

带花纹轮胎静负荷试验与仿真分析

王 伟^{1,2}, 燕 山¹

(1. 青岛科技大学 橡塑材料与工程教育部重点实验室, 山东 青岛 266042; 2. 大连理工大学 工程力学系, 辽宁 大连 116023)

摘要:采用 Abaqus 有限元分析软件, 综合考虑 12R22.5 全钢载重子午线轮胎的实际结构并引入轮胎-轮辋、轮胎-地面的接触非线性边界条件, 建立轮胎的有限元分析模型, 对轮胎进行静负荷仿真分析, 得到轮胎负荷与下沉量的关系及接地印痕和压力分布。与试验对比表明, 模拟与试验结果吻合得很好。

关键词:子午线轮胎; 胎面花纹; 静负荷试验; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1; O242.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2014)02-0107-04

轮胎是汽车的唯一接地部件, 承受车辆载荷及转向力、制动力和轮胎离心力等多种负荷的作用^[1]。胎面花纹对车辆的制动安全性能和轮胎的行驶里程具有重要影响, 轮胎接地印痕上的压力分布直接影响轮胎的使用寿命。因此, 国内外学者^[2-9]对轮胎接地压力分布和花纹磨损进行了模拟分析和优化研究。但将带花纹轮胎的接地分析与静负荷试验进行比较讨论的较少, 或因轮胎有限元模型过度简化, 造成模拟与实测结果差别较大。

本研究在综合考虑轮胎各橡胶部件和钢丝帘线材料非线性的基础上, 建立带有轮辋和花纹的 12R22.5 轮胎的三维有限元模型, 对其充气 and 静态加载过程进行数值模拟, 并与带有相同花纹轮胎的静负荷试验进行比较, 以期为设计人员借助非线性有限元分析进行轮胎花纹和胎面轮廓设计提供有益的帮助。

1 轮胎有限元分析

1.1 材料模型

根据轮胎帘线-橡胶复合材料分布的结构特点, 在平面轴对称模型中借助加强筋(rebar)单元

分别施加钢丝帘线和橡胶的材料特性^[10-11]。橡胶材料采用 C3D8H 或 C3D6H 单元描述, 骨架材料采用 SFM3D4 单元; 钢丝圈采用 C3D8R 单元。

轮胎中的帘线-橡胶复合材料视为正交各向异性材料, 材料参数可根据文献^[12]及试验给出。橡胶采用 Yeoh 模型^[13]描述, 材料参数采用单轴拉伸试验得到。

1.2 边界条件及加载过程

由于轮辋和胎圈底部为过盈配合, 预先将轮辋向外移动 45 mm(见图 1), 使胎圈与轮辋间有一定间隙, 通过轮辋向内逐步移动到达装配位置模拟装配过程。主接触体定义为轮辋, 从接触体为胎圈。在轮胎内表面线性施加充气压力, 逐步达到 830 kPa; 最后对轮胎施加 32 830 N 的垂直负荷, 模拟静负荷试验。

1.3 轮胎三维有限元模型建立

根据 12R22.5 全钢载重子午线轮胎材料分布图, 先生成轮胎的二维单元网格模型; 然后利用 inp 文件传输二维模型计算结果, 并生成不带胎面的轮胎三维模型; 最后利用粘结(tie)命令, 将胎面花纹和预先生成的三维轮胎模型贴合建立带有花纹的轮胎分析模型, 如图 1 所示。生成的三维几何模型有 150 390 个节点和 128 160 个单元。轮辋和地面采用刚体描述。

2 轮胎静负荷试验

轮胎静态加载过程是在静负荷试验机上完成

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51103077); 橡塑材料与工程教育部重点实验室开放基金资助项目(KF2010007); 青岛科技大学科研启动基金资助项目

