

## Study on the Effect of Spare Tire Model Stiffness to Rear Impact

Dongcheng Wei, Jinguo Hu, Liang Zhang, Shenrong Wu

(Chery Automobile Co., Ltd, AERI, Wuhu, 241009)

**Abstract:** Study on the effect of tire model stiffness to simulation of vehicle rear impact has important meaning to improve simulation result. The tire model in the crash analysis is introduced, and the effect of tire parameters to the tire model stiffness is discussed. The model parameters are adjusted so that the tire stiffness correlates the tire test. Then the parameters are applied to the study of GB 20072 and FMVSS 301 Rear Impact. Effect of spare tire stiffness to vehicle deformation, volume change of fuel tank, etc., are found by using variation in tire parameters.

**Keywords:** rear impact, tire, stiffness, finite element analysis

## 备胎刚度对后碰性能的影响分析

卫董程, 胡经国, 张亮, 吴沈荣

(奇瑞汽车股份有限公司, 汽车工程研究院, 安徽芜湖, 241009)

**摘要:** 整车后部碰撞有限元模拟过程中, 研究备胎模型刚度对碰撞结果的影响大小对提高模拟分析精度有重要意义。以下首先介绍了整车碰撞模型中的轮胎模型, 通过调整模型参数, 使模拟的轮胎刚度曲线与轮胎试验结果进行拟合, 得到近似于实际的轮胎刚度曲线, 然后将其应用于整车 GB 20072 和 FMVSS 301 后部碰撞模拟分析中, 分析备胎刚度对后部碰撞结果的影响, 得知备胎刚度对结构变形, 油箱体积变化等均有一定影响。

**关键词:** 后碰, 轮胎, 刚度, 有限元分析

### 1 引言

随着我国汽车销量和汽车保有量的逐年俱增, 汽车安全性越来越受到人们的重视。整车碰撞模拟分析作为汽车被动安全性研究的一个重要方面, 在汽车开发过程中占有越来越重要的地位。整车模型中, 各分总成的模型精度对分析结果都有一定影响, 其中轮胎模型的精度对模拟结果也有一定影响。国内外有许多研究人员对轮胎模型刚度及其影响因素进行了研究。Wu, Gu 等<sup>[1]</sup> 将建立的轮胎模型与轮胎实验结果进行拟合, 通过调整模型参数得到了较接近于实际的简化轮胎模型。Lee, Zhang 等<sup>[2]</sup> 根据轮胎实验结果, 得到一种精度较高的轮胎模型并用于虚拟试车场的分析。本文以 P235/65 R17 104T 轮胎为例, 首先根据文献 [3] 中的分析方法, 对整车所用的轮胎模型进行分析。分析轮胎模型中的参数对其刚度的影响, 并将分析结果应用于整车 GB20072 和 FMVSS301 后部碰撞模拟分析中, 并进而分析其对整车碰撞结果的影响。

### 2 轮胎有限元模型

整车碰撞模拟分析中的轮胎模型是根据轮胎实际结构加以适当简化得到的。轮胎的结构大致可分为轮毂、轮辐、轮辋和胎面(分为内外胎面和侧胎面)等。在整车碰撞有限元模拟过程中, 通常将内外胎面按实体单元模拟, 侧胎面等其他部分则用壳单元模拟。具体的有限元模型见图 1。为了模拟轮胎内充气压力, 将轮胎的封闭部分定义成一个气囊, 根据轮胎真实气压设置气囊压力。

### 3 轮胎刚度模拟方法

在后部碰撞过程中, 放置于后备箱中的备胎受碰撞时, 会向乘员舱侵入。其中轮胎刚度的大小会影响后备箱中变形空间的大小, 故轮胎的径向刚度对碰撞结果的影响较为重要。所以本文以研究轮胎的径向刚度为主。以下主要分析轮胎径向刚度的实验方法和模拟方法。

### 3.1 轮胎刚度的实验方法

当轮胎静止在平坦的路面上，对其施加不同的负荷，测量其挠度，从而获得负荷—挠度变化曲线。负荷的增量和挠度的增量之比就是轮胎的径向刚度，可用式（1）表示

$$G_Z = \frac{dF_Z}{dZ} \quad (1)$$

式中： $G_Z$ ——轮胎径向刚度；

$dF_Z$ ——轮胎负荷增量；

$dZ$ ——轮胎挠度的增量；

轮胎径向刚度可在轮胎静负荷试验台或轮胎六分力试验台上进行测试。将轮胎充以额定气压，放在实验台上，然后对轮胎施加负荷，利用垂直位移传感器测量其挠度，从而得到负荷—挠度变化曲线，额定负荷处的斜率即为轮胎径向刚度。

