

子午线轮胎性能的计算机仿真和优化设计

杨卫民¹, 崔文勇¹, 徐 鸿¹, 聂秋海²

(1. 北京化工大学, 北京 100029; 2. 北京首创轮胎有限公司, 北京 100096)

摘要: 以 205/60R15 轿车轮胎为例, 介绍子午线轮胎性能的计算机仿真和优化设计技术。在轮胎结构设计的 CAD 模型中, 将轮胎轮廓曲线形状数字化并采用包含层单元的 FEM 模块, 有效控制了轮胎模型有限单元总数。利用在此基础上建立的轮胎有限元模型, 模拟了 205/60R15 轿车轮胎自由状态、充气静止状态、充气旋转状态以及与地面接触状态等多种工况, 以及在水平牵引力和垂直载荷共同作用下的从动轮工况(从静止到滚动的过程), 并给出了带束层帘线角度和胎体帘线假定伸张值对轮胎性能影响的趋势。试验证明, 模拟分析结果与实际情况较吻合。

关键词: 子午线轮胎; 计算机仿真; 优化设计; 三维有限元分析; 计算机辅助机械工程

中图分类号: TQ336.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-890X(2001)01-0032-06

计算机辅助机械工程(Computer Aided Mechanical Engineering, 简称 CAME)是 20 世纪 80 年代初随着计算机模拟(仿真)技术的发展而开发出来的, 它不仅作为当代高新技术在工程领域中应用, 而且正推动着工程技术在理论、过程、手段和效益等方面发生革命性的变化, 成为工程技术的一个重要发展方向。

CAME 的核心是计算机模拟仿真。与传统工程技术相比, CAME 可以缩短产品设计时间、降低产品生产成本和优化产品性能。由于轮胎材料、大变形以及轮胎与路面接触等强非线性问题, 轮胎的仿真和优化设计成为极富挑战性的课题。本课题以 205/60R15 轿车轮胎为例, 对子午线轮胎性能的计算机仿真和优化设计进行了探讨, 现将研究情况简介如下。

1 子午线轮胎仿真模型的建立

轮胎计算机仿真分析流程如图 1 所示。

1.1 CAD 模型的建立

在图 1 所示流程图的 CAD 模块中, 由于子午线轮胎的轮廓曲线由一系列坐标值参数化的坐标点来描述, 因此可以任意移动这些坐标点的位置以改变午线轮胎的轮廓曲线形状, 并且

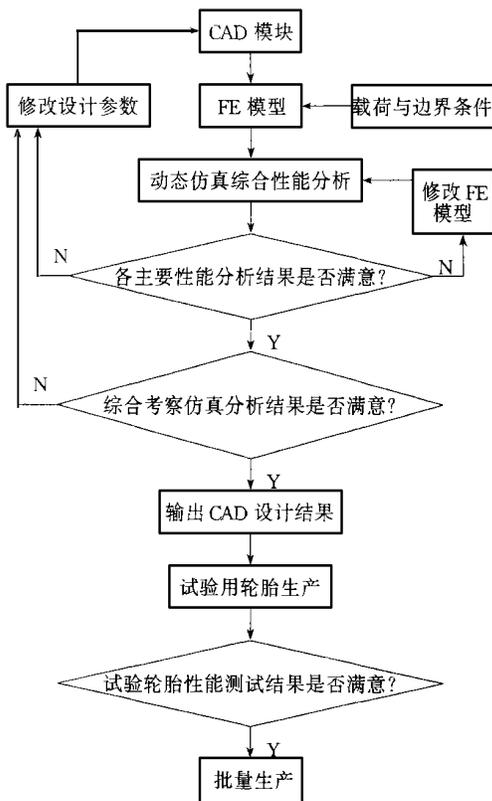


图 1 轮胎计算机仿真分析流程图

可以把这些数字化的坐标点与有限元网格节点有机地结合在一起。本研究采用的坐标系为圆柱坐标系, 它以轮胎的轴线中心为原点、径向为 r 方向、周向为 θ 方向、轴向为 z 方向。图 2 示

