

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.06.018

# 考虑系统性与时变性的交通事故风险成本模型<sup>①</sup>

屈琦凯<sup>1</sup>, 陈富坚<sup>1</sup>, 冯飞宇<sup>2</sup>

1. 桂林电子科技大学 建筑与交通工程学院, 桂林 541004; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804

**摘要:** 针对交通事故风险成本计算方法需考虑交通事故风险的系统性与时变性, 利用结构模型分析交通安全系统各要素间的相互关系及其影响, 构建了交通事故风险成本计算模型. 以车辆要素为建模的关键, 通过聚类分析方法建立交通事故风险的基本模型. 以连续行驶时间、车速、道路转弯半径、道路纵坡以及天气等参数为动态影响因素, 结合广义成本理论, 建立适用于各出行方式的交通事故风险成本模型. 以珠海市某一级公路的实际调查数据作为算例, 探讨交通事故风险成本模型的应用. 算例结果表明: 不同出行方式的交通事故风险成本差异较大, 合理选择交通出行方式可有效降低交通事故风险成本及出行成本, 该模型能够兼顾交通事故风险的系统性与时变性, 更加符合客观实际, 具有较好的合理性.

**关键词:** 交通事故风险模型; 结构分析; 出行方式; 成本计算方法

**中图分类号:** U491.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2019)06-0127-08

出行成本是交通出行者进行交通决策分析的重要依据, 便宜且便捷的交通出行方式能够激励出行者更多采用该种出行方式, 但是, 交通事故风险成本作为出行成本的重要组成部分往往很容易被人忽略. 据笔者在 2012—2013 年春运期间对摩托车返乡潮现象进行了探索性调查研究发现: 骑车人普遍对出行成本概念存在严重的误解, 其中 71.76% 的人认为骑车返乡成本只有车油费和伙食费; 14.04% 的人仅考虑油费; 12.94% 的人仅考虑油费、伙食费、维修费、住宿费; 1.26% 的人仅考虑油费和维修费. 正是因为出行者对出行成本产生如此误解, 认为摩托车方式返乡“便宜且便捷”的心理激励沿海务工人员更多采取摩托车这种高风险、低效率出行方式.

由此看出, 忽略交通事故风险成本将导致对出行成本严重的误判. 因此, 有必要对交通事故风险成本进行科学的定量研究, 为交通出行者的出行决策分析提供理论依据. 公认的交通风险成本计算方法<sup>[1]</sup>是交通事故风险概率乘以相应的交通事故损失成本. 目前, 交通事故损失成本的定量已存在较为成熟的统计方法, 因此, 交通事故风险成本的研究关键在于如何科学定量交通事故风险, 对于交通事故风险的研究, 国内外许多专家学者已经取得丰硕成果. 国外学者 El-Basyouny<sup>[2]</sup>通过研究冲突与交通事故潜在关系, 利用交通量以及相关的变量建立两阶段模型. Persaud Bhagwant 等<sup>[3]</sup>采用各种安全参数, 建立神经网络模型. 此外还有 Yannis George 等<sup>[4]</sup>通过数据分析, 建立死亡率与机动化水平相关的非线性模型. 国内研究中, 徐培培等<sup>[5]</sup>在量化交通出行成本同时提出交通风险认知度的构建. 陈富坚等<sup>[6]</sup>将系统可靠性模型应用于道路交通系统事故风险模型的构建, 从人、车、路、环境等要素分析对交通事故风险的影响. 陈雪梅等<sup>[7]</sup>通过问卷调查等方式获得驾驶员的特征参数, 利用 BP 神经网络分析技术, 对驾驶员因素与交通事故风险

① 收稿日期: 2018-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(71363012); 广西研究生教育创新计划项目(YCSW2017150).

作者简介: 屈琦凯(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事交通安全方面的研究.

通信作者: 陈富坚, 博士, 教授.

二者之间内在关联性进行深入的研究. 付锐等<sup>[8]</sup>通过采集路段事故数据以及纵断面线形参数, 通过回归分析获得事故风险与纵断面参数相关关系. 郭应时等<sup>[9]</sup>统计山区公路的交通事故风险数据与平面线形数据, 采用角度变化率作为平面线形的表征参数, 对样本路段区间内的事故风险与角度变化率进行回归分析, 得出平面要素与事故风险的联系.

