

文章编号:1004-4213(2011)03-0397-4

基于光电检测技术棉花成熟度快速评估方法的研究

张志峰, 蒋逢春, 杨坤, 任宇芬

(郑州轻工业学院 技术物理系, 郑州 450002)

摘 要:棉纤维成熟度及细度参量是影响纺织加工质量的一个重要指标,目前采用的间接测量方法不能准确评价棉纤维的品质质量.本文利用夫琅和费衍射光学方法,线阵 CCD 探测棉纤维衍射光信号,经小波分析去噪,根据明暗条纹分布计算获得待测棉纤维细度.在实验室恒温(23℃)、恒湿(45%)环境下,对 8 个品种不同成熟度等级的棉花进行了测量,同显微镜测量结果相比较,结果表明两种方法有很好的相关性,相关系数为 0.956,均方差为 0.332.因此基于光电检测技术方法能够实现实验室中棉纤维成熟度快速检测,为实际生产中棉花成熟度直接、快速的光电检测提供了理论基础.

关键词:光电检测;棉纤维;成熟度;去噪

中图分类号: 文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114003.0397

0 引言

棉纤维的成熟度及细度参量是影响纺织加工质量的一个重要指标,但是在棉花流通、生产及加工中这个参量的检测很难保证其准确度,目前对于棉花成熟度常用的检测方式主要有两类:直接测量方法和间接测量方法.其中间接测量的方法有马克隆值、染色性和近红外测量等,直接测量的方法有高精度显微镜和高精度摄像机等.棉花的成熟度与单根棉纤维的直径分布(棉纤维的截面直径大小,卷曲的个数等)有直接的关系.直接检测方法是其它检测方法的基准,通常在实验室中通过高倍显微镜测量棉纤维样品的横截面形状,根据棉纤维成熟度与棉纤维横截面形状关系,准确评估棉花样品的成熟度等级^[1-4].

随着激光器性能的不断提高,光电检测技术由于无损、非接触以及快速的特点在众多领域得到了广泛的研究和应用^[5-11].棉纤维直径一般分布在 5~30 μm 之间,因此可以利用光电检测技术中夫琅和费衍射的方法对棉纤维的直径分布进行快速检测.本文提出了一种基于光电检测技术的棉纤维成熟度测量方法,经过与显微镜测量结果比较,该方法在实验室中能够实现棉纤维细度和成熟度的检测,为棉花生产流通、生产及加工中棉花成熟度的光电检测

提供了可能.

1 测量原理

1.1 光学原理

棉纤维直径测量采用夫琅和费光学衍射的方法,直径为 b 的细丝和不透明屏上宽度为 b 的单缝可看成一对互补屏,根据巴比涅原理,氦氖激光器发出的激光束照射到细丝上,在接收屏可观察到和单缝衍射相同的夫琅和费衍射条纹^[12].接收屏接收夫琅和费衍射条纹光强按式(1)分布^[13]

$$I = \eta \left[\frac{\sin \left(\frac{d\pi}{\lambda} \sin \theta \right)}{\frac{d\pi}{\lambda} \sin \theta} \right]^2 \quad (1)$$

式中 I 为衍射光强强度, η 为常量, d 为细丝直径, θ 为衍射角度, λ 为入射光波波长.

$$d \sin \theta = \pm m \lambda \quad m = 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

当衍射角度很小时,细丝直径可通过式(3)得到

$$d = \frac{2m\lambda}{(X_m + X_{-m})} f \quad m = 1, 2, 3 \dots \quad (3)$$

式中 m 为从 $\theta = 0$ 处算起的强度为 0 的暗条纹级数; X_m 为第 m 个暗条纹距中心的位置; X_{-m} 为衍射条纹中另一侧第 m 个暗条纹距中心的位置.通过精确测出 $X_m + X_{-m}$, 即可得到细丝直径.

