

大客车侧翻碰撞护栏事故仿真分析及改进

王蕊¹, 张晓云¹, 冯浩², 陈建国²

(1. 上海交通大学 机械与动力学院, 上海 200240; 2. 司法部 司法鉴定科学技术研究所, 上海 200063)

摘要: 建立大客车与护栏有限元模型, 仿真大客车侧翻碰撞护栏型交通事故, 并与我国 GB/T 17578-1998 及欧盟 ECE R66 规定对比。仿真结果表明此类侧翻事故的损害程度远超规定; 进而改进大客车侧面立柱材料及厚度, 仿真验证表明, 此方法可减小事故损失。可供设计人员参考。

关键词: 大客车; 侧翻; 护栏; 生存空间; 有限元

中图分类号: TH212; TH213.3 **文献标识码:** A

Simulation and improvement of bus rollover against barrier

WANG Rui¹, ZHANG Xiao-yun¹, FENG Hao², CHEN Jian-guo²

(1. Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China; 2. Institute of Forensic Science, Ministry of Justice, Shanghai 200063, China)

Abstract: Finite element models of a bus and a barrier were established. By means of mathematical operation, one special type of traffic accident, a bus rolling over and colliding with barrier, was simulated successfully. In both national standard GB/T 17578-1998 and EU's ECE R66, the strength of bus top was stipulated. However, the simulation made in the paper indicates that the damage severity of this kind of accident is far more beyond the corresponding stipulation level. To reduce the loss of accident, new material and increased thickness were used for side posts of this vehicle, and a following simulation proves its effectiveness, although only to some extent. The results could be referred by automotive vehicle designers.

Key words: bus; rollover; barrier; residual space; finite element analysis

交通事故不仅给生活、生产带来较大危害, 且对社会稳定、发展亦造成较大负面影响。因此, 对交通事故过程分析及人体伤害防范的数值仿真技术广受关注。目前, 交通事故数值仿真技术研究主要集中于小客车碰撞事故, 忽视了大客车交通事故及安全设计需求。实际上我国大、中型客车所致事故数量及死亡人数占有较大比例。调查表明, 造成“群死群伤”的恶性重大交通事故多与大客车碰撞、翻滚等事故形态有关。如, 2011年9月14日上海发生的大客车侧翻事故, 死伤24人; 2011年10月7日天津发生相同事故, 死亡35人。两起事故中大客车均在侧翻后与路边护栏发生碰撞, 故而伤亡惨重。因此, 针对大客车碰撞事故, 结合车身及车内变形等重要信息, 研究适用事故仿真及防范方法具有重要的理论意义与实用价值。

本文类比此两起交通事故, 以某12 m长大客车车身骨架为对象, 在HYPERMESH中模拟事故发生环境

用LS-DYNA进行运算, 后处理结果在HYPERVIEW中观察仿真大客车侧翻碰撞护栏并向前滑行过程。通过改进材料及设计, 探索减小事故损失方法。

1 侧翻事故有限元模型建立

1.1 侧翻事故客车模型前处理

大客车侧翻事故研究对象主要包括大客车及碰撞护栏两大部分, 整体碰撞事故环境为:

(1) 以大客车车身骨架及车架为板壳单元, 底盘车轮、轴、发动机为实体单元, 前后6个空气弹簧悬架及整体桥结构的导向杆系分别为刚性单元、梁单元, 并忽略蒙皮、玻璃、内饰板等非承载件, 见图1。板壳单元基准面为实际结构中面, 结构间用共节点、刚性连接、点焊等模拟连接关系^[1-7]。施加质量单元模拟大客车重力, 使模型总质量、重心位置与实车一致。

(2) 据文献[8]规定, 选单坡型路侧混凝土护栏(防撞等级为SB级), 尺寸参数按标准确定, 建立横截面为等腰梯形的护栏几何模型, 并划分为合适大小六面体实体单元, 置于大客车车轮同一水平面处。混凝土护栏为刚性护栏, 用有限元建模护栏可对大客车碰

