

# 某乘用车正面碰撞仿真分析

赵宇, 钟兵\*, 吴芷红

山东交通学院汽车工程学院, 山东 济南 250357

**摘要:**为准确评价整车正面碰撞过程中的碰撞安全性能,采用CATIA软件建立整车几何模型,导入HyperMesh软件搭建整车有限元模型,结合LS-DYNA软件模拟汽车正面碰撞,并采用HyperMesh软件分析模型可靠性及碰撞过程中整车变形、B柱加速度、各部件变形等。仿真结果表明:整车碰撞期间,增加质量与总质量的比为2.16%,沙漏能与总能量的比为1.02%,整车模型可靠性满足要求;左右两侧B柱最大加速度分别约为42.5g( $g$ 为自由落体加速度)、45.4g,满足中国新车评价规程中两侧B柱最大加速度不得超过72g的要求;该车前防撞梁最大变形为178.1mm,前吸能盒最大变形为315.9mm,前纵梁最大变形为618.9mm,该车前部吸能部件具有良好的吸能效果;前围板最大变形为137.8mm,满足碰撞试验前围板最大变形不超过150mm的限值要求,可以保护驾驶员及乘客的安全。

**关键词:**有限元模型;正面碰撞;B柱加速度

**中图分类号:**U461.91

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6397(2024)03-0104-05

**引用格式:**赵宇,钟兵,吴芷红.某乘用车正面碰撞仿真分析[J].内燃机与动力装置,2024,41(3):104-108.

ZHAO Yu, ZHONG Bing, WU Zhihong. Simulation analysis of frontal collision for a passenger car[J].

Internal Combustion Engine & Powerplant, 2024,41(3):104-108.

## 0 引言

随着汽车保有量的增加,行车安全越来越受关注,汽车所有碰撞类事故中,发生概率最高的是正面碰撞,占事故总数的一半以上,成为人们交通出行的安全隐患,研究汽车正面碰撞可有效提高整车安全性能,降低交通事故发生率<sup>[1-3]</sup>。随着计算机技术的应用发展,研究人员利用计算机模拟技术对整车碰撞试验进行了深入研究。田镇明<sup>[4]</sup>以某车的防撞梁总成成为研究对象,搭建不同碰撞工况下的有限元模型并研究了防撞梁总成结构对车身耐撞性的影响,发现防撞横梁和吸能盒的厚度、结构影响车身耐撞性。常伟波等<sup>[5]</sup>提出了基于正面碰撞的轿车车身正向概念设计流程,为车身达到各项预期性能提供研究基础。刘金钊<sup>[6]</sup>对某电动乘用车碰撞结果进行了分析,提出了基于乘员安全性的车身轻量化设计方法,实现了车身零件厚度的最优布置。

本文中以某乘用车为研究对象,搭建整车有限元模型,并完成对该车辆正面碰撞过程中整车安全性能的分析,为后续正面碰撞试验提供数据参考和理论依据。

## 1 整车有限元模型建立及可靠性分析

### 1.1 网格划分

采用CATIA软件建立整车几何模型,导入HyperMesh软件搭建整车有限元模型,其中车门、板壳、梁、轮胎等结构以壳网格进行划分,发动机、变速器等结构以体网格进行划分。通常整车网格划分越详

收稿日期:2024-04-10

基金项目:教育部产学研合作协同育人项目(202002147007)

第一作者简介:赵宇(1998—),男,河南商丘人,硕士研究生,主要研究方向为汽车有限元分析,E-mail:2779870321@qq.com。

\*通信作者简介:钟兵(1967—),男,四川威远人,教授,主要研究方向为汽车性能仿真分析,E-mail:Zhongbing67@163.com。

细,模拟结果越精确,但模型过于细化导致计算量过大、单元时间步长过小,影响计算效率<sup>[7-9]</sup>。为保证计算精度,仅对车身前部关键吸能部件进行详细的网格处理,网格尺寸为 $6\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ ;车身中部变形不大的部件,适当放大网格尺寸,网格尺寸为 $8\text{ mm}\times 8\text{ mm}$ ;车身后部几乎不涉及变形的部件,采用较为稀疏的网格进行划分,网格尺寸为 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。检查划分后的整车网格模型,检查标准为:目标尺寸为 $10\text{ mm}$ ,细长比为 $5$ ,偏斜角为 $40^\circ$ ,翘曲角为 $15^\circ$ ,雅克比为 $0.6$ ,最小长度为 $5\text{ mm}$ ,最大长度为 $15\text{ mm}$ ,四边形最大内角为 $140^\circ$ ,四边形最小内角为 $40^\circ$ ,三角形最大内角为 $120^\circ$ ,三角形最小内角为 $30^\circ$ ,最小高度为 $4\text{ mm}$ 。划分后的整车网格模型如图1所示,图中 $y$ 方向垂直于 $xz$ 平面。

