

双向八车道高速公路合流区交通特性与交通冲突特性研究

林兰平

(广州市城市规划勘测设计研究院, 广东 广州 510060)

摘要: 车辆合流行为是干扰高速公路主线交通运行的主要原因。文中以交通流参数调查为基础,应用统计分析方法,对高速公路合流区的交通量及组成、车速和车头时距进行分析,提出了基于后侵入时间(PET)的冲突严重性判别方法,建立了基于负二项分布的交通冲突预测模型,并结合交通冲突数和冲突率对合流区的安全性进行分析。结果表明,合流区各车道的车头时距与爱尔朗分布拟合较好,外侧 2 条车道的车速服从正态分布;严重冲突、一般冲突和轻微冲突对应的 PET 阈值分别为 1.23、2.50 和 4.44 s;合流区交通冲突的发生与交通量、大型车比例、速度差及车道位置等显著相关;根据安全水平可将合流区划分为安全、危险及两者之间 3 组。

关键词: 交通工程;交通特性;交通冲突;高速公路合流区;安全性分析

中图分类号:U491.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)02-0034-06

在高速公路合流区内,车辆的频繁变速、变道往往导致主线交通流紊乱、运行速度降低及延误增大,并严重威胁交通运行安全,使合流区成为高速公路的交通瓶颈及事故多发区域。针对高速公路合流区的几何特征及交通流特性,王春娥提出合流区加速车道宜采用平行式设置方式;Leclercq L.等研究了合流区有效通行能力估算方法;万海峰等对多车道高速公路合流区客、货车运行速度进行了分析;Marczak F.等建立了逻辑回归模型,用于预测驾驶员对给定间隙选择接受或拒绝的概率;Liu R.等对合流区车辆合流行为影响因素进行了研究。针对高速公路合流区的交通安全,Sarhan M.、Mergia W. Y.等以历史交通事故数据为基础进行了合流区安全性及影响因素研究;Chin H. C.等将交通冲突技术应用于合流区安全性研究;王晓飞等提出了碰撞危险指数的概念,并分析了高速公路立交入口区域的行车风险;孟祥海等对高速公路合流区的潜在事故风险进行了研究;胡江碧等从行车安全角度分析了互通立交主线行车条件安全综合影响因素及各因素对驾驶员驾驶行为特征的影响;张南等通过建立有序 Logistic 模型,分析了影响合流区交通冲突严重程度的显著性因素。既有研究对合流区交通特性与运行安全的相互关系考虑较少,且中国缺乏高速公路合流区交通事故数据积累。为此,该文以双向八车道高速公路合流区为研究对象,分析合流区主

线各车道的车速及车头时距分布特征,归纳合流区的交通冲突类型,研究基于后侵入时间(PET)的冲突严重性判别方法,建立负二项分布模型分析交通冲突影响因素,并采用交通冲突数与冲突率相结合的方法对合流区的安全性进行分析。

1 交通实况视频录制与数据采集

在京哈(北京—哈尔滨)高速公路沈山(沈阳—山海关)段实施合流区交通实况视频录制,共调查 4 个合流区,获得 28 h 视频资料。根据《美国道路通行能力手册》,高速公路入口处车辆运行受合流行为影响最大的区域是主线最外侧 2 条车道及加速车道,且从匝道鼻端开始延伸至主线下游 450 m。受视频录制范围的影响,该文研究的合流区是指入口匝道后加速车道及其对应的主线范围,其中车道 1、2 为小型车车道,车道 3、4 为大型车车道(见图 1)。利用视频处理软件对各合流区进行数据提取,内容包括交通量、地点车速、车头时距、交通冲突等。在采集地点车速数据时,为保证观测精度,调查断面设置在合流区中部,且间距均不小于 30 m。

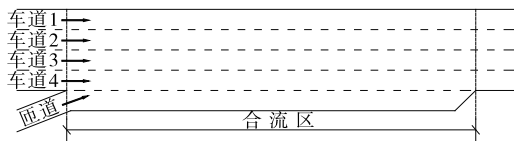


图 1 高速公路合流区示意图

2 合流区交通流特性分析

2.1 交通量及交通组成

对所观测的合流区进行交通量数据提取,共记录 15 382 辆主线车辆及 2 096 辆匝道车辆信息,将车辆划分为小型车、中型车和大型车三类,统计合流区交通量及各车型比例,结果见图 2 和图 3。

