

纤维束条干外观不匀的激光测量方法

袁汝旺^{1,2} 蒋秀明^{1,2} 杨公源^{1,2}

(¹天津市现代机电装备技术重点实验室, 天津 300387)
²天津工业大学机械工程学院, 天津 300387)

摘要 基于激光测径技术,采用半导体激光传感器测量纤维束条干短片段的不规则,研究了纤维束横截面直径及其不规则波长的测量方法。设计了非接触式在线测量系统并制定实验方案,其中包括传感器和实验材料选择。通过实验分析了纱线喂入速度变化对纱线直径、条干不匀率和最小不规则波长的影响以及不同测量方法引起的结果差异。实验结果证实了测量系统的可行性和测量结果的良好再现性,且系统能够有效地获取纱线条干短片段不规则的更短波长特征,实现了数据分析过程自动化。

关键词 测量;条干不匀;等间隔积分测量;短片段不规则;变异系数

中图分类号 TS103.6;TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.0708001

Measuring Method for Appearance Unevenness of Fiber Bundles

Yuan Ruwang^{1,2} Jiang Xiuming^{1,2} Yang Gongyuan^{1,2}

(¹Tianjin Key Laboratory of Advanced Mechatronics Equipment Technology, Tianjin 300387, China)
²School of Mechanical Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract Based on laser diameter-measuring technology, the measuring method on the cross-section diameter in fiber bundles and its wavelength of short-term irregularity is discussed. A contactless on-line measuring system and experimental scheme, including the selection of laser sensor and experimental materials, are plotted. The influence of feeding speed on the diameter, the unevenness and the minimum wavelength of the yarn and the results difference result from various methods are analysed experimentally. The results show that the system is feasible and has good reproducibility of the measured results. Moreover, the new system can extract the shorter wavelength feature on yarn short-term irregularity and the data analysis process can be efficiently automated.

Key words measurement; unevenness; measurement of integration with a frozen interval; short-term irregularity; coefficient of variation

OCIS codes 120.6650; 140.7300; 140.3295

1 引 言

纱线、条子或粗纱沿轴向较短片段内粗细或重量的均匀程度称为条干均匀度,纺织品的质量与之密切相关。纤维束条干不匀(不规则)一直是纺织界的研究课题,主要研究影响纱线条干不匀的罗拉牵伸系统和工艺参数。从 1928 年 Balls 首次提出纱线或棉条的不规则产生于“牵伸波”开始,许多著名学者,如 Martindale、Grishin、Rao、Grosberg 和 Backer 等,深入研究了纤维束条干不规则的产生原因,分析

了其不规则特征,提出新的测量方法及评价条干不规则的标准^[1,2]。但以上所有研究目标都在于提高纤维束的力学性能和生产效率,其不规则范围限制在中片段或长片段,即波长超过 15 mm。

通常用单位长度质量和纤维束横截面直径来描述纱线条干不规则。单位长度质量(线密度)与纱线的力学性能密切相关,而纱线横截面直径与纺织品外观质量密切相关^[2~6]。测量纱线条干不规则的仪器测量方法主要有电容法和光电法,前者测量线密

收稿日期: 2012-01-03; 收到修改稿日期: 2012-02-18

基金项目: 国家 973 计划(2010CB334711)和天津市高等学校科技发展基金(20090405)资助课题。

作者简介: 袁汝旺(1979—),男,博士研究生,主要从事纺织检测方面的研究。E-mail: yuanruwang@tjpu.edu.cn

导师简介: 蒋秀明(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事纺织机电系统方面的研究。E-mail: jiangxm@tjpu.edu.cn

度,后者测量横截面直径。电容法的输出结果与纱线力学性能相关,是常用的测量方法,但纱线直径及其不规则变化的短波长(小于等于 5 mm)与纺织品外观质量更为密切^[7]。

随着传感器技术的发展和纺织品外观质量需求的提高,采用光电技术手段进一步研究影响纱线条干不规则的短波长范围,获取纱线条干不规则的短波长特征^[8~10]。为此,本文基于激光传感器开发了一种新的非接触式在线测量系统,深入研究了纤维束条干不匀的测量方法,通过实验和分析,优化了工艺参数,达到有效测量纤维束直径及其不规则的短波长特征的目的,可为纤维束条干外观不匀的在线测量提供一定的理论和实验依据。

