

一种有效防止侧面碰撞车门解锁的结构

黄惠星¹, 罗世杰¹, 贾丽刚²

¹湖南湖大艾盛汽车技术开发有限公司柳州分公司, 广西 柳州

²上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西 柳州

收稿日期: 2023年4月20日; 录用日期: 2023年7月3日; 发布日期: 2023年7月11日

摘要

本文使用HyperMesh搭建了某款车型侧面碰撞有限元模型, 并使用LS-DYNA对车辆的耐撞性进行仿真分析, 仿真结果显示: 车辆B柱的侵入量和车门的侵入速度满足预定的目标值, 但是碰撞过程中车门变形过大, 存在解锁风险。为了解决这一问题, 根据以往的工程经验, 对车门内部的加强版进行优化设计, 优化后车门耐撞性显著提高, 且试验结果满足预期目标。

关键词

侧面碰撞, LS-DYNA, 车门解锁, 结构优化

An Effective Prevent Side Impact the Structure of the Door Unlocked

Huixing Huang¹, Shijie Luo¹, Ligang Jia²

¹AISN AUTO R&D Co., Ltd., Liuzhou Guangxi

²SAIC General Motors Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou Guangxi

Received: Apr. 20th, 2023; accepted: Jul. 3rd, 2023; published: Jul. 11th, 2023

Abstract

This article uses HyperMesh to build a finite element model of a certain vehicle model for side impact, and uses LS-DYNA to simulate and analyze the vehicle's crashworthiness. The simulation results show that the intrusion amount of the vehicle's B-pillar and the intrusion speed of the door meet the predetermined target values, but the door deformation during the collision process is too large, posing a risk of unlocking. In order to solve this problem, based on past engineering experience, the reinforced version of the door interior was optimized and designed. After optimization, the door's crashworthiness was significantly improved, and the test results met the

expected goals.

Keywords

Side Impact, LS-DYNA, The Door Unlocked, Structure Optimization

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汽车作为人们出行中重要的选择对象, 汽车安全问题也越来越受到人们的关注[1], 国家相关部门也在逐步完善相关汽车的安全法规。在汽车受到侧面碰撞时, 车门不能开启, 否则车内人员会受到二次伤害。其中法规 GB20071-2006 就是明确规定, 在试验过程中车门不得开启, 否则无法通过法规要求[2]。

侧面作为汽车的薄弱区域, 在受到冲击时, 通常会造成车身侧围的大变形, 对车内的乘客造成伤害, 鉴于此, 很多学者对车身的侧围结构展开研究, 旨在提高车辆的被动安全性。卢永胜[3]为了探究某款新能源车型在侧碰工况中的耐撞性能, 对其进行了仿真分析, 并以 B 柱、车门等部件的侵入量和侵入速度为考察目标, 仿真结果符合法规要求。操英冬[4]基于侧碰法规, 对车辆的 B 柱进行优化设计, 在保证车身侧围耐撞性的前提下, 使 B 柱的质量降低了 11.3%。杨军等人[5]通过试验与仿真相结合的方法, 找出了侧碰工况中车门开启的原因, 并根据车门的变形模式针对薄弱环节设计出一种优化方案, 优化后, 门把手区域变形量明显降低。马承聪等人[6]为了提高某款车型在侧碰工况中的耐撞性能, 提出在门槛梁内填充泡沫铝的方案, 通过对车辆进行不同速度的侧碰仿真分析, 结果表明, 泡沫铝复合结构能够有效降低侧碰工况中车辆的侵入量和加速度峰值。

本文针对某款正在开发的乘用车侧面碰撞工况, 使用显式有限元分析方法, 参照 GB20071-2006 汽车侧面碰撞的乘员保护的试验要求搭建有限元模型进行仿真分析, 对仿真分析结果发现的风险给予优化, 并按优化方案造车进行试验验证。

2. 搭建有限元计算模型

在有限元计算中科学合理的模型化是仿真计算成功与否的关键。针对不同的求解类型, 有限元模型建立的侧重点也略有差异[7]。一般应在保证计算精度的前提下, 为了提高工作效率尽可能缩短建模和求解计算的时间。

