

文章编号: 1671-0444 (2018)02-0196-09

## 基于双端须丛试样的棉毛纤维长度频率分布测量

金敬业<sup>1, 2a</sup>, 杨欢<sup>2a</sup>, 吴美琴<sup>2a</sup>, 陈雪飞<sup>2a</sup>, 王府梅<sup>2a, 2b</sup>

(1. 泉州师范学院 纺织与服装学院, 福建 泉州 362000; 2. 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:** 基于新型双端须丛试样, 利用图像处理方法可快速低成本地检测棉、毛等纤维的长度, 但存在计算指标较少的问题。为此提出一种新算法, 即把测得的双端须丛相对线密度曲线(类似纤维长度分布曲线)转换成质量加权长度频率直方图, 同时避开可能放大误差的微分过程。该算法可通过对相对线密度曲线上一系列数据点进行简单加减运算, 获得各个长度组纤维的质量分数, 并根据定义计算任意长度指标。基于 24 种棉纤维试样和 12 种毛纤维试样的实际检测显示, 计算出的直方图和几种长度指标值与 AFIS、Almeter 基准方法的检测结果高度一致, 表明该方法能够利用双端须丛试样测得全面、准确的纤维长度信息。

**关键词:** 双端须丛; 棉纤维; 毛纤维; 长度检测; 长度分布直方图

中图分类号: TS 101.1

文献标志码: A

## Length-Frequency Distribution Testing of Cotton and Wool Based on Dual-Beard Sample

JIN Jingye<sup>1, 2a</sup>, YANG Huan<sup>2a</sup>, WU Meiqin<sup>2a</sup>, CHEN Xuefei<sup>2a</sup>, WANG Fumei<sup>2a, 2b</sup>

(1. Textile and Clothing Institute, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China;  
a. College of Textiles; b. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education,  
2. Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The novel sample of dual-beard can be used to measure the length of cotton and wool fibers in an efficient and economical way by image processing method, but there are only a few available parameters. Therefore, a new calculation method is proposed to convert the relative linear density curve of dual-beard (similar to fibrogram) into mass-weighted length histogram and avoid the process of amplifying the error. Simple computations of addition and subtraction are applied to coordinate values of the curve's plots. Thus the method can contribute to obtain the mass ratio of each length group and be further used to calculate any length parameter. Practical tests based on 24 cotton fiber samples and 12 wool fiber samples show that the calculated histograms and length parameter values have high agreement with those from reference methods like AFIS and Almeter. The result proves that the new calculation method is effective for providing comprehensive and accurate fiber length information with dual-beard

收稿日期: 2017-02-14

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基金资助项目(CUSF-DH-D-2014009)

作者简介: 金敬业(1985—), 男, 河南南阳人, 博士研究生, 研究方向为纺织材料检测技术, E-mail: jin\_jingye@163.com

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

sample.

**Key words:** dual-beard; cotton fiber; wool fiber; length measurement; length histogram

纺织纤维是长径比很大的一维柔性材料,除连续长丝外,大部分长度都在数毫米至两三百毫米之间。由于棉、毛等纤维的长度天生具有离散性,因此其详细长度信息可以用某种长度分布来表示。为实用考虑,贸易和生产中常用一些长度指标作为纤维分级定价和加工参数设置的依据,这些长度指标基本上都是由长度分布计算而来的<sup>[1]</sup>。由此可见,在纤维长度检测中,核心问题是如何准确地获得长度分布。

各种检测方法获得的纤维长度分布可分为频率分布、累积分布和二次累积分布 3 类,其中最实用的是频率分布。理论上讲,频率分布曲线积分可得累积分布曲线,再次积分可得二次累积分布曲线<sup>[1]</sup>。罗拉法和梳片法是传统标准方法,分别用于棉、毛纤维,把纤维整理成一端平齐须丛后按长度分组、称重,获得质量加权长度频率直方图。AFIS (advanced fiber information system)把喂入棉条分离成单纤维并逐根测量,基于至少 3 000 根单纤维的数据,输出根数加权长度频率直方图。应用较广的毛纤维长度检测仪是 Almeter 型电容仪和 OFDA 4000 型光学仪,前者根据一端平齐试样截面的电容变化计算纤维量,后者利用光学成像的办法测量很薄的纤维束自根部至梢部的纤维根数变化,检测多个纤维束后数值叠加。这两种仪器都能获得近似根数加权的长度累积分布<sup>[2]</sup>。长度二次累积分布是 HVI (high volume instrument)系统的标志性产物,检测时直接从原棉中夹取纤维,简单梳理后测量须丛自钳口至梢部的透光量变化,转换成二次累积分布曲线<sup>[3]</sup>。HVI 系统的检测速度快,且同时可测强度、色泽、马克隆值等指标,在国际棉花交易领域被普遍采用。

罗拉法和梳片法等手工方法检测时纤维易丢失,平齐端波动较大,因此测量误差大,又由于耗时较长,难以满足现代化生产需要,正逐渐被操作简单、速度快、重复性好的自动化仪器取代。然而,现有自动化仪器普遍价格昂贵,保养成本较高,测量结果也存在一定缺陷。例如,Almeter 试样的平齐端存在波动,且电场有效宽度太大,导致测量精度较差<sup>[4]</sup>; HVI 钳口内部及以外 3.81 mm 范围内纤维

不可测,严重影响了对短纤维的测定<sup>[5]</sup>,此外,受光学算法影响其二次累积曲线的物理意义存在争议,毫米级狭缝光的扫描精度也不够高,导致其二次累积曲线无法进行微分运算转换成概率分布。

近年来,数字图像技术被越来越多地应用到纺织检测领域,呈现出精度高、成本低等优势。笔者课题组提出了基于图像处理技术和新型双端须丛试样的棉毛纤维长度检测新方法,称作双端须丛影像法<sup>[6-9]</sup>,具有精确、廉价和快速的特点。该方法首先测出双端须丛的相对线密度曲线(类似二次累积曲线),继而算出几个长度指标。然而受算法所限,尚不能提供更全面的长度分布信息。本文针对该问题提出新的计算方法,由相对线密度曲线算出纤维试样的质量加权长度频率分布直方图。

