

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.09.023

基于车辆-护栏碰撞的乘员风险 评价指标相关性分析

时凤奎

(天津市交通教育培训中心, 天津 300012)

摘要: 针对车辆护栏碰撞时的乘员安全风险评价, 建立了车辆-乘员-护栏碰撞系统有限元模型, 并依据试验结果进行了模型有效性验证。利用 HyperMesh 和 LS-DYNA 软件, 选取 50, 70, 100 km/h 和 120 km/h 等不同碰撞速度, 和 20°, 25°, 30° 等不同碰撞角度组合, 进行了 12 组车辆护栏碰撞仿真试验, 获取碰撞过程中车辆质心处和乘员头部纵向、横向、垂向的加速度数据, 进而计算分析了乘员加速度伤害指标 (ASI)、理论头部碰撞速度 (THIV)、碰撞后头部减速度 (PHD) 以及头部伤害指标 (HIC) 等乘员风险评价指标值。在此基础上, 采用 SPSS 统计软件, 分析了各乘员风险评价指标与头部伤害指标 HIC 的量化对应关系。研究结果表明: ASI 与 HIC 具有较好的相关性; ASI 与 HIC 之间用指数函数拟合, 且拟合度为 0.91。

关键词: 交通工程; 评价指标; 车辆-护栏碰撞; 乘员风险; 相关性分析

中图分类号: U467.14

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2016) 09-0148-06

Correlation Analysis on Occupant Risk Evaluation Indexes Based on Vehicle-guardrail Impact

SHI Feng-kui

(Tianjin Traffic Education Training Center, Tianjin 300012, China)

Abstract: For the assessment of occupant safety risk under vehicle-guardrail impact, a finite element model of vehicle-occupant-guardrail impact system is established, and the effectiveness of the model is verified based on the test result. Selecting the combinations of different impact speeds such as 50 km/h, 70 km/h, 100 km/h, 120 km/h and different impact angles such as 20°, 25°, 30°, 12 groups of vehicle-guardrail impact simulation test are conducted by HyperMesh and LS-DYNA softwares. The acceleration severity index (ASI), theoretical head impact velocity (THIV), post-impact head deceleration (PHD) and head injury criterion (HIC) of occupants are analyzed according to the longitudinal, transverse and vertical acceleration data of vehicle centroid and occupant head obtained from the impact process. On this basis, the corresponding quantitative relations of occupant risk assessment indexes with HIC are analyzed by SPSS statistical software. The research result shows that (1) there is a good correlation between ASI and HIC; (2) ASI and HIC should be fitted with exponential function, and the fitting degree is 0.91.

Key words: traffic engineering; evaluation index; vehicle-guardrail impact; occupant risk; correlation analysis

0 引言

护栏是对失控车辆进行安全防护的重要道路交

通基础设施。据统计, 我国高速公路交通事故中约有 30% 是由于车辆与路侧护栏碰撞后失控驶离道路导致的, 且由此造成的特、重大恶性交通事故占

收稿日期: 2016-01-12

作者简介: 时凤奎 (1958-), 男, 天津人, 硕士, 高级工程师. (shfk2016@126.com)

比达到60%以上。因此,如何评价车辆与护栏碰撞过程中的乘员安全风险显得十分必要和具有现实意义。

实车足尺碰撞试验是国内外通用的交通安全防护设施和车辆本体安全性能评价方法,其关键在于乘员安全风险评价。目前我国针对车辆护栏碰撞的乘员安全风险评价指标相关性的研究经验较少。文献[1]选取了10余组车辆实车碰撞护栏的试验案例进行了对比,结果表明,我国现行交通安全防护设施标准规范的乘员风险评价指标限值偏高。文献[2]研究发现车辆重心10 ms平均加速度的变化对头部和胸部伤害的影响呈较为强烈的线性关系,且对乘员的头部损伤影响最大。交通安全防护设施和车辆本体安全性能评价目标一致,但二者在相关标准中的评价指标迥异。如何统一量化现行交通安全防护设施的乘员风险评价指标与乘员头部伤害指标的对应关系问题亟需研究。因此,本文建立车辆-乘员-护栏碰撞系统有限元模型,并依据试验结果进行了模型有效性验证。借鉴EN 1317,利用Hyper Mesh和LS-DYNA软件,选取碰撞速度为50, 70, 100 km/h和120 km/h,碰撞角度为20°, 25°和30°条件下,对12组车辆护栏碰撞试验进行模拟分析,计算ASI、THIV以及PHD等乘员风险评价指标值。在此基础上,分析现行交通安全防护设施的乘员风险评价指标与乘员伤害值HIC的量化对应关系。该研究成果将对我国护栏相关标准制、修订,试验研究及开发具有指导意义。