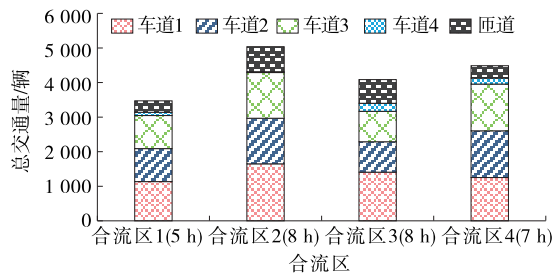


图 2 合流区各车道交通量

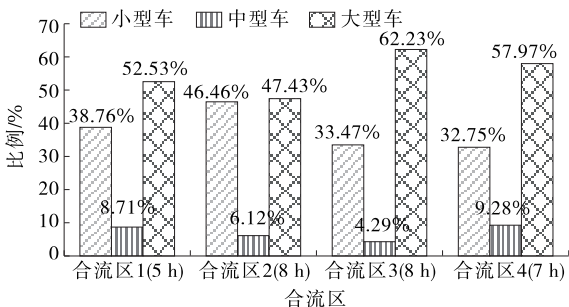


图 3 合流区不同车型比例

由图 2、图 3 可知:1) 合流区主线及匝道交通量均较小,平均交通量分别为 559.5 和 73.5 veh/h;交通量的车道分布不均匀,外侧车道交通量小于内侧车道,其中车道 4 的交通量仅为 19 veh/h。2) 小型车、中型车和大型车的平均比例分别为 37.86%、7.10%、55.04%,表现出较明显的重载交通特征。

2.2 车辆运行速度

合流区车辆行驶速度统计结果见表 1,各车道的车速频率分布见图 4。

表 1 合流区各车道车速统计结果

车道	样本量/个	车速/(km·h ⁻¹)				标准差/(km·h ⁻¹)
		均值	中值	最小值	最大值	
车道 1	5 439	107.93	109.09	42.19	174.19	16.14
车道 2	4 505	83.64	78.26	41.38	168.75	17.35
车道 3	4 913	70.21	69.23	23.58	180.00	11.32
车道 4	524	70.33	69.23	22.09	168.75	13.61

由表 1、图 4 可知:合流区主线外侧两车道的车辆行驶速度服从正态分布,而内侧两车道的车速分布较离散;合流区车辆平均行驶速度较低,小型车车道的平均车速与设计速度(120 km/h)相差较大,其中车道 2 的平均车速仅 83.64 km/h。

