

# 不同胎圈芯对航空轮胎性能影响的有限元分析

张 阁, 阎 华\*, 焦志伟, 刘 勇, 丁玉梅, 杨卫民

(北京化工大学 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

**摘要:**对航空轮胎提出 A(普通结构钢丝胎圈芯)、B(普通结构碳纤维胎圈芯)和 C(水滴型结构碳纤维胎圈芯)3 种不同的胎圈芯, 并采用 Abaqus 有限元分析软件对航空轮胎的落地瞬间进行仿真研究。结果表明, 与 A 型轮胎相比, C 型轮胎的最大接触应力降低 50% 以上, 最大等效应力减小 2/3 左右, 但 3 种不同类型轮胎接地中心点在最后时间步的接触压力与轮胎下沉量基本保持一致。

**关键词:**航空轮胎; 胎圈芯; 碳纤维; 有限元分析

**中图分类号:** TQ336.1<sup>+</sup>1; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2013)08-0483-05

随着全球航空业的蓬勃发展, 航空轮胎作为飞机重要的零部件之一, 其先进的研发和制造技术引起了各大轮胎公司的重视。航空轮胎不同于汽车轮胎, 在飞机起飞和落地瞬间需要承受高速度、高负荷、高内压, 具有下沉量大、连续滑行距离短等特点。为保证高安全性, 航空轮胎还必须具有抗切割、耐摩擦、耐高温、可翻新率高等优良性能<sup>[1]</sup>。航空轮胎在百年发展历程中经历了无内胎化-轻量化-扁平化-子午化的衍变趋势, 现正向骨架材料芳纶化发展<sup>[2]</sup>。另外, 由于碳纤维等复合材料具有弹性模量大、抗拉强度高、密度低、化学稳定性好等特点, 因此将碳纤维等复合材料用于轮胎中也成为当今研究的热点之一。

航空子午线轮胎相对于航空斜交轮胎拥有全新的优势, 其不仅质量小、耐磨耗, 而且滚动阻力小、抗刺扎, 拥有良好的舒适性和抓着性<sup>[3]</sup>。因此目前航空轮胎发展重点仍为子午线结构及其材料改进。随着有限元分析技术在轮胎行业中的成熟应用和广泛推广, 利用有限元软件进行仿真研究已经拥有不可替代的优势, 其不仅可以降低研发成本, 而且可以为航空子午线轮胎结构和材料改进起到一定的指导作用。本工作运用 Abaqus 有限元软件, 分析不同结构和材料的胎圈芯对航空轮胎性能的影响。

## 1 计算模拟

### 1.1 模拟方案

本工作基于 535—250 规格军用航空子午线轮胎建立模型, 对 A、B 和 C 三种不同胎圈芯航空轮胎落地瞬间进行仿真模拟研究。三者相互之间的区别在于胎圈部位采用不同的材料和结构, 其中 A 型为普通结构的钢丝胎圈芯, B 型为普通结构的碳纤维复合材料胎圈芯(将 A 型中的钢丝替换为碳纤维复合材料), C 型为水滴型结构碳纤维复合材料胎圈芯。由于水滴型胎圈芯兼有 A 和 B 型轮胎三角胶的作用, 因此 C 型胎圈中省去了三角胶。3 种不同轮胎胎圈局部的网格划分如图 1 所示。

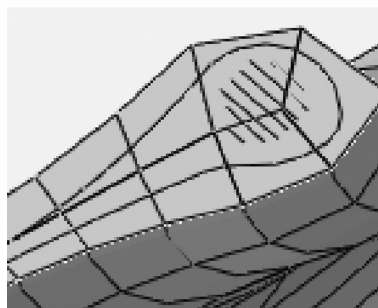
### 1.2 模型建立

首先建立轮胎二维轴对称模型, 如图 2 所示, 即建立具有胎面、胎侧、胎圈、胎体的橡胶基体, 随后将骨架材料 Rebar 层嵌入已建立的橡胶基体中, 并进行材料参数定义、网格划分、分配截面属性、施加约束等前处理工作, 其中在网格划分时对橡胶基体选用杂交单元 Hybrid, 其可以很好地模拟如橡胶等不可压缩材料的响应情况<sup>[4]</sup>。

