

三角平衡轮廓轮胎侧倾侧偏滚动 接地性能有限元分析

薛梓晨^{1,2}, 贺建芸^{1,2}, 丁玉梅^{1,2}, 杨卫民^{1,2}, 焦志伟^{1,2*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要: 基于 Abaqus 软件建立三角平衡轮廓轮胎和传统轮廓轮胎的三维有限元模型, 并研究侧倾侧偏滚动工况下轮胎行驶速度对轮胎接地性能的影响。结果表明: 三角平衡轮廓轮胎的接地印痕面积明显小于传统轮廓轮胎; 当轮胎行驶速度较高时, 行驶速度对三角平衡轮廓轮胎最大接地压力和最大摩擦应力基本不产生影响, 说明三角平衡轮廓轮胎高速行驶时的稳定性较好。

关键词: 轮胎; 三角平衡轮廓; 传统轮廓; 支撑块; 侧倾角; 侧偏角; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-8171(2014)04-0204-04

轮胎是汽车的重要部件, 不仅支撑车身质量, 向地面传递制动力、驱动力和转向力, 还对汽车的乘坐舒适性、操纵性和安全性等产生重要影响^[1]。王伟等^[2]通过有限元分析软件对轮胎静态接触特性进行了详细研究, 但轮胎特性只有在车辆行驶过程中才能真实地展现出来。

为了更加精确、真实地分析轮胎滚动工况的接地性能, 本工作研究侧倾侧偏滚动工况下轮胎行驶速度对其接地性能的影响, 并对比最佳三角平衡轮廓轮胎与传统轮廓轮胎在侧倾侧偏滚动状态下的接地性能和侧偏特性。

1 有限元模型的建立

1.1 材料模型

橡胶是一种复杂的具有不可压缩性的超弹性材料, 在 Abaqus 中均采用杂交单元来处理。常用的本构模型主要有 Mooney-Rivlin 模型和 Yeoh 模型^[3], 由于轮胎的变形较大且 Yeoh 模型对复杂的变形状态具有较好的预报能力, 因此本研究选用 Yeoh 模型。各类帘线均为正交各向异性材料, 选用线弹性模型, 并通过 Embed 功能将其嵌入到相应的橡胶中; 支撑块选用线弹性模型,

其材料选用聚氨酯弹性体, 选取杨氏模量为 510 MPa, 泊松比为 0.4^[4]。

1.2 接触算法和边界条件

求解接触问题常用的方法有 Lagrange 乘子法、罚函数法、混合法以及基于求解器的直接约束法^[5], 综合考虑计算效率和时间成本, 本研究采用罚函数法。考虑轮胎与轮辋和地面的摩擦作用, 胎圈与轮辋之间和胎面与地面之间的摩擦因数分别取 0.3 和 0.5。轮辋和地面定义为解析刚体。

1.3 负荷工况

(1) 充气工况。在始终垂直于轮胎气密层的内表面上施加均布充气负荷, 标准充气压力为 0.29 MPa。

(2) 静负荷工况。轮辋固定, 通过地面对轮胎施加坚直向上的标准负荷 5 520 N。

(3) 侧倾侧偏滚动工况。侧倾角和侧偏角分别设为 4° 和 8°, 轮胎行驶速度分别为 10, 30, 60 和 90 km · h⁻¹。

1.4 有限元模型的网格划分

利用 Abaqus 有限元软件对 255/30R22 规格三角平衡轮廓轮胎和传统轮廓轮胎建立二维轴对称模型, 并细化骨架材料端部、轮胎易损坏部位以及胎面与地面发生接触区域的单元网格, 以提高求解精度。三角平衡轮廓轮胎二维轴对称模型如图 1 所示。

作者简介: 薛梓晨(1989—), 男, 甘肃金昌人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事轮胎结构设计及有限元分析研究。

* 通信联系人

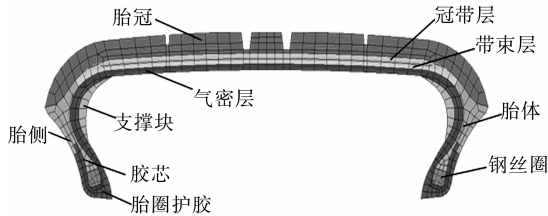


图 1 三角平衡轮廓轮胎二维轴对称模型

利用 Symmetric Model Generation 功能, 建立三角平衡轮廓轮胎的三维有限元模型, 且仅考虑纵向花纹沟, 并选用标准 9J 轮辋进行装配, 侧倾角为 4° , 如图 2 所示。

