

子午线轮胎自由滚动工况下花纹沟体积变化的有限元分析

程冬冬,刘臣才,束永平

(东华大学 机械工程学院,上海 201620)

摘要:采用 Abaqus 软件建立 12.00R20 全钢载重子午线轮胎的有限元模型。首先在隐式算法下,对轮胎进行充气、静负荷、制动、驱动工况下的接地状态分析,再确定其自由滚动速度,并进行自由滚动分析。然后在显式算法下,模拟轮胎在水平路面自由滚动的动态过程,分析自由滚动过程中轮胎与路面摩擦力及花纹沟体积的变化情况,为胎面花纹磨损机理和花纹噪声的研究及花纹结构设计提供参考。

关键词:全钢载重子午线轮胎;自由滚动;花纹噪声;有限元分析

中图分类号:U463.341+.6;O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2014)11-0680-04

随着汽车工业和公路建设的日益发展,人们对汽车乘坐舒适性的要求越来越高,而汽车噪声的很大一部分来源于轮胎噪声。在轮胎滚动过程中,接地区域花纹沟内的空气不断地被吸入和挤出,由此形成了泵气噪声。轮胎花纹结构设计主要有试验、理论经验公式和有限元法^[1]。试验方法虽然测试数据精确,但需针对不同参数的测量设计出不同的工装,存在试验周期长、成本高等缺陷。理论经验公式方法简单,但结果误差较大。而有限元方法使用方便,周期短,在模型建立合理的情况下,误差满足工程上的要求。

本工作采用 Abaqus 有限元分析软件,建立 12.00R20 全钢载重子午线轮胎,分析自由滚动过程中轮胎与路面摩擦力及花纹沟的体积变化,以期对胎面磨损机理和花纹噪声研究及花纹结构设计提供参考^[2]。

1 轮胎三维有限元模型建立

1.1 轮胎三维网格模型建立

轮胎三维网格模型的建立分为轮胎主体和花纹两部分^[3],为了使用隐式算法对轮胎进行稳态滚动分析,轮胎模型必须具有周期性^[4]。采用如下建模方式:主体是先建立一个子午面内的二维

网格,利用 * SYMMETRIC MODEL GENERATION 命令沿周向旋转 360°,花纹部分采用一个基于类保角映射簇的胎面花纹建模方法^[5]。最后将二者用“tie”方式组合起来。

1.2 橡胶-帘线复合材料模型选择

对于橡胶-帘线复合材料,目前有两种定义方式,一种是采用复合材料模型,另一种是采用 Rebar 模型。本研究采用 Rebar 模型。

1.3 接触模拟

分析过程中,将胎圈与轮辋之间的接触采用共节点简化,轮辋与中心轴的距离始终保持固定,即模拟成刚体。路面定义为解析刚体。轮胎与路面之间建立面-面接触,有限滑移^[6]。

2 轮胎各工况有限元分析

2.1 充气与静负荷工况

(1)充气工况。采用轴对称模型模拟轮胎的充气,轮胎的充气压力通过作用在内表面上的均匀分布载荷来实现,二维模型均布载荷是作用在单元的边上,充气压力为 0.84 MPa。

在充气压力作用下,轮胎产生轴对称变形。通过断面变形可反映整个轮胎的受力情况,如图 1 所示,胎侧凸起,钢丝帘线为主要受力部件,与实际情况吻合。

(2)静负荷工况。建立刚性路面,与轮胎外表

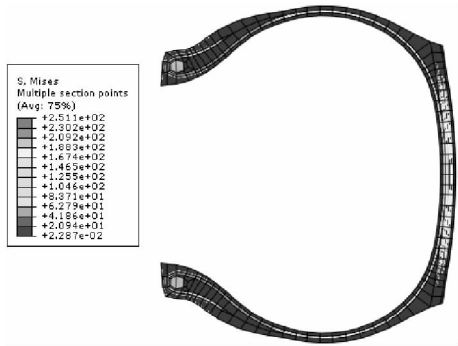


图 1 充气工况下轮胎断面应力分布

面相距 0.02 mm。轮胎的静负荷加载是将轮辋固定,采取两步进行:第 1 步,在充气工况的基础上,将路面压向轮胎 4.5 mm;第 2 步,对路面施加朝向轮胎、大小为 30 kN 的力。轮胎受力情况如图 2 所示,轮胎下沉量为 31.286 mm。

