

文章编号: 1673-3193(2014)04-0419-08

城市道路交通安全风险分类 动态评价技术

赵学刚

(山西警官高等专科学校 交通管理系, 山西 太原 030021)

摘要: 针对城市道路交通系统交通安全风险耦合及动态变化的复杂性, 基于城市道路交通安全风险控制系统观点, 提出了分类型的城市道路交通系统监测期交通安全综合风险实时评价的方法及技术. 应用城市道路交通安全风险控制系研究成果, 提出系统风险源的新型分类方法. 在此基础上, 结合风险监测期、城市分类标准的确定, 应用风险指数法、置信区间法等方法对不同风险源作用进行定性、定量分析, 构建监测期敏感风险源监测指标体系及分类型城市的系统动态风险源结构, 建立敏感风险源动态风险方程, 提出了基于最小欧氏距离判断法的新型交通安全综合风险评价方法. 研究表明: 应用该技术可以实现监测期内不同类型城市的道路交通安全风险控制系实时风险等级的比较评价, 及其敏感风险源作用的定量评价. 该技术可以直接应用于目前公安交通安全管理部门的辖区城市道路交通安全风险评价月公告工作中.

关键词: 城市道路; 交通安全风险; 监测指标体系; 动态风险源结构

中图分类号: X951

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1673-3193.2014.04.012

Dynamic Evaluation Technology about Classification of Urban Road Traffic Safety Risks

ZHAO Xue-gang

(Traffic Management Department, Shanxi Police Academy, Taiyuan 030021, China)

Abstract: According to the complexity of safety risk coupling and dynamic changes in urban road traffic system, and the risk control system of urban road traffic safety, the real-time evaluating method and technology about the road traffic system of comprehensive traffic safety risk for different types of cities during the monitoring period were put forward. By applying the research outcomes of risk control system in urban traffic system, a new classification of risk sources was proposed. On the basis of the above, along with the theories of risk monitoring period and the determination of the city classification standard, different types of risk source functions were analyzed qualitatively and quantitatively with methods such as risk index method, confidence interval method and so on, and a new evaluation method about the comprehensive risk of traffic safety was proposed based on the minimum Euclidean distance judging method. At the same time, index system of monitoring sensitive risk sources during the monitoring period and the structure of dynamic risk sources for different types of cities were established and the dynamic risk equation about sensitive risk sources was set up. This research shows that by applying this technology, the comparative evaluation on the real-time risk grade in traffic safety risk-controlling system for different types of cities during monitoring period and the quantitative evaluation on the functions of the sensitive risk

* 收稿日期: 2014-01-09

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(2011011002-4); 山西省教育科学“十二五”规划立项课题(GH-12121)

作者简介: 赵学刚(1972-), 男, 副教授, 博士, 主要从事道路交通安全及其管理技术的研究.

sources can be realized. And the technology can be directly applied in the month announcement about the evaluation of the traffic safety risk for area of urban roads of current public security traffic safety administration.

Key words: urban road; traffic safety risks; monitoring index system; dynamic structure of risk sources

道路交通安全风险动态评价旨在通过对交通安全风险源的动态识别,风险源风险作用的动态分析以及风险的综合动态评价等来实现对交通安全风险动态特性的定量研究.在道路交通安全管理实践中,如何实现对城市道路交通安全风险实时、科学地评价是当前一项非常迫切的任务.在道路交通安全风险研究领域对交通安全风险评价也是一个热点^[1].目前,针对道路交通安全风险的评估或评价主要是针对静态风险的^[2-3].这种静态风险评估方法只是停留在较为滞后的事件链关系描述上,没有考虑风险的系统动态性,因此其应用受到一定的限制.对于安全风险动态评价研究较多的是航空领域.文献[4-5]对于空管交通安全风险从动态风险因子、监测指标评价阈值设定等角度进行了动态描述,这些成果对道路交通安全风险研究具有一定的借鉴意义.作者也曾就某一特定区域交通安全风险的动态特性进行研究^[6].本文是在此基础上,进一步研究区分不同类型城市的道路交通安全风险的动态评价方法及技术.本研究结合城市道路交通安全风险控制系统研究成果^[7],从区分不同类型城市道路交通安全风险动态特性的新角度,研究风险源的动态识别方法,构建新的敏感风险源监测指标体系,研发综合实时风险的动态评价新方法;在此基础上,开发出针对不同类型城市道路交通安全风险监测期的实时风险等级评价,以及监测期内风险源风险作用的定量评价技术.

