

DOI: 10.13475/j.fzxb.20171008705

显微投影法测定棉/苧麻混纺比的不确定度评定

巫莹柱, 梁家豪, 范菲, 李孔兰, 杜婷, 单颖法

(五邑大学 纺织材料与工程学院, 广东 江门 529020)

摘要 为评定依据 FZ/T 30003—2009《麻棉混纺产品定量分析方法 显微投影法》测定棉/苧麻混纺比的准确性, 分析了测试中不确定度的来源, 分别对棉/苧麻纤维平均直径、根数、切取长度、密度 4 个主要不确定度分量进行计算。同时, 探讨了标准中约除的棉、麻纤维切取长度对混合纤维含量测试精度的影响, 发现忽略长度差异会造成 0.8% 的检测误差。结果表明: 参照 FZ/T 30003—2009 测定棉/苧麻混纺比时, 由平均直径引入的不确定度最大, 密度引入的最小; 为提高检测效率, 在标准允许的误差范围内, 可忽略棉、麻纤维切取长度的差异。

关键词 棉; 苧麻; 混纺比; 显微投影法; 测量不确定度

中图分类号: TS 101.92 文献标志码: A

Evaluation on uncertainty of cotton/ramie blending ratio by micro-projection

WU Yingzhu, LIANG Jiahao, FAN Fei, LI Konglan, DU Ting, SHAN Yingfa

(School of Textile Materials and Engineering, Wuyi University, Jiangmen, Guangdong 529020, China)

Abstract In order to evaluate accuracy in measuring the blending ratio of cotton/ramie according to FZ/T 30003—2009《Quantitative Analysis on Cotton/Ramie Blended Textiles by Micro-projection Method》, the source of the uncertainty was discussed. Four main uncertainties including fiber length, diameter, fiber number and densities were calculated. Meanwhile, the influence of cutting length of cotton and ramie fibers on measurement accuracy of fibers content was discussed. It is found that the neglecting on difference of fibers length results in 0.8% detection error. The results show that the uncertainty introduced by equivalent diameter is the largest while by density is the smallest when measuring the blending ratio of cotton and ramie by FZ/T 30003—2009. In order to improve measurement efficiency, the difference in fibers cutting length could be neglected within the allowed error range.

Keywords cotton; ramie; blended ratio; micro-projection; measurement of uncertainty

目前, 同类纤维如棉与麻、羊绒与羊毛等天然纤维混纺产品^[1-3], 聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸-1,3-丙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚对苯二甲酸乙二酯等聚酯类纤维^[4-6], 天丝、莫代尔、粘胶、竹浆纤维等再生纤维素类纤维^[7], 聚酰胺 6、聚酰胺 66、聚酰胺 11、聚酰胺 18 等聚酰胺类^[8]纤维, 其混纺比的快速测定是检测行业的难题。从理论和实践结果看, FZ/T 30003—2009《麻棉混纺产品定量分析方法 显微投影法》和 AATCC 20 A—2014《纤

维分析: 定量法》的显微投影法是更有效的检测方法。该方法是从混合纤维纵向形貌入手, 测定各纤维的平均直径, 统计各纤维根数, 约除认定相等的切取长度, 再根据各种纤维的密度, 计算出各种纤维的质量分数。刘桂凤^[9]对棉麻纤维平均直径所引入的不确定度进行了分析, 但是忽略了其他因素引起的不确定度对整体测试精度的影响。

本文根据 FZ/T 30003—2009, 对棉/苧麻混纺织物进行处理, 制成待测试样, 分别测试了混合纤维

收稿日期: 2017-10-24 修回日期: 2018-01-25

基金项目: 广东省教育厅特色创新项目(2016GXJK162, 2017KTSCX182); 广东省自然科学基金博士启动项目(2014A030310110); 江门市科技攻关项目(江科(2016)189号); 广东检验检疫局科技计划项目(2018GDK18)

第一作者简介: 巫莹柱(1980—), 男, 讲师, 博士。研究方向为智能纺织品及其检测与标准化。E-mail: wuyingzhu111@163.com。

的切取长度、平均直径、根数、密度指标并计算出 4 个主要不确定度分量,然后根据棉、麻质量分数计算公式,合成各分量得到总合成不确定度,再计算总扩展不确定度,以不确定度大小衡量测试方法的可靠性和准确性;最后对棉/苕麻纤维的切取长度差异进行显著性检验和影响分析。