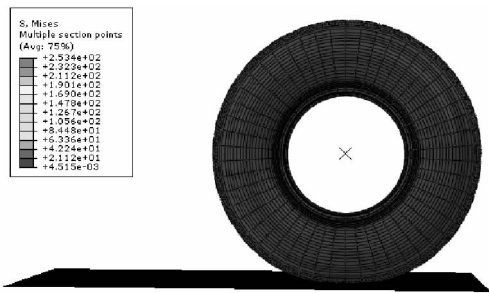


图 2 静负荷工况下轮胎应力分布

2.2 制动、驱动工况及自由滚动速度的确定

对应某一行驶速度,自由滚动速度事先是未知的。制动与驱动工况是通过如下方式模拟的:沿 Z 轴负方向给定轮胎速度 $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;轮胎的滚动角速度足够小,使轮胎与路面间的全部或部分接触节点发生滑动,因而轮胎与路面间产生的纵向力(或合力矩)阻碍轮胎的前进,此种情况为制动;同样,轮胎的滚动角速度足够大,使轮胎与路面间的全部或部分接触节点发生滑动,因而轮胎与路面间产生的纵向力(或合力矩)推动轮胎前进,此种情况为驱动。在轮胎滚动角速度从足够小到足够大逐渐变化的过程中,有一个值对应轮胎与路面间相互作用的合力为零,该值即为所求的自由滚动速度。

轮胎滚动半径如图 3 所示。轮胎负荷半径(R_f)定义为路面与轮心的距离,轮胎自由半径(R_f)定义为垂直载荷为零时的负荷半径,轮胎

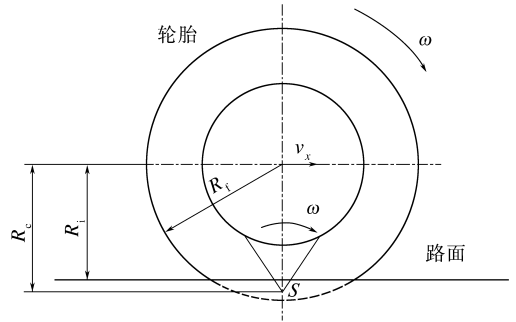
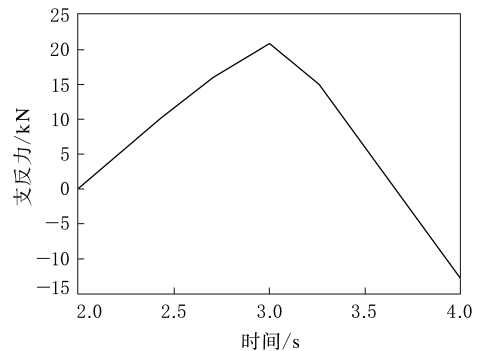


图 3 轮胎滚动半径示意

有效滚动半径(R_e)定义为点 S 到轮心的距离。自由滚动时, $R_e = v_x / \omega$,其中 v_x 为轮胎行驶速度, ω 为角速度。

本研究采用如下方法来确定自由滚动工况下的 ω :令 ω 由小于 v_x / R_f 的值逐渐增大至超过 v_x / R_f ,并绘制出路面参考点上轮胎前进方向的支反力与时间的关系曲线,如图 4 所示。

图 4 路面参考点沿 Z 轴支反力与时间的关系曲线

由图 4 可以看出:在角速度很小的时候,路面参考点支反力方向沿 Z 轴正方向,因此路面是阻碍轮胎运动的,即为制动;在角速度很大的时候,路面参考点支反力方向沿 Z 轴负方向,因此路面是推动轮胎运动的,即为驱动。因此得出对应路面参考点支反力为零时的角速度为 $20.325\ 473\ 4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。然后,在隐式算法下以该角速度对轮胎进行自由滚动分析。

2.3 轮胎的自由滚动动态模拟

将路面调整至 2.2 节中路面的位置,以所得自由滚动速度为轮胎自由滚动动态模拟的初始条件,在后续分析步中,在轮胎外表面与路面之间定义接触,摩擦因数定为 0.8,给轮胎质心施加一个朝向路面、大小为 30 kN 的力,给轮胎内壁施加

