

# 高倍转杯竹节纱纺制机理研究

余晨辰<sup>a</sup> 江慧<sup>a</sup> 汪军<sup>a,b</sup>

东华大学 a. 纺织学院, b. 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620

**摘要:**为探索高倍转杯竹节纱的可纺性,以过渡段捻度传递长度为研究对象,推导过渡段纱线参数变化理论模型,并对捻度传递长度变化情况进行模拟。通过双喂给双分梳转杯纺纱器成功纺制出高倍竹节纱,并对成纱物理性能进行测试。研究表明:过渡段长度设定为 1 个转杯周长时,高倍转杯竹节纱的过渡段捻度传递长度始终大于 4 mm,捻度传递长度满足过渡段纺纱的连续性需求,也证实了高倍转杯竹节纱的可纺性;且制备的高倍转杯竹节纱质量较好,纱线平均断裂强力随竹节倍数的增加而增加,断裂伸长率无显著变化,但毛羽较多,后续开发可就此展开针对性的研究。

**关键词:**高倍转杯竹节纱;纺制机理;过渡段捻度传递长度;双喂给双分梳转杯纺;竹节倍数;断裂强力;断裂伸长率;毛羽指数

中图分类号:TS 104.7

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2025)07-0015-08

## Study on spinning mechanism of high-ratio rotor spinning slub yarns

Yu Chenchen<sup>a</sup>, Jiang Hui<sup>a</sup>, Wang Jun<sup>a, b</sup>

a. College of Textiles, b. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China

**Abstract:** To explore the spinnability of high-ratio rotor spinning slub yarns, the peripheral twist transmission length of transition section was taken as the research object. A theoretical model for the variation of yarn parameters in the transition section was built, and the changes of the peripheral twist transmission length were simulated. High-ratio slub yarns were successfully spun using the dual-feed dual-combing rotor spinning device, and the physical properties of yarns were tested. The research results indicated that, assuming a transition section length of 1 rotor circumference, the peripheral twist transmission length of the transition section of high-ratio rotor spinning slub yarns was consistently greater than 4 mm, which met the continuity requirements for spinning in the transition section, and confirmed the feasibility of spinning of high-ratio rotor spinning slub yarns. Moreover, the prepared high-ratio rotor spinning slub yarns had good quality. The average breaking strength of the yarns increased with the increase of the slub multiple, the breaking elongation rate showed no significant change, but there were more hair fibers. Further development can focus on

收稿日期:2025-01-07

作者简介:余晨辰,女,2000年生,在读硕士研究生,主要研究方向为双分梳转杯纺花式纱

通信作者:汪军,教授,主要研究方向为新型纺纱技术、智能检测与质量控制, junwang@dhu.edu.cn

conducting targeted research on this regard.

**Keywords:** high-ratio rotor spinning slub yarn; spinning mechanism; peripheral twist transmission length of transition section; dual-feed dual-combing rotor spinning; slub multiple; breaking strength; breaking elongation rate; hairiness index

竹节纱是指在长度方向上随机或规律性地出现粗节的一种纱线,这些粗节被称为“竹节”。用竹节纱织成的织物,其表面具有独特的立体花式效果,可广泛应用于时装面料及各类装饰织物<sup>[1-2]</sup>。

根据纺制机器的不同,竹节纱的制备方法可分为环锭纺、传统转杯纺与双喂给双分梳转杯纺3种。环锭纺主要通过调整牵伸倍数改变纱线细度<sup>[3]</sup>。传统转杯纺通过控制喂给罗拉速度或改变转杯结构制备竹节纱<sup>[4-6]</sup>。但采用环锭纺与传统转杯纺纺制竹节纱,竹节倍数通常需控制在5以内。这是因为竹节倍数较大时,环锭纺法在竹节处加捻较困难,需增大钢丝圈号数,但这可能导致纱线张力失衡或竹节段无法通过钢丝圈,而传统转杯纺法则会因机械器件限制或分梳质量降低等而断头率增加<sup>[7-8]</sup>。双喂给双分梳转杯纺具有2组对称且独立的输纤与分梳系统,可根据不同纤维的特性优化分梳工艺参数,显著提高纺纱工艺对不同性能纤维的适应性<sup>[9-10]</sup>。石中玉<sup>[11]</sup>与莫鸿妃等<sup>[12]</sup>基于双喂给双分梳转杯纺纱器,通过调控纤维条原料喂入比与喂给罗拉转速,开发出周期变化或随机变化的竹节纱。

