

履带车辆负重轮轮辋振动模态的有限元分析

于立彪,郑慕侨

(北京理工大学 车辆与交通工程学院,北京 100081)

摘要:考虑到负重轮轮辋结构的复杂性,利用 CAD 建立轮辋断面模型,然后运用 ANSYS 有限元分析软件生成三维模型,采用 Lanczos 算法分析其固有频率和振型,得出了在工程上具有实用价值的有限元分析结果。负重轮轮辋的四阶振动模态的有限元计算频率(Hz)为:一阶 439.87;二阶 606.36;三阶 981.72;四阶 999.90。

关键词:履带车辆;负重轮轮辋;固有频率;模态分析

中图分类号:U463.343 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-8171(2002)09-0528-03

振动是机械系统常见问题之一。由于振动会造成结构疲劳破坏,大部分机械系统都不希望有振动发生,尤其应该避免外力频率和结构固有频率相同而发生共振现象。因此机械结构本身的固有频率是机械结构设计必须了解的特性之一^[1]。负重轮作为履带车辆的主要行动部件,直接承受车体与地面间的静、动载荷,起着支撑车体、缓和冲击以及隔震降噪的作用。它的力学特性对于高速行驶的履带车辆的操纵稳定性、乘坐舒适性以及燃油经济性等都有极为重要的影响。目前对于充气轮胎振动模态分析的研究方法较成熟,成果较多,例如,利用 CAD 和 MARC 软件分析充气轮胎的基本振动^[2];利用振动试验模态分析方法比较新旧子午线轮胎和斜交轮胎的各阶模态固有频率等^[3]。但是很少见到有关履带车辆负重轮振动模态分析的文献资料。ANSYS 作为目前通用的有限元分析软件,在线性振动模态分析方面具有运算速度快、求解精度高等特点。本工作以 ANSYS 软件为工具,以某履带车辆负重轮轮辋为例,建立有限元模型,分析其振动模态,为负重轮轮辋的结构优化设计及整车设计提供参考。

1 建立有限元模型

1.1 基本模型的建立

负重轮轮辋外径 585.5 mm,轮辋厚度 12

mm,轴承孔直径 232 mm,螺栓孔直径 23 mm。考虑到负重轮轮辋结构的复杂性,先在 CAD 系统中生成负重轮轮辋的断面轮廓图,保存为 IGES 格式,然后在 ANSYS 系统中导入该断面模型,根据结构对称性,建模时可只考虑半片轮辋结构,不但能够简化轮辋模型,而且节省大量的计算时间。在前处理器 (/PREP7)中旋转生成半轮辋三维实体模型。

10 节点四面体的 SOLID92 单元属于二阶位移单元,具有优异的适应不规则形状的能力,而且对于不同系统(例如 CAD 或者 CAE)构造的模型都能进行网格划分,因此本研究采用单元 SOLID92 对轮辋进行有限元网格划分,共得到 7 302 个单元和 15 546 个节点。负重轮轮辋三维有限元模型如图 1 所示。

1.2 边界条件

负重轮一般为成对使用,两片为一个负重轮

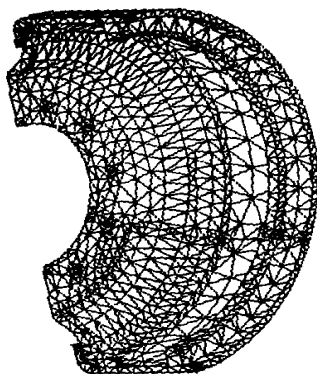


图 1 负重轮轮辋有限元模型

作者简介:于立彪(1971-),男,辽宁鞍山人,现在北京理工大学攻读博士学位,从事轮胎动力学方面的研究。

副,因而轮辋对称面内的节点应施加对称约束,负重轮由均匀分布的 10 个螺栓固定,因此轮辋螺栓孔节点的自由度应全部约束,与另一片负重轮固定接触的轮辋外表面需约束其轴向位移自由度。

1.3 材料特性

本研究的负重轮轮辋为铸钢,在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,密度为 7.8 Mg·m⁻³。

2 模态分析方法

典型的系统振动模态分析基本方程如下:

