轮胎稳态温度场分布的有限元分析

余美娟,戴元坎,张 翼
[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司 轮胎研究所,上海 200072]

摘要:介绍了轮胎稳态温度场分布的有限元静态分析。轮胎滚动温升的主要热源是橡胶-帘线复合材料滞后损失产生的热量。轮胎滚动达到稳态时,温升最高的部位是胎肩和胎圈。同一规格的轮胎在不同行驶速度下的温升不同,达到稳态温度场分布所需的时间不同,但稳态温度场分布大致相同,行驶速度高的轮胎达到稳态温度场分布所需的时间长。

关键词:轮胎;稳态温度场分布;有限元分析
中图分类号:TQ336.1 **文献标识码**:B **文章编号**:1006-8171(2001)12-0710-03

轮胎滚动阻力是轮胎运动过程中受到的阻力,其产生的能量会转化为热能使轮胎温度升高。研究轮胎滚动阻力是为了降低能耗、节约能源。文献[1]详细介绍了轮胎热学性能研究的发展史。美国交通运输部(DOT)和公交公司(TSC)于 1974 年开始研究轮胎滚动阻力,并试图建立一些标准的试验方法来测定滚动阻力,以提高能源利用率。近年来,对轮胎热力学性能如滚动速度与温度效应的关系研究更加广泛,Ebbott T G 等[2,3]探讨了滚动阻力和轮胎温升的关系。

由于轮胎的温升可以反映轮胎的滚动阻力,轮胎的温度场分布可以用于预测轮胎各部位的使用寿命,因此轮胎的热力学性能为轮胎配方和结构设计提供了很好的理论依据。

1 热源分析

轮胎在路面上行驶导致温度升高的热源主要来自两个方面:一是粘弹性橡胶-帘线复合材料滞后损失产生的热量,二是轮胎与地面的摩擦生热(与轮胎载荷和路面状况有关)。由于本课题进行的是静态热力学性能分析,因此在此不分析固定的摩擦生热热源,而仅分析动态的滞后损失热源。

作者简介:余美娟(1973-),女,浙江淳安人,上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所工程师,硕士,从事轮胎热力学研究。

轮胎在滚动过程中,各个部分都要经历循环应力过程[4]。轮胎滚动一周的应力-应变曲线如图 1 所示,图中 σ 为应力,ε 为应变,ε_0 为应变幅值;阴影部分的面积表示橡胶-帘线复合材料滞后损失的机械功,这些机械功将转化为热能。滞后损失能量 W、应变能 U、贮能模量 E'、材料损失模量 E''、损耗因子 $\tan\delta$、σ 和 ε 的关系为

$$\frac{W}{U}\propto\frac{E''}{E'}=\tan\delta$$

$$W=2\sigma\cdot\mathrm{d}\varepsilon$$

假定 ε 是一个周期性正弦变量,即 $\varepsilon=\varepsilon_0\sin\omega t$,$w$ 为角频率,则

$$\sigma=E'\cdot\varepsilon_0\sin\omega t+E''\cdot\varepsilon_0\cos\omega t$$

$$\omega=2(E'\varepsilon_0\sin\omega t+E''\varepsilon_0\cos\omega t)\cdot\mathrm{d}(\varepsilon_0\sin\omega t)$$

$$=\pi E''\varepsilon_0^2$$

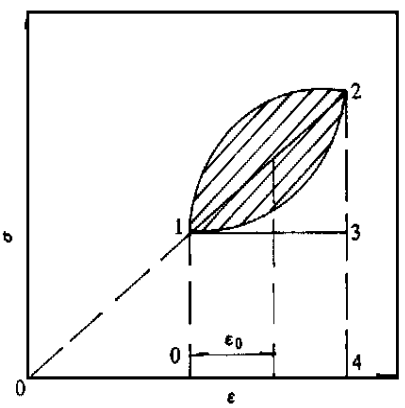

图 1 应力-应变曲线

定义 $U = 2E' \cdot \varepsilon_0^2$,得

$$W = \frac{\pi}{2} U \tan\delta$$

当轮胎转速为 n 时 ,其热生成率 q 为

$$q = nW = \frac{\pi n}{2} U \tan\delta = \frac{UV_0 \tan\delta}{4r}$$

式中 , V_0 为轮胎行驶速度 , r 为轮胎滚动半径。

2　模型建立与计算结果

建立三维有限元模型采用的是轿车轮胎。轮胎的内部气压为 240 kPa ,下沉量为 30 mm ,计算出的速度为 10 和 100 km·h^{-1}的轮胎稳态温度场分布如图 2 和 3 所示 ,计算所用的比热容和热导率见表 1[5] ,其中未考虑轮胎内腔的辐射传热和对流传热以及轮辋的摩擦生热。

