

带复杂花纹轮胎侧倾接地性能有限元分析

杨守彬, 束长东, 束永平

(东华大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:使用组合二次周向保角映射建模法建立 12.00R20 全钢载重子午线轮胎带复杂花纹的三维有限元模型。采用有限元分析软件 ABAQUS 模拟标准充气压力和负荷下轮胎的侧倾滚动状态, 研究轮胎的侧倾角对接地面积和接地压力分布的影响。另外, 通过定义自接触面分析侧倾滚动工况下花纹沟的闭合情况, 结果表明该方法是可行和有效的。

关键词:子午线轮胎; 胎面花纹; 侧倾; 接地压力; 有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.6; O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2012)12-0740-04

轮胎是汽车的重要部件, 不仅支撑负荷, 向地面传递制动力、驱动力和转向力, 并承担缓冲减震等作用, 同时对汽车的乘坐舒适性、操纵性、安全、经济、效率等方面产生重要影响^[1]。轮胎的侧倾力学特性是汽车操纵动力学研究的重要内容之一, 对汽车的转向运动与车轮定位参数的合理选择有重要影响^[2]。

轮胎滚动过程中, 在与路面接触区, 花纹沟内的空气不断地被吸入和挤出, 由此形成了类似于空气泵的噪声。因此, 研究轮胎滚动过程中花纹沟闭合情况对花纹噪声的影响具有重要意义^[3]。

本研究采用 ABAQUS 软件, 考虑橡胶材料的非线性和不可压缩性、大变形带来的几何非线性, 轮胎与地面、轮胎与轮辋的接触以及胎面花纹部分的自接触引起的边界条件非线性, 建立带复杂胎面花纹的轮胎有限元模型^[4-5]。对该模型进行侧倾滚动工况下的接地性能分析, 同时通过定义自接触面, 分析侧倾滚动工况下花纹沟的闭合情况。

1 有限元模型的建立

1.1 胎面花纹建模

李兵^[6]提出了一个基于类保角映射簇的胎面花纹建模方法。本研究根据组合类保角映射簇建模法的基本原理, 利用 12.00R20 轮胎子午面内

二维胎面的外轮廓曲线为圆弧的特点, 对组合类保角映射簇建模法进行了简化, 使之成为组合二次周向保角映射, 实现了从曲面到平面的转换。

1.2 材料选择

胎体帘布层和带束层均是帘线-橡胶复合材料, 其性能呈现明显的各向异性, 采用 Rebar 模型来模拟; 橡胶的本构模型选用 Yeoh 模型, 应变能密度函数(W)描述为

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3$$

式中, $I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$, 为应变张量的第一不变量。其中 $\lambda_i = 1 + \epsilon_i$ ($i = 1, 2, 3$), 为 3 个主伸长率, ϵ_i 则为名义主应变。

1.3 接触条件

将轮辋和地面视为解析刚体。本研究在完成轮胎与轮辋的装配后, 取消接触, 改为固定约束, 既真实反映了胎圈部位在装配后的正确位置, 又简化了后续计算。轮胎与地面之间的摩擦因数为 0.8, 轮胎与轮辋之间的摩擦因数为 0.5。

另外, 考虑到滚动过程中会有花纹沟闭合, 在轮胎接地端附近区域定义了自接触面, 如图 1 所示。自接触的接触属性设置为软接触, 摩擦因数为零。

1.4 载荷工况

(1) 充气工况: 标准充气压力 0.84 MPa, 轮胎变形过程中该压力始终保持垂直作用于内表面。

(2) 静负荷工况: 额定负荷 3 270 kg, 轮辋固定, 在地面上施加集中力。

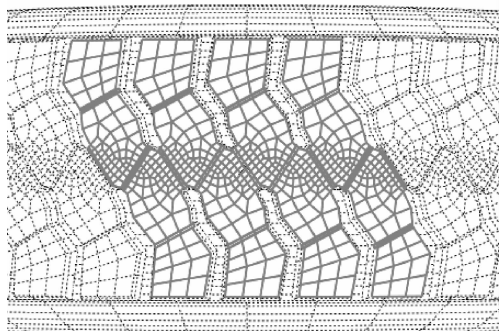


图 1 定义自接触面

(3) 稳态滚动: 轮胎行驶速度为 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

(4) 侧倾滚动: 侧倾角 (均为外倾) 分别为 $1.5^\circ, 3^\circ, 4.5^\circ, 6^\circ, 7.5^\circ, 9^\circ, 10.5^\circ$ 和 12° 。