1 测试实验

1.1 试样与主要检测仪器

棉/苕麻混纺织物(由广东出入境检验检疫技术中心提供,棉含量为 52.5% 和麻含量为 47.5%),将混纺织物拆成纱线,参照 FZ/T 30003—2009 规定,制成各项测试所需的试样待用。

OLYMPUS CX31 显微镜(南京贝登电子商务有限公司);哈氏切片器(南通宏大实验仪器有限公司);CU-6 型纤维细度分析仪(北京泰克汇光科技有限公司);101A-2 型电热鼓风烘箱(宁波纺织仪器厂)。

1.2 平均长度检测

用哈氏切片器(精密螺丝旋转 10 格或 6 格)切取一定长度的棉/苕麻混合纤维 1 000 根以上,放到烘箱里烘干,制成载玻片,在显微投影仪下测其长度。

1.3 直径与根数测定

切取 2 组一定量的棉/苕麻混纺纤维,用盖玻片和液体石蜡固定住,放到 CU-6 型纤维细度分析仪载物台上,以纤维长度中部的投影宽度作为平均直径,且每种类型的纤维要测量 200 根以上,测量后计算每种纤维的平均直径与根数^[10]。

1.4 密度测定

参考文献 [11] 的测试方法,采用比重瓶法对棉、苕麻纤维进行密度测试,将纤维浸泡在纯净水中,测量纤维所排出的液体体积,再根据水的相对密度、纤维干态质量等参数计算得到纤维的密度,每种纤维测试 5 次取平均值。

2 不确定度评定

2.1 混合纤维含量计算方法

由于直接测定各混合纤维的横截面面积很困难,不能满足目前快速检验的需求,为提高检验效率,依据 FZ/T 30003—2009,采用测定纤维宽度作为纤维横截面的平均直径,棉、苕麻纤维含量的计算公式为:

$$X_1 = \frac{n_1 D_1^2 \rho_1}{n_1 D_1^2 \rho_1 + n_2 D_2^2 \rho_2} \times 100\% \quad (1)$$

$$X_2 = 100\% - X_1 \quad (2)$$

式中: X_1 为棉纤维的含量,%; X_2 为苕麻纤维的含量,%; n_1 为棉纤维折算根数; n_2 为苕麻纤维折算根数; D_1 为棉纤维的平均直径, μm ; D_2 为苕麻纤维的平均直径, μm ; ρ_1 为棉纤维的密度, g/cm^3 ; ρ_2 为苕麻纤维的密度, g/cm^3 。

在 FZ/T 30003—2009 中,默认所切取棉、麻纤维长度相同,忽略切取长度对不确定度评定的影响,但在实际检测中,要使棉、麻纤维切取长度完全相同是很困难的。为考察切取长度差异造成的影响,本文将切取长度变量重新引入公式计算,则式(1)、(2)变为:

$$X_1 = \frac{n_1 L_1 D_1^2 \rho_1}{L_1 n_1 D_1^2 \rho_1 + L_2 n_2 D_2^2 \rho_2} \times 100\% \quad (3)$$

$$X_2 = 100\% - X_1 \quad (4)$$

式中: L_1 为棉纤维的切取长度, mm ; L_2 为苕麻纤维的切取长度, mm 。

2.2 不确定度来源分析

本文实验中不确定度来源是式(3)中所涉及 4 个变量所引入的不确定度,可分为 A、B 2 类。A 类不确定度是指在检测过程中随机引起的统计不确定度; B 类不确定度是指由仪器、方法等非统计系统所引起的不确定度。本文实验的不确定来源如图 1 所示。

