

基于事故因子分析的道路安全区域差异化管理对策研究

王一凡, 程 瑞*, 覃晓焯, 莫松菊, 梁欣然, 韦必军

桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 广西 桂林

收稿日期: 2023年11月27日; 录用日期: 2024年1月8日; 发布日期: 2024年1月17日

摘 要

为探究影响南北方道路交通事故人员伤亡的关键致因因素, 制定道路安全区域差异化管理对策。基于2020~2022年间广西壮族自治区和山东省交通事故数据, 从人-车-路-环境四方面因素选取75个潜在自变量, 利用多项logistics回归模型分析识别得到影响南北方交通事故的显著性致因因素。研究结果表明: 南北方交通事故的共性致因因素为: 驾驶人是否超速、驾驶人是否采取安全防护、车辆服役时间、事故路段车流量、限速标志、路侧几何设计。北方交通事故的差异性致因因素为: 驾驶人是否饮酒、道路表面状况、天气; 南方交通事故的主要致因因素为: 驾驶人视野是否受限、驾驶人是否按照车道行驶、有无非机动车道、道路等级、是否降水。研究成果可为南北方地区制定道路安全差异化管理方案提供依据与参考, 对于减小道路交通事故人员伤亡与经济损失具有现实意义。

关键词

南北方交通事故, 致因因素, 差异性分析, 多项logistics模型

Research on Regional Differentiated Management Strategy of Road Safety Based on Accident Factor Analysis

Yifan Wang, Rui Cheng*, Xiaoxuan Qin, Songju Mo, Xinran Liang, Bijun Wei

School of Architecture and Transportation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi

Received: Nov. 27th, 2023; accepted: Jan. 8th, 2024; published: Jan. 17th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 王一凡, 程瑞, 覃晓焯, 莫松菊, 梁欣然, 韦必军. 基于事故因子分析的道路安全区域差异化管理对策研究[J]. 交通技术, 2024, 13(1): 12-23. DOI: 10.12677/ojtt.2024.131002

Abstract

In order to explore the key factors affecting the casualties of road traffic accidents in the north and the south, formulate regional differentiated management countermeasures for road safety. Based on the traffic accident data of Guangxi Zhuang Autonomous Region and Shandong Province from 2020 to 2022, 75 potential independent variables were selected from four aspects of human-vehicle-road-environment factors, and the significant cause factors affecting traffic accidents in the south and north were analyzed and identified by multiple logistics regression models. The results show that the common causes of traffic accidents in the north and south are: whether the driver is speeding, whether the driver takes safety protection, the service time of the vehicle, the traffic flow in the accident section, the speed limit sign, and the roadside geometric design. The causes of different traffic accidents in north China are: whether the driver drinks alcohol, road surface conditions, weather; The main causes of traffic accidents in the south are: whether the driver's vision is limited, whether the driver is driving according to the lane, whether there is non-motorized lane, road grade, and whether there is precipitation. The research results can provide a basis and reference for the formulation of differentiated road safety management schemes in the northern and southern regions, and have practical significance for reducing the casualties and economic losses caused by road traffic accidents.

Keywords

North and South Traffic Accidents, Causative Factor, Difference Analysis, Multiple Logistics Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国地大物博, 南北气候、地理环境存在极大差异, 导致交通事故致因因素可能存在不同, 应当针对不同地区实行差异化交通安全管理方案。据统计, 2022 年我国道路交通事故发生 244,674 起, 死亡人数为 61,703 人, 受伤人数为 250,723 人, 安全形势依然严峻。因此, 开展交通事故差异化致因因素分析, 对于提高公路行车安全水平、降低公路交通事故数量与死亡人数具有重要的理论价值和现实意义。

一直以来, 交通事故致因因素都是饱受关注的话题, 国内外学者为此投入了大量的研究。例如, 季芳[1]构建了山区高速公路事故严重程度预测模型。冯忠祥等[2]以交通事故起数为条件, 针对道路环境因素对交通事故严重程度的影响进行了深入分析。赵阳等[3]通过分析平原地区高速公路交通安全影响因素, 提出了针对性的事故预防与安全保障措施。刘鑫鑫[4]从驾驶人、车辆、道路与环境等多个角度选择对交通事故有潜在影响的 13 个因素作为模型自变量, 建立累积条件 Logistic 回归模型对追尾事故严重程度进行预测。黄静洁等[5]采用多因素 Logistic 回归分析筛选得到影响广西低等级公路不同水平事故严重度的显著性因素。魏泽平等[6]以北京市高速公路为例, 对交通事故形态、时空特征以及事故发生前后交通流变化特征进行分析, 提出了不同因素对于事故发生的多因素耦合作用。Ali K 等[7]利用 GIS 技术结合核密度估计, 以英国为研究区域识别事故热点。Shaheed 等[8]采用混合 Logit 模型构建事故严重程度预测模型研究了美国爱荷华州摩托车事故的显著影响因素。

