

有限元分析应用于轿车轮胎结构设计的优选

唐 萌 张 翼 余美娟 戴元坎

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所 200072]

摘要 应用通用有限元分析软件分析了同一规格、3种不同结构设计的轿车子午线轮胎,得出结构设计对轮胎接地面宽度和带束层应力分布有较大影响的结论。分析结果可用于结构设计的优选,并把该静态分析用于推测轮胎低速滚动下的情况。

关键词 轮胎,有限元分析,优选,结构设计

近年来,汽车厂家和用户不断对轮胎性能提出一些新的要求,诸如滚动阻力、噪声、操纵性、乘坐舒适性、中心感觉、轮胎质量、花纹深度等。一般认为,轮胎结构设计对这些性能的好坏有较大的影响。设计一个高性能的轮胎,可以认为是一个多目标的优化问题,要求同时兼顾各种性能,并突出最主要的性能,因此对结构设计理论方法提出了新的挑战(相对于传统的平衡轮廓设计方法)。目前来看,一些新轮胎的结构设计要以大量的试验测试为基础,以此来寻找优化方向。借助有限元分析方法这一结构设计的有力工具,我们应用通用非线性有限元分析软件——MARC 软件,在有限元分析应用于轮胎结构设计方面进行了一些探索。

1 轮胎结构

我们收集了同一规格轿车子午线轮胎的3种不同结构设计(参见图1),3种结构设计的特点为:

结构 :两层胎体,两层钢丝带束层;

结构 :单层胎体,两层钢丝带束层;

结构 :单层胎体,两层钢丝带束层,一层尼龙冠带层。

水平轴高度、轮辋点位置、断面高、断面宽等其余参数均相同。

2 有限元分析模型

应用 MARC K7. 2/ MENTAT 3. 2 β 版本有

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。

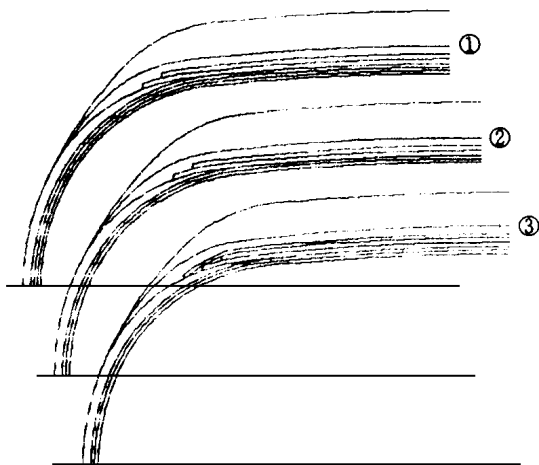


图1 同一规格3种不同的结构设计
限元分析软件对上述3种轮胎结构进行分析。

首先,对3种结构的断面划分了大致相同的网格,在CAD软件中用自主开发的程序Profea计算出节点的位置,输入到MENTAT软件中,在MENTAT中完成分析模型的制作。对模型做了对称性方面的简化,仅分析1/4轮胎,见图2和3。

材料模型和参数的选取是有限元模型制作中重要的一环,它们对分析结果的准确性有着较大的影响,也被认为是难点之一。对于轮胎中的橡胶材料,可采用基于应变能的门尼材料模型,在有限元分析中,采用不可压缩单元技术,可以较好地模拟真实情况。对于带束层、胎体、钢丝圈等骨架材料,则可以用正交各向异性复合材料来模拟。

为了给出正交各向异性材料的参考轴方向,需给出每个单元的局部坐标系统。为此开发了一个专用的程序Fea/Matrix,计算局部坐标系。该程序根据已建好三维模型的单元信

