

DOI: 10.13475/j.fzxb.20171100606

喷气涡流纺纱线拉伸断裂强力 预测模型构建与验证

姚江薇¹, 邹专勇¹, 闫琳琳^{1,2}, 卫 国³, 唐佩君³

(1. 绍兴文理学院 浙江省清洁染整技术研究重点实验室, 浙江 绍兴 312000;
2. 东华大学 纺织学院, 上海 201620; 3. 百隆东方股份有限公司, 浙江 宁波 315206)

摘要 为更好理解喷气涡流纺纱线结构对纱线强力的影响机制, 实现纱线结构优化设计, 首先在观察与分析喷气涡流纺纱线结构基础上, 构建了喷气涡流纺纱线的几何结构模型; 阐述了喷气涡流纺纱线内纤维的受力情况, 由此得出喷气涡流纺纱线拉伸断裂强力的数学模型; 通过对喷气涡流纺纱线拉伸断裂强力预测值与实测值的比较进行模型验证。研究结果表明: 纱线强力预测模型对纱线拉伸断裂强力的预测结果与实测值较接近, 同时, 纱线中毛羽纤维造成的纱线半径计算的误差会影响到模型预测结果的精确性。

关键词 喷气涡流纺; 纱线; 数学模型; 拉伸断裂强力; 纱线半径

中图分类号: TS 101.2 文献标志码: A

Prediction model on tensile strength of air jet vortex spinning yarn and its verification

YAO Jiangwei¹, ZOU Zhuanyong¹, YAN Linlin^{1,2}, WEI Guo³, TANG Peijun³

(1. Key Laboratory of Clean Dyeing and Finishing Technology of Zhejiang Province, Shaoxing University, Shaoxing, Zhejiang 312000, China; 2. College of Textile, Donghua University, Shanghai 201620, China; 3. Bros Eastern Limited Corporation, Ningbo, Zhejiang 315206, China)

Abstract In order to well understand the influence of yarn structure of vortex spun yarn on its tensile properties and design the yarn structure, firstly, based on observation and analysis on structure of the vortex spun yarn, a geometric model of vortex spun yarn structure was proposed, then the stress of fiber in vortex spun yarn was analyzed, and the tensile strength model of vortex spun yarn was built. The predicted tensile strength of the vortex spun yarn obtained from the model was verified by that of tested data. It is found that the predicted strength data of the prediction model of yarn strength is very close to that of the measured data by comparison. Moreover, the error in the calculation of the yarn radius caused by the hairiness in the yarn can affect the accuracy of the model prediction results.

Keywords air jet vortex spinning; yarn; mathematical model; tensile strength; yarn radius

喷气涡流纺技术是借助喷嘴形成切向高速射流旋转场, 并对自由尾端纤维加捻成纱的一种新型纺纱技术^[1-2]。喷气涡流纺技术克服了传统环锭纺采用机械部件加捻以致纺纱速度难以有较大提高的技术瓶颈, 具有高纺纱速度、节省占地面积和劳动用工、减少耗电量等优点, 同时, 喷气涡流纺技术集粗纱、细纱、络筒、卷绕成形工序于一体, 缩短了工艺流

程, 是一种极具发展前景的新型纺纱技术^[3-4]。

已有文献^[5-7]比较研究了喷气涡流纺纱线与环锭纺、转杯纺、喷气纺纱线的结构与性能, 认为喷气涡流纺纱线虽然有害毛羽少, 吸湿性好, 但纱线手感较硬, 强度也低于环锭纱。喷气涡流纺纱线强力除受成纱工艺影响外, 还受纱线结构影响^[8-9]。为提高喷气涡流纺纱线强度, 拓展其应用领域, 有必要对

收稿日期: 2017-11-05 修回日期: 2018-03-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51573095)

