

考虑前轮定位的轮胎有限元模型建立与分析

张红军¹, 薛隆泉¹, 刘荣昌², 王玉秋¹

(1. 西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 河北科技师范学院 机械电子系, 河北 秦皇岛 066600)

摘要:采用 ANSYS 软件非线性分析技术和相对运动原理, 建立 60 系列 R15 型子午线轮胎带有前束和外倾角的接触滑移的有限元模型, 采用 Pilot 节点控制刚性目标面, 对充气轮胎进行接触滑移的有限元模拟; 分析不同摩擦力下轮胎接触滑移的印痕分布状况及轮胎整体变形和应力分布趋势, 为轮胎性能仿真和结构设计优化奠定基础。

关键词:子午线轮胎; 前束; 外倾角; 接触滑移; Pilot 节点; ANSYS 软件

中图分类号: TQ336.1⁺1; O241.82 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2006)03-0142-04

近年来, 有限元法在轮胎力学研究方面得到广泛应用, 人们通过建立各种情况下轮胎的模型来对其进行分析, 从而更深入地认识轮胎结构的力学性能, 并为轮胎结构设计提供了强有力的工具。

由于轮胎几何结构复杂、材料性质多样以及路况难以模拟等, 分析的关键在于如何更好地建立合理的模型, 接触问题更是如此^[1]。本研究针对 60 系列 R15 型子午线轮胎建立前轮外倾与前轮前束的轮胎接触滑移的有限元模型并对其进行有限元模拟分析, 使处理与地面的相对关系更为方便。

1 前轮定位的基本知识

轮式车辆的前轮并不与地面垂直, 而是上端略向外倾斜, 前端略向里收束; 转向立轴也不与地面垂直, 而是上端略向里和向后倾斜, 这 4 项统称为前轮定位^[2]。本研究主要建立前轮外倾与前轮前束的轮胎接触滑移的有限元模型, 并进行模拟分析。

1.1 前轮外倾

前轮上端向外倾斜一个角度(δ), 称为前轮外倾角, 如图 1 所示。前轮外倾后, 地面对车轮的垂直反力在 Y 轴的分力(F)指向前轮轴的根部, 使前轮始终压向内端大轴承, 可抵消前轮在转向或

在横坡上作业时所承受的向外的部分轴向分力, 减小了外端小轴承的负荷, 减少了前轮脱落的危险。对载重汽车来说, 前轮外倾可使前轮与拱形路面相适应, 并且负载后, 车辆前桥变形时不致出现车轮内倾。

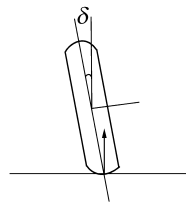


图 1 前轮外倾示意

1.2 前轮前束

前束常用车轮在中立位置时两车轮后面与前面最外端之间的距离之差($B_2 - B_1$)来表示, 如图 2 所示。

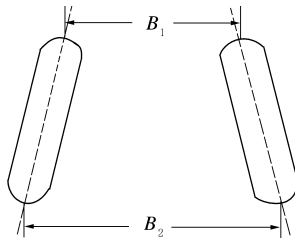


图 2 前轮前束示意

前束量主要根据前轮外倾引起的侧滑量来确定。立轴后倾有前束的效应, 因此产生的侧滑量可部分补偿前轮外倾引起的侧滑量。由于前轮外倾引起的侧滑量较大, 如果取消立轴后倾角, 仅用

前束补偿往往不够。车轮前束后,若立轴后倾,则地面对车轮的反作用力相对于立轴中心线形成的力矩有使车轮向外偏转的作用,因此加大前束量和立轴后倾斜角都是不合适的,较好的办法是减小前轮外倾角。现代车辆有减小外倾角的趋势,一般为 $1\sim 1.5^\circ$,前束量在 $1.5\sim 12\text{ mm}$ 范围内。

