

整车正面碰撞有限元仿真分析

刘 丰 夏 斌 谭子彦

东莞职业技术学院 广东省东莞市 523808

摘要: 汽车在行驶过程中, 无论哪个面受到碰撞, 都会带来伤害和生命财产损失。在发生碰撞事故中, 统计数据显示正面碰撞的概率最高。本文借助有限元分析软件Hyperworks, 建立整车正面碰撞模型, 通过仿真得到整车加速度曲线、前围板入侵量、转向管转向管柱跳动量指标验证是否满足开发目标。

关键词: Hyperworks; 碰撞模型; 加速度曲线; 前围板入侵量; 跳动量

Finite element simulation analysis of vehicle frontal collision

Feng Liu, Bin Xia, Ziyang Tan

Dongguan Vocational and Technical College, Dongguan City 523808

Abstract: During the process of automobile operation, collisions from any side can result in injuries and damage to both life and property. Among collision accidents, statistical data show that frontal collisions have the highest probability. This paper utilizes finite element analysis software, HyperWorks, to establish a frontal collision model for the entire vehicle. Through simulation, the acceleration curve of the entire vehicle, intrusion depth of the front panel, and steering column deflection are obtained and used to verify if they meet the development objectives.

Keywords: Hyperworks; Collision model; Acceleration curve; Amount of front coaming intrusion; jerk value

一、概述

随着汽车工业的快速发展, 汽车带来了人们众多的生活便利, 但汽车保有量的快速增长也带来了各种交通事故的发生, 为了降低事故的发生率。近些年来, 汽车各个方面的安全措施持续加强, 但是车辆发生碰撞的情况还是时有发生, 而且在短时期内是无法避免的^[1]。

根据汽车发生的碰撞交通事故数据, 在发生碰撞事故时, 正面碰撞的概率最高, 大概占到碰撞事故中的40%左右, 尾部碰撞排在第二约占23%左右, 接下来的为左右两个侧面碰撞约占20%和17%^[2], 具体数据如图1所示。因此, 在汽车设计研发过程中, 通过有限元软件建立整车碰撞模型不仅可以确保整车安全性, 降低碰撞带来的危害, 还可以给企业降低生产成本, 加快研发进程。

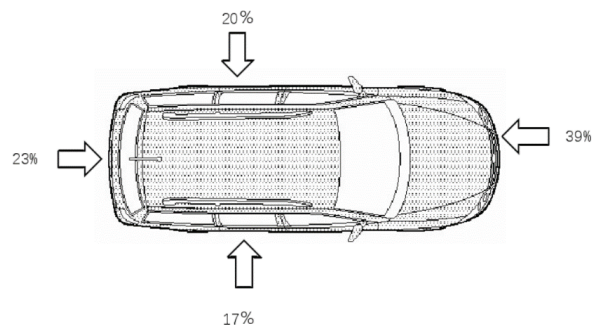


图1 整车碰撞概率示意图

二、有限元方法理论

有限元单元法通过对整个问题建立数学模型, 然后对整个问题区域进行分解成简单的部分, 这种简单部分就称作有限元。在这个过程中, 数学模型的建立和相关有限元的分析处理是至关重要的^[3]。

整车碰撞仿真借助计算机有限元仿真技术, 建立整车有限元模型。在有限元模型中设置整车的各个参数, 设定正面碰撞工况, 提交计算机求解运算, 输出仿真结果对比分析^[3]。相比于整车试验碰撞, 使用有限元仿真方法不仅可以节省大量的时间成本, 提高研发效率,

本研究成果受东莞职业技术学院科研基金资助(立项编号: 2022d05)

还能够降低企业生产成本，同时还能够借助有限元软件显示各种工况下的应变应力图及相关数据，完善产品质量。

整车碰撞是一个非常复杂的过程，仅依靠线性有限单元法不够全面，难以判定。因为碰撞发生时，包含结构变形、零件转动、冲击载荷等，而且变形过程中还存在着相互影响，使用非线性有限单元法能够更加全面分析，计算结果也更加符合实际。进行有限元模型仿真时可以对碰撞影响较小的部件进行简化，研究表明，简化后的模型在减少仿真时间的同时，并不会降低结果的可靠性^[4]。