1 基础理论

乘员风险是指车辆与护栏碰撞过程中乘员受到的伤害程度。乘员风险评价方法分为车辆乘员风险评价方法和防护设施乘员风险评价方法,分别以交通安全防护设施和车辆为对象,其具体评价方法分为欧盟和美国两大体系。

1.1 车辆乘员风险评价方法

车辆碰撞乘员风险评价方法在美国的《乘员在车内碰撞时的保护》(FMVSS 201)、《乘员碰撞保护》(FMVSS 208)及《侧撞保护》(FMVSS 214)等,欧盟的《正撞乘员保护》(ECE R94)、《关于车辆侧面碰撞乘员保护认证的统一规定》(ECE R95)等均有体现。我国现执行的《汽车正面碰撞的乘员保护》(GB 11551)、《汽车侧面碰撞的乘员保护》(GB 20071),及《乘用车后碰撞燃油系统安全要求》(GB 20072),主要来源于欧盟标准体系。

车辆乘员风险评价法是通过在车辆上安装特定的碰撞试验假人模拟车辆与护栏碰撞时乘员的运动响应,通过内置于假人体内关键部位的传感器采集数据,进而计算乘员受伤程度,直接评价指标包括头部伤害指标(HIC)、胸部性能指标(THPC)及腿部性能指标(FPC)等。本文仅考虑头部伤害指标(HIC)作为乘员风险直接评价指标。

头部伤害指标(HIC)是用于评价车辆碰撞护栏试验中乘员头部伤害程度的重要指标^[3]。按式(1)计算:

$$HIC = \text{Max} \left\{ (t_1 - t_2) \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} a(t) dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2.5} \right\}, \quad (1)$$

式中, $a(t)$ 为碰撞过程中假人头部中心处的合成加速度; t_1, t_2 为碰撞过程中的从初始接触到最后接触的任意两个时刻, $t_2 - t_1 \leq 36$ ms。在我国现行护栏相关规范中,规定头部伤害指标(HIC)不应超过1 000,即乘员头部所能承受的伤害极限值。

2.2 交通安全防护设施乘员风险评价方法

交通安全防护设施乘员风险评价方法在欧盟的《道路防护系统》(EN 1317)^[4]和美国的《安全设施评价手册》(MASH)^[5]最具代表性,我国现执行的《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05—01)就是在此基础上衍生而来^[1]。该评价方法提出了乘员风险模型,如连枷空间模型和加速度严重指数(ASI),用测量车辆加速度的间接方法,作为车内乘员安全性能的替代指标^[1]。车辆与护栏碰撞过程中,通过加速度传感器采集车辆质心处纵向、横向、垂向的三向加、减速度数据,进而计算乘员伤害指标值。其评价指标包括加速度严重性指数(ASI)、理论头部撞击速度(THIV)及碰撞后头部减速度(PHD)^[6]。

(1) 加速度严重性指数(ASI)

加速度严重性指数(ASI)是评价车辆碰撞护栏过程中乘员伤害严重程度的指标^[7]。按式(2)计算:

$$ASI(t) = [(\bar{a}_x/\hat{a}_x)^2 + (\bar{a}_y/\hat{a}_y)^2 + (\bar{a}_z/\hat{a}_z)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