2.3 车头时距

根据合流区小于等于 30 s 的车头时距数据(见

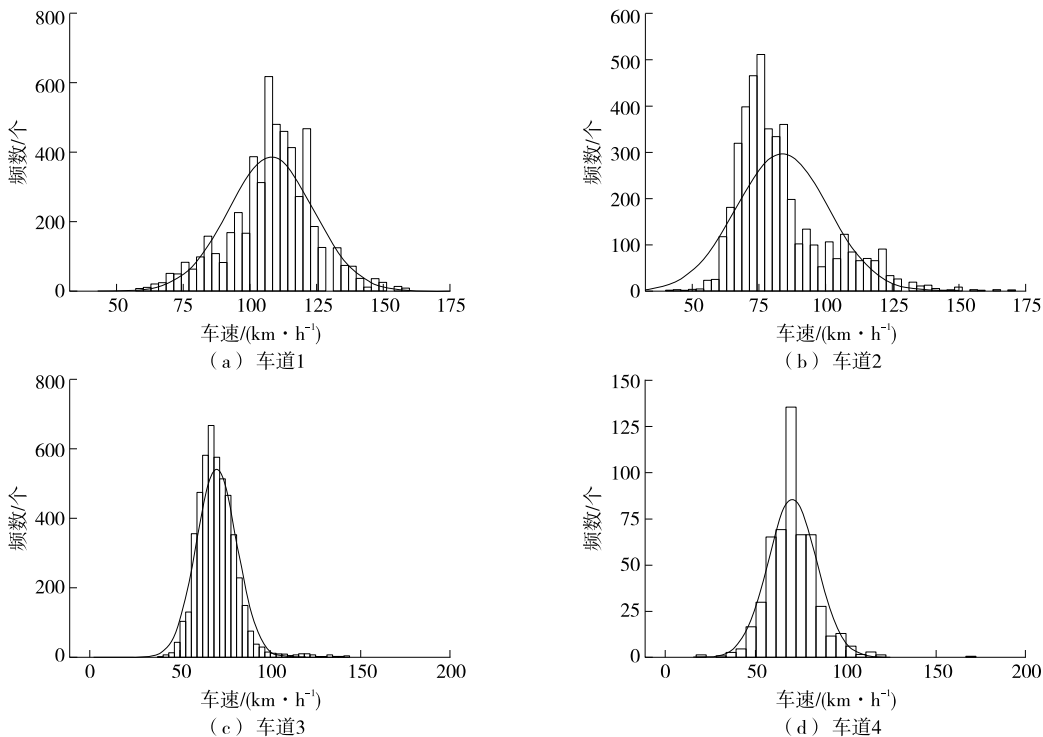


图 4 合流区各车道车速分布

表2)分析合流区主线车头时距对合流车辆的影响。由表2可知:各车道平均车头时距较大,均超过10s,且越靠近外侧车道,平均车头时距越大。

表2 合流区各车道车头时距统计结果

车道位置	样本量/个	车头时距/s					方差/ s ²
		平均值	最小值	最大值	中位数	纵数	
车道1	4 351	10.89	0.06	30.00	8.78	1.80	63.14
车道2	3 424	12.12	0.06	30.00	10.62	5.58	58.33
车道3	3 886	13.01	0.06	29.98	11.66	4.16	55.37
车道4	120	14.61	1.00	29.16	13.82	5.16	57.58

应用负指数分布、移位负指数分布、爱尔朗分布和韦布尔分布对车头时距数据进行拟合,结果表明,合流区小于等于30s的车头时距可用爱尔朗分布来描述。爱尔朗分布函数如下:

$$P(h \geq t_h) = \sum_{i=0}^{r-1} \frac{(\lambda t_h)^i}{i!} e^{-\lambda t_h} \quad (1)$$

式中: $P(h \geq t_h)$ 为车头时距大于等于 t_h 的概率; t_h 为车头时距; r 为爱尔朗分布的阶, r 越大,车流越拥挤; λ 为爱尔朗分布模型的均值参数; λ/r 为车流量; i 为爱尔朗分布的阶, $i=0,1,\dots,r-1$ 。

λ 和 r 的值可利用观测数据的均值 E 和方差 S^2 ,按 $r=E^2/S^2$ 和 $\lambda=E/S^2$ 计算得到。结果表明,合流区观测时段内车头时距服从 $r=2$ 的爱尔朗分布(见图5)。车头时距的分布可反映交通冲突程度并确定交通运行状况。

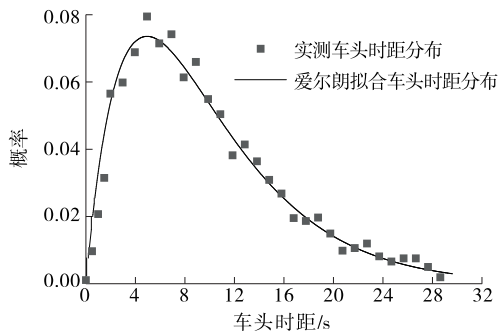


图5 合流区各车道车头时距分布

3 合流区交通冲突及预测

3.1 合流区交通冲突的定义与类型

1977年,国际上首次将交通冲突定义为:2个或2个以上道路使用者在时间或空间上相互靠近到一定程度,如果均保持运行状态不变或其中一方采取不正确的交通行为,就有可能发生交通事故,若其中

一方采取相应避险措施,则可避免事故发生,该现象即为交通冲突。在高速公路合流区,合流车辆从加速车道汇入主线外侧车道,进而变换至主线目标车道,这个过程中容易发生交通冲突。根据冲突车辆的位置关系,合流区的交通冲突主要包括目标车辆S与原车道后车F₀冲突、目标车辆S与原车道前车L₀冲突、目标车辆S与目标车道后车F₁冲突、目标车辆S与目标车道前车L₁冲突4种类型(见图6)。

