

扁平轮胎硫化工艺的有限元分析

唐霞^{1,2}, 贺建芸^{1,2}, 张金云^{1,2}, 薛梓晨^{1,2}, 焦志伟^{1,2*}

(1. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2. 轮胎设计与制造工艺国家工程实验室, 北京 100029)

摘要:以 255/30R22 轮胎为例, 用 ABAQUS 软件建立有限元模型对硫化过程进行两次模拟, 一次不考虑反应热, 另一次用子程序 HETVAL 加载反应热, 分别得到两次模拟的温度场, 并编写子程序 UVARM 得到有反应热条件下的硫化程度场。结果表明: 轮胎硫化过程中, 硫化反应热影响硫化温度曲线的峰值, 但对最终温度影响不大; 加载反应热能够更好地模拟轮胎真实硫化过程; 无论温度场还是硫化程度场, 总是薄胶料的值高于厚胶料的值; 后硫化作用不容忽视, 传统硫化工艺有改进的必要和空间。

关键词:扁平轮胎; 硫化工艺; 有限元分析

中图分类号: TQ336.1⁺1; O241.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2015)11-0690-04

汽车工业的发展促使人们对轮胎的安全性和舒适性提出了更高的要求。轮胎不仅在结构设计上有所突破, 在硫化工艺的制定上也不能停留在根据经验或者半经验的方法上, 沿用过去的硫化程度“宁过勿欠”的观念, 而应利用计算机模拟轮胎的实际硫化历程并计算各部位的硫化程度, 确定合理的硫化条件, 从整体上提高轮胎的性能^[1]。轮胎有复杂的结构和组分, 各部位厚薄不一, 在硫化过程中有的部分会过硫化而有的部分会欠硫化, 因此了解轮胎各部位的硫化历程对优化硫化工艺有着重要意义。通过改进轮胎结构、材料和硫化工艺, 用最低的能耗使轮胎获得最佳的力学性能, 可以达到低碳节能的目的。橡胶硫化是轮胎生产过程中最耗能的一个环节, 一般先测出轮胎的硫化温度, 进而算出硫化程度。相比于通过计算机有限元模拟获得轮胎硫化的温度场和硫化程度场, 根据模拟结果调整硫化温度或者硫化时间, 实际测量的方法耗时耗力, 并且没有考虑后硫化对硫化程度的影响。

本工作以 255/30R22 扁平轮胎为例, 用 ABAQUS 软件建立有限元模型对硫化过程进行两次模拟, 一次不考虑反应热, 另一次用子程序 HETVAL 加载反应热, 分别得到模拟的温度场,

并编写子程序 UVARM 得到硫化程度场^[2]。

1 有限元仿真

1.1 有限元模型

目前为止, 轮胎硫化过程的数值模拟技术均未考虑复合材料传热性能的各向异性。一般来说, 复合材料力学性能呈各向异性, 其热学性能也是各向异性的^[3]。本研究建立的二维轴对称模型去除了骨架材料只保留胶料, 认为复合材料热力学性能呈各向同性。图 1 示出了 255/30R22 轮胎硫化的二维轴对称模型和三维模型, 模型尽可能逼近实际情况, 包括上下热板、胶囊、花纹块、中模套和轮胎。

1.2 硫化模拟参数及工艺的确定

尽管每种胶料的比热容和导热率相差不大, 为了确保精度, 仍然考虑了每种胶料的热物理参数随温度的变化^[4]。根据试验现场环境和实际工况, 设定轮胎的初始温度为 20℃, 胶囊和模具的温度为 150℃。硫化分为 5 个阶段, 总时间为 1 540 s, 每个阶段的边界条件如下。

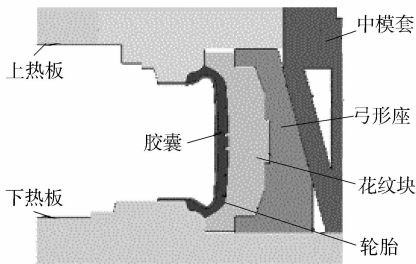
(1) 第 1 阶段轮胎在模具中。对流换热边界条件为: 胶囊内的过热蒸汽、蒸汽室的蒸汽、上下热板的温度均为 180℃。此过程持续 580 s。

(2) 第 2 阶段保压 60 s。此阶段各边界条件不变。

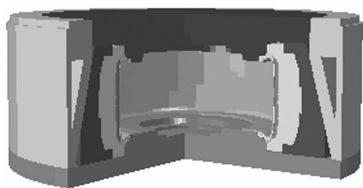
(3) 第 3 阶段补充氮气。过程持续 60 s。

作者简介:唐霞(1990—), 女, 湖北襄阳人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事机械工程方面的研究。