但是, 现有的交通事故风险计算模型大多缺乏系统性考虑, 或者简单将交通事故风险视为一个静态指标进行计算, 因此, 计算结果存在较大误差. 对于实际道路交通, 尤其是公路交通, 是涉及人的行为与自然环境的复杂系统, 在道路交通的运行过程中, 系统状态随着时空推移而改变, 事故风险也将随着时空推移而改变. 因此, 交通事故风险计算应紧扣交通系统性、事故风险的时变性.

本文通过系统分析方法对交通安全要素进行结构分析, 探讨系统各要素间的相互作用, 拟建立动态交通事故风险模型, 并结合广义成本论, 建立具有较强系统性、适应性的交通事故风险成本的计算方法. 该模型更加全面地揭示了出行成本, 为出行者的出行决策提供实际理论依据, 而且从工程角度指导交通设计与管理, 从人、车、路、环境的各角度缓解或减少交通事故的发生.

## 1 系统分析方法的引入

由引言分析可知, 交通事故风险成本研究的关键是在于交通事故风险模型的构建, 而交通事故风险研究应紧扣交通的系统性与事故风险的时变性. 因此, 有必要对影响交通事故风险的系统各要素进行系统结构分析, 明确系统各要素之间相互关系, 在各要素中选取关键要素建立交通事故风险模型.

### 1.1 交通风险要素分析

1) 将交通风险系统要素分为人为要素、车辆要素、道路要素、环境要素, 分别以  $S_1, S_2, S_3, S_4$  表征交通风险要素, 则其系统要素表即要素集合为  $S=(S_1 S_2 S_3 S_4)$ .

2) 根据系统各要素之间关系建立直接关系矩阵, 若要素间有直接关系为 1, 若无直接关系即为 0, 则直接关系矩阵如下所示:

$$M = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

3) 将直接关系矩阵按照布尔运算规则计算得可达矩阵, 可达矩阵不仅能够反映各要素之间的直接关系, 且反映了系统中各要素之间的间接关系,  $T=M^{n+1}$ .

式中  $n$  为直接关系矩阵  $M$  的阶数, 当  $T=M^2=\dots=M^{n+1}$  时, 停止计算得到可达矩阵如下所示:

$$T = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

可达矩阵能够反映系统总体结构, 由可达矩阵得: 人为要素能直接影响车辆要素, 道路要素可通过直接作用于人为因素或车辆要素, 进而影响交通事故风险, 而道路要素仅受到环境要素直接影响, 环境要素可直接影响所有其他要素而改变系统的事故风险, 而仅受本身变化影响. 为了更加直观划分各要素的相互关系, 将可达矩阵分解成两个集合:

母集合  $R(S_i)$ : 包含一切  $S_i$  能到达的一切有关系的要素集合. 如人为要素  $S_1$  所能达到或影响的要素集合为车辆要素与其本身, 集合形式为:  $(S_1, S_2)$ .

子集合  $A(S_i)$ : 包含一切有关系要素可以达到  $S_i$  的要素集合. 如环境变化会直接影响驾驶员操作造成事故风险增加, 故人为要素  $S_1$  能受环境要素( $S_4$ )直接影响. 此外, 人为要素( $S_1$ )还受道路要素( $S_3$ )直接影响, 所以子集合为: ( $S_1, S_3, S_4$ ). 进一步对系统结构进行层次分析, 结果如表 1.

表 1 层次分析计算结果

要素	母集合 $R(S_i)$	子集合 $A(S_i)$	$R(S_i)A(S_i)$
1	1, 2	1, 3, 4	1
2	2	1, 2, 3, 4	2
3	1, 2, 3	3, 4	3
4	1, 2, 3, 4	4	4

从表 1 计算母集合与子集合的交集来判定上层要素, 即是否满足  $R(S_i)A(S_i) = R(S_i)$ , 若满足判别式, 即为上层要素. 车辆要素( $S_2$ )为系统最上层要素, 去掉最上层要素, 继续利用  $R(S_i)A(S_i) = R(S_i)$ , 判定人为要素为二层要素, 重复上述步骤, 道路要素为三层要素. 最后得环境因素为最下层要素.

