

风雨耦合作用下的城市道路行车风险评估

张可欣, 岳小泉, 孙晓楠, 方敬升, 黄海南, 游宇光

(福建农林大学 交通与土木工程学院, 福建 福州 350002)

摘要: 从道路条件、天气条件和设施条件3个方面选取18个影响因素, 基于DAMATEL方法, 建立直接影响矩阵并规范化, 获得综合影响矩阵, 得到三层次风雨耦合作用下的城市道路风险评估体系, 结合模糊综合评价以及层次分析法确定各级评价指标的权重, 建立了一个相对完整的评价体系, 并将其应用于当地的风险评估中, 为当地的交通管理控制以及降低行车风险提供了一定的理论参考。

关键词: 交通安全; 风雨耦合; 城市道路; 风险评估; 模糊综合评价; 层次分析法

中图分类号: U491.31

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2021)01-0075-06

Assessment of traffic risk on urban roads under the coupling effect of wind and rain

ZHANG Kexin, YUE Xiaoquan, SUN Xiaonan, FANG Jingsheng, HUANG Hainan, YOU Yuguang

(College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: 18 influencing factors were selected from the 3 aspects of road conditions, weather conditions and facility conditions. Based on the DAMATEL method, the direct influence matrix was established and standardized, and the comprehensive influence matrix was obtained. The urban road risk assessment system under the coupling effect of three levels of wind and rain was obtained. Combined with fuzzy comprehensive evaluation and analytic hierarchy process, the weight of each level of evaluation index was determined, and a relatively complete evaluation system was established, which was then applied to the local road risk assessment, and provided some theoretical reference for the management and control of local traffic and the reduction of traffic risks.

Keywords: traffic safety; coupling of wind and rain; urban roads; risk assessment; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process

风、雨等恶劣气候往往会降低路面的附着系数、降低驾驶员的反应速度、缩小其视线范围, 从而威胁道路使用者的行车安全^[1]。当前国内外针对风雨耦合作用下的城市道路交通安全风险评估开展了相关的研究, 陆键^[2]概括了有关城市交通安全风险管理的基本模型, 从识别、评估、管理3个方面阐明了风险管理的概念; 金元旭等^[3]基于EDCIS系统研究固定目标和移动目标在海上产生的风险问题, 开发了船舶操纵的风险实时判断系统; 冯培^[4]采用topsis逼近理想解排序法进

行风险因素识别, 筛选关键因素, 采用模糊综合评判法进行行车安全风险评估; Zheng Xunjia等^[5]以HMM模型为基础, 预测道路交通风险并将其量化, 以实时变化的风险图直观的表现出来; 魏科^[6]以风险相关理论为基础, 分析建立了一个城市道路的行车安全风险的监察测定指标体系; 邱磊等^[7]以影响系数为基础, 确定评价指标的权重并对其聚合, 建立在不同状态情况下的高速公路行车安全风险评估模型; 王强^[8]针对目前交通运输系统风险管理存在的问题进行分析并探讨相应

收稿日期: 2020-10-23

基金项目: 福建农林大学科技创新专项基金项目(KFA17039A)

第一作者简介: 张可欣(1998—), 女, 福建三明人, 硕士研究生, 研究方向: 交通运输规划与管理。

通信作者: 岳小泉(1979—), 女, 福建长汀人, 讲师, 博士, 研究方向: 交通管理与控制、木材无损检测。

的解决措施;吴兵等^[9]提出了恶劣天气条件下高速公路安全风险建议车速的确定方法;刘福泽等^[10]通过分析北京市轨道交通中的风险源可能引发的风险事件,证明在各种类型的风险事件中,发生行车事故的可能性最大。

上述针对城市道路风险评估的研究中,以风雨为条件的安全评估一般只侧重其中一方面,对于在风雨耦合作用下的城市道路行车风险没有相对完善的评估体系。本研究在各种风险评估中对已识别的影响因素进行分类,并建立彼此之间直接影响的矩阵,计算各因素的影响程度和中心度,结合模糊综合评价原理和层次分析法建立评价体系,确定风雨天气的安全风险评估等级,结合当地专家调查法进行了风雨天气下的风险评估,并提出

出相关的交通管理和控制措施,为受风雨天气影响较大的沿海城市提供更多的管理交通的理论支持。

1 建立行车风险评估体系

1.1 确定风险评估指标集

在风险评估的过程中,需要从整体的角度全面系统地考虑风险影响因素,针对特定的风险主体或事件展开,保证风险评估的可实施性^[11]。本课题基于综合、科学、对照的准则,主要研究影响风雨耦合作用行车安全的要素,考虑风和雨可能对交通造成的影响,从道路条件、天气条件、设施条件中选择如图 1 所示的 18 个影响道路行车安全的关键因素。