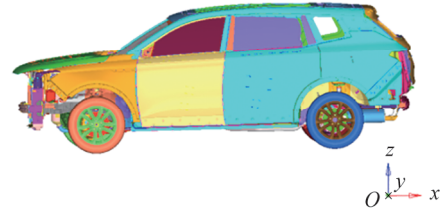


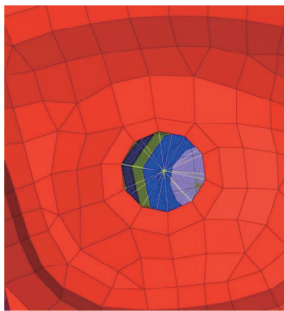
图1 整车网格模型

### 1.2 材料设置

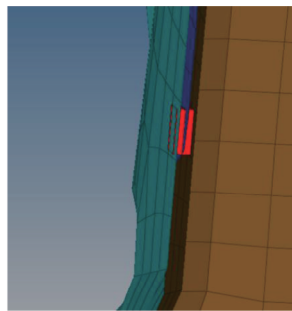
整车零部件大多采用冲压成型进行加工,本文中模型材料主要为DC05、D03、B180H1E+Z、B210P1等弹、塑性材料,其中车门所采用的材料为B180H1E+Z,材料密度为 $7.85\text{ g/cm}^3$ ,弹性模量为 $205\text{ MPa}$ ,泊松比为 $0.3$ ,屈服应力为 $224\text{ kPa}$ 。

### 1.3 连接设置

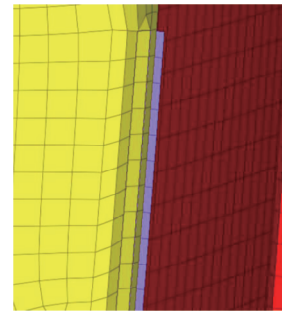
建立有限元模型时,各部件之间主要采用螺栓、焊点、粘胶等方式连接,不同连接方式如图2所示。本文中采用RBE2单元模拟孔与孔之间的螺栓连接,使用SPOT单元模拟各部件之间焊点连接,采用实体单元和RBE3单元模拟粘胶连接。



a) 螺栓连接



b) 焊点连接



c) 粘胶连接

图2 各部件连接方式

### 1.4 接触设置

整车碰撞时,各部件之间互相挤压,需在各部件之间设置正确的接触,否则各部件之间出现相互穿透现象,影响计算结果<sup>[10-11]</sup>。利用HyperMesh软件中的interfases命令进行接触设置,整车自接触类型为Sing Surface,焊点、粘胶与车身的接触类型为Nodes To Surface。

### 1.5 控制参数

按照文献[12]要求,测试整车以 $50\text{ km/h}$ 的速度撞击刚性壁障。大量模拟数据及试验数据表明,整车碰撞结束时间约为 $100\text{ ms}$ <sup>[13]</sup>。本文将碰撞结束时间设置为 $100\text{ ms}$ ,采用HyperMesh软件设置重力加速度,取 $9.81\text{ m/s}^2$ ,方向设置为 $z$ 。

### 1.6 可靠性分析

正面碰撞过程非常复杂,为保证计算正常进行,汽车碰撞期间某些部件的质量自动增加,增加质量与总质量的百分比 $k$ 应小于 $5\%$ ,否则模型不可靠<sup>[14]</sup>;在碰撞仿真计算中通常使用缩减积分的计算方法,这种计算方法会产生沙漏现象,即物体发生变形,但却不消耗能量,是一种非物理的零能变形模式。通常沙漏能应小于总能量的 $5\%$ ,否则模型不可靠<sup>[15]</sup>。采用LS-DYNA软件模拟该车辆正面碰撞试验,结合HyperMesh软件分析整车碰撞模型增加质量与总质量的百分比 $k$ 如图3所示,整车碰撞过程中能量曲线