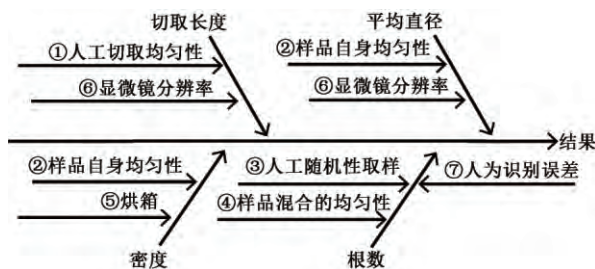


图 1 不确定度来源

Fig. 1 Uncertainty sources

2.3 标准不确定度的 A 类评定

采用贝塞尔公式计算 A 类不确定度:

$$S(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$u(X_i) = \frac{S(\bar{X}_i)}{\sqrt{n}}$$

式中: $S(X_i)$ 为标准偏差; X_i 为 4 个变量中某变量各次测量值; \bar{X} 为某变量所测值平均值; $u(X_i)$ 为标准不确定度。

由上述测试实验和计算可得棉、苕麻各项指标

的 A 类不确定度分量评定结果, 见表 1。

表 1 棉/苧麻纤维 A 类不确定度

类别	纤维种类	切取长度/ mm	平均直径/ μm	根数	密度/ (g·cm ⁻³)
实测值	棉	0.204 0	14.80	703	1.550
	苧麻	0.198 0	21.60	297	1.540
标准偏差	棉	0.019 2	4.61	5.7	0.013
	苧麻	0.017 7	7.51	5.7	0.012
标准不确定度	棉	0.001 9	0.27	4.0	0.005
	苧麻	0.001 8	0.44	4.0	0.005

注: 棉和苧麻的密度平均值采用文献[11]的测试值。

因最终扩展不确定度值要修约到与棉麻含量的小数位对齐, 且不同分量的有效数字位数也难以统一, 否则过多的有效数字不符合实际测量, 故在计算中, 各变量分量的标准偏差及标准不确定度小数位取比该分量平均值多 1 位即可。

2.4 标准不确定度的 B 类评定

将待测纤维在干燥箱中烘干时间长, 载玻片制片的时间短且制片后立即使用显微镜观测, 纤维在空气中吸水导致的直径膨胀的影响忽略不计。

切取长度与平均直径需使用显微镜观测, 产生 B 类不确定度, 根数与密度的测定不需要显微镜观察, 故不会产生 B 类不确定度。显微测微尺的最小分度值为 0.01 mm, 所以由测量导致的切取长度的 B 类不确定度为

$$u_B(L_i) = \frac{0.01 \text{ mm}/2}{\sqrt{3}} = 0.000 289 \text{ mm}$$

本文实验使用的 CU-6 型纤维细分析仪的分辨率为 0.01 μm, 所以由测量导致的平均直径 B 类不确定度为

$$u_B(D_i) = \frac{0.01 \text{ μm}/2}{\sqrt{3}} = 0.000 289 \text{ μm}$$

2.5 各不确定度分量的计算及合成

合成标准不确定度指的是当测量结果是由若干个其他量的值求得时, 按其他各量的方差或(和)协方差算得的标准不确定度, 当输入变量相互独立时, 其公式为

$$U_C(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(X_i)}$$

式中: f 为被测量 y 与直接测得量 X_i 的函数关系。 $u(X_i)$ 为 A 类或者 B 类评定的标准不确定度。

根据式(3)推导出各不确定度分量的计算公式(A 类与 B 类相互独立, A 类结果在表 1 中列出; B 类在 2.4 节中已计算)。

1) 切取长度标准不确定度

$$u(L_1) = \sqrt{\mu_A^2(L_1) + \mu_B^2(L_1)} = 0.001 9 \text{ mm}$$

$$u(L_2) = \sqrt{\mu_A^2(L_2) + \mu_B^2(L_2)} = 0.001 8 \text{ mm}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial L_1}\right| = \left|\frac{n_1 D_1^2 \rho_1 n_2 D_2^2 L_2 \rho_2}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 1.220 \text{ mm}^{-1}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial L_2}\right| = \left|-\frac{n_2 D_2^2 \rho_2 n_1 D_1^2 L_1 \rho_1}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 1.257 \text{ mm}^{-1}$$

$$U_{L_1}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial L_1}\right| u(L_1) \times 100\% = 0.232\%$$

$$U_{L_2}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial L_2}\right| u(L_2) \times 100\% = 0.226\%$$