## 1 双端须丛检测原理

### 1.1 检测流程

双端须丛制样及检测流程如图 1 所示。检测棉纤维时,从待测原棉、生条或熟条中随机取 $(0.65 \pm 0.15)$  g 样品,用纤维引伸器制成尺寸约 20 cm × 5 cm 的预制棉条,使纤维基本伸直、平行排列;用窄口夹钳将预制棉条在中部附近夹紧,使夹持线尽量垂直于棉条轴向;梳去夹持线两侧浮游纤维后,得到双端须丛。检测毛纤维时,取长度不小于 40 cm 的待测毛条样品,轴向平行分出线密度为 $(20 \pm 3)$  g/m 的预制毛条,用夹钳在预制毛条中部附近夹紧并梳去两侧浮游纤维,制成双端须丛。

制成的棉、毛纤维双端须丛被放入由高精度线阵 CCD、线型光源和机械传动机构组成的成像装置,逐行扫描得到分辨率为 1 000 ppi (pixels per inch)的 256 阶透射灰度图像。每个像素点的灰度反映了须丛在该点处的透射光强度,若灰度值为 0,则无透射光,若灰度值为 255,则透射光强度与入射光相等,说明此处无纤维。用任一点灰度值除以 255 即为须丛在该点处的透射率,结合课题组提出的层状纤维集合体面密度光学算法,可算出须丛在该点处的面密度<sup>[8]</sup>。将每一列像素点的面密度分别叠加并归一化,再根据像素点的宽度 0.025 4 mm 和相对

位置,最终算出图 1 所示的双端须丛相对线密度曲线  $F(l)$ , 其中,  $l$  为长度 (mm),  $l_{\max}$  为最大长度

(mm)。毫无疑问,夹持线处纤维最多,若将夹持线处横坐标设置为  $l=0$ , 则  $F(0)=1$ 。

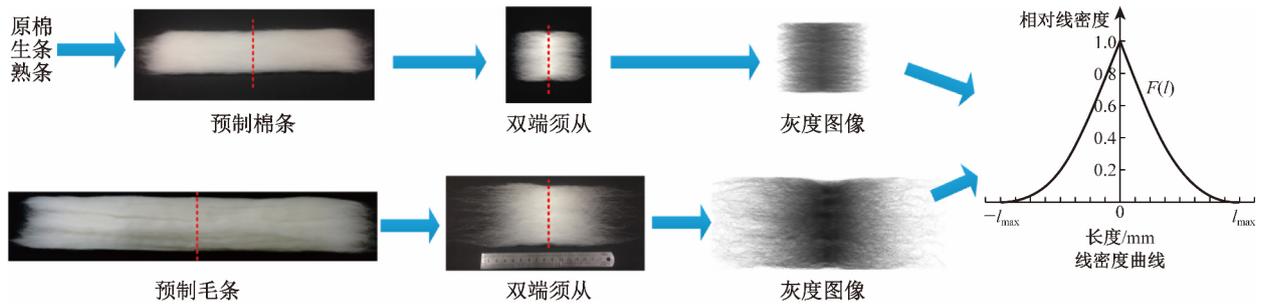


图 1 双端须丛制样与检测流程图

Fig. 1 Procedure of dual-beard sample preparation and detection

实际检测时,为降低取样误差,对每种待测样品制作两个双端须丛,分别算出相对线密度曲线,对齐  $l=0$  后求两曲线在同一横坐标处的纵坐标均值,得到最终曲线。根据现有算法,可由该曲线算出棉纤维质量加权平均长度、主体长度、品质长度和变异系数,以及毛纤维豪特长度、豪特变异系数、巴布长度和巴布变异系数<sup>[8-9]</sup>。

1.2 双端须丛的特点

就制样效率而言,由于无需对纤维排齐,双端须丛的制样速度明显快于罗拉法和梳片法,更快于手工逐根测量方法,同时纤维基本不丢失,也不易受操作者主观因素影响,因此须丛品质稳定。HVI 须丛的钳口附近纤维缠结、杂乱且难以梳理,导致检测不得不从钳口外侧 3.81 mm(0.15 inch)处开始,严重丢失短纤维信息,而双端须丛的所有部分都能被检测到,从源头上保证了长度信息的完整性。HVI 须丛与双端须丛的对比如图 2 所示。HVI 须丛与双端须丛均源自 Hertel 的随机夹取纤维理论,但 HVI 使用针排从原棉表面钩挂、抽出纤维,而双端须丛对平行伸直、随机排列的纤维条进行横截面握持,纤维被夹取的概率完全与长度相关,更符合 Hertel 的长度偏倚取样原意。

1 000 ppi,可保证 0.025 4 mm 的信号采集精度,对纤维量变化的感知能力优于毫米级的 Almeter 型电容传感器和 HVI 光电板。此外,价格昂贵的快速自动化仪器更适合大型生产企业和收储贸易等单位,对一般用户来说性价比不高,而双端须丛方法仅需由 CCD 传感器、光源和机械机构组成的成像装置即可,其成本低廉。

2 长度频率分布计算理论

假设纤维轴向线密度不变,则须丛的相对线密度曲线等于须丛在各个横截面处的相对根数曲线。根据前期理论研究,对相对根数曲线求二次微分即为待测样品的根数加权长度频率分布曲线<sup>[7]</sup>。然而,由于实际测量时数字信号存在噪声,这些噪声在微分运算中会被显著放大,严重影响测量结果。笔者课题组曾尝试多种去噪方法,但效果均不理想。

2.1 计算原理

针对双端须丛的对称性特点,笔者曾提出逐步分解模型算法用于计算待测样品的质量短绒率<sup>[10]</sup>, 计算式如式(1)所示。

$$P_w(\alpha) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} [F(\alpha) + F(-\alpha)] - 2^{m-1} \left[ F\left(\frac{2^m - 1}{2^m} \alpha\right) + F\left(-\frac{2^m - 1}{2^m} \alpha\right) \right] \quad (1)$$

式中: $\alpha$  为短纤维长度界限 (mm), 棉纤维的  $\alpha$  一般为 16 mm;  $F(\alpha)$  为横坐标  $\alpha$  对应的相对根数曲线纵坐标值;  $P_w(\alpha)$  为待测样品中长度小于等于  $\alpha$  的纤维累积质量分数;  $m$  为特征参数。