作者简介:王伟(1971—), 男, 山东泰安人, 青岛科技大学副教授, 博士, 主要从事轮胎和橡胶制品有限元分析及其应用研究。

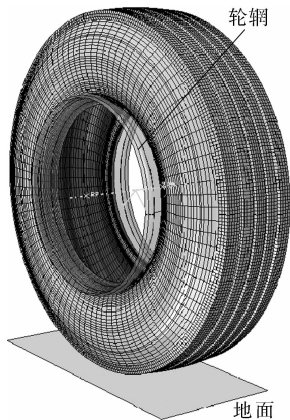


图1 轮胎的三维有限元分析模型

的,如图2所示,测试速度为 $50\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$,可同时得到法向负荷与下沉量关系曲线及接地印痕上的压力分布。

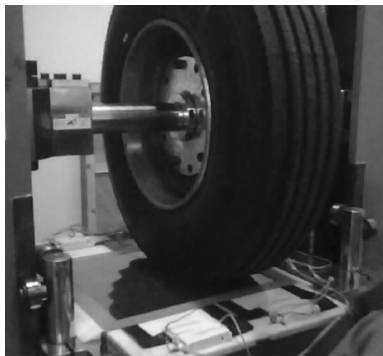


图2 轮胎静负荷试验示意

3 结果与讨论

静负荷下轮胎模拟与测试结果比较如表1所示。

表1 静负荷下轮胎模拟与测试结果比较

项 目	模拟	实测
充气断面宽/mm	306.0	308.0
充气外直径/mm	1 091.7	1 091.0
负荷下断面宽/mm	333.9	335.0
接地印痕长轴/mm	252.2	241.0
接地印痕短轴/mm	223.6	224.5
接地印痕面积/ cm^2	420.4	411.6

轮胎法向负荷与下沉量关系曲线比较如图3所示。

从图3可以看出,有限元模型预测的曲线与试验结果吻合得很好。

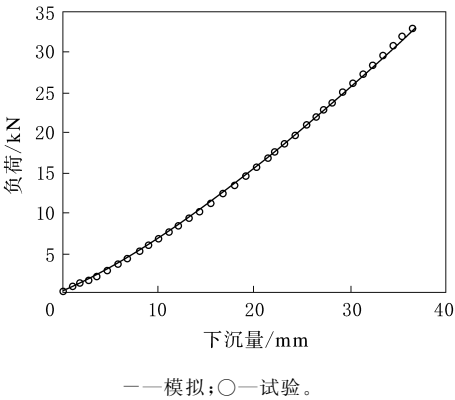
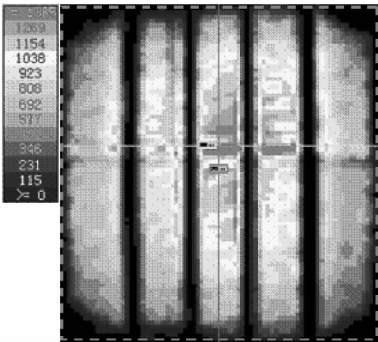
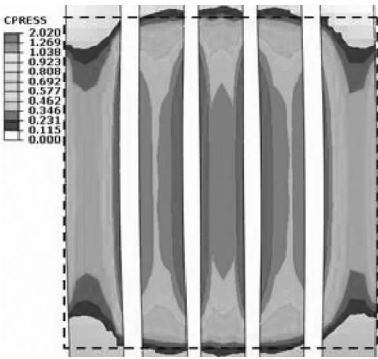


图3 轮胎法向负荷与下沉量关系曲线比较
在充气压力830 kPa、负荷32 830 N下,轮胎接地印痕上的压力分布比较如图4所示。



(a)压力毯测试(kPa)



(b)有限元分析(MPa)

图4 轮胎静态接地压力分布及印痕大小比较(两图虚线框大小一致)

从图4可以看出,无论是压力毯测试还是有限元模型预测,接地印痕上的压力分布都是不均匀的,接地印痕中部的压力较大,而胎肩部位的压力较小。有限元预测的压力基本呈对称分布,而压力毯测试得到的压力分布对称性不是很好,可能主要是由于实际生产轮胎不是完全对称的几何

