

文章编号: 1671-0444(2018)06-0903-06

基于 Wu-Wang 算法的棉须丛曲线准确度

杨欢^a, 金敬业^a, 王府梅^{a, b}

(东华大学 a. 纺织学院; b. 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620)

摘要: 双须影像法是一种基于双端随机须丛快速、低成本的测量纤维长度的方法, 须丛曲线的测量计算精度是该测量方法的首要保证。为了考查 Wu-Wang 算法在棉纤维须丛曲线计算中的应用价值, 首先考查检测器的线性工作范围、双端影像法所需测量的棉须丛个数, 而后利用 Wu-Wang 算法计算须丛透光信号各点对应的纤维面密度, 进而计算获取随机须丛的线密度曲线即须丛曲线, 再将线密度曲线与 AFIS(advanced fiber information system)测量数据换算的须丛曲线进行比较, 考查其准确度。结果显示, 采用线密度不大于 3.45 g/m 的棉条制作 2 个双端随机须丛, 所测得的平均须丛曲线与 AFIS 测量数据换算得到的须丛曲线非常一致, 从而证明了 Wu-Wang 算法获取的须丛曲线具有很高的准确度。

关键词: Wu-Wang 算法; 须丛曲线; 棉纤维长度; AFIS 测量法

中图分类号: TS 101.1 **文献标志码:** A

Accuracy of the Cotton Fibrogram Based on the Wu-Wang Algorithm

YANG Huan^a, JIN Jingye^a, WANG Fumei^{a, b}

(a. College of Textiles; b. Key Laboratory of Textile Science & Technology,
Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Double-side cluster image method is a rapid, accurate and low-cost length measurement method for raw cotton based on the novel sample with dual beards. The calculation accuracy of the fibrogram is the primary guarantee of this method. In order to examine the application value of the Wu-Wang algorithm in the calculation of cotton fibrogram, this paper examined the linear working range of the detector and the number of cotton cluster measured by the double-side cluster image method. Then the fiber density of every unit in the image was calculated by the Wu-Wang algorithm from the transmittance for the linear density curve of random clusters, which was called fibrogram. This fibrogram was compared with the relative counts curve converted by the AFIS measurement data to examine the accuracy of the fibrogram. The results show that when the cotton sliver density is less than 3.45 g/m and the cluster number is two, the average fibrogram shows high accordance with that from the AFIS, that is to say Wu-Wang algorithm exhibits high accuracy in the application of cotton length measurement.

Key words: Wu-Wang algorithm; fibrogram; cotton fiber length; AFIS measurement

收稿日期: 2017-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(NSFC 51673036); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CUSF-DH-D-2014009)

作者简介: 杨欢(1992—), 女, 湖北天门人, 硕士研究生, 研究方向为纺织材料检测技术, E-mail: 1125394821@qq.com

王府梅(联系人), 女, 教授, E-mail: wfumei@dhu.edu.cn

棉纤维长度是决定纺纱性能的重要因素,也是确定纤维品质所必须检验的项目^[1]。不同长度的纤维纺纱时,需要调整纺纱工艺参数与之匹配,如纤维长度较长时,罗拉隔距应增大^[2]。目前,测量棉纤维长度的方法有很多种,给出的长度指标也不尽相同,但单凭几个长度指标,并不能代表完整的长度信息^[3],因此,准确测出棉纤维长度及其长度分布是至关重要的。

目前,测量棉纤维长度及其分布的方法主要有传统法和自动化测量法两大类^[4]。传统方法主要是罗拉法,即首先将纤维整理成一端平齐的须丛^[5],再对其进行分组称重,得到纤维长度质量分布图,进而计算各项长度指标^[6],但这种方法效率较低,且测量结果易受操作者手工技术的影响,不能满足现代化生产的要求^[7]。自动化测量方法主要是 AFIS (advanced fiber information system) 和 HVI (high volume instrument) 两大测量系统,这两种方法都能快速测量棉纤维的多项性能指标。AFIS 是利用红外光束对单根纤维进行快速测量的仪器,其能输出纤维长度频率分布直方图及一次累积分布曲线,缺点在于纤维样品在开松过程中会有少部分纤维发生断裂,使短绒率测试结果出现偏倚^[8-9]。HVI 是利用仪器测量伸出夹持线某一距离处的纤维量与伸出长度的关系,进而分析计算纤维长度,该方法采用随机夹取纤维制样,因此制样效率较高,取样量较大,但测量时传感器难以贴近夹持线,不能测量完整的须丛,会忽略一些短纤维的信息^[10-12]。AFIS 和 HVI 测量系统的设备价格昂贵,中小纺纱企业难以承受。