$$U_L(X_1) = \sqrt{U_{L_1}(X_1)^2 + U_{L_2}(X_1)^2} = 0.33\%$$

2) 平均直径标准不确定度

$$u(D_1) = \sqrt{u_A^2(D_1) + u_B^2(D_1)} = 0.27 \text{ μm}$$

$$u(D_2) = \sqrt{u_A^2(D_2) + u_B^2(D_2)} = 0.44 \text{ μm}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial D_1}\right| = \left|\frac{2L_1 n_1 D_1 \rho_1 n_2 D_2^2 L_2 \rho_2}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 0.033 8 \text{ μm}^{-1}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial D_2}\right| = \left|-\frac{2n_2 D_2 L_2 \rho_2 n_1 D_1^2 L_1 \rho_1}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 0.023 0 \text{ μm}^{-1}$$

$$U_{D_1}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial D_1}\right| u(D_1) \times 100\% = 0.913\%$$

$$U_{D_2}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial D_2}\right| u(D_2) \times 100\% = 1.012\%$$

$$U_D(X_1) = \sqrt{U_{D_1}(X_1)^2 + U_{D_2}(X_1)^2} = 1.37\%$$

3) 根数标准不确定度

$$u(n_1) = u(n_2) = 4.0 \text{ 根}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial n_1}\right| = \left|\frac{L_1 D_1^2 \rho_1 n_2 D_2^2 L_2 \rho_2}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 0.000 355 \text{ 根}^{-1}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial n_2}\right| = \left|-\frac{L_2 D_2^2 \rho_2 n_1 D_1^2 L_1 \rho_1}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 0.000 838 \text{ 根}^{-1}$$

$$U_{n_1}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial n_1}\right| u(n_1) \times 100\% = 0.142\%$$

$$U_{n_2}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial n_2}\right| u(n_2) \times 100\% = 0.335\%$$

$$U_n(X_1) = \sqrt{U_{n_1}(X_1)^2 + U_{n_2}(X_1)^2} = 0.37\%$$

4) 密度标准不确定度

$$u(\rho_1) = u(\rho_2) = 0.005 \text{ g/cm}^3$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial \rho_1}\right| = \left|\frac{n_1 L_1 D_1^2 n_2 D_2^2 L_2 \rho_2}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 0.161 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$\left|\frac{\partial f}{\partial \rho_2}\right| = \left|-\frac{L_2 D_2^2 n_2 n_1 D_1^2 L_1 \rho_1}{(n_1 D_1^2 L_1 \rho_1 + n_2 D_2^2 L_2 \rho_2)^2}\right| = 0.162 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$U_{\rho_1}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial \rho_1}\right| u(\rho_1) \times 100\% = 0.080 5\%$$

$$U_{\rho_2}(X_1) = \left|\frac{\partial f}{\partial \rho_2}\right| u(\rho_2) \times 100\% = 0.081 0\%$$

$$U_\rho(X_1) = \sqrt{U_{\rho_1}(X_1)^2 + U_{\rho_2}(X_1)^2} = 0.12\%$$

5) 棉/苧麻纤维混纺比测定的合成不确定度

4 个主要不确定度大小顺序是: 平均直径(1. 37%)、根数(0. 37%)、切取长度(0. 33%)、密度(0. 12%)。

棉/苧麻纤维的合成不确定度为

$$u_c = \sqrt{U_L^2(X_1) + U_D^2(X_1) + U_n^2(X_1) + U_\rho^2(X_1)} = 1.5\%$$

由于平均直径为最主要影响因素, 测量次数为 200, 在置信水平为 95% 下 k 选为 2, 故扩展不确定度为

$$U_{95} = k_{95}u_c = 2 \times 1.5\% = 3.0\%$$

2.6 切取长度差异的显著性检验及影响

在 FZ/T 30003—2009 标准中和许多相关研究中都认定, 棉、麻纤维切取长度相等并作约除处理, 但均未对 2 种纤维切取长度差异的显著性提供可靠证据。本文实验采用标准使用的哈氏切片器, 旋转精密螺旋器 6、10 格, 分别切取 2 种长度棉/苧麻混合纤维束, 统计 100 根切取纤维的长度, 并使用 SPSS 数据分析软件的“独立样本 T 检验”进行显著性检验, 结果如表 2 所示。

