

文章编号:1673-0062(2013)01-0075-03

# 红外热成像技术表征高聚物材料拉伸形变热效应的方法

王 孟<sup>1,2\*</sup>, 刘芝芳<sup>1</sup>, 廖 云<sup>1</sup>, 陈大俊<sup>2</sup>

(1. 南华大学 化学化工学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 东华大学 材料学院, 上海 201620)

**摘 要:**用红外热成像技术可以表征高聚物材料拉伸形变过程的热效应特征. 本文主要从测试装置的建立、红外热成像仪的镜头选择、材料发射率的确定及温度的采集方法等几个角度, 介绍如何通过红外热成像仪提高测试高聚物材料形变热效应特征准确性的方法.

**关键词:**红外热成像技术; 高聚物材料; 热效应; 温度

**中图分类号:** TG11      **文献标识码:** B

## Determination of Thermal Effects of Polymeric Materials upon Drawing by Infrared Thermography

WANG Meng<sup>1,2\*</sup>, LIU Zhi-fang<sup>1</sup>, LIAO Yun<sup>1</sup>, CHEN Da-jun<sup>2</sup>

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;  
2. College of Materials Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Thermal effects of polymeric materials upon drawing can be determined by infrared thermography. In this paper, main objective will be improving the accuracy of the technology from several aspects, including device set-up, choice of lens, ascertaining the emissivity of materials and method for collecting temperature.

**key words:** thermal effects; polymeric materials; infrared thermography; temperature.

## 0 引 言

红外热成像技术是一种在线、非接触检测材料表面温度的方法, 具有既能够生成优质红外图

像, 又能够精确测温的特点. 该技术已经被广泛应用于全球工业行业的过程状态检测, 如电力、建筑、医疗、安保及军事等领域<sup>[1]</sup>, 而目前其应用正扩展到各种实验及科研研究领域, 如复合材料检测;

收稿日期: 2013-01-26

基金项目: 衡阳市科学计划基金资助项目(2011KJ20)

作者简介: 王 孟(1979-), 男, 山西运城人, 南华大学化学化工学院讲师, 博士. 主要研究方向: 功能高分子材料, 复合材料.

热传导研究;动植物生态研究;模具铸造温度测量;金属熔焊研究;地表/海洋热分布研究等<sup>[2-4]</sup>. 本文作者应用红外热成像技术研究了各种高聚物材料拉伸形变过程的热效应特征<sup>[5-6]</sup>, 实验发现有许多因素会明显的影响到测试的准确性. 所以本文将从实验装置建立、镜头选择、材料发射率、及温度采集方法等几个角度介绍提高红外热成像技术测试材料形变热效应准确性的方法.

## 1 测试装置建立

图1为红外热像技术测试形变过程热效应的装置图,包括拉伸与红外测温两个测试系统. 在拉伸形变过程中,红外热成像系统在线跟踪材料整个拉伸过程,红外热像图记录拉伸过程中的温度变化. 一般要求红外热成像仪放置在测试试件的前方,并使得观测镜片的轴线垂直于试件表面.

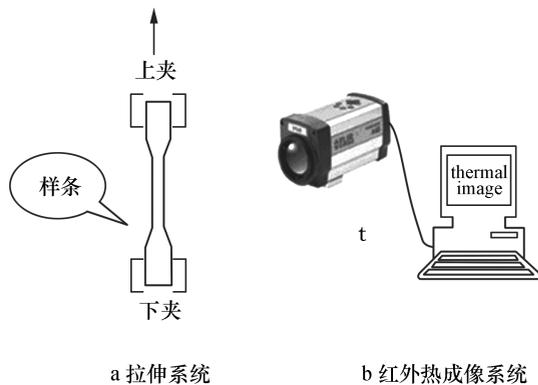


图1 实验测试装置图

Fig.1 Experimental equipments of drawing and temperature measurement

为了保证整个实验过程处于一种绝热状态,测试过程一般要求多选用较厚(哑铃型)或较粗(纤维状)的试样,而且要求形变速率要足够的快. 以避免环境温度因传导或对流而影响测试准确性.