撞护栏事故充分评价^[9]。

(3)为方便大客车旋转定义,在大客车轮胎下方建立翻滚平台。翻滚平台侧面与相邻护栏底边间距 2597 mm,此为高度仿真大客车侧窗处与护栏碰撞事故,可在一定程度内变动。

(4)文献[10]对大客车内生存空间位置与尺寸有严格规定。而生存空间为可保证乘员生命安全、衡量车体合格与否的重要标准。据生存空间形状的不变性,为简化计算,略去建立此部分模型,而改用在仿真结果图中进行绘制示意方式(图中尺寸、位置严格按建模比例缩放获得)。

(5)侧翻事故大客车有限元模型见图1、图2。共有单元683907个,节点695298个。其中三角形单元数量9719,占1.42%,满足小于5%要求。

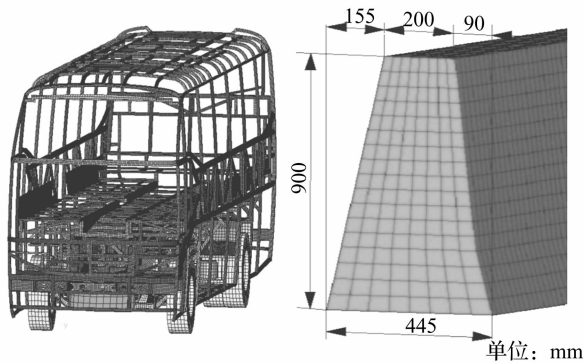


图1 大客车有限元模型
Fig. 1 Finite element model of bus

图2 护栏实体单元细节图
Fig. 2 Solid elements of the barrier

1.2 材料参数设置

车体模型中主要采用两种材料:①MAT20 刚体材料即大客车轮胎、发动机及增加的护栏等不变形部件;②MAT24 分段线性塑性材料即车身各变形部件。底盘部分用 20#碳素钢,车身上部用 Q235^[6],改进材料 Q345,其属性见表1。参照实际事故中混凝土护栏基本不变形事实(图3),为提高运算效率,护栏模型材料选 MAT20 刚体材料。

1.3 初始条件及接触设置

将翻滚平台靠近护栏侧及护栏全约束。为计算效

表1 材料属性表

Tab. 1 Parameters of material

材料	密度 T/mm^3	弹性模量/GPa	泊松比	屈服极限/MPa	强度极限/MPa
20#	7.85E-9	210	0.3	240	420
Q235	7.85E-9	210	0.3	235	410
Q345	7.85E-9	210	0.3	345	500

率及稳定,将翻滚平台预先自竖直位置旋转 45° 作为初始位置;在 $0 \sim 0.1 \text{ s}$ 使翻滚平台以 $5^\circ/\text{s}$ 角速度旋转,以保证大客车能翻过临界位置而不影响计算结果。整车模型有沿 x 方向的初速度 10 m/s (36 km/h)。



图3 实际交通事故中护栏
Fig. 3 Barrier in real accident

单面接触用于单个物体表面的自接触或与另一物体表面的相互接触,无需

定义接触面与目标面,适用于求解预先未知接触表面大变形问题,计算时精确、快速^[5]。因此在汽车碰撞仿真分析中,为防止各部件间发生相互穿透或部件产生大变形时自身产生穿透现象,采用单面接触以提高数值计算的稳定性及效率。碰撞分析时,采用自动接触方式,可减少工作量^[7]。侧翻过程中,车体与地面接触定义为刚性墙接触,并定义车身与地面间摩擦系数为 0.3。车体与护栏间采用自动搜索类型接触^[11]。

