

带复杂花纹的子午线轮胎建模方法及其稳态滚动的有限元分析

蒋丰璘

(双钱集团上海轮胎研究所有限公司, 上海 200245)

摘要:以子午线轮胎11R22.5为例,考虑轮胎变形的几何非线性、材料非线性以及轮胎与地面、轮胎与轮辋的大变形非线性接触等,并考虑复杂胎面花纹,利用ABAQUS软件建立轮胎与地面接触的三维有限元模型。对带复杂胎面花纹的子午线轮胎进行了静负荷工况、稳态滚动工况和侧偏工况的模拟,并将分析结果与光面轮胎进行了对比。结果表明,胎面花纹对轮胎滚动模拟结果有一定的影响,从而为轮胎设计提供参考。

关键词:子午线轮胎;复杂花纹;稳态滚动;有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.3/.6;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-8171(2017)01-0003-05

胎面花纹是轮胎的重要参数之一,它对轮胎的行驶性能和使用寿命有直接的影响。由于轮胎花纹的复杂性,传统的轮胎三维有限元分析都对轮胎模型做了简化,或完全忽略了胎面花纹,或仅有周向花纹沟^[1]。然而,这种简化模型会使某些主要性能的计算结果与实际情况存在较大差距,特别是那些与花纹相关的性能^[2]。因此,为了对轮胎的性能进行更真实有效的研究,有必要发展和完善带复杂花纹轮胎的有限元分析技术。

有限元分析建模本身就是一种数值近似手段,在对带复杂花纹的轮胎进行建模时,对于这种曲面形式的网格划分本身就是有限元分析的难点。以往在处理复杂花纹网格划分的问题时,为了方便往往将其自动划分为四面体网格,然而对于三维非线性有限元分析来说,高质量六面体网格与四面体网格相比能够有效提高计算的收敛性以及精度,因此如何实现复杂花纹的六面体网格的有限元划分成为花纹实体建模中比较棘手的问题。

本工作以子午线轮胎11R22.5为例,考虑轮胎变形的几何非线性、材料非线性以及轮胎与地面、轮胎与轮辋的大变形非线性接触等,并考虑复杂

胎面花纹,利用ABAQUS软件建立轮胎与地面接触的三维有限元模型,对带复杂胎面花纹的子午线轮胎进行了静负荷工况、稳态滚动工况和侧偏工况的模拟,并从骨架材料受力、接地特性和侧偏特性等方面与光面轮胎进行对比,以期对轮胎设计提供参考。

1 有限元模型建立

1.1 材料模型

轮胎是由多种材料组成的复合体,包括橡胶、钢丝以及帘线-橡胶复合材料。轮胎中的胎体帘布层和带束层均为各向异性的帘线-橡胶复合材料,采用Rebar模型来模拟。橡胶材料用各向同性的不可压缩实体单元表示,采用Yeoh应变能密度函数描述其应力-应变关系,本工作中Yeoh超弹性模型的参数是通过试验所得数据拟合得到的。钢丝圈采用各向同性的线弹性材料单元描述。

1.2 边界条件

传统计算中通常忽略轮辋,在胎圈处施加相应的边界条件,可减小计算收敛的难度,但是难以准确描述胎圈部位的应力分布。本工作使用接触边界条件对轮胎进行从装配到静负荷工况、滚动工况以及侧偏工况的一系列计算。将轮辋和路面简化为解析刚体,轮胎与轮辋、轮胎与地面之间的接触采用有限滑移法^[3]描述。另外,由于行驶过程

作者简介:蒋丰璘(1985—),女,广西桂林人,双钱集团上海轮胎研究所有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎结构设计和有限元分析工作。

中肩部花纹沟存在闭合情况,因此本工作对肩部缘沟定义了自接触。

1.3 花纹模型建立

根据轮胎花纹的二维展开图,利用CATIA三维造型软件建立一个节距的花纹块实体,如图1所示。



图1 一个节距花纹块的实体造型

由于该花纹比较复杂,包含4条曲折形式的主沟槽、众多的横向刀槽、分布在花纹沟壁上的防石台以及肩部开放式的缘沟,因此,为了在后续的网格划分中得到高质量的六面体单元,需对花纹块实体先进行分割。在CATIA软件中利用工具栏的“分割”命令,将花纹块实体分割为三部分,分割后的花纹块实体如图2所示。



图2 CATIA分割后的一个节距花纹块实体

将上述分割为三部分的花纹块实体从CATIA中导出,分别另存为*.stp文件,再分别以独立部件的形式导入到ABAQUS/CAE中。CATIA三维造型的实体显示为黄褐色,如图3所示,由于部分图形特征过于复杂,存在多余的线条,因此难以在ABAQUS/CAE中以结构或扫掠的方式自动生成六面体网格。

