

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.01.009

基于广义有序 Logit 模型的运行速度安全性研究*

祁欣月, 杨灿

(西藏大学 工学院, 西藏 拉萨 850011)

摘要: 采用广义有序 Logit 模型研究高速公路路段速度参数与事故类型及事故严重程度之间的相关性。利用真实的事故数据、交通量及几何参数构建广义有序 Logit 模型, 分析运行速度对交通事故的影响, 其中运行速度依据 JTG B05—2015《公路安全性项目评价规范》进行计算。模型分析结果表明, 事故类型主要与相邻路段之间的速度差、车辆运行速度和天气状况有关, 较低的车辆速度和相邻路段之间速度差可降低道路交通安全风险。最后从高速公路设计和管理等方面提出道路安全提升对策。

关键词: 交通安全; 高速公路; 运行速度; 交通事故; 有序 Logit 模型

中图分类号: U412

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)01-0055-06

根据国家统计局的资料, 2001—2018 年, 约 1/3 的机动车死亡事故涉及超速行驶; 2017 年, 52 274 名司机参与了 34 247 起致命车祸, 导致 37 133 人丧生, 事故发生时 17% 的车辆超速行驶, 26% 的死亡司机中至少有 1 人涉及超速驾驶; 与速度相关的事故约占总事故的 1/3, 在人为因素引起的事故中排名第二; 2018 年上半年, 共有 105 000 起涉及受伤的交通事故, 其中超速占 13.8%^[1]。可见, 超速是交通事故的主要原因之一。在较高的速度下, 驾驶员的判断能力降低, 无法正确操控车辆或判断其他车辆的速度。车速越高, 驾驶员的注视点越远, 视野越窄, 同时制动距离增大, 驾驶员应对危险或紧急情况的时间减少, 会导致更多的碰撞。车速控制一直是交通安全领域的研究热点, 相关研究主要集中于限速、速度执法和驾驶员速度选择等措施的安全效果评价^[2]。

1 研究现状

1.1 车速与事故的关系

车辆速度与道路安全之间的关系一直是交通安全研究的主题。Solomon D. 根据四车道公路的数据研究车速与事故之间的关系, 将撞车原因归结于速度变化, 并提出式(1)所示速度模型, 该模型是关于车速和事故之间定量关系的早期研究^[3]。

$$I = 10^{0.000\ 606\ 2\Delta v^2 - 0.006\ 675\Delta v + 2.23} \quad (1)$$

式中: I 为分段中的碰撞率; Δv 为速度差, 即某段中的运行速度与平均运行速度之差。

Solomon 模型曲线为 U 形。速度差接近零时, 事故率最低; 速度差变大时, 无论是在正向还是负向, 事故率都增加。

1989 年, 瑞典进行了为期 2 个月的试验, 将限速从 110 km/h 调整为 90 km/h。与 1988 年同期相比, 汽车的平均速度降低 14.4 km/h, 事故次数减少 21%, 表明运行速度降低会降低事故率, 提高道路交通安全性。

1993 年, 莫纳什大学事故研究中心提出速度差和事故率之间的近似函数, 称为 MUARC 模型, 表达式见式(2)。与 Solomon 模型类似, 该模型中速度差与事故率成比例。

$$I = 500 + 0.8\Delta v^2 + 0.014\Delta v^3 \quad (2)$$

2004 年, Elvik R. 等提出一组反映车辆平均运行速度与事故次数或受伤严重程度之间关系的幂函数^[4]:

$$\text{死亡事故数量} = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 Y_0 \quad (3)$$

$$\text{死亡人数} = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 Y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^8 (Z_0 - Y_0) \quad (4)$$

$$\text{致命和重伤事故数量} = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 Y_0 \quad (5)$$

$$\text{致命或严重受伤人数} = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 Y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^6 (Z_0 -$$

* 基金项目: 武汉理工大学-西藏大学创新基金项目(LZT2022003)

$$Y_0) \quad (6)$$

$$\text{受伤事故数量(全部)} = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 Y_0 \quad (7)$$

$$\text{事故受伤人数(全部)} = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 Y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 (Z_0 - Y_0) \quad (8)$$