1 城市道路交通安全风险动态评价的基本原理

1.1 城市道路交通安全风险控制系统

城市道路交通安全风险具体是指城市范围的道路交通系统中在将来一定时期内,可能出现的由车辆造成不确定对象的人身伤亡或财产损失的一种未来情景.根据相关耦合风险研究成果^[8]及耦合系统控制理论研究成果^[9],城市道路交通安全风险控制系统是由驾驶人-车辆(人-车),道路,

环境,交通流,交通安全管理,交通控制,交通安全决策以及承险的人和物(人-物)等系统要素构成.这个系统属于耦合系统,城市道路交通安全风险具有耦合特性.其中,人-车要素,即驾驶人操作车辆的行为,是关键、核心要素.道路,环境,交通流等要素是直接作用要素.交通安全管理,交通控制,交通安全决策等要素是间接影响要素.人和物(人-物)要素是系统被动要素.

1.2 系统风险动态评价的基本原理

城市道路交通安全风险控制系统的输入风险和输出风险处在不断的动态变化之中.从系统微观角度来看,系统要素间相互耦合关系动态变化形成不同时期不同的风险源结构.在城市道路交通安全风险控制系统中,由于系统构成要素较多,风险源作用过程受城市规模、城市道路交通特点,以及系统要素相互之间耦合关系的复杂性和动态变化性等影响,呈现出动态变化特性.因此,必须考虑城市交通特点对系统风险影响下的风险识别,研发构建系统动态风险源结构的方法;在此基础上,兼顾考虑风险源固有风险作用和相应的监测指标值来确定风险源实时风险,借助一个较为适用的综合评价方法确定系统实时综合风险等级.

2 系统风险源识别及动态风险源结构构建

2.1 系统风险源识别

城市道路交通安全风险控制系统中,系统要素都是造成系统风险的风险源.根据其在系统中的作用情况,可以将系统要素划分为作用风险源、直接风险源、承险源及间接风险源四个类型.作用风险源是指系统的驾驶人-车辆(人-车)要素.直接风险源是指系统的道路,环境等要素.承险源是指系统的人和物(人-物)要素.间接风险源是指系统的交通流,交通安全管理,交通控制,交通安全决策等要素.依据 HFACS 方法原理,应用区域道路交通事故伤亡风险源识别方法^[1],结合我

国现有交通事故统计数据可以得到系统风险源结构,见表 1.

表 1 城市道路交通安全风险控制系统风险源结构

Tab. 1 The risk source structure of control system on urban road traffic safety risk

风险源类型	要素风险源	主要子风险源	风险源类型	要素风险源	主要子风险源
作用 风险 源	人-车	低驾龄缺乏驾驶经验	间接 风险 源	交通流	不同性质交通流干扰
		驾驶人各种违法行为			交通流向混乱
		驾驶人操作失误			交通流速度突变
		车辆爆胎			不利饱和度
		制动失效			应急反应差
		制动不良			安全监管缺失不力
		转向失效			驾驶人考试瑕疵
		照明与信号装置失效			管理者缺乏责任心
直接 风险 源	道路	道路线形差	交通控制	交通安全法律缺陷	
		路面附着情况差		控制方法措施不合理	
		路面破损		无控制	
		道路交叉设计缺陷		交通控制缺陷	
	环境	道路出入口设计缺陷	公共交通优先		
		道路及视距缺陷	路口未渠划		
		未设置道路安全设施	车辆准入标准缺陷		
		不良天气影响	区域交通供求矛盾突出		
承 险 源	人物	自然灾害影响	交通安全决策	新建大型场所影响	
		不利环境影响		各部门间管理分工混乱	
		交通安全意识差		驾驶人准入标准缺陷	
		遵守交通安全法律意识差		安全目标制定失准	
		重点承险要素承险能力弱			
		出行量大			