### 3.2 轮胎刚度的模拟方法

根据轮胎刚度的实验方法，主要是对轮胎施加负荷，测量其挠度，得到轮胎径向刚度。所以在用显式有限元模拟轮胎刚度时，采用让轮胎以较低速度碰撞刚性墙，得到轮胎与刚性墙接触区域的变形以及刚性墙的反作用力，根据力—位移曲线得到轮胎刚度。这种低速运动的方式能减小冲击对结果的影响，得到较准确的模拟结果。具体轮胎刚度的模拟方法如图2所示。

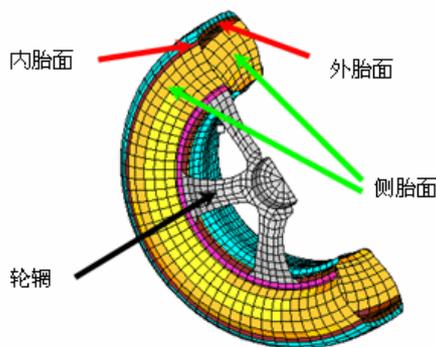


图1 轮胎模型各组成部分

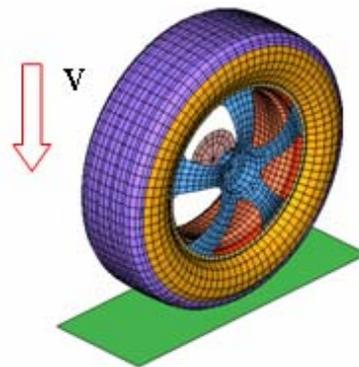


图2 轮胎刚度模拟方法

### 3.3 轮胎刚度的有限元模拟结果分析

根据上节轮胎刚度模拟方法，对轮胎进行加载，求解，得到最终轮胎变形如图3，轮胎载荷曲线如图4所示。这是某软件附带的轮胎模型。由于模拟得到的刚度与我们的轮胎的真实刚度不相吻合，下文主要分析模型参数对轮胎刚度的影响，并将模拟得到的曲线与实验曲线拟合。

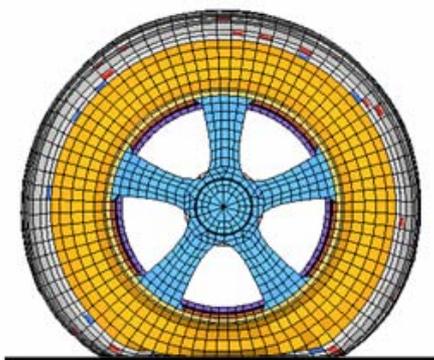


图3 轮胎刚度有限元模拟分析中的最终轮胎变形

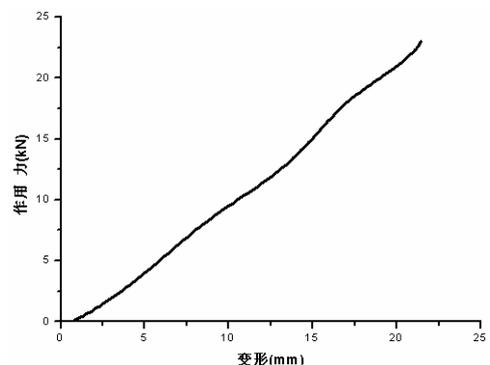


图4 模拟得到的轮胎载荷曲线

### 3.4 拟合轮胎刚度

轮胎刚度模拟分析过程中，影响轮胎刚度的主要因素有单元的属性，材料参数，气囊压力等。其中材料参数主要为内外胎面的材料参数等。模型中壳单元的单元厚度对轮胎刚度的影响较明显。一般厚度增大，则刚度变大；厚度减小，则刚度减

小，而材料参数对轮胎刚度的影响则不甚明朗。以下主要利用文献[1]中的方法通过调整轮胎参数，以期获得不同轮胎刚度曲线。通过调整单元的属性，材料参数，气囊压力等，将模拟的曲线与实验载荷曲线进行对比，得到与实验较符合的曲线。拟合的 P235/65 R17 104T 轮胎的模拟曲线与实验曲线如图 5。