式(1)不仅能用于计算短绒率,当如表 1 所示赋予  $\alpha$  以 0 为首项、 $k$  为公差的等差数列值,则能求出

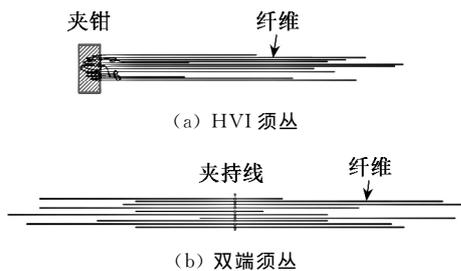


图 2 HVI 须丛与双端须丛对比图

Fig. 2 Comparison of HVI beard and dual-beard

硬件方面,双端须丛数字图像的分辨率为

待测样品中不同长度界限以下的累积质量分数。表 1 中  $P_w(k)$  代表长度小于  $k$  的纤维累积质量分数。用表 1 中的  $P_w(3k)$  减去  $P_w(2k)$  即为  $2k \sim 3k$  长度

组的纤维质量分数,同理,从  $\alpha=0$  开始依次把相邻长度的累积质量分数两两相减,最终可得以  $k$  为组距的质量加权长度频率分布直方图。

表 1 累积质量分数计算式

Table 1 Computational formula for cumulative mass percentage

长度界限	累积质量分数计算公式
0	$P_w(0) = 0$
$k$	$P_w(k) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} [F(k) + F(-k)] - 2^{m-1} \left[ F\left(\frac{2^m - 1}{2^m} k\right) + F\left(-\frac{2^m - 1}{2^m} k\right) \right]$
$2k$	$P_w(2k) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} [F(2k) + F(-2k)] - 2^{m-1} \left[ F\left(\frac{2^m - 1}{2^m} \cdot 2k\right) + F\left(-\frac{2^m - 1}{2^m} \cdot 2k\right) \right]$
$3k$	$P_w(3k) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} [F(3k) + F(-3k)] - 2^{m-1} \left[ F\left(\frac{2^m - 1}{2^m} \cdot 3k\right) + F\left(-\frac{2^m - 1}{2^m} \cdot 3k\right) \right]$
:	:

2.2 计算式的优化

2.2.1 组距  $k$

$k$  值的大小最终决定了长度分布直方图的组距,从理论上讲,组距越小,分组数越多,对纤维长度的表征就越详细,但同时也会增加指标计算时的工作量。考虑到测量棉纤维的罗拉法和 AFIS 仪输出的长度分布直方图一般以 2 mm 为组距,而测量毛纤维的梳片法、Almeter 仪和 OFDA 4000 型光学仪均采用 5 mm 为组距。为方便对比,本文也选用 2 和 5 mm 分别作为棉、毛纤维的测量组距。

2.2.2 计算式修正

由于逐步分解模型是通过迭代累积方法推导短绒率的计算式,因此导致式(1)与真值之间存在系统残差。若把  $\alpha=k$  代入式(1),实际求出的是长度小于等于  $\frac{2^m - 1}{2^m} k$  (而非  $k$ ) 的纤维的累积质量分数。当  $\alpha$  较小时,残差可以忽略不计,但当检测较长的毛纤维时, $\alpha$  值可以达到 150 mm 以上,残差非常显著。

例如:当  $m=5, \alpha=10$  时,  $\frac{2^m - 1}{2^m} \alpha = 9.6875$ ; 而当  $m=5, \alpha=150$  时,  $\frac{2^m - 1}{2^m} \alpha = 145.3125$ , 偏倚几乎达到 5 mm。因此,本文对式(1)进行修正,即当求长度小于等于  $k$  的纤维的累积质量分数时,令  $\frac{2^m - 1}{2^m} \alpha = k$ , 解得  $\alpha = \frac{2^m}{2^m - 1} k$ , 代入式(1)可得

$$P_w\left(\frac{2^m}{2^m - 1} k\right) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} \left[ F\left(\frac{2^m}{2^m - 1} k\right) + F\left(-\frac{2^m}{2^m - 1} k\right) \right] - 2^{m-1} [F(k) + F(-k)] \tag{2}$$

式(2)名义上是求长度小于等于  $\frac{2^m}{2^m - 1} k$  的纤维累积质量分数,实质求出的是小于等于  $k$  的纤维累积质量分数。所用修正式如表 2 所示。

表 2 计算式的修正

Table 2 Correction of computational formula

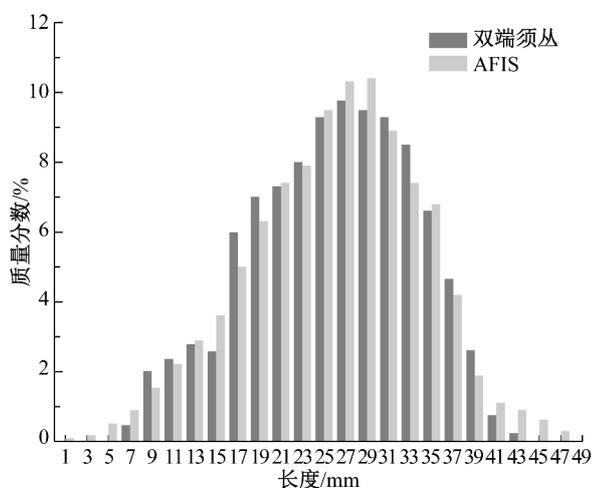
名义长度界限	修正式	实质长度界限
0	$P_w(0) = 0$	0
$\frac{2^m}{2^m - 1} k$	$P_w\left(\frac{2^m}{2^m - 1} k\right) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} \left[ F\left(\frac{2^m}{2^m - 1} k\right) + F\left(-\frac{2^m}{2^m - 1} k\right) \right] - 2^{m-1} [F(k) + F(-k)]$	$k$
$\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 2k$	$P_w\left(\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 2k\right) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} \left[ F\left(\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 2k\right) + F\left(-\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 2k\right) \right] - 2^{m-1} [F(2k) + F(-2k)]$	$2k$
$\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 3k$	$P_w\left(\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 3k\right) = F(0) + \frac{2^m - 1}{2} \left[ F\left(\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 3k\right) + F\left(-\frac{2^m}{2^m - 1} \cdot 3k\right) \right] - 2^{m-1} [F(3k) + F(-3k)]$	$3k$
:	:	:

