

Study on Finite Element Analysis Method of Vehicle Roof Strength

Yinge ZHOU^{1,2}, Zongcai QIU^{1,2}, Jinhua SHAO^{1,2}, Huili YU^{1,2}, Taisong CUI^{1,2}, Hui ZHAO^{1,2}

¹ State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, China

² Chongqing Changan Automobile Co. Ltd., Chongqing, China

Email: zhouyinge0451@163.com

Abstract: In this paper, based on a model at the roof strength test build the same finite element analysis model. Simulation method by improving a series of measures to improve simulation accuracy. According to the roof strength test close to quasi static test, Shielding high strain rate curve of material, and keep quasi-static strain rate curve. Optimize the front windshield simulation analysis method, Respectively built out of the model of silica and intermediate, The front windshield and left the door glass material fracture failure mode. Updated the simulation analysis of the structure and test can be a very good match.

Keywords: Roof crush resistance; Finite element analysis; Windshield glass

乘用车顶部抗压强度有限元仿真方法研究

周迎娥^{1,2}, 邱忠财^{1,2}, 邵金华^{1,2}, 禹慧丽^{1,2}, 崔泰松^{1,2}, 赵会^{1,2}

¹ 汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 401120

² 重庆长安汽车股份有限公司, 重庆, 中国, 401120

Email: zhouyinge0451@163.com

摘要: 文根据某车型顶部抗压强度试验, 建立了相应的有限元分析模型, 通过改进一系列仿真分析方法提高仿真分析精度。根据顶压强度试验装置准静态加载的特点, 屏蔽仿真分析材料库高应变率曲线、保留准静态应变率曲线; 优化前风挡玻璃的仿真分析方法, 详细建立前风挡的二氧化硅及中间胶层的本构模型; 同时将前风挡玻璃及左侧车门玻璃材料施加断裂失效模式, 更新后的仿真分析结构与试验能很好的吻合。

关键词: 部抗压强度; 有限元仿真分析; 风挡玻璃

1 引言

多项国内外的调查研究表明, 车辆翻滚事故的致死率非常高, 在美国、欧洲、澳大利亚, 因为汽车翻滚事故造成的死亡率分别为 33%、20%和 27%。而造成死亡的原因多是汽车顶部结构强度不足, 事故过程中车体变形严重, 从而导致乘员生存空间变小。因此, 足够的车顶抗压强度能够有效减小车内乘员伤害。

GB26134-2010《乘用车顶部抗压强度》是我国对于乘用车顶部强度要求的强制性法规, 要求车身能承受的载荷与车重比应大于 1.5 倍; 而中国保险汽车安全指数规程中车顶强度等级是基于试验过程中车身变形量 127mm 范围内测得的车身载荷与车重(整备质量状态)之比(SWR)进行评价: $SWR < 2.5$ 为较差, $3.25 > SWR \geq 2.5$ 为一般, $4 > SWR \geq 3.25$ 为良好, $SWR \geq 4$ 为优秀。

只有建立合理准确的有限元模型, 才能对车体设计数据的车顶抗压强度性能进行准确的预测, 否则会导致设计过量或是达不到预期的结构目标。本文建立了某个车型的车顶抗压强度有限元模型, 通过更新仿真分析模型的材料曲线; 优化前风挡玻璃的仿真分析方法, 分别建出前风挡的二氧化硅及中间胶层模型, 将前风挡玻璃及左侧车门玻璃材料施加断裂失效模式。提高车顶抗压强度有限元仿真分析精度, 与试验结果吻合度高, 模型处理方法可用于新车型开发中。

2 模型的建立

根据长安汽车某在产车型建立的车顶抗压强度分析模型(图 1 所示), 主要包括: 白车身、闭合件、底盘系统、动力系统、座椅和加载刚性块。本分析模型以 HyperMesh 作为前处理软件, 以 LS_DYNA 作为求解器, 模型共有 2564717 个节点, 2284684 个单元, 单元尺寸为 5-10mm, 车辆整备质量 1320Kg。