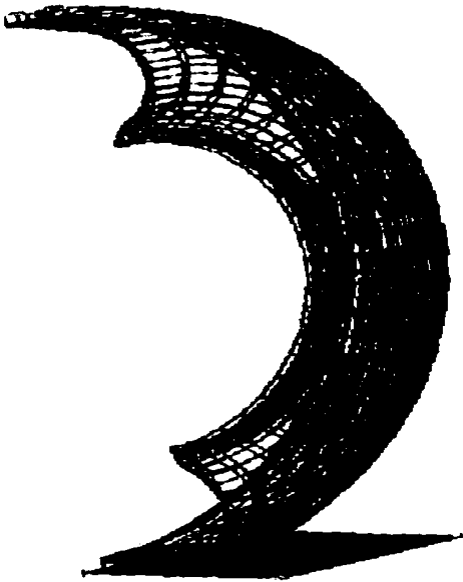


图 2 1/4 轮胎模型

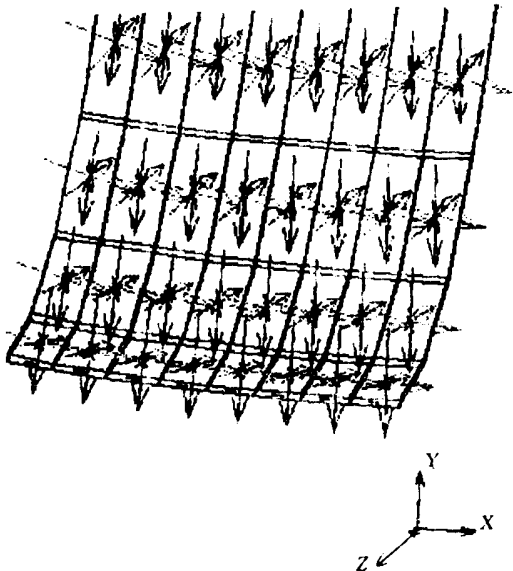


图 3 单元局部坐标系

息,生成大量的局部坐标轴在整体坐标系下的方向,写进 MARC 软件中的前处理卡片文件——dat 文件中,较好地解决了这一问题。

3 分析结果

用 MARC K7. 2β 版软件,在 DEC Alpha Server 4000 服务器上分析了 3 种结构设计的静态下沉情况。对照分析结果,可以看出以下几个现象:

(1) 胎面接地宽度不同。3 种不同结构的接地宽度比较见图 4。接地宽度排序为:结构

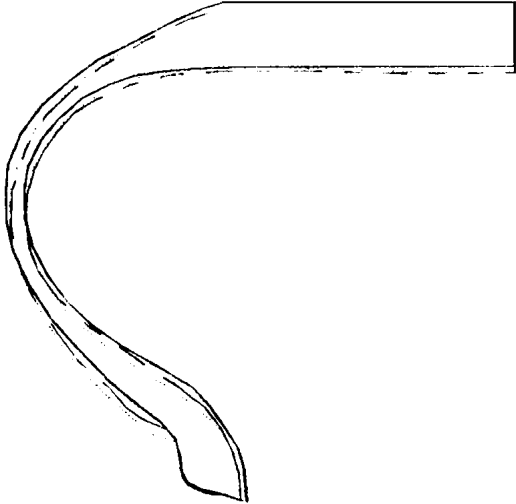


图 4 胎面接地宽度比较

——结构 ; - - - 结构 ;结构

< 结构 < 结构 。

一般认为,胎面接地面积较大,可以改善胎面对地面的抓着力和胎面耐磨性,但对轮胎滚动阻力有不利的影 响。因此,若单从降低滚动阻力目的出发,应选用胎面接地宽度较小的结构设计。

(2) 带束层翘曲程度不同。翘曲程度排序为:结构 < 结构 < 结构 。

轮胎在滚动周期中,带束层并不是始终保持平坦,在接近地面的一段有时会发生“反弓”翘曲(见图 5),我们的有限元分析再次证实了这一点。带束层的翘曲会使带束层边缘发生应力集中现象[如下面(3)所述],这可能是胎肩早期损坏的重要原因。

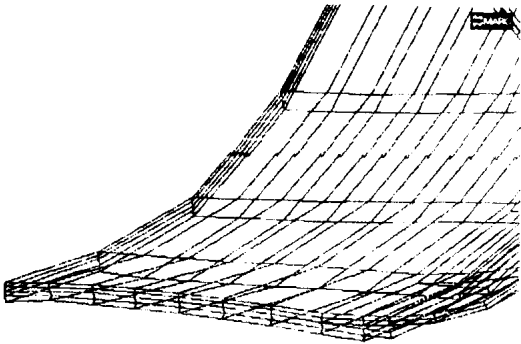


图 5 带束层的“反弓”翘曲

(3) 带束层边缘应力大小不同。图 6~8 为带束层应力图。带束层边缘指的是带束层离胎肩最近处,图 6~8 中所示为带束层最左端。从图中可以看出,带束层边缘最大应力值分别为:

结构 :131.5 MPa;

结构 :99.26 MPa;

结构 :111.0 MPa。

最大应力的排序为:结构 < 结构 < 结构。

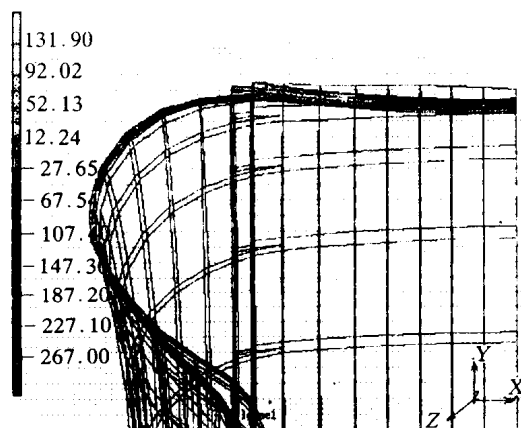


图6 结构的带束层应力图

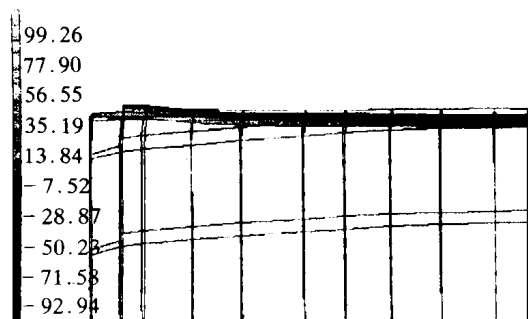


图7 结构的带束层应力图

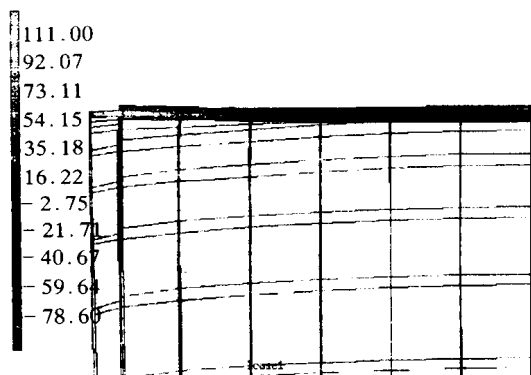


图8 结构的带束层应力图

带束层翘曲程度较轻的,边缘应力较小,与理论上的定性分析相吻合。值得一提的是,由于我们对带束层部件采用正交各向异性复合材

料来模拟,离真实情况有一定的距离,因此,应力值可能不会有如此之大;但是,应力分布的趋势应是可信的。

4 动态问题的探讨

如果不考虑轮胎材料的动态特性,并做一些动力学分析上的简化,可以用静态分析结果预测轮胎动态运动下的情况。可以认为,轮胎在动态滚动中仅比静态情况下多了一个离心力。离心力在轮胎的一周上分布是不均匀的,轮胎接触地面的一段,由于胎面平动,无离心力(参见图9),可做如下分析:

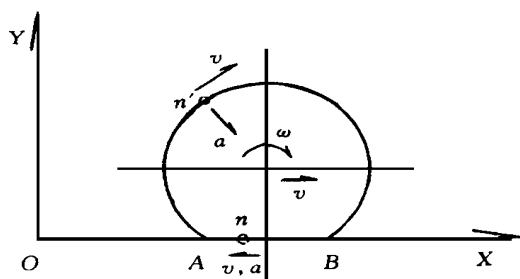


图9 轮胎的运动状态

假设地面是平整的,轮胎做直线滚动,下沉量不为0。在胎面上任取一质点分析。

以地面为参考系,建立如图9所示的坐标系,设轮胎向右滚动,胎面上有一质点 n ,AB段为胎面接地。

由图中可以看出,质点经过AB段时,其速度方向始终平行于X轴,其加速度方向也应平行于X轴,不可能指向轮胎轴心,因此,该质点不受向心力。在AB段之外,质点 n 做圆周运动,其速度方向不断改变,有一个始终指向轮胎旋转轴的向心加速度,因此要受到一个向心力。