已有大部分研究中仅分析单一区域事故数据的整体规律及特性, 或在某一特定条件下对交通事故致

因因素进行研究，对于不同区域间交通事故的关键致因因素的差异性分析研究较少。因此，本文通过整理 2020~2022 年间广西壮族自治区及山东省交通管理部门提供的交通事故统计信息，从人员、车辆、道路、环境四个方面提取 75 个可能影响交通事故的致因因素，利用多项 logistics 回归分析识别影响南北方交通事故的关键致因因素，并根据不同地区特性提出差异化交通安全管理方案。

2. 南北方交通事故统计

2.1. 数据概述

本文分别选取 2020~2022 年间广西壮族自治区及山东省发生的 2000 起交通事故数据(含驾驶人特性、车辆特性、道路特性、环境特性、事故发生时间、发生地点、事故严重程度等信息)。在数据预处理过程中，共剔除 273 起不完整的信息数据，将剩余的 1727 起事故纳入下一步的数据分析当中(北方地区 865 起，南方地区 862 起)。不同水平事故严重程度对应的事故数量以及占比如表 1 所示。

Table 1. Statistical data of road accident severity in Guangxi Zhuang Autonomous Region and Shandong Province from 2012 to 2022

表 1. 2020~2022 广西壮族自治区及山东省公路事故严重度统计数据

事故严重度	事故起数			
	数量		占比(%)	
	北方	南方	北方	南方
死亡	208	138	24.05	16.00
重度受伤	337	422	38.96	48.96
中度受伤	173	112	20.00	12.99
未受伤或轻微受伤	147	190	16.99	22.05

2.2. 变量选取

根据交通事故数据特性，并结合事故调查经验及相似文献研究，本文以交通事故严重度为因变量，从人员 - 车辆 - 道路 - 环境因素 4 方面选取 75 个潜在影响因素作为自变量开展研究。各变量的分类及分组编码见表 2。

Table 2. Grouping of variables

表 2. 变量分组情况

事故变量	交通事故致因因素	变量分组编码	
人员	驾驶人年龄	1:10-15	2:16-20
		3:21-25	4:26-30
		5:31-35	6:36-40
		7:41-45	8:46-50
		9:51-55	10:56-60
		11:61-65	12:66-70
		13:71-75	14:76-80

续表

	驾驶人性别	女: 0	男: 1
	驾驶人是否饮酒	否: 0	是: 1
	驾驶人是否吸毒	否: 0	是: 1
	驾驶人注意力是否集中	否: 0	是: 1
	驾驶人视野是否受限	否: 0	是: 1
	驾驶人是否超速	否: 0	是: 1
	驾驶人对环境熟悉度	否: 0	是: 1
	驾驶人是否闯红灯	否: 0	是: 1
	驾驶人是否按车道行驶	否: 0	是: 1
	驾驶人是否采取安全防护	否: 0	是: 1
	驾驶人违规经历	无: 0	有: 1
		1:0-10	2:11-20
		3:21-30	4:31-40
		5:41-50	6:51-60
		7:61-70	8:71-80
	事故时车速(km/h)	9:81-90	10:91-100
		11:101-110	12:111-120
		13:121-130	14:131-140
		15:141-150	16:151-160
		1:0-10	2:11-20
车辆		3:21-30	4:31-40
		5:41-50	6:51-60
	车辆服役时间(月)	7:61-70	8:71-80
		9:81-90	10:91-100
		11:101-110	12:111-120
		13:121-130	
		1: 直行	2: 左转
	车辆行驶状况	3: 右转	4: 掉头
		5: 转弯	6: 静止
		7: 逆行	
	事故路段车流量	1: 较少	2: 一般
		3: 较多	
	有无非机动车道	0: 无	1: 有
	有无障碍物	0: 无	1: 有
	有无纵坡	0: 无	1: 有
道路		1: 分割线	2: 绿化带:
	中央分割情况	3: 中央护栏	4: 中央分隔带
		5: 水泥隔离墩	
	道路灯是否点亮	1: 无道路灯	2: 稀疏的道路灯
		3: 成列的道路灯	

