

## 棉纤维品质长度的图像测量

何晓峰<sup>1,2</sup>, 刘文耀<sup>1</sup>, 吴国新<sup>2</sup>

(1. 天津大学精密仪器与光电子工程学院 光电子信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072; 2. 安徽财经大学棉花工程研究所, 蚌埠 233041)

**摘要:**提出了一种新的棉纤维品质长度的检测方法。该方法主要通过使用 CCD、计算机、高亮度光源构成的精准测量系统而实现,它能够准确测量 Hertel 曲线上任意一点的纤维累积根数。基于随机分布理论,建立了纤维长度分布的数学模型,实现了对主体长度以上纤维各个长度进行分段测量。实验表明,本方法的测量结果与 Y111 结果高度相关,测量速度快。

**关键词:**棉纤维;品质长度;Y111;图像测量

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A

**文章编号:**1002-7807(2005)06-0348-05

### Image Measurement of Cotton Quartile Length

HE Xiao-feng<sup>1,2</sup>, LIU Wen-yao<sup>1</sup>, WU Guo-xin<sup>2</sup>

(1. College of Precision Instrument and Opto-electronic Engineering, Tianjin University, Key Laboratory of Opto-electronics Information and Technical Science, Ministry of Education, Tianjin 300072, China; 2. Institute of Cotton Research and Engineering, Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233041, China)

**Abstract:** This paper offers a new method of measuring cotton quartile length. The originality of this method lies on an accurate testing system which is mainly composed of one CCD, a computer and a high light source; and it can precisely measure the second order accumulated numbers of cotton fibers on any point of Hertel curve. For calculating the cotton fiber length distribution of those fibers of which lengths are longer than their majority, a mathematical model has been constructed on the base of possibility theory and it is really effective in getting cotton weight of different length segments. The experiment shows that the results produced by our method and Y111 are so correlated that we have  $R^2 = 0.94$ , while the former is pretty faster and more convenient.

**Key words:** cotton fiber; quartile length; Y111; image measurement

自 HVI 问世以来,棉纤维主体长度的快速测量问题,已经解决。20 世纪 80 年代末,棉花短纤维率的快速测量受到了重视。首先,猜测短纤维率与主体长度是否存在某种回归关系,并得到一些结果。其后由美国农业部的 Zeidman 牵头组织,在 HVI 上进行了大量测试,从 3 年多的数据中,得出“Zeidman”方程<sup>[1]</sup>(一阶线性方程),它也是今天 HVI 预测短纤维率(SI)普遍使用的数据模型。但大量的实验证实,其测量结果不稳定,

Bremen 国际循环试验不能通过。Jerry D. Rowland 进行了二阶回归,结果仍然不理想<sup>[2]</sup>。国内也有一些相关研究。王宝才认为短纤维率与 Y146 照影曲线上某个点有关系,并通过一些实验总结了一个回归方程<sup>[3]</sup>。陆永良等人的设想进了一步<sup>[4]</sup>,认为通过在照影曲线测量多个点才能测得短纤维率,并通过对 5 个点的样条插值测量短纤维率。

上述研究都存在一个相同的问题。由于短纤

维是一个长度区间,因此仅通过在照影曲线上一个或少数几个点的测量,肯定不能准确测定这个长度区间。棉纤维的品质长度也由一个长度区间决定,要想测量它,不能采用上述研究的路子,而要像 Y111 那样,进行逐段测量。中国的 Y111 和美国的韦氏仪(即 Y121)都是各自的国标仪器,它们虽然在操作上比较繁琐,但都有一个共同的优点,那就是测量原理直观。棉纤维的品质长度是一个很重要的长度指标,它是纺织工艺中设置罗拉隔距参数的依据,不过目前尚无品质长度测量方面的研究文献,因此该项研究首先要着眼测量原理的可靠性,其次要力求测量方法便捷、快速。

## 1 检测原理

### 1.1 随机取样的数学理论

若要快速取样,必须遵从随机取样理论。一旦采用这种方法,就必须为随机取样建立坚实的数学基础,这一点正是 HVI 所缺乏的。尽管 ASTM 宣称 192 取样器随机取样服从 Hertel 分布<sup>[5]</sup>,但有实验证明它是错误的<sup>[6-7]</sup>。

