

文章编号:1671-8879(2008)01-0051-04

高速公路中间带波形梁护栏高度

潘兵宏,赵一飞,杨少伟,富志鹏

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,陕西 西安 710064)

摘要:针对中国高速公路中间带护栏高度不足的问题,对高速公路中间带波形梁护栏的高度进行研究。采用能量守恒方法,在构建波形梁护栏和车辆计算模型的基础上,建立高速公路中间带护栏高度计算模型;并采用调查分析的方法,对交通事故、交通组成以及相关车型的设计参数进行分析,确定了护栏高度计算模型中的有关参数。研究结果表明,适合中国高速公路中间带波形梁护栏的高度宜为 87.6 cm,可有效地防止大型车跃出和小型车钻撞护栏等恶性交通事故的发生。

关键词:道路工程;中间带;波形梁护栏;高度;碰撞;能量守恒

中图分类号:U491.59 **文献标志码:**A

Corrugated-beam guard-rail height of expressway median

PAN Bing-hong, ZHAO Yi-fei, YANG Shao-wei, FU Zhi-peng

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The height of guard-rail in expressway median is very important for driving safety, it is necessary to study the corrugated-beam guard-rail height of expressway median. Based on the law of energy conservation and the idealized models of beam guard-rail and vehicle, a new model is put forward to calculate the height of guard-rail. Some parameters in the model are ascertained on the base of investigation about traffic accident, traffic composition, design coefficients of vehicles. The calculated results show that the reasonable height of the guard-rail should be 87.6 cm. This height can prevent the large size vehicles slopping over the guard-rail, and avoid the little cars going through the guard-rail. 2 tabs, 4 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; median; corrugated-beam guard-rail; height; collision; energy conservation

0 引言

高速公路交通事故除与驾驶人、气候因素密切相关外,还与公路几何特征和交通安全设施密切相关,其中高速公路中间带是影响交通安全的重要因素。国内外有关资料表明,20%~30%的交通事故与高速

公路的中间带有关^[1-4]。从安全角度分析研究适合中国高速公路的合理中间带结构型式,对有效减少交通事故,提高设计质量,完善设计标准等具有重要意义。中国对高速公路护栏的研究起步较晚,目前采用的护栏高度是沿用国外的成果,而中国公路的交通组成情况、驾驶人素质、车辆性能和道路管理水平与国外不

收稿日期:2007-02-06

基金项目:陕西省交通科技项目(02-37R)

作者简介:潘兵宏(1974-),男,湖北武汉人,副教授,博士研究生,E-mail:kc20@gl.chd.edu.cn。

尽相同,在使用过程中出现了许多问题,因而国外高速公路普遍使用的护栏高度对中国不太适合。因此,开发适合中国国情的护栏结构,确定合适的护栏高度成为了公路建设中的一项重要任务。

护栏高度是防止汽车越出护栏(除护栏本身的刚度外)的一个至关重要的因素。西宝(西安—宝鸡)高速公路发生车辆侧翻和越出事故占中间带事故的 49.3%,而西潼(西安—潼关)高速公路发生的此类事故为 24.8%,远远低于西宝高速公路。从两条高速公路发生的与中间带有关的事故中可以看出,护栏高度对防止此类事故有一定作用。由于目前采用的护栏高度不能有效地防止车辆越出护栏,因此,需要根据中国高速公路的交通组成和特点来确定中间带护栏高度。目前,国内外对高速公路护栏的研究主要集中在护栏的形式和材料上^[5-10],基本没有对中间带护栏高度进行研究。为此,本文主要根据交通组成以及相关车型的设计参数,针对中国高速公路中间带普遍采用波形梁护栏(材料为普通碳素结构钢 Q235)的形式,从能量守恒的角度出发,对高速公路中间带护栏高度计算模型进行研究,从而给出合适的波形梁护栏的高度值。

