子午线轮胎接地问题的三维非线性 有限元分析研究

赵树高,杨学贵,邓 涛,王 伟

(青岛化工学院 高分子科学与工程学院,山东 青岛 266042)

摘要:根据9.00R20子午线轮胎的实际结构,考虑了轮胎的材料结构非线性、几何非线性、复合材料各向 异性以及橡胶材料本身的弹性等特性,运用 MARC 有限元通用程序,建立轮胎模型,分析了9.00R20子午线轮 胎静态下与地面的接触问题,考察了不同下沉量、内压及静摩擦因数等因素对轮胎静态接地面内应力应变场的 影响。结果表明,在一定充气压力下,随下沉量的增大,接地区应力分布由内高外低变为内低外高,发生翘曲现 象;静态接地时的摩擦力分布对称,但数值不大;随充气压力的升高,对应的下沉量下降,而在一定的下沉量下, 接地面内的最大应力随充气压力的升高而增大。

关键词:子午线轮胎;接地问题;下沉量;非线性,有限元分析 **中图分类号**:U463.341⁺.6 **文献标识码**:B **文章编号**:1006-8171(2001)11-0662-08

轮胎的接地区承担着各种驾驶行为(加速、 拐弯、刹车等)和各种路面条件(干、湿、冰等)下 轮胎与地面之间的载荷转换,因此接地问题是 轮胎研究工作的重点之一。由于充气轮胎是由 橡胶、帘线和钢丝圈等组成的复杂结构体,其力 学特性分析涉及材料结构关系非线性、几何非 线性(即大变形分析)及轮胎与地面的接触非线 性等复杂问题,因此对轮胎的各种力学性能的 精确分析非常困难。长春汽车研究所曾对轮胎 的接地问题做过较深入的试验研究[1];俞淇 等^[2]用压力板法测定分析了静负荷下轮胎接 地压力的分布:陈丽和王友善^[3]介绍了他们对 轮胎接地反力的计算结果:国内外还有不少研 究者从不同的角度围绕轮胎接地问题进行了有 限元分析^[4~6]。但由于各种条件所限,这些分 析多数未全面考虑轮胎材料的结构关系非线 性、几何非线性、复合材料特性、橡胶的弹性等 诸多复杂问题。本研究综合考虑了上述各种因 素,利用MARC有限元软件,结合9.00R20轮

基金项目:山东省自然科学基金重点资助项目(Z99F05)

胎的具体结构,对轮胎在静负荷下的接地问题 进行了详细讨论。

1 充气轮胎的三维非线性有限元分析

1.1 充气轮胎的材料非线性特性

轮胎橡胶材料能承受非常大的弹性变形, 其应力-应变关系表现出高度的非线性。一般 认为橡胶材料为各向同性的超弹性材料,其力 学行为可用适当的应变能密度函数来描述。这 种函数有 Rivlin 模型和 Ogden^[7]模型等。常用 的 Neo-Hookean 模型和 Mooney-Rivlin 模型就 是 Rivlin 模型的简化形式。Rivlin 模型为:

$$W = \sum_{i=0, j=0}^{N} C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \qquad (1)$$

式中, I_1 和 I_2 为第一和第二应变不变量。

 $I_1 = {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 1 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 2 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array}} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \\ 3 \end{array} + {\begin{array}{*{20}c} 2 \end{array}$

式中,₁,₂和 ₃为 3 个拉伸方向的伸长率, ² ² ² ² ³ = 1

Rivlin 模型的三次方程(取前9项)为:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{02}(I_2 - 3)^2 + C_{12}(I_1 - 3)(I_2 - 3)^2 + C_{21}(I_1 - 3)(I_2 - 3)(I_2 - 3)^2 + C_{21}(I_1 - 3)(I_2 - 3)(I_2 - 3)^2 + C_{21}(I_1 - 3)(I_2 - 3$$

作者简介:赵树高(1949-),男,山东沂南人,青岛化工学院 教授,工学博士,主要从事橡胶与塑料工程领域的科研与教学 工作。

$$3)^{2}(I_{2} - 3) + C_{30}(I_{1} - 3)^{3} + C_{03}(I_{2} - 3)^{3}$$
(2)

Yeoh 方程:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)^3$$
(3)

公式(3)可以看作是 Rivlin 模型三次方程 的简化形式。Yeoh^[7]指出,公式(3)能够很好 地对炭黑补强橡胶的弹性力学性能进行描述, 适用于轮胎橡胶材料。

