

文章编号: 0258-7025(2009)09-2380-04

# 旋转线偏振光成像方法在纺织品纤维检测中的应用

高 强<sup>1,2</sup> 曾 楠<sup>1</sup> 马 辉<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 清华大学深圳研究生院成像与检测实验室, 广东 深圳 518055)  
(<sup>2</sup> 清华大学原子分子与纳米教育部重点实验室, 北京 100084)

**摘要** 纺织品纤维成分和含量检测是纺织品检测里最基本的检测项目之一。当前广泛采用的各纤维检测方法一般都需要制样、人工判断检测等步骤,检测效率不高。旋转线偏振光成像方法是一种基于多角度入射线偏振角和出射检偏角组合测量的新方法,经拟合可以得到入射线偏振角和出射检偏角之间的函数关系式,并从中提取与纤维微结构相关的一个特征参量。利用该参量值和分布的不同,能够比较明显地区分常见的纺织品纤维。在单成分纤维测量结果的基础上,该方法还具有对混纺纤维进行成分和含量检测的可行性。这是一种检测纤维成分的新方法,具有无损、在体、快速检测的特点。

**关键词** 成像系统; 纤维检测; 线偏振; 偏振角

中图分类号 O436.3; TN247 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093609.2380

## Rotating Linearly Polarized Light Imaging Applied in Textile Testing

Gao Qiang<sup>1,2</sup> Zeng Nan<sup>1</sup> Ma Hui<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Optical Imaging and Sensing, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen, Guangdong 518055, China  
<sup>2</sup> Key Laboratory for Molecular and Nanosciences of Education Ministry, Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** Measurement of the fiber composition and content is important for textile testing. At present, the widely used testing methods require complex sample preparation and rely on the subjective judgment, which decreases testing efficiency. The rotating linearly polarized light imaging method is based on multi-incident and detection polarization angles images. By fitting the polarization difference as function of these multi-incident and detection polarization angles, a characteristic parameter related to fiber microstructure is obtained. The common textile fibers can be easily discriminated by this characteristic parameter. Based on the measurement results of single component fiber, it is feasible to detect the component and content of blend fibers by this technique. This technique has the advantage of non-destructive operation, in vivo testing, and rapid speed.

**Key words** imaging systems; fiber-testing; linear-polarization; polarization-angle

## 1 引 言

偏振方法是用于提高成像对比度,获取样品光学各向异性信息的重要方法。偏振正交检偏消去表面反射光的特点被用于皮肤诊断成像以获取对比度更高的浅表图像<sup>[1]</sup>,也与显微成像结合用于检测集

成电路<sup>[2]</sup>;偏振方法也常用来检测样品的光学各向异性性质,如光纤的双折射性等<sup>[3]</sup>。旋转线偏振光成像是一种基于旋转偏振角的新的偏振光成像方法,其通过对线偏振光入射偏振角和检测偏振角进行一系列组合同时采集样品图像,对该系列样品图

收稿日期: 2008-10-16; 收到修改稿日期: 2008-12-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(60578003)、国家 973 计划(2006CB70570)和广东省自然科学基金(7301723)资助课题。

作者简介: 高 强(1982—),男,硕士研究生,主要从事偏振成像应用方面的研究。

E-mail: gao-q06@mails.tsinghua.edu.cn

导师简介: 马 辉(1959—),男,教授,博士,主要从事生物医学光子学等方面的研究。E-mail: mahui@tsinghua.edu.cn

像进行数据处理,总结出背向散射光两个正交偏振分量的光强差关于入射线偏振光偏振角和检偏角的函数关系式。在函数关系式中,包含有参量  $\alpha$ ,该参数能够对样品的光学各向异性进行表征<sup>[4,5]</sup>。

在纺织品纤维检测领域,对于纤维的成分及含量的检测有多种方法和途径,传统的国家标准中的方法包括燃烧试验法、溶解性试验法、着色识别法、显微镜观察法等<sup>[6]</sup>,近年来,随着检测技术的进步,出现了利用检测纤维制样的红外特征谱线进行识别的方法<sup>[7]</sup>,以及利用图像模式识别提取纤维形态特征参数进行统计识别等新的检测方法<sup>[8,9]</sup>。实际检测应用中,各方法都需要对纺织样品进行取样离体检测,这会对被测对象造成一定程度破坏;燃烧法、化学反应法、着色法、显微镜观察法等很大程度上依赖于检测员的经验和认知程度,限制了其应用范围和检测效率;而红外检测法和模式识别法也需要对样品进行切片制作等前期准备步骤,大大降低了检测效率。我们将旋转线偏振光成像检测方法应用于纺织品检测中,发挥了该方法在体无损、快速检测的应用特点,提高了纤维检测效率,具有比较大的潜在应用前景。

