

有限元在载重子午线轮胎弹性模量优选中的应用

任旭春¹, 张光华², 洪宗跃³, 吴桂忠³

(1. 清华大学力学工程系, 北京 100084; 2. 银川佳通轮胎有限公司, 宁夏 银川 750011; 3. 北京橡胶工业研究设计院, 北京 100039)

摘要: 利用 MSC. Patran 建立轮胎三维有限元预测模型, 模拟滚动轮胎与地面的接触。轮胎的动态分析采用 Mooney-Rivlin 结构模型和显式有限元分析, 考虑了轮胎与地面以及轮辋与轮胎间的静摩擦和动态摩擦, 给出了几组不同模量的分析结果, 针对胎圈处应力进行优选, 最终给出优化设计。

关键词: 有限元分析; Mooney-Rivlin 模型; 优选; 全钢载重子午线轮胎

中图分类号: TQ336.1⁺1; O241.82 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-890X(2004)08-0464-03

轮胎是汽车驱动系统的一个重要组成部分。近来随着汽车工业的发展, 轮胎力学的研究越来越广泛, 包括滚动阻力、操纵性、耐久性、噪声和驾驶舒适性。轮胎性能的提高可以通过改变轮廓、结构、材料特性和花纹等实现。

根据调查, 全钢载重子午线轮胎在胎圈处破坏的概率非常大, 这是由于胎圈处的应力集中造成的。本研究通过改变胎体帘线的杨氏模量对胎圈处的应力进行分析。

1 轮胎的有限元分析模型

本研究选取 10.00R20 16PR 全钢载重子午线轮胎为研究对象, 利用 MSC. Patran 软件建立有限元分析模型。模型由 13 种橡胶材料和 5 种帘线材料组成。通过定义轮辋速度场对轮辋的安装过程进行仿真。本研究模拟的试验条件是充气压力为 0.8 MPa。模型考虑了负载和轮胎与地面的接触条件, 同时为了对胎圈处应力进行仿真, 必须考虑轮辋与轮胎间的接触和摩擦。尽管如此, 胎圈处还经常会出现数值不稳定的现象。

1.1 超弹性橡胶的 Mooney-Rivlin 本构关系

对于超弹性材料, 本构关系通常是从以应变不变量或基本伸长率表示的应变能密度得到的。常用的应变能密度函数^[1,2]为:

$$W = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N C_{mn} (I_1 - 3)^m (I_2 - 3)^n$$

式中, I_1 和 I_2 分别是右 Cauchy-Green 变形张量的第一和第二不变量。取前两项可以得到 Mooney-Rivlin 本构关系:

$$W = C_{10} (I_1 - 3) + C_{01} (I_2 - 3)$$

该式广泛用于填充炭黑的胶料。

1.2 帘线材料的三维正交各向异性本构关系

采用三维正交各向异性本构关系来描述帘线材料。帘线层的方向有不同的角度, 如图 1 所示。模型中运用了局部坐标系和材料矩阵变换。变换公式如下:

$$[C_n] = [T_\sigma] \cdot [C] \cdot [T_\epsilon]^{-1}$$

式中, $[T_\sigma]$ 和 $[T_\epsilon]$ 分别为应力和应变的变换矩阵。

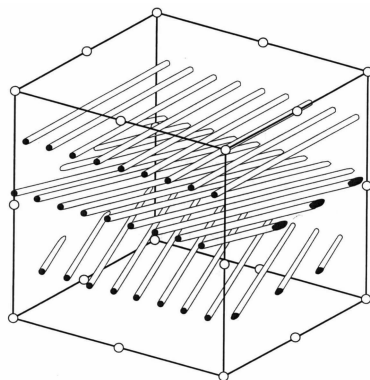


图 1 帘线层的方向

1.3 有限元分析的网格划分和边界条件

考虑到橡胶材料的特性以及轮胎与地面、轮

作者简介: 任旭春(1975-), 男, 山东烟台人, 清华大学在读博士研究生, 研究专业为固体力学。

胎与轮辋的接触和变形,模型中包括材料非线性、几何非线性和边界条件非线性。网格划分的质量和参数对数值的稳定性是很关键的,有限元网格划分如图 2 和 3 所示。

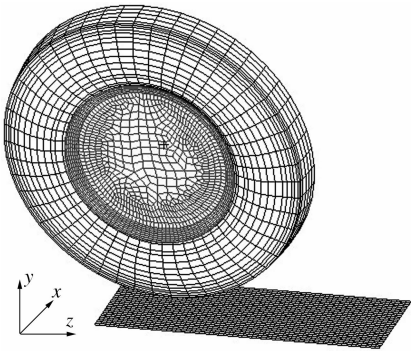


图 2 模型有限元网格的划分

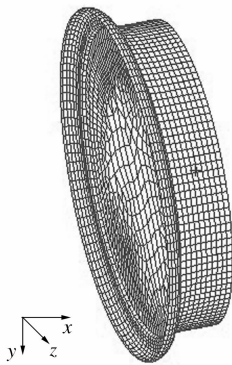


图 3 轮辋有限元网格的划分

在本研究中,将轮辋和地面定义为刚体,对其采用厚度为 1 mm 的四边形壳单元进行离散。胎冠、3 层带束层、钢丝圈和胎肩等部位采用六面体单元。胎圈胶用到少量的五面体单元。

该模型先后施加以下 3 种载荷场:轮辋定位载荷、内压力、垂直载荷。这 3 种载荷场相应的关系如图 4 所示。模型由 16 000 多个单元组成,运用主频为 1.6 GHz CPU 和内存 1 Gb 的计算机计算一次需要花费 4 h 以上。

