

橡胶复合材料的热传导特性研究

王友善 邢 涛 梁 英 王衍林
(桦林集团有限责任公司 157032)

摘要 介绍了准稳态法测量橡胶复合材料热导率的原理和试验装置;对以人造丝、尼龙和聚酯增强的橡胶复合材料的热导率进行了测量,线性拟合得出了其热导率与温度的定量关系式,并将该线性关系式和橡胶基体材料进行了对比。结果表明,橡胶复合材料的热导率在纤维纵向上大于橡胶的热导率;在纤维横向上基本与橡胶一致。

关键词 橡胶复合材料,准稳态法,热导率

橡胶复合材料是指以橡胶为基体的纤维增强的复合材料,如轮胎帘布层。温度对轮胎的帘布脱层、胎面脱层、轮胎内层爆破等都有重要的影响^[1],因此对轮胎的温度场进行研究很有必要。这就首先要研究橡胶复合材料的热力学特性,只有在此基础上,才能为轮胎温度场的分析与计算提供可靠的依据。

热导率 λ 是衡量物质导热能力的重要参数。橡胶复合材料这种低导热性固体的热导率的测量一般分为稳态测量和非稳态测量,本试验采用准稳态测量。

1 原理

凡是能为傅立叶导热方程(以直角坐标表示,无内热源,而且 λ 与位置无关)的特解提供所需边界条件的任何仪器,都可以测定热导率,该傅立叶导热方程为:

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\lambda_x \frac{\partial \theta}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\lambda_y \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(\lambda_z \frac{\partial \theta}{\partial Z} \right)$$

式中 ρ ——材料的密度, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 c ——材料的比热容, $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;
 θ ——温度, $^\circ\text{C}$;
 $\frac{\partial \theta}{\partial t}$ ——温升速率, $^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$;
 λ_x ——材料在 X 方向上的热导率, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;

λ_y ——材料在 Y 方向上的热导率, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;
 λ_z ——材料在 Z 方向上的热导率, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 。

热传导分为稳态热传导和非稳态热传导,稳态热传导中一种最简单的情形是,温度分布只是一个空间坐标的函数,即一维稳态热传导。它是稳态热传导中一种最基本的形式,是实际问题在一定条件下的简化,可用于描述大量工程对象中热传导现象,并具有足够的精度。对于一维稳态热传导相应的定解问题由原来的导热偏微分方程边界问题转化为常微分方程的边值问题,使导热问题的数学解得到简化。同时,一维稳态导热分析使导热现象的一些主要规律体现得更明显,有利于掌握对一般导热问题的分析。

热导率 λ 是衡量物质导热能力的重要参数,其值的大小与材料的几何形状无关,主要决定于材料的成分、内部结构和密度,对于橡胶复合材料这种内部有纤维取向的材料而言,热导率还与方向有关。

测定热导率时,依据的主要热力学变量是温度。从物理学的微观观点来看,热导率是一个在非平衡态下的参数,它的测定是基于测量恢复热平衡所需的时间。根据傅立叶热传导定律,热导率在宏观上定义为:

$$\lambda = \frac{q_n}{-\frac{\partial \theta}{\partial n}}$$

式中 q_n ——在 n 方向上的热流密度, $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$;

作者简介 王友善,男,28岁。工程师。1992年毕业于东北林业大学物理系,1997年1月哈尔滨工业大学复合材料专业硕士毕业。现主要从事轮胎结构有限元分析及设计工作。已发表论文6篇。

λ ——材料的热导率, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 。

这说明热导率是单位时间、单位面积、负的单位温度梯度下的导热率。对于橡胶复合材料,它的热导率取决于各组分的热导率和各组分的体积分数,并且因为它们是固体无定形材料的混合物,所以测量得到的热导率是表观热导率,这样我们还应注意空隙间的对流和辐射能量交换^[2~4]。

在此,我们把平板各处的温度和时间视为

线性关系,即温度随时间变化的速率是常数,并且处处相同,这种状态称为准稳态。本试验用准稳态法测量了橡胶及橡胶复合材料的热导率,用线性回归法得出了热导率与温度的定量关系,供大家参考。