2.2 系统敏感风险源识别

城市道路交通安全风险控制系统组成要素构成的不同类型风险源,在不同规模、特点的城市道路交通系统中的不同时期风险作用都是不同的.针对表 1 中得到系统风险源结构,可以根据风险源类型区别分析其风险作用.对于作用风险源和直接风险源这两个类型的风险源结构,由于其风险作用较其他类型风险源作用直接且作用明显,对其风险作用定量评价时就需要有大范围海量风险事件致害统计数据为依据,才可以较为准确客观描述其风险作用.此外,这两类型风险源结构中的子风险源在系统风险中处于微观层面,其风险作用较为不稳定,动态变化较为明显,但受不同城市规模等影响较小,对于不同类型城市可以不做修正.由此,现阶段,可以利用我国的道路交通事故信息系统数据库中的全国年度道路交通事故统计数据,应用风险概率指数评价法对其风险作用进行定量评级.风险概率指数评价法是依据历史的海量统计数据,确定模型分别计算风险源导致风险事件的发生概率以及伤亡后果的级别概率指数,确定合成法则,即可获得风险源各自的风险

概率指数,进而定量评价该风险源的风险作用^[1].本文设定采用一般重要、较重要、重要、很重要、极其重要五个评价等级,对应评价值域置信度为 0.8 和 0.4 置信区间的界值,采用求和法则.根据道路交通事故的信息系统特定阶段统计数据(如 2006 年全国数据),计算确定系统中风险源结构不同类型子风险源各自风险指数(0~8 级).将各类风险源中风险指数达到 6~8 级的子风险源作为该时期该类型风险源的敏感风险源,见表 2.

表 2 作用风险源和直接风险源的阶段敏感风险源结构(2006 年)

Tab. 2 Phase sensitive risk source structure of effect and direct risk sources (2006)

风险源类型	要素风险源	敏感风险源	风险指数 r_j
作用 风险源	人-车	一年内驾龄驾驶人失误	6
		驾驶人重点违法行为	8
		制动不良	8
直接 风险源	道路	未设置道路安全设施	7
	环境	雨雪雾等不利天气	8

对于表 1 中承险源及间接风险源中的子风险源,其风险作用并不直接且作用较小.因其在系统风险中处于宏观层面,其风险作用较为稳定,动态变化性相对较小.但这两类风险源受不同城

市规模等影响较大,对于不同类型城市应当进行修正.结合现阶段交通事故统计数据的统计口径设计原因,无法获得直接关联的交通事故数据,所以可以采用专家分析法结合城市实际情况进行评价.具体方法是在表1风险源结构中,针对不同类型风险源由专家按照其在标准城市中的风险作用按照0~8级评价.将各类风险源中风险指数达到6~8级的子风险源作为该时期该类型风险源的敏感风险源.在此基础上,针对不同规模城市,确定其修正系数.在我国,按照交通特点及城市规模,参照公安部《城市道路交通安全管理评价指标体系》(2012年版)可将城市分为特大型城市(A类城市)、大型城市(B类城市)、中型城市(C类城市)和其余城市(D类城市)四类评价时将中型城市作为标准城市,具体修正值见表3.

表3 承险源及间接风险源修正敏感风险源结构

Tab.3 Modified sensitive risk source structure of bear risk sources and indirect risk sources

风险源类型	要素 风险源	敏感 风险源	风险指数 r_j			
			A	B	C	D
间接 风险源	交通流	不同性质交通流干扰	8	8	7	6
		交通流向混乱	8	7	7	7
	交通安全 管理	应急反应差	8	7	6	5
		安全监管缺失不力	10	8	8	5
		交通安全法律缺陷	8	8	8	9
	交通控制	控制方法措施不合理	8	7	6	5
		无控制	8	8	8	7
		路口未渠划	8	8	8	7
	交通安全 决策	区域交通供求矛盾突出	9	8	7	7
		新建大型场所影响	9	8	7	6
各部门间管理分工混乱		8	8	8	7	
承险源	人-物	交通安全意识差	9	8	7	6
		遵守交通安全法律意识差	9	8	8	7
		重点承险要素承险能力弱	10	9	8	7
		出行量大	10	9	8	6

2.3 系统动态风险源结构

根据城市道路交通安全风险控制系统中不同风险源类型划分,应用定性分析和定量分析方法相结合,得到不同类型风险源的阶段性敏感风险源结构和城市类型修正敏感风险源结构,由它们共同构成不同阶段(年度)分城市类型的系统敏感风险源结构.该结构最大特点是根据城市实际交通状态的实时变化性即动态特性,识别系统特定时期的敏感风险源并以风险指数定量确定其风险作用.由此,系统不同类型风险源的敏感风险源及其风险指数就构建了系统的动态风险源结构.

