

子午斜交轮胎力学性能有限元分析

薛梓晨^{1,2}, 贺建芸^{1,2}, 邓世涛², 张金云^{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:提出一种新型子午斜交轮胎结构,即将子午线轮胎胎侧部位的胎体帘线子午结构改为斜交结构,并利用有限元模型对子午斜交轮胎和子午线轮胎的特性进行对比分析。结果表明:与子午线轮胎相比,子午斜交轮胎的径向刚度较高;胎侧应变能密度分布较连续且相对均匀,且最大应变能较低;胎面横向接地压力分布较均匀、尤其是胎肩处的应力集中区域较小,接地印痕形状近似椭圆形;带束层边缘的剪切应变峰值较小。

关键词:子午线轮胎;子午斜交轮胎;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(2015)03-0141-05

目前轮胎主要分为子午线轮胎和斜交轮胎两大类,二者在结构上的区别是:(1)子午线轮胎的胎体层沿着子午面铺设(垂直于圆周线),而斜交轮胎的胎体层则由多层对称交叉铺设的帘布层组成;(2)子午线轮胎有多层帘布层沿圆周方向贴合于胎面胶与胎体层之间,称为带束层,其主要使用钢丝帘线,而斜交轮胎一般无带束层^[1]。

与斜交轮胎相比,子午线轮胎有很多优异性能^[2-3]:(1)能量损耗和生热少、耐磨性好,轮胎使用寿命长;(2)胎侧较柔软,乘坐舒适性好;(3)带束层结构不仅提高了胎面的抗刺穿性能,还提高了轮胎的纵向刚度,从而使轮胎的操纵响应有所提高;(4)噪声相对较小;(5)节油 5%~7%。因此拥有轮胎先进制造技术的西欧、美国、日本等国家和地区在 20 世纪 70 年代先后开始大规模地推进轮胎子午化。子午线轮胎的出现加快了轮胎扁平化进程,因此扁平化逐渐成为轮胎结构发展趋势的主要特征^[4]。

本工作在子午线轮胎和斜交轮胎结构的基础上,提出了一种新型的子午斜交结构,即保留了子午线轮胎胎体帘线在冠部的子午结构,而将胎侧部位的胎体帘线子午结构改为斜交结构。由于子午线轮胎结构中带束层的作用,可使轮胎断面轮廓形状更方便地按照所需要的扁平率进行设计,

以提高轮胎的操纵稳定性^[5]。选取 255/30R22 规格轮胎为参考对象,利用 Abaqus 软件,在标准负荷工况下,对子午斜交轮胎和子午线轮胎的有限元分析结果进行比较。

1 子午斜交轮胎有限元模型的建立

1.1 材料模型

橡胶是一种复杂的具有不可压缩性质的高度非线性超弹性材料,采用 Yeoh 模型来描述其力学性能。Yeoh 模型可描述随变形而变化的剪切模型的橡胶,还可对复杂变形的力学行为进行预测,不仅描述变形范围较宽,而且适合于模拟大变形^[6]。

所选用的骨架材料包含 2 层锦纶冠带层,2 层钢丝带束层和 2 层聚酯胎体帘布层。各类帘线均为正交各向异性材料,采用线弹性模型,并通过 Embed 功能将其嵌入到与之相对应的橡胶中进行模拟。帘线一般与圆周方向之间有一定的夹角,称为铺设角,2 种轮胎骨架材料帘线铺设角度对比见表 1。

子午斜交轮胎胎体帘布层展开如图 1 所示。为了保留子午线轮胎较好的高速性能和斜交轮胎较高的承载性能,本工作设计的子午斜交轮胎选用 2 层胎体,中部帘线铺设角度均为 0°,而两侧的帘线铺设角度分别为 +60°和 -60°。

1.2 接触算法和边界条件

常用的计算方法有 Lagrange 乘子法、罚函数

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

表 1 2 种轮胎骨架材料帘线铺设角度对比 (°)

项 目	子午斜交轮胎	子午线轮胎
冠带层帘线	90	90
带束层帘线	64	64
胎冠部胎体层帘线	0	0
胎侧部胎体层帘线	60	0
胎圈部钢丝圈帘线	90	90