2 有限元模型建立

子午线轮胎由具有各向同性的胎面胶、胎侧胶和三角胶及各向异性的胎体帘布层和带束层等10余种材料组成^[3]。本研究采用 ANSYS 提供的 Solid 45 体单元和能反映轮胎各部件材料本构规律的 Solid 45 层单元通过直接创建节点和单元的办法建立轮胎三维有限元模型,并利用三维刚-柔接触模型模拟轮胎-路面接触问题,路面视为刚性目标面,轮胎则为柔性接触面。目标单元采用 Target 170 单元,接触单元采用 Contact 174 单元。需要注意的是,在轮胎与地面可能的接触区,单元分布得密集一些,而在其它部位单元分布得稀疏一些。地面用一个刚性目标面模拟,并用 Target 170 单元划分网格,然后选择轮胎有限元模型上可能接触区域上的节点创建 Contact 174 接触单元,形成接触对。轮胎的有限元模型和定义的接触对如图3和4所示。为了模拟轮胎与刚性路面的接触问题,选取一个与刚性目标面固连的 Pilot 节点。

Pilot 节点是只有一个节点的单元。通过该节点的运动控制整个目标面的运动,即把 Pilot 节点作为刚性目标的控制器。整个目标面的受力和移动情况可以通过 Pilot 节点表示出来,Pilot 节点可以是目标单元中的一个节点,也可能是一个任意位置的节点。定义了 Pilot 节点后,在 ANSYS 程序中检查其边界条件,而忽略其它节点上的任何约束^[4]。

由于轮胎结构及组成等非常复杂,以往的研究方法很难对带有前束值的前轮外倾的接触问题进行分析,而这类分析的关键在于如何处理模型与地面的相对关系。本研究根据相对运动原理,在创建目标面时倾斜一个角度,从而使轮胎与目标面不再保持垂直关系,而是形成一个外倾角,然后选择与轮辋接触处的一圈节点,限制其在6个

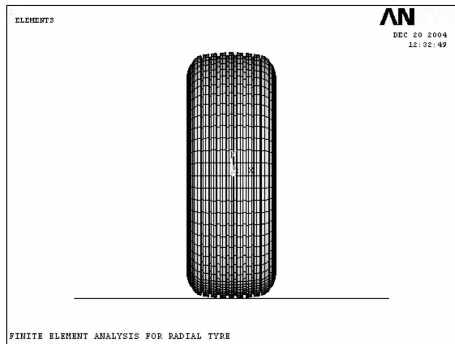


图3 有限元模型

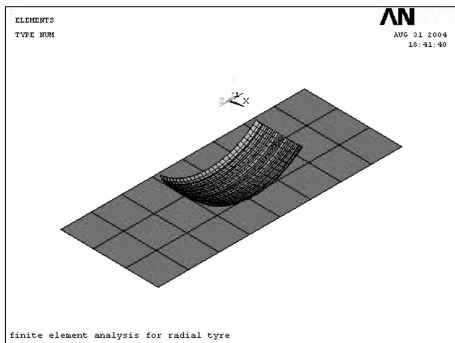


图4 接触对

方向上的自由度,通过若干载荷步对轮胎施加 0.18 MPa 气压(p);通过与刚性目标面固连的 Pilot 节点(图3中刚性目标面下的节点即为 Pilot 节点)上施加垂直向上 30 mm 的位移来模拟轮胎与路面的接触,通过 Pilot 节点给已与轮胎发生正接触的目标面在 X 和 Z 方向施加不同的水平位移来模拟一定的前束值。前束值和外倾角可以根据实际情况来施加。本研究在创建刚性目标面时,沿水平方向向下倾斜 1° 以模拟外倾角;在 Z 和 X 方向分别施加 620 和 5 mm 位移来模拟一定的前束值,从而达到具有外倾角的轮胎收束前滑的目地。图3示出建立前轮前束与外倾的轮胎接触滑移的有限元模型。从图3可以看出,轮胎与接触目标面不垂直,而是形成一定角度。由于存在各种非线性关系,施加位移要分别通过若干载荷步实现。求解时应打开自动时间步长和大变形选项。

