

基于摩擦功的全钢载重子午线轮胎的磨耗性能研究

吴 健^{1,2}, 王泽君⁴, 王友善³, 沈建农⁴

[1. 哈尔滨工业大学(威海) 橡胶复合材料与结构研究所, 山东 威海 264209; 2. 哈尔滨工业大学 力学博士后流动站, 黑龙江 哈尔滨 150001; 3. 哈尔滨工业大学 复合材料与结构研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001; 4. 杭州中策橡胶有限公司, 浙江 杭州 310008]

摘要:以 12R22.5 全钢载重子午线轮胎为研究对象, 采用哈尔滨工业大学开发的轮胎系列有限元分析软件对轮胎的磨耗进行系统研究, 给出了在静态、稳态、启动、制动、侧偏和转弯等不同工况条件下轮胎的摩擦功及磨耗方向。结果表明, 工况条件对轮胎磨耗程度影响较大, 由大到小依次为转弯、制动、启动、侧偏、稳态。另外, 工况条件对轮胎横向磨耗分布有较大影响, 特别是转弯和侧偏等工况条件。

关键词:全钢载重子午线轮胎; 摩擦功; 磨耗; 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:** 1000-890X(2013)02-0080-05

耐磨性能是轮胎的重要使用性能, 轮胎磨耗主要是胎面磨损, 是胎面与路面相互滑动摩擦, 其表层受应力、热、氧等因素的综合作用, 发生分子链与交联键断裂破坏的复杂过程^[1]。它与轮胎的牵引、制动和舒适性等许多使用性能相关^[2-3]。目前, 常用试验法来衡量轮胎的耐磨性能, 但试验法成本高、周期长, 因此有必要将有限元方法应用到轮胎磨耗性能研究中。

近几十年来, 轮胎磨耗性能一直是国内外的研究热点, 但因其复杂性, 重点主要集中在试验测试^[4]及橡胶的摩擦和磨损性能研究^[5-8]。D. O. Stalnaker 等^[4]对室内试验替代室外试验的方法进行了研究, 结果表明, 室内试验替代室外试验方法是可靠的。随着计算机技术的发展, 有限元被广泛用于橡胶^[9]和轮胎^[10-11]的摩擦和磨损性能研究中。K. Hofstetter 等^[10]建立了单个花纹块的有限元模型, 考虑热力耦合, 分析了花纹块的滑动磨损及不规则磨损, 并进行了验证。然而, 整胎结构复杂, 单花纹块无法表征复杂受力影响, 因此有必要结合整胎工况进行研究。J. R. Cho 等^[12]建立了带花纹的整胎有限元模型, 对 205/60R15 轮胎的接触压力和摩擦能分布进行了研究, 建立了

摩擦能与轮胎磨耗率之间的关系。结果表明, 该模型能较好地预测轮胎磨耗性能, 节省了测试成本和时间。然而, 整胎花纹建模的计算时间长, 对计算机要求高, 限制了其在实际中的应用。何涛等^[13]用 ABAQUS 软件对轮胎胎面花纹的滑动磨耗进行了有限元分析, 结果表明用精细网格的局部花纹块模型能反映出滑动前端卷曲大变形以及表面卷曲自接触的变形特征, 同时也说明了有限元方法的有效性。然而, 该研究主要针对单花纹块的磨耗性能, 无法整体反映轮胎在实际工况中的磨耗性能。

本研究以 12R22.5 全钢载重子午线轮胎为例, 采用 TYSYS 软件对带纵沟轮胎的二维断面进行前处理, 在此基础上用 TYABAS 软件建立轮胎的三维有限元模型, 再调用 ABAQUS 求解器, 分析轮胎在静态、稳态、启动、制动、侧偏和转弯等工况下的各种性能。并用 TYABAS-POST 软件对各工况下的摩擦功及磨耗方向进行分析, 以评价各工况对轮胎磨耗性能的影响程度。

1 轮胎有限元模型

1.1 材料模型

轮胎一般由几种或十几种橡胶材料构成, 此外还包含主要起支撑作用的骨架材料(钢丝或纤维帘线等)。橡胶受力后变形过程复杂, 伴随着大

作者简介:吴健(1984—), 男, 浙江义乌人, 哈尔滨工业大学(威海)讲师, 博士, 主要从事橡胶及其复合材料相关技术、轮胎力学分析和有限元技术的研究开发与应用工作。

位移、大应变,而橡胶本身又是非线性材料,构成了几何非线性和材料非线性的双重非线性,因此橡胶材料的本构关系复杂,一般用超弹性本构模型来表征。由于橡胶双向试验的复杂性,一般采用单向力学性能来拟合超弹性本构模型^[14]。结合拉伸试验数据,本研究采用 Yeoh 模型来表征橡胶材料的力学性能,而骨架材料则采用线弹性模型来表征。

