

DOI:10.11918/202305059

低等级公路货车路侧事故乘员伤害评估方法

程国柱¹, 穆长儒¹, 靳钢睿², 裴玉龙¹, 徐亮³

(1. 东北林业大学 土木与交通学院, 哈尔滨 150040; 2. 北京汽车研究总院有限公司, 北京 101300;
3. 长春工程学院 土木工程学院, 长春 130012)

摘要: 为定量评估低等级公路货车路侧事故风险, 降低路侧事故损失, 使用 PC-Crash 软件进行仿真试验, 研究在不同圆曲线半径、边坡坡度、驶出速度和路基高度的条件下轻型货车和重型货车驶入路侧的事故严重程度。以加速度损伤指标 ASI 作为乘员伤害评估指标, 分别建立了低等级公路直线段和曲线段货车路侧事故乘员损伤程度计算模型。利用 Fisher 最优分割法, 根据 ASI 有序数据样本, 划分了低等级公路货车路侧事故严重程度等级并计算了加速度损伤指标 ASI 阈值, 提出了低等级公路货车路侧事故严重程度评价标准。研究结果表明: 加速度损伤指标 ASI 与车速和路基高度之间体现出类似于正线性变化趋势; 加速度损伤指标 ASI 与边坡坡度之间体现出类似于指数函数变化趋势; 加速度损伤指标 ASI 与圆曲线半径之间体现出类似于幂函数变化趋势; 相比于车速和路基高度, 边坡坡度的增加更容易导致车辆冲出路外发生路侧事故, 增加路侧事故严重程度; 圆曲线半径的增大虽然可以减少路侧事故的严重程度, 但其影响相对较小。

关键词: 交通工程; 乘员伤害; Fisher 最优分割算法; 低等级公路; 加速度损伤指标; 路侧事故

中图分类号: TU375 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2024)11-0132-08

Passenger injury assessment method for freight vehicles roadside accidents on low grade highway

CHENG Guozhu¹, MU Changru¹, JIN Gangrui², PEI Yulong¹, XU Liang³

(1. School of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;
2. Beijing Automotive Research Institute Co., Ltd., Beijing 101300;
3. School of Civil Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: To quantitatively evaluate the risk of roadside accidents for low-grade highway trucks and reduce roadside accident losses, simulation experiments were conducted using PC Crash software to study the accidental severity of light and heavy trucks entering the roadside under different circular curve radius, slope gradient, exit speeds, and roadbed heights. The acceleration damage index ASI is used as the evaluation index of passenger injury, and the calculation models of passenger injury degree of truck side accidents in linear and curved sections of low grade highway are established respectively. By using Fisher's optimal segmentation method and ASI ordered data samples. The roadside accident severity grade of low-grade highway trucks is divided and the ASI threshold of acceleration damage index is calculated. and the severity evaluation criteria of truck side accidents on low grade highway were put forward. The results show that the acceleration damage index ASI exhibits a similar positive linear trend with vehicle speed and roadbed height. The change trend between acceleration damage index ASI and slope gradient is similar to that of Exponential function. The change trend between the acceleration damage index ASI and the radius of the circular curve is similar to that of the power function. Compared with vehicle speed and roadbed height, the increase of slope gradient is more likely to lead to roadside accidents when vehicles rush out of the road and increase the severity of roadside accidents. However, although increasing the radius of circular curves can reduce the severity of roadside accidents, its impact is relatively small.

Keywords: traffic engineering; occupant injury; Fisher optimal segmentation algorithm; low grade highway; acceleration damage index; roadside accidents

随着中国公路货运的快速发展, 涉及货车的路侧事故占比也逐年增大。根据美国的路侧安全研究

项目数据显示^[1], 由交通事故造成的死亡人数中一半以上都是由路侧事故造成的。中国《道路交通事

收稿日期: 2023-05-22; 录用日期: 2023-07-03; 网络首发日期: 2024-01-18

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/23.1235.t.20240117.1725.002>

基金项目: 吉林省自然科学基金(YDZJ202101ZYTS184); 黑龙江省重点研发计划(JD22A014)

作者简介: 程国柱(1977—), 男, 教授, 博士生导师

通信作者: 程国柱, guozhucheng@126.com

故统计年报》显示^[2]:2020 年中国货运车辆发生了约 3.8 万起的道路交通事故,占全年总事故数的 19%,这些事故造成了约 1.7 万的死亡人数,占全年事故死亡人数的 20%,导致约 4.5 亿元的直接经济损失。低等级公路是指三级和四级公路。截止到 2022 年末,低等级公路里程占全国公路总里程的 82.5%。由于低等级公路的路面状况和圆曲线半径、纵坡等线形条件较差,以及货车驾驶性能差、重量大、车辆长度大等因素,货车参与的事故中重、特重大事故较多,而且路侧事故在发生的事故中所占比例较大、造成的死亡率较高。

