $U_{22} = \{u_{221}, u_{222}\}$; $U_{31} = \{u_{311}, u_{312}, u_{313}\}$, $U_{32} = \{u_{321}, u_{322}\}$, $U_{33} = \{u_{331}, u_{332}, u_{333}, u_{334}\}$ 。

2.2 建立权重集

采用矩阵判断标度(1~9 标度法)进行每两种元素间的相互比较,构造判断矩阵(表 2)。利用判断矩阵对应的 Boolean 矩阵对其一致性进行检验,若相容性较好则求取此判断矩阵的相应向量并进行归

一化,从而确定各层次因素的权重集。

表 2 矩阵判断标度

Table 2 The scale to judge matrix

标度	含义
1	表示两个元素相比,具有同样的重要性
3	表示两个元素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比,前者比后者极其重要
9	表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值

$$\text{判断矩阵 } D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nn} \end{bmatrix}$$

式中: d_{ij} 为元素 i 和元素 j 的重要性之比; d_{ji} 为元素 j 和元素 i 的重要性之比; $d_{ii} = 1$; $d_{ij} \cdot d_{ji} = 1$ 。

2.2.1 权重的确定方法

1)若判断矩阵 D 满足 $(i, j, k, d_{ij} \geq 1, d_{ij} \geq 1 \Rightarrow d_{ik} \geq 1)$,则认为判断矩阵 D 的相容性很好。

检验矩阵 D 是否满足该条件:做一个 Boolean

矩阵 $D^* = (d_{ij}^*)$ 使得:

$$d_{ij}^* = \begin{cases} 1, & d_{ij} \geq 1, \\ 0, & d_{ij} < 1. \end{cases}$$

如果 Boolean 矩阵 D^* 满足传递性,即 $D^* \cdot D^* \subseteq D^*$,则认为判断矩阵 D 相容性较好,否则认为 D 的相容性不好。

2)若判断矩阵 D 的相容性好,则取 $\omega_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n d_{ij}}$ 作为元素 i 的权重估计值。再对向量 $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 进行归一化,并把归一化后的向量 w 作为权重向量。

2.2.2 权重集的确定

1)第1层次因素权重集的确定

对第1层次因素构造判断矩阵:

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1/5 \\ 1/7 & 1 & 1/8 \\ 5 & 8 & 1 \end{bmatrix}$$

其所对应的 Boolean 矩阵为:

$$D^* = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

则,

$$D^* \cdot D^* = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = D^*$$

故,可认为 D 的相容性较好。

$$\text{所以, } \omega_1 = \sqrt[3]{1 \times 7 \times \frac{1}{5}} = 1.119, \omega_2 =$$

$$\sqrt[3]{\frac{1}{7} \times 1 \times \frac{1}{8}} = 0.261, \omega_3 = \sqrt[3]{5 \times 8 \times 1} = 3.420。$$

则, $(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (1.119 \quad 0.261 \quad 3.420)$, 进行归一化得权重向量 $w = (0.233 \quad 0.054 \quad 0.713)$ 。

即第1层次因素的权重集 $A = \{A_1, A_2, A_3\} = (0.233 \quad 0.054 \quad 0.713)$ 。

2)第2层次因素权重集的确定

对 U_1 构造判断矩阵:

①当标志版面构成中同时包含图形符号和版面设计时

$$D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1/6 & 1/6 & 4 \\ 2 & 1 & 1/5 & 1/5 & 5 \\ 6 & 5 & 1 & 1 & 8 \\ 6 & 5 & 1 & 1 & 8 \\ 1/4 & 1/5 & 1/8 & 1/8 & 1 \end{bmatrix}$$

其所对应的 Boolean 矩阵为:

$$D_1^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{则, } D_1^* \cdot D_1^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = D_1^*$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = D_1^*$$

故,可认为 D_1 的相容性较好,所以:

$$\omega_{11} = \sqrt[5]{1 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} \times \frac{1}{6} \times 4} = 0.561$$

$$\omega_{12} = \sqrt[5]{2 \times 1 \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \times 5} = 0.833$$

$$\omega_{13} = \sqrt[5]{6 \times 5 \times 1 \times 1 \times 8} = 2.993$$

$$\omega_{14} = \sqrt[5]{6 \times 5 \times 1 \times 1 \times 8} = 2.993$$

$$\omega_{15} = \sqrt[5]{\frac{1}{4} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{8} \times 1} = 0.239$$

