

子午线轮胎稳态温度场的数值模拟分析

何 燕¹, 李 晨², 马连湘², 黄素逸¹

(1. 华中科技大学 能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要:根据子午线轮胎的结构特性,建立了轮胎滚动状态下稳态热学分析模型,对 205/75R15 轮胎进行分析,给出了温度场分布云图和温度分布曲线。计算结果较真实地反映了轮胎的热状况,为优化轮胎结构、改进胶料配方设计提供了可靠的依据。

关键词:稳态温度场;子午线轮胎;数值模拟

中图分类号:TQ336.1⁺1;O242.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-890X(2004)04-0227-03

轮胎在滚动行驶时,由于应力循环和橡胶材料的滞后损失引起生热和升温,轮胎的温度过高对轮胎的安全性会产生很大的影响,同时也会使滚动阻力增大而增大耗油量,因此了解轮胎的升温特性及轮胎温度场的分布状况对改进轮胎胶料配方设计和结构设计至关重要。

本研究根据橡胶材料的特性建立了轮胎的温度场数学模型,用有限元法对子午线轮胎温度场进行分析,并对计算结果进行讨论。

1 轮胎温度场热学模型

1.1 微分方程

轮胎所用的橡胶材料在滚动过程中由于应力与应变不同步而引起生热^[1],把生热作为内热源,对稳态问题可采用如下二阶导热微分方程求解:

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial \theta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial \theta}{\partial y}) + \dot{Q} = 0$$

式中 $\dot{Q}$ ——单位体积的生热率;

k_x 和 k_y —— x 和 y 方向上的导热系数。

解上述微分方程,必须附加边界条件,本研究中边界条件为第 1 类和第 3 类边界条件。

1.2 有限元离散方程^[2]

为了用有限元方法求解稳态温度场,需把轮胎结构进行离散,离散后温度可表示为:

$$\theta = \sum_{i=1}^{n_e} N_i(x,y)\theta_i = \mathbf{N}\theta^e$$

作者简介:何燕(1973-),女,山东青州人,青岛科技大学讲师,华中科技大学在读博士研究生,现从事轮胎温度场的研究工作。

式中 n_e ——每个单元的节点个数;
 N_i —— C_0 型插值函数, $N_i(x_j, y_j) = \begin{cases} 0, j \neq i \\ 1, j = i \end{cases}, \sum N_i = 1;$
 $\mathbf{N}$ ——单元插值函数矩阵, $\mathbf{N} = [N_1, N_2, \dots, N_{n_e}]$;
 θ^e ——节点温度矩阵。

2 实例建模与求解

2.1 建模

根据轮胎结构特点,视 205/75R15 由 8 种橡胶材料组成,如图 1 所示。其基本结构参数为:轮胎外直径 689 mm,断面宽 203 mm,断面高 152.2 mm,胎圈宽 140 mm,胎面宽 135 mm。