式中: v_0 、 v_1 分别为采取交通控制措施前后的速度; Y_0 为速度变化前的碰撞次数; Z_0 为速度变化前的严重受伤人数。

Elvik R. 还发现,与交通量变化相比,平均车辆运行速度变化对伤害事故的影响更大^[5]。

1.2 期望速度和实际运行速度

期望速度 v_e (也称为心理速度)是指驾驶员在道路运行中不受或基本不受其他车辆约束的情况下期望达到的最高安全速度。不同类型车辆具有不同的性能条件,条件良好的车辆能以较高的车速行驶,期望速度相应提高。驾驶员的期望速度因个性特征、驾驶技能和年龄等差异而有所不同^[6]。受道路条件、交通流、气候条件及运输任务缓急等因素的影响,期望速度在某种程度上是一个理想值,难以准确获得。

实际运行速度是中等技能驾驶员在实际道路、交通流和气候条件下可以保持的安全速度,通常将测量速度的第 85% 位速度 v_{85} 作为运行速度。Agent K. R. 等以第 85% 位速度作为限速依据,并建议小型汽车和货车分别采用不同的限速^[7]。

1.3 实际运行速度模型

实际运行速度随期望速度波动。当道路条件和交通流达到预期的理想条件时,车辆将以期望速度行驶。由于道路线形、车辆性能或交通流的变化,车辆实际运行速度将低于预期^[8]。因此,设定各区段的期望速度是准确预测运行速度的关键。

1987 年,Lamm R. 等在 84 条弯曲路段进行车

辆行驶试验,得到了基于竖曲线曲率变化和半径的车辆运行速度预测模型^[9]:

$$v_{85} = 95.78 - 0.076R_{CCR}, R^2 = 0.842 \quad (9)$$

式中: R_{CCR} 为曲率变化率。

张琦等的研究表明切线长度、曲率半径、曲线长度、缺陷角、纵坡和超高等道路几何参数均与运行速度相关^[10]。

2008 年,Memon R. 等提出基于切线长度、圆曲线角度和切线速度的车辆运行速度模型^[11]:

$$v_{85} = 40.4 - \frac{1571}{R} + 0.613v_{85,Tmax} + 0.0244T - 0.163\omega, R^2 = 0.62 \quad (10)$$

式中: R 为水平曲线半径; $v_{85,Tmax}$ 为切线上第 85% 位速度的最大值; T 、 ω 分别为平曲线的切线长度和偏转角度。

2011 年,Syed A. S. K. 等根据曲线半径和切线速度对运行速度模型进行优化,得到以下模型^[12]:

$$v_{85MC} = 75.344 - \frac{368.14}{\sqrt{R_{RC}}} + 0.307v_{85AT}, R^2 = 0.532 \quad (11)$$

式中: v_{85MC} 为中间曲线的第 85% 位速度; R_{RC} 为圆曲线半径; v_{85AT} 为接近切线的第 85% 位速度。

JTG/T B05—2004《公路项目安全性评价指南》提出了公路运行速度模型。JTG B05—2015《公路项目安全性评价规范》对低等级公路速度模型进行优化和改进,根据平曲线半径和纵断面坡度将评价路段分为切线段、纵坡段、平曲线段、弯坡组合段、隧道段、互通式立交段等进行计算。对于平曲线路段,分别预测曲线中间和末端的运行速度,预测模型见表 1;对于纵坡路段的末端,根据表 2 计算运行速度;对于弯坡组合路段,分别预测曲线中间和末端的运行速度,预测模型见表 3^[13]。

表 1 平曲线路段运行速度预测模型

连接形式	车辆类型	运行速度预测模型
入口:与曲线相切	汽车	$v_{middle} = -24.212 + 0.834v_{in} + 5.729\ln R_{now}$
	货车	$v_{middle} = -9.432 + 0.963v_{in} + 1.522\ln R_{now}$
入口:曲线到曲线	汽车	$v_{middle} = 1.277 + 0.942v_{in} + 6.190\ln R_{now} - 5.959\ln R_{back}$
	货车	$v_{middle} = -24.472 + 0.990v_{in} + 3.629\ln R_{now}$
出口:曲线到切线	汽车	$v_{out} = 11.946 + 0.908v_{middle}$
	货车	$v_{out} = 5.217 + 0.926v_{middle}$
出口:曲线到曲线	汽车	$v_{out} = -11.299 + 0.936v_{middle} - 2.060\ln R_{now} + 5.203\ln R_{front}$
	货车	$v_{out} = 5.899 + 0.925v_{middle} - 1.005\ln R_{now} + 0.329\ln R_{front}$