2 有限元分析结果

2.1 轮辋的定位加载和内压加载

轮辋的定位过程是通过轮辋水平方向移动 40 mm 来模拟的。此过程伴随着轮胎的大变形和轮辋与轮胎发生接触。由于橡胶材料的硬度比

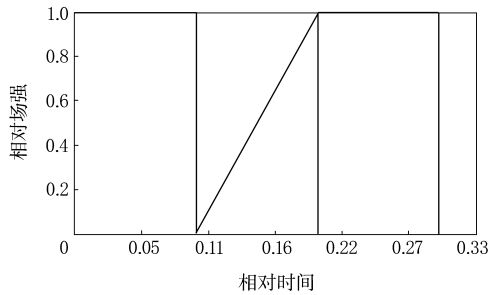


图 4 载荷场

钢丝帘线和轮辋小,在所用的显式算法中经常会在两者的接触区出现接触穿透现象。通过时间步和两者接触参数的调整获得了如图 5 所示的很好的效果。

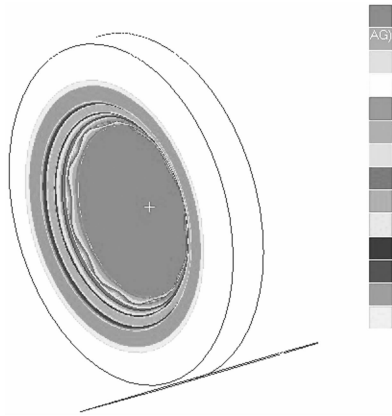


图 5 轮辋定位后的位移云图

对 10.00R20 16PR 轮胎进行充气压力为 0.8 MPa 的内压加载,最大变形位移约为 13 mm。轮胎加载内压后的位移云图如图 6 所示。

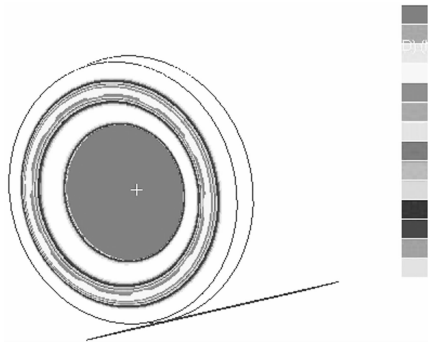


图 6 加载内压后的位移云图

2.2 垂直载荷加载

垂直载荷加载后,轮胎横截面的变形和应力

分布如图 7 所示。从图 7 可以看出,带束层和钢丝圈是主要承载部位,其应力集中比较明显,应力值比较大。胎圈部位的应力相对较小,但是胎圈部位主要由橡胶组成,因此胎圈处经常出现破坏现象。轮胎与地面接触点处法向横截面的变形和实际试验的结果分别如图 8 和 9 所示。

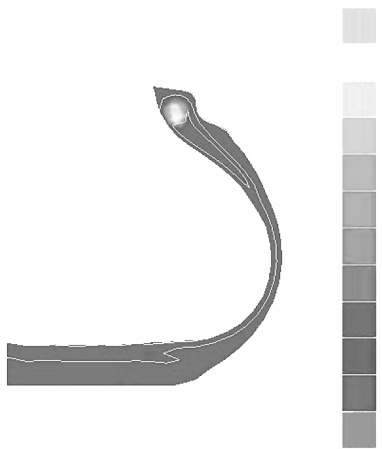


图 7 轮胎横截面的变形和应力分布



图 8 轮胎接地处法向接地压力分布

3 优选

本研究针对胎圈处的应力状况进行优选。从几组可供选择的数值中选一个比较好的参数评估准则是非常重要的。应力集中仅是破坏因素之一。这里选择能体现应力和应变状态的全应变能密度作为客观的评判标准,选择胎体帘线弹性张量中的 c_{11} 作为设计参数。胎体帘线弹性张量的矩阵形式如下:

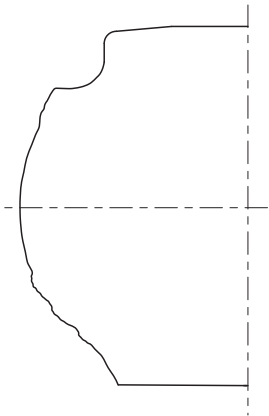


图 9 实际测量的胎廓变形曲线

c_{11}	c_{12}	c_{13}	0	0	0
c_{21}	c_{22}	c_{23}	0	0	0
c_{31}	c_{32}	c_{33}	0	0	0
0	0	0	c_{44}	0	0
0	0	0	0	c_{55}	0
0	0	0	0	0	c_{66}

c_{11} 值 90,95,100,105 和 110 GPa 分别对应的最大应变能密度为 1.710,1.646,1.724,1.702 和 1.743 $\text{kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})^{-1}$ 。

经过比较, $c_{11}=95$ GPa 时的最大应变能密度值比 $c_{11}=100$ GPa 时减小 4.5%。

4 结语

选取 10.00R20 16PR 全钢子午线轮胎建立有限元分析模型。以体现应力和应变状态的全应变能密度作为客观的评判标准,选择胎体帘线弹性张量中的 c_{11} 作为设计参数进行优选,可以改善轮胎胎圈部位的受力状况。

参考文献:

[1] Kim Y,Saleeb A F,Chang T Y P. Implementation of material stiffness coefficients in finite element applications to rubber [J]. Tire Science and Technology,1994,22(4):223-241.

[2] Yoeh O H. Characterization of elastic properties of carbon black filled rubber vulcanizates[J]. Rubber Chemistry and Technology,1990,63(5):792-805.