2 纤维束条干外观不匀的激光测量原理

2.1 测量与数据获取系统

纤维束条干外观不匀在线测量系统主要由产生片光源的激光传感器,测量流程控制与数据分析系统和样本喂入速度控制系统三部分组成^[8]。激光片光源产生系统利用可视半导体激光光源,其规格参数如表 1 所示。图 1 为测量系统示意图。由图可知测量目标置于发射器和接收器之间。样本进入测量区域,挡住部分由激光发射器射向接收器的光并在接收器上形成了一个阴影,阴影的大小决定通过接收器的电压大小,从而完成了一个由几何量(平均直径)的大小决定电压大小的转换过程。输出信号通过软件获取,信号存储在处理器中,进行进一步的处理和分析^[8~11]。

表 1 激光传感器参数

Table 1 Parameters of laser sensor

Parameter	Unit
Measuring rang	2 mm
Semiconductor laser	
Light source	power<1 mW, wavelength=670 nm (red, laser class 2), beam size 2 mm×2 mm
Receiver diaphragm	2.0 mm×0.3 mm
Resolution (dynamic)	10 μm
Analogue output	0~10 V (direct current)
Frequency response	100 kHz
Independent linearity	±2FSO*
Operation temperature	0℃~50℃

* Full scale output

2.2 等间隔积分

从图 2 可以看出,在任意位置 l 处,纤维束测量

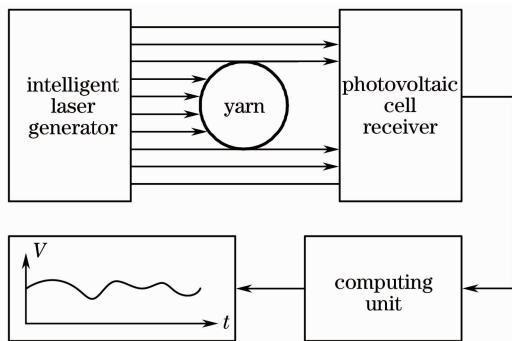


图 1 测量系统示意图

Fig. 1 Schematic of the measurement system

直径是其真实直径的滑动平均,滑动窗宽度为激光束宽度 L ,其值为常数。纤维束平均直径信号通过等间隔积分获取,故称其为等间隔定积分测量。纱线样本的测量直径为

$$y_l(l) = \frac{1}{L} \int_{l-L}^l x_l(l') dl', \quad (1)$$

式中 $x_l(l)$ 为纱线样本的真实直径, L 为接收器光束宽度。

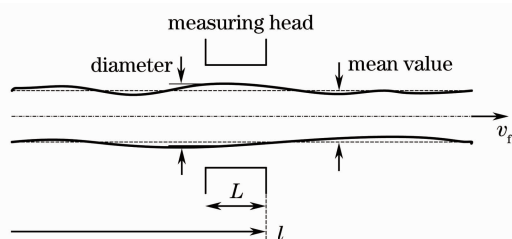


图 2 纤维束直径测量原理

Fig. 2 Measuring principle of diameter of fiber bundles

为了将(1)式中的长度域 $x_l(l)$ 、 $y_l(l)$ 转化为时间域变量,取无穷小的长度变量 $dl = v_f(t) dt$, v_f 为纱线样本进入测量区域的喂入速度,由此可得

$$y_f(t) = \frac{v_f}{L} \int_{t-L/v_f}^t x_f(t') dt'. \quad (2)$$

由(2)式可知,在时间域内输出信号受三个因素影响,即喂纱速度 v_f 、接收器光束宽度 L 和输入信号 $x_f(t)$ 的特征。

2.3 测量信号

如果 $X(s)$ 和 $Y(s)$ 是函数 $x_l(l)$ 和 $y_l(l)$ 的 Laplace 变换,则长度域内的传递函数为

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1 - \exp(-Ls)}{Ls}. \quad (3)$$

在接收器光束宽度 L 范围内,输出信号 $y_l(l)$ 和输入信号 $x_l(l)$ 的振幅比,即测量系统的传递函数可利用正弦波函数表达,即给定任意的纤维束条干不规则的长度角频率 ω_l 的条件下,测量系统的传递

函数为

$$G(j\omega_l, L) = \frac{Y(j\omega_l)}{X(j\omega_l)} = \frac{1 - \exp(-Lj\omega_l)}{j\omega_l L}. \quad (4)$$

传递函数的幅值

$$|G(j\omega_l, L)| = \left| \frac{Y(j\omega_l)}{X(j\omega_l)} \right| = \frac{\sqrt{2[1 - \cos(L\omega_l)]}}{\omega_l L} = \frac{2\sin(L\omega_l/2)}{L\omega_l} = \frac{\sin(\pi L/\lambda)}{\pi L/\lambda}, \quad (5)$$