$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{f(t)\}$ (1)
式中, $[M]$ 是质量矩阵, $[C]$ 是阻尼矩阵, $[K]$ 是系统刚度矩阵, $\{x\}$, $\{\dot{x}\}$ 和 $\{\ddot{x}\}$ 分别为系统位移、速度和加速度矢量。考虑到本文的轮辋模态分析模型为典型的无阻尼系统,轮辋自由振动方程应为:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}$$

该方程的解具有简谐运动形式,即

$$\{x\} = \{\psi\}_i \cos \omega_i t$$
 (3)

式中, $\{\psi\}_i$ 为第 i 阶特征向量, ω_i 为第 i 阶自由振动的圆频率, t 表示时间。

对于任何一阶固有频率 ω_i ,必有相应的特征向量 $\{\psi\}_i$ 满足方程(2),即

$$([K] - \omega_i^2 [M])\{\psi\}_i = \{0\}$$
 (4)

方程(4)具有非零解的唯一条件是其系数行列式等于零,即

$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0$$
 (5)

式(5)是典型的特征值问题方程,可求解 n 个 ω^2 的值以及 n 个 $\{\psi\}_i$ 的特征值,其平方根即是系统的无阻尼固有圆频率 ω_i 。由此可以得到系统的第 i 阶固有频率 f_i ,即

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$$
 (6)

ANSYS 求解方程(5)的方法主要有 Lanczos 法、子空间迭代法、快速动态法和降阶法 4 种。4 种模态分析方法的主要应用范围及区别如表 1 所示^[1]。此类大型工程问题并不对全部特征解都感兴趣,只求部分特征解即可。快速动态法和降阶法可以用来求部分特征解,但不能保证较高的精度;子空间迭代法及 Lanczos 法是针对大型特征问题的有效解法,不仅可保证一定的精度,同时也比较经济;后两者把一些基本方法进行有机的结合,同时也考虑到矩阵 $[K]$ 和 $[M]$ 的特点,使算法进一步简化。而 Lanczos 法虽与子空间迭代法类似,都是向量反迭代法和 R-R 法相结合,但它结合得更巧妙,使计算过程大大简化,以致处理同样的问题比子空间迭代法快 5~10 倍,是一种计算效率更高的求解法,故在对轮辋有限元模态分析中采用 Lanczos 法求解。

表 1 Lanczos 法、子空间迭代法、快速动态法和降阶法对比

特征值求解方法	应用范围	所需内存	所需硬盘空间
Lanczos 法	ANSYS 缺省算法,应用于较大模型,可求解多达 40 阶的模态分析,尤其适用于模型结构较复杂的情况。运算速度较快,精度较高	中	低
子空间法	应用于大型模型,可求解 40 阶以下的模态分析,适用于模型结构比较规则的情况,需要的系统资源较多	低	高
快速动态法	应用于大型模型求解 20 阶以下的模态分析,适用于简单模型。网格粗糙情况下求得的频率误差较小	高	低
降阶法	适用于小型模型,求解精度依赖于主自由度的选择。精度较差	低	低

3 振动模态分析

对负重轮轮辋用 Lanczos 法有限元求解完成后,根据对称性,可由半轮辋振型图生成整体轮辋振型图,其各阶模态的振型如图 2~5 所示。由有限元计算结果可知,负重轮轮辋的四阶振动模态的有限元计算频率(Hz)为:一阶 439.87;二阶 606.36;三阶 981.72;四阶 999.90。

4 结论

- (1) 从所计算的负重轮诸模态看,其频率都很高,负重轮受履带节距不等的激励,会产生高频的小冲击力,当速度为 65 km·h⁻¹ 时最高频率不会超过 100 Hz,因此不可能产生共振。
- (2) 由于负重轮橡胶轮圈具有几何、材料和状态的三重非线性特性,因此对其动力学的分析研

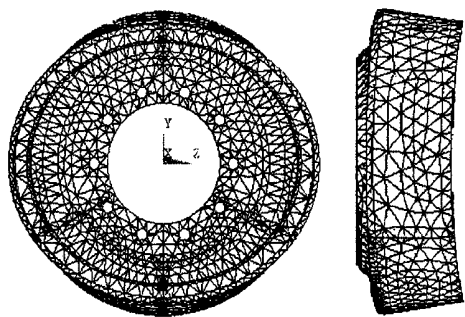


图 2 一阶振型图(439.87 Hz)

