

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.03.039

# 基于线激光截面成像的棉花白色异性纤维检测方法<sup>\*</sup>

刘 锋 苏真伟 乔 丽

(四川大学制造科学与工程学院, 成都 610065)

**摘要:** 针对棉层表面散布绒毛或游离的纤维细丝,而异性纤维表面光洁无毛的特点,提出了一种基于线激光的样本截面图像获取方法,获取并显示了其微观结构在激光照射下的图像差异。在此基础上,根据激光照射下二者周围有无高亮度的星点,以及星点的分布特征,提出了一种棉花中白色异性纤维的识别算法。实验结果表明,该方法对棉花中典型白色异性纤维的识别率达到了 86.9%。

**关键词:** 棉花 白色异性纤维 机器视觉 线激光

**中图分类号:** TP391.41; S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)03-0215-04

## Linear Laser Detecting Method of White Foreign Fibers in Cotton Based on Sample Cross-section Imaging

Liu Feng Su Zhenwei Qiao Li

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Machine vision inspection of white foreign fibers in cotton is a research hotspot in China and abroad. Based on the fact that there are flosses and free filaments on the surface of a cotton layer, and most of the white foreign fiber surfaces are smooth, without any floss, an image acquisition method of the cross-section of the samples under the illumination of linear laser was proposed, which showed the differences of the microstructure characteristic of their surface from the reflection and transmission of the linear laser. Then, according to the features of the distribution and density of the flosses around the white spots in the images, an algorithm for identification of cotton and white foreign fibers was suggested. The experimental results indicated that, by the new method, the detecting rate of the white foreign fibers in cotton was up to 86.9%.

**Key words:** Cotton White foreign fiber Machine vision Linear lase

### 引言

棉花中白色异性纤维的机器视觉识别,是目前国内外棉纺织业研究的一个难点<sup>[1]</sup>。这是因为:在可见光照明的条件下,白色异性纤维、特别是非荧光的白色异性纤维和棉花的颜色相同或相近;检测中棉花成团,棉花的阴影混杂其中,样本图像的直方图呈单峰特性,目标和背景很难分割和识别。近年来,国内外学者提出了大量的棉花图像分割算法,但大

多针对某些特殊的样本,缺少实用价值,或者过于复杂、运算速度太慢;很难用于在线、高速的机器视觉识别<sup>[2-6]</sup>。

近年来,利用红外光等研究棉花中白色异性纤维的检测成为了一个新的热点。1998年,Church等<sup>[7]</sup>发现在2 250~2 400 nm红外波段异性纤维和羊毛、棉花的光谱峰值差别较大,最早提出在红外光谱范围内区分白色异性纤维、羊毛和棉花。最近,Hogan<sup>[8]</sup>对棉花中具有荧光性的异性纤维进行了光

收稿日期:2012-09-19 修回日期:2012-10-10

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(60875022)

作者简介:刘锋,博士生,主要从事机器视觉研究,E-mail: fliumsecseu@gmail.com

通讯作者:苏真伟,教授,博士生导师,主要从事机器视觉及无损检测研究,E-mail: zhenweisu99@hotmail.com

谱分析,可以检测出荧光性杂质;Ding 等<sup>[9]</sup>在可见紫外光谱成像分析的基础上,对部分具有荧光效应的白色异性纤维开展了机器视觉检测试验,但对与棉花颜色接近、且不激发荧光的白色杂质识别困难。应义斌等<sup>[10]</sup>研究了棉花异性纤维的高光谱图像检测方法,认为大部分非荧光的白色异性纤维可以用光谱仪识别。李道亮等<sup>[11]</sup>根据红外光谱分析,提出了白色异性纤维的最佳检测波段。这些高光谱方法推动了检测的学术研究,但在特定光谱的相机和光源大批量生产前,因系统成本高、使用环境受限,在机器视觉中的应用推广还很难。

