

利用有限元方法研究轮廓参数对轮胎性能的影响

何菁,王兆龙,张凯凯,王龙庆,李慧敏

(青岛森麒麟轮胎股份有限公司,山东 青岛 266229)

摘要:基于有限元仿真方法,利用Abaqus软件建立225/50R17半钢子午线轮胎的三维有限元模型,研究轮廓参数对轮胎性能的影响。在标准试验条件下,225/50R17半钢子午线轮胎不同结构参数下仿真结果与实际试验结果的趋势具有良好的一致性,仿真结果有效可信。轮廓参数中行驶面宽度(b)、行驶面弧度高(h)和断面宽(B)对轮胎性能的影响为: b 增大,轮胎接地印痕形状系数和径向刚度增大,侧偏刚度减小; h 增大,轮胎滚动阻力系数增大,接地印痕形状系数减小,刚性有所增大; B 增大,轮胎接地印痕形状系数增大,侧偏刚度和回正刚度增大,滚动阻力系数减小。

关键词:半钢子午线轮胎;有限元分析;仿真;轮廓参数;轮胎性能;接地印痕;刚度

中图分类号:U463.341⁺.6;O241.82

文章编号:2095-5448(2023)04-0169-05

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2023.04.0169



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着汽车技术的不断发展,人们对汽车的驾驶安全性、操纵稳定性及乘坐舒适性等要求越来越高。轮胎作为车辆唯一与地面接触的部件,日益受到汽车企业和轮胎企业的关注,轮胎性能与轮胎结构、各部件材料和路面状况等因素密切相关,而轮胎轮廓作为轮胎设计最基础的一部分,对轮胎性能起着重要作用。因此,研究轮廓参数与轮胎性能之间的关系是轮胎产品研发创新过程中实现结构设计、轮胎性能改善与车辆性能相匹配的重要环节。

有限元是一种计算机辅助设计工具,它是基于数学和力学,利用计算机的高速计算能力对产品的几何模型进行离散化,然后对产品进行虚拟仿真得到产品性能。随着计算机和材料力学等相关学科的迅速发展,有限元方法在轮胎结构设计和性能研究等方面的优势得到了充分发挥,推动了轮胎设计性能验证由通过试验验证向以有限元分析为基准的精确定量化设计方向前进,一方面

可以在轮胎设计初期发现设计缺陷,减少试制验证的次数,缩短产品设计周期和降低开发费用,另一方面可以大大降低试验费用。目前国内很多企业都应用有限元方法对轮胎力学特性进行仿真,研究轮胎结构参数对轮胎性能的影响^[1-6]。

本工作以225/50R17半钢子午线轮胎为研究对象,对不同结构设计方案进行有限元仿真,得到轮胎性能参数,并与实际测试数据进行对比,验证仿真结果与实际试验结果的趋势具有良好一致性;在此基础上,利用有限元分析软件对不同轮廓方案进行仿真,研究轮胎不同轮廓参数对轮胎性能的影响。

1 有限元分析方法的有效性验证

1.1 有限元仿真流程

使用CAD软件,绘制不同结构设计方案的材料分布图,处理一些几何细节,将二维材料分布图形进行优化,分为橡胶材料_rubber.dxf和轮胎骨架材料_rebar.dxf文件进行保存,将文件导入HyperMesh网格划分软件中,对生成的面和线进行处理,完成网格细分,创造单元集和节点集,输出.inp文件;再利用有限元分析软件Abaqus对二维

作者简介:何菁(1996—),女,湖南衡阳人,青岛森麒麟轮胎股份有限公司助理工程师,学士,主要从事轮胎动力学和车辆动力学研究以及轮胎六分力测试工作。

E-mail:289948508@qq.com

轮胎模型进行旋转得到三维模型,输入各部件材料参数,建立静态约束模型,输入外部载荷、充气压力参数和其他动态参数,输出静态外轮廓数据加载情况下各部件应力和应变的变化情况。

