

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180908405

喷气涡流纺纱线热黏合增强工艺

林燕燕^{1,2}, 邹专勇¹, 陈玉香¹, 杨艳秋¹

(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)

摘要 针对喷气涡流纺纱强力不高的问题,引入低熔点涤纶纤维利用热黏合机制增强喷气涡流纺纱线,借助T检验法比较不同热接触方式对纱线断裂功影响的显著性差异,通过正交试验研究热处理温度、热处理速度及牵伸倍数对纱线断裂功的影响规律,并进行最优工艺验证。结果表明:原纱采用非接触热处理方式断裂功提升更显著;纱线断裂功随热处理温度升高,先增加后下降,随速度增加,呈上升趋势;随牵伸倍数的增加,断裂功显著提高;最优热处理工艺为热处理温度145℃,热处理速度600 cm/min,牵伸倍数1.06。最优工艺热处理后喷气涡流纺纱线断裂功可提高13%。

关键词 喷气涡流纺; 低熔点涤纶; 纱线断裂功; 热黏合
中图分类号: TS131 文献标志码: A

Thermal adhesion enhancement process of air jet vortex spun yarn

LIN Yanyan^{1,2}, ZOU Zhuanyong¹, CHEN Yuxiang¹, YANG Yanqiu¹

(1. Key Laboratory of Clean Dyeing and Finishing Technology in Zhejiang Province, Shaoxing University, Shaoxing, Zhejiang 312000, China; 2. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract Aiming at poor strength of air jet vortex spun yarn, low-melting point polyester fiber was introduced to reinforce air jet vortex spun yarn by heat bonding. The significant differences of the influence of different thermal contact modes on the yarn fracture work were compared by means of *T*-test. Orthogonal design was used to study the influence of heat treatment temperature, heat treatment speed and draw ratio on the yarn fracture work, and the optimal process was verified. The results show that the original yarn subjected to non-contact heat treatment has significantly improved fracture work. The fracture work of yarns increases first and then decreases with the rise of heat treatment temperature. When the speed increases, it shows an upward trend. With the increase of the draw ratio, the fracture work improves obviously. The optimal heat treatment process is: heat treatment temperature of 145 °C, heat treatment speed of 600 cm/min, and draw ratio of 1.06, and the fracture work of the jet vortex spun yarn can be increased by 13% after the optimal process heat treatment.

Keywords air jet vortex spinning; low melting point polyester; fracture work of yarn; thermal adhesion

喷气涡流纺是利用高速旋转的气流对纤维进行加捻包缠的新型纺纱技术,具有纺纱速度快、自动化水平高、工艺流程短等优点^[1]。喷气涡流纺纱线具有条干均匀、毛羽少、抗起毛起球的优点,但纱线强力与环锭纺相比仍存在一定差距,使产品主要应用

于针织领域^[2],提高喷气涡流纺成纱强力可将喷气涡流纺纱线向机织等领域拓展。通过数值模拟与分析可深入理解喷气涡流纺喷嘴结构^[3-4]、前罗拉与空心锭子距离^[5]、喷嘴气压(气流喷射速度)^[5]及空心锭子结构^[6]对加捻腔气流流动的影响规律,实现

收稿日期: 2018-09-30 修回日期: 2018-11-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51573095)

第一作者: 林燕燕(1996—),女,硕士生。主要研究方向为喷气涡流纺纱线加工技术。

通信作者: 邹专勇(1983—),男,教授,博士。主要研究方向为新型纱线加工技术。E-mail: zouzhy@usx.edu.cn。

关键成纱元器件结构优化与成纱工艺合理制定,从而有助于提高成纱强力。通过研究纤维线密度^[7]、牵伸比^[8]及其他参数(如可纺纱支、喷嘴气压、纺纱速度)^[7-9]对纱线结构与性能的影响可实现喷气涡流纺纱线强力的改善;也可利用空心锭子表面刻槽处理实现对自捻喷气涡流纺纱线加工,并提升喷气涡流纺纱线成纱强力,但空心锭子表面处理技术目前尚不具备产业化条件^[10-11];因此,本文基于热黏合原理,在喷气涡流纺纱线开发过程中引入低熔点纤维,然后对纱线进行热处理,利用低熔点纤维受热熔融,冷却后黏结的特点,提高纱线中纤维的抱合力,从而提高喷气涡流纺的成纱强力。该研究的开展将有助于深入理解低熔点纤维对喷气涡流纺纱的热黏合增强机制,为提高喷气涡流纺纱线强力提供新的研究思路。