基金项目:郑州轻工业学院博士科研基金、郑州轻工业学院校重大预研基金(No. 2009XYJJ006)、河南省科技厅基础与前沿技术研究项目(No. 102300410108)和河南省教育厅科研项目计划课题(No. 2011B510019)资助

第一作者:张志峰(1976-),男,讲师,博士,主要研究方向为光电检测技术及图像处理. Email: zhifengzhang76@gmail.com

收稿日期:2010-08-10; **修回日期:**2010-12-08

1.2 成熟度测量原理

单根棉纤维细度可由式(4)计算得到

$$H_s = \frac{0.577\rho P^2}{4\pi} \quad (4)$$

式中 ρ 为棉纤维细胞壁密度($\rho=1.52 \text{ g/cm}^3$); P 为棉纤维外周长.

棉纤维横截面通常认为是圆周形状,这样棉纤维横截面直径与棉纤维细度关系为

$$RW=1.11\sqrt{H_s} \quad (5)$$

棉纤维的细度可以通过测量棉纤维的直径获得,由于棉纤维细度不是均匀分布,与棉纤维的卷曲有关,而棉纤维的成熟度与棉纤维的卷曲数目成正比,因此根据棉纤维直径分布情况可以获得棉纤维的成熟度.

2 测量系统

测量系统如图 1,光源为氦氖激光器 1 (Thorlabs HRP008),能够发出功率为 0.8 mW、波长为 632.8 nm 的偏振激光光束,光阑 2 能够去除激光光斑四周杂散光,这样使得照射到棉纤维上的光束亮度更加均匀,偏振片 3 可以调整入射激光光强大小及去除杂散光干扰,单根棉纤维 4 通过棉纤维夹子 5 固定在一维精密光学调节架上 (Newport 420),焦距为 100 mm 的会聚透镜 6 (Thorlabs LB1676)把衍射信号会聚在线阵 CCD 探测器 8 (Mightex TCN-1304-U)上,探测器前的挡光片 7 可以避免零级衍射明纹对衍射信号的干扰.

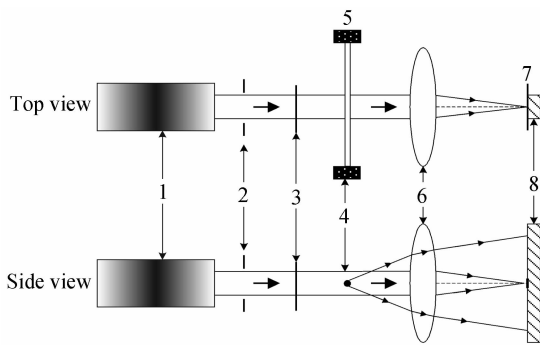


图 1 夫琅和费衍射测量细丝光路图

Fig.1 Optical experimental setup of Fraunhofer diffraction

实验中首先将棉纤维轻微拉直,旋转精密光学调节架,每移动 1 英寸线阵 CCD 探测棉纤维对应位置的衍射图样,衍射信号通过 USB 传入微机,经过小波分析去噪处理^[14-15],按照暗纹和细丝直径关系计算得到该点棉纤维直径,根据多个测量点可以获得单根棉纤维直径分布情况,同显微镜 100× (Olympus BX41)进行比对,测量结果基本吻合.

3 结果分析

表 1 为光电测量装置测量标准纤维 ($d=13.5 \mu\text{m}$)5 次不同位置快速重复测量的结果,结果表明测量该装置能够满足单根棉纤维直径快速准确测量.

表 1 夫琅和费衍射五次重复测量结果

Table 1 Five repetition measuring results of the normal fiber based on the optical diffraction

Number	$X_{-2}+X_{+2}$
1	13.88
2	13.52
3	13.73
4	13.61
5	13.94
Mean	13.73
SD	0.28

实验中保持恒温(23℃)、恒湿(45%)的环境,分别测量八个品种不同成熟度棉花样品,棉花样品成熟度由大容量测试仪(HVI)测试得到.比较了光电检测装置和显微镜测量 8 种棉花样品直径的平均测量结果,测量结果如表 2.两种方法测量的相关曲线如图 2 所示相关系数为 0.956,均方差为 0.332,结

表 2 棉花样品直径光电检测和显微镜测量结果

Fig.2 Mean diameters measured by optical diffraction and microscope of eight cotton varieties