0.84 MPa 的均布载荷,给质心施加 $40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度,即可模拟轮胎在刚性路面上的自由滚动过程。

3 结果与讨论

3.1 轮胎与路面摩擦力

轮胎与路面摩擦力的变化情况如图 5 所示。

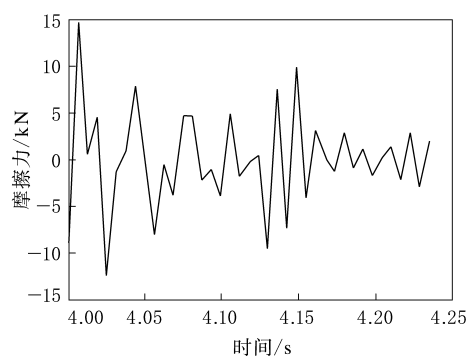


图 5 轮胎与路面摩擦力与时间的关系曲线

实际上本研究对象为带复杂花纹的轮胎,随着其在路面上的动态滚动,各时刻轮胎的径向刚度是不同的,有效滚动半径也是不同的,进而自由滚动速度也不同。因此轮胎与路面之间的摩擦力时刻在变化着。

3.2 花纹沟体积

选取一块花纹沟为研究对象,如图 6 所示。

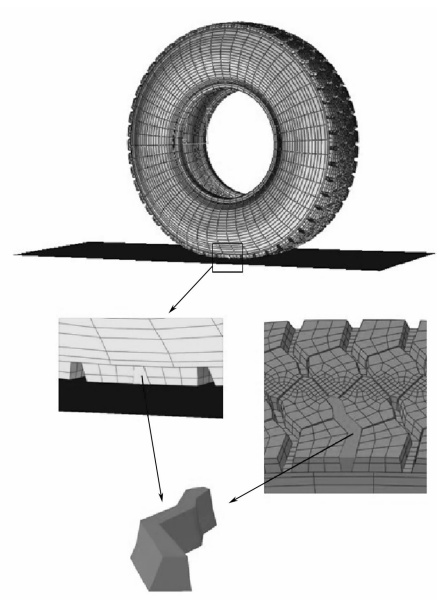


图 6 花纹沟选取

分析在滚入与滚出路面的过程中花纹沟内空气体积的变化情况。提取各分析步中的点信息,在 Catia 中生成封闭曲面,测出体积,建模过程如图 7 所示。轮胎滚入与滚出路面的形状如图 8 所示。

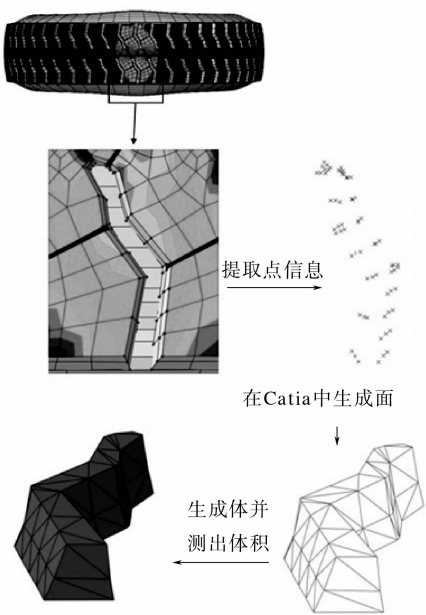


图 7 花纹沟内空气三维建模过程

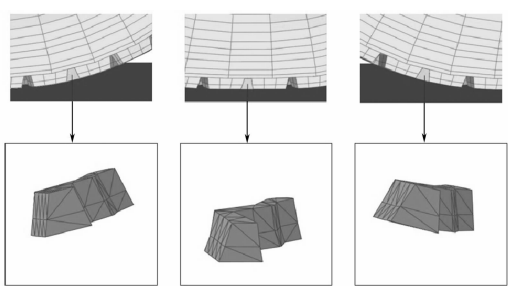


图 8 不同时刻花纹沟内空气模型的形状

花纹沟体积与时间的关系曲线如图 9 所示。从图 9 可以看出,在与路面接触过程中,花纹沟内空气体积经历了先减小后增大的过程,减小的体积约为最大体积的 19.2 %。