## 2 实验装置及样品

系列实验采用实验室自主研发的旋转线偏振光成像仪,其装置示意图和实物图如图 1 所示。本仪器的光源采用红光 LED (中心波长 650 nm,带宽 50 nm),发出的红光通过偏振片成为线偏振光,再通过焦距为 5 cm 的透镜成为平行光束,以 25° 的倾角照射样品。在垂直样品表面的方向,通过镜头 (CCTV 镜头,  $f1.8/50\text{ mm}$ ) 和 CCD 相机 (Q-imaging RETIGA EXi, 12 位,  $696 \times 520$  像素) 接收从样品返回的背向散射光,并对照明区域进行成像 (成像区大小  $13\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ )。其中,偏振光的

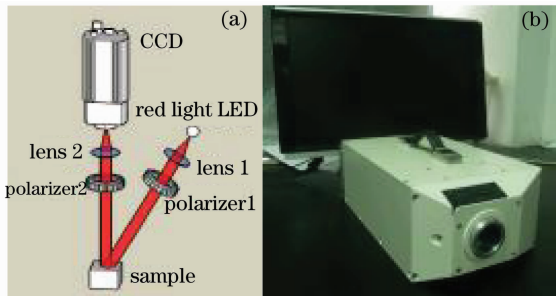


图 1 (a) 装置示意图; (b) 装置样机实物图

Fig. 1 (a) Schematic of experimental setup;

(b) experimental device

同偏振角度分别通过透镜之后和镜头之前的旋转偏振片模块进行调节。样品如图 2 所示,为了排除颜色对结果的影响,样品均为白色。



图 2 样品依次为:棉散纤维、棉、涤纶、丝、苕麻、棉/麻混纺织物

Fig. 2 Samples from left to right :cotton fiber, cotton, polyester, silk, ramie, cotton/ramie blended fabric

## 3 实验结果及分析

### 3.1 数据处理

根据文献[4]得到的入射偏振角和检偏角的偏振差函数关系式

$$f_{LDP}(\theta_i, \theta_s) = I_i \left[ \sqrt{A \cos(4\theta_s - \varphi_1) + B} \right] \times \cos[2\theta_i - \varphi_2(\theta_s)] + I_i C \cos(2\theta_s - \varphi_3) \quad (1)$$

对每个像素点进行计算,得到每个像素点的参量值  $\alpha = A/B$ ,其中  $\theta_i$  为入射偏振角,  $\theta_s$  为检偏角,  $I_i$  为入射光强度,  $A, B, C, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  为拟合参数。

### 3.2 实验结果

#### 3.2.1 单一纤维的鉴别

每个像素点可以得到一个对应的参量值  $\alpha$ ,可以得到对应的一幅  $\alpha$  参数图。对各样品进行计算做图,得到各纺织品纤维的  $\alpha$  参数图,如图 3 所示。

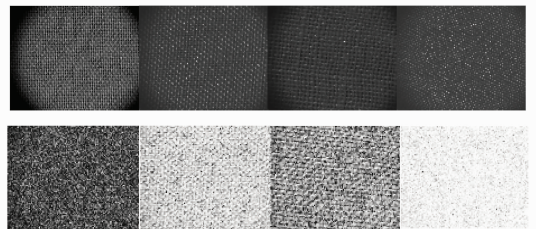


图 3 上一行为样品光强图,下一行为样品  $\alpha$  参数图 (灰度值代表  $\alpha$  参量大小) 样品从左到右依次为:棉、涤纶、苕麻、丝

Fig. 3 Upper row is intensity images, the lower row is  $\alpha$  images (gray value the samples from left to right is:cotton, polyester, ramie, silk)

在  $\alpha$  参数图上可以比较明显地区分各纤维成分样品,  $\alpha$  参量值从小到大依次为棉 (整体灰度最暗)、苕

麻、涤纶、丝。

对  $\alpha$  参数图以像素点数为计数对象作直方统计,可以对各纤维样品作更量化的鉴别区分,如图 4(a)。根据直方图上的线形,可以很容易地区分各纺织样品纤维。

### 3.2.2 混纺纤维的成分及含量检测

基于单一成分纺织样品纤维的  $\alpha$  参量测定数据,可以对混纺纺织品的纤维成分及含量进行鉴别和测定。混纺织物中不同纤维成分在织物表面所占据的面积与其纤维成分含量成正相关关系,故通过计算不同纤维成分所占据的表面面积比例可推算纤维成分的含量。在本检测方法中,利用统计不同  $\alpha$  参量(对应于不同的纤维成分)所对应的像素点数目来表示不同纤维