由此可知, 环境要素( $S_4$ )自身改变能够直接影响所有上层要素, 道路要素( $S_3$ )能够直接影响车辆要素( $S_2$ )与人为要素( $S_1$ ), 人为要素( $S_1$ )受到道路要素( $S_3$ )、环境要素( $S_4$ )的直接影响, 而车辆要素能被所有的其他要素直接影响, 如图 1 所示.

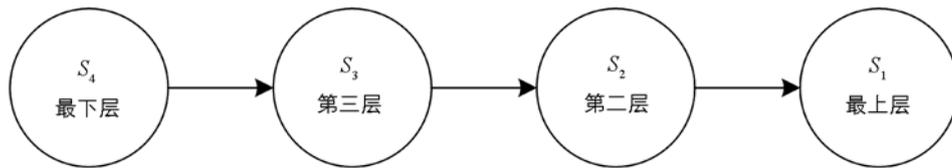


图 1 系统分层有向图

## 2 交通事故风险成本模型构建

交通事故造成的损失一般分为当事人的损失, 警察、法院等社会公共支出的费用, 以及因交通阻塞等造成的第三者的损失等. 根据我国习惯, 后两项一般归入交通外部成本, 而将出行者的个人损失作为交通事故损失, 因此, 本研究也遵循此惯例.

### 2.1 建模思想

对于交通事故风险描述, 车辆的交通事故率是必不可少的指标. 而且通过系统结构分析得到车辆要素为系统最上层要素, 各系统要素可直接作用车辆要素影响交通事故风险的变化. 对于交通系统所有要素而言, 车辆要素的事故率是整合所有系统要素关键所在. 因此, 本文重点以车辆要素为关键, 将其他系统要素定义为动态影像因素, 将各系统要素之间的关系看作是串联关系, 建立相应的交通事故风险模型. 从交通系统中人、路、环境等其他要素提取动态参数构建动态交通事故模型, 分析各系统状态随时空变化对交通事故风险的影响.

由于不同出行方式的行驶稳定性以及安全性能具有较大差异, 因此, 不同出行方式所承担的交通事故风险必然存在不同, 其最重要的体现就在各出行方式之间交通事故数量上以及事故严重程度的不同, 因此, 建立基本交通事故风险时, 通过聚类分析法按不同的车型以及事故严重程度进行建模.

### 2.2 经验风险模型

交通事故的发生具有偶然性, 导致交通事故发生的原因众多, 而车辆因素也只是引发交通事故原因之一, 所以在统计期内交通事故分布具有一定的离散性. 为了消除交通事故的偶然性和其他因素的影响, 一般以 12 月为统计步长对同一出行方式的交通事故数据进行统计计算, 则各出行方式的交通事故风险计算模型如下所示:

$$p_i^j = \frac{q_i^j}{Q^j} \quad (1)$$

式(1)中  $P_i^j$  为单元路段内交通方式  $i$  的特定  $j$  类型事故的年平均基本事故率;  $q_i^j$  为单位时长区间单元路段内交通方式  $i$  的特定  $j$  类型事故的基本事故总数;  $Q^j$  为单位时长区间内单元路段内特定  $j$  类型机动车交通量.

### 2.3 动态风险模型

在第一章的分析中,通过结构分析可知,交通系统的其他要素,如人为要素、道路要素、环境要素均能通过一定的结构,彼此之间相互作用对车辆要素的交通事故风险产生重要的影响,因此,动态风险模型可通过串联模型建立.同时,建模时还应考虑交通系统的其他要素都能具有较强的时变性,当其他要素变化时,能够影响车辆要素,改变系统整体风险.因此,需要考虑系统要素随着时间、空间的推移而不断变化,导致交通事故风险的变化,进而影响事故风险成本,模型如下所示:

$$P_i^j = \max\{p_i^j \mid p_i^j \times \alpha_n(t, l) \times \alpha_r(t, l) \times \alpha_e(t, l)\} \quad (2)$$

上式中,  $P_i^j$  为单元路段内实际地交通事故风险概率;  $p_i^j$  为单元路段内交通方式  $i$  的特定  $j$  类型事故的年平均基本事故率;  $\alpha_n$  为驾驶员影响系数;  $\alpha_r$  为道路影响系数;  $\alpha_e$  为环境影响系数;  $t$  为时间变量;  $l$  为空间(行程)变量.