2 结果分析与讨论

2.1 有限元计算结果的可靠性

为了验证模型的求解可靠性, 对参考轮胎进行了静负荷试验, 并与有限元计算结果进行了比较, 如图 2 所示。由图 2 可见, 有限元计算与试验数据有较好的一致性, 说明计算模型是有效的。

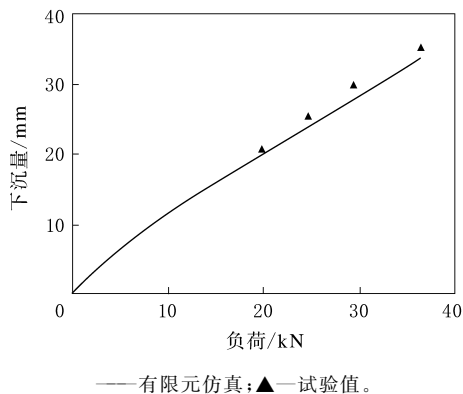


图 2 标准充气压力下轮胎下沉量-负荷曲线

2.2 侧倾滚动工况下的接地压力分布

侧倾自由滚动工况下接地压力分布云图如图 3 所示。随着侧倾角的增大, 接地印痕形状由类矩形逐渐变为三角形, 接地面积逐渐减小 (如图 4 所示); 接地压力分布发生了明显改变, 高应力区由胎冠中部向一侧胎肩处移动, 接地应力最大值逐渐增大 (如图 5 所示)。