考虑轮胎结构及材料分布特点,单元类型采用四边形八节点实体单元进行离散。生成单元总数为 785,节点总数为 2 620,如图 2 所示。

2.2 材料参数及边界条件

在本研究的热学模型分析中,8 种橡胶材料的导热系数由试验测得^[3],生热率由文献[3,4]给出,把它作为定值加在各部位材料上,然后再离散到各节点上运算。

轮胎内外表面的对流换热系数由文献[3]给出,轮辋与轮胎接触部位采用第 1 类边界条件。

进行有限元计算后,得到的结果如图 3 所示。从图 3 可以看出,轮胎断面上温度最大值为 114.33 ℃,最低温度为 29.748 ℃。

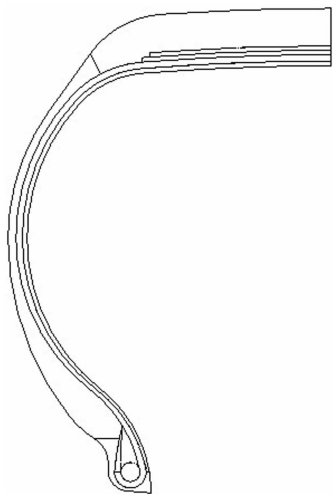


图 1 轮胎材料分布示意

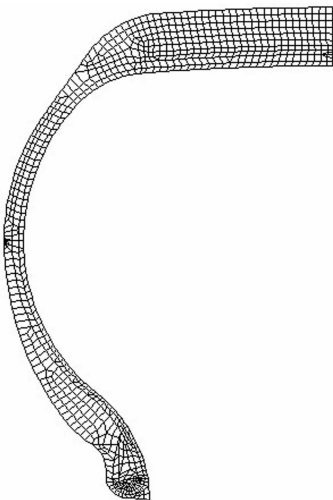


图 2 轮胎断面有限元网格划分

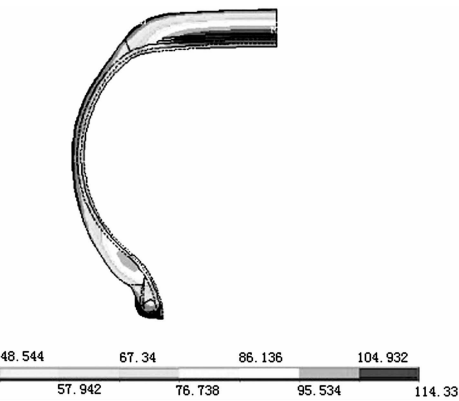


图 3 轮胎断面温度场分布

3 结果与讨论

(1)从图 3 可以看出,整个轮胎断面有两个高温区,分别集中在胎冠中部及靠近胎圈部位处。这两处的温度分布曲线(从轮胎外部到内部)如图 4 和 5 所示。

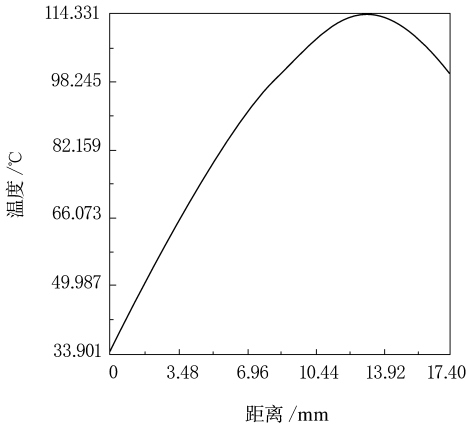


图 4 轮胎胎冠中部截面温度分布曲线

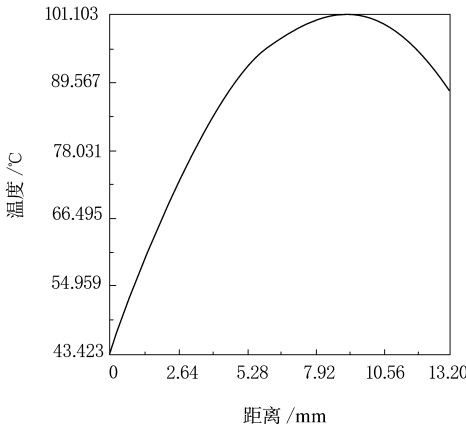


图 5 轮胎胎圈中部截面温度分布曲线

从图 4 可以看出,高温主要集中在带束层和帘布层,这是由于帘布层生热较多而橡胶材料的导热性比较差,从而在该部位有较多的热量积累。

从图 5 可以看出,靠近胎圈部位的温度也比较高。这主要是因为轮胎在滚动过程中此处多次反复变形,从而聚集大量的热量,而橡胶材料又较厚,热量不易散发出去而导致温度升高。

(2)胎侧截面温度分布曲线(从轮胎外部到内部)如图 6 所示。从图 6 可以看出,子午线轮胎胎侧部位产生的热量较少。这是因为虽然轮胎在行驶时胎侧发生较大变形而导致生热较多,但是子

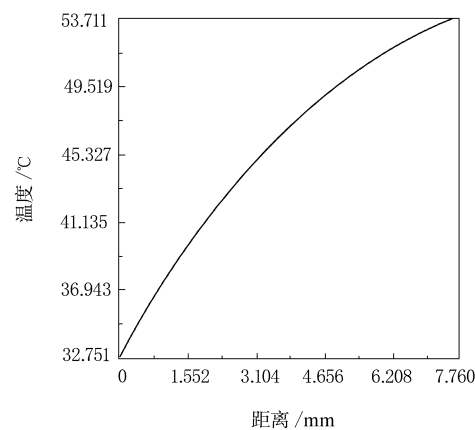


图 6 轮胎胎侧面温度分布曲线

午线轮胎胎侧较薄,所采用胶料的导热系数又较大,因此热量能够及时散发出去而使温度较低,避免了轮胎由于温度过高而发生爆胎现象。

(3)胎肩截面温度分布曲线(从轮胎外部到内部)如图 7 所示。从图 7 可以看出,此处温度也不高,这是因为子午线轮胎行驶时胎肩部位变形不大且接近地面,热量能及时散发出去。

(4)从图 3 还可以看出,轮胎外部温度低于内部温度,这与实际情况相符。

4 结语

(1)建立的滚动轮胎稳态热分析数学模型是可行的,计算结果能够反映轮胎的热状况。

(2)利用有限元法对轮胎温度场进行分析,可得到整个轮胎断面的分布云图,可以更直观、全面地了解轮胎滚动时的生热状况,解决实验方法

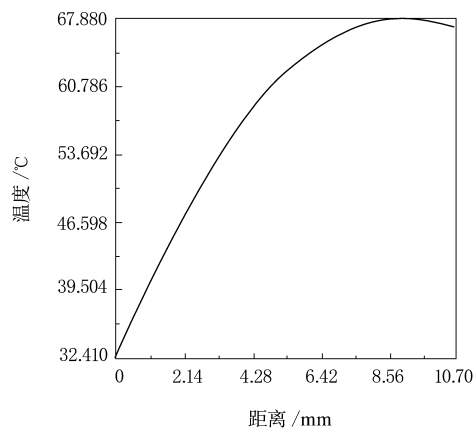


图 7 轮胎胎肩截面温度分布曲线

无法解决的问题,所得结果对轮胎结构设计和配方设计具有指导意义。

(3)子午线轮胎胎冠中部和胎圈附近截面温度成抛物线分布,高温区主要集中在这两个部位,这两处应首先发生热损坏,这与经验结果相吻合。

参考文献:

- [1] Kainradl P, Kaufmann G. Heat generation in pneumatic tires [J]. Rubber Chemistry and Technology, 1976, 49: 823-861.
- [2] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 马连湘. 滚动轮胎温度场的理论与实验研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2001.
- [4] 张士齐. 轮胎热学与力学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988. 280-316.

收稿日期: 2003-10-02

Digital simulation for steady temperature field in radial tire

HE Yan¹, LI Chen², MA Lian-xiang², HUANG Su-yi¹

(1. Middle China University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: Based on the structural characteristics of radial tire, a model of rolling tire for steady thermal analysis was established. A 205/75R15 tire was analyzed with the model to obtained the temperature profile and curve. The calculated results were very close to the real thermal state of tire and provided the reliable criteria for optimizing the tire structure design and modifying the compound formulation.

Keywords: steady temperature field; radial tire; digital simulation