

全钢子午线轮胎花纹与地面的接触特性研究

王琳¹, 栗本龙²

[1. 山东天弘司法鉴定所, 山东 威海 264209; 2. 哈尔滨工业大学(威海) 橡胶复合材料与结构研究所, 山东 威海 264209]

摘要:以12R22.5轮胎为研究对象,建立全花纹全钢子午线轮胎与地面接触的三维非线性有限元仿真模型,研究不同负荷、充气压力和工况下轮胎的接地压力变化规律。结果表明:花纹接地压力分布仿真与实测结果吻合;随负荷增大,接地压力增大且向肩部偏移;充气压力增大,轮胎中心区域接地压力增大;启动、侧偏和转弯等复杂工况对接地压力分布影响显著。

关键词:全钢子午线轮胎;胎面花纹;接地压力;有限元仿真;充气压力;负荷

中图分类号:U463.341⁺.6;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2021)06-0359-05

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2021.06.0359



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎是橡胶工业的重要产品之一,在车辆中起着支承负荷、传递力(制动力、驱动力和转向力)的作用,而这些力均产生于轮胎与地面的接触区域^[1]。此外,随着汽车工业的快速发展,对轮胎的安全性、舒适性和经济性等方面的要求也不断提高,而这些也都与轮胎的接地特性相关。全钢子午线轮胎是应用广泛的轮胎之一,其对道路车辆安全的作用越来越受关注。

自1981年,国外学者已开始关注轮胎与地面的接触印痕研究,由于其能反映轮胎的基本性能,为设计提供非常有用的信息,且测量方法简单,结果易于分析,因此接地印痕已成为轮胎性能检测程序的首个考察对象^[2]。目前,国内外学者已广泛展开轮胎与地面的接触特性研究。怀文青等^[3]在重构三维路面谱的基础上,构建了三维轮胎和路面接触模型,对轮胎与路面的相互作用响应开展了研究。林旭等^[4]采用ANSYS有限元软件建立了汽车轮胎接地有限元分析模型,研究了轮胎与道路接触的应力及应变分布。王国林等^[5]以205/55R16轮胎为研究对象,考虑轮胎接地的胎肩区、过渡区和中心区,采用主成分法揭示了各接地参数与干-

湿抓着性能之间的定量关系。后又基于全反射的光学原理研制了测量轮胎接地压力分布的试验平台^[6]。罗哲等^[7]针对255/70R22.5 16PR全钢子午线轮胎,采用有限元仿真方法,通过调整带束层压力分担率,改善了轮胎接地印痕形状。车辆工况对轮胎与地面的接触特性有较大影响,启动时的接触压力和摩擦应力剪切力最大^[8]。S. H. KOEHNE^[9]研究了光面轮胎和花纹的接地压力分布,结果表明带有纵条或块状花纹的边缘接触压力非常大,且分布不连续。

轮胎接地特性对轮胎性能及车辆安全有重要影响,因此考虑实际花纹的接地性能分析具有指导意义。本工作以12R22.5全钢子午线轮胎为研究对象,基于Abaqus有限元仿真软件建立带花纹轮胎的有限元仿真模型,对不同负荷和充气压力下的接地形状和压力分布进行分析,揭示其影响规律。

1 轮胎有限元仿真建模

1.1 轮胎模型

轮胎有限元模型是基于精细描述轮胎物理结构基础上建立的轮胎数值模型。

本工作采用哈尔滨工业大学的仿真分析软件TYABAS3.0进行前处理分析,可得到轮胎二维网格划分,二维网格由1 292个节点和1 214个单元组成,见图1。

基金项目:山东省重点研发计划项目(2019GGX102051)

作者简介:王琳(1981—),女,湖南邵阳人,山东天弘司法鉴定所车辆事故鉴定员,学士,主要从事车辆事故中轮胎印痕及速度测算工作。

E-mail: archer0521@163.com

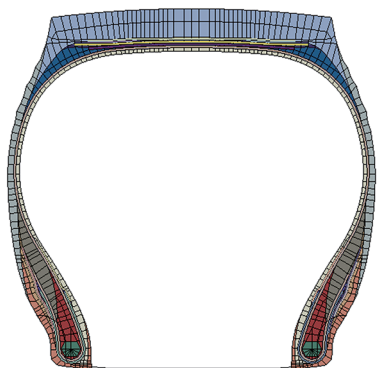
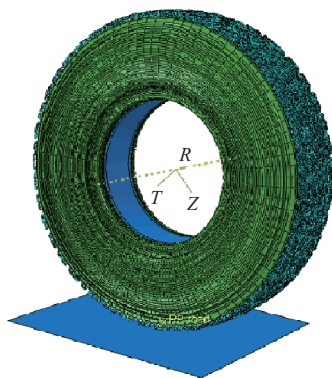