注: v_{in} 、 v_{middle} 、 v_{out} 分别为曲线入口、中间和出口的速度(km/h); R_{back} 、 R_{now} 、 R_{front} 分别为曲线后方的曲线半径、当前曲线半径、曲线前方的曲线半径。下同。

表 2 纵坡路段速度换算模型

纵坡坡度/%	运行车速调整值		
	汽车	货车	
上坡	3≤坡度≤4	每 1 km 减少 5 km/h,直到达到最低运行速度	每 1 km 减少 10 km/h,直到达到最低运行速度
	坡度>4	每 1 km 减少 8 km/h,直到达到最低运行速度	每 1 km 减少 20 km/h,直到达到最低运行速度
下坡	3≤坡度≤4	每 0.5 km 增加 10 km/h,直到达到预期速度	每 0.5 km 增加 7.5 km/h,直到达到预期速度
	坡度>4	每 0.5 km 增加 20 km/h,直到达到预期速度	每 0.5 km 增加 15 km/h,直到达到预期速度

表 3 弯坡组合路段运行速度预测模型

组合类型	车辆类型	运行速度预测模型
入口:直线到曲线	汽车	$v_{\text{middle}} = -31.67 + 0.547v_{\text{in}} + 11.71\ln R_{\text{now}} - 0.176I_{\text{now1}}$
	货车	$v_{\text{middle}} = 1.782 + 0.859v_{\text{in}} + 1.196\ln R_{\text{now}} - 0.51I_{\text{now1}}$
入口:曲线到曲线	汽车	$v_{\text{middle}} = 0.750 + 0.802v_{\text{in}} + 2.717\ln R_{\text{now}} - 0.281I_{\text{now1}}$
	货车	$v_{\text{middle}} = 1.798 + 0.977v_{\text{in}} + 0.248\ln R_{\text{now}} - 0.133I_{\text{now1}} + 0.23\ln R_{\text{back}}$
出口:曲线到切线	汽车	$v_{\text{out}} = 27.294 + 0.720v_{\text{middle}} - 1.444I_{\text{now2}}$
	货车	$v_{\text{out}} = 13.49 + 0.797v_{\text{middle}} - 0.697I_{\text{now2}}$
出口:曲线到曲线	汽车	$v_{\text{out}} = 1.819 + 0.839v_{\text{middle}} + 1.427\ln R_{\text{now}} + 0.782\ln R_{\text{front}} - 0.480I_{\text{now2}}$
	货车	$v_{\text{out}} = 26.837 + 0.830v_{\text{middle}} - 3.039\ln R_{\text{now}} + 0.109\ln R_{\text{front}} - 0.594I_{\text{now2}}$

注: I_{now1} 、 I_{now2} 分别为曲线前后纵坡坡度(%)。

2 基于 Logit 模型的运行速度安全性研究

已有文献针对车辆速度与道路安全之间的关系进行了研究,并对实际运行速度和期望速度模型进行了细化分析,阐明了车辆运行速度受道路条件、交通流、气候条件等因素影响的规律。但对高速公路运行速度与事故严重程度的关系、高速公路安全受小汽车和大车运行速度及其他道路环境因素影响的研究较少。本文基于广义有序 Logit 模型,以京沪(北京—上海)高速公路新沂至江都段 2009—2011 年的 3 293 起交通事故为例,对高速公路事故类型、事故严重程度与车辆运行速度的关系进行研究。该高速公路全长 259.5 km,设计速度为 120 km/h。

2.1 研究方法

序变量是对可能值进行排序的分类变量^[14]。本文采用广义有序 Logit 模型(GOLM)分析车速变量对事故的影响。有序离散结果模型(如有序 Logit 利润模型)的主要假设是估计参数为常数,称为平行回归假设^[15]。通过广义有序 Logit 模型得到 i 级损伤的概率如下:

$$P(y > i) = \frac{\text{EXP}(\beta_i X_n - \mu_i)}{1 + \text{EXP}(\beta_i X_n - \mu_i)} \quad (12)$$

式中: $P(*)$ 表示特定损伤等级事故的发生概率; y 为事故的损伤等级; i 为事故损伤程度的特定类别; β_i 为指标对应的拟合系数; X_n 表示车速变量; μ_i 为第 i 级损伤对应的常量系数。

