

文章编号:1001-7372(2007)01-0102-05

车辆与弯道混凝土护栏碰撞的 动态数值模拟及试验

张晶¹,白书锋²,石红星²,张绍理³

(1. 中国科学院力学研究所,北京 100080; 2. 北京中路安交通科技有限公司,北京 100071;
3. 北京深华达交通工程检测有限公司,北京 102204)

摘要:对车辆与弯道混凝土护栏碰撞动态数值模拟结果和实车足尺碰撞试验结果进行对比分析,从车辆行驶轨迹、乘员冲击加速度以及车辆损伤形态3个方面,验证了动态数值模拟的准确性,并分析了弯道混凝土护栏曲线半径对乘员碰撞过程中所承受冲击加速度的影响;得到乘员风险的最不利护栏半径。结果表明:有限元仿真是进行汽车护栏碰撞研究的有效方法;弯道处护栏的形式对碰撞时乘员的安全有很大影响。

关键词:交通工程;车辆碰撞;实车足尺碰撞试验;弯道混凝土护栏;有限元模拟;乘员安全
中图分类号:U491.59 **文献标志码:**A

Dynamic Numerical Simulation and Experiment for Vehicle and Curved Concrete Barriers Crash

ZHANG Jing¹, BAI Shu-feng², SHI Hong-xing², ZHANG Shao-li³

(1. Institute of Mechanics, CAS, Beijing 100080, China; 2. Beijing Zhongluan Traffic Technological Ltd, Beijing 100071, China; 3. Beijing Shenhuada Traffic Engineering Test Ltd, Beijing 102204, China)

Abstract: Through comparison analysis between dynamic numerical simulation result for vehicle and curved concrete barriers crash and field vehicle full scale crash tests, accuracy of dynamic numerical simulation results was verified through 3 aspects. Authors analyzed influence of curved concrete barriers curve radius on impact acceleration in process of occupant crash. Barriers type of curved rail has huge influence on occupant safety in crash. The worst barrier radius for occupant risk was got. The results show that finite element simulation is an effective method for vehicle and barriers crash research.

Key words: traffic engineering; vehicle crash; field vehicle full scale crash test; curved concrete barrier; finite element simulation; occupant safety

0 引言

护栏的防护性能研究是护栏设计中十分重要的内容,包括护栏的防撞性能、乘员风险、车辆碰撞后的运行轨迹等^[1-4]。动态数值模拟和实车足尺碰撞

试验是护栏防护性能研究中最重要两种方法。护栏实车足尺碰撞试验是各国公认的评价护栏安全性能最有效的方法,许多国家的设计规范均将其作为护栏安全评价的惟一方法^[5]。由于实车足尺碰撞试验费用很高,一般都将其作为护栏最终确定的验证

收稿日期:2006-03-21

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2001 318 000 56)

作者简介:张晶(1976-),女,山东泰安人,工学博士研究生,E-mail:zhangj@nm.imech.ac.cn.

试验。车辆与护栏碰撞是一个非常复杂的过程,从 20 世纪 90 年代开始,国外开始采用大型动力学有限元程序(如 DYN3D、PAM-CRASH 等)进行护栏防护性能的有限元分析^[6-7],目前中国也逐渐开始此方面的研究^[8-9]。在进行有限元模拟时,一般首先进行护栏单个部件的数值模拟;然后进行护栏整体结构的动态数值模拟,并在此基础上不断进行优化设计;最后通过实车足尺碰撞试验对护栏防护性能进行验证。前两项工作都在动态数值模拟的基础上进行,因此动态数值模拟的准确性成为护栏设计中非常关键的因素。

本文中笔者通过对弯道混凝土护栏动态数值模拟和实车足尺碰撞试验结果进行对比,验证所做动态数值模拟的准确性;并在此基础上,首次根据动态数值模拟结果分析了弯道护栏曲线半径对乘员风险的影响。