式中, $\bar{a}_x, \bar{a}_y, \bar{a}_z$ 为三向50 ms平均值加速度; $\hat{a}_x, \hat{a}_y$ 和 $\hat{a}_z$ 为车辆质心处三向加速度阈值($\hat{a}_x$ 取12g, $\hat{a}_y$ 取9g, $\hat{a}_z$ 取10g)。车辆与护栏碰撞过程中,通常取ASI(t)中最大值作为乘员风险的评价指标。ASI值越大,乘员伤害程度越严重。

(2) 理论头部碰撞速度(THIV)

头部碰撞速度 (THIV) 是乘员头部和乘员舱内部碰撞的瞬间相对速度, 用于衡量乘员 (头部) 撞击乘员舱内表面的剧烈程度。按式 (3) 计算:

$$THIV = [V_x^2(T) + V_y^2(T)]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

式中, $V_x(T)$ 和 $V_y(T)$ 分别为在碰撞瞬间乘员相对于车体坐标系的速度。

(3) 碰撞后头部减速度 (PHD)

碰撞后头部减速度 (PHD) 是车辆碰撞护栏后, 乘员头部与乘员舱内部表面接触, 二者相同的减速度。按式 (4) 计算:

$$PHD = \text{Max}[(\ddot{x}_G(t) + \ddot{y}_G(t))^{\frac{1}{2}}], \quad (4)$$

式中, $\ddot{x}_G(t)$ 和 $\ddot{y}_G(t)$ 分别为车体纵向和横向加速度 10 ms 平均值的时程。交通安全防护设施乘员风险评价指标, 见表 1。

表 1 乘员风险评价指标

Tab. 1 Occupant risk evaluation indexes

评价指标	评价指标阈值
加速度严重性指数 (ASI)	A 级 $ASI \leq 1.0$
理论头部碰撞速度 (THIV)	B 级 $1.0 \leq ASI \leq 1.4$ 且 $THIV \leq 9.16 \text{ m/s}$
碰撞后头部减速度 (PHD)	C 级 $1.4 \leq ASI \leq 1.9$

上述两种乘员风险评价方法均致力于将标准与实际乘员损伤的概率联系起来, 在实际车辆和交通安全防护设施设计过程中, 各方均按照不同评价指标执行。我国针对车辆护栏碰撞的乘员安全风险评价指标相关性的研究经验较少。因此, 本文研究目的在于利用 12 组实车足尺碰撞试验数据, 探讨交通安全防护设施碰撞与车辆耐撞性测试之间乘员风险评价指标的关系。

2 车辆护栏碰撞系统模型建立及验证

2.1 车辆-乘员-护栏碰撞系统模型建立

利用前处理软件 HyperMesh, 导入某乘用车和某半刚性两波梁护栏模型, 建立车辆-乘员-护栏碰撞系统模型^[8]。车辆前排座椅安放 2 个 HybridIII 型假人, 并予以配载保证其质心高度与实车满载质心高度偏差不超过 0.02 m ^[9], 其基本技术参数如表 2 所示。

表 2 车辆-乘员-护栏碰撞系统参数

Tab. 2 Parameters of vehicle-occupant-guardrail impact system

项目	参数	项目	参数
车辆总质量/kg	1 500	车辆长度/mm	4 840
车辆碰撞速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	100	车辆宽度/mm	1 780
车辆碰撞角度/($^{\circ}$)	20	车辆质心高度/mm	570
护栏形式	半刚性两波梁	护栏高度/mm	1 100
立柱形式	厚 3 mm 钢管	护栏直径/mm	140

利用 LS-DYNA 软件, 车辆与护栏以碰撞速度 100 km/h 、碰撞角度 20° 进行碰撞仿真。将轮胎与地面、车身与护栏、假人与车辆内饰件, 及假人与安全带设置成自动接触, 车辆与护栏间的摩擦系数取 0.1, 轮胎与地面间的摩擦系数取 0.7。车辆-乘员-护栏碰撞系统有限元模型如图 1 所示。