### 2.2.3 特征参数 $m$

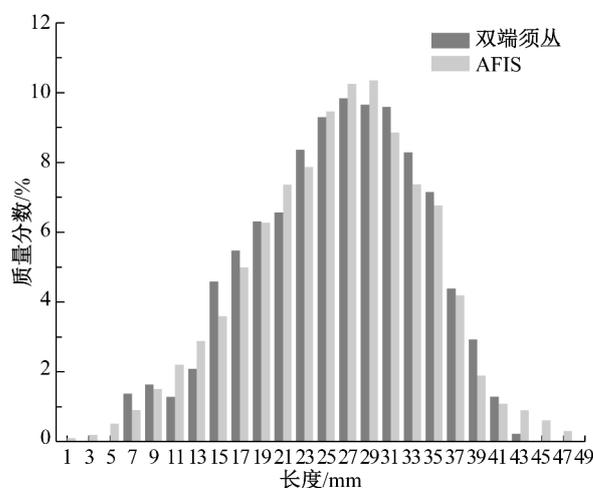
在逐步分解模型中,特征参数  $m$  是不小于 1 的整数,其值越大,理论计算值越接近实际值。然而由于实测相对根数曲线的纵坐标值存在随机误差,当  $m$  值增大时,表 2 中系数  $\frac{2^m-1}{2}$  和  $2^{m-1}$  将呈指数增长,这有可能导致随机误差被严重放大,使相邻长度组的质量分数频繁出现巨大落差,因此  $m$  值也不宜过大。为优选  $m$  值,本文选用棉、毛纤维试样各一种,先根据上文所述流程获取相对根数曲线,再将  $m=4,5,6$  依次代入表 2 中的修正式,计算长度频率直方图,并与 AFIS 和 Almeter 的基准长度频率直方图进行直观比较,如图 3 所示。尽管 AFIS 和 Almeter 方法本身存在一定误差,但正常情况下,其相对平滑的直方图轮廓比较符合天然纤维长度分布的连续性特征,长度组质量分数不会出现忽高忽低的剧烈波动,因此可以作为优选  $m$  值时的参照。

不同  $m$  值时相邻长度组质量分数的差异(差的绝对值)统计如表 3 所示,其中所用棉试样分 24 个长度组,相邻长度组质量分数两两相减得 23 个差异值。

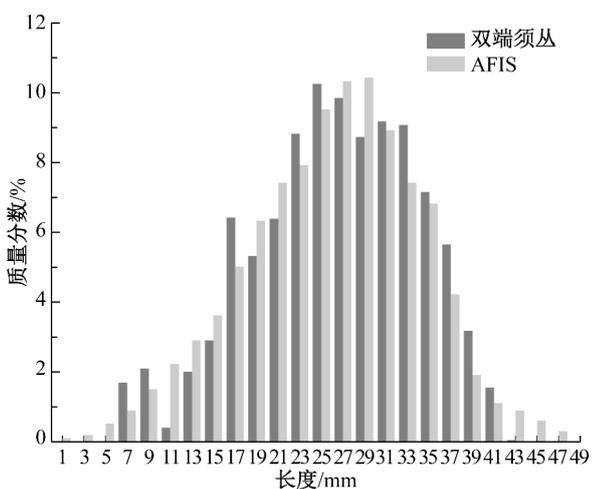
由表 3 可知:当  $m=4$  和 5 时,差异值超过 1.0% 的个数分别为 8 和 9,与 AFIS 相仿,而  $m=6$  时,差异值超过 1.0% 的个数明显增加;这个规律对于羊毛试样更加明显,当  $m=4$  和 5 时差异值超过 1.0% 的个数略多于 Almeter,但  $m=6$  时陡然增多。此外,随  $m$  值的增加,棉、毛纤维试样的差异值超过 0.5% 的个数也逐渐增多,同时,最大差异值也有变大趋势。由图 3 也可以看到, $m=4$  和 5 时,计算直方图的平滑程度与 AFIS 和 Almeter 相仿,而  $m=6$  时相邻长度组质量分数容易出现突变,与天然纤维的长度分布不符,说明误差开始变大。根据逐步分解模型原理, $m$  值需尽量大,因此本文采用  $m=5$ 。