1.2 网格划分

轮胎网格数据由 TYSYS 软件生成,轮胎二维网格划分模型如图 1 所示,由 1 292 个节点、1 214 个单元组成。三维网格基于二维网格生成,如图 2 所示。三维轮胎模型共分 74 段,接地区域的 60° 范围内局部加密,每 2° 一段。这样既保证了计算精度,也节省计算时间。

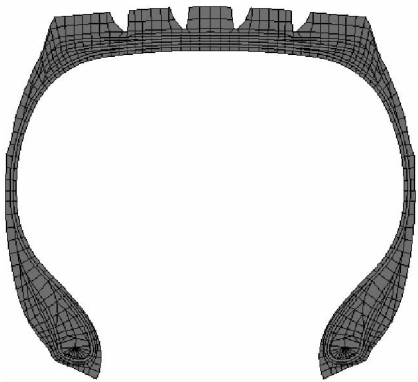


图 1 轮胎二维网格划分模型

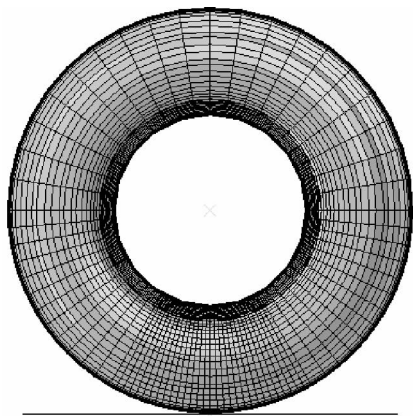


图 2 轮胎三维网格划分模型

1.3 接触属性

轮胎在使用过程中主要有两对接触:一是轮胎与轮辋的接触;二是轮胎与地面的接触。橡胶

是一种低弹性模量的超弹性材料,其摩擦特性与接触压力、滑动速度、温度和地面粗糙度等因素相关^[15]。

本研究通过橡胶材料与轮辋和地面的摩擦特性试验,获取不同压力 and 不同地面等因素下的摩擦特性规律。自制的橡胶摩擦试验装置如图 3 所示。在轮胎分析中,把试验结果作为接触边界条件施加在有限元模型中。

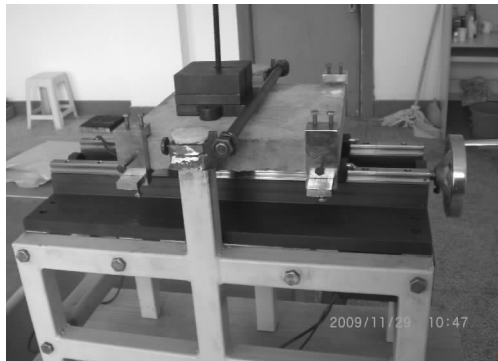


图 3 摩擦试验机

1.4 分析条件

基于 TYABAS 软件,建立轮胎有限元分析模型。调用 ABAQUS 求解器,对轮胎各工况(静态、稳态、启动、制动、侧偏和转弯)进行分析。轮胎各工况下的有限元分析条件如表 1 所示。

表 1 轮胎有限元分析条件

工况	侧偏角/(°)	转弯角/(°)	加速度/ (rad · s ⁻²)	行驶速度/ (km · h ⁻¹)
静态	—	—	—	—
稳态	—	—	—	80
启动	—	—	3	—
制动	—	—	8	—
侧偏	2	—	—	80
转弯	—	15	—	20

注:充气压力 0.93 MPa,负荷 3 550 kg。

2 仿真结果与分析

摩擦功和磨耗方向是与轮胎磨耗性能密切相关的因素。本研究采用 TYABAS-POST 软件对分析结果进行处理,对各工况下的摩擦功和磨耗方向进行对比分析。

2.1 摩擦功

摩擦功是轮胎与地面发生摩擦剪切、滑移的

能量表现,与磨损有很大的相关性^[11]。磨损体积速率(v)与摩擦功率(W_f)的关系^[16]为

$$v = b_0 W_f^{b_1} \quad (1)$$

式中 b_0, b_1 ——与花纹块磨损相关的材料参数。

本研究以单位面积的摩擦功来衡量轮胎的磨损性能。

单位面积的摩擦功(W_A)可表示为

$$W_A = \mu PL \quad (2)$$

式中 μ ——胎面与地面的摩擦因数;

P ——接触面上单位面积正压力;