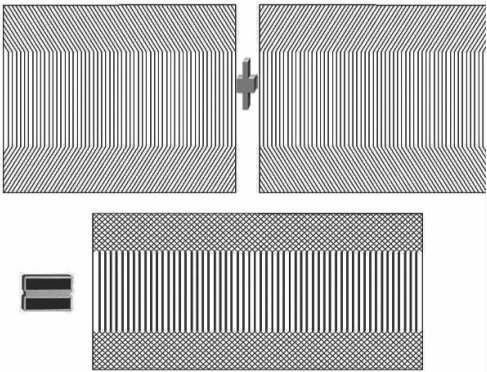


图 1 子午斜交轮胎胎体帘布层展开示意

法、混合法以及基于求解器的直接约束法^[7],综合考虑计算时间、计算效率等因素,本研究采用罚函数法求解接触问题。胎圈与轮辋之间和胎面与地面之间的摩擦因数分别设为 0.35 和 0.5。轮辋和地面定义为解析刚体。

1.3 有限元模型的网格划分

基于规格为 255/30R22 的子午线轮胎,在 Abaqus 软件中建立子午斜交轮胎的二维轴对称模型,对其进行网格划分,并利用 symmetric model generation 功能,对轮胎接地部分进行网格细分以及轮胎有限元模型二维向三维的转换,选用标准 9J 轮辋与其装配,同时忽略胎面横向花纹沟槽,仅考虑纵向花纹沟槽,如图 2 所示。



图 2 轮胎二维和三维有限元模型

2 结果与讨论

2.1 模型验证和径向刚度分析

在充气压力为 0.22 MPa、试验负荷为 5 650 N 条件下,有限元分析与试验结果对比如表 2 所

示。仿真值误差控制在 7% 以内,满足工程要求,因此可以利用该模型和分析方法进行轮胎力学性能的研究。

表 2 2 种轮胎有限元仿真与试验结果的对比

项 目	仿真值		实测值 ¹⁾
	子午斜交轮胎	子午线轮胎	
印痕面积/cm ²	223.8	224.8	216.2
下沉量/mm	13.2	17.6	18.6
接地长度/mm	144	124	123
接地宽度/mm	219	223	215

注:1)255/30R22 子午线轮胎。

试验充气压力下轮胎径向负荷-下沉量曲线如图 3 所示。由图 3 可见,相比子午线轮胎,子午斜交轮胎在相同径向负荷下的径向刚度较大,下沉量较小,下沉量极值之差为 4.4 mm。分析原因是胎侧的交叉网状胎体结构增强了胎侧的刚度,使子午斜交轮胎径向刚度有所提高,减震舒适性有所减弱,而减震舒适性可通过调整汽车悬架结构的缓冲减震装置进行改善。

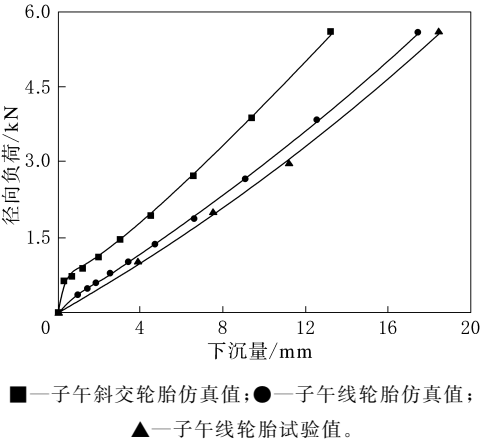


图 3 试验充气压力下轮胎径向负荷-下沉量曲线

2.2 轮胎断面接地区域的力学性能分析

2.2.1 橡胶受力分析

充气压力为 0.29 MPa,并对轮辋逐步施加标准负荷 5 520 N 进行模拟分析。轮胎断面接地区域橡胶应变能密度分布如图 4 所示。由图 4 可见,相比子午线轮胎,子午斜交轮胎的胎侧应变能密度分布较连续且相对均匀,最大应变能较低,说明在标准工况下,子午斜交轮胎由于变形所产生的能耗相对较低,胎侧的斜交帘线结构与周围橡胶作用相对不明显。在轮胎行驶过程中,子午斜

