

带花纹农业轮胎的接地特性研究

闫杰琼¹, 张莉¹, 孟祥菲¹, 吕德兴¹, 李胜², 吴健²

[1. 中策橡胶(天津)有限公司, 天津 300452; 2. 哈尔滨工业大学(威海), 山东 威海 264209]

摘要: 采用TYABAS系列分析软件和ABAQUS软件, 建立了380/85R24农业子午线轮胎的仿真模型, 研究轮胎花纹对接地印痕和接地压力等接地特性的影响规律。通过有限元分析及实测结果表明: 与14.9-24 8PR农业斜交轮胎相比, 380/85R24农业子午线轮胎的接地印痕呈矩形, 胎冠部位的接地面积增大, 平均接地压力减小, 接地压力分布相对均匀, 耐磨性能提高, 轮胎使用寿命延长。

关键词: 农业轮胎; 花纹; 接地特性; 有限元分析

中图分类号: U463.341⁺.59; O241.82

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2023)08-0507-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2023.08.0507



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

国外轮胎企业如法国米其林、印度BKT、瑞典特瑞堡等公司已经普遍生产农业子午线轮胎。相比传统农业斜交轮胎, 农业子午线轮胎凭借行驶速度快、负荷能力大、接地面积大、通过性强、稳定传输驱动力和制动力、操纵稳定性以及缓和路面冲击的舒适性更好、使用寿命更长、节省燃油消耗等优点, 成为当今市场需求的主流产品; 同时它还因特殊的内部结构而具有良好的接地特性, 可在一定程度上减少对土地的损伤, 从而提高农作物的产量^[1-3]。

有限元分析已广泛应用于轮胎领域相关性能的仿真预测, 而轮胎接地印痕的仿真方法也已经在轮胎行业得到普遍应用。轮胎的接地印痕形状和接地压力分布不仅与轮胎的静态性能有关, 还与其乘坐舒适性、耐久性能、耐磨性能及牵引制动性能有关^[4-5]。

本工作主要以典型的农业斜交轮胎和农业子午线轮胎为研究对象, 在开展橡胶、帘线等组成部件的拉伸试验获取应力-应变关系的基础上, 根据轮胎结构特点, 采用哈尔滨工业大学的TYABAS系列分析软件及三维软件UG, 通过ABAQUS模块组合建立带花纹的农业轮胎有限元仿真模型, 通

过仿真模拟对比农业斜交轮胎和农业子午线轮胎的接地特性, 进而得出两种不同结构轮胎的性能差异。

1 带花纹农业轮胎有限元模型的建立

采用14.9-24 8PR无内胎农业斜交轮胎(以下简称14.9-24 8PR轮胎)和380/85R24无内胎农业子午线轮胎(以下简称380/85R24轮胎), 两种轮胎的花纹均为人字形, 花纹深度均为38 mm, 充气压力均为180 kPa, 静态负荷均为2 900 kg。

1.1 轮胎材料分布

农业子午线轮胎的结构复杂, 主要包括胎面、胎侧、带束层、胎体(帘布层)、内衬层及胎圈等; 而农业斜交轮胎主要由胎面、胎侧、胎体(帘布层)、内衬层及胎圈等组成^[6]。子午线轮胎与斜交轮胎的最主要区别在于胎体帘布层是由1层或多层沿径向排列的帘线结构, 即帘线的铺设角度为0°或接近0°, 且在胎冠部位拥有多层近似周向排列的帘布层, 称为带束层, 它多数采用高强度聚酯纤维帘线。本工作应用AUTOCAD软件对两种轮胎的材料分布(包括橡胶基体、帘布层、带束层)进行绘制, 存储为DXF格式的文件。两种轮胎的材料分布如图1所示。

轮胎的力学行为与橡胶材料的性能密切相关, 而轮胎的有限元仿真结果的精度取决于橡胶材料参数的真实性。为了获得准确的对比数据,

作者简介: 闫杰琼(1987—), 女, 内蒙古包头人, 中策橡胶(天津)有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎的结构设计和工艺管理工作。