1 动态数值模拟

本文中采用 PAM-CRASH 有限元程序,对弯道混凝土护栏与车辆碰撞过程进行了数值模拟,主要构件包括 3 个。

1.1 弯道混凝土护栏模型

动态数值模拟中的护栏分为凸曲线护栏和凹曲线护栏^[10],其坡面形式和护栏高度不变,只变化曲线半径,见表 1。根据模拟结果对比不同曲线半径对乘员风险的影响。

表 1 弯道混凝土护栏动态数值模拟参数

Tab.1 Dynamic Numerical Simulation Parameters of Curved Concrete Barriers m

护栏形式	坡面形式	护栏高度	护栏半径		
			半径 1	半径 2	半径 3
凹曲线	单坡面	1	200	400	600
凸曲线	单坡面	1	200	400	600

由于底部固定的混凝土护栏是一种基本不变形的结构,因此在进行数值模拟时,将弯道护栏设置为刚体。

1.2 弹塑性轿车模型

车辆有限元分析模型中,车身为弹塑性可变形体,弹性车轮,车辆模型通过了 EN 1317—1—1998^[11]的验证。

1.3 假人模型

本文中数值模拟采用的假人模型总质量 75 kg,各关节采用弹簧连接,假人模型通过了 EN 1317—1—1998 的验证。与实际行车状况相同,假人身上

系安全带。

2 实车足尺碰撞试验

弯道混凝土护栏的实车足尺碰撞试验在北京深华达交通工程检测有限公司的交通工程试验场进行,主要模拟实际车辆碰撞设计护栏结构的状况,根据试验结果判断护栏的防护能力是否达到标准要求。图 1 为交通工程试验场全景。足尺碰撞试验主要检测内容包括:车辆碰撞速度和碰撞角度、车辆运行轨迹、乘员所受到的冲击加速度、护栏破坏情况等。试验顺序:车辆脱钩—获得碰撞速度—车辆碰撞护栏—车辆驶出,如图 2 所示。



图 1 交通工程试验场

Fig.1 Traffic Engineering Test Ground

2.1 人体加速度测量系统

人体加速度测量采用标准模拟人体和碰撞加速度测量系统。假人安装在驾驶员的位置,系三点式安全带。加速度传感器安装在假人的头部和胸部,用以测量这两个部位所受的冲击加速度值。传感器采用三向加速度传感器,加速度测量系统工作原理见图 3。

2.2 高速摄影装置

高速摄影机主要记录车辆在碰撞护栏瞬间的碰撞形态,高速摄影机镜头安装于碰撞点的正上方以拍摄碰撞情况。

2.3 速度测量装置

主要使用光电测速仪测量车辆的碰撞速度。

3 数值模拟与实车试验结果对比

本文中分别从车辆运行轨迹、乘员冲击加速度、车辆损伤形态 3 个方面对比了弯道混凝土护栏动态数值模拟和实车碰撞试验的结果。

通过 3 个方面的对比,可以用实车碰撞试验结果对动态数值模拟的准确性进行有效的验证。表 2 为动态数值模拟碰撞条件和实车碰撞试验实测条件的对比,两者碰撞条件基本一致。

3.1 车辆运行轨迹

车辆运行轨迹是护栏导向功能最好的评价指标。假设动态数值模拟和实车碰撞试验中,车辆初始时刻的状态相同,并在此基础上对比经过相同时间间隔的车辆运行轨迹,见图4、5(图4、5中,各子图的上半部分为实车试验状态,下半部分为数值模拟结果)。

表2 实车碰撞试验与数值模拟碰撞条件的对比

Tab.2 Crash Conditions Comparison Between Field Vehicle Full Scale Crash Test and Numerical Simulation

护栏形式	研究途径	护栏半径/m	车型	满载质量/t	碰撞速度/(m·s ⁻¹)	碰撞角度/(°)
凹曲线	数值模拟	200	轿车	1.5	22.2	23.9
	实车碰撞	200	轿车	1.5	21.1	24.0
凸曲线	数值模拟	200	轿车	1.5	22.2	18.4
	实车碰撞	200	轿车	1.5	22.2	18.2