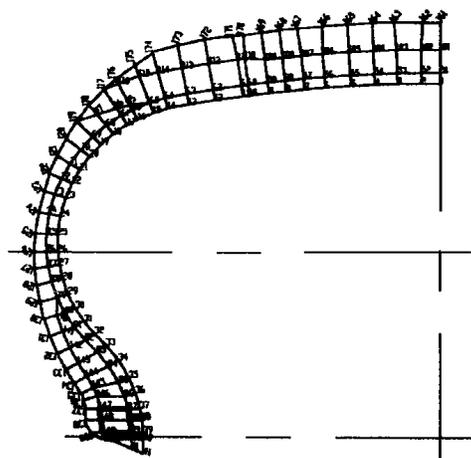


图 2 205/60R15 轿车轮胎数字化轮廓曲线(半个径向截面)

出了 205/60R15 轿车轮胎的数字化轮廓曲线。

1.2 CAD 模型与 ANSYS 软件的接口

本研究选用的有限元分析软件是 ANSYS。它除自身具有一定的建模工具外,还带有 IGES 文件接口。通过这条公共通道,可将 CAD 系统中建立的模型直接读入 ANSYS 软件的前处理模块中。但为划分单元方便,专门设计了 CAD 数字化轮廓图与 FE 模块接口程序,该程序可以将 CAD 模块中数字化轮廓信息转成 ANSYS 程序能读取的命令流,从而产生轮胎断面轮廓节点。这些节点按照预定方式生成单层单元后,单层单元再按所需角度旋转拷贝生成整胎单元模型。

1.3 FE 模型

建立一个完整的 FE 模型,除要全面分析轮胎的几何形状以外,还需要考虑以下几个因素。

(1) 材料性质

轮胎结构材料可分为两大类:单一材料和复合材料。构成这两大类材料的基本材料又有 3 类:橡胶、纤维和钢丝。本研究 205/60R15 轿车轮胎在不同部位采用了 11 种材料。为此,本研究采用复合平板模型和 Gough-Tangorra 理论^[1]基本公式并配合一定的试验来测算了单元材料常数。

(2) 单元类型

对于构成轮胎各部件的材料必须采用能反

映材料本构规律的单元来模拟。对于本研究轮胎模型,采用的单元主要有 solid 45 体单元、solid 46 层单元、conta 173 接触单元和 target 170 目标单元。

(3) 轮胎载荷

轮胎载荷可分为预载荷和工作载荷两大类。轮胎的预载荷包括帘线预拉伸产生的拉伸载荷、装配轮辋时产生的装配载荷及充气载荷等,这些载荷需要采用适当的加载方式来模拟。轮胎的工作载荷包括自身质量(一般可以忽略)、运载质量、旋转离心力、主动轮推动力矩或从动轮水平推力、转弯扭矩、接地作用力(分布于接地印痕处的接触压力和摩擦力)。轮胎载荷要根据模拟的工况来确定。

1.4 轮胎有限元模型

为在保证模拟效果的前提下尽量简化模型以节省计算时间,分别建立了自由状态和接地状态下的有限元模型。

(1) 自由状态下的有限元模型

轮胎在自由状态下,可以以转轴为支承自由旋转,这时载荷的种类有:预应力、充气压力、旋转离心力等(自身质量忽略)。由于自由状态下轮胎的结构与载荷都是对称的,因此其模型可用径向横截面的模型来代表,如图 3 所示。

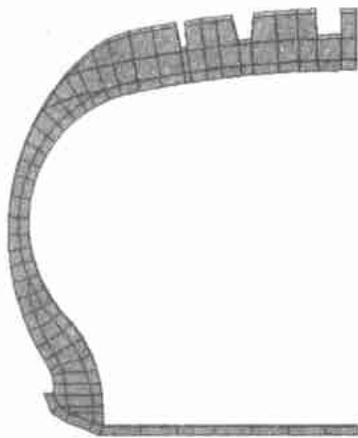


图 3 205/60R15 轿车轮胎自由状态下的有限元模型

(2) 接地状态下的有限元模型

轮胎接地时,要加适当的约束以避免发生刚体位移,这时载荷的种类有:预应力、充气压力、旋转离心力、垂直载荷、水平牵引力(从动轮)或驱动力矩(主动轮)等。轮胎作直线滚动

