

次级能量吸收结构在 SUV 和轿车碰撞相容性中的 仿真分析

焦志勇¹, 殷国松¹, 胡远志²

(1. 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222; 2. 中国汽车技术研究中心, 天津 300162)

摘要: 根据轿车车身高度调整计算 SUV 的作用力平均高度的数据处理方法, 验证 SUV 与轿车发生正碰时, 次级能量吸收结构有助于提升轿车的安全性能. 搭建 SUV 与轿车正碰模型, 进行正碰模型的仿真计算. 对原次级能量吸收结构进行改进, 添加薄壁结构件, 比较添加薄壁结构件前后的车身响应, 验证添加薄壁结构件有助于解决原次级能量吸收结构的问题, 提升碰撞相容性.

关键词: 作用力平均高度; 次级能量吸收结构; 碰撞相容性

中图分类号: U463.99

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2013)02-0046-04

Simulation Analysis of Secondary Energy Absorbing Structure in the SUV and Car Collision Compatibility

JIAO Zhiyong¹, YIN Guosong¹, HU Yuanzhi²

(1. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;

2. China Automotive Technology and Research Center, Tianjin 300162, China)

Abstract: According to the height of the car body, the data processing method of calculating average height of force of SUV was improved. Secondary energy absorbing structure was verified so that it could improve the safety performance of the car in the frontal collision of SUV and car. A frontal collision simulation model was built and calculated. The original secondary energy absorbing structure was optimized by adding thin-walled structures. Car body responses without and with thin-walled structures were compared. The thin-walled structures were verified. The results show that they can help solve the problems of original secondary energy absorbing structure and enhance crash compatibility.

Key words: average height of force; secondary energy absorbing structure; crash compatibility

与普通轿车相比, SUV 质量大、离地间隙大、车身高度大. 根据动量守恒定律进行理论计算表明^[1], 车体质量越小, 在碰撞中吸收的碰撞能量越大. 所以, 在 SUV 与轿车的碰撞事故中轿车吸收更多的能量, 而轿车自身结构的刚度和强度特点决定了轿车的能量吸收能力有限, 必须采取措施降低正面碰撞事故中轿车吸收的能量, 以保障轿车驾乘人员的安全. 这就要降低 SUV 在碰撞过程中对轿车的攻击性, 但同时又不能显著降低 SUV 对本车驾乘人员的保护性能, 只有通过提升车辆碰撞相容性才有可能解决这一矛盾.

近年来, 美国高速公路安全管理局 (national

highway traffic safety administration, NHTSA)、交通研究实验室 (transport research laboratory, TRRL) 与国际各大汽车制造商联合, 共同进行汽车碰撞相容性研究. 汽车碰撞相容性是指在车辆碰撞过程中, 碰撞车辆不但要保障自身的耐撞性以保护本车内驾乘人员的安全, 还要降低攻击性以尽可能地保护对方驾乘人员的安全. 只有碰撞车辆双方的人员和财产损失都降到最小, 才能说明车辆具有良好的碰撞相容性^[2].

SUV 前纵梁与轿车前纵梁在竖直方向上有较明显错位, 在正碰时两车前纵梁缺乏直接接触, 不利于发挥由前纵梁、横梁等部件组成的主要能量吸收结构

(primary energy absorbing structure, PEAS)的吸能作用,必须设法在SUV上增加额外的能量吸收结构——次级能量吸收结构(secondary energy absorbing structure, SEAS),以增加两车吸能部件的接触,使SUV吸能部件吸收更多的能量^[3]. SEAS附加在SUV的前纵梁前端下部,由两较短的薄壁梁与前纵梁前端构成三角形结构,使前纵梁前端高度范围加大,最低点高度下降,改善SUV前纵梁与轿车前纵梁之间的匹配关系,增加两车前纵梁在碰撞过程中的能量吸收量.

评价SEAS的作用效果,可以用作用力平均高度^[3](average height of force, AHOF)指标来表征.比较SUV与轿车的AHOF值,若SUV的AHOF值接近轿车的AHOF值,则可以说明SEAS发挥作用.

本文根据普通轿车与SUV正碰的实际情况调整计算作用力平均高度的数据处理方法,验证了SEAS有助于提升轿车的安全性能.搭建了SUV与轿车正碰仿真模型,比较添加薄壁结构件前后的车身响应,为提升碰撞相容性研究提供参考.

