

单坡面混凝土护栏碰撞分析

闫书明

(北京中路安交通科技有限公司,北京 100071)

摘要: 为了解某单坡面混凝土护栏防撞能力和防护机理,运用有限元仿真方法和试验方法进行碰撞分析,结果证明,该单坡面混凝土护栏能防护速度为80 km/h的14 t大客车以20°的碰撞,各项指标满足防撞性能指标要求,具有400 kJ防撞能力;通过使车辆爬升和倾斜来吸收车辆动能和增加碰撞缓冲时间是单坡面混凝土护栏有效防护的一个重要机理;仿真结果和试验结果相吻合,表明运用仿真方法评价护栏安全性能具备一定可行性. 研究结果为单坡面混凝土护栏的实际应用提供数据支持,为运用有限元动态仿真评价护栏安全性能方法的可靠性研究提供例证.

关键词: 混凝土护栏; 碰撞试验; 仿真; 安全评价

中图分类号: U 417.12

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2012)04-0586-04

Impact Analysis of Single Slope Concrete Barrier

YAN Shu-ming

(Beijing Zhongluan Traffic Technology Co Ltd, Beijing 100071, China)

Abstract: To know the crashworthiness and mechanism of a single slope concrete barrier, safety performance is evaluated using finite element analysis and a full-scale impact test. The results indicate that the single slope concrete barrier is able to hold up to 400 kJ impact energy and all index meet the crashworthiness specification, when the impact conditions are that the bus weight is 14 t, velocity is 80 km/h, and impact angle is 20°. One crashworthiness mechanism of the single slope concrete barrier is that the impact makes the vehicle climb up and lean along the slope to absorb kinetic energy and increase impact time. Simulation results match those of tests and prove the feasibility of the barrier safety evaluation. This research provides data for single slope concrete barrier application in reality and is an example to evaluate barrier safety based on dynamic FEA method.

Key words: concrete barrier; impact test; simulation; safety evaluation

某单坡面护栏采用素混凝土结构,需要客观评价其防撞性能. 目前世界各国主要通过实车足尺碰撞试验方法确定护栏的防撞能力^[1-3],随着基于有限元方法的计算机仿真技术的不断完善,采用该技术进行护栏防撞性能评价的方法也日趋成熟. 但由于混凝土材料质地较不均匀,且碰撞后易出现裂纹,在计算机仿真模型中多采用刚体模拟混凝土材料^[4-7],不能客观评价护栏的防撞性能.

本研究建立了车辆碰撞非刚体混凝土材料有限元仿真模型,结合实车足尺碰撞试验对单坡面混凝土护栏进行防撞性能客观评价,同时对有限元仿真模型的可靠性进行了验证.

1 单坡面混凝土护栏

图1为单坡面混凝土护栏示意图. 护栏顶部距路面以上96 cm,底部两侧通过混凝土预制块嵌固

收稿日期: 2010-04-24.

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2009BAG13A02).

作者简介: 闫书明(1976—),男,山东德州人,工程师,主要从事交通安全设施开发等方面的研究, E-mail: shumingyan@sina.com.

深度为 10 cm, 坡面高度为 81 cm; 顶面宽度为 20 cm, 底面宽度 50 cm; 混凝土标号为 C30. 单坡面混凝土护栏的设计防撞等级为 SAm 级.

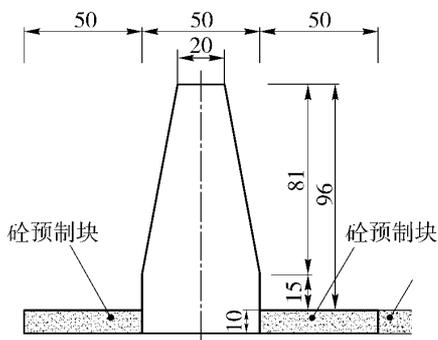


图1 单坡面混凝土护栏

Fig. 1 Sketch of single slope concrete barrier

2 碰撞条件与防撞性能指标

2.1 碰撞条件

护栏的碰撞条件包括车型、车辆质量、碰撞速度和碰撞角度四大因素, 用来对护栏的安全防护水平进行评价. 护栏的安全防护性能主要包括防撞性能指标和乘员风险指标. 小型车辆质量小且运行速度高, 所产生的冲击加速度较大, 易对乘员造成严重伤害, 因此采用小型车碰撞对护栏的乘员风险指标进行评价; 大型车质量大, 对护栏的损坏大, 因此采用大型车碰撞对护栏的防撞性能进行评价. 混凝土护栏的乘员风险指标主要与坡面形式有关, 由于该部分研究较为成熟^[8], 作者仅对单坡面混凝土护栏的防撞性能进行研究.