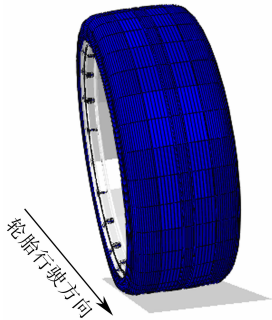


图 2 三角平衡轮廓轮胎三维有限元模型

2 结果与讨论

2.1 模型验证和优化

在充气压力 0.22 MPa、静负荷 5 650 N 条件下, 有限元分析结果与试验结果对比见表 1。传统轮廓轮胎仿真值与测试值误差在 7% 范围内, 满足工程要求, 因此可利用该模型和分析方法进行轮胎力学性能研究。由表 1 可以看出, 三角平衡轮廓轮胎的接地印痕面积明显小于传统轮廓轮胎, 说明在相同试验条件下, 三角平衡轮廓轮胎的翻转力臂较小、真圆度较高, 具有低滚动阻力优势。

表 1 不同轮廓轮胎有限元仿真结果与试验结果的对比

项 目	仿真值		测试值 ¹⁾
	三角平衡轮廓轮胎	传统轮廓轮胎	
印痕面积/ cm^2	202.3	224.8	216.2
下沉量/mm	9.8	17.6	18.6

注: 1) 传统轮廓轮胎测试值。

以 255/30R22 轮胎的断面轮廓尺寸为参考对象进行经验设计, 建立有限元分析初始模型, 利用 Abaqus 有限元软件, 在标准负荷工况下对三角平衡轮廓轮胎在稳态滚动状态下的接地性能进

行分析, 然后根据初始模型的有限元分析结果对所设计的断面轮廓进行优化, 以减小接地印痕面积和滚动阻力, 得到最佳三角平衡轮廓, 如图 3 所示。

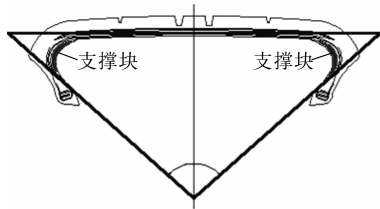
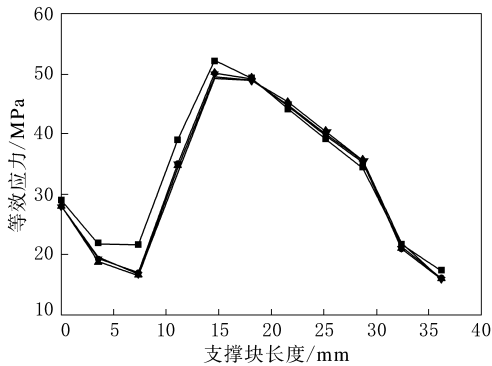


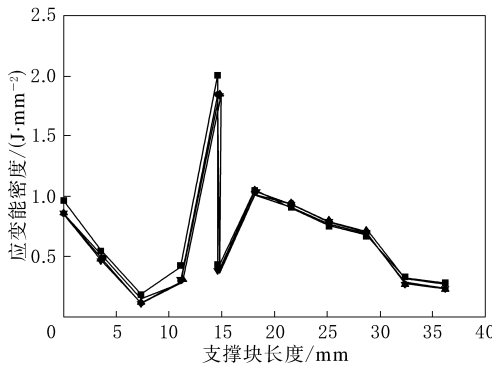
图 3 轮胎三角平衡轮廓

2.2 轮胎行驶速度对支撑块力学性能的影响

轮胎行驶速度对侧倾侧偏滚动状态下三角平衡轮廓轮胎支撑块受力和变形的影响如图 4 所示。由图 4 可以看出: 在支撑块的中部等效应力和应变能密度最大, 说明在支撑块中部弯曲变形最大; 随着轮胎行驶速度的提高, 支撑块的等效应力和应变能密度有所下降, 缓解了支撑块的弯曲变形, 但支撑块的受力变形变化不大。



(a) 等效应力



(b) 应变能密度

速度/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$: ■—10; ●—30; ▲—60; ▼—90。