2 大客车侧翻碰撞护栏事故仿真分析

2.1 仿真结果验证

大客车由初始位置受重力作用开始侧翻,0.6 s 后与护栏发生碰撞。由图4看出,侧窗立柱首先因拉伸强度不足发生断裂,护栏侵入车内乘员的生存空间;侧窗立柱与车顶连接处发生断裂,原因可能为两处间焊接强度不足。而车顶与侧窗立柱构成的闭环结构可抵抗变形,车顶坍塌进一步挤压车内乘员的生存空间;大客车因惯性向前滑行,更增加事故的严重性。

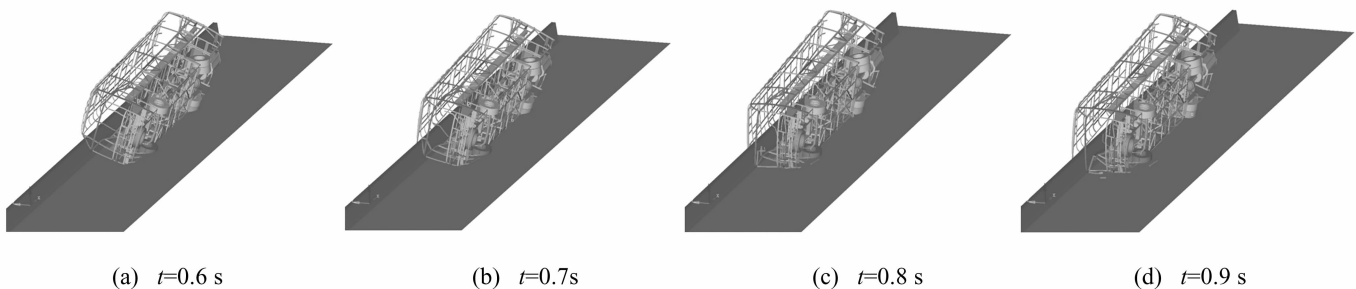


图4 大客车侧翻事故仿真序列

Fig. 4 Simulation of bus rollover against guardrail

按规定,生存空间以外其他部分不得侵入大客车的生存空间^[10],但模拟最终损毁情况显示侧窗立柱及护栏均侵入生存空间,见图5。与图6相比,此类交通事故对乘员的生命安全威胁极大。

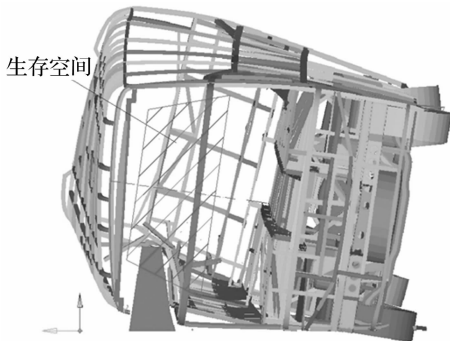


图5 大客车侧翻事故损坏细节图
Fig. 5 Detail of the rollover accident



图6 实际事故中大客车生存空间压缩图
Fig. 6 Residual space intruded in real accident

2.2 能量分析

为检验仿真精度,需观察能量是否守恒及非物理能量如沙漏能等是否超过此总能量5%^[10]。侧翻过程的能量变化曲线见图7。由图7看出,仿真过程能量守恒,沙漏能在侧翻变形中占总能量比未超1.65%,在许可范围5%以内,对分析结果影响微弱。因此,该仿真计算结果可信。