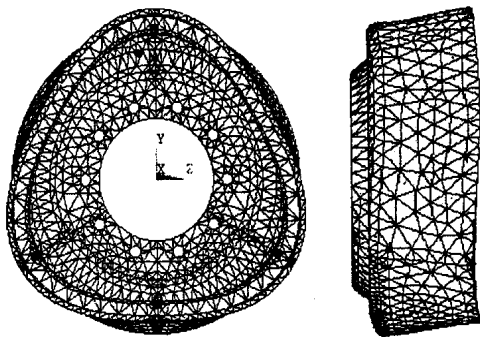


图 4 三阶振型图(981.72 Hz)

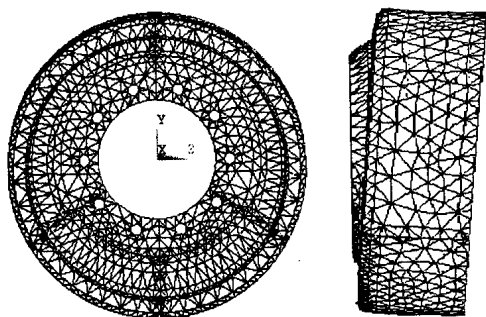


图 3 二阶振型图(606.36 Hz)

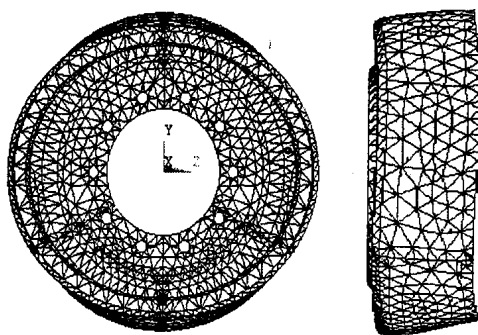


图 5 四阶振型图(999.90 Hz)

究具有相当大的难度。借助于 ANSYS 软件强大的分析功能,可以分析负重轮轮辋的振动模态,得出在工程上具有实用价值的有限元分析结果,对负重轮的优化设计有指导意义。

参考文献:

[1] 陈精一,蔡国忠. 电脑辅助工程分析 ANSYS 使用指南[M].

北京:中国铁道出版社,2001. 94-96.

[2] 白秀荣,王卫防,葛剑敏. 利用有限元进行轮胎模态分析的新方法[J]. 轮胎工业,2001,21(7):401-404.

[3] 储江伟,周 心,刘玉才,等. 汽车轮胎振动实验模态分析[J]. 东北林业大学学报,1999,27(4):67-69.

收稿日期:2002-03-22

山东玲珑橡胶有限公司炼胶网络 控制体系投入运行

中图分类号:T273+.3 文献标识码:D

山东玲珑橡胶有限公司将计算机网络化控制技术和胶料混炼过程结合起来。将生胶、炭黑和其它配合剂的贮存、输送、称量及投料系统的全自动配料控制与技术、质检部门的计算机连接起来,提高了工作效率,减少了人为因素造成的浪费。

炼胶网络控制系统工作流程为:炼胶前操作人员将选定的配方和产量输入主计算机,主计算机根据配方要求调整各原材料设定值、加料顺序和控制方式,按设定值完成称量,并自动向密炼机投料,经一段混炼、二段混炼及冷却挂放后,由技术部门进行物料快检,然后将结果通过网络发到有关部门进行分析。

该系统采用以太网,数据传输准确、快捷。自该系统投入使用后,混炼胶的各项物理性能均比使用前有一定提高。

据财务部门统计,采用网络控制系统炼胶,减少了原来人工搬运所造成的原材料浪费,提高了材料的称量精度,仅此一项创造经济效益 693 万元;产品合格率由原来的 93.6 % 提高到 97.0 %,按每年销售收入 7 亿元计算,每年可创造利润 210 万元;产品产量由原来的 400 万套增至 500 万套,单位成本降低 0.97 元,每年可创造规模效益 97 万元。

该控制系统的投入使用为公司轮胎生产过程中几道工序的计算机自动化控制应用创造了良好的条件,积累了经验。

(山东玲珑橡胶有限公司 王洪涛供稿)