

橡胶散热系数测量方法的研究

邢 涛, 钟 萍

(哈尔滨工业大学 复合材料研究所, 哈尔滨 150001)

摘要: 针对橡胶材料导热系数小的特点, 提出了橡胶散热系数非稳态测量的方法, 该方法在保证测量精度的前提下可提高测试效率。通过对胎面胶和胎侧胶在湍流时散热系数进行计算, 分析了影响散热系数的因素。结果表明, 风速和空气的流动形态是影响散热系数的主要因素。橡胶散热系数的确定为精确分析和预报轮胎温度场提供了条件。

关键词: 散热系数; 非稳态测量; 温度场; 橡胶

中图分类号: T B332; T Q330. 1 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2001)05-0266-04

由于轮胎的构成材料——橡胶及其复合材料均属粘弹性材料, 在轮胎滚动过程中橡胶及其复合材料在交变载荷作用下生热, 导致轮胎的损坏, 降低了其使用性能^[1, 2]。目前对轮胎温度场分析已成为轮胎研究的热点^[3, 4]。轮胎温度场分析的难点在于热生成率的计算和热边界条件的确定, 其中散热系数的确定是热边界条件的一部分。

确定散热系数的表达式有两个基本途径, 即理论方法和在理论指导下的试验方法。理论方法还没有达到求解各种对流散热问题的普遍程度, 目前试验测量是求取散热系数的主要方法。

为测试散热系数, 必须求解热传导方程。热传导分为稳态热传导和非稳态热传导。试件内部温度未达到稳态分布时, 求解热传导方程、计算散热系数的方法被称为非稳态测量散热系数方法, 采用该方法能够快速、准确地测试橡胶散热系数。

1 非稳态测量散热系数原理

通常求取散热系数的方法是当试件内部温度稳定时, 测量试件内部温度分布, 利用公式(1)计算散热系数。

$$h=\frac{k}{\Delta T}\cdot\frac{\partial T}{\partial x} \tag{1}$$

式中 h ——散热系数;
 k ——导热系数;
 ΔT ——试件表面与空气的温差。

该方法虽然原理简单, 但测试时间长, 不利于试验的连续测试。

非稳态测量散热系数原理是: 设一无热源的均匀六面体, 左端为定温加热, 右端为对流散热边界条件, 其余四边为绝热条件, 热传导方程如下:

$$\rho C \frac{dT}{dt}=k \nabla^2 T \tag{2}$$

初始条件:

$$T(x, t)=T(x, 0)=T_0 \tag{3}$$

左边界条件:

$$T_s=T(x) \tag{4}$$

右边界条件:

$$q_h=h(T_1-T_\infty) \tag{5}$$

式中 ρ ——密度;
 C ——比热容;
 T ——未知表面温度;
 T_0 ——试件的初始温度;
 T_s ——左表面温度;
 T_1 ——右表面温度;
 t ——时间;
 q ——热流密度。

作者简介: 邢涛(1971-)男, 山东蓬莱人, 桦林轮胎股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事轮胎力学分析工作。

采用有限元方法可得下式,详细推导过程参见文献[4]。

$$(K_c + K_h + K_p) T_e = R_h + R_p \quad (6)$$

式中 K_c, K_h, K_p ——系数矩阵,是与热传导、对流散热、非稳态相对应的导热“刚度”矩阵;

T_e ——单元温度;

R_h, R_p ——表面对流散热的热载荷和温度随时间变化而引起的热载荷。

试验测试的数据为试件内部温度,可采用试错法反算散热系数。假定一个散热系数 h ,用公式(6)计算试件内部温度 T_e 。通过试验测量得到试件内部温度 T' ,当 T' 和 T_e 相同时,假定的 h 即为求解的散热系数。

2 试验装置

流体流过固体壁面情况下所发生的热量传递称为对流散热。对流散热以牛顿冷却公式为基本计算式($q = h \Delta T$),该公式只是一个 h 的定义式,没有揭示出散热系数与影响它的物理量之间的内在联系。散热系数的大小与散热过程的诸多因素有关。影响散热系数的因素有空气流动速度和空气的流动形态。本试验是在强制对流条件下测量湍流时橡胶表面与空气的散热系数。针对影响散热系数的因素,设计如图1所示的试验装置,此装置能够调节流过试件表面风速及控制空气流动形态。试件的尺寸为 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$,分为5层,在各层之间中心部放置3支热电偶。

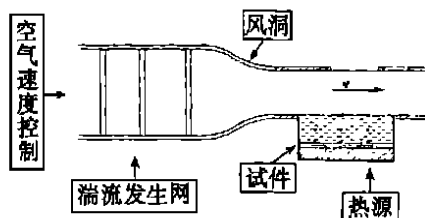


图1 风筒装置示意图

在风洞的前部有3层湍流发生网提高来流的扰动,增加雷诺数(Re)。风筒是方形的,属于管内强制对流,取 $Re = 2.5 \times 10^5$,在 25°C 时