MARC 有限元软件的材料库中提供了 Rivlin 模型和 Ogden 模型,测出材料参数后,可 很方便地定义材料模型,同时,用户还可以用子 程序或表格的形式灵活地定义材料应力-应变 关系。橡胶类超弹性材料的结构方程为:

$$S_{ij} = \frac{\partial W}{\partial E_{ij}} \tag{4}$$

式中 *S_{ii}* — 克希霍夫应力;

E_{ii} ——格林应变张量分量。

有限元分析中,用公式(4)可导出超弹性材 料的本构矩阵。

轮胎的各帘布层是轮胎的主要受力部件。 由于帘线方向随着帘布层数和部位的变化而变 化,帘线的拉伸模量不等,使得帘线-橡胶复合 材料呈现出复杂的力学各向异性和非线性,建 立合理的帘线-橡胶复合材料数值模型,是有限 元分析结果合理和精确与否的关键之一。

目前帘线-橡胶复合材料的有限元模型主 要有两类。

(1) 层合壳模型

层合壳模型的理论基础是纤维增强复合材 料的力学理论,复合材料的各组成部分在同一 单元中或者在同一层内的性能用平均值代替, 可用正交各向异性或者一般各向异性来描述。 该模型的优点是概念清晰,但由于应用了平均 值,要获得精度较高的结果,就必须细划单元网 格,而且复合材料模型不能过于简化,还要增加 求解平均值的过程,使得计算费用大大增加。 更详细的讨论见参考文献[8]。

(2)加强筋模型

加强筋模型起源于钢筋混凝土结构有限元 分析,最初用于橡胶复合材料之中时,只简单地 将各纤维单元和橡胶单元各个节点的位移进行 协调处理,因而难以得到精度较高的结果。后 来,加强筋单元被推广到二维和三维,并成功地 用到了帘线-橡胶复合材料有限元分析中。由 于一个加强筋单元之中可包含多层纤维而不增 加节点个数,从而大大降低了计算成本,缩短了 机时。同时,因加强筋模型可分别加载基体材 料和纤维的应力-应变关系,因而用少数单元即 可获得满意的结果。

利用 MARC 有限元软件可很方便地建立 以上各种模型。本研究计算分析中所采用的是 层合壳模型。

1.2 充气轮胎的几何非线性特性

几何非线性由轮胎工作时的大变形引起。 可采用全 Lagrange(T.L)法,也可采用修正的 Lagrange(U.L)法,两者的区别是,T.L 法以未 变形时的初始构形为参考构形,而U.L 法则以 前一个相邻构形作为参考构形。两种方法没有 本质的区别,但在解题过程上有所不同。以 T.L 法为例,根据虚功原理,当存在结构变形 时,格林应变与克希霍夫应力间关系为:

$$\int_{0}^{+} \int_{0}^{+} S_{ij} \int_{0}^{t+} \int_{0}^{+} E_{ij} dv = \int_{0}^{t+} \int_{0}^{t} w$$
(5)

变分可得:

$$\int_{0}^{t+t} \int_{0}^{t} S_{ij} + \int_{0}^{0} S_{ij} + \int_{0}^{0} S_{ij} + \int_{0}^{0} E_{ij} + \int_{0}^{0} E_{ij} dw =$$

$$\int_{0}^{t+t} W$$
(6)

公式(6)最终的矩阵形式可表示为:

$$([K]_0 + [K] + [K]_L) \{ \mathbf{q} \} = \{ \mathbf{F} \} +$$

$$T$$
 + { P } (7)

- 式中 [*K*]₀ ——切线刚度矩阵,表征载荷增量 与位移的关系;
 - [K] ——初应力刚度矩阵或几何刚度 矩阵,表征大变形情况下初应 力对结构的影响:
 - [K]_L ——初位移刚度矩阵或大位移刚 度矩阵,表征大位移引起的结 构刚度变化:
 - { q} -----节点坐标增量矢量;
 - { F} ----体载荷矢量;