2.3 侧倾滚动工况下花纹沟的闭合

6° 和 12° 侧倾角时花纹沟的闭合情况分别如图 6 和 7 所示。由图 6 和 7 可见: 侧倾自由滚动

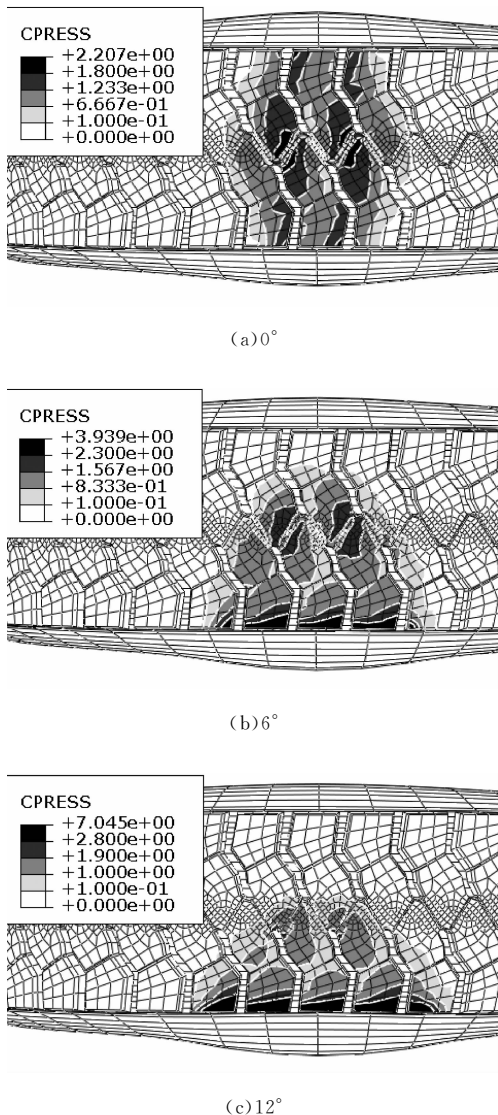


图 3 侧倾自由滚动工况下接地压力分布云图

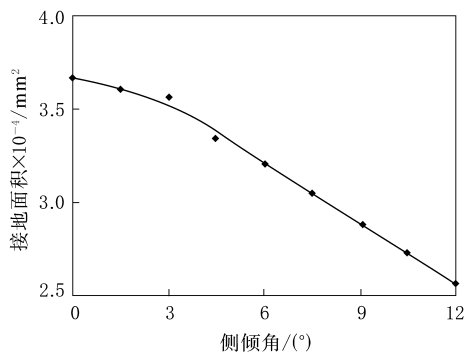


图 4 接地面积-侧倾角曲线

工况下, 没有花纹沟闭合; 侧倾最大制动、驱动工况下, 接地区内部分连通沟闭合, 主花纹沟不闭合; 侧倾角较小时, 闭合发生在中部连通沟, 侧倾

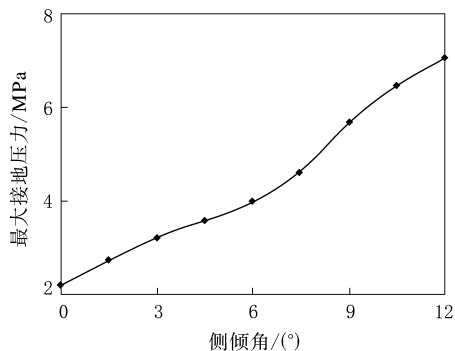
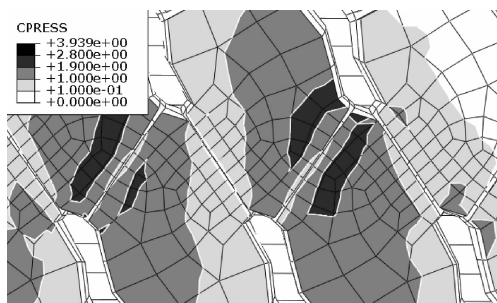
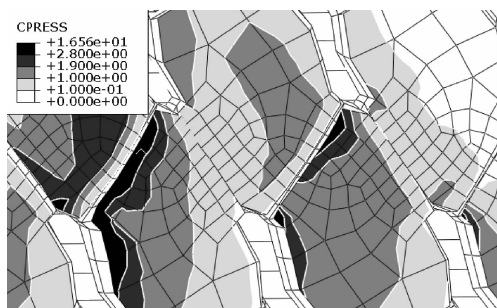


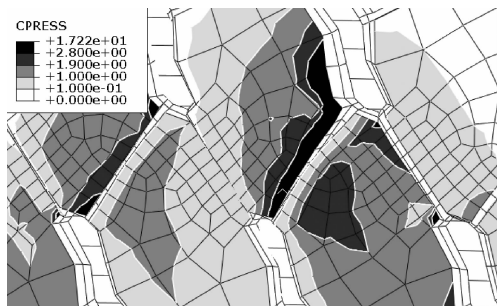
图5 最大接地压力-侧倾角曲线



(a) 自由滚动 (没有花纹沟闭合)



(b) 制动

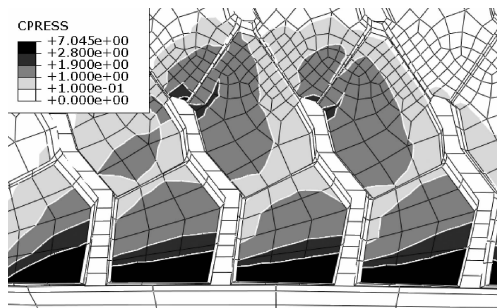


(c) 驱动

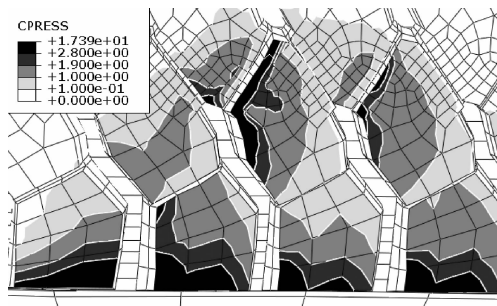
图6 6°侧倾角时花纹沟闭合情况

角较大时,闭合发生在外侧连通沟。

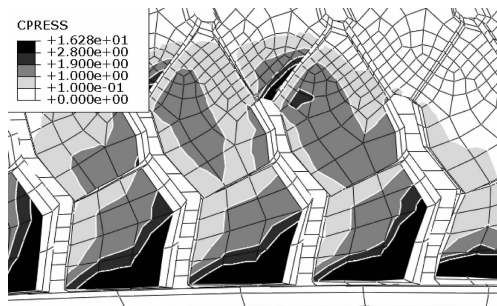
不同侧倾角下花纹沟闭合区域面积与稳态滚动角速度的关系如图8所示。从图8可以看出:随着角速度的增大(从制动到驱动),花纹沟闭合



(a) 自由滚动 (没有花纹沟闭合)