该风险源动态结构反映不同时期系统微观敏感风险源及其风险指数,同时给出了不同城市系统宏观层面敏感风险源及其风险指数.

3 系统敏感风险源实时风险值确定方法

3.1 系统敏感风险源监测指标体系构建

风险源监测指标体系设计需要考虑的因素很多,而且可供选择的项目数量有很多.在确定城市道路交通安全风险控制系统中敏感风险源的监测指标时,尽可能依托现有《城市道路交通安全管理评价指标体系》来确定,以便加大可操作性.根据以上原则确定系统动态风险源结构中敏感风险源的监测指标体系见表4.

表4 系统敏感风险源的监测指标体系

Tab.4 Monitoring index system of sensitive risk source

序号	敏感风险源	监测指标 P_j
1	一年内驾龄驾驶人失误	一年内驾龄驾驶人比例
2	驾驶人重点违法行为	重点违法行为增长率
3	制动不良	车辆应检、应废率
4	未设置道路安全设施	危险路段未整治率
5	雨雪雾等不利天气	雨雪雾等不利天气比例
6	不同性质交通流干扰	高峰时段建成区主干道平均车速
7	交通流向混乱	高峰期交叉路口阻塞率
8	应急反应差	交通事故快速处理率
9	安全监管缺失不力	一次死亡多人的特大交通事故起数
10	交通安全法律缺陷	严重交通违法行为导致事故比例
11	控制方法措施不合理	交通管理设施不规范设置率
12	无控制影响	无交通信号协调控制率
13	路口未渠划	路口无渠化率
14	区域交通供求矛盾突出	万车公里事故率
15	新建大型场所影响	交通影响未评价率
16	各部门间管理分工混乱	交通综合协调机构不健全程度
17	参与者交通安全意识差	中小學生交通法规和交通安全常识普及率
18	遵守交通安全法律意识差	主干道交通出行违法率
19	重点承险要素承险能力弱	校车安全管理体系不健全
20	出行量大	节假日比例

3.2 敏感风险源动态风险方程

城市道路交通安全风险控制系统敏感风险源

动态风险的相关因素有风险指数、风险源监测指标的实时监测值以及监测期间. 系统敏感风险源动态风险方程为

$$R_j = f_j(t_j, r_j, P_j) \quad (j = 1, 2, \dots, 20), \quad (1)$$

式中: R_j 为系统第 j 类敏感风险源实时风险值; t 为监测期间, 在本方法中所有敏感风险源均取同月为监测期间, 因此可以作为系统风险的统一监测期间; P_j 为系统某第 j 类风险源监测指标值, 具体确定可以参照公安部《城市道路交通管理评价指标体系》(2012 年版) 中对应指标的确定方法; f_j 为函数关系, 在本方法中均取乘; f_j 为系统第 j 类敏感风险源风险指数, 由系统动态风险源结构确定.

4 系统实时综合风险评价方法

4.1 不同类型城市敏感风险源实时风险值及其评价等级的确定

4.1.1 分类城市敏感风险源实时风险值数据表建立

将参评城市按照城市分类标准进行分类, 分别获取参评城市监测时期敏感风险源监测指标值 P_j (表 4 中指标数据, $j=1, 2, \dots, 20$). 如果对于某类型参评城市个数 ≤ 2 时, 为保证评价信度, 可以增取参评城市的前 6~12 个监测时期(月)的历史监测指标数据作为单独参评项目, 扩大参评项目数量. 根据表 2, 表 3 数据构建的系统动态风险源结构中的敏感风险源及其风险指数和式(1), 可得到不同参评城市的不同敏感风险源实时风险值 R_{ij}^Δ (其中 Δ 分别表示 A、B、C、D 四类城市, $i(i=1, 2, \dots, m; m \geq 3)$ 表示参评项目即城市数, $j=1, 2, \dots, 20$ 表示敏感风险源及其监测指标数量), 依此可以建立分类城市敏感风险源实时风险值数据表, 见表 5.

