

# 微机有限元分析系统在轮胎结构分析中的应用<sup>\*</sup>

刘平 曾宪伟

(华南理工大学, 广州 510641)

**摘要** 介绍了当前国外几种比较常用的大型微机有限元分析系统的特点; CAD 环境下友好的人机界面、强大的前后处理功能和分析功能; 充分利用微机的扩展内存, 具有丰富的单元种类库和材料种类库等; 并利用其中一种有限元分析系统 Algor 软件对 165/70SR13 规格的子午线轮胎进行充气状态下的二维分析举例。

**关键词** 有限元分析系统, 微机, 子午线轮胎, 结构

自 60 年代以来, 随着计算机技术的飞速发展, 有限元分析技术作为一种以计算机为工具的数值分析方法已在实际中得到广泛应用。其应用领域已从力学分析扩展到各类场(如电场、磁场、声波场等)的分析, 从线性分析扩展到各类非线性(如材料非线性、几何非线性、边界条件非线性等)的分析, 从单一的场分析发展到若干个场的耦合分析。70~80 年代, 西方各大轮胎公司利用有限元法分析轮胎结构取得了重大成果, 先后推出了一系列优化理论。以上分析研究均是在大型机和工作站上完成的, 费用极大, 给中小用户带来不便。进入 90 年代, 微型计算机以其方便、高性能等优势而广泛应用于各个领域。相应地在有限元程序发展方面, 人们也日益注重发展微机版计算分析软件。随着微机软硬件技术的高速发展, 许多大型通用有限元分析软件已经移植到微机平台上, 尤其是随着占微机操作系统主流的 DOS/WINDOWS 的 BIOS 的开放性和 DOS 扩充技术的出现, 使有限元程序可以充分利用高档微机的各种资源, 在微机平台上进行较大规模的分析计算。更为重要的是, 有限元前后处理技术在微机平台上也得到了充分发挥, 操作比大型机和工作站更简便。

本文将介绍当前国外几种比较常用的大型微机有限元分析系统的特点, 并利用其中一种有限元分析系统对 165/70SR13 子午线轮胎的

结构进行分析。

## 1 微机有限元分析系统的特点

(1) CAD 环境下友好的人机界面、强大的前后处理功能。

有限元分析过程分为以下 3 个阶段:

①前处理。将整体结构或其中部分结构简化为理想的数学模型, 用离散化的网络代替连续实体结构或求解区域。

②分析求解。

③后处理。对计算结果进行分析、整理和归纳。

对前处理而言, 要根据分析的对象准确地给出下列信息:

- a. 节点的空间位置(坐标值)
- b. 单元与节点间的连接信息
- c. 结构的物质特性、材料参数
- d. 研究对象的边界条件或约束
- e. 各类载荷

当分析一个具体问题时不仅要准备上述数据, 还要考虑网格形状和密度分布的合理性。在 CAD 或人机菜单-图形交换系统中, 人们可以直观地在屏幕上构造所要设计和分析的模型, 并按用户要求划分网格, 确定边界条件, 准确加上载荷以及输入材料有关的信息等等, 最后自动形成所需的数据文件。

对后处理而言, 由于有限元分析过程中会产生大量的数字信息, 只有对这些信息进行仔细分析后, 才能看出计算中发生的情况和问题。微机中强大的后处理功能可让用户随意观察计算结果, 对结构图和变形图可作放大、缩小、旋

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目。

**作者简介** 丁剑平, 男, 30 岁。1995 年毕业于华南理工大学, 硕士学位。主要从事轮胎力学方面的教学工作。已在《橡胶工业》等刊物上发表论文 3 篇。

转、消隐和活化,可查找节点、单元的有关信息,能产生各阶段各部位的彩色等值应力、应变、位移图,还可以根据需要作各种输出。

另外,微机有限元分析系统的图形功能与目前广泛使用的各种 CAD 系统具有数据和图形的交互功能,可互相转换,从而更加方便用户构造所需分析的模型。

(2)充分利用微机的扩展内存使大型有限元分析计算成为可能。

微机有限元分析技术充分利用了 DOS 扩充程序技术,DOS 扩充程序把有限元程序放入扩充内存区,这样既可节省基本内存,又可使大型有限元程序和数据使用大内存,使运算速度成倍提高,计算效率可达到工作站和小型机的水平。对使用者来说,利用 DOS 扩充技术既可在 DOS 环境下工作,又可调用全部内存资源进行大规模计算和大量图形信息处理,无需再重新学习大型机和工作站上使用的 UNIX 和 OS2 等系统。