E-mail: yanjq@chaoyang.com

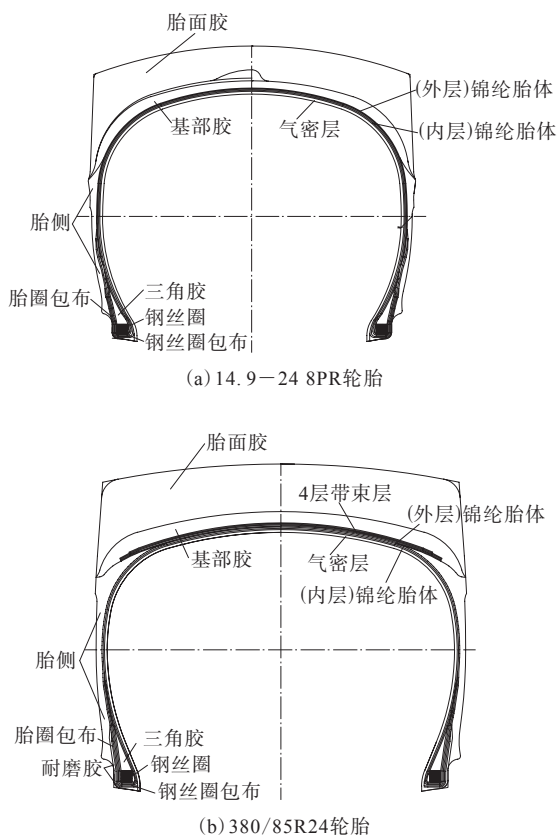


图1 两种轮胎的材料分布

两种不同结构的轮胎均采用相同的帘线及橡胶材料,如气密层胶、胎侧胶和胎面胶,钢丝圈采用单丝直径为0.96 mm的钢丝,钢丝均为8排8列,14.9-24 8PR轮胎采用2层内层、1层外层,使用1870dtex/2 88TE锦纶帘线,成品轮胎胎体角度为 55° ,3层胎体帘布交叉排列;而380/85R24轮胎采用2层胎体帘布,正反包结构,使用1870dtex/2 88TE锦纶帘线,成品轮胎胎体角度为 0° ,4层带束层,使用1670dtex/2 E2聚酯帘布,成品轮胎胎体角度为 67° ,所有层均采用交叉排列。胎体帘线直径为0.74 mm,密度为 $88 \text{根} \cdot \text{dm}^{-1}$,带束层帘线直径为0.74 mm,密度为 $74 \text{根} \cdot \text{dm}^{-1}$ 。

1.2 有限元模型的建立

ABAQUS带花纹轮胎的建模有两种方法^[7]:一种是建立花纹模型和轮胎其他部位模型,然后将两者组合生成完整模型;另一种是建立单节花纹块和对应的轮胎其他部位模型,将两者组合,再沿圆周方向拓展生成完整模型。两种建模方法在几何结构上均可做到完全一致,因此对于接地印痕

分析,两种方法不会有任何差异。本工作采用后一种方法对带花纹轮胎的接地特性进行研究。

根据ABAQUS软件计算模块的功能和特点以及轮胎结构初步总结有限元建模方法,主要包括建立轮胎的二维轴对称有限元模型,建立轮胎的三维有限元模型、接触边界条件模拟及加载方式模拟。本轮胎有限元建模采用TYABAS系列分析软件,建模过程分为几何建模、网格划分、添加材料属性和约束边界条件、建立分析步等步骤^[8-10]。首先,在TYABAS中建立光面轮胎的二维轴对称模型(如图2所示);其次,在TYABAS中将二维模型转换为三维模型,并对轮胎的三维模型进行修改,只保留一个花纹节距光面轮胎的三维有限元模型,同时利用三维软件UG建立一个节距的花纹块模型,通过ABAQUS模块将单节距花纹块和对应轮胎其他部位模型组合起来旋转合并,生成带花纹的完整三维模型。