则, $(\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \omega_{14}, \omega_{15}) = (0.561 \quad 0.833 \quad 2.933 \quad 2.933 \quad 0.239)$, 进行归一化得权重向量 $w = (0.074 \quad 0.109 \quad 0.393 \quad 0.393 \quad 0.031)$ 。

即, U_1 所包含因素的权重集 $A_1 = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{15}\} = (0.074 \quad 0.109 \quad 0.393 \quad 0.031)$ 。

②当标志版面构成中不包含文字时

$$D_1' = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & 4 \\ 2 & 1 & \frac{1}{5} & 5 \\ 6 & 5 & 1 & 8 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{8} & 1 \end{bmatrix}$$

对应的 Boolean 矩阵为:

$$D_1'^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{则, } D_1'^* \cdot D_1'^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = D_1'^*$$

故,可认为 D_1' 的相容性较好,所以:

$$\omega_{11}' = \sqrt[4]{1 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} \times 4} = 0.760$$

$$\omega_{12}' = \sqrt[4]{2 \times 1 \times \frac{1}{5} \times 5} = 1.189$$

$$\omega_{13}' = \sqrt[4]{6 \times 5 \times 1 \times 8} = 3.936$$

$$\omega_{14}' = \sqrt[4]{\frac{1}{4} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{8} \times 1} = 0.281$$

则, $(\omega_{11}', \omega_{12}', \omega_{13}', \omega_{14}') = (0.760 \quad 1.189 \quad 3.936 \quad 0.281)$, 进行归一化得权重向量 $w' = (0.123 \quad 0.193 \quad 0.638 \quad 0.046)$ 。

即 U_1 所包含因素的权重集 $A_1' = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{15}\} = (0.123 \quad 0.193 \quad 0.638 \quad 0.046)$ 。

③当标志版面构成中不包含图形符号时

$$D_1''^* = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{6} & 4 \\ 2 & 1 & \frac{1}{5} & 5 \\ 6 & 5 & 1 & 8 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & \frac{1}{8} & 1 \end{bmatrix}$$

对应的 Boolean 矩阵为:

$$D_1''^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

则,可得 $w'' = (0.123 \quad 0.193 \quad 0.638 \quad 0.046)$ 。

即 U_1 所包含因素的权重集 $A_1'' = \{A_{11}, A_{12}, A_{14}, A_{15}\} = (0.123 \quad 0.193 \quad 0.638 \quad 0.046)$ 。

同理,对 U_2, U_3 分别构造判断矩阵 D_2, D_3 并计算结果,具体数值见表3。

表3 D_2, D_3 矩阵及其计算结果

Table 3 Matrix D_2 & D_3 and its calculation results

D_2	$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过
D_2^*	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	w_2 (0.750 0.250)
D_3	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过
D_3^*	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	w_3 (0.279 0.649 0.072)

则, U_2 所包含因素的权重集 $A_2 = \{A_{21}, A_{22}\} = (0.750 \quad 0.250)$ 。 U_3 所包含因素的权重集 $A_3 = \{A_{31}, A_{32}, A_{33}\} = (0.279 \quad 0.649 \quad 0.072)$ 。

3) 第3层次因素权重集的确定

对 $U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}$ 分别构造判断矩阵 $D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}$, 计算结果见表4。

表4 $D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}$ 矩阵及其计算结果

Table 4 Matrix $D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}$ and their calculation results

D_{11}	$\begin{bmatrix} 1 & 6 & 1 & 4 \\ 1/6 & 1 & 1/6 & 1/3 \\ 1 & 6 & 1 & 4 \\ 1/4 & 3 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$	D_{11}^*	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过	w_{11}	(0.410 0.058 0.410 0.122)
D_{12}	$\begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 1/4 & 1 \end{bmatrix}$	D_{12}^*	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过	w_{12}	(0.800 0.200)
D_{13}	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/2 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/4 & 4 \\ 2 & 4 & 1 & 6 \\ 1/5 & 1/4 & 1/6 & 1 \end{bmatrix}$	D_{13}^*	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过	w_{13}	(0.309 0.142 0.492 0.057)
D_{14}	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	D_{14}^*	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过	w_{14}	(0.649 0.279 0.072)
D_{15}	$\begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$	D_{15}^*	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	一致性检验通过	w_{15}	(0.333 0.667)

