

段彩竹节纱时序化分布规律设计及其数控成型原理

薛元¹, 汪燕燕¹, 王怡淞¹, 卜华香², 吕明明²

(1. 江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 无锡市和展机电技术有限公司, 江苏 无锡 214174)

摘要:为探索花式纱线的成型原理,将纱线色彩变化与形态变化相结合,在普通竹节纱的基础上,分析了一种粗细节段彩竹节纱的形成机理,提出粗细节段彩竹节纱时序化分布的设计方法;根据数控三通道环锭纺纱调控成型纱线粗细和混纺比的机理,使用基于时序化分布的纱线结构参数进行粗细节段彩竹节纱数控加工;设计了12种具有粗细节特征的段彩竹节纱花型与成纱工艺方法,纺制了4种具有粗细节特征的段彩竹节纱及其织物。

关键词: 数控纺纱;段彩竹节纱;粗细节;纺制模式;工艺设计

中图分类号: TS 104.1.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2022)06-0471-09

Time-Sequential Distribution Design and Numerical Control Forming Principle of Segment Colored Slub Yarn

XUE Yuan¹, WANG Yanyan¹, WANG Yisong¹, BU Huaxiang², LYU Mingming²

(1. College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi Hezhan Electromechanical Technology Co., Ltd., Wuxi 214174, China)

Abstract:To explore the forming principle of fancy yarn, the color change and shape change of yarn were combined. On the basis of ordinary slub yarn, the formation mechanism of a thick and thin segment colored slub yarn was analyzed, and the design method of sequential distribution of thick and thin segment colored slub yarn was proposed. Based on the mechanism of numerical control three-channel ring spinning to regulate the thickness and blending ratio of formed yarn, yarn structure parameters based on time-sequential distribution were processed by numerical control processing of thick and thin segment colored slub yarn. Twelve patterns and yarn forming methods of segment colored slub yarns with thickness and thinness slub characteristics were designed, and four kinds of segment colored slub yarns and their fabrics with thickness and thinness slub characteristics were spun.

Key words: numerical control spinning, segment colored slub yarn, thick and thin knot, spinning mode, process design

近年来,花式纱线因其独特的结构和外观效果被广泛使用,占据了纱线市场的一定份额^[1]。段彩竹节纱是一种具有粗细形态变化和色彩分布变化的纱线^[2-3]。纱线形态的粗细变化会使竹节条产生随机分布的凹凸感,纱线色彩的分段变化会形成段彩随机分布的花色视觉纹理。段彩竹节纱在普通竹节纱风格的基础上,将形态变化与色彩变化相结合,赋予纺织品更强的色彩层次感与纹理立体感,不但可以满足大众对流行趋势的追求,还实现了在流行服饰及装饰用纺织品领域的创新应用。

1 具有粗细节特征的段彩竹节纱

1.1 粗细节段彩竹节纱的特点

传统的定义中,把粗细节纱平均线密度定义为

基纱线密度,大于基纱线密度的部分定义为粗节,小于基纱线密度的部分定义为细节^[4]。文中根据动态与恒态交替纺纱形成粗细节的机理,把恒态纺纱形成的线密度定义为基纱线密度,把动态纺纱形成的大于基纱线密度且长度小于基纱长度 15% 的纱段部分定义为粗节;把动态纺纱形成的小于基纱线密度且长度小于基纱长度 15% 的纱段部分定义为细节。

段彩竹节纱的设计需要考虑色彩分布的花形周期,还需要考虑线密度变化的粗细节周期,其中粗细节周期又可以分为粗节周期和细节周期。

通常在一个粗细节周期中,基纱长度占比大于 70%,粗节段长度占比小于 15%,细节段长度占比小于 15%。粗节段是在基纱上密集分布的长度很短、线密度约为基纱 1.2~4 倍的若干粗节,最小长度为 8 mm 左右,最大长度不限;细节段是在基纱上密集分布的长度很短、线密度约为基纱 40%~60% 的若干细节,最小长度为 5 mm 左右,最大长度不限。粗节倍率和细节倍率的变化范围为 1~3 之间,粗节具有蓬松性,细节则较为紧密。

1.2 段彩竹节纱的结构参数

段彩竹节纱粗细节外观结构如图 1 所示。粗细节纱结构参数分别为:细节段长度 $L_i (i=1,2,\dots,n)$ 、细节线密度 $\rho_{X_i} (i=1,2,\dots,n)$ 、细节混纺比 $k_{X_i} (i=1,2,\dots,n)$ 、细节倍率 $\sigma_{X_i} = \rho_{X_i}/\rho_{j_i} (i=1,2,\dots,n)$;粗节段长度 $S_i (i=1,2,\dots,n)$ 、粗节线密度 $\rho_{C_i} (i=1,2,\dots,n)$ 、粗节混纺比 $k_{C_i} (i=1,2,\dots,n)$ 、粗节倍率 $\sigma_{C_i} = \rho_{C_i}/\rho_{j_i} (i=1,2,\dots,n)$;基纱段长度 $F_i (i=1,2,\dots,n)$ 、基纱线密度 $\rho_{j_i} (i=1,2,\dots,n)$ 、基纱混纺比 $k_{j_i} (i=1,2,\dots,n)$,则成纱线密度为 $\rho_y =$

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i \times \rho_{X_i} + S_i \times \rho_{C_i} + F_i \times \rho_{j_i})}{\sum_{i=1}^n (L_i + S_i + F_i)}$$