转杯纺纱过程中,断头主要发生在成纱阶段。王善元等<sup>[13]</sup>基于阻捻器与捻度分布模型,有效提高了纱线接头成功率。汪军等<sup>[14-16]</sup>基于转杯内纱段的捻度与受力分析,构建出捻度传递长度数学模型,并得到了捻度传递长度与转杯规格等因素的关系。巴塔等<sup>[17]</sup>对自由纱段捻度分布展开研究,发现纱线捻度沿假捻盘入口至剥离点方向逐渐减少,且在剥离点附近捻度降低趋势更大。庾在海等<sup>[18]</sup>通过分析转杯内纱段受力情况,得到了纱段曲线形状与张力方程。张百祥<sup>[19]</sup>利用光电传感器测量转杯内捻度传递长度,并研究了捻系数等因素对捻度传递长度的影响。但以上研究均基于线密度一致的纱线,有关竹节纱过渡段在转杯内的变化情况研究较少。因此,探索竹节纱过渡段在转杯中的变化情况,有助于高倍转杯竹节纱的开发。

本研究将竹节倍数不小于5的转杯竹节纱称为

高倍转杯竹节纱。为探索高倍转杯竹节纱的可纺性,本研究以过渡段捻度传递长度为研究对象,通过推导纱线参数变化模型与构建整体计算流程,模拟双喂给双分梳高倍转杯竹节纱过渡段的捻度传递长度,并结合纺纱过程中的实际参数对所建模型进行验证。

## 1 高倍转杯竹节纱过渡段捻度传递长度模型前期假设

### 1.1 过渡段纱段参数变化假设

目前,尚未就双喂给双分梳转杯纺纱工艺建立两侧纤维动态喂入比对转杯内纤维平均性能影响的量化公式。本研究假设基纱线密度为 $N_j$ ,竹节线密度为 $N_z$ ,竹节倍数为 $M$ ,过渡段总长度为 $L$ ,过渡段线密度呈线性变化,最小线密度变化步长为 $H$ ,变化方向为基纱至竹节。则过渡段中任意处,线密度 $x$ 与增加的竹节倍数 $M_x$ 、位置 $L_x$ 的关系如图1所示。

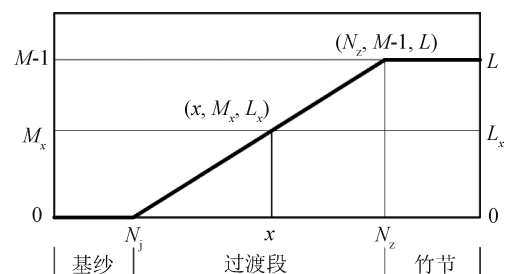


图1 过渡段中任意处线密度与增加的竹节倍数、位置的关系  
Fig. 1 Relationship among linear density, increased slub multiple and position of any part of transition section

由图1可知,线密度为 $x$ 处,增加的竹节倍数 $M_x$ :

$$M_x = \frac{M-1}{N_z - N_j} \times (x - N_j)$$

所处位置 $L_x$ :

$$L_x = \frac{L}{N_z - N_j} \times (x - N_j)$$

当纱线由2种纤维a和b组成时,假设过渡段性能遵循纤维喂入比动态调节原则,即对于线密度为 $x$ 的纱段,其截面内纤维平均性能参数(如平均摩

擦因数、纤维长度、抗扭刚度、纤维平均线密度等)与纱线结构参数(如截面纤维根数、纱线线密度、纱线体积密度等)皆随纤维喂入比的变化而变化。

设 a、b 纤维的某项参数初始值分别为  $Y_a$ 、 $Y_b$ , 则过渡段的该项参数  $Y$ :

$$Y = P_{a,g} Y_a + P_{b,g} Y_b$$

式中:  $P_{a,g}$  为 a 纤维在过渡段中的质量分数,  $P_{b,g}$  为 b 纤维在过渡段中的质量分数, 且  $P_{a,g} + P_{b,g} = 1$ 。

当  $L_x$  等于 0 时,  $P_{a,g}$ 、 $P_{b,g}$  即为 a、b 纤维在基纱中的质量分数  $P_{a,j}$ 、 $P_{b,j}$ 。

当  $L_x$  大于 0 且  $L_x$  不大于  $L$  时, 纱段中 a、b 纤维线密度相对基纱分别增加了  $x_a$ 、 $x_b$ , 则 2 种纤维相应增加的竹节倍数为  $M_a = \frac{x_a}{N_j}$ 、 $M_b = \frac{x_b}{N_j}$ 。2 种纤维在纱

段中所占质量分数分别为  $P_{a,g} = \frac{P_{a,j} + M_a}{M_x + 1}$ 、 $P_{b,g} = \frac{P_{b,j} + M_b}{M_x + 1}$ 。