如图4所示。

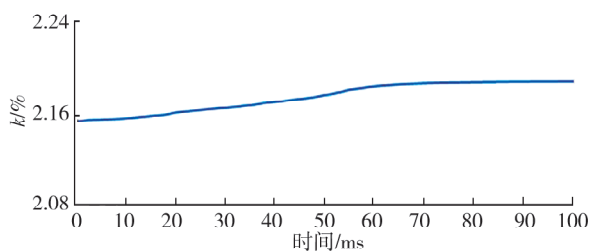


图3 碰撞期间增加质量与总质量的百分比

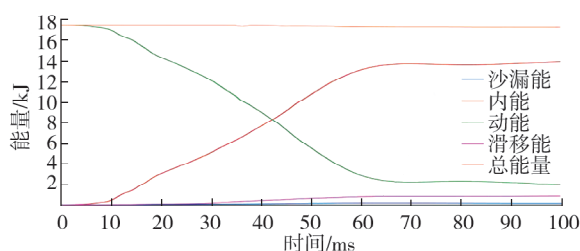


图4 汽车整车碰撞过程中能量曲线

由图3可知: $k$ 约为2.16%,低于5%,满足模型仿真要求。由图4可知:整车碰撞过程中,总能量包括沙漏能、内能、动能、滑移能;整车在碰撞过程中的能量曲线都比较平滑,总能量曲线基本为直线,符合能量守恒定律;动能和内能曲线基本呈镜像关系,表明碰撞过程中动能和内能符合能量转化规律;碰撞过程中沙漏能一直较小,在64 ms左右最大,为1 766.68 J,沙漏能与总能量的百分比约为1.02%,小于5%,满足仿真模型可靠性要求,计算结果可信。

## 2 整车正面碰撞结果分析

### 2.1 整车变形分析

采用 HyperMesh 软件,仿真模拟整车碰撞不同时刻的变形图如图5所示,图中  $y$  方向垂直于  $xz$  平面。

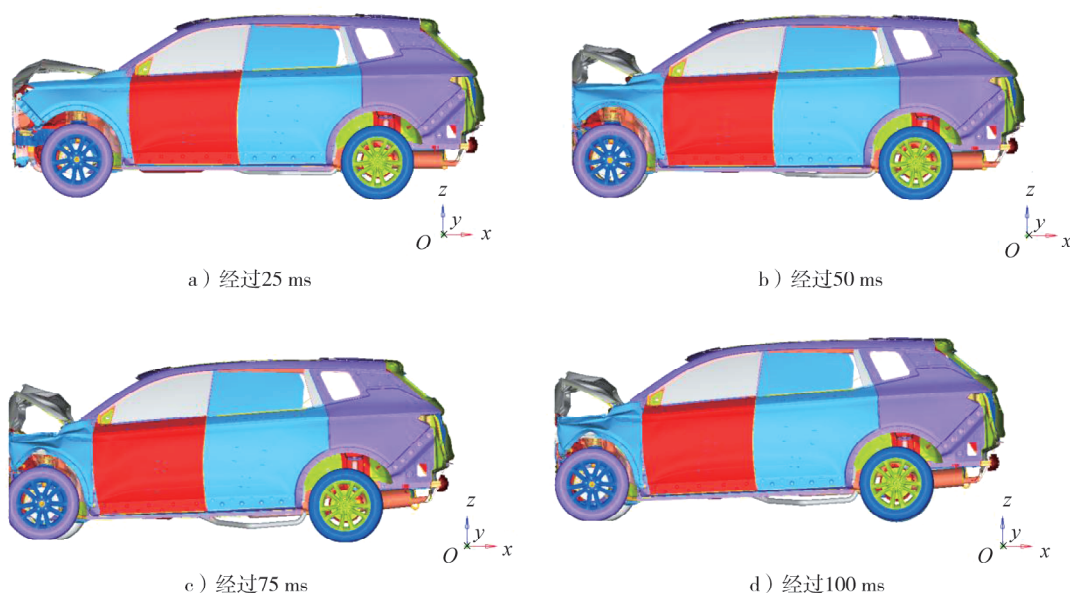


图5 整车碰撞不同时刻的变形图

由图5可知:整车遭受正面碰撞后,前防撞梁、吸能盒在前25 ms完全变形,发动机舱盖轻微翘起,汽车前部发生了轻微变形;随着碰撞逐步深入,经过50 ms前纵梁部分完全变形,发动机舱盖完全翘起,前翼子板发生变形,但此时轮胎尚未与刚性墙发生接触;经过75 ms轮胎与刚性墙接触,明显发生变形,前翼子板变形增大,汽车尾部有部分抬起;经过100 ms整车在刚性墙反作用力的作用下后退,前机舱各部件及轮胎与刚性墙开始脱离,碰撞结束。