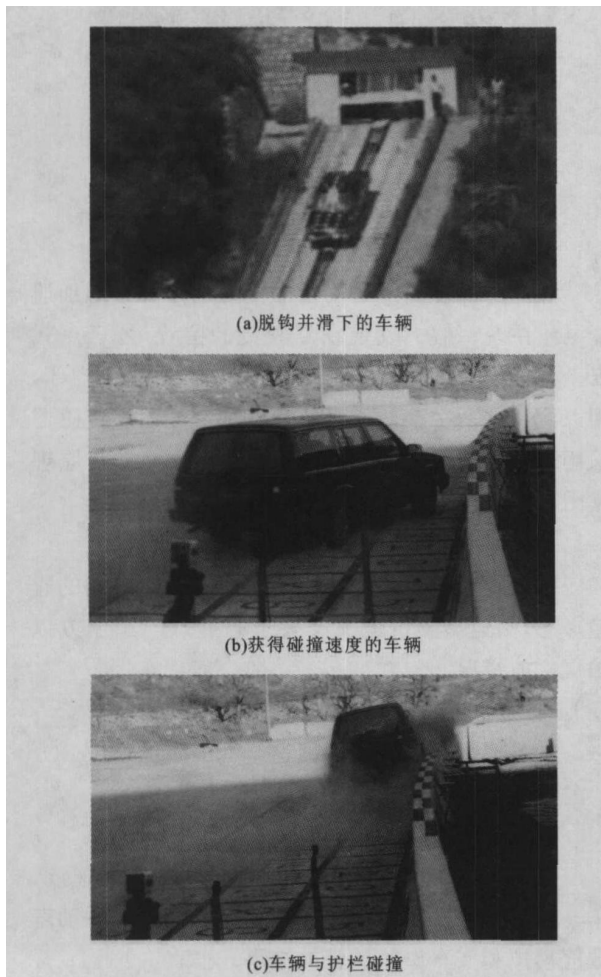


图2 足尺碰撞试验过程

Fig.2 Process of Full Scale Crash Test

通过对比车辆运行轨迹可以看出:实车碰撞试验中车辆运行轨迹与动态数值模拟结果中车辆运行轨迹基本一致。



图3 加速度采集系统原理

Fig.3 Principle of Acceleration Acquisition System

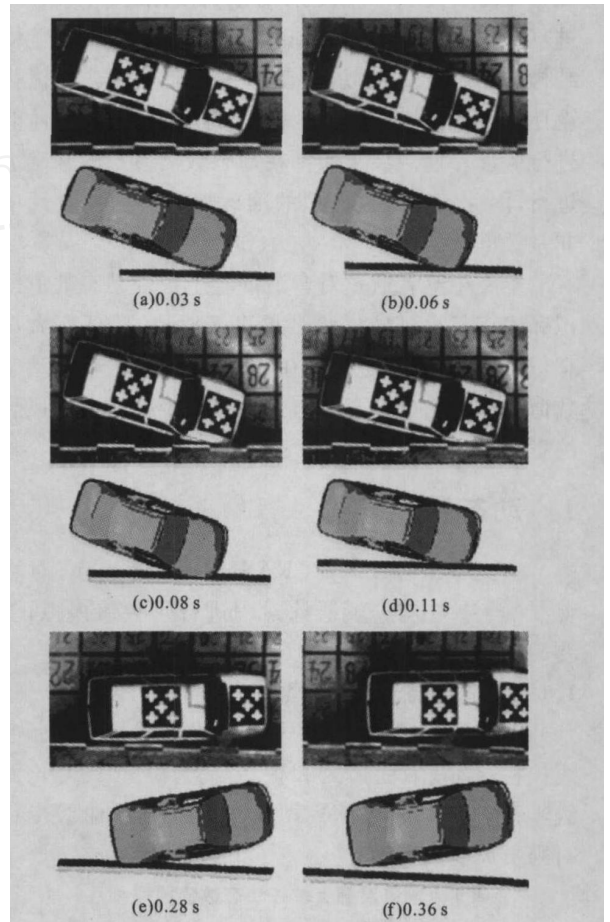


图4 凸曲线护栏实车碰撞试验与动态数值模拟结果车辆轨迹对比

Fig.4 Comparison of Vehicle Tracks Between Field Vehicle Crash Test and Dynamic Numerical Simulation Result for Convex Barriers

3.2 乘员冲击加速度

当车辆与护栏相撞并被护栏挡住后,车辆与乘员均会受到冲击加速度的作用。当冲击加速度达到一定程度后,人体就会受到相应程度的伤害。一般进行乘员安全评价时,主要考虑在碰撞过程中乘员所受冲击加速度持续时间为10ms时,其最大瞬时加速度,一般要求其小于20g,而且越小越好。