2013 年,王府梅研究团队发明了一种基于双端随机须丛的快速、低成本纤维长度测量方法——双须影像法,先制作如图 1(a) 所示的随机须丛,通过一种专用的须丛透光影像检测器测量其灰度影像,再根据材料吸光理论由透光信息计算出须丛线密度曲线(简称须丛曲线)。由于未考虑纤维对光线的散射和反射,由光信号分析出的初算须丛曲线与真值之间存在一定偏差,用棉纤维的试验规律对初算须丛曲线进行了修正,获得图 1(b) 所示最终须丛曲线 $F(l)$,用于计算各项棉纤维长度指标^[13]。2015 年,王府梅课题组进一步研究了纤维集合体的反射和散射特性,推导出同时考虑吸收、散射和反射特性的层状纤维集合体面密度分布的新算法——Wu-Wang 算法,该算法基于 Kubelka-Munk 双通道模型透射公式,将纤维表面的反光作用和纤维内部的散射作用全部看作纤维集合体的散射,再由试样各点的透

光强度计算纤维堆砌的面密度,进而累计须丛各横截面上的纤维量,即可获得须丛曲线^[14]。经试验证明,Wu-Wang 算法克服了传统算法中纤维越厚的位置测量得到的须丛曲线偏差越大的问题,从而可以获得更加准确的羊毛须丛曲线^[15]。

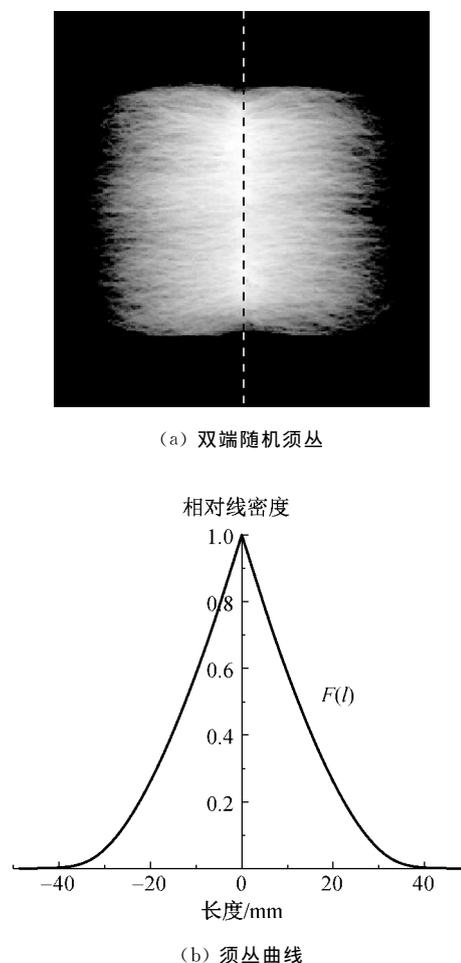


图 1 双端随机须丛及其须丛曲线
Fig 1 Dual-beard sample and its fibrogram

由于须丛曲线的测量计算精度不仅与光学算法有关,还与光学传感器的灵敏度范围、试样代表性有关。因此,本文设计了 3 个系列试验,前 2 个系列试验分别用于确定双须影像法所需棉纤维试样(须丛)的质量和个数,第 3 个系列试验用笔者课题组研制的检测器测量须丛透光图像,再用 Wu-Wang 算法分析出须丛曲线,最后与单根法、AFIS 系统的测量数据换算的须丛曲线进行比较,考查 Wu-Wang 算法获取棉纤维须丛曲线的准确性。