4.1.2 分类城市敏感风险源实时风险值评价等级标准的确定

将城市敏感风险源实时风险值评价等级确定为五级: I 级(特别严重)、II 级(严重)、III 级(一般)、IV 级(较安全)和 V 级(安全), 分别对应以 $k(k=1, 2, \dots, 5)$ 表示. 应用置信区间法^[5], 在每类型城市中, 分别确定每类敏感风险源实时风险值评价等级对应的评价值 $\theta_k(k=1, 2, \dots, 5)$. 本文设定 10%、20%、40%、20%、10% 的比例对应置信区间的中间值作为该区域对应评价等价的标准

值, 将 $\theta_k(k=1, 2, \dots, 5)$ 分别对应置信区间的置信上下界和标准正态分布的 μ , 即:

$$\theta_1 = \bar{\theta}_{0.9}, \theta_2 = \bar{\theta}_{0.6}, \theta_3 = \mu, \theta_4 = \underline{\theta}_{0.6}, \theta_5 = \underline{\theta}_{0.9}.$$

表 5 Δ 类城市敏感风险源实时风险值数据

Tab. 5 Sensitive risk source real-time data of Δ urban

敏感风险源(j)	参评项目(城市)			
	1	2	...	i
一年内驾龄驾驶人失误($j=1$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
驾驶人重点违法行为($j=2$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
制动不良($j=3$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
未设置道路安全设施($j=4$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
雨雪雾等不利天气($j=5$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
不同性质交通流干扰($j=6$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
交通流流向混乱($j=7$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
应急反应差($j=8$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
安全监管缺失不力($j=9$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
交通安全法律缺陷($j=10$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
控制方法措施不合理($j=11$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
无控制影响($j=12$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
路口未渠划($j=13$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
区域交通供求矛盾突出($j=14$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
新建大型场所影响($j=15$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
各部门间管理分工混乱($j=16$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
参与者交通安全意识差($j=17$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
遵守交通安全法律意识差($j=18$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
重点承险要素承险能力弱($j=19$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ
出行量大($j=20$)	R_{1j}^Δ	R_{2j}^Δ	...	R_{ij}^Δ

注: R_{ij}^Δ 表示 Δ 类城市第 i 个城市第 j 类敏感风险源的实时风险值数据, Δ 分别表示 A、B、C、D 四类城市.

利用表 5 数据, 借助 Matlab 可以计算得到不同类型城市的所有敏感风险源实时风险值对应评价等价的标准值(其中 Δ 分别表示四类城市, $k=1, 2, \dots, 5$ 表示评价等级, $j=1, 2, \dots, 20$ 表示敏感风险源及其监测指标数量), 见表 6.

表6 Δ类城市敏感风险源实时风险值评价等级标准值数据

Tab.6 Sensitive risk source real-time risk value evaluation grade standard values of Δ urban

敏感风险源(j)	I级	II级	III级	IV级	V级
	特别严重	严重	一般	较安全	安全
一年内驾龄驾驶人失误(j = 1)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
驾驶人重点违法行为(j = 2)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
制动不良(j = 3)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
未设置道路安全设施(j = 4)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
雨雪雾等不利天气(j = 5)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
不同性质交通流干扰(j = 6)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
交通流向混乱(j = 7)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
应急反应差(j = 8)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
安全监管缺失不力(j = 9)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
交通安全法律缺陷(j = 10)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
控制方法措施不合理(j = 11)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
无控制影响(j = 12)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
路口未渠划(j = 13)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
区域交通供求矛盾突出(j = 14)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
新建大型场所影响(j = 15)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
各部门间管理分工混乱(j = 16)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
参与者交通安全意识差(j = 17)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
遵守交通安全法律意识差(j = 18)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
重点承险要素承险能力弱(j = 19)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ
出行量大(j = 20)	θ_{j1}^Δ	θ_{j2}^Δ	θ_{j3}^Δ	θ_{j4}^Δ	θ_{j5}^Δ

注: $\theta_{jk}^\Delta (j = 1, 2, \dots, 20; k = 1, 2, \dots, 5)$ 表示 Δ 类城市第 j 类敏感风险源第 k 级评价标准值, Δ 分别表示 A, B, C, D 四类城市.