则, $U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}$ 所包含因素的权重集:

$A_{11} = \{a_{111}, a_{112}, a_{113}, a_{114}\} = (0.410 \quad 0.058 \quad 0.410 \quad 0.122)$

$A_{12} = \{a_{121}, a_{122}\} = (0.800 \quad 0.200)$

$A_{13} = \{a_{131}, a_{132}, a_{133}, a_{134}\} = (0.309 \quad 0.142 \quad 0.492 \quad 0.057)$

$A_{14} = \{a_{141}, a_{142}, a_{143}\} = (0.649 \quad 0.279 \quad 0.072)$

$A_{15} = \{a_{151}, a_{152}\} = (0.333 \quad 0.667)$

同理,对第3层次的其他因素集分别构造判断矩阵:

$$\begin{aligned} D_{21} &= \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}, D_{22} = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1/5 & 1 \end{bmatrix}; \\ D_{31} &= \begin{bmatrix} 1 & 6 & 7 \\ 1/6 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, D_{32} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}, \\ D_{33} &= \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

则, U_{21} 所包含因素的权重集 $A_{21} = \{a_{211}, a_{212}, a_{213}\} = (0.649 \quad 0.279 \quad 0.072)$

U_{22} 所包含因素的权重集 $A_{22} = \{a_{221}, a_{222}\} = (0.833 \quad 0.167)$

U_{31} 所包含因素的权重集 $A_{31} = \{a_{311}, a_{312}, a_{313}\} = (0.758 \quad 0.151 \quad 0.091)$

U_{32} 所包含因素的权重集 $A_{32} = \{a_{321}, a_{322}\} = (0.750 \quad 0.250)$

U_{33} 所包含因素的权重集 $A_{33} = \{a_{331}, a_{332}, a_{333}, a_{334}\} = (0.488 \quad 0.159 \quad 0.275 \quad 0.078)$

2.3 建立评判集

建立评语集 $V = \{\text{优, 良, 中, 次, 差}\}$ 5个级别。

2.4 评判矩阵的确定

2.4.1 第3层次因素集的评判矩阵的确定

依据所建立的评语集,由专家对第3层次的10个因素集中的各因素分别进行打分,可得各因素的评判集。将各因素集中所包含因素的评判集组成矩阵,即得相应因素集的评判矩阵,即:

$$R_{11} = \begin{bmatrix} R_{111} \\ R_{112} \\ R_{113} \\ R_{114} \end{bmatrix}, R_{12} = \begin{bmatrix} R_{121} \\ R_{122} \end{bmatrix}, R_{13} = \begin{bmatrix} R_{131} \\ R_{132} \\ R_{133} \\ R_{134} \end{bmatrix},$$

$$R_{14} = \begin{bmatrix} R_{141} \\ R_{142} \\ R_{143} \end{bmatrix}, R_{15} = \begin{bmatrix} R_{151} \\ R_{152} \end{bmatrix}; R_{21} = \begin{bmatrix} R_{211} \\ R_{212} \\ R_{213} \end{bmatrix}, R_{22} = \begin{bmatrix} R_{221} \\ R_{222} \end{bmatrix};$$

$$R_{31} = \begin{bmatrix} R_{311} \\ R_{312} \\ R_{313} \end{bmatrix}, R_{32} = \begin{bmatrix} R_{321} \\ R_{322} \end{bmatrix}, R_{33} = \begin{bmatrix} R_{331} \\ R_{332} \\ R_{333} \\ R_{334} \end{bmatrix}。$$

2.4.2 第2层次因素集的评判矩阵的确定

1) 由评价模型 $B_{ij} = A_{ij} \cdot R_{ij}$ 可求得第2层次因素的评价结果 B_{ij} ;

2) 对 B_{ij} 进行归一化处理,可得第2层次因素的

单个因素的评判集 B_{ij}' ;

3) 将第2层次各个因素集中所包含因素的评判集组成矩阵,即得相应因素集的评判矩阵,即:

$$R_1 = \begin{bmatrix} B_{11}' \\ B_{12}' \\ B_{13}' \\ B_{14}' \\ B_{15}' \end{bmatrix}; R_2 = \begin{bmatrix} B_{21}' \\ B_{22}' \end{bmatrix}; R_3 = \begin{bmatrix} B_{31}' \\ B_{32}' \\ B_{33}' \end{bmatrix}。$$

