

全地形轮胎结构设计的有限元分析

陈荣超

(中策橡胶集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 基于26×8-14全地形轮胎的结构设计, 运用Abaqus有限元软件建立非线性有限元模型, 并设定工况分析轮胎的充气三维轮廓及轮胎接地印痕和径向刚度。经样胎实际测试结果验证, 采用有限元进行轮胎结构预期分析高效、方便、结果准确, 对轮胎研发十分有价值。

关键词: 全地形轮胎; 有限元分析; 结构设计

中图分类号: U463.341⁺.3/.6; TQ336.1; O241.82

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2019)02-0077-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2019.02.0077

全地形车辆轮胎(All Terrain Vehicle Tire)俗称ATV轮胎, 能在草地、林道、溪流、河床、沙滩甚至沙漠等恶劣条件下作业, 堪称全能。不同的路面条件, 需要采用不同的充气压力, 且竞技和休闲类又不同, ATV轮胎结构设计要解决的是一个非常复杂的工程问题。有限元分析利用数值分析近似求解轮胎负荷工况, 不仅精度高, 而且能适应各种条件^[1-3], 对ATV轮胎来说是一种非常高效的工程分析方法。

本工作基于26×8-14 ATV轮胎的结构设计, 运用Abaqus有限元软件建立非线性有限元模型, 并设定工况分析轮胎的充气三维轮廓及轮胎接地印痕和径向刚性。

1 有限元模型的建立

1.1 材料模型

轮胎橡胶非线性材料可近似用应变势能来表达应力-应变关系模型, 多项式模型方程[见式(1)]的参数需要反复多次试验得出, 单轴拉伸方法相对高效且成本低。

$$U = \sum_{i+j=1}^N C_{ij}(\bar{I}_1 - 3)^i(\bar{I}_2 - 3)^j + \sum_{i=0}^N \frac{1}{D_i}(J_e - 1)^{2i} \quad (1)$$

式中 U ——应变势能;

N ——多项式阶数;

作者简介: 陈荣超(1984—), 男, 安徽当涂人, 中策橡胶集团有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎研发、结构设计、CAE应用研究等工作。

E-mail: chenrongc06@aliyun.com

C_{ij} ——剪切特性;

$\bar{I}_1$ 和 $\bar{I}_2$ ——变形度量;

D_i ——可压缩性;

J_e ——弹性体积比。

假定轮胎橡胶材料各向同性且不可压缩, 根据单轴拉伸试验不同预应变范围分别选择以下3种本构模型。

一般应变不超过40%时, 选择Neo-Hookean模型方程:

$$U = C_{10}(\bar{I}_1 - 3)$$

一般应变处于100%左右时, 选择Mooney-Rivlin模型方程:

$$U = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{01}(\bar{I}_2 - 3)$$

一般应变高于150%时, 选择Yeoh模型方程:

$$U = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{20}(\bar{I}_1 - 3)^2 + C_{30}(\bar{I}_1 - 3)^3$$

Abaqus有限元软件自带的材料模块评估工具可直接导入单轴拉伸试验数据, 应用最小二乘法拟合十分方便高效。

轮胎胎体帘线层材料采用rebar复合材料壳单元模拟。钢丝圈近似为各向同性的线性弹性材料, 通过密度、弹性模量和泊松比来定义。这里需要注意参数量纲的统一, Abaqus中输入量值的时候没有单位, 采用国际单位制时长度单位为mm、力单位为N、质量单位为t、时间单位为s、应力单位为MPa、能量单位为mJ、密度单位为 $t \cdot mm^{-3}$ 。

1.2 几何模型

26×8-14 ATV轮胎有限元分析模型建立时其几何模型以结构设计的模具参数为基准。

Abaqus软件自带几何模型建立工具,同时也能从CAD软件、UG三维软件导入模型,为了方便高效地参数化建立几何模型,通常几种工具一起使用。

首先通过CAD对轮胎轮廓进行草图设计并快速网格分区,导入Abaqus软件中比对网格单元质量,如图1所示。网格的精细程度依据分析目的、效率、精准度要求而定,单元越精细数量越多,所耗费的计算机资源也就越多,如何最佳平衡是一个困难的抉择。草图确认后导入UG软件进行三维实体模型建立,包含花纹的构建,如图2所示。三维实体花纹需要花费较多的工时,随着三维软件技术的进步,轮胎花纹复杂曲面构建效率越来越高,UG软件建立轮胎三维模型后可较准确地分析出轮胎的各部分体积和质量,三维轮胎几何参数可直接导入有限元分析模型。