第一作者简介: 姚江薇(1979—), 女, 博士。主要研究方向为材料结构建模与分析。

通信作者: 邹专勇, E-mail: zouzhy@usx.edu.cn。

喷气涡流纺纱线结构及其对纱线强力的影响等方面的问题进行深入与系统的研究。

喷气涡流纺纱线截面内纤维分布^[9]与轴向纤维形态构象(沿纱线轴向纱中纤维呈现出的空间形态特征)^[10-11]不同于传统环锭纺,因此无法采用传统环锭纺的强力模型分析预测喷气涡流纺纱线的强力。目前,关于喷气涡流纺纱线强力预测是从熟条特性(条子 CV 值、回潮率、定量和定量不匀率)对纱线强力与不匀方面开展,并建模预测^[12]。为进一步了解喷气涡流纺纱线结构和性能的关系,明确涡流纺纱线结构和拉伸断裂强力的定量关系,本文针对纯纺喷气涡流纺纱线,在对纱线结构观察和简化的基础上,通过构建纤维拉伸断裂强力模型,预测喷气涡流纺纱线拉伸断裂强力,以更好理解喷气涡流纺纱线的增强机制,实现纱线结构优化设计,并为提高喷气涡流纺纱线的拉伸性能提供理论参考。

1 纱线结构分析与简化

1.1 喷气涡流纺纱线纵向纤维构象分析

基于喷气涡流纺成纱机制与纱线纵向纤维构象观察发现:总体上纱线中单根纤维沿纱线轴向依次处于平行无捻纱芯状态、转移包缠状态和规则包缠状态,规则包缠部分纤维按圆柱形螺旋层状规则排列^[11,13]。设: L 为单纤维长度,mm; L_0 为前罗拉至空心锭子的隔距,mm; L_c 为平行无捻纱芯部分纤维长度,mm; L_1 为转移包缠部分纤维长度,mm; L_w 为规则包缠部分纤维长度,mm。在实际纱线结构中转移包缠部分纤维长度较短,远远小于前罗拉至空心锭子的隔距,即 $L_1 \ll L_0$,可忽略不计。

因此,基于上述分析作如下假设:在喷气涡流纺纱线中,纤维沿纱线轴向构象可简化为由平行无捻纱芯部分和规则包缠部分组成,规则包缠部分所有纤维螺旋包缠角相等。图 1 为基于假设的喷气涡流纺纱线内单根纤维沿纱线轴向的形态构象示意图。图中 α 为规则包缠螺旋角, $(^\circ)$ 。则 $L_c = L - L_0$,规则包缠部分纤维长度 $L_w = L_0$ 。

1.2 喷气涡流纺纱线横截面纤维分布分析

基于喷气涡流纺成纱机制,由喷气涡流纺纱线轴向纤维形态构象观察可知,纱线横截面由外向内纤维构象应是规则包缠状态、转移包缠状态和平行无捻纱芯状态。纤维转移包缠部分长度忽略不计,因此纱线横截面内转移包缠部分面积也忽略不计。假设纱线横截面为理想圆形,纱线横截面中平行无捻纱芯部分也为理想圆形,规则包缠部分为理想环形,截面内每根纤维横截面为理想圆形;纤维在纱线

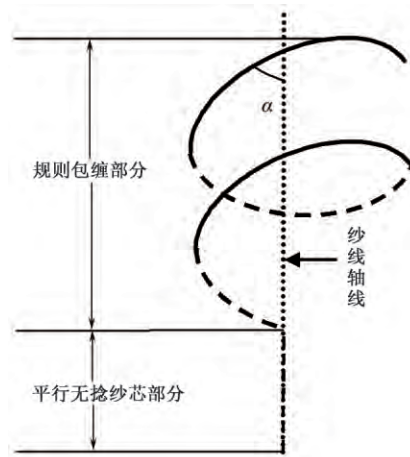


图 1 喷气涡流纺纱线轴向纤维形态构象示意图

Fig. 1 Axial morphology diagram of fiber in vortex spun yarn

径向和轴向均匀分布。则简化后的喷气涡流纺纱线横截面示意图如图 2 所示。

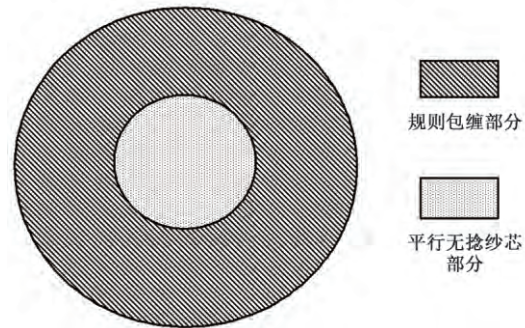


图 2 喷气涡流纺纱线横截面内纤维分布示意图

Fig. 2 Fiber distribution diagram in cross section of vortex spun yarn

若纱线半径为 R ,mm;纱线内纤维半径为 r ,mm,纱线横截面内共 n_0 根纤维,平行无捻纱芯部分中纤维根数为 n_c ,规则包缠纤维部分中纤维根数为 n_w 。因为纤维在纱线轴向和径向均匀分布,则横截面内各部分的纤维根数与纱线轴向上各部分长度占纤维长度比例成正比,即纱芯部分纤维和规则包缠部分根数可分别由式(1)、(2)求出:

$$n_c = \frac{(L - L_0) n_0}{L} \quad (1)$$

$$n_w = \frac{L_0 n_0}{L} \quad (2)$$

再因纱线截面内纤维排列总是存在空隙,故引入堆砌密度 μ_y 的概念^[10,14],纱线的堆砌密度就是纱线横截面内所有纤维横截面的面积和与该纱线横截面积之间的比值,无量纲量。设:平行无捻纱芯部分面积为 A_c ,mm²;规则包缠部分面积为 A_w ,mm²;单纤维面积为 A_f ,mm²;平行无捻纱芯半径为 R_c ,mm;纱线半径为 R_y ,mm。根据假设,纤维在纱线径向均

匀分布,利用式(1)、(2),则平行无捻纱芯部分面积、规则包缠部分面积、纱芯半径和纱线半径可分别由式(3)~(6)求出:

$$A_c = \frac{n_c A_f}{\mu_y} = \frac{(L - L_0) n_0}{L \mu_y} \pi r^2 \quad (3)$$

$$A_w = \frac{n_w A_f}{\mu_y \cos \alpha} = \frac{L_0}{L \mu_y \cos \alpha} n_0 \pi r^2 \quad (4)$$

$$R_c = r \sqrt{\frac{(L - L_0) n_0}{L \mu_y}} \quad (5)$$

$$R_y = r \sqrt{\frac{(L - L_0) n_0}{L \mu_y} + \frac{L_0 n_0}{L \mu_y \cos \alpha}} \quad (6)$$

2 纱线拉伸断裂强力分析

2.1 规则包缠部分单根纤维受力分析

假设:纱线和纤维性能均一,服从虎克定律和阿芒顿定律。令单纤维拉伸断裂应力为 σ_b , N/mm^2 。单纤维规则包缠部分的断裂强力可以分解为轴向和径向 2 个分力:纤维强力在纱线轴向分力为 $F_{轴}$, N ;在纱线径向分力为 $F_{径}$, N ,则可分别由式(7)、(8)求出:

$$F_{轴} = \pi r^2 \sigma_b \cos \alpha \quad (7)$$

$$F_{径} = \pi r^2 \sigma_b \sin \alpha \quad (8)$$

喷气涡流纺纱线中规则包缠纤维微元段及其在纱线横截面内受力作用示意图分别见图 3、4。

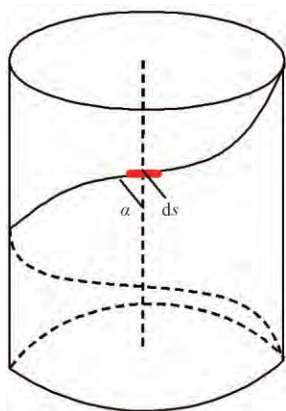


图 3 喷气涡流纺纱线中规则包缠纤维微元段示意图

Fig. 3 Diagram of infinitesimal segment of fiber in regular wrapping part of vortex spun yarn

由式(8)和图 4 可知,单位长度的包缠纤维对纱芯的压应力为 Q_L , N/mm ,可由式(9)表示。

$$Q_L ds = 2 \pi r^2 \sigma_b \sin \alpha \sin \frac{d\varphi}{2} \quad (9)$$

式中: φ 为 ds 长度包缠纤维与纱轴所成的角度 ($^\circ$)。 ds 与 $d\varphi$ 、 α 的关系见式(10)。

$$ds = \frac{R d\varphi}{\sin \alpha} \quad (10)$$

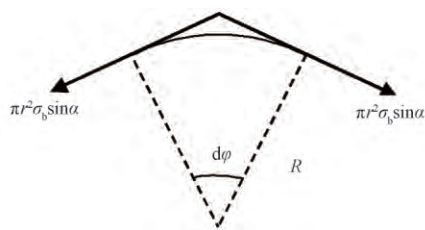


图 4 规则包缠纤维微元段在纱线截面内受力作用示意图

Fig. 4 Stress diagram of infinitesimal segment of regular wrap part in cross section of vortex spun yarn