1 护栏模型及车辆模型

1.1 护栏模型及车辆模型的建立

根据静载缩比试验和半刚性护栏系统模型冲击试验,确定适合中国高速公路半刚性护栏模型。由中国波形梁半刚性护栏(图 1,其中 R 为半径)的有关试验中得出以下结论:

(1)护栏原型试件材料的应力-应变曲线表明护栏材料具有良好的塑性,本构关系近似理想弹塑性。另外,在静态拉伸速率范围内,材料的弹性模量基本保持不变,屈服强度随拉伸速率增大而增大,变化幅度小于 10%,表明该材料对应变率基本不敏感。

(2)采用缩尺模型(缩比率为 1/3)进行护栏模型试件三点弯曲试验后,归纳出失效试件的最终变形主要为:支座附近试件截面变形、全梁弯曲变形、试件沿纵向的扭曲变形(扭曲角度沿纵向呈线性变化)和加载点附近试件的局部变形(包括鼓包、凹

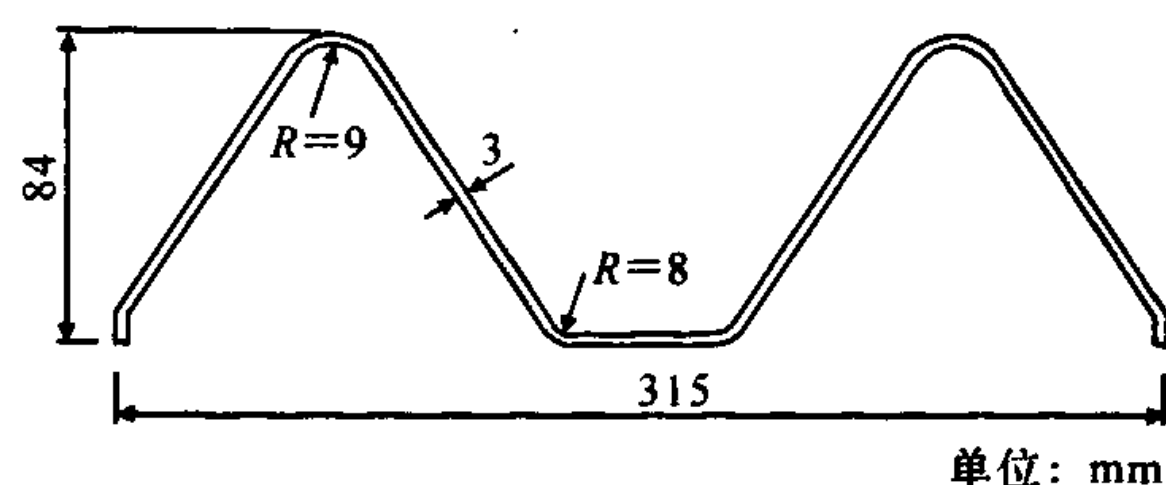


图 1 波形(W)梁横截面示意图

陷、褶皱)。缩比试件弯曲变形能占总吸收能量的一半以上,表明弯曲变形起到了主要的消能作用。

(3)护栏模型冲击试验表明,能量吸收值与冲击头位移在波形梁屈服前均近似呈线性函数关系,与纯波形梁受冲击的情况相似;试验中波形梁的全梁弯曲变形能仍占主要地位,约为总体吸收能量的 50%~65%。因此,基于波形梁缩比试验和冲击试验,护栏在碰撞时波形梁的全梁弯曲塑性变形是主要变形,其车辆的碰撞能主要由波形梁护栏的弯曲塑性变形能吸收。