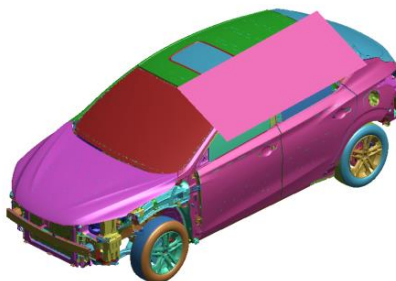


Figure1.Finite element model of whole car roof compressive strength

图 1 整车车顶抗压强度有限元模型

2.1 常规模型的处理方法及结果对比

通常我们进行顶压分析时, 前风挡玻璃也只是建立一层壳单元, 材料模型采用分段线性材料, 材料类型为 MAT24, 整个分析模型其他钣金件采用材料类型为 MAT24、刚性结构采用材料类型为 MAT20, 材料模型取多条不同速率下的应变率曲线。分析结果的车顶强度曲线比实际试验的车顶强度曲线大很多, 导致仿真不能预测设计阶段的车顶强度。如图 2 所示

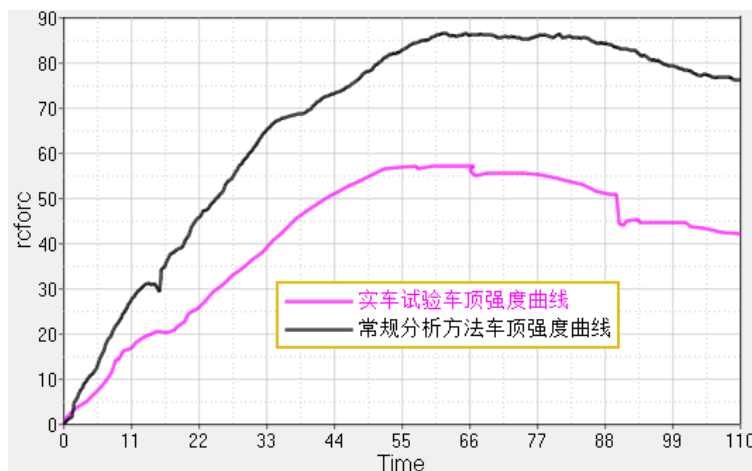


Figure2.Comparison between conventional analysis method and test roof strength

图 2 常规分析方法与试验车顶强度曲线对比

2.2 优化的仿真分析方法

2.2.1 材料模型

影响仿真分析精度的因素比较多, 其中材料特性是其中的一个重要因素。通常情况下, 碰撞显示分析的材料模型一般取多条不同速率下的应变率曲线。车顶抗压强度试验的加载速度一般为 6mm/s 左右, 接近准静态试

验。因此本分析模型的材料屏蔽了高应变率曲线，仅采用准静态下的力学特性。

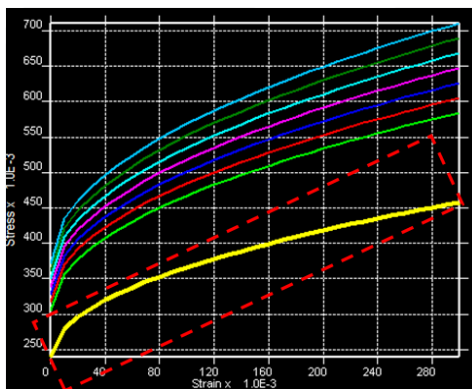


Figure3.Stress-strain curve of the material model used in the analysis

图 3 本分析所采用的材料模型应力应变曲线

车辆钣金件采用材料类型为 MAT24、刚性结构采用材料类型为 MAT20、风挡玻璃及车窗、天窗玻璃材料类型选择材料类型为 MAT123 设置相应的失效应变及切线模量、风挡玻璃中间胶层采用材料类型为 MAT24，附以相应的材料属性。

2.2.2 单元属性

整车模型中涉及的单元类型主要有壳单元、实体单元、杆单元、弹簧单元等，其中以壳单元为主。壳单元主要采用 Belytschko-Ysay 单点积分类型，积分点个数为 5，同时为了提高模型的分析精度，对于对车顶抗压强度分析有影响的关注结构 B 柱、车门、风挡玻璃及车窗玻璃、顶盖和顶盖横梁则采用全积分单元类型。风挡玻璃分别建出二氧化硅及中间胶层有限元模型，单元类型为壳单元。

2.2.3 边界条件加载

根据 GB 26134-2010《乘用车顶部抗压强度》试验程序，将车辆固定在刚性支架上，约束门槛梁边沿的 6 个自由度，调整压板使其纵轴前倾角为水平向下 $5^\circ \pm 0.5^\circ$ （侧视），横轴外倾角为水平向下 $25^\circ \pm 0.5^\circ$ ，加载压板前缘中点位于试验车辆顶部纵向中心线最前点（包括挡风玻璃装饰条）之前 $254\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 。加载压板与车身相对位置如图 4 所示。

