

基于熵权灰色关联分析的车辆行驶安全性评价

屈 贤,杨 川

(重庆工程职业技术学院 机械工程学院,重庆 402260)

摘要:为客观评价车辆行驶安全性,系统分析了影响道路交通安全的人、车、路、环境等因素,运用层次分析法构建车辆行驶安全性评价指标体系;运用熵值法确定各指标权重,建立基于熵权和灰色关联分析的车辆行驶安全性评价模型。案例分析表明,影响车辆行驶安全性因素的重要程度为驾驶员因素>车辆因素>道路因素>环境因素,模型评价结果与实际情况相符。

关键词:熵权;灰色关联法;安全性;评价

中图分类号:U46 文献标识码:A 文章编号:1671-5322(2018)01-0070-04

随着汽车保有量的增加,交通事故数量也日趋增多。据统计^[1],2016 年我国汽车引发的承担有事故责任的道路交通事故达 16.524 5 万起,共致 5.183 4 万人死亡、16 828 人受伤。道路交通安全问题愈来愈引起人们的关注。道路交通系统是由人、车、路、环境组成的复杂系统,影响因素颇多,提高车辆行驶安全性是减少交通事故发生率的必要前提。因此,准确、客观地评价车辆行驶安全性,警示驾驶员及时采取相应措施,减少事故发生,对提高道路交通系统安全性具有重要意义。

国内外学者针对车辆行驶安全性评价做了大量研究,取得了丰硕的成果。目前,国外主要评价方法有时间序列分析法、相对事故率法、系统分析法、回归分析法、模糊综合评价法等^[2]。苏联巴布可夫教授^[3]采用系统分析法,研究各种道路因素与事故的关系,建立了道路安全评价模型;罗石贵^[4]等利用交通冲突技术,对路段上的交通冲突进行观测,建立了多个路段的事故判定模型;刘清^[5]提出高速公路交通危险等级评价,建立了安全评价等级模型;孟宪营^[6]运用层次分析法和模糊数学建立了车辆安全评价模型。以上方法大多是在大量事故统计资料分析基础上,应用一定的数学理论建立起交通事故与各因素之间的定量关系,重点对交通安全性进行定性评价,但从人一车一路一环境的角度综合评价车辆行驶安全性的

研究还比较少。

车辆行驶安全性的影响因素间关系复杂,具有灰色性。当安全性评价指标值界于两个相邻级别时,传统数学评价模型较难准确判断其级别,且在指标权重确定方面往往过于主观。灰色关联分析法^[7]基于车辆行驶安全评价中的灰色及不确定性,对样本多少和有无规律都无限定,不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况;同时,运用熵权法能够客观反映各评价指标的相对重要程度,避免权重计算的主观赋值。本文基于熵权灰色关联分析法对车辆行驶安全性进行评价,使评价结果更客观、准确,为车辆行驶安全量化评价提供新方法。

1 基于熵权灰色关联的车辆行驶安全评价模型

1.1 车辆行驶安全评价指标体系

影响车辆行驶安全的因素多且复杂,各因素间相互影响、相互作用。考虑到影响因素的不确定性和复杂性,将人一车一路一环境等因素进行多层次分析,建立有序递阶层次结构的评价体系^[8],如表 1 所示。

由表 1 可知,车辆行驶安全性评价指标体系分为目标层、一级指标层和二级指标层,决策域集合 $A = \{ \text{驾驶员因素 } A_1, \text{车辆因素 } A_2, \text{道路因素 } A_3, \dots \}$

收稿日期:2017-09-18

基金项目:重庆市教委科学技术研究资助项目(KJ1603207);重庆工程职业技术学院院级科研项目(KJA201703)

作者简介:屈贤(1988—),女,山东济宁人,助教,硕士,主要研究方向为车辆系统动力学。

表 1 车辆行驶安全性评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of vehicle driving safety

