

子午线轮胎成型过程有限元仿真分析

王国林¹, 张 建², 朱美林¹, 杜小伟¹, 安登峰³

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 江苏科技大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212003; 3. 风神轮胎股份有限公司, 河南 焦作 454003)

摘要:利用 ABAQUS 软件对 12.00R20 全钢载重子午线轮胎的成型过程进行有限元模拟。采用 Marlow 模型模拟生胶的力学性能, Rebar 单元模拟钢丝帘线对橡胶的加强作用, 解析刚体模拟成型机的主鼓和辅助鼓, 分析轮胎成型过程中橡胶部件的贴合工艺和胎坯的成型过程。结果表明, 模拟结果与理论设计轮胎结构具有良好的一致性, 可以为生产工艺设计提供指导。

关键词:子午线轮胎; 成型过程; 有限元分析

中图分类号:U463.341⁺.6; O241.82 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2012)06-0352-05

子午线轮胎使用性能优异, 但由于结构上的特点, 加工过程中质量控制决定了轮胎的品质。子午线轮胎生产除了要求工艺设备配套、轮胎结构设计合理和胶料性能优异外, 工艺因素也很重要。在轮胎成型过程中可能会出现许多缺陷, 如成型时半成品部件有气泡、胎圈隆起及胎面边部和接头没有压实等^[1]。轮胎成型过程有限元仿真可以及时发现这些缺陷, 改进和优化设计方案, 指导工艺生产, 从而提高轮胎生产质量, 降低研发成本, 缩短开发周期。

子午线轮胎成型有限元仿真是一种大位移、大转动及大应变的非线性有限元分析过程, 需要充分考虑由轮胎部件大变形引起的几何非线性、材料性能非线性和各部件之间接触非线性等难点。目前人们对胎坯形状变化, 应力、应变以及成型过程中其他参数的变化还没有进行充分研究。

子午线轮胎成型是在成型机上将胎面、缓冲层、帘布和钢丝圈等部件按照施工标准依次贴合组成胎坯的工艺过程。子午线轮胎成型分为一次法和二次法两种方式^[2]。目前国际上以采用一次法成型较多, 因为一次法成型质量较好, 特别是用于全钢载重子午线轮胎更为适合, 因此本研究采用有限元法模拟轮胎一次法成型过程。

基金项目:高等学校博士点基金项目(20070299006); 江苏省六大人才高峰项目(07D019)

作者简介:王国林(1965—), 男, 吉林伊通人, 江苏大学教授, 博士, 主要从事现代汽车轮胎技术研究工作。

1 轮胎部件几何形状

本工作以 12.00R20 全钢载重子午线轮胎为研究对象, 成品轮胎如图 1 所示。



图 1 12.00R20 全钢载重子午线轮胎

在成型前应确定轮胎各部件的尺寸和相对位置, 如图 2 所示。这些参数可以通过轮胎施工表得到。成型过程中, 带束层、胎体帘布层、加强层

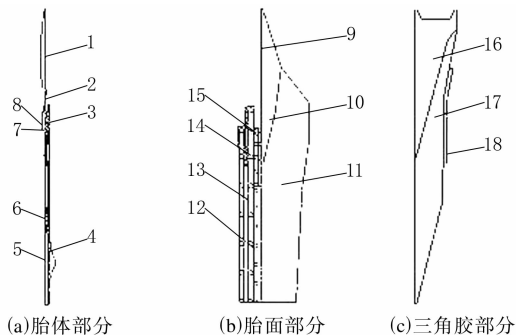


图 2 12.00R20 全钢载重子午线轮胎部件

和胎肩垫胶等部件依次贴合。根据一次法成型特点,将轮胎部件分为三部分:胎体部分包括胎侧、型胶、胎体、胎肩垫胶、下内衬层、上内衬层、加强层和耐磨胶(对应图2中序号1~8);胎冠部分包括胶条、下胎面胶、胎冠、1~3°带束层、0°带束层(对应图2中序号9~15);三角胶部分包括下三角胶、上三角胶和胶片(对应图2中序号16~18)。