根据缩比试验和动载试验的结论,并结合实际护栏和截面特性,提出中间带护栏模型(图 2)、车辆碰撞护栏模型以及有关的模型假设。

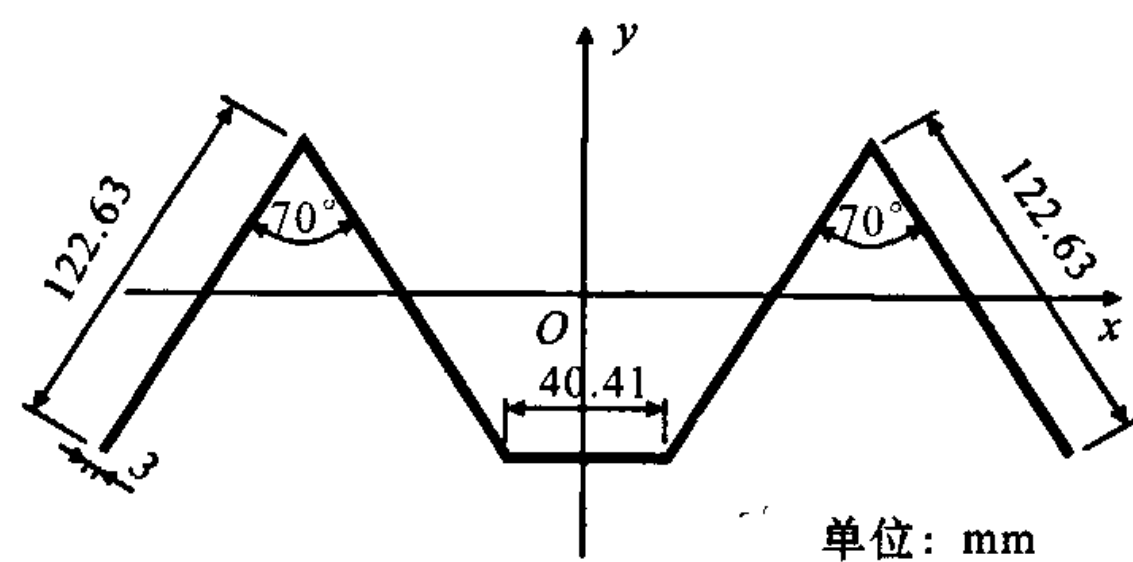


图 2 护栏的简化模型

车辆碰撞护栏是瞬间过程,根据车辆在碰撞护栏时的运动状态,并结合能量的转换,给出车辆碰撞护栏模型(图 3、图 4)。

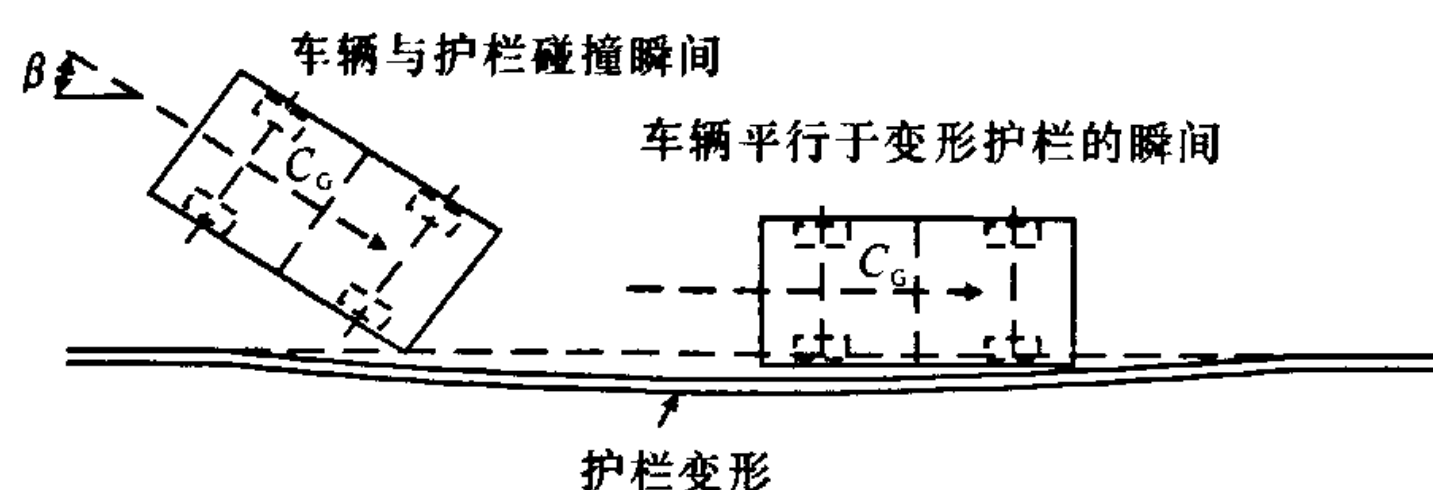


图 3 车辆与护栏碰撞模型的平面

注: β 为碰撞车辆的初始碰撞角($^{\circ}$); C_G 为汽车质心。

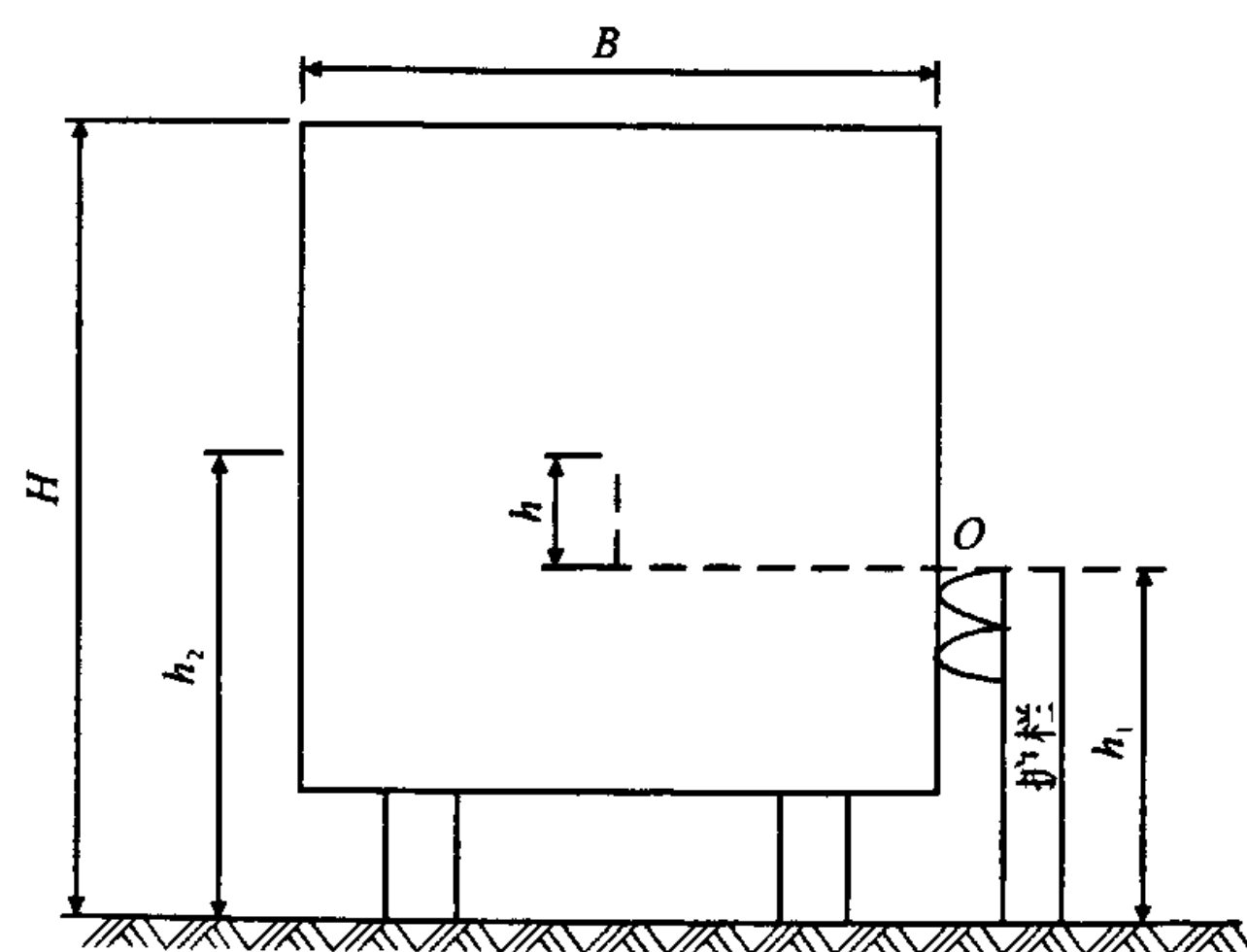


图 4 车辆与护栏碰撞模型的立面

注: H 为车顶距地面高度; B 为碰撞车辆的宽度; h_2 为碰撞车辆质心距地面高度; h_1 为计算的护栏高度(路面到护栏顶面的高度); h 为碰撞车辆质心距护栏顶部的高度。

1.2 基本假设

车辆与护栏碰撞是个复杂的过程,本研究在基