4.2 无量纲化实时风险值矩阵和评价等级标准矩阵的建立

根据表5和表6数据,可以得到不同类型城市的实时风险值矩阵 $R^\Delta = (R_{ij}^\Delta)_{m \times 20}$ 和评价等级标准矩阵 $\theta^\Delta = (\theta_{jk}^\Delta)_{20 \times 5}$ (其中 Δ 分别表示 A, B, C, D 四类城市).

$$R^\Delta = \begin{bmatrix} R_{11}^\Delta & R_{12}^\Delta & \dots & R_{1j}^\Delta \\ R_{21}^\Delta & R_{22}^\Delta & \dots & R_{2j}^\Delta \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{i1}^\Delta & R_{i2}^\Delta & \dots & R_{ij}^\Delta \end{bmatrix},$$

$$\theta^\Delta = \begin{bmatrix} \theta_{11}^\Delta & \theta_{12}^\Delta & \dots & \theta_{1k}^\Delta \\ \theta_{21}^\Delta & \theta_{22}^\Delta & \dots & \theta_{2k}^\Delta \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta_{j1}^\Delta & \theta_{j2}^\Delta & \dots & \theta_{jk}^\Delta \end{bmatrix}.$$

根据 R^Δ 和 θ^Δ 可以建立无量纲化实时风险值矩阵 $\Gamma^\Delta = (a_{ij}^\Delta)$, ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, 20$) 和无量纲化评价等级标准矩阵 $H^\Delta = (b_{jk}^\Delta)$, ($j = 1, 2, \dots, 20; k = 1, 2, \dots, 5$), 即

$$\Gamma^\Delta = \begin{bmatrix} a_{11}^\Delta & a_{12}^\Delta & \dots & a_{1j}^\Delta \\ a_{21}^\Delta & a_{22}^\Delta & \dots & a_{2j}^\Delta \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1}^\Delta & a_{i2}^\Delta & \dots & a_{ij}^\Delta \end{bmatrix}$$

$$H^\Delta = \begin{bmatrix} b_{11}^\Delta & b_{12}^\Delta & \dots & b_{1k}^\Delta \\ b_{21}^\Delta & b_{22}^\Delta & \dots & b_{2k}^\Delta \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{j1}^\Delta & b_{j2}^\Delta & \dots & b_{jk}^\Delta \end{bmatrix},$$

其中, $a_{ij}^\Delta = \min_j R_{ij}^\Delta / R_{ij}^\Delta$, $b_{jk}^\Delta = \min_k \theta_{jk}^\Delta / \theta_{jk}^\Delta$.

4.3 最小欧氏距离综合评价模型

利用无量纲化实时风险值矩阵 $\Gamma^\Delta = (a_{ij}^\Delta)$, ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, 20$) 和无量纲化评价等级标准矩阵 $H^\Delta = (b_{jk}^\Delta)$, ($j = 1, 2, \dots, 20; k = 1, 2, \dots, 5$), 应用最小欧氏距离判断分析法^[10-11]进行评价. 最小欧氏距离判断分析法适用于多项目多指标综合评价, 该方法以不同项目的具有可比性的评价指标间距离关系为依据进行指标权重及综合评价. 城市分类后, 同类型城市交通安全风险评价指标即具有可比性这一特点适用于最小欧氏距离判断分析法的基本原理, 且该方法可以得到评价指标的权重值及评价项目的等级排序, 这样的评价结果正好满足交通安全风险评价的目的. 因此, 选用该方法进行评价计算获得分类城市道路交通安全风险的欧氏距离判断矩阵 $D^\Delta = (d_{ik}^\Delta)$, ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, 5$), 即

$$D^\Delta = \begin{bmatrix} d_{11}^\Delta & d_{12}^\Delta & \dots & d_{1k}^\Delta \\ d_{21}^\Delta & d_{22}^\Delta & \dots & d_{2k}^\Delta \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{i1}^\Delta & d_{i2}^\Delta & \dots & d_{ik}^\Delta \end{bmatrix},$$

其中, $d_{ik}^\Delta = \sqrt{\sum_{j=1}^{20} (a_{ij}^\Delta - b_{jk}^\Delta)^2}$.

由此可得分类城市道路交通安全风险的最小欧氏距离评价矩阵 $E^\Delta = (k_i^\Delta)$ ($i = 1, 2, \dots, m$), 即

$$E^\Delta = (k_1^\Delta, k_2^\Delta, \dots, k_i^\Delta)^\top,$$

其中, $k_i^\Delta = \min\{d_{ik}^\Delta\}$.