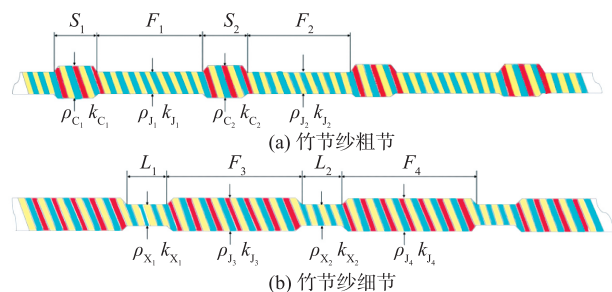


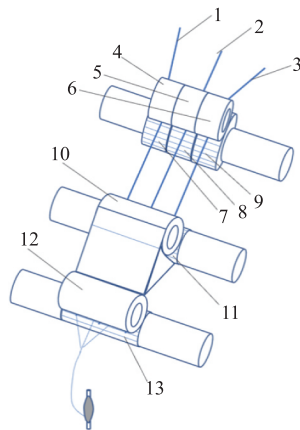
图 1 段彩竹节纱粗细节外观结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the appearance and structure of thick and thin segment colored slub yarns

2 三通道环锭细纱机纺制粗细节段彩竹节纱机理

2.1 三通道环锭数控细纱机组成

三通道环锭数控细纱机如图 2 所示。由图 2 可以看出,三通道数控纺纱机采用嵌套设计,将控制纤维喂入的后罗拉由单一钳口变为 3 个钳口,3 只后罗拉借助各自程序控制的伺服电动机驱动,从而实现多根粗纱的异速喂入^[5]。独立的 3 个后罗拉以不同速度喂入 3 股粗纱,经独立的后区牵伸和共同的前区牵伸后,再汇合加捻形成纱线。



注:1,2,3—粗纱;4,5,6—后皮辊;7,8,9—后罗拉;10—中皮辊;11—中罗拉;12—前皮辊;13—前罗拉。

图 2 三通道环锭数控细纱机示意

Fig. 2 Schematic diagram of three-channel ring spinning numerical control spinning frame

2.2 三通道环锭细纱机数控纺纱参数

设左、中、右 3 个牵伸通道喂入粗纱的线密度为 ρ_1, ρ_2, ρ_3 , 颜色值分别为 $C_1(r_1, g_1, b_1), C_2(r_2, g_2, b_2), C_3(r_3, g_3, b_3)$, 通过伺服电动机独立驱动的前罗拉、中罗拉、3 只后罗拉线速度分别为 $V_Q, V_Z, V_{H_1}, V_{H_2}, V_{H_3}$, 3 根粗纱牵伸后的线密度分别为 $\rho'_1, \rho'_2, \rho'_3$, 3 根粗纱经过牵伸加捻后形成的纱线线密度为 ρ_y , 3 根粗纱牵伸后的牵伸比为 E_1, E_2, E_3 , 锭子转速为 n_0 , 纱线中 3 色纤维的混纺比为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, 纱线颜色值为 $C_y(r_y, g_y, b_y)$ ^[5], 捻度为 T_w , 则三通道环锭数控细纱机纺纱参数如下^[6]:

各通道牵伸比为

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_Q/V_{H_1} \\ V_Q/V_{H_2} \\ V_Q/V_{H_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1/\rho'_1 \\ \rho_2/\rho'_2 \\ \rho_3/\rho'_3 \end{bmatrix}; \quad (1)$$

成纱线密度为

$$\boldsymbol{\rho}_y = [\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3] \begin{bmatrix} 1/E_1 \\ 1/E_2 \\ 1/E_3 \end{bmatrix} = [\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3] \begin{bmatrix} V_{H_1}/V_Q \\ V_{H_2}/V_Q \\ V_{H_3}/V_Q \end{bmatrix}; \quad (2)$$

成纱混纺比为

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\boldsymbol{\rho}_y} \times [\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3] \begin{bmatrix} 1/E_1 \\ 1/E_2 \\ 1/E_3 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\boldsymbol{\rho}_y} \times [\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3] \begin{bmatrix} V_Q/V_{H_1} \\ V_Q/V_{H_2} \\ V_Q/V_{H_3} \end{bmatrix}; \quad (4)$$

成纱色彩为

$$\boldsymbol{C}_y = (r_y, g_y, b_y), \quad (5)$$

$$\boldsymbol{C}_y = \begin{bmatrix} r_y \\ g_y \\ b_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix}; \quad (6)$$

纱线捻度为

$$T_w = n_D/V_Q. \quad (7)$$

2.3 三通道环锭数控细纱机纺制粗细节纱的机理

三通道环锭数控细纱机主要采用主牵伸通道和辅助牵伸通道相配合的方式纺制段彩竹节纱^[6-7],在粗节周期,通过主牵伸通道连续喂入1或2根彩色粗纱纺制基纱部分,通过辅助通道断续式喂入1或2根粗纱纺制粗节部分^[8];在细节周期,通过主牵伸通道连续喂入2或3根彩色粗纱纺制基纱部分,通过辅助通道断续式停喂1或2根粗纱纺制细节部分。通过调控主体粗纱、辅助粗纱的喂入及牵伸方式,实现基纱、粗节、细节纺制模式的随机切换。主体粗纱采用连续喂入及恒定牵伸方式;如果辅助粗纱采用断续喂入与断续式牵伸,辅助粗纱停喂时长是喂入时长的5倍以上,则可在基纱上形成密集分布的粗节;如果辅助粗纱采用停顿喂入与停顿式牵伸,辅助粗纱喂入时长是停喂时长的5倍以上,则可在基纱上形成密集分布的细节;如果将辅助粗纱的喂入方式在完全停止喂入、间断喂入和间断停顿之间进行切换,则可在基纱上形成一段密集分布的细节段、一段密集分布的粗节段。由三通道数控环锭细纱机纺制粗细节纱的基纱段、粗节段、细节段,其颜色值分别为 $C_{y_j}(r_{y_j}, g_{y_j}, b_{y_j})$, $C_{y_c}(r_{y_c}, g_{y_c}, b_{y_c})$, $C_{y_x}(r_{y_x}, g_{y_x}, b_{y_x})$ 。

