

帘线角度对轮胎静态接地工况影响的有限元分析

王华庆, 崔文勇, 赵 军

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 建立了 9.00—20 16PR 载重斜交轮胎静态接地三维非线性有限元模型, 分析了相同充气压力和下沉量下, 帘线角度对轮胎接地状态下的变形、应力及应变的影响。结果表明, 随轮胎胎体帘线角度的增大, 轮胎断面宽、胎圈部位帘布层的层间剪切应力、胎体帘布第一主应力及第一主应变增大, 而轮胎外直径、最大垂直接触应力及最大摩擦应力减小。

关键词: 轮胎; 帘线角度; 有限元分析方法; 层间剪切应力

中图分类号: TQ330.38⁺9; U463.341⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-890X(2002)12-0733-04

轮胎帘布层是载重斜交轮胎主要的承载部件, 由多层帘布-橡胶复合材料构成, 其性能呈明显的正交各向异性且在不同位置帘线的排列方向不同。

轮胎胎体所承受的扭转与剪切力及其弹性模量、剪切模量、泊松比等材料参数均与增强帘线的排列角度有关。帘线角度不仅影响轮胎结构, 而且对轮胎的应力、应变分布以及变形都有很大的影响。由于目前我国载重斜交轮胎仍占很大的市场份额, 且轮胎的高速、节能、耐磨性和操纵稳定性等性能都是通过轮胎与地面接触实现的, 因此, 分析帘线角度对载重斜交轮胎接地工况的影响对轮胎结构的优化设计具有重要意义。

1 胎体帘线角度的定义

帘线在胎圈之间的轨迹对轮胎设计特别重要, 沿着帘线轨迹, 帘线角度随着半径变化而变化, 其在胎冠中央最大, 沿胎侧向胎圈逐渐减小。若胎冠中央帘线角度已知, 则可描绘出轮胎帘线的轨迹, 因此用胎冠中央的帘线角度代表轮胎的帘线角度。本文中胎体帘线角度定义为帘线与径向的夹角, 如图 1 所示。

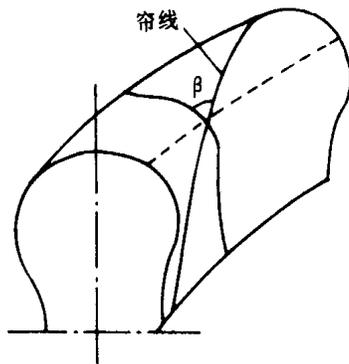


图 1 轮胎的帘线角度

一般, 胎冠帘线角度为 50° 左右, 高速轮胎为 60° 左右, 但生产工艺上的极限为 65° 左右^[1]。

胎冠帘线角度用公式(1)^[2]求得, 其它部位帘线角度与胎冠帘线角度的关系见公式(2)^[2]。

$$\sin \beta_k = r_k \sin \alpha_0 / (r_0 \hat{q}) \quad (1)$$

$$\sin \beta_i = r_i \sin \beta_k / r_k \quad (2)$$

式中 β_k ——胎冠帘线角度;
 r_k ——轮胎成品胎冠胎内直径;
 α_0 ——裁断角度;
 r_0 ——第一层帘布筒直径;
 \hat{q} ——帘线的假定伸张值;
 β_i ——轮胎断面上各分段帘线角度;
 r_i ——轮胎断面上各分段胎内直径。

作者简介: 王华庆(1973-)男, 黑龙江明水县人, 北京化工大学讲师, 在职硕士研究生, 主要从事轮胎结构有限元分析及其性能研究工作。

2 有限元模型的建立

利用 AUTOCAD 软件绘制轮胎断面轮廓图和材料分布图, 编写 AUTOLISP 程序实现 AUTOCAD 与 ANSYS 有限元程序的接口, 考虑了轮胎的几何非线性和载荷非线性以及胎面花纹的影响, 建立了 9.00-20 16PR 载重斜交轮胎静态接地非线性三维有限元模型。

2.1 模型的建立

轮胎断面各部位帘线的角度不同, 其单元特性也不同。为了准确地计算轮胎的受力情况, 首先要根据公式(1)和(2)确定轮胎各部位的帘线角度。

帘布层复合材料特性参数采用植村-山胁^[3]经验公式确定。需定义的材料参数主要有杨氏模量、泊松比(或剪切模量)、密度、摩擦因数等。对于轮胎有限元模型的部分材料, 应选用合适的单元进行模拟。

根据轮胎结构的特点, 选用体单元 Solid45 模拟轮辋、钢丝圈、胎体胶等单种材料构成的三维体结构; 选用层单元 Solid46 模拟帘布层、油皮胶层、胎圈包布等具有多层复合结构的部位, 这可使单元、节点数大大减少, 提高运算速度及分析精度; 选用接触单元 Contact173 与 Contact170 模拟轮胎的接地情况。

建立模型时首先按胎面花纹块的周期性生成单截距半胎模型(见图 2), 再通过旋转拷贝生成半胎模型(见图 3), 半胎模型有 12 933 个单元, 22 165 个节点。由于模型的几何条件、材料及载荷均满足对称条件, 故本文选取半胎模型进行计算分析。