文献[3]提出了一种基于证据推理方法的指标来评估路侧危险度,这个指标考虑了决策者的主观评价因素,可以用于未来路侧安全设计的参考。文献[4]采用改进的多项式和混合 Logit 回归模型对葡萄牙高速公路的路侧事故数据进行分析。研究发现,小半径曲线和陡峭斜坡是导致路侧致命事故发生的主要因素。文献[5]使用混合 Logit 模型,对农村公路路侧事故中货车驾驶人伤害严重度的关键危险因素进行了评价。文献[6]开展了关于低能见度天气下驾驶人伤害严重度的研究,采用了有限混合随机参数方法,研究分析了不同因素对驾驶人伤害严重度的影响。文献[7]研究农村道路和雨天的路侧事故数据时采用了潜在类分析和混合 Logit 模型,结果显示:车辆在农村道路行驶更容易发生严重的路侧事故,而半挂车驾驶人在路侧事故中受到严重伤害的几率较低。文献[8]基于路侧本体特征的安全性和车辆驶出道路的可能性两方面,建立了一种路侧环境安全性计算模型,并将路侧安全等级通过综合评价指标划分为 5 个级别。文献[9]对中国山区双车道公路路侧危险度的实际情况进行研究,建立了一种路侧危险度事故修正系数函数,并将其应用于路侧事故预测模型中。研究表明,路侧危险度对路侧事故率的影响呈现出二次抛物线式的下降趋势。进一步的应用研究表明,采用路侧危险度修正系数能够有效提高事故预测的准确性。文献[10]提出了 10 个适用于山区农村公路路侧安全评价的指标,并建议将路侧危险度划分为 3 个等级。

综上所述,国内外对路侧事故风险进行评估的方法主要有两类,分别为事故数据统计法和综合评估法。第 1 种是基于事故数据的统计方法,具有一定的客观性,但是考虑的影响因素不全面,第 2 种多为定性评价。考虑到中国目前在低等级公路货车路侧事故乘员伤害评估方面,还没有成熟有效的方法可以对乘员损伤程度进行定量计算,因此有必要结合中国实际情况对其开展研究。将加速度损伤指标

ASI 作为乘员伤害评估指标,利用 PC-Crash 仿真软件设置不同车型(轻型货车、重型货车)、车辆驶出速度、圆曲线半径、边坡坡度和路基高度进行路侧模拟试验。通过分析加速度损伤指标 ASI 与各试验参数的关系,分别构建低等级公路直线段和曲线段货车路侧事故乘员损伤程度计算模型。通过 Fisher 最优分割法提出低等级公路货车路侧事故严重度评价标准。

1 车辆驶入路侧试验

1.1 事故模拟技术

目前常用的事故模拟技术有驾驶模拟器、MADYMO、LS-DYNA、Carsim、PC-Crash 等。本文采用 PC-Crash 软件来收集路侧交通事故数据。相关文献中的国内外学者使用 PC-Crash 软件进行路侧事故致因分析和事故严重度研究,并进行了案例验证,证明了该软件在模拟单车侧翻事故和与固定物体的碰撞事故方面具有高度的可靠性和独特的优越性^[11-12]。此外,与收集的事故数据相比,利用 PC-Crash 软件获取的数据具有以下优点:1)事故现场的信息更加完善;2)事故数据不会因为时间和交通等条件的变化而受到影响;3)区域特性不会对事故数据造成影响,获得的研究成果具有普遍适用性;4)研究成本低。

1.2 乘员伤害评估指标

与加速度 ORA、乘员碰撞速度 OIV、理论头部撞击速度 THIV 和碰撞后头部减速度 PHD 等其他乘员伤害评估指标相比,由于加速度损伤指标(ASI)考虑了车体碰撞过程中的垂直受力,更适用于车辆发生路侧事故后,进行侧翻或翻滚时乘员的伤害评价^[13]。故本文选取加速度损伤指标(ASI)作为路侧事故乘员伤害评估指标。通常乘员损伤程度随着加速度损伤指标(ASI)的增大而增大。加速度损伤指标(ASI)的计算方法^[14]为

$$ASI(t) = \sqrt{\left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{a}_y}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{a}_z}\right)^2} \quad (1)$$

式中: \bar{a}_x 、 \bar{a}_y 、 \bar{a}_z 为车辆质心位置在 50 ms 间隔内的平均加速度最大值, m/s^2 ; \hat{a}_x 、 \hat{a}_y 、 \hat{a}_z 为乘员能承受的最大加速度,在佩戴安全带的情况下, \hat{a}_x 取 $12g$, \hat{a}_y 取 $9g$, \hat{a}_z 取 $10g$ ($g=9.8 m/s^2$)。

1.3 试验方法

根据路侧事故调查经验,并结合相关研究成果^[15],本文选取车辆驶出速度、圆曲线半径、边坡坡度、路基高度作为影响路侧事故严重度的试验变量。

根据国家统计局的统计结果显示,2021 年轻型

民用载货汽车(轻型货车)和重型民用载货汽车(重型货车)的拥有量占民用载货汽车拥有量的 99%,因此通过 PC-Crash 仿真软件设置轻型货车和重型货车,使研究得到的路侧事故乘员伤害评估方法适用于这两种车型。