1 试验部分

1.1 原料选用及原纱制备

表 1 示出粘胶、低熔点涤纶的规格与性能。将质量分数为 8% 的低熔点涤纶与 92% 的粘胶纤维通过开清棉工序进行原料混合,后经梳理(FA201B 梳

棉机)、并条(FA306 型并条机)、纺纱(MVS No.861)等流程获得 19.67 tex 粘胶/低熔点涤纶喷气涡流纺纱线。低熔点涤纶纤维的熔点为 110 ℃。喷气涡流纺主要工艺参数为:喷嘴气压 0.5 MPa、纺纱速度 350 m/min、纺锭到前罗拉的距离 19 mm。

表 1 原料规格与性能指标

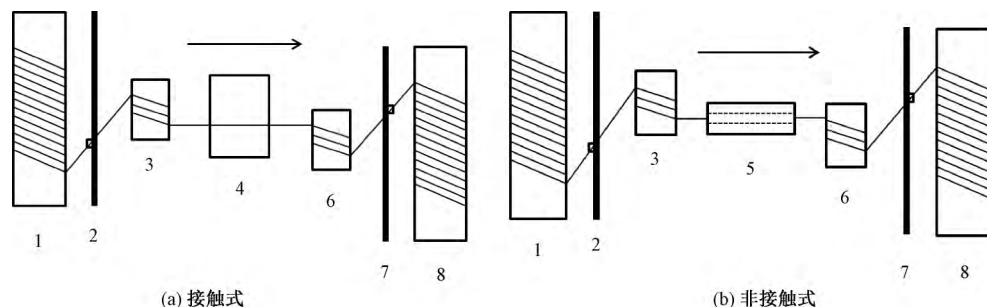
Tab.1 Material specifications and performance indicators

纤维种类	线密度/ dtex	长度/ mm	断裂强度/ (cN·dtex ⁻¹)	断裂伸长 率/%	弹性模量/ (cN·dtex ⁻¹)
粘胶	1.33	38	2.506	17.53	4.82
涤纶	2.22	51	5.24	31.78	10.01

1.2 纱线热处理方案设计

1.2.1 热处理方式选择

采用 DSM XPLORE 平牵机加热装置处理原纱,针对非接触与接触式 2 种热处理工艺方式,采用 *t* 检验方法比较热处理方式对断裂功影响的显著性。接触式方式下,纱线与热辊的接触角为 208°,接触长度为 14.521 cm,处理过程如图 1(a) 所示;非接触方式下,热空气通道长度为 30 cm,处理过程如图 1(b) 所示。其他工艺参数相同,其中热处理温度为 130 ℃,热处理速度为 300 mm/min,牵伸倍数为 1 倍。



1—纱筒; 2, 7—导纱器; 3—后牵伸辊; 4—热辊; 5—热空气通道; 6—前牵伸辊。

图 1 热处理工艺流程图

Fig.1 Heat treatment process flow chart. (a) Contact flow chart; (b) Noncontact flow chart

1.2.2 正交试验设计

基于非接触热处理方式下,以热处理温度、热处理速度、牵伸倍数为考察指标,考虑热处理温度与速度之间的交互作用,选择断裂功作为评价指标,设计 $L_9(3^3)$ 正交试验,研究热处理工艺对原纱热处理效果的影响,因素水平如表 2 所示。

表 2 因素水平表

Tab.2 Factor level table

水平	A 热处理温度/℃	B 热处理速度/(cm·min ⁻¹)	C 牵伸倍数
1	130	300	1.00
2	145	600	1.03
3	160	900	1.06

1.3 纱线结构观察与性能测试

1.3.1 纱线混纺比测定

采用化学成分分析法进行纱线混纺比测定,从试样中随机选取样品,根据 GB/T 2910.11—2009《纺织品 定量化学分析 第 11 部分:纤维素纤维与聚酯纤维的混合物(硫酸法)》进行测试,计算涤纶干态质量含量百分率 P :

$$P = \frac{100m_p d}{m} \times 100\%$$

式中: m_p 为经试剂处理后,低熔点涤纶纤维的干态质量 g ; d 为经试剂处理后,低熔点涤纶纤维质量变化的修正系数, d 值取 1; m 为预处理后,试样的干态质量 g 。