1.2 试验与仿真结果对比

1.2.1 验证仿真精度的设计方案

对比试验结果与仿真结果,验证仿真精度和可行性;设计3个不同轮胎结构方案(A,B和C),方案A与方案B相比,带束层角度减小,方案B与方案C相比,三角胶高度减小。利用方案A,B和C进行有限元仿真,得到轮胎接地印痕参数、径向刚度、侧偏刚度、回正刚度和滚动阻力系数,并与实际试验结果进行对比。

1.2.2 试验数据计算和含义

(1) 接地印痕形状系数。接地印痕形状系数 = $2 \times$ 中间接地长度 / (内侧胎肩接地长度 + 外侧胎肩接地长度)。轮胎的静态接地印痕参数(接地印痕形状和接地印痕形状系数)可以直接反映轮胎与路面之间的相互作用,包括轮胎接地的几何信息与力学信息,直接显现出静态加载时轮胎的接地压力分布,从而判断轮胎是否出现应力集中等问题。

(2) 径向刚度。径向刚度 = 径向力 / 下沉量。轮胎的径向刚度与车辆乘坐舒适性相关性较大,影响汽车行驶的平顺性。具有合适径向刚度的轮胎不仅能提供良好的乘坐舒适性,还可以减轻货物由于颠簸造成的损害。

(3) 侧偏刚度和回正刚度。侧偏刚度为侧向力-侧偏角曲线线性区域的斜率。回正刚度为回正力矩-侧偏角曲线线性区域的斜率。轮胎的侧偏刚度和回正刚度是评价车辆转向特性的重要指标,直接影响车辆的转向和操纵稳定性。

(4) 滚动阻力系数。滚动阻力系数 = 滚动阻力 / 轮胎负荷。滚动阻力系数直接影响车辆的燃油经济性,也是轮胎重要的性能指标,与轮胎的生热和磨损相关。低滚动阻力轮胎越来越受到大众青睐。

1.2.3 仿真结果与试验结果对比

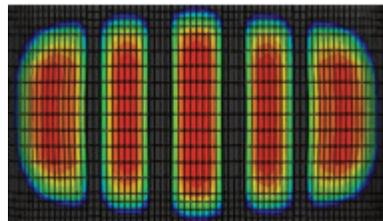
试验条件和仿真条件保持一致,轮胎充气压力为220 kPa,负荷为750 kg,仿真结果和实际试验结果如表1和2及图1和2所示。

表1 3种方案轮胎的有限元仿真结果

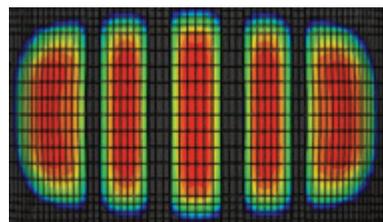
项目	方案A	方案B	方案C
接地印痕形状系数	1.20	1.16	1.09
径向刚度/(N·mm ⁻¹)	170.07	170.36	168.87
侧偏刚度/[N·(°) ⁻¹]	1 492.43	1 506.19	1 504.84
回正刚度/[N·m·(°) ⁻¹]	50.89	50.82	50.90
滚动阻力系数/(N·kN ⁻¹)	6.21	6.18	5.79

表2 3种方案轮胎的实际测试结果

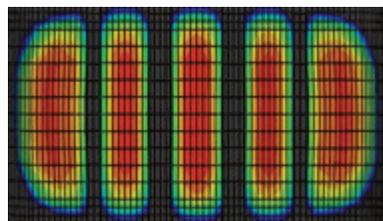
项目	方案A	方案B	方案C
接地印痕形状系数	1.17	1.06	1.01
径向刚度/(N·mm ⁻¹)	247.5	248.8	232.6
侧偏刚度/[N·(°) ⁻¹]	1 669.49	1 695.23	1 686.29
回正刚度/[N·m·(°) ⁻¹]	59.11	58.81	62.59
滚动阻力系数/(N·kN ⁻¹)	5.29	5.28	5.23



(a) 方案A



(b) 方案B



(c) 方案C

图1 3种方案轮胎的有限元仿真接地印痕

从表1和2可以看出,虽然个别有限元仿真数据与实际测试数据存在差异,但不同方案轮胎的有限元仿真结果与实际测试结果的趋势具有良好的 consistency,仿真结果有效可信,可以指导轮胎结构设计。