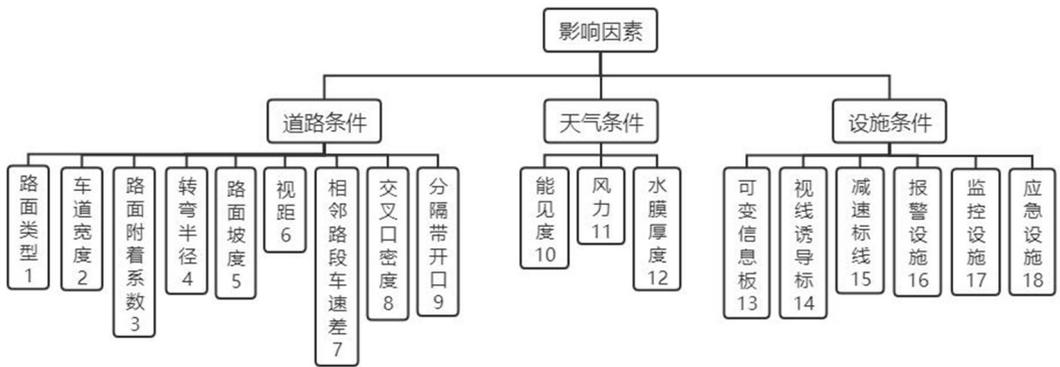


图 1 风雨耦合作用下行车风险影响因素

Fig.1 Influence factors under the coupling effect of wind and rain on traffic risks

为了解影响因素之间的逻辑关系,选取现有专家的知识经验和定量分析因素之间的关系,建立风雨耦合作用下城市道路安全行车风险因素之间的关系有向图,如图 2 所示。

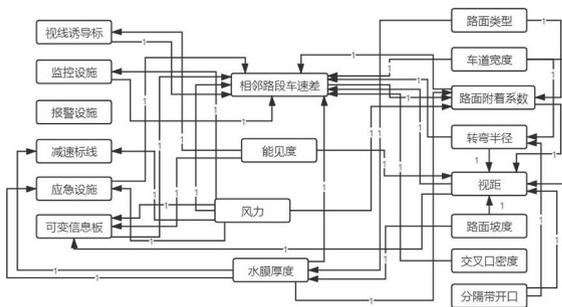


图 2 安全行车风险因素之间的关系有向图

Fig.2 Directed graph of the relationship between the risk factors for safe driving

根据图 2,建立直接影响矩阵 $S=(a_{ij})$ 。标准化直接影响矩阵

$$S' = \frac{a_{ij}}{\max\left\{\sum_{j=1}^n a_{ij}\right\}} \quad (1)$$

综合影响矩阵

$$T = S' * (1 - S')^{-1} = (t_{ij}) \quad (2)$$

$$\text{第 } i \text{ 行影响度} = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (3)$$

$$\text{第 } j \text{ 列被影响度} = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (4)$$

$$\text{中心度} = \text{第 } i \text{ 行影响度} + \text{第 } j \text{ 列被影响度} (i=j) \quad (5)$$

通过式(1)至(5)的计算分析,确定 1 为系统阈值,将中心度大于 1 的指标取出,得出三层次结构的评估指标体系并构建多层次评估风险集,如图 3 所示。

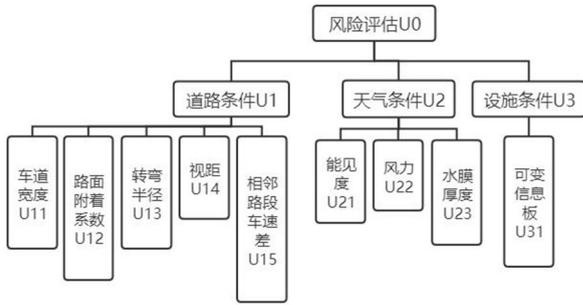


图 3 风雨耦合作用下城市道路安全行车风险评估指标集

Fig.3 Risk assessment index set of urban road safety driving under the coupling effect of wind and rain

2 工程实例分析

2.1 确定权重集

风险评价的方法有两种,一是在现有统计数据的基础上,根据事故的特点和发生规律对驾驶风险进行评价;二是分析交通安全风险的主要影响因素,提取安全评价标准并构建驾驶风险评价的数学模型,包含层次分析法、熵权物元模型等^[10]。运用层次分析法合理利用专家调查法,参考判断矩阵的标度定义,如表 1 所示,以此来获取判断矩阵。

