

乘用车顶部抗压试验加载方式的分析及优化

谈 欣

铜陵市中等职业技术教育中心 安徽 铜陵 244000

摘 要: 乘用车顶部的抗压性能是反映车辆被动安全的重要指标。当车辆发生侧翻、滚翻事故时, 车顶将受到冲击载荷的作用, 其速度远大于抗压试验法规要求的加载速度。因此, 应适当提高试验加载速度以充分模拟其工况。同时, 法规中的加载角度侧重对车顶正前部强度的检验, 对侧后部检验不够充分。因此, 也应合理调整加载角度以全面检验车顶各部位受载情况。本文提出了多角度、多速度的加载法, 用以确定严格加载方式。

关键词: 抗压性能; 加载角度; 加载速度

1 引言

近年来, 越来越多的仿真模型被用来评估车辆的各项性能。仿真分析法可以提高车型的开发效率, 并对车型开发提供了有力的指导。但是, 仿真试验法依旧无法被彻底代替, 如: 长安逸动、东南DX7根据美标FMVSS208进行翻滚试验, 荣威RX3和领克06也进行了螺旋翻滚试验。由此看来, 仿真分析与样车试验依然存在差距。因此, 必须提高仿真精度, 以充分模拟实际工况, 使数据更具有参考价值。必须找到更严格的加载方式以确保对仿真在严苛条件下进行, 影响加载方式主要因素有加载速度与加载角度。

2 严格加载速度的确定

基于多速度加载法, 根据显式准静态分析理论确定几种加载速度, 然后以几种不同的加载速度进行仿真, 根据数据分析不同加载速度对模型的动能、内能、应力的影响。若要模拟实际情况中的冲击载荷作用, 就需要选取较高的加载速度, 但是过高的加载速度会使系统产生更高的动态效应, 过高的动态效应使求解的数据失去参考价值。所以还需根据动能/内能比值应低于10%的原则^[3], 选择相对较高且动态效应在可控制范围的速度, 确定为严格加载速度。运用显示积分法对准静态问题进行分析, 可以借助结构的最低阶模态来确定加载速度^[2]。在静态分析中, 结构的最低阶模态通常控制着结构的响应, 已知最低阶模态的频率及其对应周期, 可以估算出适当的静态响应所需时间。那么当车顶受载且未发生压溃时, 顶部发生弹性形变, 因此加载时间与频率的关系如下例:

线性弹簧振子的动态响应 $x(t)$ 控制方程:

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = F(t) \quad (2-1)$$

其中, M 为振子质量; K 为刚度; $F(t)$ 为载荷; t 为作用时间。

其准静态控制方程为:

$$K\Delta(t) = F(t) \quad (2-2)$$

其绝对误差为:

$$e(t) = |x(t) - \Delta(t)| \quad (2-3)$$

载荷作用系数:

$$F(t) = F_0 \frac{t}{\tau} (0 \leq t \leq \tau) \quad (2-4)$$

静态响应为:

$$\frac{K\Delta(t)}{F_0} = \frac{t}{\tau} \quad (2-5)$$

动态响应为:

$$\frac{Kx(t)}{F_0} = \frac{t}{\tau} - \frac{T}{2\pi\tau} \sin \frac{2\pi t}{T} \quad (2-6)$$

其中 $T = 2\pi\sqrt{M/K}$ 为系统的周期, 由(2-5)、(2-6)可知当 τ 取值越大, 静态响应与动态响应越接近。所以在显示求解法对准静态问题分析, 随着加载速度的增加, 动态响应的影响也逐渐扩大。加载时间应在最低阶模态周期的5到10倍之间取值。

对车顶结构进行模态分析后, 得到系统最低阶频率所对应的最小自然周期为0.0126s。所对应的加载速度约为3439mm/s, 2064mm/s, 1474mm/s, 1146mm/s。