### 2.4 交通事故风险成本模型

交通事故成本可分解为财产等物质损耗、身体损伤等身体损耗甚至包括生命损耗成本.考虑到交通事故严重程度不同,所担负的成本存在较大差异,故建模时需要分别考虑不同交通事故类型所承担的经济损失.为了减少计算误差,将交通事故类型划分为三类计算,轻微事故( $Q^1$ ):仅存在财产损失的交通事故类型;普通事故( $Q^2$ ):存在人员受伤且伴随财产损失交通事故;致命事故( $Q^3$ ):有人员死亡且伴随严重财产损失的交通事故.

$$C_a = \sum_{j=1}^3 P_i^j \times C^j (\text{元}) \quad (3)$$

式 3 中,  $P_i^j$  为单元路段内交通方式  $i$  的特定  $j$  类型的实际交通事故风险概率(次/辆);  $C^j$  为单元路段内特定  $j$  类型事故的对应损失成本;  $j=1, 2, 3$  分别表示轻微交通事故,普通交通事故,致死交通事故.

## 3 模型求解

### 3.1 人为因素分析

人为因素是事故分析的主要对象,因为驾驶员的驾驶行为会直接影响交通安全风险.国内外的交通事故统计表明,有 80%~90% 的交通事故是由人的因素造成的,其中文献[10-11]对交通事故致因中的人为因素分析发现:超速驾驶行驶与疲劳驾驶是最主要的两个人为因素,而驾驶疲劳导致感知迟钝、判断不准、操作失误在事故中占了绝大多数.因此,马艳丽等<sup>[12]</sup>为了获得驾驶疲劳和驾驶时间量化关系,进行了大量的实验研究,为了提高驾驶疲劳的评价精度,引入深度知觉、速度知觉、反应时间、误操作等指标以模糊聚类方法对驾驶员的疲劳程度进行了较为科学的评估,其研究结果如下.

表 2 不同连续驱动时间下疲劳度的测试结果

驾驶时间/h	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
综合评价结果	0.92	0.83	0.73	0.67	0.53	0.49	0.39

表 2 数据是经过大量的实验研究获得,其中的统计数据是非疲劳状态的隶属度,这意味着数字越大,疲劳程度越小.基于表 2,采用回归分析获得回归模型,如图 2 所示,驾驶疲劳与连续驾驶时间成正相关,以疲劳隶属度最小的 1.5 h 连续行驶时间为理想行驶时间,超过理想时间则风险将会越来越大,所以 1.5 h 连续行驶时间的隶属度被视为驾驶风险的基准值,疲劳影响系数  $\alpha_f(t)$  定义为基准值的隶属度比连续行驶

时间大于 1.5 h 相应隶属度, 公式表达如下:

$$\alpha_f(t) = \begin{cases} 1 & t \leq 1.5 \\ \frac{0.92}{-0.1763t + 1.1807} & t > 1.5 \end{cases} \quad (4)$$

此外, 超速行驶是导致交通事故发生的另一重要的人为因素. 速度越高、驾驶员反应时间越少, 增加制动距离, 同时使得碰撞时释放的能量增大, 因此, 速度能够较好地说明车辆行驶状态<sup>[10]</sup>. 故澳大利亚 RTA<sup>[13]</sup> 研究速度与事故危险性的关系, 如表 3 所示. 该研究以 60 km/h 的行驶速度的行车风险作为基准值, 通过与基准值对比分析确认各车速之间相对危险性, 因此, 该表能较好反映速度对交通风险的影响.

表 3 行驶速度与交通事故危险性的关系<sup>[14]</sup>

行驶速度/(km·h <sup>-1</sup> )	速度影响系数	行驶速度/(km·h <sup>-1</sup> )	速度影响系数
60	1	75	10.6
65	2	80	31.85
70	4.16	85	56.55

### 3.2 道路影响分析

道路几何线形要素构成是否合理, 对交通安全有较大影响. 对实际交通环境而言, 道路属性是随着时空变化的, 即道路的曲率与坡度等指标是随时空变化的, 所以事故风险也随着时空变化的. 其中有研究通过调查分析<sup>[14]</sup>, 揭示纵坡坡度以及曲率均对事故概率有显著影响, 由于纵坡与曲率事故机理是不一样的, 故可将两个因素视为相互独立事件, 独立考虑纵坡、曲率对事故率的影响. 通过数据对比分析, 纵坡与曲率都与事故成正相关, 以最小纵坡事故率、最小曲率事故率作为基准值, 那么其它纵坡坡度以及曲率的事故率与基准值的比值, 可较好反映坡度与曲率的交通事故风险影响, 如表 4、表 5.