因此, 过渡段中某项参数  $Y$ :

$$Y = \begin{cases} P_{a,j} Y_a + P_{b,j} Y_b & L_x = 0 \\ \frac{P_{a,j} + M_a}{M_x + 1} Y_a + \frac{P_{b,j} + M_b}{M_x + 1} Y_b & 0 < L_x \leq L \end{cases}$$

### 1.2 转杯内各部分纱段线密度分布假设

因过渡段线密度呈连续变化, 故建模时需先确定转杯内假捻盘出口至入口、假捻盘入口至剥离点、凝聚槽处纱段的瞬时线密度分布范围。为此, 假设在喂入纤维量变化的过程中, 转杯内纱段曲率保持恒定, 各纱段平均长度分别为  $L_j$ 、 $L_z$ 、 $L_n$ , 则假捻盘出口至凝聚槽处的纱段平均长度  $L_p = L_j + L_z + L_n$ , 转杯内纱段线密度平均变化总量为  $L_p(N_z - N_j)/L$ , 各部分线密度变化量分别为  $L_j(N_z - N_j)/L$ 、 $L_z(N_z - N_j)/L$ 、 $L_n(N_z - N_j)/L$ 。

### 1.3 剥离点纱段张力与假捻盘入口处纱段捻度假设

实际纺纱过程中, 由于剥离点纱段张力与假捻盘入口处纱段捻回角正切值的变化过程难以量化, 因此, 为便于计算, 假设两者的取值等同于该时刻相关纱段平均线密度所对应的非竹节纱在稳态下对应的数值, 即假设剥离点纱段张力值等于该时刻自由纱段处的平均线密度所对应的非竹节纱在同等工艺条件下的剥离点张力值, 假捻盘入口处纱段捻回角

正切值等于该时刻假捻盘表面平均线密度所对应的非竹节纱在相同工艺条件下的假捻盘入口处纱段捻回角正切值。

## 2 高倍转杯竹节纱过渡段捻度传递长度模型

### 2.1 过渡段捻度传递长度模型的建立

转杯内纱条的形成如图 2 所示, 其中, BC 段为捻度传递区, AB 段为自由纱段, OA 段为假捻盘表面纱段。本研究将针对线密度变化时过渡段捻度传递长度展开研究。

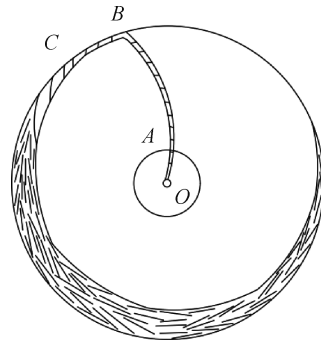


图 2 转杯内纱条形成示意

Fig. 2 Illustration of formation of yarn strands in rotor

计算过渡段捻度传递长度时, 需系统分析假捻盘表面纱段及自由纱段的捻度与张力分布。因此, 本研究基于现有转杯内纱段受力与运动分析状况, 将研究范围拓展至过渡段线密度动态变化场景。如图 3 的计算流程所示: 先确定计算时纱段最小线密度变化步长后, 计算基纱至竹节间非竹节纱段平均捻度传递长度; 再结合自由纱段平均长度、假捻盘表面纱段平均长度等因素, 根据 1.2 节的假设计算转杯内各部分纱段线密度变化区间; 最后基于 1.3 节的假设得到过渡段线密度逐渐变化时对应假捻盘入口处纱段捻回角正切值与剥离点纱段张力, 计算得到过渡段捻度传递长度变化趋势, 并通过指数拟合得到变化曲线。