(1) 加载速度对模型动能/内能比值的影响: 在ANSA中建立好模型后, 通过DYNA, 对四种加载速度工况进行求解, 得出动能/内能一位移曲线图2-1。

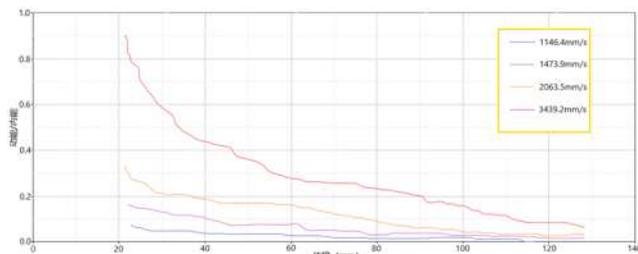


图2-1 动能/内能一位移曲线图

为具体分析四种加载速度下模型的动态效应, 需对模型动能与内能比值一位移曲线进行比较。在整个加载过程中, 四条曲线均呈下降趋势, 其比值随位移增大而递减。加载速度3439mm/s曲线在位移20到40mm段比值大于40%, 且曲线斜率较大, 动态效应变化明显。位移40到120mm段比值大部分处于10%处; 加载速度2064mm/s曲线在20到40mm段比值稍大于20%, 随着位移量至80mm, 比值下降至10%, 直至加载完成均低于10%; 加载速度1474mm/s曲线在位移

20到40mm段比值大于10%而小于20%，位移40mm后直至加载完成比值均在10%以下，动态效应基本稳定。在加载速度1146mm/s曲线的20到40mm位移段的动能与内能比值在10%到5%范围，尤其在位移到达60mm后该比值一直低于5%，并且动态效应越发稳定。当比值小于等于10%时，仿真计算数据具有参考价值^[3]，因此，可考虑选取1146mm/s为严格加载的速度，但还要对该速度进行以下分析，以证其合理性。

3 严格加载角度的确定

基于多角度加载法，选择几种不同的加载侧倾角进行仿真试验。分析得出一个加载侧倾角使顶部反作用力最低，即顶部抗压强度在该角度达到最低，若该角度下车顶可满足需求，那么车顶应对其他角度载荷将更有保证。因此，该角度做为严格侧倾角。

选取侧倾15°、20°、30°和35°这四个倾角进行工况模拟，找到侧倾角对模型作用力的影响规律。

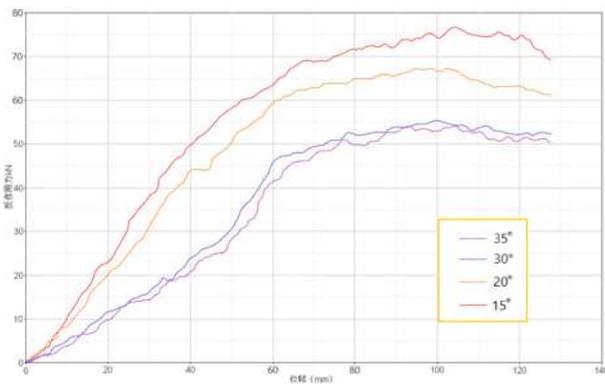


图3-1 反作用力—位移曲线图

加载装置侧倾角15°时，总体来看，作用力更高。在0到20mm位移段曲线震荡已经不太明显，说明顶盖及其前横梁内板总成由较高的承载能力，并且力学性能稳定。该段作用力增长至22.5kN。20到40mm位移段曲线斜率增大，作用力由22.5kN增长至50kN，增长了27.5kN，占峰值的38.2%，增长率达到122%。此过程，B柱或者其他加强件介入承受载荷才使得反作用力大幅度提升，但B柱在该加载角度主要是通过支撑能力提供承载，其抗弯强度发挥有限。而60mm过后，曲线呈现震荡，并且至100mm处，40mm的位移量作用力仅增加10.5kN，仅占峰值约14.5%。峰值在位移102mm处呈现，为72kN。直至加载完成，曲线在震荡中下降至68kN。