L ——相对于接触面的滑移。

稳态、启动、制动和转弯时轮胎横断面上的摩擦功分布如图4所示。

从图4可以看出,转弯时摩擦功最大,制动时次之,稳态最小;启动和制动时断面上的摩擦功分布趋势无明显改变,但转弯时却明显改变。这主要是由于启动和制动时轮胎主要产生纵向滑动,而转弯时会产生较大的横向滑动,如图5所示。

2.2 磨损方向

磨损方向是指胎面各点相对于地面的滑移方向。它是影响轮胎磨损性能的重要因素,对轮胎花纹设计也具有重要指导意义。

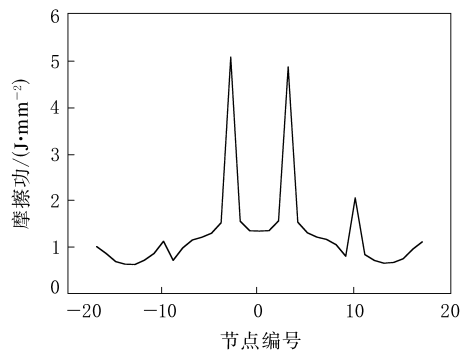
静态、稳态、启动、制动、侧偏和转弯工况下轮胎的磨损方向如图6所示。

从图6可以看出,静态时磨损方向基本沿胎面中心呈对称分布。此时轮胎胎面只受垂直载荷作用,各点受力变形向四周运动,而与地面的摩擦又限制其运动,因此磨损方向对称分布;稳态时,其磨损主要沿着一个方向,然而在花纹沟边缘由于边界没有约束,因此花纹沟边缘各点的磨损方向指向内侧;启动和制动时因受到较大的驱动力和制动力,磨损基本沿着一个方向;侧偏和转弯时,磨损方向随侧偏和转弯方向发生改变。

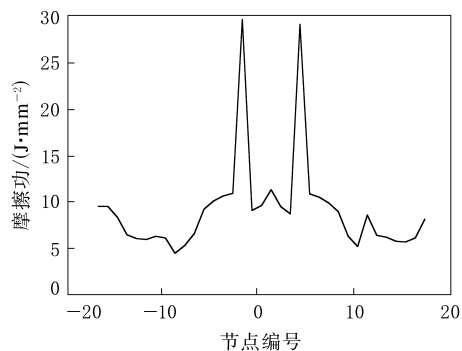
综上所述,工况条件对磨损方向的影响较大,进而影响胎面磨损程度和分布。

3 结论

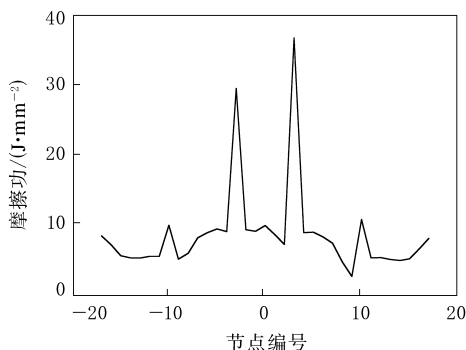
本研究基于 TYSYS 和 TYABAS 软件建立了轮胎各工况下的有限元仿真模型,考察轮胎行驶工况对其磨损性能的影响。主要从摩擦功和磨损方向两方面进行分析,得到下述结论。