### 2.2 加速度分析

采用 HyperMesh 软件分析左、右两侧B柱加速度曲线,为避免车身部件受到撞击变形影响加速度读

取精度,将测量点设置在B柱底端与门槛梁交界处,左、右两侧B柱加速度曲线如图6所示。

由图6可知:汽车碰撞期间,左侧B柱最大加速度约为42.5g( $g$ 为自由落体加速度),右侧B柱最大加速度约为45.4g,左、右两侧最大加速度相近,均满足文献[12]中不超过72g的标准要求,表明该车型受到撞击时可较好的保护驾驶员的头部。

### 2.3 各部件变形分析

前防撞梁、吸能盒和前纵梁是整车碰撞中吸收动能和缓解碰撞冲击力的主要装置,分析前防撞梁、吸能盒和前纵梁的吸能效果对汽车安全性能至关重要。

车辆发生正面碰撞时,前防撞梁与刚性墙最先接触,将碰撞时产生的能量传递给前吸能盒以及前纵梁等车身部件,起到吸收并耗散碰撞能量的作用;吸能盒在正面碰撞过程中的作用是将防撞梁吸收的碰撞能量进行汇总、吸纳,并以自毁的方式吸收撞击能量,减轻碰撞产生的冲击力<sup>[16]</sup>;当整车遭受比较严重的正面碰撞时,前纵梁通过自身的变形吸收碰撞能量,起主要吸能作用<sup>[17]</sup>。前围板是隔绝发动机舱与驾驶室的重要装置,是汽车碰撞时保护车上驾驶员和乘客的最后一道防线。当整车发生比较严重的碰撞时,前围板承受来自发动机舱的冲击,发生变形;如果前围板变形过大,会对前排人员脚部和腿部造成伤害;在碰撞试验中,前围板的侵入量一般要求不大于150mm<sup>[18]</sup>。采用HyperMesh软件分析整车各部件变形,结果如图7所示,图7a)中 $x$ 垂直于 $yz$ 平面,图7b)中 $z$ 垂直于 $xy$ 平面。

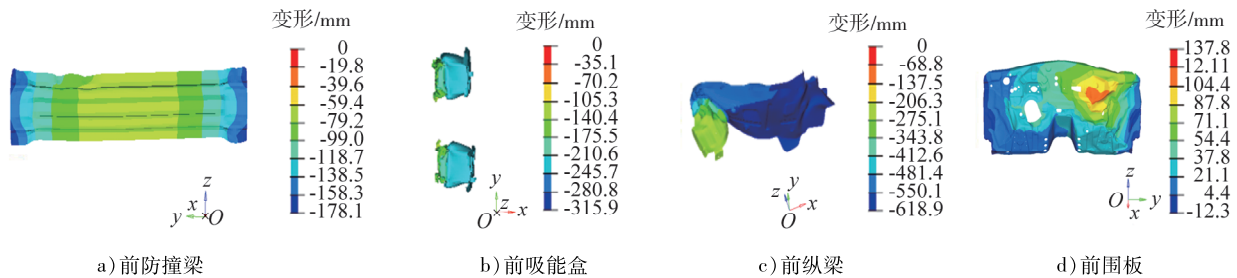


图7 整车各部件变形图

由图7a)可知:前防撞梁相对于车身的最大变形为178.1mm,说明汽车遭受撞击时,前防撞梁起到了降低车速和吸收能量的作用。由图7b)可知:吸能盒相对于车身的最大变形为315.9mm,说明在汽车碰撞时,前吸能盒起到了一定的缓冲作用。由图7c)可知:前纵梁相对于车身的最大变形为618.9mm,说明前纵梁明显减缓了碰撞冲击的速度并吸收了大部分碰撞所产生的能量。由图7d)可知:以后纵梁下部建立局部坐标系,副驾驶侧的上半部变形最大,为137.8mm,满足碰撞试验前围板最大变形不超过150mm的要求,可以更好地保护驾驶员和乘客的安全。

## 3 结论

1)采用HyperMesh输出整车有限元模型,计算分析整车在碰撞中的质量、能量变化,验证整车碰撞模型的可靠性。

2)左右两侧B柱最大加速度分别约为42.5g、45.4g,符合中国新车评价规程中两侧最大加速度不超过72g的标准,说明整车性能良好。

3)汽车的前防撞梁、吸能盒以及前纵梁在碰撞中有良好的吸能效果,前围板最大变形出现在副驾驶侧上半部分,为137.8mm,符合碰撞试验最大变形不超过150mm的要求。