三、整车有限元模型建立

1. 三维建模及几何处理

在进行有限元仿真之前，需要建立整车三维模型，汽车建模常用的三维软件有CATIA和UG。三维模型中应反应汽车各零部件的连接关系及钣金厚度。建好的三维模型并不能直接进行有限元分析，还需对其进行几何处理。如将重复的特征及硬点删除，部分导入的模型可能会有零部件缺失需要对其进行修复，另外处理过程中可对模型作部分简化，如删除刮水器、大灯、装饰件等对不影响整体碰撞计算结果的小零部件。对于防撞梁、纵梁、四门两盖（前后左右两侧车门、发动机前舱盖、后尾箱盖）等受力部件则需着重考虑。

2. 网格的划分

网格的划分直接影响着有限元分析仿真结果，一般来说，网格单元越小画的越密，有限元分析的精度越高；网格单元过于粗糙，有限元的结果可能是不准确的。但是网格单元太小，网格密度太密，计算时间会大幅度增加，所需的计算资源也会增加，因此需要综合考虑计算时间成本和分析结果准确两方面，选择合理的单元类型及网格大小。本文以四边形单元CQUAD4为主，过渡单元用三角形CTRIA3，网格单元大小为5mm，像车身、车门、发动机前舱盖。后尾箱盖等主要是由薄板冲压而成，在有限元中可以采取抽中面赋予厚度设置为壳单元，网格划分好之后，还需对网格进行检查。本文对网格单元质量检查后均符合规定要求。

3. 材料的定义

整车是由众多零部件组装而成，不同的零部件材料属性也不一样。大致可以分为金属和非金属两大类，金属材料包括高强度钢板、低碳钢、铝合金等。非金属材料包括工程塑料、树脂基材料等。在进行有限元分析仿真时，需要定义各零部件的材料属性，如：密度、泊松

比、弹性模量等。

4. 接触连接的定义

零部件之间通过焊点、焊缝、螺栓、运动副、粘接等方式连接在一起组成整车。汽车发生碰撞时，各零部件之间都会通过连接点等传递力，产生相互挤压变形的现象，因此需要对零部件之间设置接触连接定义。否则会出现力无法传递及穿透现象。在整车有限元建模时，需要明确各零部件之间的连接类型，如：有些内板外板之间是通过焊点焊缝连接，有些零部件是通过螺栓连接，前舱盖后尾箱门和车身之间还存在着运动副连接，有些还添加了粘接等。此外，整车分布大量的焊点，在建模时千万不可出现缺漏的情况，以免影响分析结果。

接触连接定义好之后，整车碰撞模型在计算时可以避免因模型不足而发生的计算迭代停止，同时也可以实现仿真的可行性，提高计算速度。

5. 刚性墙的设定

进行整车碰撞有限元仿真分析时，需要选定一个刚性物体作为参照物，模拟与整车发生正面碰撞工况。有限元软件中，有单独提供的刚性单元模块进行选择。正面碰撞时，选取整车前端面作为与刚性墙的接触面，然后设置整车与刚性墙的碰撞距离。距离设置的长短直接影响着仿真计算时长，通过查阅参考文献，一般设置的参考距离为1至2米，本研究设置的碰撞距离为1.5米。

建立的正面碰撞工况如图2所示，碰撞初始速度设为50km/h。整车模型的质量为1466kg，模型中共有499561个单元、478624个节点。

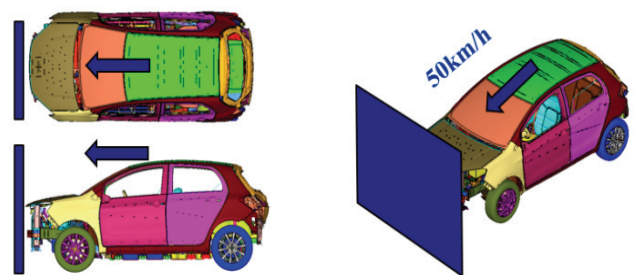


图2 正面碰撞示意图

四、计算结果分析

经过有限元仿真计算得到的整车正面碰撞变形如图3所示，从图可以看出整个模型能够按照设定的路线与刚性墙进行正面碰撞，符合设置条件，未发生偏离。碰撞行驶过程中不存在零部件与整车发生脱落未连接的现象，说明个零部件与整车车身之间连接合理。