{ P} ——应力在节点上的等价合力矢 量。

公式(7)即为几何非线性 T.L 法的有限元 方程。对于 U.L 法,应用虚功原理和变分方 法,可得出与公式(7)相似的有限元方程。

MARC 软件中提供了上述两种有限元方法,默认的方法是 T.L 法。

1.3 充气轮胎接触问题的非线性特性

接触问题属于带约束条件的泛函极值问题,最常用的方法有 Lagrange 乘子法、罚函数 法以及基于求解器的直接约束法。

1.3.1 Lagrange 乘子法

由变分原理知,系统总势能()为:

$$= E + O + W \tag{8}$$

式中,E,W和Q分别为系统的内能、外力势能和接触势能。

$$Q = {\{F\}}^{T} {\{g\}} dC$$
 (9)

式中 *C* — 接触边界;

{ F} ----接触力向量,相当于 Lagrange 乘子,{ F} = { Ft, Fn}, t和 n 表示切向和法向;

{g} -----接触间隙向量, {g} = {g_t, g_u}^T。

随接触状态变化,公式(8)取变分及驻值:

 $= E + W + {}_{C} \{F\}^{T} \{g\} dC = 0 (10)$

接触体离散化后,由公式(10)可导出以节 点位移和接触力为未知量的有限元平衡方程。

Lagrange 乘子法在把有约束的最小值问题 变换为无约束的驻值问题时,对每个约束引入 一个因变量,这样,从有限元建模的观点来看, Lagrange 乘子法列式中必会导致大量的未知 量,同时,该方法会使系统矩阵主对角元素为 零,这就需要在数值方案的贯彻中处理非正定 系统,数学上将发生困难,需实施额外的操作才 能保证计算精度,从而使计算费用增加。

1.3.2 罚函数法

罚函数法与 Lagrange 乘子法不同之处在 于没有在问题中引入额外的因变量,而是对每 一个约束引入一个事先指定的参数(罚参数), 一旦接触区域发生穿透,罚参数便夸大其影响, 从而使系统的求解无法正常实现。换言之,只 有在约束条件满足之后,才能解出有实际物理 意义的结果。其接触势能可表示为:

$$Q = \frac{a}{2} \int_{C} \{g\}^{T} \{g\} dC$$
(11)

罚函数法不增加未知量的数目,但增加系统带宽。其优点是数值实施上比较容易,不足 点在于罚函数选择不当将对系统的数值稳定性 造成不良影响。为避免数值求解的振荡,应对 补偿项采用降阶的求积法则,而对非补偿项采 用正规的 Gauss 求积法则^[9]。

1.3.3 直接约束法

用直接约束法处理接触问题是追踪物体的 运动轨迹,一旦探测出发生接触,便将接触所需 的运动约束(即法向无相对运动,切线可滑动) 和节点力(法向压力和切向摩擦力)作为边界条 件直接施加在产生接触的节点上。这种方法对 接触的描述精度高,具有普遍适应性。不需要 增加特殊的界面单元,也不涉及复杂的接触条 件变化。该方法不增加系统的自由度,但由于 接触关系的变化,会增加系统矩阵的带宽。

1.3.4 MARC 中提供的接触算法

MARC软件提供了 3 种接触算法,即:基 于 Lagrange 乘子法或罚函数法的间隙单元法、 基于罚函数法的非线性弹簧法以及基于直接约 束的接触迭代算法。轮胎与轮辋的接触和轮胎 与地面的接触问题可采用上述方法中的任何一 种。其中接触迭代算法简单、通用且精度高,本 研究的计算和分析即采用此方法。

2 有限元模型的建立

2.1 基本模型的建立

在 CAD 系统中画出 9.00R20 子午线轮胎的断面轮廓图及材料分布图,并做预处理,然后以其作为基本模型轮廓,在 MARC 中划分网格,得到最基本的平面模型(见图 1)。

9.00R20 子午线轮胎的胎体厚度约为 4.3 mm,带束层厚度约为 6 mm,而充气后的轮胎 外径为1 018 mm,考虑到其几何尺寸,根据参 考文献[6],对胎体及带束层,本研究采用三维



图 1 平面模型及横截面上的边界条件

复合材料壳单元进行计算,而对胎冠、胎侧、钢 丝圈等部位,则采用三维八节点实体单元进行 计算。

由平面模型旋转得到 9.00R20 子午线轮 胎的三维模型(见图 2)。为精确分析轮胎接地 面内的应力应变场,对可能接地的区域进行细 分。整个模型共有 1 920 个壳单元、3 712 个三 维实体单元和 4 640 个节点。