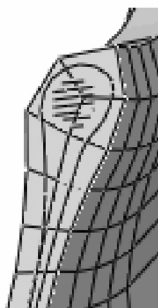
将轮胎二维轴对称模型求解后, 得到重启文件(.res), 再从 Abaqus COMMAND 窗口中运用 \* symmetric model generation 命令将所建立的二维轴对称轮胎模型转化成三维模型, 然后添加轮辋与地面部件, 如图 3 所示, 并考虑轮胎与轮辋间以及轮胎与地面间的接触情况, 设定相应的

**作者简介:**张阁(1987—), 男, 山东烟台人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要研究方向为聚合物加工及仿真模拟。

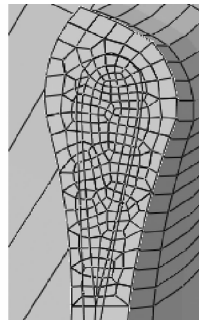
\* 通信联系人



(a) A型轮胎



(b) B型轮胎



(c) C型轮胎

图1 轮胎胎圈局部的网格划分

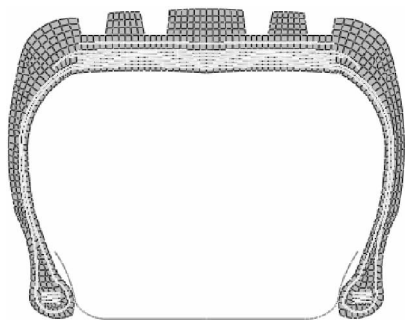


图2 轮胎二维轴对称有限元模型

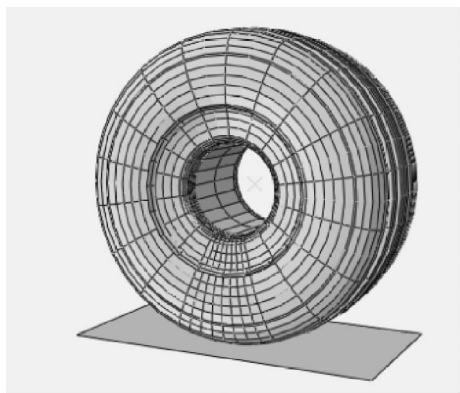


图3 带有轮辋和地面的轮胎三维轴对称有限元模型接触关系。

分析过程分为4步,其中前3步为装配充气分析,采用通用静态分析法,第4步为轮胎冲击地面分析,采用隐式动态分析法。根据该规格航空轮胎的相关资料,设定模拟条件:充气压力 0.5 MPa,下落瞬间垂直地面的速度  $760 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,落地瞬间施加轮胎冲击地面的垂直负荷 20 kN。

为了做出精确比较,对3种不同胎圈芯航空轮胎所施加的约束和负荷是完全相同的。

## 2 结果与讨论

### 2.1 整体轮胎的接触压力

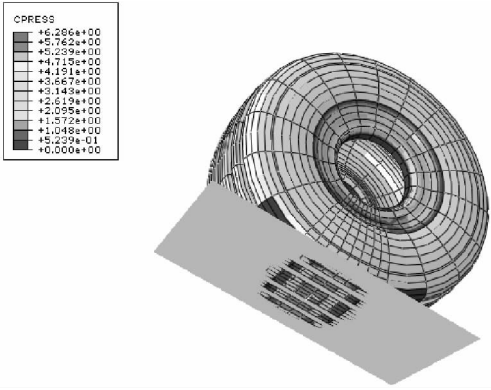
由于航空轮胎落地时在轮胎与轮辋以及轮胎与地面间均有接触和摩擦,因此接触压力结果涉及到两处同时存在的接触压力。3种不同类型航空轮胎通过模拟得到的接触压力分布如图4所示。

A、B和C三种不同胎圈芯航空轮胎在落地冲击过程中产生的最大接触应力分别为 6.286、6.400 和 2.869 MPa。由此可以看出,C型轮胎的最大接触应力最小,B型最大,即水滴型碳纤维胎圈芯航空轮胎产生的最大接触应力比普通钢丝胎圈芯轮胎减小约 54.5%。

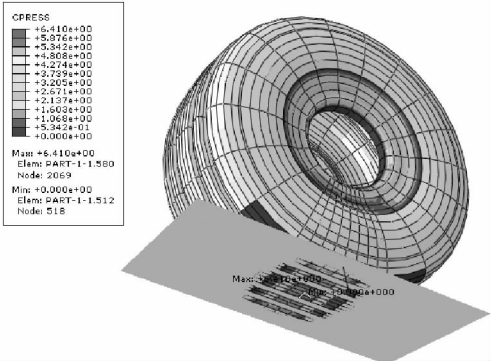
最大接触应力发生在胎圈与轮辋的接触部位,说明水滴型碳纤维胎圈由于增大了与胎体帘布的接触面积,可以明显降低最大接触应力,进而延长航空轮胎的使用寿命。