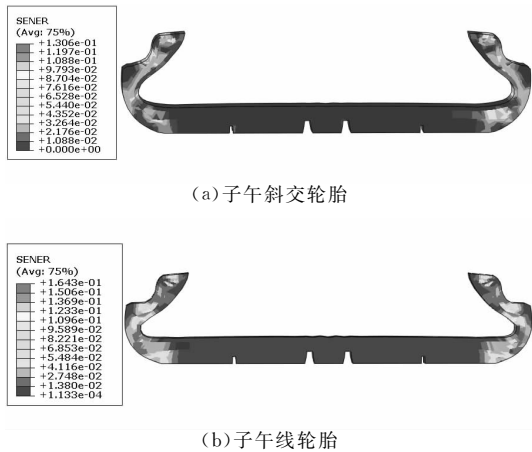


图 4 轮胎断面接地区域橡胶应变密度分布

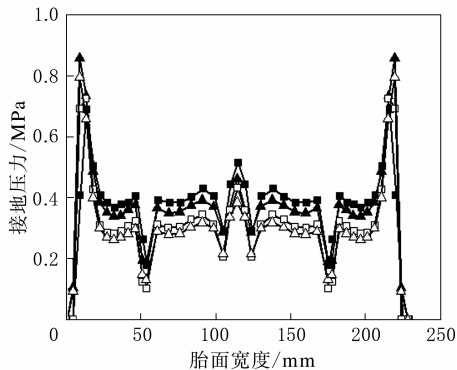
交轮胎在胎肩附近的周期性交变变形相比子午线轮胎小,由此产生的热量也较低,减小了带束层端部产生疲劳破坏的风险,从而提高轮胎的使用寿命。因此合理地设计子午斜交结构胎体和选择胎体材料对降低轮胎疲劳破坏程度和提高使用寿命具有重要意义。

2.2.2 轮胎接地印痕及接地压力分布

轮胎接地印痕如图 5 所示。由图 5 可见,在标准充气压力 0.29 MPa 下,子午斜交轮胎的接地印痕在胎肩处的纵向长度以及胎肩处的应力集中区域明显小于子午线轮胎,而胎面中央附近的接地压力有所提高。分析原因是相互交错的胎侧网状帘线增强了胎侧刚性,同时减小了胎肩处的变形量,使得接地印痕形状由蝴蝶形向椭圆形转变。由于椭圆形接地印痕在操控性能和胎面耐磨

性能方面均优于蝴蝶形接地印痕,因此子午斜交结构有效地提高了胎肩的耐磨性能和车辆的转向性能。

轮胎的接地压力分布如图 6 所示。由图 6 可见,无论在试验充气压力还是标准充气压力下,相比子午线轮胎,子午斜交轮胎沿胎面横向接地压力分布均较均匀,且整体接地压力较低,尤其表现在胎肩处。子午斜交结构可将过大的胎肩应力转移至胎面中央,使得胎面耐磨性能有所提高。



■—子午斜交轮胎(0.29 MPa);▲—子午线轮胎(0.29 MPa);
□—子午斜交轮胎(0.22 MPa);△—子午线轮胎(0.22 MPa)。

图 6 轮胎的接地压力分布

2.3 骨架材料剪切受力分析

由于在滚动的轮胎中骨架材料之间和胎面与地面之间的相互循环剪切变形,往往在帘布层端部存在严重的应力集中和较大的剪切变形。轮胎在接地区域内的剪切应变分布如图 7 所示。由图 7 可以看出:子午斜交轮胎位于胎侧处的 2 层胎体层之间的剪切应力和应力集中低于子午线轮胎,说明位于胎侧处的 2 层铺设方向相互垂直的胎体层在交界面附近产生了较小的剪切变形,而 2 层铺设方向相互平行的胎体层在交界面附近产生了较大的剪切变形;另外由于 2 种轮胎在胎冠部位的胎体层帘线铺设方向一致,而在胎侧和胎圈部位的胎体帘线的斜交结构减弱了骨架材料之间的 XZ 向剪切应变,因此子午斜交轮胎相比子午线轮胎在带束层边缘的剪切应变峰值小,可以减小带束层边缘脱空而导致的破坏风险。