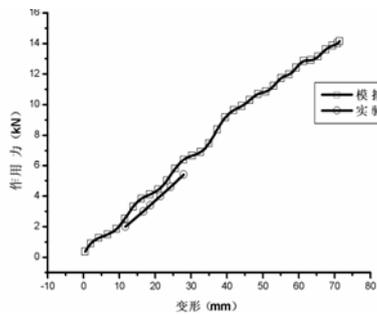


图 5 P235/65 R17 104T 轮胎载荷曲线拟合

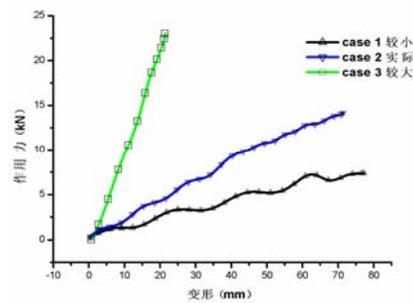


图 6 模拟中所采用的三种不同的轮胎刚度

## 4 备胎刚度对整车后部碰撞结果的影响分析

根据以上对轮胎刚度分析可知，轮胎模型的不同参数对其刚度有一定影响。文献[3]主要分析不同刚度轮胎对整车前部偏置碰撞结果的影响，下面主要分析不同刚度备胎对整车后部碰撞结果的影响。该车使用大备胎。通过调整轮胎模型参数，分别得到三种不同的轮胎刚度。将三组不同的轮胎参数代入整车模型中，对比分析不同轮胎刚度对整车变形的影响，并通过分析后纵梁的截面力、油箱体积变化等，考察不同轮胎刚度对整车后部碰撞结果的影响。具体模拟过程中所采用的三种不同的轮胎刚度曲线如图 6 所示，其中 case 1 为较实际刚度偏小的刚度曲线，case 2 为上节拟合的接近于实际的轮胎刚度曲线，case 3 为较实际刚度偏大的刚度曲线，其中 case1 约为 case2 的 1/2，case3 约为 case 2 的 2 倍。

由于国内外的后部碰撞法规众多，本文主要针对国内后部碰撞法规（GB 20072）以及美国燃油系统完整性法规（FMVSS 301）中的后部碰撞进行分析。

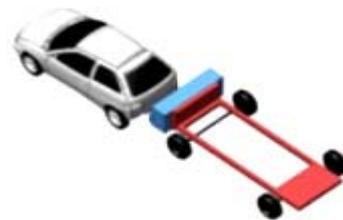
### 4.1 国标后碰中备胎刚度的影响

#### 4.1.1 GB 20072 整车后部碰撞模拟工况

乘用车后碰撞燃油系统安全要求（GB 20072）后部碰撞法规为 100% 重叠刚性墙碰撞，速度为  $50 \pm 2 \text{ km/h}$ ，碰撞器重量为  $1100 \pm 20 \text{ kg}$ ，碰撞工况见图 7（1）。



(1) GB 20072 整车后部碰撞模拟工况

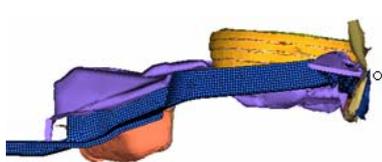


(2) FMVSS 301 整车后部碰撞模拟工况

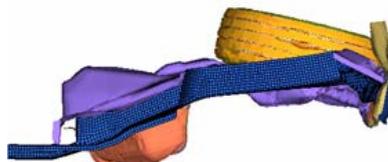
图 7 整车后部碰撞模拟工况

#### 4.1.2 碰撞结果分析

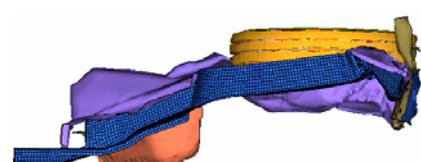
考察后纵梁及后备胎变形情况，三种不同备胎刚度的碰撞结果如图 8，左侧后纵梁局部变形图如图 9，油箱体积变化曲线如图 10。



(1) 备胎刚度较小时 (case1)



(2) 备胎刚度较接近实际时 (case2)



(3) 备胎刚度较大时 (case3)

图8 GB 20072 后部碰撞备胎刚度不同时备胎及车体变形 (90ms)