目标层 A	一级指标层 C	二级指标层 D	指标
车辆行驶安全状态	驾驶员因素	超速驾驶	速度
		疲劳驾驶	驾驶时间
		驾驶水平	驾龄
		驾驶行为	精神状态
	车辆因素	制动性能	刹车时间
		轮胎性能	胎压
		发动机性能	发动机配置
		车辆类型	车辆类型
	道路因素	弯道半径	弯道半径
		超高	超高度
		路面类型	附着系数
		路面宽度	车道数
	环境因素	天气条件	天气
		交通量情况	拥挤情况

环境因素 A_4 }。决策域集合中,驾驶员因素 $A_1 = \{ \text{超速驾驶 } V_{11}, \text{疲劳驾驶 } V_{12}, \text{驾驶水平 } V_{13}, \text{驾驶行为 } V_{14} \}$,车辆因素 $A_2 = \{ \text{制动性能 } V_{21}, \text{轮胎性能 } V_{22}, \text{发动机性能 } V_{23}, \text{车辆类型 } V_{24} \}$,道路因素 $A_3 = \{ \text{弯道半径 } V_{31}, \text{超高 } V_{32}, \text{路面类型 } V_{33}, \text{路面宽度 } V_{34} \}$,环境因素 $A_4 = \{ \text{天气条件 } V_{41}, \text{交通量情况 } V_{42} \}$ 。

1.2 基于熵权的灰色关联模型

1.2.1 灰色关联分析

灰色关联分析法是指对一个系统发展变化态势的定量描述,主要通过对比各指标间的相似程度来判断其关联程度。灰色关联分析的步骤^[9]包括确定分析数列、构建决策矩阵、关联度的计算等。

1.2.1.1 确定分析数列

多指标决策域的集合 $A = \{ \text{指标 1}, \text{指标 2}, \text{指标 3}, \dots, \text{指标 } m \} = \{ A_1, A_2, A_3, \dots, A_m \}$,各评价指标又包含子指标集合 $V = \{ V_1, V_2, \dots, V_n \}$,则决策集合 A_i 对评价指标 V_j 的属性值为 $X_{ij} (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

1.2.1.2 构建决策矩阵

为消除评价指标量纲不同带来的影响,需对样本矩阵中各指标进行无量纲化处理,经标准化处理后的数据值为 $[0, 1]$ 。根据属性不同,评价指标可分为“正向型”指标和“负向型”指标。

正向型指标是指属性值愈大愈好的指标,标准化处理公式为

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \tag{1}$$

负向型指标是指属性值愈小愈好的指标,标准化处理公式为

$$y_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \tag{2}$$

式中: $\min x_{ij}$ 为该项指标最小值, $\max x_{ij}$ 为该项指标最大值。

通过标准化处理可得到相应的无量纲矩阵 Y_{ij} 为

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1j} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2j} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{i1} & y_{i2} & \cdots & y_{ij} \end{bmatrix}$$

1.2.1.3 关联度的计算

关联度用关联系数 r_{ij} 来表示,其计算公式如下:

$$r_{ij} = 1 / (1 + r_{ij}^+ / r_{ij}^-)^2 \tag{3}$$

$$r_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |y_{ij} - Y^+| + \xi \max_i \max_j |y_{ij} - Y^+|}{|y_{ij} - Y^+| + \max_i \max_j |y_{ij} - Y^+|} \tag{4}$$

$$r_{ij}^- = \frac{\min_i \min_j |y_{ij} - Y^-| + \xi \max_i \max_j |y_{ij} - Y^-|}{|y_{ij} - Y^-| + \max_i \max_j |y_{ij} - Y^-|} \tag{5}$$

式中: r_{ij}^+ 为最优关联系数, r_{ij}^- 为最劣关联系数; ξ 为分辨系数, $\xi = [0, 1]$, 一般取 $\xi = 0.5$; $\min_i \min_j |y_{ij} - Y^+|$, $\max_i \max_j |y_{ij} - Y^+|$ 分别为两级最小差和最大差; Y^+ 为理想最优序列, Y^- 为理想最劣序列,表达式为

$$Y^+ = \max_{1 \leq i \leq m} y_{ij} = \{ y_1^+, y_2^+ \cdots y_n^+ \} \tag{6}$$

$$Y^- = \min_{1 \leq i \leq m} y_{ij} = \{ y_1^-, y_2^- \cdots y_n^- \} \tag{7}$$