续表

	路面材料	1: 沥青 3: 土质	2: 水泥
	道路灯密度	1: 一般	2: 良好
	道路表面状况	1: 一般 3: 裂纹 5: 坑洼	2: 良好 4: 积雪
	道路表面	1: 干	2: 湿滑
	道路等级	1: 一级道路 3: 三级道路 5: 城市道路 7: 村道	2: 二级道路 4: 四级道路 6: 乡道 8: 高速公路
	机非混行是否存在标线	0: 否	1: 是
	路口横向减速标线	0: 否	1: 是
	机非混行是否存在标志	0: 否	1: 是
	路口提醒标志	0: 否	1: 是
	限速标志	0: 否	1: 是
	路口是否存在警示柱	0: 否	1: 是
	土地性质	1: 村庄 3: 商业区 5: 学校	2: 郊区 4: 居民区 6: 隧道
	路口信息	1: 直线路段 3: Y型路口 5: 十字路口	2: T型路口 4: 桥梁路段
	有无交叉口信号管控	0: 无	1: 有
环境	天气	1: 晴 3: 阴 5: 雾	2: 雨 4: 多云 6: 雪
	照明	1: 日间 3: 晨 5: 雾	2: 夜间 4: 昏
	是否降水	0: 否	1: 是
	是否设置防护栏	0: 否	1: 是
	是否有悬崖河流、是否坠入	0: 无	1: 有, 未坠入
	路侧几何设计	1: 平坦	2: 路堤
	撞固定物类型	1: 撞树 3: 撞绿化带	2: 撞墙体 4: 撞护栏

3. 多元 logistics 回归统计模型

多元 logistics 回归(multinomial logistics regression)又称多分类 logistics 回归, 适合因变量为多项的情况。多元 logistics 模型实质上可视为二元 logistics 模型的扩展, 两者的差异在于二元模型的被解释变量只有 0 和 1 两个取值, 而多元模型涉及了被解释量有多个取值的情形, 模型设定如下公式:

$$\ln\left(\frac{\pi_{ij}}{\pi_{ib}}\right) = \ln\left(\frac{P(y_i = j|x)}{P(y_i = b|x)}\right) = x'_i\beta_j$$

其中, b 为选定的基准组, 设定 J 为类别变量包含的种类总数, 则 $j=1,2,3,\dots,J$ 。当 $j=b$ 时, 等式左侧为 $\ln 1 = 0$, 则 $\beta_b = 0$, 即 log-odds 始终为 0, 致使该组别对应的任何解释变量系数也必然为 0。

通过求解 J 个方程, 可以得到每种选择的预测概率:

$$\pi_{ij} = P(y_i = j|x) = \frac{\exp(x'_i\beta_j)}{\sum_{m=1}^J \exp(x'_i\beta_m)}$$

4. 南北方交通事故致因因素差异性识别与分析

4.1. 模型拟合度检验

对南北方事故数据分别进行模型拟合检验, 如表 3 所示, 显著性皆小于 0.05, 通过检验, 具有统计意义。

Table 3. Model fitting information

表 3. 模型拟合信息

	模型	模型拟合条件		似然比检验	
		-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
南方地区	仅截距	131.888	/	/	/
	最终	33.137	98.751	40	0.000
	模型	模型拟合条件		似然比检验	
北方地区	仅截距	65.292	/	/	/
	最终	48.347	16.945	5	0.005
	模型	模型拟合条件		似然比检验	

4.2. 致因因素差异性识别分析

本节对南北方代表地区交通事故四要素变量依次进行回归分析, 旨在识别影响南北方交通事故的显著致因因素。

4.2.1. 人员因素

1) 北方代表地区(山东)

北方地区影响事故的显著人员因素分别为驾驶人年龄、驾驶人是否饮酒、驾驶人是否超速、驾驶人是否采取安全防护, 如表 4 所示。

2) 南方代表地区(广西)

