

基于熵权物元模型的城市道路交通安全评价研究

李根读

(中冶赛迪建筑市政设计有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 科学评价城市道路交通系统的安全性, 对提高行车安全、减少事故具有重要意义。文中选取驾驶员、车辆、道路和环境四方面因素构建评价指标体系, 并引入熵权物元, 建立了城市道路交通安全评价模型; 以重庆主城区为例进行评价分析, 结果表明基于熵权物元模型的城市道路交通安全评价体系能较科学全面地评价城市道路交通系统的安全性。

关键词: 交通安全; 城市道路; 熵权物元; 评价模型

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)01-0045-04

对于城市道路交通安全, Zageer C. V. 分析了道路线形与交通事故的联系, 通过建立线性回归模型探究了交通运行环境对交通事故的影响; Andersson A. K. 等分析了自然环境对交通事故的影响, 认为气温变化较大及冰雪条件下交通事故发生率明显上升; Yau K. K. W. 等对多辆车发生交通事故的特征进行分析, 结合 Logistic 回归模型, 得出交通事故的发生具有明显的时间特征, 并与道路类型、驾驶员年龄与性别等因素密切相关; 刘东波等对云南省发生的特大道路交通事故进行分析, 得出驾驶员驾龄及道路线形设计等是引发交通事故的重要因素; 孙铁轩通过对交通事故数据的挖掘, 对交通事故发生机理进行分析, 指出在特殊路段及交叉口处的交通事故发生率较高。现有研究对城市道路安全性评价指标及改善措施进行了分析, 但针对城市道路安全性评价指标体系构建缺乏综合考量, 为保证评价结果的可靠性, 有必要从道路、驾驶员及行人方面综合选取城市道路安全性评价指标进行评价。

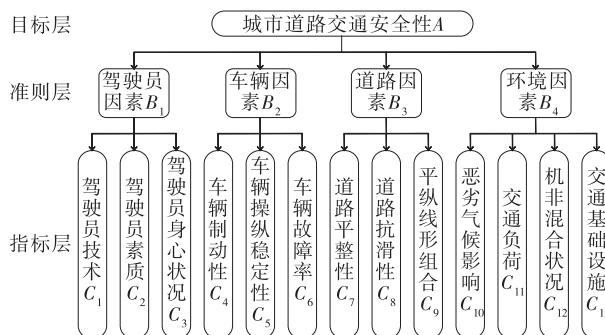
1 城市道路安全评价指标体系构建

1.1 评价指标选取

城市道路交通系统是一个多因素的综合系统, 受到交通参与者、车辆、道路及环境的影响, 建立城市道路交通安全评价指标体系应充分结合人、车、路、环境几方面进行考虑。

驾驶员作为城市道路交通系统的重要参与者, 其驾驶技术水平、素质及身心状况等都会影响车辆的行驶状况, 从而对城市道路交通安全带来巨大影响。车辆的制动性能直接影响车辆的安全行驶, 而车辆的操纵稳定性是车辆安全稳定行驶的保障, 车

辆在行驶过程中发生故障不仅会影响道路通行, 更易造成交通事故。在道路方面, 路面平整性是车辆稳定行驶的重要前提, 抗滑性是缩短制动距离的重要保障, 平纵线形组合的合理性也是影响道路交通安全的重要因素。另外, 环境因素也是道路交通安全不可忽视的一方面, 包括自然环境如恶劣天气导致能见度降低、路面附着系数降低, 行车周边环境如交通负荷度、机非混合情况、交通基础设施设置情况等。根据各指标的隶属关系构建城市道路交通安全评价指标体系(见图 1)。



1.2 评价指标量化分析

采用德尔菲法对定性指标进行量化。为明确专家打分依据, 对专家打分等级进行划分(见表1), 分

表 1 专家打分依据

分值	打分依据
0~60	十分不满意, 条件非常差
61~70	不满意, 条件较差
71~80	条件一般
81~90	满意, 条件较好
91~100	十分满意, 条件非常好