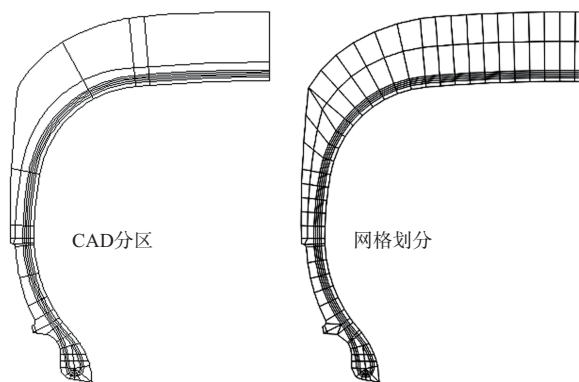


图1 CAD分区及网格划分示意

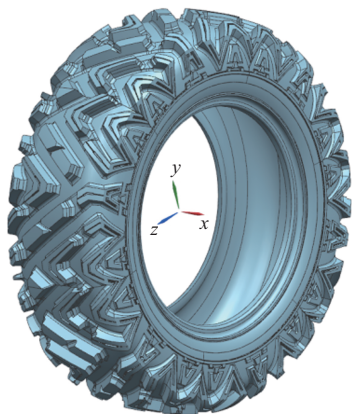


图2 UG软件建立轮胎三维模型示意

2 结果与讨论

2.1 充气三维轮廓

26×8-14 ATV轮胎的花纹较深且稀疏,花纹饱和度约为30%,二维轴对称几何模型近似或者忽视花纹沟对准确性的影响,同时为了避免其他性能分析的重复建模,本研究直接采用三维模型分析。充气轮廓分析的重点在于求解轮胎在充气状态负荷条件下的静态尺寸,为了减小计算量,快速得到结果,划分网格大小约为3 mm,模型共有44 250个单元。设定边界条件,在胎圈部位与解析轮辋部件非线性接触,约束关系在接触面上采用库仑摩擦模型,摩擦因数按照有润滑取值0.06,近似参照轮胎装配涂抹润滑剂时的状态。径向负荷为零、充气压力0.055 MPa按照分步线性加载即可,单元格数较多可将增量步最小步长设定为 10^{-5} ,最大增量步数设定为 10^3 。

26×8-14 ATV轮胎的三维充气轮廓有限元分析结果如图3所示。此分析结果中外轮廓只求尺寸,以便分析是否满足标准或者客户要求。内轮廓则需分析应力分布,不同区域颜色由蓝色到红色显示,红色区域应力最高,蓝色则最低,以便调整结构改善轮胎的耐久性能。

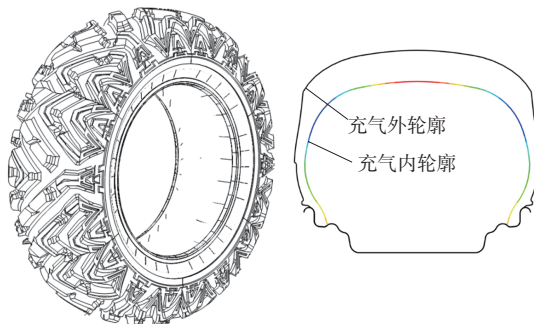


图3 26×8-14 ATV轮胎三维充气轮廓有限元分析结果

26×8-14 ATV轮胎有限元分析结果与实际测量结果对比见表1。

从表1可以看出,通过有限元分析的结构设计轮廓准确有效,先期评估对结构设计十分有意义,能够提升开发成功率。

2.2 接地印痕和径向刚度

设计26×8-14 ATV轮胎结构时,客户提出一个硬性指标,即专业车手评测该轮胎的抓着力性能

表1 有限元分析结果与实际测量结果对比 mm			
项 目	实测值	分析值	设定目标
充气外直径	658.1	657.0	660.4
充气断面宽	208.5	206.5	204.0
行驶面宽度	195.4	196.7	196.0
胎肩高度	—	36.2	—
行驶面弧度半径	260	265	—