1 能量吸收区域特征与优化

选择Rav4和Neon作为研究对象,并利用国家碰撞分析中心(NCAC)的Rav4和Neon仿真模型^[4]进行计算分析.同时,参考轻型卡车的研究结果^[5]:若SUV的PEAS与Part581区(16~20 inch)的重叠区域占各自区域至少50%(如果SUV的主要前端能量吸收结构高于8 inch,要求其整个Part581区重叠),则不需要在PEAS上连接SEAS.否则,必须在PEAS上连接SEAS,且SEAS的下端必须低于Part581区的下边界.

Rav4前纵梁高度、Neon前纵梁高度和Part581区分布如图1所示. Rav4前纵梁与Part581区没有任何重叠,所以要在Rav4的PEAS上连接SEAS.

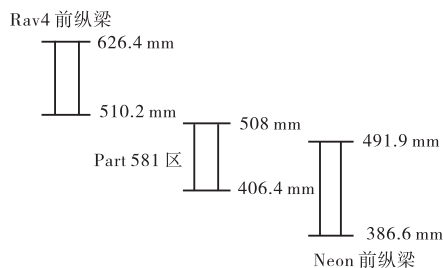


图1 Rav4和Neon的前纵梁高度与Part581区

Fig. 1 Height of front side member of Rav4 and Neon and Part 581 zone

2 能量测量方法与评价

2.1 测力墙

测力墙用于测量碰撞瞬间作用力的动态数据.实验用测力墙的尺寸为1000 mm × 1000 mm,由64个智能碰撞力测量单元(8行8列)组成,测量单元的尺寸为125 mm × 125 mm,将测力墙安装于刚性壁障上.在碰撞过程中,测力墙中的压电石英传感器能够对整个碰撞过程进行动态测量,采集每个测量单元对应位置处车辆结构在3个方向的作用力,并将数据传输至计算机.

为了达到更好的实验效果,可以在实验研究的同时,结合数学仿真的方法对车辆碰撞情况进行研究.首先根据车身前部结构的尺寸和测量精度的要求,选择适当数目的仿真测量单元,搭建测力墙仿真模型.测量Rav4和Neon作用力分布使用的测力墙仿真模型均由36个模拟仿真测量单元(4行9列)组成.每个模拟仿真测量单元的中心位置放置仿真传感器,测量模拟碰撞过程中车辆前部结构对测力墙测量单元的作用力,并输出测量单元的作用力变化曲线.

2.2 作用力平均高度

作用力平均高度(AHOF400)是车辆变形量在25~400 mm范围内作用力高度(height of force, HOF)的加权平均值.使用上述变形范围,可消除初始25 mm变形中相对软的保险杠与刚性壁障接触所产生的数据噪点,限制最大变形为400 mm是为了包含由于前纵梁褶皱而产生的作用于壁障上的作用力,并且在发动机产生明显作用力之前停止.这种方法并不过分关注前纵梁,而是着眼于变形过程中所有前部结构的作用力平均高度的度量标准. AHOF400的计算方法:在100%正面碰撞中,当车辆撞击刚性承载单元壁障,承载单元上的智能碰撞力测量单元会记录撞击过程中的作用力值,根据作用力值计算HOF.作用力高度的计算公式为

$$HOF_d = \sum_{i=1}^{36} [F_i \cdot H_i] / F_d \quad (1)$$

$$AHOF400 = \sum_{d=25}^{400} [HOF_d \cdot F_d] / \sum_{d=25}^{400} F_d \quad (2)$$

式中: d 为碰撞过程中车辆前部结构的变形量; F_i 为第 i 个测量单元测得的作用力; H_i 为第 i 个测量单元距离地面高度; $F_d = \sum_{i=1}^{36} F_i$.测力墙测量单元距离地面

高度见表 1.

表 1 测力墙测量单元距地面高度

Tab. 1 Height of measuring cell from the ground of crash force measurement

| 行 | H/mm | |
|---|---------|---------|
| | Rav4 | Neon |
| D | 923.995 | 928.892 |
| C | 677.933 | 682.830 |
| B | 431.871 | 436.768 |
| A | 185.809 | 190.706 |

由测力墙模型的计算结果可以得到每个测量单元上作用力随时间的变化曲线,记录曲线上离散点的数值,代入式(1)和式(2)计算 Rav4 和 Neon 的 AHOF400 值,可得 Rav4 的 AHOF400 值为 725 mm, Neon 的 AHOF400 值为 677 mm,前者比后者大 48 mm.

由计算结果可以看出,添加 SEAS 后 Rav4 模型的 AHOF400 值高于 Neon 模型,且差值达到 48 mm,说明在碰撞中 Rav4 模型与 Neon 模型作用力高度不匹配,Rav4 的作用力仍将作用于 Neon 车身的上部,而未充分与 Neon 车身耐撞结构件作用,SEAS 没有起到应有的保护作用.但对 AHOF400 的研究^[3]和后文正碰仿真模型的碰撞过程研究均表明,SEAS 确实发挥了防止钻撞、降低伤害、提升碰撞相容性的作用,这就产生了矛盾.