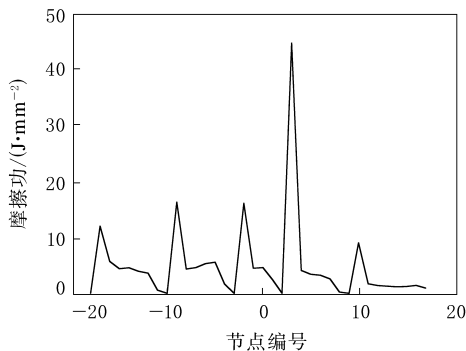
(a) 稳态



(b) 启动



(c) 制动



(d) 转弯

图4 轮胎横断面摩擦功分布

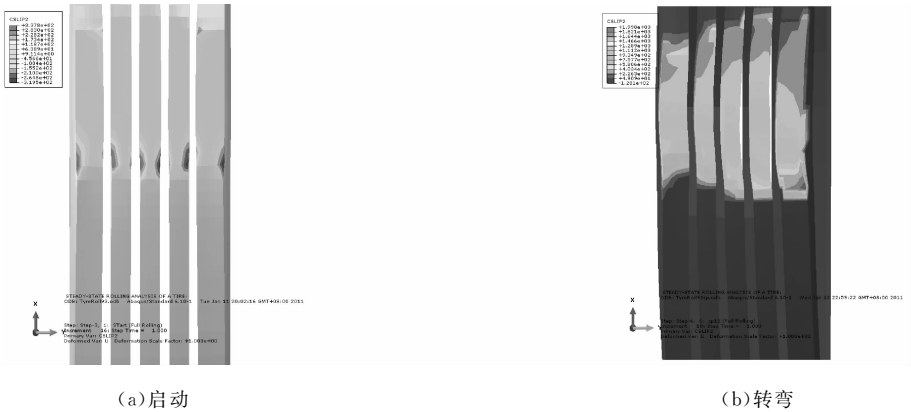


图 5 轮胎横向滑移有限元分析结果

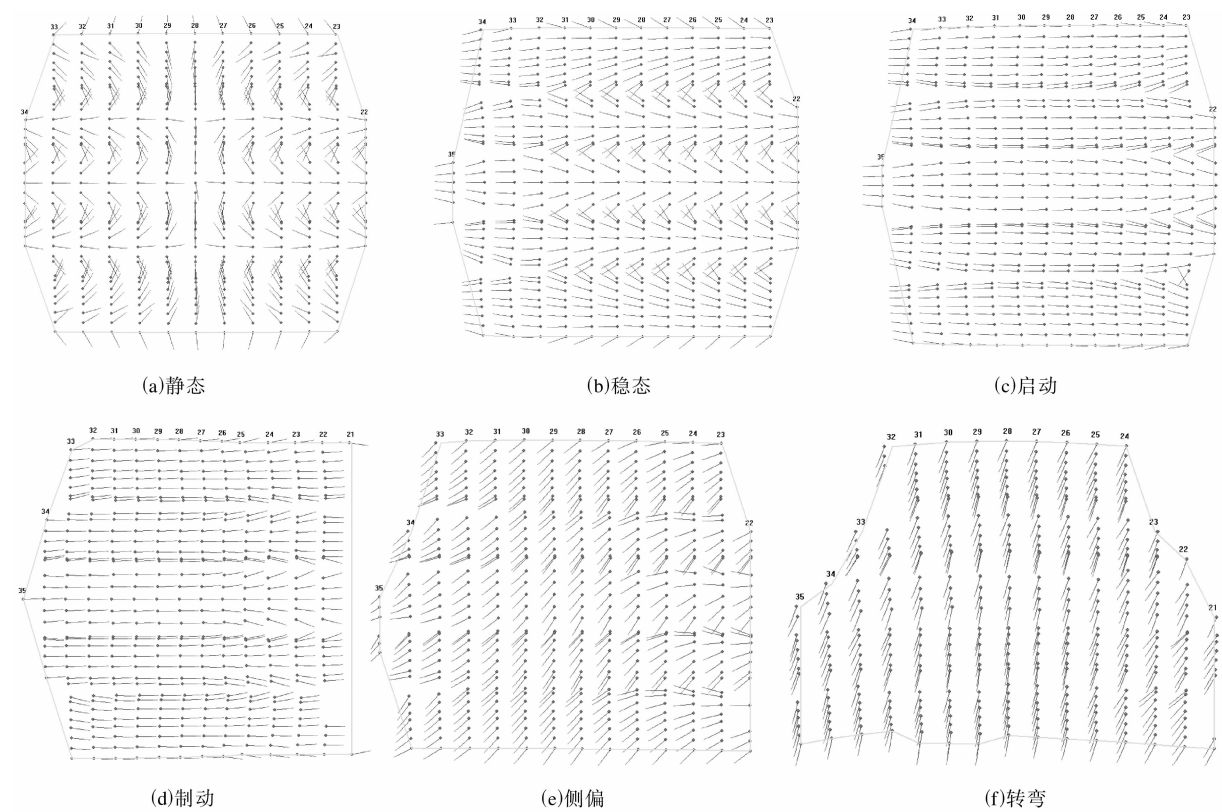


图 6 各工况下轮胎的磨耗方向

(1) 轮胎使用工况对其磨耗程度有较大影响。转弯时的摩擦功最大, 制动时次之, 启动时再次之, 稳态时最小。

(2) 磨耗方向是衡量轮胎磨耗性能的重要指标。不同工况的磨耗方向各不相同, 侧偏和转弯时磨耗方向往肩部转, 有磨肩的趋势。

(3) 研究轮胎的磨耗性能应综合考虑各工况的影响。

参考文献:

[1] Schallamach A. Friction and Abrasion of Rubber[J]. Wear, 1957/1958,1(5):384-417.

[2] Clark S K. Mechanics of Pneumatic Tire[M]. Washington, D C:Government Printing Office,1982;11-18.