1 检测器适合测量的须丛质量

取样是测试的第一步,这是获得理想须丛曲线的前提。一般试样量越大,所测结果就越接近总体

的试验结果^[1]。但是,本文中须丛曲线的测量计算精度与透光信号检测器的线性工作范围有关,经考查证明该仪器的线性工作范围为 0~220^[16],只要灰度值不超过 220,就能利用灰度图像和 Wu-Wang 算法准确地计算出须丛曲线。须丛质量越大则各区域厚度也越大,为保证双端须丛中部的最厚区域的灰度值不超过 220,必须先确定硬件适合测试的须丛质量。

本文采用 8 种散棉纤维试样,编号 1[#]~8[#],其中,1[#]~4[#] 来自石家庄常山纺织股份有限公司,5[#]~8[#] 来自山东鲁泰纺织股份有限公司。来样单位测试的长度信息均由 AFIS 长度检测仪获得,其方法是将 0.5 g 棉花散纤维扯松,手工揉搓成长约 30 cm 的棉条,喂入仪器进行检测。8 种散棉纤维试样长度及短绒率测试结果如表 1 所示。

首先取 1[#] 棉样,分别称取质量为 0.35、0.50、0.65、0.85、1.00 g 的原棉纤维,采用纤维引伸器将各份棉样分别制成一根长约 20 cm 和宽约 5 cm 的棉条,也就是棉条线密度分别为 1.86、2.65、3.45、4.25、5.31 g/m。每一棉条再制成双端须丛,由一

表 1 试样长度及短绒率
Table 1 The length and short fiber content of samples

编号	平均长度/ mm	主体长度/ mm	长度变异 系数/%	短绒 (<12.7mm) 率/%
1 [#]	26.9	29.1	31.2	4.7
2 [#]	24.1	25.3	35.2	8.5
3 [#]	26.3	28.5	29.0	3.9
4 [#]	32.2	36.2	27.2	2.1
5 [#]	25.9	27.9	30.8	5.0
6 [#]	34.3	36.0	27.4	1.9
7 [#]	27.1	29.2	29.3	3.8
8 [#]	33.0	36.7	26.9	1.9

种专用的须丛透光影像检测器测得各须丛的透光灰度图像,再分别提取各须丛左右端往钳口线外侧 2~4 mm 区间的灰度值(0~2 mm 区间信息无意义,因载样器存在边缘效应),统计灰度值超过 220 的像素点占 2~4 mm 区间总像素的百分比例,结果如表 2 所示。

表 2 不同取样量时须丛最厚处灰度值超过 220 的像素点比例
Table 2 The rate of grayscale value which is more than 220 from the thickest of different sampling volume %

棉条线密度 须丛位置	1.86 g/m		2.65 g/m		3.45 g/m		4.25 g/m		5.31 g/m	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
灰度 \geq 200	2.9	0.3	24.3	16.9	37.9	36.1	51.5	45.5	66.9	66.1
灰度 \geq 210	0	0	3.1	0.6	12.4	8.26	31.7	19.8	52.1	46.1
灰度 \geq 220	0	0	0	0	0.2	0	4.5	1.4	16.2	8.7

从表 2 中可以看出,随着须丛质量的增加,灰度值超过 220 的像素点比例也增加,尤其是当棉条线密度超过 4.25 g/m 以后,灰度值大于 220 的像素点比例明显增大,甚至会超过 10%。而当棉条线密度等于 4.25 g/m 时,双端须丛影像才会在须丛最厚处位置有少许像素点灰度超过 220,且比例不到 5%。但须丛质量过小,会降低测量数据的代表性。因此,为尽量提高取样代表性,同时又不超出检测器的灵敏度范围,初步确定制作须丛的棉条线密度为 2.65~4.25 g/m。

为进一步考证检测器可测棉须丛的质量,再选取 2 种不同试样,分别为 2[#] 和 3[#] 试样,用同样的方法统计灰度值超过 220 的像素点比例,结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出,3[#] 试样的棉条线密度为 4.25 g/m 时,左边须丛的灰度值超过 220 的像素点比例超

过了 10%,而当棉条线密度为 2.65~3.45 g/m 时,2[#]~3[#] 试样灰度值 \geq 220 的像素点比例均小于 1%。因此,检测器可测棉条线密度为 2.65~3.45 g/m。

表 3 不同试样的灰度值 \geq 220 的像素点比例
Table 3 The rate of grayscale value which is more than 220 from different samples %