前期研究发现,采用波长 650 nm、功率 8 mW 的一字形线激光以 45°角投射在蓬松、平整的棉花上,棉花纤维表面产生漫反射;而在纸、布、麻绳、海绵、丙纶、腈纶、塑料薄膜等绝大多数表面质密的白色异性纤维的表面 45°角方向,会产生强反射光。基于这种光学现象,文献[12]提出了基于线激光的棉花中非荧光白色异性纤维检测的思路。但该方法从实验室到工业应用还需解决一系列难题:实际检测中的皮棉虽经开松,但大多缠绕成团,蓬松度差的棉团在线激光照射下呈白色亮斑,和白色异性纤维的亮斑相近,有时难以区分;实际检测传送中的棉花样本表面起伏不平,线激光在样本表面的入射角和反射角随之变化,难以保持理想的 45°。入射角、反射角的随机变化导致反射光散乱,异性纤维的亮斑有时并不明显。

本文在文献[12]的基础上,提出一种基于线激光和棉花表面微观特征的成像方法和图像处理方法,在起伏不平的棉花表面获取区别特征明显的激光图像,识别出白色异性纤维。

## 1 成像方法和实验系统

### 1.1 线激光下纤维表面特征分析

棉花纤维直径 20  $\mu\text{m}$  左右,长度在 23~45 mm,中空细长,蜷曲蓬松。自然状态下的棉花蜷曲成团,棉团表面有绒毛或游离的棉花细丝,外观呈云雾状<sup>[13-14]</sup>。相对于棉纤维,常见的白色异性纤维,如锦纶带、腈纶带、尼龙绳、各种白色化纤和塑料薄膜等,表面致密、光洁,整体粗大,呈线条型、片状或块状,绝大多数表面没有绒毛或游离的细丝。

线激光作为一种发散角小、高能、聚焦的光源,呈微米级厚度的扇面照射在棉花上,犹如一把薄刀切开纤维团,截面的上层纤维吸收部分光能、反射部分光能,中、下层逐步变暗,如图 1 所示。

在线激光照射下,异性纤维和密度大的棉团呈白色亮斑;棉花表面的绒毛或细丝通透发亮,呈散布

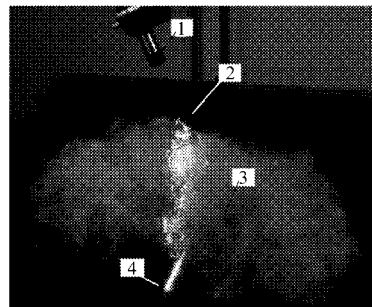


图 1 松散纤维的线激光截面图

Fig. 1 Cross-section image of loose fibers formed by linear laser

1. 线激光器 2. 扇形光切面 3. 松散纤维 4. 激光投射亮条

的星点,而异性纤维表面光洁、没有绒毛,没有这种细丝或星点,如图 2 所示。根据统计分析,可将亮斑边缘附近有无散布的透光细丝和透光星点作为区分棉花和白色异性纤维的标志。

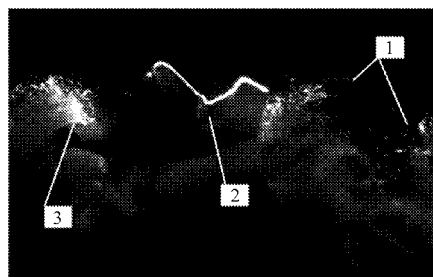


图 2 线激光照射截面内的棉花和异性纤维

Fig. 2 Cotton and foreign fibers in cross-section formed by linear laser

1. 棉花散点 2. 异性纤维亮条 3. 棉花亮斑+散点

### 1.2 图像获取装置

根据以上分析和实验,设计了如图 3 的成像装置,相机采用 Basler 公司的 A601f 型 CMOS 黑白面阵相机,分辨率为 640 像素  $\times$  480 像素;线激光采用西安思拓光电公司的红光一字线状半导体激光器,输出波长 650 nm、功率 8 mW;线激光的入射角与面阵相机的光轴相互垂直。为了使图像清晰,相机聚焦在棉花上层、线激光的扇形光平面上。

在线激光加 LED 和单纯激光照明条件下,获取到的棉花和白色异性纤维的图像如图 4 所示。

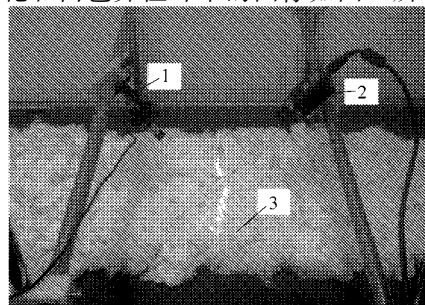


图 3 图像获取实验装置(日光灯下)