* 通信联系人

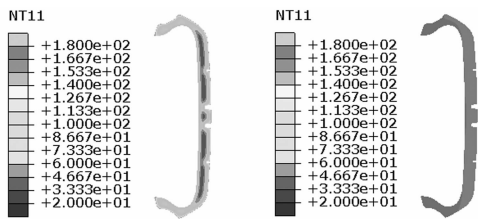


(a) 二维轴对称模型



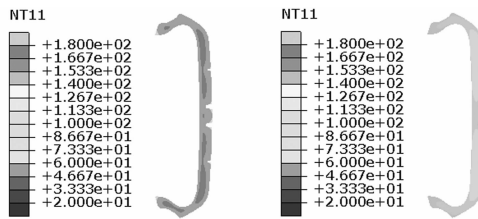
(b) 三维模型

图 1 轮胎硫化有限元模型



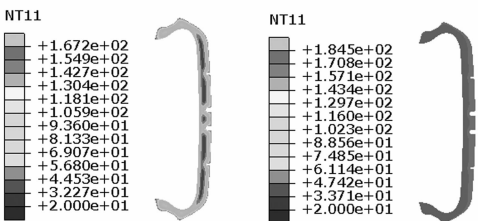
(a) 60 s, 无反应热

(b) 780 s, 无反应热



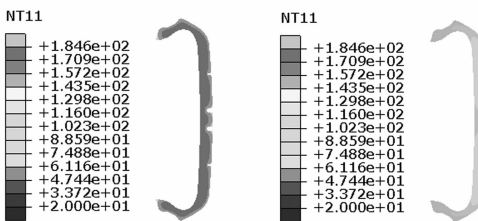
(c) 1 000 s, 无反应热

(d) 1 540 s, 无反应热



(e) 60 s, 有反应热

(f) 780 s, 有反应热



(g) 1 000 s, 有反应热

(h) 1 540 s, 有反应热

图 2 有无反应热两种模拟条件下轮胎在硫化过程中的温度场

出现硫化放热,轮胎与胶囊和模具接触的地方迅速升温而胶料较厚的地方升温较慢;硫化加热结束时,温度场都比较均匀,硫化比较透彻。胶料厚的地方温度低而薄的地方温度高,但是有硫化放热的轮胎的温度场明显比没有反应热的温度场高。后硫化过程开始时即总时间点1 000 s处,无反应热的轮胎迅速降温而有反应热的轮胎由于内部放热导致温度下降慢,但是最终两者的温度场大致相同。虽然最终温度相差不大,但是温度的变化历程将影响硫化程度的计算。

2.2 模拟温度场与实际温度场的对比

由于准确的硫化温度场是计算硫化程度场的

(4)第4阶段抽真空。过程持续80 s。胶囊和中膜套的对流边界条件解除,其余边界条件不变。

(5)第5阶段启模取胎。过程持续760 s。整个轮胎暴露在空气中,主要的散热方式为辐射,辐射因子取0.94。

2 仿真结果与分析

2.1 模拟温度场分析

模拟分为硫化加热阶段和后硫化阶段,对应的截止时间点分别为780和1 540 s。有无反应热两种模拟条件下轮胎在硫化过程中的温度场对比如图2所示。从图2可以看出:60 s时不管有无反应热,轮胎硫化的温度场是相似的,即还没有

前提条件,因此验证温度模拟场是否正确很有必要。试验中用埋线法得到5个位置的温度,采样点位置如图3所示。采样点的实测温度和模拟温度曲线对比如图4所示。

从图4可以看出,3条曲线的变化趋势相同,有反应热模拟的温度与实测温度大致吻合,说明有反应热模拟的结果是可靠的。在硫化的初始阶段3条曲线大致重合,随着硫化时间的延长,无反应热模拟的温度升高率小,波峰平缓,波峰值最低,而同一时刻有反应热模拟的温度升高率并没有下降,有较高的波峰值。在后硫化阶段,因为无反应热模拟的波峰值小,传热动力小而温度下降