注：测试轮胎为AT7.0，充气压力为55 kPa，测试温度为18~36 ℃。

不能弱于26×9—12规格类似花纹轮胎。抓着性能离不开轮胎接地情况，参数化描述径向负荷下的接地印痕是有限元分析的强项。花纹接地面的网格大小约为1 mm，增加接地面单元数量可以提升分析精度。给地面一个沿着轮胎径向且垂直轮胎轴线方向的位移，位移终止条件为达到设定的轮胎负荷1 368 N。轮胎花纹面与地面非线性接触，约束关系在接触面上依然采用库仑摩擦模型，通常实际轮胎与试验机平板有固定的摩擦因数，由于有印痕拓印纸或者压力感应膜介入，摩擦因数按照0.3~0.8范围比对取值。

有限元分析能够非常方便地求解不同负荷条件下轮胎的接地印痕。26×8—14 ATV轮胎接地印痕如图4所示。26×9—12和26×8—14 ATV轮胎接地参数有限元分析结果如表2所示。从表2可以看出，与26×9—12轮胎相比，26×8—14 ATV轮胎有限元分析数据有效且预期能满足客户要求，可以按照有限元分析模型的结构参数进行设计。

径向刚度描述的是单位垂直下沉量改变所对应负荷改变的大小。为了更好地适配车辆，达到较好的评测结果，另按照充气压力为150 kPa、负荷为1 753 N条件分析26×8—14 ATV轮胎的径向刚度，结果如图5所示（随样胎发送给配套厂以供调校车辆减震参考），图中 R^2 为相关因数， R^2 越接近

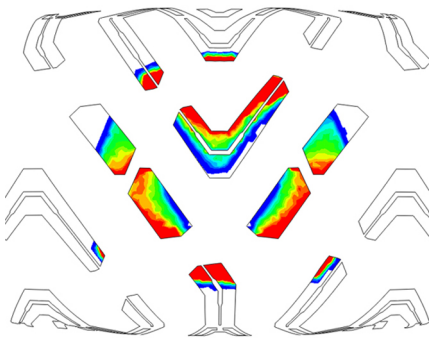
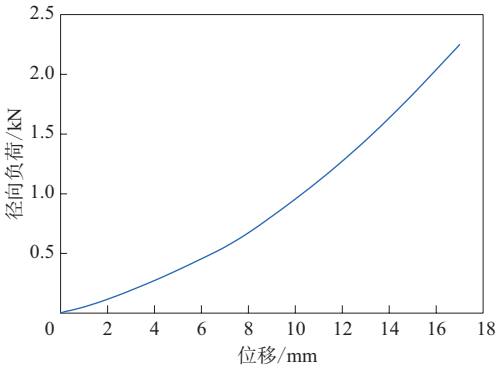


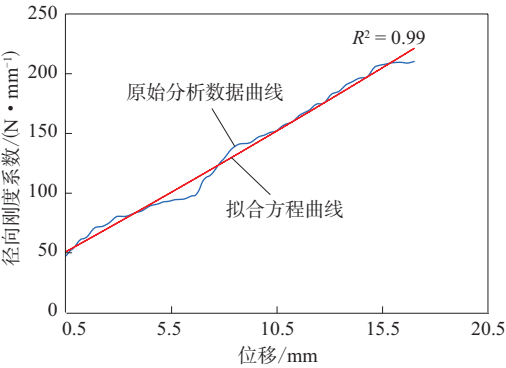
图4 26×8—14 ATV轮胎接地印痕

表2 26×9—12和26×8—14 ATV轮胎接地参数有限元分析结果及实测结果			
项 目	有限元分析结果		实测结果
	26×8—14	26×9—12	26×9—12
测试负荷/kg	140	140	140
轮胎下沉量/mm	20.0	20.5	22.5
花纹块接地面积/cm ²	38.02	35.77	37.05
最大接地长度/cm	14.85	14.52	14.95
最大接地宽度/cm	15.37	14.63	15.02
硬度因数	8.2	7.1	6.9
接地因数	1.0	1.0	1.0