Fig. 3 Schematic of image acquisition

1. 线激光器 2. 摄像头 3. 皮棉层

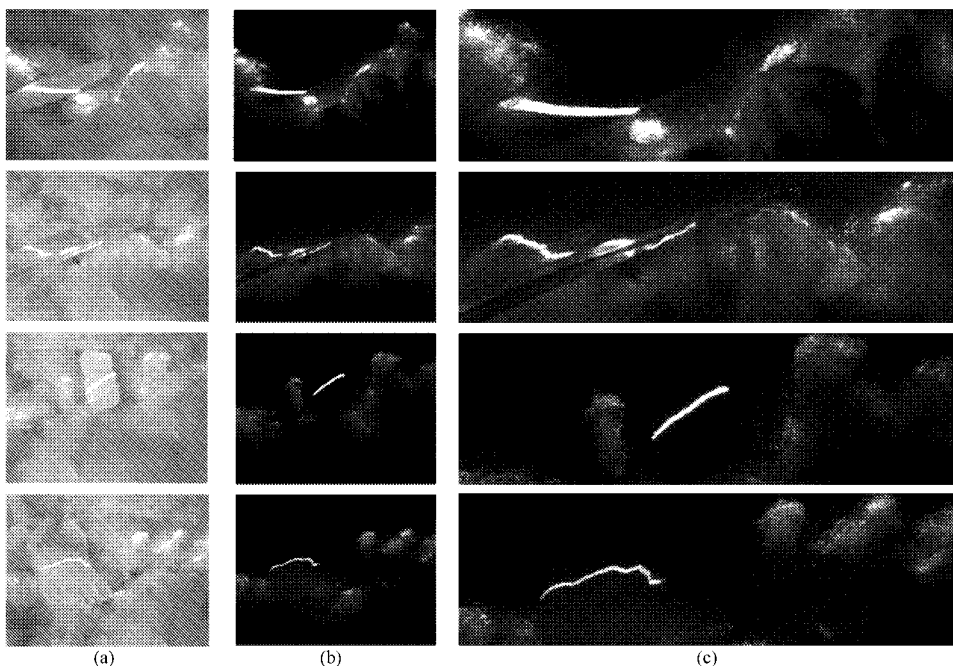


图 4 线激光加 LED 和单纯激光照明下的样本图像

Fig. 4 Sample images under illumination of laser and laser & LED

(a) 线激光加 LED 照明图像 (b) 单纯激光照明图像 (c) 线激光照明图像局部放大

## 2 图像识别算法

算法流程如图 5 所示。

图像中异性纤维和密度较大的棉花团在激光下

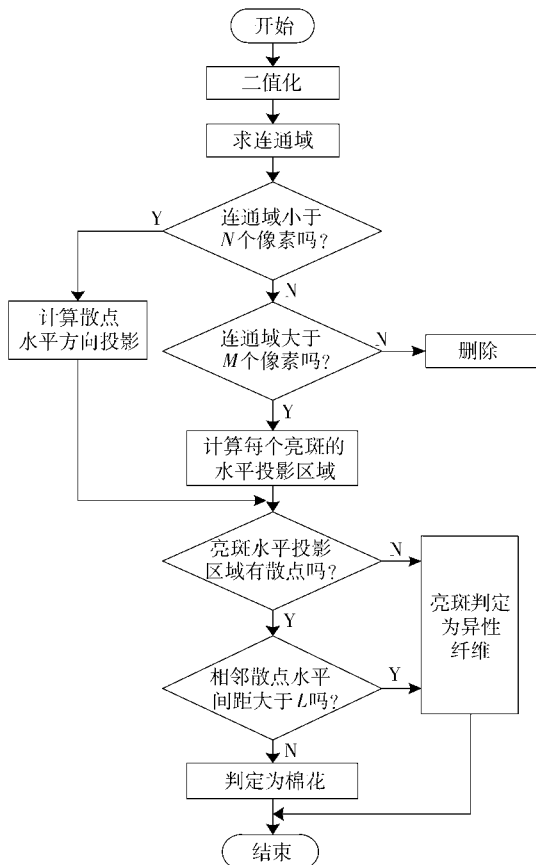


图 5 算法流程图

Fig. 5 Flow chart of algorithm

呈亮斑状,棉花团附近散布的棉花绒毛细丝处于透射高亮度状态,大多数呈散点状。它们的灰度明显高于背景,如图 6a 所示,很容易二值化分割出来。

图像二值化后,如图 6b 所示,通过贴标签计算出每一个连通区域的像素数。根据检测规范、实验条件和统计分析,可以得出需要识别、去除的异性纤维的最小面积  $M$  (本次实验取  $5 \times 5$  个像素),与之区别的棉团周围单个散点的最多像素点数  $N$  (本次实验取 4 个像素)。把大于  $M$  个像素的连通区作为可疑亮斑,把小于  $N$  个像素的连通区作为绒毛散点。