3 段彩竹节纱外观形态的时序化设计

在三通道环锭数控细纱机左、中、右3个通道

分别喂入A,B,C3种不同颜色的粗纱(假设A为蓝色,B为红色,C为黄色),通过3个通道的交变式牵伸,使纱线粗细及3色混纺比发生变化,从而生产段彩竹节纱。

3.1 粗节分布规律的时序化设计及其纺制

3.1.1 段彩竹节纱粗节分布的时序化设计 采用1根主体粗纱和2根辅助粗纱的纺纱模式时,主体粗纱恒定喂入,辅助粗纱长时间停顿、断续式同步或异步喂入形成粗节;采用2根主体粗纱和1根辅助粗纱的纺纱模式时,主体粗纱恒定喂入,辅助粗纱长时间停顿、断续式喂入形成粗节^[9-10]。设定粗节与基纱长度之比小于20%,且粗节线与基纱线密度之比大于33%。图3为采用1根主体粗纱和2根辅助粗纱纺制形成的粗节段彩竹节纱及其花型效果;图4为采用2根主体粗纱恒定喂入、1根辅助粗纱断续式喂入纺制形成的粗节段彩竹节纱及其花型效果。

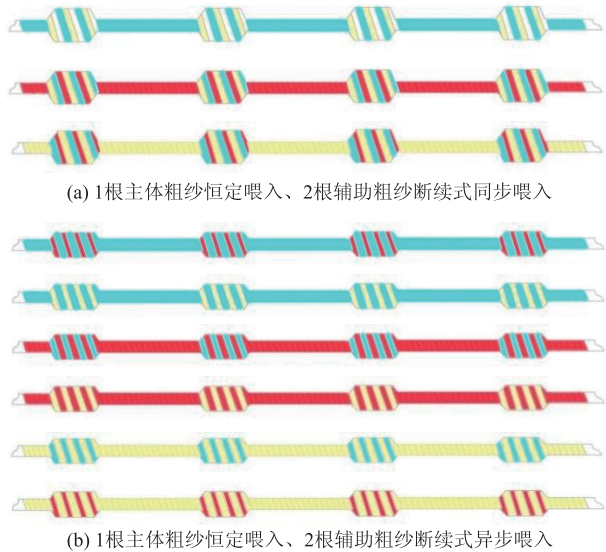


图3 采用1根主体粗纱和2根辅助粗纱纺制形成的粗节段彩竹节纱及其花型效果

Fig.3 Thick segment colored slub yarns formed by one main roving and two auxiliary rovings and their pattern effects



图4 采用2根主体粗纱和1根辅助粗纱纺制形成的粗节段彩竹节纱及其花型效果

Fig.4 Thick segment colored slub yarns formed by two main rovings and one auxiliary roving and their pattern effects

3.1.2 段彩竹节纱粗节段的纺制模式

1) 采用 1 根主体粗纱和 2 根辅助粗纱纺制。1 根主体粗纱连续喂入,经恒定牵伸形成段彩竹节纱的基纱,2 根辅助粗纱在时间段 T_{JC} 内不喂入、在时间段 T_C 内同步或者异步喂入(文中纺制模式以 2 根辅助粗纱同步喂入为例),以时序化的断续式喂入和断续式牵伸形成段彩竹节纱的粗节,辅助粗纱时序化喂入和停喂的规律即为段彩竹节纱粗细节的变化规律。其中, $T_{JC} \geq 4T_C$,粗节纱线密度变化的周期时长为 $T = T_{JC} + T_C$ 。设 3 个牵伸通道后罗拉速度分别为 $V_{H_1}(t), V_{H_2}(t), V_{H_3}(t)$ 。

按照运动规律将运动周期分为 3 段:

$$\begin{cases} (\xi - 1) \times T_{JC} + (\xi - 1) \times T_C \leq t \leq \xi \times T_{JC} + (\xi - 1) \times T_C \\ \xi \times T_{JC} + (\xi - 1) \times T_C \leq t \leq \xi \times T_{JC} + \xi \times T_C \\ \xi \times T_{JC} + \xi \times T_C \leq t \leq (\xi + 1) \times T_{JC} + \xi \times T_C \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\xi = 1, 2, 3, \dots, n - 1, n; T_C(\xi)/T_{JC}(\xi) \leq 20\%$ 。

在一个运动周期内,三通道后罗拉速度的时序化规律为

$$\begin{cases} V_{H_1}(t) = 0, V_{H_2}(t) = V_H, V_{H_3}(t) = 0 \\ V_{H_1}(t) = V_H, V_{H_2}(t) = V_H, V_{H_3}(t) = V_H; \\ V_{H_1}(t) = 0, V_{H_2}(t) = V_H, V_{H_3}(t) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

三通道牵伸比时序化规律为

$$E(t) = \begin{cases} V_{H_2}(t)/V_Q \\ [V_{H_1}(t) + V_{H_2} + V_{H_3}(t)]/V_Q; \\ V_{H_2}(t)/V_Q \end{cases} \quad (10)$$