注：同表1。



(a) 径向负荷-位移



(b) 径向刚度系数-位移

图5 26×8—14 ATV轮胎的径向刚度有限元分析结果1说明拟合越好。样胎经专业车手实际测试表明，轮胎的抓着性能通过评价，与预期一致。有限元分析缩短了轮胎的开发周期，数据化预期给结构设计提供了有价值的参考。

3 结论

(1) 基于单轴拉伸试验，轮胎材料采用多项式本构模型，运用Abaqus有限元软件同时结合CAD和UG软件等工具建立轮胎有限元分析模型是准确高效的。

(2) ATV轮胎的结构设计中,采用非线性有限元分析轮胎充气轮廓结果准确,先期评估可以提升研发成功率,十分有意义。

(3) 全地形轮胎的结构设计中,采用非线性有限元分析轮胎接地印痕和径向刚度,参数化评价有效,达到了客户的要求,为结构设计提供了有价值的参考。

参考文献:

- [1] Gent A N, Walter J D. The Pneumatic Tire[R]. The National Highway Traffic Safety Administration, 2005: 28-184.
- [2] 曹金凤, 石亦平. ABAQUS有限元分析常见问题解答[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [3] 王国林, 周浩, 梁晨, 等. 外轮廓和结构参数对载重子午线轮胎疲劳寿命的影响[J]. 橡胶工业, 2017, 64(5): 290-294.

收稿日期: 2018-09-12

Finite Element Analysis of Structure Design on All Terrain Vehicle Tire

CHEN Rongchao

(Zhongce Rubber Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: Based on the structure design of $26 \times 8-14$ all terrain vehicle tire, a non-linear finite element model was established by using Abaqus finite element software, and the inflated three-dimensional contour of the tire, the contact footprint and the radial stiffness of the tire were analyzed under given working conditions. The actual test results of the sample tire showed that, the finite element method of tire structure analysis was efficient, convenient and accurate, which was very valuable for tire development.

Key words: all terrain vehicle tire; finite element analysis; structure design

低锌橡胶硫化活性剂通过鉴定

科迈化工股份有限公司(以下简称科迈公司)的控股子公司科迈新材料有限公司与常州大学联合开发的新型微纳态、超分散、低锌橡胶硫化活性剂通过中国石油和化学工业联合会组织的新产品鉴定。

由中国工程院院士张全兴担任主任的鉴定委员会专家组听取了项目组的技术汇报,认为该项目产品属国内外首创,技术成果达到国际先进水平,一致同意通过鉴定,并建议进一步扩大生产规模,满足国内外市场需求。

氧化锌是橡胶硫化最重要的硫化活化剂,目前年使用规模逾120万t。但橡胶轮胎所消耗的锌不可回收,其对环境的危害日益凸显,欧美已出台相关的限锌法规。减小轮胎中的锌含量乃至开发新型硫化活性剂,已成为全球橡胶轮胎行业重要的研发课题。

该项目基于科迈特独创的种子沉积法和原位反应专利技术,创造性地使用超声波和浆料喷射组合实用新型专利技术,制备了一种新型微纳态、超分散、低锌橡胶硫化活性剂——SupznTM产品。

国内大型轮胎企业应用表明,该活性剂由于特殊的配位聚合体大分子插层包覆结构能明显改善与橡胶的相容性,更有利于其在胶料中的分散;该活性剂等量替代传统氧化锌时,锌含量显著减小,同时橡胶综合加工成本降低。这种新型橡胶硫化活性剂能满足不同种类橡胶的硫化活性需要,为行业提供了适用的减锌方案。

据悉,该产品生产技术已申请专利28项,授权17项,目前建成万吨级产能的微纳低锌橡胶硫化活性剂工业生产装置,更大规模的装置正在规划筹建中。

张全兴院士认为,该项目在环境保护方面的意义重大,具有很好的创新性。从原料到成品都能为节约资源特别是锌资源作出巨大贡献,同时全制程工艺绿色、环保、节能、低碳,是典型的清洁生产工艺。

科迈公司相关负责人表示,该项目是科迈公司转型升级的重要战略部署,今后公司将在此基础上加大投入,开发系列新型微纳态配位聚合物的产品及应用,助力绿色轮胎发展。

(摘自《中国化工报》,2018-12-19)