### 2.2 轮胎接地区域中心点的接触压力

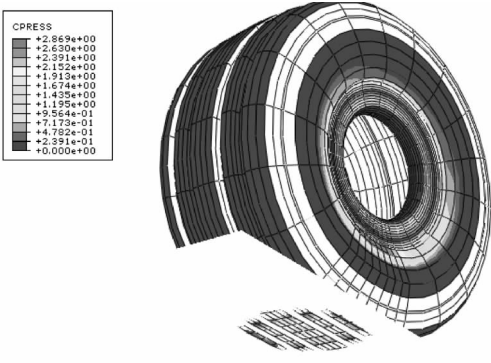
为了分析轮胎在落地过程中与地面产生接触压力的大小,在后处理过程中提取轮胎接地区域中心点处接触压力随时间变化的数值。3种不同类型轮胎接地中心点处接触压力随时间的变化关系如图5所示。从图5可以看出,A和B型轮胎接地中心点处接触压力随时间的变化趋势基本一致,C型轮胎接地中心点处接触压力在随时间的变化过程中明显低于A和B两种轮胎,但三者中心点处最终的接触压力基本趋于一致。由此可见,采用水滴型碳纤维胎圈芯的航空轮胎在落地过程中接地中心点处的接触压力会有所降低,但落地后最终时刻接触压力与其他类型航空轮胎基



(a) A 型轮胎



(b) B 型轮胎



(c) C 型轮胎

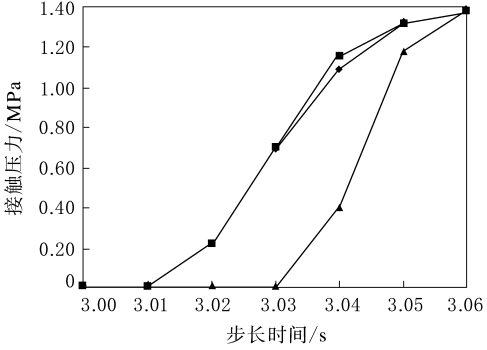
图 4 轮胎接触压力分布

本相同。

2.3 等效应力

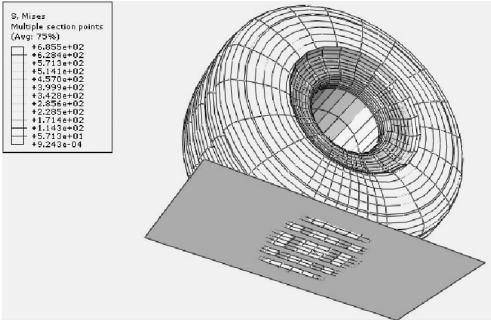
本研究采用 Mises 等效应力准则模拟轮胎的等效应力。所模拟的 3 种不同类型轮胎等效应力分布如图 6 所示。