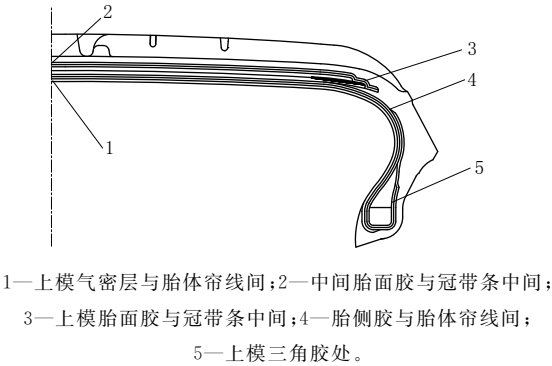


图3 温度采样点示意

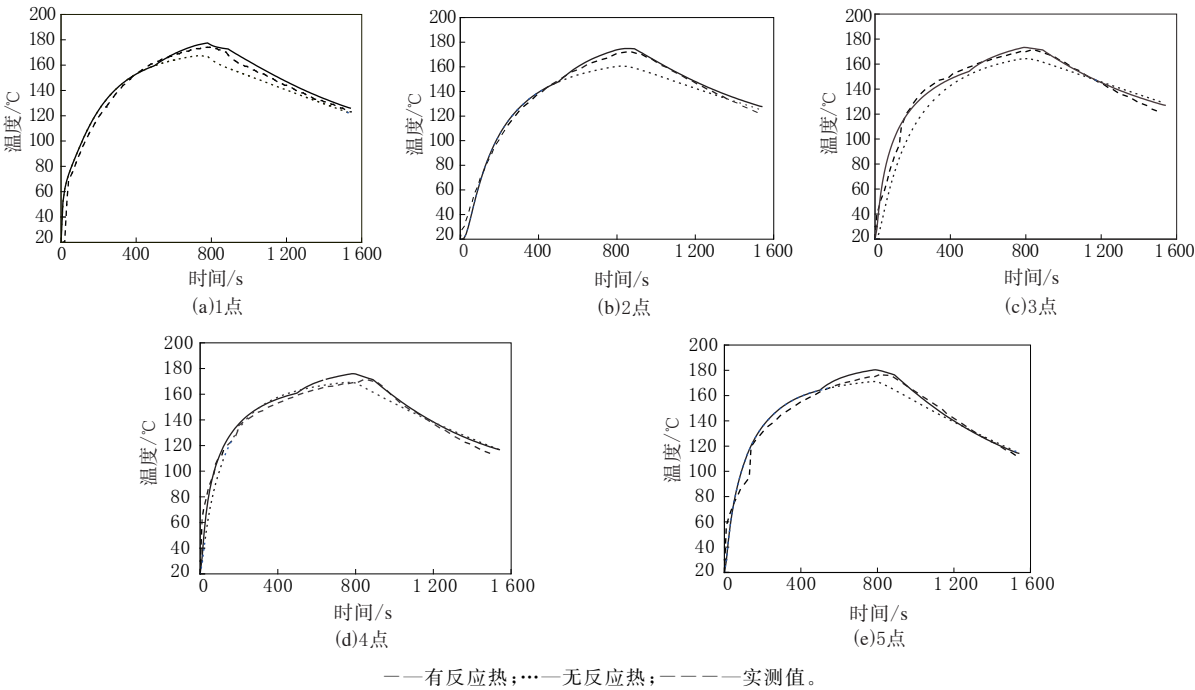


图4 有无反应热模拟的温度与实测温度对比曲线

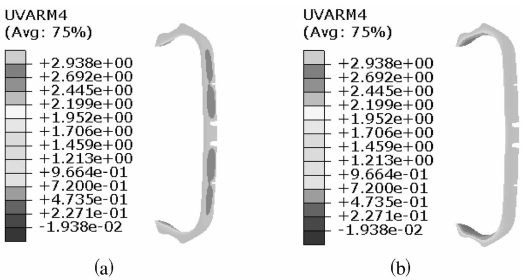


图5 有反应热模拟的轮胎硫化程度场

任何时刻总是薄胶料的硫化程度高于厚胶料的;经过后硫化,轮胎的硫化程度继续增大,硫化程度场梯度降低,但轮胎总体处于过硫化状态。

从图6可以看出,各胶层硫化程度随时间的变化趋势是相同的。通过与G曲线比较发现,只

缓慢,有反应热模拟的温度下降较快,但3条曲线的最终温度相差不大。由此可见,有反应热的模拟是准确的。

2.3 硫化程度场分析

依据上述分析结果,选用UVARM程序得到有反应热模拟的硫化程度场,如图5所示。各个胶层的硫化程度曲线如图6所示(G曲线表示胶料的最佳硫化程度)。

从图5可以看出:虽然硫化加热在780s处停止,但硫化程度在后硫化过程中依然在增加;在

有胎面接近最佳硫化点,而其他胶层都远远超出最佳硫化点。780s以后是后硫化阶段,后硫化对硫化程度的贡献与硫化相当,因此忽略后硫化作用的传统硫化工艺是不节能环保的,有改进的必要和空间。

3 结论

- (1)轮胎硫化过程中,硫化反应热影响硫化温度曲线的峰值,但对最终温度影响不大。
- (2)与实测数据对比,加载反应热条件下能够更好地模拟轮胎真实硫化过程。
- (3)无论是温度场还是硫化程度场,总是薄胶料的值高于厚胶料的值。

