

建立轮胎有限元结构分析模型应注意的问题

王吉忠

(青岛建筑工程学院, 山东 青岛 266520)

摘要:介绍在进行轮胎有限元结构分析时建立正确的力学模型应注意的问题:对于轮胎中的橡胶材料和橡胶-帘线复合材料,要准确描述和正确输入其材料特性;对于轮胎存在的大变形和接触问题,需采用合理的单元进行模拟;为预测轮胎的局部力学行为,应采用三维实体单元模拟,并在接地地区附近采用细化网格。

关键词:轮胎;结构;有限元分析法;模型

中图分类号:U463.341;O242.21

文献标识码:B

文章编号:1006-8171(2002)04-0202-04

随着轮胎力学研究和计算机技术的发展,有限元分析法已被逐步引入到轮胎研究和设计过程中,以研究轮胎性能、进行结构参数的分析和比较,为轮胎的合理设计提供依据。

轮胎有限元分析的关键是力学模型的建立,包括轮胎材料、变形、接触条件和结构的准确模拟,现介绍建立轮胎有限元结构分析模型应注意的问题。

1 轮胎的结构力学特征

轮胎结构及其力学特征极为复杂,在建立轮胎有限元结构分析模型时,要考虑轮胎工作时的几何、材料和边界条件的非线性。

(1) 轮胎具有柔性结构,在外力作用下容易产生较大的变形,使结构产生非线性响应;轮胎变形时的充气压力作用方向随其变形而变化,并且结构面内的应力状态对其横向刚度具有较大影响。在建立模型时,要采用具有大变形和应力硬化功能的单元模拟其几何非线性。

(2) 轮胎中的橡胶材料属超弹性材料,具有体积不可压缩性和非线性本构关系;轮胎中的橡胶-帘线复合物是三维正交各向异性材料,具有强烈的各向异性。在建立模型时,对橡胶材料要采用合理的材料模型,对橡胶-帘线复合材料要准确确

定各层的方位和材料的特性。

(3) 轮胎与地面接触时,接触区事先未知,而接地面中的胎面点同时受法向力和切向力的作用。受切向力作用时,接地面中的胎面点可处于粘着或进入滑动状态,这是一种非线性摩擦条件。在建模时要采用合理的摩擦接触模型进行模拟。

2 轮胎的材料模型

2.1 橡胶材料

采用不可压缩(泊松比近似为 0.49)两参数门尼-里夫林材料模型,可以较好地描述轮胎中橡胶材料的非线性力学特性。

该模型的应变能密度函数为^[1]:

$$W = A(J_1 - 3) + B(J_2 - 3) + 0.5K(J_3 - 1)^2 \quad (1)$$

$$J_1 = I_1 I_3^{-1/3}$$

$$J_2 = I_2 I_3^{-2/3}$$

$$J_3 = I_3^{1/2}$$

式中 A, B ——材料常数;

I_1, I_2 , 和 I_3 ——右柯西-格林应变张量的 3 个不变量;

K ——体积模量。

柯西应力为:

$$\sigma_{ij} = f_{ik} S_{kl} f_{jl} / I_3^{1/2} \quad (2)$$

$$S_{kl} = 2 \frac{\partial W}{\partial C_{kl}}$$

$$C_{kl} = f_{mk} f_{ml}$$

作者简介:王吉忠(1961-),男,山东龙口人,青岛建筑工程学院副教授,博士,从事汽车轮胎力学、地面-车辆系统分析与控制等方面的工作。

式中 f_{ik}, f_{jl} ——橡胶材料的变形梯度;
 S_{kl} ——克希霍夫应力张量;
 C_{kl} ——右柯西-格林应变张量;
 i, j, k, l, m ——变量, 取 1, 2, 3。