1.2.2 熵权法确定指标权重

熵权法^[10]根据某指标在各被评价对象间的差异大小来确定权重大小,可较好地避免主观赋值造成的误差。

依据熵权法,第 j 项指标下第 i 个评价对象指标值的比重

$$f_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \tag{8}$$

指标 j 的熵值

$$H_j = (-1 / \ln n) \cdot (\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}) \tag{9}$$

若 $f_{ij}=0$, 则 $f_{ij}\ln f_{ij}=0$ 。则指标 j 的权重

$$\omega_j = (1 - H_j)/(n - \sum_{i=1}^n H_j) \tag{10}$$

式中, $0 \leq \omega \leq 1$ 且 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

1. 2. 3 基于熵权的灰色关联评价模型

基于熵权的灰色关联评价模型:

$$R_i = \sum_{j=1}^m \omega_j r_{ij} \tag{11}$$

式中: ω_j 为各指标的归一化权重; R_i 为各评价指标的关联程度。

通过评价模型得出车辆行驶安全的优劣情况, 并与车辆行驶安全等级标准对比, 确定车辆行驶安全度。车辆行驶安全等级标准^[6], 如表 2 所示。

表 2 车辆行驶安全等级标准

Table 2 Safety grade standard of vehicle driving safety

等级	安全	较安全	一般安全	比较危险	很危险
区间	[0.8 1)	[0.6 0.8)	[0.4 0.6)	[0.2 0.4)	[0 0.2)

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0.557 & 0.511 & 0.473 & 0.428 & 0.333 & 0.518 \\ 0.403 & 0.434 & 0.405 & 0.347 & 1 & 0.439 \\ 1 & 0.383 & 0.383 & 1 & 0.513 & 1 \\ 0.342 & 1 & 0.607 & 0.511 & 0.335 & 0.476 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0.419 & 0.590 & 1 & 0.548 & 0.464 & 0.460 \\ 0.333 & 0.757 & 1 & 0.548 & 0.427 & 0.368 & 0.333 \\ 0.375 & 0.565 & 0.438 & 0.474 & 0.340 & 0.384 & 0.380 \\ 1 & 0.333 & 0.427 & 1 & 1 & 0.573 & 0.42 \end{bmatrix}^T$$

将关联系数矩阵代入式(11), 则车辆行驶安全度为

$$R = [0.5927 \ 0.5543 \ 0.5755 \ 0.6226]$$

由基于熵权理论计算各指标权重的结果可知, 驾驶员因素是影响车辆行驶安全的重要因素, 其次为车辆因素、道路因素和环境因素。综合人—车—路—环境因素各指标, 对比车辆行驶安全等级标准, 得出车辆行驶过程中不同时段的安全度。由于采集的时间是连续的, 第一时刻采集时车辆行驶状态判断为一般安全, 此时可警示驾驶员作出相应的调整; 第四个时刻, 车辆行驶状态为安全, 说明驾驶员或车辆系统经过相应的调整后, 保证了车辆行驶的安全性。同三高速山东段

2 案例分析

一辆比亚迪轿车, 行驶在同三高速山东段, 路面平坦, 但存在弯道。公路设施基本齐全, 天气晴朗, 微风, 能见度好。

采集 4 个不同时刻驾驶员、车辆、道路和环境信息作为评价对象, 采集时间间隔为 5 s。选取的指标有正向指标和负向指标, 利用式(1)、式(2)把原始数据进行无量纲化处理得到标准化数据; 再采用熵权法, 利用式(10)计算各指标权重。从而得到

$$\omega_A = \{0.324 \ 5, 0.296 \ 8, 0.240 \ 3, 0.138 \ 4\}$$

$$\omega_V = \{0.108 \ 2, 0.070 \ 9, 0.081 \ 2, 0.050 \ 9, 0.053 \ 9, 0.098 \ 6, 0.073 \ 9, 0.080 \ 3, 0.094 \ 7, 0.068 \ 2, 0.057 \ 6, 0.055 \ 1, 0.054 \ 5, 0.051 \ 7\}$$