式中 $\omega_l = 2\pi/\lambda$ 表示单位输入信号长度角频率, λ 表示输入信号的波长。

由于 $\lim_{L \rightarrow 0} |G(j\omega_l, L)| = \cos(\pi L/\lambda) |_{L=0} = 1$ 且 $\lim_{L \rightarrow \lambda} |G(j\omega_l, L)| = 0$, 故输入信号的波长 λ 和接收器光束宽度 L 决定了传递函数的幅值, 进而影响输出信号再现样本特征。图 3 给出了 L/λ 比值与振幅比的关系, 当 $L/\lambda = 0.1$ 时, 传递函数的振幅比为 0.9834。由于接收器光束宽度影响纤维束条干不规则的输出信号, 为了使输出信号完全真实地再现输入信号, 接收器光束宽度至少要小于纱线条干不规则最小波长的 1/10。因此, 当纤维束条干不规则的最小波长 $\lambda_{l,\min} = 0.3 \times 10 = 3 \text{ mm}$ 时, 测量过程中振幅几乎没有波动。如果 $\lambda_{l,\min} < 3 \text{ mm}$, 传递函数的幅值随着波长的减小振荡衰减, 纤维束条干输出信号失真。

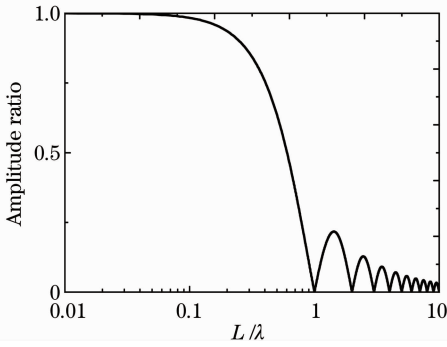


图 3 振幅比率取决于参数 L/λ

Fig. 3 Amplitude ratio determined by the parameter L/λ

除了受激光束宽度和纤维束条干不规则波长之外, 测量系统还受传感器的响应时间、采样时间间隔和纱线喂入速度等因素的影响。在新的测量系统中, 传感器的响应足够快, 满足采样时间间隔、纤维束条干不规则的长度角频率的要求。因此, 测量系统通过设置采样时间间隔和喂纱速度进行控制。根据采样定理, 系统的采样频率应不小于有效信号最高频率的 2 倍, 采样间隔 T_s 和喂纱速度 v_f 需满足

$$\frac{2}{\lambda_{l,\min}} < \frac{1}{T_s v_f}, \quad \text{或} \quad v_f < \frac{\lambda_{l,\min}}{2T_s}. \quad (6)$$

(6)式表明, 如果接收器光束宽度固定, 调整采样时间间隔可测量纤维束条干不规则的最小波长。

2.4 采样长度间隔

纤维束直径沿轴向的变化是由于的纤维截面形状和长度不同引起的。在实践中用变异系数 C_V 来表达纤维束直径与其平均值的偏离程度, 其值取决于样本采样数据容量的大小。

测量的样本采样长度越小, 直径变异越大。测量系统的激光束宽度减小, 扩大了纤维束条干不规则变化程度。如果纤维束轴向上相邻两点之间没有重叠和遗漏, 其样本采样长度 $y_L(\cdot)$ 依赖于接收器光束宽度 L , 数据 $y_L(\cdot)$ 可大致地表达为 nL 。因此, 任意采样长度通过固定的光束宽度 L 获取, 如图 4 所示。

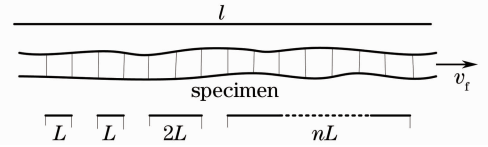


图 4 生成信号采样长度 nL

Fig. 4 Signal generation procedure with the sampling length nL

任意采样长度 nL 的测量直径为

$$y_{nL}(l) = \frac{1}{nL} \int_{l-nL}^l x(l') dl' = \frac{1}{nL} \left[\int_{l-nL}^{l-(n-1)L} x(l') dl' + \int_{l-(n-1)L}^{l-(n-2)L} x(l') dl' + \int_{l-(n-2)L}^{l-(n-3)L} x(l') dl' + \cdots + \int_{l-L}^l x(l') dl' \right] = \frac{1}{n} \{ y_L[l - (n-1)L] + y_L[l - (n-2)L] + y_L[l - (n-3)L] + \cdots + y_L(l) \}. \quad (7)$$