于材料试验的基础上,同时又考虑车辆碰撞护栏的特点,作如下假定:① 将护栏横梁和车辆运动的三维问题按平面问题考虑;② 碰撞过程中横梁变形虽属弹塑性大变形,并有塑性铰出现,当波形梁出现塑性铰时全梁即失去抵抗变形的能力,但沿梁纵向伸长却很小,即梁没有出现明显的塑性流动;③ 把碰撞车辆假设为刚体,忽略车身的变形,同时车与地面及护栏之间的摩擦不计;④ 车辆与护栏碰撞时假设车辆前端与护栏接触后车辆整体向护栏靠拢而平行(图 3),然后在前进的同时绕 O 点转动(图 4);⑤ 立柱的埋置端为固定端,并不考虑其变形。

2 护栏高度计算

2.1 护栏高度计算原理和方法

以能量守恒为基础,并考虑护栏的主要变形来分析护栏的高度。碰撞中最不利的情况是车辆在平行护栏时由于横向速度的影响,其质心越过 O 点(图 4) 上方从而导致车体倾覆,所以考虑极限情况就是汽车的动能全部转化为势能和护栏横梁的塑性变形所吸收的能量。当质心恰好在 O 点上方,并且车体的动能为 0 时,汽车达到极限平衡状态。因此可根据功能原理,求出汽车质心到护栏顶面高度 h 的极大值,然后根据车体的质心高度求出护栏高度。

车辆在碰撞护栏前瞬间的动能 T 为

$$T = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_x\omega^2 \tag{1}$$

式中: T 为车辆的动能(J); m 为碰撞车辆的质量(kg); v 为车辆的碰撞速度(m/s); J_x 为碰撞车辆绕车辆纵轴的转动惯量(kg·m²); ω 为碰撞车辆的转动角速度(rad/s)。

根据功能原理,汽车碰撞护栏停止后,其动能全部转换为其他形式的能量,其计算式为

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_x\omega^2 = mg(\sqrt{h^2 + 0.25B^2} - h) + E_B + E_T + E_L \tag{2}$$

即

$$f(h) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_x\omega^2 - mg(\sqrt{h^2 + 0.25B^2} - h) + E_B + E_T + E_L = 0 \tag{3}$$

