

基于LS-DYNA的车辆-护栏碰撞仿真模型

崔洪军, 马新卫, 李昊, 兰天

河北工业大学土木学院, 天津 300401

摘要 针对车辆与护栏的实体碰撞试验难度大、经费高、周期长、数据不易获取的情况, 基于LS-DYNA有限元软件, 在分析实际碰撞试验的基础上, 建立了碰撞车辆仿真模型和护栏仿真模型, 优化碰撞过程, 最终形成了车辆-护栏碰撞仿真模型; 同时, 与实际试验数据进行对比, 分析了误差形成原因。结果表明, 仿真模型试验结果与实车试验结果基本一致, 验证了仿真模型的正确性。

关键词 护栏; 车辆碰撞; 仿真模型

中图分类号 U417.12

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.03.008

Simulation of vehicle colliding with steel guardrail based on LS-DYNA

CUI Hongjun, MA Xinwei, LI Hao, LAN Tian

School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China

Abstract In view of the fact that the collision test for the vehicle and the guardrail faces many problems such as it is difficult to conduct, it is costly and the data are not easy to obtain, based on the finite element code LS-DYNA, the actual impact test is simulated, with a simulation model of the vehicle and the guardrail. It is shown that the results of the simulation model test basically agree with those of the real vehicle test.

Keywords guardrail; vehicle colliding; simulation model

近年来,随着汽车产业的蓬勃发展,车辆在不断提速,汽车事故率也呈增长趋势,且越来越严重。护栏作为公路上最主要的安保设施在与高速行驶的事故车辆发生碰撞时,通常会产生剧烈的能量变化,导致设施材料严重失效、部件损坏、汽车行驶方向失控等,因此,进行车辆与护栏的碰撞试验对降低交通事故率,保护人民群众的生命和财产安全有着极其重要的意义^[1]。但是,车辆-护栏碰撞试验具有成本高,数据不易采集,试验过程不可重复的缺点。

计算机技术的不断发展使计算机仿真技术在交通事故方面的研究显出很大的优越性。本文基于LS-DYNA有限元软件,建立碰撞车辆仿真模型和护栏仿真模型,优化碰撞过程,形成车辆-护栏碰撞仿真模型;同时,与实际试验数据进

行对比,验证仿真模型的正确性。

1 碰撞车辆仿真模型

仿真试验建立了大客车和小轿车两个弹性体汽车模型,为确保车辆的行驶轨迹真实正常,依据实际车辆建立了车辆行驶系统模型^[2]。大客车的总质量为10 t,长、宽、高分别为11200、2460、3100 mm,有限元模型的总节点数为48592个,壳单元数为33787个、其他单元5338个(图1);小轿车的总质量为1.5 t,长、宽、高分别为4600、1770、1400 mm,有限元模型总节点数为26791个,壳单元数为28711个、其他单元9780个(图2)。模型经校验后符合美国NHTSA350报告和欧洲EN1317相关规定。

收稿日期:2014-07-16;修回日期:2014-09-12

基金项目:河北省交通运输厅科技计划项目(C080213)

作者简介:崔洪军,教授,研究方向为道路交通管理科学与技术,电子信箱:cuihj1974@126.com

引用格式:崔洪军,马新卫,李昊,等.基于LS-DYNA的车辆-护栏碰撞仿真模型[J].科技导报,2015,33(3):54-57.

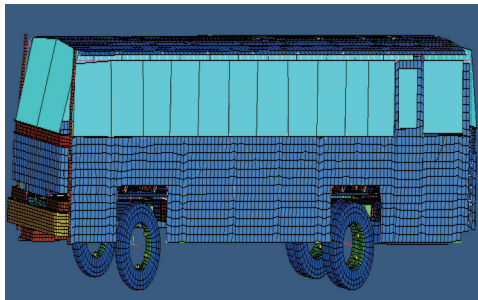


图1 大客车有限元模型

Fig. 1 Finite element model of bus

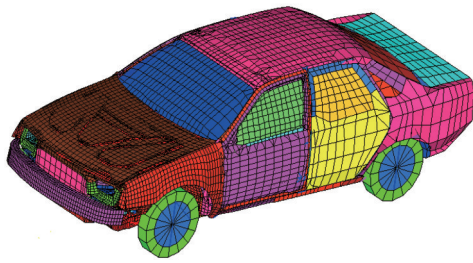


图2 小轿车有限元模型

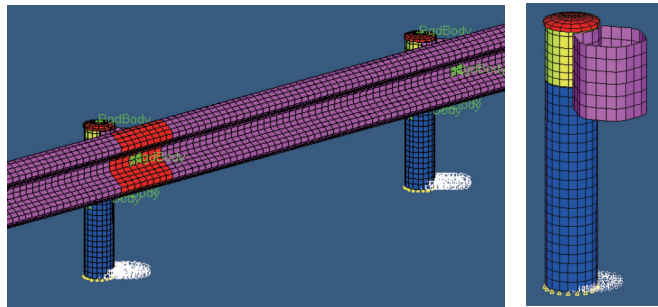
Fig. 2 Finite element model of car

2 护栏仿真模型

本次仿真模拟中对护栏模型进行以下处理:

- 1) 护栏螺栓两端采用一个刚性单元,用一个三维梁单元处理螺栓中间部位,通过设定单元体的失效准则模拟在弯扭、拉压状态下螺栓的拉断、脱落现象^[3];
- 2) 立柱底端采用全约束的固定端方式模拟;
- 3) 护栏模型按照实车实验相关要求,同时护栏两端全约束,柱帽跟立柱共节点连接,所有焊接处都采用刚性连接;
- 4) 路面刚度较大,采用全刚性处理,不考虑变形;
- 5) 整体碰撞模型的坐标系设定为: x 、 y 轴组成的平面定义为地面,车辆沿 x 轴方向行驶, z 轴垂直于 xOy 平面。

综上,按照等比例建立护栏仿真模型,立柱间距2 m,护栏总长度为72 m,共生成77061个节点、71856个四边形单元,如图3所示^[4]。



(a) 护栏有限元模型局部放大图 (b) 立柱接高和防阻块

图3 护栏局部模型

Fig. 3 Local model of guardrail

3 碰撞过程仿真模型

在提交LS-DYNA以完成仿真分析前,需确定碰撞仿真分析的一些参数,还需要定义单元特性、沙漏控制、零部件间的接触、材料参数等。

3.1 单元特性

仿真模型主要应用的建模单元是梁单元和壳单元,其中壳单元采用的是四节点BT(Belytschko-Tsay)壳单元。四节点的BT壳单元在随动坐标系中定义应变速率和位移关系。

3.2 参数设定

仿真计算的碰撞参数及评价标准按照JTG/T D81—2006规范要求定义,车辆碰撞的主要参数如表1所示。

表1 车辆碰撞参数

Table 1 Vehicle collision parameters

车型	碰撞速度/ ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)	碰撞角度/ ($^{\circ}$)	碰撞质量/ t	碰撞能量/ kJ	碰撞时间/ ms
小轿车	100	20	1.5	—	2000
大客车	60	20	10	160	2000

3.3 沙漏控制

汽车护栏碰撞过程中的变形属于大变形,在大变形结构的耐撞性分析中,通常采用单点积分以提高计算速度,但采用单点积分却容易产生零能模式,即沙漏现象。

在本次汽车护栏碰撞仿真过程中,采用LS-DYNA在程序内部提供的调整模型的体积黏度方法实现沙漏控制。结构的体积黏度由程序自动计算,它可以阻止沙漏变形的发生。可以通过设置有关参数改变结构的体积黏度。

3.4 接触控制

碰撞是车辆与护栏接触产生的,但碰撞的同时将会产生新的接触,这种反复循环过程使仿真中对接触的处理变得非常复杂。定义接触对为一个接触点和一个接触块的集合,则对接触界面的处理就成了计算能找出的所有接触对中作用力的过程^[5]。

本次仿真采用面-面自动接触算法,定义各组的自接触。考虑摩擦效应,滑动摩擦系数取为0.15,设定5个接触对,即:

- 1) 护栏与路面间:*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE;
- 2) 梁板、立柱、防阻块间:*CONTACT_SINGLE_SURFACE;
- 3) 车轮与路面间:*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE;
- 4) 车辆自身接触:*CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE;
- 5) 车辆与护栏间:*CONTACT_AUTOMATIC_NODES_TO_SURFACE。

3.5 材料特性

模型中主要使用了4种材料模型:弹性材料、多孔材料、分段弹塑性材料和非线性弹簧材料。其中,分段弹塑性材料使用得最多,护栏梁板、立柱和防阻块均有使用;其次是弹性材料,主要用于车架、车轮轴,方向盘等。