首先给待测棉样和梳夹棉须一个严格的定义:待测棉样是指棉包中的棉纤维,或者通过某种方法制作的纤维试样、棉条等;梳夹棉须是指通过某种制样方法,纤维夹持器具握持的纤维。随机取样假定,待测棉样中任意长度组的棉纤维,在沿其长度上任一点具有相同的握持概率。这就是说,当把纤维分成若干等长的不同长度组,则每个长度组纤维伸出的长度,依夹持线构成一系列的直角三角形(图 1);三角形编号由下至上依次为 1、2、3……,它们的伸出长度或者跨距坐标为  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ ……,在  $xy$  坐标系中,设每个三角形的斜率分别为  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ ……,在夹持线上( $y$ 轴),直角边长分别为  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ ……,则对这些三角形而言,有下列方程组:

$$\begin{cases} y_1(x) = k_1 x + b_1 \\ y_2(x) = k_2 x + b_2 \\ \dots\dots \\ y_j(x) = k_j x + b_j \end{cases} \quad (1)$$

$y_j(x)$  表示第  $j$  个三角形在跨距为  $x$  时,纤维的绝对根数。

它们在  $xy$  坐标系中叠加,将形成分段折线,尤其在  $j$  很大时,将形成一条平滑曲线。该分段折线的函数形式为:

$$y(x) = \sum_{i=1}^j k_i x + \sum_{i=1}^j b_i \quad (2)$$

其中  $x_{j+1} \leq x \leq x_j$

为了搞清楚梳夹棉须的长度分布,需要对(2)进行数学处理,步骤如下:

选取任意两个临近点  $j$  和  $j-1$  点,对(2)两边差分,则有:

$$\Delta y_j(x) = \sum_{i=1}^j k_i \Delta x \quad (3)$$

$$\Delta y_{j-1}(x) = \sum_{i=1}^{j-1} k_i \Delta x \quad (4)$$

(3)(4)相减,则有

$$\Delta y_j(x) - \Delta y_{j-1}(x) = k_j \Delta x \quad (5)$$

考虑到(5)的左边为  $j$  点的二阶差分,  $k_j$  为第  $j$  个三角形的斜率,亦即  $k_j = b_j/x$ ,去掉脚标,则有任一点的二阶差分为:

$$\Delta'' y(x) = \frac{b_j}{x} \Delta x \quad (6)$$

$\Delta'' y(x)$  为梳夹棉须任一跨距下纤维根数的二阶差分,  $b_j$  为梳夹棉须长度为  $x$  的纤维的绝对根数

设梳夹棉须纤维的总根数为  $N$ ,其任意长度组的长度根数频率密度函数为  $g(x)$ ,显然,  $g(x) \cdot \Delta x = b_j/N$ ,令  $r(x) = y(x)/N$ ,再用  $l$  代替  $x$ ,那么,方程(6)可化为:

$$\frac{\Delta'' r(l)}{\Delta l \cdot \Delta l} \cdot l = g(l) \quad (7)$$

$r(l)$ ——二次累积曲线上纤维的相对根数。

$g(x)$  为梳夹棉须的长度根数频率密度分布函数,我们需要知道它与待测棉样长度根数频率密度分布函数  $p(l)$  的关系。对于 Hertel 取样,纤维被夹持的概率与  $p(l)$  成正比,与纤维长度成正比。这就是说:

$$g(x) = p(l) \cdot l \quad (8)$$

代入公式(6)即有

$$\frac{\Delta'' r(l)}{\Delta l \cdot \Delta l} = p(l) \quad (9)$$

该公式即为我们要测量棉纤维品质长度的理论依据,它首先要求能够准确测量  $\Delta'' r(l)$ 、 $\Delta l$  和  $l$ ,或者说要求准确测量  $r(l)$  和  $l$ ,有两个量就能够推导出前三个量。其次要求构造 Hertel 取样方法。

