

Frontal 40% Offset Crash Simulation Analysis and Verification of a SUV

Lunjie XIE¹, Lijuan LU², Cunshu LU³, Lihui ZHOU⁴

¹²³⁴ GAC Fiat Chrysler Ltd, Changsha, China

Email: xielj@gacfc.com, zhoulh@gacfc.com, lucs@gacfc.com

Abstract: A SUV finite element model was established for frontal offset crash simulation and comparison of simulation results and vehicle crash test results show that the high degree of coincidence, the finite element model is accurate and reliable, can provide a reference for the following analysis.

Keywords: crash test; CAE simulation; frontal offset crash; verification

某 SUV 正面 40%偏置碰撞仿真分析与验证

谢伦杰¹, 卢丽娟², 芦存树³, 周利辉⁴

¹²³⁴ 广汽菲亚特克莱斯勒汽车有限公司, 长沙, 中国, 410000

Email: xielj@gacfc.com, lulj@gacfc.com, lucs@gacfc.com, zhoulh@gacfc.com

摘要: 本文以某 SUV 车型为研究对象, 采用 CAE 仿真技术, 建立整车碰撞有限元模型, 参照 2015 版 C-NCAP 进行整车 64 km/h 的正面 40%偏置碰撞仿真, 并开展实车碰撞试验, 仿真与试验结果进行对标分析, 显示两者吻合度较高, 验证了有限元模型的准确性, 为接下来的分析和优化工作提供参考和指导。

关键词: 实车碰撞; CAE 仿真; 偏置碰撞; 验证

1 引言

近年来, 随着汽车安全标准及 C-NCAP 的不断发展与更新, 汽车安全技术越来越被整车厂所关注^[1]。以往汽车安全性能研究, 主要是通过反复进行各项实车试验, 收集试验数据进行评估和改善, 但实车试验结果存在一定的不稳定性, 而且具有成本高、周期长等问题。迫于日趋激烈的市场竞争和成本压力, 新车型的开发周期越来越短, 采用 CAE 仿真分析技术来开发和优化汽车安全性能, 已成为一种省时且有效的方法^[2,3]。

目前, SUV 是中国汽车市场中最受欢迎的车型之一, 由于 SUV 在车身结构、整车质量、离地间隙等方面与传统家用轿车有着比较大的区别, 其安全性能也呈现出新的特点^[4]。本文以某 SUV 新车型为研究对象, 采用 CAE 仿真分析技术, 按照 2015 版 C-NCAP 试验要求, 进行 64 km/h 正面 40%偏置碰撞 CAE 仿真分析, 并开展实车碰撞试验进行验证, 以降低汽车设计成本和缩短研发周期。

2 CAE 仿真分析

2.1 有限元模型的建立

有限元分析的基本思想是以离散规则区域上的物理力学方程来近似替代连续区域上的物理力学关系, 它可以比较真实地模拟出目标对象的碰撞响应和撞击变形等情况。有限元碰撞仿真的精度和准确性直接受到分析模型、载荷处理、约束条件等因素与实际工程结构力学特性符合程度的影响^[5,6]。因此有限元模型的建立, 应如实反映目标对象实际结构的重要力学特征, 并保证拥有较高的精度和计算效率^[7,8]。本文采用 CAD 与 CAE 相结合的有限元建模方法, 先在 CAD 系统中进行预处理和部分简化, 建立三维几何模型, 然后对其进行网格划分, 建立由节点和单元构成的网格模型, 在此基础上, 把材料特性分配到结构的几何构形上, 同时施加载荷和边界条件, 最终建立起可用于分析计算的有限元模型。

2.1.1 壁障模型

2015 版 C-NCAP 管理规则中对正面偏置碰撞可变形壁障的规定如下:高 650mm (在蜂窝铝层方向)、宽 1000mm、深 450mm (在蜂窝铝单元轴向), 材料为铝 3003, 铝铂厚度为 $0.076\text{mm} \pm 15\%$ 。本文按照 C-NCAP 要求建立壁障有限元模型, 如图 1 所示。