A、B 和 C 三种不同胎圈芯航空轮胎在模拟冲击地面后产生的最大等效应力分别为 685.5、681.1 和 220.0 MPa。

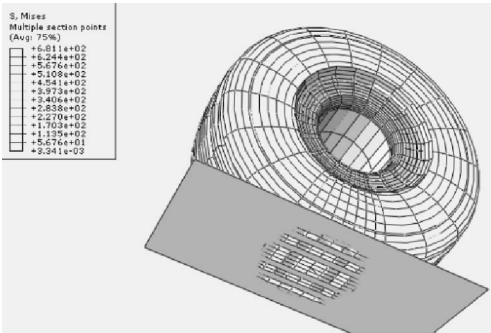


◆—A 型轮胎; ■—B 型轮胎; ▲—C 型轮胎。

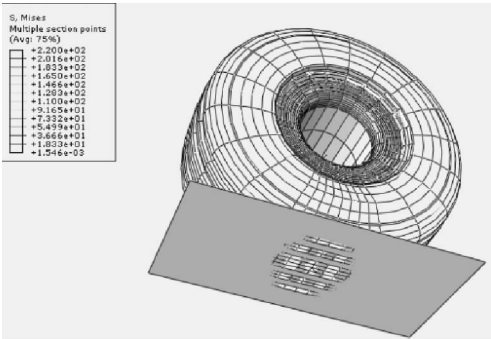
图 5 轮胎接地区域中心点处接触压力随时间的变化关系



(a) A 型轮胎



(b) B 型轮胎



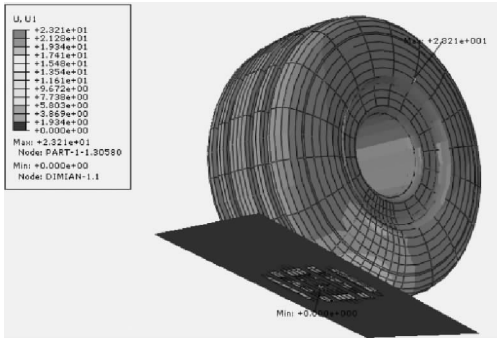
(c) C 型轮胎

图 6 轮胎等效应力分布

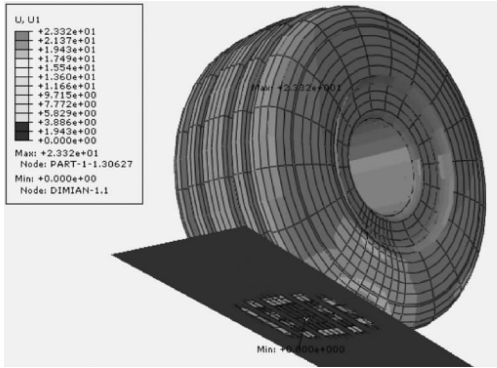
由此可以看出,C型轮胎的最大等效应力最小,B型次之,A型最大。C型轮胎的最大等效应力比A型轮胎降低67.3%左右,这表明采用C型胎圈芯可极大地减小轮胎在落地过程中的内部应力,提高轮胎的使用性能。

2.4 轮胎下沉量

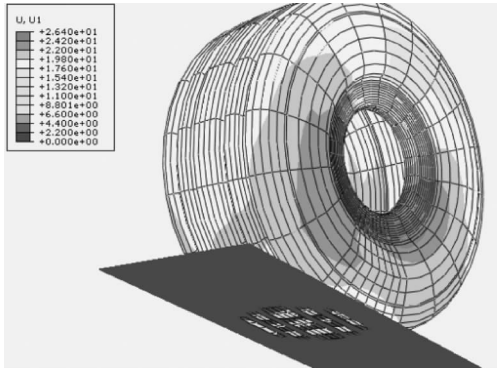
本研究模拟提取了在落地过程中位移在垂直地面方向的分量 $U_1$ (即下沉量),得到3种不同类型轮胎在垂直地面方向上的位移分布,如图7所示。



(a) A型轮胎



(b) B型轮胎

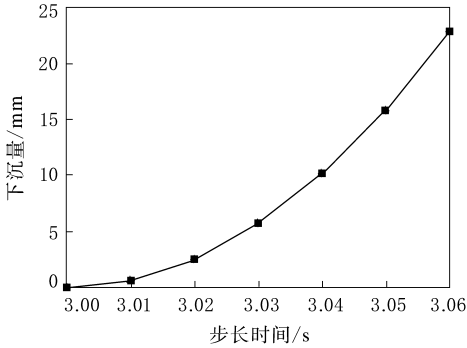


(c) C型轮胎

图7 轮胎位移分量 $U_1$ 的分布

A,B和C三种不同胎圈芯航空轮胎在落地过程中的最大下沉量分别为23.21,23.32和26.40 mm。由此可以看出,C型轮胎的最大下沉量略大于A和B型轮胎,但是相差并不大,表明3种不同类型轮胎在垂直地面方向的位移分量大致相同。

在轮辋中心点处(即节点1)的下沉量随着轮胎落地时间的变化曲线如图8所示。从图8可以看出,3种不同类型轮胎轮辋中心点处的下沉量基本一致。



注同图5。

图8 轮辋中心点处下沉量随时间的变化曲线

3 结论

本研究对航空轮胎落地瞬间过程进行仿真,并对3种不同胎圈芯航空轮胎分别进行模拟,得到如下结论。

(1)采用水滴型碳纤维胎圈芯航空轮胎的最大接触应力比普通钢丝胎圈芯轮胎降低50%以上,这可能是由于其采用水滴型胎圈芯增大了与胎圈耐磨胶等的接触面积,降低了接触压力,可以明显改善轮胎的使用寿命。