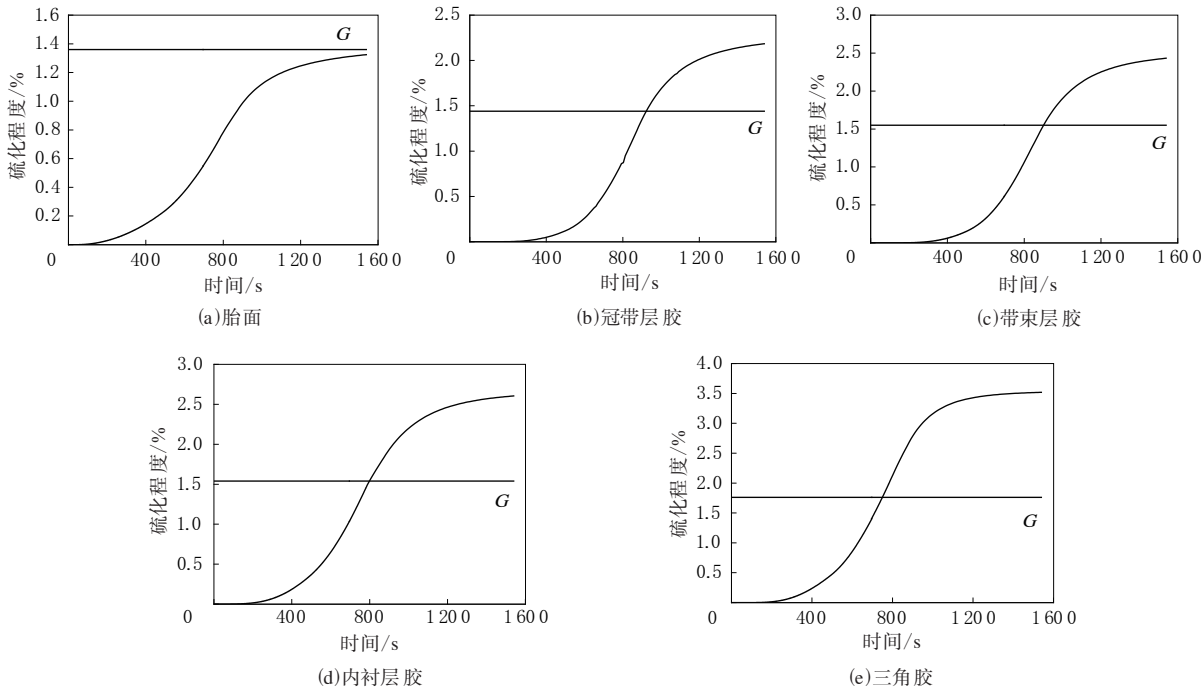


图 6 各胶层的硫化程度-时间曲线

(4)除了胎面,轮胎其他胶层最终呈现的都是过硫化状态,后硫化对硫化程度的贡献不容忽视,而传统的硫化工艺没有考虑后硫化对硫化程度的影响,有改进的必要和空间。

参考文献:

[1] 王伟,邓涛,赵树高. 轮胎硫化工艺条件的优化[J]. 橡胶工

业,2006,26(4):225-227.
[2] 栗本龙. 巨型子午线轮胎硫化仿真研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
[3] Eckert E R G,Drake R M. Analysis of Heat and Mass Transfer[M]. New York;McGraw-Hill,1972:1-49.
[4] 王月. 轮胎硫化温度场的有限元分析[D]. 沈阳:东北大学,2009.

收稿日期:2015-05-08

Finite Element Analysis on Vulcanization Process of Flat Tire

TANG Xia^{1,2},HE Jian-yun^{1,2},ZHANG Jin-yun^{1,2},XUE Zi-chen^{1,2},JIAO Zhi-wei^{1,2}
(1. Beijing University of Chemical Technology,Beijing 100029,China;2. National Engineering Laboratory of Tire Design and Manufacturing Process,Beijing 100029,China)

Abstract: With 255/30R22 tire as an example,a finite element model of the vulcanization process was established using ABAQUS software. The vulcanization process was firstly simulated without considering the reaction heat,and then simulated with reaction heat loaded by HETVAL. The temperature fields were obtained,respectively,and the vulcanization degree field for the simulation considering the reaction heat was obtained with subroutine UVARM. The results showed that,during tire curing process,the vulcanization reaction heat affected the peak position of the curing temperature curve,but had very little impact on the final temperature. Taking consideration of reaction heat could better simulate the real tire vulcanization process. The curing temperature of the thin rubber part was always higher than that of the thick rubber part,and the vulcanization degree of thin rubber part was also higher. It was found that post-cure was important and it was necessary to further improve the traditional vulcanization process.

Key words: flat tire;vulcanization process;FEA