分段弹塑性材料在LS-DYNA中为24号材料模型,其材料参数如下:剪切弹性模量1000 MPa,弹性模量200 GPa,泊

松比0.3,屈服应力345 MPa,应变率因子 $c=40/s$, $p=5$,质量密度 7850 kg/m^3 ,塑性失效应变0.7。

4 仿真碰撞与实车碰撞试验结果对比分析

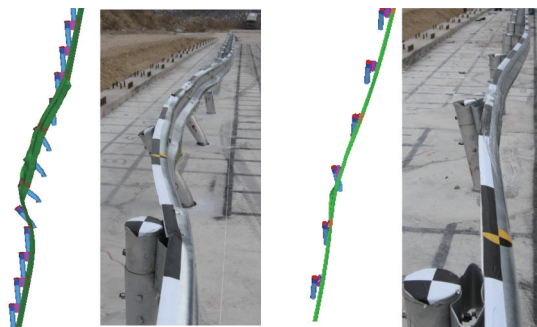
在分别用大客车和小轿车进行实车碰撞试验的基础上,设定相应参数,对实车试验进行等同的LS-DYNA模拟仿真计算,试验结果对比如表2所示。

表2 仿真与实际数据对比

Table 2 Comparison of simulations and actual data

对比	碰撞车辆	碰撞车辆质量/t	碰撞车辆速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	碰撞角度/($^\circ$)	护栏最大变形/m	车辆驶出角度/($^\circ$)	加速度10 ms均值的峰值/g	综合评价结果
计算机仿真	大客车	10	60	20	0.755	8.6	2.51	满足规范要求
	小轿车	1.5	100	20	0.425	5.1	8.75	
实车碰撞试验	大客车	9.724	59.3	19.5	0.561	9.9	3.7	满足规范要求
	小轿车	1.495	98.2	19.4	0.454	10.8	9.4	

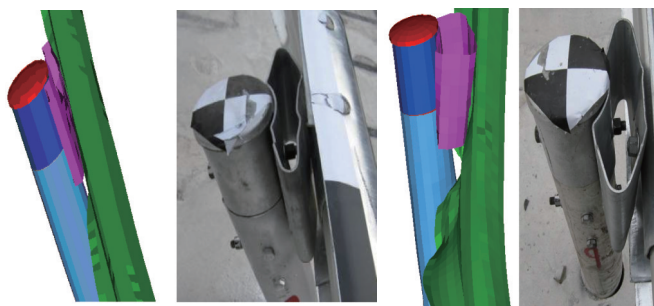
仿真试验与实车碰撞试验过程的对比和最终破坏情况的对比如图4、图5所示。



(a) 大客车碰撞后 (b) 小轿车碰撞后

图4 护栏整体变形比较

Fig. 4 Comparison of rail deformations



(a) 大客车碰撞后 (b) 小轿车碰撞后

图5 防阻块变形比较

Fig. 5 Comparison of prevention block deformations

通过对比得知,无论是大客车还是小轿车,仿真试验得出的数据结论基本与实车碰撞获得的结论一致:

1) 从表2可以得出,2个试验中车辆运行形态基本一致,均满足规范中对车辆运行轨迹的要求:车辆的驶出角度小于碰撞角度的60%;护栏最大变形量小于1000 mm;车体三方向加速度10 ms平均值的最大值不大于20g。

2) 碰撞过程中护栏发挥了良好的安全防护性能,有效起到了防撞和导向作用,碰撞后护栏总体变形情况相同(图4)。在仿真与实际试验中,大客车碰撞后,护栏最大变形量相差19.4 cm;小轿车碰撞后最大变形量仅为2.9 cm,误差率6.82%;防阻块起到了良好的抵消撞击力的作用,仿真试验中防阻块变形情况与实际变形相当(图5)^[6-8]。

3) 仿真模型车辆碰撞护栏后,没有穿越、翻越、骑跨、下穿护栏,碰撞后车辆行驶姿态正常,与实车碰撞试验结果一致;仿真模型车辆与实际试验车辆相比碰撞后损坏部位、破损程度相当。

通过上述对比可知,仿真分析结果与实车试验结果基本一致,但仍存在一些误差,如车的质量、碰撞车速、碰撞角度、车辆损坏情况等无法与实车试验完全一致。

主要误差分析为:

1) 碰撞参数设定。仿真试验中严格按照规范要求设定相关碰撞参数,如车辆速度、碰撞角度等,不存在误差。如设定小轿车速度100 km/h,碰撞角度 20° ,但是实际试验操作中,这2个参数存在一个合理的误差区间,如实车试验小轿车速度98.2 km/h,碰撞角度 19.4° ,这些参数对最终结果产生较大影响。

2) 车辆、护栏仿真指数设定。仿真与实际车辆质量大体一致,重心位置相同,但质量分布并不完全一致;实际试验中自然环境因素如摩擦力、风阻等因素无法仿真;护栏基础的设定,实际中需考虑土壤作用,仿真中未考虑这一因素。