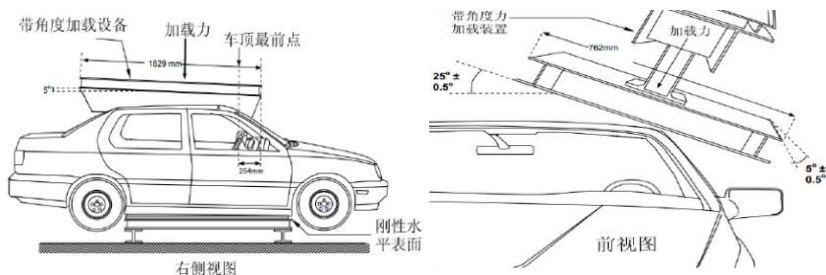


Figure4.Test loading schematic diagram

图 4 试验加载示意图

3 优化后有限元仿真与试验对比

3.1 仿真与试验加载速度对比

中国保险汽车安全指数规程规定车顶强度试验为准静态测试，该试验在整车上进行。试验时，加载装置的刚性压板以约 5mm/s 的速度给试验车辆施加载荷，GB 26134-2010 乘用车顶部抗压强度规定加载速度不超过 13mm/s，整个试验在 120s 内完成。本车型的试验加载速度为 6mm/s，仿真分析模型为了减少计算时间加载速度设为 1mm/ms，如图 5、图 6 所示。

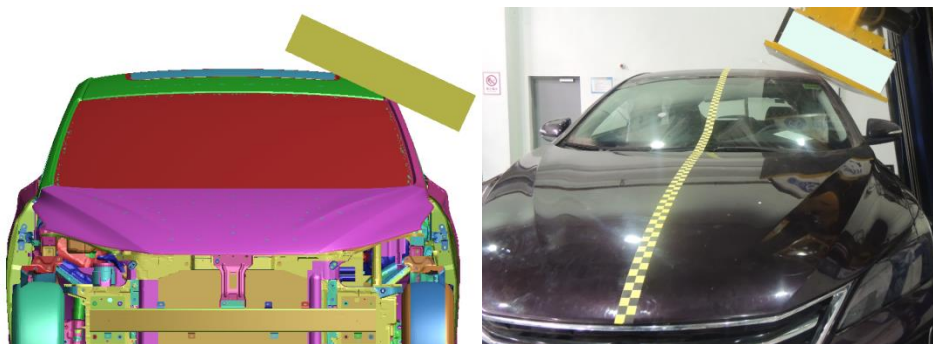


Figure5.FEM simulation and experimental load comparison schematic diagram

图 5 有限元仿真与试验加载对比示意图

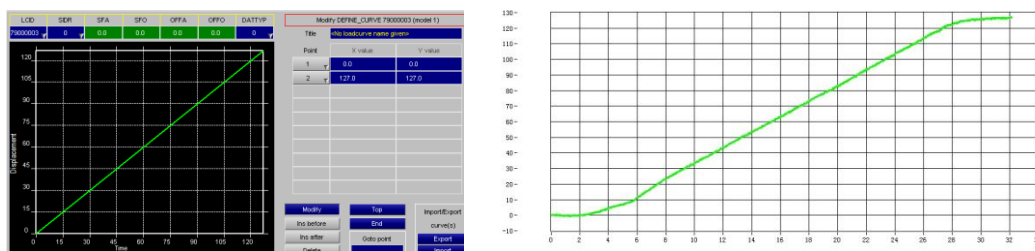


Figure6.Sketch map of contrast between finite element simulation and test loading speed

