

DOI: 10. 13475/j.fzxb.20181100405

## 集聚纱的分层结构与集聚机制

傅 婷, 张玉泽, 王 姜, 陈南梁

( 东华大学 纺织学院, 上海 201620)

**摘 要** 为解释集聚纺存在的附加捻度现象而与经典非自由端加捻理论相悖的问题, 提出了集聚须条具有表层自由端纤维和主体非自由端纤维的分层结构。采用超景深三维数码显微镜观测集聚纱与环锭纱退捻后存在的差异, 证明集聚区须条分层结构设想的合理性。对集聚区须条进行取样并在显微镜下观察发现, 存在自由端纤维对非自由端纤维包缠加捻的现象。据此提出集聚纺半自由端加捻模型, 即负压通过网格圈对主体非自由端纤维起到吸附作用, 而负压与集聚槽配合使表层自由端纤维对主体纤维进行加捻作用, 形成集聚须条的分层结构从而产生了附加捻度, 为集聚机制的阐述提供理论依据。

**关键词** 集聚纺; 半自由端加捻; 分层结构; 集聚机制

中图分类号: TS 104. 77 文献标志码: A

## Core structure and condensing mechanism of compact spun yarn

FU Ting, ZHANG Yuze, WANG Jiang, CHEN Nanliang

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

**Abstract** In order to explain the additional twist phenomenon of the compacted spinning and the contradiction with the classical non-open end twisting theory, the core structure of the open-end fibers and non-open-end fibers of the main body was proposed. The three-dimensional digital microscope was used to observe the structural differences between the compact spun yarn and the ring spun yarn after the untwisting, which indicated that the core structure of the fibers in the condensing area is reasonable. The fibers samples in the condensing area were observed using the microscope, and a phenomenon in which the non-open-end fibers were wrapped by the open-end fibers was found. Hereby, the semi-open end twisting model of the fibers in condensing zone was established, that is, the negative pressure acts on the non-open end fiber of the main body via the lattice apron, the negative pressure and the collecting groove in combination to apply the open end fibers twisting effect on the main fibers. The formation of the core structure of condensing fibers results in the additional twist, which provides a theoretical basis for the condensing mechanism.

**Keywords** compact spinning; semi-open end twisting; core structure; condensing mechanism

网格圈负压式集聚纺纱应用实践表明, 在相同工艺条件下, 与环锭纱相比, 集聚纱的捻度高 3% ~ 10%, 这个现象被称为附加捻度<sup>[1-3]</sup>。目前业内对网格圈负压式集聚纱存在附加捻度是有共识的, 但是对其形成的机制尚无非常合理的解释, 尤其是缺乏能够定量计算的模型。

汪军等<sup>[4-5]</sup>、周水平等<sup>[6-8]</sup>拓展和完善了集聚区

须条附加捻度的力学模型。杨建平等<sup>[9-10]</sup>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, 因而在假捻过程产生捻度差异, 形成附加捻度。陆宗源<sup>[11]</sup>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加捻, 但未有理论分析和试验验证。基于此, 本文提出了集聚纱的分层结构, 通过分析和试验证实分层结构, 进而对集聚机

收稿日期: 2018-11-01 修回日期: 2018-11-14

基金项目: 教育部科学技术研究重点(重大)项目(113037A)

第一作者: 傅婷(1980—), 女, 助理研究员。主要从事集聚纺纱方面的研究。

通信作者: 陈南梁(1962—), 男, 教授, 博士。主要研究方向为产业用纺织品应用技术。E-mail: nlch@dhu.edu.cn。

制进行阐述,为集聚纺机制的研究提供理论支持。

### 1 集聚区须条分层结构模型

集聚区须条两端被握持,属典型的非自由端加捻,须条在集聚管上的摩擦只是假捻,对成纱捻度几乎无影响。但附加捻度的客观存在又表明在集聚区上须条确实有真捻产生。受喷气纺包缠加捻模式的启发,本文将集聚区须条分为 2 部分:第 1 部分是须条的表层纤维,其一端被钳口握持或其他纤维控制,另一端则呈自由状态,即为自由端纤维;第 2 部分则是须条的主体纤维,其两端均处于被握持或控制的状态,可以称为芯纤维。集聚纺纱时,在不考虑假捻情况下,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,从而使须条从扁平状集聚为近似圆形状,如图 1 所示。这样的须条结构再经过环锭纲领钢丝圈加捻,最终形成集聚纱。