因 $\varphi \rightarrow 0$, 则 $\sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}$, 联合式(9)、(10)可得

$$Q_L = \frac{\pi r^2 \sigma_b \sin^2 \alpha}{R} \quad (11)$$

2.2 规则包缠纤维部分拉伸断裂强力分析

规则包缠部分拉伸断裂强力 F_w 应为规则包缠部分单根纤维轴向受力与规则包缠部分纤维根数和滑动系数^[15]的乘积,根据式(7)可知, F_w 可由式(12)求出。

$$F_w = \pi r^2 \sigma_b \cos \alpha \int_{R_c}^{R_y} n_{R_i} \left(1 - \frac{l_c R_i}{L_w}\right) \quad (12)$$

式中: n_{R_i} 为距纱线芯 R_i 处的纤维根数; l_c 为滑移长度, mm , 分别可由式(13)、(14)求出。

$$n_{R_i} = \frac{\mu_y 2 \pi R_i dR_i}{\pi r^2 \cos \alpha} = \frac{\mu_y 2 R_i dR_i \cos \alpha}{r^2} \quad (13)$$

$$l_c = \frac{r \sigma_b}{2 \mu q} \quad (14)$$

式中: μ 为纤维表面摩擦因数,无量纲量; q 为纤维表面横向压应力, N/mm^2 。

由于规则包缠纤维部分所产生的单位长度压应力随纤维在纱线中位置变化,由式(15)可得距纱线轴心 R_i 处单根纤维所产生压力 Q_{R_i} (N) 为

$$Q_{R_i} = Q_L L_w = \frac{\pi r^2 \sigma_b \sin^2 \alpha L_0}{R_i} \quad (15)$$

根据式(13)、(15),距纱芯 R_x 处纤维产生的压力总和 Q_{R_x} (N) 为

$$Q_{R_x} = \int_{R_x}^{R_y} Q_{R_i} n_{R_i} = 2 \pi \sigma_b \mu_y \sin^2 \alpha \cos \alpha L_0 (R_y - R_x) \quad (16)$$

若压力在纱线横截面内所有纤维上均匀分布,根据式(16),则距纱芯 R_x 处单根纱芯纤维受到的压力 Q_f 可由式(17)求出。

$$Q_f = \frac{Q_{R_x} \frac{\pi r^2}{\cos \alpha}}{\mu_y \pi R_x^2} = \frac{2 \pi r^2 \sigma_b \sin^2 \alpha L_0 (R_y - R_x)}{R_x^2} \quad (17)$$

根据式(17),得出 R_x 处纤维表面横向压应力

q_{R_x} , N/mm^2 , 见式(18)

$$q_{R_x} = \frac{Q_f}{2\pi r L_0} = \frac{r\sigma_b \sin^2\alpha (R_y - R_x)}{R_x^2} \quad (18)$$

联合式(14)、(18), 得出 R_x 处纤维滑动长度 l_{cR_x} , mm, 见式(19)

$$l_{cR_x} = \frac{r\sigma_b}{2\mu q_{R_x}} = \frac{R_x^2}{2\mu \sin^2\alpha (R_y - R_x)} \quad (19)$$

理论上 R_x 的取值范围在 $R_c \sim R_y$ 之间, 当 R_x 取值为 R_y 时 l_{cR_y} 的值为 ∞ 。但实际上 l_c 的最大值为

$$F_w = \pi r^2 \sigma_b \cos\alpha \int_{R_c}^{R_m} n_{R_i} \left(1 - \frac{l_{cR_i}}{L_w}\right) = \pi \sigma_b \mu_y \cos^2\alpha (R_m^2 - R_c^2) -$$

$$\frac{\pi \sigma_b c \tan^2\alpha}{\mu L_0} \left[(R_c - R_m) R_y^2 + \frac{(R_c^2 - R_m^2) R_y}{2} + \frac{R_c^3}{3} - \frac{R_m^3}{3} - R_y^3 \ln\left(\frac{R_y - R_m}{R_y - R_c}\right) \right] \quad (22)$$

