

# 轮胎侧偏性能有限元分析

缪红燕 徐 鸿

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

**摘 要:** 采用 ANSYS 有限元程序非线性分析技术, 利用三维体单元、层单元和接触单元建立子午线轮胎 (205/60R15) 的三维有限元模型, 对轮胎的侧偏工况进行了模拟, 并对轮胎发生侧偏时各部分应力、应变及轮胎变形情况进行了详细的分析。

**关键词:** 子午线轮胎; 非线性分析; 侧偏性能

**中图分类号:** O 242.21

## 引 言

在科技发展的今天, 西方国家均已普遍淘汰了斜交轮胎而采用子午线轮胎, 而我国的轮胎子午化虽已达到 70%, 但子午线轮胎生产线大多从国外引进, 在设计理论及生产技术研究方面也相对落后。子午线轮胎一个重要的特点就是子午线轮胎具有刚性较大的带束层, 并且与地面的附着力大, 因而抵抗侧向偏离阻力大。这样, 在同样的充气压力下, 子午线轮胎可比斜交轮胎传递更大的侧向力, 从而保证汽车有良好的操纵稳定性。轮胎侧偏特性是汽车操纵稳定性的基础, 多年来, 人们倾注了大量的精力从事轮胎侧偏特性的研究, 建立了各种各样的轮胎侧偏特性的测试装置和分析模型, 但这些分析模型仍然有不足之处, 他们对轮胎结构和材料作了很多的假设, 因此需要进一步完善<sup>[1]</sup>。本分析则是运用通用有限元程序 ANSYS 模拟轮胎的侧偏现象, 分析子午胎的侧偏特性。

## 1 轮胎侧偏力及其产生原因<sup>[1]</sup>

汽车在行驶过程中, 由于路面的侧向倾斜、侧向风或曲线行驶时的离心力等的作用, 在车轮中心作用有侧向力。为了保持平衡, 在轮胎印迹内相应地产生地面侧向反作用力, 该力称为轮胎侧偏力。

## 2 有限元分析模型

子午线轮胎是由多种材料组成的复合材料结

构, 其结构可分为两大类: 单一材料和复合材料。单一材料是把某些基本材料直接用作结构材料, 例如各种橡胶可直接用作结构材料; 复合材料是由两种以上的基本材料组合成的结构材料, 例如由橡胶和尼龙丝或钢丝构成的胎体帘布层等。为了尽可能准确地模拟轮胎性能, 需要分别对这些材料以及由这些材料构成的复合材料的力学性质进行研究, 在本文的研究工作中, 主要侧重于轮胎的结构力学分析, 涉及的材料物理力学参数主要有杨氏模量  $E$ 、泊松比  $\mu$  (或剪切模量)、密度等三项。材料的杨氏模量是在 Instron 材料测量仪上对材料进行单向应力-应变关系的测试获得的, 实验结果表明, 当橡胶材料的应变在 10% 范围之内时, 应力-应变曲线接近线性关系, 也就是说, 当应变小于 10% 时, 橡胶材料可简化为遵守广义虎克定律的线弹性材料<sup>[2]</sup>。表 1 和表 2 分别给出分析中单一材料和复合材料的材料特性参数。

表 1 单一材料 (各向同性) 的材料特性参数

Table 1 Characteristic parameters of singularity (isotropy) material

材料	$E/\text{MPa}$	$\mu_{xy} = \mu_{yz} = \mu_{xz}$	$\rho / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
胎面胶	9.61	0.48	1.181
内衬胶	4.84	0.48	1.414
三角胶	74.9	0.48	1.195
小胎侧胶	1.884	0.48	1.109
胎侧胶	1.884	0.48	1.109
耐磨胶	7.83	0.48	1.170
子口胶	4.05	0.48	1.145

$\mu_{xy}$  表示  $xy$  面上的泊松比,  $\mu_{yz}$  表示  $yz$  面上的泊松比,  $\mu_{xz}$  表示  $xz$  面上的泊松比。

收稿日期: 2000-01-06

第一作者: 女, 1976 年生, 硕士生

表 2 复合材料(正交各向异性)的材料特性参数

Table 2 Characteristic parameters of composite (anisotropy) material

材料名称	$E_x$ / MPa	$E_y$ / MPa	$E_z$ / MPa	$\mu_{xy}$	$\mu_{yz}$	$\mu_{xz}$	$\rho$ / (kg·m <sup>-3</sup> )
钢丝圈	47 000	59.5	59.5	0.51	0.36	0.49	4.358
帘布层	294	14.1	14.1	0.51	0.43	0.49	1.075
补强层	248	20	20	0.51	0.43	0.49	1.225
钢丝束层	470	60	60	0.51	0.36	0.49	2.015
尼龙束层	309	21.6	21.6	0.51	0.43	0.49	1.108