根据规范规定 SAm 级护栏的碰撞条件为速度 80 km/h 的 14 t 大客车以 20° 角度碰撞^[3].

2.2 防撞性能指标

根据文献 [3] 确定防撞性能指标为:

- 1) 试验车辆不得穿越、翻越、下穿护栏, 护栏碎片不得侵入驾驶室及阻挡驾驶员视线;
- 2) 试验车辆驶出角度小于碰撞角度的 60%;
- 3) 碰撞后车辆恢复到正常行驶姿态, 不发生横转、掉头、翻车等现象;
- 4) 混凝土刚性护栏最大动态变形小于 0.1 m.

3 碰撞分析方法

3.1 实车足尺碰撞试验

实车足尺碰撞试验具有真实客观的特点, 是中国和欧美公认的评价护栏防撞性能最有效的方法.

碰撞试验所用设备包括坡道加速系统(将车辆势能转化为动能以达到所需的碰撞速度)和高速摄像机(捕捉车辆碰撞过程和运行轨迹).

3.2 有限元方法

车辆碰撞护栏包括几何非线性、材料非线性和边界非线性等复杂的物理过程. 基于显式算法的有限元方法可以求解碰撞类物理问题^[8-10], 相对于碰撞试验可以有效节省研发费用和周期. 欧盟发达国家尝试将该方法作为护栏安全性能评价的一种手段, 并做了大量仿真与碰撞试验相对比的工作, 取得了宝贵经验. 我国在此方面的研究相对较少.

4 碰撞模型

4.1 模型几何参数

单坡面混凝土护栏试验段长 48 m; 试验车辆为大型客车, 其结构尺寸为长 10.8 m、宽 2.5 m、高 2.7 m, 车辆自身质量为 9.7 t, 配重至 14 t. 利用 HYPERMESH 软件, 按 1:1 比例建立车辆和护栏的 LS-DYNA 有限元仿真模型.

为获得精确的车辆几何尺寸, 采用拆车方法建立车辆有限元仿真模型. 由于车身结构主要是薄壁金属件, 单元类型以擅长大变形的四边形单点积分壳单元为主. 为获得良好单元质量, 控制碰撞区域的四边形单元翘屈度小于 15°, 长宽比小于 4, 最大角小于 135°, 最小角大于 45°, 三角形单元的数量在 5% 以内, 最小特征长度控制在 5 mm 左右. 车身各部分主要采用点焊连接, 车门和车体通过铰接点单元连接. 图 2 为车辆的试验模型和有限元模型.

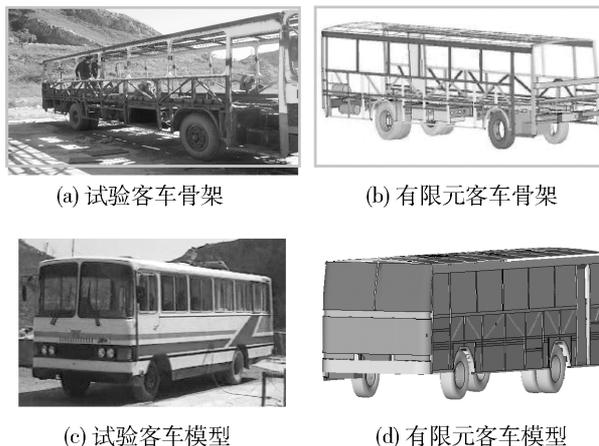


图2 车辆模型

Fig. 2 Models of vehicle

图 3 为护栏试验模型和有限元模型. 护栏全部采用六面体单元模拟, 碰撞区单元翘屈度小于 5°.

长宽比小于2,最大角小于 120° ,最小角大于 60° ,最小特征长度控制在10 mm左右.

