

轮胎材料热生成率的确定

陈振艺

[上海轮胎橡胶(集团)股份有限公司轮胎研究所 200072]

摘要 探讨了确定轮胎全部材料热生成率的简化条件。在应变于一个周期内按正弦波形变化、材料的粘弹性按线性处理、橡胶的生热性能按各向同性处理、忽略橡胶-骨架增强材料垂直于帘线方向应变分量的作用等简化条件下,测定了165R15轿车子午线轮胎所用各种材料在不同使用条件下的热生成率,为轮胎温度场的计算提供了材料生热特性。

关键词 轮胎,橡胶,热生成率,滞后损失

随着计算机性能的飞速提高以及有限元方法的日益成熟和普及,国内外众多轮胎企业都在广泛地使用有限元方法分析轮胎在各种情况下的状态,以期用理论计算的方法来指导轮胎的设计,并以此来取代以往的经验设计。其中轮胎温度场的计算是一个很重要的组成部分,因为通过对轮胎温度场的计算,可以在轮胎设计阶段以降低轮胎各个部位在使用时的温度升高幅度(特别是降低关键部位的温度升高幅度)为依据具体指导轮胎的设计。计算轮胎温度场必须要知道轮胎所用各种材料的生热特性,通常用热生成率来描述材料的生热特性,意为单位体积材料在周期性力作用下在单位时间内产生的热量。热生成率与材料的种类、材料所受周期性应力的变化和变化频率以及材料所处的温度环境等诸多因素有关。由于橡胶材料的力学性能呈现非线性和粘弹性,人们只能用近似的方法来确定热生成率^[1~5],常用的方法是假设材料有一个损耗之类的生热因子,由材料的本构关系推导出生热因子与所受应力和应变的解析关系;用实验测出这个生热因子,就可根据已知的各个部位的应力-应变值来求出

各个部位的热生成率。但是这个生热因子很难精确测定,而且对测试手段的要求也比较高,因此时至今日,要精确确定轮胎所用各种材料的热生成率还是很困难的^[5]。由于轮胎在运行时的生热主要是由轮胎所用材料的滞后损失转换成热量造成的,笔者直接用测定材料滞后损失的方法来确定轮胎所用各种材料在各种情况下的热生成率。这个方法的物理意义简单明了,但因热生成率涉及的因素很多,实验的工作量非常大,必须采用一些简化和假设处理才能使之可行。

1 实验原理

图1为橡胶在周期性力作用下的应力-应变曲线图。当应变处于增大阶段时应力-应变曲线为图中的ABC段,当应变处于减

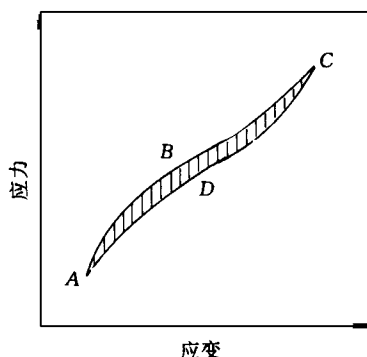


图1 橡胶的滞后损失

作者简介 陈振艺,男,35岁。工程师。1983年毕业于复旦大学物理系。现主要从事轮胎设计和计算机辅助设计工作。曾在《轮胎工业》发表论文《轮胎稳态温度场的计算》。

小阶段时应力-应变曲线为图中的 CDA 段 (如材料无滞后损失, 则 ABC 与 CDA 段重合), 曲线 $ABCD$ 所围成面积的数值就对应于一个周期内能量损耗的数值。而能量损耗是以热的形式出现的^[6], 因此用实验测出材料在各种周期性力作用下的应力-应变关系就能确定材料在不同周期性力作用下产生的热量, 即得到材料在各种使用条件下的热生成率。

在具体操作时可选择各种不同的应变变化情况在不同的温度条件下测定应力-应变关系, 从而得到热生成率与各种应变条件以及温度条件的关系数据。在计算轮胎温度场时, 轮胎在行驶时各个部位的应力和应变数值可用有限元分析方法得到, 因此轮胎在行驶时各个部位产生的热量就可以确定了。由于轮胎所用材料有许多种, 轮胎各部位应力和应变的变化情况各不相同, 轮胎各部位因受力不同和生热特性不同而温度也不同, 因此实验的工作量非常大, 笔者根据实际情况采取下列简化处理:

(1) 轮胎在行驶中各个部位的应变是周期性变化的, 对轮胎上的某一点来说, 在一个周期内其所处的各个位置的应变数值可用有限元法求出, 取其处在最低点和最高点位置 (相对于地面) 时的应变数值为周期性应变的两个峰值, 近似地认为应变在一个周期内按正弦波形变化, 其振幅为两个峰值位置应变数值之差的一半。根据各种材料具体的应变变化情况, 在振幅变化范围内从小到大均匀选择几个数值 (变化范围大的多取, 变化范围小的少取) 作为测量点, 对落在测量点以外的情况则用插值的方法得到。