2 实验

2.1 试验装置

准稳态法测量热导率的试验装置见图1。

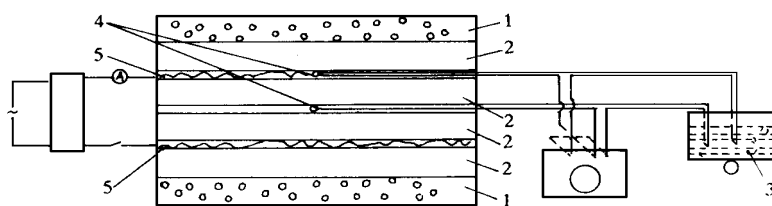


图1 热导率准稳态法测量试验装置示意图

1—绝热层;2—试样;3—冰水;4—热电偶;5—加热器

2.2 试样

试样尺寸为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times \delta$, $\delta = 10 \sim 16 \text{ mm}$, 每组4块,尺寸完全相同,每块上下表面要平行,表面要平整。试样按材料不同分为3类:纯橡胶试样[见图2(a)];橡胶/帘线纵向排列试样[见图2(b)];橡胶/帘线横向排列试样[见图2(c)]。其中纤维的种类有尼龙6、聚酯和人造丝3种。

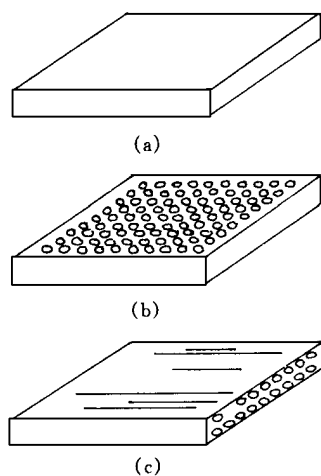


图2 3类试样示意图

测定结果如图3~10所示。

由图3和4可知,这里所测得的橡胶材料热导率为 $0.22 \sim 0.23 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,与文献[2]

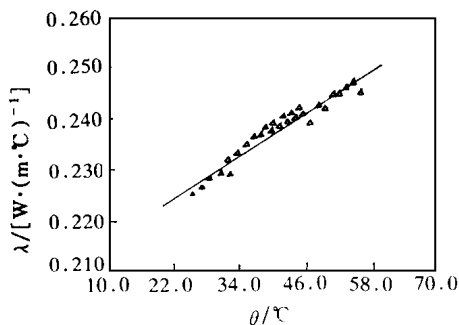


图3 以人造丝增强的橡胶基体材料的热导率与温度的关系曲线

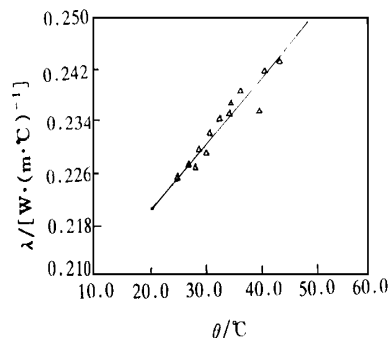


图4 以尼龙和聚酯增强的橡胶基体材料的热导率与温度的关系曲线

3 结果与讨论

这里测试稳定范围为 $20 \sim 65$, 热导率的

报道的 $0.19 \sim 0.24 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 的热导率相符,说明该准稳态法适用于橡胶材料热导率的测量。

由图 3~10 可知,不论是橡胶材料,还是帘线橡胶复合材料(包括纤维纵向和横向两种排列),在所研究的温度范围内 λ 与 θ 呈线性关系。不妨设:

$$\lambda = \lambda_0 + b\theta$$

式中 λ ——参考状态下的热导率,
 $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$;