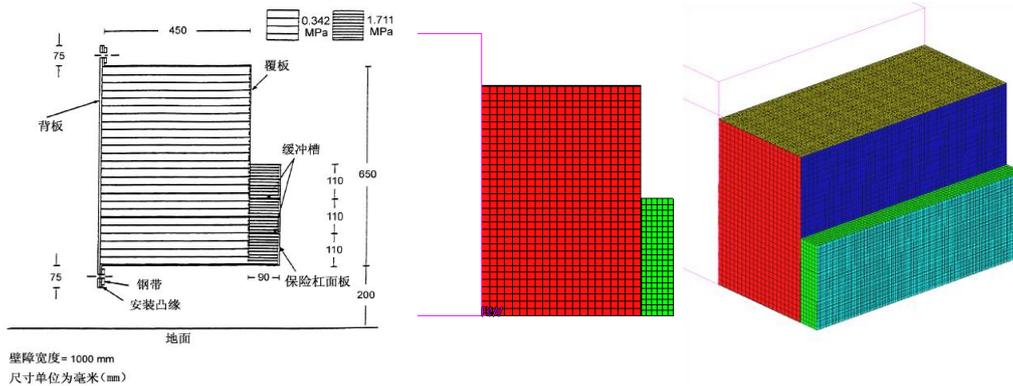


Figure 1. Barrier finite element model
图 1. 壁障有限元模型

2.1.2 整车模型

本文 CAE 仿真分析采用的建模软件是 Hypermesh, 求解软件是 LS-Dyna。目标对象 SUV 的建模主要包括六个部分: 白车身总成、内外饰总成、开闭件总成、动力总成、底盘系统、电器总成。在实际应用中计算时间和计算精度是互相矛盾的, 增加网格密度会使计算精度提高, 但同时也使计算时间大大增加。因此, 网格密度的选择是一个效率与精度的权衡问题^[9, 10]。在充分考虑碰撞类型以及车体各部件的尺寸后, 本文选取车体前舱各部件网格单元边长为 5mm, 其余部分为 10mm, 并严格控制最小边长和翘曲度以保证计算的精确性和稳定性。同时, 对于一些为辅助承载以及方便使用而设置的构件, 由于其对整车的应力和变形分析影响不大, 但对模型的求解规模和效率有着重要的影响^[11, 12], 因而对其进行适当的取舍 (比如略去塑料饰件、天窗等非承载件, 简化处理非碰撞关键部位的定位孔以及翻边等工艺特征), 最终建立完成的 SUV 有限元模型包含 2059630 个单元, 2090213 个节点, 如图 2 所示。