图1 轮胎二维模型

基于二维分析结果,采用Abaqus中的Symmetric Model Generation和Symmetric Results Transfer命令从二维分析结果生成三维轮胎模型。再结合基于UG三维建模软件的曲面和实体建模功能,完成花纹的三维建模,最终导入Abaqus进行三维花纹网格划分,并将花纹底面通过Tie与光面轮胎顶面进行耦合,即可得到轮胎花纹接地分析有限元模型,见图2。其中,底面和轮辋不考虑变形,采用解析刚体与参考点耦合;轮辋与轮胎胎圈表面通过摩擦接触实现模拟充气过程的装配;地面与花纹外表面摩擦接触。



R 、 T 和 Z 分别代表半径方向、切向和轴向。

图2 带花纹轮胎三维模型

轮胎橡胶材料采用Marlow超弹性本构模型,直接输入应力-应变曲线数据。钢丝帘线等骨架材料采用Rebar单元埋入橡胶基体中,采用线弹性本构模型。

1.2 轮胎与地面的接触模型

轮胎与地面的摩擦特性直接影响车辆驱动性能、操纵性能、滚动阻力和胎面磨损等^[10-11]。由于橡胶的超弹性,其接触摩擦行为也主要由其粘

弹性本质所主导,与接触压力、滑动速度、温度和地面粗糙度等因素相关。结合工程应用,本工作采用较为成熟的幂函数摩擦模型^[12],公式如下:

$$\mu = Ap^B|v|^C$$

式中, μ 为摩擦因数; p 为接触压力,N; v 为滑动速度, $m \cdot s^{-1}$; A 、 B 、 C 为与摩擦因数相关的参数。

基于研制的胎面与路面摩擦试验装置(见图3)测得的摩擦数据,可拟合得到摩擦因数模型。

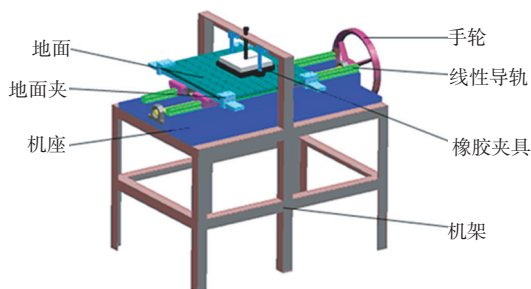


图3 胎面与路面摩擦试验装置

1.3 边界与负荷条件

接地压力是研究轮胎接地特性的基础,为研究轮胎在不同充气压力和负荷以及不同工况下的接地压力,对轮胎在0.93和1.10 MPa两种充气压力以及2 840、3 550和4 260 kg三种负荷情况进行仿真分析。充气压力施加在轮胎内表面,轮胎与轮辋接触,轮辋固定;通过地面给轮胎施加负荷;轮胎与轮辋的摩擦因数为0.35,轮胎与地面的摩擦因数为0.7。