成纱线密度时序化规律为

$$\rho_y(t) = \begin{cases} \rho_2 \times V_{H_2}(t)/V_Q \\ [\rho_1 \times V_{H_1}(t) + \rho_2 \times V_{H_2}(t) + \rho_3 \times V_{H_3}(t)]/V_Q; \\ \rho_2 \times V_{H_2}(t)/V_Q \end{cases} \quad (11)$$

成纱混色比时序化规律为

$$\lambda_y(t) = \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 100 & 0 \\ 33.3 & 33.3 & 33.3 \\ 0 & 100 & 0 \end{bmatrix}; \quad (12)$$

成纱颜色时序化规律为

$$C_y(t) = \begin{bmatrix} r_2 & g_2 & b_2 \\ r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

2) 采用 2 根主体粗纱和 1 根辅助粗纱纺制。2

根主体粗纱连续喂入,经恒定牵伸形成段彩竹节纱的基纱,1 根辅助粗纱在时间段 T_{JC} 内不喂入、在时间段 T_C 内喂入,以时序化的断续式喂入和断续式牵伸形成段彩竹节纱的粗节,辅助粗纱时序化喂入和停喂的规律即为段彩竹节纱粗细节的变化规律。

按照运动规律将运动周期分为 3 段:

$$\begin{cases} (\xi - 1) \times T_{JC} + (\xi - 1) \times T_C \leq t \leq \xi \times T_{JC} + (\xi - 1) \times T_C \\ \xi \times T_{JC} + (\xi - 1) \times T_C \leq t \leq \xi \times T_{JC} + \xi \times T_C \\ \xi \times T_{JC} + \xi \times T_C \leq t \leq (\xi + 1) \times T_{JC} + \xi \times T_C \end{cases} \quad (14)$$

式中: $\xi = 1, 2, 3, \dots, n - 1, n; T_C(\xi)/T_{JC}(\xi) \leq 20\%$ 。

三通道后罗拉速度的时序化规律为

$$\begin{cases} V_{H_1}(t) = V_H, V_{H_2}(t) = 0, V_{H_3}(t) = V_H \\ V_{H_1}(t) = V_H, V_{H_2}(t) = V_H, V_{H_3}(t) = V_H; \\ V_{H_1}(t) = V_H, V_{H_2}(t) = 0, V_{H_3}(t) = V_H \end{cases} \quad (15)$$

三通道牵伸比时序化规律为

$$E(t) = \begin{cases} (V_{H_1} + V_{H_3})/V_Q \\ [V_{H_1} + V_{H_2}(t) + V_{H_3}]/V_Q; \\ (V_{H_1} + V_{H_3})/V_Q \end{cases} \quad (16)$$

成纱线密度时序化规律为

$$\rho_y(t) = \begin{cases} [\rho_1 \times V_{H_1}(t) + \rho_3 \times V_{H_3}(t)]/V_Q \\ [\rho_1 \times V_{H_1}(t) + \rho_2 \times V_{H_2}(t) + \rho_3 \times V_{H_3}(t)]/V_Q; \\ [\rho_1 \times V_{H_1}(t) + \rho_3 \times V_{H_3}(t)]/V_Q \end{cases} \quad (17)$$

成纱混色比时序化规律为

$$\lambda_y(t) = \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 & 0 & 50 \\ 33.3 & 33.3 & 33.3 \\ 50 & 0 & 50 \end{bmatrix}; \quad (18)$$

$$C_y(t) = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} \quad (19)$$

3.2 细节分布规律的时序化设计及其纺制

3.2.1 段彩竹节纱细节分布的时序化设计 采用 1 根主体粗纱和 2 根辅助粗纱的纺纱模式时,开始

时3根(2根)粗纱恒定喂入,中途2根(1根)辅助粗纱断续式短暂停喂形成细节;采用2根主体粗纱和1根辅助粗纱的纺纱模式时,开始时3根粗纱恒定喂入,中途1根辅助粗纱周期性短暂停喂形成细节。设定细节与基纱长度之比小于20%,且细节与基纱线密度之比小于66%。图5为采用1根主体粗纱和2根辅助粗纱纺制形成的细节段彩竹节纱及其花型效果;图6为采用2根主体粗纱和1根辅助粗纱纺制形成的细节段彩竹节纱及其花型效果,开始时3根粗纱恒定喂入,中途1根辅助粗纱周期性短暂停喂。

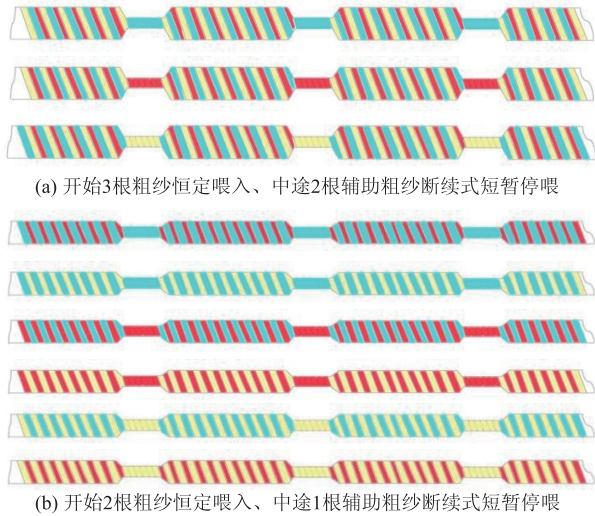


图5 采用1根主体粗纱和2根辅助粗纱纺制形成的细节段彩竹节纱及其花型效果

Fig.5 Thin segment colored slub yarns formed by one main roving and two auxiliary rovings and their pattern effects



图6 采用2根主体粗纱和1根辅助粗纱纺制形成的细节段彩竹节纱及其花型效果

Fig.6 Thin segment colored yarns formed by two main rovings and one auxiliary roving and their pattern effects