表 2 棉与苧麻纤维切取长度差异的显著性检验结果

Tab.2 Significance test for cutting length between cotton and ramie fibers

格数	假设方差情况	F	Sig.	t	自由度	Sig. (双侧)
6	假设方差相等	0.15	0.69	-4.21	198.00	0
	假设方差不相等			-4.21	196.91	0
10	假设方差相等	0.48	0.49	-2.32	198.00	0.021
	假设方差不相等			-2.32	196.91	0.021

由于 F 检验得出 Sig. > 0.05, 即认为假设方差相等。当假设方差相等时, 6 格和 10 格长度的 Sig. (双侧) 值均小于显著性水平 0.05, 说明棉、麻的切取长度存在显著性差异。再者实测 6 格的棉和苧麻纤维平均长度分别为 0.123 7、0.115 8 mm; 10 格的棉纤维和苧麻纤维平均长度分别为 0.203 9、0.197 8 mm, 与 6 格的理论切取长度 0.120 0 mm 和 10 格的理论切取长度 0.200 0 mm 接近。

棉纤维的长度比苧麻纤维大(见图 2), 其原因: 1) 从初始模量方面考虑, 苧麻纤维初始模量大(170 ~ 210 cN/dtex)^[12], 所以其在螺旋器作用下不容易变形, 刚性较好; 棉纤维初始模量小(60 ~ 82 cN/dtex)^[12], 比较柔软, 且有天然转曲, 处于弯曲状态, 在螺旋器的作用下更加容易变形, 切取纤维后棉纤维还是处于弯曲状态, 其长度比初始模量大且刚性较大的苧麻纤维长。2) 从弹性回复上看, 棉纤维刚性较小, 受到螺旋器挤压后回复率大; 而刚性较大的苧麻受到螺旋器挤压后回复率小, 也导致棉

纤维的长度比苧麻长。

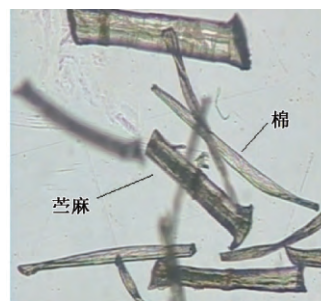


图 2 棉/苧麻混合纤维的显微图

Fig.2 Micrographs of cotton/ramie fibers

考虑棉、苧麻纤维切取长度差异, 依据式(3)、(4) 计算得到的棉、苧麻纤维含量分别为 53.3%、46.7%, 纤维切取长度对整体棉/苧麻混纺比造成的合成不确定度为 0.33%, 扩展不确定度为 0.66%, 说明其对棉、麻纤维的含量影响在 ±0.66% 范围内; 忽略切取长度差异, 根据式(1)、(2) 得到的棉、苧麻纤维含量分别为 52.5% 和 47.5%, 误差为 0.8%, 超过 0.66% 的扩展不确定度, 说明忽略切取长度差异会造成较大的检测误差。

3 结 论

依据 FZ/T 30003—2009 《麻棉混纺产品定量分析方法 显微投影法》测定棉/苧麻织物混纺比的主要不确定度来源是 2 种纤维的平均直径、根数、切取长度、密度, 由平均直径引入的不确定度最大, 密度引入的最小。在考虑切取长度差异情况下, 棉、苧麻的含量分别为 53.3%、46.7%, 扩展不确定度为 3.0%。纤维切取长度对棉/苧麻纤维的含量影响为 ±0.66%。若忽略切取长度差异, 将导致 0.8% 的检测误差。由于测定棉麻纤维切取长度的时间很长, 因此, 为了降低检测工作强度和检测效率, 在标准允许的误差范围内, 可忽略棉与苧麻纤维切取长度的差异, 并进行约除计算。 FZXB

参考文献:

[1] 刘笑莹, 方斌, 朱守艾, 等. 棉/大麻纤维混纺低损耗工艺优化[J]. 纺织学报, 2017, 38(1): 35 - 39.
LIU Xiaoying, FANG Bin, ZHU Shouai, et al. Low-loss optimization of cotton/hemp blending process [J]. Journal of Textile Research 2017, 38(1): 35 - 39.