3 结论

(1)在相同试验条件下,子午斜交轮胎的径向

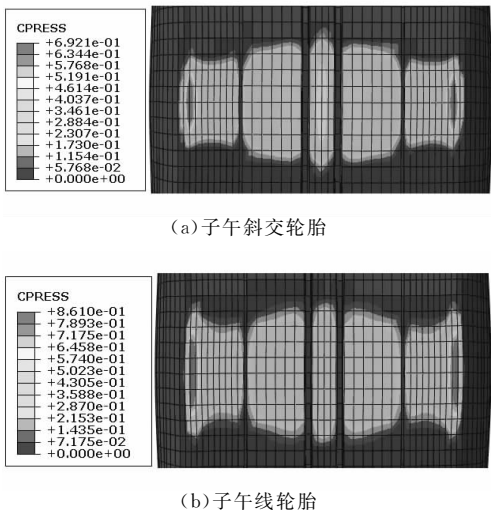
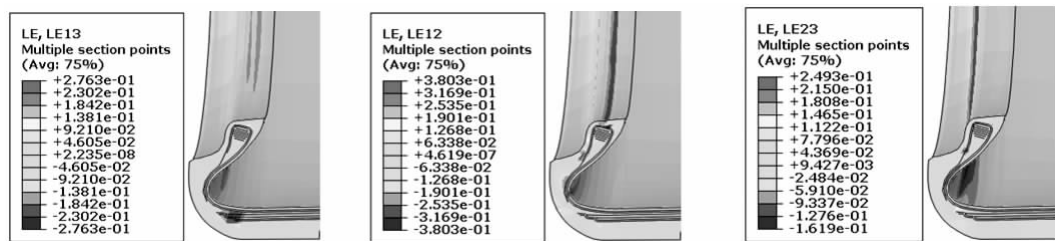
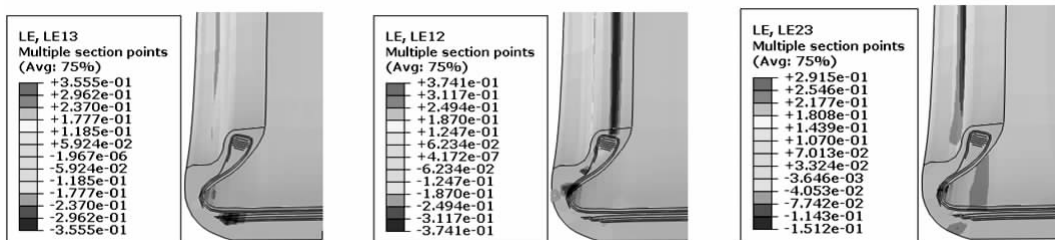


图 5 轮胎接地印痕



(a) 子午斜交轮胎



(b) 子午线轮胎

图7 轮胎在接地区域内的XZ,XY和YZ方向剪切应变分布

刚度较高,说明其舒适性较差,而高速性能较好。

(2)相比子午线轮胎,子午斜交轮胎的胎侧应变能密度分布较连续且相对均匀,且最大应变能较低。

(3)子午斜交轮胎沿胎面横向接地压力分布较均匀、整体接地压力较低,尤其表现在胎肩处,且胎肩处的应力集中区域较小,接地印痕形状近似椭圆形,因此具有较好的胎肩耐磨性能和车辆转向性能。

(4)子午斜交轮胎位于胎侧处的2层胎体层之间的剪切应力和应力集中低于子午线轮胎,在胎侧和胎圈的胎体帘线的斜交结构减弱了骨架材料之间的剪切应变,因此带束层边缘的剪切应变峰值小,可以减小带束层边缘脱空而导致的破坏风险。

参考文献:

- [1] 李炜. 子午线轮胎结构有限元分析和设计原理的若干问题研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2003.
- [2] 庄继德. 现代汽车轮胎技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001:3-5.
- [3] 郑正仁,王洪士,毛寿昌. 子午线轮胎技术与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1994:8-10,14-15.
- [4] 叶可舒,钟莹. 国外轮胎新产品信息调研[J]. 轮胎工业,1998,18(6):323-329.
- [5] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996:86-92.
- [6] 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.
- [7] 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:2014-10-16