$E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$  分别表示  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三向的构氏模量

为了保证计算的精确性,并尽量减少运行时间,在利用 ANSYS 通用有限元分析软件建立轮胎模型时采用三维体单元和三维层单元的组合来模拟。对于单一材料部位直接采用三维体单元既能准确模拟又可节省计算时间;而对于层状复合材料部位采用三维层单元;在模型轮胎与地面接触时,采用三维面-面接触单元 (CONTACT173 单元和 TARGET170 单元)。整体模型中共有单元 9 148 个,节点 15 055 个。

在求解过程中,考虑了几何非线性(大变形)和边界条件的非线性(接触问题),将每一个载荷分为 5~6 个子载荷步逐步迭代求解,采用不平衡力  $F$  为主、位移为辅的收敛判据,以实现其非线性分析过程。

本分析模型模拟的过程是轮胎侧偏试验的全过程,即将轮胎安置在表面为平整水泥的滑台表面上,对其充气并施加垂直载荷,滑台通过液压系统作往复运动并由转角油缸驱动可发生绕水平轴的转动,以获得不同的侧偏角,产生不同的侧向力和回正力矩。

为了模拟这一过程,需建立一个适合侧偏分析的整胎模型,分析在有充气压力和垂直载荷作用,不同的侧偏力产生的侧偏角和回正转矩及相互关系。在模拟轮胎的侧偏现象时,对于轮胎与刚性路面的接触,选用 ANSYS 有限元中的柔刚面接触单元,轮胎胎面部分为接触面,路面为目标面。轮胎的约束条件确定如下:轮辋中心沿轮胎轴向  $x$  方向选取两个节点,限制此两节点的三向位移,这就整个轮胎而言就是限制了它沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个方向的移动和绕  $y$  轴和  $z$  轴的转动,在这种约束条件下,轮胎虽可变形,但整个轮胎只能绕  $x$  轴方向发生转动。轮胎模型(包括模拟刚性路面的目标面)如图 1 所示。

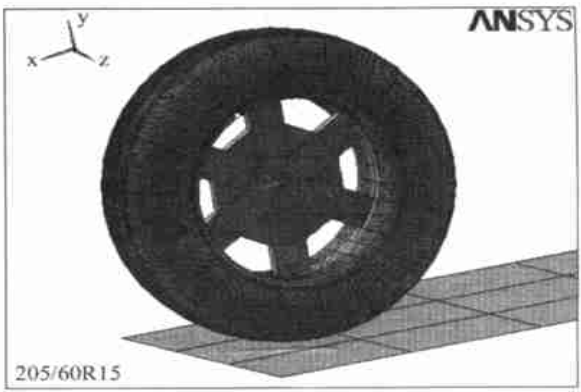


图 1 轮胎有限元模型图

Fig. 1 Finite element model of the tire

3 载荷步骤

(1)自由轮胎充气(充气工况);(2)在垂直载荷作用下轮胎与地面接触(正接触工况);(3)转动轮胎以模拟轮胎的侧偏角;(4)施加水平载荷模拟轮胎侧偏滚动。

4 分析结果

模拟的载荷为:充气压 2.2 MPa;垂直载荷 2 100 N;侧偏角度 6°。

4.1 轮胎充气结果

对轮胎充气后,轮胎主要变形发生在轮胎胎侧部位,如图 2 所示。图中虚、实线(内、外框)分别表示充气前后轮胎截面位置。图 3(a)、(b)分别表示轮胎充气后截面第一主应力和第一主应变,从图中可看出第一主应力集中在钢丝束层和帘布层,第一主应变集中在轮胎胎侧部位。