[3] Cho J R,Shin S W, Soo Y W. Crown Shape Optimization for Enhancing Tire Wear Performance by ANN[J]. Computers and Structures,2005,83(12-13):920-933.

- [4] Stalnaker D O, Turner J L. Vehicle and Course Characterization Process for Indoor Tire Wear Simulation[J]. Tire Sci. Technol., 2002, 30(2): 100-121.
- [5] Gerrard D, Padovan J. The Friction and Wear of Rubber, Part 1. Effects of Dynamically Changing Slip Direction and the Damage Orientation Distribution Function[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2001, 75(1): 29-48.
- [6] Gent A N, Pulford C T R. Mechanisms of Rubber Abrasion[J]. J. Appl. Polym. Sci., 1983, 28(3): 943-960.
- [7] Xu D, Karger-Kocsis J, Schlarb A K. Rolling Wear of EPDM and SBR Rubbers as a Function of Carbon Black Contents Correlation with Microhardness[J]. J. Mater. Sci., 2008, 43(12): 4330-4339.
- [8] Gabriel P, Thomas A G, Busfield J J C. Influence of Interface Geometry on Rubber Friction[J]. Wear, 2010, 268(5-6): 747-750.
- [9] Huemer T, Liu W N, Eberhardsteiner J, et al. A 3D Finite Element Formulation Describing the Frictional Behavior of Rubber on Ice and Concrete Surfaces[J]. Eng. Comput., 2001, 18(3/4): 417-436.
- [10] Hofstetter K, Grohs C, Eberhardsteiner J, et al. Sliding Behaviour of Simplified Tire Tread Patterns Investigated by Means of FEM[J]. Computers and Structures, 2006, 84(17-18): 1151-1163.
- [11] Cho J R, Choi J H, Kim Y S. Abrasive Wear Amount Estimate for 3D Patterned Tire Utilizing Frictional Dynamic Rolling Analysis[J]. Tribology International, 2011, 44(7-8): 850-858.
- [12] 方庆红. 轮胎胎面胶耐磨性研究[J]. 橡胶工业, 2003, 50(7): 397-399.
- [13] 何涛, 李子然, 汪洋. 子午线轮胎胎面花纹块滑动磨损有限元分析[J]. 工程力学, 2010, 27(7): 237-243.
- [14] Walter J D, Patel H P. Approximate Expressions for the Elastic Constants of Cord-Rubber Laminates[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1979, 52(4): 171-183.
- [15] Heinrich G, Kluppel M. Rubber Friction, Tread Deformation and Tire Traction[J]. Wear, 2008, 265(7-8): 1052-1060.
- [16] Gent A N, Walter J D. The Pneumatic Tire[M]. Washington D C: NHTSA, 2005: 64.

收稿日期: 2012-08-17

Study on Wear Property of Truck and Bus Radial Tire Based on Friction Power

WU Jian¹, WANG Ze-jun², WANG You-shan¹, SHEN Jian-nong²

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Hangzhou Zhongce Rubber Co., Ltd, Hangzhou 310008, China)

Abstract: Taking 12R22.5 truck and bus radial tire as an example, tire wear was systematically studied using finite element analysis software developed by Harbin Institute of Technology. The tire friction power and wear direction were given under the conditions of static state, steady state, starting, braking, cornering and turning. The results indicated that working conditions influenced tire wear greatly, and in descending order, the conditions were listed as: turning, braking, starting, cornering and steady state. In addition, the working conditions also had great impact on the lateral wear distribution of the tire, especially the turning and cornering working conditions.

Key words: truck and bus radial tire; friction power; wear; finite element analysis

一种易混合高填充粘土/橡胶 纳米复合材料的制备方法

中图分类号: TQ333.99 文献标志码: D

由北京化工大学申请的专利(公开号 CN 101851360A, 公开日期 2010-10-06)“一种易混合高填充粘土/橡胶纳米复合材料的制备方法”, 提供了一种易混合高填充粘土/橡胶纳米复合材料的制备方法: 首先通过将橡胶乳液与粘土/水悬浮液共混, 然后利用电解质溶液破乳形成1~

100 μm 的絮凝颗粒, 再利用水力旋流器分离、洗涤和浓缩, 最后利用喷雾干燥工艺雾化干燥制得粉末状态的高填充粘土/橡胶纳米复合材料。该发明通过利用喷雾干燥工艺解决了粘土高填充量条件下絮凝后复合材料胶粒细小不易过滤干燥的难题以及复合材料干燥后胶粒板结造成后续混炼加工工艺和分散困难的问题, 同时将产品的烘干时间从数小时缩短到几十秒。

(本刊编辑部 赵敏)