### 2.2 过渡段捻度传递长度的理论计算

#### 2.2.1 模拟方案的设计与参数的设定

##### 2.2.1.1 纤维原料与纺纱器件参数

所用纤维原料相关参数如表 1 所示, 纺纱器件参数如表 2 所示。

##### 2.2.1.2 转杯内瞬时线密度变化区间

纱段最小线密度变化步长设定为 1 tex, 即分析

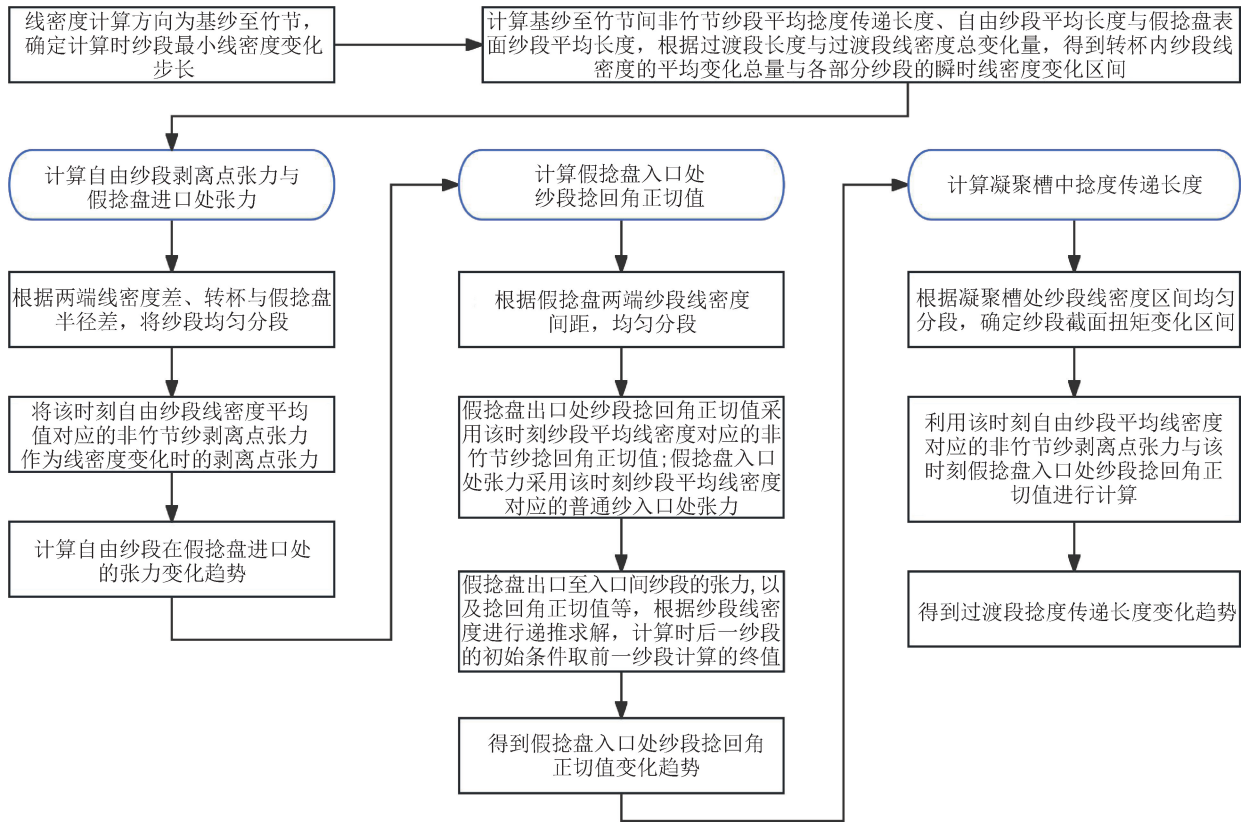


图3 过渡段捻度传递长度计算流程

Fig. 3 Calculation process for peripheral twist transmission length of transition section

表1 纤维原料参数

Tab. 1 Parameters of fiber raw materials

| 纤维原料 | 纤维长度/<br>mm | 纤维线密度/<br>tex | 纤维抗扭刚度/<br>(cN·cm <sup>2</sup> ) | 纤维间<br>摩擦因数 | 纱线体积密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) |
|------|-------------|---------------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|
| 棉纤维  | 28.17       | 0.18          | 1.10×10 <sup>-5</sup>            | 0.20        | 0.84                             |
| 黏胶纤维 | 38.00       | 0.19          | 0.70×10 <sup>-5</sup>            | 0.19        | 0.85                             |

表2 纺纱器件参数

Tab. 2 Parameters of the spinning device

| 项目           | 参数 |
|--------------|----|
| 转杯直径/mm      | 54 |
| 转杯内凝聚槽夹角/(°) | 35 |
| 假捻盘外半径/mm    | 10 |
| 假捻盘内半径/mm    | 1  |

纤维喂入量以 1 tex 为增量变化时,过渡段捻度传递长度变化情况。

根据工艺参数可得:假捻盘剖切面轮廓线长度为 14.14 mm,凝聚槽至假捻盘入口处直线距离为 17 mm,因 1.2 节中假设纱段曲率存在且不变,故假捻盘处纱段平均长度取整为 15 mm,自由纱段平均

长度取整为 20 mm。根据各方案中基纱与竹节部分的组分与线密度,计算基纱至竹节间非竹节纱段平均捻度传递长度,进而得到各方案转杯内纱条平均长度。

### 2.2.1.3 模拟方案

模拟方案如表 3 所示。各方案中,设定过渡段长度为 1 个转杯周长,即 17 cm。方案 1~3 中变量为两侧纤维喂入比,方案 2、4、5 中变量为捻度,方案 6~8 中变量为转杯转速,方案 2、9、10 中变量为竹节倍数,方案 2、11、12 中变量为基纱线密度。不同组方案分别用于研究纤维混纺比、捻度、转杯转速、竹节倍数与基纱线密度对过渡段捻度传递长度的影响。