与整个轮胎材料相比,地面可以看作是刚体。本研究中即把地面视为刚体,如图 2 中的狭长平面所示。

本研究中考虑了轮胎与地面的摩擦作用, 采用 MARC 软件提供的粘-滑摩擦模型,根据 文献[1],静摩擦因数取值为 0.55。



图 2 三维模型

2.2 边界条件的处理

由于胎圈部位受到轮辋及钢丝圈的约束, 故静态接触下轮胎结构本身又可按对称性处 理,同时,轮胎各部位材料特性的差异又非常 大,尤其是钢丝圈同胎侧材料的差异、带束层同 胶料的性能差异,因此约束钢丝圈中心点节点的6个自由度全部固定。

从轮胎模型断面上看,边界条件如图1所示。

2.3 材料特性的定义

关于橡胶材料及橡胶/帘线复合材料的特 性参数,王登祥^[10,11]等曾提出一些测试计算方 法。本研究将胎体及带束层视为由正交各向异 性材料组成的复合材料壳,考虑到子午线轮胎 的实际结构,胎体帘布层帘线角取 7°,带束层 胎冠角取 85°。计算过程中采用了 Zhang. F 的 材料参数,并将英制化为公制。实际计算所用 材料参数见表 1 和 2。

对于钢丝圈,计算中直接采用钢的材料参数,即弹性模量为210 GPa,泊松比为0.3。

表1 胎体和带束层材料特性参数

项目	胎体	带束层
<i>E</i> ₁₁ / Pa	9.32 ×10 ⁸	1.03 ×10 ¹⁰
<i>E</i> ₂₂ / Pa	2.76 $\times 10^{6}$	4.13 ×10 ⁶
E ₃₃ / Pa	2.76 $\times 10^{6}$	4.13 ×10 ⁶
G ₁₃ / Pa	3.11 ×10 ⁸	3.58 ×10 ⁸
G ₂₃ / Pa	4.14 ×10 ⁶	4.82 ×10 ⁶
G ₃₁ / Pa	4.14 ×10 ⁶	4.82 ×10 ⁶
μ_1	0.47	0.47
μ_2	0.47	0.47
µ ₃	0.005	0.000 4
密度/ (Mg·m ⁻³)	1.035	1.200

表 2 胎冠、胎侧和胎圈部胶料的特性参数

项目	胎冠	胎侧	胎圈
C10/ Pa	7.70 ×10 ⁵	9.35 ×10 ⁵	3.26 ×10 ⁵
C ₂₀ / Pa	- 6.71 $\times 10^4$	- 1.90 $\times 10^5$	- 1.60 $\times 10^4$
C ₃₀ / Pa	9.55 ×10 ⁴	1.84 ×10 ⁵	1.29×10^4
泊松比	0.5	0.5	0.5
密度/			
$(Mg \cdot m^{-3})$	1.025	1.125	1.125

3 接地问题的分析计算

3.1 下沉量逐渐增大时接触应力场的变化

为分析轮胎下沉量对接触应力场的影响, 以充气压力为 0.686 MPa 的 9.00R20 子午线 轮胎为例。接触应力场的 Von Mises 等效应力 如图 3 所示。当下沉量小于 10 mm 时,接触区 内的最大应力发生在接触区中心,接触区的形状也近似于圆形,见图3(a)。尔后随下沉量的增大,接地中心的应力值反而比周围的应力值低,自接地中心沿任何一条直线到接触区边缘, Von Mises等效应力先由小到大,再由大到小, 见图 3(b) (下沉量为 20 mm)和图 3(c) (下沉量 为 30 mm)。接触区域也由近似圆形逐渐变为 椭圆形,尔后变为接近矩形。

当下沉量为 30 mm 时,接地面内沿横轴与 纵轴的 Von Mises应力变化规律如图4所示。



图 3 下沉量不同时接触面内的 Von Mises 等效应力(单位:Pa)分布







其中横坐标为自接地中心至接地边缘的名义弧 长,纵坐标为对应节点的 Von Mises 等效应力。 该计算结果与文献报到的试验结果相吻合,例 如,俞淇等^[2]在试验中观察到接地面内的翘曲 现象,长春汽车研究所^[1]测得斜交轮胎和子午 线轮胎印痕压力分布图,轮胎接地印痕在宽度 方向(横轴)上的压力分布类似马鞍形,在长度 方向上的压力分布曲线在印痕中部是平坦的, 而在两边接近二次抛物线。本计算结果符合这 些实测规律。