2.3 纱芯纤维拉伸断裂强力分析

因纱芯由平行无捻纤维束组成, 根据式(1)和滑动长度概念 F_c 可由式(23)求出。

$$F_c = \frac{(L - L_0) n}{L} \pi r^2 \sigma_b \left(1 - \frac{l_c}{L_c}\right) \quad (23)$$

根据式(13)、(15), 规则包缠纤维部分对纱芯的压力总和为 Q_{R_c} , 见式(24)

$$Q_{R_c} = \int_{R_c}^{R_y} Q_{R_i} N_{R_i} = 2\pi \sigma_b \mu_y \sin^2\alpha \cos\alpha L_0 (R_y - R_c) \quad (24)$$

若压力在纱芯内均匀分布, 根据式(24), 单根纱芯纤维受到的压力 Q_f 可由式(25)求出。

$$Q_f = \frac{Q_{R_c} L_c}{L_w \pi R_c^2} = \frac{2\pi \sigma_b \sin^2\alpha L (R_y - R_c)}{n_0} \quad (25)$$

根据式(25), 纱芯单位面积压应力 q_c , N/mm^2 , 可由式(26)求出。

$$F_y = F_c + F_w = \frac{(L - L_0) n_0}{L} \pi r^2 \sigma_b \left[1 - \frac{n_0 r^2}{2\mu \sin^2\alpha L (R_y - R_c)}\right] + \pi \sigma_b \mu_y \cos^2\alpha (R_m^2 - R_c^2) -$$

$$\frac{\pi \sigma_b c \tan^2\alpha}{\mu L_0} \left[(R_c - R_m) R_y^2 + \frac{(R_c^2 - R_m^2) R_y}{2} + \frac{R_c^3}{3} - \frac{R_m^3}{3} - R_y^3 \ln\left(\frac{R_y - R_m}{R_y - R_c}\right) \right] \quad (29)$$

由式(29)可知: 当锭子到前罗拉的距离 L_0 变化时, 对喷气涡流纺纱线的强力影响受其他结构性参数制约, 故影响趋势较为复杂; 当锭子到前罗拉距离 L_0 确定不变时, 随着纤维长度 L 、截面内纤维根数 n_0 、单纤维强度 σ_b 、纤维间摩擦因数 μ 、纤维包缠螺旋角 α 的增加, 均会导致喷气涡流纺纱线强力随之增加; 当纱线堆砌密度 μ_y 改变时, 将导致纱芯半径为 R_c 和纱线半径 R_y 变化, 最终这几个参数联合影响喷气涡流纺纱线的强力。经实际计算表明, μ_y 增加对纱线的强力提升略有帮助。

L_0 因此根据式(19)可知, 在计算滑动长度时, 若 R_x 最大的可能取值为 R_m , 可由式(20)、(21)求出:

$$l_{c\max} = L_0 = \frac{R_m^2}{2\mu \sin^2\alpha (R_y - R_m)} \quad (20)$$

$$R_m = \sqrt{\mu^2 \sin^4\alpha L_0^2 + 2\mu \sin^2\alpha L_0 R_y - \mu \sin^2\alpha L_0} \quad (21)$$

由式(12)、(13)、(19)和式(21)可得, 规则包缠部分拉伸断裂强力 F_w 为

$$q_c = \frac{Q_f}{2\pi r (L - L_0)} = \frac{\sigma_b \sin^2\alpha L (R_y - R_c)}{n_0 r (L - L_0)} \quad (26)$$

联合式(14)、(26), 则纱芯滑动长度 l_c 可由式(27)求出。

$$l_c = \frac{r\sigma_b}{2q_c \mu} = \frac{n_0 r^2 (L - L_0)}{2\mu \sin^2\alpha L (R_y - R_c)} \quad (27)$$

联合式(23)、(27), 可得纱芯强度

$$F_c = \frac{(L - L_0) n_0}{L} \pi r^2 \sigma_b \left(1 - \frac{l_c}{L_c}\right) =$$

$$\frac{(L - L_0) n_0}{L} \pi r^2 \sigma_b \left[1 - \frac{n_0 r^2}{2\mu \sin^2\alpha L (R_y - R_c)}\right] \quad (28)$$