表 1 判断矩阵标度定义

Tab.1 Definition of judgment matrix scale

标度	含义
1	代表两个影响因素同样重要
3	代表两个影响因素之间,前一个比后一个稍微重要
5	代表两个影响因素之间,前一个比后一个显然重要
7	代表两个影响因素之间,前一个比后一个强烈重要
9	代表两个影响因素之间,前一个比后一个极其重要
2,4,6,8	代表两个影响因素之间的重要程度介于上述相邻两程度之间
倒数	假设因素 i 与 j 的重要性之比为 a_{ij} ,则 j 与 i 的重要性之比为 $1/a_{ij}$

在获得判断矩阵之后,利用几何平均法来获得各个影响因素的权重系数,并通过一致性检验

判断矩阵的一致性。

权重系数:

$$W_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad \text{其中 } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

CI 为一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{其中 } \lambda_{\max} \text{ 为最大特征值} \quad (7)$$

CR 为一致性比例:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

其中,(8)式中 RI 的取值如表 2 所示,

表 2 平均随机一致性指标

Tab.2 Average random consistency index

n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24
2	0.00	7	1.36
3	0.52	8	1.41
4	0.89	9	1.46
5	1.12	10	1.49

当 $CR < 0.1$ 时,通常认为判断矩阵的一致性是可以接受的。

根据表 1 列出各层因素判断矩阵,并检验判断矩阵的一致性。

$$U_0 \text{ 的判断矩阵 } \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/2 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}$$

$$U_1 \text{ 的判断矩阵 } \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 2 \\ 3 & 1 & 1 & 3 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1/3 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$U_2 \text{ 的判断矩阵 } \mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

根据式(6)得出各判断矩阵各指标的权重系数,如表 3 所示。判断矩阵均经过式(7)和(8)的一致性检验计算,各判断矩阵的一致性均可以接受。

表 3 各指标的权重系数

Tab.3 Weight coefficient of each index

指标等级	指标	权重
一级指标	道路条件	0.286 6
	天气条件	0.569 2
	设施条件	0.144 3
	车道宽度	0.128 7
	路面附着系数	0.329 1
二级指标	转弯半径	0.212 0
	视距	0.224 1
	相邻路段车速差	0.106 0
	能见度	0.387 3
	风力	0.442 7
	水膜厚度	0.170 0
	可变信息板	1.000 0

2.2 建立评估矩阵

参考赵丽苹^[12]、王丰元^[13]等文章中的评估标准确定评估标准的取值,得出风险评估各个指标的评判标准,如表 4 所示。

为便于统计,将打分的分值范围锁定为 0~80 分^[11],通过运用专家调查法,咨询相关方向的研究人员确定福建省福州市闽侯县城市道路资料评价表,如表 5~表 7 所示。遵循相关道路安全评价指标,采用模糊综合分析法确定当地城市道路行车安全风险评估。

把因素中同等级权重相加,获得评判集矩阵 R :

$$R = \begin{pmatrix} 0.352\ 8 & 0.647\ 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

表 4 风险评估各指标的评判标准

Tab.4 Evaluation criteria of risk assessment indicators

风险等级	道路条件				天气条件			可变信息板	
	车道宽度/m	路面附着系数	转弯半径/m	视距/m	相邻路段车速差/(km·h ⁻¹)	能见度/m	风力/级		水膜厚度/mm
安全(3)	>15.0 或 <5.8	>0.6	>25	>400	<10	>800	<6	<0.5	80~60
中等(2)	11.0~15.0	0.6~0.2	25~15	400~100	10~20	800~200	10~6	2.5~0.5	60~40
危险(1)	5.8~11.0	<0.2	<15	<100	>20	<200	>10	>2.5	<40

表 5 闽侯县城市道路 U_1 道路条件资料综合评价表

Tab.5 Comprehensive evaluation table for U_1 road condition data of urban roads in Minhou County

因子	车道宽度 U_{11}	路面附着系数 U_{12}	转弯半径 U_{13}	视距 U_{14}	相邻路段车速差 U_{15}
指标集	15.3	0.5	14	413	12
评价等级	3	2	2	3	2
权重	0.128 7	0.329 1	0.212 0	0.224 1	0.106 0

表 7 闽侯县城市道路 U_3 设施条件资料综合评价表

Tab.7 Comprehensive evaluation table for U_3 facility condition data of urban roads in Minhou County