编号	2.65 g/m		3.45 g/m		4.25 g/m	
	左	右	左	右	左	右
2 [#]	0	0	0.086	0.005	0.707	0.033
3 [#]	0	0	0.126	0.123	11.684	4.273

2 双须影像法需要测量的须丛个数

从同一待测试样中制得的多个双端须丛能否测出相同的曲线,直接关系到测量的准确性和稳定性,因此,为了获得能够代表试样长度分布的最终须丛

曲线,要求出数个须丛的平均须丛曲线。下文通过试验确定双须影像法应该测量的须丛个数。

首先,选取编号为 4# 的棉纤维试样,利用前述方法制作 10 个双端须丛,获取各须丛的透光图像并计算须丛曲线,最后放在同一个坐标系中进行比较,结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,这 10 条曲线整体上比较一致,曲线之间的波动性比较小。

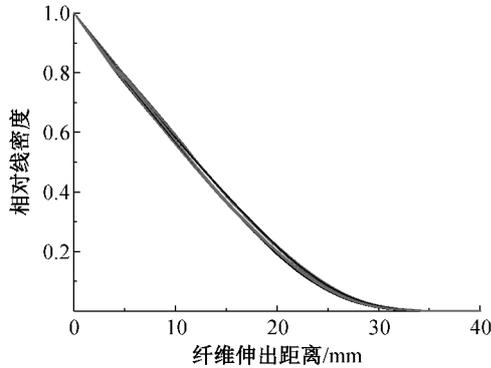


图 2 基于双须影像法的 10 个随机须丛曲线
Fig 2 Ten kinds of random fibrogram obtained by double-side cluster image method

为了更具体地表达须丛曲线间的波动性,借鉴纤维照影机的跨距长度概念,在 10 条曲线上分别提取纵坐标(相对线密度)为 0.25、0.50、0.75 时的横坐标值,即跨距长度 L_{25} 、 L_{50} 、 L_{75} ,结果如表 4 所示。由表 4 可以看出,由 10 条曲线获得的这 3 种跨距长度非常接近,且标准差和变异系数都很小。

表 4 重复制样时须丛曲线的波动性考查

Table 4 The volatility of fibrogram when repeat sampling

试验次数编号	L_{25}/mm	L_{50}/mm	L_{75}/mm
1	17.551	11.780	6.782
2	17.678	11.836	6.909
3	17.767	11.861	6.807
4	17.272	11.379	6.807
5	17.551	11.735	6.985
6	17.755	11.989	7.010
7	17.577	11.659	6.909
8	17.678	11.760	6.921
9	17.881	12.103	7.074
10	17.449	11.633	6.845
标准差/mm	0.166	0.189	0.092
变异系数/%	0.942	1.605	1.332

为了进一步量化双须影像法需要测量的实际须丛个数,以表 4 为基础,利用式(1)就可以计算出把

须丛曲线误差率控制在一定水平所需的须丛个数。

$$n = \left(\frac{t_\alpha \times C}{d} \right)^2 \quad (1)$$

式中: n 为最终的试验次数; t_α 为 t 分布的临界值; C 为变异系数(%); d 为保证误差率(%)[17]。

当显著性水平 $\alpha = 0.05$, 保证误差率为 3% 时,根据表 4 的测试结果,按照式(1)计算各跨距长度的试验次数如表 5 所示。由表 5 可知,最终试验次数应取最大次数为 2 次。

表 5 试验次数(显著性水平 $\alpha = 5\%$)

Table 5 Test frequency (significance level $\alpha = 5\%$)

长度指标	L_{25}/mm	L_{50}/mm	L_{75}/mm
试验次数	0.324	1.047	0.641
取整试验次数	1	2	1

综上所述可知,双须影像法所获得的须丛曲线波动性很小,具有很好的稳定性,经过计算,确定取每种棉样的 2 个须丛曲线的均值,即平均须丛曲线作为该种纤维试样的最终须丛曲线。