如表 1 所示,按照中国《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)对车道与路肩宽度的有关规定^[16],本文使用 PC-Crash 仿真软件构建了 3 种公路模型。第 1 种是 40 km/h 的设计速度、3.50 m 的行车道、0.75 m 的土路肩宽度的双车道公路模型;第

2 种是 30 km/h 的设计速度、3.25 m 的行车道、0.50 m 的土路肩宽度的双车道公路模型;第 3 种是 20 km/h 的设计速度、3.50 m 的行车道、0.50 m 的土路肩宽度的单车道公路模型。行车道的路面附着系数设置为 0.7,路肩和边坡坡面的路面附着系数设置为 0.55。从软件中调取“ASCHERSLEBEN KAROSS”作为重型货车的代表车型,调取“MAN—19.362 Unterflur”作为轻型货车的代表车型,试验场景如图 1 所示。

表 1 右侧路肩宽度
Tab. 1 Right shoulder width

公路技术等级	设计速度/(km·h ⁻¹)	土路肩宽度/m	
		一般值	最小值
三级公路	40	0.75	0.75
	30	0.50	0.50
四级公路	20	0.25(双车道)	0.25(双车道)
		0.50(单车道)	0.50(单车道)

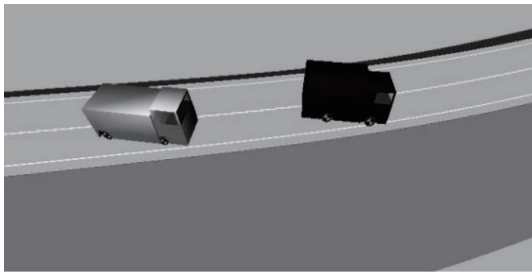


图 1 试验场景
Fig. 1 Test scene

参照中国《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)^[16],第 1 种公路模型的圆曲线半径分别取 100、150、200、250、300 m,其他试验变量分别取 30、40、50、60 km/h 的驶出速度,1:4、1:3.5、1:3、1:2.5、1:2、1:1.5 的边坡坡度,0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 m 的路基高度。第 2 种和第 3 种公路模型的圆曲线半径分别取 65、100、150、200、300 m,其他试验变量分别取 30、40、50、60 km/h 的驶出速度,1:4、1:3.5、1:3、1:2.5、1:2、1:1.5 的边坡坡度,0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 m 的路基高度。

此外,车辆失控后驶离行车道的角度对路侧事故的严重程度有一定影响。由于目前中国还未涉及相关研究,根据欧洲“RISER”计划项目中路侧事故统计资料显示^[17];车辆驶出速度与驶出角度在实际路侧事故案例中存在较为密切的关系,通过回归拟合,当驶出速度为 30、35、40、45、50、55、60 km/h 时,

估算出所对应的驶出角度分别为 15°、14°、13°、12°、11°、11°、10°。

根据每种试验参数的取值,3 种道路模型中分别建立了 120 种道路情况,基于车辆设定的 4 种驶出速度,分别进行重型货车和轻型货车驶出路侧仿真试验,由此对设计速度为 40 km/h 的三级公路直线段获取 160 组数据,对曲线段获取 800 组数据。对设计速度为 30 km/h 的四级公路直线段获取 160 组数据,对曲线段获取 800 组数据。对设计速度为 20 km/h 的四级公路直线段获取 160 组数据,对曲线段获取 800 组数据。

2 试验结果分析

使用式(1)对各组试验数据的加速度损伤指标(ASI)进行计算。基于获得的试验数据,研究分析三级和四级公路中各个试验参数与加速度损伤指标(ASI)之间的关系,如图 2~4 所示。

无论对于三级公路还是四级公路,由图 2(a)、2(b)、3(a)、3(b)和图 4(a)、4(b)可以看出,加速度损伤指标(ASI)随着车速和路基高度的变大呈现上升趋势,体现出 ASI 与车速和路基高度之间的正线性变化趋势;由图 2(c)、3(c)和图 4(c)可以看出,加速度损伤指标(ASI)随着边坡坡度的变大呈现逐渐上升的趋势,且上升的幅度逐渐变大,二者之间体现出类似于指数函数变化趋势;由图 2(d)、3(d)和图 4(d)可以看出,加速度损伤指标(ASI)随