(3)具有强大的分析功能,包含了绝大部分可计算领域,从静态、线性、定常问题到动态、非线性、非常问题以及各种场问题的分析求解和优化设计等;具有丰富的单元种类库及材料种类库等。

目前已被广泛使用的微机化大型有限元分析系统包括美国 Swanson 分析系统公司的 Ansys,Adina 工程公司的 Adina,Algor 公司的 Algor 及 Strucral 研究分析公司的 Cosmos/M 和澳大利亚 G+D 计算公司的 Strnd 等,这些软件均具有上述特点。许多公司规定新产品的开发设计必须有 FEAS(有限元分析系统)的计算分析报告才能被认可。例如 Algor 公司的 FEAS 就已被全美 50 个州及世界 60 多个国家的有关研究机构和生产厂家所采用。

2 分析举例

以 165/70SR13 规格的子午线轮胎为例,用微机版 FEAS Algor 软件对其进行充气状态下的二维分析。

2.1 网格划分

首先利用 CAD 系统画出 165/70SR13 规格轮胎的断面图及其材料的分布情况,然后利用前处理系统调用该断面并对其进行网格划

分。根据断面形状及不同材料的分布情况采用不同的单元形式,如图 1 所示,将轮胎断面的 1/2 作为研究对象,划分为 186 个节点 152 个单元。

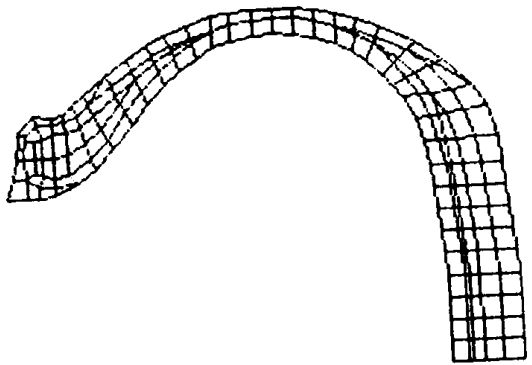


图 1 轮胎的网格划分

2.2 边界条件

边界条件处理的好坏,对有限元分析结果会产生较大影响。在自由充气状态下,考虑到轮胎形状及负荷的对称性,假设在胎冠部位沿径向可自由移动,而在其轴向则予以约束。在轮胎与刚性轮辋的接触区域,通常存在着过盈配合或间隙配合,为此将其约束形式设定为施加了初始位移或初应力后的接触问题。这种约束形式虽简单,但基本上反映了轮胎充气状态下的约束情况。轮胎的边界条件如图 2 所示。

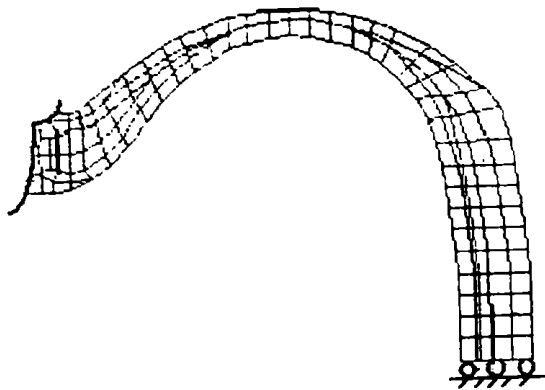


图 2 轮胎的边界条件

2.3 材料模型

对于轮胎用橡胶材料,考虑其非线性的特点,应用 Mooney-Rivlin 提出的应变能多项式进行描述。表达式为:

$$W = W(I_1, I_2, I_3)$$

$I_1, I_2$  和  $I_3$  分别为材料的第 1、第 2 和第 3 应变不变量,具体使用时通常根据实际情况加以简化,其相应的常数可通过实验测定。对于橡胶-