2 橡胶材料本构关系

橡胶作为一种典型的粘弹性材料,其本构关系非常复杂。在大量试验的基础上,人们基于橡胶材料的唯象理论建立了很多理论模型来描述橡胶的力学特性,如多项式本构模型和 Ogden 模型。后来又出现了基于热力学统计原理的模型。经过比较分析,本研究采用 Marlow 本构模型模拟未硫化橡胶,其应变能密度(U)计算公式为

$$U = U_d(I_1) + U_v(J_e) \quad (1)$$

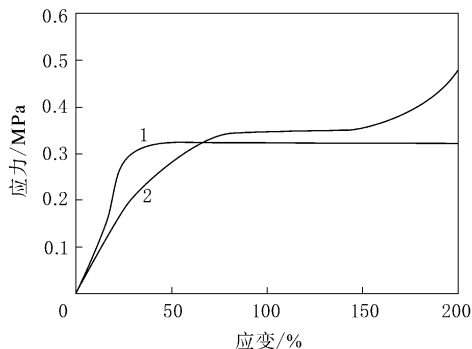
式中, U_d 为应变偏量能; I_1 为第一不变量, $I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2$ (λ_1, λ_2 和 λ_3 为 3 个主伸长率); U_v 为体积应变能, J_e 为弹性体积率。

应变偏量能由单轴拉伸、双轴拉伸或平面剪切试验得到,体积应变能由体积试验和定义泊松比等方法得到。本研究假设橡胶为近似不可压缩材料以确定体积应变能,采用单轴拉伸试验确定应变偏量能。利用 ABAQUS 软件中 Marlow 本构模型拟合生胶单轴拉伸试验数据得到的曲线如图3所示。当应变在 150% 以下时,拟合曲线和试验结果具有良好的一致性。在轮胎成型过程中胶料的应变值小于 150%,因此本研究选择 Marlow 本构模型模拟生胶的力学性能。

3 有限元模型建立

3.1 单元选择

在轮胎成型过程中,轮胎模型几何形状和边界条件是轴对称的,而且帘线的铺设形式也是轴对称的,因此将轮胎简化为二维轴对称模型进行模拟。受带束层和加强层帘线端点的影响,轮胎会绕着旋转轴扭转变形,因此选择带扭转的四边形轴对称单元(CGAX4H)和三角形轴对称单元(CGAX3H)^[3-7]。



1—试验;2—模拟。

图3 试验与 Marlow 本构模型拟合对比

3.2 橡胶-帘线复合材料模型建立

对于橡胶-帘线复合材料,目前有两种定义方式,一种是采用复合材料模型,另一种是采用 Rebar 模型。通过对比分析,Rebar 模型精度优于复合材料模型^[8-9],因此本研究采用 Rebar 模型。