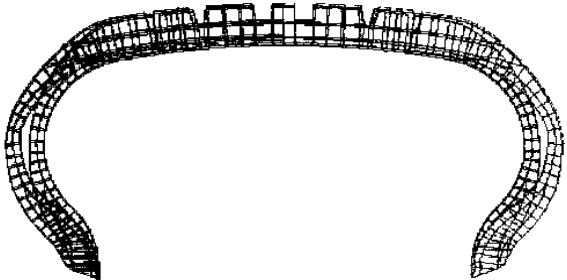


图 2 轮胎充气后变形情况

Fig. 2 The deformation of the cross section of aired tire

4.2 轮胎垂直加载结果

对轮胎施加垂直载荷为 2 100 N 后,轮胎压向地面。图 4(a)表示接地工况下轮胎上各点垂直于地面方向的位移量。图 4(b)为轮胎表面接地部位

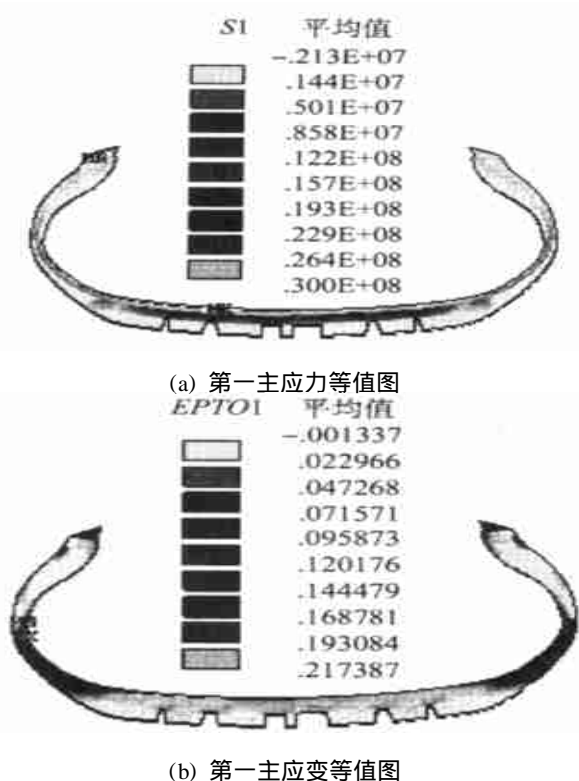


图3 轮胎充气后截面第一主应力和第一主应变

Fig. 3 The first principal stress and strain contour of aired tire

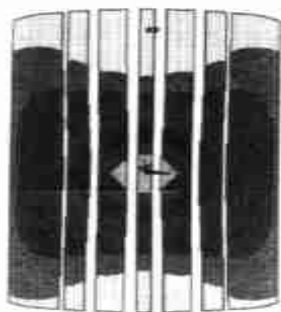
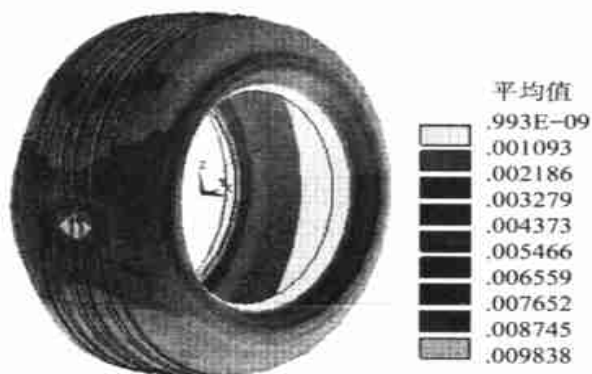


图4 轮胎接地工况位移等值图

Fig. 4 Displacement contour of the contact case

各点的位移,其最大位移发生在接地印痕中心处,数量是 9.838 mm,这一位移量亦即轮胎在垂直载荷下的“下沉量”。

#### 4.3 转动轮胎以模拟轮胎的侧偏角

目标面旋转  $6^\circ$ ,依靠轮胎和地面的摩擦力则会在轮胎轴上产生一个回转力矩,读取其值为 14.8 Nm。图 5 表示侧偏角为  $6^\circ$  时,轮胎上接地表面各点的位移情况(相对于轮胎中心)。图 4(b)和图 5 分别表示正接地和侧偏时接触面上各点的接触应力等值线图,从图中可看出,正接地时印痕为对称图形,而轮胎侧偏时,印痕偏转为不对称图形。

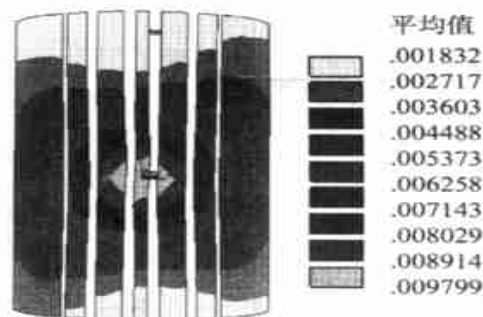


图5 侧偏时轮胎接地表面的位移等值图

Fig. 5 Contact stress contour of the contact tire and the side-drifting tire

#### 4.4 施加水平载荷模拟轮胎侧偏滚动

在模拟轮胎沿侧偏角方向运动时,可将地面沿侧偏角方向移动,侧向位移为 40 mm 时,依靠地面与轮胎间的摩擦,读出地面反作用力即侧偏力,其值为 1 200 N。图 6 表示发生侧偏的轮胎变形图。