(b) 制动



(c) 驱动

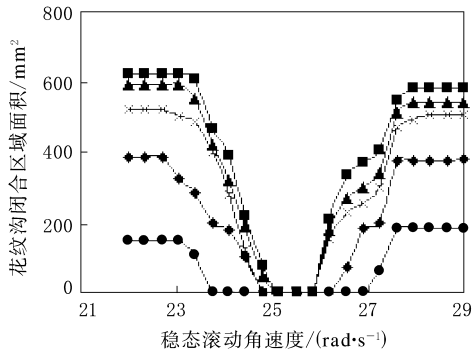
图7 12°侧倾角时花纹沟闭合情况

区域面积经历了先减小后增大的过程;随着侧倾角的增大,花纹沟闭合区域面积的最大值逐渐减小。

3 结论

本研究使用组合二次周向保角映射建模法,构建了具有复杂胎面花纹的轮胎有限元模型,对该模型进行了侧倾滚动工况下的接地性能分析,同时通过定义自接触面,分析了侧倾滚动工况下花纹沟的闭合情况。针对本研究所选参考轮胎,分析结果如下。

(1)侧倾滚动工况下,随着侧倾角的增大,接地印痕形状由类矩形逐渐变为三角形,接地面积



侧倾角/(°): ■—0; ▲—3; ×—6; ◆—9; ●—12。

图 8 不同侧倾角下花纹沟闭合区域面积与稳态滚动角速度的关系

逐渐减小,接地应力最大值逐渐增大。

(2)侧倾自由滚动工况下,没有花纹沟闭合;侧倾最大制动、驱动工况下,接地区内部分连通沟闭合,主花纹沟不闭合;侧倾角较小时,闭合发生在中部连通沟,侧倾角较大时,闭合发生在外侧连通沟。

(3)滚动轮胎在从制动到驱动过程中,花纹沟

闭合区域面积先减小后增大,并且随着侧倾角的增大,花纹沟闭合区域面积的最大值逐渐减小。

参考文献:

- [1] 庄继德. 现代汽车轮胎技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001:1-3.
- [2] 郭孔辉,卢荡. 轮胎稳态侧倾力学特性理论建模[J]. 中国机械工程,2001,12(5):589-591.
- [3] Larsson K, Barrelet S, Kropp W. The Modeling of the Dynamic Behavior of Tire Tread Blocks[J]. Applied Acoustics, 2002,63:659-677.
- [4] Mir Hamid Reza Ghoreishy. Finite Element Analysis of the Steel-belted Radial Tire with Tread Pattern under Contact Load[J]. Iranian Polymer Journal, 2006,15(8):667-674.
- [5] Cho J R, Kim K W, Yoo W S, et al. Mesh Generation Considering Detailed Tread Blocks for Reliable 3D Tire Analysis [J]. Advances in Engineering Software, 2004,35:105-113.
- [6] 李兵. 计及复杂胎面花纹的子午线轮胎结构有限元分析[D]. 合肥:中国科学技术大学,2008.

收稿日期:2012-06-28

Finite Element Analysis of Ground Contact Characteristics and Camber Angle of Rolling Radial Tire with Complex Tread Pattern

YANG Shou-bin, SHU Chang-dong, SHU Yong-ping

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: A three-dimensional finite element model of all steel radial truck tire 12.00R20 with complex tread pattern was established by using circumferential conformal mapping method. The tire rolling states with different camber angles were simulated under standard pressure and load by using ABAQUS finite element analysis software. The influence of camber angle on the contact area and contact pressure was investigated. In addition, the influence of different rolling states on the closed area of pattern groove was also studied by defining self contact surface, and the results showed that this method was feasible and effective.

Key words: radial tire; tread pattern; camber; contact pressure; finite element analysis

三元乙丙橡胶护套电力软电缆

中图分类号:TQ336.4⁺2 文献标志码:D

由上海南大集团有限公司申请的专利(公开号 CN 202258522U, 公开日期 2012-05-30)“三元乙丙橡胶护套电力软电缆”,涉及的三元乙丙橡胶(EPDM)护套电力软电缆的缆芯为由6种软导体丝绞合而成的导体,导体外依次包覆由聚丙烯带绕包成型的屏蔽层以及 EPDM 绝缘层,绝

缘层外包 EPDM 外护套。该电缆选用 EPDM 作外护套材料,使得电缆具有耐油、耐溶剂、耐浸渍漆和耐磨等优异性能,能够在拖拽和油污等特殊环境下使用;选用软导体使得电缆具有较小的弯曲半径,满足电力软电缆使用时多弯曲的特殊要求;使用 EPDM 绝缘层,保证了导体连续运行最高温度 90℃的要求,可延长电缆的使用寿命。

(本刊编辑部 马 晓)