3.2 静态接地时的摩擦力分布

胎面上的摩擦力对轮胎的耐磨耗性和耐久 性有重要影响。在静态下,接地面内的横向与 纵向摩擦力都是左右对称的,在本研究的计算 条件下,摩擦力的数量级均在100 Pa 左右。当 内压为0.686 MPa、下沉量为30 mm时,求得 横向摩擦力与纵向摩擦力的分布如图5 所示。

3.3 轮胎静态接地时带束层和胎圈的应力分 布

带束层是子午线轮胎的主要受力部件之 一,轮胎的耐磨性、牵引性、操纵性能、滚动阻 力、安全性能、磨肩以及胎肩脱层、裂口等问题 都与带束层有关。因此,研究各种情况下子午



图 5 接地面内的摩擦力(单位:Pa))分布 线轮胎带束层的应力分布也就具有极为重要的 意义。在静态接地状态下,非接地区内的带束 层边缘的 Von Mises 应力值近 20 MPa,在接触 区域则高达 28 MPa;在接触区中部,应力却低 一个数量级,计算得到的应力分布如图 6 所示 (充气压力为 0.686 MPa,下沉量为 30 mm)。

子午线轮胎的另一个重要受力部位是胎圈 部位,图7所示为下沉量为30mm,充气压力为 0.686 MPa时,胎圈部位的 Von Mises 应力分 布。由图7可见,在接地区胎圈及胎侧部的翘 曲非常大,是典型的高应力区,其应力值高达 10 MPa,因此,该应力分布更接近于实际状态。

本研究的主要工作是讨论子午线轮胎的静态接地问题,但由此也可以看出,在动态下带束

图7 胎圈胎侧部的应刀(单位:Pa)分布 层边缘和胎圈部位由于受到反复的屈挠疲劳作 用,将会成为轮胎的最危险部位,这也与实际情 况相符。因此,在轮胎设计中,应当特别注意带 束层边缘与胎圈部位的结构,应尽量减少应力 集中,从而提高轮胎的使用寿命。

3.4 充气压力对轮胎接地问题的影响

子午线轮胎的充气压力不同时,随下沉量 的逐渐增大,接地面内的应力分布大致与充气 压力为 0.686 MPa 时相同,均为开始时中间 高、周围低,尔后逐渐变为中心部位应力较低, 周围应力逐渐升高至最大值,再向外应力又逐 渐降低。所不同的是,这种由内高外低变为内 低外高时的下沉量不同,其对应的下沉量如图 8 所示。

在一定的下沉量下,接地面内的最大应力 值随充气压力的提高而增大。通过计算可以得 出定量的关系,图9中(a)和(b)分别表示下沉







4 结论

(1) 在一定的充气压力下, 随下沉量的逐渐

增大,接地形状从圆形逐渐得变为椭圆形、矩 形,接地区应力分布由内高外低逐渐得变为内 低外高,即发生翘曲现象;

(2)静态接地时的摩擦力呈对称分布,但摩 擦力的数值并不大;

(3)带束层和胎圈是子午线轮胎的主要受 力部件,在接地区域的应力值尤其高,因此在进 行轮胎结构设计时需要予以特殊考虑;

(4)充气压力对发生翘曲时的下沉量有影响,随着充气压力的升高,对应的下沉量下降; 同时,在一定的下沉量下,接地面内的最大应力 随充气压力的升高而增大。

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, 1996.53.
- [2] 俞 淇,戴元坎,张 凯.静负荷下轮胎接地压力分布测
 试的研究[J].轮胎工业,1999,19(4):203-207.
- [3] 陈 丽,王友善. 轮胎接地反力分析[J]. 轮胎工业,2000, 20(5):276-277.
- [4] 唐 萌,张 翼.子午线轮胎静态下沉问题的三维有限元 分析[J].轮胎工业,1999,19(1):3-6.
- [5] Akasak T, Katoh M, Nikei S, et al. Two-dimentional contact pressure distribution of a radial tire [J]. Tire Science and Technology, 1990, 18 (2):80-103.
- [6] Karami G, Zohari H, Setovdeh E. Footprint analysis of bias tires under inflation and working load by finite element method[A]. IRC97. Kuala Lumpur:1997. 875-882.
- [7] Yeoh OH. Characterization of elastic properties of carbon black filled rubber vulcanizates[J]. Rubber Chem. and Technol., 1990, 63(5):792-805.
- [8] 杜善义,王 彪.复合材料细观力学[M].北京:科学出版 社,1998.92.
- [9] Johnson C P. Analysis of some mixed finite element methods related reduced integration [J]. Math. Comput, 1982, 38: 375-400.
- [10] 王登祥.轮胎胶料有限元分析的实验基础及计算[A]. 第十届全国轮胎技术研讨会论文集[C].北京:《橡胶工 业》《轮胎工业》编辑部,1998.23-31.
- [11] 刘连云.钢丝帘线泊松比的理论计算[A].第十届全国 轮胎技术研讨会论文集[C].北京:《橡胶工业》《轮胎工 业》编辑部,1998.193-196.