2 结果与讨论

2.1 负荷对接地压力的影响

轮胎在标准充气压力0.93 MPa、不同负荷下的接地压力分布如图4所示。

从图4可以看出,随着负荷的增大,轮胎接地压力增大,且向肩部转移,接地压力呈不完全对称分布。

2.2 充气压力对接地压力的影响

轮胎在3 550 kg标准负荷及0.93和1.10 MPa充气压力下的接地压力仿真与试验测试结果如图5所示(压力颜色杆与图4一致)。

从图5可以看出,轮胎接地压力分布的仿真结果与实测结果相吻合,充气压力增大,接地压力也增大,且向中心区域集中。

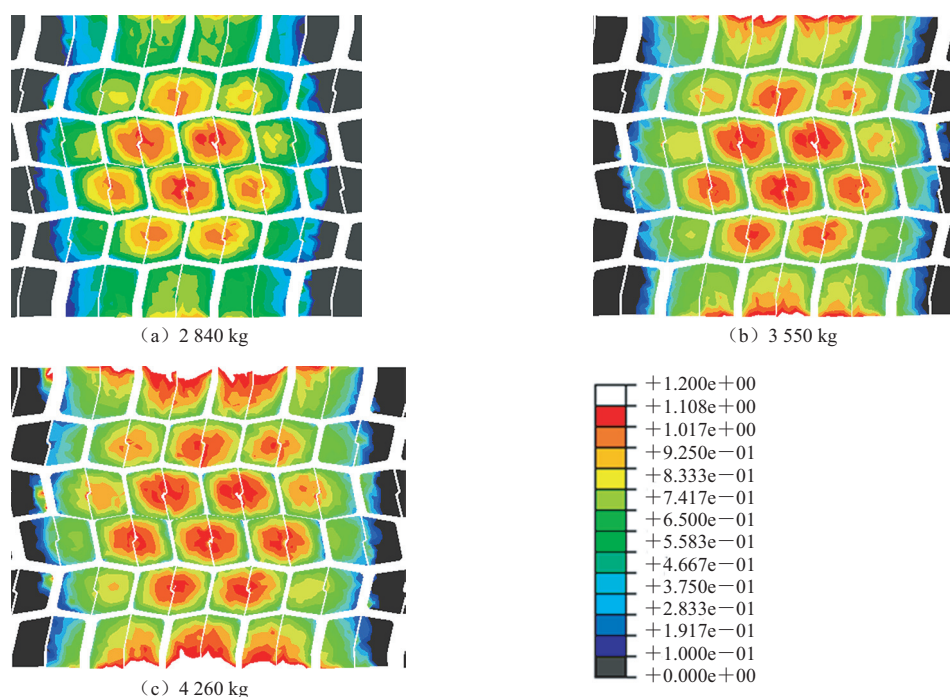


图4 不同负荷下轮胎的接地压力分布

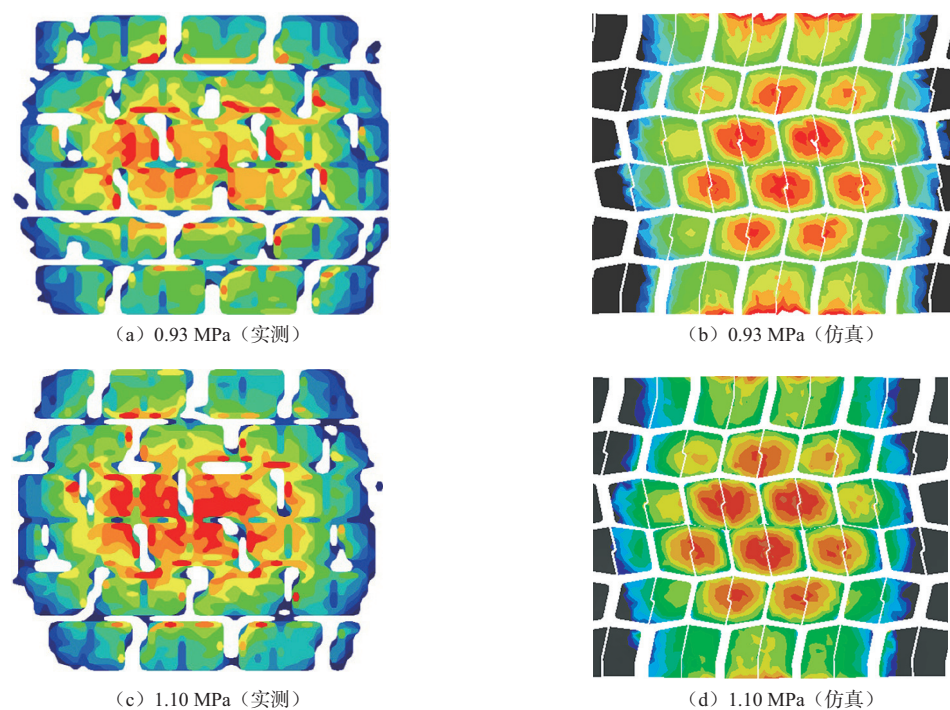


图5 不同充气压力下轮胎的接地压力分布

2.3 不同工况下的接地压力

当轮胎纯滚动时,作用在轮胎与地面间的驱动力为零。如驱动力不为零,则轮胎处于驱动或制动工况。制动状态是当轮胎的滚动角速度足够小,从而使得全部或部分的轮胎与路面间的接触

节点发生滑动,因而轮胎与路面间产生的纵向力是阻碍轮胎前进的;同样,驱动状态是当轮胎的滚动角速度足够大,从而使得全部或部分的轮胎与路面间的接触节点发生滑动,因而轮胎与路面间产生的纵向力是推动轮胎前进的。工况对轮胎与