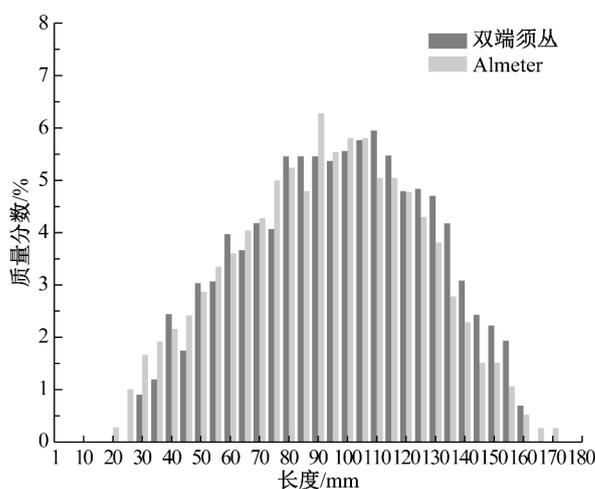
(a) 棉纤维,  $m=4$



(b) 棉纤维,  $m=5$



(c) 棉纤维,  $m=6$



(d) 毛纤维,  $m=4$

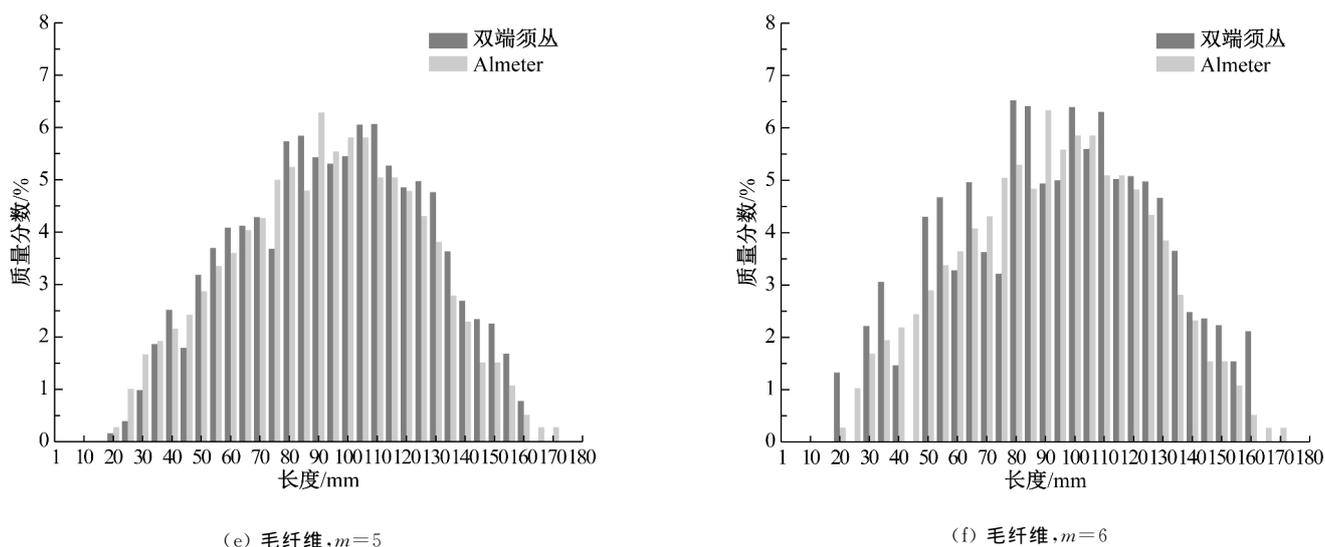


图 3 不同  $m$  值时计算得到的纤维长度频率直方图与基准直方图的对比  
 Fig. 3 Comparison of computed histograms and reference histograms under different  $m$  values

表 3 不同  $m$  值时相邻两个长度组质量分数的差异统计  
 Table 3 Statistics of differences of adjacent mass percentages under different  $m$  values

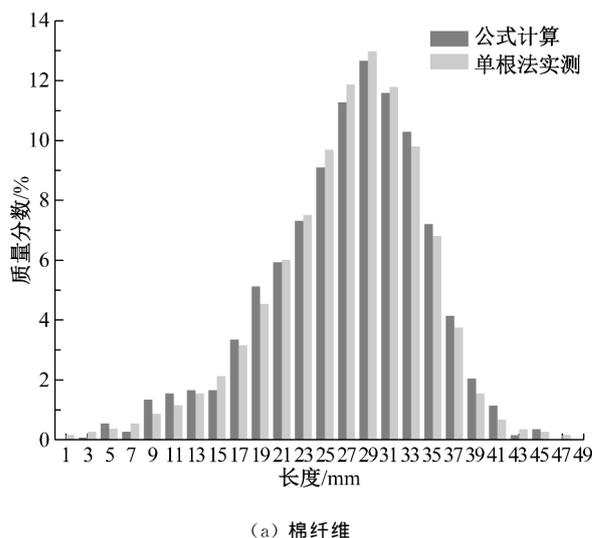
相邻两组 质量分数差异	棉纤维				毛纤维			
	$m=4$	$m=5$	$m=6$	AFIS	$m=4$	$m=5$	$m=6$	Almeter
最大值/%	3.4	2.8	3.5	2.6	1.4	2.1	4.4	1.5
大于 1.0% 的数量/个	8	9	14	8	5	3	14	2
大于 0.5% 的数量/个	10	13	15	15	12	14	20	9
总数量/个	23	23	23	23	35	35	35	35

2.3 计算式的准确性验证

图 3 中的双端须丛直方图是由图像方法测得的相对线密度(相对根数)曲线经表 2 修正式转换而成的,基本上与基准直方图的轮廓保持一致。考虑到该结果可能会受所测曲线准确性的影响,为了在消除该影响的情况下单纯地考查表 2 修正式的准确性,开展了基于单根纤维测量法的验证试验。先按照 GB/T 16257—2008《纺织纤维:短纤维长度和长度分布的测定——单纤维测量法》,手工逐根测量 1 000 根单纤维的长度,统计出根数加权长度频率分布,再通过二次积分获得理论的相对线密度曲线,最后将表 2 修正式应用于该曲线,计算出质量加权长度频率分布,并与 1 000 根单纤维长度数据统计的质量频率分布进行对比。

试验使用棉、毛纤维试样各一种,计算的质量频率分布与单根法实测数据统计分布如图 4 所示。由图 4 可知,两种途径得到的直方图高度重合,其中,棉纤维试样各长度组的质量分数两测量值之差平均

值为 0.33%,最大值为 0.60%,毛纤维试样各长度组的质量分数两测量值之差平均值为 0.22%,最大值为 0.51%。试验表明,只要有准确的须丛线密度曲线,利用本文计算方法就能得到可靠的质量加权长度频率分布。



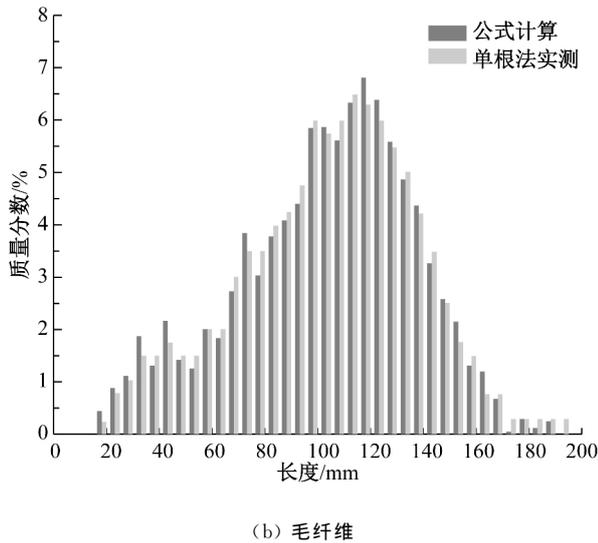


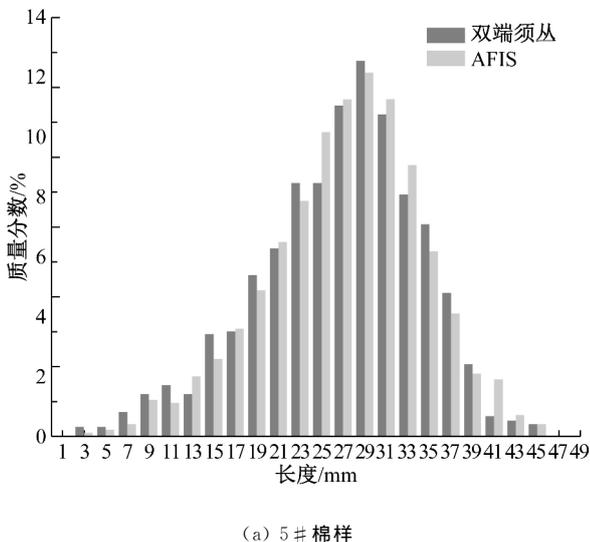
图4 基于单根测量法的纤维计算质量加权长度频率分布直方图与实测直方图对比

Fig. 4 Comparison of computed mass-weighted length frequency distribution histograms and single fiber measurement histograms