3.2.2 段彩竹节纱细节段的纺制模式

1)采用1根主体粗纱和2根辅助粗纱的纺纱模式。开始时3根粗纱连续喂入、牵伸形成基纱,2根辅助粗纱在时间段 T_{jx} 内同步或者异步喂入(文中纺制模式以2根粗纱同步喂入为例)、在时间段 T_x 内不喂入,以时序化的断续式喂入和断续式牵伸形成段彩竹节纱的细节,辅助粗纱时序化喂入和停喂的规律即为段彩竹节纱粗细节的变化规律。其

中, $T_{jx} \geq 4T_x$,细节纱线密度变化的周期时长为 $T = T_{jx} + T_x$ 。设3个牵伸通道后罗拉速度分别为 $V_{H1}(t), V_{H2}(t), V_{H3}(t)$ 。

按照运动规律将运动周期分为3段:

$$\begin{cases} (\xi-1) \times T_{jx} + (\xi-1) \times T_x \leq t \leq \xi \times T_{jx} + (\xi-1) \times T_x \\ \xi \times T_{jx} + (\xi-1) \times T_x \leq t \leq \xi \times T_{jx} + \xi \times T_x \\ \xi \times T_{jx} + \xi \times T_x \leq t \leq (\xi+1) \times T_{jx} + \xi \times T_x \end{cases} \quad (20)$$

式中: $\xi = 1, 2, 3, \dots, n-1, n; T_x(\xi)/T_{jx}(\xi) \leq 20\%$ 。

三通道后罗拉速度的时序化规律为

$$\begin{cases} V_{H1}(t) = V_H, V_{H2}(t) = V_H, V_{H3}(t) = V_H \\ V_{H1}(t) = 0, V_{H2}(t) = V_H, V_{H3}(t) = 0 \\ V_{H1}(t) = V_H, V_{H2}(t) = V_H, V_{H3}(t) = V_H \end{cases} \quad (21)$$

三通道牵伸比时序化规律为

$$E(t) = \begin{cases} [V_{H1}(t) + V_{H2} + V_{H3}(t)]/V_Q \\ V_{H2}/V_Q \\ [V_{H1}(t) + V_{H2} + V_{H3}(t)]/V_Q \end{cases} \quad (22)$$

成纱线密度时序化规律为

$$\rho_y(t) = \begin{cases} [\rho_1 \times V_{H1}(t) + \rho_2 \times V_{H2}(t) + \rho_{23} \times V_{H3}(t)]/V_Q \\ \rho_2 \times V_{H2}(t)/V_Q \\ [\rho_1 \times V_{H1}(t) + \rho_2 \times V_{H2}(t) + \rho_{23} \times V_{H3}(t)]/V_Q \end{cases} \quad (23)$$

成纱混色比时序化规律为

$$\lambda_y(t) = \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} = \begin{cases} [33.3 & 33.3 & 33.3] \\ [0 & 100 & 0] \\ [33.3 & 33.3 & 33.3] \end{cases} \quad (24)$$

$$C_y(t) = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} \quad (25)$$

2)采用2根主体粗纱和1根辅助粗纱的纺纱模式。开始时3根粗纱连续喂入、牵伸形成基纱,1根辅助粗纱在时间段 T_{jx} 内喂入、在时间段 T_x 内不喂入,以时序化的断续式喂入和断续式牵伸形成段彩竹节纱的细节,辅助粗纱时序化喂入和停喂的规律即为段彩竹节纱粗细节的变化规律。

按照运动规律将运动周期分为3段:

$$\begin{cases} (\xi-1) \times T_{\text{JX}} + (\xi-1) \times T_{\text{X}} \leq t \leq \xi \times T_{\text{JX}} + (\xi-1) \times T_{\text{X}} \\ \xi \times T_{\text{JX}} + (\xi-1) \times T_{\text{X}} \leq t \leq \xi \times T_{\text{JX}} + \xi \times T_{\text{X}} \\ \xi \times T_{\text{JX}} + \xi \times T_{\text{X}} \leq t \leq (\xi+1) \times T_{\text{JX}} + \xi \times T_{\text{X}} \end{cases} \quad \circ$$

(26)

式中： $\xi=1,2,3,\cdots,n-1,n$; $T_{\text{X}}(\xi)/T_{\text{JX}}(\xi)\leq 20\%$ 。

三通道后罗拉速度的时序化规律为

$$\begin{cases} V_{\text{H}_1}(t) = V_{\text{H}}, V_{\text{H}_2}(t) = V_{\text{H}}, V_{\text{H}_3}(t) = V_{\text{H}} \\ V_{\text{H}_1}(t) = V_{\text{H}}, V_{\text{H}_2}(t) = 0, V_{\text{H}_3}(t) = V_{\text{H}} \\ V_{\text{H}_1}(t) = V_{\text{H}}, V_{\text{H}_2}(t) = V_{\text{H}}, V_{\text{H}_3}(t) = V_{\text{H}} \end{cases}; \quad (27)$$

三通道牵伸比时序化规律为

$$E(t) = \begin{cases} [V_{\text{H}_1} + V_{\text{H}_2}(t) + V_{\text{H}_3}]/V_{\text{Q}} \\ (V_{\text{H}_1} + V_{\text{H}_3})/V_{\text{Q}} \\ [V_{\text{H}_1}(t) + V_{\text{H}_2}(t) + V_{\text{H}_3}]/V_{\text{Q}} \end{cases}; \quad (28)$$