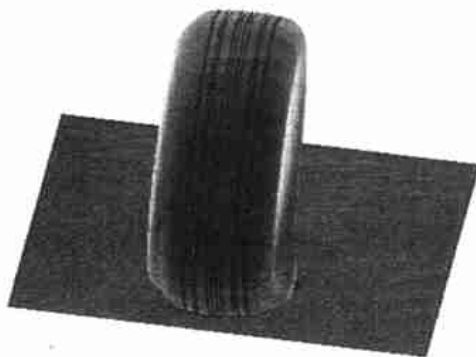


图6 轮胎侧偏变形图

Fig. 6 Deformation of the side-drifting tire

图 7(a)、(b)分别表示发生侧偏的轮胎底部截面第一应力和第一主应变等值图,从图中可以看出,侧偏轮胎应力主要集中在钢丝束束层,应变仍然主要集中在轮胎胎侧部位。但胎侧两边变形不再

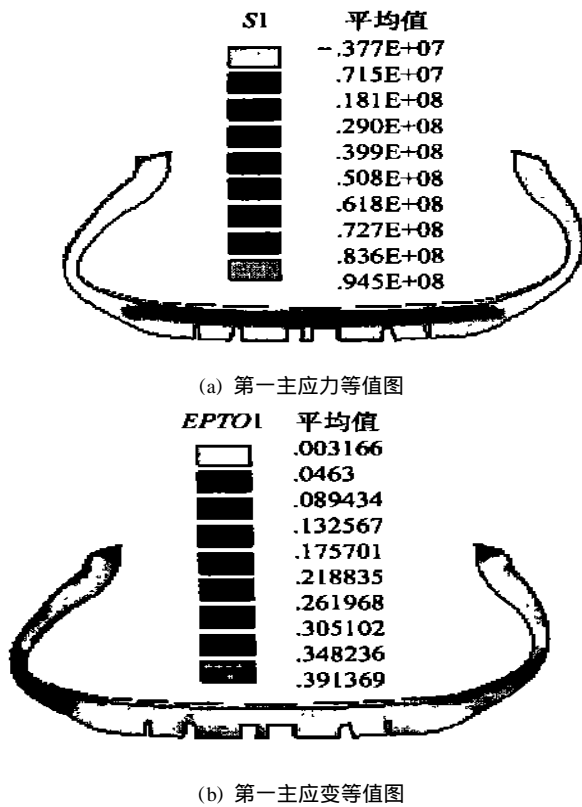


图 7 侧偏轮胎截面第一主应力和第一主应变

Fig. 7 The first principal stress and strain of the side-drifting tire

对称。

#### 4.5 分析与实验对比

本分析过程是模拟长春汽车研究院设计的平台式轮胎侧偏试验机,在试验中,将承受不同载荷的充气轮胎压在可作回转运动和水平运动的平台上,沿

着不同的侧偏角拉动水平台,用轮胎轴上的传感器测出轮胎轴上的侧偏力,本分析中模拟的载荷为:充气压力 2.2 MPa;垂直载荷 2 100 N;侧偏角度 6°,分析得出轮胎下沉量为 9.87 mm;轮胎侧偏力为 1 200 N,这与实际试验中对应工况下实验结果下沉量为 10.5 mm;轮胎侧偏力为 1 250 N 基本吻合,这证明了本论文所发展的应用三维有限元分析方法分析轮胎侧偏特性的分析路线是成功的,这一成功分析为进一步进行子午线轮胎动态分析和优化设计奠定了基础。

## 5 结 论

(1) 轮胎受充气载荷作用时应力主要由钢丝带束层和帘布层来承受,轮胎的变形和应变主要发生在胎侧部位。

(2) 与地面接触的充气轮胎发生侧偏时,轮胎应力主要由钢丝带束层来承受,轮胎的变形和应变主要发生在胎侧部位,并且胎侧两边变形不对称。

(3) 本分析得到的下沉量和轮胎的侧偏力与实验基本相符,表明用三维有限元分析方法分析轮胎的侧偏特性是行之有效的。

## 参 考 文 献

- [1] 崔胜民,余 群. 汽车轮胎行驶性能与测试. 北京:机械工业出版社,1995. 47~48
- [2] 杨卫民. 子午线轮胎的三维非线性有限元分析和性能仿真的研究. [博士学位论文]. 北京:北京化工大学,1998

## Finite element analysis of side-drifting characteristic of tire

MIAO Hong-yan XU Hong

(College of Mechanical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** A 3-D finite element model for a radial tire (205/60R15) is developed by using layer elements, solid elements and general contact elements to simulate the composite structure of the tire. Non-linear analysis of ANSYS program is performed for simulation of the tire side-drifting experiment and evaluation of the stress and displacement in the tire during the experiment.

**Key words:** radial tire; non-linear analysis; side-drifting characteristic