

有限元方法在轮胎转动惯量和胶部件体积计算中的应用

冯希金, 闫福江, 单国玲

(三角轮胎股份有限公司, 山东 威海 264200)

摘要:根据理论力学中关于转动惯量的一般性理论和空间解析几何中关于空间物体体积的计算方法, 运用有限元方法建立轮胎整胎转动惯量和各胶部件体积的数学模型, 并运用面向对象的 Visual Basic 语言编制出轮胎转动惯量和胶部件体积计算软件。计算值与试验结果相差不大。

关键词:有限元方法; 轮胎; 转动惯量; Visual Basic

中图分类号: TQ336.1+1; O241.82 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8171(2005)12-0707-04

轮胎胶部件的体积计算是轮胎新产品开发施工设计的一个重要环节^[1], 涉及轮胎质量的计算, 是制造无缺陷轮胎、降低轮胎成本的关键因素。出于技术保密的原因, 尚没有见到国外在这方面所取得的成果。国内在相关技术领域内的成果也不多见, 最基本的方法是基于胶部件的断面形状, 采用经验公式进行体积计算, 由于胶部件在加工过程中发生断面变形等原因, 计算体积存在一定的误差。同时采用传统方法计算胶部件的体积过程比较复杂, 工作效率不高。

随着汽车工业的发展, 汽车的速度越来越高, 保证汽车在高速状态下的安全性变得越来越重要, 这就需要汽车有比较短的启动和制动时间, 也就是要求汽车能够有比较小的运动惯量。在汽车的整个运动惯量中, 轮胎的转动惯量是一个重要方面, 减小轮胎的转动惯量有助于缩短整车的制动和启动时间, 提高整车的安全性^[2,3]。以前, 由于国内汽车工业技术含量不是很高, 对配套轮胎的要求也仅局限于高速、耐久、动平衡等性能指标, 但是随着中国加入 WTO、国内汽车工业的更新换代和国外汽车企业在国内投资设厂, 今后对配套轮胎的要求将不再限于一般性的指标, 将会提出一些新指标以满足汽车整体的需要, 而轮胎

的转动惯量将是新提指标之一。

关于轮胎转动惯量的计算国内未见相关报道, 国外由于技术保密的原因也未见报道。从理论力学可知, 转动惯量是物体转动惯性大小的一个量度^[4]。轮胎的转动惯量一方面可以通过试验方法进行测量, 但目前尚未见关于测量方法的报道; 另一方面可以通过计算方法得到。由于目前没有相应的测试设备和测试方法, 开发出一套轮胎转动惯量的计算软件显得很有必要。

随着计算机技术和数值计算方法的发展, 有限元方法^[5,6]在工业领域内得到了广泛的应用, 如大型工程构件的受力分析、传热分析及热加工分析等。有限元方法在轮胎力学分析中的应用技术也日趋成熟。另外, 应用有限元方法可以很简单地对轮胎这种由多种材料构成的双曲率壳体的体积进行计算^[7~9]。本课题的目的就是以有限元方法为基础, 采用 Fortran 和 Visual Basic 语言编程技术, 编制胶部件体积和转动惯量的有限元计算软件。可以利用本软件实现胶部件体积的快速、准确计算, 对提高产品质量和工作效率有重要的意义; 运用本软件所提供的转动惯量计算功能, 可以计算出轮胎的转动惯量, 满足汽车配套厂家的要求, 有利于配套市场的开发。

1 技术路线

本课题的技术路线主要分 3 步: 首先是有限

作者简介: 冯希金(1970-), 男, 山东新泰人, 三角轮胎股份有限公司高级工程师, 工学硕士, 主要从事轮胎力学和噪声的研究工作。

元模型的建立,其次是空间实体单元的体积求解,最后是轮胎转动惯量的求解。

三有限元模型的建立是以 CAD 应用为基础并采用哈尔滨工业大学开发的有限元分析软件进行。在 CAD 中打开材料分布图进行二维有限元网格划分,然后采用相关软件把二维有限元网格转化为三维有限元模型,并导出三维模型的节点坐标、单元组成和单元材料属性等信息。