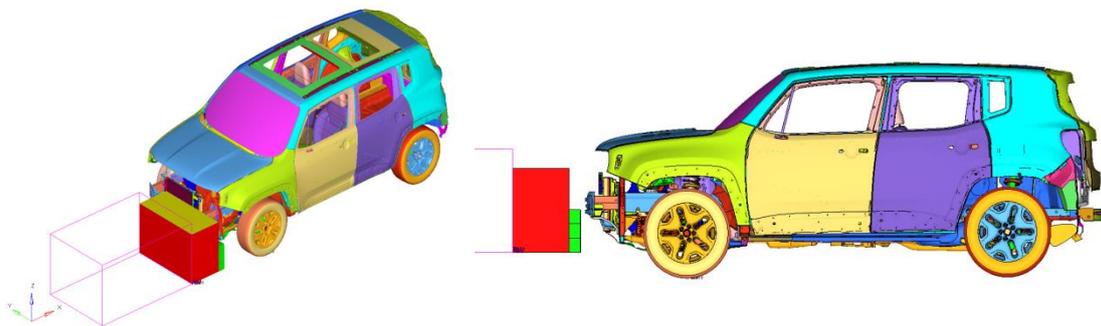


Figure 2. SUV finite element model
图 2. SUV 有限元模型

2.2 偏置碰撞仿真分析

2.2.1 能量分析

汽车碰撞过程是一个能量守恒且动量交换的瞬态过程, 其中大部分动能快速转变为内能, 小部分动能以热

能等其它能量形式耗散掉，由于碰撞时间极短，摩擦力所消耗的动能很小，因而碰撞过程中的总能量是基本保持不变的^[13,14]。沙漏模式会导致一种在数学上是稳定但在物理上无法实现的状态，它与真实的变形模式是正交的，会导致能量的损耗现象，因此通常要求沙漏能控制在总能量的 5%以内^[15,16]。本文碰撞仿真能量变化曲线如图 3 所示，在碰撞过程中动能逐渐减少，车身塌陷变形而吸收碰撞能量，内能逐渐增大，减少的动能与增加的内能基本保持同步，总能量基本保持不变。沙漏能与总能量的比值为 2.3%，沙漏受到很好的控制，对计算结果影响不显著，仿真模拟比较成功。

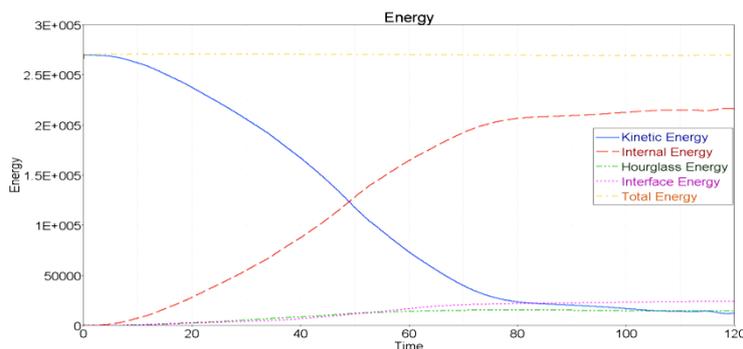


Figure 3. Energy transformation curves

图 3. 能量变化曲线

2.2.2 变形分析

在碰撞过程中，车身的变形可以反映出骨架的强度，同时在一定程度上也能反映设计是否合理。本文碰撞仿真结果如图 4 所示。SUV 变形区域主要集中在车身前部，左前纵梁发生溃缩变形而吸收了大部分碰撞能量，A 柱没有明显的弯曲变形，同时多载荷路径设计使得整个车身结构参与碰撞吸能，提高了承载效率，乘员舱结构在碰撞中变形较小，乘员的生存空间得到保障。

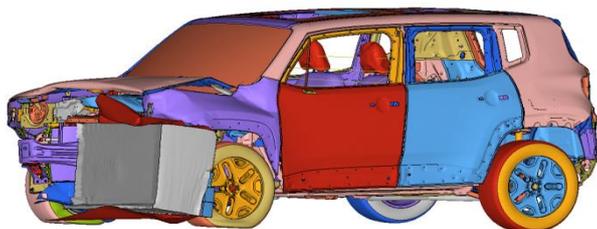


Figure 4. Simulation result of frontal offset crash

图 4. 正面偏置碰撞仿真结果

2.2.3 加速度分析

碰撞过程中车体的变形吸能与碰撞时间和加速度密切相关。碰撞过程中的最大加速度越大，则反映了车体所受的最大载荷越大，碰撞安全性也越差^[17,18]。考虑到乘员舱是碰撞安全性的研究重点，本文选取 SUV 左侧 B 柱下端的加速度来进行分析，加速度曲线如图 5 所示。整个碰撞仿真过程中加速度曲线比较平缓，没有出现很大的峰值和异常波动，车身结构缓冲吸能效果良好。

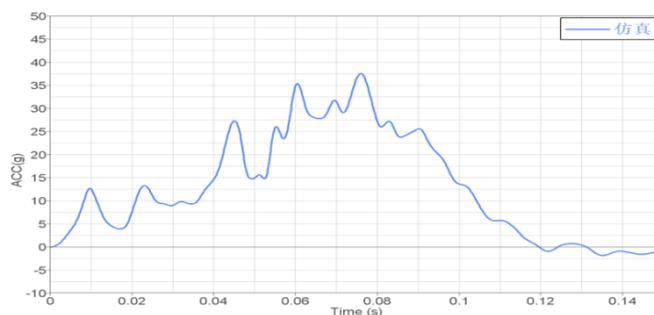


Figure 5. B pillar acceleration curve of simulation
图 5. B 柱加速度曲线 (仿真)