体,其次是因静负荷测试过程中压力传感器的试验误差造成的。

从接地印痕上压力较大的分布区域及接地面积、形状和长短轴的大小(见表1)可以看出,总体上两种方法得到的结果吻合得较好。

接地印痕横轴上的压力分布比较如图5所示。

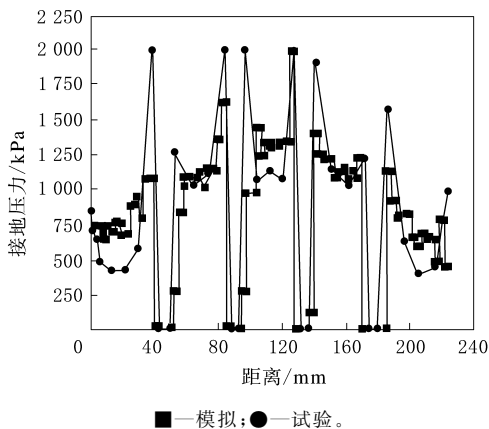


图5 接地印痕横轴上的压力分布比较

从图5可以看出,由于纵向花纹沟槽的存在,轮胎接地印痕横轴上的压力分布是不均匀的,靠近沟槽边缘的位置压力大些。模拟结果与压力毯测试得到的压力分布趋势基本吻合,不过模型预测的某些部位的压力峰值相对试验结果有所偏高,预测的最高压力为2 020 kPa,而试验最高峰值约为1 976 kPa。试验得到的压力平均值为798 kPa,而模拟平均压力约为781 kPa,二者比较接近,表明本研究所建立的轮胎有限元模型是合理、可靠的。

4 结论

对全钢载重子午线轮胎进行了静负荷试验及有限元仿真分析,得到如下结论。

(1)在静态加载过程中,轮胎负荷与下沉量呈非线性增大的规律,试验曲线与仿真结果吻合得很好。

(2)利用压力毯测得的接地印痕大小、形状及压力分布与模型预测的结果非常接近。

(3)轮胎接地印痕横轴上的压力分布是不均匀的,模拟与压力毯测试得到的趋势和压力平均值基本吻合。

综上所述,运用非线性有限元方法预测的接地印痕压力分布与试验结果吻合得很好,充分表明借助有限元方法能够对轮胎的使用性能进行预测分析,从而实现虚拟设计,更好地指导设计人员提高轮胎的耐磨性能和使用寿命。

参考文献:

- [1] 辛振祥,邓涛,王伟.现代轮胎结构设计[M].北京:化学工业出版社,2011:1-2.
- [2] Cho J, Shin S, Yoo W. Crown Shape Optimization for Enhancing Tire Wear Performance by ANN[J]. Computers & Structures, 2005, 83(12): 920-933.
- [3] Koehne S, Matute B, Mundl R. Evaluation of Tire Tread and Body Interactions in the Contact Patch[J]. Tire Science and Technology, 2003, 31(3): 159-172.
- [4] 郭孔辉,邱恩超.基于环模型的轮胎滚动接触有限元分析[J].吉林大学学报(工学版),2011,41(3): 597-601.
- [5] 倪天心,左曙光,吴佩,等.轮胎稳态滚动的仿真及其接地面积的可视化测量[J].汽车工程学报,2011,1(4): 407-414.
- [6] 王伟,胡晓军,赵树高.子午线轮胎接触摩擦问题有限元分析[J].弹性体,2008,18(1): 13-17.
- [7] Park S, Yoo W, Cho J, et al. Pressure-sensing Pad Test and Computer Simulation for the Pressure Distribution on the Contact Patch of a Tyre[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D. Journal of Automobile Engineering, 2007, 221(1): 25-31.
- [8] Liu F, Sutcliffe M P F, Graham W R. Prediction of Tread Block Forces for a Free-rolling Tyre in Contact with a Smooth Road[J]. Wear, 2010, 269(9-10): 672-683.
- [9] 何涛,李子然,汪洋.子午线轮胎胎面花纹块滑动磨损有限元分析[J].工程力学,2010,27(7): 237-243.
- [10] Helnwein P, Liu C H, Meschke G, et al. A New 3D-FE-Model of Cord-reinforced Composites, Application to Analyses of Automobile Tires[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 1993, 14(1): 1-16.
- [11] Meschke G, Helnwein P. Large-strain 3D Analysis of Fibre-reinforced Composites Using Rebar Element: Hyperelastic Formulation for Cord[J]. Computational Mechanics, 1994, 13(4): 241-254.
- [12] Zhang X, Rakheja S, Ganesan R. Stress Analysis of the Multi-layered System of a Truck Tire[J]. Tire Science and Technology, 2003, 30(4): 240-264.
- [13] Yeoh O H. Characterization of Elastic Properties of Carbon Black Filled Rubber Vulcanization[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1990, 63(5): 792-805.