从图1和2可以看出,有限元仿真得到的轮胎

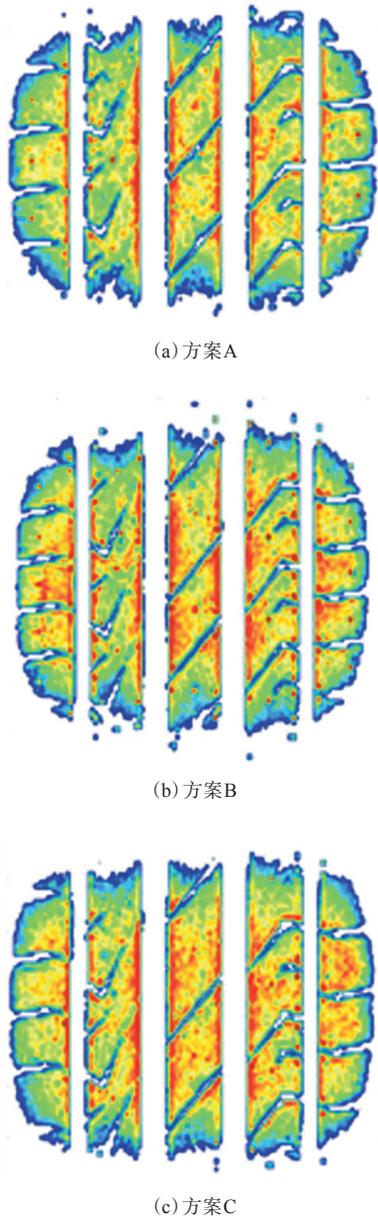


图2 3种方案轮胎的实际测试接地印痕

接地印痕形状可以明确地反映出轮胎静态接地压力的分布,与实际测试结果一致,说明有限元仿真分析方法可用于轮胎结构设计对性能影响的验证。

2 轮廓参数对轮胎性能的影响

2.1 方案设计

轮胎轮廓参数是轮胎结构参数非常重要的一部分,是构建整个轮胎的基础,不同规格轮胎的各轮廓参数的数值都有一定的范围,只能在固定的

范围内进行变动,其中任何一个参数的变化,都会对轮胎性能产生非常大的影响,直接影响到轮胎的受力、操纵性能和滚动阻力等。

对于225/50R17半钢子午线轮胎,选取常用轮廓设计参数,如图3所示。设计了4种不同轮廓方案,轮廓参数包括行驶面宽度(b)、行驶面弧度高(h)和断面宽(B),如表3所示,分析轮廓参数对轮胎性能的影响。

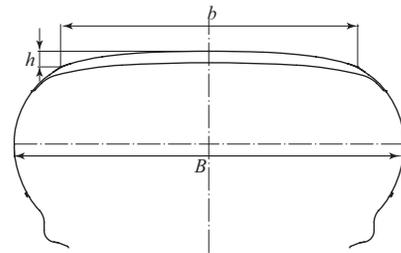


图3 225/50R17半钢子午线轮胎轮廓设计参数

表3 轮胎轮廓设计方案 mm

项 目	方案1	方案2	方案3	方案4
b	197.64	200.08	197.64	197.64
h	8.53	8.53	10.03	8.53
B	244	244	247	247

4种方案轮胎的材料分布保持一致, b 、 h 和 B 的改变可能会导致其他轮廓参数的细微变化,本研究不考虑其影响。4种方案轮胎的仿真条件与验证试验条件保持一致,即充气压力为220 kPa,负荷为750 kg。

2.2 有限元仿真结果

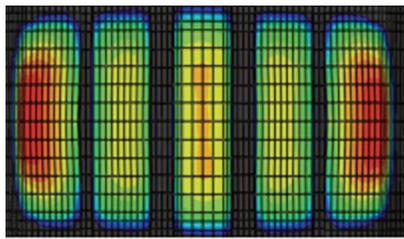
4种方案轮胎的有限元仿真结果和接地印痕形状分别如表4和图4所示。

从表4可以得出以下结论。

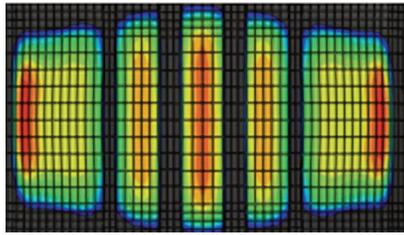
(1)对比方案1和2轮胎的有限元仿真结果可知, b 增大,轮胎接地印痕形状系数增大,接地印痕