Variety	Diffraction/ μm	Microscope/ μm	Micronaire
BCS 614	16.8	16.0	3.1
BCS 0727	17.0	16.4	3.3
DPL 901	18.1	17.1	3.9
USDA-5.47	17.8	16.9	5.47
PHY 370	16.8	16.2	4.1
USDA 2.6	14.5	14.6	2.6
ST 5327	16.3	16.0	3.5
DPL 0924	15.9	15.4	3.7

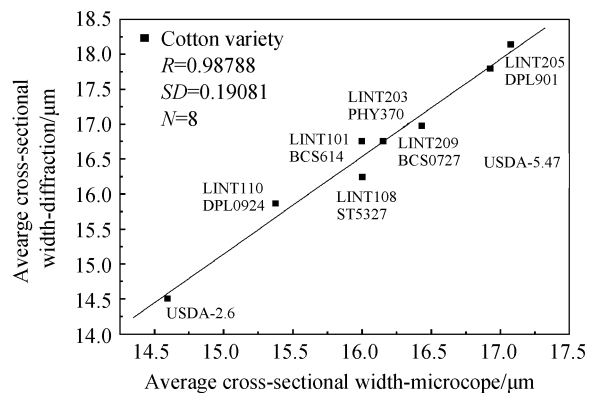


图 2 8 种棉花直径光电检测装置和显微镜测量结果比较
Fig.2 Diameters comparison of eight cotton varieties with diffraction measurement and microscope measurement

果表明光电检测装置与显微镜测量棉纤维直径分布基本吻合,光电检测装置测量结果略大于显微镜测量结果,这是因为基于夫琅禾费衍射光电检测测量结果会偏大,因此后期需对计算公式进行适当的修正.图3为两种测量方法分别测量同根棉纤维样品的直径分布情况,两种测量方法的误差主要因为显微镜测量样品位置与光电检测装置测量样品位置没有完全对应.

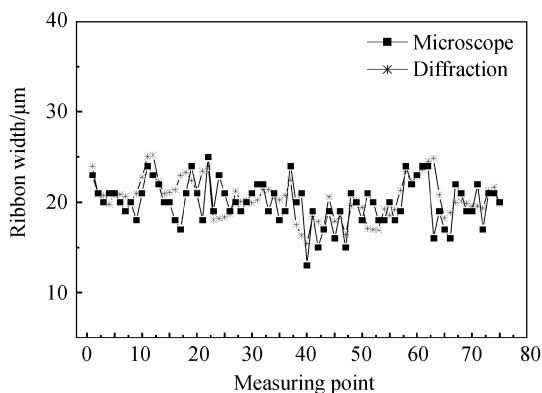


图3 单根棉纤维直径分布情况

Fig. 3 Individual fiber diameters measurement results with the microscope and the diffraction methods

4 结论

棉纤维的成熟度及细度参量是影响纺织加工质量的一个重要指标,但是在棉花流通、生产及加工中这个参量的检测很难保证其准确度,测量结果常常误差很大.本文比较了显微镜和光电检测装置两种检测方法,结果表明两种方法有很好的相关系数,相关系数为 0.956,均方差为 0.332,因此光电检测技术在实验室中能够对棉纤维的直径分布进行准确测量,为棉花成熟度直接、快速检测提供了研究基础,具有重要的理论指导意义.