表 4 坡度与交通事故率

纵坡坡度/ %	交通事故率 (每亿车公里)/%	纵坡影响系数	纵坡坡度/ %	交通事故率 (每亿车公里)/%	纵坡影响系数
0	46.5	1	4.00~5.99	190	4.086
2.00~3.99	67.2	1.445	6.00~8.00	210.5	4.52

表 5 曲率与交通事故率

曲率/%	交通事故率 (每亿车公里)/%	曲率影响系数	曲率/%	交通事故率 (每亿车公里)/%	曲率影响系数
0~1.9	2.6	1	6~9.9	3.8	1.461
2~3.9	3	1.154	10~14.9	13.6	5.23
4~5.9	3.5	1.346	15 以上	14.9	5.73

### 3.3 环境影响分析

行车环境与交通事故有着密切的关系. 据张利等<sup>[15]</sup>通过对有关雨雪天气的安全行车调查研究中发现, 路面湿滑是雨雪天气的事故率明显高于晴天事故率的重要原因, 交通事故风险需要考虑行车环境的影响<sup>[16]</sup>. 据美国宾夕法尼亚州交通部门的调查研究<sup>[17]</sup>, 得出路面状况和汽车交通事故率的关系, 而路面状况的不同是由不同天气所造成的, 以此推导出天气与事故率的关系. 由理想天气下事故率作为基准, 对系数进行标定, 如表 6 所示.

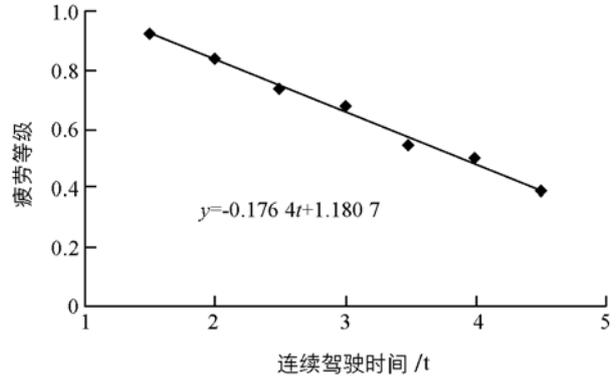


图 2 连续驾驶时间与疲劳等级回归方程

表 6 天气状况与汽车交通事故率关系

天气状况	每百万车公里 交通事故率/%	天气影响系数	天气状况	每百万车公里 交通事故率/%	天气影响系数
(路面干燥)晴	1.6	1	(路面结冰)雪	12.8	8
(路面潮湿)雨	8	5			

#### 4 模型应用示例

交通事故风险成本的研究主要是为了合理定量出行成本,为出行者的出行决策提供合理的理论依据,因此,案例主要以客运交通的事故风险成本进行探讨,下面以珠海某一级公路的实际的数据为例说明交通事故风险成本计算模型的实际应用。

1) 道路分析说明. 该路段为珠海的干道公路,双向 8 车道,设计时速为 60 km/h,长约 5.42 km,地形条件良好,仅有 4 个平曲线且最小平曲线半径有 380 m. 再者,竖曲线最大纵坡为 2.143%,无弯坡组合。

2) 各出行方式的通行交通量获取. 据交警部门统计资料得出,该路段通行交通量较大,年平均日交通量为 90 025 车次,其中小汽车交通量约占机动车 73%,摩托车交通量约占机动车 5%,大型客车约占机动车 10%,货车类交通量约占机动车 12%. 因为事故风险成本将讨论客运交通的出行成本,故货车类的事故风险成本在此不予考虑。