2.4.3 第1层次因素集的评判矩阵的确定

1) 由评价模型 $B_i = A_i \cdot R_i$ (当标志版面的构成中不包含文字时, A_i' 代替 A_i ; 当标志版面的构成中不包含图形符号时, A_i'' 代替 A_i) 可求得第1层次因素的评价结果 B_i ;

2) 对 B_i 进行归一化处理,可得第1层次因素的单个因素的评判集 B_i' ;

3) 将第1层次因素集中所包含因素的评判集组成矩阵,即得第1层次因素集的评判矩阵,即:

$$R = \begin{bmatrix} B_1' \\ B_2' \\ B_3' \end{bmatrix}$$

2.5 模糊综合评价

2.5.1 分级评价

1) 对因素子集 U_{ij} 进行1级综合评价

$B_{ij} = A_{ij} \cdot R_{ij}$, 归一化处理得 B_{ij}' 。

2) 对因素子集 U_i 进行2级综合评价

$B_i = A_i \cdot R_i$ (当标志版面的构成中不包含文字时, A_i' 代替 A_i ; 当标志版面的构成中不包含图形符号时, A_i'' 代替 A_i), 归一化处理得 B_i' 。

3) 对 U 进行3级综合评价

$B = A \cdot R$, 归一化处理得 B' 。

2.5.2 得分评价

为了直观地反映出整个交通标志系统及各评价指标的有效性程度,分别进行评分,评分值见表5。

表5 有效性评分

Table 5 The evaluated value of effectiveness					
分数 ζ	95	80	65	50	35
级别	优	良	中	次	差
得分 L	>90	80~90	60~79	40~59	<40
有效性级别	非常有效	较有效	一般	较无效	无效

得分 $L = \zeta_1 b_1 + \zeta_2 b_2 + \zeta_3 b_3 + \zeta_4 b_4 + \zeta_5 b_5$ 。

由于评价指标较多,为了减少计算量而又能够找出造成交通标志有效性偏低的原因,可进行如下操作:

1) 对整个交通标志系统进行得分评价,如果得分 >70,则认为该交通标志有效,评价结束;如果得分 <70,则需要对其下一层子系统进行得分评价。

2) 如果子系统得分 >70 , 则认为该子系统有效, 评价结束; 如果子系统得分 <70 , 则需对其下一层子系统进行评价。

3) 如此直到指标层为止, 找出 <60 分的指标并及时进行改进。

3 实例应用

以长沙县汽配城路和东升路交汇处的十字路口指路标志为例, 对其有效性进行评价。该路口除指路标志外, 还设置有红绿灯以及交通标志线。距离十字路口不远处有广告牌, 路边种植有树木。

1) 依据笔者所建立的评语集, 由专家对该指路标志进行打分可得评价矩阵 R_{ij} :

$$R_{11} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{12} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{14} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{15} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_{21} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{22} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{31} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_{32} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_{33} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix}$$

2) 对 U_{ij} 进行 1 级综合评价

$$B_{11} = (0.300 \quad 0.400 \quad 0.400 \quad 0.200 \quad 0.200)$$

$$\rightarrow B_{11}' = (0.200 \quad 0.267 \quad 0.267 \quad 0.133 \quad 0.133)$$

$$B_{12} = (0.500 \quad 0.400 \quad 0.200 \quad 0.000 \quad 0.000)$$

$$\rightarrow B_{12}' = (0.454 \quad 0.364 \quad 0.182 \quad 0.000 \quad 0.000)$$

$$B_{13} = (0.200 \quad 0.400 \quad 0.309 \quad 0.200 \quad 0.100)$$

$$\rightarrow B_{13}' = (0.165 \quad 0.331 \quad 0.256 \quad 0.165 \quad 0.083)$$

$$B_{14} = (0.100 \quad 0.279 \quad 0.400 \quad 0.400 \quad 0.200)$$

$$\rightarrow B_{14}' = (0.073 \quad 0.202 \quad 0.290 \quad 0.290 \quad 0.145)$$

$$B_{15} = (0.333 \quad 0.300 \quad 0.500 \quad 0.300 \quad 0.100)$$

$$\rightarrow B_{15}' = (0.217 \quad 0.196 \quad 0.326 \quad 0.196 \quad 0.065)$$