为了区分异性纤维和棉花,将亮斑往水平方向投影并求出投影区域长度,再计算所有散点的水平方向投影,如图 6c 和 6d 所示。

如果亮斑投影区内没有散点,即判定亮斑为异性纤维;如果有散点,则还需作进一步判断:当亮斑投影区内相邻散点的水平间距大于  $L$  个像素时(本次实验  $L = 25$ ),判定为异性纤维;否则,判定为棉花团。

## 3 实验结果和分析

计算机配置为: Intel (R) Core i5-2540M@ 2.6 GHz CPU; 2 GB RAM; WIN7 OS。

实验采用清花后的皮棉,棉层厚度 20 ~ 30 mm、宽 300 mm,棉纤维自然成团,表面起伏不平。实验用白色异性纤维 10 种,如图 7 所示,包括各种形状、尺寸 of 白色塑料薄膜、白色塑料丝带、白色包装纸、白色棉布、白色塑料薄片、白色尼龙绳、白色棉绳、白

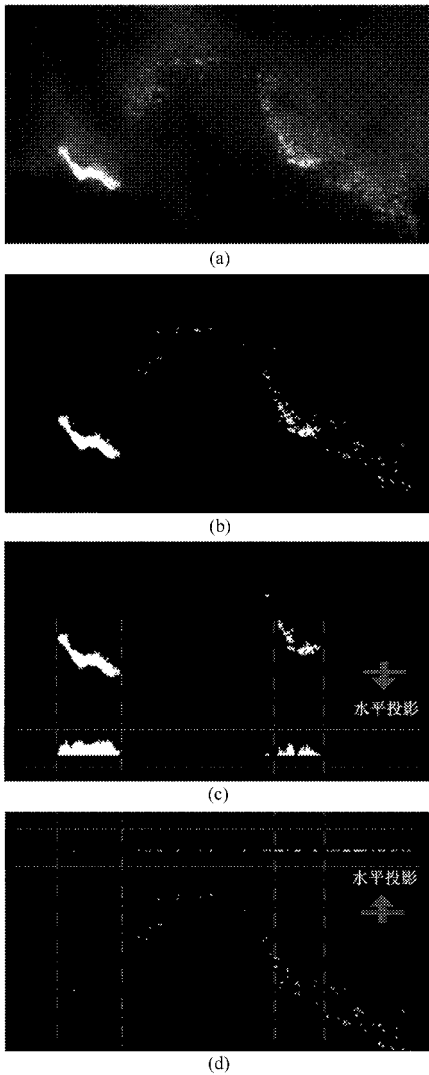


图6 图像处理示例

Fig. 6 Example of image processing

(a) 原始图像 (b) 二值图像 (c) 亮斑图 (d) 散点图

色泡沫板、白色海绵包装膜、透明和半透明的塑料薄膜等。

采用图3的实验装置获取样本图像350幅,其中,不含异性纤维的纯棉花图像200幅,含有白色异性纤维的图像150幅。

设识别正确率为 $a$ ,漏检率为 $b$ ,虚警率为 $c$ ,正确识别的图像数为 $d$ ,将异性纤维识别为棉花的图

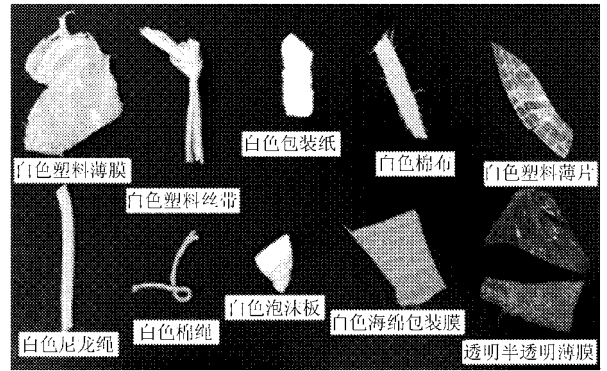


图7 部分异性纤维样本

Fig. 7 Part of foreign fiber samples

像数为 $e$ ,将棉花识别为异性纤维的图像数为 $f$ ,总图像数为 $g$ ,则计算公式为

$$a = \frac{d}{g} \times 100\% \quad b = \frac{e}{g} \times 100\% \quad c = \frac{f}{g} \times 100\%$$

