

胎圈-轮辋接触问题的三维有限元分析

张 翼 唐 萌 余美娟

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所 200072]

摘要 介绍轮胎有限元计算中胎圈-轮辋接触问题的处理方法。以 195/60R14 规格轿车子午线轮胎为例, 获得了胎圈在过盈配合下的内应力分布及胎圈-轮辋接触面上的压力分布。

关键词 轮胎, 有限元分析, 三维, 接触

1 接触体的定义

接触问题是有限元计算的一个难点。当我们研究一个轮胎时, 它的接触区域有两处, 一处是胎面同地面的接触, 另一处是胎圈同轮辋的接触。前者较为简单, 本文主要讨论较为复杂的后者。

产生接触的两个物体必须满足无穿透约束条件, 在数值计算中则表现为两个物体相距一很小的距离。如图 1 所示, 胎圈与轮辋接触时, 胎圈轮廓上的一点 A 的增量位移向量 Δu_A 、轮辋的法向单位向量 n 和接触距离容限 D (D 为一极小值) 三者之间存在关系式 $\Delta u_A \cdot n \leq D$ 时, 就认为 A 与轮辋接触上了。

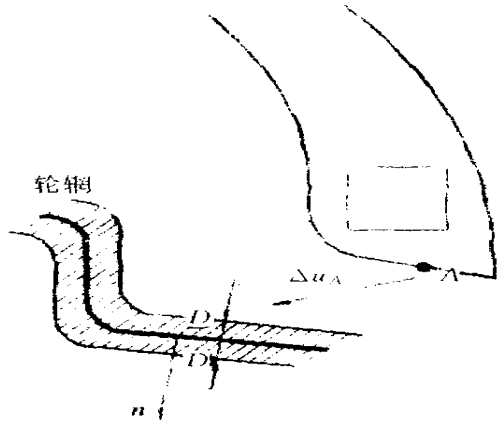


图 1 胎圈与轮辋接触的定义

图 1 中阴影部分为接触距离容限范围。数学上施加无穿透约束的方法有拉格朗日乘子法、罚函数法以及基于求解器的直接约束法。这里采用直接约束法, 用直接约束法处理接触问题方法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, 切向可滑动) 和节点力 (法向压力和切向摩擦力) 作为边界条件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数, 但由于接触关系的变化会增加系统的矩阵带宽。

在定义接触体时, 我们将胎圈定义为可变形接触体, 通过计算可获得它的应力、应变等分布。将轮辋定义为刚性接触体, 在接触过程中不计算变形和应力。定义刚性接触体的条件是在接触过程中所产生的变形可以忽略, 轮辋恰好符合这一条件。

2 静态分析

2.1 存在的问题

在以往的有限元分析中, 对于胎圈与轮辋接触的处理, 一般是对这种约束加以简化, 给胎圈一个固定约束, 这种处理方式使问题大大得到简化, 但却无法反映出具体轮辋形状对轮胎的限制。考虑到 MARC 软件对于接触问题的分析做得较好, 我们应用 MARC 软件分析这一问题。

2.2 模型的建立

轮胎在实际使用时, 胎圈与轮辋之间存在着过盈配合, 即胎圈直径略小于轮辋直径, 结构设计人员设计轮胎时也是按此原则设计的。为了模拟这一过盈配合, 我们就做了这样的一个模型 (见图 2): 将轮辋放置于偏离胎圈一定距离处, 并将轮辋画成如图 2 所示的形状。由于我们只关心胎圈与轮辋的接触区域, 因此轮辋中部形状的差异对问题的结论没有影响, 因而

