

子午线轮胎静态下沉问题的三维有限元分析

唐 萌 张 翼

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所 200072]

摘要 运用三维非线性有限元分析方法,使用 MARC 软件,分析了米其林公司生产的 205/70R15 规格轿车子午线轮胎的应力-应变特性,给出了静态下沉情况下的分析结果。

关键词 轮胎,有限元分析,三维,静态下沉

由于非线性的困扰,轮胎力学的研究非常复杂和困难。多年来,我公司的一些科研人员在这一领域进行了不懈的探索,逐渐形成了一套科学的研究方法和思路,如 90 年代初隆有明先生提出的 TECO 理论。近年来,电子计算机技术的飞速发展以及有限元分析的广泛应用,又为这一理论的研究注入了新的活力。我公司在 90 年代初引进了通用非线性有限元分析软件 MARC,通过多年的应用实践,使得我们对轮胎力学的理解进入了更深的层次。本文介绍应用该软件分析轮胎受力状况的一个实例。

为了了解米其林轮胎的设计思想和在一定条件下的轮胎内应力分布情况,我们分析了一条米其林公司生产的 205/70R15 规格轿车子午线轮胎。样胎由国外采购得到,手工解剖出其断面和各部件,通过测绘和材料试验,得到分析所需的原始输入参数。按照标准轮辋和充气内压给定力学分析的边界条件,计算该轮胎静态充气下沉情况,下沉量预定为 25 mm。

1 轮胎结构

通过样胎断面测绘并参考 Smithers Scientific Services 公司提出的该轮胎的分析报告^[1],绘制了该轮胎的结构设计图,见图 1。

由图 1 可见,此轮胎有几个显著的特点:

(1) 水平轴以上半部分胎侧形状接近平衡轮廓,下半部分胎侧则拉得很直。

(2) 轮胎成型采用“侧包冠”工艺,没有胎肩垫胶。

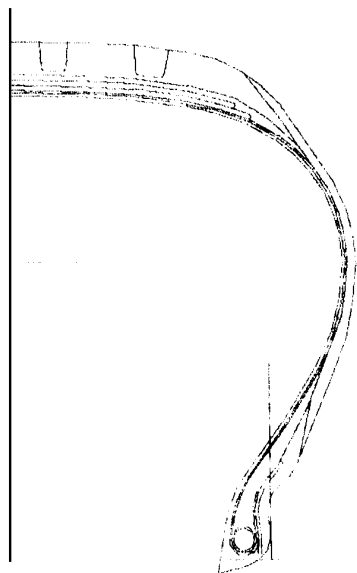


图 1 轮胎结构图

(3) 单层胎体,反包高度很低,其外衬了一层钢丝包布。

(4) 采用圆断面钢丝圈,外有一层包胶。

(5) 整个轮胎非常轻薄,胎侧最薄处仅 4 mm。

观察实际的轮胎断面,还发现胎侧具有强烈的初始内应力,以至于一小段轮胎断面自由放置时两端翘起,呈水平直条状(见图 2)。

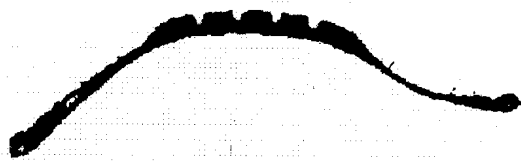


图 2 一小段轮胎断面自由放置的形状

2 有限元分析模型

在微机和 UNIX 服务器上,使用 CAD 软件

作者简介 唐萌,男,1967 年出生,硕士,工程师。1994 年毕业于武汉工业大学工程机械专业。现任上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所力学室副主任,从事轮胎 CAD 和轮胎花纹噪声研究工作。

和 MARC 软件,建立有限元计算所需的模型。首先在微机上用 CAD 软件绘制轮胎结构设计图,安排好单元网格划分,由自主开发的程序自动计算出单元节点位置。数据通过网络传输到服务器中,然后在服务器中制做出有限元模型。网络使用 TCP/IP 协议。