空气的动力粘度系数 $r = 16 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,主流速度 v 为 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,发生湍流的临界长度 L 为:

$$L = \frac{r Re}{v} = \frac{16 \times 10^{-6} \times 2.5 \times 10^5}{3} = 1.33(\text{m})$$

从风源喷口到试件的距离为 1.8 m ,试验测试的最低速度为 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,由此可以判定试验测得数据是湍流状态下的散热系数。

在分析流动形态对散热影响时引入边界层概念,可以认为试件表面只与边界层的空气散热有关。在边界层为层流时,各层空气相对滑动形成了导热相对较差的空气层,阻碍了试件表面的热量向空气传递,此时散热系数只取决于边界层空气流速。在边界层的湍流区,由于粘滞力的作用产生了扰动,破坏了空气各层的相对滑动,此时空气的质点具有纵向的脉动速度,这种流动形态加快了试件表面的散热。从热量的角度可以这样认为,散热系数大小取决于试件表面接触未被加热空气的多少。在层流的起始段,流过的空气都是未被加热的(即新鲜的空气),此时试件表面与空气进行了充分的散热,散热系数最大。在层流区,靠近试件表面的空气继续被加热,试件通过表面薄薄的一层空气导热散失热量,散热系数减小。在湍流区,与试件表面接触的空气一部分是被加热过的,一部分是新鲜的,新鲜空气由主流速度和脉动速度提供,此时的散热系数增大。可以认为,在湍流时散热系数决定于新鲜空气的流量,而流量取决于主流速度和脉动速度。

3 试验数据处理

试验测得数据为试件内部温度和环境温度。对数据的处理可以采用以下3种方式。

(1)确定试件底面的热流密度,计算试件由于自身温度升高所吸收的热量,由此推算出试件上表面与空气之间的热流密度。由于试件表面温度是不可测的,通过求解导热方程确定试件表面的温度,再利用牛顿公式计算出散热系数。

(2)采用试错法,假定一个散热系数,求解导热方程,当求解的试件内部温度与测量的温

度曲线现重合时,此时的散热系数为求解的散热系数。

(3)采用试错法,假定一个散热系数,求解导热方程,将求解的温度和测量的温度分别对时间求积分,当积分值相等时,此时的散热系数为求解的散热系数。

试件内部温度变化曲线是单调函数,没有

拐点,因此当积分值相等时,测量曲线与计算曲线一定重合。本试验采用第 3 种计算方法,该方法计算速度快,能够消除个别测温点误差对计算散热系数的影响。

在风速为 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,胎侧胶试件内不同点测试温度和计算温度比较如表 1 所示。

从表 1 可以看出,试验测量温度值与计算

表 1 试验测量温度值与计算温度值的比较

℃

时间/min	第 1 点		第 2 点		第 3 点		第 4 点	
	测量	计算	测量	计算	测量	计算	测量	计算
0	82.7	—	73.2	—	61.0	—	47.9	—
1	82.9	84.2	73.2	72.3	60.8	60.3	47.7	48.2
2	83.2	84.1	73.3	72.2	60.8	60.2	47.6	48.1
3	83.0	84.1	73.2	72.2	60.6	60.2	47.4	48.1
4	83.2	84.1	73.2	72.1	60.6	60.1	47.4	48.0
5	83.2	84.0	73.2	72.1	60.5	60.1	47.4	48.0
6	83.1	84.0	73.2	72.0	60.5	60.0	47.3	48.0
7	83.1	84.0	73.2	72.0	60.5	60.0	47.3	48.0
8	83.1	84.0	73.1	72.0	60.6	60.0	47.4	48.0
9	83.1	84.0	73.2	72.0	60.6	60.0	47.4	47.9
10	83.1	84.0	73.1	72.0	60.5	60.0	47.3	47.9

温度值有很好的重合性,由此可以证明试验方法的正确性。

图 2 所示为试验测量的胎面胶散热系数随风速的变化曲线。图 3 示出了试验测量的胎侧胶散热系数随风速的变化曲线。从图 2 和 3 可以看出,其变化基本是线性的,两种胶的曲线很相似。