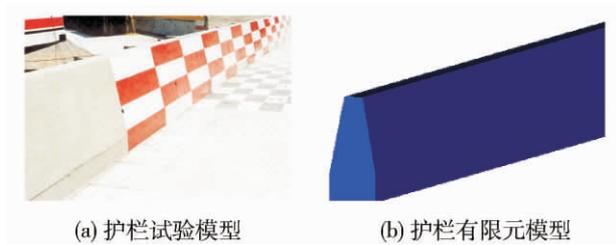


图3 护栏模型

Fig.3 Models of barrier

4.2 模型材料参数

车体主要材料为0.8~2.0 mm厚的低碳钢,由于车辆碰撞护栏是典型的动态冲击过程,需要考虑钢铁的冲击硬化材料特性.图4为通过Hopkinson压杆冲击试验得到的材料应力应变曲线,作为材料参数输入有限元仿真模型.

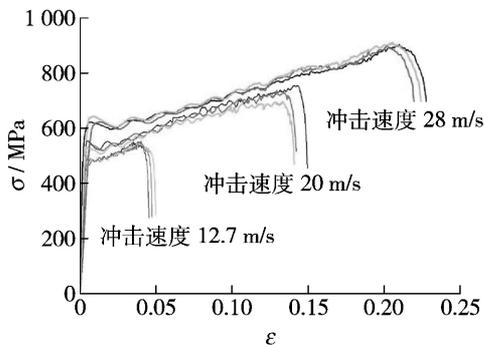


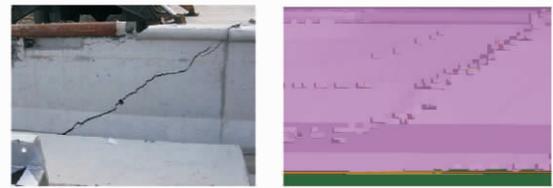
图4 车体碳钢材料应力-应变曲线

Fig.4 Stress-strain curve of car steel material

混凝土属于脆性材料,质地较不均匀,需要研究确定合理的仿真方法.在LS-DYNA计算程序中,可采用Mat159号材料卡模拟混凝土,主要输入参数为抗压强度和骨料直径.建立台车正面碰撞混凝土块的有限元模型,取混凝土抗压强度为30 MPa,骨料直径为19 mm,台车设为质量为2 t的刚体,碰撞速度为30 km/h.按有限元模型组织台车试验对仿真模型的可靠性进行验证,图5为台车试验和仿真结果的对比图,可见仿真和试验的混凝土裂纹一致,验证了仿真参数的可靠性.

4.3 模型接触参数

发生碰撞时,物体之间会发生接触,导致接触界面速度瞬时不连续,从而产生边界非线性.接触会给离散方程时间积分带来困难,基于惩罚函数法的处理方式,原理简单,算法动量守恒,在显式有限元算法中得到了广泛应用.惩罚函数法基本原理是,



(a) 试验

(b) 仿真

图5 混凝土单元碰撞分析

Fig.5 Concrete unit impact analysis

在每个时间步开始前,首先检查各从节点是否穿越主面,如没有穿透则不做任何处理;如果穿透,则在该从节点与被穿透主面间引入界面接触力,其大小与穿透深度、主面刚度成正比.这种处理方法相当于在界面间放置法向弹簧,以限制从节点对主面的穿透.

在模型中采用基于惩罚函数法的自动搜索接触类型.

5 碰撞结果

图6为在模型计算结果中提取的能量曲线.可以看出,碰撞过程中动能逐渐减少,变形能和摩擦能逐渐增加,总能量保持不变,符合能量守恒定律;单点积分产生的沙漏能不到变形能的10%,满足仿真精度需要.可以看出,仿真能量结果合理,从能量角度验证了仿真模型的可靠性.

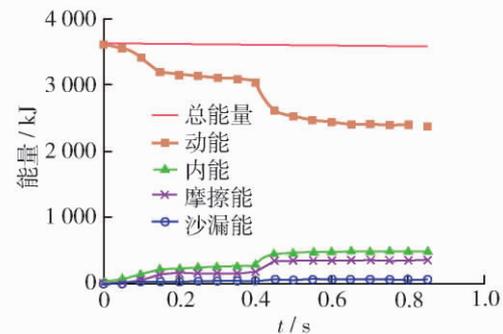


图6 碰撞过程能量变化曲线

Fig.6 Energy transferring curve

图7为车辆碰撞单坡面混凝土护栏过程图,可以看出:单坡面混凝土护栏能防止车辆穿越、骑跨护栏,同时可使车辆顺利转向,驶出角度接近 0° ,具有良好的导向功能,满足2.2节防撞性解指标中第1)和第2)条规定;碰撞时间约为0.4 s,碰撞后车辆能恢复到正常行驶姿态,没有发生横转、调头、翻车现象,满足2.2节防撞性能指标中第3)条规定.