(1) 单元划分

应用 CAD 软件和 MARC 中的前后处理软件 MENTAT 生成单元网格。考虑轮胎及载荷的对称性,仅分析 1/4 个轮胎。先在断面上分 215 个平面单元 (247 个节点),见图 3;再“拉伸”成三维单元,在圆周方向上共有 12 个节段,整个三维模型共有 3 684 个单元 (3 783 个节点),11 349 个自由度,见图 4。对胎体部件用壳单元模拟。为了给出钢丝圈、带束层的材料方形取向,选用 MENTAT 中的“柱坐标系”,未考虑带束层的“角度方向”。由于带束层并不是很平坦,在带束层边缘会有一些误差。

(2) 材料参数模型

对橡胶材料使用门尼模型 (对应的单元为不可压缩的 Herman 单元),对骨架材料使用“正交各向异性”复合材料模型^[2]。共设定了 9 种不同的材料,见图 3。材料参数由实测和理论推导给出^[2]。测出橡胶材料的单向拉伸、双向拉伸、简单剪切、纯剪切、体积压缩等试验数据曲线,再由 MARC 中的 Curve Fit 软件拟合出门尼模型的几个参数,输入到有限元模型中。

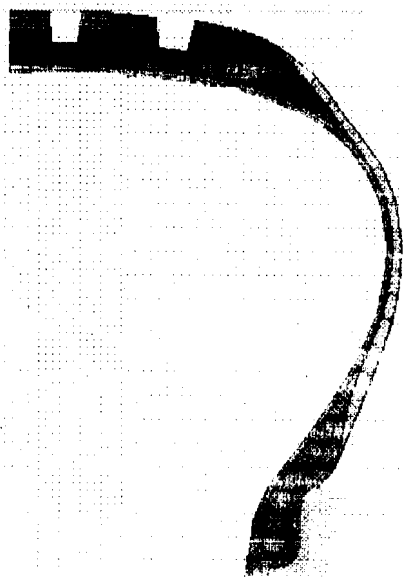


图 3 平面单元划分

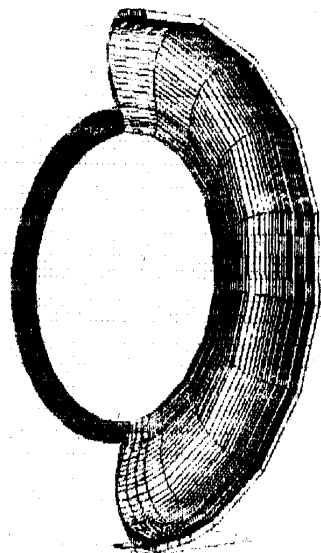


图 4 三维单元划分

图 5 示出了一种胶料的单向拉伸曲线,图 6 示出了其双向拉伸曲线,图 7 示出了其体积压缩曲线。

(3) 边界条件

考虑轮胎充气下沉情况。内表面加气压压力,气压选 0.24 MPa。对称面上的节点为固定约束 (一个自由度约束),胎面和地面、胎圈和轮辋定义为接触约束。其中地面垂直位移模拟轮胎下沉。接触摩擦模型选用“库伦”摩擦模型。