3 实车碰撞试验

3.1 试验准备

为了保证试验可靠性, 本文试验选择在 C-NCAP 官方试验场地 (中国汽车技术研究中心 CATARC) 进行。试验车辆以 40%重叠从正面冲击固定可变形壁障, 设定碰撞速度为 64.0 km/h, 发车前确认偏置碰撞车辆与可变形壁障碰撞重叠宽度在 40%车宽 \pm 10mm 的要求范围内。在前排驾驶员和乘员位置分别放置一个 Hybrid III 型第 50 百分位男性假人, 在第二排座椅最左侧座位上放置一个 Hybrid III 型第 5 百分位女性假人。为方便试验与仿真结果对比, SUV 相应分析位置安装传感器, 需要测量位移的地方安装标记点, 试验准备完成的 SUV 和壁障如图 6 所示。



Figure 6. SUV and barrier before crash test
图 6. 碰撞试验前的 SUV 与壁障

3.2 试验结果

实车碰撞试验按照 2015 版 C-NCAP 测评程序进行, 试验后确认碰撞速度为 64.1 km/h, 碰撞线左偏移 3mm, 误差在允许范围内, 试验参数满足要求, 碰撞试验过程中无异常情况出现, 试验后 SUV 的状态如图 7 所示。左前纵梁发生溃缩变形而吸收了大部分碰撞能量, A/B/C 柱没有明显的弯曲变形, 车轮保持完好且没有明显向后退缩的迹象。试验后四门能正常开启和关闭, 假人姿态正常, 安全气囊正常点爆, 相关试验数据成功获取。

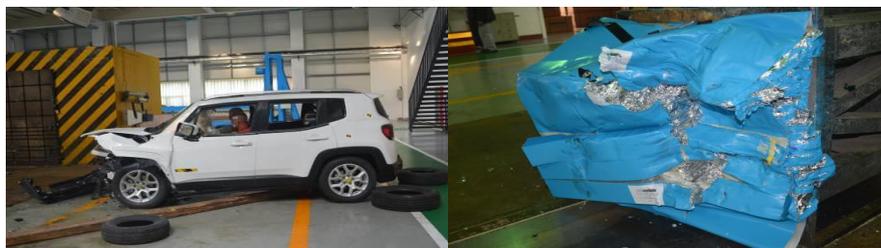


Figure 7. SUV and barrier after crash test
图 7. 碰撞试验后的 SUV 与壁障

4 仿真与试验对比

4.1 加速度对比

仿真分析与实车碰撞试验的加速度曲线如图 8 所示，从图中可以看出加速度最大峰值和最大峰值出现时刻存在一定差异，但差异数值不大，加速度曲线变化的趋势一致，走势吻合，仿真与试验对标良好。

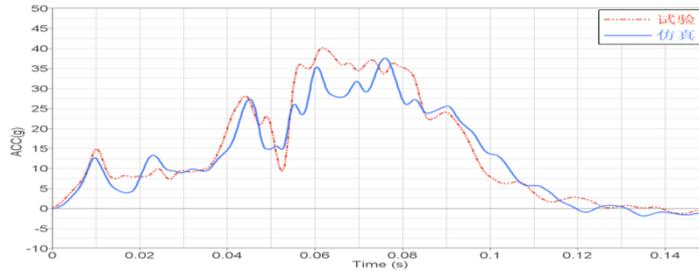


Figure 8. B pillar acceleration curve
图 8. B 柱加速度曲线对比

4.2 变形对比

碰撞过程中仿真与试验的最大变形如图 9 所示，在左侧前防撞梁、翼子板、机盖等主要变形区域，变形模式与范围基本一致，碰撞过程中的车身姿态基本相同，仿真与试验一致性良好。