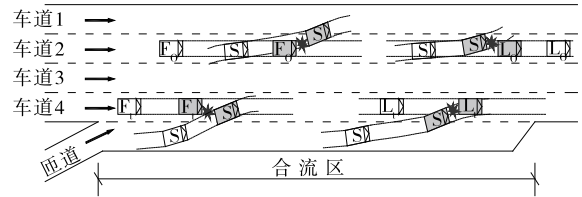


图6 合流区交通冲突类型示意图

3.2 基于PET的交通冲突严重程度判别

采用PET作为交通冲突的度量指标,该指标可反映相互作用车辆的接近程度,其值越小则越有可能发生碰撞,即对应的交通冲突越严重。根据文献[20]给出的合流区PET采集方法进行数据采集并进行统计分析,数据分布拟合发现伽马分布能较好地描述合流区的PET数据,PET分布直方图和累积分布频率曲线见图7、图8。伽马分布概率密度函数如下:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/b} & (x > 0) \\ 0 & (x \leq 0) \end{cases} \quad (2)$$

式中: a 、 b 为伽马分布参数。

根据拟合的伽马分布,选取PET的15%、50%和85%百分位值作为严重冲突、一般冲突和轻微冲突的判别阈值(见图8)。PET<1.23s,交通冲突为严重冲突;PET为1.23~2.50s时,为一般冲突;PET为2.50~4.44s时,为轻微冲突;PET>4.44s时,不发生冲突,车辆可无干扰通过。

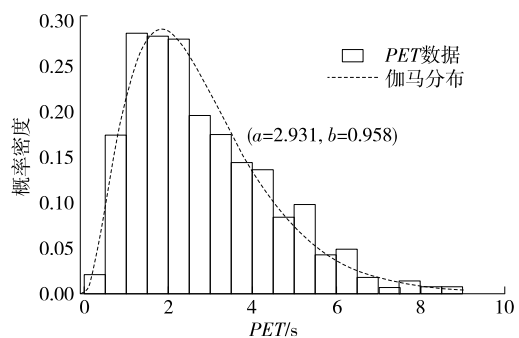


图7 PET分布直方图和拟合分布

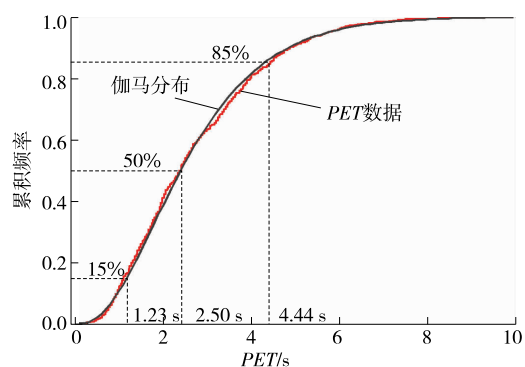


图 8 PET 累积分布频率曲线

合流区交通冲突严重程度的钻石形分级见图 9。根据 PET 统计数据,得到合流区严重冲突、一般冲突、轻微冲突和无冲突的比例分别为 15.27%、34.92%、33.59%和 16.22%,车道 1、2、3 和 4 发生交通冲突 ($PET \leq 4.44\text{ s}$) 次数的比例分别为 0、12.78%、73.29%和 13.93%,合流车辆对车道 1 的交通运行没有影响。

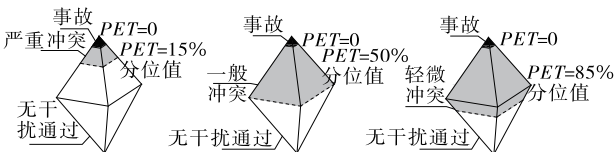


图 9 交通冲突严重程度的钻石形分级

3.3 合流区交通冲突预测模型

根据合流区交通冲突($PET \leq 4.44\text{ s}$)发生次数统计分析结果,交通冲突的离散度较高(方差大于均值),采用负二项分布模型建立交通冲突预测模型,其中因变量为各车道小时冲突数,自变量为交通流数据。应用极大似然法估计模型参数,并逐一剔除不显著变量,最终确定交通冲突发生次数与主线交通量、匝道交通量、主线大型车比例、车辆平均速度与运行速度差、车道位置显著相关。合流区交通冲