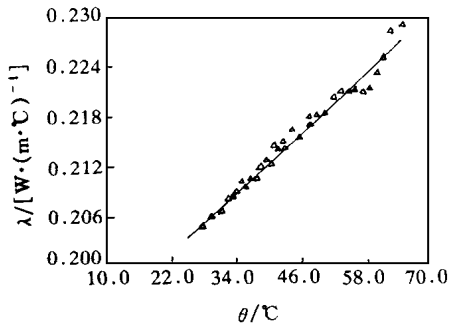


图 5 纤维横向的尼龙帘线橡胶复合材料热导率与温度的关系曲线

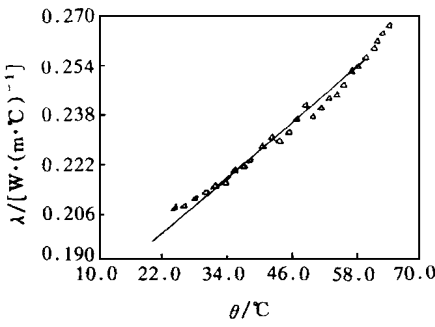


图 6 纤维横向的聚酯帘线橡胶复合材料热导率与温度的关系曲线

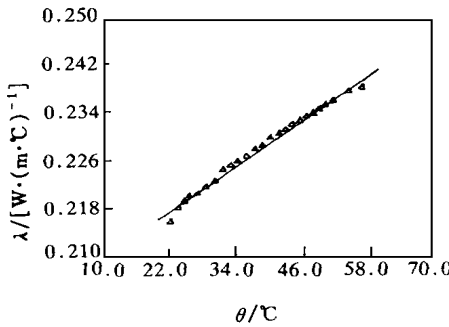


图 7 纤维横向的人造丝帘线橡胶复合材料热导率与温度的关系曲线

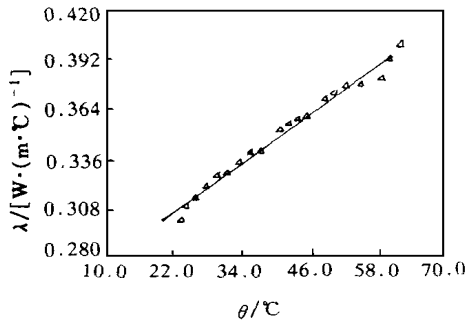


图 8 纤维纵向的尼龙帘线橡胶复合材料热导率与温度的关系曲线

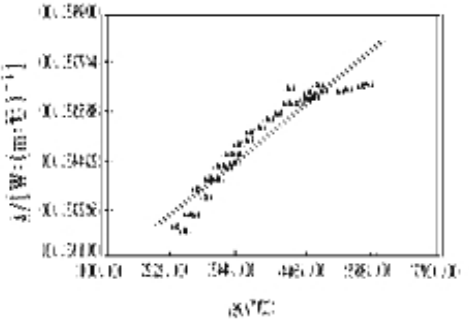


图 9 纤维纵向的聚酯帘线橡胶复合材料热导率与温度的关系曲线

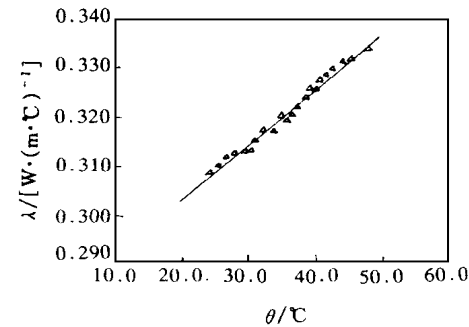


图 10 纤维纵向的人造丝帘线橡胶复合材料
 b ——与材料性质有关的温度因数,
 $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 。

将试验数据按上式进行线性拟合得出以下关系式:

- (1) 以人造丝增强的橡胶基体材料:
 $\lambda = 0.209\,1 + 6.899 \times 10^{-4}\theta$
- (2) 以尼龙和聚酯增强的橡胶基体材料:
 $\lambda = 0.200\,9 + 9.693 \times 10^{-4}\theta$
- (3) 纤维横向的尼龙帘线橡胶复合材料:
 $\lambda = 0.188\,8 + 5.914 \times 10^{-4}\theta$
- (4) 纤维横向的聚酯帘线橡胶复合材料:

$$\lambda = 0.1680 + 1.455 \times 10^{-3} \theta$$

(5) 纤维横向的人造丝帘线橡胶复合材料:

$$\lambda = 0.2033 + 6.333 \times 10^{-4} \theta$$

(6) 纤维纵向的尼龙帘线橡胶复合材料:

$$\lambda = 0.2568 + 2.257 \times 10^{-3} \theta$$

(7) 纤维纵向的聚酯帘线橡胶复合材料:

$$\lambda = 0.2906 + 1.520 \times 10^{-3} \theta$$

(8) 纤维纵向的人造丝帘线橡胶复合材料:

$$\lambda = 0.2804 + 1.122 \times 10^{-3} \theta$$

由试验发现纤维横向的帘线橡胶复合材料的热导率在 $0.20 \sim 0.22 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 之间,这基本上与橡胶材料的热导率相同,说明纤维增强橡胶复合材料的横向热导率由基体材料决定。同时发现纤维增强橡胶复合材料的纵向热导率在 $0.30 \sim 0.33 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$ 之间,远远大于纤维横向导热率。这是因为在纵向上的传热纤维起了很大作用。

4 结语

本文用准稳态法研究了橡胶及其纤维增强复合材料的热导率。结果表明,橡胶复合材料的纤维横向热导率由橡胶基体决定;其纤维纵向热导率远远大于横向热导率。另外,不论橡胶还是橡胶复合材料在所研究的温度范围内,其热导率与温度均呈线性关系。

参考文献

- 1 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:[学位论文]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,1990
- 2 郭怀仁. 理化分析测试指南(非金属部分). 北京:化学工业出版社,1988. 52~78
- 3 徐芝纶. 弹性力学. 第3版. 北京:高等教育出版社,1982. 161~168
- 4 黄谷华,韩风华. 工程热力学与传热学. 北京:北京航空航天大学出版社,1993. 220~225

收稿日期 1998-10-16

Study on Rubber Composite Heat Conductivity

Wang Youshan, Xing Tao, Liang Ying and Wang Yanlin

(Hualin Group Co., Ltd. 157032)

Abstract The principle and apparatus for measuring the heat conductivity of rubber composite with the quasi-steady state method were described; the heat conductivities of rubber composites with rayon, nylon or polyester were determined, a quantitative relation between their conductivity and temperature was proposed by linear fitting and compared to that of rubber matrix. The results showed that the heat conductivity of rubber composite was higher than that of rubber matrix in the longitudinal direction of fibre, but was similar to the lateral in the lateral direction of fibre.

Keywords rubber composite, quasi-steady state method, heat conductivity

桂林橡机厂研制成功 1140 液压硫化机

广西桂林橡胶机械厂研制成功 1140 液压硫化机,并通过国家橡胶检测中心的检验。

国内轮胎硫化普遍使用机械式硫化机,由于其本身固有的缺陷,满足不了高精度子午线轮胎对轮胎均匀性的要求。

该厂综合国外液压硫化机的优点,采用 C 型中心机构,保证轮胎定型时良好的对称性及稳定性;采用 CAD 设计简化硫化机结构;抓胎器中心有定位套,实行强制对称,保证其同心度;液压系统采用 VERKERS 液压元件,提高其可靠性;电气控制系统采用国外先进的 S7-

300 系统进行硫化过程控制、动作过程控制、压力 PID 调节,并配以 TP-27 触摸屏可进行人机对话,运行监控,故障显示。此外,该硫化机中心结构——液压硫化机开合模由液压驱动,模具仅作上下垂直运动,保证上下热板的同心度,特别是重复动作精确,上下模间受到的合模力均匀,提高了产品质量;液压硫化机取消蜗轮减速机及易损件,减少了备品备件的支出,又降低了设备的故障率,提高设备的开机率;液压硫化机节省硫化辅助时间及硫化时间,大大提高了生产效率。

(摘自《中国化工报》,1999-01-14)