作者简介 张 翼, 男, 1971 年出生。工程师。1993 年毕业于同济大学应用物理专业。主要从事轮胎 CAD 和轮胎有限元分析方面的研究工作。

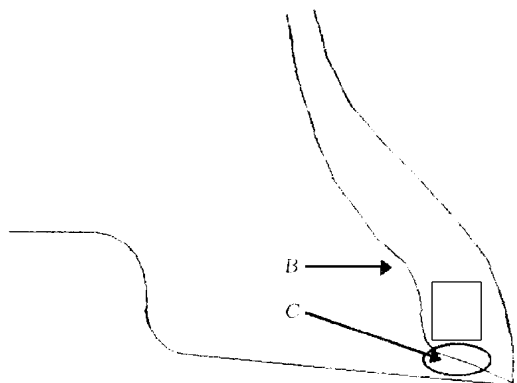


图2 胎圈与轮辋接触模型

所画轮辋曲线与实际轮辋形状不完全相同。

用 AutoCAD 软件画出 195/60R14 轮胎和轮辋的断面图,然后利用 MENTAT 软件生成平面四节点单元网格,共 167 个平面单元(194 个节点),见图 3。有了平面四节点单元网格后,便可用 MENTAT 中的“拉伸”(expand)功能将平面单元拉伸成三维八节点单元。在这里,生成 1/8 轮胎(保留 1/4 圆周后再纵剖),在 1/4 圆周上分成 10 个节段,整个三维模型共有 1 670 个单元(2 134 个节点),见图 4。考虑到在模型中增加壳单元会增加计算的复杂性,故在这个模型中并未使用壳单元,对于复合材料仍采用实体单元,而给每个单元定义局部坐标系。

对于模型中的橡胶材料采用 Mooney 模型,对应单元类型为 Herrmann 单元;对各类复合材料采用 Orthotropic 模型(正交各向异性复合材料模型),对应单元类型为 Full Integration

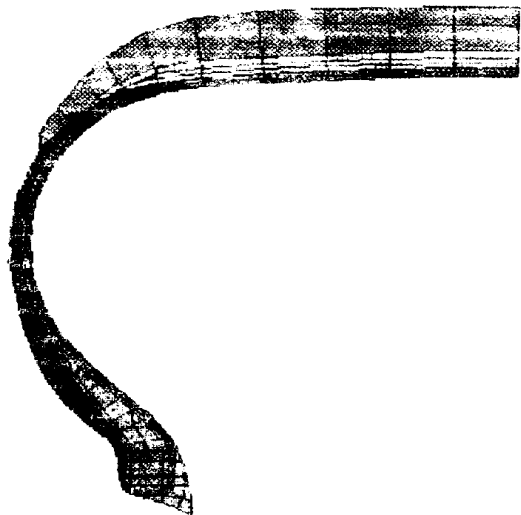


图3 平面有限元网格

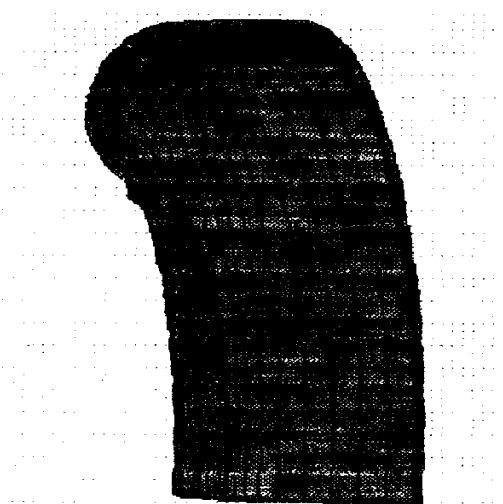


图4 三维有限元网格

单元。根据轮胎的各部件,共设定 9 种不同的材料,见图 3。材料参数由实测和理论推导给出。测出橡胶材料的单向拉伸、双向拉伸、简单剪切、纯剪切和体积压缩等试验数据曲线,再由 MARC 中的 Curve Fit 软件拟合出 Mooney 模型的几个参数,输入到有限元模型中。

考虑到轮胎的对称性,在 3 个对称面上分别给出与对称面垂直的固定位移约束,内表面施加永久垂直于各单元表面的面力来模拟气压,胎圈和轮辋定义为接触约束,并采用 Coulumb 摩擦模型。

在进行计算时要完成两个过程,一是将轮辋移至正确的位置,二是充内压至 240 kPa。采用增量法求解,整个过程共分 100 步完成。

2.3 计算结果

我们所使用的软件为 MARC K7.1 版本,硬件为 DEC Alpha Sever 4000,内存 512M,频率 466M。现将部分计算结果分列如下。

(1) 主应力分布图(应力单位为 MPa)

图 5 为加载轮辋和内压后的轮胎主应力分布,图 6 为钢丝圈的主应力分布。根据钢丝圈受力分布可知,四边形钢丝圈受力分布不均。

(2) 作用反力分布图(接触面上的压力分布,压力单位为 N)

图 7 为轮胎断面上和胎圈与轮辋接触处的压力分布,图 8 为轮胎断面上胎圈与轮辋接触处沿外轮廓曲线(从上到下)上各节点的压力分布图。由图 8 可知,轮胎在充气后,胎圈部位的 B 处受力最大,其次为 C 处(B 和 C 的几何位