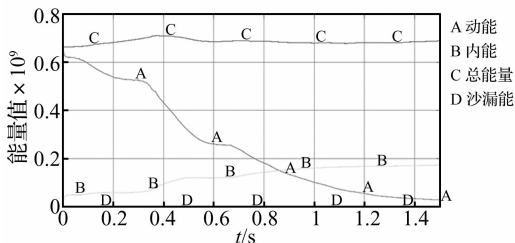


图7 大客车侧翻事故能量分析图
Fig. 7 Analysis of energy change during simulation

2.3 模型材料改进仿真分析

将大客车侧窗立柱材料改为 Q345,其他同初始设置,仿真结果见图8。与图5对比看出,在侧翻碰撞护

栏过程中,大客车侧窗护栏仍出现断裂进而挤压车内乘员生存空间情况,护栏侵入车内高度 343.965 mm,较 Q235 侧窗立柱侵入量小,可减轻事故损失。

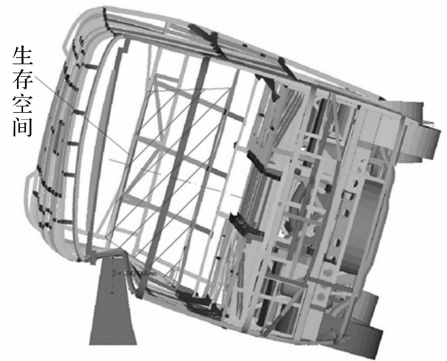


图8 材料改进后仿真图
Fig. 8 Simulation of rollover accident after updating material

2.4 模型厚度改进仿真分析

将大客车模型侧窗立柱材料由 1.5 mm 加厚至 3.0 mm,其他条件不变,仿真结果见图9。由图9看出,护栏侵入高度 294.961 mm,护栏、侧窗立柱未侵入生存空间,满足设计规定,与图8相比,车顶塌陷较少,损毁程度进一步减小。

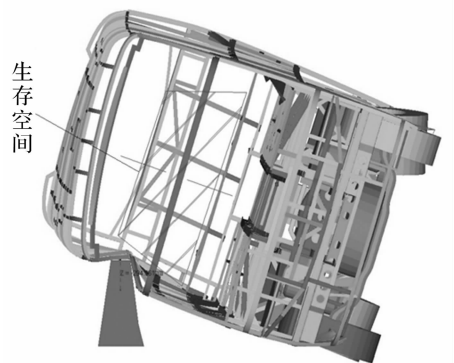


图9 侧窗立柱厚度改进仿真图
Fig. 9 Simulation of rollover accident after increasing thickness

3 改进建议

大客车侧翻时车身上部结构强度是决定事故损失程度的重要因素。GB 13094 - 2007 规定自 2011 年 2 月 1 日开始强制执行对客车上部结构强度要求,主要技术要求需满足 GB/T 17578《客车上部结构强度的规定》,其修订亦参照欧盟的 ECE R663^[12]。现有标准中只对大客车侧壁与地面碰撞进行侧翻试验,未考虑侧翻碰撞护栏更惨重情况。建议大客车设计者在标准实验基础上考虑此类事故,损失会进一步减少。

4 结论

(1)由仿真知,增加大客车侧窗立柱材料强度及厚度均可减小损失。

(2)增加侧窗立柱与客车顶部连接强度、侧窗立柱数量、吸能元件等,可减少护栏浸入车厢挤压生命空间的概率。通过面向真实交通事故数值仿真分析,可以为大客车结构安全设计提供理论参考。

参考文献

- [1] 范子杰,马林,桂良进,等.大客车侧翻安全性多目标优化[J].系统仿真学报,2012,24(5):109-113.
FAN Zi-jie, MA Lin, GUI Liang-jin, et al. Multi-objective optimization for bus rollover crashworthiness [J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(5):109-113.
- [2] 何汉桥.大客车车身结构安全性仿真研究[D].长沙:湖南大学机械与汽车工程学院,2007.
- [3] 孙信,王青春,范子杰.大客车翻滚安全性有限元分析[J].汽车技术,2007,38(8):34-35.
SUN Xin, WANG Qing-chun, FAN Zi-jie, et al. Finite element analysis on rollover crashworthiness of a bus [J]. Automobile technology, 2007, 38(8):34-35.
- [4] 何汉桥,张维刚.高床大客车侧翻结构安全性仿真研究[J].机械科学与技术,2007,26(7):922-925.
HE Han-qiao, ZHANG Wei-gang. Simulation of safety of high-bed bus under side overturning crash [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2007, 26(7):922-925.
- [5] 余跃,周鸿波,童水光,等.大客车侧翻耐撞性的结构设计方法[J].浙江大学学报(工学版),2011,45(4):714-718.
YU Yue, ZHOU Hong-bo, TONG Shui-guang, et al. Structural design method for rollover crashworthiness of large bus [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2011, 45(4):714-718.