3 棉须丛曲线准确度考查

3.1 须丛曲线与纤维长度概率分布函数的关系

文献[13]推导出随机须丛曲线 $F(l)$ 与待测样品的纤维长度重量分布概率密度函数 $p_w(l)$ 的理论关系为

$$p_w(l) = lF''(l) \quad (2)$$

式中: l 为纤维的长度。

由前人研究[18-19]可知,待测样品的 $p_w(l)$ 与长度根数分布概率密度函数 $p(l)$ 的关系为

$$p_w(l) = \frac{l}{\bar{l}} p(l) \quad (3)$$

式中: \bar{l} 为纤维的根数加权平均长度。

由式(2)和(3)可得

$$p(l) = \bar{l} F''(l) \quad (4)$$

因此,随机须丛曲线 $F(l)$ 经两次微分后可求得待测样品中纤维长度根数概率密度分布曲线。

3.2 由单根法测量数据换算须丛曲线

GB/T 16257—2008《纺织纤维短纤维长度和长度分布测定的单纤维测量法》[20]规定,天然纤维的测试根数为 500 根。为了提高测量精度,本文采用 2 名不同试验者分别测量,每人测量 500 根。

为了保证所取试样是具有代表性的无偏试样,

本文采用方端法^[1]取样。首先利用纤维引伸器将散纤维制成薄而均匀的纤维条,然后每隔 2 mm 对头端进行一次一端齐的操作,抽拔单根纤维直到一端平齐时,不能带动旁边的其他纤维,共抽拔 3 次,第 3 次操作后制成的一端平齐的纤维条,用于单根纤维的测量。

将 2 名试验者测得的 500 根纤维数据进行分组,长度从 0 mm 开始,以 2 mm 为组距分组,计算得到棉纤维的长度根数频率分布图,再对纤维长度根数频率进行两次积分,就可得到 2 名试验者测得的须丛曲线,如图 3 所示。由图 3 可以看出,2 名试验者测得的须丛曲线非常接近,说明单根法测得的棉纤维长度根数频率分布图及须丛曲线的结果是真实、可靠的。

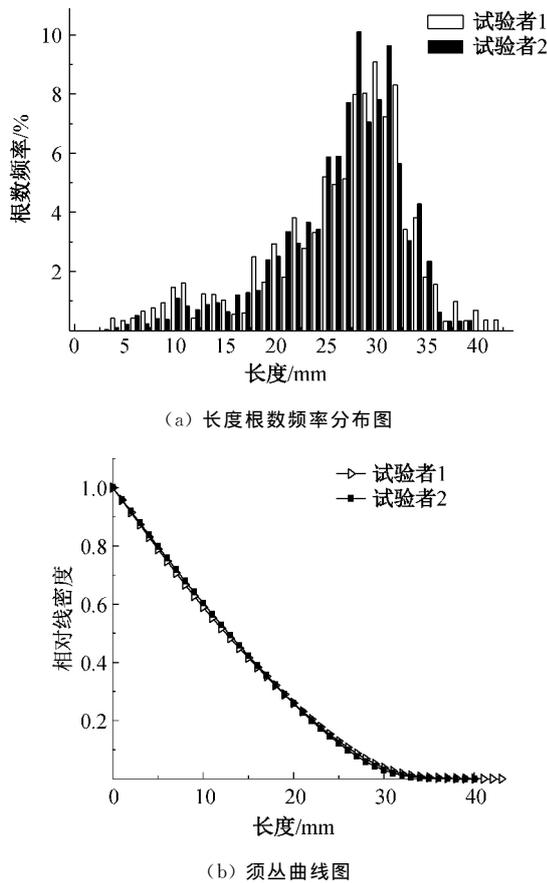


图 3 单根法测得的棉纤维长度根数分布数据
Fig 3 Cotton fiber length number distribution data by single-fiber method

3.3 单根法与 AFIS 法换算的须丛曲线对比

针对 4# 试样,将单根法得到的须丛曲线与 AFIS 换算得的须丛曲线进行对比,结果如图 4 所示。由图 4 可以看出,单根法得到的须丛曲线与 AFIS 几乎完全一致,说明这两种测量方法具有很好的一致性。由于单根法测量耗时、耗力,下文对于更