Finite Element Analysis on Mechanical Properties of Radial-Bias Tire

XUE Zi-chen^{1,2}, HE Jian-yun^{1,2}, DENG Shi-tao², ZHANG Jin-yun^{1,2}, YANG Wei-min^{1,2}, JIAO Zhi-wei^{1,2}

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

Abstract: A new radial-bias tire structure was proposed, in which the radial structure of carcass cords in the sidewall was changed to bias structure. The characteristics of radial-bias tire and radial tire were analyzed by using finite element model. The results showed that, compared with radial tire, the

radial stiffness of radial-bias tire was higher; the strain energy density distribution in sidewall was continuous and relatively uniform, and the maximum strain energy was lower; the lateral ground pressure distribution of tread was more uniform, especially the stress concentration area at the shoulder was smaller, and the footprint was approximately elliptical; the peak value of shear strain at belt edge was smaller.

Key words: radial tire; radial-bias tire; finite element analysis

固铂推出 Discoverer SRX 轮胎

中图分类号: TQ336.1 文献标志码: D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014年10月22日报道:

固铂新 Discoverer SRX 轮胎(见图1)的设计提供了可靠的全天候公路牵引力,卓越的操控性能,安静、舒适的驾乘性能,广泛适用于 CUV 和 SUV。



图1 固铂 Discoverer SRX 轮胎

该轮胎采用固铂轮胎橡胶公司的创新 Wear Square 技术,其特点是胎面上的可视指示使驾驶员能够快速评估胎面的大概剩余情况。

Wear Square 指示轮胎磨损有5个过渡阶段,新轮胎开始用一个完整方形图案,当胎面厚度达到 1.6 mm(大多数地区允许的最小花纹深度)时用感叹号结尾。在轮胎内部和外部设6个参考点, Wear Square 也可以指示不均匀轮胎磨损和可能存在的四轮定位问题。公司称,结合可视检查和适当保养, Wear Square 将使消费者在道路上更有信心。

SRX 轮胎还拥有新一代的白炭黑胎面配方,可提高路面抓着性能和降低滚动阻力。这种新胎面胶料结合固铂的 Stabiledge 专利技术和专门开发的 3D 微刀槽花纹,可提供潮湿天气条件和小雪路面更好的路面抓着性能,获得出众的操控性,缩短制动距离。为提高雪地牵引性能,该款轮胎的新冬季边缘特性创建了一个抓雪胎面区域,以帮助司机克服冬季因素。

适用于 SUV 和 CUV 的该全天候豪华轮胎现已有6个规格在全美范围内销售,包括5种规格的新固铂 SUV 公路产品。另外30个规格轮胎于2015年年初上市。

(吴淑华摘译 李静萍校)

一种防滑槽纹轮胎

中图分类号: TQ336.1; U463.341 文献标志码: D

由沈阳信达信息科技有限公司申请的专利(公开号 CN 104262712A, 公开日期 2015-01-07)“一种防滑槽纹轮胎”,涉及一种高热固性防滑槽纹轮胎。该轮胎配方采用丁苯橡胶和异戊橡胶,还加入了3~10份可光固化交联单体、1~5份聚碳酸酯、5~10份聚氨酯、5~20份丙烯腈-丁二烯-苯乙烯树脂。与现有技术相比,本发明轮胎具有很好的高热固性和安全性。

(本刊编辑部 马 晓)

轮胎压力监测装置

中图分类号: U467.4⁺2; U463.341 文献标志码: D

由上海勃科信息科技有限公司申请的专利(公开号 CN 103342088A, 公开日期 2013-10-09)“轮胎压力监测装置”,涉及汽车安全电子产品技术领域。该轮胎压力监测装置包含汽车轮胎压力监测系统(TPMS)接收器单元、WE 传感器单元、仪表、低压 LED 和故障 LED。WE 传感器单元通过无线信号与 TPMS 接收器单元连接, TPMS 接收器单元分别与仪表、低压 LED 和故障 LED 连接。该装置能评估每一条轮胎的压力和温度随时间的变化情况,并在出现有潜在危险的轮胎欠压情况时做出决定,持续警示驾驶员,此外,还可以对自身电路和工作状态进行自检,如果检测出严重的故障,通过故障位反应出来。

(本刊编辑部 赵 敏)