时,由于左右两部分的结构、载荷和变形都是对称的,因此其模型的建立只需要考虑半个轮胎的情况,如图4所示。而轮胎作转弯滚动,由于左右两部分载荷和变形均不对称,因此其模型的建立就需要考虑整个轮胎的情况。



图4 205/60R15轿车轮胎接地状态下的有限元模型(半个轮胎)

1.5 参数化有限元模型

本研究还提出了一种轮胎参数化模型,即该模型可以通过改变不同的参数如带束层角度、断面宽度等来模拟不同的轮胎。参数化模型的轮胎性能分析主要在计算机中进行,如果对分析结果不满意,则可以返回到前处理中改变相应的参数继续计算,这就大大节省了建模时间,缩短了产品开发周期。

2 子午线轮胎性能仿真

2.1 应力-应变及变形仿真

在ANSYS程序后处理中,除可以得到轮胎在不同载荷下的应力-应变和变形结果,如轮胎在充气工况下轮廓形状的变化、各种应力与应变在轮胎中的分布状况等外,还可以获得轮胎在径向横截面上的圆周方向的应力分布图,以了解带束层所承受的圆周方向的应力分布情况(实例见3节)。

2.2 性能仿真模块

在轮胎应力-应变及变形仿真的有限元分析基础上,可建立多个轮胎性能仿真分析模块,

如振动和临界速度分析模块、热分析模块、疲劳分析模块等。

2.3 参数分析

利用参数化有限元模型和性能仿真模块来分析各种参数对轮胎性能的影响,为轮胎优化设计打下基础,这是轮胎仿真分析中的一项很重要的任务。影响轮胎性能的参数可以分为轮廓形状和材料分布几何参数、材料特性参数、载荷条件参数等几大类^[2]。

3 模拟结果

本研究模拟的轮胎是低断面子午线轮胎,其在自由状态下主要有3种载荷:轮辋装配载荷、充气载荷和旋转离心力载荷;在接地状态下主要有6种工况:静接地(考虑摩擦)、滚动接地(模拟轮胎试验机)、滚动接地+水平牵引力(模拟从动轮情况)、滚动接地+扭矩(模拟主动轮情况)、滚动接地+水平牵引力+侧向力(模拟从动轮转弯情况)、滚动接地+扭矩+侧向力(模拟主动轮转弯情况)。