各方案中,左侧输纤通道喂入黏胶纤维,右侧输纤通道喂入棉纤维。基纱成分均为纯黏胶纤维,即纺制基纱时仅左侧输纤通道喂入纤维,右侧

输纤通道不喂入纤维。竹节部分纤维喂入量以基纱为基准,两侧纤维相对基纱喂入量之和为竹节倍数 $\times 100\%$ 。

表 3 模拟方案

Tab.3 Simulation schemes

| 方案编号 | 基纱线密度/tex | 捻度/(捻 $\cdot 10\text{ cm}^{-1}$ ) | 竹节倍数 | 转杯转速/( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | 竹节处黏胶纤维相对基纱喂入量/% | 竹节处棉纤维相对基纱喂入量/% |
|------|-----------|-----------------------------------|------|---|------------------|-----------------|
| 1    |           |                                   |      |   | 200              | 500             |
| 2    | 40        | 50                                | 7    | 35 000                                  | 350              | 350             |
| 3    |           |                                   |      |   | 400              | 300             |
| 4    | 40        | 45                                | 7    | 35 000                                  | 350              | 350             |
| 5    |           | 55                                |      |   |                  |                 |
| 6    |           |                                   |      | 35 000                                  |                  |                 |
| 7    | 30        | 55                                | 6    | 37 500                                  | 300              | 300             |
| 8    |           |                                   |      | 40 000                                  |                  |                 |
| 9    | 40        | 50                                | 6    | 35 000                                  | 300              | 300             |
| 10   |           |                                   | 8    |   | 400              | 400             |
| 11   | 30        | 50                                | 7    | 35 000                                  | 350              | 350             |
| 12   | 50        |                                   |      | 35 000                                  |                  |                 |

### 2.2.2 模拟结果

基于以上理论模型与参数,模拟得到如图 4 所示的各方案过渡段捻度传递长度变化趋势。

由图 4a) 可得,在确定工艺参数与纤维种类条件下,纤维混纺比不同会对过渡段捻度传递长度产生影响,这与喂入量的变化使得纤维整体性能发生改变,纱条捻度与所受张力也随之发生变化有关。根据图 4b) 可知,在高倍转杯竹节纱的纺制过程中,过渡段捻度传递长度随着设定捻度的提高而增加,捻度每提高 5 捻/(10 cm),凝聚槽内纱条两端力矩增加,过渡段捻度传递长度整体增加 4%~6%。从图 4c) 可见,随着转杯转速的增加,过渡段捻度传递长度逐渐降低,这与转杯转速提高,纱条张力与捻度增加,同时纱条与杯壁间摩擦阻力提高有关。从图 4d) 与图 4e) 可知,当过渡段长度设定为 1 个转杯周长时,竹节倍数或基纱线密度增大会导致过渡段捻度传递长度整体增大,这与两者的提高均会导致过渡段线密度变化区间扩大,转杯内纱条线密度变化范围增大,纱条获得的捻度与张力提高有关。虽然各方案对应曲线数值有所不同,但过渡段捻度传递长度始终高于临界值 4 mm<sup>[16]</sup>,说明理想状态下纺制高倍转杯竹节纱时,理论捻度传递长度足以维持纱线的捻

度传递,确保了纺纱连续。

## 3 高倍转杯竹节纱的纺制及验证

### 3.1 纺纱试验方案

纺纱原料:棉纤维,长度为 29 mm,线密度为 1.8 dtex,通过右侧输纤通道喂入;黏胶纤维,长度为 38 mm,线密度为 1.9 dtex,通过左侧输纤通道喂入。

基纱段长度为 1.0 m、竹节段长度为 0.5 m,基纱线密度为 40 tex,竹节倍数为 5、6、7、8,捻度为 50 捻/(10 cm),转杯转速为 35 000 r/min,分梳辊规格为 OK61,分梳辊转速为 7 500 r/min。各方案中,基纱部分均为纯黏胶纤维,即纺制基纱时仅左侧输纤通道喂入纤维,竹节部分纺纱试验方案如表 4 所示。

### 3.2 纱线物理性能测试

#### 3.2.1 竹节倍数

竹节纱纺制过程中,纤维喂入量增加会导致纱条在转杯内受离心力挤压而变得更加紧密,竹节处纱线蓬松度下降,纱线直径被压缩,故竹节处选择切断称重法以量化线密度。即分别剪取 10 组 5 cm 长的竹节与基纱纱段,称重后取各组纱段的平均值并计算实际竹节倍数。