3.3 接触模拟

轮胎部件与成型机及各部件之间的接触属性采用直接约束法进行描述。分析过程中,将成型机主毂和辅助毂定义为轴对称解析刚体^[7,9]。

4 轮胎成型过程模拟

根据全钢载重子午线轮胎的成型工艺可知,成型过程主要包括成型机辅助毂上胎冠部分的贴合、成型机主毂上胎体部分的贴合、三角胶部分的翻转及成型机主毂上胎坯的成型。

4.1 胎体部分贴合

模拟胎侧、型胶、胎体、胎肩垫胶、耐磨胶、加强层、上内衬层和下内衬层部件在成型机主毂上的贴合过程,如图4(a)所示。贴合后的胎体部分部件如图4(b)所示。

4.2 胎冠部分贴合

模拟胶条、下胎面胶、胎冠、0°带束层和1~



图4 胎体部分部件的贴合过程模拟

3[#]带束层部件在成型机辅助鼓上的贴合过程,如图5(a)所示。贴合后的胎冠部分部件如图5(b)所示。



图5 胎冠部分部件的贴合过程模拟

4.3 三角胶部分翻转

模拟下三角胶、上三角胶和胶片整体向外翻转90°,如图6(a)所示。翻转后的三角胶部分部件如图6(b)所示。

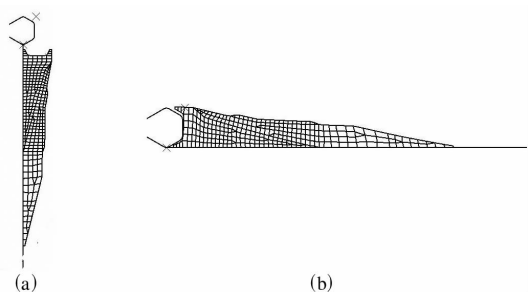


图6 三角胶部分部件的翻转过程模拟

4.4 胎坯成型

模拟成型机主鼓上胎坯的成型过程。为了使模拟结果与成品轮胎具有可比性,从而更好地指导轮胎结构设计和工艺改进,尽量使胎坯外轮廓接近理论设计外轮廓。

4.4.1 载荷工况

根据轮胎实际成型工艺,将成型过程的模拟分为充气、胎侧翻边和最终成型3种工况。

(1)充气工况:在内衬层表面施加与成型机上气压值相等的压力。

(2)胎侧翻边工况:轮胎成型过程胎侧运动非常复杂,严格模拟其边界条件非常困难,因此必须采取一系列等效边界条件模拟这一过程。

(3)最终成型工况:在第2步工况的基础上,使模拟结果与理论设计轮胎外轮廓一致。

4.4.2 模拟结果

成型机主鼓上轮胎的成型过程如图7所示。

从图7(a)开始,图7(b)为充气工况模拟,图7(c)~(e)为胎侧翻边工况模拟,图7(f)为最终成型工况的模拟结果。

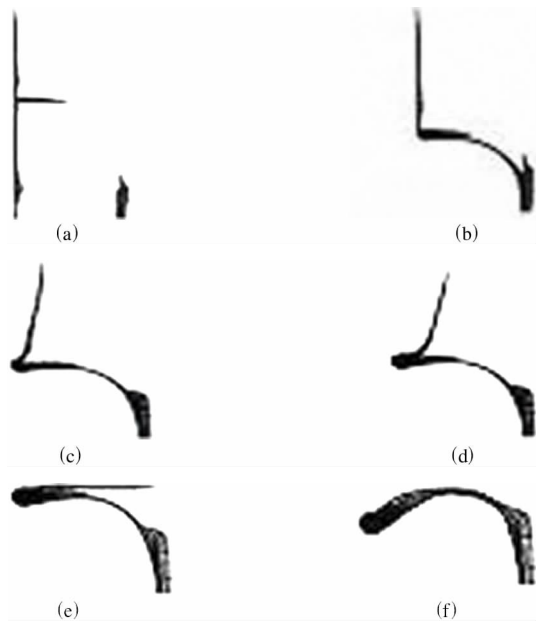


图7 轮胎成型工艺过程模拟

4.5 模拟结果与理论设计结构对比

模拟结果与理论设计结构的对比分析如图8所示。对比可见,胎冠、胎侧、胎体和三角胶部分的模拟结果与理论设计具有良好的一致性,耐磨胶部件处的模拟结果与理论设计具有一定差异,其主要原因在于本研究所模拟的仅是轮胎的成型过程,而在后期硫化过程中胶料还具有一定的流动性。

另外还发现,轮胎模拟结果中存在胎肩区脱层现象,这是轮胎成型前部件设计不合理造成的,需要调整轮胎部件的形状,使模拟结果尽量逼近理论设计结构,从而提高轮胎的生产质量。

5 结语

采用有限元分析方法成功地模拟了子午线轮胎的成型过程,可以为轮胎成型工艺设计和胶料的口型设计提供指导,对降低新产品的研发成本、缩短研发时间具有重要意义。

参考文献:

- [1] 俞洪. 子午线轮胎结构设计与制造技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

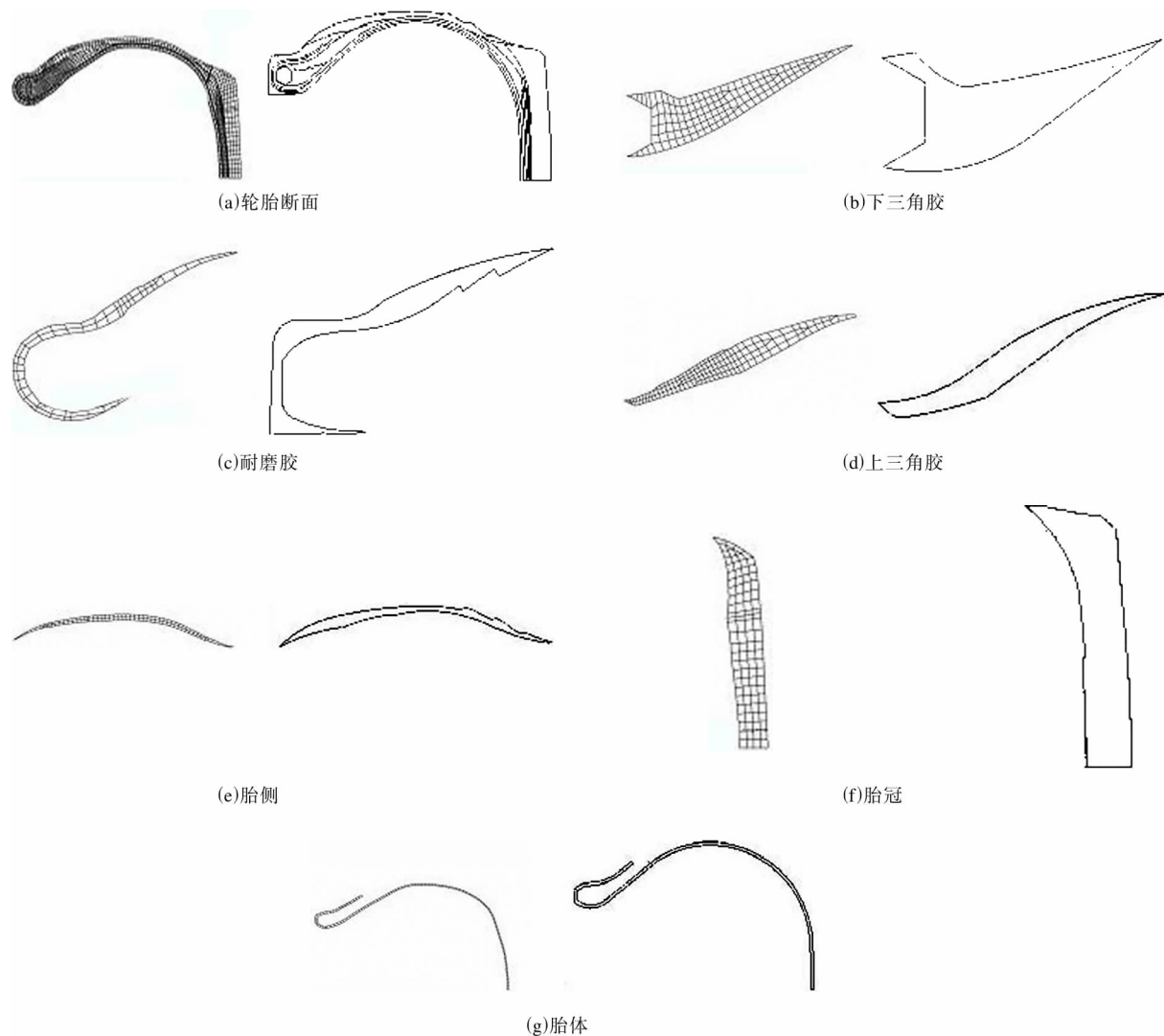


图 8 模拟结果(左)与理论设计结构(右)对比

- [2] 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1995.
- [3] Hibbitt, Karlsson & Sorensen Inc. ABAQUS/Standard 有限元软件入门指南[M]. 庄茁,等,译. 北京:清华大学出版社,1998.
- [4] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [5] 宋天霞. 非线性结构有限元计算[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1996.
- [6] 薛小香,姚振汉,李鹏,等. 子午线轮胎的轴对称非线性有限

元分析[J]. 橡胶工业,2003,50(5):292-297.

- [7] 庄茁,张帆,岑松,等. ABAQUS 非线性有限元分析与实例[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [8] 陈芳. 基于 REBAR 单元的载重子午胎有限元分析[D]. 镇江:江苏大学,2007.
- [9] ABAQUS Inc. ABAQUS 6.9. Theory Manual[M]. Pawtucket, RI, USA; ABAQUS Inc., 2003.