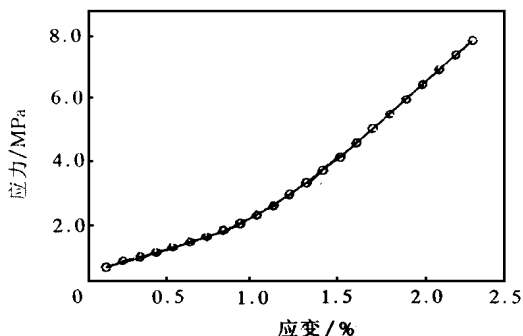


图 5 单向拉伸曲线

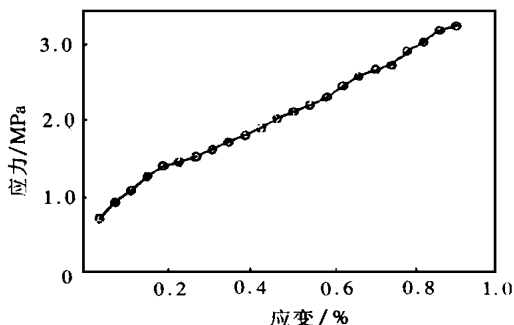


图 6 双向拉伸曲线

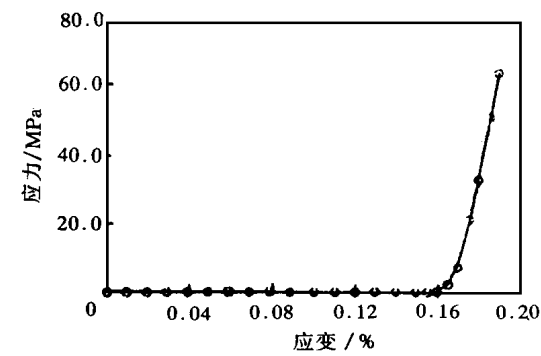


图 7 体积压缩曲线

胎圈和轮辋的接触问题较复杂,特别是在有过盈配合时计算难度更大,这一问题我们有另文撰述。为简化计算过程,这里把胎圈和轮辋的接触定义为“粘连”。

(4) 计算工况

该有限元计算模型有强烈的几何非线性和物理非线性,采用增量法求解非线性方程组。内压载荷分 20 步加载满,地面位移分 20 步移动到位。用“直接稀疏矩阵法”求解线性方程组^[3]。由于在求解过程中内表面不断发生变形,需随时对充气内压面力进行方向修正,使其始终垂直于内表面。

3 分析结果

用 MARC K7.1 版本,在 DEC Alpha Server 4000 服务器(466/ 512M)上计算了 5 h,最终得到了收敛的结果。由于数据量非常庞大,仅摘取一部分。

(1) 断面“主应力合成”分布图(应力单位:MPa)

图 8 示出了轮胎接地部分下沉前后的情况,下方轮廓线是轮胎下沉前的状态。从图 8 中可以看出,接触地面的胎面受压应力,带束层中部受压,端部受拉。

图 9 示出的是各断面上的情况。

(2) 带束层的“主应力合成”分布图(应力单位:MPa)

图 10 示出的是带束层变形前后的情况,带束层包括两层钢丝带束层,一层尼龙带束层。从图 10 可看出,带束层中部受压,端部受拉。

图 11 示出的是各断面上的情况。在整个接地区域,带束层中部均受压,端部的拉应力变化剧烈,应力值减小很快。

(3) 胎体的“主应力合成”分布图(应力单位:

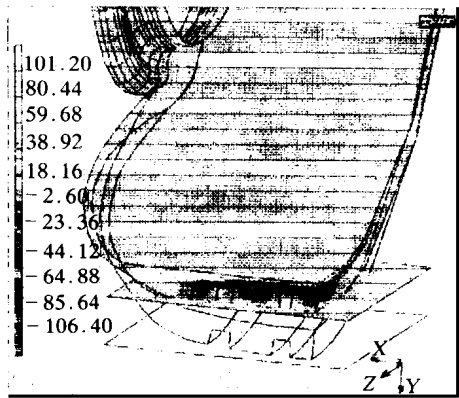


图 8 轮胎接地部分下沉前后的情况

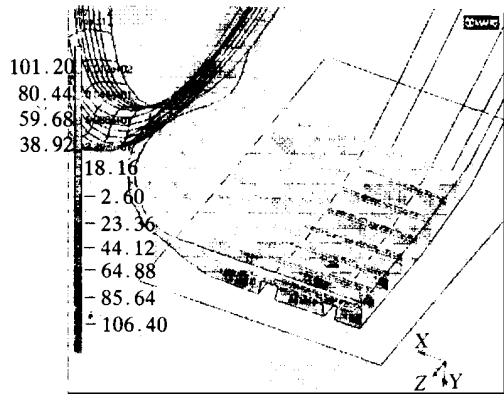


图 9 轮胎接地部分各断面下沉前后的情况

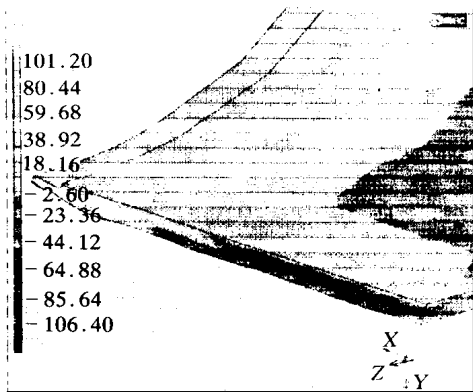


图 10 带束层变形前后的情况
MPa)