图 4 轮胎行驶速度对侧倾侧偏滚动状态下三角平衡轮廓轮胎支撑块受力和变形的影响

2.3 轮胎行驶速度对轮胎接地性能的影响

在侧倾侧偏滚动工况下不同轮廓轮胎接地印痕随轮胎行驶速度的变化如图5所示。由图5可

以看出:在侧倾侧偏滚动工况下,三角平衡轮廓轮胎在接地区域内的印痕面积明显小于传统轮廓轮胎,说明三角平衡轮廓轮胎在侧倾侧偏联合作用

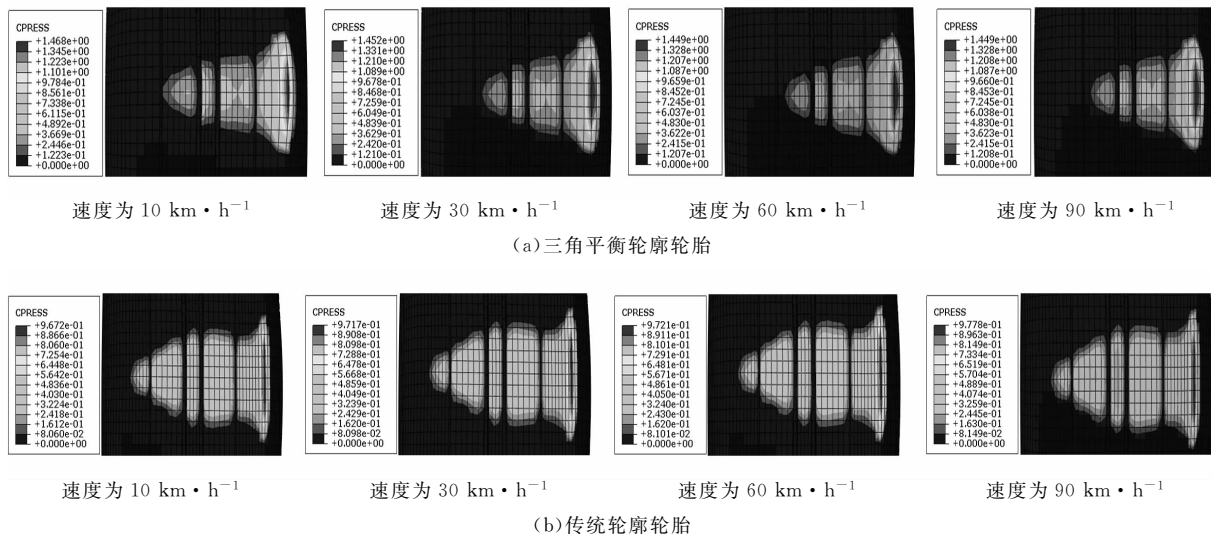
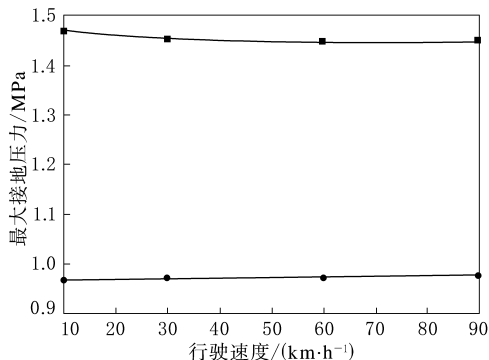


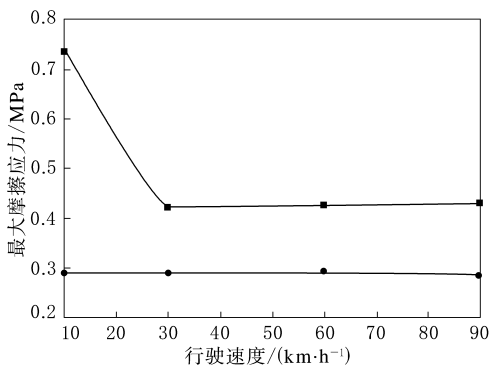
图5 速度对侧倾侧偏滚动轮胎接地印痕的影响

下转向灵活性较为优异;随着轮胎行驶速度的提高,轮胎接地区域内最大接地压力分布逐渐集中于胎肩,增大了胎肩处的磨损。

在侧倾侧偏滚动工况下不同轮廓轮胎最大接地压力和最大摩擦应力随轮胎行驶速度的变化如图6所示。由图6可以看出,随着轮胎行驶速度的提高,三角平衡轮廓轮胎接地区域内胎肩处的最大接地压力逐渐减小,当轮胎行驶速度从 $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 提高至 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,接地区域内胎肩处的最大摩擦应力下降幅度较快,而速度从 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 提高至 $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,最大摩擦应力变化很小,说明行驶速度对传统轮廓轮胎的最大接地压力和最大摩擦应力的影响较小。另外,三角平衡轮廓轮胎在侧倾侧偏滚动工况下最大接地压力和最大摩擦应力远高于传统轮廓轮胎,尤其在低速时的最大摩擦应力表现最为明显。分析原因一方面是三角平衡轮廓轮胎胎肩与胎侧内侧所夹的支撑块在充气工况下不断地受充气压力挤压,使得胎冠部位沿胎面横向被拉直,增强了胎冠部位的刚性;另一方面是高硬度的支撑块增大了胎侧刚性,从而提高了轮胎的径向刚度,减小了轮胎接地面积,因此,三角平衡轮廓轮胎较小的接地面积需要较大的接地压力和摩擦应力才可达到相同