图 2 单截距半胎有限元模型



图 3 半胎静态接地有限元模型

2.2 载荷与边界条件

在自定义柱坐标系中, X 为径向、 Y 为周向、 Z 为轴向, 对有限元模型的轴向断面施加轴向对称约束; 轮辋内侧节点轴向位移为零, 轮辋中心节点的径向位移和周向位移为零, 中心节点的上方节点周向位移为零; 充气压力为 0.49 MPa, 垂直于轮胎内表面; 为了便于分析轮胎的接地状态, 用对地面施加垂直位移模拟轮胎下沉状态, 位移值为 12 mm。

3 求解

求解分为 2 个载荷步即轮胎充气及施加垂直径向位移, 每个载荷步又分为多个载荷子步。对于接触问题的求解, 采用扩展的拉格朗日接触算法(罚函数+拉格朗日), 接触检查点位于高斯积分点, 求解使用 Full Newton-Raphson 方法, 首步为 1/10 时间步, 采用不平衡力 F 为收敛判据, 当遇到收敛困难时可以调整刚度矩阵, 同时采用载荷步长二分法(Bisection), 以实现其非线性求解过程。

4 结果分析

4.1 整体变形分析

轮胎断面宽与帘线角度的关系曲线见图 4, 轮胎外直径与帘线角度的关系曲线见图 5。

从图 4 和 5 可以看出, 轮胎的断面宽随帘线角度的增大而增大, 而轮胎的外直径变化趋势与断面宽相反, 随帘线角度的增大而减小, 与相关文献结论一致^[3]。其原因是, 由于随着帘线角度的增大, 帘线对垂直于圆周平面的方向束缚能力逐渐减小, 导致断面宽增大, 从而减小了轮胎外直

径,使轮胎更趋于扁平化。

4.2 应力分析

轮胎最大垂直接触应力、最大摩擦应力与帘线角度的关系曲线见图 6。

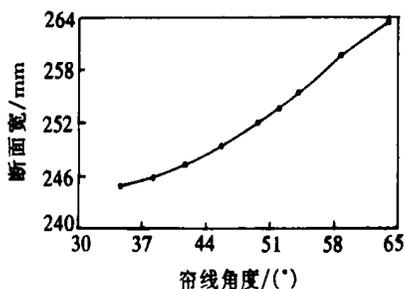


图 4 轮胎断面宽与帘线角度的关系曲线

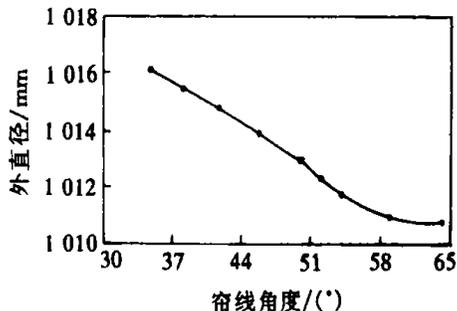


图 5 轮胎外直径与帘线角度的关系曲线

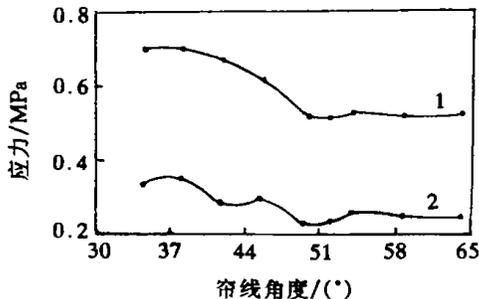


图 6 轮胎最大垂直接触应力及最大摩擦应力与帘线角度的关系曲线
1—最大接触应力; 2—最大摩擦应力

从图 6 可以看出,最大垂直接触应力、最大摩擦应力随帘线角度的增大而减小,在帘线角度为 50~65°的变化较为平缓,其变化趋势与轮胎外直径的变化趋势相似,这是由于加载后轮胎的径向尺寸随帘线角度的增大而减小,从而减小了最大垂直接触应力和最大摩擦应力。

层间剪切应力是轮胎疲劳后产生帘布脱层现象的重要原因,这种脱层现象最容易在胎体帘布

反包端点等局部位置出现。由于轮胎帘布中第一帘布筒与第二帘布筒间的层间剪切应力较大,因此选取轮胎接地区域典型部位分析第一帘布筒与第二帘布筒间的层间剪切应力变化。

轮胎典型部位层间剪切应力与帘线角度的关系曲线见图 7。

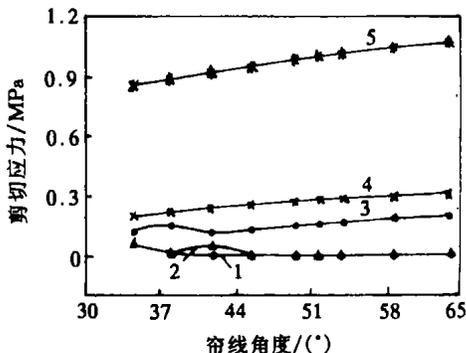


图 7 典型部位层间剪切应力与帘线角度的关系曲线

1—胎肩部位单元; 2—胎侧部位单元; 3—胎冠部位单元; 4—帘布筒反包部位单元; 5—胎圈底部单元

从图 7 可以看出,胎圈底部、帘布筒反包部位单元的层间剪切应力比较大且随帘线角度的增大而增大;而胎冠、胎肩、胎侧部位单元层间剪切应力较小且随帘线角度的增大变化平缓。这说明,减小帘线角度可减小胎圈底部帘布、帘布筒反包部位的层间剪切应力,降低由于层间剪切应力造成脱层破坏的可能性。