## 2 测试影响因素

### 2.1 红外热成像仪镜头的选择

分辨率是红外测温仪器分辨空间尺寸能力的技术参数,对于红外热成像仪,水平视场角( $HFOV$ )和垂直视场角( $VFOV$ )被定义为:

$$HFOV = 2 \times L \times \tan(12^\circ) \quad (1)$$

$$VFOV = 2 \times L \times \tan(9^\circ) \quad (2)$$

如图2所示,影像空间分辨率主要决定于瞬

时视场( $IFOV$ , instantaneous field of view)角,其被定义为式(3). 瞬时视场角越小,分辨单元越小,分辨率就越高.

$$IFOV = \frac{HFOV}{a} \text{ or } \frac{VFOV}{b} \quad (3)$$

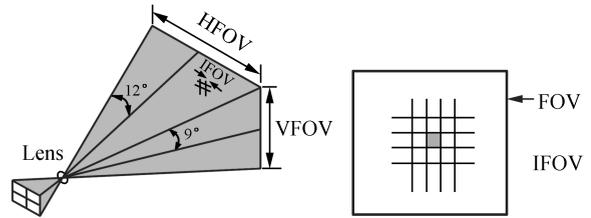


图2 水平视场角( $HFOV$ ),垂直视场角( $VFOV$ )和瞬时视场角( $IFOV$ )

Fig.2 Horizontal field of view ( $HFOV$ ), vertical field of view ( $VFOV$ ), and instantaneous field of view ( $IFOV$ )

红外热成像仪的镜头有多种选择,一般除一般的普通镜头外,还可选用一系列不同焦距的微焦镜头. 微焦镜头的优点在于 $IFOV$ 值远小于普通镜头. 对于同一目标微焦镜头将会有更高的物质成像分辨率,但微焦镜头测试需靠近测试物体,对于表面积较大试样,仅只能测试材料局部温度,两种镜头测试对照如图3.

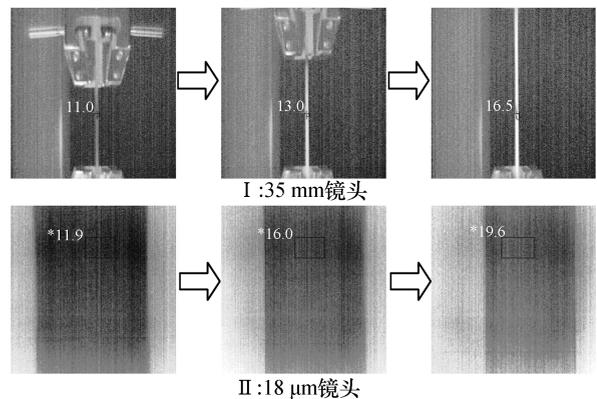


图3 35 mm 镜头和 18  $\mu\text{m}$  微焦镜头热像图比较  
Fig.3 Thermal images during drawing by 35 mm lens and 18  $\mu\text{m}$  close-up lens

显然,如果研究的样条尺寸较大,为了更全面的了解形变过程材料的温度特征,一般选用普通镜头,可以更全面的观测材料表面温度的变化特征. 而研究纤维材料的热效应特征则选用微焦镜头,这样得到的热像图具有较高的分辨率,可提高测试精确度.

## 2.2 发射率的确定

不同测试样条的种类或同一样条不同表面状态,会有不同的发射率.而发射率又会对测试材料表面温度产生很大的影响.对于黑体,其发射率  $\varepsilon = 1$ ,而一般物体  $0 < \varepsilon < 1$ .可见,材料发射率的确定,是测试高聚物材料形变热效应非常重要的一步.

