

文章编号: 1671-0444(2018)06-0916-05

网格圈负压式集聚纺须条半自由端加捻模型

傅 婷, 陈南梁

(东华大学 纺织学院, 上海 201620)

摘要: 针对网格圈负压式集聚纺集聚区须条存在附加捻度的现象, 提出了“半自由端加捻”模型, 即集聚区须条表面存在部分自由端纤维, 在气流等作用下对主体纤维进行包缠加捻, 形成皮芯结构。在此基础上建立了自由端单纤维运动模型, 通过数值求解得到其运动轨迹, 进而可以分析集聚区须条的加捻情况。通过对比计算值与试验值, 验证了半自由端加捻模型的正确性, 同时也完善了纺纱的加捻理论。

关键词: 集聚纺; 半自由端加捻; 模型; 皮芯结构

中图分类号: TS 104. 77

文献标志码: A

Semi-Open-End Twist Model of Fiber Strand in the Condensing Zone in Pneumatic Compact Spinning with Lattice Apron

FU Ting, CHEN Nanliang

(College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: The semi-open-end twist insertion model was proposed for the existence of additional twist of fiber strand in the condensing zone in pneumatic compact spinning with lattice apron. It is believed that there are some open-end fibers on the surface of the fiber bundles, and major fibers are wrapped by them under the action of airflow, so as to form a skin-core structure. On this basis, the model of open-end single fiber motion is established, and the motion trajectory can be obtained by numerical solution, and then the twisting situation of the strip is analyzed. Through the comparison between calculated values and experimental values, the correctness of the semi-open-end twist insertion model is verified, and the twisting theory of the spinning is also enriched.

Key words: compact spinning; semi-open-end twist insertion; model; skin-core structure

网格圈负压式集聚纺纱的实践表明, 在同等工艺条件下, 使用同种原料纺制相同线密度的纱线时, 集聚纱的捻度比环锭纱的捻度高 3%~10%。前期研究^[1-3]认为集聚区须条同时存在假捻和真捻。杨兴等^[1]率先提出将增加的捻度称之为附加捻度。周

水平等^[4-5]对附加捻度进行了研究, 结果表明该附加捻度的数值与纤维原料、集聚负压、集聚斜槽的长度及倾斜角度等有关。经典的加捻理论认为环锭纺的加捻属于典型的非自由端加捻, 集聚纺与环锭纺的加捻方式是一致的, 两者的区别在于集聚纺在环锭

收稿日期: 2017-06-05

作者简介: 傅 婷(1980—), 女, 上海人, 助理研究员, 博士研究生, 研究方向为新型纺纱技术, E-mail: ft@dhu.edu.cn

陈南梁(联系人), 男, 教授, E-mail: nlch@dhu.edu.cn

纺的前罗拉输出处增加了一个集聚区。按照非自由端加捻理论,集聚区须条加捻处应该是假捻而非真捻。关于附加捻度形成机理的研究并不多,杨建平^[6]对集聚区的气流流动进行了建模研究,分析了负压、集聚槽等对气流分布的影响,但是未对纤维的运动进行分析。Wang等^[7]建立了集聚区的流场模型,并分析了纤维的运动轨迹,但没有说明附加捻度产生的机理。杨建平^[8]提出了半自由端加捻模型,认为在集聚区须条存在打滑现象,因而在假捻过程中会产生捻度差异,形成所谓的附加捻度,但是仍没有清晰地解释附加捻度的形成原因。陆宗源^[9-10]提出了表层半开端加捻的模式,认为须条表面有部分纤维在气流的作用下发生加捻,但也未进行理论分析和试验验证。本文对网格圈负压式集聚纺集聚区须条进行分析,提出了半自由端加捻机理,并对单纤维进行运动建模和求解,最后进行试验验证,为附加捻度的形成和集聚机理提供依据。

1 须条半自由端加捻机理

集聚区须条两端被握持,从形式上看属于典型的非自由端加捻,而实际上须条在集聚管上因摩擦而出现的加捻属于假捻,因此对成纱捻度几乎无影响。然而附加捻度的存在表明在集聚区上须条的确是有真捻产生的。受喷气纺包缠加捻模式的启发,本文认为集聚区的须条可以分为两部分:一是须条的表层纤维,其一端被钳口握持或被其他纤维控制,另一端则呈自由状态;二是须条的主体纤维,其两端均处于被握持或被控制的状态。在不考虑假捻的情况下,集聚纺中具有自由端的表层纤维在气流等的作用下对主体纤维须条进行了包缠加捻,从而使得须条从扁平状集聚为近似圆柱状。这样的须条结构再经过钢领钢丝圈加捻,最终形成集聚纱。