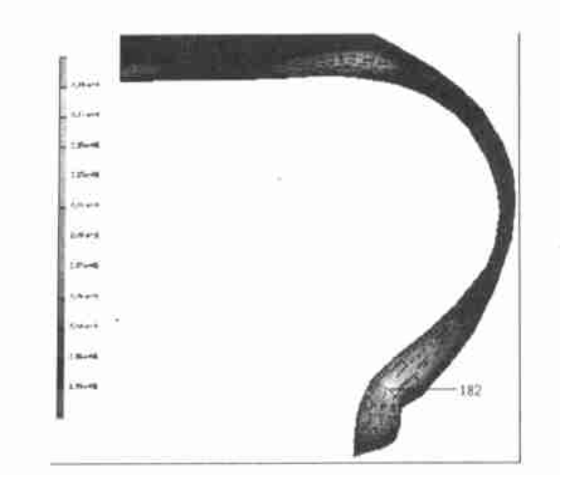

图 2　10 km·h^{-1}速度下的轮胎稳态温度场分布

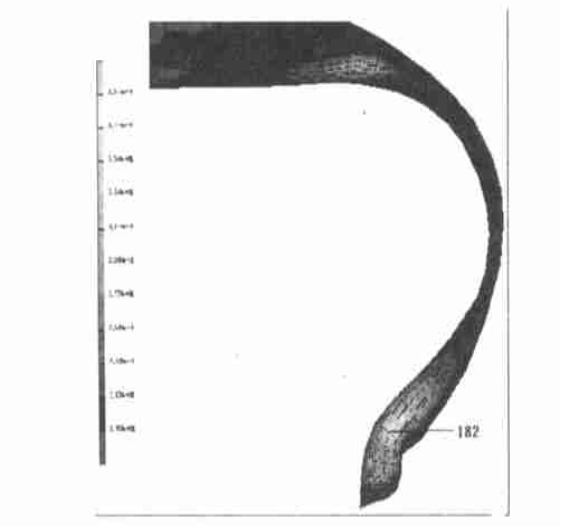

图 3　100 km·h^{-1}速度下的轮胎稳态温度场分布

表 1　轮胎各部位的比热容和热导率计算式

部位	比热容/[J·(g·℃)$^{-1}$]	热导率/[W·(m·K)$^{-1}$]
内衬层	0.002 5θ + 1.034	- 0.000 49θ + 0.373
三角胶	0.001 8θ + 1.562	- 0.000 32θ + 0.356
胎面	0.002 7θ + 1.446	- 0.000 35θ + 0.363
胎侧	0.006 4θ + 1.288	- 0.000 39θ + 0.350
钢丝圈	0.005 6θ + 1.371	- 0.000 35θ + 0.344
带束层	- 0.001 5θ + 1.172	- 0.000 33θ + 0.627
胎体	- 0.002 5θ + 1.299	- 0.000 48θ + 0.355
胎圈增强层	0.000 55θ + 0.728	- 0.001 84θ + 1.358

注:θ为各部位温度。

从图 2 和 3 可以看出 ,轮胎滚动达到稳态时 ,温升最高的部位为胎肩和胎圈 ,这是由于胎肩和胎圈处为复合材料且应变能较大造成的;轮胎行驶速度不同 ,达到稳态温度场分布的时间不同 ,但稳态温度场分布图大致相同。图 2 和 3 中标出的 182 号节点的温度随时间的变化见图 4。

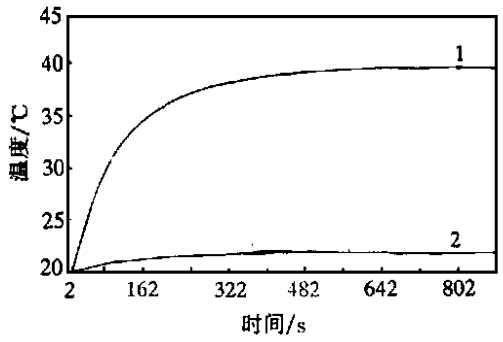

图 4　温度随时间的变化

1 —100 km·h^{-1};2 —10 km·h^{-1}

从图 4 可以看出 ,不同行驶速度下 ,同一规格的轮胎达到稳态温度场分布所需的时间不同 ,行驶速度为 100 km·h^{-1}的轮胎达到稳态温度场分布所需的时间比行驶速度为 10 km·h^{-1}的轮胎长。