轮胎花纹的三维模型建立基本与模具一致,但基于保证后续网格的质量,以利于计算时的收敛性和提高建模、计算效率,仍对花纹结构进行简

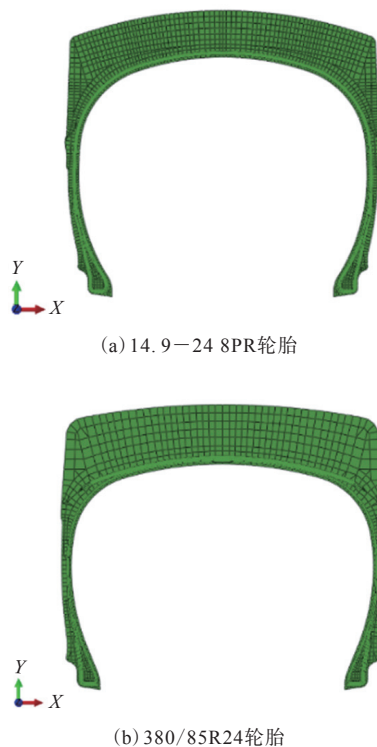
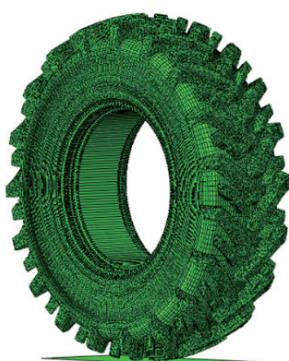


图2 两种轮胎的二维轴对称模型

化处理,忽略了沟底装饰块设计^[11-12]。轮辋和地面的刚度远大于轮胎的刚度,因此将轮辋和地面视为刚体。对轮胎内表面施加压力模拟充气工况,对轮辋中心点施加Z轴的集中力模拟轮胎垂直受载;只允许轮辋沿Z轴移动,地面设为固定约束。考虑轮胎胎面与地面的摩擦作用,轮胎与地面的摩擦因数设为0.8^[13]。两种轮胎的带花纹三维模型如图3所示。



(a) 14.9-24 8PR轮胎



(b) 380/85R24轮胎

图3 两种轮胎的带花纹三维模型

2 有限元结果分析与讨论

2.1 光面轮胎的接地压力分布

利用ABAQUS软件进行三维静态加载分析,两种轮胎的接地印痕及压力分布如图4所示,充气压力为180 kPa,垂直预加载力为29 000 N,未考虑轮胎花纹。

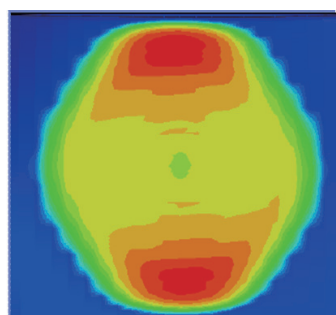
从图4可以看出:(1)两种轮胎在垂直载荷作用下的等效应力是对称分布,在接地区域内,胎肩处的应力明显大于胎冠;(2)在垂直载荷作用下,斜交轮胎与路面的最大接触应力出现位置由胎面内侧向外侧偏移,而子午线轮胎与路面的最大接触应力出现位置始终在胎面中部;(3)斜交轮胎与子午线轮胎的接地印痕形状明显不同,斜交轮胎在接地时胎面变形大,受力不均匀,接地印痕呈椭圆形,而子午线轮胎在接地时,行驶面较为平整,胎面变形小,受力均匀,接地印痕呈矩形。

有限元分析两种光面轮胎的接地特性对比如表1所示。

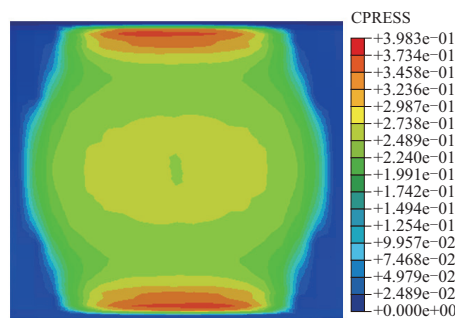
从表1可以看出,子午线轮胎的接地面积大于斜交轮胎,平均接地压力较小,矩形因数更接近1,这主要是由于子午线轮胎大角度带束层的箍紧作用强,使其接地区域的刚性增大,充气静负荷下胎冠部位的形变较小,接地面积增大,接地压力减小,受力更加均匀。因此,在额定充气压力下,子午线轮胎行驶时的胎面磨损更加均匀,耐磨性能提高,进而延长了轮胎使用寿命。

2.2 带花纹轮胎的接地压力分布

为进一步研究带花纹轮胎的接地特性,利用ABAQUS软件仿真模拟带花纹轮胎的接地印痕及压力分布,同时也对轮胎的接地印痕进行实际测



(a) 14.9-24 8PR轮胎



(b) 380/85R24轮胎

图4 两种轮胎的接地印痕及压力分布

表1 两种光面轮胎的接地特性有限元分析结果对比

项 目	14.9-24 8PR轮胎	380/85R24轮胎
印痕长轴长度/mm	385.55	378.45
印痕短轴长度/mm	336.33	336.07
矩形因数	0.82	0.92
接地因数	1.146	1.126
接地印痕面积/mm ²	107 186	118 050
平均接地压力/kPa	270.6	245.6