式中: E_B 为横梁弯曲塑性变形能(J); E_T 为截面扭曲塑性变形能(J); E_L 为局部屈曲变形能(J); B 为碰撞车辆的宽度(m)。

由式(3) 计算出汽车质心距护栏顶部的高度后,再根据碰撞车辆质心离地面的高度减去汽车质心距护栏顶部的高度,即可得到护栏的高度为

$$h_1 = h_2 - h \tag{4}$$

由式(3) 和式(4) 可知,计算护栏高度需要确定碰撞车辆的几何外形尺寸、车辆的动力参数、质量、碰撞速度、护栏的几何外形以及护栏所吸收的碰撞能等参数。本研究在大量调查咨询工作的基础上,获得了车辆的有关设计参数,对碰撞车辆的参数进行了合理取值;同时选取护栏参数时,在缩比试验和冲击试验的基础上对护栏所吸收碰撞能进行了分析,发现截面扭曲塑性变形能和局部屈曲变形能在整个变形能中属于次要因素,并且不宜测量和计算,而护栏横梁弯曲塑性变形能属于主要因素,因此忽略了截面扭曲塑性变形能(E_T) 和局部屈曲变形能(E_L)。将式(3) 简化后得

$$f(h) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_x\omega^2 - mg(\sqrt{h^2 + 0.25B^2} - h) - E_B = 0 \tag{5}$$

式(5) 中的碰撞速度、碰撞车辆的转动惯量和横梁弯曲塑性变形能分别采用式(6)、式(7)、式(8) 计算(公式推导过程略)。其中

$$v = \frac{mh^2v_0\sin\beta}{J_x + mh^2} \tag{6}$$

$$J_x = m \frac{(H + h_2)T_w}{K} \tag{7}$$

式中: v_0 为车辆的初始碰撞速度(m/s); T_w 为汽车轮距(m); K 为近似值常数(表 1)。

表 1 近似值常数 K

车辆类型	K
轿车	7.984 6
通用车辆	9.421 2
轻型客货两用车	9.473 8
厢式载货汽车	7.885 4

护栏模型全梁的弯曲变形能计算公式为

$$E = 2\Phi_c\delta_s(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5) \tag{8}$$

式中: Φ_c 为全梁弯曲变形角度; δ_s 为护栏材料的屈服极限; S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 分别为各截面对中心轴的静距,并取绝对值。

因此,护栏高度函数可表示为

$$f(h) = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J_x\omega^2 - mg(\sqrt{h^2 + 0.25B^2} - h) - 2\Phi_c\delta_s(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5) = 0$$

2.2 碰撞车型、碰撞角度和碰撞速度的确定

对高速公路车辆碰撞护栏事故资料和交通组成调查分析统计后发现,高速公路行驶车辆超速比较严重,尤其是小轿车;大中货车的比例较大,接近 30%;货车发生冲撞中间带护栏的事故较多,事故严

重。因此,确定中间带护栏高度时把大货车作为主要车型,以载质量为 7~10 t 的斯太尔和解放牌货车等 30 种车型作为研究的主要车型。

碰撞角度是指车辆冲撞护栏时车辆纵轴线与护栏纵面之间的夹角(取锐角值)。它与车型、行驶速度及车辆在道路横断面上的行驶位置有关。碰撞角主要通过事故现场资料分析确定。据统计资料分析,车辆与中央分隔带冲撞的角度大致服从正态分布 $N(13.5, 6.52)$, 85% 保证率的碰撞角度为 20° 。因此确定初始碰撞角度为 20° 。

碰撞速度是指失控车辆与护栏接触时的瞬间速度,它与车辆在道路上的正常行驶速度是有区别的。行驶车辆在发生偶然事故时,驾驶人极有可能采取急刹车、转向等处理措施,考虑与中央分隔带护栏发生碰撞的车辆在超车道上行驶,其行驶速度比较高,而且由于大型车的惯性比较大,所以其与护栏发生碰撞前速度降低不会很多。因此,综合考虑后取大型车运行速度的 80% 作为碰撞速度的参考值。

根据所选择的 30 种车型的设计参数和运行速度、 20° 的碰撞角度,以及 80% 的运行速度作为碰撞速度,计算每种车型碰撞护栏后车辆能达到的极限平衡状态、安全停止时的护栏高度。计算结果见表 2。