突预测模型如下:

$$P_i(n) = \frac{\Gamma(1/0.186\ 8 + n)}{\Gamma(1/0.186\ 8) \cdot n!} \cdot \left(\frac{1}{1 + 0.186\ 8\lambda_i}\right)^{1/0.186\ 8} \cdot \left(\frac{0.186\ 8\lambda_i}{1 + 0.186\ 8\lambda_i}\right)^n \tag{3}$$

$$\lambda_i = \exp(-2.921\ 5 + 0.012\ 5x_{MV} + 0.019\ 9x_{LV} + 1.547\ 1x_{HV} - 0.036\ 5x_{\Delta v} + 0.678\ 5x_L) \tag{4}$$

式中: $P_i(n)$ 为位置 i 发生 n 次交通冲突的概率; λ_i 为位置 i 发生交通冲突次数的期望值(次/h); x_{MV} 为主线交通量(veh/h); x_{LV} 为匝道交通量(veh/h); x_{HV} 为主线大型车比例; $x_{\Delta v}$ 为车辆平均速度与运行速度差(km/h); x_L 为车道位置, x_L 取 0、1、2,分别代表车道 2、3、4。

4 合流区安全性分析

4.1 交通冲突率计算

交通冲突率是指交通冲突数与当量冲突交通量的比值,其中交通冲突分为严重冲突、一般冲突和轻微冲突,当量冲突交通量可由主线交通量和匝道交通量计算得到。计算公式如下:

$$CR_i = \frac{N_i}{Q_i} \tag{5}$$

$$Q_i = \sqrt{q_r \cdot (q_2 + q_3 + q_4)} \tag{6}$$

式中: CR_i 为第 i 类交通冲突率(次/veh); N_i 为单位时间内第 i 类交通冲突数(次/h); Q_i 为第 i 类交通冲突对应的当量冲突交通量(veh/h); q_r 为匝道交通量(veh/h); q_2 、 q_3 、 q_4 分别为主线车道 2、3、4 的交通量(veh/h)。

按式(5)和式(6)计算各观测合流区的交通冲突率,结果见表 3。

表 3 合流区交通冲突数和交通冲突率

合流区	交通冲突数/次			交通冲突率/(次·veh ⁻¹)		
	严重冲突	一般冲突	轻微冲突	严重冲突	一般冲突	轻微冲突
合流区 1	13	35	35	0.015 5	0.041 7	0.041 7
合流区 2	22	64	39	0.016 1	0.046 7	0.028 5
合流区 3	32	58	67	0.024 7	0.044 7	0.051 6
合流区 4	13	26	35	0.013 1	0.026 2	0.035 3

4.2 基于交通冲突的合流区安全性分析

利用小时交通冲突数和交通冲突率相结合的法

法对合流区进行安全性分析。该方法一方面可反映车辆在合流区与其他车辆发生相互激烈作用的时间

概率;另一方面考虑了相互作用的车辆数,可反映单位车辆在合流区陷入危险状况的可能性。需注意的是,观测到的交通冲突数越多并不意味着可能发生的交通事故越多,但可说明车辆在通过合流区的过程中与其他车辆发生相互激烈作用的概率更大,驾驶员较小的失误就可能導致事故发生,驾驶员需保持注意力集中。

为更好地比较合流区的交通冲突发生状况,进而确定其安全性,采用最小—最大标准化法将各合流区的严重、一般和轻微小时冲突数及冲突率进行标准化处理,使小时交通冲突数和交通冲突率均落在 $[0,1]$ 内。最小—最大标准化公式如下:

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

式中: x' 为标准化后的小时交通冲突数或冲突率; x 为小时交通冲突数(次/h)或冲突率(次/veh); x_{\min} 、 x_{\max} 分别为小时交通冲突数或冲突率的最小值和最大值。

合流区标准小时交通冲突数和冲突率分布见图10。以0.5为边界值,将小时交通冲突数和冲突率分布划分为4个区域:I为低交通冲突数和低交通冲突率区域;II为低交通冲突数和高交通冲突率区域;III为高交通冲突数和高交通冲突率区域;IV为高交通冲突数和低交通冲突率区域。