因子	可变信息板 U_{31}
指标集	63
评价等级	3
权重	1

表 6 闽侯县城市道路 U_2 天气条件资料综合评价表

Tab.6 Comprehensive evaluation table for U_2 weather condition data of urban roads in Minhou County

因子	能见度 U_{21}	风力 U_{22}	水膜厚度 U_{23}
指标集	420	6	1.5
评价等级	2	2	2
权重	0.387 3	0.442 7	0.170 0

2.3 多层次模糊综合评估

把各个因素集的评估指标 U_i 评估矩阵 R 进行模糊矩阵计算,就可以获得各指标 U_i 相对评语集的隶属向量 B :

$$B = U * R = (0.286\ 6, 0.569\ 2, 0.144\ 3) * \begin{pmatrix} 0.352\ 8 & 0.647\ 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = (0.245\ 4, 0.754\ 7, 0)$$

根据以上数据,最终评估结果将 B 转成模糊评判分值,即:

$$V = B * v =$$

$$(0.245\ 4, 0.754\ 7, 0) * (3, 2, 1)^T = 2.245\ 6 \approx 2$$

对应隶属等级档次为中等,相关管理部门需采取一定的措施提高在风雨耦合作用下的城市道路行车安全,降低行车风险,保障风雨天气的行车安全。

3 风雨耦合作用下城市道路交通安全控制措施

3.1 彩色路面铺装

根据各指标的权重系数可知,在道路条件中,路面附着系数权重占比最大,通过评价,在风雨天气下,当地城市道路的路面附着系数等级处中等,而随着降雨量的增大,路面附着系数也会随之减小,甚至可能会降低到危险级别,有一定的交通安全隐患,相关部门可在下坡路段、转弯路段及其他易发生事故地铺装彩色防滑路面,不仅有美化作用,而且能够提高城市道路的路面附着系数,降低行车事故率。

3.2 减速标线设置

在评估系统的天气条件中,能见度所占权重偏大,而当地城市道路在风雨天气时能见度等级处中等,依然未处于安全等级,为预防交通事故的发生,相关部门需在城市道路转弯路段、易发生交通冲突地、易积水路段设置减速标线,降低车辆行驶速度预防事故的发生,同时因雨天能见度较低,可结合可变信息板等设施对车辆司机进行预警提示。

3.3 道路信息及时传递

研究在设施条件中选取了很多因素参与评估,但最终通过计算在评估系统中只保留了可变信息板一个影响因素,可见其非常重要。在大雨及暴雨时,交通管理部门需及时通过可变信息板或广播等设施,以黄色或红色这种能够提高警示性的颜色传递信息,提高城市道路行车安全性。

3.4 车速控制

在天气条件中,风力占权重最大,因此在风力

较大时,管理部门需在过江桥、城市隧道出入口等容易受到风力影响的特殊路段采取局部限速管理措施,及时通过可变信息板、GPS 导航信息等提醒驾驶员能够减速慢行,避免风力较大而产生侧翻或侧滑等事故。

3.5 车道管理

根据调查可知,车辆变换车道会增加车辆之间的冲突,尤其在暴雨这种能见度较低的天气中,行车危险性更高,因此交通管理部门需要根据交通流的特征、交通量的大小以及车辆类型的不同来控制车道、限制车辆在路段情况复杂时改变车道,减少车辆之间的冲撞并确保车辆行车的安全。

4 结论

1)根据分析研究可知,风雨耦合天气下对行车安全影响最大的是天气条件,其中风力和能见度对交通安全影响较大,在道路条件中,路面附着系数对行车安全影响较大,在设施条件中,可变信息板在风雨天气下起着重要的作用,相关部门应采取相应措施着重从这几个影响因素入手进行交通控制,降低交通事故率,在工程实例分析中,文章对风雨天气下的城市道路行车安全进行评估,最终评估安全等级为中等,根据调查分析可知,路面附着系数、转弯半径、相邻路段车速差、能见度、水膜厚度、风力这些因素对行车安全仍存在一定的威胁,安全程度有待提高,同时,在文章的第三部分也从彩色路面铺装、减速标线设置、道路信息及时传递、车速控制、车道管理等方面,结合前两部分内容提出了建议措施,供城市道路相关部门参考。

2)论文不足及进一步研究的问题:论文只选取三大影响因素进行分析,但还是有一些影响因素没有考虑在内,研究内容不够全面;论文风险评估指标集采用专家调查法,但各专家的知识面以及经验不相同,有主观上的意识,存在一些偏差,如何选取更佳的调查方法是进一步需要研究的内容。

参考文献:

- [1] 李佳妮. 道路交通路形与气象动态耦合风险评估方法研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2020.
- [2] 陆健. 城市交通安全风险管理概论[J]. 交通与港航, 2016, 3(3):12-15, 3.
- [3] KIMW O, KIM C, YOUN D, et al. Development of maritime traffic risk assessment system based on ECDIS[J]. Journal of

Fishries and Marine Sciences Education, 2017, 29(6):1670-1675.