集聚区须条的加捻可认为是半自由端加捻,其模型示意图如图1所示。表层纤维呈自由端状态,在气流的作用下表层自由端纤维包缠主体纤维形成捻度;而主体纤维仍然呈非自由端状态,在不考虑假捻情况

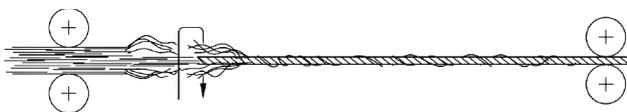


图1 集聚区须条半自由端加捻模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the semi-open-end twisting insertion model of fiber strand in the condensing zone

下,其应该呈无捻状态,因此纱线结构呈现为皮芯结构。集聚区须条皮芯结构效果图如图2所示。



图2 集聚区须条皮芯结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the skin-core structure of fiber strand

进一步需要讨论的问题有两个:一是须条中具有自由端的表层纤维是如何包缠内层主体纤维的,加捻程度如何;二是皮芯结构中,表层自由端纤维与内层主体纤维的比例究竟是如何分配的。本文主要讨论第一个问题。

2 单根纤维半自由端运动模型

纤维在集聚区的运动和受力情况十分复杂。前人的研究基本以须条整体或微元段为对象^[11-12],展现的是须条的宏观特性。本文以集聚区须条中具有自由端的纤维为研究对象,在直线型集聚槽上进行建模分析。

自由端纤维的一端被钳口或者其他纤维所握持,另一端在气流的作用下运动。由于纤维在流场中的运动十分复杂,为简化计算,假定单纤维由一串一定质量的球体组成,每个球体的直径即为纤维截面的直径,计算单个纤维球体在坐标体系的三维坐标值,即可近似得出纤维的运动轨迹。

每个纤维球的质量 m_f 为

$$m_f = \frac{4}{3} \pi \rho_f \left(\frac{d_f}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6} \rho_f d_f^3 \quad (1)$$

式中: ρ_f 为纤维线密度; d_f 为纤维直径。

由纤维的一端受须条握持和另一端在空气中自由运动可知,纤维主要受空气阻力和须条握持力的作用,单个纤维球体的受力状况也是如此。自由端纤维球受力分析图如图3所示,建立 $Oxyz$ 坐标系,须条运动方向与网格圈运动方向形成的夹角为 β ,须条运动方向与斜槽方向相一致。集聚斜槽与集聚管垂直面的夹角也为 β 。

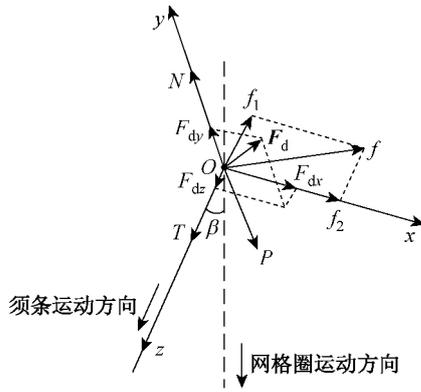


图 3 集聚区纤维的受力分析图

Fig 3 Force diagram of the fiber in the condensing zone

2.1 空气阻力

空气阻力 F_d 如式(2)所示。

$$F_d = \frac{1}{2} C_D \rho_a A_f (v_a - v_f) |v_a - v_f| \quad (2)$$

式中: C_D 为空气阻力系数; ρ_a 为空气密度; A_f 为纤维球正对来流的最大截面积; v_a 为空气速度; v_f 为纤维球体速度。

空气阻力系数 C_D 是与雷诺数相关的常数, 由式(3)可得。

$$C_D = \begin{cases} \frac{24}{Re} & Re \leq 1 \\ \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}} & 1 \leq Re \leq 100 \\ \sigma & Re \geq 100 \end{cases} \quad (3)$$