得到三维有限元模型的节点坐标、单元组成和单元材料属性信息后就可以进行单元体积计算。体积计算的核心思想是空间向量混合积的概念^[10]。设有向量 a, b, c , 则 3 个向量的混合积为

$$(a \times b) \cdot c \quad (1)$$

式(1)即为 3 个向量所围成的空间平行六面体的体积。三维有限元模型是由空间平行六面体组成的,只要知道六面体的 3 个基本向量就可以求出其体积;求出各单元的体积后,对各胶部件所属单元进行累加就可以求出各胶部件的体积。

根据各单元体积可以进一步求出轮胎的转动惯量。轮胎的转动惯量等于轮胎内各质点的质量与质点到轮轴垂直距离的平方的乘积之和,由于轮胎是双曲率壳体,同时其内部各层材料的密度不一样,因此其转动惯量不能用解析方法求解,而只能采用有限元方法。在单元体积已知的情况下,求出单元的质量和单元到转轴的距离,就可以求出某个单元对转动轴的转动惯量,将各单元转动惯量求和就可以求出整胎的转动惯量^[4],如图 1 所示。轮胎三维模型如图 2 所示。

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (2)$$

式中, I 为整胎的转动惯量, m_i 和 r_i 分别为单元的质量和单元到转动轴的垂直距离。

从式(2)可以看到,转动惯量不仅与单元的质量有关,而且还与单元到转动轴的垂直距离有关。

2 计算软件的编写和实现

2.1 程序流程

根据确定的技术路线,得到轮胎转动惯量和胶部件体积计算的程序流程如图 3 所示。

根据图 3,运用 Visual Basic 语言编程技术,就可以实现该软件的各种功能。

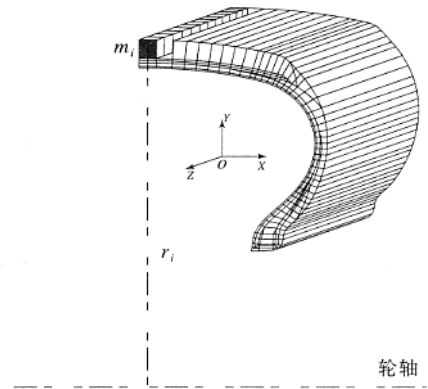


图 1 单元转动惯量示意

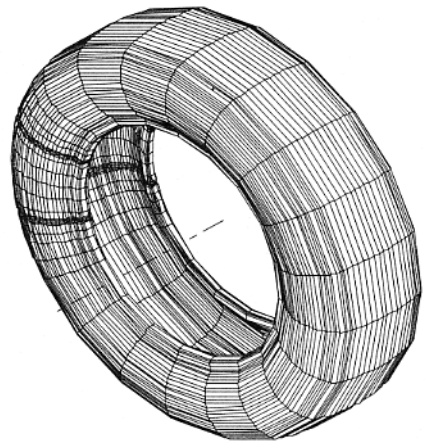


图 2 轮胎三维模型

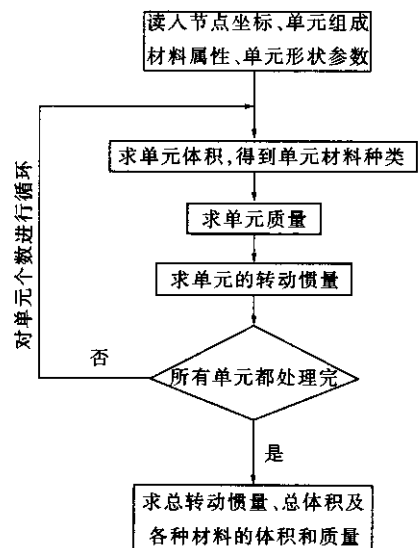


图 3 轮胎转动惯量和胶部件体积计算流程

2.2 程序运行界面

Visual Basic 语言是美国微软公司开发的可

可视化软件开发工具,引入了对象、窗体、过程和事件等面向对象的开发概念,采用事件驱动模型,使软件开发过程简单、方便。运用 Visual Basic 开发的软件具有开发过程简单易学、界面友好、操作性强、完全与操作系统兼容的优点。

