

利用有限元进行轮胎模态分析的新方法

白秀荣,王卫防,葛剑敏

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 轮胎研究所,上海 200072]

摘要:为分析轮胎动态特性建立了更为复杂、细致的轮胎三维有限元模型,考虑了轮胎材料的复杂性,对轮胎进行模态分析,并给出固有频率及相应振型。试验结果与计算结果有良好的一致性。还研究了充气压力对固有频率的影响,得出了允许压力范围内压力增大、固有频率随之增大的结论。

关键词:有限元分析;轮胎;固有频率;振型

中图分类号:TQ336.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8171(2001)07-0401-04

长期以来,人们逐步认识到轮胎的动态特性如振动模态和固有频率对预测汽车舒适性和噪声的产生是极为重要的。因为汽车在行驶中,由于路面不平等原因,会产生振动,除轮胎以及汽车悬架吸收一部分外,剩余部分会影响汽车的平顺性、操纵稳定性及噪声,因此,分析轮胎吸收振动水平的需要促进了轮胎振动研究的开展。自 20 世纪 60 年代,许多研究人员做了大量的理论研究和试验工作来分析轮胎的振动特性。通过研究大量文献发现:Chiesa 等^[1]做过许多试验研究轮胎振动特性;而 Tielking^[2]做了大量理论研究,通常将轮胎模型简化为弹性基础上的弹性环;Hunckler^[3]利用膜单元和壳单元建立了简单的轮胎有限元模型。

本文利用非线性有限元分析软件 MARC 来研究更为复杂、细致的轮胎三维有限元模型,并分析了本公司生产的 195/60R14 规格轿车子午线轮胎的基本振动问题。

1 轮胎有限元分析模型

利用 CAD 和 MARC 软件,建立有限元计算所需模型^[4]。断面网格划分如图 1 所示,利用对称性建立整个轮胎断面图。在此基础上,将二维平面模型转换成三维空间模型,如图 2

所示。

该分析模型采用不可压缩的 Herman 三维

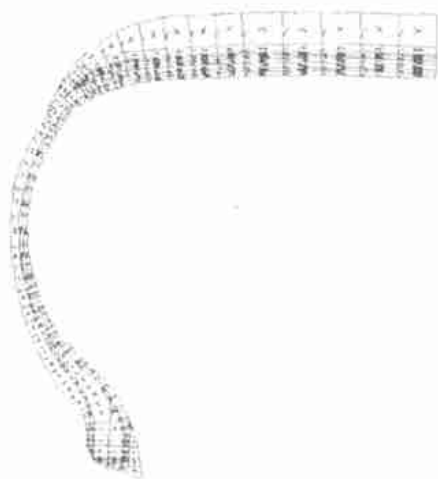


图 1 1/2 断面网格划分

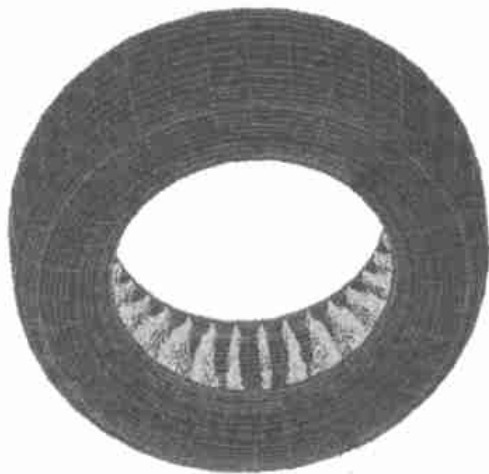


图 2 三维有限元理论轮胎模型

作者简介:白秀荣(1968-),女,河南永城人,上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所工程师,工学硕士,主要从事振动与噪声的研究工作。

实体单元进行模拟。在该模型中,共划分 9 种不同材料,采用 2 种材料模型。一种为门尼材料模型,用于模拟橡胶材料,例如花纹、胎侧等;另一种为“正交各向异性”复合材料模型,用于模拟骨架材料,例如胎体、带束层等。其中材料参数由理论推导出^[5]。

2 分析轮胎振动的新方法

有限元分析软件包 MARC 是一个功能强大的有限元分析软件,与其它有限元软件相比,其在处理轮胎振动问题上具有以下优点:

(1) 超强的非线性有限元分析功能

MARC 是功能齐全的高级非线性有限元软件,它可以处理各种非线性结构问题,包括大变形几何非线性、材料非线性和包括接触在内的边界条件非线性以及组合的高度非线性问题。例如与地面接触条件下轮胎的各种动态分析。