1) 在 HyperMesh 软件中导入车身部门提供的 STEP 数据模型, 按照建模规范要求对白车身、车门、动力总成和座椅骨架等进行几何网格划分, 基准尺寸 8 mm, 确保模型网格正交性好, 无网格交叉和渗透[8]。

2) 门锁进行精细化建模[9]。

3) 根据钣金厚度及材料牌号信息对车身进行材料属性的定义, 为保证计算精度及计算效率, 部件采用 2#积分定义, 材料曲线为真实应力应变曲线。

4) 车身焊点采用六面体实体单元模拟, 材料为 MAT100 材料[10]; 车身螺栓采用刚性连接模拟。

5) 壁障模型为供应商提供, 只需调整位置即可。

6) 根据整车和壁障模型之间的实际接触情况, 在仿真模型里定义相应的接触关系[11]: 包括整车之

间的自接触、焊点与钣金间的点面接触、玻璃与粘胶间的点面接触、壁障与车身的面面接触。

3. 载荷边界条件

根据法规要求,车辆位于水平地面上,移动变形壁障以 50 ± 1 km/h 的速度撞击车辆驾驶员侧,其中,移动变形壁障的纵向中垂面与试验车辆上通过碰撞侧前排座椅“R”点的横断垂面之间的距离应在 ± 25 mm 内。调整好的有限元计算模型如图 1 所示。将模型保存为 K 文件并提交到 LS-DYNA 中进行计算。

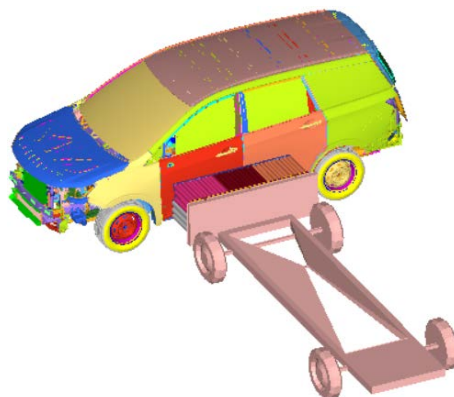


Figure 1. FEM model
图 1. 有限元计算模型

4. 计算结果分析

模型计算完成后,通过对计算结果进行必要检查以确保计算的准确性,其中包括:查看动画是否出现异常,模型总能量、动能、内能、接触能及沙漏能曲线是否平稳;同时,为了提高仿真的精度和稳定性质量增加要求小于 5% [12]。根据上述检查原则,对本次计算结果进行检查,能量曲线如下图 2 所示,各能量曲线平稳变化;质量增加曲线如图 3 所示,质量增加为 3.31% 小于 5%。说明仿真计算模型满足检查要求,可进行下一步的研究。