南方地区影响事故的显著人员因素分别为驾驶人年龄、驾驶人是否超速、驾驶人视野是否受限、驾

驶人是否按车道行驶、驾驶人是否采取安全措施，如表 5 所示。

Table 4. Estimation table of personnel parameters in the North
表 4. 北方人员参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	26.442 ^a	/	/	/
驾驶人年龄	34.500	8.058	1	0.005
驾驶人是否饮酒	30.093	3.651	1	0.046
驾驶人是否超速	33.827	7.385	1	0.007
驾驶人是否采取安全防护	33.455	7.013	1	0.008

Table 5. Estimates of personnel parameters in the South
表 5. 南方人员参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	229.435 ^a	/	/	/
驾驶人年龄	247.821	18.386	5	0.002
驾驶人是否超速	233.898	14.464	5	0.019
驾驶人视野是否受限	242.768	13.334	5	0.020
驾驶人是否按车道行驶	254.075	24.640	5	0.000
驾驶人是否采取安全防护	246.871	17.437	5	0.004

4.2.2. 车辆因素

1) 北方代表地区(山东)

北方地区影响事故的显著车辆因素为事故时车速、车辆服役时间，如表 6 所示。

Table 6. Estimates of vehicle parameters in the North
表 6. 北方车辆参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	18.942 ^a		/	/
事故时车速	23.748	4.217	1	0.047
车辆服役时间	25.270	5.528	1	0.019

2) 南方代表地区(广西)

南方地区影响事故的显著车辆因素为事故时车速、车辆服役时间，如表 7 所示。

Table 7. Estimates of vehicle parameters in the South
表 7. 南方车辆参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	17.635 ^a		/	/
事故时车速	22.476	4.739	1	0.040
车辆服役时间	24.093	5.664	1	0.013

4.2.3. 道路因素

1) 北方代表地区(山东)

北方地区影响事故的显著道路因素为道路表面状况、事故路段车流量、中央分隔情况、有无路口横向减速标线、限速标志，如表 8 所示。

Table 8. Estimates of road parameters in the North
表 8. 北方道路参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	19.742 ^a		/	/
道路表面状况	23.806	4.064	1	0.044
事故路段车流量	22.984	5.242	1	0.027
中央分隔情况	28.105	8.363	1	0.037
有无路口横向减速标线	30.715	10.973	1	0.001
限速标志	25.270	5.528	1	0.019

2) 南方代表地区(广西)

南方地区影响事故的显著道路因素分别为道路表面、有无非机动车道、道路等级、事故路段车流量、中央分隔情况、有无路口横向减速标线、限速标志，如表 9 所示。

Table 9. Estimates of southern road parameters
表 9. 南方道路参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	113.041 ^b		/	/
道路表面	134.913 ^b	21.872	5	0.001
有无非机动车道	134.069 ^b	21.028	5	0.001
道路等级	190.950 ^b	77.909	35	0.000
事故路段车流量	131.083 ^b	18.042	5	0.003
中央分隔情况	146.247 ^b	33.206	15	0.004
有无路口横向减速标线	127.966 ^b	14.925	5	0.011
限速标志	128.637 ^b	15.596	5	0.008

4.2.4. 环境因素

1) 北方代表地区(山东)

北方地区影响事故的显著环境因素分别是有无交叉口信号管控、是否设置防护栏、天气、路侧几何设计，见表 10。

Table 10. Estimates of environmental parameters in the North

表 10. 北方环境参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	16.365 ^a		/	/
有无交叉信号管控	21.084	4.719	1	0.030
是否设置防护栏	22.455	6.091	1	0.014
天气	25.476	9.112	5	0.035
路侧几何设计	22.029	6.664	2	0.039

2) 南方代表地区(广西)

南方地区影响事故的显著环境因素为有无交叉口信号管控、是否设置防护栏、是否降水、路侧几何设计，见表 11。

Table 11. Estimates of environmental parameters in the South

表 11. 南方环境参数估计表

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	35.801 ^a		/	/
有无交叉信号管控	46.441 ^b	10.639	5	0.049
是否设置防护栏	82.705 ^b	46.904	20	0.001
是否降水	103.865 ^b	68.064	25	0.000
路测几何设计	66.441 ^b	37.639	5	0.017

4.2.5. 交通四要素关键致因因素联合回归

1) 北方代表地区(山东)