多试样以 AFIS 数据换算的须丛曲线为基准,比较分析 Wu-Wang 算法计算的须丛曲线的准确性。

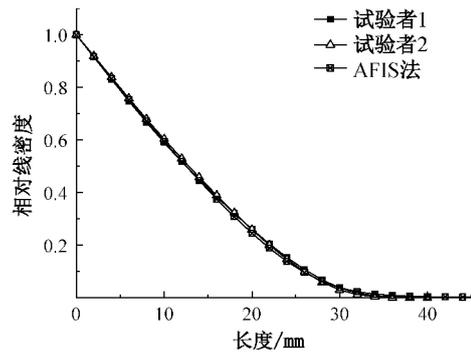
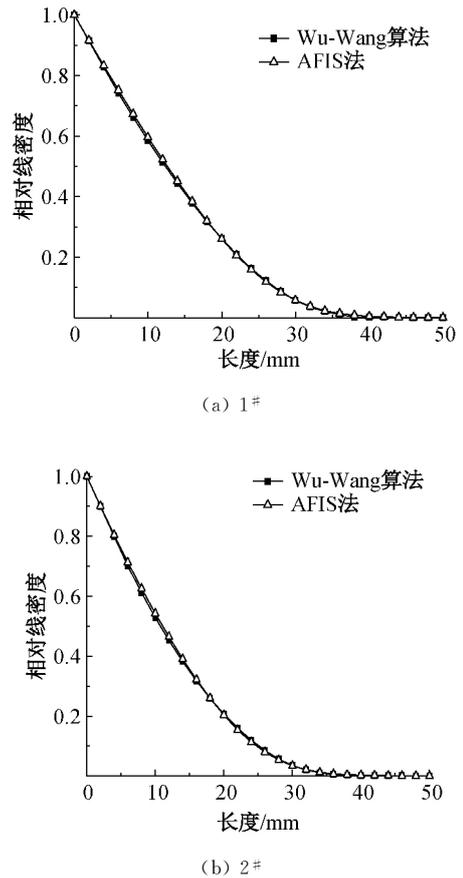
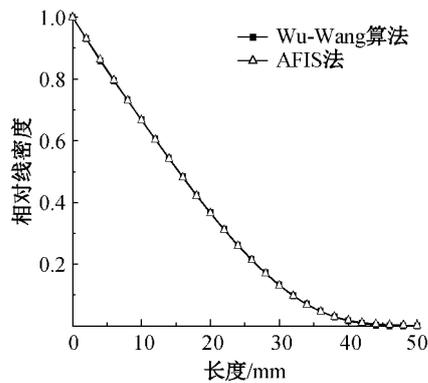


图 4 单根法与 AFIS 须丛曲线对比图
Fig 4 Fibrogram comparison between AFIS and single-fiber method

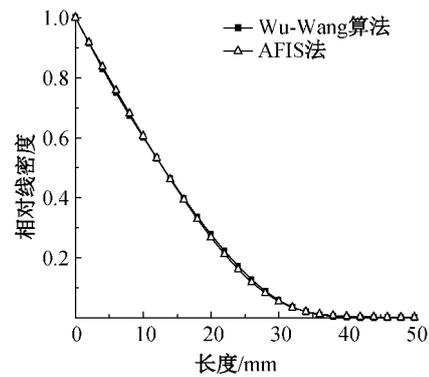
3.4 基于 Wu-Wang 算法的棉须丛曲线精度考查

根据上述平均须丛曲线的获取方法,对 1#~8# 棉纤维试样分别进行试验,再将获得的须丛曲线与 AFIS 测量得出的须丛曲线进行对比,如图 5 所示。由图 5 可以看到,基于 Wu-Wang 算法得到的须丛曲线与 AFIS 得到的须丛曲线高度吻合,说明 Wu-Wang 算法得到的须丛曲线具有很高的准确度。