着圆曲线半径的增加呈现逐渐下降的趋势,且下降的幅度逐渐减小,二者之间体现出类似于幂函数变化趋势。相比于车速和路基高度,边坡坡度的增加

更容易导致车辆冲出路外发生路侧事故,因此容易导致加重乘员受伤程度;圆曲线半径的增大虽然可以减少路侧事故的严重程度,但其影响相对较小。

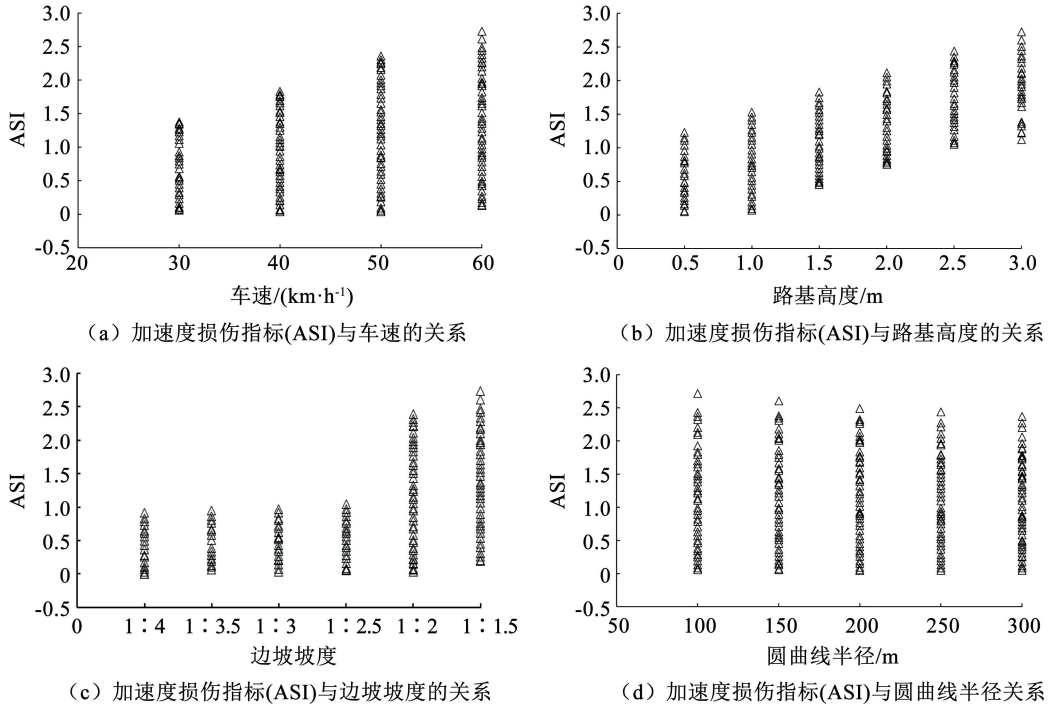


图 2 设计速度为 40 km/h 的三级公路模型中加速度损伤指标 (ASI) 与各个试验变量的关系

Fig. 2 The relationship between acceleration damage index (ASI) and various test variables in the model of third-class highway with a design speed of 40 km/h

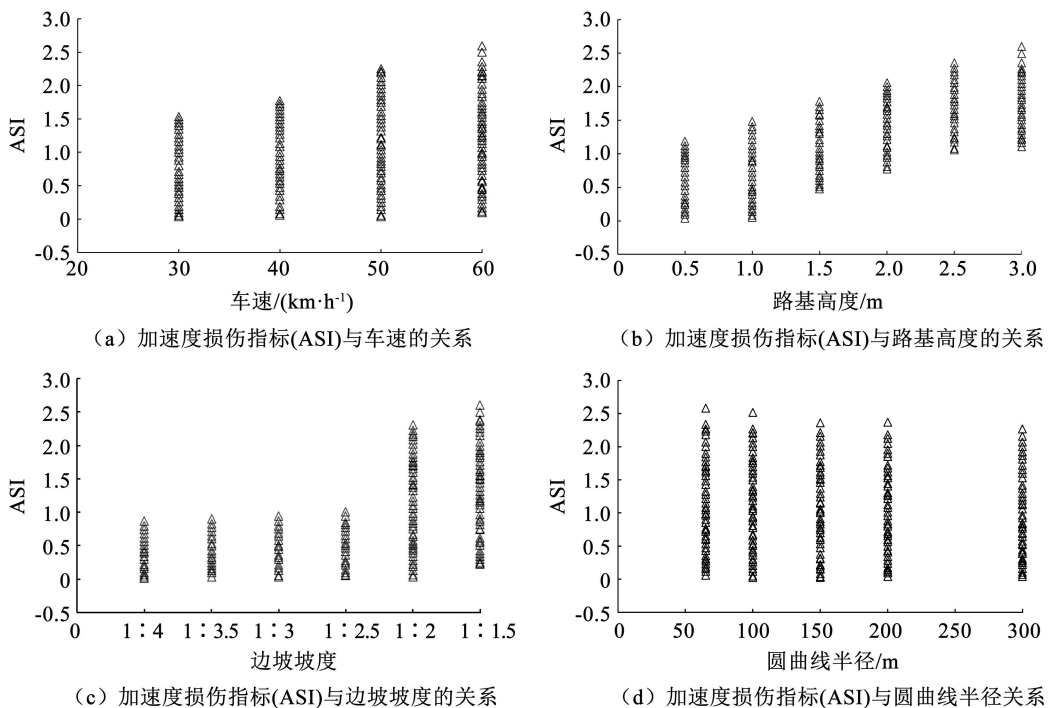


图 3 设计速度为 30 km/h 的双车道四级公路模型中加速度损伤指标 (ASI) 与各个试验变量的关系

Fig. 3 The relationship between acceleration damage index (ASI) and various test variables in the two lane fourth-class highway model with a design speed of 30 km/h