### 3 检测结果考查

#### 3.1 试验材料与方法

为全面考察本文长度频率分布计算方法的准确性,按本文方法对24种棉样和12种毛样进行长度检测,算出长度频率分布直方图,并与AFIS和Almeter测出的基准直方图进行对比。所用棉样为细绒棉和长绒棉,分别编号为1#~24#;毛样为澳洲细羊毛,分别编号为1#~12#。



由于生产中长度指标比长度分布更加常用,本文在计算长度频率分布直方图的基础上,利用式(3)算出棉样的质量加权平均长度 $L_m$ (mm)和毛样的巴布长度 $B$ (mm),利用式(4)算出棉、毛样品的质量加权长度变异系数 $C_V$ 值 $C_V$ (%),利用式(5)算出棉样16 mm以下的短绒率 $C_{sf}$ (%),并与AFIS和Almeter输出的基准长度指标进行对比讨论。

$$L_m = B = \sum_{i=1}^{i_{\max}} i p_i \quad (3)$$

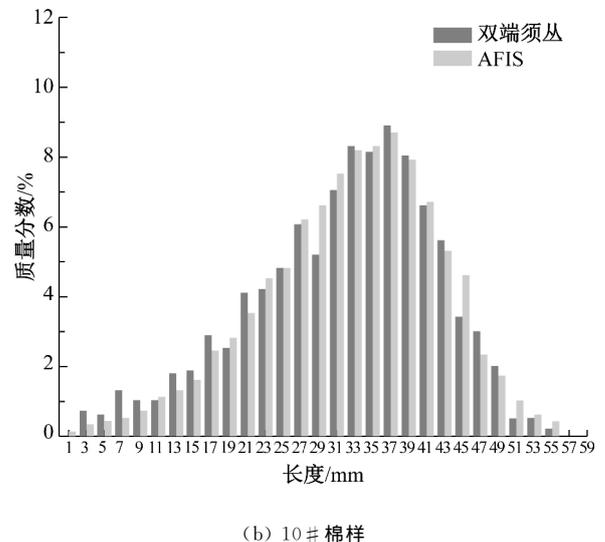
$$C_V = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{i_{\max}} (i - L_m)^2 p_i}}{L_m} \times 100\% \quad (4)$$

$$C_{sf} = \sum_{i=1}^{i=15} p_i \quad (5)$$

式中: $i$ 为组中值(mm); $i_{\max}$ 为最大组中值(mm); $p_i$ 为组中值 $i$ 对应的长度组质量分数(%)。

#### 3.2 纤维长度频率分布直方图考查

图5列出了一些具有代表性样品的纤维长度频率分布直方图,其中,5#棉样为细绒棉,10#棉样为长绒棉,1#和7#毛样分别代表较短和较长的样品。对所有样品计算长度频率分布直方图与基准直方图的差异进行统计可知:棉样的长度组质量分数平均偏倚在0.3%~0.6%之间,最大偏倚为0.6%~1.5%;毛样的平均偏倚在0.4%~0.7%之间,最大偏倚略大,为1.1%~2.0%。