1.3.2 纱线形貌观察

纱线纵向结构外观采用 SNE-3000M 扫描电镜 (韩国 SERON 公司) 进行观察,制备样品过程采用 MCM-100 型溅射镀膜仪进行喷金处理。观察热处理前低熔点纤维在混纺纱的分布;观察经最佳工艺热处理后纤维之间的黏结形态。

1.3.3 断裂功测试

根据 GB/T 3916—1997《纺织品卷装纱单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定》,采用 Instron 3365 万能材料试验机,对纱线进行强伸性能测试。测试条件为:温度(20±2)℃,相对湿度(65±3)% ,夹持距离 500 m,拉伸速度 500 mm/min,测试 60 次取平均值。

2 结果与讨论

2.1 原纱混纺比与低熔点纤维分布

实测与理论的低熔点涤纶干态质量含量百分率分别为 8.78%和 8%。实测低熔点涤纶的干态质量含量百分率较理论值偏高,这可能是因为在梳理工序中,低熔点涤纶纤维的长度较长,落纤率较棉低,故纱线中低熔点涤纶的含量偏高。粘胶/低熔点涤纶喷气涡流纺原纱在不同放大倍数下的 SEM 照片如图 2 所示。

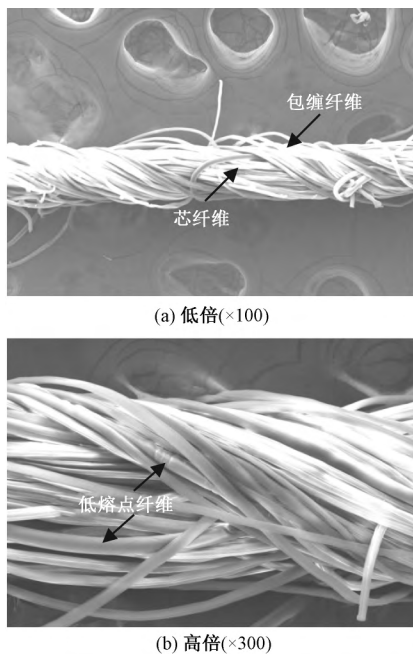


图 2 粘胶/低熔点涤纶喷气涡流纺原纱的 SEM 照片
Fig.2 SEM photos of viscose/low melting point polyester air jet vortex spinning original yarn. (a) Low magnification (×100); (b) High magnification(×300)

可知,低熔点涤纶的加入并未改变喷气涡流纺纱线的内外层包覆结构,低熔点涤纶纤维既存在于

包缠纤维中,也存在芯纤维中,较为理想地实现了纤维在纱线中的内外转移,原因在于低熔点纤维与粘胶纤维在开清棉工序得到了充分混合。

2.2 原纱热处理方式评估

T 检验是用于小样本的 2 个平均值差异程度的检验方法,是用 t 分布理论来推断差异发生的概率,从而判定 2 个平均数的差异是否显著。则非接触式方式与接触式方式的断裂功结果显著性差异可由下式求得

$$t = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sum x_1^2 + \sum x_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \times \frac{n_1 + n_2}{n_1 \times n_2}}}$$

式中: \bar{X}_1 为非接触式方式断裂功的平均值; \bar{X}_2 为接触式方式断裂功的平均值; n_1 为非接触式方式的次数; n_2 为接触式方式的次数, $n_1 = n_2 = 60$ 。

自由度为 59, $t(59)_{0.05} = 2.001$,根据公式计算得 $t = 2.672$, $t \geq t(59)_{0.05}$,因此非接触式方式较接触式方式断裂功结果更显著。

2.3 基于非接触方式的热处理分析

2.3.1 热处理结果及极差分析

表 3 示出正交试验结果及极差分析,各因素对断裂功的主次顺序为 A×B>A>C>B,最佳工艺配置为 A₂B₂C₃,即热处理温度为 145℃,热处理速度为 600 cm/min,牵伸倍数 1.06。