3　结论

(1)轮胎滚动时 ,其主要的热源是橡胶-帘线复合材料滞后损失产生的热量。

(2)轮胎滚动达到稳态时 ,温升最高的部位是胎肩和胎圈 ,由此可见 ,胎肩和胎圈处易发生老化现象。

(3)同一规格的轮胎在不同行驶速度下温升不同 ,达到稳态温度场分布所需的时间不同 ,

但稳态温度场分布大致相同;行驶速度高的轮胎达到稳态温度场分布所需的时间长。

参考文献:

[1] Mars W V, Luchini J R. An analytical model for transient rolling resistance behavior of tires[J]. Tire Science and Technology, 1999, 27(3): 161-175.

[2] Ebbott T G, Hohman R L, Jeusette J P, *et al*. Tire temperature and rolling resistance prediction with finite element analysis[J]. Tire Science and Technology, 1999, 27(1): 2-21.

[3] Shida Z, Koishi M, Kogure T, *et al*. A rolling resistance simulation of tires using static finite element analysis[J]. Tire Science and Technology, 1999, 27(1): 84-105.

[4] 刘文宁. 考虑几何非线性和物理非线性的子午线轮胎的位移场和温度场分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 1990. 50-53.

[5] OH B S. Internal temperature distribution in a rolling tire [J]. Tire Science and Technology, 1995, 23(1): 11-25.

第 11 届全国轮胎技术研讨会论文

Analysis of steady temperature profile for tire with FEA

YU Mei-juan, DAI Yuan-kan, ZHANG Yi

[Shanghai Tire and Rubber (Group) Co. Ltd., Shanghai 200072, China]

Abstract: A static analysis of steady temperature profile for tire with FEA was made. It was found that the main heat resource for temperature rising of rolling tire was the heat from hysteresis of rubber/cord composite; the highest temperature rising appeared in the shoulders and beads when the tire rolled steady. It took different times for the tires in same size rolling at different speeds to obtain the steady temperature, and the higher the speed, the longer the time to obtain the steady temperature profile; and their temperature profiles were similar, but their temperature risings were quite different.

Keywords: tire; steady temperature profile; FEA

第 1 台国产全钢载重子午线轮胎液压硫化机研制成功

中图分类号: TQ330.4⁺7; TQ336.1 **文献标识码:** D

2001 年 9 月 15 日,桂林橡胶机械厂最新研制的 1700 液压硫化机一次性通过了法国米其林公司的验收。该产品为第 1 台国产全钢载重子午线轮胎液压硫化机,它的研制成功标志着我国在大规格液压硫化机生产领域取得突破性进步。

液压硫化机是子午线轮胎,尤其是高等级子午线轮胎生产的关键设备之一,是轮胎硫化机的发展方向。国家经贸委曾将液压硫化机的研制列入"子午线轮胎关键设备一条龙"项目。通过近年来的努力,我国液压硫化机的生产已从起步阶段过渡到加速发展阶段,但我国生产的液压硫化机仍为小规格产品。随着我国高速公路的快速发展,子午线轮胎的需求量,尤其是全钢载重子午线轮胎的需求量越来越大,研制大规格液压硫化机对全面提高我国轮胎产品子午化率将起到积极的推动作用,同时对提高我国橡胶机械档次也具有重要意义。

1700 液压硫化机的主要特点是:液压传动;框架结构;上模和横梁的运动为单一垂直升降式运动;上下模同轴度,尤其是重复精度高;中心机构为 B 型;开合模运动由 2 个油缸对称驱动,运行平稳;锁模力由 6 个加力油缸(4 个插销插入墙板定位)提供;机架、底座、墙板可拆卸,运输方便;装胎、卸胎均由机械手完成;控制系统采用先进的 PLC 和 PID 控制技术,控制稳定性好和自动化程度高;硫化轮胎质量好。1700 液压硫化机的主要精度达到或超过进口同类产品水平。

目前,桂林橡胶机械厂已与法国米其林公司签订了 4 台 1700 液压硫化机的供货协议。

(桂林橡胶机械厂 陈维芳供稿)