软件在 Matlab R2009b 环境下运行。采用本文的算法,对白色异性纤维样本的识别正确率为86.9%,虚警率为9.7%,漏检率为3.4%;每幅图像的平均处理时间为16.2 ms。

本次实验正确识别的图像有304幅。虚警图像34幅,原因是个别棉团有粘连,或棉团表面因摩擦等缺少绒毛,线激光照射在这类棉团无毛的表面上,系统容易把棉团误判为异性纤维,造成虚警。漏判图像12幅,主要集中在表面粗糙、起绒的海绵和棉线类异性纤维上,它们表面的绒毛在线激光照射下产生类似棉花绒毛的星点,容易造成误判。其次是透明的异性纤维,仅当激光的反射光强烈时才有亮斑,有时也产生误判。

#### 4 结束语

根据棉花与异性纤维的表面特征,提出了一种基于线激光截面成像的样本图像获取方法,在此基础上,利用棉花表面绒毛的成像特征,设计了白色异性纤维的分割和识别算法。实验表明,提出的成像方法和图像处理算法对白色异性纤维的识别正确率达到了86.9%。

#### 参 考 文 献

- 李琴. 浅谈异性纤维的来源及解决措施[J]. 中国棉花加工, 2011(1): 17~18.
- Ajay K. Computer-vision-based fabric defect detection: a survey [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1): 348~363.
- 李宁. 基于数字图像处理的棉花异纤检测研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- 丁天怀, 郑东耀. 利用多颜色空间特征融合方法检测近似目标[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(2): 176~179. Ding Tianhui, Jia Dongyao. Detection of similar targets using multiple color space feature fusion [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2006, 46(2): 176~179. (in Chinese)
- 王波. 基于多尺度小波的棉花异纤检测算法[J]. 控制工程, 2009, 16(增刊1): 173~179. Wang Bo. Foreign fiber detection arithmetic based on multi-scale wavelet [J]. Control Engineering of China, 2009, 16(Supp. 1): 173~179. (in Chinese)

局部拔模斜度、圆角半径对挡位齿轮坯闭式精锻成形缺陷的影响,揭示了其成因,确定了其极限结构工艺参数范围图,选取 D 区范围内的模锻工艺参数,对实际生产具有重要的指导意义。