### 1.2 图像测量方法

如图 2 所示为棉纤维的测量结构原理图。真空泵作用于风洞产生一个负压,当纤维试样被步

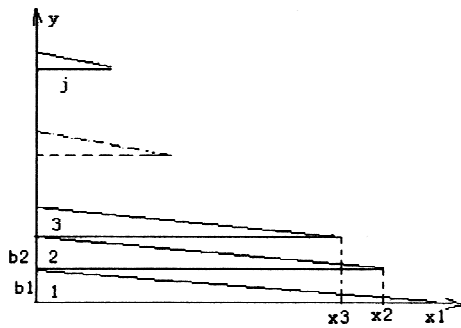


图1 纤维随机取样

Fig.1 Random sampling of fibers

进电机送到风洞口时,气流将之拉直。大面阵 CCD 在另一个步进电机的驱动下做横向运动,对

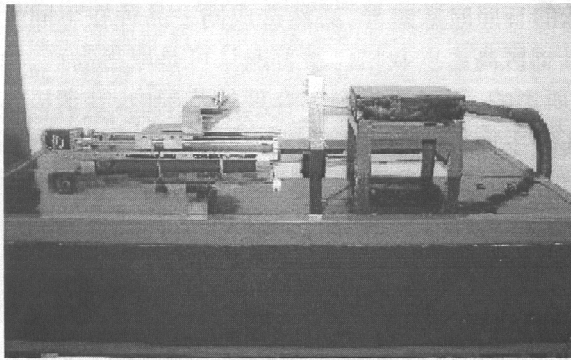


图2 测量原理与结构

Fig.2 Test principle and mechanism

如下公式处理得到减影图像:

$$ImgFiber(i,j) = ImgBkGd(i,j) - ImgFiber(i,j) \quad (10)$$

经过减影处理后的图像,需要进行求阈值和二值化处理。阈值的求解采用传统的 Otus 方法<sup>[8]</sup>,得到阈值 k 后就能对纤维图像进行二值化处理。对图像矩阵的每一个元素,做如下操作:

$$ImgFiber(i,j) = \begin{cases} 1 & \geq k \\ 0 & < k \end{cases} \quad (11)$$

这时得到了二值化的图像其矩阵中的元素的值只有 0 和 1,0 值代表背景,1 值代表棉纤维。对该矩阵进行行扫描,当元素的值为 0 时,不计数;当元素的值为 1 时,计数器加 1;如果紧挨着的下一个元素还是 1,计数器不计。采用这种方法即可测量到纤维的累积根数。元素的脚标和跨距对应,  $FiberNum(i)$  中的某个  $i$  的值为  $r(l)$ , 因此,  $FiberNum(i)$  可用于测量纤维长度数据及对应点的累积根数。值得说明的是,基于图像方法测得的纤维累积根数是很准确的,我们通过比较计算机的测量值及肉眼目测值,两者最大误差不超过 3%,而肉眼目测值可以看作是精确值。

棉须扫描、抓图。纤维图像送入计算机中处理,逐点计算出二次累积根数。光学系统的放大率是  $1,2/3^{\circ}$  CCD 有  $1080 \times 1300$  个像素。每幅纤维光学图像的尺寸为  $6.6 \text{ mm} \times 8.8 \text{ mm}$ ,系统的光学分辨率为每毫米 156 个点(横向)。所以说测量精度(6 微米级)是非常高的,完全能够精确测量  $r(l)$  和跨距  $l$ 。另外,在试验中  $\Delta l$  为  $2.0 \text{ mm}$ 。至此,公式(6)中左端需要测量的量,都能得到。

图像处理过程如下:在试样棉须进入风洞前,抓取背景图像,图像数据存入数组  $ImgBkGd(i, j)$  中。试样棉须进入风洞后,每抓取一幅纤维图像(图 3),数据存入数组  $ImgFiber(i, j)$  中,通过 4

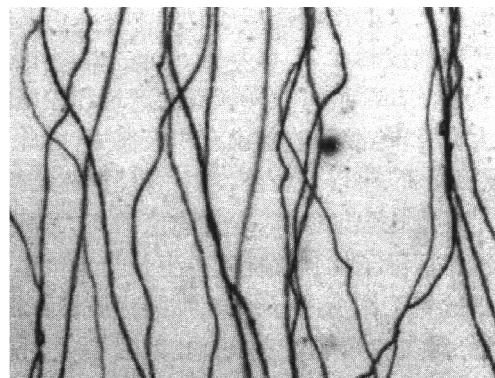
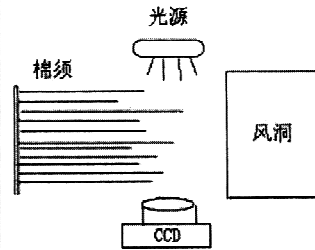