2.4 纱线拉伸断裂强力分析

纱线拉伸断裂强力为纱芯纤维拉伸断裂强力与规则纤维包缠拉伸断裂强力之和, 根据式(22)和式(28)可得式(29)。

3 纱线拉伸断裂强力模型验证

为验证纱线拉伸断裂强力模型预测结果的准确性, 实验采用 MVS No. 861 型纺纱机以粘胶纤维和莫代尔纤维为原料, 分别纺制 19.68 tex 纱线, 对应纺纱工艺参数总牵伸倍数均为 223, 主牵伸倍数分别为 37 和 33, 锭子型号均为 1.1, 锭子到前罗拉的距离均为 20 mm, 喷嘴气压均为 0.55 MPa, 纺纱速度分别为 350 m/min 和 360 m/min。

表 1 示出纱线拉伸断裂强力模型理论计算用参

数取值。其中:纤维包缠角测试方法见文献 [13];堆砌密度计算见文献 [10];纱线截面内理论纤维根数根据纱线线密度与纤维线密度比值确定。本文分

别计算了基于理论纱线半径和实测纱线半径 2 种情形下粘胶、莫代尔纤维喷气涡流纺纱线的强力预测值,并给出了相应的实测纱线强力值,见表 2。

表 1 纱线拉伸断裂强力模型预测采用的参数取值

Tab.1 Part of yarn parameters adopted by yarn's tensile strength model

纱线种类	纤维长度/mm	纤维线密度/dtex	纤维强度/(cN·dtex ⁻¹)	纤维半径/mm	摩擦因数	堆砌密度	纱线纤维包缠角/(°)	纱线截面内理论纤维根数	纱芯半径/mm	纱线半径/mm	
										理论值	实测值
粘胶	37.5	1.3	2.21	0.005 2	0.26	0.50	24.0	151	0.061 7	0.094 9	0.092 0
莫代尔纤维	38.4	1.3	3.42	0.005 2	0.20	0.50	21.0	151	0.051 4	0.084 1	0.084 9

表 2 纱线拉伸断裂强力模型预测值与实测值比较

Tab.2 Comparison of predicted value and tested value of tensile strength of yarn

纱线种类	强力模型计算依据	强力值/cN		预测误差/%
		预测	实测	
粘胶	基于理论纱线半径	269.120	248.733	8.20
	基于实测纱线半径	233.730	248.733	-6.03
莫代尔纤维	基于理论纱线半径	354.092	333.640	6.13
	基于实测纱线半径	315.502	333.640	-5.44

由表 2 可看出,基于理论纱线半径计算的纱线强力预测值较基于实测纱线半径计算的数值大。原因在于纱线半径确定方式会影响模型预测结果,实测纱线半径将毛羽纤维排除在纱线半径之外,而理论纱线半径计算过程中,将毛羽也算在有效纱线半径之内,因此强力预测值偏高。此外基于构建的纱线拉伸强力模型无论利用理论纱线半径还是实测纱线半径,获得的纱线强力预测值与实测值间误差较小,能很好基于纱线结构预测喷气涡流纺纱线强力,但模型的强力预测值与实测值仍存在一定偏差,需要进一步改进,其可能的原因是纱线的真实结构与假设存在不一致的地方,如纱线径向截面内压力在纱芯部位最大,在纱线边缘最小,由此可以推测出,纱线径向截面内纤维分布也是纱芯部分纤维最密集,而在纱线边缘部位纤维分布最松散,这与纤维在纱线径向均匀分布的假设存在不一致,将成为模型后续进一步完善改进的方向。

4 结 论

1) 通过对喷气涡流纺纱线结构的适当简化,可实现基于喷气涡流纺纱线结构进行纤维的受力分析,从而完成喷气涡流纺纱线拉伸断裂强力预测模型构建,为喷气涡流纺纱线结构优化设计与理论强力计算提供了参考。

2) 喷气涡流纺纱线拉伸断裂强力模型的强力预测误差较小,能较好预测喷气涡流纺纱线的强力。

3) 纱线强力模型预测过程中,纱线中毛羽纤维

造成的纱线半径计算的误差会影响到模型预测结果的精确性,同时进一步研究纱线截面内纤维堆砌密度的规律,是提升纱线强力预测模型预测精度的重要方向。

FZXB

参考文献:

[1] ZOU Z, CHENG L, XUE W, et al. A study of the twisted strength of the whirled airflow in murata vortex spinning [J]. Textile Research Journal, 2008, 78(8): 682-687.