$$B_{21} = (0.400 \quad 0.400 \quad 0.279 \quad 0.100 \quad 0.000)$$

$$\rightarrow B_{21}' = (0.339 \quad 0.339 \quad 0.237 \quad 0.085 \quad 0.000)$$

$$B_{22} = (0.300 \quad 0.400 \quad 0.300 \quad 0.100 \quad 0.000)$$

$$\rightarrow B_{22}' = (0.273 \quad 0.363 \quad 0.273 \quad 0.091 \quad 0.000)$$

$$B_{31} = (0.600 \quad 0.400 \quad 0.151 \quad 0.100 \quad 0.091)$$

$$\rightarrow B_{31}' = (0.447 \quad 0.298 \quad 0.113 \quad 0.074 \quad 0.068)$$

$$B_{32} = (0.100 \quad 0.400 \quad 0.400 \quad 0.250 \quad 0.200)$$

$$\rightarrow B_{32}' = (0.074 \quad 0.296 \quad 0.296 \quad 0.186 \quad 0.148)$$

$$B_{33} = (0.275 \quad 0.400 \quad 0.300 \quad 0.100 \quad 0.100)$$

$$\rightarrow B_{33}' = (0.234 \quad 0.341 \quad 0.255 \quad 0.085 \quad 0.085)$$

3) 对 U_i 进行 2 级综合评价

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.200 & 0.267 & 0.267 & 0.133 & 0.133 \\ 0.454 & 0.364 & 0.182 & 0.000 & 0.000 \\ 0.165 & 0.331 & 0.256 & 0.165 & 0.083 \\ 0.073 & 0.202 & 0.290 & 0.290 & 0.145 \\ 0.217 & 0.196 & 0.326 & 0.196 & 0.065 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.339 & 0.339 & 0.237 & 0.085 & 0.000 \\ 0.273 & 0.363 & 0.273 & 0.091 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.447 & 0.298 & 0.113 & 0.074 & 0.068 \\ 0.074 & 0.296 & 0.296 & 0.186 & 0.148 \\ 0.234 & 0.341 & 0.255 & 0.085 & 0.085 \end{bmatrix}$$

$$\text{则: } B_1 = (0.165 \quad 0.331 \quad 0.290 \quad 0.290 \quad 0.145)$$

$$\rightarrow B_1' = (0.136 \quad 0.271 \quad 0.237 \quad 0.237 \quad 0.119)$$

$$B_2 = (0.339 \quad 0.339 \quad 0.250 \quad 0.091 \quad 0.000)$$

$$\rightarrow B_2' = (0.333 \quad 0.333 \quad 0.245 \quad 0.089 \quad 0.000)$$

$$B_3 = (0.279 \quad 0.296 \quad 0.296 \quad 0.186 \quad 0.148)$$

$$\rightarrow B_3' = (0.231 \quad 0.246 \quad 0.246 \quad 0.154 \quad 0.123)$$

4) 对 U 进行 3 级综合评价

$$R = \begin{bmatrix} 0.136 & 0.271 & 0.237 & 0.237 & 0.119 \\ 0.333 & 0.333 & 0.245 & 0.089 & 0.000 \\ 0.231 & 0.246 & 0.246 & 0.154 & 0.123 \end{bmatrix}$$

$$\text{则: } B = (0.231 \quad 0.246 \quad 0.246 \quad 0.233 \quad 0.123)$$

$$\rightarrow B' = (0.214 \quad 0.228 \quad 0.228 \quad 0.216 \quad 0.114)$$

5) 求交通标志系统得分

$$L = 95 \times 0.214 + 80 \times 0.228 + 65 \times 0.228 + 50 \times 0.216 + 35 \times 0.114 = 68.180 < 70$$

说明有效性偏低, 需要对其子系统进行得分评价。

6) 各级子系统及指标得分评价

交通标志的子系统得分见表 6。

表 6 交通标志子系统得分

Table 6 Score of traffic signs subsystem

系统名称	版面	结构	布设
得分	66.020 < 70	78.650 > 70	69.620 < 70

由表 6 知,需对版面、布设的子系统进行得分评价,得分情况见表 7。

表 7 版面、布设子系统得分

Table 7 Score of layout and arrangement design subsystem

系统名称	子系统名称	得分
版面	颜色	69.020 < 70
	形状	84.080 > 70
	图形符号	69.950 < 70
	文字	61.520 < 70
	其他	69.560 < 70
布设	布设地点	79.730 > 70
	内容	64.430 < 70
	位置设置	73.310 > 70