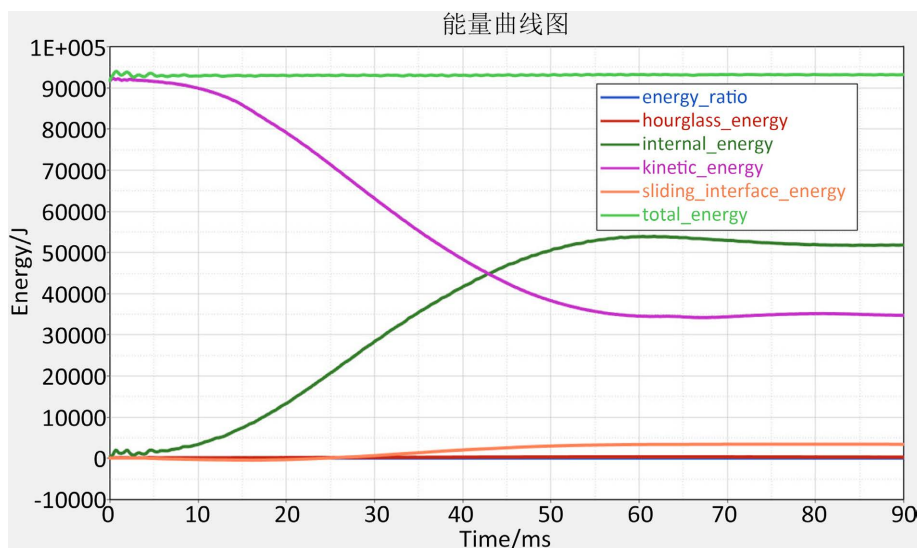


Figure 2. Energy curve of simulation model
图 2. 仿真模型能量曲线图

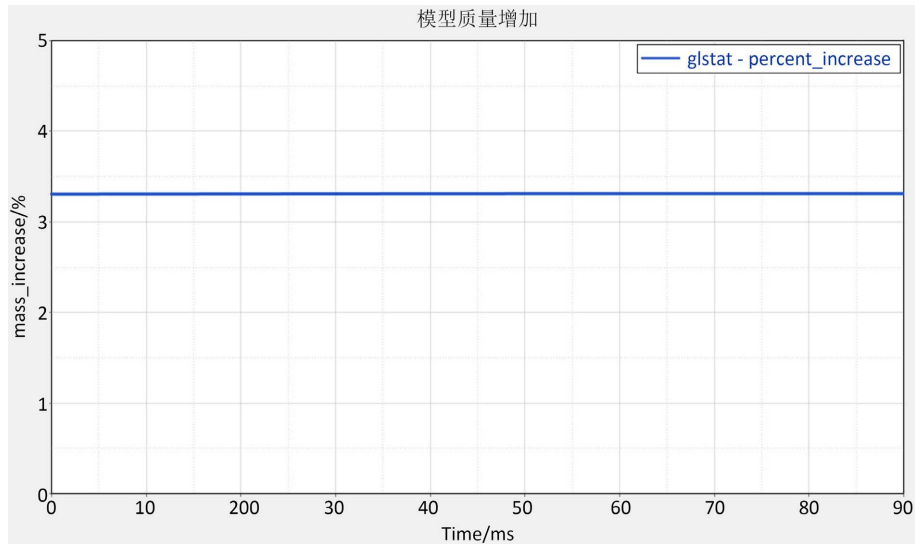


Figure 3. Model mass increase graph

图 3. 模型质量增加曲线图

在整车侧碰工况中，B 柱和车门起到了抵抗冲击和传递碰撞载荷的作用，其性能好坏会直接影响车辆的耐撞性能和车内乘员的安全性[13]，所以需要测量 B 柱各位置的侵入量以及车门的侵入速度，并与以往车型开发积累的经验设计出的目标值进行对比分析。B 柱和车门的侵入量及侵入速度如表 1 所示，满足开发目标要求。

Table 1. B pillar and door intrusion and intrusion speed

表 1. B 柱和车门的侵入量及侵入速度

测量位置	度量	目标值	仿真结果
B 柱 R-point + 500mm	侵入量	160	112.1
B 柱 R-point + 400mm	侵入量	165	119.3
B 柱 R-point + 300 mm	侵入量	180	117.4
B 柱 R-point + 200 mm	侵入量	180	114.6
B 柱 R-point + 100 mm	侵入量	190	109.8
B 柱 R-point	侵入量	200	104.3
B 柱 R-point - 100 mm	侵入量	200	100.1
B 柱 R-point - 200 mm	侵入量	180	90.7
B 柱腰线	侵入速度	8.5	6.2
前门胸部	侵入速度	8.0	6.1
前门腹部	侵入速度	8.5	6.2
前门骨盆	侵入速度	9.0	6.2

但是，在查看后门门锁区域时，发现侧门外板对应门锁外开拉杆区域，出现深 V 凹陷变形[4]，如图 4 所示，通过剖视图查看，外板已经挤压到门锁拉杆，如图 5 所示。

经测量拉杆位移，拉杆向下移动量为 9.3 mm，如图 6 所示，根据门锁设计图纸，拉杆下移 8~12 mm 为解锁行程，如图 7 所示。因此若按此状态进行试验，存在车门开启风险，需要进行优化。