(2) 在一个变化周期内轮胎各个部位往往有拉伸、压缩和剪切等各种状态, 做剪切实验比较困难, 为方便起见暂时对剪切应力的影响予以估算。近似认为轮胎所用材料的粘弹性为线性的, 材料在按正弦曲线变化应力的作用下有^[7]

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\pi}{2} \operatorname{tg} \delta$$

式中 W_1 为应变能密度, W_2 为能量损失, $\operatorname{tg} \delta$ 为损耗因子。应变能密度可写为

$$W_1 = \frac{1}{2} (\Delta \epsilon_{11} \Delta \sigma_{11} + \Delta \epsilon_{22} \Delta \sigma_{22} + \Delta \epsilon_{33} \Delta \sigma_{33}) + \frac{1}{2} (\Delta \epsilon_{12} \Delta \sigma_{12} + \Delta \epsilon_{23} \Delta \sigma_{23} + \Delta \epsilon_{31} \Delta \sigma_{31})$$

式中 $\Delta \epsilon_j$ 和 $\Delta \sigma_j$ 分别是应变和应力的分量在两个峰值位置的数值之差。 W_1 由两部分组成, 前面一部分与正应力和正应变有关, 后面一部分与应力和应变的剪切分量有关, 把这两部分分别记为 $W_1^{\text{正}}$ 和 $W_1^{\text{剪}}$, 则损失的能量 W_2 为

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{\pi}{2} W_1 \operatorname{tg} \delta \\ &= \frac{\pi}{2} (W_1^{\text{正}} + W_1^{\text{剪}}) \operatorname{tg} \delta \\ &= \frac{\pi}{2} W_1^{\text{正}} \operatorname{tg} \delta + \frac{\pi}{2} W_1^{\text{剪}} \operatorname{tg} \delta \end{aligned}$$

W_2 也由两部分组成, 这里认为 W_2 的后面一部分 $\frac{\pi}{2} W_1^{\text{剪}} \operatorname{tg} \delta$ 是应力和应变的剪切分量对能量损失的贡献, $\operatorname{tg} \delta$ 可近似地由文献^[6]查得, 这样可估算出剪切对材料热生成率的贡献。

(3) 认为纯橡胶材料的热生成性能是各向同性的, 而胎体帘布和钢丝束束层则要考虑帘线角度的影响, 忽略垂直于帘布方向应变分量的作用, 分别测量沿帘线方向和垂直于帘线方向的热生成率, 用椭圆法则近似求得不同角度情况下的热生成率。如图 2 所示, 设 h_0 和 h_{90} 分别是沿帘线方向和垂直于帘线方向的热生成率, 则任意角度 θ 的热生成率 h_θ 为

$$h_\theta = \sqrt{\frac{h_0^2 h_{90}^2}{h_0^2 \sin^2 \theta + h_{90}^2 \cos^2 \theta}}$$

(4) 热生成率的大小还受到温度的影响, 轮胎温度场一般是从环境温度开始逐步迭代

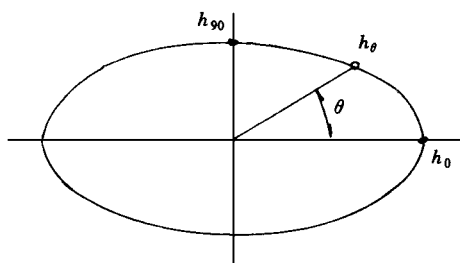


图2 椭圆法则

计算得到, 最终温度达到多高在计算之前是不知道的, 因此需要在不同的温度下进行测量。同样, 从小到大取几个温度点进行测试, 对其它温度情况则用插值的方法计算得到。

(5) 轮胎所用各种材料中胎圈钢丝的应变很小, 认为其无热量产生; 认为气密层胶的生热与胎侧胶的一样; 三角胶的生热与胎圈增强胶一样。这样, 所要测试的材料种类减少到钢丝带束层、胎体帘布、胎冠胶、胎侧胶、胎肩垫胶和胎圈增强胶 6 种。

经过上述处理, 虽然简化了许多, 所剩的工作量仍然很大, 但是测量工作变得可行。

2 实验及结果

针对上轮公司正泰橡胶厂生产的 165R 15 轿车子午线轮胎在恒定速度 100km/h、下沉量 20mm 情况下的应力和应变数值对轿车子午线轮胎所用 6 种材料进行了热生成率的测量。实验设备是美国 Instron 公司的 8501 动态材料试验机, 采用专用计算机软件进行实时记录、显示和储存各种实验数据, 测试时采用应变控制, 应变频率由轮胎行驶速度和轮胎滚动半径计算得到, 温度则由温度箱控制。各种材料的试样均为片状, 尺寸相同, 宽度和厚度分别为 20 和 4mm, 测试长度均为 50mm, 每块胎体帘布和钢丝带束层试样都包含两层角度相同的帘布。胎侧胶、胎肩垫胶和胎圈增强胶分别选择 7 个应变振幅值进行测量, 其它材料则分别选择 9 个应变振幅值。每个测量点测两个试样, 取其平均值, 这样共需测试 1056 个试样。由于橡胶有蠕变