受限于固有的比例优势假设,传统的 Logit 分析无法涵盖所有受伤严重程度,Wang X. S.^[16] 和 Quddus M. A.^[17] 等对广义 Logit 模型进行如下改进:

$$P(y > i) = \frac{\text{EXP}(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 - \mu_i)}{1 + \text{EXP}(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 - \mu_i)} \quad (13)$$

式中: β_1 为根据损伤严重程度确定的参数; X_1 、 X_2 表示与受伤严重程度密切相关的自变量; β_2 为固定参数。

GOLM 模型中使用的自变量见表 4。其中交通事故严重程度遵循公安部的分级标准:轻微事故是指一次造成 2 人以下轻伤,或财产损失不超过 1 000 元的事故;一般事故是指一次造成 1~2 人重伤,或 2 人以上轻伤,或财产损失为 1 000~30 000 元的事故;重大事故是指一次造成 1~2 人死亡,或 3~10 人重伤,或财产损失为 30 000~60 000 元的事故;特大事故是指一次造成 3 人以上死亡,或 10 人以上重伤,或 1 人死亡同时 8 人以上

重伤,或 2 人死亡同时 5 人以上重伤,或财产损失超过 60 000 元的事故。根据上述分级标准,京沪高速

公路新沂至江都段 2009—2011 年的 3 293 起交通事故中,没有一起是非常严重的事故。

表 4 GOLM 模型中使用的自变量

变量类型	变量	数值		
事故特征	不同类型事故数量/起	追尾碰撞 碰撞护栏 翻车 自燃 刮擦 其他	1 765 964 201 30 57 276	
	不同严重程度事故数量/起	轻 中等 严重	3 185 81 26	
	伤亡事故数量/起	受伤 重伤 死亡 无伤亡	193 9 10 3 081	
	天气	不同天气状况时事故数量/起	晴天,多云 雨天,雪天 干燥或潮湿	2 796 497 2 962
	路面状况	不同路面状况下事故数量/起	结冰	331
	交通量	日交通量/(pcu · d ⁻¹)	213 个路段的日交通量	32 084~70 233
			汽车运行速度 v_{o-car}	95.62~153.64
		汽车	车辆与前车的速度差 $\Delta v_{o-car-f}$	-77.45~78.03
			车辆与后车的速度差 $\Delta v_{o-car-b}$	78.03~-77.45
		运行速度/ (km · h ⁻¹)	货车	货车运行速度 $v_{o-truck}$
货车与前车的速度差 $\Delta v_{o-truck-f}$				-34.01~25.72
货车与后车的速度差 $\Delta v_{o-truck-b}$			25.72~-34.01	
	汽车和货车之间的速度差 Δv_o	12.64~107.71		

注:追尾碰撞主要指碰撞前面车辆的保险杠;刮擦是指车辆之间侧面刮蹭。

由于数据信息有限,表 4 中交通量仅包括 213 个路段的日交通量。运行速度包括小型汽车和货车的速度、相邻路段之间速度差及每个路段内小型汽车和货车之间速度差。相关研究表明,较高的速度方差会导致更多的事故^[18]。

2.2 研究数据

(1) 道路设计施工图。提供道路几何要素的详细信息,如横断面、水平线形、垂直线形、立交等。

(2) 事故记录。事故记录包含对每起事故发生时间、位置等的详细描述,根据事故记录,可以收集

事故类型、事故严重程度、受伤或死亡人数、车辆类型等详细信息。

(3) 道路管理机构报告的 213 个路段的日交通量。

(4) 依据表 1~3 中速度模型,按照不同的几何特征分段计算小型汽车和货车的运行速度。

(5) 根据实际运行速度调整期望速度。根据 JTG B05—2015,汽车的期望速度为 120 km/h,货车的期望速度为 80 km/h。当计算的车辆实际运行速度高于 120 km/h、80 km/h 时,使用期望速度值