根据动态数值模拟和实车碰撞试验结果,通过滤波、计算、整理得到10ms内乘员纵向冲击加速度的平均值曲线,如图6所示。从图6可见,动态数值模拟结果和实车碰撞试验结果的曲线形态比较一致,尤其

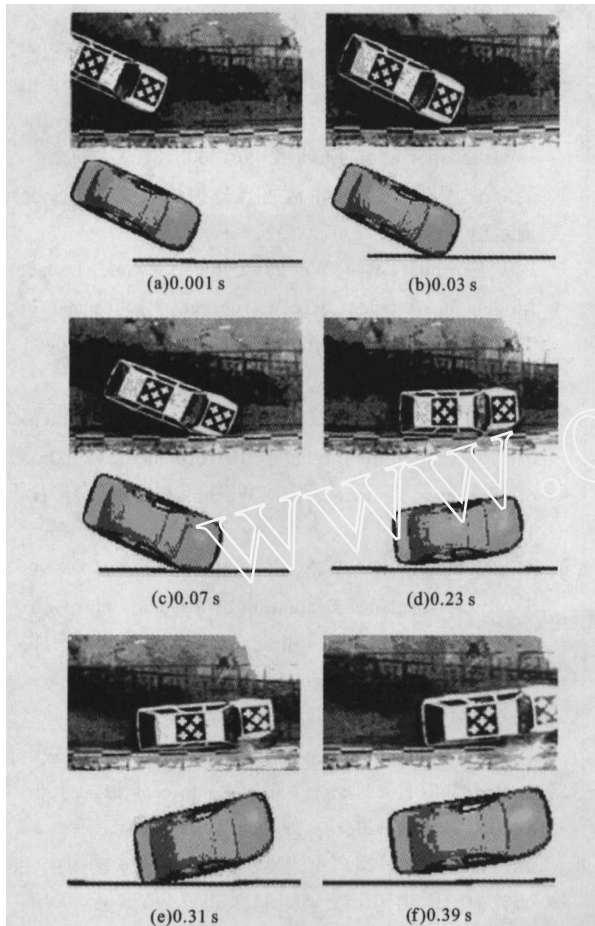


图 5 凹曲线护栏实车碰撞试验与动态数值模拟结果车辆轨迹对比

ig.5 Comparison of Vehicle Tracks Between Field Vehicle Crash Test and Dynamic Numerical Simulation Result for Concave Barriers

是在凹曲线护栏形式的碰撞瞬间,动态数值模拟的乘员加速度峰值与实车碰撞试验结果非常接近。

3.3 车辆损伤形态

车辆损伤形态能够体现出车辆与护栏碰撞时两者之间的相互作用。图 7 为实车碰撞试验和数值模拟碰撞后轿车的损伤形态。从实车试验和动态数值模拟碰撞后的变形状态可以看到:轿车碰撞护栏后,前保险杠和右前车角车体首先碰撞护栏并变形、压陷,随后前轮接触护栏,爬高后与护栏成一定角度驶出,车体其他部分一般撞不到护栏,基本没有变形,车辆的整体损伤较小。