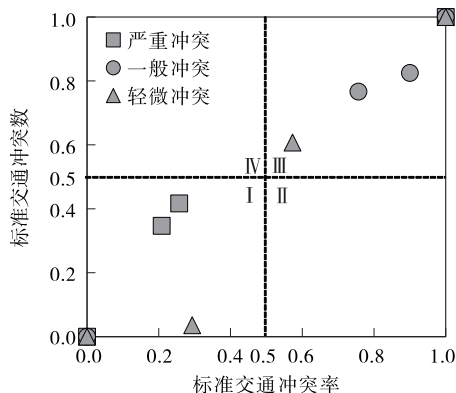


图10 合流区交通冲突数和冲突率分布

由图10可知:交通冲突数和冲突率均落在区域I和III。合流区3的严重、一般和轻微冲突数及冲突率均落在区域III,说明合流区3的三类不同严重程度的交通冲突数及冲突率均较高,其安全水平最低。合流区4的三类不同严重程度的交通冲突数及冲突率均落在区域I,其安全水平最高。合流区1和2的三类不同严重程度的交通冲突数及冲突率落在不同区域,其中合流区1的严重冲突数和冲突率

落在区域I,而一般和轻微冲突数及冲突率落在区域III;合流区2的严重和轻微冲突数及冲突率落在区域I,而一般冲突数和冲突率落在区域III。说明在合流区1和2发生严重冲突的概率较小,车辆冲突不激烈,不容易导致事故发生,其安全性介于合流区4和3之间。根据上述分析,4个合流区划分为3组,合流区4属于安全组,合流区3属于危险组,合流区1和2介于两者之间。

5 结论

该文结合交通冲突技术,对双向八车道高速公路合流区的交通特性和安全性开展研究,得到以下结论:1)合流区主线各车道的车头时距均与爱尔朗分布拟合较好,外侧2条车道的车辆运行速度服从正态分布。2)合流区的PET数据服从伽马分布,以15%、50%和85%位值作为严重冲突、一般冲突和轻微冲突的判别阈值,得到对应的PET阈值分别为1.23、2.50和4.44s;合流区交通冲突的发生与主线交通量、匝道交通量、主线大型车比例、车辆平均速度与运行速度差、车道位置等显著相关。3)沈山高速公路合流区的安全性分为3组,合流区4属于安全组,合流区3属于危险组,合流区1和2介于两者之间。

上述研究成果可为高速公路合流区的交通特性与交通冲突分析提供借鉴和参考。但根据PET分布确定交通冲突严重程度判别阈值及安全水平划分边界的方法存在一定的主观性,在今后的研究中应扩大数据采集范围,寻求更客观的量化方法进行交通冲突严重性判别及安全性分析。此外,在建立交通冲突及影响因素统计模型时需考虑道路线形、匝道限速等条件,为改善合流区安全性提供依据。

参考文献:

- [1] Olsen R A, Hostetter R S. Describing and shaping merging behavior of freeway drivers[J]. Transportation Research Record, 1976, 605.
- [2] 王春娥. 高速公路立交变速车道长度研究[J]. 公路交通科技, 2013, 30(1).
- [3] Leclercq L, Knoop V L, Marcza F, et al. Capacity drops at merges: new analytical investigations[A]. IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)[C]. 2014.
- [4] 万海峰, 张云龙, 郭忠印, 等. 多车道高速公路合流区端部车辆速度驾驶行为远场观测试验研究[J]. 交通科

技,2014(5).

- [5] Marczak F, Daamen W, Buisson C. Key variables of merging behaviour: empirical comparison between two sites and assessment of gap acceptance theory[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 80.
- [6] Liu R, Hyman G. Modelling motorway merge: the current practice in the UK and towards establishing general principles[J]. Transport Policy, 2012, 24.
- [7] Mergia W Y, Eustace D, Chimba D, et al. Exploring factors contributing to injury severity at freeway merging and diverging locations in Ohio[J]. Accident Analysis & Prevention, 2013, 55.
- [8] Chin H C, Quek S T, Cheu R L. Traffic conflicts in expressway merging[J]. Journal of Transportation Engineering, 1991, 117(6).
- [9] 王晓飞, 符锌砂, 葛婷. 高速公路立交入口区域行车风

险评价模型[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(5).