4 结语

对 12.00R20 全钢载重子午线轮胎进行充气、静负荷、制动、驱动工况下的接地状态分析,再确定其自由滚动速度;然后在显式算法下,模拟轮胎在水平路面自由滚动的动态过程。

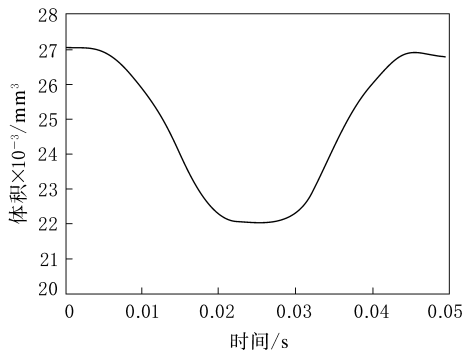


图 9 花纹沟体积与时间的关系曲线

通过分析自由滚动过程中轮胎与路面摩擦力的变化情况,为胎面花纹磨损机理研究提供数据基础。

在滚过一个花纹沟的过程中,选取一块花纹沟为研究对象,分析了其内空气体积随时间的变化情况,为轮胎花纹噪声的研究及轮胎花纹结构的设计提供参考。可以通过研究不同花纹的噪声,比较不同花纹沟体积与时间的关系,建立花纹

噪声与花纹沟体积变化大小的关系;也可以针对同一花纹测出不同自由滚动速度下的花纹噪声,建立花纹噪声与花纹沟体积变化快慢的关系,进而为轮胎花纹的结构设计提供指导。

参考文献:

- [1] 于增信,谭惠丰,杜星文. 轮胎花纹沟噪声研究进展[J]. 哈尔滨工业大学学报,2002,34(1):105-109.
- [2] 李汉堂. 可降低路面噪音的胎面花纹沟形状设计[J]. 世界橡胶工业,2005,32(3):25-27,33.
- [3] 胡坚浩. 载重子午线轮胎的网格划分及有限元分析[D]. 东华大学,2011.
- [4] 束永平,陈秋红,郑建荣. 载重子午线轮胎稳态滚动有限元分析[J]. 华东理工大学学报,2008,34(6):902-907.
- [5] 李兵. 计及复杂胎面花纹的子午线轮胎结构有限元分析[D]. 合肥:中国科学技术大学,2008.
- [6] 曹金凤,石亦平. ABAQUS 有限元分析常见问题解答[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

收稿日期:2014-05-13

Finite Element Analysis on Groove Volume Change of Radial Tire under Free Rolling Condition

CHENG Dong-dong, LIU Chen-cai, SHU Yong-ping

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The finite element model of 12.00R20 truck and bus radial tire was established by using Abaqus software. The contact state was analyzed in implicit algorithm under inflation, static load, braking condition and driving condition. Then the free rolling speed was determined and the free rolling of the tire was analyzed. The dynamic process under free rolling was simulated in explicit algorithm. Then the change of the friction force between tire and road, and the change of groove volume, were analyzed, which provided a useful reference for future research on tread wear and pattern noise, and design of tire pattern.

Key words: truck and bus radial tire; free rolling; pattern noise; finite element analysis

一种由粉煤灰制备橡胶级白炭黑的方法

中图分类号:TQ330.38⁺3 文献标志码:D

由中煤平朔集团有限公司申请的专利(公开号 CN 103086385A, 公开日期 2013-05-08)“一种由粉煤灰制备橡胶级白炭黑的方法”,提供了一种由粉煤灰制备橡胶级白炭黑的方法,包括:将经固液分离后的硅酸钠溶液注入装有阳离子交换树脂的交换器中,溶液中钠离子会被交换树脂中的氢离子所置换,降低了钠离子的含量,得到的

硅钠比很高的硅酸钠溶液从交换器下部流出,进行直接碳分,制得橡胶级白炭黑。交换树脂经过一段时间后会达到饱和状态,可利用一定浓度的盐酸溶液对交换树脂进行再生处理和回用,交换树脂再生处理时生成的氯化钠溶液可作为工业盐再进行使用。采用该方法制得的橡胶级白炭黑产品稳定,既简化了原有工艺流程,又增加了产品的附加值。

(本刊编辑部 赵 敏)