图 1 集聚区须条分层结构示意图  
Fig.1 Schematic diagram of core structure of condensing zone

假设图 1 中的集聚区须条的结构成立,则需要建立新的加捻模型才可以进行解释,本研究认为:主体芯纤维仍然呈非自由端状态,在不考虑假捻情况下,其在集聚区应该是无捻状态;表层纤维为自由端状态,在气流的作用下包缠主体纤维,形成一定程度的捻度。所谓半自由端加捻,是指在罗拉牵伸的条件下,须条呈两相结构,由主体的芯纤维和表层自由端纤维组成,表层自由端纤维在气流等的作用下,对芯纤维形成包缠或缠绕的加捻方式,如图 2 所示。



图 2 集聚区须条半自由端加捻模型示意图  
Fig.2 Schematic diagram of semi-open end twisting model of condensing zone

环锭纱的部分毛羽(可以认为是自由端纤维)、尤其是长毛羽均因在集聚区的半自由端加捻而成为纱线内的纤维。从宏观的角度看,集聚纱与环锭纱相比,最大的差异在于环锭纱上绝大多数毛羽进入纱体内部而不再成为毛羽,成为集聚纱;因此可以提出半自由端加捻模型须具备的条件是:1) 须条主体需要被控制,即两端被握持;2) 自由端纤维应该通过气流或机械等作用,使其对主体芯纤维进行包缠加捻。

### 2 集聚纱分层结构试验验证

#### 2.1 测试方法

纱线分层结构,典型的如转杯纱、喷气涡流纱,一般是通过退捻后照片或者退捻后将表层纤维去除后观测内层纤维,对于集聚纱来说,自由端纤维数量不多,因此将集聚纱通过退捻后在显微镜下观察,很难看清表层和里层的区别。为此本文采用超景深三维数码显微镜 VHX-5000(基恩士公司),通过焦距变化从须条的底层开始分层观测并拍照,从而可以观察表层和里层的捻度差异。

超景深三维数码显微镜 VHX-5000 下缓慢调整上下位置,按照操作盘上的旋钮,先将焦距往小的方向调至视野的图像由清晰转为模糊,然后将焦距往大的方向调整,可分别拍摄系列照片。试验中确定好基准位置后先拍摄 1 张,然后以 100 μm 的间隔分别拍摄 4 个位置,最后将 5 张照片采用该系统的三维合成技术整合为一张照片。距离间隔可根据纱线线密度进一步调整。

#### 2.2 集聚纱分层结构测试结果与分析

将实验室纺制的 19.4 tex 集聚纱采用捻度测试仪手动解捻至无捻或接近无捻状态,然后在 VHX-5000 下按上述方式拍照,结果如图 3 所示。图 3(a) 为基准位置拍的照片;图 3(b)~(e) 分别是焦距增大 100、200、300 和 400 μm 时的照片;图 3(f) 则是上述 5 张照片的合成的图像。

由图 3 可知,图 3(a) 图片中纱线整体是模糊的,图 3(b) 出现了与纱线轴向平行的纤维,图 3(c) 平行纤维继续增加,图 3(d) 出现了 Z 向加捻的倾斜纤维,图 3(e) 是最外层的 Z 向加捻纤维减少;图 3(f) 是将前面 5 张整体合成的照片。按照顺序依次可见内层的纤维平行于纱轴方向,外层的纤维有部分倾斜,这可证实图 3 中的纱线结构是分层的,即纱的内层与外层的捻度是存在差异的。对于集聚纱的进行多次观测结果可重现。图 4 示出环锭纱退捻的照片,与图 3 比较须条没有分层结构。