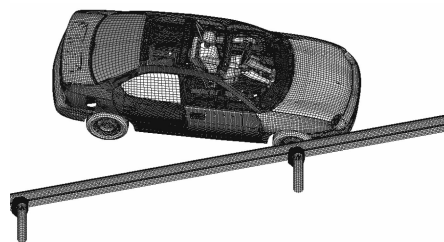


图 1 车辆护栏碰撞系统模型

Fig. 1 Vehicle-guardrail impact system model

2.2 模型有效性验证

按照前述车辆-乘员-护栏系统仿真碰撞试验条件, 准备相应实车护栏碰撞试验。车辆-乘员-护栏系统碰撞过程, 如图 2 所示。将实车碰撞试验采集的车身质心处加速度与相应的仿真结果对比见图 3, 二者的线形和值域基本吻合, 从而验证了车辆-乘员-护栏碰撞系统有限元模型的有效性。



图 2 实车碰撞试验

Fig. 2 Real vehicle impact test

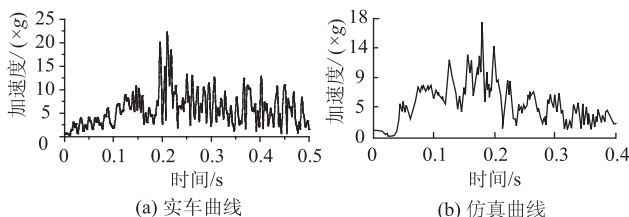


图 3 质心处加速度值

Fig. 3 Acceleration values at centroid

3 车辆碰撞护栏的动态响应分析

车辆与护栏碰撞过程是复杂的动力学过程, 碰撞结果与护栏结构形式、车辆总质量、碰撞速度、碰撞角度、车辆质心高度以及车辆几何尺寸等诸多因素有关^[10]。在前述车辆-乘员-护栏碰撞系统

基础上,本文选取了碰撞速度分别为 50, 70, 100 km/h 和 120 km/h,碰撞角度分别为 20°, 25° 和 30°情况下,共计 12 组车辆与护栏碰撞试验进行模拟分析。

表 3 最大俯仰角、最大侧倾角以及驶出角

Tab. 3 Maximum pitch, roll and exit angles

碰撞角 度/(°)	最大俯仰角/(°)				最大侧倾角/(°)				驶出角/(°)			
	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h
20	2.90	32.5	6.5	26.1	4.6	6.2	8.36	24.6	4.27	9.94	9.46	6.19
25	1.95	3.90	4.04	19.4	2.7	5.6	10	6.32	9.06	8.20	8.19	10.4
30	4.46	5.31	6.58	4.5	3.1	7.9	10.2	30.9	13.4	11.6	13.4	13.6

碰撞过程中车辆的运行状态各不相同。仿真结果表明:除碰撞角度 30°且碰撞速度 120 km/h 时,车辆的最大侧倾角到 30.9°,其他最大俯仰角和最大侧倾角均非常小。碰撞后车辆与护栏未出现阻绊、横转、掉头等现象,其驶出角均小于碰撞角度的 60%^[11]。

3.2 乘员风险间接评价指标

3.2.1 理论头部碰撞速度 (THIV) 与碰撞后头部减速度 (PHD)

车辆碰撞护栏理论头部碰撞速度 (THIV) 与碰撞后头部减速度 (PHD),见表 4。仿真分析结果表明:由于波形护栏横向发生弯曲变形吸能,理论头部碰撞速度 (THIV) 与碰撞后头部减速度 (PHD) 均未超过评价指标阈值,符合 EN 1317 有关规定。

表 4 车辆碰撞护栏理论头部碰撞速度与碰撞后头部减速度

Tab. 4 Theoretical head impact velocity and post-impact head deceleration of vehicle

碰撞 角度/(°)	THIV/(m·s ⁻¹)				PHD/(×g)			
	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h
20	6.42	7.67	8.5	8.72	2.63	3.74	7.65	13.95
25	7.1	8.93	8.6	—	2.88	2.42	5.4	4.85
30	5.45	6.56	7.86	9.15	7.6	5.94	5.69	—

3.2.2 加速度严重性指数 (ASI)