3 有限元计算结果分析

3.1 轮胎变形与应力分布

图5~7示出轮胎与地面接触后的变形情况

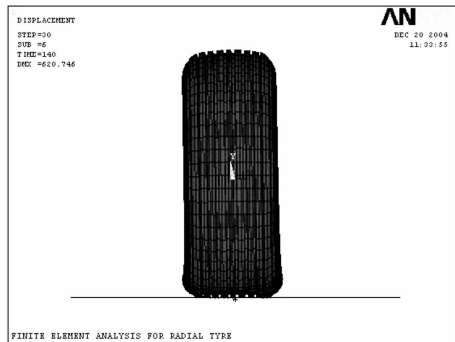


图5 轮胎总体变形

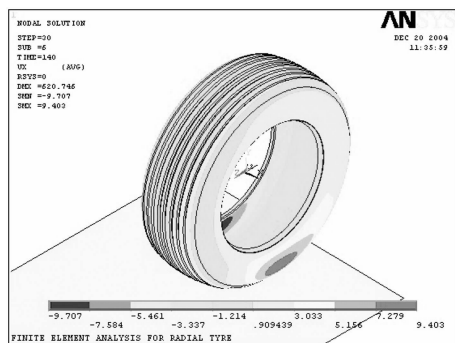


图6 轮胎轴向位移

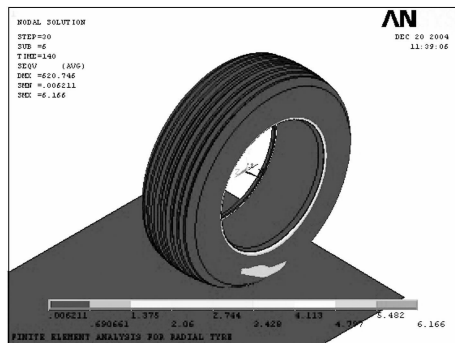


图7 Mises 等效应力

及应力分布趋势,随着目标面向上压入,接触面积及反力逐渐增大,由于存在外倾角,轮胎与地面接触时外侧最先接触到地面,表现为外侧变形和应力均大于内侧。轮胎与地面发生接触滑移时,轴向位移和应力分布在接地区两侧分布不对称。

3.2 接地状况

本研究对摩擦因数(f)为 0.2, 0.4, 0.5 和 0.6 四种不同摩擦工况进行分析计算(充气压力为 0.18 MPa),图 8 和 9 分别示出摩擦因数为 0.2 和 0.6 工况下轮胎的接地印痕。由图 8 和 9 可以看出,在 Pilot 节点带动刚性目标面运动的情

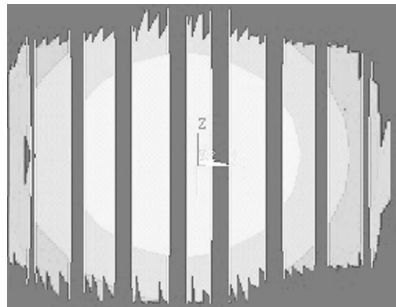


图8 摩擦因数为 0.2 时的轮胎印痕分布

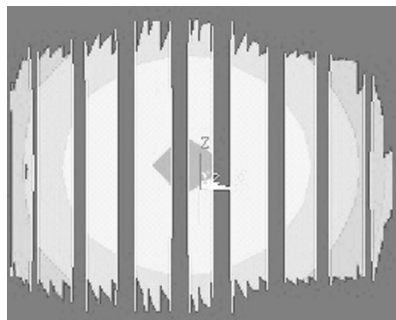


图9 摩擦因数为 0.6 时的轮胎印痕分布

况下,摩擦因数为 0.2 时,接地区呈不对称分布,外侧印痕明显大于内侧,这是由于外倾角的作用所致,但中心未发生较大位移;摩擦因数为 0.6 时,在轮胎的前行方向上接地区中心发生较大幅度移动。随着摩擦因数的增大,轮胎的位移变形及应力集中区有逐渐增大的趋势,这对轮胎的接地区特别是胎面的磨损将产生较大的影响。

由于前轮外倾,接地区印痕呈不对称分布,外侧接地区域明显大于内侧,轮胎胎面单边磨损。如果轮胎外边花纹磨损严重,说明车轮外倾角过大;如果里边花纹磨损严重,则说明车轮外倾角过小。前轮外倾和前轮前束的存在使汽车有产生侧滑的可能。侧滑量可综合表征前轮外倾和前束是否处于最佳组合状况。若加大外倾角,还会引起轮胎的侧滑量增大,因此在保证转向操纵灵活的前提下,应适当减小外倾角。由于外倾角引起的侧滑量较大,仅用前束补偿往往不够。从轮胎使用性能来看,外倾角有减小的趋势。