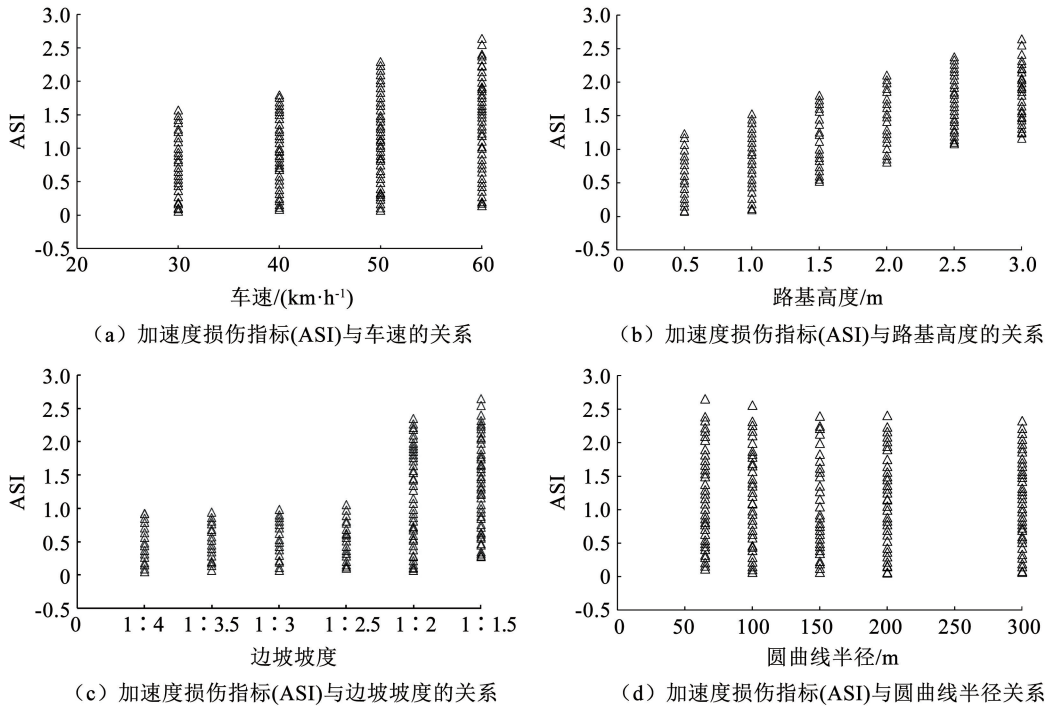


图 4 设计速度为 20 km/h 的单车道四级公路模型中加速度损伤指标 (ASI) 与各个试验变量的关系

Fig. 4 The relationship between acceleration damage index (ASI) and various test variables in the single lane fourth-class highway model with a design speed of 20 km/h

3 货车路侧事故乘员伤害评估方法

3.1 乘员损伤程度计算模型

通过分析各个试验变量与加速度损伤指标 (ASI) 之间的关系, 针对三级公路和四级公路直线

段和曲线段, 分别拟合了货车路侧事故乘员损伤程度计算模型, 如表 2 ~ 4 所示。其中, ASI 为加速度损伤指标; v 为车辆驶出速度, km/h; h 为路基高度, m; α 为边坡坡角, ($^\circ$); R 为圆曲线半径, m。

表 2 设计速度为 40 km/h 的三级公路货车路侧事故乘员损伤程度计算模型

Tab. 2 Occupant damage degree calculation model for truck roadside accidents on third-class highway with design speed of 40 km/h

道路类型	模型表达式	拟合优度
直线段	$ASI = (0.007v + 0.09h + 4.319 \times 10^{-9} e^{0.56\alpha} - 0.31)$	0.975
曲线段	$ASI = (0.009v + 0.15h + 0.568e^{0.025\alpha} + 13.7496R^{-0.013} - 13.46)$	0.982

表 3 设计速度为 30 km/h 的双车道四级公路货车路侧事故乘员损伤程度计算模型

Tab. 3 Occupant damage degree calculation model for truck roadside accidents on two lane fourth-class highway with a design speed of 30 km/h

道路类型	模型表达式	拟合优度
直线段	$ASI = (0.008v + 0.078h + 3.953 \times 10^{-9} e^{0.53\alpha} + 0.29)$	0.953
曲线段	$ASI = (0.0078v + 0.144h + 0.608e^{0.024\alpha} + 13.7549R^{-0.015} - 13.3)$	0.977

表 4 设计速度为 20 km/h 的单车道四级公路货车路侧事故乘员损伤程度计算模型

Tab. 4 Occupant damage degree calculation model for truck roadside accidents on single lane fourth-class highway with design speed of 20 km/h

道路类型	模型表达式	拟合优度
直线段	$ASI = (0.0086v + 0.069h + 3.725 \times 10^{-9} e^{0.54\alpha} + 0.31)$	0.971
曲线段	$ASI = (0.008v + 0.139h + 0.627e^{0.023\alpha} + 13.7211R^{-0.014} - 13.28)$	0.962

3.2 货车路侧事故严重度等级划分

Fisher 最优分割算法在针对有序数据样本分类方面具有较大优势^[18-19],故本文采用 Fisher 最优分割算法对试验数据进行分类,获得低等级公路路侧事故严重度最优分级数和加速度损伤指标(ASI)的阈值。下面介绍具体实现方法。