在湍流时,散热系数公式的拟合采用二次函数拟合幂函数形式。

$$h=a_0+a_1v+a_2v^2 \tag{7}$$

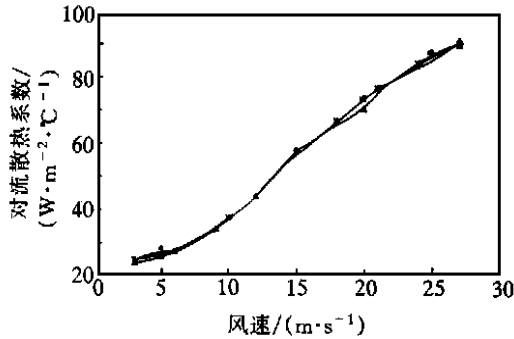


图 2 胎面胶散热系数随风速的变化关系
△—第 1 次测量; ▲—第 2 次测量; —第 3 次测量

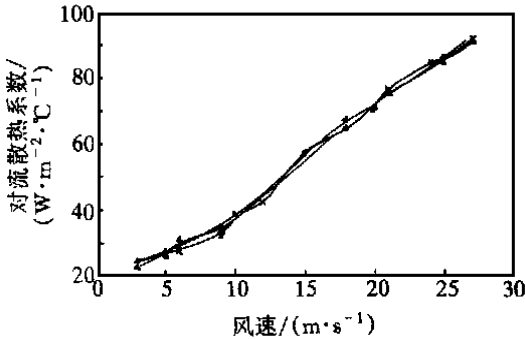


图 3 胎侧胶散热系数随风速的变化关系
注同图 2

式中 v ——风速;
 a_0, a_1, a_2 ——经验系数。

在胎面胶散热系数计算公式中 $a_0=13.21, a_1=2.54, a_2=0.0149$ 。胎侧胶散热系数计算公式中 $a_0=13.63, a_1=2.46, a_2=0.0172$ 。

在层流时散热系数的计算采用文献[3]的计算公式:

$$h=0.332\frac{\lambda}{x}PrR_x^{1/2} \tag{8}$$

式中 Pr ——普朗克常数;

R_x ——发生湍流临界长度。

公式(7)和(8)计算的对比结果如图 4 所示。

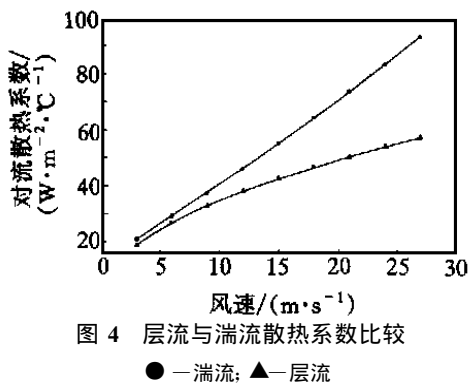


图 4 层流与湍流散热系数比较
●—湍流; ▲—层流

从图 4 可以看出,在风速较低时,公式(7)和(8)计算的散热系数相差不大,随着风速的增大,湍流散热系数明显高于层流。由此可见,风速和空气的流动形态影响散热系数,也可以说风速和空气的流动形态控制着与试件表面接触未被加热空气的流量,当流量增大时,散热系数增大。

4 结语

通过对湍流时胎面胶和胎侧胶散热系数的计算表明,风速和空气的流动形态是影响散热系数的主要因素。在稳态测量基础上建立的非稳态测量散热系数方法,在保证测量结果准确的前提下可提高试验测试效率,降低测试时试验不稳定因素的影响,简化测试操作过程。橡胶散热系数的确定为精确分析和预报轮胎温度场提供了依据。

参考文献:

[1] Medalia A I. Heat generation in elastomer compounds; causes and effects[J] . Rubber Chemistry and Technology, 1991, 64: 481-491.

[2] 危银涛. 轮胎热力学分析及耐久性评价[D] . 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1998.

[3] Browne A L, Wickliffe L E. Parametric study of convective heat transfer coefficients at the tire surface[J] . Tire Science and Technology, 1980, 8(4): 37-67.

[4] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用[M] . 北京: 科学出版社, 1998. 8-199.

收稿日期: 2000-12-29

高性能聚合物中热裂法炭黑
与炉法炭黑的对比

中图分类号: TQ330.38⁺1 文献标识码: D

热裂法炭黑是一种独特的填充剂,用于高性能弹性体,具有产品性能好和成本低的优点。介绍了热裂法炭黑性能及其与标准炉法炭黑的差别。将用天然气制造的大粒径、低结构的热裂法炭黑在 FKM(氟橡胶)、HNBR(氢化丁腈橡胶)和 VAMAC(乙酸乙烯-马来酸酐共聚物)等高价聚合物中做了评价试验。由于高性能、高价位的聚合物用量日益增大,因此必须使用具有性能和成本两方面优势的填充剂。试验得到的数据表明,相同用量和硬度的不同品种炭黑可获得不同性能的胶料;改变填充剂品种和用量能够降低胶料成本和/或提高胶料加工性能及物理性能。举例证明了热裂法炭黑的独特

性能及其对胶料性能的影响。
(涂学忠译自“IRC2000 论文集”摘要 A-6)

固特异 SR 厂投产

中图分类号: TQ333.1 文献标识码: D

英国《欧洲橡胶杂志》2000 年 182 卷 11 期 14 页报道:

固特异化学公司在博蒙特投资 1.44 亿美元兴建的合成橡胶厂已全面投产。该厂年生产能力为 11 万 t,产品品种包括可改善轮胎滚动阻力、牵引力和磨损性能的 S-SBR。该厂厂址靠近固特异的另一家合成橡胶厂,两厂总年产能力达到 50 万 t。固特异在得州休斯顿的化工厂生产轮胎、胶带和胶管用的 E-SBR,但其 660 名雇员中有 350 人参加了罢工。

(涂学忠摘译)