成纱线密度时序化规律为

$$\rho_y(t) = \begin{cases} [\rho_1 \times V_{\text{H}_1}(t) + \rho_2 \times V_{\text{H}_2}(t) + \rho_{23} \times V_{\text{H}_3}(t)]/V_{\text{Q}} \\ [\rho_1 \times V_{\text{H}_1}(t) + \rho_3 \times V_{\text{H}_3}(t)]/V_{\text{Q}} \\ [\rho_1 \times V_{\text{H}_1}(t) + \rho_2 \times V_{\text{H}_2}(t) + \rho_{23} \times V_{\text{H}_2}(t)]/V_{\text{Q}} \end{cases}; \quad (29)$$

成纱混色比时序化规律为

$$\lambda_y(t) = \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} 33.3 & 33.3 & 33.3 \\ 50 & 0 & 50 \\ 33.3 & 33.3 & 33.3 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 33.3 & 33.3 & 33.3 \end{bmatrix} \end{cases}; \quad (30)$$

$$C_y(t) = \begin{cases} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ 0 \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ g_1 & g_2 & g_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \\ \lambda_3(t) \end{bmatrix} \end{cases} \quad \circ \quad (31)$$

表 1 段彩竹节纱粗节段工艺参数设计

Tab.1 Process parameters design of thick segment colored slub yarn

纱线及其分段	线密度/tex	总牵伸倍数			前区牵伸 倍数	段长/mm	时间/s
		左通道	中通道	右通道			
a	基纱	14.6	30.82		25.68	600	4.7
	粗节	29.2	30.82	61.64	25.68	100	0.8

4 具有粗细节特征的段彩竹节纱
纺织

4.1 具有粗节的段彩竹节纱纺织

4.1.1 粗节段彩竹节的纱外观设计 设定粗细节纱的粗节段基纱密度为 14.6 tex,粗节倍率为 2,粗节长度为 100 mm,基纱长度为 600 mm;三通道数控细纱机上左、中、右 3 个通道可分别喂入不同颜色的粗纱,品种 1[#]选用白色粗纱(左通道)、蓝色粗纱(中通道)和黄色粗纱(右通道)(见图 7),品种 2[#]选用黑色粗纱(左通道)、红色粗纱(中通道)和黑色粗纱(右通道)(见图 8),其定量均为 0.45 g/m。喂入方式为中通道粗纱连续稳定喂入,左通道和右通道的粗纱同步断续喂入。



图 7 段彩竹节纱粗节段品种 1[#]外观

Fig.7 Appearance of type 1[#] thick segment colored slub yarn



图 8 段彩竹节纱粗节段品种 2[#]外观

Fig.8 Appearance of type 2[#] thick segment colored slub yarn

4.1.2 粗节段彩竹节纱的纺纱工艺设计 根据纺织粗节段彩竹节纱的机理,按照式(8)~(10)求出纺织粗节段彩竹节纱的工艺参数,具体见表 1。

4.1.3 粗节段彩竹节纱及其织物 粗节段彩竹节纱的线密度见表 2。品种 1[#]粗节倍率为 1.9,品种 2[#]粗节倍率为 1.86,与倍率的理论值 2 相差不大,粗节效果较理想,且纺织出的粗节是按照设计的时序化规律分布的。图 9 为段彩竹节纱粗节段纱线及织物布面效果。由图 9 可以看出,当三通道数控细纱机上的 1 个通道连续稳定喂入粗纱,另 2 个通道同步断续喂入粗纱时,可织出 2 色点状条纹的段彩竹节纱,整个布面呈现出波浪的动感,竹节的存在使色彩更加凹凸分明。

表2 粗节段彩竹节纱线密度

Tab.2 Linear densities of thick segment colored slub yarns

		单位:tex	
纱线种类		理论线密度	实际线密度
品种1 [#]	基纱	14.6	15.2
	粗节	29.2	28.9
品种2 [#]	基纱	14.6	15.5
	粗节	29.2	28.8



图9 段彩竹节纱粗节段纱线及织物布面效果

Fig.9 Yarn and fabric surface effects of thick segment colored slub yarns

4.2 具有细节的段彩竹节纱纺织

4.2.1 细节段彩竹节纱的外观设计 设定段彩竹节纱细节段的密度为14.6 tex,细节倍率为2;三通道数控细纱机上左、中、右3个通道可分别喂入不同颜色的粗纱,品种3[#]选用白色粗纱(左通道)、蓝色粗纱(中通道)和白色粗纱(右通道)(见图10),品种4[#]选用黑色粗纱(左通道)、红色粗纱(中通道)和

白色粗纱(右通道)(见图11),品种5[#]选用白色粗纱(左通道)、红色粗纱(中通道)和白色粗纱(右通道)(见图12),其定量均为0.45 g/m。喂入方式为中通道粗纱连续稳定喂入,左通道和右通道的粗纱周期性同步断续停喂。



图10 段彩竹节纱细节段品种3[#]外观
Fig.10 Appearance of type 3[#] thin segment colored slub yarn



图11 段彩竹节纱细节段品种4[#]外观
Fig.11 Appearance of type 4[#] thin segment colored slub yarn



图12 段彩竹节纱细节段品种5[#]外观
Fig.12 Appearance of type 5[#] thin segment colored slub yarn

4.2.2 细节段彩竹节纱的纺纱工艺设计 根据纺制细节段彩竹节纱的机理,按照式(20)~(22),(26)~(28)求出纺制细节段彩竹节纱的工艺参数,具体见表3~表5。