加载装置侧倾角20°时，其承载能力超过法规要求的25°侧倾角。在0到20mm位移段曲线起初呈现震荡，而后趋于平稳。相对于25°侧倾角，车顶法向将承受较大载荷，初始震荡是由于较高的正向载荷与车身顶部刚度相接触还产生动态效应。在20mm位移处，作用力达到20kN，占峰值的30%。在20到40mm位移段曲线斜率增大，作用力由20kN增长至44kN，增长了120%，且未呈现波动，说明车身顶部正向依然保持良好的力学性能，能够持续平稳输出较大作用力。当

位移达到40mm，作用力达到44kN，高于25°倾角时的作用力51%。当位移到达60mm，作用力增长至60kN，也高于高于25°倾角时的作用力，由此可知，在加载位移前60mm段车身顶部正向承担的载荷高于侧向。在后期优化过程中需要注意提高车身侧面各部件力学性能。另一方面，车顶部正向的承载能力较高，试验中也可以体现，在该段位移中，同样是60mm的加载位移，车身顶盖和前横梁变形过程比A柱和边梁更平顺，没有出现突变。而后在60到100mm位移段作用力由60kN增长至峰值67kN，增长量仅占峰值的10.4%，此时车身正向承载能力对抗压贡献减退。至加载结束，作用力下降至62kN，值得关注的是在94到102mm位移段作用力近似保持在峰值，此时车身正在通过自身板件变形来贡献承载能力，以至于在随后的加载过程作用力较快降低。

加载装置侧倾角30°和35°时曲线近似。总体来看，其承载能力不如法规要求的25°侧倾角。在0到20mm位移段曲线即呈现震荡，且20mm位移处，作用力为12kN，该值与25°倾角作用力相当。但当位移达到40mm，作用力仅由24kN，小于25°倾角时的29kN。样车试验中可以发现与该情况对应的现象，当加载倾角增大，车身顶部承压能力不能得到充分的发挥，部分侧向载荷需要A柱的抗弯强度来承担。在40到60mm位移段作用力出现大幅度增加，由24kN增加至46kN，增长率达91%。此过程，B柱或者其他加强件介入承受载荷才使得反作用力大幅度提升。而60mm过后，曲线再次呈现震荡，并且至100mm处，40mm的位移量作用力仅增加9kN，仅占峰值约11%。峰值在位移100mm处呈现，为55kN。直至加载完成，曲线在震荡中小幅度下降。由此可知，当加载装置的侧倾角增大到30°之后，曲线将不会再大幅度变低，所以，当侧倾角为30°时，顶部的抗压性能相对较弱，所以选取30°为严格加载角度。

4 严加载方式对模型的优化

本节将模型分别以严格加载方式（速度1146mm/s，侧倾角30°）与法规加载方式（速度13mm/s，侧倾角25°）进行工况模拟，将求解数据进行对比，以验证上节所得严格加载方式的严苛性。

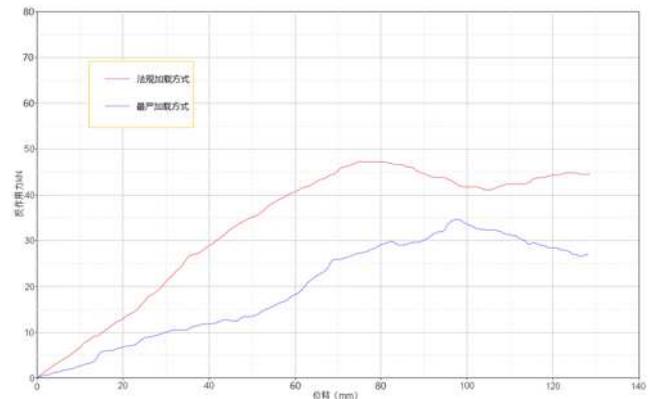


图4-1 法规加载方式与最严加载方式曲线对比图
由曲线和变形图可知

(1) 曲线特征比较: 依据法规要求的加载方式(速度13mm/s,侧倾角25°)进行加载,曲线平顺,车顶部作用力输出稳定,峰值前斜率变化不明显,车顶部各部件可以保证良好的力学性能。而依据本章所得出的严格加载方式(速度1146mm/s,侧倾角30°)进行加载,曲线震荡明显,峰值前斜率变化复杂,车顶部作用力输出不稳。