本课题采用 Visual Basic 语言开发软件,其程序界面如图 4 所示。

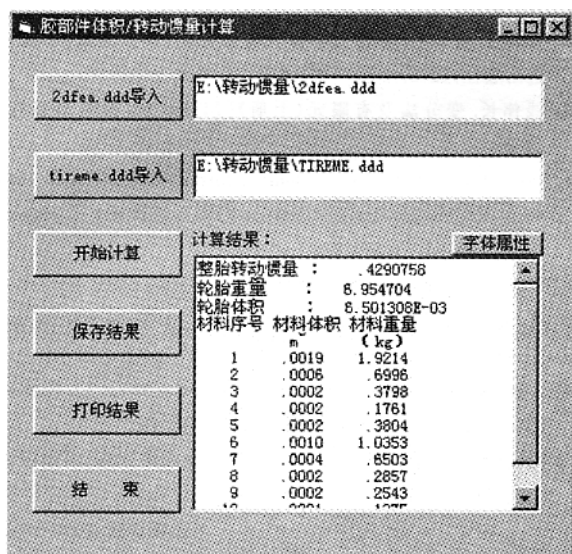


图 4 轮胎转动惯量和胶部件体积计算软件工作界面

3 软件运行过程简介

下面以 165/70R13 轮胎的计算为例进行简要介绍。

3.1 有限元模型的建立

轮胎有限元模型的建立主要是利用哈尔滨工业大学开发的有限元分析前处理软件,将结构设计人员所提供的材料分布图(如图 5 所示)进行有限元网格划分,形成二维有限元模型(如图 6 所示),然后将二维模型进行旋转生成三维有限元模型(如图 2 所示),三维有限元模型生成后将自动生成 tireme.dat 和 2dfea.dat 两个文件,这两个文件中包含三维模型的单元组成及节点坐标等信息,利用这些信息运行转动惯量计算软件,就可以迅速得到轮胎的转动惯量。

3.2 软件运行

软件运行后出现如图 4 所示的界面,鼠标分别点击“2dfea.ddd 导入”按钮和“tireme.ddd 导入”按钮,将出现“打开文件”对话框,从中选取需

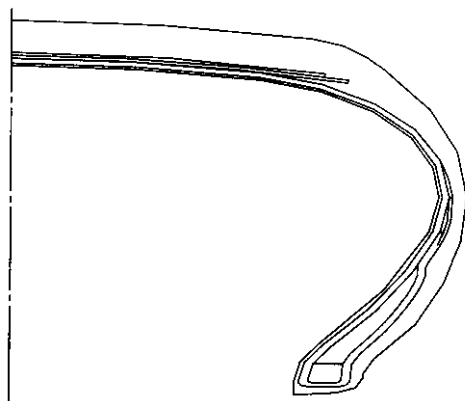


图 5 材料分布

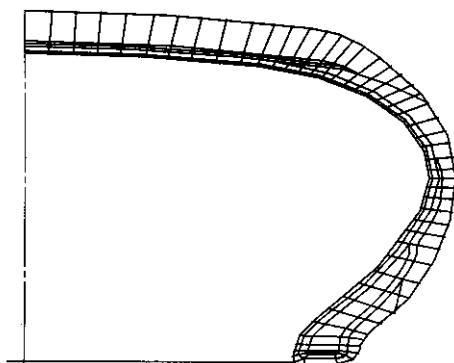


图 6 二维有限元网格划分

要导入的文件。鼠标点击“开始计算”对话框,开始计算,计算结果显示在右下脚的文档编辑框中。分别点击“保存结果”和“打印结果”对话框可以实现对结果的保存和打印功能。

软件运行所需外部文件主要有下述 2 个:

tireme.dat——由有限元分析的前处理程序得到,其中记录了三维有限元模型的节点坐标、单元组成、单元材料属性、形状属性等信息;