3 护栏高度计算结果分析

由表 2 计算出护栏的平均高度为 87.6 cm。此高度是采用大型车辆计算出来的结果,主要是防止大型车辆与护栏碰撞后发生侧翻或跃上护栏。实测了 50 余种车型(包括大型车、中型车和小汽车)的保险杠上下缘高度,其中保险杠下缘高度最大值为 82.12 cm,小于护栏高度计算值(87.6 cm);95% 的车辆保险杠上缘高度大于 58 cm,大于 56.1 cm (87.6 cm-31.5 cm),其中大型车辆的保险杠平均高度为 82.99 cm,也小于 87.6 cm。另外,美国纽约州标准规定波形梁护栏高度为 83.8 cm(经足尺试验得到),与本文确定的护栏高度 87.6 cm 相差较小。因此 87.6 cm 的高度在保证大型车不出现越出护栏事故的同时,也能保证 95% 的汽车不会钻撞护栏。

根据以上计算结果,并结合调查资料和美国纽约州的标准,以及与中间带护栏发生碰撞车辆车速一般较高的特点,推荐高速公路中间带护栏的安装高度为 87.6 cm。这一高度符合中国高速公路交通组成和交通事故的实际情况,可有效降低高速公路行车中针对中央分隔带护栏发生的跃出和钻撞的恶性重大交通事故,确保行车安全。

表 2 护栏高度计算值

序号	车型	护栏高度/cm	序号	车型	护栏高度/cm
1	CA1140P21K1L2A80 型汽车	89.8	16	EQ1141K7D2 型汽车	86.3
2	斯太尔 ZZ1192BL461	89.9	17	EQ1141K7D 型汽车	86.5
3	斯太尔 ZZ1192BL561	82.6	18	EQ1141V7D3 型汽车	85.9
4	EQ1135A19D1 型汽车	87.3	19	EQ1168V7D3 型汽车	86.6
5	CA1178K2T2 型长头汽车	84.6	20	CA1169P11K1L11 型平头汽车	84.5
6	CA1181P2K1L5 型平头汽车	98.9	21	CA1171J 型平头汽车	85.1
7	CA1145P1K2L9 型平头汽车	80.0	22	CA1187P1K2L11H 型平头汽车	89.9
8	CA1156P11K2L9 型平头汽车	92.3	23	CA1138K2LH 型长头汽车	84.4
9	CA1178P1K2L2 型平头汽车	87.3	24	CA1141P1K2L2RA80 型平头汽车	83.0
10	CA1148P11K2L7 型平头汽车	84.7	25	CA1143P11K2L3A80 型平头汽车	80.8
11	CA1173P1K2L2A80 型平头汽车	85.4	26	CA1161P2K1L2 型平头汽车	98.0
12	CA1177P1K2L11 型平头汽车	91.4	27	CA1172P2K1L2A80 型平头汽车	96.5
13	CA1157P11K2L7 型平头汽车	87.7	28	CA1184P11K2L2T1 A80 型平头汽车	84.9
14	CA1176P11K1L7 型平头汽车	92.7	29	CA1178P1K2L2 型平头汽车	87.4
15	CA1190P11K2L3T1 A80 平头汽车	86.9	30	CA1170P1K2L2A80 型平头汽车	85.4

4 结 语

(1)从能量守恒的角度出发,在对交通事故、交通组成以及相关车型的设计及外形参数调查的基础上,计算出适合中国高速公路防止大型车跃出和小汽车钻撞护栏的高度为 87.6 cm,对中国高速公路护栏标准的修订具有一定的参考价值。

(2)研究护栏高度只是高速公路中间带护栏研究的一个方面,还需要对诸如护栏型式、材料、设置位置等问题进行深入研究,确定更加合理和安全的中间带护栏,这对降低高速公路的恶性交通事故,减少人员伤亡和经济损失具有重要意义。

参考文献:

References:

[1] 刘少源. 高速公路汽车与护栏碰撞简化计算方法: 柔性梁法[J]. 公路交通科技, 1995, 12(2): 26-34.