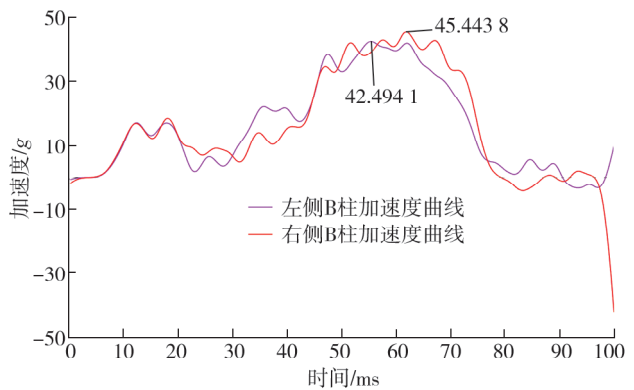


图6 左、右两侧B柱加速度曲线

**参考文献:**

- [1] 陈灿. 某型电动汽车正面碰撞分析与结构优化设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2019.
- [2] 杨辉. 汽车碰撞试验法规综述[J]. 上海标准化, 2006(6): 16-20.
- [3] 王喆. 基于HyperMesh与LS-DYNA汽车正面碰撞分析[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2018.
- [4] 田镇明. 汽车前防撞梁总成安全性能分析与轻量化设计[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2024.
- [5] 常伟波, 张维刚, 崔杰, 等. 基于正面碰撞的轿车车身正向概念设计的研究[J]. 汽车工程, 2012, 34(5): 447-451.
- [6] 刘金钊. 电动乘用车有限元分析及结构轻量化设计[D]. 淄博: 山东理工大学, 2016.
- [7] 王大志, 于成祥. 微型电动汽车正面碰撞结构耐撞性设计[J]. 汽车安全与节能学报, 2010, 1(1): 49-52.
- [8] 赵婷婷, 王军杰. 微客车架结构抗撞性能的分析与优化研究[J]. 机械设计与制造, 2011(6): 73-75.
- [9] AL-THAIRY H, WANG Y C. Simplified FE vehicle model for assessing the vulnerability of axially compressed steel columns against vehicle frontal impact[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2014, 102: 190-203.
- [10] 郑炳杰. 汽车正面碰撞仿真分析及车身前部吸能部件的优化[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [11] 田雨蒙. 全铝车身电动汽车正面碰撞耐撞性分析及结构优化[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [12] 中国汽车技术研究中心有限公司. C-NCAP管理规则: 附录A: 正面100%重叠刚性壁障碰撞试验规程(2021年版)[Z]. 天津: 中国汽车技术研究中心有限公司, 2021.
- [13] 李文龙. 纯电动汽车正面碰撞安全性分析与优化[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [14] 郑月楠. 车辆碰撞事故仿真与再现的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.
- [15] 韩睿因. 某车型正面100%刚性壁障碰撞分析与结构改进研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2019.
- [16] 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.
- [17] 包守忠. 整车碰撞事故仿真与再现研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [18] 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]. 太原: 中北大学, 2021.

## Simulation analysis of frontal collision for a passenger car

ZHAO Yu, ZHONG Bing\*, WU Zhihong

School of Automotive Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China

**Abstract:** To accurately assess the safety performance of a vehicle during a frontal collision, a geometric model of the entire vehicle is established using CATIA software. The finite element model of the entire vehicle is built using HyperMesh software, and the frontal collision is simulated using LS-DYNA software. HyperMesh software is then used to analyze the reliability of the model as well as the deformation of the entire vehicle, B-pillar acceleration, and the deformation of various components during the collision. The simulation results indicate that during the collision, the ratio of added mass to total mass is 2.16%, and the ratio of hourglass energy to total energy is 1.02%, meeting the reliability requirements of the vehicle model. The maximum accelerations of the left and right B-pillars are 42.4g and 45.4g, respectively, satisfying the China New Car Assessment Program's requirement that the maximum acceleration of the B-pillars on both sides should not exceed 72g. The maximum deformation of the front bumper beam is 178.1 mm, the maximum deformation of the front energy absorber box is 315.9 mm, and the maximum deformation of the front longitudinal beam is 618.9 mm, which indicates that the front energy-absorbing components of the vehicle have good energy-absorbing effects. The maximum deformation of the front bulkhead is 137.8 mm, meeting the collision test limit of a maximum deformation of no more than 150 mm, which better protects the safety of the driver and passengers.

**Keywords:** finite element model; frontal collision; B-pillar acceleration

(责任编辑: 胡晓燕)