- [6] 卢琳兆,吴长风,丁守松,等.大客车侧翻碰撞仿真分析及改进[J].机电技术,2012,35(1):26-28.
LU Lin-zhao, WU Chang-feng, DING Shou-song, et al. Simulation and improvement of bus rollover [J]. Mechanical and Electrical Technology, 2012, 35(1):26-28.
- [7] 邓兆祥,胡玉梅,王攀,等.客车耐撞性结构优化设计[J].机械工程学报,2005,41(11):217-220.
DENG Zhao-xiang, HU Yu-mei, WANG Pan, et al. Optimization design of mini car crashworthiness structure [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(11):217-220.
- [8] JTG D81-2006,公路交通安全设施设计细则[S].
- [9] 闫书明.护栏碰撞中车体加速度敏感性分析[J].振动与冲击,2011,30(7):1-4.
YAN Shu-ming. Sensitivity analysis of vehicle acceleration during impact to a barrier [J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(7):1-4.
- [10] Regulation No. 66, Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure[S]. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe, 2006.
- [11] 闫书明.有限元仿真方法评价护栏安全性能的可行性[J].振动与冲击,2011,30(1):152-156.
YAN Shu-ming. Feasibility analysis of barrier safety evaluation with finite element simulation method [J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(1):152-156.
- [12] 李仕锋,丁良旭,曹源文.客车被动安全研究主要方法及内容[J].客车技术与研究,2012,34(2):5-8.
LI Shi-feng, DING Liang-xu, CAO Yuan-wen. Main methods and contents of coach passive safety research [J]. Bus & Coach Technology and Research, 2012, 34(2):5-8.

(上接第60页)

- [7] JG/T10-2009,钢网架螺栓球节点[S].
- [8] 范重,杨苏,栾海强.空间结构节点设计研究进展与实践[J].建筑结构学报,2011,32(12):1-15.
FAN Zhong, YANG Su, LUAN Hai-qiang. Research progress and practice of design of spatial structure joints [J]. Journal of Building Structures, 2011, 32(12):1-15.
- [9] 张毅刚,周宜哲.螺栓球节点刚度分析及其计算模型简化[A].第十二届全国现代结构工程学术研讨会论文集[C].北京:工业建筑杂志社,2012:347-351.
- [10] Jiang S F, Zhang C M, Yao J. Eigen-level data fusion model by integrating rough set and probabilistic neural network for structural damage detection [J]. Advances in Structural Engineering, 2011, 14(2):333-350.
- [11] 吴金志.基于动力检测的网格结构损伤识别研究[D].北京:北京工业大学,2005:23-96.
- [12] 孙木楠.基于神经网络的结构模型修改[J].振动与冲击,2006,25(1):54-57.

- SUN Mu-nan. Structural model updating based on neural network [J]. Journal of Vibration and Shock, 2006, 25(1):54-57.
- [13] 李金宝,王达,刘扬.基于参数分析的子结构有限元模型修正技术[J].中外公路,2012,32(3):227-232.
LI Jin-bao, WANG Da, LIU Yang. Sub-structure finite element model updating technology based on the parametric analysis [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2012, 32(3):227-232.
- [14] 韩芳,钟冬望,汪君.基于径向基神经网络的有限元模型修正研究[J].武汉科技大学学报,2011,34(2):115-118.
HAN Fang, ZHONG Dong-wang, WANG Jun. Model updating based on radial basis function neural network [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2011, 34(2):115-118.