轮胎帘布层中胎侧至胎冠部位第一主应力较大,其最大值发生在胎肩部位,因此选取轮胎帘布层中胎冠、胎肩及胎侧部位节点作为分析对象。轮胎第一主应力与帘线角度的关系曲线见图 8。

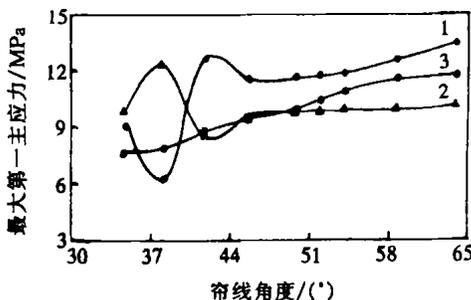


图 8 轮胎第一主应力与帘线角度的关系曲线
1—胎肩部位节点; 2—胎侧部位节点; 3—胎冠部位节点

从图 8 可以看出,帘线角度大于 45°时,所选部位的节点第一主应力随帘线角度的增大而呈增

大趋势,但变化较为平缓且各部位应力大小比较接近,第一主应力由胎侧至胎冠部位分布比较均衡;而帘线角度小于 45° 时,胎冠至胎侧第一主应力值变化较大。

4.3 应变分析

轮胎第一主应变与帘线角度的关系曲线见图9。

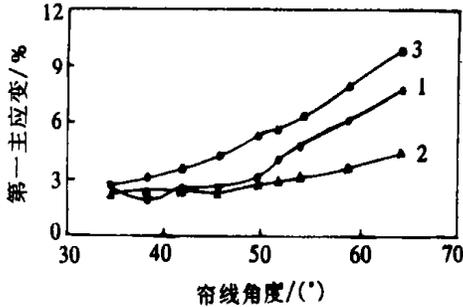


图9 轮胎第一主应变与帘线角度的关系曲线
注同图8

从图9可以看出,胎冠部位第一主应变较大,各部位的第一主应变均随帘线角度的增大而增

大,在帘线角度小于 45° 时变化较为平缓,帘线角度超过 45° 时,适当减小帘线角度可以减小胎冠、胎侧部位第一主应变。

5 结语

可以采用有限元分析方法研究帘线角度对载重斜交轮胎变形、应力、应变的影响,以优化轮胎结构。增大帘线角度可使轮胎断面宽、胎圈部位帘布层的层间剪切应力、第一主应力及第一主应变增大,而轮胎外直径、最大垂直接触应力及最大摩擦应力减小。

参考文献:

- [1] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996. 72-84.
- [2] 俞 淇, 周 锋, 丁剑平. 充气轮胎性能与结构[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 1998. 188-192.
- [3] 孙淮松, 崔文勇, 徐 鸿. 斜交轮胎三维有限元模型[J]. 北京化工大学学报, 2001, 28(2): 60-63.

收稿日期: 2002-06-16

Analysis for effect of cord angle on ground contact of tire

WANG Hua-qing, CUI Wen-yong, ZHAO Jun

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: A three-dimensional non-linear finite element model of 9.00-20 16PR bias truck tire was established, with which the effect of the cord angle on the deformation, stress-strain behavior in the ground contact area of tire at the same inflation pressure and deflection was investigated. The results showed that the cross-sectional width of tire, the inter-laminar shear stress in cord plies of bead area, and the first principle stress and strain in cord plies increased, but the overall diameter of tire and the maximum vertical contact stress and friction stress decreased as the cord angle of carcass plies increased.

Keywords: tire; cord angle; FEA; inter-laminar shear stress

用新型发泡助剂部分替代发泡剂 H

中图分类号: TQ330.38⁺⁷ 文献标识码: D

不久前双星集团张家口公司胶料技术组发明一种新型发泡助剂,这种新型发泡助剂与其它发泡剂配合,特别是与发泡剂 H 合理配合运用于生产,效果很好。

该公司过去在生产模压海绵时,多年应用发泡剂 H,这种发泡剂在生产过程中分解出具有刺激性气味的气体(甲醛和氨气等),对操作工人的

身体容易造成危害。公司胶料技术组自 2002 年年初经过多次试验,研制成功一种新型发泡助剂,用这种发泡助剂部分替代发泡剂 H,不仅使海绵的发泡效果好,而且大大减少了刺激性气味气体的散发,减轻了对操作工人身体的危害,同时新型发泡助剂价格比发泡剂 H 每千克便宜 5 元多,为公司节约了资金。目前,这种新型发泡助剂已正式应用于生产。

(青岛双星集团宣传处 张艾丽供稿)