本研究对205/60R15轿车轮胎的9种工况进行了模拟和分析,并通过后处理对轮胎在不同工况下的各种性能进行比较全面的分析,结果如图5~10所示。

本研究还以带束层帘线角和胎体帘线假定伸张值这2个重要参数为例,分别研究了它们对205/60R15轿车轮胎性能的影响,结果如图

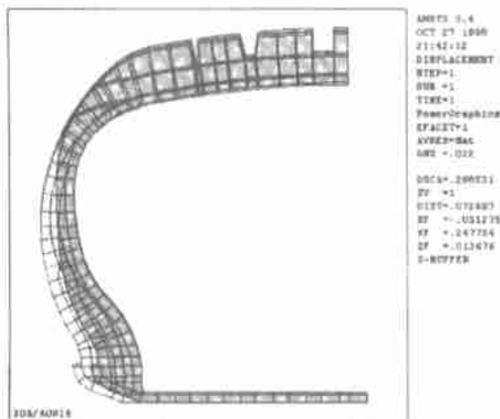


图5 205/60R15轿车轮胎在充气工况下轮廓形状的变化
虚框为设计模型轮廓;实框为充气平衡轮廓

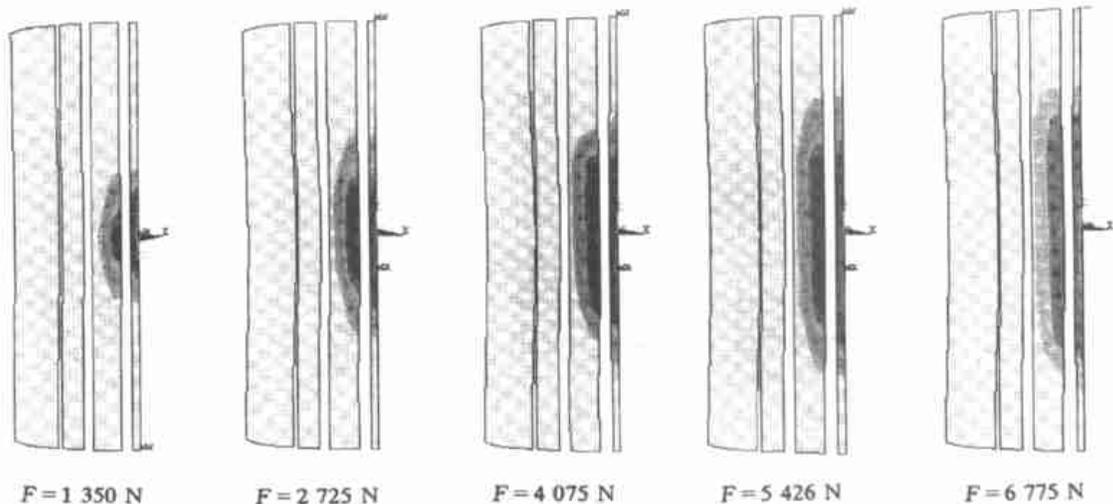


图9 205/60R15轮胎在不同垂直载荷下的印痕和接触压力分布图

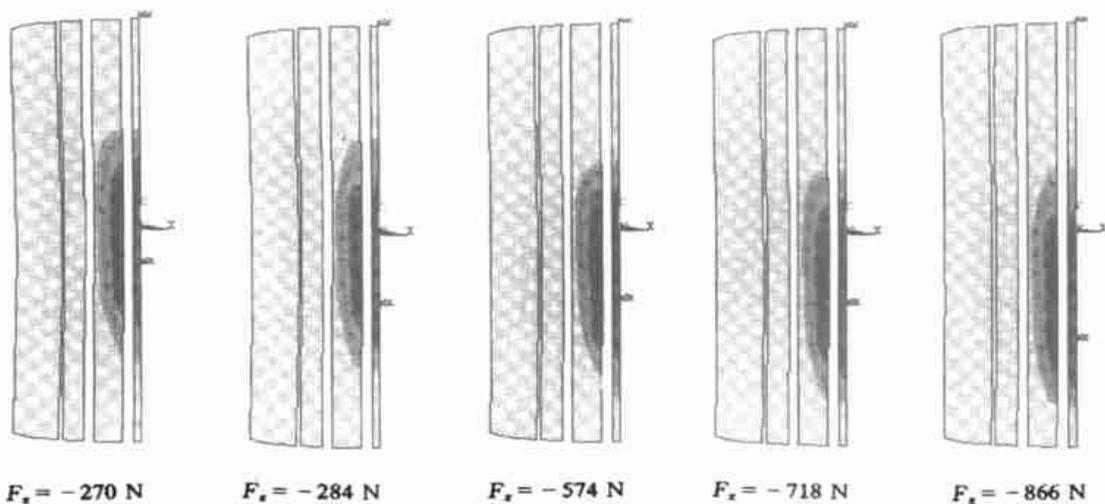


图10 205/60R15轮胎在相同垂直载荷和不同水平牵引力作用下印迹变化情况

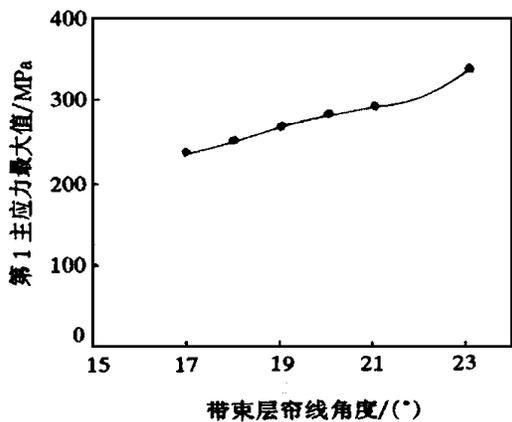


图11 第1主应力最大值随带束层帘线角度变化趋势到优化设计的目的, 将是今后轮胎研究的主流技术。

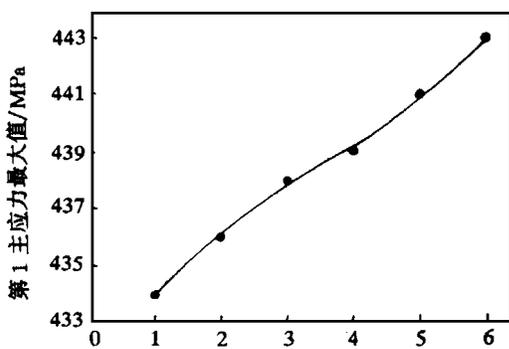


图12 第1主应力最大值随帘线假定伸长值变化趋势

参考文献:

[1] 王维秋. 轮胎结构力学系列讲座[J]. 轮胎工业, 1993(2):

11-15.

[2] 刘文宁. 汽车轮胎的三维有限元结构分析[J]. 复合材料学报, 1993, 10(1): 77-84.

[3] 杨卫民. 子午线轮胎的三维非线性有限元分析和性能仿真研究[D]. 北京: 北京化工大学, 1998.

收稿日期: 2000-08-12

Computer simulation and optimum design of radial tire performance

YANG Wei-min¹, CUI Wen-yong¹, XU Hong¹, NIE Qiu-hai²

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Beijing Shouchuang Tire Co., Ltd, Beijing 100096, China)

Abstract: The computer simulation and optimum design technology of radial tire performance were introduced taking 205/60R15 passenger car tire as example. The tire profile curves were digitalized and the FEM module including the layer unit was used in the CAD model of tire structure design to control the total number of finite elements in tire model. By means of the established tire model on this basis, the various working