1)定义有序样本。针对仿真试验获取的数据,首先将 $ASI \leq 1$ 的数据筛选出来单独作为一组,规定其严重度等级为 I 级,随后将剩余的数据按照 ASI 值从小到大的顺序进行编号,生成 ASI 有序样本。

2)定义、计算类直径。Fisher 最优分割算法一般用直径来定义类中的差异程度,当类中差异性越小,类直径就越小,表示类中样本属性趋于一致。

3)计算分类误差函数。一般用误差函数来定义数据样本分类的优劣,若将 n 个数据样本分为 k 类,那么此分类对应的误差函数为

$$e[p(n, k)] = \sum_{\eta=1}^k D(i_{\eta}, i_{\eta+1} - 1) \quad (2)$$

4)确定最优解。由式(2)可得,当 $k = 2$ 时,最优二分类误差函数为

$$e[p(n, 2)] = \min_{2 \leq i \leq n} \{D(1, i - 1) + D(i, n)\} \quad (3)$$

当 $k > 2$ 时,最优 k 分类误差函数为

$$e[p(n, k)] = \min_{2 \leq i \leq n} \{e[p(i - 1, k - 1)] + D(i, n)\} \quad (4)$$

这时需要确定合适的分类点 i_k 使得式(4)计算值最小,由此可得到第 k 类 $H_k = \{i_k, i_{k+1}, \dots, n\}$ 。随后应确定分类点 i_{k-1} ,使其满足 $e[p(i_{k-1} - 1, k - 1)] = e[p(i_{k-1} - 1, k - 2)] + D(i_{k-1}, i_k - 1)$,由此得到第 $k - 1$ 类 $H_{k-1} = \{i_{k-1}, i_{k-1} + 1, \dots, i_k - 1\}$,依次类推可得所有分类 H_1, H_2, \dots, H_k ,最终获得最优解。

表 5 设计速度为 40 km/h 的三级公路 ASI 有序样本分类结果

Tab. 5 Classification results of third-class highway with design speed of 40 km/h

k	最小误差函数值	分类情况	β 值
2	86.752	{1 ~ 169}, {170 ~ 362}	—
3	30.870	{1 ~ 169}, {170 ~ 302}, {303 ~ 362}	1.69
4	18.267	{1 ~ 83}, {84 ~ 169}, {170 ~ 302}, {303 ~ 362}	1.28
5	14.319	{1 ~ 83}, {84 ~ 169}, {170 ~ 228}, {229 ~ 302}, {303 ~ 362}	—

表 6 设计速度为 30 km/h 的双车道四级公路 ASI 有序样本分类结果

Tab. 6 Classification results of two lane fourth-class highway with design speed of 30 km/h

k	最小误差函数值	分类情况	β 值
2	108.481	{1 ~ 161}, {162 ~ 357}	—
3	50.728	{1 ~ 161}, {162 ~ 305}, {306 ~ 357}	1.86
4	27.273	{1 ~ 89}, {90 ~ 161}, {162 ~ 305}, {306 ~ 357}	1.21
5	22.539	{1 ~ 89}, {90 ~ 161}, {162 ~ 249}, {250 ~ 305}, {306 ~ 357}	—

5)确定最优分类数。一般通过绘制最小误差函数随分类数 k 的变化曲线来确定最优分类,当曲线曲率变化较为明显时,此处对应的 k 值即为合适的分类数。另外,为了更精准地确定 k 值,可以进一步计算相邻分类数之间的最小误差函数比值 $\beta(k)$,此值越大说明分类效果越好,如式(5)所示。

$$\beta(k) = e[p(m, k)] / e[p(m, k + 1)] \quad (5)$$

基于 Fisher 最优分割法,根据加速度损伤指标(ASI)有序数据样本,通过编写 MATLAB 算法代码,对类直径和最小误差函数值进行计算,进而绘制最小误差函数曲线,如图 5 所示。

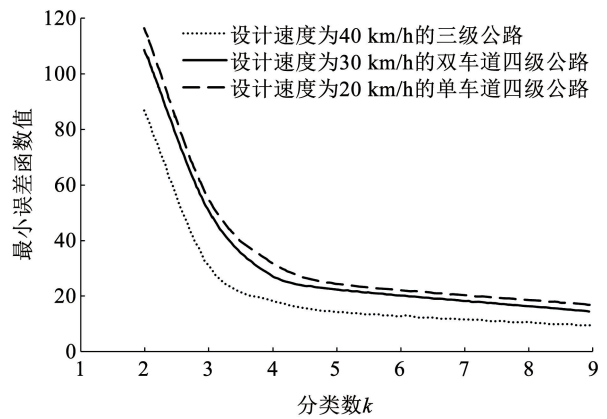


图 5 最小误差函数值与分类数的关系

Fig. 5 The relationship between the minimum error function value and the classification number

由图 5 可以看出,当 $k = 3$ 和 $k = 4$ 时,最小误差函数曲线的曲率发生了明显的变化。对相邻分类数之间的最小误差函数比值 β 进行计算来确定三级公路和四级公路的最优分类数,如表 5 ~ 7 所示。