图3 局部纤维图像

Fig.3 Part of cotton fiber image

### 1.3 取样方法

取标准棉样 3~5 g,然后用纤维混合器制作均匀的薄棉网。如果棉网不够均匀,就把针布上的棉网取下,再用混棉器混和。混和可以进行多遍,直至可用。一般有三遍混和就足够了。Hertel 试样在下列三种条件下才能保证:1)纤维混合均匀;2)纤维伸展方向一致;3)夹子的夹持线与纤维伸展方向垂直。由于纤维混合器上的刺辊的作用,棉纤维能够得到均匀混和,且有一致的伸展方

向。棉纤维混和好以后,用一个细铁条将棉网小心挑起,便可以取样。棉网的厚度要控制,既不能太厚,也不能太薄。太厚的话,夹取的纤维过多,累积曲线上各点纤维累积根数就测不准;棉网太薄的话,纤维量少,由于涨落因素,使得纤维累积曲线与正确的曲线偏离过大。夹子夹取纤维量应在 1400 根至 1700 根。从棉网上取样,要使用平口夹,不能使用钩挂式取样器。根据 Richard 和 Thibodeaux 的研究<sup>[9-10]</sup>,使用钩挂式取样器(如 192),纤维绕过钩针后,伸出棉须的长度分布会受到影响。纤维越短,留在夹持线后的部分就越多。因为短的纤维要比长的纤维硬一些。完成了纤维夹取后,用梳子将浮游纤维梳理掉,再用毛刷轻轻刷纤维须从,使纤维的伸展状态好一些。接着将夹有纤维的夹子放入自制测量仪器的插槽中,准备测量。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料

标准棉样由农业部棉花品质监督检验测试中心提供,总计使用了 8 个标准棉样,其中 5 个为国产棉样,3 个为进口棉样。

### 2.2 Y111 实验数据的来源

为了保证数据的可靠性,联系了四家单位进行该实验。实验要求是:每个棉样测量 10 个重复;同一个棉样,分出两个的试验试样,至少有两个不同的单位进行该样的 Y111 测量。送出的待测棉样,一概按照黑箱方法进行编号,在农业部棉花品质监督检验测试中心的组织与监督下,完成了 Y111 测量工作。对这些数据,我们做了全面的统计分析,证实了协作单位测量的 Y111 实验数据非常好,可以用于对比实验。

### 2.3 基于图像的纤维分组长度计算

由于  $\Delta l$  取为 2.0 mm,因此公式(9)左端的分母做为常数,不会影响计算结果,也就不须考虑了。下面的问题是如何计算二阶差分  $\Delta^2 r(l)$ 。棉须的二次累积根数存放在数组  $FiberNum(i)$  中,数组元素的序数就是跨距,元素间距为 2.0 mm,起始距离为 3.5 mm。显然,任意点  $i$  的二阶差分为:

$$\Delta^2 r(i) = r(i) + r(i-2) - 2r(i-1) \quad (12)$$

它可以看作是  $p(l)$ ,根据纤维长度重量频率  $w(l)$  与长度根数频率  $p(l)$  的关系  $w(l) = p(l) \cdot l$ ,则棉纤维按长度分组的重量可以按下式计算:

$$W_k(l) = p(l) \cdot l \quad (13)$$

$$l = 3.5 + 2k$$

$$k = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$W_k(l)$  为  $k$  组纤维的相对重量。测量出个长度组纤维的相对重量后,便可按 Y111 公式计算品质长度,相应计算公式可参见 GB 6098.1-85。

## 3 实验结果

对比实验结果见表 1,每个试样分别用图像法和 Y111 方法做 10 次测量,表 1 给出了最大值、最小值、平均值和标准差。从标准差能够看到,图像测量方法与 Y111 测量方法相比,两者的重现性在同一个层次上。对于两者品质长度的平均值,做了相关分析,在  $\alpha = 0.05$  的置信水平上,得到的相关系数的平方为  $R^2 = 0.94$ ,截距为 6.4, F 值表明两者呈显著线性相关。图 4 显示了直观的对比如果,图像测量值与 Y111 结果相比,有的大一些,有的小一些。这说明两种方法的测量结果,有一定的离散性。不过从表 1 的数据看,离散程度是有限的。