节点反力是通过 Pilot 节点反映出来的,可反映出作用于轮胎上的力的大小。图 10 和 11 示出 Pilot 节点反力随位移的变化曲线。通过改变摩擦因数发现,随着摩擦因数的增大,在 Z 向和 X

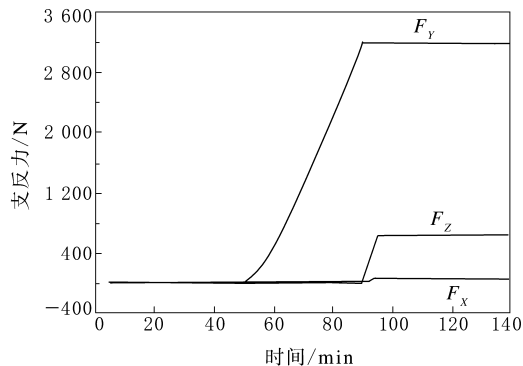


图 10 $f=0.2$ 时支反力的变化曲线 ($p=0.18$ MPa)

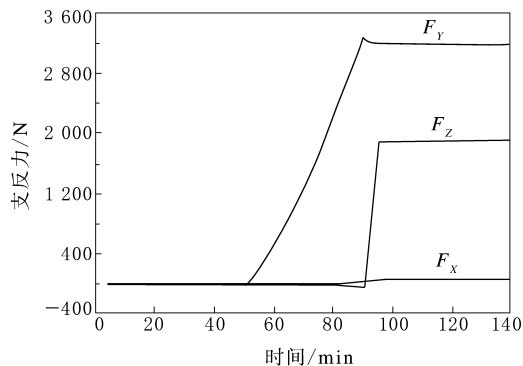


图 11 $f=0.6$ 时支反力的变化曲线 ($p=0.18$ MPa)

向的反力均有所增大,这是因为轮胎不仅在前进

方向即 Z 向有位移,在侧向即 X 向也有位移,但是由于 X 向位移量不大,因此反力较小,但是摩擦因数增大,反力还是有所增大,作用在轮胎上的作用力也会增大。

4 结语

利用 ANSYS 有限元分析软件建立了带有前束值的前轮外倾轮胎与地面接触滑移的有限元模型,利用 Pilot 节点控制刚性目标面的运动来模拟汽车前轮与地面的接触滑移,研究了前轮轮胎整体和接地区在不同摩擦力情况下的形状变化、接地区印痕分布及应力分布变化趋势,从而为后续研究和轮胎结构优化设计奠定了基础。

参考文献:

- [1] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996.
- [2] 华中农业大学. 拖拉机汽车学(第2册)拖拉机汽车底盘构造[M]. 武汉:华中农业大学出版社,1982. 164-170.
- [3] 赵丽娟. 子午线轮胎的三维有限元分析[D]. 北京:北京化工大学,1997.
- [4] 刘 涛,杨凤鹏. 精通 ANSYS[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

收稿日期:2005-09-20

FE model of radial tire in front wheel position

ZHANG Hong-jun¹, XUE Long-quan¹, LIU Rong-chang², WANG Yu-qiu¹

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066600, China)

Abstract: Based on the non-linear analysis technology of ANSYS software and the principle of relative movement, a 3D FE model of contact-sliding 60 series R15 radial tire with toe-in and camber was built, and the contact-sliding inflated tire was simulated with the FE model using the Pilot node to control the stiff object surface; and a foundation was built to simulate the tire performance and optimize the structure design by analyzing the footprint distribution of contact-sliding tire under different friction forces, and the deflection and stress distribution in whole tire.

Keywords: radial tire; toe-in; camber; contact-sliding; Pilot node; ANSYS software

启事 第10,11,13届全国轮胎技术研讨会论文集以及第1~3届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文集尚有部分剩余,每本售价100元。如有需要者,请与本刊编辑部乔晓霞女士联系。电话:(010)68156717