#### 3.2.2 纱线强伸性能

根据 GB/T 3916—2013《纺织品 卷装纱 单根纱

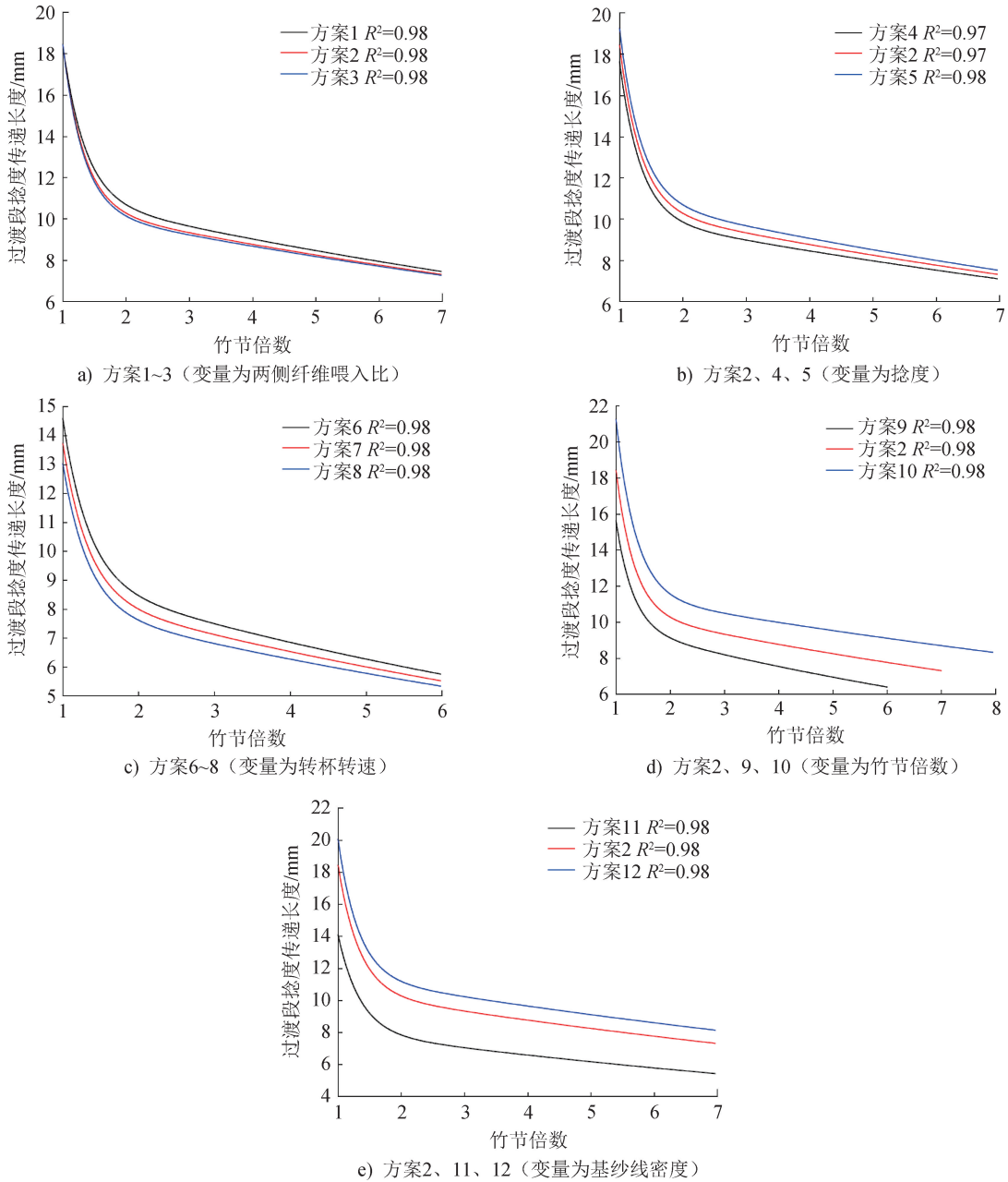


图4 各方案中过渡段捻度传递长度变化趋势

Fig. 4 Peripheral twist transmission length trend of transition section in various schemes

表4 竹节部分纺纱试验方案

Tab. 4 Spinning experiment schemes for slub section

| 方案编号           | 竹节倍数 | 竹节处黏胶纤维相对基纱喂入量/% | 竹节处棉纤维相对基纱喂入量/% |
|----------------|------|------------------|-----------------|
| 1 <sup>#</sup> | 5    | 100              | 400             |
| 2 <sup>#</sup> | 6    | 100              | 500             |
| 3 <sup>#</sup> | 7    | 100              | 600             |
| 4 <sup>#</sup> | 8    | 100              | 700             |