表 7 设计速度为 20 km/h 的单车道四级公路 ASI 有序样本分类结果

Tab. 7 Classification results of single lane fourth-class highway with design speed of 20 km/h

k	最小误差函数值	分类情况	β 值
2	116.417	{1 ~ 175}, {176 ~ 371}	—
3	54.822	{1 ~ 175}, {176 ~ 310}, {311 ~ 371}	1.73
4	31.689	{1 ~ 92}, {93 ~ 175}, {176 ~ 310}, {311 ~ 371}	1.31
5	24.191	{1 ~ 92}, {93 ~ 175}, {176 ~ 237}, {238 ~ 310}, {311 ~ 371}	—

由表 5 可得,最小误差函数比值 $\beta(3) > \beta(4)$, 认为 $k = 3$ 为最优分类数。即 {1 ~ 169}, {170 ~ 302}, {303 ~ 362} 为三级公路的加速度损伤指标 (ASI) 有序样本最优分组。

由表 6 可得,最小误差函数比值 $\beta(3) > \beta(4)$, 认为 $k = 3$ 为最优分类数。即 {1 ~ 161}, {162 ~ 305}, {306 ~ 357} 为四级公路的加速度损伤指标 (ASI) 有序样本最优分组。

由表 7 可得,最小误差函数比值 $\beta(3) > \beta(4)$, 认为 $k = 3$ 为最优分类数。即 {1 ~ 175}, {176 ~ 310}, {311 ~ 371} 为四级公路的加速度损伤指标 (ASI) 有序样本最优分组。

通过得到的最优分组编号,可以确定对应的加速度损伤指标 (ASI) 的阈值,由此给出了三级和四级公路货车路侧事故严重度分级评价标准,如表 8 ~ 10 所示。其中 ASI 取值为“死亡”范围内的样本并不多,约占总样本数的 6%,这些情况基本发生在车速过快以及线形条件较差的条件下,在这样的条件下车辆发生路侧事故的后果非常严重。

表 8 设计速度为 40 km/h 的三级公路货车路侧事故严重度评价标准

Tab. 8 Evaluation standard of truck roadside accident severity for third-class highway with design speed of 40 km/h

严重度等级	ASI 阈值	乘员损伤等级
I 级	(0, 1]	未受伤
II 级	(1, 1.44]	中度受伤
III 级	(1.44, 1.99]	重度受伤
IV 级	> 1.99	死亡

表 9 设计速度为 30 km/h 的双车道四级公路货车路侧事故严重度评价标准

Tab. 9 Evaluation standard of truck roadside accident severity for two lane fourth-class highway with design speed of 30 km/h

严重度等级	ASI 阈值	乘员损伤等级
I 级	(0, 1]	未受伤
II 级	(1, 1.49]	中度受伤
III 级	(1.49, 2.02]	重度受伤
IV 级	> 2.02	死亡

表 10 设计速度为 20 km/h 的单车道四级公路货车路侧事故严重度评价标准

Tab. 10 Evaluation standard of truck roadside accident severity for single lane fourth-class highway with design speed of 20 km/h

严重度等级	ASI 阈值	乘员损伤等级
I 级	(0, 1]	未受伤
II 级	(1, 1.51]	中度受伤
III 级	(1.51, 2.06]	重度受伤
IV 级	> 2.06	死亡

4 结 论

通过 PC-Crash 仿真软件设置不同车型(轻型货车、重型货车)、车辆驶出速度、圆曲线半径、边坡坡度和路基高度进行路侧模拟试验,将加速度损伤指标 ASI 作为乘员伤害评估指标,对路侧事故严重度等级进行划分,依据加速度损伤指标 ASI 阈值,给出路侧事故严重度评价标准,具体结论如下:

1) 加速度损伤指标 (ASI) 与车速和路基高度呈现出类似于正线性变化趋势,与边坡坡度呈现出类似于指数函数变化趋势;在曲线路段,加速度损伤指标 (ASI) 随着圆曲线半径的增加呈现逐渐下降的趋势,且下降的幅度逐渐减小,二者之间体现出类似于幂函数变化趋势。

2) 相比于车速和路基高度,边坡坡度的增加更容易导致车辆冲出路外发生路侧事故,同时,圆曲线半径的增大虽然可以减少路侧事故的严重程度,但其影响相对较小。

3) 通过分析加速度损伤指标 ASI 与各试验参数的关系,分别构建了低等级公路直线段和曲线段货车路侧事故乘员损伤程度计算模型。

4) 使用 Fisher 最优分割法,根据定义的加速度损伤指标 ASI 有序数据样本,给出了低等级公路货车路侧事故严重度等级及加速度损伤指标 ASI 的阈值,据此提出了低等级公路货车路侧事故严重度评价标准,实现低等级公路货车路侧事故严重度定量评价,研究成果可为交管部门进行路侧事故风险严重度控制提供一定的参考价值和理论依据。