胎体的“主应力合成”分布图见图 12 和 13。从图 12 和 13 可看出,胎体在接地区域内受压应力,其它地方均受拉应力。在接地区段胎侧靠上部,应力最大。

4 结语

(1) 轮胎的内应力分布情况与轮胎的质量

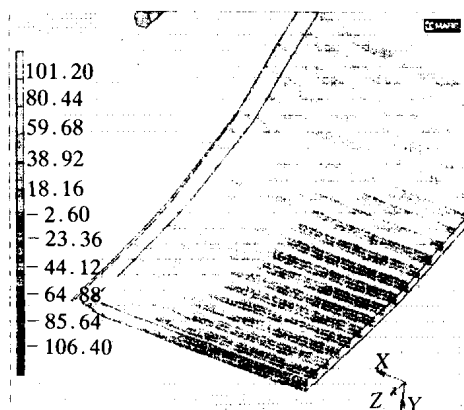


图 11 带束层各断面变形前后的情况

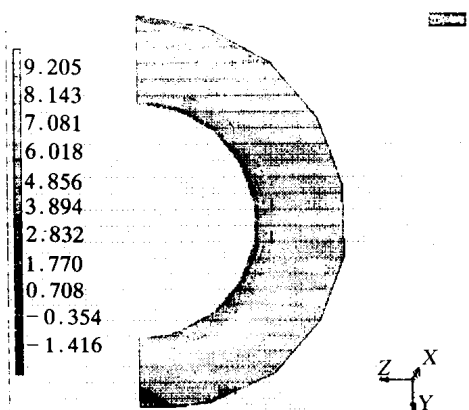


图 13 半周胎体的变形情况

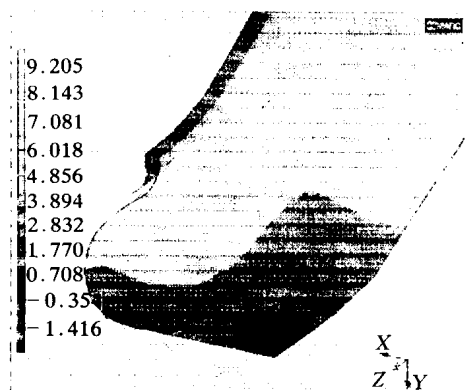


图 12 接地区域胎体的变形情况

有重大的关系,一般认为,应力分布情况不佳会导致轮胎的早期损坏。但是,什么样的应力分布情况好,什么样的应力分布情况坏,涉及到更深入复杂的“判据”研究问题。由于米其林轮胎的质量举世公认,可以认为,本文所列的计算结果是一种较好的应力分布情况,不失为轮胎结构设计好坏的一个“判据”。

(2) 本文所讨论的是轮胎静态三维内应力计算,实际情况是,轮胎总是坏在动态运动中,以静力情况推测轮胎在实际使用中的表现,可能会有较大的误差。

(3) 由于条件所限,计算结果尚难用实验来验证,并且未考虑带束层的“角度”方向,计算模型不尽准确。这方面有待继续工作。

(4) 大量的有线元计算结果可以形成有规律性的经验公式,溶入到 TECO 理论中,可反过来指导轮胎结构设计。但这又有赖于高速计算机和相应软件的开发了。

参考文献

- 1 Smithers Scientific Services Inc. Tire Analysis Report. Akron, USA: Smithers Scientific Services Inc., 1995. 8061-T
- 2 周 履, 范赋群. 复合材料力学. 北京: 高等教育出版社, 1991. 21~24, 220~267
- 3 殷有泉. 固体力学非线性有限元引论. 北京: 北京大学出版社, 清华大学出版社, 1987. 16~22, 172~194

收稿日期 1998-08-31

Three-dimensional FEA for Static Deflection of Radial Tire

Tang Meng and Zhang Yi

[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd. 200072]

Abstract The stress-strain properties of 205/70R15 radial passenger car tire produced by Michelin were analysed with the three-dimensional non-linear FEA by using MARC software. The results of static deflection were given.

Keywords tire, FEA, three-dimensional, static deflection