线断裂强力和断裂伸长率的测定(CRE法)》,采用YG061FQ型电子单纱强力仪,对基纱、过渡段与竹

节试样进行测试,结果取各自平均值。

### 3.2.3 纱线毛羽

根据 FZ/T 01086—2020《纺织品 纱线毛羽测定方法 投影计数法》,使用 YG172A 型纱线毛羽测试仪,测试毛羽指数,每管试样测试 3 次,结果取平均值。

### 3.2.4 测试结果与分析

高倍转杯竹节纱实物照片如图 5 所示,实际竹节倍数与竹节纱性能测试结果分别如表 5 和表 6 所示,其中计算的 actual 竹节倍数精确到小数点后一位。

分析表 5 和表 6 的数据可以看出,各方案所得纱线的实际竹节倍数均与设定的竹节倍数存在一定的偏差。其中,1#、3#、4# 方案的竹节倍数偏差率在 -1.4%~ -6.3%,这可能是切断纱线时损失了部分纤维导致的;2# 方案的竹节倍数偏差率绝对值较大,这可能是纺制过程中环境温湿度变化较大导致的。

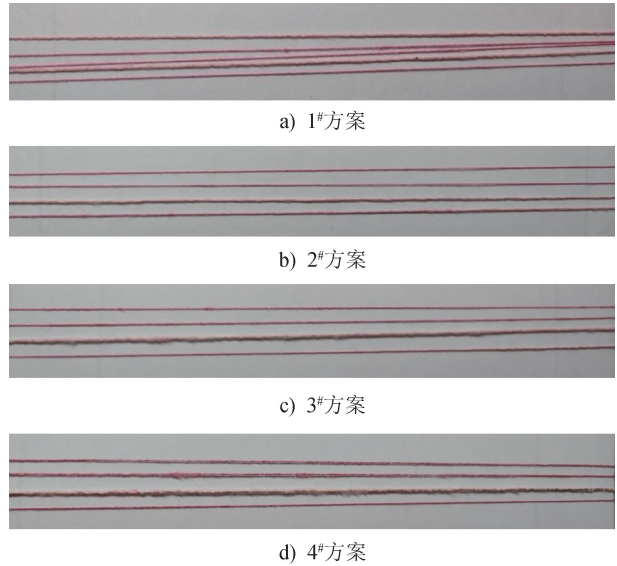


图 5 高倍转杯竹节纱实物照片  
Fig. 5 Physical pictures of high-ratio rotor spinning slub yarns

表 5 竹节倍数测试结果

Tab. 5 Test results of slub multiple

| 方案编号 | 设计竹节倍数 | 5 cm 竹节平均质量/mg | 5 cm 基纱平均质量/mg | 实际竹节倍数 | 竹节倍数偏差率/% |
|------|--------|----------------|----------------|--------|-----------|
| 1#   | 5      | 98.9           | 20.0           | 4.9    | -2.0      |
| 2#   | 6      | 116.8          | 22.0           | 5.3    | -11.7     |
| 3#   | 7      | 140.3          | 20.4           | 6.9    | -1.4      |
| 4#   | 8      | 163.8          | 21.9           | 7.5    | -6.3      |

表 6 竹节纱物理性能测试结果

Tab. 6 Physical property test results of slub yarns

| 方案编号 | 平均断裂强力/cN | 断裂伸长率/% | 毛羽指数 |
|------|-----------|---------|------|
| 1#   | 1 125.5   | 8.7     | 12.0 |
| 2#   | 1 225.8   | 10.9    | 18.2 |
| 3#   | 1 265.4   | 8.7     | 17.8 |
| 4#   | 1 567.5   | 8.1     | 22.9 |

但各方案的竹节倍数偏差率均在合理的工艺容差范围内,说明双喂给双分梳转杯纺纱器可纺制高倍转杯竹节纱,并证明了其过渡段捻度传递长度满足纺纱需要。所得高倍转杯竹节纱平均断裂强力随竹节倍数增大持续增加,其原因与竹节处棉纤维质量分数增大,纤维根数增加,纤维间作用力增强有关;断裂伸长率无显著变化,原因可能与黏胶纤维与棉纤维的混合使得纱线整体伸长率趋近两者的中间值有关;毛羽指数整体随竹节倍数的增加而增加,原因与竹节处喂入纤维量过大,造成纤维梳理效率下降,纤维排列取向度降低,纤维游离于纱体表面形成大量