3 实验研究

3.1 实验条件

为了分析纤维束的不规则特征, 确定系统采样长度和喂纱速度对实测数据的影响, 实验研究的样

本选用 C18.2tex 型纱线, 系统硬件对测量信号的采样周期为 1 ms, 采样时间间隔为 10 ms, 喂纱速度分别为 1.8、12、20 m/min。选用 $\Phi 2 \text{ mm}$ 、 $\Phi 1 \text{ mm}$ 、 $\Phi 0.5 \text{ mm}$ 和 $\Phi 0.1 \text{ mm}$ 四种不同规格的铜丝对测量

系统进行校准,确定纱线直径信号与输出电压的物理关系,验证系统的稳定性和测量结果再现性。

3.2 实验结果与讨论

图5为直径与输出信号的线性关系。由图可知,测量系统具有良好的线性关系,可通过软件获取输出信号并存储在处理器中进行数据处理和分析。图6为实验期间系统获取的纱线直径典型测量信号。结果表明,测量信号波动较大,即纱线直径变化频繁,波动周期较短。但是系统运行非常稳定并且测量结果再现性好。

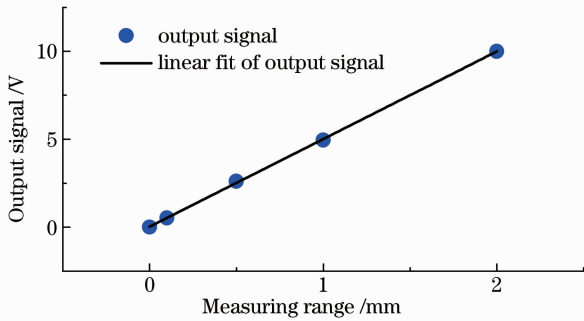


图5 直径与输出信号的线性关系

Fig. 5 Linear relationship between the diameter and the output signal

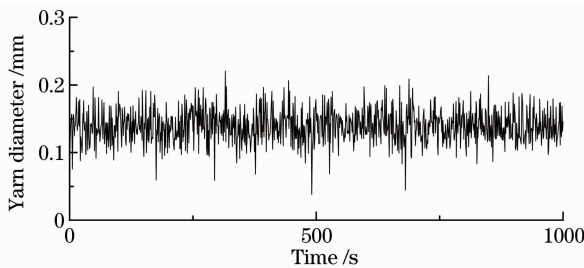


图6 纱线直径测量信号

Fig. 6 Measured signal of the yarn diameter

表2给出了3种不同喂纱速度的实验结果。由表2可知,实验条件影响测量结果,纱线直径、标准差和变异系数随喂纱速度的变化而变化。图7为喂纱速度与实验结果的关系图。由图可知,在固定的采样时间间隔内,喂纱速度越快,纱线直径的平均值和振幅变化越小;纱线直径的变异系数随喂纱速度的增加而减少。这是由于接收器光束宽度是固定值0.3 mm,采样时间间隔为10 ms,改变喂线速度意味着改变了采样长度间隔。如果纱线沿轴向的直径变化具有相关性,则测量信号受采样长度间隔的影响。

在12 m/min和20 m/min的喂纱速度下,分别测得的纱线直径变异系数如表3所示。数据结果表

明,在相同测量长度内,喂纱速度越快,直径变异系数变化越平稳;反之,波动较大。

表2 不同喂纱速度对结果的影响

Table 2 Influence of different yarn speeds on the results

Yarn feeding speed / (m/min)	Mean diameter / mm	Standard deviation of diameter /mm	C_v /%
1.8	0.172	0.034	19.99
12	0.139	0.024	17.27
20	0.137	0.022	16.19

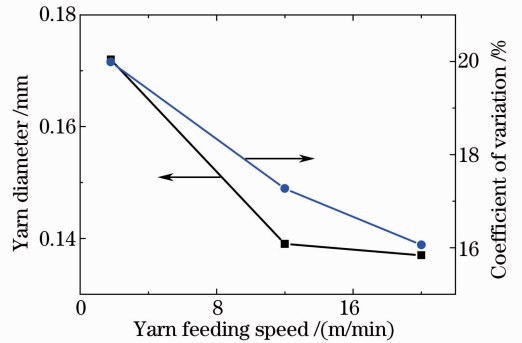


图7 喂纱速度与实验结果的关系

Fig. 7 Relationship between the yarn feed speed and the experimental results

表3 不同喂纱速度下的直径变异系数

Table 3 Variation coefficient of the diameter under the condition of various yarn feed speeds