[2] 应乐斌, 戴连奎, 吴俭俭, 等. 基于纤维纵向显微图像的棉/亚麻单纤维识别[J]. 纺织学报, 2012, 33(4): 12 - 17.
YING Lebin, DAI Liankui, WU Jianjian, et al. Single fiber identification of cotton/flax fabric based on

- longitudinal view of microscopic fiber images [J]. Journal of Textile Research 2012 33(4): 12-17.
- [3] 朱俊平, 路凯, 柴新玉, 等. 羊绒与羊毛直径的水平集中轴线法测量[J]. 纺织学报, 2017, 38(9): 14-18. ZHU Junping, LU Kai, CHAI Xinyu, et al. Level set of central axis method of cashmere and wool diameter [J]. Journal of Textile Research 2017 38(9): 14-18.
- [4] 倪永, 刘志红, 胡腾蛟. PET、PTT 与 PBT 材料的定性定量鉴别方法[J]. 纺织学报, 2012, 33(10): 28-32. NI Yong, LIU Zhihong, HU Tengjiao. Qualitative and quantitative analysis of PET, PTT and PBT materials [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(10): 28-32.
- [5] 巫莹柱, 张晓利, 黄美林, 等. 熔融显微投影法定量分析 PTT 和 PBT 混纺比的研究[J]. 棉纺织技术, 2016 44(10): 34-37. WU Yingzhu, ZHANG Xiaoli, HUANG Meilin, et al. Study on and analyzing blending ratio of PTT and PBT by melted micro projection method [J]. Cotton Textile Technology 2016 44(10): 34-37.
- [6] 张晓利, 巫莹柱, 黄美林, 等. PET 和 PBT 混纺比定量分析的研究[J]. 上海纺织科技, 2016 44(8): 46-48. ZHANG Xiaoli, WU Yingzhu, HUANG Meilin, et al. Quantitative analysis of blending ratio of PET and PBT blends [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2016 44(8): 46-48.
- [7] 梁小焰, 曹楚凤. 莱赛尔纤维和莫代尔纤维混纺产品的定量分析方法探究[J]. 中国纤检, 2014(8): 79-81. LIANG Xiaoyan, CAO Chufeng. Exploration on quantitative analysis of Lyocell and Modal blended fabrics [J]. China Fiber Inspection 2014(8): 79-81.
- [8] 金旭东, 杨云峰, 胡国胜, 等. PA6/PA66 /PA11 共聚物的等温结晶行为[J]. 高分子材料科学与工程, 2009 25(12): 111-114. JIN Xudong, YANG Yunfeng, HU Guosheng, et al. The isothermal crystallization behavior of PA6/ PA66/ PA11 co-polymer [J]. Polymer Materials Science and Engineering 2009 25(12): 111-114.
- [9] 刘桂凤. 显微投影法测定麻棉纤维含量不确定度评估[J]. 纺织标准与质量, 2011(5): 45-47. LIU Guifeng. Evaluation uncertainty of cotton/hemp blending ratio determined by micro-projection [J]. Textile Standards and Quality 2011(5): 45-47.
- [10] 郭荣幸, 程珊. 采用纤维细度仪进行麻/棉混纺产品定量分析技术的探讨[J]. 中国纤检, 2016(3): 77-80. GUO Rongxing, CHENG Shan. The study on quantitative analysis of bast/cotton blended products [J]. China Fiber Inspection, 2016(3): 77-80.
- [11] 孙中伟, 杨建平, 郁崇文. 竹原纤维的密度测试[J]. 纺织科技进展, 2007(1): 75-76. SUN Zhongwei, YANG Jianping, YU Chongwen. Bamboo fiber density test [J]. Progress in Textile Science & Technology 2007(1): 75-76.
- [12] 姚穆, 周锦芳, 黄淑珍, 等. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2009: 56-64. YAO Mu, ZHOU Jinfang, HUANG Shuzhen, et al. Textile Materials [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2009: 56-64.