(2) 先进的自动接触分析功能

MARC 具有最为先进的接触分析功能。一方面,该软件仍保留了传统的间隙摩擦单元来模拟结构两点之间的接触,其接触约束是通过拉氏乘子或乏函数方法施加的,也可用非线性弹簧单元来模拟非线性支撑边界,通过乏函数施加这种接触约束。另一方面,对于最一般的接触分析,该软件提供了基于直接约束的接触迭代算法,可自动分析变形体之间、变形体与刚体以及变形体自身的接触,而且接触体的定义十分简洁。

(3) 网格自适应技术及重划分技术

MARC 提供的网格自适应技术可以多种误差准则自动调节网格疏密,不仅可提高大型线性结构分析精度,而且对局部非线性应变集中、移动边界或接触分析提供优化的网格密度,不仅保证计算精度高,同时也使非线性分析的计算效率大大提高。此外,该软件支持全自动二维网格和三维网格重划,用以纠正大变形后网格的畸形。

(4) 强大的二次开发功能

为了满足用户的特殊需要和进行二次开发,MARC 提供了方便的开放式用户环境。这

些用户子程序入口几乎覆盖了 MARC 有限元分析的所有环节,从几何建模、网格划分、边界定义、材料选择到分析求解、结果输出,用户能够访问并修改程序缺省的分析部分。用户能够在软件原有功能的框架下,极大地扩展有限元软件分析能力。

3 轮胎的模态分析

轮胎无阻尼自由振动的三维有限元模型如图 2 所示,该模型共包括 11 232 个单元、12 708 个节点,对于工况条件,考虑了轮胎充气情况,在常温条件下,气压为 0.25 MPa;轮胎的轮辋部分设定为完全固定约束。

众所周知,轮胎有限元模型的计算属于几何非线性和物理非线性问题,采用增量法求解非线性方程组。内压载荷分 20 步加载。用“直接稀疏矩阵法”求解线性方程组^[6]。模态分析中,用“兰索兹法”求解线性方程组得出固有频率及相应振型。

计算结果如表 1 所示,轮胎前五阶的弯曲振动固有频率及相应振型如图 3 所示。轮胎前两阶扭转振动固有频率及相应振型如图 4 所示。

表 1 轮胎前五阶弯曲振动固有频率计算

结果与测试结果的比较						Hz
固有频率	一阶	二阶	三阶	四阶	五阶	
计算结果	75.2	97.5	122.0	150.1	181.7	
测试结果	94.5	110.0	155.5	185.5	219.0	
相对误差/%	20.47	11.35	21.54	19.06	17.02	

另外,还研究了轮胎在不同内压下固有频率的变化趋势,如图 5 所示。由图 5 可见,随着压力的增大,轮胎的固有频率提高。

本研究将轮胎前五阶弯曲振动固有频率计算结果与测试结果相比较,见表 1 和图 6。由表 1 可以看出,测试数据与计算数据最大相对误差为 21.54%,而最小相对误差为 11.35%;由图 6 可以看出,测试数据与计算数据却有很好的 consistency。分析原因如下:

(1) 轮胎的固有频率计算问题属于非线性问题,故相对误差较大。

(2) 由于现有计算机的运算速度问题,影响

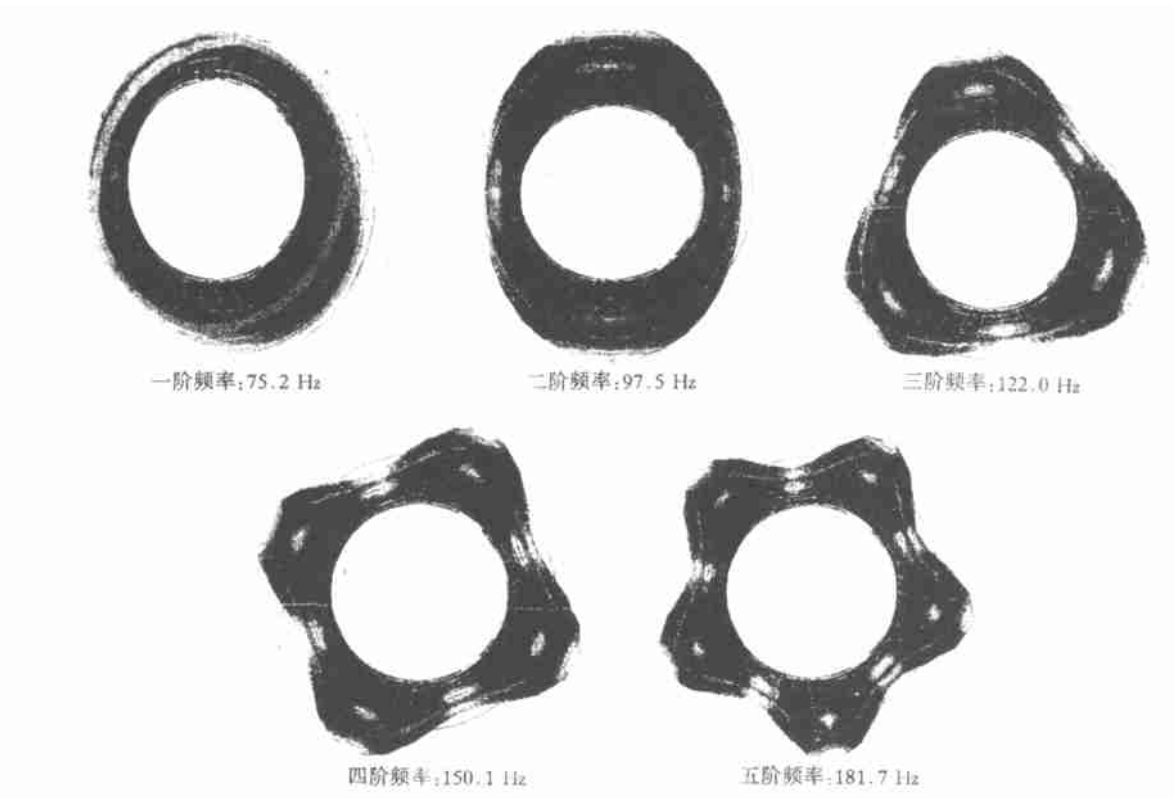


图 3 轮胎前五阶弯曲振动固有频率及振型

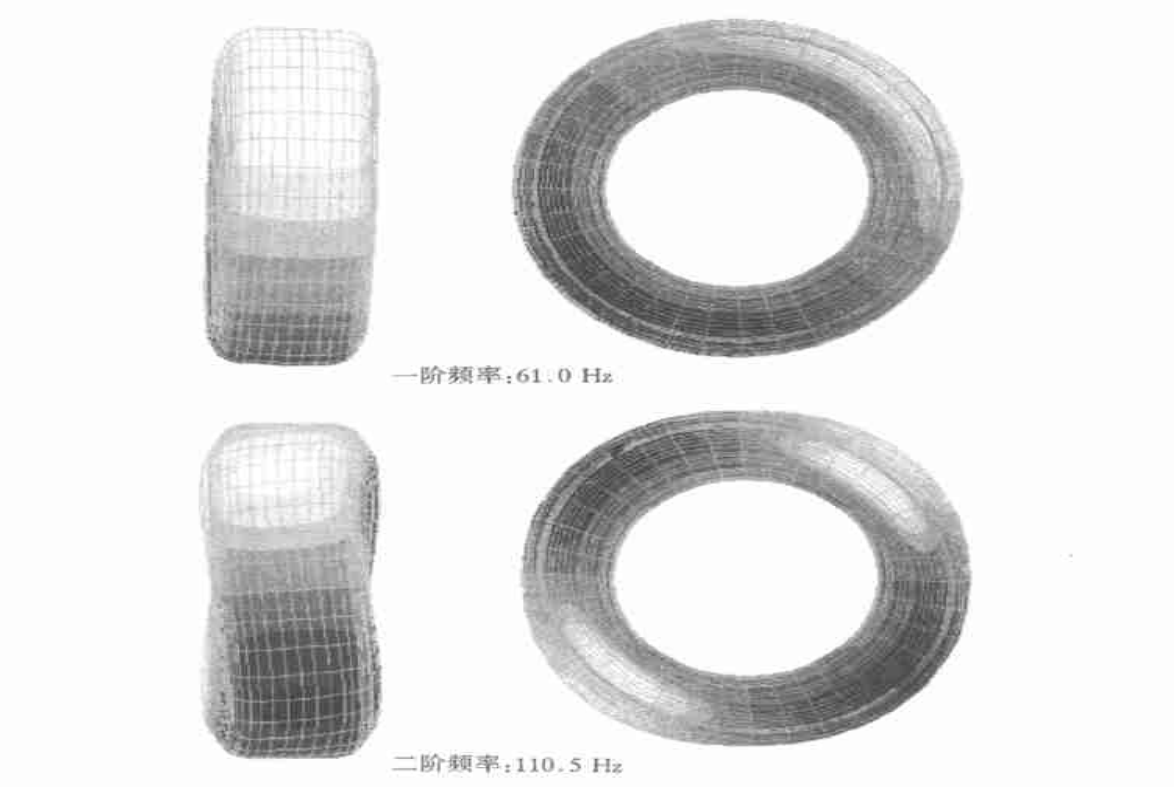


图 4 轮胎前两阶扭转振动固有频率及振型

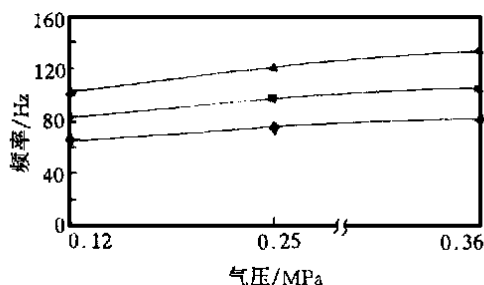


图5 不同气压下轮胎固有频率变化曲线
——一阶; ---二阶; ...三阶

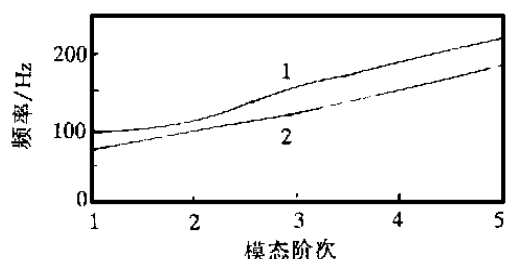


图6 轮胎前五阶弯曲振动固有频率计算结果
与测试结果的比较

1—测试数据;2—计算数据

轮胎有限元模型的精确划分,对计算结果有一定的影响。

(3)材料参数也会影响计算结果。因测试条件不具备,材料参数均采用理论计算值,与实际参数值有一定误差。

4 结语

利用新的有限元方法分析轮胎动态特性有其独到之处,既可求得多阶固有频率及相应振

型,又可相对节省计算时间。本研究得出以下结论:

(1)通过计算轮胎的自由振动,给出了固有频率及相应三维振型。

(2)通过比较可以看出,测试数据与计算数据有很好的 consistency。

(3)计算了不同压力下固有频率的变化情况。在压力允许范围内随压力的增大,固有频率相应提高。

本研究探讨了利用 CAD 和 MARC 软件分析轮胎基本振动的可行性,同实际轮胎的运动情况尚有一定差距。将来的研究包括:轮胎与地面接触条件下的振动分析;低速转动时轮胎的动态分析。

参考文献:

- [1] Chiesa A, Oberto L, Tamburini L. High frequency vibration in tires under vertical perturbation and their transmission to the wheels[J]. Automotive Engineering, 1964, 54:520.
- [2] Tielking J T. Plane vibration characteristics of a pneumatic tire model[J]. SAE, 650492:26.
- [3] Hunckler C J. The dynamic behavior of an automobile tire [D]. West Lafayette, USA: Purdue University, 1979.
- [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] 周 履, 范赋群. 复合材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991. 21-24, 220-267.
- [6] 殷有泉. 固体力学非线性有限元引论[M]. 北京: 北京大学出版社, 清华大学出版社, 1987. 16-22, 172-194.

第 11 届全国轮胎技术研讨会论文

New method of tire modal analysis with FEA

BAI Xiu-rong, WANG Wei-fang, GE Jian-min

[Shanghai Tire & Rubber (Group) Co., Ltd., Shanghai 200072, China]

Abstract: A more complex tridimensional FE model of tire was established to analyse the dynamic properties of tire. Taking the complexity of tire materials into account, the modal analysis of tire was made with the model, and the inherent frequencies and their corresponding vibration types were given. The calculated results were well fitted to the test results. The effect of the inflation pressure on the inherent frequency was also investigated. It was concluded from the test that the inherent frequency raised as the inflation pressure increased up to the permitted value.

Key words: FEA; tire; inherent frequency; vibration type