Figure 9. Maximum deformation contrast
图 9. 车身最大变形对比

4.3 侵入量对比

如图 10 所示，在 SUV 防火墙及周边选取 12 个标记点，以此对比和评价乘员舱侵入量大小。仿真与试验的结果如表 1 所示。从结果来看，总体位移都不大，仿真与试验的结果非常接近，最大误差未超过 6mm，在工程可接受范围内，考虑到实车试验测量中也可能存在一定误差，因此可以认为此项分析仿真与试验吻合程度较好。

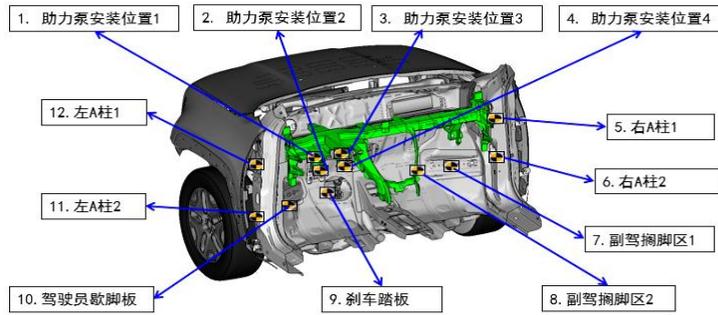


Figure 10. Intrusion marker point
图 10. 侵入量标记点

Table 1. Displacement comparison of mark points
表 1. 标记点位移对比

编号	位置	仿真结果/mm	试验结果/mm	误差/mm
1	助力泵安装点 1	58.8	53.4	5.4
2	助力泵安装点 2	58.7	53.1	5.6
3	助力泵安装点 3	55.4	50.2	5.2
4	助力泵安装点 4	55.4	50.1	5.3
5	右 A 柱 1	2.6	1.8	0.8
6	右 A 柱 2	4.7	3.3	1.4
7	副驾驶搁脚板 1	7.5	6.3	1.2
8	副驾驶搁脚板 2	7.6	6.3	1.3
9	刹车踏板	55.7	51.7	4.0
10	驾驶员歇脚板	24.2	20.1	3.1
11	左 A 柱 1	6.1	4.8	1.3
12	左 A 柱 2	8.5	5.3	3.2

5 总结

本文以某 SUV 新车型为研究对象, 对 CAE 仿真建模进行了相关介绍, 完成了正面 40%偏置碰撞仿真分析以及实车碰撞试验, 通过对加速度、变形、侵入量对比分析, 验证了 CAE 建模方法的有效性及其仿真分析模型的准确可靠性, 节约成本的同时缩短了项目开发时间, 最终该 SUV 在正式 CNCAP 测评中获得五星评价。该方法为接下来的车型改款优化工作提供指导, 也为新车型的研发提供了参考。

致 谢

感谢广汽菲克公司各领导的关心和指导, 感谢中汽研试验室对碰撞试验的大力支持, 感谢母校湖南大学老师们的理论指导。

参考文献 (References)

- [19] Li Yibing, Sun Yueting, Xu Chengliang. Analysis of the development trend of automobile safety technology based on traffic accident data[J]. Journal of automotive safety and energy, 2016, 7 (3): 241-253.
李一兵, 孙岳霆, 徐成亮. 基于交通事故数据的汽车安全技术发展趋势分析[J]. 汽车安全与节能学报, 2016, 7 (3): 241-253.
- [20] W Wang, X Sun, X Wei. Integration of the forming effects into vehicle front rail crash simulation[J]. International Journal of Crashworthiness, 2016, 21 (1): 9-21.
- [21] Liu Guiqi. Research on technical management of vehicle crash safety performance development [M]. Hunan University, 2015.