AHOF400 在车体变形达到 400 mm 时进行计算,所以乘用车前部高度被确定为引擎罩高度(其距离乘用车前端的水平距离为 400 mm).统计数据^[3]和测量数据(Neon 的引擎罩高度约为 850 mm)表明,乘用车前部高度在 850 mm 以下.而测力墙模型的最上层(表 1 中 D 行)的中心高度大于 900 mm,那么,最上层测量单元将不参与 AHOF400 的计算.采用新的数据处理方法重新计算 Rav4 的 AHOF400 值,Rav4 的 AHOF400 值为 651 mm,比 Neon 的 AHOF400 值(677 mm)小 26 mm.

Rav4 的 AHOF400 值已经低于 Neon,表明 Rav4 的作用力不会直接作用于 Neon 的乘员舱,而是更多地参与到与 Neon 耐撞部件的作用中,提高了 Neon 车身对其驾乘人员的保护性能.这与添加 SEAS 的初衷一致.

但是,两车碰撞过程中,复杂多变的碰撞过程不能完全通过测力墙模型的计算结果体现出来,碰撞面的角度、各结构的不同等因素造成碰撞过程和结果的不同.因此,需要搭建两车正碰模型,来研究两车的

碰撞响应和 SEAS 的辅助吸能作用.

3 正碰过程仿真与吸能机构改进

3.1 搭建 Rav4 与 Neon 正碰仿真模型

使用测力墙模型中的汽车模型文件搭建汽车正面碰撞仿真模型.利用具有有限元网格划分功能的 Hypermesh 软件进行前处理,将 Rav4 与 Neon 的车辆仿真模型的 K 文件(包含模型的网格、节点,模型的部件类型、材料,连接信息,接触信息)导入 Hypermesh 中,调整两车模型的相对位置,使两车模型的车头正对,车身位于同一水平面上.车身纵向沿三维坐标系的 x 轴,车身横向平行于 y 轴, z 轴垂直于 x 轴与 y 轴组成的平面.两车前身缘端点在 x 向距离为 100 mm, y 向距离为 0 mm.隐藏 OD/Rigids、Springs/Gaps、1 D 和传感器.在 Hypermesh 中进行模型的接触设置、加载设置和计算参数设置,两车加载的速度均为 56 km/h(Rav4 速度沿 x 轴正向,Neon 速度沿 x 轴负向),计算结束时间为 70 ms.然后,在两车模型的 B 柱下端门槛位置添加 Output 输出点,以在计算结果中输出乘员舱的运动参量.最后,导出两车正碰仿真模型 K 文件,利用通用显式动力分析程序 LS-DYNA 作为求解器进行计算.

3.2 正碰仿真结果分析

将计算结果文件放入图形化有限元后处理分析软件 Hyperview 中进行后处理分析^[6-9].碰撞后两车的变形情况见图 2,Rav4 前纵梁向下变形,Neon 车身上部整体变形.

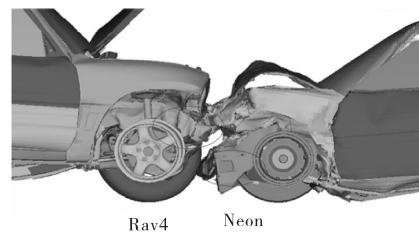


图 2 正碰中汽车变形情况
Fig. 2 Vehicle crushes in frontal crash

添加 SEAS 后正碰时的接触情况如图 3 所示,添加 SEAS 使 Rav4 的前纵梁与 Neon 的前保险杠和前纵梁接触.碰撞过程中,随着 SEAS 的变形,Rav4 的前纵梁也向下变形,与 Neon 前部耐撞结构碰撞,避免了 Rav4 前纵梁不接触 Neon 前保险杠和前纵梁而直接与 Neon 发动机罩接触,造成 Rav4 前纵梁直接撞击 Neon 车身上部结构,同时避免了 Neon 钻撞到

Rav4 下面.