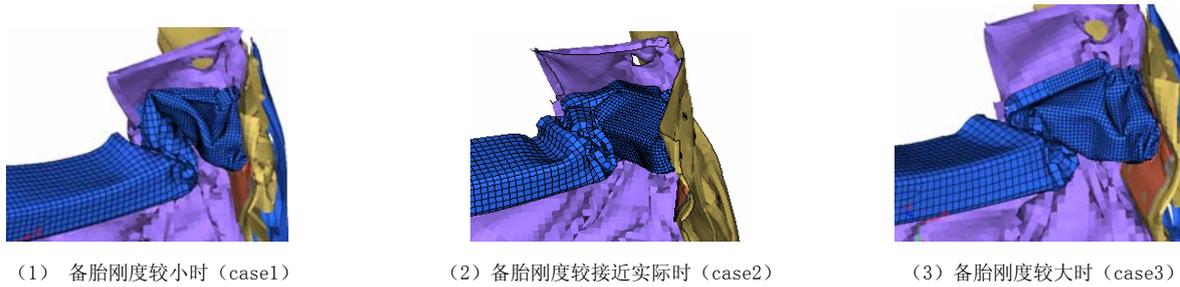


图9 GB 20072 后部碰撞备胎刚度不同的后纵梁局部变形 (90ms)

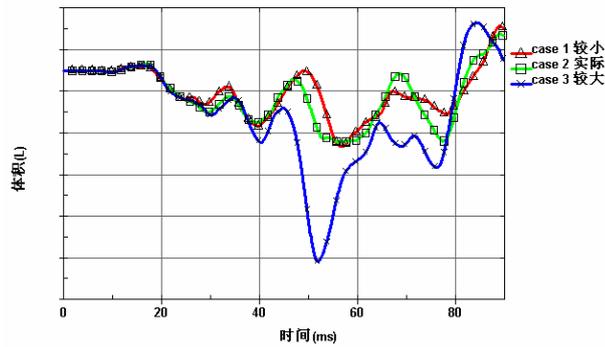


图10 GB 20072 后部碰撞备胎刚度不同的油箱体积变化

由不同备胎刚度的碰撞结果可知,随着轮胎刚度的增大,轮胎可变形空间减小,使靠近备胎两侧的后纵梁变形空间减少,车体变形向油箱及乘员舱发展,致使油箱体积变化增大。

## 4.2 美标后碰中备胎刚度的影响

### 4.2.1 FMVSS 301 整车后部碰撞模拟工况

FMVSS 301 燃油系统完整性法规包含前部碰撞、侧面碰撞、后部碰撞、静态翻滚、防虹吸、可移动轮廓壁障碰撞试验等众多内容。其中后部碰撞为70%重叠碰撞(车辆左右两侧均试验),碰撞器为可变形蜂窝铝构成,速度为 $80 \pm 1.0$  km/h,重量为1368.81kg,碰撞工况见图7(2)。本文以右侧碰撞为例进行分析,碰撞分析中的油箱、备胎、壁障位置示意图如图11。图中截面1、2为备胎放置位置前后的后纵梁截面,用于测量碰撞过程中右侧纵梁所承受的力载荷。