(2) 峰值比较: 依据法规要求的加载方式进行加载峰值可达47kN,承载能力依据IIHS评价法,指数SWR可达3.07,基本满足要求。而依据本章所得出的严格加载方式进行加载峰值仅约35kN,比法规所得数据低25.5%,且指数SWR仅2.2,承载能力不能满足要求。

(3) 同样在加载终了时刻,法规加载方式,车身各部件总体变形情况好于最严加载方式。C柱的变形程度对比尤为明显。

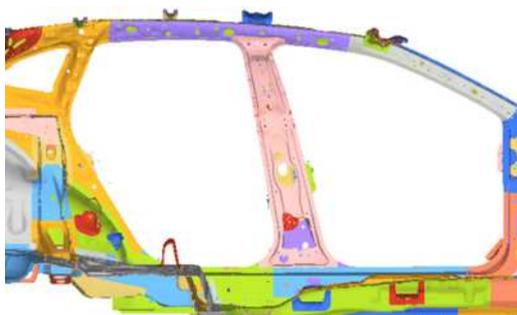


图4-2 严加载方式模型变形图

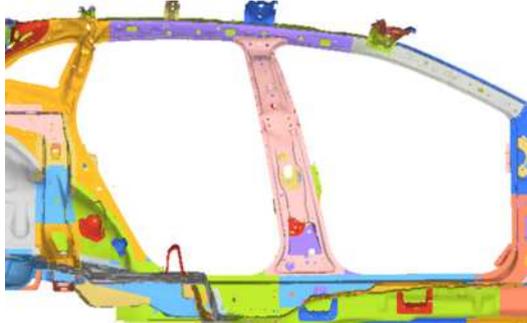


图4-3 法规加载方式模型变形图

5 结语

(1) 基于多速度加载法,尽可能选取较高的加载速度以模拟实际冲击载荷,但由于需要兼顾动态效应,需求解数据具有利用价值,本章运用显示积分法对准静态问题进行分析。加载速度越高,惯性力作用就越大,作用力输出越不稳定。同时,模型吸收的能量也越多,动能也随之增大。再结合动能/内能-位移曲线在1146mm/s的加载速度曲线中,动能与内能之比可稳定在5%左右。所以,该加载速度产生动态效应在系统可接受范围内。即选择1146mm/s为严格加载速度。

(2) 选取不同的侧倾角对车顶部进行加载,认为当侧倾角逐渐变大,顶盖强度随着角度增加而持续下降。当侧倾角增加至30°之后,车顶部作用力输出与30°时近似。所以即选取30°侧倾角为严格加载角度。

(3) 本章基于多速度多角度加载法,得出严格加载方式。能够承受法规加载方式的车顶,却无法承受该方式的加载,其峰值载荷相差25.5%。尤其在加载后期C柱相比于法规加载方式变形更加明显。所以严格加载方式对车顶部抗压性能要求更严苛,由此方式进行加载可充分考察车顶部抗压强度。

参考文献:

- [1]韦永平.乘用车侧门及顶盖抗挤压性能分析及优化[D].重庆:重庆理工大学,2014.
- [2]庄茁.ABAQUS/Standard有限元软件入门指南[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [3]田杰,胡时胜.准静态压缩力应力-应变曲线测量方法的探索[J].实验力学,2005,20(2):265-269.

作者简介:谈欣,男,助理讲师,硕士研究生,研究方向:车辆工程测试与控制技术。