分类城市道路交通安全风险的评价结果为 k_i^Δ , 表示 Δ 类城市监测期内第 i 个城市道路交通安全风险被评价为第 k ($k = 1, 2, \dots, 5$) 级.

4.4 不同类型城市敏感风险源风险作用定量模型

应用最小欧氏距离判断分析法, 利用无量纲化评价等级标准矩阵 H^Δ 可以确定每一类型城市的全部敏感风险源监测期内风险作用的大小. 计算敏感风险源监测期均值矩阵 $U^\Delta = \mu_j^\Delta, (j = 1, 2, \dots, 20)$ 与标准差矩阵 $S^\Delta = s_j^\Delta, (j = 1, 2, \dots, 20)$, 即

$$U^\Delta = (\mu_1^\Delta, \mu_2^\Delta, \dots, \mu_j^\Delta)^\top,$$

$$S^\Delta = (s_1^\Delta, s_2^\Delta, \dots, s_j^\Delta)^\top,$$

其中, $\mu_j^\Delta = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 b_{jk}^\Delta, s_j^\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^5 (b_{jk}^\Delta - \mu_j^\Delta)^2}{5}}$.

计算其变异系数矩阵 $W^\Delta = w_j^\Delta, (j = 1, 2, \dots, 20)$, 即

$$W^\Delta = (w_1^\Delta, w_2^\Delta, \dots, w_j^\Delta)^\top,$$

其中, $w_j^\Delta = \frac{s_j^\Delta}{\mu_j^\Delta}$.

对变异系数归一化得到各敏感风险源的风险作用定量值矩阵 $W_R^\Delta = w_{R_j}^\Delta, (j = 1, 2, \dots, 20)$, 即

$$W_R^\Delta = (w_{R_1}^\Delta, w_{R_2}^\Delta, \dots, w_{R_j}^\Delta)^\top,$$

($j = 1, 2, \dots, 20$).

根据定量值矩阵(向量)中各类敏感风险源(j)对应的定量值的大小, 可确定各类敏感风险源(j)在监测期内的风险作用大小并可以得到排序.

5 系统风险动态评价操作流程

根据前文所建立的方法及模型, 对于一定区域内(如省域内)所辖城市进行交通安全风险动态评价的操作流程设计如图 1 所示. 在实际操作过程中, 对于风险指数法、置信区间法以及最小欧氏距离判断分析法中的矩阵运算均可利用 Matlab 软件进行.

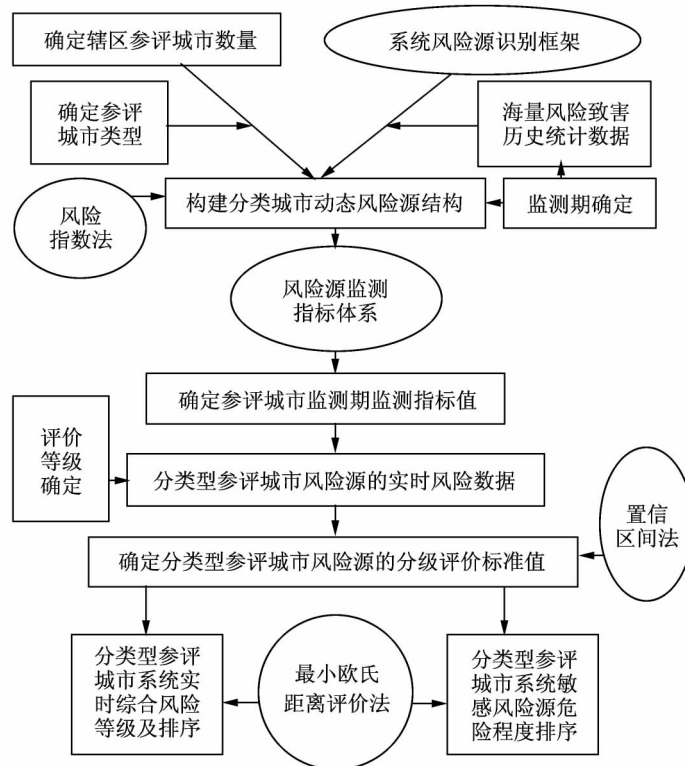


图 1 区域所辖城市交通安全风险动态评价的操作流程

Fig.1 Operational process of the area of governed urban traffic safety risk dynamic evaluation

6 结束语

1) 城市道路交通安全风险控制系统由8个要素构成,系统构成要素就是系统风险的风险源,可以划分为作用风险源、直接风险源、承险源及间接风险源四个类型.不同类型风险源在系统风险动态变化过程中作用不同.