数越低,表示越不满意,条件越差;分数越高,表示越满意,条件越好。

2 基于熵权物元的评价模型构建

2.1 物元模型构建

(1) 确定城市道路交通系统中的安全物元。城市道路交通安全性 N 、特征向量 c 和特征值 v 组成的城市道路安全物元 $R=(N, c, v)$, 其中评价对象 N 中假设有 n 个特征向量, 则特征向量为 c_1, c_2, \dots, c_n , 对应的特征值分别为 v_1, v_2, \dots, v_n , R 即为 n 维城市道路交通安全评价物元, 可表示为:

$$R=(N, c, v)=\begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

(2) 确定经典域和节域。城市道路交通安全性指标有 n 个, 用 C_1, C_2, \dots, C_n 表示, 其经典域 R_i 可表示为:

$$R_i=\begin{bmatrix} N_i & C_1 & v_{i1} \\ & C_2 & v_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_{in} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_i & C_1 & [a_{i1}, b_{i1}] \\ & C_2 & [a_{i2}, b_{i2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{in}, b_{in}] \end{bmatrix}$$

式中: N_i 为所划分的 i 个评价等级; $v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}$ 为评价指标对于第 i 评价等级的取值范围。

节域物元矩阵 R_p 为:

$$R_p=(P, C, V_p)=\begin{bmatrix} P & C_1 & v_{p1} \\ & C_2 & v_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_{pn} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} P & C_1 & [a_{p1}, b_{p1}] \\ & C_2 & [a_{p2}, b_{p2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{pn}, b_{pn}] \end{bmatrix}$$

式中: P 为全体评价等级; $v_{p1}, v_{p2}, \dots, v_{pn}$ 为评价指标对于所有评价等级的取值范围, 即节域。

(3) 确定待评物元。按照评价指标所对应的各因素, 将其特征量值以矩阵的形式表达, 构成待评物元矩阵, 记为 R_0 :

$$R_0=(P_0, C, V)=\begin{bmatrix} P_0 & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix}$$

式中: P_0 为待评物元; v_1, v_2, \dots, v_n 为评价指标的具体取值。

(4) 计算关联系数。关联系数 $K_i(v_i)$ 表示被评价单元与某评价等级的关联程度, 按下式计算:

$$K_i(v_i)=\begin{cases} -\frac{P(v_i, v_{ij})}{|v_{ij}|} & v_i \in v_{ij} \\ \frac{P(v_i, v_{ij})}{P(v_i, v_{pj})-P(v_i, v_{ij})} & v_i \notin v_{ij} \text{ 且 } P(v_i, v_{ij}) \neq 0 \\ -P(v_i, v_{ij})-1 & v_i \notin v_{ij} \text{ 且 } P(v_i, v_{ij}) = 0 \end{cases}$$

$$|v_{ij}| = |b_{ij} - a_{ij}|$$

$$P(v_i, v_{ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij})$$

$$(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

$$P(v_i, v_{pj}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{pj} + b_{pj}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pj} - a_{pj})$$

$$(j=1, 2, \dots, m)$$

(5) 计算关联度, 确定评价等级。综合关联度表示所选评价指标与各评价等级相符的程度, 按下式计算:

$$K_i(p) = \sum_{i=1}^n w_i K_i(v_i)$$

式中: $K_i(p)$ 为待评物元关于第 i 等级的关联度; w_i 为指标的权重。

若 $K_j = \max K_j(p) > 0$, 则待评物元属于等级 j 。若对于一切 j 都有 $K_j(p) \leq 0$, 则待评物元不在所选取等级之中, 不符合物元评价要求, 需调整相应参数后重新进行计算, 直至得到最终要求的结果。

2.2 熵权法确定指标权重

(1) 构造判断矩阵。比较同一层各元素对于上层某个元素的相对重要性, 得到各指标的相对重要程度, 构造判断矩阵 A :

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n}$$

式中: a_i 与 a_j 为两两比较的因素数目; a_{ij} 为一因素相比另一因素的重要程度, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ij} \geq 0$; $i \neq j$; $i, j=1, 2, 3, \dots, n$; $a_{ii}=1$ 。