由表 7 知,需对颜色、图形符号、文字、其他、内容等所包含指标进行得分评价,得分情况见表 8。

表 8 需要评价的指标得分

Table 8 Score of index needing to be evaluated

子系统名称	指标	得分
颜色	对比度	80.000 > 60
	色度	59.000 < 60
	逆反射性能	59.000 < 60
	照度	69.500 > 60
图形符号	信息量 1	63.500 > 60
	尺寸 1	66.500 > 60
	形象性	75.500 > 60
	审美性	74.000 > 60
文字	信息量 2	57.500 < 60
	尺寸 2	63.500 > 60
	间距	75.500 > 60
其他	外观尺寸	80.000 > 60
	布局	59.000 < 60
内容	与实际情况相符度	72.500 > 60
	与配合标志的一致性	57.500 < 60

对表 8 进行分析可知:

1) 为了提高该交通标志的有效性,首先应当从色度、逆反射性能、信息量 2、布局、与配合标志的一致性进行着手。其中,信息量 2、与配合标志的一致性急需改善,色度、逆反射性能和布局改善的紧迫性稍微次之。

2) 照度、信息量 1、尺寸 1、尺寸 2 得分值均 < 70,需要引起重视,其中信息量 1 和尺寸 2 的得分 < 65,需要对其采取相应措施。

4 结 语

从交通标志设计的 3 个环节出发,借助数学中的多级模糊综合评价方法,对交通标志的有效性进行了分析与研究。辨识出各个环节影响交通标志有效性的因素;建立了交通标志有效性评价指标体系;

利用矩阵判断标度(1~9 标度法)和 Boolean 矩阵,确定各层次因素的权重集;提出以 70 分为界的得分评价。用所述评价方法进行实例分析,结果表明该方法不仅能够对交通标志的有效性进行整体评价,而且能够简单方便地辨识出影响其作用发挥的主要因素,为提出针对性的改进措施提供依据。

参考文献(References):

- [1] 吴文静. 交通警告标志设置有效性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006:12-15.
Wu Wenjing. The Effective Use of Traffic Warning Signs [D]. Changchun: Jilin University, 2006:12-15.
- [2] Chapanis A. Hazards associated with three signal words and four colours on warnings signs [J]. Ergonomics, 1994, 37 (2): 265-275.
- [3] Ellis J G, Dewar R E. Rapid comprehension of verbal and symbolic traffic sign messages [J]. Human Factors, 1979, 21 (2): 161-168.
- [4] Zwahlen H T, Hu Xiaohong, Sunkara M, et al. Recognition of traffic sign symbols in the field during daytime and nighttime [J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 1991, 35 (15): 1058-1062.
- [5] 李艳玲, 曹鹏, 戴权, 等. 基于人机工效学的交通标志有效性评价指标研究[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2009 (5): 226-229.
Li Yanling, Cao Peng, Dai Quan, et al. Study on the effectiveness evaluation index of traffic signs based on ergonomics [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application Technology, 2009 (5): 226-229.
- [6] 张景林, 崔国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002:153-156.
Zhang Jingling, Cui Guozhang. Safety System Engineering [M]. Beijing: Coal Industry Press, 2002:153-156.
- [7] 交通部公路交通安全工程研究中心. 道路交通标志[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006:8-23, 246-323.
The Department of Transportation Highway Traffic Safety Engineering Research Center. The Road Traffic Signs [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006:8-23, 246-323.
- [8] 米晓艺, 翟宁群, 吴京梅, 等. 农村公路安保设施有效性评价指标研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2012, 31 (3): 421-424.
Mi Xiaoyi, Zhai Ningqun, Wu Jingmei, et al. Research on validity evaluation indices of safety facilities in rural highways [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2012, 31 (3): 421-424.
- [9] 牛世峰, 石辉. 基于事故树的公路路段交通安全评价方法研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2013, 32 (1): 1-5.
Niu Shifeng, Shi Hui. Traffic safety evaluation method for highway section based on fault tree [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2013, 32 (1): 1-5.
- [10] 陈水利, 李敬功, 王向公. 模糊集理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005:198-201, 235-257.
Chen Shuli, Li Jingong, Wang Xiangong. Fuzzy Set Theory and Its Application [M]. Beijing: Science Press, 2005:198-201, 235-257.