帘线复合材料,则将其考虑为正交各向异性复合材料,各项性能参数也可由实验确定。

## 2.4 结果与讨论

### 2.4.1 形变分析

在 0~0.28 MPa 充气状态下,胎冠及胎侧处气压-变形曲线如图 3 和 4 所示。由图可以看出,随着充气压力的增大,轮胎的变形呈非线性变化,充气压力与变形之间遵循慢硬化规律。

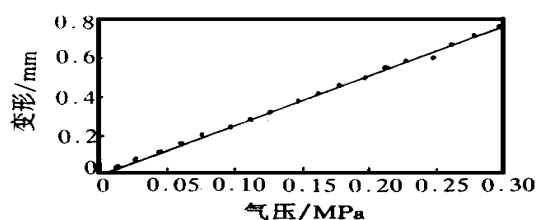


图 3 胎冠气压-变形曲线

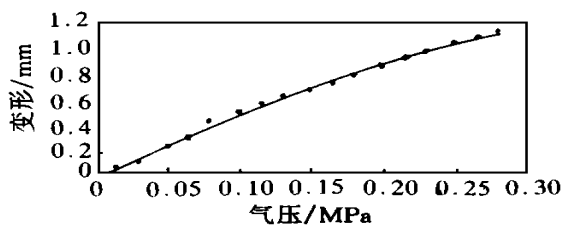


图 4 胎侧气压-变形曲线

### 2.4.2 应力分析

分析轮胎结构的另外一个目的是了解轮胎各部位的受力情况。通过轮胎在充气状态下的

周向应力云图可以看出轮胎的带束层、胎圈加强层以及钢丝圈等部位的周向应力分布情况及大小。通过轮胎在充气状态下的径向应力云图可以看出胎侧部位的胎体层应力出现了较大的正值,即在胎侧的径向受到拉伸。而在胎圈部位的径向应力既有正值又有负值,表明该处既有拉伸变形又有压缩变形。

上述计算结果与应用 ADINA 程序所得结果非常接近。以上分析仅为一个简单举例,同样也可用该类软件进行三维有限元分析。

## 3 结语

微机有限元分析系统在实际问题中已有广泛的应用,由于这些软件的使用十分简便,用户可将大部分精力用于所需研究的对象,从而大大提高了工作效率。需要指出的是,目前有限元分析法的发展受到材料方面的极大制约,在应用有限元分析时,对所研究对象的材料特性的分析非常重要。对企业而言,除了能使用软件外,如何对计算结果进行分析,提高轮胎性能才是最根本的目的,为此必须要有多方面的合作。目前在这方面国内所做工作较少,希望有关部门通力合作,使有限元分析尽快在我国轮胎行业发挥作用。

收稿日期 1998-10-19

## 《橡胶及相关企业名录》('99 版)征集刊户及征订的通知

国家石油和化学工业局所属橡胶工业信息总站将于 1999 年 3 季度出版《橡胶及相关企业名录》'99 版(暂定名称),每册定价 100 元(含邮费)。该版“名录”体现如下特点:1. 收录企业较全;2. 各类信息准确;3. 编有专业索引,按专业查找方便。该“名录”除了收录橡胶制品专业生产企业、橡胶制品用原材料及设备和仪器供应厂家外,还将收录橡胶制品的主要用户单位、香港特区及台湾地区的相关企业以及相关的国外企业驻华机构等近万家,力求全方位地为用户服务。

该“名录”收录的单位名称、地址、邮编、电

话、传真、主要产品及经营范围等为免费刊登,但如有厂家欲重点宣传自己的产品,可尽快与我们联系另作宣传页(需收费),收稿时间截止到 1999 年 3 月底。

欢迎刊登! 欢迎订阅!

联系人: 橡胶工业信息总站 戴雅君

电话: (010)68182211-2146

传真: (010)68184371

联系地址: 100039 北京西郊半壁店 橡胶工业研究设计院内

银行汇款请寄: 帐户: 北京橡胶工业研究设计院; 开户行和帐号: 北京工商银行永定路分理处 033008-89

橡胶工业信息总站