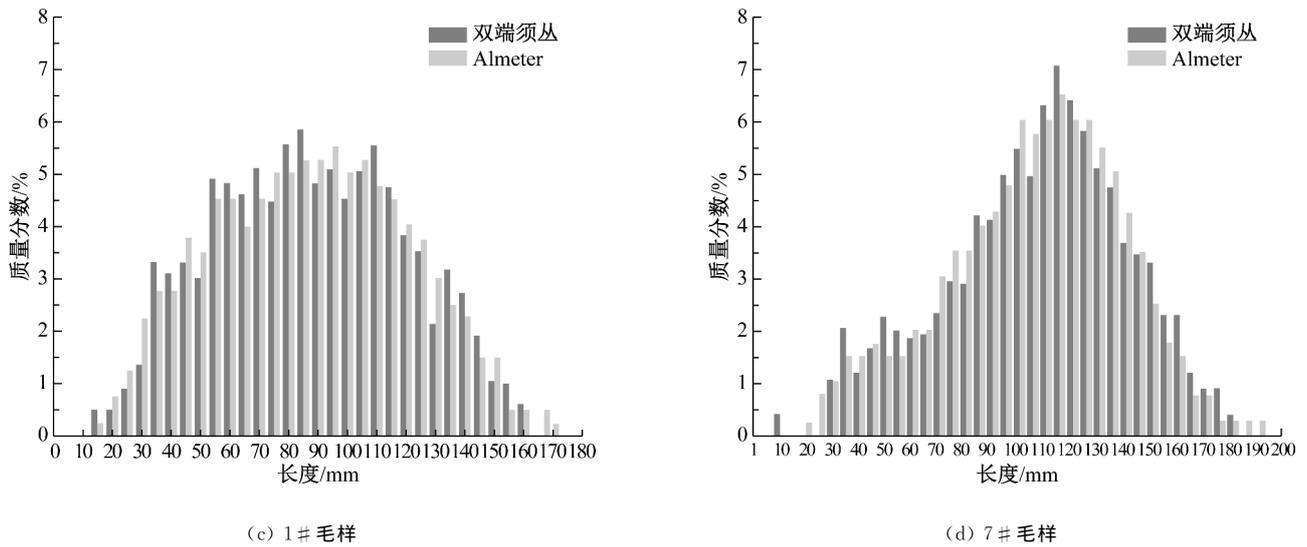


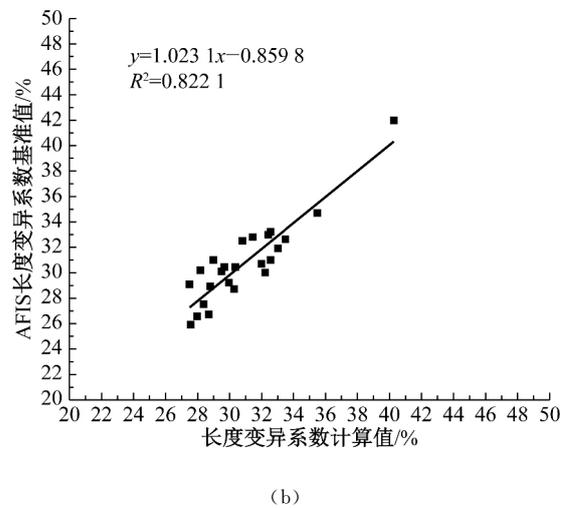
图 5 具有代表性样品的纤维长度频率分布直方图

Fig. 5 Fiber length frequency distribution histograms of some representative samples

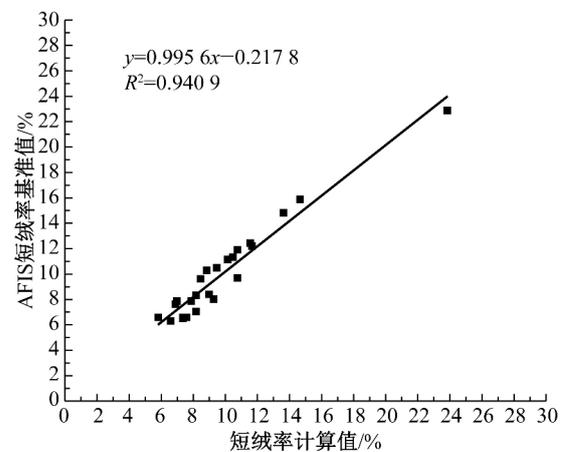
### 3.3 纤维长度指标考查

#### 3.3.1 正确性

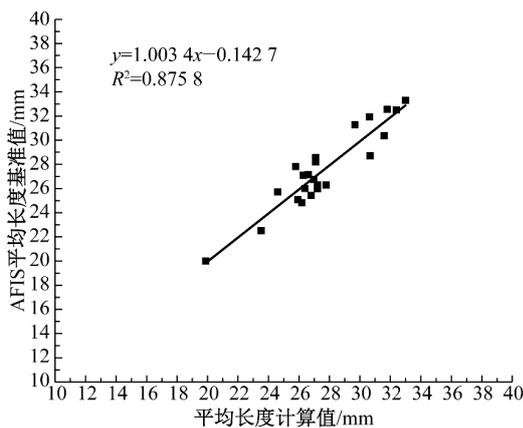
在上述 24 种棉样的计算长度频率分布直方图基础上,利用式(3)~(5)算出质量加权平均长度、长度变异系数和短绒率,与 AFIS 基准值进行对比,如图 6 所示。这 3 个指标的线性拟合方程斜率基本为 1,平均长度和短绒率拟合方程的截距很小,但长度变异系数的截距略大,其确定系数  $R^2$  也小于其他两个指标,这可能与试验所用样品的变异系数水平比较集中有关。整体上而言,这 3 个指标的计算值与 AFIS 基准值表现出较高的一致性。为考查它们的差异是否显著,采用  $T$  检验法:取显著性水平为 0.05,查  $t$  分布表得  $t_{1-0.05/2}(24-1)=2.0687$ ,计算质量加权平均长度、长度变异系数、短绒率的  $T$  检验统计量分别为 0.215 2、0.515 6 和 0.923 4,均小于 2.068 7,说明在 95%置信度下 3 个指标计算值与 AFIS 基准值的差异不显著,从长度指标角度验证了本文长度分布计算方法的正确性。



(b)



(c)



(a)

图 6 棉样长度指标计算值与 AFIS 检测值的关系  
Fig. 6 Relationships between computed and AFIS reference values of cotton length parameters

同理,根据 12 种毛样的计算长度频率分布直方图计算巴布长度(本质上是质量加权平均长度)和长度变异系数,并与 Almeter 基准值进行对比,结果如表 4 所示。由表 4 可知,巴布长度和长度变异系数计算值与 Almeter 基准值之差无明显的正负偏向。采用

$T$  检验法考查差异的显著性,当显著性水平为 0.05,查  $t$  分布表得  $t_{1-0.05/2}(12-1)=2.2010$ ,巴布长度和长度变异系数的  $T$  检验统计量分别为 0.4793、0.3349,均小于 2.2010,表明计算的毛样巴布长度和变异系数在 95%置信度下与 Almeter 基准值保持一致。

表 4 毛样长度指标计算值与 Almeter 检测值比较

Table 4 Comparison of computed and Almeter reference values of wool length parameters

指标		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#
巴布长度/mm	计算值	84.8	83.5	91.7	86.2	87.9	89.9	104.6	92.9	107.2	94.8	98.3	88.5
	Almeter 基准值	84.9	81.7	92.6	88	90.5	93.2	103.0	95.5	108.5	91.5	96.8	87.6
	差值	-0.1	1.8	-0.9	-1.8	-2.6	-3.3	1.6	-2.6	-1.3	3.3	1.5	0.9
长度变异系数/%	计算值	41.3	34.3	32.1	34.5	36.4	36.3	35.3	34.5	40.2	33.2	38.5	35.2
	Almeter 基准值	39.4	37.0	34.8	36.0	34.1	35.5	33.5	36.0	35.4	35.8	36.9	34.5
	差值	1.9	-2.7	-2.8	-1.5	2.3	0.8	1.8	-1.5	4.8	-2.6	1.6	0.7

### 3.3.2 重复性

选用 8# 棉样和 8# 毛样,采取双端须丛方法连续重复检测 10 次,以本文方法算出长度指标值,结果如表 5 所示。由表 5 可以看出,同一试样的多次检测结果变化不大,长度指标计算值的标准差和变