根据式(6)、式(7)求得理想最优序列和理想最劣序列, 根据式(3)、式(4)、式(5)计算关联系数。构建关联系数矩阵为

行驶条件良好、车辆状态安全、无大事故发生, 模型评价结果与实际情况相符。

3 结论

通过综合考虑人—车—路—环境等影响因素, 基于层次分析法建立有序递阶的车辆行驶安全性评价指标体系; 引入熵权概念, 客观计算各指标权重大小; 基于灰色关联分析法建立车辆行驶安全性评价模型, 对车辆行驶实时状态进行评价。案例分析表明, 影响车辆行驶安全性因素的重要程度为驾驶员因素 > 车辆因素 > 道路因素 > 环境因素, 模型评价结果与实际情况相符。

参考文献:

[1] 上海鑫途智能科技有限公司. 2016 年全国道路交通事故数据统计[EB/OL]. (2017-05-16) [2017-06-05]. https://mp.weixin.qq.com/s?src=3×tamp=1518169334&ver=1&signature=0HRntA2apmBi0DrUCPbm5rbfbmv5MBNHxNW6KhDvtubljVTbeBL7XqOffqPFN*jTCbuURGO08KLHuW2ITq5nwl3oApLYCwWXqP5gseRcOAGFhDicu*tdl9MY1JdaF9VWVXOe88qSFHNB9s8sH*C1c29qNRY9fdrKKbp06alGw = .

[2] GAUDRY M J I, LASSARRE S. Structural road accident models; The International Drag Family[M]. Bingley BD16 1WA:

Emerald Group Publishing Limited, 2000.

[3] HALL F L. An interpretation of speed-flow-concentration relationships using catastrophe theory[J]. Transportation Research Part A General, 1987,21(3):191-201.

[4] 罗石贵,周伟. 路段交通冲突的调查技术[J]. 长安大学学报(自然科学版),2003,23(1):71-75.

[5] 刘清. 道路交通安全等级评价与实例分析[J]. 交通科技,2002(3):44-46.

[6] 孟宪营. 基于灰色关联度的车辆运行安全模糊综合评价研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

[7] 毕硕本. 地理信息系统软件工程的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2007.

[8] 张先起,刘慧卿. 基于熵权的灰色关联模型在水环境质量评价中的应用[J]. 水资源研究,2006,27(3):17-19.

[9] 王才军,游泳,左太安,等. 基于熵权灰色关联法的岩溶石漠化区土地质量评价:以毕节试验区为例[J]. 水土保持研究,2011,18(4):218-222.

[10] 吕涛,郭庆,富莉,等. 基于熵权灰色关联法的我国石油安全评价[J]. 中国矿业,2017,26(5):40-45.

Evaluation of Vehicle Driving Safety Based on Entropy Weighted Grey Relational Analysis

QU Xian, YANG Chuan

(Chongqing Vocational Institute of Engineering, College of Mechanical Engineering, Chongqing 402260, China)

Abstract: In order to objectively evaluate the safety of vehicle driving, the factors affecting road traffic safety are analyzed systematically, such as people, cars, roads and environment. AHP is used to establish vehicle driving safety evaluation index system. The entropy method is used to determine the weight of each index, and a vehicle safety evaluation model based on entropy weight and grey correlation analysis is established. The case analysis shows that the importance of factors affecting vehicle driving safety is driver factor > vehicle factor > road factor > environmental factor, and the model evaluation result is consistent with the actual situation.

Keywords: Entropy; Grey correlation method; Safety; Evaluation

(责任编辑:李华云)

(上接第 51 页)

Risk Assessment of Foundation Pit Instability based on Risk Analysis-Reliability Mixing Method

CHE Na^{1,2}, LIAO Ying¹

(1. School of Civil Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou Jiangsu 215011, China;
2. School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Risk assessment of foundation pit instability is very important for foundation pit engineering. First, it studies the instability risk events and their related factors, and establishes the risk analysis model and evaluation criteria. Then the mechanical mechanism of different instability forms is considered and the risk probability of foundation pit is determined based on the reliability theory. Finally, the rationality and feasibility of the method is analyzed by specific examples.

Keywords: foundation pit engineering; risk analysis; reliability

(责任编辑:张英健)