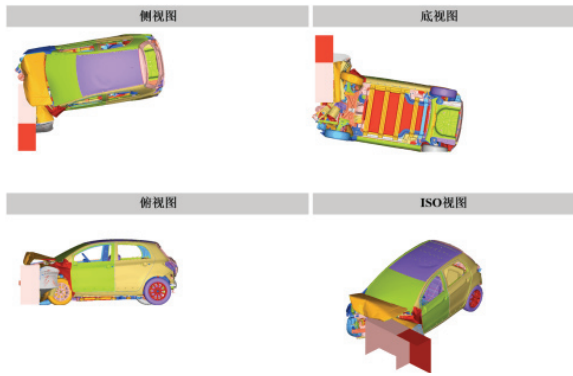


图3 整车正面碰撞变形图

模型能量变化如图4所示，变化平稳，未出现大幅度波动，碰撞过程中，汽车从设定的初始速度50KM/H到与刚性墙接触后慢慢降为0KM/H。从图中可以看出动能从最开始的 1.4×10^8 J将为0J，内能从0增加到 1.3×10^8 J。总能量变化范围为3%，小于规定的5%，符合能量守恒定律，故可认为总能量的变化符合要求，模型可靠性良好^[5]。计算结果对整车碰撞试验具有较高的参考价值。

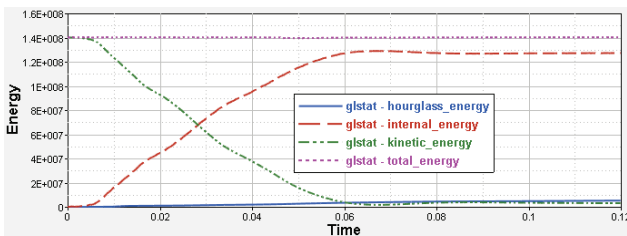


图4 模型能量变化图

在整车碰撞过程中，车内驾驶员及乘客所受到的伤害通常通过冲击力来评价，整车碰撞试验时会有专门的假人模型来检测冲击力带来的伤害。在有限元仿真分析，可以用整车加速度来衡量冲击力的大小，加速度的大小直接影响着驾驶员及乘客的安全^[2]。汽车发生正面碰撞时，发动机前舱盖和A柱都会在碰撞中发生严重变形，而B柱底端发生的变形量基本没有，因此可以测量B柱底端两侧的加速度来衡量驾驶员及乘客所受到的冲击力，图5为左右两侧B柱的加速度曲线图。

从图中通过整车加速度数值，可以看出在碰撞过程中驾驶员及乘客所受到的冲击力大致可以分为三个阶段。第一个阶段为0ms-10ms时刻，整车与刚性墙刚开始接触，由于刚性墙的阻挡，整车突然受到一向后的反作用力，整车从初始速度50KM/H突然减小，导致整车的加速度突然上升，左右两侧B柱加速度从0增加到20g左右。第二阶段为10ms-60ms，此时整车前端的防撞梁与吸能装置继续与刚性墙接触，直到完全压溃，这个过程

中，防撞梁与吸能装置会吸收一部分能量，造成整车的加速度大小出现下降，但整车由于惯性作用及动能还未完全消耗，继续保持着向前的动力，在60ms时刻左右，加速度达到峰值。在60ms-160ms时刻内，整车开始逐渐与刚性墙脱离，加速度开始逐渐减小到0。可以看出加速度水平低于40g的目标，纵梁压溃段波形平稳，满足碰撞安全。

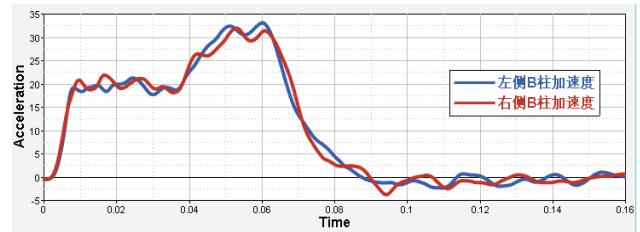


图5 整车加速度曲线图

在碰撞发生时，巨大的冲击力会造成前机舱不断压缩，在压缩过程中前机舱内的发动机变速箱等刚体部件会不断挤压前围板，造成前围板向驾驶员和副驾驶乘员的位置入侵。而入侵的位置刚好对应驾驶员和副驾驶乘员的腿部。在碰撞过程中，一旦前围板受力变形入侵量超过规定的值时，必然会对驾驶员和副驾驶乘员的腿部造成极大的伤害。因此，对前围板进行有限元仿真分析是十分有必要的，前围板入侵量云图如图6所示，从图中可以看出前围板发生的变形主要集中于副驾驶侧，最大入侵量为163.4mm，驾驶员侧入侵量较小，无风险。