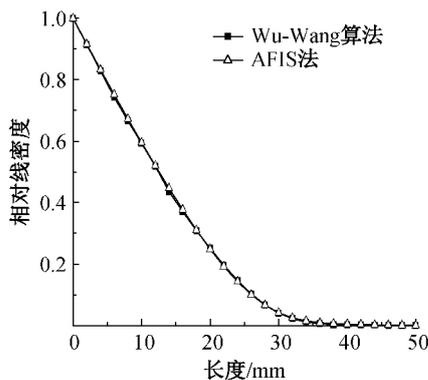




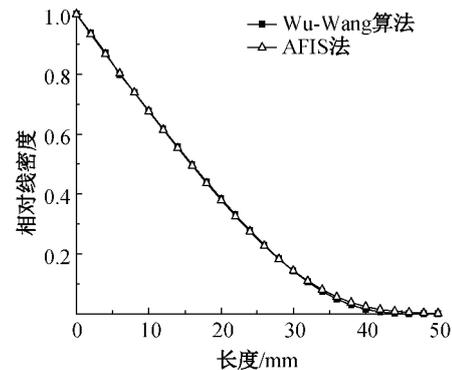
(c) 3#



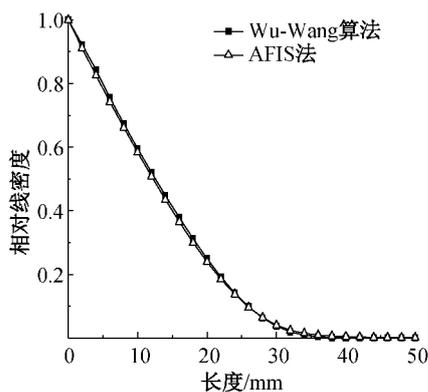
(g) 7#



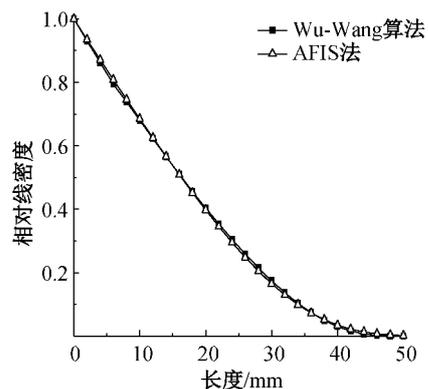
(d) 4#



(h) 8#



(e) 5#



(f) 6#

图 5 1#~8# 棉纤维基于 Wu-Wang 算法计算的须丛曲线与 AFIS 基准须丛曲线对比

Fig 5 Comparison between computed fibrogram based on Wu-Wang algorithm and AFIS fibrogram of 1#-8# cotton fibers

4 结 语

本文首先考查了检测器适合测量的须丛质量、双须影像法所需测量的须丛个数,而后采用 Wu-Wang 算法计算 8 种不同棉纤维试样的须丛曲线,通过与 AFIS 测量数据获取的须丛曲线进行比较,考查 Wu-Wang 算法计算棉纤维须丛曲线的准确度,得出下述结论。

(1) 由于须丛曲线的测量计算精度与须丛透光信号检测器的线性区间有关,通过试验发现,制作须丛的棉条线密度控制在 3.45 g/m 以下时,才能保证双端须丛从最厚区域的灰度值不超过检测器的线性工作范围。

(2) 为了考查 Wu-Wang 算法计算的棉纤维须丛曲线的准确性和稳定性,对同种试样采用重复制样的方法获得 10 个须丛曲线,考查其波动性,结果表明双须影像法检测棉纤维时具有非常好的稳定性,由 2 个随机须丛获得的平均须丛曲线就可以准

(下转第 920 页)

- 573-578.
- [4] 周水平, 汪军, 杨建平. 集聚纺集聚区须条变截面部分的力学分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 20-23, 32.
- [5] 周水平, 汪军, 杨建平. 集聚纺集聚区须条等截面部分的力学分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(3): 10-14.
- [6] 杨建平, 裴泽光, 汪军. 集聚纺集聚区气流流动规律及集聚效果的数值研究[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2011, 37(3): 310-316.
- [7] WANG Y, HUA Z H, CHENG L H, et al. Simulation and analysis of fiber motion in condensing zone of compact spinning with lattice apron[J]. Journal of Donghua University (English Edition), 2010, 27(5): 600-605.
- [8] 杨建平, 傅婷, 汪军. 网格圈负压式集聚纺集聚区须条半自由端加捻机制[J]. 纺织学报, 2011, 32(10): 37-41.
- [9] 陆宗源. 集聚纺气流集束原理和纱线结构-纤维集束运动学初探[J]. 纺织器材, 2012, 39(5): 1-4.
- [10] 陆宗源. 从立达集聚纺导流器的演变分析集聚纺纱原理[J]. 棉纺织技术, 2016, 44(4): 75-79.
- [11] WANG J, YANG J P, BU H G, et al. Mechanical analysis on changing cross-sectional segment of fiber band in condensing zone in compact spinning[J]. Journal of the Textile Institute, 2009, 100(5): 451-456.
- [12] YANG J, WANG J, BU H, et al. Mechanical analysis on constant cross-section segment of fiber band in condensing zone during compact spinning[J]. Journal of the Textile Institute, 2012, 103(2): 117-123.