特性, 滞后圈一般要在 15~20min 才会趋于稳定, 加上更换试样和预热试样所需的时间, 每个试样所需实验时间约为 0.5h, 全部实验历时三个多月。

图 3 为胎冠胶热生成率与应变振幅和温度关系的实验结果。其它材料的实验结果在变化趋势方面与胎冠胶的一样。从图 3 中可看出, 应变振幅的增大和温度的升高, 都会使热生成率增加: 应变振幅越大, 热生成率增大的幅度也就越大, 同样, 温度越高, 热生成率随应变振幅增大而增大的幅度也越大。

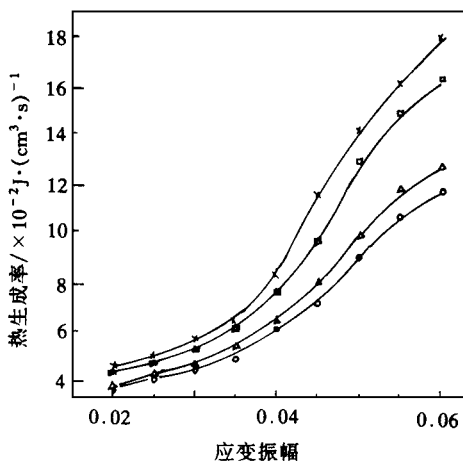


图3 热生成率与应变振幅和温度的关系

× — $T = 100$; — $T = 90$; — $T = 50$;
— $T = 30$

3 结语

经过一些简化和假设, 直接用测量滞后损失的方法得到了轮胎各种材料在不同条件下的热生成率。这个方法的优点是物理意义明确, 特别是骨架材料与橡胶材料的部分摩擦生热也能在实验所测的滞后损失中体现出来。这个方法的缺点是工作量太大, 上述历时三个多月的实验只是确定了轮胎材料在一种应力、应变变化频率下的热生成率, 如果应力-应变的变化频率发生较大的变化(频率由轮胎行驶速度和轮胎滚动半径决定), 则热生成率要重新测定。另外, 实验是在一系列的简

化和假设下进行的,而简化和假设越多,误差也就越大。尽管如此,在测试手段相对比较落后的国内轮胎行业,这不失是个可行的方法。笔者用上述实验结果计算了上轮公司正泰橡胶厂生产的165R16轿车子午线轮胎的稳态温度场^[8],其计算结果有相当的可信性。

橡胶材料的热生成率(以及其它力学性能和热学性能)的确定是一项非常困难的工作,特别是国内轮胎企业,受各种条件的限制,在材料性能测试方面起步晚,进展慢,经验相对缺乏,因此本文介绍的轮胎所用各种材料热生成率的测定工作难免存在错误和欠缺。关于这方面工作的进一步改进,除了上述一系列假设和近似需要进一步探讨和改善,更多与热生成率有关的因素需要考虑外,试样的形状和尺寸也需要进一步研究,以进一步提高热生成率的测试精确程度。

参考文献

- 1 Sarkar. A new approach for the thermomechanical analysis of tires by the finite element method. *Tire Sci and Tech*, 1987; 15(4): 261
- 2 Clark. Load, speed and inflation pressure effects on rolling loss distribution in automobile tires. *Tire Sci and Tech*, 1988; 16(2): 78
- 3 Reed. Heat build-up of dynamically loaded engineered elastomeric components. *Elastomerics*, 1989; (2): 45
- 4 Yavari. A thermomechanical model to predict the temperature distribution of steady state rolling tires. *Tire Sci and Tech*, 1993; 21(3): 163
- 5 B S O h. Internal temperature distribution in a rolling tire. *Tire Sci and Tech*, 1995; 123(1): 11
- 6 Freakley, 杜承泽等译. 橡胶在工程中的应用的理论与实践. 北京: 化学工业出版社, 1985: 73, 558
- 7 蔡峨. 粘弹性力学基础. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1989: 50
- 8 陈振艺. 轮胎稳态温度场的计算. *轮胎工业*, 1997; 17(5): 273~277

收稿日期 1997-03-24

Determination of Heat Build-up of Tire Materials

Chen Zhenyi

(Shanghai Tire and Rubber Group Corp. Ltd. 200072)

Abstract The simplified conditions under which the heat build-up of all tire materials was determined were investigated. For providing the heat build-up characteristics of tire materials to calculating the temperature field of tire, the heat build-up of various materials in 165R15 radial passenger car tire under different running conditions was determined assuming that the strain variate sinusoidally in a period, the viscoelasticity of materials be linear, the heat build-up of rubber be isotropic, and the strain component of rubber/cord composite perpendicular to the calender direction be negligible.

Keywords tire, rubber, heat build-up, hysteresis

桦林集团开发斜交轮胎索赔管理软件

最近,桦林集团有限责任公司计算机中心完成了斜交轮胎索赔管理软件开发设计工作。该系统可以从轮胎规格、生产时间、生产单位、损坏原因等方面进行索赔轮胎的统计,

便于索赔轮胎的技术分析。据悉,该公司斜交轮胎索赔管理软件的开发应用,将提高办公自动化程度,使管理工作更具科学性、系统性。

(本刊讯)