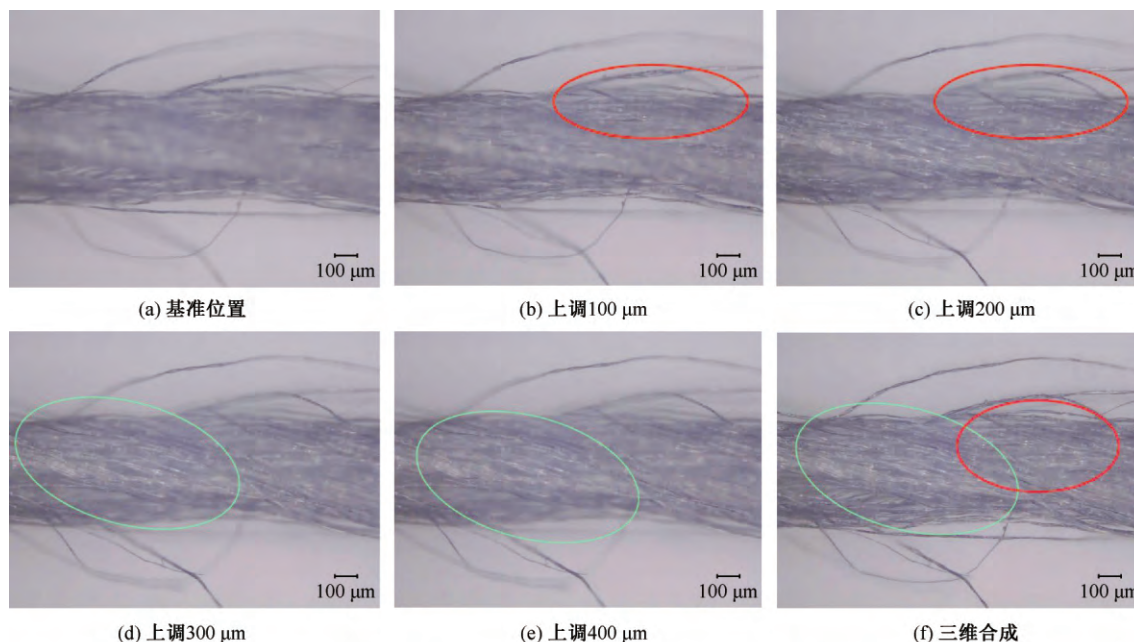


图 3 19.4 tex 集聚纱退捻照片

Fig.3 Untwisting of 19.4 tex compact spun yarn. ( a ) Reference position; ( b ) Up to 100  $\mu\text{m}$ ; ( c ) Up to 200  $\mu\text{m}$ ; ( d ) Up to 300  $\mu\text{m}$ ; ( e ) Up to 400  $\mu\text{m}$ ; ( f ) 3-D synthesis

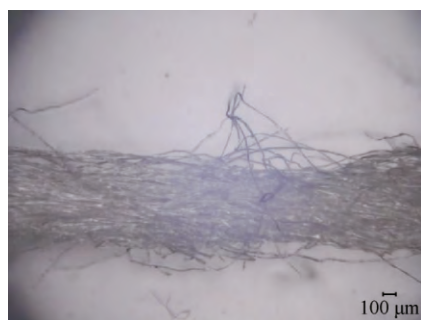


图 4 环锭纱解捻后的形貌

Fig.4 Untwisting of ring spun yarn

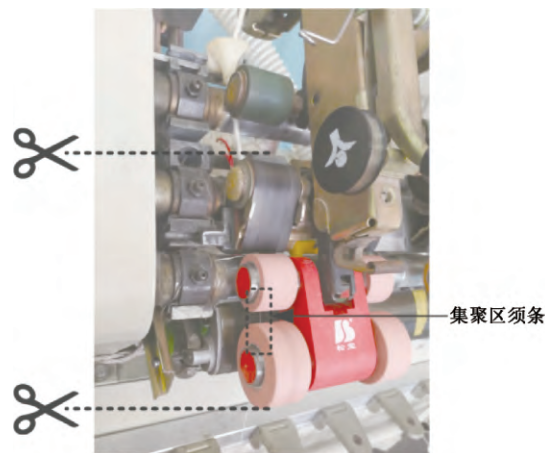


图 5 集聚区须条的取样方法示意图

Fig.5 Schematic diagram of sampling method of condensing zone

### 3 自由端纤维加捻试验验证

#### 3.1 取样试验设计

为验证集聚区须条存在真捻,须进行试验设计取样观察。本文对集聚区须条取样,在显微镜下观测和拍照,然后对照片进行后期的分析与处理,方法如图 5 所示。取样的步骤为: 1) 正常纺纱,准备好剪刀; 2) 在图中所示的 2 个位置同时剪断纱线和须条,与此同时抬起摇架,关停细纱机; 3) 在集聚区找到须条,用剪刀将上下多余粗纱须条和纱线剪除,用镊子小心夹住须条下端成纱的部位,放置在载玻片上,用火棉胶涂均匀固定须条; 4) 样品制作完毕,准备观测与拍照。