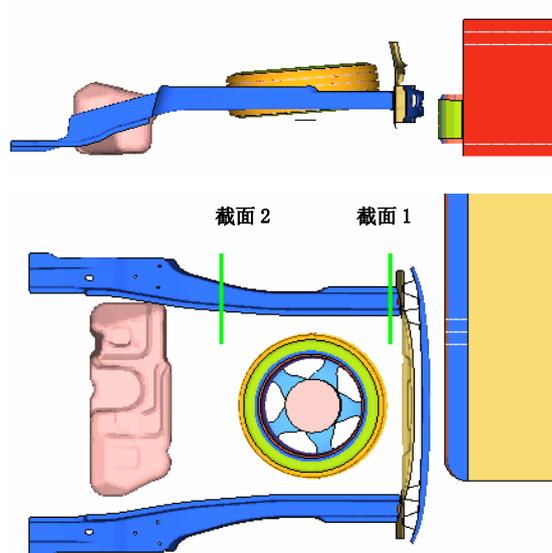


图11 FMVSS 301 整车后部碰撞模拟时油箱、备胎、壁障位置示意图

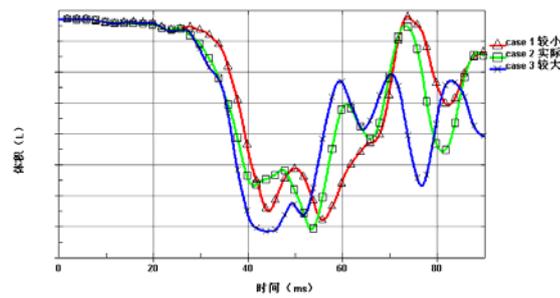


图 12 FMVSS 301 后部碰撞备胎刚度不同时的油箱体积变化

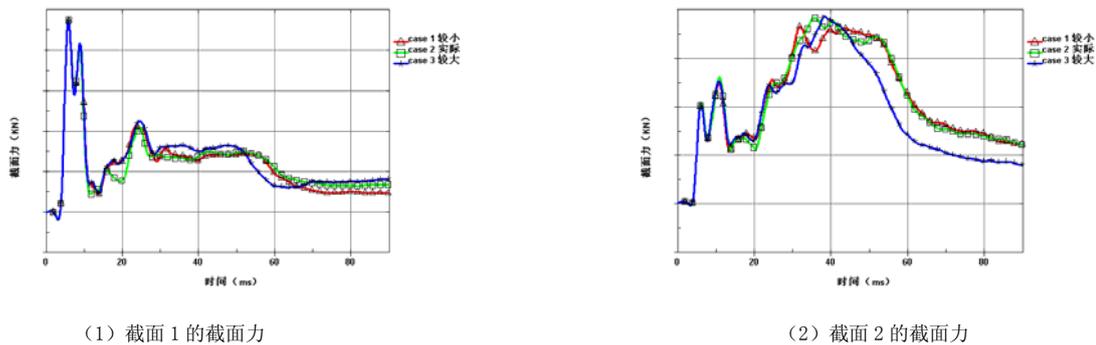


图 13 FMVSS 301 后部碰撞备胎刚度不同时的截面力

#### 4.2.2 碰撞结果分析

FMVSS 301 后碰的整车变形结果较 GB 20072 严重得多。后纵梁前部及中部均出现较大变形，备胎受力情况较复杂，使备胎跟着后各箱出现翻滚，此时并不只是轮胎径向刚度有影响。油箱体积变化曲线如图 12，截面 1，2 处的截面力如图 13。

由于备胎跟着后各箱出现翻滚，致使碰撞过程并不像想象中，只须关注备胎径向刚度作用于车体，而备胎的横向刚度等也起作用，情况较为复杂。如图 12 中油箱的体积变化过程较为复杂。截面 1、2 可间接反映出备胎刚度对后纵梁承受载荷情况的影响。截面 1 在备胎与碰撞壁之间，受力时间较早，且受备胎影响较小，根据图 13，在用不同刚度时，截面力曲线基本相同。而截面 2 处于备胎之后，受备胎影响较大。备胎刚度不同，截面力也不尽相同。备胎刚度接近于实际或较小时，承受载荷时间较长，而当备胎刚度较大时，承受载荷时间较短。

### 5 结论

由以上分析可知，轮胎模型参数对轮胎刚度影响较大，而不同轮胎刚度对整车碰撞结果也有一定影响。在 GB20072 后部碰撞中，随着备胎刚度的增大，备胎可变形空间减小，使靠近备胎两侧的后纵梁变形空间减少，车体变形向油箱及乘员舱发展，致使油箱体积变化增大。而在 FMVSS 301 后部碰撞中，车体变形情况更加恶劣，备胎受力情况较为复杂，备胎对结果的影响也较为复杂。下一步分析主要集中于将整车模拟碰撞结果中的轮胎变形与实际碰撞结果进行对比，得到接近于实际碰撞结果的轮胎模型。

### 参考文献

- [1] Wu S. R., Gu L, and Chen H. (1997) . Airbag tire modeling by the explicit finite element method. Tire Science and Technology, TSTCA, Vol 25, No.4, October-December, pp.288-300. Dearborn, America.
- [2] Lee C. R, Kim J. W, Hallquist J. O, and Zhang Y. (1997) . Validation of a FEA tire model for vehicle dynamic analysis and full vehicle real time proving ground simulations. SAE 971100.
- [3] 卫董程, 洪求才, 张 亮, 吴沈荣. 轮胎模型刚度对前部偏置碰撞结果的影响[C]. 中国汽车安全技术国际研讨会论文集. 上海, 2008, 230-235.