(2) 标准化处理。设判断矩阵为 p'_{ij} , 对矩阵中的各元素进行标准化处理, 越大越好的指标按式(1)处理, 越小越好的指标按式(2)处理。

$$P_{ij} = \frac{p'_{ij} - \min p'_{ij}}{\max p'_{ij} - \min p'_{ij}} \quad (1)$$

$$P_{ij} = \frac{\max p'_{ij} - p'_{ij}}{\max p'_{ij} - \min p'_{ij}} \quad (2)$$

(3) 熵值计算。设第 j 项指标的熵值为 e_j , 其计算公式为:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n \frac{P_{ij}}{a_j} \ln\left(\frac{P_{ij}}{a_j}\right)$$

式中: $a_j = \sum_{i=1}^n P_{ij}$; $k > 0, k = 1/\ln(n), e_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, n$ 。

(4) 差异系数计算。第 j 项指标的差异系数 g_j 按下式计算:

$$g_j = \frac{1 - e_j}{n - E_e}$$

式中: $0 \leq g_i \leq 1; E_e = \sum_{i=1}^n e_i$ 。

(5) 指标权重计算。第 j 项指标的权重 w_j 为:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}$$

3 重庆市主城区道路交通安全评价

3.1 重庆市主城区道路交通状况

至 2016 年,重庆市主城区道路达 4 654 km,主干路、次干路和支路比 2015 年均有所增加,不同等级道路长度及所占比例见图 2。主城区共有机动车 139.8 万辆,私人小汽车 98.8 万辆,汽车拥有量为 146 辆/(1 000 人)。在居民出行中,机动化出行总量达 892 万人次,其中小汽车出行 298.82 万人次,占出行总量的 33.5%,出行量较大。

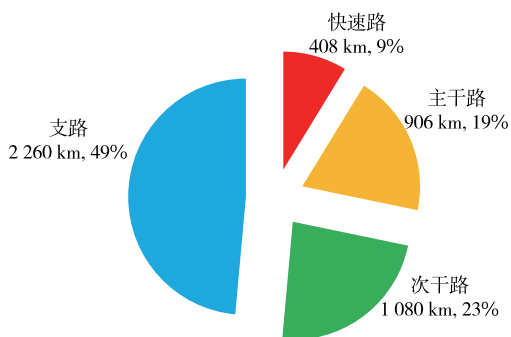


图 2 重庆市主城区道路供给分配比例

3.2 重庆主城区道路安全评价指标量化

采用德尔菲法对重庆主城区道路安全评价指标进行量化,通过专家咨询,得出各评价指标的分值

(见表 2)。

表 2 重庆市主城区道路交通安全评价指标量化值

评价指标	分值	评价指标	分值
驾驶员技术	83	道路抗滑性	88
驾驶员素质	87	平纵线形组合	69
驾驶员身心状况	78	恶劣气候影响	72
车辆制动性	86	交通负荷	78
车辆操纵稳定性	92	机非混合状况	79
车辆故障率	74	交通基础设施	86
道路平整性	82		

3.3 熵权物元评价模型构建

3.3.1 构建物元矩阵

(1) 经典域和节域。按照较差、一般、中等、良好、优秀 5 个等级进行划分,对应的经典域分别为 $[0, 60]$ 、 $(60, 70)$ 、 $(70, 80)$ 、 $(80, 90)$ 、 $(90, 100]$,其节域为 $[0, 100]$ 。

(2) 构建待评物元矩阵。根据各指标分值构建待评物元矩阵:

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_0 & C_1 & 83 \\ & C_2 & 87 \\ & C_3 & 78 \\ & C_4 & 86 \\ & C_5 & 92 \\ & C_6 & 74 \\ & C_7 & 82 \\ & C_8 & 88 \\ & C_9 & 69 \\ & C_{10} & 72 \\ & C_{11} & 78 \\ & C_{12} & 79 \\ & C_{13} & 86 \end{bmatrix}$$