Static Loading Experiment and Simulation Analysis of Tire with Pattern

WANG Wei, YAN Shan

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: Based on the structure of all-steel radial truck tire, an axisymmetric model and a three-dimensional nonlinear finite element model for the tire with tread pattern are constructed by using the nonlinear boundary conditions, i. e. tire-rim contact and tire-road contact. The static loading of the tire is then simulated with the aid of ABAQUS finite element analysis software. The relationship between vertical load and shrinkage is acquired, and the contact patches and pressure distribution are obtained by pressure pad experiment and finite element modeling analysis. It is shown that the results predicted by simulation are in good agreement with experimental results.

Key words: radial tire; tread pattern; static loading experiment; finite element analysis

《轮胎橡胶制品先进力学》出版发行

中图分类号: TQ336 文献标志码: D

清华大学汽车安全与节能国家重点实验室于2012年6月4日组织召开了国际轮胎力学研讨会,与会专家都是国际轮胎力学领域的知名学者,会议报告基本反映了轮胎力学领域的当前进展。为了使这些宝贵的知识得以永久保存,清华大学出版社将报告结集成书,并命名为《轮胎橡胶制品先进力学》。

该书的一个重要特点是从系统的观点研究道路-轮胎-车辆相互作用,从整体的角度分析材料-结构-性能的多尺度关系,这种整体和系统的观点有助于读者把握轮胎力学这一交叉学科的内涵。该书可供从事车辆、轮胎、橡胶制品研究设计的人员和生产部门的技术人员,以及高等院校与汽车、轮胎和橡胶相关专业师生阅读参考。

(清华大学汽车系 危银涛)

《The Pneumatic Tire》译著出版发行

中图分类号: TQ336.1 文献标志码: D

为了满足现代轮胎科学家、工程师、设计师和用户的需要,美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)于2005年出版了一部关于汽车轮胎的电子版书《The Pneumatic Tire》。该书没有纸质版,主编是美国工程院院士 A. N. Gent 教授和阿克隆大学 J. D. Walter 教授。全书共分18章,各章作者都是轮胎科技界公认的权威人士。他们对乘用车轮胎的设计、制造和使用的不同侧面进

行了学术性的、最新的综述并且在各章节中加入了测试题。因此该书既可以用作自学,也可以作为工程师和其他人员进入轮胎行业的教材。

我国的轮胎产业正处在由大转强的关键节点,需要大量掌握现代分析、设计和匹配技术的人才。然而,由于轮胎理论与技术的复杂性、非线性和交叉性,轮胎工程师常常难以得到系统和深入的技术资料,从事轮胎相关研究的学生和专业人士也为缺乏可靠的信息来源而苦恼。有鉴于此,清华大学汽车系轮胎技术课题组组织翻译了这本在国际上广为流传的《The Pneumatic Tire》著作(中文名为《轮胎理论与技术》)。该译著的出版将对我国汽车、轮胎和橡胶工业的工程师与研究人员起到一定的参考和启迪作用。

(清华大学汽车系 危银涛)

一种环保型光电橡胶汽车脚垫及其制备方法

中图分类号: TQ336.4 文献标志码: D

由浙江天鸿汽车用品有限公司申请的专利(公开号 CN 102862502A,公开日期 2013-01-09)“一种环保型光电橡胶汽车脚垫及其制备方法”,涉及的环保型光电橡胶汽车脚垫配方为:热塑性橡胶 80,聚乙烯 8~8.4,低温发泡剂 0.25~0.3,促进剂 0.12~0.2,防老剂 4020 0.1~0.3。该脚垫具有软度高、弹力好、耐磨损以及防海水浸泡、使用寿命长的优点。

(本刊编辑部 赵敏)