conditions of 205/60R15 passenger car tire, such as free condition, static inflated condition, rotating inflated condition, ground-contact condition, as well the working condition on the driven wheel under the coaction of horizontal traction and vertical load were simulated, and the influence tendency of belt cord angle and pseudo carcass cord extension value on the tire performance was given. It was found through the test that the analysis results of simulation were in accordance with the test results.

Keywords: radial tire; computer simulation; optimum design; 3D FEA; CAE

欢迎订购《国内外橡胶制品配方手册》

应广大橡胶加工企业及有关技术人员的要求, 全国橡胶工业信息总站积多次编辑出版国内外橡胶配方手册之经验, 组织有关技术人员及专家收集整理了国内外生产实用配方近 8 000 例, 汇编了一套《国内外橡胶制品配方手册》。

本书包括国内及日本、英国、德国、法国、意大利、美国等发达国家近几年的最新轮胎(子午线轮胎、绿色轮胎、斜交轮胎、摩托车轮胎、自行车轮胎、手推车轮胎及翻新轮胎等)、胶管、胶带、胶鞋、电线电缆、汽车用橡胶配件、密封制品、生活用橡胶制品、办公设备密封制品、胶布及建筑材料、其它工业用橡胶制品和橡塑制品生产的实用配方。为突出实用性, 本书着力选取那些在生产中已获得实际应用效果的配方, 或经试验已被证明用于橡胶制品具有优良性能的配方, 有很高的实用和参考价值, 是技术人员的必备工具书, 也是业内收藏之必需。

全书分为国内分册和国外分册, 精装 16

开, 美观大方, 内容丰富, 定价 300 元/套(含邮费)。现已出版, 欢迎广大业内人士踊跃订购!

订购办法:

1. 单位及个人均可订购, 份数不限, 凡一次订购 5 套以上的用户按每套书基价优惠 10%, 订款一次付清。

2. 欢迎来人来函或电子邮件订购, 信件请填写详细地址、收件单位部门及收件人, 字迹务必工整、清晰, 以免邮递失误。印数有限, 欲购从速!

3. 银行汇款请汇至北京橡胶工业研究设计院科研部, 开户行: 北京工商银行海淀支行永定路分理处, 帐号: 033009-53(配方手册); 邮局汇款请汇至全国橡胶工业信息总站, 详细地址: 北京西郊半壁店北京橡胶工业研究设计院内, 邮政编码: 100039。

联系人: 赏琦 杨静

电话: (010)68164371, 68182211-2150

传真: (010)68164371

E-mail: rubber@crminet.net.cn