异系数均处于较低水平,表明检测和计算的稳定性较好,但棉短绒率的变异系数略大,该现象也存在于 AFIS 检测值中,这与短纤维在棉样中天然分布不均匀有一定关系。

表 5 同一试样的重复检测结果

Table 5 Multiple test results of the same sample

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	标准差	变异系数/%	
棉	质量加权平均长度/mm	27.8	26.9	27.1	26.8	27.5	27.2	27.2	26.7	26.8	27.3	0.35	1.23
	长度变异系数/%	30.2	29.8	28.1	30.2	29.7	30.2	28.7	28.1	29.3	30.1	0.85	2.89
	短绒率/%	7.8	8.7	8.3	8.5	7.6	8.4	7.9	9.0	9.2	8.9	0.54	6.38
毛	巴布长度/mm	93.1	94.0	95.1	94.1	92.6	92.4	91.5	92.0	94.1	93.6	1.14	1.22
	长度变异系数/%	33.8	32.5	33.6	35.3	34.0	32.6	35.7	34.5	35.0	35.1	1.11	3.25

## 4 结 语

本文针对双端须丛法纤维长度检测方法的输出指标较少的问题提出了新算法,可把双端须丛法的相对线密度曲线转换成质量加权长度频率直方图,用于计算任意长度指标。本文从理论角度对算法公式进行了优选和修正,并通过实际试验证明了该算法得到的长度频率分布直方图和长度指标与 AFIS、Almeter 等基准方法的结果之间存在一致性。该新算法避开了容易放大误差的微分运算,使双端须丛方法具有快速、廉价且检测结果全面、准确的特点。

## 参 考 文 献

- [1] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 64-68.
- [2] 中国纤维检验局. 纤维长度及其分布参数的测定方法: 阿尔米特法: GB/T 21293—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] American Society for Testing and Materials. Standard test methods for measurement of physical properties of cotton fibers by High Volume Instruments; ASTM D5867 -05 [S]. West Conshohocken, PA, US: ASTM International, 2005.
- [4] KRIFA M. Fiber length distribution variability in cotton bale classification: Interactions among length, maturity and fineness [J]. Textile Research Journal, 2012, 82(12): 1244-1254.

(下转第 237 页)

透湿量差异比透湿杯要小,甚至不明显。这是因为微气候仪从模拟皮肤的出汗到微气候空间再穿过面料到环境空气,出汗本身受模拟皮肤性能、水温和压力共同影响较大,而试样本身对其影响相对变小。但从微气候室的积水量来看,Gore-Tex 试样的积水量要大于普通面料,说明其透湿性能低于普通棉织物。

(5) 从透气数据看,Gore-Tex 织物相对普通织物属于“基本不透气”,主要是 Gore-Tex 织物的 PTFE 微孔膜对高气压差的气流阻挡明显,而在蒸汽浓度的分压差下(总气压差不变)其透湿能力却接近普通织物。因此,将 Gore-Tex 织物称之为防风透湿面料是准确的。

## 5 结 语

本文使用 YG 601 型织物透湿仪和被动式微气候仪在 7 种试验条件下对 3 种 6 块 Gore-Tex 复合织物及 2 块棉织物进行了透湿能力的测量。试验发现,Gore-Tex 织物总体表现出很高的透湿能力,其平均透湿能力接近但小于普通棉织物,但透气能力远小于普通棉织物。这说明虽然三层或两层 Gore-Tex 织物外层面料的织物结构、厚度、外观形态以及有无内经编保护层上有较大的差异,但是在特定试验条件下,其透湿量相差不大且具有强大的防风穿透能力。Gore-Tex 复合织物的防风透湿性能主要取决于其自身 PTFE 膜,因此将其称之为防风透湿面料是准确的。

## 参 考 文 献

[1] 谌玉红. 人体-服装-环境系统热湿传递特性及测试与评价方法

(上接第 204 页)

- [5] THIBODEAUX D, SENTER H, KNOWLTON J L, et al. A comparison of methods for measuring the short fiber content of cotton[J]. *Journal of Cotton Science*, 2008, 12: 298-305.
- [6] 王府梅, 吴红艳. 一种纤维长度快速低成本测量方法: ZL 2012 1 0106711. 8[P]. 2012-08-22.
- [7] 吴红艳. 一种纤维长度快速低成本测量方法[D]. 上海: 东华大学纺织学院, 2013: 19-27.
- [8] WU M Q, WANG F M. Optical algorithm for calculating the quantity distribution of fiber assembly[J]. *Applied Optics*, 2016, 55(25): 7157-7162.

研究[D]. 中国人民解放军军事医学科学院, 2006.

- [2] SONG G. Improving comfort in clothing [M]. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [3] 高诚贤. 功能性防水透湿涂层织物性能及其影响因素[J]. *印染*, 2005, 31(12): 46-49.
- [4] SHABARIDHARAN, DAS A. Study on heat and moisture vapour transmission characteristics through multilayered fabric ensembles[J]. *Fibers and Polymers*, 2012, 13(4): 522-528.
- [5] 王爱兵, 朱小云. 膨体聚四氟乙烯微孔层压织物及其用途[J]. *纺织科技进展*, 2009(2): 15-16.
- [6] 陈丽华. 防水透湿织物服用性能的影响因素分析[J]. *棉纺织技术*, 2014, 42(10): 27-32.
- [7] 高党鸽, 张文博, 马建中. 防水透湿织物的研究进展[J]. *印染*, 2011, 37(21): 45-50.
- [8] 王康建, 刘才容, 孙近. 防水透湿织物及其检测[J]. *中国纤检*, 2014(16): 74-78.
- [9] 张建春, 黄机质, 郝新敏. 织物防水透湿原理与层压织物生产技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2003.
- [10] KANETSUNA H, TAKENAKA T. A moisture permeability through a fabric under temperature gradient conditions [J]. *Fiber*, 2000, 56(11): 544-549.
- [11] 陈益松, 徐军, 郭媛媛, 等. 被动式微气候仪的研制及织物透湿性能的测量[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2015, 41(3): 309-312.
- [12] 陈益松, 徐军, 范金土. 暖体假人的出汗模拟方式与测量算法[J]. *纺织学报*, 2008, 29(8): 130-134.
- [13] 陈益松, 夏明, 李玲. 模拟皮肤“出汗”性能的测量[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2014, 40(1): 54-57.

(责任编辑: 徐惠华)

(责任编辑: 杨 静)