2) 城市道路交通安全风险控制系统动态性决定了不同时期、不同城市规模及交通特点下系统风险的敏感风险源及其风险作用是不同的.根据监测期的敏感风险源及其风险作用的定量分析可以描述系统风险的动态特性.

3) 最小欧氏距离判断分析法可以对城市道路交通安全风险控制系统监测期的敏感风险源及其风险作用进行定量分析,能够较好实现分类型参评城市系统监测期(实时)风险等级确定并可以进行排序比较,同时可以实现分类型参评城市监测期(实时)系统敏感风险源的风险作用的定量值评价.该方法可以利用Matlab软件进行相关运算.

4) 风险动态评价操作流程及本文所研发的方法与技术,可以为目前一些省级道路交通安全管理部门进行的辖区城市道路交通安全风险比较评级月公告制度提供实用的理论与技术支持.

参考文献:

- [1] 赵学刚,谭迎新. 区域道路交通事故伤亡风险源分类评价研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(2): 160-165.
Zhao Xuegang, Tan Yingxin. Classification evaluation on the sources of casualty risks of regional road traffic safety [J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(2): 160-165. (in Chinese)
- [2] 沈鸿飞,贾利民. 区域路网交通安全风险分析及管控策略研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(5): 187-192.
Shen Hongfei, Jia Limin. Regional road network traffic safety risk analysis and control strategies [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(5): 187-192. (in Chinese)
- [3] 刘文超,兰乔,李一兵,等. 一种新的道路交通安全综合评价方法[J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9(2): 102-106.
Liu Wenchao, Lan Qiao, Li Yibing, et al. A new comprehensive evaluation approach to road traffic safety [J]. Journal of Transportation Engineering and Information,

- 2011, 9(2): 102-106. (in Chinese)
- [4] 赵巍飞,陈琳,王红勇. 基于熵权和模糊分析的空管运行安全风险评价[J]. 航空计算技术, 2013, 43(4): 1-5.
Zhao Yifei, Chen Lin, Wang Hongyong. Safety risk evaluation of ATM operation based on entropy weight and fuzzy analysis [J]. Aeronautical Computing Technique, 2013, 43(4): 1-5. (in Chinese)
- [5] 罗帆,杨智. 空中交通管制安全风险预警决策模式[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2013, 35(2): 274-278.
Luo Fan, Yang Zhi. Early warning decision model of safety risk in air traffic control [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Information and Management Engineering), 2013, 35(2): 274-278. (in Chinese)
- [6] 赵学刚. 区域路网交通安全风险动态预警关键技术研究[D]. 陕西: 长安大学, 2010.
- [7] 赵学刚,谭迎新. 城市交通安全风险文化系统三维结构体系构建[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(12): 122-127.
Zhao Xuegang, Tan Yingxin. Construction of three-dimensional structure system for urban traffic risk culture [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(12): 122-127. (in Chinese)
- [8] 姜宁. 基于风险耦合的交通预警响应系统的设计[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(4): 69-72.
Jiang Ning. Design of transport risks forewarning-response system based on risk coupling [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(4): 69-72. (in Chinese)
- [9] 黄剑坚,王保前. 我国系统耦合理论和耦合系统在生态系统中的研究进展[J]. 防护林科技, 2012(5): 57-61.
Huang Jianjian, Wang Baoqian. Research progress in the ecological system of the our country system coupling theory and coupled system [J]. Protection Forest Science and Technology, 2012(5): 57-61. (in Chinese)
- [10] 曹鹏飞,李宏宁,罗艳琳,等. 基于多光谱成像选取四季豆叶片的特征波段[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(1): 86-92.
Cao Pengfei, Li Hongning, Luo Yanlin, et al. Selection of feature bands for phaseolus vulgaris leaves based on multi-spectral imaging [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(1): 86-92.
- [11] 李伯年. 模糊数学及其应用[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2007.