- [4] 冯培. 不利天气条件下行车安全耦合风险评估与对策研究[D]. 北京:中国人民公安大学, 2018.
- [5] ZHENG X, ZHANG D, GAO H, et al. A novel framework for road traffic risk assessment with HMM-based prediction model[J]. Sensors, 2018, 18(12):E4313
- [6] 魏科. 城市道路交通安全风险监测方法研究[D]. 北京:中国人民公安大学, 2020.
- [7] 邱磊, 叱干都, 邓志刚, 等. 基于影响系数的高速公路行车风险评估模型[J]. 公路交通科技, 2020, 37(3):123-129.
- [8] 王强. 交通运输系统安全风险探析[J]. 决策探索(中), 2020(6):15.
- [9] 吴兵, 翟犇, 卢建涛, 等. 基于安全风险的恶劣天气下高速公路建议车速确定方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2020, 48(11):1570-1578.
- [10] 刘福泽, 李娟, 范博松, 等. 城市交通系统安全运营状态风险评估:以北京市轨道交通为例[J]. 管理评论, 2020, 32(7):217-225.
- [11] 陈凤. 闽北高速公路交通安全风险评估[D]. 福州:福建农林大学, 2015.
- [12] 赵利苹. 风雨耦合作用下高速公路交通安全与控制策略研究[D]. 西安:长安大学, 2013.
- [13] 王丰元, 樊杰玉, 王晓龙. 道路结构参数对交通事故的影响分析[J]. 中外公路, 2015, 35(1):319-323.

(责任编辑:方素华)

(上接第 55 页)

粒径橡胶颗粒的 7 d 龄期强度差值很小, 28、60 d 龄期强度在掺量 10% 时, 掺 1~2 mm 橡胶颗粒较明显高于掺 2~4 mm 橡胶颗粒; 同掺量条件下, 掺橡胶粉的抗压强度均低于掺橡胶颗粒的强度值。

3) 橡胶自密实混凝土 7 d 龄期的抗压强度发展可达 60 d 抗压强度的 65%~80%, 7 d 后强度增长趋势有所减缓, 掺橡胶颗粒、掺量 40% 的试件在

28 d 龄期抗压强度值已经趋于稳定, 两组 90 d 龄期试件强度与 60 d 的试件强度对比增长很小, 60 d 抗压强度值已经趋于稳定。结合试验数据拟合了橡胶粒径、掺量与抗压强度的关系式, 拟合了早龄期强度与后期强度的预测公式, 通过验证拟合预测与试验结果吻合较好。

参考文献:

- [1] 胡艳丽, 高培伟, 李富荣, 等. 不同取代率的橡胶混凝土力学性能试验研究[J]. 建筑材料学报, 2020, 23(1):85-92.
- [2] 薛刚, 林大地. 橡胶混凝土低温抗折性能试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(5):623-628.
- [4] 王军军, 张仪华, 秦文轩, 等. 废旧橡胶混凝土力学性能的研究[J]. 硅酸盐通报, 2016, 35(7):2219-2223.
- [5] 张卫东, 王振波, 何卫忠, 等. 橡胶对自密实混凝土基本力学性能的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2016, 37(1):66-70.
- [6] 阎磊. 橡胶自密实混凝土和易性及力学性能研究[J]. 新型建筑材料, 2020, 47(5):22-25, 41.
- [7] 帅美新, 余建杰. 废旧橡胶集料自密实混凝土力学性能研究[J]. 水利规划与设计, 2016(9):74-77.
- [8] 傅强, 牛荻涛, 谢友均, 等. 橡胶集料自密实混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能[J]. 建筑材料学报, 2017, 20(3):359-365.
- [9] 罗素蓉, 陈伟妹, 王雪芳. 橡胶自密实混凝土断裂性能试验研究[J]. 水利学报, 2015, 46(2):217-222.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 普通混凝土配合比设计规程:JGJ 55—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 自密实混凝土应用技术规程:JGJ/T 283—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 普通混凝土力学性能试验方法标准:GB/T 50081—2002[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.

(责任编辑:方素华)