表3 段彩竹节纱细节段品种3[#]工艺参数设计

Tab.3 Process parameters design of type 3 [#] thin segment colored slub yarn								
纱线及其分段		线密度/tex	总牵伸倍数			前区牵伸 倍数	段长/mm	时间/s
			左通道	中通道	右通道			
b	基纱	29.2	61.64	30.82	61.64	25.68	1434	11.2
	细节	14.6		30.82		25.68	286	2.2

表4 段彩竹节纱细节段品种4[#]工艺参数设计

		Tab.4 Process parameters design of type 4 [#] thin segment colored slub yarn						
纱线及其分段		线密度/tex	总牵伸倍数			前区牵伸 倍数	段长/mm	时间/s
			左通道	中通道	右通道			
c	基纱	29.2	41.10	61.64	41.10	34.25	1434	11.2
	细节	14.6	61.64	61.64		34.25	286	2.2
d	基纱	29.2	41.10	61.64	41.10	34.25	1434	11.2
	细节	14.6		61.64	61.64	34.25	286	2.2

表5 段彩竹节纱细节段品种5[#]工艺参数设计

		Tab.5 Process parameters design of type 5 [#] thin segment colored slub yarn						
纱线及其分段		线密度/tex	总牵伸倍数			前区牵伸 倍数	段长/mm	时间/s
			左通道	中通道	右通道			
e	基纱	29.2	61.64	30.82	61.64	25.68	7170	55.9
	细节	14.6		30.82		25.68	715	5.6

4.2.3 细节段彩竹节纱及其织物 细节段彩竹节纱的线密度见表 6。品种 3[#]细节倍率为 2.07,品种 4[#]细节倍率为 2.12,品种 5[#]细节倍率为 1.96,与倍率的理论值 2 相差不大,细节效果较理想,且纺制出的细节是按照设计的时序化规律分布的。图 13 为段彩竹节纱细节段纱线及织物布面效果。由图 13 可以看出,当三通道数控细纱机上的 3 个通道长时间稳定喂入粗纱,其中 2 个通道同步短暂停喂粗纱时,若基纱和细节长度较短,可织出点状花纹的段彩竹节纱;若 2 个通道粗纱异步短暂停喂,且基纱和细节长度较短时,织出的段彩竹节纱点状花纹色彩分布明显,如撒在布面上的繁星。由于细节的存在,整个布面立体感强,凹凸有致,与粗节相比,质地更加紧密厚实,花纹精致。若 2 个通道粗纱同步短暂停喂,且基纱和细节长度较长时,与短片段细节呈现出了截然不同的外观效果,织物上形成了时隐时现的细条纹,使布面染上了一抹别样的色彩。

表 6 细节段彩竹节纱线密度

Tab.6 Linear densities of thin segment colored slub yarns

单位:tex			
纱线种类		理论线密度	实际线密度
品种 3 [#]	基纱	29.2	31.4
	细节	14.6	15.2
品种 4 [#]	基纱	29.2	32.5
	细节	14.6	15.3
品种 5 [#]	基纱	29.2	28.2
	细节	14.6	14.4

表 7 段彩竹节纱粗细节工艺参数设计

Tab.7 Process parameters design of thick and thin segment colored slub yarns

纱线及其分段		线密度/tex	总牵伸倍数			前区牵伸倍数	段长/mm	周期/个	时间/s
			左通道	中通道	右通道				
f	基纱	14.6		30.82		25.68	600	6	4.7
	粗节	29.2	30.82	30.82		25.68	100		0.8
g	基纱	14.6		30.82		25.68	600		4.7
	粗节	29.2		30.82	30.82	25.68	100		0.8
h	基纱	29.2	30.82	30.82		25.68	600	6	4.7
	细节	14.6		30.82		25.68	100		0.8
i	基纱	29.2		30.82	30.82	25.68	600		4.7
	细节	14.6		30.82		25.68	100		0.8

4.3.3 粗细节段彩竹节纱及其织物 粗细节段彩竹节纱的线密度见表 8。粗节周期内 j 的粗节倍率为 2.02,k 的粗节倍率为 2,细节周期内 l 的粗节倍率为 2.06,m 的粗节倍率为 2.02,粗细节效果较理想,且纺制出的粗细节与设计的时序化规律吻合。

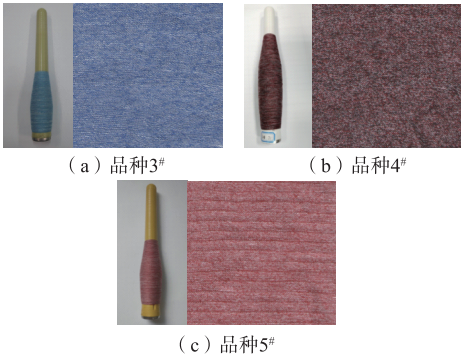


图 13 段彩竹节纱细节段纱线及织物布面效果

Fig.13 Yarn and fabric surface effects of thin segment colored slub yarns

4.3 具有粗细节的段彩竹节纱纺织

4.3.1 粗细节段彩竹节纱的外观设计 设定段彩竹节纱粗节段基纱密度为 14.6 tex,粗节倍率为 2,粗节长度为 100 mm,基纱长度为 600 mm,粗节周期为 10 个;设定段彩竹节纱细节段的细节密度为 14.6 tex,细节倍率为 2,细节长度为 100 mm,基纱长度为 600 mm,细节周期为 10 个;三通道数控细纱机上左、中、右 3 个通道可分别喂入不同颜色的粗纱,选用白色粗纱(左通道)、红色粗纱(中通道)和白色粗纱(右通道),其定量均为 0.45 g/m。喂入方式为中通道粗纱连续稳定喂入,左通道和右通道的粗纱周期性异步断续喂入。