收稿日期:2011-12-25

Finite Element Simulation and Analysis of Radial Tire Building Process

WANG Guo-lin¹, ZHANG Jian², ZHU Mei-lin¹, DU Xiao-wei¹, AN Deng-feng³

(1. Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China; 3. Aeolus Tire Co., Ltd, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: The building process of 12.00R20 radial tire was simulated by using ABAQUS soft-

ware. The mechanical behavior of raw rubber was described by Marlow model, Rebar elements were used to model steel wire in the rubber, and Hubs of tire building machine were simplified by using analytical rigid bodies. The bonding process of rubber parts and building process of green tire were simulated and analyzed. The simulated results had good accordance with theoretical design, and could be used to guide manufacturing process design.

Key words: radial tire; building process; finite element analysis

具有抗黄变效能的镍系聚丁二烯橡胶 复合防老剂

中图分类号: TQ330.38⁺2 文献标志码: D

由江苏工业学院申请的专利(公开号 CN 101798405A, 公开日期 2010-08-11)“具有抗黄变效能的镍系聚丁二烯橡胶复合防老剂”, 涉及的复合防老剂由1种双酚单羧酸酯类抗氧化剂、1种亚磷酸酯类抗氧化剂与1种含硫类抗氧化剂为原料制成, 双酚单羧酸酯类抗氧化剂、亚磷酸酯类抗氧化剂与含硫类抗氧化剂的质量比为1:(0.3~0.5):(0.6~1.2)。该防老剂产品添加到镍系聚丁二烯橡胶中可得到1种有效的防老化组成物, 所添加防老剂占干胶的质量分数为0.002~0.006。使用该复合防老剂的镍系聚丁二烯橡胶具有良好的耐老化性能和抗黄变性能。

(本刊编辑部 马 晓)

高温耐储存的废橡胶粉改性 沥青的制备方法

中图分类号: TQ321.3 文献标志码: D

由江苏宝利沥青股份有限公司申请的专利(公开号 CN 101805524A, 公开日期 2010-08-18)“高温耐储存的废橡胶粉改性沥青的制备方法”, 涉及的废胶粉改性沥青的制备方法包括以下工艺步骤: ①将60~70份废胶粉和30~40份回收聚乙烯混合均匀, 在双螺杆挤出机中挤出制备橡胶/塑料共混母料, 挤出后通过切粒机造粒得到橡塑共混相容剂; ②将15~25份废胶粉加入到75~85份道路石油沥青中, 搅拌溶胀0.5~2 h后加入3~10份采用步骤一制得的橡塑共混相容剂和0.015~2.5份稳定剂硫黄, 在高速剪切机上剪切30~90 min制得高温耐储存的废胶粉改性沥青。该方法制得的废胶粉改性沥青具有高温耐储

存性能和优良的高低温性能。

(本刊编辑部 马 晓)

半导体性橡胶组合物及使用其的 半导体性橡胶辊

中图分类号: TQ336.4⁺1 文献标志码: D

由住友橡胶工业株式会社申请的专利(公开号 CN 101798451A, 公开日期 2010-08-11)“半导体性橡胶组合物及使用其的半导体性橡胶辊”, 涉及的半导体性橡胶组合物的组分及用量为: 含有环氧乙烷作为共聚成分的共聚橡胶和氯丁橡胶 100, 硫脲系硫化促进剂 0.5~1.5, 胍系硫化促进剂 0.5~1.5, 过氧化物系交联剂 0.5~2。用其制备的半导体性胶辊小径化时, 在为了维持规定辊距而低硬化并赋予了柔软性的状态下压缩永久变形小, 极少产生永久变形和与之相伴的图像不均现象。

(本刊编辑部 马 晓)

一种热塑性橡胶海绵

中图分类号: TQ336.4⁺6 文献标志码: D

由尚盟运动用品(惠阳)有限公司申请的专利(公开号 CN 101805486A, 公开日期 2010-08-18)“一种热塑性橡胶海绵”, 涉及的热塑性橡胶海绵的配方为: 氢化苯乙烯-丁二烯-苯乙烯共聚物 45~60, 三元乙丙橡胶 8~12, 聚烯烃弹性体 12~18, 热塑性弹性体 3~6, 色母 1~3, 碳酸钙 2~5, 陶土 1~3, 软化油 6~10, 发泡剂 2~4, 氧化锌 1~2, 助剂 1~3。该热塑性橡胶海绵具有密度和硬度低、弹性好、韧性强、耐老化性能好、浮力强等特性, 非常适合作为救生衣上的浮力材料使用。

(本刊编辑部 马 晓)