ABAQUS/CAE具有强大的图形优化拓扑功能,本工作主要采用其中的忽略特性和合并边的

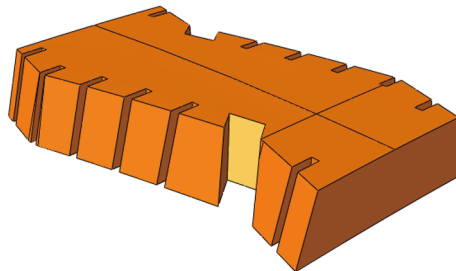


图3 导入到ABAQUS/CAE中的单块花纹

方式去掉图形中影响网格自动划分的特征。处理好的花纹块颜色变为淡黄色,表明可以采用扫掠的方式生成六面体网格,如图4所示。

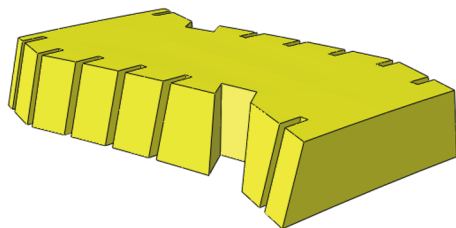


图4 虚拟拓扑后的单块花纹

对处理好的花纹块进行布种子,单元类型为三维八节点完全积分实体杂交单元(C3D8H),然后进行网格划分,得到的单块花纹的网格如图5所示。

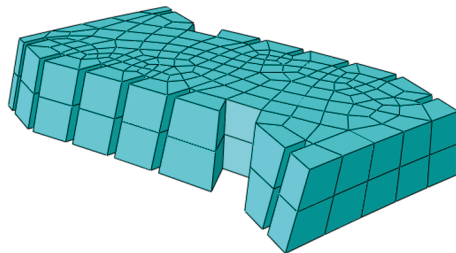


图5 单块花纹的网格

对于其他花纹块采用类似的方法处理划分网格,并最终形成实体,如图6所示。需对三部分的花纹块实体的上下表面建立面集合,以利于后续的绑定约束和接触关系的定义。再将该花纹块实体合并成一个部件,以利于后续材料属性定义。

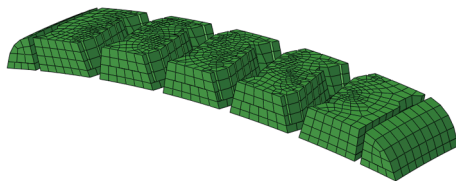


图6 划分好网格的一个节距花纹块模型

1.4 有限元建模方法

利用*SYMMETRIC MODEL GENERATION, REVOLVE命令将二维轮胎主体模型旋转生成一个节距的轮胎主体模型(也可将二维光面轮胎模型旋转生成一个节距的光面轮胎模型,然后在ABAQUS/CAE中使用mesh/edit/delete命令将胎面单元删除),如图7所示。

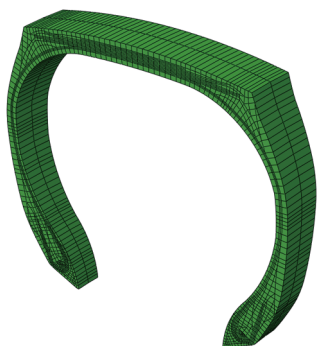


图7 一个节距的轮胎主体模型

在ABAQUS/CAE中利用“旋转”命令调整一个节距的花纹块和轮胎主体的装配位置,轮胎主体和花纹块之间需建立绑定约束,如图8所示。同时,创建花纹块的材料和截面属性,并把截面属性赋予花纹块部件。将建好的模型输出*.inp文件。然后在该inp文件中进行一些修改,例如删除多余的集合、命令行,利用*Tie命令在3层花纹块之间建立绑定约束,将Rebar层嵌入到橡胶基体单元中,添加分析步等。另外,为了确保正确定义Rebar单元的方向,需在inp文件中添加或修改局部坐标系的设置。