图8为碰撞后护栏变形图,可以看出,在400 kJ

碰撞能量下,单坡面混凝土产生了裂纹,但位移小于 0.1 m,满足 2.2 节防撞性能指标中第 4) 条规定。

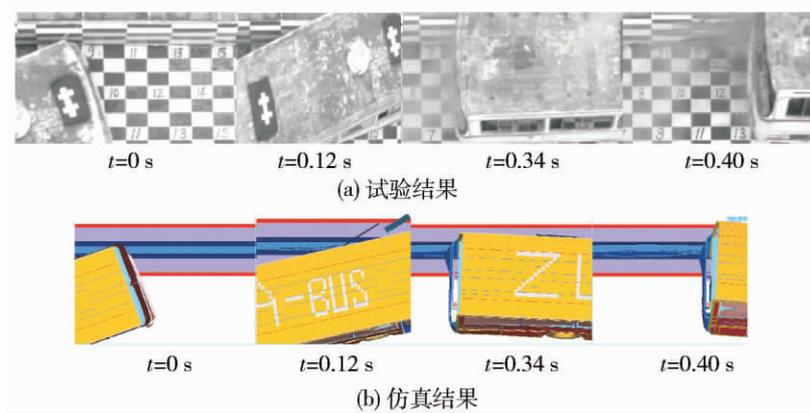


图7 碰撞过程

Fig. 7 Tracking of impact

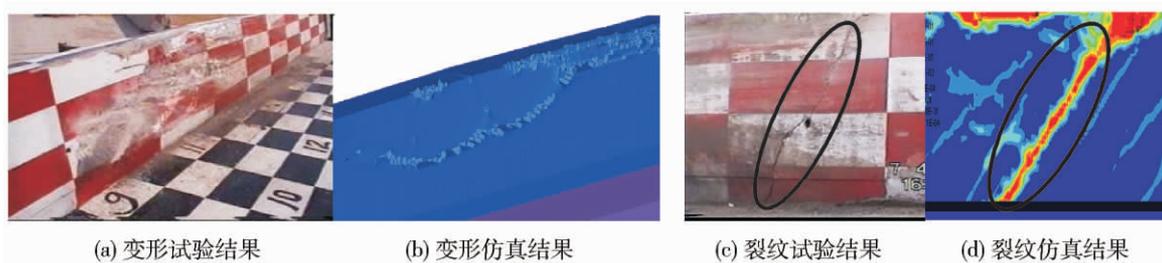


图8 护栏碰撞结果

Fig. 8 Impact result of barrier

图9为车辆碰撞单坡面混凝土护栏倾斜姿态,可以看出:车辆碰撞单坡面混凝土护栏后会发生侧倾,车体重心提高,碰撞时间增加,可有效吸收车辆动能和缓冲车辆碰撞强度,此为单坡面混凝土护栏的重要防护机理。

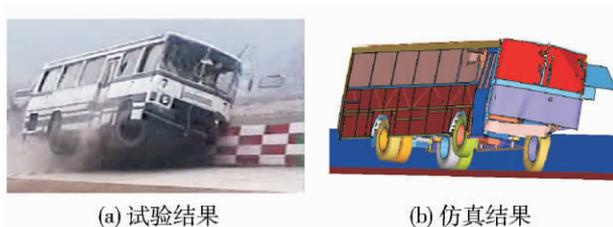


图9 车辆姿态

Fig. 9 Vehicle performance

6 结论

1) 通过实车碰撞试验与有限元动态模拟相结合的技术手段验证该单坡面混凝土护栏具有 400 kJ 防撞能力。

2) 通过碰撞试验和有限元动态模拟研究,得到通过使车辆沿护栏坡面倾斜来吸收车辆动能和缓冲碰撞强度是单坡面混凝土护栏的一个重要防护

机理。

3) 运用能量分析和碰撞试验,验证了车辆碰撞混凝土护栏仿真模型的可靠性,为护栏安全评价提供了一种新方法和思路。

参考文献:

[1] Transportation Research Board National Research Council. NCHRP report 350 recommended procedures for the safety performance evaluation of highway features [S]. Washington: National Academy Press, 1993: 18-49.