综合以上 3 个方面的分析,笔者所做的动态数值模拟模型得到了实车碰撞试验结果的验证,可以用来指导护栏的设计。同时,两者之间仍存在一定的差异,数值模拟结果中车辆运行轨迹稍大,在碰撞后的时间段内乘员冲击加速度值有一定的偏差,其原因主要是:

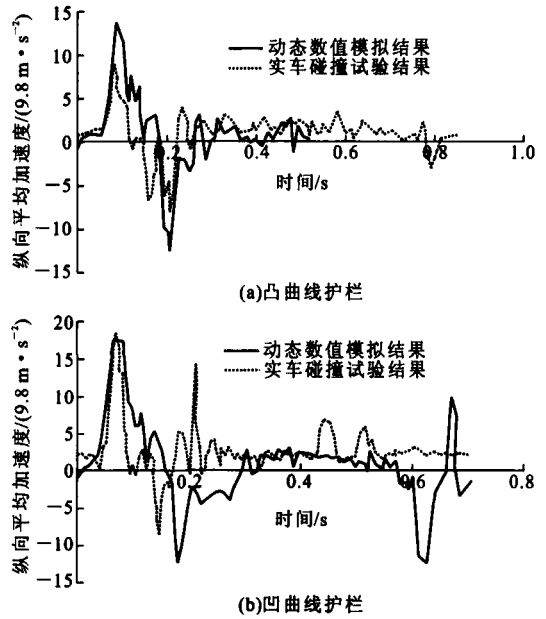


图 6 乘员加速度曲线对比

Fig.6 Comparisons of Occupant Acceleration Curves

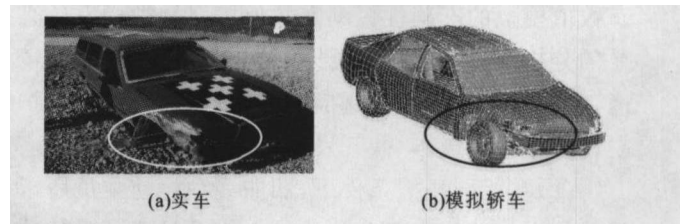


图 7 损伤形态对比

Fig.7 Comparison of Damaged Shapes

(1) 模拟车辆模型与实车模型有一定的差异,虽然从车辆运行轨迹、损伤形态等方面可以进行较好的比较,但两者的差异仍然对动态数值模拟结果有一定的影响。

(2) 假人模型与车辆之间的接触参数,以及动态数值模拟中各参数的取值尚需不断调整,以更符合实际情况。

4 弯道护栏半径对乘员风险的影响

根据表 1 中护栏参数设置的不同,笔者采用动态数值模拟结果,分析在不同曲线半径弯道路段设置混凝土护栏对乘员风险的影响,为弯道混凝土护栏的设计提供依据。

4.1 凹曲线护栏

在不同凹、凸曲线护栏半径时,乘员的最大纵向加速度见表 3。根据表 3 的结果,在混凝土护栏其他条件不变,只有曲线半径变化的条件下,凹曲线护栏半径为 200 m 时,乘员在碰撞过程中 10 ms 纵向

平均加速度的最大值最大为 18.2g,此时乘员风险最大;当凹曲线护栏半径为 600 m 时,碰撞风险相对最小。

4.2 凸曲线护栏

根据表 3 中的结果,在混凝土护栏其他条件不变,只有曲线半径变化的条件下,凸曲线护栏半径为 600 m 时,乘员在碰撞过程中的平均加速度最大,此时乘员风险最大;半径为 400 m 时次之;半径为 200 m 时,乘员风险相对最小。