5 结论

建立了大客车和小轿车两个弹性体汽车模型,简化建立护栏仿真模型。同时,应用4节点的BT壳单元在随动坐标系中定义应变速率和位移关系,设定了车辆碰撞参数,采用体积黏度方法实现仿真模型沙漏控制,设定了5组车辆碰撞接触对,从而建立了车辆-护栏碰撞仿真模型。通过有限元仿真计算与实车碰撞试验的数据比较,得出仿真试验结果与实际试验结论基本一致,满足规范中对车辆与护栏碰撞的要求,对造成误差的因素进行了分析,为仿真模型的改进提供了依据和方向。

车辆碰撞仿真模型的建立,能减少研究周期,节省时间和费用,数据丰富,便于结果分析特点。同时,碰撞模型可应用于路边设计,护栏等安保设施的设计、改进以及安全性能分析研究,也可针对汽车进行动态辅助分析与设计。随着计算机技术的不断发展,车辆碰撞仿真模型将不断优化,与实际试验数据更加贴合,在交通工程安全领域发挥更大作用。

参考文献(References)

- [1] 杨志峰, 乔维高, 高海龙. 汽车与混凝土护栏碰撞事故分析及仿真研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2009, 33(6): 1064-1067.
Yang Zhifeng, Qiao Weigao, Gao Hailong. Analysis and simulation research of vehicle colliding with concrete guardrail[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering Edition, 2009, 33(6): 1064-1067.
- [2] 邵永刚, 张绍理, 高水德. 高防护等级钢护栏改造方案研究[J]. 公路工程, 2009, 34(2): 140-143.
Tai Yonggang, Zhang Shaoli, Gao Shuide. Research on reconstruct project of high grade safety steel barrier[J]. Highway Engineering, 2009, 34(2): 140-143.

- [3] 于海霞, 黄祥谈, 林宇曦, 等. 基于预制工艺的高速公路中央分隔带单片式混凝土护栏研究[J]. 公路, 2013(8): 293-297.
Yu Haixia, Huang Xiangtan, Lin Yuxi, et al. Study of monolithic concrete guardrail in freeway central separate belt based on prefabrication technology[J]. Highway, 2013(8): 293-297.
- [4] 郟彦辉, 崔洪军, 王云峰, 等. 高度可调节护栏方案仿真和试验研究[C]//河南省力学学会. 力学与工程应用(第十三卷). 河南: 河南省力学学会, 2010: 5.
Qie Yanhui, Cui Hongjun, Wang Yunfeng, et al. Simulation study on scheme of barriers adjustable in height[C]//Henan Mechanical Institute. Mechanics and Engineering Application (vol13). Henan: Henan Mechanical Institute, 2010: 5.
- [5] 雷正保, 杨应龙, 钟志华. 结构碰撞分析中的动态显式有限元方法及应用[J]. 振动与冲击, 1999, 18(3): 73-78, 86.
Lei Zhengbao, Yang Yinglong, Zhong Zhihua. Finite element method and applying for dynamic display on structural impact[J]. Journal of Vibration and Shock, 1999, 18(3): 73-78, 86.
- [6] 朱彤, 谢陈江, 王抢. 基于概率计算的车辆碰撞风险模型研究[J]. 科技导报, 2012, 30(22): 43-47.
Zhu Tong, Xie Chenjiang, Wang Qiang. Modeling of vehicle collision risk based on probability analysis[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(22): 43-47.
- [7] 崔洪军, 魏连雨, 庞建勋. 道路条件与交通安全的研究方法[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(4): 36-39.
Cui Hongjun, Wei Lianyu, Pang Jianxun. Research method of road condition and traffic accident[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2001, 21(4): 36-39.
- [8] 陆建, 崔洪军, 潘建芳. 大型活动交通研究范围确定方法[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2009, 33(3): 422-425.
Lu Jian, Cui Hongjun, Pan Jianfang. Traffic research area delimiting method of large activities[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2009, 33(3): 422-425.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



第34次中国科技论坛在广州召开

2014年11月19日,由中国科协主办、广东省科协承办,主题为“轨道交通·绿色建设产业化”的第34次中国科技论坛在广州召开,来自有关政府部门、学术界及企业界的100多位专家与会。

论坛特邀广州瀚阳工程咨询有限公司执行董事孙峻岭、中国铁道总公司工管中心总工程师盛黎明、广东省建筑科学研究院副院长杨仕超分别作“轨道交通与绿色建设、轨道交通工业化的关键技术——从设计到实施”、“铁路建设管理向环境友好方向发展的思考及实践”、“大力发展绿色建筑升级岭南建筑文化”主题报告。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35533/n38575/16105975.html>。