(3) 计算关联度。根据经典域、节域、待评物元矩阵及关联度计算模型计算各指标对应不同等级的关联度,结果见表 3。

3.3.2 熵权法确定指标权重

根据熵权法制定表征城市道路交通安全的 13 个评价指标重要度的调查问卷,对重庆市居民开展调查,同时咨询道路与交通安全方面的专家学者,对其重要度进行确定,将其作为熵权法计算权重的基础。权重计算结果见表 4。

表 3 重庆市主城区道路交通安全评价指标对应不同等级的关联度

评价指标	项目	对应不同等级的关联度				
		较差	一般	中等	良好	优秀
驾驶员因素 B_1	$K_1(C_1)$	-0.460 0	-0.433 3	-0.150 0	0.214 3	-0.291 7
	$K_2(C_2)$	-0.675 0	-0.566 7	-0.350 0	0.300 0	-0.187 5
	$K_3(C_3)$	-0.450 0	-0.296 3	0.100 0	-0.083 3	-0.352 9
车辆因素 B_2	$K_4(C_4)$	-0.650 0	-0.533 3	-0.300 0	0.400 0	-0.222 2
	$K_5(C_5)$	-0.800 0	-0.733 3	-0.600 0	-0.200 0	0.333 3
	$K_6(C_6)$	-0.350 0	-0.133 3	0.181 8	-0.187 5	-0.380 9
道路因素 B_3	$K_7(C_7)$	-0.550 0	-0.400 0	-0.100 0	0.125 0	-0.307 7
	$K_8(C_8)$	-0.700 0	-0.600 0	-0.400 0	0.200 0	-0.142 9
	$K_9(C_9)$	-0.225 0	0.033 3	-0.031 3	-0.261 9	-0.403 9
环境因素 B_4	$K_{10}(C_{10})$	-0.300 0	-0.066 7	0.076 9	-0.222 2	-0.391 3
	$K_{11}(C_{11})$	-0.450 0	-0.266 7	0.100 0	-0.083 3	-0.352 9
	$K_{12}(C_{12})$	-0.475 0	-0.300 0	0.050 0	-0.045 4	0.343 8
	$K_{13}(C_{13})$	-0.650 0	-0.533 3	-0.300 0	0.400 0	-0.222 2

表 4 重庆市主城区道路交通安全评价指标的权重

指标			权重	指标			权重
准则层指标	驾驶员因素		0.35	指标层指标	车辆故障率		0.06
	车辆因素		0.21		道路平整性		0.06
	道路因素		0.25		道路抗滑性		0.10
	环境因素		0.19		平纵线形组合		0.09
指标层指标	驾驶员技术		0.10		恶劣气候影响		0.06
	驾驶员素质		0.13		交通负荷		0.05
	驾驶员身心状况		0.12		机非混合状况		0.04
	车辆制动性		0.08		交通基础设施		0.04
	车辆操纵稳定性		0.07				

3.3.3 确定评价等级

市主城区道路交通安全评价结果(见表 5)。

结合关联度计算结果和各指标权重,得出重庆

由表 5 可知:重庆主城区驾驶员综合水平、车辆

表 5 重庆市主城区道路交通安全综合评价结果

评价指标	关联度					评价等级
	较差	一般	中等	良好	优秀	
驾驶员因素	-0.187 6	-0.152 6	-0.048 5	0.050 4	-0.095 9	良好
车辆因素	-0.129 0	-0.102 0	-0.055 1	0.006 8	-0.017 3	良好
道路因素	-0.123 3	-0.081 0	-0.048 8	0.003 9	-0.069 1	良好
环境因素	-0.085 5	-0.050 7	0.000 4	-0.003 3	-0.362 6	中等
道路交通安全性	-0.139 8	-0.104 7	-0.040 7	0.019 42	0.123 4	良好

综合状况及道路状况良好,道路环境中等,可进一步改进。总体而言,重庆主城区道路交通安全状况良

好,可根据具体情况作进一步改进。

(下转第 53 页)