3) 统计各客运出行方式的基础交通事故率. 对 24 个月统计期内的交通事故数据分析,发现交通事故主要对象是小汽车事故、摩托车事故,大型客车的事故极少,在整个统计区间内仅有一例交通事故,故不予讨论,即交通事故风险的讨论将以小汽车与摩托车为讨论对象. 其中该路段每年平均发生 12 起交通事故,其中摩托车致死交通事故约为 3 起,普通交通事故约为 3 起,小汽车平均发生普通事故约为 6 起,普通事故约为 4 起,致死事故约为 2 起。

4) 交通事故风险参数的标定. 交通事故风险成本研究是为了为个体出行决策提供理论依据,因此,交通事故风险成本的计算应该针对个体出行者. 车辆行进过程中,驾驶员连续行驶时间、行驶速度、行驶空间、乃至天气条件都不尽相同,所以不同出行者所承担的交通事故风险必然存在差异. 故本文通过假设对各因素进行讨论,通过假设,对比理想条件与极端状态的条件,交通事故风险成本的差别,计算结果如表 7 所示。

表 7 交通事故风险成本计算表

计算指标	数值	指标解释
$P_c^2$	$1.67 \times 10^{-7}$	结合调查数据,根据公式 1,小汽车平均每年普通交通基础事故率
$P_c^3$	$2.45 \times 10^{-8}$	结合调查数据,根据公式 1,小汽车平均每年致死交通基础事故率
$P_m^2$	$1.82 \times 10^{-6}$	结合调查数据,根据公式 1,摩托车平均每年普通交通基础事故率
$P_m^3$	$1.82 \times 10^{-6}$	结合调查数据,根据公式 1,摩托车平均每年致死交通基础事故率
$\alpha_r$	1	据表 4,5,理想条件下道路影响系数
	1.445	由于调查路段无弯坡组合路段,极端值取纵坡 2.143%对应的系数
$\alpha_v$	1	调查路段设计速度为 60 km/h,据表 3,设计速度即为理想速度
	56.55	据表 3,极端状态的速度影响系数
$\alpha_t$	1	据公式 4,理想状态的时间影响系数
	2.45	据公式 4,极端状态的时间影响系数
$\alpha_w$	1	据表 6,天晴时环境影响系数
	5	据表 6,雨天时环境影响系数
$C^2$	598 742	据文献[18],小汽车普通交通事故损失货币量,具有参考意义
	577 722	据文献[18],摩托车普通交通事故损失货币量,具有参考意义

续表7

计算指标	数值	指标解释
$C^3$	3 333 202	据文献[18],小汽车致死交通事故损失货币量,具有参考意义
	3 284 490	据文献[18],摩托车致死交通事故损失货币量,具有参考意义
$C_c$	0.4	根据公式3,理想条件下小汽车交通事故风险成本
	269	根据公式3,极端状态下小汽车交通事故风险成本
$C_m$	15	根据公式3,理想条件下摩托车交通事故风险成本
	10 469	根据公式3,极端状态下摩托车交通事故风险成本

## 5 结 论

本文以车辆要素为建模的关键,通过聚类分析建立交通事故风险基本模型,通过提取连续行驶时间、车速、曲率、道路纵坡以及天气等动态参数构建动态的交通事故风险成本模型,并用珠海某干道公路交通数据进行应用分析,其结论如下:

1) 通过对比分析得,不同出行方式的交通事故风险成本差异较大,合理选择交通出行方式可有效降低交通事故风险成本及出行成本。算例结果表明:弱势出行方式,特别是摩托车,属于高风险、高成本的出行方式,需对弱势出行方式进行有效的管理控制,如将弱势交通方式与较为强势的交通方式进行空间分离以及速度控制等管理,能有效降低事故风险成本。

2) 本文构建的事故风险成本模型能够兼顾交通事故风险的系统性与时变性,能够比较全面有效地从交通系统人、车、路、环境4个角度反映交通事故风险形成机理,且动态交通事故风险成本能直观反映实际的交通事故风险,不仅能为出行者的出行决策提供实际应用分析,而且能从工程角度指导交通设计与管理,缓解或减少交通事故的发生。