Figure 4. Deformation diagram of door panel
图 4. 车门外板变形图

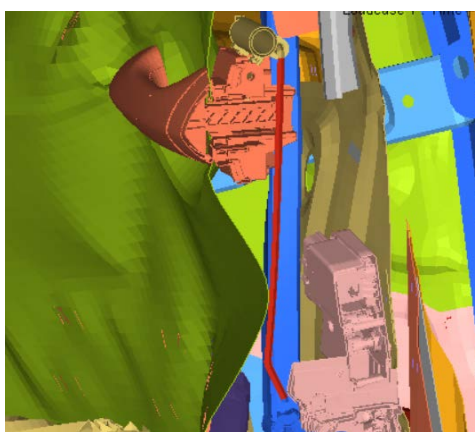


Figure 5. Cutaway view
图 5. 剖视图

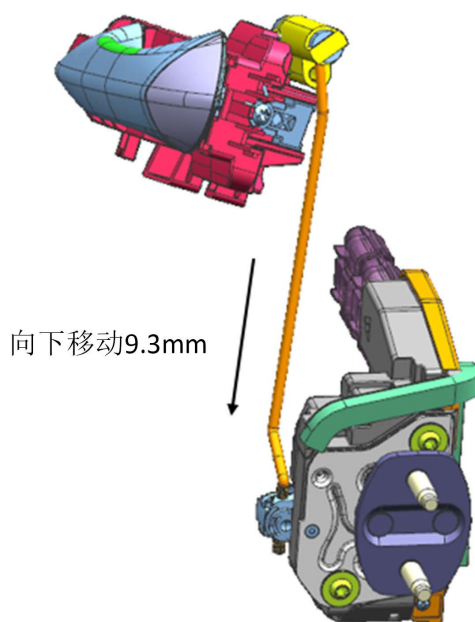


Figure 6. Drawing of rod displacement
图 6. 拉杆位移图

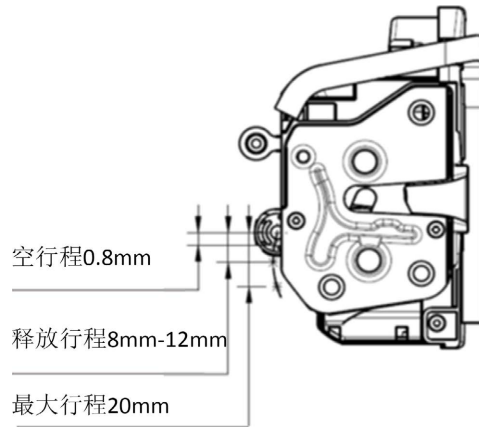


Figure 7. Door lock design drawing
图 7. 门锁设计图纸

5. 结构优化及试验验证

根据仿真结果已知 B 柱及车门侵入量已经满足开发目标要求，因此，只需要将车门开启的风险优化即可。优化改进方向是通过提高门锁区域的刚度阻止其发生凹陷变形后挤压到拉杆。通过分析确定了在车门内增加一个从左到右的加强板的设计思路[9]，如下图 8 所示，定义为方案 1；以及仅在门锁周边增加加强板的设计思路，如下图 9 所示，定义为方案 2。方案 1 及方案 2 对比如下表 2 所示。

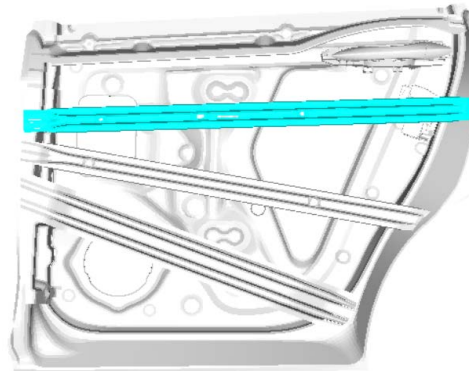


Figure 8. Case 1
图 8. 方案 1

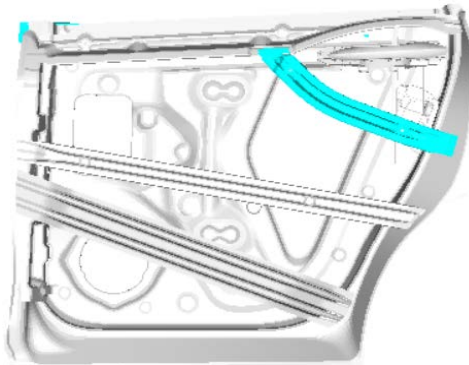
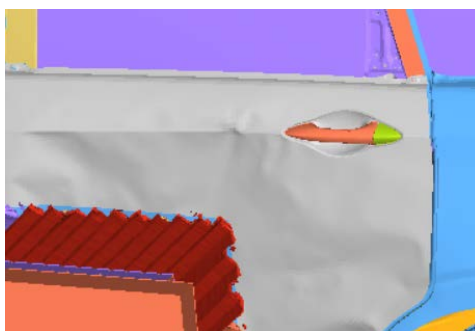