3 结语

上述研究结果可使轨道运营单位在了解各子满意度因素改善优先级的情况下,根据不同属性的乘客进行针对性改善,提高改善效率,达到事半功倍的效果,对提高轨道交通乘客满意度具有指导意义。但仍存在一些不足,一是调查数据局限于武汉,权重分析结果对于其他地区可能不具有普适性;二是受问卷篇幅的限制,无法将所有乘客属性一一列举,是否存在对总体满意度具有较大影响的其他乘客属性仍有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Fornell C. The American customer satisfaction index: nature, purpose, and findings[J]. Journal of Marketing, 1996, 60(4).
- [2] 周艳芳,周磊山.城市轨道交通乘客满意度评价体系的构建[J].都市轨道交通,2007,20(5).
- [3] Celik E, Aydin N, Gumus A T. A hierarchical customer satisfaction framework for evaluating rail transit systems of Istanbul[J]. Transportation Research Part A: Policy And Practice, 2015, 77(10).
- [4] 武钧,霍月英.快速公交乘客满意度影响因素的定量研

究[J].计算机工程与应用,2015,51(21).

- [5] 杨国元,史天运,张秋亮.基于 BP 神经网络的铁路客运服务质量评价研究[J].交通运输系统工程与信息,2016,16(5).
- [6] 彭金栓,贺建伟.考虑复合权重的城轨乘客满意度测评[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2016,35(2).
- [7] 李修海,于少伟.信号交叉口集聚车辆的跟驰行为分析与建模[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(2).
- [8] Hadiuzzman M, Das T, Hasnat M M, et al. Structural equation modeling of user satisfaction of bus transit service quality based on stated preferences and latent variables[J]. Transportation Planning and Technology, 2017, 40(3).
- [9] 李豹,朱顺应,金智英,等.信号交叉口行人环境绩效测评与改善策略优选[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(4).
- [10] Aleboyeh A, Kasiri M B, Olya M E, et al. Prediction of azo dye decolorization by UV/H₂O₂ using artificial neural networks[J]. Dyes and Pigments, 2008, 77(2).
- [11] 王芳,仇梦媛,沙润,等.中国大陆女性赴韩旅游动机对游客满意度的影响[J].地域研究与开发,2015,34(5).

收稿日期:2017-07-25

(上接第 48 页)

4 结语

对影响城市道路交通安全的驾驶员、车辆、道路及环境因素进行分析,构建了由 13 个指标构成的用于城市道路交通安全评价的指标体系,并建立了基于熵权物元的评价模型,采用熵权法确定各指标权重。通过对重庆主城区交通状况的分析,对各评价指标进行量化,得出重庆主城区交通安全状况良好,但交通运行环境等方面有待进一步改善。

参考文献:

- [1] Zageer C V. Accident effects of sideslope and other roadside features on two-lane roads[J]. Transportation Research Record, 1988, 1195.
- [2] Andersson A K, Lee C. The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in West Midlands, UK[J]. Accident Analysis & Prevention, 2011, 43(1).
- [3] Yau K K W, Lo H P, Fung S H H. Multiple-vehicle

traffic accidents in Hong Kong[J]. Accident Analysis & Prevention, 2006, 38(6).

- [4] 刘东波,王长君.云南省特大道路交通事故分析[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(1).
- [5] 孙轶轩.基于数据挖掘的道路交通事故分析研究[D].北京:北京交通大学,2014.
- [6] Standards Australia. Guide to road safety audit (Second Edition 2002)[S].
- [7] 张浩.客车操纵稳定性及其控制策略研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [8] 陈春.道路交通事故的影响因素研究:基于结构方程模型的实证研究[J].中国安全生产科学技术,2014(5).
- [9] 林清.基于熵权物元模型的北京地铁车站运营脆弱性评价研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [10] 重庆市交通规划研究院.2016 年重庆市主城区交通发展年度报告[R].重庆:重庆市交通规划研究院,2017.
- [11] 刘娜,艾南山,方艳,等.基于熵权的模糊物元模型在城市生态系统健康评价中的应用[J].成都理工大学学报:自然科学版,2007,34(5).

收稿日期:2017-06-14