式中: σ 为介于 0.40~0.45 之间的常数。

雷诺数 Re 定义为

$$Re = \frac{d_f |v_a - v_f|}{\mu} \quad (4)$$

式中: μ 为空气运动黏度。

在笛卡尔坐标系 $Oxyz$ 中, 将空气阻力分解为 x, y, z 3 个方向的分力, 分别为

$$F_{dx} = \frac{\pi}{8} d_f^2 C_{Dx} \rho_a (v_{ax} - v_{fx})^2 \quad (5)$$

$$F_{dy} = \frac{\pi}{8} d_f^2 C_{Dy} \rho_a (v_{ay} - v_{fy})^2 \quad (6)$$

$$F_{dz} = \frac{\pi}{8} d_f^2 C_{Dz} \rho_a (v_{az} - v_{fz})^2 \quad (7)$$

2.2 须条握持张力

T 表示纤维受到须条握持力, 即集聚须条在运动方向上所受到的张力(N); f_1 为集聚须条在 z 轴方向受到的摩擦力(N); f_2 为集聚须条在 x 轴方向

受到的摩擦力(N); f 为集聚须条受到的总摩擦力(N); N 为网格圈对集聚须条单位面积上的法向支持力(N); P 为集聚须条受到集聚气流的作用力(N); p 为集聚气流的压强(Pa)。

沿 z 轴方向取力的平衡方程式, 可得

$$T = f_1 \quad (8)$$

沿 y 轴方向上取力的平衡方程式, 可得

$$N = p \times A_s \quad (9)$$

式中: A_s 为须条受压面积。

集聚区中纤维受到的摩擦力的分解示意图如图 4 所示, 其中, $v_{纤维}$ 为须条运动速度, $v_{网}$ 为网格圈运动速度, Δv 为合速度。

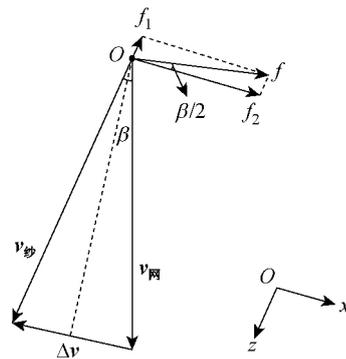


图 4 集聚区纤维受到的摩擦力分解示意图

Fig 4 Schematic diagram of factorization of frictional force on fiber in the condensing zone

根据图 4 中摩擦力的分解示意图, 可得总摩擦力 f 与 f_1 的关系为

$$f_1 = f \times \sin \frac{\beta}{2} \quad (10)$$

又

$$f = \mu_f N \quad (11)$$

根据式(8)~(11)可得

$$T = \mu_f p A_s \sin \frac{\beta}{2} \quad (12)$$

因此, 根据牛顿第二定律, 可得一端受握持的纤维球在空气中的运动方程为

$$\begin{cases} m_f \frac{d^2 x_f}{dt^2} = F_{dx} \\ m_f \frac{d^2 y_f}{dt^2} = F_{dy} \\ m_f \frac{d^2 z_f}{dt^2} = F_{dz} + T \end{cases} \quad (13)$$

式中: (x_t, y_t, z_t) 为纤维在 t 时刻的位置。

2.3 计算方法与步骤

(1) 给定初始时刻($t=0$)时,纤维球的初始速度和初始位置,集聚斜槽的倾斜角度 β ,须条受压面积 A_s ;

(2) 根据式(3)~(7)计算得到纤维球所受到的空气阻力;

(3) 根据式(8)~(12)计算得到纤维球所受到的须条握持力;

(4) 根据式(1)和(13)计算得到纤维球在 $t+\Delta t$ 时刻的位置;

(5) 重复步骤(2)~(4),可求得纤维球随时间发展的运动轨迹。

3 模拟结果分析与验证

本文以纺制线密度为 15.3 tex 的棉集聚纱为例进行计算和验证,相关参数如下:棉纤维线密度为 0.18 tex,棉纤维直径为 20 μm ,棉纤维体积密度为 $1.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,流场分布以文献[6]的方法计算获得。纺纱的其他工艺参数如表 1 所示。

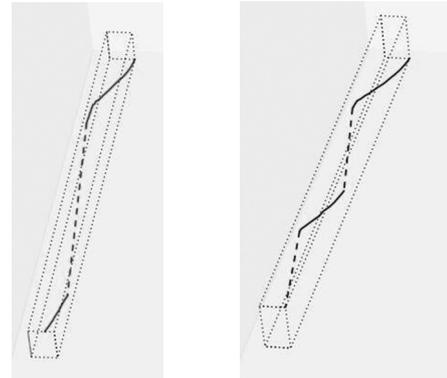
表 1 纺纱工艺的参数设计
Table 1 Parameters design of spinning process