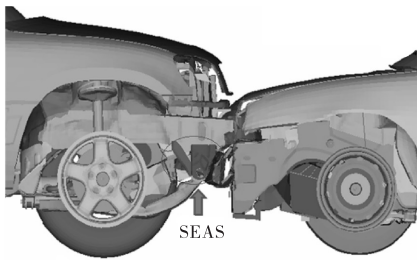


图3 Rav4的SEAS与Neon前纵梁

Fig. 3 SEAS of Rav4 and the front side member of Neon

3.3 基于正碰分析结果的改进

在两车碰撞过程中,Rav4 前纵梁在 SEAS 的牵引下受到沿 x 轴方向的径向作用力的同时,还因下端的 SEAS 受到 Neon 耐撞结构的撞击而受到侧向力和弯矩,因此在发生沿 x 轴方向的径向收缩变形的同时,还沿 z 轴方向向下弯曲,发生不规则变形,失去原有的能量吸收能力,而为了使前纵梁起到较好的变形吸能作用,应力求使前纵梁产生理想的“手风琴”式褶皱变形^[10]. 在如前纵梁等薄壁梁的理想轴向压缩变形过程中,要经历失稳—失稳破坏—褶皱变形这 3 个阶段的循环过程,才能发挥结构件的吸能作用. 为了避免发生不规则变形模式,要减少前纵梁受到的弯矩,因此本文在原 SEAS 上添加图 4 所示的薄壁结构件,以减小 SUV 前纵梁前段受到的弯矩,同时增加 Neon 前纵梁前段的变形程度,以充分发挥其吸能作用.

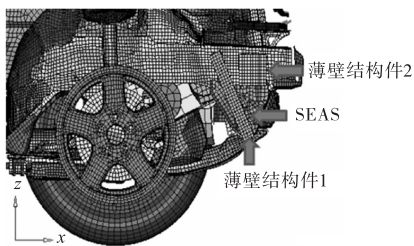


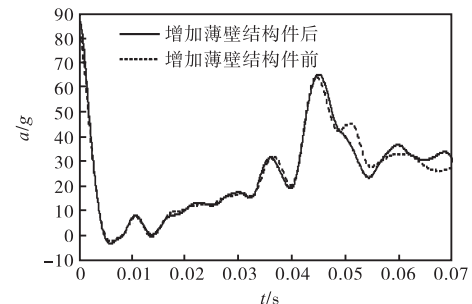
图4 薄壁结构件

Fig. 4 Thin-walled structure

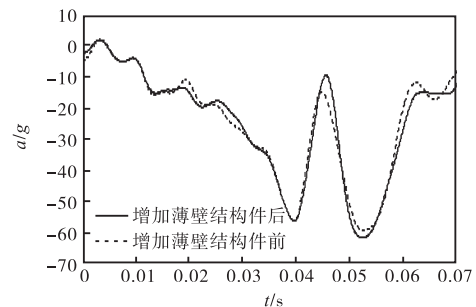
该薄壁结构件有两部分:(1)薄壁结构件 1 为 $300\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 的矩形部件,沿宽度方向的两端各有一条长 400 mm 、宽 10 mm 的翻边(与结构件的主体表面垂直),以增加强度.薄壁结构件 1 下端与 SEAS 下端焊接在一起,上端焊接在前纵梁上,左侧端点与 SEAS 左侧端点处于同一竖直面上;(2)薄壁结构件 2 的长、宽均为 100 mm ,沿水平方向的两端各有长 100 mm 、宽 10 mm 的翻边(与结构件的主体

表面垂直),以增加强度.为了与原结构(SEAS)相贴合,距离左侧 $60 \sim 80\text{ mm}$ 的平面改为横截面为 90° 夹角的两个相交斜面.薄壁结构件 2 焊接在前纵梁上与 SEAS 上端相邻的位置,其斜面中心与 SEAS 右侧部分的斜面中心重合,下端与 SEAS 右侧部分上端重叠宽度不大于 5 mm .

重新搭建 Rav4 与 Neon 的正碰仿真模型,并将计算结果与原模型进行对比.图 5 是添加薄壁结构件前后,碰撞过程中 Rav4 乘员舱和 Neon 乘员舱的加速度曲线.



(a) Neon 乘员舱



(b) Rav4 乘员舱

图5 正碰过程中两车乘员舱加速度曲线

Fig. 5 Acceleration curve of the passenger compartment in the frontal collision of SUV and car

增加薄壁结构件后,在碰撞过程中 $50 \sim 55\text{ ms}$, Neon 乘员舱加速度降低;在 52 ms 时,加速度的降幅最大,为 10 g ,表明 Neon 乘员舱吸收的能量有所降低;而此时段 Rav4 乘员舱的最大加速度有小幅增加,但整体上保持不变,说明 Rav4 乘员舱吸收能量保持不变.可以看出,添加薄壁结构件增大了 Rav4 和 Neon 耐撞结构的吸能效果.

4 结 语

在对 Rav4 与 Neon 的正碰模型研究中,根据轿车的车身高度改变对于 Rav4 的评价方法,得出新的

(下转第 67 页)