试,两种轮胎的接地印痕及压力分布有限元分析结果和接地印痕实测结果分别如图5和6所示。

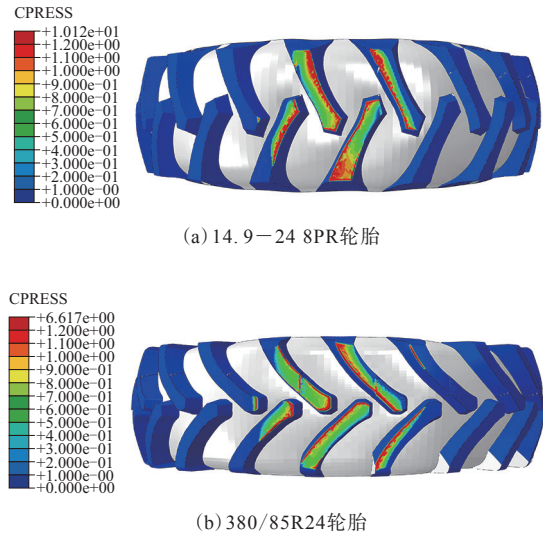


图5 两种轮胎的接地印痕及压力分布有限元分析结果

从图5和6可以看出,两种轮胎的接地印痕有限元分析结果与实测结果基本一致,说明本有限元模型是相对准确的。从图5可以看出,斜交轮胎在花纹肩部的接地应力最大,而子午线轮胎的接地压力在整个花纹块中的分布相对均匀,且两种轮胎在接地时的单花纹块整体受力也不同,单花纹块边部受力比花纹块中部大。因此,在实际使用过程中,斜交轮胎可能出现胎肩磨损严重或因受力不均匀导致胎肩早期损坏,而子午线轮胎则会大大减少这种情况的发生率。

两种轮胎的接地特性有限元分析与实测结果对比如表2所示。

从表2可以看出,两种轮胎的有限元分析结果与实测结果的花纹接地面积和有效接地压力吻合度相近,但仍有一定差别。分析原因认为:(1)在有限元分析时没有考虑带束层膨胀引起的帘线角度和间距变化;(2)轮胎接地特性有限元分析一般没有考虑聚酯帘线高伸张的这一特性,仅采用



(a) 14.9-24 8PR轮胎



(b) 380/85R24轮胎

图6 两种轮胎的接地印痕实测结果

表2 两种轮胎的接地特性有限元分析与实测结果对比

项 目	有限元分析		实测	
	A	B	A	B
花纹接地面积/mm ²	25 614.1	29 524.0	26 524.2	30 459.8
有效接地压力/kPa	1 132.2	982.3	1 093.34	952.1

注:A为14.9-24 8PR轮胎,B为380/85R24轮胎。

线弹性本构模型来表征帘线的力学行为,因此导致两组数据有一定差距。

从表2也可以看出,子午线轮胎的花纹接地面积比斜交轮胎大,而有效接地压力较小,这里还需要考虑两种轮胎的花纹饱和度,斜交轮胎的花纹饱和度为23.9%,而子午线轮胎的花纹饱和度为25.0%,因此除去因花纹饱和度存在的差距,也可以看出子午线轮胎在相同载荷下花纹块接地面积大和有效接地压力小的优势。

3 结论

通过有限元分析及实测结果对比表明,子午线轮胎的接地特性比斜交轮胎优异。农业子午线轮胎由于其结构的特殊性,轮胎的接地印痕呈矩形,胎冠部位接地压力分布相对均匀,平均接地压力较小,使得轮胎胎面磨损均匀,耐磨性能提高,轮胎使用寿命延长。

参考文献:

- [1] 宋寅东,陈传慧,陈永毅. 拖拉机配套子午线轮胎和斜交轮胎对比试验[J]. 农业机械,2021(4):82-84.
- [2] 尹智,杨开泰. 国外农业子午线轮胎的剖析[J]. 橡胶科技,2019,17(5):264-268.
- [3] 杨国涛. 320/85R36农业子午线轮胎设计[J]. 橡塑资源利用,2017(3):9-11.
- [4] 杜春娟. 基于ABAQUS的子午线轮胎的非线性有限元分析[D]. 重庆:重庆交通大学,2012.
- [5] 崔志博. 子午线轮胎接地特性可控性设计理论及实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [6] 陈雯苑. 基于有限元分析的轮胎接地印痕研究[J]. 橡塑技术与装备,2018,44(15):49-53.
- [7] 姜洪旭,王海艳,刘昌波. 带花纹轮胎仿真模型建立及影响因素研究[J]. 轮胎工业,2021,41(7):423-427.
- [8] 靳金鑫. 航空轮胎有限元建模与静态性能分析[D]. 长春:吉林大学,2022.
- [9] 崔志博,侯丹丹,苏召乾,等. 带束层膨胀对轮胎接地印痕的影响研究[J]. 橡胶工业,2021,68(1):10-16.
- [10] 黄康. 拖拉机轮胎与松软地面相互作用的数值模拟[D]. 长春:吉林大学,2021.
- [11] 崔志博,吴健,王友善,等. 胎面-路面摩擦特性设置对轮胎仿真分析的影响[J]. 轮胎工业,2017,37(8):451-455.
- [12] 卢荡,杨文豪,吴海东,等. 轮胎力学特性仿真高精度有限元建模方法研究[J]. 汽车工程,2022,44(10):1556-1562.
- [13] 王宁宁. 子午线轮胎径向接地特性试验与仿真研究[D]. 厦门:厦门理工学院,2022.

收稿日期:2023-02-01

Research on Grounding Characteristics of Patterned Agricultural Tire

YAN Jieqiong¹, ZHANG Li¹, MENG Xiangfei¹, LYU Dexing¹, LI Sheng², WU Jian²

[1. Zhongce Rubber (Tianjin) Co., Ltd, Tianjin 300452, China; 2. Harbin Institute of Technology (Weihai), Weihai 264209, China]

Abstract: Using TYABAS series analysis software and ABAQUS software, simulation model of 380/85R24 agricultural radial tire was established to study the influence of tread pattern on the grounding characteristics of the tire, such as grounding imprints and grounding pressure. The finite element analysis and experimental test results showed that, compared with 14.9 — 24 8PR agricultural bias tires, the grounding imprints of 380/85R24 agricultural radial tires were rectangular, the grounding area at the tire crown increased, the average grounding pressure decreased, the grounding pressure distribution was relatively uniform, the wear resistance was improved and the service life of the tire was extended.

Key words: agricultural tire; pattern; grounding characteristic; finite element analysis

平顶山聚力建设全球最大尼龙基地

日前,河南省政府新闻办召开第一届中国尼龙产业发展大会新闻发布会,介绍中国尼龙城市建设发展情况和第一届中国尼龙产业发展大会的具体情况。河南省平顶山市委副书记、市长李明俊在发布会上表示,平顶山将以尼龙新材料开发区、平顶山高新区和叶县先进制造业开发区为核心,到“十四五”末,力争建成“3个100万t”的尼龙原料规模,倾力打造全球规模最大的尼龙新材料产业基地。

中国尼龙城产业布局为“一基地两集群”,即建设具有国际竞争力的尼龙原材料基地,打造尼龙化纤纺织、工程塑料两大产业集群,协同发展聚氨酯、聚碳酸酯等产业,最终实现煤化工、盐化工、

尼龙化工“三化一体”协同发展。近年来,平顶山市实施“大尼龙、全产业链、国际化、创新引领”的四大战略,目前已打通了一条完整的煤基尼龙新材料产业链。围绕产业链部署创新链,尼龙城先后突破己内酰胺和对位芳纶关键技术及产业化、多型催化剂国产化替代、原液着丝技术等制约尼龙新材料产业发展的一系列问题,实现了主要产品的高端化、差异化、国际化发展。实施“高校院所+技术平台+产业基地”模式,建成国家重点实验室、国家级企业技术中心、省重点实验室、中试基地、博士后科研工作站等省级以上研发机构20家,先后参与30多项尼龙行业国家标准制定,承担50多项国家、省重大科技专项,取得显著成效。

(摘自《中国化工报》,2023-06-20)