考虑到如果须条的线密度比较小的话,其纤维根数很少,难以制样,因此实际取样时纺纱的线密度是 58.3 tex,集聚负压为 2 000 Pa,分别对集聚直线

形倾斜角 5°、无集聚负压等情况取样分析。部分样品制作实物如图 6 所示。

#### 3.2 测试结果与分析

图 7 示出直线形集聚斜槽 5°情况制样进行拍摄得到的须条照片,从图中可清晰分辨出部分纤维的倾斜情况,可见须条整体上有明显捻回。

图 8 示出有集聚和无集聚情况下须条的比较情况。图 8(a)即为图 7 的样品,图 8(b)示出在纺纱时集聚区负压为零的情况,二者的差异是显而易见的,图中集聚须条捻回清晰可见,且须条直径整体较小;而且在同样区域的须条基本没有捻回,须条呈发散状,直径较大。这就可以证明集聚区须条的捻



图 6 制作的样品实物照片  
Fig.6 Photo of produced sample



图 7 集聚斜槽 5°集聚须条照片(×200)  
Fig.7 Photo of gathering strip with 5°condensing slot (×200)

度的确存在,同时可以也验证集聚区半自由端加捻的合理性和正确性。

与集聚槽长度匹配取集聚区须条长度为 20 mm,从图中可以观察须条加捻的情况,确定一个完整捻回的长度。图 8(a) 中的一个捻回的长度是 12.1 mm。

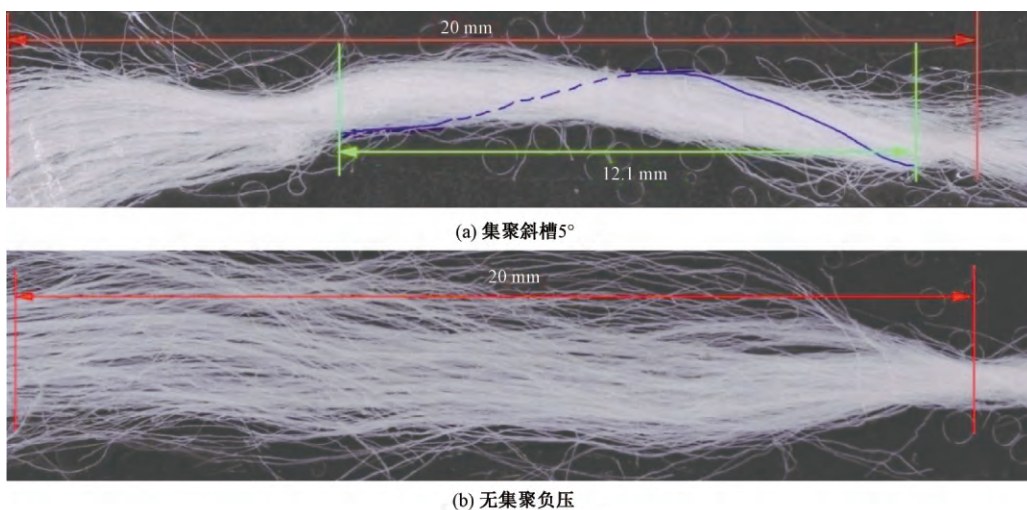


图 8 集聚须条照片(放大 200 倍)

Fig.8 Photos of gathering strip (×200). (a) Condensing slot with 5; (b) Without negative pressure

#### 4 集聚机制

集聚纺要解决的主要问题是环锭纱毛羽较多的难题,环锭纺中毛羽很大程度上产生于加捻三角区,实质问题是纤维内外转移张力不一致,导致纤维一头在纱体内,一头形成毛羽。因此毛羽本质上可认为是自由端纤维,如何将自由端纤维不再“自由”是减少毛羽的关键,无论是采用机械还是气流方式进行集聚,现象上是将须条“先集聚、后加捻”,并如何处理这些自由端纤维的问题。充分认识和了解这个问题,对集聚机制的解释和集聚纺技术的提升发展是有重要作用的。

对于自由端纤维的处理,纺纱方式起着很重要的作用,喷气涡流纺的毛羽极少,这与其成纱机制密切相关。对于集聚纺而言,其核心问题也是对毛羽的处理方式。从机制上而言,对于自由端纤维最好的处理方式有 2 个方法: 1) 将其转移到纱的内部,使其被控制,成为被控制的非自由端纤维; 2) 将其加捻,通过螺旋轨迹使其成为纱体的一部分。2 种方法的本质是一样的,即将自由端纤维变成受控的非自由端纤维。但是第 1 种方法存在一些问题,比如外层的非自由端纤维转移进入纱体内层成为非自由端纤维,而内层也会有纤维被转移出来,到外层形成新的自由端纤维,传统环锭纺的纺纱三角区就存在这样的现象。第 2 种方法是目前常见的集聚纺,以网格圈式集聚纺为例,其集聚槽有一定的倾斜角,这个角度是为了更好地是将自由端纤维形成螺旋状加捻形态。