表 3 10 ms 时乘员纵向平均加速度最大值

Tab.3 Maximal Values of Longitudinal Average Accelerations of Occupant in 10 ms

护栏半径/m		200	400	600
乘员最大加速度/ (9.8 m·s ⁻²)	凹曲线	18.2	17.2	15.7
	凸曲线	12.5	13.3	14.3

5 结 语

(1) 实车足尺碰撞试验结果验证了笔者所做动态数值模拟的准确性。动态数值模拟是护栏设计必要的分析手段,通过进一步提高动态数值模拟的精度,真实再现实际车辆碰撞护栏的过程,可以降低护栏设计的试验成本,并开发出更合理的护栏形式。

(2) 在相同碰撞条件下,凹曲线护栏使乘员所承受的冲击加速度大于凸曲线护栏使乘员所承受的冲击加速度;对于凹曲线护栏,半径越小,则乘员所承受冲击加速度越大;对于凸曲线护栏,半径越小,则乘员所承受的冲击加速度越小。

(3) 得到了乘员风险的最不利护栏半径,设计人员可以根据最不利条件进行护栏的结构设计,从而提高护栏的安全性能。

参考文献:

References:

- [1] J TJ 074—94,高速公路交通安全设施与施工技术规范[S].
J TJ 074—94,Code for Traffic Safety Installation and Construction Technology of Freeway[S].
- [2] 杨少伟,潘兵宏,吴华金,等.高速公路中间带型式及安全性[J].中国公路学报,2006,19(6):39-44.
YANG Shao-wei,PAN Bing-hong,WU Hua-jin,et al. Median Type and Safety on Freeway[J].China Journal of Highway and Transport,2006,19(6):39-44.
- [3] 魏朗,陈涛,余强.道路交通事故模拟再现的车

辆动力学三维模型[J].交通运输工程学报,2003,3(3):88-92.

WEI Lang,CHEN Tao,YU Qiang. Three-dimensional Vehicle Dynamics Model for Road Traffic Accident Simulation and Reconstruction[J].Journal of Traffic and Transportation Engineering,2003,3(3):88-92.

[4] 裴剑平,吴卫东.交通事故再现碰撞模型综述[J].交通运输工程学报,2001,1(4):75-78.

PEI Jian-ping,WU Wei-dong. Overview of Impact Models in Accident Reconstruction [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2001,1(4):75-78.

[5] ROSS H E,SICKING D,ZIMMER R A. Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features [R]. Washington DC: NCH, 1993.

[6] MARZOUGUI D,KAN C D,ESKANDARIAN A. Safety Performance Evaluation of Roadside Hardware Using Finite Element Simulation [C]//ASCE. The 14th Engineering Mechanics Conference. Austin: ASCE,2000:1-15.

[7] MALCOLM R. The Use of Finite Element Analysis in Roadside Hardware Design[J]. International Journal of Crashworthiness,1997,2(4):333-348.

[8] 姚松,田红旗,高广军.显式有限元法在车辆碰撞性研究中的应用[J].交通运输工程学报,2003,3(1):13-16.

YAO Song,TIAN Hong-qi,GAO Guang-jun. Explicit Finite Element Method for Vehicle Crashworthiness [J].Journal of Traffic and Transportation Engineering,2003,3(1):13-16.

[9] 雷正保,杨兆.汽车撞击护栏时乘员的安全性研究[J].振动与冲击,2006,25(2):5-11.

LEI Zheng-bao,YANG Zhao. Study on the Passenger Safety During the Impact Process of Automobile Against Fence [J]. Journal of Vibration and Shock, 2006,25(2):5-11.

[10] 彭余华,杨少伟,石飞荣.道路横净距计算的新方法[J].长安大学学报:自然科学版,2003,23(6):33-35.

PENG Yu-hua,YANG Shao-wei,SHI Fei-rong. New Method for Calculating Net-transverse Distance [J]. Journal of Chang'an University:Natural Science Edition,2003,23(6):33-35.

[11] EN 1317—1—1998,Road Restraint Systems, Terminology and General Criteria for Test Method[S].