2dfea.dat——记录每种材料的密度。

3.3 软件计算结果

可以将屏幕右下脚的文本内容保存为任意文件名,其文本格式为:

转动惯量: $3.592 \text{ 1E-01 kg} \cdot \text{m}^2$
 总质量: 6.291 667 kg
 总体积: $5.313 \text{ 992E-03 m}^3$

165/70R13 轮胎各胶部件的计算结果如表 1 所示,由此可得到轮胎的转动惯量、总质量、总体积及各种胶部件的体积和质量。计算转动惯量为 $0.359 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$,实测值为 $0.342 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$,误差为

表1 165/70R13 轮胎各胶部件参数的计算结果

材料序号	材料体积/m ³	材料质量/kg
1	0.002 0	2.078 5
2	0.000 6	0.742 1
3	0.000 2	0.379 8
4	0.000 2	0.189 6
5	0.000 2	0.380 4
6	0.001 0	1.040 2
7	0.000 4	0.650 3
8	0.000 2	0.320 0
9	0.000 2	0.290 3
10	0.000 1	0.137 5
11	0.000 1	0.082 8

5.03%; 计算质量为 6.29 kg, 比实际质量 6.39 kg 略小, 误差在 1.5% 左右; 计算体积为 5 313.99 cm³, 实测值为 5 215.3 cm³, 误差为 1.8%。

4 结语

运用该软件可以计算轮胎的转动惯量、总质量、总体积及各组成材料的体积和质量等信息, 计算结果与实测结果相差不大。由于有限元模型中没有考虑花纹沟, 因此计算得到的转动惯量比实际转动惯量略大, 今后在进行转动惯量的计算时应该在模型中把花纹的纵沟考虑进去, 这样可以

使计算结果误差更小。

参考文献:

- [1] 郑正仁, 黄崇期. 汽车轮胎制造与测试[M]. 北京: 化学工业出版社, 1979.
- [2] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.
- [3] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春: 吉林工业大学出版社, 1991.
- [4] 肖家鑫. 理论力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [5] 张允真, 黄富新. 弹性力学及其有限元法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [6] 钱伟长. 变分法及有限元(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [7] Wu B G, Du X W. Finite element formulation of radial tires with variable constraint condition[J]. Computers & Structure, 1995, 55(5): 871-875.
- [8] Ridhal R A. Computation of stresses, strains and deformation of finite element analysis in tire design[J]. Tires Science and Technology, 1988, 16(2): 96-117.
- [9] Akasaka T. Structural mechanics of radial tires[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1987, 15(1): 3-29.
- [10] 同济大学数学教研室. 高等数学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992. 393-405.

收稿日期: 2005-07-09

Application of FEM in calculation of tire turning inertia and rubber component volumes

FENG Xi-jin, YAN Fu-jiang, SHAN Guo-ling

(Triangle Tire Co., Ltd, Weihai 264200, China)

Abstract: Based on the general theory about the turning inertia in theoretic mechanics and the calculation of the space subject volume in analytic geometry, a mathematic model of the tire turning inertia and the rubber component volumes was established with FEM, and a software for calculating the tire turning inertia and the rubber component volumes was established with FEM, and a software for calculating the tire turning inertia and the rubber component volumes was edited with Visual Basic language aiming at the object. The calculated result was well in accordance with the test result.

Keywords: FEM; tire; turning inertia; Visual Basic language

“十一五”中部地区再修 34 万 km 农村公路

中图分类号: U412.1+2 文献标识码: D

国务院通过的《农村公路建设规划》指出, “十一五”期间, 农村公路是建设重点, 全国总建设规

模为 90 万 km 左右, 总投资约 2 500 亿元, 其中中央直接投资 1 000 亿元用于在河南中部地区修建 34 万 km 公路。这些项目建成后, 河南等中部地区所有具备条件的建制村都将通沥青、水泥路。

(摘自《中国汽车报》, 2005-10-31)