此外,有一些文献曾研究过用喷嘴对纱线或须条进行作用来减少毛羽,但是真正的效果并不是太



好,主要的原因是自由端纤维和非自由端纤维可能一起回转形成假捻,成纱后又恢复成自由端纤维。因此对于集聚纺而言,比较理想的作用方式是须条非自由端的主体纤维被气流或其他方式控制,而自由端纤维则可以围绕主体纤维进行加捻,形成内外分层结构。

集聚槽的集聚机制可以认为是在集聚区域,须条被分为2部分:主体纤维被气流吸附在网格圈上成为非自由端纤维,一端被握持另一端自由的自由纤维。负压通过网格圈对纤维主体进行吸附作用,而负压与集聚槽配合作用使表层自由端纤维对主体纤维形成加捻作用。根据初步估算,表层自由端纤维的数量在2%~7%之间,剩余的就是内层的非自由端纤维。按截面纤维计,自由端纤维只有几根,但是起到的作用还是很大的。

## 5 结论

本文对网格圈负压式集聚纺集聚区须条的半自由端加捻进行了研究,得出如下结论。

1) 提出集聚区须条呈分层的结构,内部为两端受握持的主体芯纤维,表层存在一端被握持的自由端纤维;自由端纤维在集聚槽和负压的作用下,围绕主体纤维进行加捻,即为集聚区须条的半自由端加捻机理。

2) 通过超景深三维数码显微镜的分层显示与拍摄,验证了提出的集聚纱分层结构的正确性。

3) 明确了集聚机制,集聚是由吸附作用和半自由端加捻作用组成,吸附作用将主体纤维固定在网格圈上成为非自由端纤维,加捻作用则是表层的自由端纤维对主体纤维进行加捻,两个作用共同配合完成集聚区须条的集聚。

FZXB

### 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.  
YANG Xing, WANG Jun, YANG Jianping. Analysis of the movement mechanism of the stranded strips in compact field of compact spinning [J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2003, 29(5): 1-4.
- [2] XING Y, WANG J, YANG J P. Motion analysis of fiber band in compact field of compact spinning [J]. Journal of Donghua University (English Edition), 2006, 23(1): 144-147.

- [3] 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): 1-5.  
MA Jian, XU Bojun. Influence of additional twist on flax cotton blended compact yarn property [J]. Journal of Cotton Textile Technology, 2007, 35(11): 1-5.
- [4] WANG J, YANG J P, BU H G, et al. Mechanical analysis on changing cross-sectional segment of fibre band in condensing zone in compact spinning [J]. Journal of the Textile Institute Proceedings & Abstracts, 2009, 100(5): 451-456.
- [5] 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.
- [6] 周水平. 棉型集聚纺集聚机理研究[D]. 上海: 东华大学, 2005: 3-26.  
ZHOU Shuiping. The study of compact mechanism on cotton compact spinning [D]. Shanghai: Donghua University, 2005: 3-26.
- [7] 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.  
ZHOU Shuiping, WANG Jun, YANG Jianping. Mechanical analysis of changeless section fiber band in compact field of compact spinning [J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2005, 31(3): 10-14.
- [8] 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.  
ZHOU Shuiping, WANG Jun, YANG Jianping. Mechanical analysis of change section fiber band in compact field of compact spinning [J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2005, 31(2): 20-33.
- [9] 杨建平. 网格圈负压式集聚纺集聚机理研究[D]. 上海: 东华大学, 2011: 26-30.  
YANG Jianping. Study on condensing mechanism of pneumatic compact spinning with lattice apron [D]. Shanghai: Donghua University, 2011: 26-30.
- [10] 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理[J]. 纺织学报, 2011, 32(10): 37-41.  
YANG Jianping, FU Ting, WANG Jun. Semi-open-end twisting mechanism of fiber strand in condensing zone in pneumatic compact spinning with lattice apron [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(10): 37-41.
- [11] 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.  
LU Zongyuan. Condensed spinning principle analyses based on the flow guider evolution of Rieter condensed spinning [J]. Journal of Cotton Textile Technology, 2016, 44(4): 75-79.