2.2 橡胶-帘线复合材料

轮胎中橡胶-帘线复合材料的特性参数可以复合材料力学中 0°角排列的平板模型为基础, 结合其本身的特点进行计算。

图 1 所示为 195/65R14 89H 轮胎胎面部位各层帘线排列, 其中 1 层为胎体帘布层, 2 和 3 层为带束层, 4 和 5 层为冠带层。图 2 所示为复合材料平板坐标系。

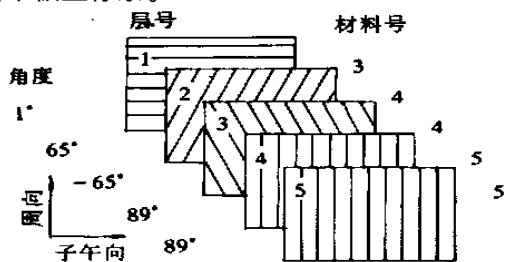


图 1 轮胎胎面部位各层帘线排列

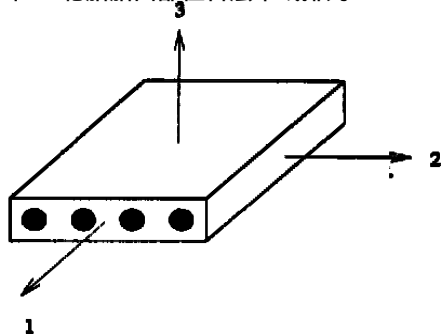


图 2 复合材料平板坐标系

0°角排列复合平板的材料特性可用下式^[2]计算:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_f V_f + E_r (1 - V_f) \\ E_2 &= \{ 4 E_r (1 - V_f) [E_f V_f + E_r (1 - V_f)] \} / [3 E_f V_f + 4 E_r (1 - V_f)] \\ G_{12} &= G_r (1 - V_f) \\ V_{12} &= 0.5 \\ V_{21} &= V_{12} E_2 / E_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中 E_1, E_2 ——沿平板坐标系 1 和 2 方向的弹性模量;
 E_f, E_r ——帘线和橡胶的弹性模量;

G_r, G_{12} ——橡胶及 1-2 平面内的剪切模量;

V_f ——帘线的体积分数;

v_{12} ——1-2 平面内的泊松比, 沿 1 方向作用应力为 σ_1 时, 1 方向的单位应变所引起的 2 方向应变值;

v_{21} ——1-2 平面内的泊松比, 沿 2 方向作用应力为 σ_2 时, 2 方向的单位应变所引起的 1 方向应变值。

轮胎中橡胶-帘线复合材料垂直于纤维的平面具有各向同性的特点, 可以计算三维正交各向异性材料其它的特性参数。由轮胎中分层复合材料单元的位置以及各层的几何和材料特性, 应用复合材料力学理论可以计算其应力和内应力等物理量。

3 轮胎的接触模型

轮胎与地面之间的接触区和摩擦接触力可通过定义目标表面和接触表面, 应用接触算法和摩擦接触模型确定。

一般地, 目标表面取地面, 用 4 个节点表示; 接触表面取胎面, 用 1 个节点表示。采用接触算法, 在平衡迭代结束时, 通过检测接触节点和目标表面之间的间隙, 判定二者是否接触。若间隙值为正, 则无接触, 若间隙值为负, 则接触节点侵入目标表面, 接触相容性破坏。

为满足接触相容性, 在目标表面产生法向力, 将侵入量减小到可以接受的数值水平。当胎面点与地面接触并沿地面移动时, 由于摩擦作用, 还会产生切向力。

轮胎与地面之间的法向力和切向力可分别用罚函数法和弹性库仑摩擦模型预测。

法向力 (f_n) 为:

$$f_n = \begin{cases} c K_n & c \leq 0 \\ 0 & c > 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 K_n ——法向接触刚度;

c ——根据接触节点相对目标平面位置确定的间隙值。

切向力 (f_s) 为:

$$f_s = \begin{cases} K_t \eta^e & \text{粘着} \\ \mu f_n & \text{滑动} \end{cases} \quad (5)$$