将前述识别的北方交通事故所有显著致因因素联合一起再次进行回归，得到北方地区事故关键致因因素：驾驶人是否超速、驾驶人是否饮酒、驾驶人是否采取安全防护、车辆服役时间、事故路段车流量、道路表面状况、限速标志、天气、路侧几何设计，见表 12。

2) 南方代表地区(广西)

重复上述步骤，得到南方地区事故关键致因因素：驾驶人视野是否受限、驾驶人是否超速、驾驶人是否按照车道行驶、驾驶人是否采取安全防护、车辆服役时间、事故路段车流量、有无非机动车道、道路等级、限速标志、是否降水、路侧几何设计，见表 13。

Table 12. Key causes of accidents in the northern region
表 12. 北方地区事故关键致因因素

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	48.347 ^a	/	/	/
驾驶人是否采取安全防护	53.056	6.709	1	0.023
道路灯密度	56.533	8.185	1	0.004
驾驶人是否超速	52.214	3.866	1	0.049
驾驶人是否饮酒	52.434	4.087	1	0.043
车辆服役时间	51.037	5.261	1	0.037
事故路段车流量	50.759	7.174	1	0.029
道路表面状况	55.065	5.633	1	0.003
限速标志	54.301	4.793	1	0.021
天气	56.337	5.784	1	0.010
路侧几何设计	53.676	7.039	1	0.019

Table 13. Key causes of accidents in the southern region
表 13. 南方地区事故关键致因因素

	模型拟合条件		似然比检验	
	-2 对数似然	卡方	自由度	显著性
截距	3884.665	/	/	/
驾驶人是否超速	43.122 ^b	9.985	4	0.041
驾驶人是否采取安全防护	45.704 ^b	21.567	4	0.018
驾驶人视野是否受限	47.368 ^b	17.496	4	0.005
有无非机动车道	54.907 ^b	21.770	4	0.000
事故路段车流量	43.681 ^b	6.544	4	0.047
是否降水	53.076 ^b	19.939	4	0.001
路侧几何设计	49.668 ^b	9.532	4	0.013
驾驶人是否按车道行驶	46.383 ^b	13.246	4	0.010
道路等级	51.397 ^b	18.351	4	0.003
限速标志	50.394 ^b	7.215	4	0.021
车辆服役时间	52.937 ^b	8.316	4	0.007

4.3. 南北事故关键致因分析

经过多次回归，最终得到南北方代表地区显著交通事故致因因素如下。

北方差异性因素：驾驶人是否饮酒、道路表面状况、天气；

南方差异性因素：驾驶人视野是否受限、是否按照车道行驶、有无非机动车道、道路等级、是否降水。

南北方共性因素：驾驶人是否超速、驾驶人是否采取安全防护、车辆服役时间、事故段车流量、限速标志、路侧几何设计。

下面分别针对上述共性、差异性因素展开分析。

4.3.1. 共性因素分析

对于南北方区域，超速、车辆服役时间过长均会增加发生交通事故的风险，而正确使用安全防护装置(如佩戴安全带、车内配备安全气囊)有助于提高驾乘人员交通安全水平。此外，当交通量较大时，车辆间交互作用频繁，容易发生轻微刮蹭事故；交通量较小时，车速倾向于增大，导致严重事故概率增加。而限速标志作为道路管理人员沟通与提醒驾驶人的约束设施，起到教育和警告驾驶人的作用，减少致命交通事故的发生。此外，路侧几何设计在交通安全中同样起到重要的作用，合理的路侧净区设计可以使驾驶人在失控情况下有更多空间来规避或化解碰撞风险。

4.3.2. 差异性因素分析

人员方面：北方地区饮酒文化浓厚，饮酒人群较多，酒后驾车现象也较多；而南方多山区道路，路面较为狭窄、交通密度大，没有充足空间设置机非隔离设施，导致驾驶人难以明确各自车道正常行驶。其次南方多处于亚热带地区，道路两侧植被丰盛，容易阻挡驾驶人视线，并且南方山区道路线形复杂，驾驶人在视野受限的情况下难以对突发情况做出及时应对，容易引发交通事故。

车辆方面：南北方交通事故致因在车的方面上无差异。

道路方面：北方冬季寒冷，道路表面多结冰，车辆在行驶时易出现打滑现象，难以控制方向；而南方山区道路大部分属于三级、四级公路，交通流速与流量不稳定，没有完善的隔离措施和通行规定，车道划分情况不明确，机非混行状况严重，导致事故频繁发生。