毛羽有关。上述测试结果与分析表明,使用双喂给双分梳转杯纺纱器纺制的高倍转杯竹节纱具有较好的纱线质量,可满足纺织品市场对纱线的差异化需求。

## 4 结论

本研究对高倍转杯竹节纱过渡段理论捻度传递长度展开研究,并使用双喂给双分梳转杯纺纱器纺制高倍转杯竹节纱以验证,得到以下结论:

(1) 转杯内纤维量急剧增加时,过渡段理论捻度传递长度虽有较大幅度的降低,但最低值仍不低于 4 mm,满足捻度传递需求。实际纺制高倍转杯竹节纱时,通过在合理的范围内控制捻度与转杯转速,并根据设定的竹节倍数适当降低基纱线密度,可实现调节过渡段捻度传递长度至合理区间,确保纺纱连续,同时抑制缠绕纤维在纱体内的比例,确保成纱质量。

(2) 通过实际使用双喂给双分梳转杯纺纱器纺

制高倍转杯竹节纱,验证了高倍转杯竹节纱的可纺性。对高倍转杯竹节纱进行性能测试,结果表明,高倍转杯竹节纱强伸性能较好,但毛羽较多,后续开发可据此展开针对性的研究。



期刊采编平台



中国知网下载

### 参考文献

- [ 1 ] 孙显强,薛元,金淑兰,等. 基于三通道数码纺段彩竹节纱的面料设计[J]. 毛纺科技, 2020, 48(11): 6-11.
- [ 2 ] TOPUZ B E, ÖZDİL N. Effect of slub parameters on yarn unevenness, hairiness and strength properties of slub yarns[J]. Tekstil ve Konfeksiyon, 2023, 33(4): 347-356.
- [ 3 ] 武世锋. 基于纤维随机分布的环锭纺竹节纱模型及应用[D]. 上海: 东华大学, 2023.
- [ 4 ] 杨瑞华, 潘博, 陈可, 等. 转杯纺竹节纱成形方法与成纱特征[J]. 服装学报, 2020, 5(5): 377-381.
- [ 5 ] 刘禹辰. 数控三通道转杯纺纱系统及全色域纺纱模式的构建与研发[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [ 6 ] SUN X Q, XUE Y, JIN S L, et al. Design of colored slub yarn fabric based on three-channel digital spinning[J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(11): 6.
- [ 7 ] 何海涛, 王唯青. 浅谈环锭纺竹节纱选用钢丝圈的重点[J]. 上海纺织科技, 2012, 40(5): 21-22.
- [ 8 ] 刘梅城. 3种纺纱方法在花式纱开发中的应用分析[J]. 棉纺织技术, 2022, 50(12): 47-53.
- [ 9 ] SHI Q Q, WANG J, ZHANG Y Z, et al. Comparison of the airflow characteristics and yarn properties between conventional and dual-feed-opening rotor spinning units[J]. Textile Research Journal, 2022, 92(5/6): 660-674.
- [ 10 ] 李玲, 史倩倩, 田顺, 等. 输纤通道对称性对双喂入双分梳转杯纺气流场以及纱线特性的影响[J]. 纺织学报, 2025, 46(2): 69-77.
- [ 11 ] 石中玉. 基于纱线结构和色彩设计的转杯花式牛仔纱开发[D]. 上海: 东华大学, 2022.
- [ 12 ] 莫鸿妃, 王妮, 汪军, 等. 环保牛仔布用转杯纺竹节纱花型工艺设计[J]. 纺织器材, 2021, 48(6): 5-8.
- [ 13 ] 王善元, 杨国荣, 卢明德, 等. 低捻转杯纺纱理论分析: 阻扭件、阻扭矩及其捻度分布模型[J]. 中国纺织大学学报, 1999, 25(4): 53-58.
- [ 14 ] 汪军, 黄秀宝. 转杯纺杯内纱段捻度分布研究[J]. 中国纺织大学学报, 1999, 25(3): 51-55.
- [ 15 ] 汪军, 黄秀宝. 转杯纺杯内纱段剥离点张力的分析[J]. 中国纺织大学学报, 1999, 25(4): 59-62.
- [ 16 ] 汪军, 黄秀宝. 转杯纺捻度传递长度的解析研究[J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(1): 64-69.
- [ 17 ] 巴塔, 黄秀宝. 转杯纺自由纱段形态对其捻度分布的影响[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2002, 28(5): 17-21.
- [ 18 ] 庾在海, 蔡旭初, 吴文英, 等. 转杯内纱线形状及其张力分析[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 28-32.
- [ 19 ] 张百祥. 转杯纺工艺理论与成纱质量的探讨[J]. 纺织器材, 2014, 41(1): 5-11.

绿水青山就是金山银山

保护环境就是保护未来