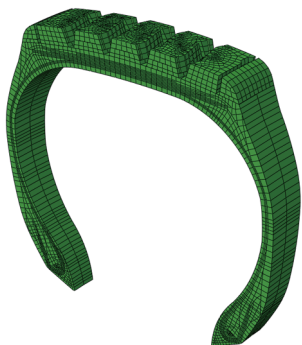


图8 一个节距的带复杂花纹轮胎模型

最后利用*SYMMETRIC MODEL GENERATION, PERIODIC命令将一个节距的带花纹轮胎模型沿周向阵列形成完整的三维轮胎模型,再添

加轮辋和路面、定义接触关系、添加分析步等,完成带复杂花纹轮胎三维有限元建模,如图9所示。



图9 带复杂花纹轮胎的三维有限元模型

2 结果与讨论

2.1 骨架材料受力

静负荷工况与稳态滚动工况下光面轮胎和带复杂花纹轮胎接地断面的骨架材料轴力分布曲线如图10和11所示。本工作只列举胎体帘线的受力情况。

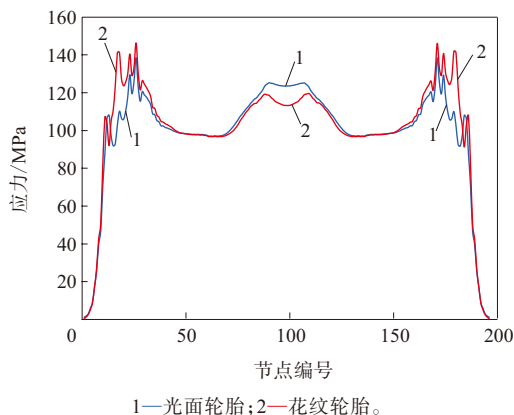


图10 静负荷工况下两种模型的接地断面胎体帘线轴力分布曲线

从图10和11可以看出,在静负荷工况和稳态滚动工况下,带复杂花纹轮胎模型和光面轮胎模型的胎体帘线受力趋势基本一致,但大小有差异,尤其在胎面中心处以及胎圈与轮辋接触部位的帘线受力值差异较大。

2.2 接地特性

光面轮胎和带复杂花纹轮胎模型的负荷与下

沉量的关系曲线对比如图12所示。

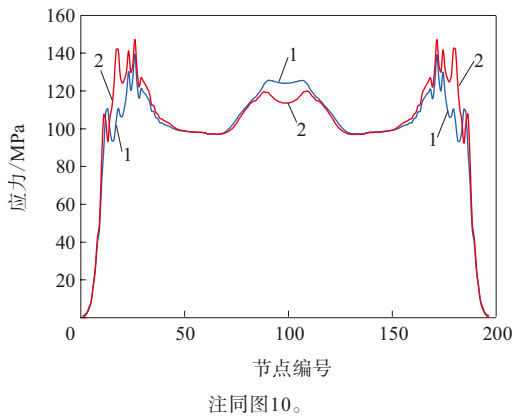


图11 稳态滚动工况下两种模型的接地断面胎体帘线轴力分布曲线

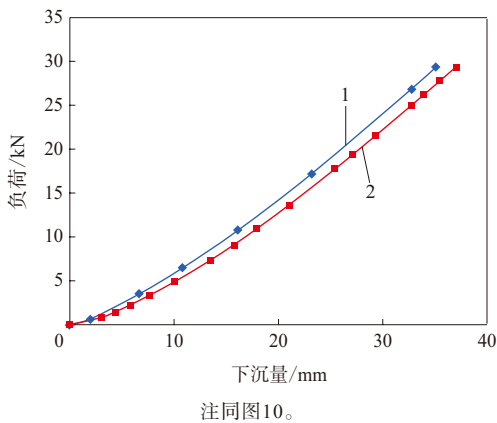


图12 两种模型的负荷-下沉量关系曲线

从图12可以看出,带复杂花纹轮胎模型的径向刚度比光面轮胎模型小。

在标准充气压力(830 kPa)、标准负荷(29.4 kN)下,光面轮胎和带复杂花纹轮胎模型的静态法向接地应力分布如图13所示。

从图13可以看出:光面轮胎的接地压力最大值(0.943 5 MPa)出现在胎面中心处;而带复杂花纹轮胎模型的接地压力最大值(1.804 MPa)出现在花纹沟的边缘处,胎面中心处的最大压力值约为1.322 77 MPa。

在标准充气压力、标准负荷下,轮胎自由滚动时(行驶速度为50 km·h⁻¹)的接地特性数据如表1所示。从表1可以看出,与光面轮胎相比,带复杂花纹轮胎模型的接地印痕横轴略微变短,纵轴变长,接地面积减小,自由滚动半径增大。

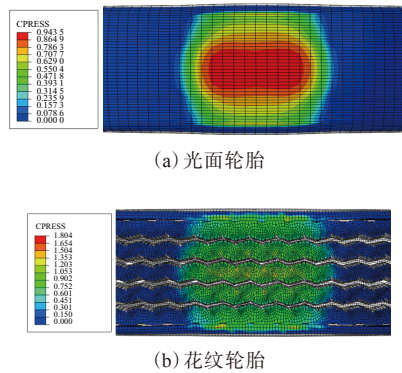


图13 轮胎静态法向接地应力分布云图

表1 自由滚动时的接地特性数据对比

项 目	光面轮胎	花纹轮胎
接地印痕横轴长度/mm	187.14	186.683
接地印痕纵轴长度/mm	270.83	276.635
滚动半径/mm	513.604	521.694
接地面积/mm ²	47 223	38 750