通常加速度严重性指数 (ASI) 达到 C 级属于高危险情况^[12]。仿真试验结果加速度严重性指数,见表 5。仿真分析结果表明:当车辆碰撞速度达到 120 km/h 时,车辆与护栏碰撞具有较高的危险性。

表 5 加速度严重性指数

Tab. 5 Acceleration severity index

碰撞角度/ (°)	ASI			
	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h
20	A	A	B	D
25	A	A	A	C
30	A	A	A	—

3.1 车辆运动轨迹与姿态

车辆碰撞护栏后的运动轨迹和姿态对乘员损伤严重程度有着很大影响。通过 12 组仿真碰撞试验,其最大俯仰角、最大侧倾角以及驶出角见表 3。

3.3 头部伤害指标 (HIC)

试验假人 HIC 值见表 6。通过碰撞仿真试验可知,随着碰撞速度增加,HIC 值呈递增趋势;随着碰撞碰撞角度增加,HIC 值亦呈递增趋势。在碰撞速度 120 km/h 且碰撞角度 30°时,试验假人 HIC 值超过标准范围值 1 000。其主要由于车辆与护栏碰撞时,试验假人头部与车门发生二次碰撞,导致其 HIC 值达到 1 529,对乘员安全造成威胁。

表 6 试验假人 HIC 值

Tab. 6 HIC values of crash dummy

碰撞角度/ (°)	HIC			
	50 km/h	70 km/h	100 km/h	120 km/h
20	12	61	242	343
25	31	173	516	661
30	169	358	841	1 529

4 乘员损伤相关性分析

在前述研究基础上,采用 SPSS 统计软件拟合计算,得到假人头部伤害指标 (HIC) 与乘员加速度严重性指数 (ASI)、理论头部碰撞速度 (THIV) 及碰撞后头部减速度 (PHD) 等乘员风险间接评价指标的关系。拟合度 R^2 是判断回归模型拟合程度优劣最常用的数量指标。拟合度 R^2 越大,模型拟合程度越高。