- [10] 孟祥海, 林兰平. 高速公路分合流区潜在事故风险研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(8).
- [11] 胡江碧, 张元峰, 王荣华. 高速公路立交主线行车安全影响因素分析[J]. 公路, 2016(10).
- [12] 张南, 秦兵杰. 基于交通冲突技术的高速公路合流路段安全性研究[J]. 综合运输, 2016, 38(10).
- [13] 林兰平. 高速公路合流区交通冲突预测与安全评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [14] 孟祥海, 郑来, 毕海峰, 等. 高速公路半幅封闭施工区交通特性与交通冲突特性研究[J]. 中国公路学报, 2013, 26(2).
- [15] 余忠磊, 戴广雷. 城市道路交通隔离设施应用效果评价分析[J]. 公路交通技术, 2018(1).

收稿日期: 2018-08-20

(上接第 4 页)

- [2] ISO 362-1:2007, Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles-engineering method-Part 1: M and N categories[S].
- [3] ECE Regulation No. 51, Revision 1-A-mendment 3 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles having at least four wheels with regard to their noise emissions[S].
- [4] GB 1495-20XX, 汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法(中国第三、四阶段)(征求意见稿)[S].
- [5] GB 1495-2002, 汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法[S].
- [6] 谢东明, 邱彬, 郭勇, 等. ISO 362-1:2007 在商用车试验中的应用[J]. 汽车技术, 2011(1).
- [7] 谢东明, 冯屹, 郭勇, 等. ISO 362-1:2007 与 ECE R51/03 系列差异及发展动向分析[J]. 汽车技术, 2011(11).
- [8] 谢东明, 郭勇, 徐军辉, 等. 对于商用车加速噪声试验新方法发动机转速的处理意见[J]. 汽车技术, 2013(8).
- [9] 邱彬, 谢东明, 靳旗, 等. ISO 362-1:2007 与 ISO 362:

1998 标准的差异分析及测试结果对比[J]. 汽车工程, 2010, 32(4).

- [10] 陶荣华, 高尚流, 王万祥. 汽车加速行驶车外噪声治理[J]. 客车技术与研究, 2006(4).
- [11] 王冬琳, 李松林. 客车加速行驶车外噪声源分析试验[J]. 客车技术与研究, 2007(2).
- [12] 樊海龙, 王延克. 某出口客车噪声试验与治理[J]. 客车技术与研究, 2013(2).
- [13] 高吉强, 张晓辉, 谢东明. 商用车加速行驶车外噪声标准法规研究[A]. 2016 中国汽车工程学会年会论文集[C]. 2016.
- [14] 谢东明, 邱彬, 刘建军, 等. ISO 362-1:2007 在 M1 类车辆试验中的应用[J]. 汽车技术, 2009(11).
- [15] GB 1495-2002, 汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法[S].
- [16] 谢东明, 温泉, 梁荣亮, 等. 加速行驶车外噪声快速试验方法[J]. 噪声与振动控制, 2013(2).

收稿日期: 2018-10-25

关于假冒杂志网站和邮箱的声明

目前互联网上出现以《公路与汽运》杂志名义建立的官方网站和投稿邮箱, 它们盗用“公路与汽运”的名称, 非法向外征稿并收取审稿费、版面费, 严重损害了本刊的权益和声誉。为避免广大作者和读者上当受骗, 本刊郑重声明: 1) 本刊没有官网, 也从未以任何方式授权其他单位和个人在互联网上建立网站, 互联网上以“公路与汽运”名义建立的网站都是假冒的, 此类网站上发布的信息及由此造成的一切后果均与本刊无关。2) 本刊唯一的投稿邮箱是 gongluyuqiyeun@163.com, 除此之外的任何以本刊名义设立的邮箱都是假冒的。本刊目前没有收取审稿费。3) 本刊强烈谴责这种假冒《公路与汽运》杂志名义、损害本刊和作者、读者权益的违法行为, 并保留依法追究其法律责任的权利。

特此声明。

公路与汽运