地面的接触压力影响显著,进而影响轮胎与地面的接触特性。由于带花纹轮胎复杂工况下的有限元分析计算时间长且收敛性差,故采用纵向等效花纹对复杂工况下的接地压力进行研究。

标准负荷与标准充气压力下,不同工况轮胎与地面的最低断面的接地压力分布如图6所示。

从图6可以看出,启动、侧偏和转弯等复杂工

况对轮胎与地面的接触压力影响显著,转弯尤其明显。复杂工况下轮胎接地压力分布变得不均,易导致偏磨,影响轮胎行驶安全。

3 结论

采用有限元方法建立了带花纹轮胎接地的三维有限元仿真模型,分析了不同充气压力和负荷及工

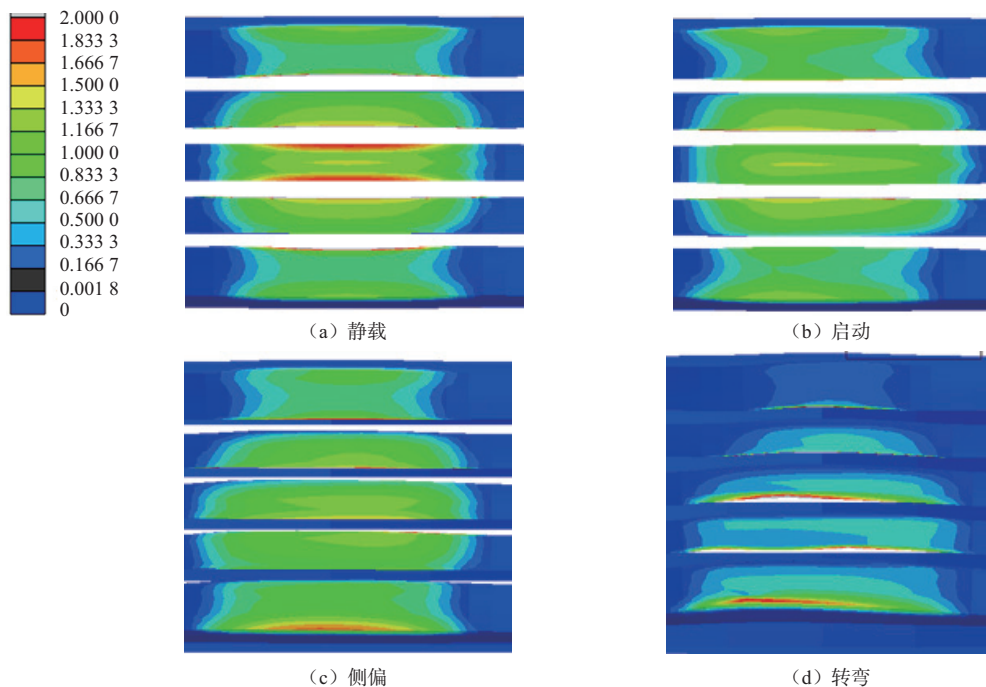


图6 不同工况下轮胎的接地压力分布

况下的轮胎接地压力变化规律。主要结论如下。

(1) 随着负荷的增大,轮胎接地压力增大,且向肩部转移;接地压力呈非完全对称分布。

(2) 接地压力分布的仿真结果与实测结果相吻合;充气压力增大,接地压力也增大,且向中心区域集中。

(3) 启动、侧偏和转弯等复杂工况下,轮胎接地压力分布变得不均,易导致偏磨。

参考文献:

- [1] 王蒙,王旭飞,张重阳,等. 充气压力和负荷对轮胎静态接地印痕的影响[J]. 轮胎工业,2020,40(3):142-147.
- [2] 崔志博. 子午线轮胎接地特性可控设计理论及实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [3] 怀文青,张航星. 三维轮胎与路面相互作用研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版),2019,27(3):52-58.
- [4] 林旭,李源,陈国玉,等. 汽车轮胎与道路接触应力有限元分析[J]. 延边大学学报(自然科学版),2019,45(2):171-174.