4.3.2 粗细节段彩竹节纱的纺纱工艺设计 结合纺制粗细节纱的机理,先纺制 6 个周期的粗节段彩竹节纱,接着纺制 6 个周期的细节段彩竹节纱,以此循环得到同时具有粗细节的段彩粗细节纱。具体工艺参数见表 7。

图 14 为段彩竹节纱粗细节段纱线及织物布面效果。由图 14 可以看出,当段彩粗细节相结合时,粗节段较为蓬松,细节段较为紧密,呈现出两种不一样的外观风格,整体色彩上粗节段的素雅与细节段的明艳相间,给人别样的视觉冲击。

表8 粗细节段彩竹节纱线密度

Tab.8 Linear densities of thick and thin segment colored

slub yarns		单位:tex	
纱线种类		理论线密度	实际线密度
j	基纱	14.6	13.9
	粗节	29.2	28.1
k	基纱	14.6	14.2
	粗节	29.2	28.5
l	基纱	29.2	28.3
	细节	14.6	13.7
m	基纱	29.2	28.7
	细节	14.6	14.2



图14 段彩竹节纱粗细节段纱线及织物布面效果
Fig.14 Yarn and fabric surface effect of thick and thin colored slub yarn

5 结 语

通过定义具有粗节和细节特征的段彩竹节纱,指出其形成机理,在此基础上,提出粗细节段彩竹节纱的时序化设计方法;结合三通道环锭细纱机的数控纺纱原理,基于段彩竹节纱结构参数时序化分布特征,提出粗细节时序化纺制的原理和方法;设计了12种具有不同粗细节分布特征的段彩竹节纱花型及其成纱工艺参数,纺制了4种具有粗细节特征的段彩竹节纱及织物,效果良好。段彩竹节纱与传统竹节纱相比,色彩鲜明、花纹独特、风格多变,由于粗细形态变化和色彩分布变化同时存在,使段彩竹节纱更加立体、艳丽。文中对段彩竹节纱的色彩、花纹进行了深入探索,但在时序化纺制纱线时,由于细纱机起止有滞后性,导致粗细节线密度和长度与理论有偏差,这些问题值得进一步研究。

参考文献:

[1] 桂亚夫. 色纺生产工艺流程与新型花式纱线开发[J]. 棉纺织技术, 2017, 45(5): 1-4.
GUI Yafu. Color spun production processing and new fancy yarn development[J]. Cotton Textile Technology, 2017, 45(5): 1-4. (in Chinese)
[2] 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.
SUN Xianqiang, XUE Yuan, JIN Shulan, et al. Design of colored slub yarn fabric based on three-channel digital

spinning[J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(11): 6-11. (in Chinese)
[3] 徐志武, 于健, 曾德军, 等. 三通道环锭细纱机纺制段彩竹节纱机理及其花型与工艺设计[J]. 纺织导报, 2019(8): 49-53.
XU Zhiwu, YU Jian, ZENG Dejun, et al. Mechanism of the colored slub yarn spun via three-channel ring spinning machine and its pattern and process design[J]. China Textile Leader, 2019(8): 49-53. (in Chinese)
[4] 郭明瑞, 高卫东. 两通道环锭纺单区牵伸纺制段彩竹节纱的方法及其特点[J]. 纺织学报, 2022, 43(8): 21-26, 33.
GUO Mingrui, GAO Weidong. Method and characteristics of section colored slub yarns spun by two-channel ring spinning based on single-zone drafting[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(8): 21-26, 33. (in Chinese)
[5] 张洪, 谢春萍, 张昀, 等. 段彩竹节纱纺制工艺探讨[J]. 棉纺织技术, 2012, 40(3): 15-18.
ZHANG Hong, XIE Chunping, ZHANG Yun, et al. Discussion of spinning section-color slub yarn[J]. Cotton Textile Technology, 2012, 40(3): 15-18. (in Chinese)
[6] 顾燕, 薛元, 徐志武, 等. 三通道数码纺渐变纱产品设计[J]. 现代纺织技术, 2019, 27(6): 31-36.
GU Yan, XUE Yuan, XU Zhiwu, et al. Design of three-channel digital-spinning gradient colored yarn products[J]. Advanced Textile Technology, 2019, 27(6): 31-36. (in Chinese)
[7] 薛元, 魏晓婷, 刘曰兴, 等. 三通道环锭数码细纱机纺制竹节纱的机理及工艺优化[J]. 中国纤检, 2018(3): 134-138.
XUE Yuan, WEI Xiaoting, LIU Yuexing, et al. The principle and process optimization of slub yarns spun by three-channel digital ring spinning[J]. China Fiber Inspection, 2018(3): 134-138. (in Chinese)
[8] 王君丽, 苏旭中. 周期型段彩竹节纱纬编织物图案形成原理及设计[J]. 纺织导报, 2018(8): 77-79.
WANG Junli, SU Xuzhong. Design and pattern formation principle of weft-knitted fabric of cyclical section-color slub yarn[J]. China Textile Leader, 2018(8): 77-79. (in Chinese)
[9] 薛元, 王鸿博, 周建, 等. 三组份异同步牵伸调控纱线线密度及混纺比的方法及装置: 104762713A[P]. 2015-07-08.
[10] 赵洋洋, 薛元, 刘曰兴, 等. 竹节纱粗细节形成机制及其纺纱工艺比较[J]. 纺织学报, 2019, 40(3): 39-43, 48.
ZHAO Yangyang, XUE Yuan, LIU Yuexing, et al. Formation mechanism of thick and thin sections of slub yarn and comparison of spinning process[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(3): 39-43, 48. (in Chinese)
(责任编辑:沈天琦)