表 3 正交试验结果及极差分析

Tab.3 Results of orthogonal test and range analysis					
试验序号	A	B	A×B	C	断裂功/(N·mm)
1	1	1	1	1	86.545
2	1	2	2	2	91.369
3	1	3	3	3	89.443
4	2	1	2	3	92.680
5	2	2	3	1	88.253
6	2	3	1	2	88.798
7	3	1	3	2	84.205
8	3	2	1	3	87.105
9	3	3	2	1	88.862
K ₁	89.119	87.810	87.483	87.887	
K ₂	89.910	88.909	90.970	88.124	
K ₃	86.724	89.034	87.300	89.743	
R	3.186	1.224	3.670	1.856	

2.3.2 热处理工艺影响因素分析

根据试验指标平均值 K₁, K₂, K₃,可分析热处理工艺参数对断裂功的影响规律。

纱线断裂功随热处理温度的升高先增加后下降,这主要是因为热处理温度的增加,纤维大分子活动剧烈,低熔点涤纶纤维热熔加剧,熔融后与相邻的

粘胶纤维黏合能力增强,增加了纤维间的黏结点,纱线拉伸时纤维间摩擦抱合力提高,从而增加了纱线的断裂功。当温度上升到一定值后,占纱线主体的粘胶纤维受到热降解的作用,纤维强力破坏,从而造成纱线断裂功下降。

纱线断裂功随热处理速度的增大呈现上升趋势,引起这一现象的原因在于随着热处理速度的增加,纱线在热处理区停留的时间缩短,减少了温度对纱线主体的损伤^[12],从而使纱线断裂功提高。

随着牵伸倍数增大,断裂功提高可能存在 2 方面的原因:纤维在牵伸过程中受到外力出现抽拔,提高了纤维在纱线中的平直度,使纤维在拉伸中受力的纤维增多,纱线断裂功提高^[8];也可能是纤维的非结晶区大分子链在张力作用下排列更加规整,提高了纤维的结晶度和取向度,导致纱线断裂功提高^[13]。

2.3.3 最优热处理工艺验证

采用极差分析法获得的最佳工艺 $A_2B_2C_3$ 对纱线进行热处理,纱线热处理前后的性能指标见表 4 所示。由表可知:按最优热处理工艺处理原纱,纱线的断裂强力得到改善,断裂功较原纱提高 13%。

表 4 最佳工艺结果

Tab.4 Optimal process results

指标类型	断裂强力/N	断裂伸长率/%	弹性模量/ (cN·dtex ⁻¹)	断裂功/ (N·mm)
原纱	2.489	11.061	24.339	85.394
最佳工艺	2.809	11.339	25.321	96.534

将经过最优热处理工艺处理后的喷气涡流纺纱样品喷金后在电镜下扫描,得到的 SEM 照片如图 3 所示。可知,经热处理后喷气涡流纺纱线中低熔点纤维的黏结形态有 2 种典型形式,由图 3(a)可知,经热处理后,低熔点纤维受热软化变形;由图 3(b)可知,低熔点纤维受热熔融,与相接触的粘胶纤维实现点黏结,以上 2 种形式可有效提高纤维之间抱合力,减少纤维在牵伸过程中的滑移,从而提高强力和断裂功。

3 结 论

采用 T 检验法分析了非接触和接触式 2 种热处理方式对粘胶/低熔点涤纶喷气涡流纺纱的断裂功的差异,表明非接触式较接触式处理纱线有更好的热黏合增强效应;根据正交分析可知热处理工艺各因素对原纱的断裂功影响主次顺序为 $A \times B > A > C > B$,纱线断裂功随热处理温度升高,先增加后下降;随速度提高,呈上升趋势;随牵伸倍数的提高,断裂功显著提高;正交分析获得的最佳热处理工艺为热

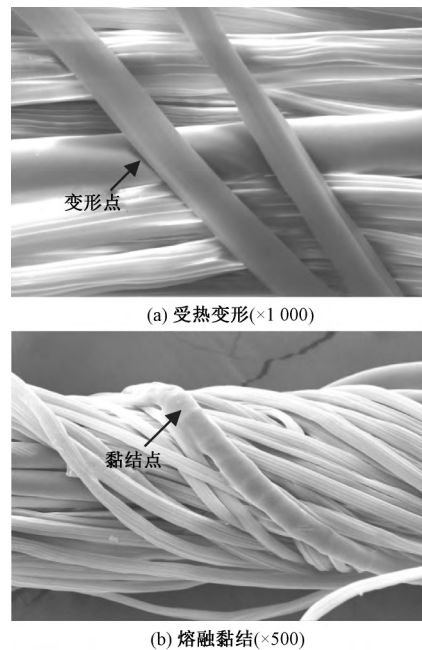


图 3 粘胶/低熔点涤纶喷气涡流纺纱线热处理后 SEM 照片
Fig.3 Typical SEM images of viscose/low melting point polyester air jet vortex spinning yarn after heat treatment. (a) Thermal deformation($\times 1000$); (b) Melt bond ($\times 500$)