参数名称	具体指标
粗纱定量/($\text{g} \cdot (10\text{m})^{-1}$)	4.8
细纱线密度/tex	15.3
捻度/(捻 $\cdot \text{m}^{-1}$)	818
锭速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	11 000
总牵伸倍数	31.4
纺纱速度/($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	13.45
捻向	Z
集聚负压/Pa	2 000
集聚槽倾斜角度/ $^\circ$	5 或 10
集聚槽长度/mm	20

需要说明的是,表 1 中集聚槽的倾斜从上往下为向右倾斜,即呈“/”状,其附加捻度为 Z 捻,与成纱捻向是一致的,因而成纱的最终捻度是增加的。从以上分析可以看出,捻向与集聚槽倾斜方向有关。

按照第 2 节所述的模型和计算方法,得到单根自由端纤维的运动轨迹如图 5 所示。从图 5 中可以看出集聚槽倾角分别为 5° 和 10° 时自由端纤维的运动轨迹。根据捻度的定义,即须条在单位长度的捻回数可知,由于须条上存在捻回传递,每一段的捻度可能存在差异,故本文依据轨迹得到的第一个捻回对应的须条长度进行捻度计算,可以得出集聚槽倾

角分别为 5° 和 10° 时其第一个捻回对应的长度分别为 16 和 12 mm,因此其附加捻度的计算值分别为 62.5 和 83.3 捻/m。



(a) 集聚槽倾角为 5° (b) 集聚槽倾角为 10°

图 5 自由端纤维在集聚区的轨迹图

Fig 5 Schematic diagram of the trajectories of open-end fiber

按照表 1 的条件,采用集聚槽倾角为 5° 的集聚管进行纺纱验证,实际得到的附加捻度为 50 捻/m,可见计算值与试验值还是比较吻合的。当然还有一定的数值差距,本研究认为可能存在的原因有:(1) 附加捻度应该与自由端纤维的根数有关;(2) 用某一个纤维球体在坐标体系的运动轨迹来表示与实际有一定差异,需要进一步细化纤维的模型。但是总体而言,本文模型可以解释集聚区须条的半自由端加捻,并能够很好地分析附加捻度的形成机理,为深入研究集聚机理提供依据。

4 结论

(1) 本文提出了网格圈负压式集聚纺“半自由端加捻”模型,认为集聚区须条表面存在部分自由端纤维,在气流等作用下,表层纤维对主体纤维进行包缠加捻,形成皮芯结构。该模型解释了附加捻度的形成机理。

(2) 对单根自由端纤维进行力学建模及运动学分析,并可通过计算单个纤维质量球体的三维坐标值近似得到纤维运动轨迹。通过模拟计算结果与试验值的对比分析,验证了模型的正确性。

参考文献

- [1] 杨兴,汪军,杨建平. 集聚纺集聚区须条的运动分析[J]. 东华大学学报(自然科学版),2003,29(5):1-4.
- [2] 马健,徐伯俊. 附加捻度对亚麻棉混纺紧密纱性能的影响[J]. 棉纺织技术,2007,35(11):641-645.
- [3] 杨建平,傅婷,汪军. 网格圈负压式集聚纺集聚须条附加捻度传递长度研究[J]. 东华大学学报(自然科学版),2011,37(5):

- 573-578.
- [4] 周水平, 汪军, 杨建平. 集聚纺集聚区须条变截面部分的力学分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 20-23, 32.
- [5] 周水平, 汪军, 杨建平. 集聚纺集聚区须条等截面部分的力学分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(3): 10-14.
- [6] 杨建平, 裴泽光, 汪军. 集聚纺集聚区气流流动规律及集聚效果的数值研究[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2011, 37(3): 310-316.
- [7] WANG Y, HUA Z H, CHENG L H, et al. Simulation and analysis of fiber motion in condensing zone of compact spinning with lattice apron[J]. Journal of Donghua University (English Edition), 2010, 27(5): 600-605.
- [8] 杨建平, 傅婷, 汪军. 网格圈负压式集聚纺集聚区须条半自由端加捻机制[J]. 纺织学报, 2011, 32(10): 37-41.
- [9] 陆宗源. 集聚纺气流集束原理和纱线结构-纤维集束运动学初探[J]. 纺织器材, 2012, 39(5): 1-4.
- [10] 陆宗源. 从立达集聚纺导流器的演变分析集聚纺纱原理[J]. 棉纺织技术, 2016, 44(4): 75-79.
- [11] WANG J, YANG J P, BU H G, et al. Mechanical analysis on changing cross-sectional segment of fiber band in condensing zone in compact spinning[J]. Journal of the Textile Institute, 2009, 100(5): 451-456.
- [12] YANG J, WANG J, BU H, et al. Mechanical analysis on constant cross-section segment of fiber band in condensing zone during compact spinning[J]. Journal of the Textile Institute, 2012, 103(2): 117-123.