- 柳桂琦. 汽车碰撞安全性能开发项目技术管理研究[M]. 湖南大学, 2015.
- [22] Jia Ligang, Lv Juncheng, Lin Gang, Luo Qin. Simulation of small bias collision and optimization of car body structure for a SUV[J]. Mechanical design and manufacture, 2017 (1): 91-93.
贾丽刚, 吕俊成, 林智桂, 罗覃月. 某 SUV 小偏置碰撞仿真及车体结构优化[J]. 机械设计与制造, 2017 (1) :91-93.
- [23] Zhong Zhihua. Automotive collision safety technology[M]. Mechanical Industry Press, 2003.
钟志华. 汽车碰撞安全技术[M]. 机械工业出版社, 2003.
- [24] Zhang Weigang, Zhong Zhihua. Computer simulation of the Crashworthiness of the Energy Absorbing Front End of a Passenger Car[J]. Automotive engineering, 2002, 24 (1): 6-9.
张维刚, 钟志华. 汽车正撞吸能部件改进的计算机仿真[J]. 汽车工程, 2002, 24 (1) : 6-9.
- [25] Wei Zhihui, Li Dongyang, He Junjie. Finite element analysis and structural improvement of offset collision of an off-road vehicle[J]. Automation of manufacturing industry, 2015 (11): 104-106.
魏志辉, 李东阳, 贺俊杰. 某越野车偏置碰撞有限元分析与结构改进[J]. 制造业自动化, 2015 (11) :104-106.
- [26] Bai Jinze. LS-DYNA 3D theoretical basis and case analysis[M]. Beijing : Science Press , 2004.
白金泽. LS-DYNA 3D 理论基础与实例分析[M]. 北京:科学出版社, 2004 .
- [27] Zhang Guosheng, Meng Fanliang, Zhang Tianxia. Numerical modeling and stiffness analysis for body in white of car[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2008, 29 (2) :81 - 84.
张国胜, 孟凡亮, 张天侠. 某轿车白车身数字化建模与刚度分析[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2008, 29 (2) : 81 - 84.
- [28] Wu Bin, Xin Yong, Ye Sheng. Improvement Analysis of the SUV Frame for Crashworthiness Reliability Optimization[J]. Machine Design and Research. 2015 (1).
吴斌, 辛勇, 叶盛. 基于耐撞性可靠性优化的 SUV 车架改进[J]. 机械设计与研究, 2015 (1).
- [29] Ren Z, Vesenjak M. Computational and experimental crash analysis of the road safety barrier[J]. Engineering Failure Analysis, 2005, 12 (6) :963 - 973.
- [30] Yang Jikuang, Hua Changxing, Xiao Zhi. Optimization Design for Crashworthiness of Sub-frame SideRail[J]. China mechanical engineering, 2015, 26 (1): 124-129.
杨济匡, 华长星, 肖志. 副车架侧边纵梁耐撞性优化设计[J]. 中国机械工程, 2015 , 26 (1) :124-129.
- [31] M Dadashzadeh, J Conijn. Samenhang tussen zelfrapportage en rapportage door anderen: De invloed van type relatie, frequentie van interactie en duur van de relatie[J]. International Journal of Crashworthiness, 2015 , 6 (2) :155-164.
- [32] PTL Nguyen, JY Lee, HJ Yim, SB Lee, SJ Heo. Analysis of vehicle structural performance during small-overlap frontal impact[J]. International Journal of Automotive Technology, 2015 , 16 (5) :799-805.
- [33] A Benhizia, T Outtas. Numerical simulation of frontal offset crash test for the vehicle frame using LS DYNA[J]. World Academy of Science Engineering & Technology, 2011 (79) :10.
- [34] Andrew Parrish, Masoud Rais-Rohani, Ali Najafi. Crashworthiness optimisation of vehicle structures with magnesium alloy parts[J]. International Journal of Crashworthiness, 2012, 17(3) : 259 - 281.
- [35] W Wang, X Sun, X Wei. Integration of the forming effects into vehicle front rail crash simulation[J]. International Journal of Crashworthiness, 2016, 21 (1) : 9-21.
- [36] S Reddy, M Abbasi, M Fard. Multi-cornered thin-walled sheet metal members for enhanced crashworthiness and occupant protection[J]. Thin-Walled Structures , 2015 , 94 :56-66.