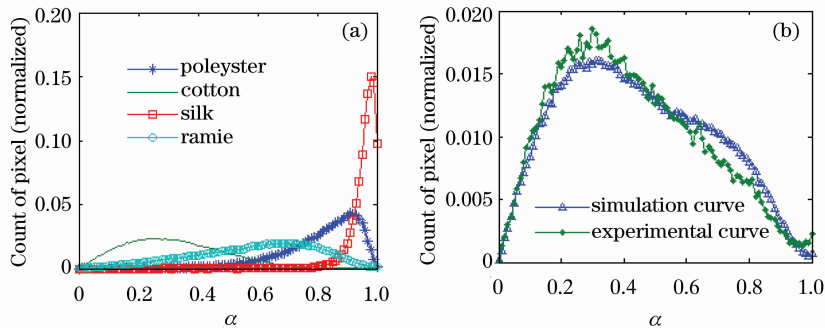


图 4  $\alpha$  参量直方分布图。(a) 各纤维样品  $\alpha$  参量值直方统计曲线;(b) 棉/麻混纺实测和模拟直方统计曲线对比  
Fig. 4 Histogram of parameter  $\alpha$ . (a)  $\alpha$  histograms of samples in Fig. 3; (b) the simulation and experimental histogram curves of cotton/ramie blended fabric

由实测和模拟直方统计曲线对比可见,基于单一纤维  $\alpha$  参量直方特征曲线带权重线性叠加来模拟混纺织物的  $\alpha$  参量直方特征曲线,并用该组权重值代表混纺织物纤维成分含量是可行的。

### 3.2.3 检测机理探讨

对旋转线偏振光成像方法的研究可知, $\alpha$  参量的值与样品的光学各向异性具有密切联系。对于纤维样品来说,纤维单体的性状会影响其光学各向异性。我们对天然棉纤维织物和碱液丝光处理的棉纤

成分所占据的表面面积。在数据处理中,利用单一纤维的  $\alpha$  参量直方统计特征曲线,采用不同权重值进行线性叠加得到混纺织物的  $\alpha$  参量模拟曲线,并不断调整权重值以逼近混纺织物的  $\alpha$  参量实测直方特征曲线,当两者达到一定拟合程度时,采用该组权重值作为相应混纺织物中各纤维成分的含量值。

本文采用已知纤维含量的棉/麻混纺织物(棉/麻质量比为 55:45),测量计算得到其实测直方特征曲线;同时采用前面所得单一成分棉和麻直方特征曲线进行加权线性叠加,权重值为 0.55:0.45,得到棉/麻混纺  $\alpha$  参量模拟曲线。两条曲线对比如图 4(b)所示。

维织物进行了对比检测。显微镜观测的纤维单体和  $\alpha$  参量直方统计分布曲线如图 5(a)和(b)所示。

棉纤维于常温下在一定浓度的氢氧化钠溶液(质量分数为 15%~20%)中处理,会发生润胀现象,即棉纤维膨胀改变其天然的带状扭转形态而成圆柱顺直状<sup>[10]</sup>,纤维内部变得疏松,纵向表面变得更光滑<sup>[11]</sup>,同时纤维内部结晶区结晶体发生部分或者全部重构<sup>[12]</sup>。图 5(a)显示,对两种纤维的显微观测结果与文献中纤维形态转变的描述与是一致的;

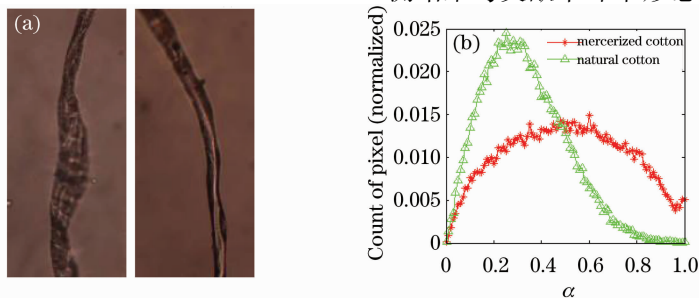


图 5 (a) 天然棉纤维(左)和丝光处理棉纤维(右)的显微图;(b) 天然棉纤维和丝光处理棉纤维织物  $\alpha$  参量值直方统计曲线  
Fig. 5 (a) Microscopic image of natural cotton fiber (left) and mercerized cotton fiber (right); (b) histogram curves of parameter  $\alpha$ : natural cotton textile and mercerized cotton textile