处理温度 $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、热处理速度 600 cm/min 、牵伸倍数 1.06,处理后纱线断裂功提升 13%。

低比例的低熔点涤纶纤维引入喷气涡流纺纱线开发,不会改变喷气涡流纱结构,但通过热处理后,低熔点纤维软化变形或熔融黏结,可有效提高纤维之间的抱合力,从而提高纱线的强力及断裂功,降低后道纱线应用难度,拓展喷气涡流纺纱线的应用领域。 FZXB

参考文献:

- [1] BECEREN Y, NERGİS B U. Comparison of the effects of cotton yarns produced by new, modified and conventional spinning systems on yarn and knitted fabric performance [J]. Textile Research Journal, 2008, 78(4): 297-303.
- [2] ORTLEK H G, ONAL L. Comparative study on the characteristics of knitted fabrics made of vortex-spun viscose yarns [J]. Fibers and Polymers, 2008, 9(2): 194-199.
- [3] 邹专勇,俞建勇,薛文良,等.喷气涡流纺喷嘴内部三维流场的数值研究[J].纺织学报,2008,29(2): 86-89.
ZOU Zhuanyong, YU Jianyong, XUE Wenliang, et al. Numerical study of three-dimensional flow field inside the nozzle of air jet vortex spinning [J]. Journal of Textile Research, 2008, 29(2): 86-89.
- [4] LI M, YU C, SHANG S. Effect of vortex tube structure

- on yarn quality in vortex spinning machine [J]. *Fibers and Polymers* 2014 ,15(8) : 1786-1791.
- [5] 邹专勇,俞建勇,薛文良,等.喷气涡流纺工艺参数对气流场影响的数值计算[J].*纺织学报*,2008,29(4):32-36.
ZOU Zhuanyong, YU Jianyong, XUE Wenliang, et al. Numerical computation of flow field affected by process parameters in air jet vortex spinning machine [J]. *Journal of Textile Research*, 2008, 29(4): 32-36.
- [6] 陈洪立,李炯,金玉珍,等.空心锭结构参数对喷气涡流纺内流场的影响[J].*纺织学报*,2017,38(12):135-140.
CHEN Hongli, LI Jiong, JIN Yuzhen, et al. Influence of hollow spindle structure parameters on flow field of air jetvortex spinning [J]. *Journal of Textile Research*, 2017, 38(12): 135-140.
- [7] KUTHALAM E S, SENTHILKUMAR P. Effect of fiber fineness and spinning speed on polyester vortex spun yarn properties [J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2013, 21, 5(101): 35-39.
- [8] NAZAN Erdumlu, BULENT Ozipek. Effect of the draft ratio on the properties of vortex spun yarn [J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2010, 18(3): 38-42.
- [9] ORTLEK H G, ULKU S. Effect of some variables on properties of 100% cotton vortex spun yarn [J]. *Textile Research Journal*, 2005, 75(6): 458-461.
- [10] HAN C, XUE W, CHENG L, et al. Theoretical analysis of the yarn fracture mechanism of self-twist jet vortex spinning [J]. *Textile Research Journal*, 2017, 87(11): 1394-1402.
- [11] HAN C, XUE W, CHENG L, et al. Comparative analysis of different jet vortex spinning hollow spindle groove structures on yarn mechanism and yarn properties [J]. *Textile Research Journal*, 2016, 86(19): 2022-2031.
- [12] THILAGAVATHI G, MUTHUKUMAR N, KUMAR K V, et al. Physical and thermal comfort properties of viscose fabrics made from vortex and ring spun yarns [J]. *The Institution of Engineers (India): Series E*, 2016, 98(1): 65-70.
- [13] MONTSERRAT S, ROMAN F, COLOMER P. Study of the crystallization and melting region of pet and pen and their blends by TMDSC [J]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2003, 72: 657-666.