120 km/h、80 km/h。

3 模型计算结果分析

以事故类型和事故严重程度作为因变量,对自变量与因变量进行 Pearson 相关性分析,结果见表 5。

表 5 自变量与因变量的 Pearson 相关性分析结果

自变量	Pearson 相关量		p 值	
	事故类型	事故严重程度	事故类型	事故严重程度
事故类型	1.000	0.052**	—	0.003
事故严重程度	0.052**	1.000	0.003	—
v_{o-car}	-0.019	0.011	0.264	0.545
$\Delta v_{o-car-f}$	-0.038*	-0.010	0.028	0.555
$\Delta v_{o-car-b}$	-0.046**	-0.013	0.008	0.469
$v_{o-truck}$	-0.047**	-0.007	0.007	0.705
$\Delta v_{o-truck-f}$	-0.043*	-0.023	0.013	0.180
$\Delta v_{o-truck-b}$	-0.025	0.015	0.148	0.398
Δv_o	0.009	-0.008**	0.608	0.009
天气状况	-0.002	-0.016	0.893	0.391
路面状况	0.008	-0.004	0.649	0.820

注: * 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$ 。下同。

由表 5 可知:事故类型与自变量的相关性优于事故严重程度。以事故类型为因变量的广义有序 Logit 模型中,各参数的系数、标准误差和 p 值见表 6。

Baruya A.等研究伤害事故与车速之间的相关性,发现平均车速和速度差对事故的影响都很大,随着平均车速的增加事故数量增加^[19]。Ayati E.等认为平均车速增加,事故数量会随着速度差的减小而减少^[20]。Lassarre S.认为在相对固定的速度范围内,车速变化对道路安全有显著影响,车速值的影响较小^[21]。Savolainen P.等认为致命事故率受车辆间速度差的影响较大^[22]。由表 5、表 6 可知: 1) v_{o-car} 、 $\Delta v_{o-car-b}$ 、 $\Delta v_{o-truck-b}$ ($p < 0.01$) 是影响事故类型的重要因素,与文献[19-20]的研究结论相符。高速行驶时,视线变远,视野范围变窄,驾驶员反应变慢,更容易做出错误的决定。此外,由于多种几何组合变化较多,在速度差较大的道路区间,对车辆速度的控制更困难,特别是车辆进入或驶出速度差较大的坡道时,发生事故的频率更高。2) 货车的运行速

表 6 广义有序 Logit 模型的结果

参数类型	参数	系数	标准误差	p 值
事故类型	追尾碰撞	1.847 98	1.115 9	0.582
	碰撞护栏	8.107 70	1.116 5	0.061
	翻车	13.101 59*	1.117 1	0.021
	自燃	14.576 05*	1.117 3	0.016
	刮擦	18.138 42**	1.117 7	0.010
事故严重程度	其他	—	—	—
	轻	3.218 29	3.218 0	0.471
	中等	1.186 90	1.187 0	0.767
伤亡情况	严重	0.000 00	0.000 0	0.999
	受伤	0.634 03**	0.177 4	0.010
	重伤	—	—	0.999
	死亡	4.860 29	0.916 3	0.084
运行速度	无伤亡	—	—	—
	v_{o-car}	0.011 20**	0.004 4	0.010
	$\Delta v_{o-car-f}$	-0.000 87	0.002 3	0.702
	$\Delta v_{o-car-b}$	-0.009 52**	0.003 4	0.005
	$v_{o-truck}$	-0.005 79	0.007 7	0.449
天气状况	$\Delta v_{o-truck-f}$	-0.004 04	0.005 3	0.446
	$\Delta v_{o-truck-b}$	0.012 12**	0.004 1	0.003
	Δv_o	—	—	—
路面状况	晴天,多云	-0.309 00**	0.120 1	0.010
	雨天,雪天	—	—	—
路面状况	干燥或潮湿	-0.301 00	0.214 3	0.161
	结冰	—	—	—
卡方 χ^2		3 736.4		
赤池信息量 AIC(v_{o-car})		3 679.5		
贝叶斯信息量 BIC(v_{o-car})		3 793.9		

度不如速度差重要,与文献[21-22]的研究结论一致。3) v_{o-car} 、 $\Delta v_{o-car-f}$ 、 $\Delta v_{o-car-b}$ 、 $\Delta v_{o-truck-b}$ 具有统计学意义,以 Y_v 表示它们对因变量的影响,根据表 6 中的回归结果,可得到式(14)。说明当小型汽车的实际运行速度和后段货车的速度差较高时,对事故的影响将更大,与文献[23]的研究结论一致。4) 对于事故严重程度,只有 Δv_o 是重要参数,其他参数(如汽车或货车速度)没有显著相关性。这一结果与 Garber N. J. 等的研究结论一致,他们研究发现事故率和平均速度之间没有明显的联系^[24]。5) 就天气条件而言,雨雪天的安全风险比晴天、阴天高