表 1 棉纤维品质长度的图像方法与 Y111 方法对比实验

Table 1 Comparative experiments of cotton quartile lengths between image and Y111 measurement

样品编号	图像方法品质长度测量值/mm				Y111 方法品质长度测量值/mm			
	最大值	最小值	平均	标准差	最大值	最小值	平均	标准差
1	28.69	26.89	27.70	0.793	29.05	27.02	27.98	0.677
2	30.89	28.27	28.91	0.786	30.73	29.57	30.15	0.326
3	29.98	27.59	28.85	0.861	29.60	28.59	28.91	0.343
4	33.35	31.65	32.85	0.484	33.45	31.92	32.34	0.436
5	34.08	32.04	32.98	0.599	33.64	32.23	33.00	0.451
6	27.20	26.95	27.09	0.098	28.25	26.95	27.54	0.328
7	38.44	34.92	36.79	1.067	35.63	34.48	35.12	0.351
8	32.25	29.00	30.85	1.317	30.19	28.71	29.58	0.533

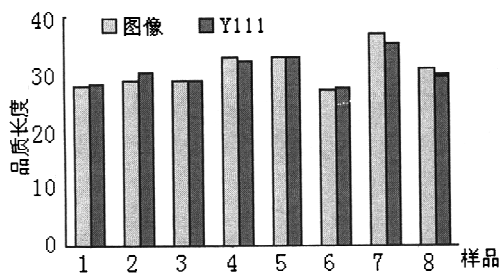


图 4 对比结果

Fig. 4 Comparative results

#### 4 讨论

传统的棉纤维长度光电测量仪器,不能根据遮光率准确测量纤维根数。HVI 的长度模块指标如:整齐度(比)、平均长度、短纤维指数等,仅是一种形态参量,不具备绝对的长度意义,这些都是由于其测量原理的不足所造成的。由于图像测量方法的原理坚实,所以不会有这些问题。我们还可以推断:图像方法的测量结果,不会受到湿度、纤维颜色等因素的影响;它不但能够测量普通棉,还应能够测量彩色棉。

图像测量方法的优点是速度快,一个试样所需的测量时间在 10~15 min 之间,远比 Y111 快捷得多。此外,它的操作也比较方便,完成取样并将梳夹置入到仪器的插槽后,其它工作完全由计算机来完成。如果能将该项研究转化为实用的商业产品,将会对我国棉纺织行业,是一个较大的贡献。

#### 参考文献:

- [1] ZEIDMAN M I, Batra S K, Sasser P E. Determining short fiber content in cotton: Part II. Measures of SFC from HVI data -statistical models[J]. Textile Research Journal, 1991, 61(2):106-113.
- [2] ROWLAND J D. Cotton short-fiber testing[A]. 12th annual engineered fiber selection system conference [C]. Greenville SC, Cotton Incorporated, May 17-19, 1999.
- [3] 王宝才. 照影仪测定棉纤维短绒率的方法[P]. 中国专利:92113920.9, 1993-08-18.
- [4] 陆永良, 张瑞云, 李汝勤. MATLAB 在原棉短纤维含量测试中的应用[J]. 纺织学报, 2001, 22(2):89-90.
- [5] 邵明根. ASTM D5867-95 大容量纤维测试仪(HVI)测定棉纤维物理性能的标准试验方法[J]. 中国纤检, 2002(1):20-22.
- [6] CHU Y T, Riley C R J. New interpretation of the fibrogram [J]. Textile Research Journal, 1997, 67(12):897-901.
- [7] CUI X L, Timothy A C. An investigation of cotton fiber lengths measured by HVI and AFIS[A]. Tenth EFS( $\tau$ ) system research forum[C]. Cotton Incorporated, 1997.
- [8] 付忠良, 图像阈值选取方法-Otus 方法推广[J]. 计算机应用, 2000, 20(5):37-39.
- [9] RICHARD S K, Thibodeaux D P. Holding Length: Effect on digital fibrograph span length[J]. Textile Research Journal, 1990, 60(7):383-388.
- [10] 何晓峰. 游离棉纤维长度的计算机测定[J]. 棉花学报, 2003, 15(6):339-343. ●
- [1] ZEIDMAN M I, Batra S K, Sasser P E. Determining short fiber content in cotton: Part II. Measures of