图 6 有限元仿真与试验加载速度对比示意图

3.2 仿真与试验车顶抗压强度曲线与结构变形对比

模型更新后得到的有限元仿真车顶抗压强度曲线与实车试验得到的车顶抗压强度曲线峰值及趋势基本一致。车体变形也基本一致，如图 7、图 8 所示。

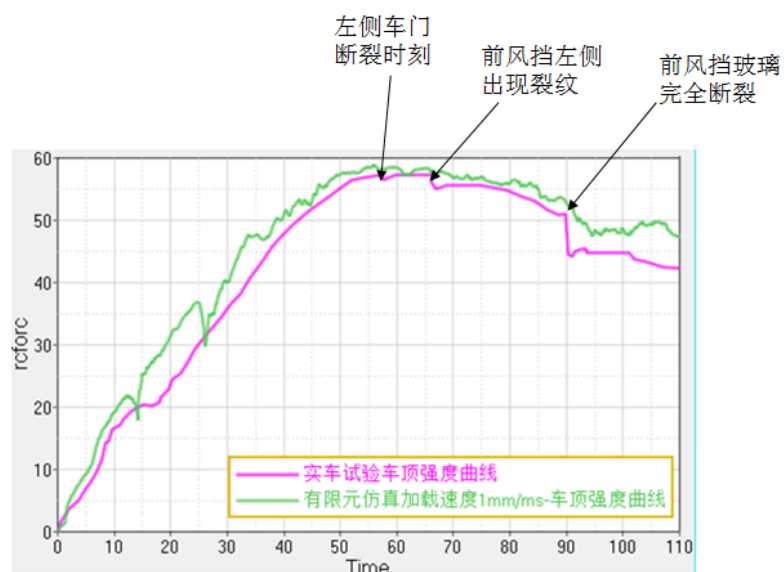


Figure7.Sketch map of the displacement(mm) curve of simulation and test loading force (KN)-loading plate

图 7 仿真与试验加载力 (KN) — 加载压板位移 (mm) 曲线对比示意图

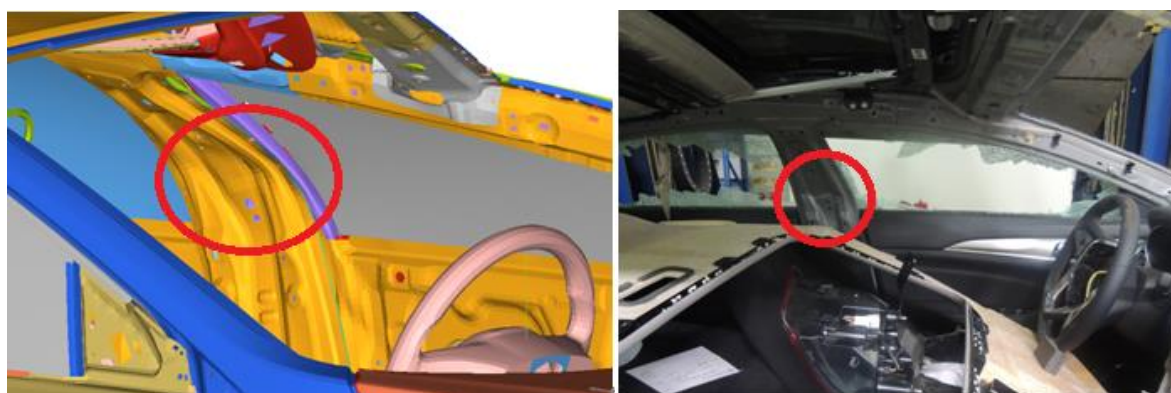


Figure8.Comparison between simulation and test vehicle body deformation

图 8 仿真与试验车体变形对比示意图

3.3 加载速度影响

由于物理试验为准静态测试，试验加载速度较低，一般为 $6\text{mm/s} \sim 7\text{mm/s}$ ，调整有限元仿真的加载速度有 1mm/ms 降低至 0.25mm/ms 进行试算。从分析结果可以看出，降低加载速度后的车顶强度曲线与实验曲线拟合的较好。

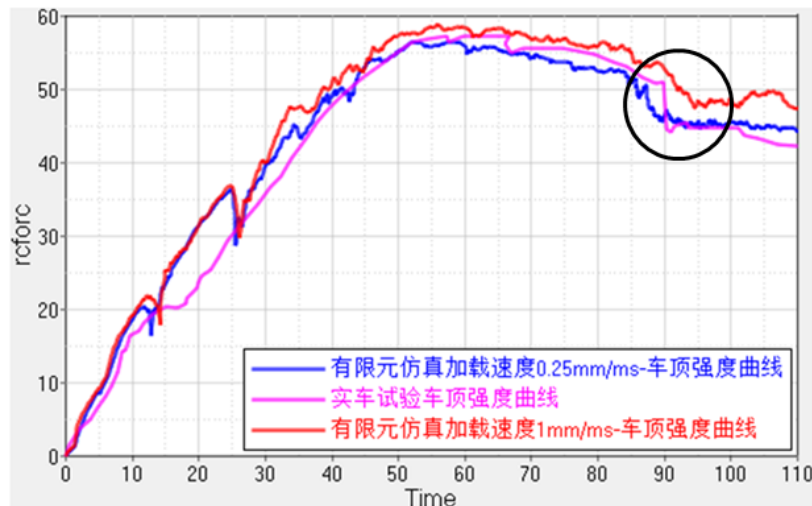


Figure9.Shows the comparison between the increase of loading speed and the deformation of the test vehicle body