30.1%。因为雨雪天道路很滑,驾驶员的视力很差,安全风险增大。

$$Y_v = 0.011 20v_{o-car} - 0.009 52\Delta v_{o-car-b} + 0.012 12\Delta v_{o-truck-b} \quad (14)$$

4 结论与建议

本文研究速度及速度差对事故类型和事故严重程度的影响。以京沪高速公路新沂至江都段为例,根据道路几何结构将其分割为 213 个不同路段,并计算每个路段的运行速度。采用广义有序 Logit 模型对该路段 2009—2011 年的 3 293 起事故数据进行分析,量化运行速度、相邻路段的速度差及不同车型之间速度差对事故类型和事故严重程度的影响。分析发现显著的影响因素包括与相邻路段的速度差、车辆运行速度和天气条件。

可采取如下措施改善道路交通安全:1) 在匝道等运行速度由高到低的过渡区域,采取合理的减速措施,如设置减速带、振动标记、光学标记、限速标志、安全警示牌等,若与相邻路段的速度差过大,在相应位置安装减速标志、警告标志等交通安全标志,提醒驾驶员提前减速,确保行车安全。2) 为减少汽车和货车之间的干扰,建议采用不同车型的车道分配模式。设置交通标志和路面标记,提醒货车司机在外车道行驶、汽车司机在内车道行驶。3) 平原地区公路的水平垂直线形通常优于山区,长切线段会提高驾驶员的期望速度。可在这种路段设置限速标志、安全警告标志、减速带等安全设施,提醒驾驶员注意安全,并严格执行限速,确保行车安全。

未来的研究方向如下:1) 利用更真实的事故数据研究影响交通事故的因素,包括驾驶员性别和年龄、实时交通量、事故发生位置、事故发生时间和天气状况等。2) 收集实时车速作为面板数据,并与计算的运行速度进行比较,研究实时车速对交通事故的影响。3) 根据实时车速建立模型预测事故,为道路设计、管理和驾驶教育方案制定提供更合理的指导。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴·2001—2018[M].北京:中国统计出版社,2001—2018.
- [2] ABDEL-ATY M. Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models[J]. Journal of Safety Research, 2003, 34(5): 597-603.
- [3] SOLOMON D. Accidents on main rural highways related

to speed, driver, and vehicle [R]. Bureau of Public Roads, US Department of Transportation, Washington, DC, 1964.

- [4] ELVIK R, CHRISTENSEN P, AMUNDSEN A. Speed and road accidents: an evaluation of the power model[R]. Report 740. Institute of Transport Economics, Oslo, 2004.
- [5] ELVIK R. Speed and road safety[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2005, 1908: 59-69.
- [6] 徐文胜. 高原地区车辆运行速度预测模型研究[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [7] AGENT K R, PIGMAN J G, WEBER J M. Evaluation of speed limits in Kentucky[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1998, 1640: 57-64.
- [8] 赵丽丽, 唐阳山. 基于时间插值法的交通事故车速鉴定方法研究[J]. 公路与汽运, 2022(5): 29-31.
- [9] LAMM R, CHOUEIRI E. Recommendations for evaluating horizontal design consistency based on investigations in the state of New York[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1987, 1122: 68-78.
- [10] 张琦, 易云帆, 夏鹏. 基于熵权云模型的高速公路交通安全风险评估研究[J]. 公路与汽运, 2022(6): 20-25+36.
- [11] MEMON R, KHASKHELI G B, QURESHI A H. Operating speed models for two-lane rural roads in Pakistan[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008, 35(5): 443-453.
- [12] SYED A S K, ADNAN M A, ENDUT I R. Exploration of 85th percentile operating speed model on horizontal curve: a case study for two-lane rural highways[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011, 16: 352-363.
- [13] 华杰工程咨询有限公司. 公路项目安全性评价规范: JTG B05—2015[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.
- [14] PHILLIP I G. Introduction to statistics through resampling methods and R/S-PLUS[M]. John Wiley & Sons Inc, 2005.
- [15] 马柱, 陈雨人, 张兰芳. 城市道路交通事故严重程度影响因素分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2014, 33(1): 111-114.
- [16] WANG X S, ABDEL-ATY M. Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models[J]. Accident Analysis and Prevention, 2008, 40(5): 1674-1682.

(下转第 67 页)