2.3 侧偏特性

光面轮胎和带复杂花纹轮胎模型的侧偏力与侧偏角的关系曲线对比如图14所示。

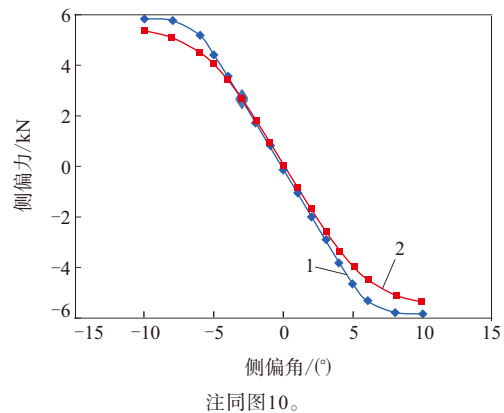


图14 两种模型的侧偏力与侧偏角的关系曲线

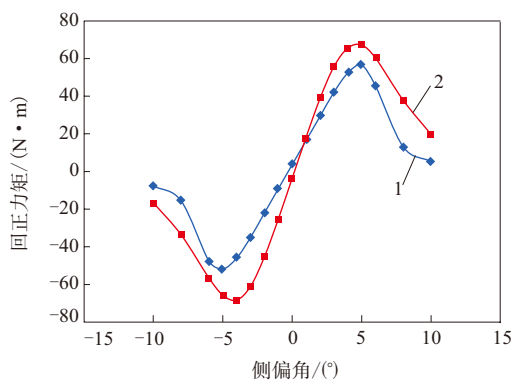
从图14可以看出,带复杂花纹轮胎模型的侧偏刚度比光面轮胎模型小。

光面轮胎和带复杂花纹轮胎模型的回正力矩与侧偏角的关系曲线对比如图15所示。

从图15可以看出,带复杂花纹轮胎模型的回正刚度比光面轮胎模型大。

3 结论

本工作探讨了带复杂花纹轮胎的一种建模方法;对带复杂胎面花纹的子午线轮胎进行了静负



注同图10。

图15 两种模型的回正力矩与侧偏角的关系曲线

荷工况、稳态滚动工况和侧偏工况的模拟,并将分析结果与光面轮胎进行对比,主要可以得出以下结论。

(1) 带复杂花纹轮胎模型和光胎模型的胎体帘线受力趋势基本一致,但大小有差异,尤其在胎面中心处以及胎圈与轮辋接触段的帘线受力值差异较大。

(2) 带复杂花纹轮胎模型的径向刚度比光面轮胎模型小。

(3) 与光面轮胎相比,带复杂花纹轮胎模型的接地印痕横轴略微变短,纵轴变长,接地面积减小,自由滚动半径增大。

(4) 带复杂花纹轮胎模型的侧偏刚度比光面轮胎模型小。

(5) 带复杂花纹轮胎模型的回正刚度比光面轮胎模型大。

参考文献:

- [1] Mir Hamid Reza Ghoreishy. Finite Element Analysis of the Steel-belted Radial Tire with Tread Pattern under Contact Load[J]. Iranian Polymer Journal, 2006, 15 (8): 667-674.
- [2] Cho J R, Kim K W, Yoo W S, et al. Mesh Generation Considering Detailed Tread Blocks for Reliable 3D Tire Analysis[J]. Advances in Engineering Software, 2004, 35 (2): 105-113.
- [3] 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: 137-138.

第19届中国轮胎技术研讨会论文

Modeling Method of Radial Tire with Complex Pattern and Finite Element Analysis on Its Steady-state Rolling

JIANG Fenglin

(Double Coin Group Shanghai Tyre Research Institute Co., Ltd, Shanghai 200245, China)

Abstract: Taking 11R22.5 radial tire as an example, a three-dimensional finite element model of tire ground contact was established by using ABAQUS software. In the modeling, the geometric nonlinearity, material nonlinearity and large deformation in nonlinear contact between tire and ground, as well as tire and rim, and the complex tread pattern were taken into consideration. The radial tire with complex tread pattern was then simulated under static load, steady-state rolling and cornering conditions, and compared with smooth tire. It was found that tread pattern had an impact on the simulation result of tire rolling, which could provide a useful reference for tire design.

Key words: radial tire; complex pattern; steady-state rolling; finite element analysis

欢迎订阅《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》杂志
欢迎刊登广告