图9 降低加载速度增大与试验车体变形对比示意图

4 结论

(1) 通过对比分析可知，用显示分析方法对准静态试验进行分析材料模型高应变率特性对分析结果有一定的影响；

(2) 风挡、车窗等部件玻璃的模拟精度对整体顶压性能的分析精度有较大影响。

根据本文的研究，通过文中提及的模型改进方法可以有效的提高仿真分析精度，可以在其他新车型开发中进行应用。

参考文献 (References)

- [1] Zhiyuan Hu,Biqiang Zeng,Shugang Xie.based on IS-DYNA and HperWorss Vehicle Safety Simulation and Analysis [M] .Beijing.Qinghua University Press,2011
胡志远，曾必强，谢书港. 基于 LS-DYNA 和 HyperWorks 的汽车安全仿真与分析[M]. 北京：清华大学出版社，2011
- [2] Zhihui Huang,Shengzhao Chen,Youyun Bai.The discussion of explicit quasi-static loading methods [J] .Journal of Wuhan University of Technology,2011,33
黄志辉，陈盛钊，柏友运. 显式准静态几种加载方法的讨论 [J]. 武汉理工大学学报，2011，33
- [3] China Insurance Motor Safety Index Regulation CIASI-SM.PI.RST-A0□2017
中国保险汽车安全指数规程 CIASI-SM.PI.RST-A0，2017
- [4] GB 26134-2010 Compressive strength of top of passenger car,2010
GB 26134-2010 乘用车顶部抗压强度，2010
- [5] Kun Wang,Yuhuan Han,Na Yang.Based on Finite Element Analysis Method to Improve Roof Compressive Strength Research of China Automobile Engineering Society,2017
王坤，韩玉环，杨娜. 基于有限元分析法的车顶抗压强度改进措施研究 中国汽车工程学会论文集，2017
- [6] Liu Z, Zhu P, Chen W. Improved particle swarm optimization algorithm using design of experiment and data mining techniques. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2015, 52: 813-826.
- [7] Rahman S. Decomposition methods for structural reliability analysis revisited. Probabilistic Engineering Mechanics,2011, 26(2): 357-363.
- [8] Shaobo Qiu,Collision Safety Engineering[M],Beijing:Beijing Institute University Publishing Company
邱少波，汽车碰撞安全工程[M]. 北京：北京理工大学出版社 . 2016
- [9] Qingchun Wang ,Zijie Fan.An Improved method for calculating quasi-static collapse of structures using Ls-Dyna [M] Mechanics and Practice, 2003, 03:20-23
王青春，范子杰. 利用 Ls-Dyna 计算结构准静态压溃的改进方法 [J] . 力学与实践，2003，03:20-23
- [10] Ruitang Liu.Mechanical properties of engineering materials [M].Harbin University of Technology Press,2001.
刘瑞堂. 工程材料力学性能[M]. 哈尔滨工业大学出版社，2001.
- [11] Xianming Meng, Shugang Xie, Rui Fang,Dynamic deformation behavior of B340-590 dual phase high strength steel plate[J].Acta Iron and Steel Research, 2015, 27(06):51-55.
孟宪明，谢书港，方锐，等. B340-590DP 双相高强钢板的动态变形行为[J]. 钢铁研究学报，2015，27(06):51-55.
- [12] Khamei A A, Dehghani K. Effects of strain rate and temperature on hot tensile deformation of severe plastic deformed 6061aluminum alloy[J]. Materials Science & Engineering A, 2014, 627:1-9.

- [13] Ajdari, A., et al. (2011). Dynamic crushing and energy absorption of regular, irregular and functionally graded cellular structures. International Journal of Solids and Structures 48(3-4): 506-516.
- [14] Mizzi, L., et al. (2015). Influence of translational disorder on the mechanical properties of hexachiral honeycomb systems. Composites Part B: Engineering 80: 84-91.
- [15] Zhiyuan Hu, Biqiang Zeng, Shuguang Xie. Automotive Safety Simulation and Analysis Based on LS-DYNA and HyperWorks[M]. Qinghua University Press, 2011
胡远志, 曾必强, 谢书港. 基于 LS-DYNA 和 HyperWorks 的汽车安全仿真与分析[M]. 清华大学出版社, 2011.