图 5(b)中显示,经过丝光处理的棉纤维织物其  $\alpha$  参量值较大的像素点比例明显大于天然棉纤维织物。我们认为,棉纤维经碱液处理所引起的形态变化和纤维晶体结构等内部微结构的变化使得处理后的棉纤维的光学各向异性得到了增强,在旋转线偏振成像测量中表现为  $\alpha$  参量值增大(具有较大值的像素点比例增多)。 $\alpha$  参量所表征的纤维光学各向异性具体怎样受到纤维各方面因素的影响,还有待进一步去揭示。

## 4 结 论

本文将新型的旋转线偏振光成像方法应用于纺织品纤维检测领域,将基于该成像方法的特征参量  $\alpha$  作为鉴别纺织品纤维的特征量,并通过  $\alpha$  参数图和直方统计曲线等方式来对不同纤维进行直观和量化的鉴别区分。实验证明,本方法能对常见纤维进行较好的区分,在混纺织物的纤维含量检测方面也具有可行性。旋转线偏振光成像方法进行纤维检测具有无损、在体、快速高效率等特点,具有较大的应用潜力。

## 参 考 文 献

- 1 R. R. Anderson. Polarized-light examination and photography of the skin [J]. *Archives of Dermatology*, 1991, **127** (7): 1000~1005
- 2 Tang Zhilie, Liang Ruisheng, Zhu Xiaoshong *et al.*. Image property of polarized confocal scanning microscopy [J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(8): 1118~1122  
唐志列, 梁瑞生, 朱小松等. 偏振共焦扫描激光显微镜的成像特性研究[J]. *光学学报*, 1999, **19**(8): 1118~1122
- 3 Liao Yanbiao, Pan Anpei, Lü Mei *et al.*. An analytical method for measuring birefringence properties of single mode fiber[J]. *Acta Optica Sinica*, 1984, **4**(12): 1062~1066  
廖延彪, 潘安培, 吕 玫等. 单模光纤双折射率测试的解析方法[J]. *光学学报*, 1984, **4**(12): 1062~1066
- 4 Jiang Xiaoyu, Zeng Nan, He Yonghong *et al.*. Investigation of linear polarization difference imaging based on rotation of incident and backscattered polarization angles [J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 2007, **34**(6): 659~663  
蒋啸宇, 曾 楠, 何永红等. 基于旋转偏振角的线偏振扫描成像方法研究[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2007, **34**(6): 659~663
- 5 Jiang Xiaoyu. A study on polarized light imaging in anisotropic medium[D]. *Beijing: Tsinghua University*, 2007. 21~28  
蒋啸宇. 各向异性介质中偏振光成像研究[D]. 北京:清华大学, 2007. 21~28
- 6 National Standardization Technical Committee. FZ/T01057. 2-2007. 中华人民共和国纺织行业标准. FZ/T01057. 2-2007[S]. *Beijing: China Standard Press*, 2007.  
国家标准化技术委员会. FZ/T01057. 2-2007. 中华人民共和国纺织行业标准. FZ/T01057. 2-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007
- 7 梁治齐. 红外光谱在纺织纤维鉴别上的应用[J]. *北京联合大学学报*, 2000, **14**(s1): 13~15
- 8 Li Jian, Wu Zhaoping, Yan Haojing. Primary research for the measurement of wool/silk blend ratio with image treatment-selection of the characteristic parameters and pattern recognizing [J]. *J. China Textile University*, 1998, **24**(4): 11~15  
李 艰, 吴兆平, 严灏景. 利用图像处理技术测定丝/毛混纺比的方法初探—特征参数的选择及模式识别[J]. *中国纺织大学学报*, 1998, **24**(4): 11~15
- 9 Xie Liqing, Yu Weidong. Study on application of image-processing technique 2 h measuring blend ratio of ramie/PET Yarns [J]. *Shanghai Textile Science & Technology*, 2002, **30**(6): 62~64  
谢莉青, 于伟东. 麻/涤纶混纺比图像测试方法的应用研究[J]. *上海纺织科技*, 2002, **30**(6): 62~64
- 10 霍 红, 姜华璐, 陈化飞. *纺织品检验学*[M]. 北京: 中国物质出版社, 2006, 35~36
- 11 Ju Jingxia. Research on mercerization and silver-coating process of cotton yarns [D]. *Suzhou: Suzhou University*, 2006, 22~23  
居静霞. 棉纱的碱处理及其纳米载银工艺研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2006, 22~23
- 12 Zhan Huaiyu. *Fiber Chemistry and Physics*[M]. *Beijing: Science Press*, 2005. 16~17  
詹怀宇. *纤维化学与物理*[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 16~17