式中 K_t ——切向刚度;
 η^e ——接触节点相对于目标表面的弹性变形;
 μ ——滑动摩擦因数。

4 轮胎的有限元模型

将轮胎和轮辋作为一个整体考虑,并用考虑摩擦的非线性接触单元模拟轮胎与路面之间的相互作用,可以较好地模拟轮胎的实际受力情况,并给计算工作带来方便。

采用板壳单元模拟,可以减小模型的自由度,简化计算工作,但这样只能预测轮胎的载荷-变形

关系和应力-应变的变化趋势,不能准确地预测轮胎的局部力学行为^[3]。

为预测轮胎的局部力学行为,需要采用三维实体单元模拟,其中胎面橡胶可用三维超弹性单元模拟;胎体帘布层、带束层和冠带层可用三维复合材料单元模拟;而轮辋和刚性路面则可用普通的三维实体单元模拟。

为预测轮胎的接地特性,在轮胎接地地区附近要采用细化网格,其余部分可用粗糙网格,一般地,非接地部位单元的楔形角应小于 30° 。

图 3 是按上述方法建立的 195/65R14 89H 轮胎有限元分析模型实例。

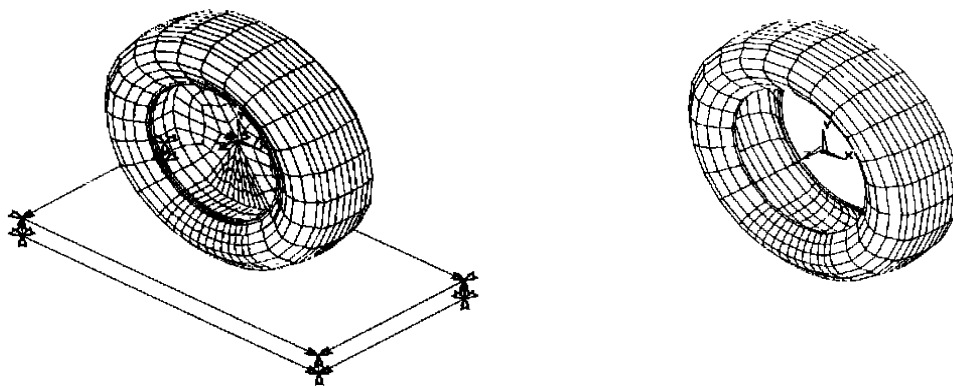


图 3 轮胎有限元结构分析模型

5 结语

确定合理的计算方法并建立正确的力学模型是对轮胎进行有限元结构分析的关键。在建立模型时,对于轮胎中的橡胶材料和橡胶-帘线复合材料要准确地描述和正确输入其材料的特性;对于轮胎存在的大变形和接触问题,需采用合理的单元进行模拟;为预测轮胎的局部力学行为,应采用三维单元模拟,并在轮胎的接地地区附近采用细化网格。

参考文献:

- [1] Farhad T. Rubber elasticity models for finite element analysis [J]. Computers & Structures, 1987, 26(1-2):33-40.
- [2] Parhizgar S, Weissman E M, Chen C S. Determination of stiffness properties of single-ply cord-rubber composites[J]. Tire Science and Technology, 1988, 16(2):118-126.
- [3] Chang R L, Jeong W K, John O H, et al. Validation of a FEA tire model for vehicle dynamic analysis and full vehicle real time proving ground simulations[J]. SAE Paper, 971100, 1-8.

收稿日期:2001-11-31

FEA model of tire structure

WANG Ji-zhong

(Qingdao Architectural Engineering Institute, Qingdao 266520, China)

Abstract: To obtain a correct FEA model of tire structure, attention should be paid to the following

problems:exactly describe and correctly input the material characteristics of rubber or rubber/ cord composite ;simulate the large deformation and contact area of tire with reasonable units ;use 3D solid unit model and fine network near ground contact area to predict the local mechanical behaviour of tire.

Keywords :tire ;structure ;FEA ;model