(2)采用水滴型碳纤维胎圈芯航空轮胎接地中心点处的接触压力在轮胎落地过程中低于另外两种轮胎,但三者在最后时刻达到的接触压力基本保持一致。

(3)采用水滴型碳纤维胎圈芯航空轮胎的最大等效应力比钢丝胎圈芯轮胎降低2/3左右,从而可极大地提高轮胎的使用性能。

(4)3种不同类型轮胎在垂直地面方向的位移基本相同,这表明不同胎圈芯对航空轮胎落地时的下沉量影响并不大。

## 参考文献:

- [1] 王松威, 关伟平. 全球航空轮胎业现状及其发展趋势[J]. 轮胎工业, 2009, 29(11): 643-648.
- [2] 关伟平, 邓海燕. 全球航空轮胎业概述及我国航空轮胎业发展策略[J]. 轮胎工业, 2007, 27(5): 259-262.

- [3] 姚岐轩. 国外子午线航空轮胎发展概况[J]. 中国橡胶, 1997(3): 9-11.
- [4] 石亦平, 周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 6.

第 17 届中国轮胎技术研讨会论文

## Finite Element Analysis of Effect of Different Bead Core on Performance of Aircraft Tire

ZHANG Ge, YAN Hua, JIAO Zhi-wei, LIU Yong, DING Yu-mei, YANG Wei-min

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Three different kinds of bead core for aircraft tire were presented, including the type A with the general structure and steel cord, the type B with the general structure and carbon fiber cord, and the type C with water drop structure and carbon fiber cord. The effect of the type of bead core on the tire performance during aircraft landing was investigated by finite element analysis and using Abaqus software. The results indicated that, compared with the tire having type A bead core, the maximum contact area pressure of the tire with type C bead core decreased by more than 50%, and the maximum equivalent stress was reduced by approximately two-thirds. The contact area pressure and tire deformation at the landing center of the tires with different types of bead core were almost the same at the last step.

**Key words:** aircraft tire; bead core; carbon fiber; finite element analysis

### 朗盛三元乙丙橡胶工厂完成 ACE 技术改造

中图分类号: TQ333.4; F276.7 文献标志码: D

2013 年 7 月 5 日, 朗盛位于荷兰斯塔德-格林(Sittard Geleen)工厂合成橡胶生产线已成功完成改造, 将采用朗盛创新的 ACE 技术生产 Keltan 品牌三元乙丙橡胶(EPDM)。这标志着朗盛在通往可持续性发展道路上又迈出了重要一步。

此次改造投资约 1 200 万欧元, 将传统的 Ziegler-Natta 系合成技术改造为创新的 ACE 技术。新的生产线 EPT-3 年产达 9.5 万 t, 占工厂总产能一半以上。目前该工厂年产能 18 万 t, 是世界最大 EPDM 生产厂。

朗盛的 ACE 工艺采用异常活跃的催化剂, 能够生产出品种丰富、可靠、高质量的 EPM 和 EPDM 品级。这些产品持久耐用、无氯且具备高纯度。此外, 这一工艺耗能更少、不产生废催化剂, 因此免去了催化剂清洗过程。

朗盛现有的 EPDM 拥有 7 个子 ACE 品级, 引入 EPT-3 产品线上的这些品级橡胶经过了广泛的技术和产品验证, 包括在格林工厂一条小型生产线上进行试生产。新生产线启用前, 新 ACE

品级橡胶的检验样品在市场上经过了为期 1 年的测试, ACE 品级橡胶已面向市场销售。

ACE 技术不久将在全球推广。将于 2015 年投产的位于江苏省常州市的工厂也将启用 ACE 技术。建设中的常州工厂年产能将达 16 万 t, 投资 2.35 亿欧元, 是迄今为止朗盛在中国最大的投资项目。

“受益于汽车和建筑行业的蓬勃发展, 中国 EPDM 需求增长预期达 8%。在中国打造世界级工厂将加强我们全球 EPDM 生产网络, 并及时地为当地客户提供高品质产品。”朗盛大中华区首席执行官钱明诚表示。

ACE 技术不仅是一种环保的生产流程, 它能生产出传统技术无法媲美的更高等级的 EPDM。凭借 ACE 催化剂体系, 可以生产全系列的 EPDM 品级, 包括用于快速硫化的 ENB 等级以及具备卓越弹性的(充油)超高相对分子质量品级。此外, Keltan ACE 产品组合将继续充分利用朗盛专有的可控长链支化技术, 以确保客户获得优异的加工性能。而使用茂金属技术很难生产出高 ENB 含量品级、高(充油)相对分子质量品级以及支化品级。

(本刊编辑部 黄丽萍)