(责任编辑: 杜 佳)

(上接第 908 页)

确反映试样的长度信息。

(3) 8 种原棉试样的试验结果证明, 基于 Wu-Wang 算法得到的须丛曲线与 AFIS 数据换算的须丛曲线高度吻合, 从而证明了 Wu-Wang 算法在棉须丛曲线计算中具有很高的准确性。

参 考 文 献

- [1] 李汝勤, 宋钧才, 黄新林. 纤维与纺织品测试技术[M]. 上海: 东华大学出版社, 2015: 9-30.
- [2] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 64-68.
- [3] KROWICKI R D, THIBODEAUX P D, DUCKETT K E. Generating fiber length distribution from the fibrogram[J]. Textile Research Journal, 1996, 66(5): 306-310.
- [4] 蒋素婵, 来侃, 王晓东, 等. 纤维长度测试中取样方法的比较研究[J]. 西北纺织工学院学报, 2001, 15(2): 245-248.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 棉纤维长度试验方法第 1 部分——罗拉式分析法: GB/T 60981—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [6] American Society for Testing and Materials. Standard test methods for length and length distribution of cotton fibers (Array Method): ASTM D1440 - 90 [S]. US: ASTM International, 1990.
- [7] 赵卫红, 竺林. 常用棉纤维长度试验方法的探讨[J]. 中国棉花加工, 2004(1): 34-42.
- [8] BRAGG C K, SHOFNER F M. Rapid direct measurement of short fiber content[J]. Textile Research Journal, 1993, 63(3): 171-176.
- [9] CAI Y Y, CUI X L, RODGERS J. An investigation on different parameters used for characterizing short cotton fibers [J]. Textile Research Journal, 2011, 81(3): 239-246.
- [10] 曹小红, 李新, 刘琳. 浅析 HVI、罗拉仪、AFIS 测试棉纤维长度及短纤率指标[J]. 中国纤检, 2009(9): 74-77.
- [11] CUI X L, TIMOTHY A, CALAMARI. An investigation of cotton fiber lengths measured by HVI and AFIS[J]. Tenth EFS System Research Forum, 1997, 12(5): 6-7.
- [12] CUI X L, THIBODEAUX D, ROBERT K, et al. A study to improve the measurement of cotton length distribution from a fiber beard[C]// Proceedings of the 2007 Beltwide Cotton Conference. 2007.
- [13] 王府梅, 吴红艳. 一种纤维长度快速低成本测量方法: CN 102645166A[P]. 2012-08-22.
- [14] 吴美琴, 王府梅. 纤维层面密度的光学新算法[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2016, 42(6): 827-834.
- [15] 吴美琴, 陈雪飞, 李世朋, 等. 基于 W-W 算法的须丛曲线准确度考察[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 36-43.
- [16] 金敬业. 基于双端须丛影像法测量系统的短纤维含量与长度分布算法研究[D]. 上海: 东华大学纺织学院, 2017: 36.
- [17] 李汝勤, 宋钧才. 纤维和纺织品的测试原理与仪器[M]. 上海: 中国纺织大学出版社, 1995.
- [18] ZEIDMAN M I, BATRA S K, SASSER P E. Determining short fiber content in cotton part I: Some theoretical fundamentals[J]. Textile Research Journal, 1991, 61(1): 21-30.
- [19] 刘若华. 原棉短纤维含量的测试方法研究[D]. 上海: 东华大学纺织学院, 2002: 96.
- [20] 国家技术监督局. 纺织纤维短纤维长度和长度分布的测定——单纤维测量法: GB/T 16257—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(责任编辑: 徐惠华)