参考文献

- [1] Federal Highway Administration (FHWA). Roadway departure safety [R]. Washington DC: FHWA, 2018
- [2] 公安部交通管理局. 道路交通事故统计年报[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020
Traffic Management Bureau of the Ministry of Public Security. Annual report on road traffic accident statistics[M]. Beijing: China Communications Press, 2020
- [3] AYATI E, NEGHBAN M A P, SADEGHI A A, et al. Introducing roadside hazard severity indicator based on evidential reasoning approach[J]. Safety Science, 2012, 50(7): 1618. DOI: 10.1016/j.ssci.2012.03.023
- [4] ROQUE C, MOURA F, CARDOSO J A O L. Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes[J]. Accident Analysis & Prevention, 2015, 80(7): 262. DOI: 10.1016/j.aap.2015.02.012
- [5] CHEN F, CHEN S. Injury severities of truck drivers in single-and multi-vehicle accidents on rural highways[J]. Accident Analysis & Prevention, 2011, 43(5): 1677. DOI: 10.1016/j.aap.2011.03.026
- [6] LI Z, CHEN C, WU Q, et al. Exploring driver injury severity patterns and causes in low visibility related single-vehicle crashes using a finite mixture random parameters model[J]. Analytic Methods in Accident Research, 2018, 20(12): 1. DOI: 10.1016/j.amar.2018.08.001
- [7] LI Z, CI Y, CHEN C, et al. Investigation of driver injury severities in rural single-vehicle crashes under rain conditions using mixed logit and latent class models[J]. Accident Analysis & Prevention, 2019, 124(3): 219. DOI: 10.1016/j.aap.2018.12.020
- [8] 方勇, 郭忠印, 李志勇. 双车道公路路侧环境客观安全性评估模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2013, 41(7): 1025
FANG Yong, GUO Zhongyin, LI Zhiyong. Objective safety assessment model for roadside environment of two-lane highways[J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition), 2013, 41(7): 1025. DOI: 10.3969/j.issn.0253-374x.2013.07.011
- [9] 张铁军, 唐铮铮. 山区双车道公路事故预测模型路侧危险度事故修正系数研究[J]. 公路, 2007(9): 116
ZHANG Tiejun, TANG Zhengzheng. A study on the correction coefficient of roadside hazard accident in the prediction model of two lane highway accidents in mountain areas[J]. Highway, 2007(9): 116. DOI: 10.3969/j.issn.0451-0712.2007.09.028
- [10] 许金良, 周育名, 杨宏志. 山区农村公路路侧安全保障技术[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 1
XU Jinliang, ZHOU Yuming, YANG Hongzhi. Roadside safety guarantee technology for rural roads in mountainous areas[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2011, 31(3): 1. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8879.2011.03.001
- [11] CHENG G, CHENG R, ZHANG S, et al. Risk evaluation method for highway roadside accidents[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2019, 11(1): 1. DOI: 10.1177/1687814018821743
- [12] 程国柱, 程瑞, 徐亮. 公路小半径曲线段外侧车道路侧事故概率预测[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2021, 53(3): 178
CHENG Guozhu, CHENG Rui, XU Liang. Prediction of roadside accident probability of the outside lane in small radius curve section of highway[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2021, 53(3): 178. DOI: 10.11918/201912094
- [13] BURBRIDGE A, TROUTBECK R. A model for predicting acceleration severity index in impacts with road safety barriers[J]. International Journal of Crashworthiness, 2019, 24(4): 442. DOI: 10.1080/13588265.2018.1474621
- [14] European Committee for Standardization. Road restraint systems—part 2: performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers[S]. Brussels: European Committee for Standardization, 1998
- [15] 程国柱, 程瑞, 徐亮. 基于乘员伤害分析的公路路侧事故风险评价[J]. 吉林大学学报(工学版), 2021, 51(3): 875
CHENG Guozhu, CHENG Rui, XU Liang. Risk assessment of roadside accidents based on occupant injury analysis[J]. Journal of Jilin University (Engineering Edition), 2021, 51(3): 875. DOI: 10.13229/j.cnki.jdxgbx20200055
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 公路路线设计规范: JTG D20—2017[S]. 北京: 人民交通出版社, 2017
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Design specification for highway alignment: JTG D20—2017[S]. Beijing: China Communications Press, 2017
- [17] CONSORTIUM R. Guidelines for roadside infrastructure on new and existing roads[R]. Brussels: 5th Research Framework Programme "Growth", 2005
- [18] 许钰沐, 牛秀岭. 基于改进的最优分割法的不同论域对汛期分期影响研究[J]. 水力发电, 2019, 45(11): 19
XU Yumu, NIU Xiuling. Research on the impact of different domains on flood season staging based on improved optimal segmentation method[J]. Hydroelectric Power Generation, 2019, 45(11): 19. DOI: 10.3969/j.issn.0559-9342.2019.11.005
- [19] 周源, 杜俊飞, 王子鸿, 等. 基于多种函数拟合的自适应最优分割法[J]. 统计与决策, 2019, 35(13): 65
ZHOU Yuan, DU Junfei, WANG Zihong, et al. Adaptive optimal segmentation method based on multiple function fitting[J]. Statistics & Decision, 2019, 35(13): 65. DOI: 10.13546/j.cnki.tjyc.2019.13.015