[2] ZOU Z, LIU S, ZHENG S, et al. Numerical computation of a flow field affected by the process parameters of Murata vortex spinning [J]. Fibers and Textiles in Eastern Europe 2010, 18(2): 35-39.

[3] 周金香, 邹专勇, 黄建光, 等. 喷气涡流纺成纱工艺对色纺竹浆纤维针织物性能的影响 [J]. 纺织学报, 2015, 36(6): 30-36.

ZHOU Jinxiang, ZOU Zhuanyong, HUANG Jianguang, et al. Influence of yarn formation process on properties of knitted fabrics made of air jet vortex-spun bamboo pulp colored yarns [J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(6): 30-36.

[4] 邹专勇. 喷气涡流纺成纱工艺对竹浆纤维色纺性能的影响 [J]. 纺织学报, 2014, 35(2): 23-28.

ZOU Zhuanyong. Influence of yarn formation process on properties of bamboo pulp fiber colored spun yarn using air jet vortex [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(2): 23-28.

[5] BASAL G, OXENHAM W. Vortex spun yarn VS air-jet spun yarn [J]. Autex Research Journal, 2003, 3(3): 96-101.

[6] KYAW S A, MASAOKI T, MASARU N. Structure and properties of MVS yarns in comparison with ring yarns and open-end rotor spun yarns [J]. Textile Research Journal, 2004, 74(9): 819-826.

[7] ZOU Z. Study of the stress relaxation property of vortex spun yarn in comparison with air-jet spun yarn and ring spun yarn [J]. Fibers and Textiles in Eastern Europe, 2012, 90(1): 28-32.

[8] 裴泽光, 俞兆昇, 郁崇文. 影响纯涤纶喷气涡流纺强度的因素 [J]. 纺织学报, 2008, 29(12): 22-24.

- PEI Zeguang , YU Zhaosheng , YU Chongwen. Effect of parameters on tenacity of polyester MVS yarn [J]. Journal of Textile Research , 2008 , 29 (12) : 22 - 24.
- [9] ZOU Z , YU J , XUE W , et al. A study of generating yarn thin places of murata vortex spinning [J]. Textile Research Journal , 2009 , 79(2) : 129 - 137.
- [10] ZHENG S , ZOU Z , SHEN W , et al. A study of the fiber distribution in yarn cross section for vortex-spun yarn [J]. Journal Textile Research 2012 82(15) : 1579 - 1586.
- [11] 邹专勇 , 程隆棣 , 俞建勇 等. 喷气涡流纺中纤维的空间轨迹研究 [J]. 纺织学报 , 2008 , 29 (10) : 25 - 28.
ZOU Zhuanyong , CHENG Longdi , YU Jianyong , et al. Fiber spatial configuration in air jet vortex spun yarn [J]. Journal of Textile Research , 2008 , 29 (10) : 25 - 28.
- [12] 谷有众 , 高卫东 , 卢雨正 等. 应用遗传算法优化支持向量回归机的喷气涡流纺纱线质量预测 [J]. 纺织学报 , 2016 37 (7) : 142 - 148.
- GU Youzhong , GAO Weidong , LU Yuzheng , et al. Prediction of vortex yarn properties based on hybrid generic algorithm and support vector regression [J]. Journal of Textile Research , 2016 37 (7) : 142 - 148.
- [13] ZOU Z , CHENG L , XI B , et al , Investigation of fiber trajectory affected by some parameter variables in vortex spun yarn [J]. Textile Research Journal 2015 85(2) : 180 - 187.
- [14] ZOU Z , ZHENG S , CHENG L , et al. Effect of some variables on the fibre packing pattern in a yarn cross-section for vortex spun yarn [J]. Fibers and Textiles in Eastern Europe , 2014 , 22(2) : 40 - 46.
- [15] 于伟东 , 储才元. 纺织物理 [M]. 上海: 东华大学出版社 , 2001: 333.
YU Weidong , CHU Caiyuan. Textile Physics [M]. Shanghai: Donghua University Press , 2001: 333.