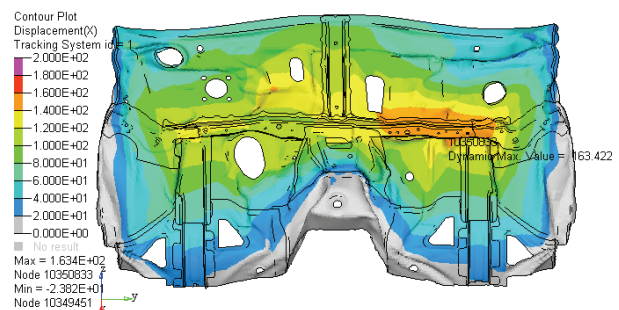


图6 前围板入侵量云图

在碰撞过程中，随着前机舱不断的溃缩，作用力会间接的传递到转向管柱，造成转向管柱发生变形跳动。转向管柱连接着方向盘，方向盘对应着驾驶员胸部和头部的的位置。当碰撞发生时，如果转向柱的变形跳动量过大超出规定的目标值，会通过连接件传递到方向盘，对驾驶员的头部和胸部造成严重的伤害。因此进行正面碰撞有限元仿真分析时，对转向管柱的跳动量分析是十分有必要的，转向管柱变形过程中会将力作用到方向盘上，通常将转向管柱的跳动量测量点设置于方向盘的中心点，

如图7所示。

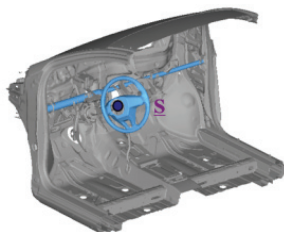


图7 转向管柱测量点示意图

跳动量的测量需要结合汽车坐标系XYZ，一般X方向指汽车纵向，即汽车前进方向；Y方向指汽车横向，而Z方向指垂直方向。碰撞发生时，转向管Y向的移动变形并不会对驾驶员造成伤害。因此在进行分析时，需重点关注其在这X、Z两个方向上的跳动量大小。表1为有限元仿真分析后转向管柱跳动量与目标值对比表，从表1可以看出转向管柱在X方向的数值为140.1mm，远超目标值60mm，Z方向的数值为93.4mm，远超目标值80mm，意味这碰撞发生时，转向管柱的变形很大可能会通过方向盘对驾驶员造成伤害。这是因为前机舱内部的发动机、变速箱等刚体以及前轮与刚性墙碰撞接触时，变形过程对转向管的固定板产生了较大的作用力，造成该跳动量数值远远大于规定目标值。

表1 转向管柱跳动量与目标值对比表

测点位置	测点	单位	建议目标	动态数值
转向管柱	S(x)	mm	<60	140.1
	S(y)	mm	-	8.2
	S(z)	mm	<80	93.4

五、结论

本文借助计算机有限元分析软件对整车进行正面碰撞模拟，在验证模型可靠具有较高的参考价值的前提下，得到以下结论：整车加速度低于规定的标准值表明整车满足GB正碰性能开发目标，正碰车身前端吸能件压溃次序合理，乘员舱侵入控制在合理水平，但转向管柱在X、Z方向上的跳动量远大于规定的目标值，为了更好的保护驾驶人员的安全，需要对该分析项做进一步的结构优化。

参考文献：

- [1]赵强, 崔俊杰, 陈祥和. 基于某商用车开发过程的正面碰撞仿真分析与优化设计[J]. 汽车实用技术, 2016, (3): 80-83.
- [2]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]. 中北大学, 2021.
- [3]张译文. 小型轿车碰撞安全性能有限元分析[D]. 哈尔滨工程大学, 2018.
- [4]Ping Zhu, Feng Pan et al. Lightweight design of vehicle parameters under crashworthiness using conservative surrogates[J]. Computers in Industry, 2013, 64(3): 280-289.
- [5]原鑫, 李擎, 苏中. 基于微分对策理论的两车碰撞问题[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2016, 31(05): 68-72.