Figure 9. Case 2
图 9. 方案 2

Table 2. Optimization scheme description**表 2.** 优化方案描述

增加部件的规格	材料	厚度	重量
方案 1	DC01	0.6 mm	0.5 kg
方案 2	DC01	0.6 mm	0.2 kg

根据以上方案，重新建立仿真模型进行计算，结果对比如下图 10、图 11 所示：方案 1 及方案 2 均无凹陷变形，车门外板与拉杆未发生接触，车门开启风险均得到解决。结合成本考虑，方案 2 结构更紧凑，重量更低，成本占优，因此按照方案 2 进行造车试验验证。

**Figure 10.** Case 1 deformation pattern**图 10.** 方案 1 变形图**Figure 11.** Case 2 deformation pattern**图 11.** 方案 2 变形图**Figure 12.** Vehicle and barrier position**图 12.** 整车及壁障位置

根据法规要求,调整整车及 MDB 壁障位置,如图 12 所示,之后将壁障小车牵引至 50 km/h 的速度撞击车辆驾驶员侧。

最终试验后,车门未开启,结果满足设计要求,如图 13 所示,且试验后车身碰撞区域的变形与仿真结果一致,说明了模型的有效性。



Figure 13. Test deformation diagram

图 13. 试验变形图

6. 结论

本文通过有限元仿真分析解决了某车型在开发过程中车门开启的问题,避免了试验不满足目标而需要重新造车进行验证的繁琐流程,并得出以下结论:

- 1、基于法规要求所搭建的有限元模型与试验结果具有较高的吻合度,可按照该建模方法分析其他车型。
- 2、侧面碰撞中防止车门开启的方案,在门锁周边加加强板,能有效改善车门外板的变形,效果较好,同时成本低。
- 3、本文的建模方法和优化思路同样可应用于其他车型开发当中,以提高研发效率减低开发成本。

基金项目

柳州市科技计划项目资助(2021AAA0103)。

参考文献

- [1] 高荣伟. 各国汽车数据安全与法规[J]. 检察风云, 2023(6): 16-17.
- [2] 中华人民共和国标准化委员会. 汽车侧面碰撞的乘员保护: GB20071-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [3] 卢永胜. 铝合金车身正碰与侧碰仿真分析及结构优化[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2021.
- [4] 操英冬. 基于侧碰安全性的电动汽车轻量化设计[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2020.
- [5] 杨军, 苏东, 陈小刚, 等. 基于侧碰安全性的车门开启问题研究及其结构优化与验证[J]. 汽车科技, 2019(3): 57-63.
- [6] 马聪承, 兰凤崇, 陈吉清, 等. 泡沫铝填充门槛横梁改善汽车侧碰安全性研究[J]. 汽车工程学报, 2020, 10(1): 34-39.
- [7] 梁卓, 吴磊. 客车侧翻仿真全程计算方法的研究[J]. 广西科技大学学报, 2017, 28(2): 74-78.
- [8] 农天武, 黄惠星, 吴磊, 黄志杰. 基于某新能源车后排安全带固定点强度的车身局部结构优化[J]. 广西科技大学学报, 2020, 31(4): 112-117.

-
- [9] 邓元, 黄民山, 杨淑妮. 侧面碰撞车门解锁问题结构优化[J]. 汽车零部件, 2021(2): 61-64.
- [10] 陈军, 成艾国, 陈涛, 等. Beam 与 Solid 两种点焊模拟方法对比研究[J]. 中国机械工程, 2012(19): 2388-2392.
- [11] 李井吉. 某电动汽车正面碰撞安全性能分析与结构改进研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 中北大学, 2021.
- [12] 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]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [13] 吴石, 赵洪伟. 车门侧面碰撞过程中车门与 B 柱变形的一致性分析[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2020, 25(5): 106-112.