### 参考文献:

- [1] 罗清玉,隗志才,孙宝凤,等. 城市交通拥挤外部成本衡量方法研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(5): 9-12.
- [2] EL-BASYOUNY K, SAYED T. Safety Performance Functions Using Traffic Conflicts [J]. Safety Science, 2013, 51(1): 160-164.
- [3] PERSAUD B, LAN B, LYON C, et al. Comparison of Empirical Bayes and Full Bayes Approaches for before - after Road Safety Evaluations [J]. Accident Analysis & Prevention, 2010, 42(1): 38-43.
- [4] YANNIS G, ANTONIOU C, PAPADIMITRIOU E. Autoregressive Nonlinear Time-Series Modeling of Traffic Fatalities in Europe [J]. European Transport Research Review, 2011, 3(3): 113-127.
- [5] 徐培培,陈富坚,戴波,等. 基于消费行为学的城市交通工具选择决策机制 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(10): 173-180.
- [6] 陈富坚,柳本民,郭忠印,等. 基于贝叶斯分析的道路交通系统可靠性模型 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(2): 220-225.
- [7] 陈雪梅,高利,魏中华,等. 驾驶员因素与交通事故率的关联性 [J]. 北京工业大学学报, 2007, 33(7): 697-701.
- [8] 付锐,郭应时,袁伟,等. 连续下坡道路事故率与纵面参数关系研究 [J]. 中国公路学报, 2009, 22(3): 101-106.
- [9] 郭应时,袁伟,李玉亮,等. 山区公路事故率与平面线形的关系 [J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(1): 63-71.
- [10] RATANAVARAHHA V, SUANGKA S. Impacts of Accident Severity Factors and Loss Values of Crashes on Expressways in Thailand [J]. Iatss Research, 2014, 37(2): 130-136.
- [11] 孔令铮. 交通事故致因中的人为因素分析 [J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(1): 28-34.
- [12] 马艳丽,王要武,裴玉龙. 疲劳与驾驶时间关系的实验心理学研究 [J]. 西南交通大学学报, 2009, 44(4): 535-540.
- [13] 刘志强,王兆华,钱卫东. 基于速度的交通事故分析 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(11): 35-38.

- [14] 王 炜, 过秀成. 交通工程学 [M]. 2 版. 南京: 东南大学出版社, 2011.
- [15] 张 利, 汪 林. 不利气象条件对公路交通安全的影响及对策 [J]. 公路交通科技, 2011, 28(S1): 120-123.
- [16] 刘志强, 王 玲, 张爱红, 等. 基于贝叶斯模型的雾霾天高速公路交通事故发生机理研究 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2018, 32(1): 43-49.
- [17] 汪明春. 道路条件对交通安全的影响分析 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.
- [18] TSAI J F, CHU C P, HU S R. Road Pricing for Congestion and Accident Externalities for Mixed Traffic of Motorcycles and Automobiles [J]. Transportation Research Part a: Policy and Practice, 2015, 71: 153-166.

## A Model for Calculating Traffic Accident Risk Costs by Considering Systematic and Time-Varying Properties

QU Qi-kai<sup>1</sup>, CHEN Fu-jian<sup>1</sup>, FENG Fei-yu<sup>2</sup>

1. School of Architecture & Transportation Engineering, Guilin University of  
Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China;

2. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China

**Abstract:** A model for calculating traffic accident risk costs need to consider both systematic and time-varying properties. Taking this into account, the authors of this paper applied the structural model to analyze the interrelation of various elements of the traffic safety system and their influence, and constructed a model for traffic accident risk cost calculation. The vehicle factors were taken as the key for modeling, and a basic model to figuring out the traffic risk was introduced through cluster analysis. Taking such parameters as continuous driving time, speed, curvature, slope and weather conditions as the dynamic influencing factors and based on the general cost theory, a universal model to calculate the risk costs of different travel modes was established. The data of an actual survey of one arterial highway in Zhuhai was taken as a sample to analyze the application of the traffic risk cost calculation model. The results of analysis showed that the traffic risk costs were considerably different due to different travel modes chosen by people. A reasonable choice in the means of travelling would effectively reduce the risk costs of traffic accidents and the primary travel costs. As the model proposed herein takes into account both systematic and time-varying properties, it should be in better conformity with the objective reality and thus have satisfactory rationality.

**Key words:** traffic accident risk model; structural analysis; travel mode; cost calculation method

责任编辑 汤振金