(下转第 76 页)

- Dynamics and Earthquake Engineering, 1984, 3(2): 73-81.
- [8] 李忠献, 史志利. 行波激励下大跨度连续刚构桥的地震反应分析[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 23(2): 68-76.
LI Zhong-xian, SHI Zhi-li. Seismic response analysis for long-span continuous rigid-framed bridges under excitation of traveling waves [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2003, 23(2): 68-76.
- [9] 宋一凡. 公路桥梁动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [10] 李忠献, 黄健, 丁阳, 等. 不同地震激励下大跨度斜拉桥的地震反应分析[J]. 中国公路学报, 2005, 18(3): 48-53.
LI Zhong-xian, HUANG Jian, DING Yang, et al. Seismic responses of long-span cable-stayed bridges under different patterns of earthquake excitations[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3): 48-53.
- [11] 向天宇, 赵人达. 大跨度拱在空间变化的非平稳随机地震动作用下的随机响应[J]. 中国公路学报, 2001, 14(1): 39-41.
XIANG Tian-yu, ZHAO Ren-da. Random response of long span arch under spatially variable seismic excitation [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1): 39-41.
- [12] 刘健新, 张伟, 张茜. 洛河特大桥抗震性能计算[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(1): 57-62.
LIU Jian-xin, ZHANG Wei, ZHANG Qian. Anti-seismic performance calculation of Luohe bridge[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(1): 57-62.
- [13] 周枚, 贺拴海, 袁万城. RC梁桥承载力的振动测试评估方法[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(3): 62-67.
ZHOU Mi, HE Shuan-hai, YUAN Wan-cheng. Capacity evaluation of RC girder bridge with vibration testing technique [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(3): 62-67.
-
- (上接第 54 页)
- LIU Shao-yuan. A simple simulation method for highway vehicle-barrier crash: flexible beam method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1995, 12(2): 26-34.
- [2] 钟云华, 黄小清, 汤立群. 高速公路半刚性护栏静态缩比试验研究[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2000, 28(6): 19-23.
ZHONG Yun-hua, HUANG Xiao-qing, TANG Li-qun. Static scale down experimental research on semirigid guardrail in highway [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2000, 28(6): 19-23.
- [3] 杜洋, 黄小清, 汤立群. 半刚性护栏系统模型冲击实验研究[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2003, 31(12): 66-70.
DU Yang, HUANG Xiao-qing, TANG Li-qun. Impact experiment of semirigid guardrail system model[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2003, 31(12): 66-70.
- [4] 王忠仁. 高速公路中央分隔带护栏形式选择[J]. 公路交通科技, 1999, 16(增1): 48-53.
WANG Zhong-ren. Selection of median barrier types [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1999, 16(S1): 48-53.
- [5] 王浩. 高速公路中间带安全侧向净距值的研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [6] 张胜平. 高速公路中央分隔带护栏碰撞仿真实验的研究与应用[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [7] JTJ 074-94, 高速公路交通安全设施设计及施工技术规范[S].
- [8] 赵永平, 杨少伟, 赵一飞. 具有中央分隔带公路弯道外侧超车车道的视距[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(5): 31-34.
ZHAO Yong-ping, YANG Shao-wei, ZHAO Yi-fei. Passing lane stopping sight distance outside of median divider in expressway [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(5): 31-34.
- [9] 雷正保, 颜海棋, 周屏艳, 等. 山区公路混凝土护栏碰撞特性仿真分析[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(1): 85-92.
LEI Zheng-bao, YAN Hai-qi, ZHOU Ping-yan, et al. Simulation analysis for collision characteristics of concrete barriers on montane highway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1): 85-92.
- [10] 张晶, 白书锋, 石红星, 等. 车辆与弯道混凝土护栏碰撞的动态数值模拟及试验[J]. 中国公路学报, 2007, 20(1): 102-106.
ZHANG Jing, BAI Shu-feng, SHI Hong-xing, et al. Dynamic numerical simulation and experiment for vehicle and curved concrete barriers crash[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(1): 102-106.