表4 4种方案轮胎的有限元仿真结果

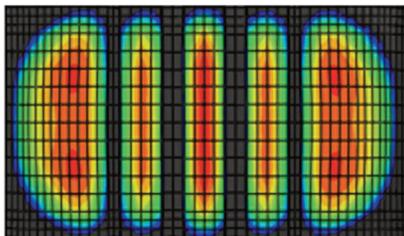
项 目	方案1	方案2	方案3	方案4
接地印痕形状系数	1.08	1.29	1.15	1.19
径向刚度/($N \cdot mm^{-1}$)	205.55	227.01	212.76	208.86
侧偏刚度/[$N \cdot (^{\circ})^{-1}$]	1 332.83	1 302.17	1 423.95	1 344.84
回正刚度/ [$N \cdot m \cdot (^{\circ})^{-1}$]	53.64	48.62	57.23	53.78
滚动阻力系数/ ($N \cdot kN^{-1}$)	5.74	5.73	5.91	5.59



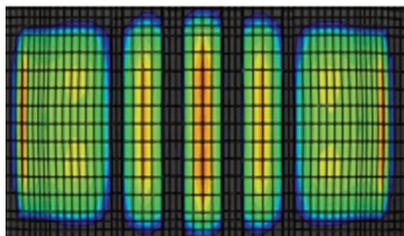
(a) 方案1



(b) 方案2



(c) 方案3



(d) 方案4

图4 4种方案轮胎的有限元仿真接地印痕

形状趋于椭圆,中间部位压力分布趋于均匀,径向刚度增大;但侧偏刚度和回正刚度减小,并且使轮胎各部位的能量损失呈现不同的变化,导致方案1和2轮胎的滚动阻力系数变化幅度较小。

(2)对比方案3和4轮胎的有限元仿真结果可知: h 增大,会使胎冠部位受力增大,轮胎能量损失明显提高,滚动阻力系数增大;胎面弧度会增大,轮胎与地面接触面积减小,接地印痕形状系数减小,胎面刚性提升,增大了径向刚度、侧偏刚度和回正刚度。

(3)对比方案1和4轮胎的有限元仿真结果可知: B 增大,轮胎与地面接触面积增大,接地印痕形状系数增大;增大 B ,可以提高轮胎的尺寸稳定性,减小轮胎变形,增大径向刚度,降低轮胎高速行驶下的能量损失,减小滚动阻力系数;同时, B 增大,降低了胎侧的比例,增大了侧偏刚度和回正刚度,提高了轮胎的操纵稳定性。

3 结论

利用有限元方法对不同结构设计方案225/50R17半钢子午线轮胎进行仿真分析,得到轮胎性能参数,并通过实际测试验证有限元仿真精度,结果表明有限元仿真结果与实际测试结果的趋势具有良好的一致性,仿真结果有效可信,有限元仿真可用于轮胎性能的预测。

设计4种不同轮廓轮胎仿真方案,研究轮廓参数 b 、 h 和 B 对轮胎性能的影响,结果表明: b 增大会增大轮胎接地印痕形状系数,径向刚度增大,侧偏刚度减小; h 增大,轮胎滚动阻力系数增大,接地印痕形状系数减小,刚性有所增大; B 增大,轮胎接地印痕形状系数增大,侧偏刚度和回正刚度增大,滚动阻力系数减小。

本次有限元仿真设计方案和结果分析忽略了轮廓参数的细微变化对轮胎性能的影响,在后续研究中将考虑这些变化带来的影响,以得到更加精确的有限元仿真结果,指导轮胎性能的改进。

参考文献:

- [1] 孙晓峰,张凯凯,王龙庆,等. 轮胎结构参数对侧偏性能的影响[J]. 橡胶科技,2020,18(12):682-684.
- [2] 孟照宏,史彩霞,翟明荣. 轮胎转向残余回正力矩的有限元分析及关键影响因素研究[J]. 橡胶工业,2021,68(11):822-826.
- [3] 王国林,任洁雨,杨建,等. 轮胎胎体轮廓设计对侧偏刚度的影响研究[J]. 机械工程学报,2015,51(14):131-137.
- [4] 郭磊磊,朱振华,张敏. LT245/75R16轻型载重子午线轮胎不同覆胶厚度带束层应变的有限元仿真分析[J]. 轮胎工业,2022,42(1):13-16.
- [5] 荣英飞,冷德新,姜洪旭,等. 一种基于轮胎结构特征的直接有限元网格生成方法[P]. 中国:CN 114782585A,2022-07-22.
- [6] 高明,宋凌浩,魏云港,等. 一种轮胎有限元分析用胎圈部位胎体网格划分方法及装置[P]. 中国:CN 114757081A,2022-07-15.

收稿日期:2022-12-12

Study on Influence of Profile Parameters on Tire Performance by Finite Element Method

HE Jing, WANG Zhaolong, ZHANG Kaikai, WANG Longqing, LI Huimin

(Qingdao Century Tire Co., Ltd. Qingdao 266229, China)

Abstract: Based on the finite element simulation method, the three-dimensional finite element model of 225/50R17 steel-belted radial tire was established by using Abaqus software to study the influence of profile parameters on tire performance. Under the standard test conditions, the simulation results under different structure parameters were in good agreement with the actual test results, the simulation results were effective and reliable, and the influence of the width of running surface (b), arc height of running surface (h) and cross-sectional width (B) was obtained. With the increase of b , the shape coefficient of tire footprint and the radial stiffness increased, and the lateral stiffness decreased. With the increase of h , the rolling resistance coefficient of the tire increased, the shape coefficient of tire footprint decreased, and the rigidity increased. With the increase of B , the shape coefficient of tire footprint increased, the cornering stiffness and aligning stiffness increased, and the rolling resistance coefficient decreased.

Key words: steel-belted radial tire; finite element analysis; simulation; profile parameter; tire performance; footprint; stiffness

《智能检测装备产业发展行动计划 (2023—2025年)》发布

2月23日,工业和信息化部、国家发展和改革委员会和国家市场监督管理总局等七部门联合印发《智能检测装备产业发展行动计划(2023—2025年)》(以下简称行动计划),明确提出到2025年,智能检测技术基本满足用户领域制造工艺需求,核心零部件、专用软件和整机装备供给能力显著提升,重点领域智能检测装备示范带动和规模应用成效明显,产业生态初步形成,基本满足智能制造发展需求。

行动计划提出了技术研发、行业应用、产业体系等一系列目标。(1)技术水平明显提高。智能检测装备创新体系初步建成,突破50种以上智能检测装备、核心零部件和专用软件,部分高端装备达到国际先进水平,产品质量明显提升,攻克一批智能检测基础共性技术。(2)行业应用显著深化。推动100个以上智能检测装备示范应用,培育一批优秀场景和示范工厂,深化智能检测装备在机械、汽车、航空航天、电子、钢铁、石化、纺织、医药等8

个领域的规模化应用。(3)产业体系初步构建。建成从材料、元器件、零部件、专用软件到装备较为完整的产业链,以及涵盖标准、检测、人才等在内的产业体系。培育30家以上智能检测装备专精特新“小巨人”企业,打造10个以上产业领军创新团队,用户敢用愿用的市场环境明显改善。

为实现上述目标,行动计划明确实施产业基础创新工程、供给能力提升工程、技术装备推广工程、产业生态优化工程四项重点工程,提出建立健全创新体系,支持建设一批国家级智能检测装备重点实验室、工程研究中心、创新中心等研发创新载体,开展产业链协同攻关等举措。

智能检测装备作为智能制造的核心装备,已成为稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全的核心手段。着力突破核心技术、增强高端供给、加快推广应用、壮大市场主体,打造适应智能制造发展的智能检测装备产业体系,对加快制造业高端化、智能化、绿色化发展,提升产业链供应链韧性和安全水平,支撑制造强国、质量强国和数字中国建设具有重要意义。

(本刊编辑部)