[2] FANG Lei, ZHANG Liang, YAN Shu-ming, et al. Design optimization and safety evaluation of cross-sea bridge barrier [C]//LI Shu-cai. Advanced Transportation. Jinan: Trans Tech Publication, 2011: 100-107.

[3] 中华人民共和国交通运输部. JTG/T F83-01—2004, 高速公路护栏安全性能评价标准 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 1-11.

Ministry of Transport of the People's Republic of China. JTG/T F83-01—2004, The Evaluation Specification for Highway Safety Barriers [S]. Beijing: China Communications Press, 2004: 1-11. (in Chinese)

(下转第 613 页)

- [14] POHORELSKY L, MACEK J, POLASEK M, et al. Simulation of a Comprex pressure-wave exchanger in a 1-D code [C] // SAE 2004 World Congress & Exhibition, Detroit, March 1-5, 2004, SAE 2004-01-1000.
- [15] GUZZELLA L, WENGER U, MARTIN R. IC-engine downsizing and pressure-wave supercharging for fuel economy [C] // SAE 2000 World Congress & Exhibition, Detroit, March 6-9, 2000, SAE2000-01-1019.
- [16] 雷艳, 周大森. 气波增压柴油机性能的影响因素分析 [J]. 内燃机工程, 2007, 28(5): 56-58.
LEI Yan, ZHOU Da-sen. Effect factors on performance of a diesel engine with pressure-wave supercharger [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2007, 28(5): 56-58. (in Chinese)
- [17] LEI Y, ZHOU D S, ZHANG H G. Investigation on performance of a compression-ignition engine with pressure-wave supercharger [J]. Energy, 2010, 35: 85-93.
- [18] PIECHNA J. Comparison of different methods of solution of euler equations in application to simulation of the unsteady processes in wave supercharger [J]. The Archive of Mechanical Engineering, 1998, XLV(2): 87-106.
- [19] PIECHNA J. Numerical simulation of the complex type of supercharger: comparison of two models of boundary condition [J]. The Archive of Mechanical Engineering, 1998, XLV(3): 233-250.
- [20] PIECHNA J. Numerical simulation of the pressure wave supercharger—effect of pockets on the complex supercharger characteristics [J]. The Archive of Mechanical Engineering, 1998, XLV(4): 306-323.
- [21] PIECHNA J, LISEWSKI P. Numerical analysis of unsteady two-dimensional flow effects in the complex supercharger [J]. The Archive of Mechanical Engineering, 1998, XLV(4): 341-351.
- [22] POHORELSKY L, SANE P, ROZSAS T, et al. Wave rotor design procedure for gas turbine enhancement [C] // Proceedings of ASME Turbo Expo 2008, Berlin, June 9-13, 2008, GT-2008-51354.

(责任编辑 张苏苹)

(上接第589页)

- [4] 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 curved concrete barriers crash [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(1): 102-106. (in Chinese)
- [5] 罗恒. 常吉高速公路新型砼护栏研究数值模拟分析 [J]. 公路工程, 2008, 33(4): 25-28.
LUO Heng. Numerical simulation analysis on new type of concrete safety barrier in changde-jishou expressway [J]. Highway Engineering, 2008, 33(4): 25-28. (in Chinese)
- [6] 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. (in Chinese)
- [7] 雷正保, 彭作, 刘兰, 等. 弯道混凝土护栏碰撞特性的优化设计 [J]. 振动与冲击, 2009, 28(5): 6-9.
LEI Zheng-bao, PENG Zuo, LIU Lan, et al. Optimal design of collision characteristics of curve-road concrete barrier [J]. Journal of Vibration and Shock, 2009, 28(5): 6-9. (in Chinese)
- [8] 曾攀. 有限元分析及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 144-202.
- [9] 闫书明, 惠斌, 李巍, 等. 基于碰撞分析的特高防撞等级桥梁护栏安全评价 [J]. 特种结构, 2010, 27(1): 66-70.
YAN Shu-ming, HUI Bin, LI Wei, et al. Safety evaluation on a special-high level crashworthy bridge barrier based on impact analysis [J]. Special Structures, 2010, 27(1): 66-70. (in Chinese)
- [10] 谢素超, 田红旗, 姚松. 车辆吸能部件的碰撞试验与数值仿真 [J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(3): 1-5.
XIE Su-chao, TIAN Hong-qi, YAO Song. Impacting experiment and numerical simulation of energy-absorbing component of vehicles [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(3): 1-5. (in Chinese)

(责任编辑 郑筱梅)