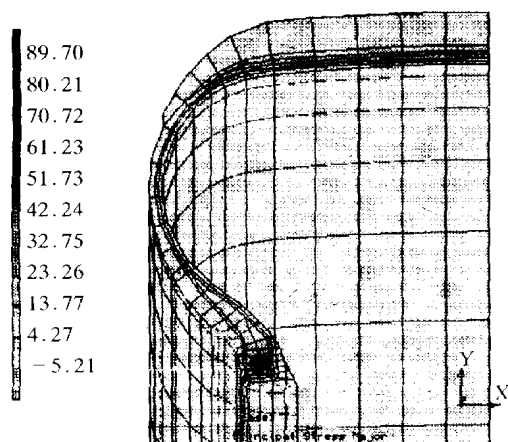


图 5 轮胎的主应力分布

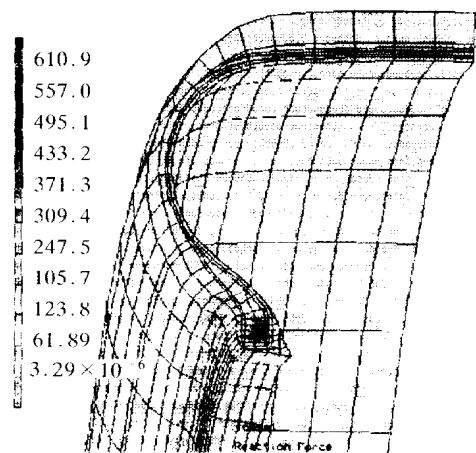


图 7 轮胎断面上和胎圈与轮辋接触处的压力分布

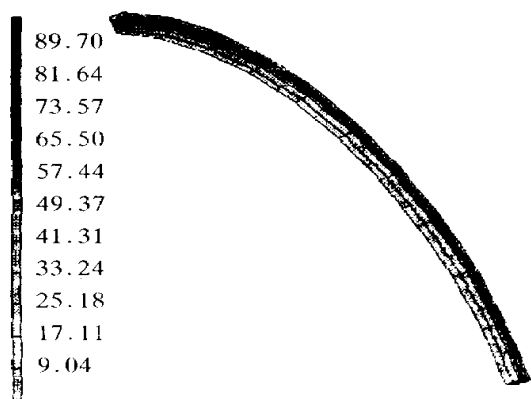


图 6 钢丝圈的主应力分布

置见图 2) ,这与预先所知的相符。

3 结语

本文主要讨论胎圈与轮辋的接触问题,对于带束层和胎体等部位的分析不作叙述。根据钢丝圈的受力分布情况,可以调整钢丝圈结构设计。由整个胎圈的受力情况,还可指导设计者对过盈量的确定和胎圈部位轮廓的设计。

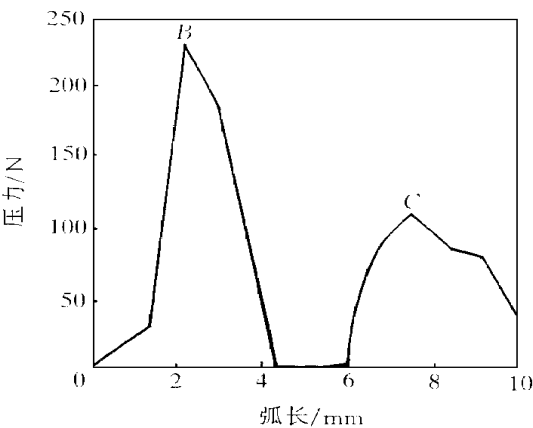


图 8 胎圈与轮辋接触处沿外轮廓曲线上各节点的压力分布

接触分析是一项比较复杂的工作,模型做得是否恰当决定了计算工作量的大小,而加载过程设计得是否合理又直接影响计算的收敛性,因此在做接触分析模型时要特别注意建模及其加载过程。

收稿日期 1998-09-06

Three Dimensional FEA of Bead-rim Contact Problem

Zhang Yi , Tang Meng and Yu Meijuan
[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co. , Ltd. 200072]

Abstract The solution to the bead-rim contact problem in FE calculation of tire was described. The internal stress distribution of the bead under interference fit and the pressure distribution at the bead-rim interface were obtained by using 195/ 60R14 radial truck tire as example.

Keywords tire ,FEA ,three dimensional ,contact