(责任编辑: 杜 佳)

(上接第 908 页)

确反映试样的长度信息。

(3) 8 种原棉试样的试验结果证明, 基于 Wu-Wang 算法得到的须丛曲线与 AFIS 数据换算的须丛曲线高度吻合, 从而证明了 Wu-Wang 算法在棉须丛曲线计算中具有很高的准确性。

参 考 文 献

- [1] 李汝勤, 宋钧才, 黄新林. 纤维与纺织品测试技术[M]. 上海: 东华大学出版社, 2015: 9-30.
- [2] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 64-68.
- [3] KROWICKI R D, THIBODEAUX P D, DUCKETT K E. Generating fiber length distribution from the fibrogram[J]. Textile Research Journal, 1996, 66(5): 306-310.
- [4] 蒋素婵, 来侃, 王晓东, 等. 纤维长度测试中取样方法的比较研究[J]. 西北纺织工学院学报, 2001, 15(2): 245-248.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 棉纤维长度试验方法第 1 部分——罗拉式分析法: GB/T 60981—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [6] American Society for Testing and Materials. Standard test methods for length and length distribution of cotton fibers (Array Method): ASTM D1440 - 90 [S]. US: ASTM International, 1990.
- [7] 赵卫红, 竺林. 常用棉纤维长度试验方法的探讨[J]. 中国棉花加工, 2004(1): 34-42.
- [8] BRAGG C K, SHOFNER F M. Rapid direct measurement of short fiber content[J]. Textile Research Journal, 1993, 63(3): 171-176.
- [9] CAI Y Y, CUI X L, RODGERS J. An investigation on different parameters used for characterizing short cotton fibers [J]. Textile Research Journal, 2011, 81(3): 239-246.
- [10] 曹小红, 李新, 刘琳. 浅析 HVI、罗拉仪、AFIS 测试棉纤维长度及短纤率指标[J]. 中国纤检, 2009(9): 74-77.
- [11] CUI X L, TIMOTHY A, CALAMARI. An investigation of cotton fiber lengths measured by HVI and AFIS[J]. Tenth EFS System Research Forum, 1997, 12(5): 6-7.
- [12] CUI X L, THIBODEAUX D, ROBERT K, et al. A study to improve the measurement of cotton length distribution from a fiber beard[C]// Proceedings of the 2007 Beltwide Cotton Conference. 2007.
- [13] 王府梅, 吴红艳. 一种纤维长度快速低成本测量方法: CN 102645166A[P]. 2012-08-22.
- [14] 吴美琴, 王府梅. 纤维层面密度的光学新算法[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2016, 42(6): 827-834.
- [15] 吴美琴, 陈雪飞, 李世朋, 等. 基于 W-W 算法的须丛曲线准确度考察[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 36-43.
- [16] 金敬业. 基于双端须丛影像法测量系统的短纤维含量与长度分布算法研究[D]. 上海: 东华大学纺织学院, 2017: 36.
- [17] 李汝勤, 宋钧才. 纤维和纺织品的测试原理与仪器[M]. 上海: 中国纺织大学出版社, 1995.
- [18] ZEIDMAN M I, BATRA S K, SASSER P E. Determining short fiber content in cotton part I: Some theoretical fundamentals[J]. Textile Research Journal, 1991, 61(1): 21-30.
- [19] 刘若华. 原棉短纤维含量的测试方法研究[D]. 上海: 东华大学纺织学院, 2002: 96.
- [20] 国家技术监督局. 纺织纤维短纤维长度和长度分布的测定——单纤维测量法: GB/T 16257—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(责任编辑: 徐惠华)