- [5] 王国林,陈幸鹏,周海超. 接地特性参数对轮胎抓地性能的影响研究[J]. 汽车工程,2019,41(6):647-653.
- [6] 梁晨,朱大轩,王国林. 基于光学原理的轮胎-路面接触现象试验研究[J]. 橡胶工业,2020,67(10):787-794.
- [7] 罗哲,任世奇,王志勇. 255/70R22.5 16PR全钢子午线轮胎接地印痕改善[J]. 轮胎工业,2019,39(4):207-209.
- [8] GUAN Y, ZHAO G, CHENG G, et al. Influence of belt cord angle on radial tire under different rolling states[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites,2006,25(10):1059-1077.
- [9] KOEHNE S H. Evaluation of tire tread and body interactions in the contact patch[J]. Tire Science and Technology, 2003, 31(3):159-172.
- [10] 梁晖,王国林,梁晨,等. 行驶面宽度和弧度高对轮胎偏磨影响的有限元分析[J]. 橡胶工业,2019,66(3):207-212.
- [11] 王国林,安登峰,吴旭,等. 轿车轮胎花纹参数对滚动阻力的影响分析[J]. 橡胶工业,2019,66(2):83-88.
- [12] DORSCH V, BECKER A, VOSSSEN L. Enhanced rubber friction model for finite element simulations of rolling tyres[J]. Plastics, Rubber and Composites,2002,31(10):458-464.

收稿日期:2021-01-22

Research on Ground Contact Characteristics of All-steel Radial Tire

WANG Lin¹, SU Benlong²

(1. Shandong Tianhong Judicial Appraisal Office, Weihai 264209, China; 2. Center for Rubber Composite Materials and Structures, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China)

Abstract: Taking 12R22.5 tire as the research object, a three-dimensional nonlinear finite element simulation model of the ground contact of the full-pattern all-steel radial tire was established, and the change law of the tire contact pressure under different loads, inflating pressures and working conditions was studied. The results showed that, the simulated pattern contact pressure distribution was consistent with the test results. With the increase of load, the contact pressure increased and the contact area of the tire shoulder gradually increased. With the increase of inflating pressure, the contact pressure in the tire center area increased. The complex working conditions such as start-up, sideslip and turning had a significant impact on the contact pressure distribution.

Key words: all-steel radial tire; tread pattern; contact pressure; finite element simulation; inflating pressure; load

嘉兴北化橡胶助剂迁扩建项目奠基

日前,嘉兴北化高分子助剂有限公司(简称嘉兴北化)年产10万吨橡胶助剂迁扩建项目奠基仪式在浙江嘉善举行。来自全国橡胶及橡胶助剂行业产、学、研、用领域的专家学者、企业家代表及政府官员等200多人汇聚一堂,共同见证这一具有里程碑意义的时刻。

原化学工业部副部长李士忠为项目奠基发来贺信。贺信说,作为具有成长性的化工高新技术企业和产学研合作的典范,希望嘉兴北化能在长三角一体化战略实施中发挥更大作用。

中国石油和化学工业联合会副会长傅向升在致辞中指出,橡胶助剂的质量和技术水平直接影响并决定着我国橡胶加工业及汽车、高端制造业的水平。一段时期以来,橡胶助剂既是我国专用化学品领域的一大优势,也是高质量、高端化发展的重点。嘉兴北化橡胶助剂项目采用产学研相结合的方式,充分发挥北京化工大学张立群创新团队的优势,依托嘉善经济技术开发区化工集聚区新材料科技园的产业基础、管理与区位优势,将为嘉兴北化打造世界一流绿色助剂企业奠定更加坚实的基础。

国务院发展研究中心研究室研究员、机械工业经济管理研究院院长徐东华表示,中国是世界化学制造业第一大国,橡胶行业又是中国化工行业最大产业之一,橡胶助剂工业作为橡胶制品配套产业,是加工产业链的核心产品。他希望嘉兴北化等一批高新技术企业围绕市场和竞争力布局技术链,围绕技术链布局项目链,围绕项目链布局投资链,围绕投资链进行战略化配置,真正推进我国橡胶助剂工业结构升级,助力橡胶产业向高端化发展。

据嘉兴北化董事长孙敏利介绍,嘉兴北化年产10万吨橡胶助剂迁扩建项目建筑面积约5万m²,具有甲类化工甲类仓库及危险废物库、综合研发大楼、丙类仓库、污水处理站、原材料储罐等完备的化工基础设施,项目主要为生产高端橡胶助剂、绿色环保新型化学材料、高性能复合材料等精细化工类系列产品,计划通过4年的建设,使年产值达到20亿元,利润6亿元左右。

北化博士代表团队、北美博士代表团队、北京博士代表团队均介绍了各自的相关产品,并与嘉兴北化签署了相关项目合作协议。

(摘自《中国化工报》,2021-04-20)