假如以轮胎旋转轴为参考系,也可以得到同样的分析结果。

当轮胎滚动中下沉量为0时,情况有所不同,此时整个胎面都受向心力。

下面比较一下轮胎在低速滚动下,离心力与轮胎所受的载荷的大小。

如图10所示,在胎冠处取出 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 的一立方块,分别计算它所受的充气压力和离心力。

设 m 为其质量, S 为一个底面的面积, p 为底面上的气压, F_p 为底面上的压力, F_c 为其

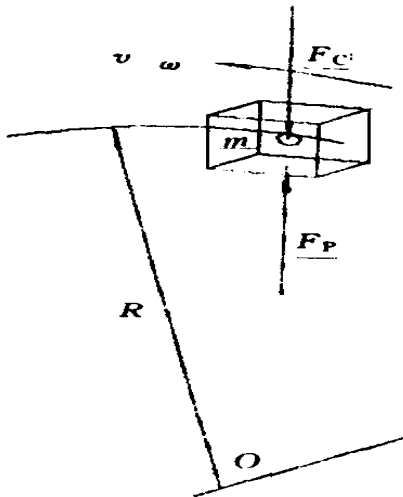


图 10 胎冠上一立方块的受力状态
转动时所受的向心力, R 为转动半径, v 为转动
线速度, ω 为转动角速度。

可知

$$\begin{aligned} R &= 0.34 \text{ m} \\ m &= 0.0013 \text{ kg} \\ p &= 240\,000 \text{ Pa} \end{aligned}$$

考虑车速为 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, $\omega = 40.8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, 则有

$$\begin{aligned} F_p &= pS = \\ &240\,000 \times 0.01 \times 0.01 = \\ &24 \text{ (N)} \\ F_C &= mR\omega^2 = \\ &0.0013 \times 0.34 \times 40.8^2 = \\ &0.74 \text{ (N)} \\ F_C / F_p &= 0.031 (< 5\%) \end{aligned}$$

可以看出,离心力相对于轮胎载荷来说并不是很大。因此,静态分析可以粗略地用于推测轮胎低速滚动下的情况。可以把轮胎中沿周向的节点应力顺序取出,作为该节点处的“动态应力周期情况”。按此假设,取出了 3 种设计的带束层边缘“应力周期”,如图 11 所示。按照有关材料疲劳失效理论,应力幅值大小、应力平均值、应力-时间积分值对材料疲劳寿命有重要的影响,可以推测,结构的胎肩有较长的使用寿命。

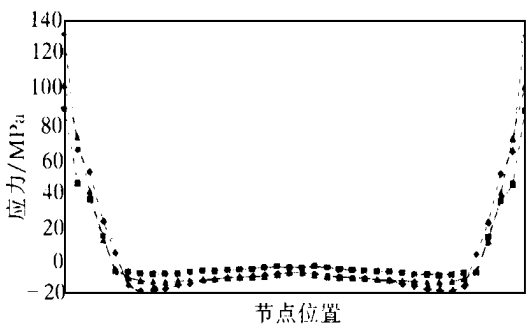


图 11 带束层边缘某点的“应力周期”
— —结构 ; —■—结构 ; —▲—结构

5 结语

通过对 3 种结构设计的分析可以看出,分析结果有明显的差异,有限元分析技术应用于轮胎力学分析中应是可行的,有定性指导作用。我们可根据不同的性能要求目标挑选相应的方案,达到结构设计优选的目的。

收稿日期 1998-10-31

Application of FEA to Passenger Car Tire Structure Design Optimization

Tang Meng, Zhang Yi, Yu Meijuan and Dai Yuankan
[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co., Ltd. 200072]

Abstract The passenger car radial tires with three structure designs in the same size were analysed with a general-purpose FEA software. It was found that the structure design had a significant influence on the tire contact width and the stress distribution in the belt. The analysed results could be used to optimize the structure design and predict the contact width and stress distribution of tire running at lower speed from those of tire in static state.

Keywords tire, FEA, optimization, structure design