(a) 最大接地压力



(b) 最大摩擦应力

■—三角平衡轮廓轮胎;●—传统轮廓轮胎。

图6 轮胎行驶速度对侧倾侧偏滚动状态下轮胎最大接地压力和最大摩擦应力的影响

的轮胎驱动力,使两种轮胎达到相同的轮胎行驶速度。

3 结论

(1)在侧倾侧偏滚动工况下,三角平衡轮廓轮胎支撑块中部弯曲变形最大。随着轮胎行驶速度的提高,稍微缓解了支撑块的弯曲变形,但变化不大。

(2)三角平衡轮廓轮胎在接地区域内的接地印痕面积明显小于传统轮廓轮胎,但是较小的接地印痕面积影响了轮胎的制动性能,因此在三角平衡轮廓轮胎与车辆匹配时,应采取较小的侧倾角,避免过多地影响轮胎的制动性能。

(3)当轮胎行驶速度较低时,行驶速度对三角平衡轮廓轮胎的最大接地压力和最大摩擦应力影

响较大;当轮胎行驶速度较高时,则对二者基本不产生影响,说明三角平衡轮廓轮胎在中高速行驶时稳定性较好。

参考文献:

- [1] 杨守彬,束长东,束永平.带复杂花纹轮胎侧倾接地性能有限元分析[J].橡胶工业,2012,59(12):740-743.
- [2] 王伟,徐忠丽,邓涛,等.载重子午线轮胎接地面有限元分析[J].弹性体,2006,16(1):29.
- [3] 黄建龙,解广娟,刘正伟.基于 Mooney-Rivlin 模型和 Yeoh 模型的超弹性橡胶材料有限元分析[J].橡胶工业,2008,55(8):467-472.
- [4] 薛梓晨,贺建芸,杨卫民,等.三角平衡轮廓轮胎力学性能的研究[J].北京化工大学学报(自然版),2013,40(5):93-99.
- [5] 石亦平,周玉蓉.ABAQUS 有限元分析实例详解[M].北京:机械工业出版社,2006:94.

收稿日期:2013-10-22

FEA on the Grounding Properties of Triangle Equilibrium Profile Tire under Camber and Corner Rolling State

XUE Zi-chen^{1,2}, HE Jian-yun^{1,2}, DING Yu-mei^{1,2}, YANG Wei-min^{1,2}, JIAO Zhi-wei^{1,2}

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. National Engineering Laboratory of Tire Design and Manufacturing Process, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on Abaqus software, the 3D finite element models of the triangle equilibrium profile tire and the traditional profile tire were established, and the effect of tire velocity on the tire grounding properties under camber and corner rolling state was investigated. The results showed that, the footprint area of the triangle equilibrium profile tire was much smaller than that of the traditional profile tire. At high speed, the speed had little influence on the maximum grounding pressure and maximum friction stress of the triangle equilibrium profile tire, which indicated that the stability performance of the triangle equilibrium profile tire was good at high speed.

Key words: tire; triangle equilibrium profile; traditional profile; support block; camber angle; slip angle; finite element analysis

一种载重汽车轮胎气密层胶

中图分类号: TQ336.1; U463.341⁺.3 文献标志码: D

由山东永泰化工有限公司申请的专利(公开号 CN 103483705A, 公开日期 2014-01-01)“一种载重汽车轮胎气密层胶”,涉及一种载重汽车轮胎气密层胶,其配方组成为天然橡胶(NR)、卤化丁基橡胶(HIIR)、聚异戊二烯橡胶、炭黑 N660、氧化镁、氧化锌、硬脂酸、增粘树脂、均匀剂

40MSF、芳烃油、防老剂、不溶性硫黄、促进剂 NS。该配方采用 60~75 份 HIIR 和 0~80 份 NR,极大地降低了气密层胶生产成本;通过添加聚异戊二烯橡胶,有效地提高了气密层胶的气密性及其他性质;通过调整防老剂组合,提高了橡胶耐高温、抗氧化等性能,从而提高了气密层胶的使用寿命和安全性能。

(本刊编辑部 马 晓)