参考文献

- [1] XU Wei-lin, XU Bu-gao, LI Wen-bin, *et al.* Snippet counting for cotton length distribution measurement using image analysis[J]. *Textile Research Journal*, 2008, **78**(4): 336-341.
- [2] XU B, HUANG Y. Image analysis for cotton fibers Part II: Cross-sectional measurements[J]. *Textile Research Journal*, 2004, **74**(5): 409-416.
- [3] ASLAN M, YAMADA J, MENGUC M P, *et al.* Characterization of individual cotton fibers via light-scattering experiments [J]. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 2003, **17**(4): 442-449.
- [4] ZHANG Zhi-feng, SU Zhan, SU Yu-ling, *et al.* Denoising of sensor signals for the flange thickness measurement based on wavelet analysis[J]. *Optik*, 2011, **122**(8): 681-686.
- [5] ZHANG Zhi-feng, GAO Yan, REN Yu-fen, *et al.* Research on wheelset's geometric parameters non-contact measurement [J]. *Laser&Infrared*, 2010, **40**(10): 1125-1130.
张志峰,高岩,任宇芬,等.非接触测量在轮对参量检测技术的应用[J].*激光与红外*, 2010, **40**(10): 1125-1130.
- [6] ZHANG Zhi-feng, FENG Qi-bo, GAO Zhan, *et al.* A new laser displacement sensor based on triangulation for gauge real-time measurement[J]. *Optics&Laser Technology*, 2008, **40**(2): 252-255.
- [7] CHEN Quan-sheng, ZHAO Jie-wen, CAI Jian-rong, *et al.* Estimation of tea quality level using hyperspectral imaging technology[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 669-674.
陈全胜,赵杰文,蔡建荣,等.利用高光谱图像技术评判茶叶的质量等级[J].*光学学报*, 2008, **28**(4): 669-674.
- [8] XU Guo-sheng. XLPE insulation compound purity evaluation based on photo-electrical testing technique[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(3): 477-480.
徐国盛.基于光电检测技术的交联聚乙烯电缆料纯净度测量技术[J].*光子学报*, 2010, **39**(3): 477-480.
- [9] WAN Yuan-hong, PU Dong-lin, ZHANG Jin, *et al.* Making Three-dimensional holograms with a novel digital method[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(7): 1268-1271.
万元红,张瑾,浦东林,等.一种三维全息图的数字化实现方法[J].*光子学报*, 2010, **39**(7): 1268-1271.
- [10] WANG Yu-tian, ZHANG Yan-lin, WANG Jin-yu. Oil identification technique based on analysis of three-dimensional fluorescence spectra feature [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(7): 1330-1333.
王玉田,张艳林,王金玉.基于三维荧光光谱特征分析的油种鉴别技术的研究[J].*光子学报*, 2010, **39**(7): 1330-1333.
- [11] ZHAO Xiao-fei, HE Jun-hua, WEI Ming-zhi, *et al.* A new method of getting wake character based image process technology[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(3): 443-446.
赵晓飞,何俊华,韦明智,等.一种基于图像处理技术获取尾流特性的新方法[J].*光子学报*, 2006, **35**(3): 443-446.
- [12] WEN Jian-guo, JIN Sheng-zhen, NING Shu-nian, *et al.* Computer simulation of the basic Fraunhofer diffraction[J]. *College Physical Experiment*, 2002, **15**(4): 64-66.
文建国,金声震,宁书年,等.基本夫琅禾费衍射实验的计算机仿真[J].*大学物理实验*, 2002, **15**(4): 64-66.
- [13] 赵凯华,钟锡华.光学上册[M].北京:北京大学出版社, 1984, 210-213.
- [14] ZHANG Zhi-feng, SU Yu-ling, LU Chao, *et al.* Denoising of Fraunhofer diffraction signal based on wavelet analysis [C]. 2010 *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 902-905.
- [15] ZHANG Zhi-feng, ZHANG Fang-zhen, REN Yu-fen. Research on fraunhofer diffraction experiment based on the wavelet analysis [J]. *Journal of Henan College of Finance&Taxation*, 2010, **24**(5): 75-77.
张志峰,张防震,任宇芬.基于MATLAB的夫琅和费衍射实验研究[J].*河南财政税务高等专科学校学报*, 2010, **24**(5): 75-77.

A Novel Method to Assess Cotton Fiber Fineness and Maturity Based on Optoelectronic Measurement

ZHANG Zhi-feng, JIANG Feng-chun, YANG Kun, REN Yu-fen

(Zhengzhou University of Light Industry, Department of Physics, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The cotton's maturity and fineness are the key parameters to evaluate the cotton fibers quality. The indirect parameters measurement can not accurately evaluate the cotton fiber's quality. A direct method based on the optoelectronic measurement of Fraunhofer diffraction was presented. The measurement results were compared between the microscope and the optoelectronic setup. The results show that two methods have the good correlation ($R = 0.956$, and $SD = 0.332$). The optoelectronic technique can assess the cotton fiber's maturity in the lab.

Key words: Optoelectronic measurement; Cotton fiber; Maturity; Denoising