第11届全国轮胎技术研究讨会论文

ZHAO Shu-gao, YANG Xie-gui, DENG Tao, WANG Wei (Qingdao Institute of Chemical Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: A FEA model of 9.00R20 radial tire was built based on the practical sructure of 9.00R20 radial tire by using MARC General Code and taking the material nonlinearity, the geometric nonlinearity, the anisotropy of composite and the elasticity of rubber itself into account. The model was used to investigate the influence of such factors as deflection, inflation pressure and static friction coefficient on the static stress/ strain distribution in the ground-contact area. The results showed that under a certain inflation pressure, the high stress in the ground-contact area was shifted from the centre to the outerside as the deflection increased; the friction force was small and distributed symmetrically in the static ground-contact area; the deflection decreased as the inflation pressure increased; and under a certain deflection, the maximum stress in the ground-contact area increased as the inflation pressure in-creased.

Key words :radial tire ; ground-contact area ; deflection ; nonlinearity ; FEA

德国施泰茵比西勒光电技术有限公司 推出 INTACT系列轮胎无损检测系统

中图分类号:TQ336.1 文献标识码:D 轮胎生产的质量保证不仅是为满足产品的 安全要求,更重要的是通过长期稳定的高质量 以赢得用户的满意并取得行业内的竞争优势。

从经济学与生态学的角度而言,轮胎的无 损检测对保证轮胎质量具有十分重要的意义。 特别是在翻胎生产中,在各道加工工序前,就可 对胎体的缺陷与可翻性进行检查和判断,因而 其意义更大,效益更显著。

德国施泰茵比西勒光电技术有限公司在推 出已广泛使用的激光全息轮胎检测 HTCI 系列 之后,又推出了以激光剪切照像为基础的、新的 轮胎无损检测系统——INTACT 系列。IN-TACT 系列(INTACT 750,850,1200 和 1600) 的主要特点在于多个电子剪切照像机同步工 作,使检测时间大大缩短,成为世界上效率最 高、速度最快的轮胎无损检测系统。

IN TACT 系列检测系统由下列主要部件 组成:减压室与真空泵;带有探头线性驱动和转 动轴的机械框架;带有足够的激光二级管和 CCD 摄像机的剪切照像机;电子控制单元;带

有大量软件的图像处理系统;装胎与卸胎系统。

IN TACT 系列检测系统主要优点为:在线 处理,检测的同时显示结果;不受周围环境的影 响;除用电及压缩空气外,不需消耗其它材料; 结构坚固而可靠;仅需经短期培训的、非专业的 辅助人员操作;轮胎不需涂白、增反等预处理; 轮胎保持干燥;检测过程自动化;数据处理自动 化;缺陷的分辨率高,根据轮胎的规格型号及缺 陷的位置,可识别1 mm的缺陷;检测结果可以 显示胎体断裂、气泡和脱层等典型缺陷。

通常,在轮胎圆周上分 8 个扇断面进行检测,其检测周期小于 1 min。轮胎的规格尺寸 在传送过程中已被测量,探头也将被自动开到 检侧位置。通过探头的转动,轮胎一个扇断面 接一个扇断面完整地接受检测。胎圈的检测可 以选项。

检测结果显示在屏幕上以便于质量判定。 缺陷可用彩标标出,待操作员确认。无缺陷的 轮胎可自动继续传输。

检测结果可数码化,与检测参数共同在硬 盘或光盘存档,或在普通纸上打印出来。

> (德国施泰茵比西勒光电技术有限公司 孙君立供稿)