(1) ASI 与 HIC 相关性

经计算,假人头部伤害指标 (HIC) 与乘员加速度严重性指数 (ASI) 的回归模型见式 (5),该回归模型的拟合度 R^2 为 0.92,该模型拟合度较好。

$$HIC = 1.86 \cdot e^{3.46 \times ASI}, \quad (5)$$

式中,HIC 为乘员头部伤害指标;ASI 为乘员加速度严重性指数。二者关系曲线如图 4 所示。

(2) THIV 与 HIC 相关性

经计算,假人头部伤害指标 (HIC) 与理论头部

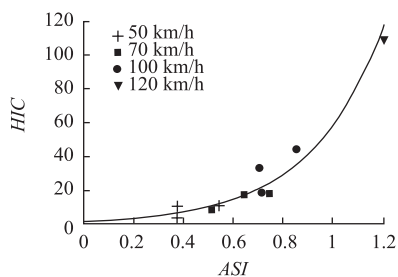


图4 ASI和HIC关系图

Fig. 4 Relation between ASI and HIC

碰撞速度 ($THIV$) 的回归模型见式 (6), 该回归模型的拟合度 R^2 为 0.53, 该模型拟合度弱, 很难说明二者间具依赖关系。

$$HIC = 0.005 \cdot THIV^{3.95}, \quad (6)$$

式中, HIC 为乘员头部伤害指标; $THIV$ 为理论头部碰撞速度。二者关系曲线如图 5 所示。

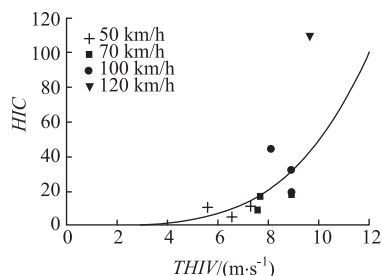


图5 THIV和HIC关系图

Fig. 5 Relation between THIV and HIC

(3) PHD 与 HIC 相关性

经计算, 假人头部伤害指标 (HIC) 与碰撞后头部减速度 (PHD) 的回归模型见式 (7), 该回归模型的拟合度 R^2 为 0.66, 该模型拟合度较弱。

$$HIC = 1.89 \cdot e^{0.27 \times PHD}, \quad (7)$$

式中, HIC 为乘员头部伤害指标; PHD 为乘员加速度伤害指标。二者关系曲线如图 6 所示。

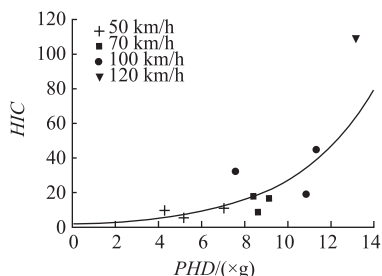


图6 PHD和HIC关系图

Fig. 6 Relation between PHD and HIC

5 结论

研究表明: 车辆与护栏碰撞过程中, 乘员加速

度伤害指标 (ASI) 与头部伤害指标 (HIC) 之间具有较好的相关性。乘员加速度伤害指标 (ASI) 与头部伤害指标 (HIC) 采用指数函数拟合, 且拟合度为 0.91。该研究成果将有助于车辆和交通安全防护设施在设计过程中乘员安全风险评价指标的统一, 对我国车辆和护栏相关标准制、修订, 试验研究及开发具有指导意义。

参考文献:

References:

- [1] EN1317, Road Restraint Systems [S].
- [2] SICKING D L, MAK K K, ROHDE J R, et al. Manual for Assessing Safety Hardware [M]. Washington, D. C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.
- [3] JTG B05-01—2013, 公路护栏安全性能评价标准 [S]. JTG B05-01—2013, Standard for Safety Performance Evaluation of Highway Barriers [S].
- [4] 乔希永, 张国胜, 王成虎, 等. 基于车辆-护栏碰撞的乘员风险评价方法 [J]. 公路交通科技, 2013, 30 (4): 155-158.
QIAO Xi-yong, ZHANG Guo-sheng, WANG Cheng-hu, et al. A Method of Occupant Risk Evaluation Based on Vehicle-guardrail Impact [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (4): 155-158.
- [5] GB 11551—2013, 汽车正面碰撞的乘员保护 [S]. GB 11551—2013, The Protection of the Occupants in the Event of a Frontal Collision for Motor Vehicle [S].
- [6] 张振宇, 杨鄂川, 吴祖兴. 基于车辆及乘员安全的汽车护栏碰撞仿真分析 [J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2012, 26 (9): 20-24.
ZHANG Zhen-yu, YANG E-chuan, WU Zu-xing. The Simulation and Analysis of Impact Between Vehicle and Guardrail Based on the Vehicle and Occupant Safety [J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 26 (9): 20-24.
- [7] 周炜, 张国胜, 张天侠, 等. 汽车-护栏系统的碰撞特性 [J]. 振动、测试与诊断, 2012, 32 (增1): 103-106, 153.
ZHOU Wei, ZHANG Guo-sheng, ZHANG Tian-xia, et al. Collision Characteristics of Car-Guardrail System [J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2012, 32 (S1): 103-106, 153.
- [8] 龙科军, 李寅, 雷正保, 等. 基于加速度严重指数的公路路侧危险度评估 [J]. 中国公路学报, 2013, 26 (3): 143-149, 157.

(下转第 158 页)