实验中测试发射率步骤如下:选择测试材料的一个样品,设置热像仪中环境温度参数,在样品上贴上已知辐射率的胶带(实验中贴黑色胶带,相当于黑体),均匀加热样品到其高于环境温度  $20^\circ$  以上,拍摄红外图像并冻结测量.设置胶带的发射率(1.0),测量胶带温度(用点温或区域平均温度),记下所测温度.再将点或区域移动到样品上,改变辐射率,直到温度与刚才所记的温度相同,记下此辐射率就是材料本身的发射率.

同样,利用不同材料表面发射率的差异,热成像仪生成的热图可以很容易辨别出两种具有同样温度的材料.例如在室温下测试纤维形变过程的热效应时,如果背景材料的发射率与纤维发射率相近,热像图上将很难捕捉到纤维.但如果背景材料选用很低发射率材料(如铝箔),热像图将会明显区别出纤维与背景材料.

## 2.3 温度的采集

红外热像图中各点的温度都是可测量的,测量模式有多种选择,包括:点温、线温、等温、区域温度等,如图4所示.

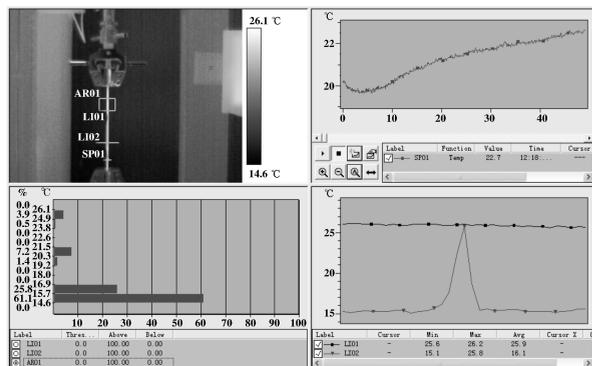


图4 从热像图上温度采集的几种方法

Fig. 4 Several methods of test temperature by thermal images

左上角的热像图上的点 SP01、线 LI01、LI02 和面 AR01 的温度特征都会在图中找到.左上角的柱状图表示 AR01 的等温分布图,右上角的温度变化曲线为点 SP01 随形变的温度变化特征,中间灰色区域为对应点温,右下解的两条曲线分别为材料的轴向温度与径向温度分布.在实验中,点温或区域平均温度用的较多.

## 3 结论

红外热成像技术可以表征高聚物材料形变过程热效应特征,具有实时,在线,直观的特点.为了提高测试过程的准确性,除要求样品足够厚或形变速率足够快,以减小形变过程热损失外,还要求选择好合适的红外相机镜头,一般微焦镜头对测试细小的样品有更高的分辨率.材料的发射率确定是影响测试准确性的关键性因素,这里也介绍了如何测试样品发射率的方法.红外热像图上每个像素点表征一个温度点,因此不同的温度采集方法有助于提高测试精确性.

## 参考文献:

- [1] Carlomagno G M, Cardone G. Infrared thermography for convective heat transfer measurements [J]. *Experiments in Fluids*, 2010, 49(6): 1187-1218.
- [2] Marla Vishnu T, Shambaugh Robert L, Papavassiliou Dimitros V. Online measurement of fiber diameter and temperature in the melt-spinning and melt-blowing processes [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, 48(18): 8736-8744.
- [3] Rigolini Julien, Bombled Florine, Ehrenfeld Francis, et al. 2D-infrared thermography monitoring of ultrasound-assisted polymerization of water-soluble monomer in a gel process [J]. *Macromolecules*, 2011, 44(11): 4462-4469.
- [4] Boldor D, Gerbo N M, Monroe W T, et al. Temperature measurement of carbon nanotubes using infrared thermography [J]. *Chemical Materials*, 2008, 20(12): 4011-4016.
- [5] Wang Meng, Liao Yun, Chen Da-jun. Study of the necking phenomenon in fiber drawing by infrared thermography [J]. *Polymer Testing*, 2010, 29(6): 674-678.
- [6] Wang Meng, Liao Yun, Chen Da-jun. Study on the thermal effects of rubbers during loading-unloading cycles by infrared thermography [J]. *Polymer Bulletin*, 2013, 70(1): 171-180.