环境方面：北方地区空气污染较为严重，冬季雾霾盛行，容易阻挡驾驶人视线，使其难以观察道路紧急情况并做出应对；而南方地区普遍为季风性气候，全年多降水，道路湿滑，车辆操纵稳定性变差，容易引发事故。

5. 区域差异化对策

人员方面：加强道路安全教育，提高驾驶人遵守速度限制，佩戴头盔及使用安全带的意识。北方地区应重点加大酒驾危害的宣传力度，严查酒驾行为；南方地区应对存在视野盲区、道路线形复杂等山区路段通过修剪、移植树木，以及增设交通安全设施提高行车安全。

车辆方面：加强落实车辆的年检、保养制度，发现故障及时排除。

道路方面：在车流量大的地段设立值岗人员指挥交通，同时落实各类道路限速装置的布设。北方地区应重视清理冬季道路表面积雪工作；南方地区应加强完善车道的划分与隔离措施，重点实行明确的通行规定。

环境方面：完善路侧防护装置的安装，以及路侧净区的规划设计。北方地区相应交管部门应着重开发科学智能的雾霾检测预警系统，通过及时发布预警信息，对道路实行速度限制、道路改道、封闭等交通管控措施；南方地区应继续加大交通安全的宣传，重点提高雨季安全行车防范意识。

6. 结论

本文以 2020~2022 年间广西壮族自治区及山东省交通事故数据为基础，利用多项 logistics 回归模型分析识别显著影响南北方交通事故的致因因素，由此提出差异化管理对策，主要得到如下结论：

(1) 南北方交通事故的共性致因因素为：驾驶人是否超速、是否采取安全防护、车辆服役时间、事故

段车流量、限速标志、路侧几何设计。

(2) 北方交通事故的差异性致因因素为：驾驶人是否饮酒、道路表面状况、天气。

(3) 南方交通事故的差异性致因因素为：驾驶人视野是否受限、是否按照车道行驶、有无非机动车道、道路等级、是否降水。

(4) 根据南北方交通事故显著致因因素提出针对性的差异化管理对策。

1) 北方地区重点工作：① 增强驾驶人安全驾车意识，严禁酒驾行为；② 冬季及时清理道路积雪；③ 加强雾霾预警系统相关技术研发。

2) 南方地区重点工作：① 通过修剪、移植树木改善山区道路盲区视野；② 落实车道划分工作，施行明确的通行制度；③ 加强雨季道路安全行车宣传力度。

基金项目

桂林电子科技大学大学生创新创业训练计划项目(S202310595196)资助。

参考文献

- [1] 季芳. 基于粒子群优化的 BP 网络对山区高速公路事故严重度预测的研究[D]: [博士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
- [2] 冯忠祥, 雷叶维, 张卫华, 等. 道路环境对绕城高速公路交通事故严重程度影响分析[J]. 中国公路学报, 2016, 29(5): 116-123.
- [3] 赵阳, 孙战丽, 靳亚格, 崔玉亮. 平原地区高速公路交通运行特征及事故预防措施研究[J]. 交通技术, 2021, 10(4): 221-230. <https://doi.org/10.12677/OJTT.2021.104025>
- [4] 刘鑫鑫. 高速公路追尾事故严重程度影响因素分析及预防对策研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [5] 黄静洁, 程瑞, 纪宇, 张燕熙. 基于多因素 Logistic 回归分析的广西低等级公路交通事故风险评估研究[J]. 交通技术, 2023, 12(2): 93-104. <https://doi.org/10.12677/OJTT.2023.122012>
- [6] 魏泽平, 刘淼淼, 张学驰. 高速公路交通事故影响因素分析及防控策略[J]. 交通技术, 2022, 11(2): 59-73. <https://doi.org/10.12677/OJTT.2022.112006>
- [7] Ali, K., Mehreen, A., Rafia, M., et al. (2022) Spatiotemporal Clustering and Analysis of Road Accident Hotspots by Exploiting GIS Technology and Kernel Density Estimation. *The Computer Journal*, **65**, 155-176. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxz158>
- [8] Shaheed, M.S., Gkritza, K., Zhang, W., et al. (2013) A Mixed Logit Analysis of Two-Vehicle Crash Severities Involving a Motorcycle. *Accident Analysis & Prevention*, **61**, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.028>