No.	C_v /%	
	12 m/min	20 m/min
1	16.91	16.19
2	17.65	16.22
3	16.26	16.38
4	16.91	16.58
5	17.89	16.47
6	17.80	16.39
7	16.52	16.47
8	16.69	16.41
9	16.47	16.40
10	18.22	16.34

表4给出了在线测量系统和YG136型条干仪对C18.2tex型纱线测量得到的直径变异系数 C_{vd} 和质量变异系数 C_{vm} 。YG136型条干仪的喂纱速度为400 m/min,电容极板宽度为8 mm。测量结果表明,同一测量样本的直径变异系数大于质量变异系数。其原因在于样本采样长度不同,采样长度越大,纱线条干不规则变化越小。因此,电容法不适于测量纱线条干不规则短波长特征。

表4 不同测量方法获得的变异系数

Table 4 Measured coefficient of variation with various methods

No.	$C_{vd}/\%$	$C_{vm}/\%$
1	16.93	16.14
2	16.83	16.60
3	17.57	16.08
4	17.59	17.10
5	17.45	17.41
6	16.71	16.64
7	17.14	17.03
8	17.45	16.91
9	17.35	16.98
10	17.23	16.92
Mean value	17.23	16.79

4 结 论

在激光测径技术的基础上,应用半导体激光传感器开发了一种新的非接触式在线测量系统,研究了激光测量纤维束横截面直径及其条干不规则波长的可行性和测试结果的再现性,证实了激光测量方法是一种比较理想的纤维束条干外观不匀测量方法,能够有效提取短片段不规则的波长特征。测量系统传递函数幅值特性分析结果表明,幅值比率受接收器光束宽度和输入信号波长的影响,系统能够测量的纱线条干外观不规则的最小波长时期光束宽度的10倍,即 $\lambda_{l,\min}=3\text{ mm}$ 。改变纱线样本的喂入速度获取的实验数据表明,实验结果依赖于测试条件,速度变化对纱线平均直径几乎没有影响,而变异

系数对着速度的增加而减小。

参 考 文 献

- 1 K. Slater. Yarn evenness[J]. *Textile Progress*, 1986, **14**(3-4): 1~83
- 2 Y. Huh, J. S. Kim, S. H. Kim *et al.*. Characterizing yarn thickness variation by correlograms[J]. *Fibers and Polymers*, 2005, **6**(1): 66~71
- 3 I. S. Tsai, W. C. Chu. A new photoelectric device for the measurement of yarn diameter and yarn evenness part III: computer-aided on-line measurement of yarn evenness on the ring-spinning frame [J]. *Journal of the Textile Institute*, 1997, **88**(1): 415~427
- 4 J. Price, T. Calamari. A comparison of yarn evenness and imperfection data[J]. *Textile Research Journal*, 2002, **72**(9): 810~819
- 5 A. Sparavigna, E. Broglia, S. Lugli. Beyond capacitive systems with optical measurements for yarn evenness evaluation [J]. *Mechatronics*, 2004, **14**(9): 1183~1196
- 6 Vitor Carvalho, F. Oliveira, R. Vasconcelos *et al.*. A comparative study between yarn diameter and yarn mass variation measurement systems using capacitive and optical sensors [J]. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 2008, **33**(2): 119~125
- 7 Dairong Zhang, Ling Cheng. Comparison of two different yarn evenness test methods [J]. *Modern Applied Science*, 2010, **4**(3): 71~76
- 8 M. Jackson, M. Acar, L. Y. Siong *et al.*. A vision based yarn scanning system [J]. *Mechatronics*, 1995, **5**(2-3): 133~146
- 9 E. Musa. Line laser-based break sensor that detect slight spots on yarns [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2009, **47**(7-8): 741~746
- 10 V. H. Carvalho, P. J. Cardoso, M. S. Belsley *et al.*. Yarn diameter measurements using coherent optical signal processing [J]. *IEEE Sensors Journal*, 2008, **8**(11): 1785~1793
- 11 M. Jaouadi, S. Msahli, F. Saki. Contribution to measurement of real yarn diameter [J]. *The Journal of The Textile Institute*, 2009, **100**(2): 158~164

栏目编辑:胡冰