(2) 基于分流原理设计了分流精锻成形工艺方案,通过数值模拟与生产验证相结合的方法研究该工艺的可行性,结果表明其位置度精度得到了显著提高,成形载荷也明显降低。

#### 参 考 文 献

- 1 Song J H, Im Y T. Process design for closed-die forging of bevel gear by finite element analyses [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, 192 ~ 193: 1 ~ 7.
- 2 寇淑清,杨慎华,赵勇. 直齿圆柱齿轮冷精锻成型过程数值模拟分析 [J]. *农业机械学报*, 2001, 32(1): 96 ~ 98.  
Kou Shuqing, Yang Shenhua, Zhao Yong. A numerical simulation of cold precision forging process for spur gears [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2001, 32(1): 96 ~ 98. (in Chinese)
- 3 Santos C A, Aguilar M T P, Campos H B. Failure analysis of the die in the third hot forging stage of a gear blank [J]. *Engineering Failure Analysis*, 2006, 13(6): 886 ~ 897.
- 4 王广春,赵国群,夏世升. 直齿轮精锻成形新工艺及试验研究 [J]. *机械工程学报*, 2005, 41(2): 123 ~ 126.  
Wang Guangchun, Zhao Guoqun, Xia Shisheng. New precision forging process and experimental study on spur gears [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2005, 41(2): 123 ~ 126. (in Chinese)
- 5 Akata E, Altinbalik M T, Can Y. Three point load application in single tooth bending fatigue test for evaluation of gear blank manufacturing methods [J]. *International Journal of Fatigue*, 2004, 26(7): 785 ~ 786.
- 6 Tahir Altinbalik H, Erol Akata, Yilmaz Can. An approach for calculation of press loads in closed-die upsetting of gear blanks of gear pumps [J]. *Materials and Design*, 2007, 28(2): 730 ~ 734.
- 7 彭颖红,周飞,阮雪榆. 齿轮坯模锻成形表面缺陷分析 [J]. *上海交通大学学报*, 1998, 32(5): 1 ~ 5.  
Peng Yinghong, Zhou Fei, Ruan Xueyu. Defect analysis in a semi-finished gear forging process by finite element method [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1998, 32(5): 1 ~ 5. (in Chinese)
- 8 刘全坤,胡成亮,王强. 齿轮闭式锻造新工艺方案的数值模拟研究 [J]. *合肥工业大学学报*, 2005, 28(9): 1 035 ~ 1 038.  
Liu Quankun, Hu Chengliang, Wang Qiang. Numerical simulation research on a new technological schms for closed-die forging spur gear [J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 2005, 28(9): 1 035 ~ 1 038. (in Chinese)
- 9 罗善明,房媛. 弧齿锥齿轮精锻成形工艺的数值模拟 [J]. *中国机械工程*, 2009, 20(4): 485 ~ 487.  
Luo Shanming, Fang Yuan. Numerical simulation on precision forging of spiral bevel gear [J]. *China Mechanical Engineering*, 2009, 20(4): 485 ~ 487. (in Chinese)
- 10 刘建生,陈慧琴. 金属塑性加工有限元模拟技术与应用 [M]. 北京:冶金工业出版社, 2003: 28 ~ 95.

(上接第 218 页)

- 6 熊馨,赵建军. 基于图像形态学的棉花异纤识别算法 [J]. *机械科学与技术*, 2009, 28(1): 121 ~ 123.  
Xiong Xin, Zhao Jianjun. An algorithm for recognition of cotton foreign fiber based on image morphology [J]. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2009, 28(1): 121 ~ 123. (in Chinese)
- 7 Church J S, O'Neill J A, Woodhead A L. Detection of fibrillated polymeric contaminants in wool and cotton yarns [J]. *Applied Spectroscopy*, 1998, 56(8): 1 039 ~ 1 046.
- 8 Hogan H. Spectroscopy focus: tracking cotton trash via fluorescence [J]. *Photonics Spectra*, 2007, 41(8): 98 ~ 99.
- 9 Zhou Fei, Ding Tianhuai. Detection of cotton lint trash within the ultraviolet-visible spectral range [J]. *Applied Spectroscopy*, 2010, 64(8): 936 ~ 941.
- 10 郭俊先,应义斌,成芳,等. 皮棉表面多类异性纤维的高光谱图像检测 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 355 ~ 360.  
Guo Junxian, Ying Yibin, Cheng Fang, et al. Detection of foreign materials on the surface of ginned cotton by hyper-spectral imaging [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(10): 355 ~ 360. (in Chinese)
- 11 杨文柱,李道亮,魏新华,等. 基于光谱分析的棉花异性纤维最佳波段选择方法 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(10): 186 ~ 192.  
Yang Wenzhu, Li Daoliang, Wei Xinhua, et al. Selection of optimal band for detecting foreign fibers in lint cotton using spectroscopic analysis [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(10): 186 ~ 192. (in Chinese)
- 12 华才健,苏真伟,乔丽,等. 基于线激光的棉花中白色异性纤维检测 [J]. *农业机械学报*, 2012, 43(2): 204 ~ 208.  
Hua Caijian, Su Zhenwei, Qiao Li, et al. White foreign fibers detection in cotton using line laser [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(2): 204 ~ 208. (in Chinese)
- 13 阿里漫. 棉纤维微观结构及与纤维性能的关系 [J]. *中国纤检*, 2010(13): 80 ~ 82.
- 14 赵林,姚穆. 纤维反光和透光性质的研究 [J]. *西北纺织工学院学报*, 2001, 15(2): 207 ~ 212.  
Zhao Lin, Yao Mu. A study of light reflectivity and transmission properties of single fiber [J]. *Journal of Northwest Institute of Textile Science and Technology*, 2001, 15(2): 207 ~ 212. (in Chinese)