- 搜寻行为分析 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12 (3): 174 - 179.
- WEI Xue-mei, JI Xiao-feng, CHEN Fang. Drivers' Travel Information Searching Behavior Study with Structural Equation Modeling [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012, 12 (3): 174 - 179.
- [6] 纪江明, 胡伟. 我国城市公共交通公众满意度的影响因素研究——基于“2012 连氏中国城市公共服务质量调查”的实证分析 [J]. 软科学, 2015, 29 (6): 10 - 14.
- JI Jiang-ming, HU Wei. Research on the Influential Factors of Urban Public Transportation on Public Satisfaction in China: An Empirical Study Based on “2012 Lien Public Service Quality Survey for Chinese Cities” [J]. Soft Science, 2015, 29 (6): 10 - 14.
- [7] 马永锋, 陆键, 项乔君, 等. 省域公路出行者信息系统规划方法研究 [J]. 公路交通科技, 2008, 25 (2): 127 - 133.
- MA Yong-feng, LU Jian, XIANG Qiao-jun, et al. Planning Process of Advanced Traveler Information System of Provincial Highway Network [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25 (2): 127 - 133.
- [8] 杨莲莲, 李陇堂. 基于百度指数的宁夏沙湖游客量的相关性分析 [J]. 旅游纵览: 下半月, 2014, 22 (7): 228 - 230.
- YANG Lian-lian, LI Long-tang. Correlation Analysis of Sand Lake of Ningxia Visitors Based on Baidu Index [J]. Tourism Overview: Second Half, 2014, 22 (7): 228 - 230.
- [9] 龙茂兴, 孙根年, 马丽君, 等. 区域旅游网络关注度与客流量时空动态比较分析——以四川为例 [J]. 地域研究与开发, 2011, 30 (3): 93 - 97.
- LONG Mao-xing, SUN Gen-nian, MA Li-jun, et al. An Analysis on the Variation Between the Degree of Consumer Attention of Travel Network and Tourist Flow in Regional Tourism: A Case of Sichuan Province [J]. Areal Research and Development, 2011, 30 (3): 93 - 97.
- [10] 林炜铃, 邹永广, 郑向敏. 旅游安全网络关注度区域差异研究——基于中国 31 个省市区旅游安全的百度指数 [J]. 人文地理, 2014, 29 (6): 154 - 160.
- LIN Wei-ling, ZOU Yong-guang, ZHENG Xiang-min. Study on the Regional Disparity in the Network Attention of China Tourism Security: Based on the Baidu Index of Tourism Security in 31 Provinces [J]. Human Geography, 2014, 29 (6): 154 - 160.
- [11] 安晶, 李香静, 刘好德, 等. 面向公交优先绩效考核的城市公交发展水平评价指标体系研究 [J]. 公路与汽运, 2015, 22 (1): 57 - 63.
- AN Jing, LI Xiang-jing, LIU Hao-de, et al. Study of Public Transport Evaluation Indices Oriented Public Transport Priority Performance Appraisal [J]. Highways and Automotive Applications, 2015, 22 (1): 57 - 63.
- [12] 丁红林, 李利华. 道路客运发展的时空特征分析 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (8): 149 - 158.
- DING Hong-lin, LI Li-hua. Analysis on Spatio-temporal Character of the Development of Road Passenger Transportation [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (8): 149 - 158.
-
- (上接第 152 页)
- LONG Ke-jun, LI Yin, LEI Zheng-bao, et al. Evaluating Roadside Hazard Rating Based on Acceleration Severity Index [J]. China Journal of Highway and Transport, 2013, 26 (3): 143 - 149, 157.
- [9] 姜铮. 车辆 - 护栏碰撞中乘员风险分析 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
- JIANG Zheng. Occupant Risk Analysis Based on Vehicle-guardrail Collision [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [10] 雷正保, 钟志华, 李岳林. 汽车碰撞过程中乘员冲击响应的分析方法及应用 [J]. 中国公路学报, 2001, 14 (2): 117 - 121.
- LEI Zheng-bao, ZHONG Zhi-hua, LI Yue-lin. Study of Analysis Procedure for Impact Response of Occupant during Vehicle Crash and Its Application [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14 (2): 117 - 121.
- [11] GABAUER D J, GABLER H C. Comparison of Roadside Crash Injury Metrics Using Event Data Recorders [J]. Accident Analysis & Prevention, 2008, 40 (2): 548 - 558.
- [12] 张国胜, 屈怀琨, 张学文, 等. 基于 EN 1317 法规的汽车 - 护栏系统安全性能评估 [J]. 交通节能与环保, 2015, 11 (1): 80 - 84.
- ZHANG Guo-sheng, QU Huai-kun, ZHANG Xue-wen, et al. The Safety Performance Evaluation of Car-guardrail System Base on EN 1317 [J]. Energy Conservation & Environmental Protection in Transportation, 2015, 11 (1): 80 - 84.