

牛仔面料用转杯纺纱线工艺分析与质量优化

杨瑞华，薛元，王鸿博，高卫东  
(江南大学生态纺织教育部重点实验室,江苏无锡214122)

**摘要:**转杯纺成纱器在牛仔面料生产中应用广泛,转杯及其凝聚槽类型是影响成纱特性的重要参数。探究不同直径的T型凝聚槽对转杯内气流场的影响,借助ANSYS有限元软件分析纺纱通道内气流场数值,并进行纺纱实验验证,优化成纱质量,提供面料服用性能。研究表明:在相同工艺条件下,凝聚槽一周(0°~360°)范围内,气流速度为T<sub>36</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>46</sub>型;在20°~340°范围内,气流压力为T<sub>46</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>36</sub>型,即负压绝对值T<sub>36</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>46</sub>型,但在0°(即360°)位置处,由于纤维输送通道气压的冲击作用,使转杯内气流压力为T<sub>36</sub>型>T<sub>46</sub>型>T<sub>42</sub>型。3种直径的T型槽内气流静压和速度趋势基本一致,以直径42mm的T型槽为例,转杯内的静压大部分为负压,位于-4.1~-10.8kPa之间;气流在纤维输送通道中加速运动,出口处的气流速度达到241m/s;3种不同直径T型转杯所纺纱线强力为T<sub>36</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>46</sub>型,断裂伸长率为T<sub>36</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>46</sub>型,条干不匀率为T<sub>46</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>36</sub>型,毛羽值为T<sub>46</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>36</sub>型。

**关键词:**转杯纺;T型槽;直径;气流场;纱线性能  
**中图分类号:**TS101.2**文献标志码:**A**文章编号:**2096-1928(2017)06-0471-07

Process Analysis and Quality Optimization of  
Rotor Spinning Yarn for Denim Fabric

YANG Ruihua, XUE yuan, WANG Hongbo, GAO Weidong  
(Key Laboratory of Eco-Textiles, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Rotor spinning yarn is widely used in denim fabric production. During the rotor spinning process, rotor and groove are important parameters affecting the yarn characteristics. The mechanism of three different diameters of the T-slot rotor to high speed airflow during rotor spun yarn spinning process is investigated. Airflow speed and static pressure in three different diameters of T-slot rotor, such as 36 mm, 42 mm, 46 mm, are studied by finite element software ANSYS, and verified by experiments. The results showed that under the same conditions, speeds ranking in three different diameters of T type groove was: T<sub>36</sub> > T<sub>42</sub> > T<sub>46</sub>. At 0° and 360° positions, the static pressures were T<sub>36</sub> > T<sub>46</sub> > T<sub>42</sub>, and at the rest positions, they were T<sub>46</sub> > T<sub>42</sub> > T<sub>36</sub>. Taking T slot of 42 mm diameter as example, static pressures within the rotor were between -4.1 kPa and -10.8 kPa. The airstream accelerates from the transfer channel inlet to the outlet with the decrease of the pipe diameter, and reached the biggest-value to 241 m/s at the outlet. Yarn strength ranking was: T<sub>36</sub> > T<sub>42</sub> > T<sub>46</sub>, breaking elongation ranking was: T<sub>36</sub> > T<sub>42</sub> > T<sub>46</sub>, evenness (CV%) ranking was: T<sub>46</sub> > T<sub>42</sub> > T<sub>36</sub>, hairiness ranking was: T<sub>46</sub> > T<sub>42</sub> > T<sub>36</sub>.

**Key words:** rotor spinning, T groove, diameter, airflow, yarn properties

转杯纺以生产纯棉纱为主,广泛应用于牛仔面料。该成纱技术是应用最为普遍的一种新型成纱方法,属于自由端纺纱,具有成纱速度快、生产效率高、流程短和清洁程度好等优点。成纱过程中棉纤

收稿日期:2017-04-18; 修订日期:2017-05-31。  
基金项目:国家自然科学基金项目(51403085);中央高校基本科研业务费专项资金项目(JUSRP5163A);江苏省政策引导类计划项目(BY2016022-29);中国纺织工业联合会应用基础研究项目(J201506)。  
作者简介:杨瑞华(1981—),女,副教授,博士。主要研究方向为现代纺织技术。Email:yangrh@jiangnan.edu.cn

维在纺杯中有并合凝聚效应,纺杯在高速旋转时会产生离心力,使得棉纤维在离心力的作用下产生抱合力及摩擦力,实现正常纺纱<sup>[1-4]</sup>。随着转杯纺纱机性能的不断改进和提高,在纺纱工艺技术和产品开发方面有了较大突破。KONG L X 等<sup>[5]</sup>借助 Fluent 软件,研究了纤维在输送通道内的运动形态特征;马开斌<sup>[6]</sup>通过测试转杯纱的成纱强力,得出减少成纱细节是提高成纱强力的最有效办法;LIN H T 等<sup>[7]</sup>引入了纤维输送通道特征数,得出特征数增大,纤维输送通道气流速度和负压减小的结论。

文中以转杯纺成纱器内气流场作为研究对象,采用 ANSYS 有限元分析软件对流场内的气体运动特征进行数值模拟和计算,重点分析了 3 种不同直径的 T 型转杯凝聚槽对成纱质量的影响,并在样机上纺制不同直径转杯的纱线,测试纱线的断裂强力、伸长率、条干不匀率、毛羽值。通过分析不同直径 T 型槽对转杯纺流场的影响,为选择合适的转杯开发优质细纱,提高面料质量提供理论依据。

## 1 建立转杯纺成纱器几何模型

文中采用抽气式转杯纺纱通道,其内部流场的三维模型如图 1 所示。图 1 中三维模型是根据浙江日发公司生产的某型号转杯纺纱机的转杯建立的,凝聚槽型为 T 型,直径 42 mm,滑梯角 68°。为了探究不同直径的 T 型凝聚槽对转杯内气流场的影响,分别对直径 36, 42, 46 mm 的转杯进行模拟。

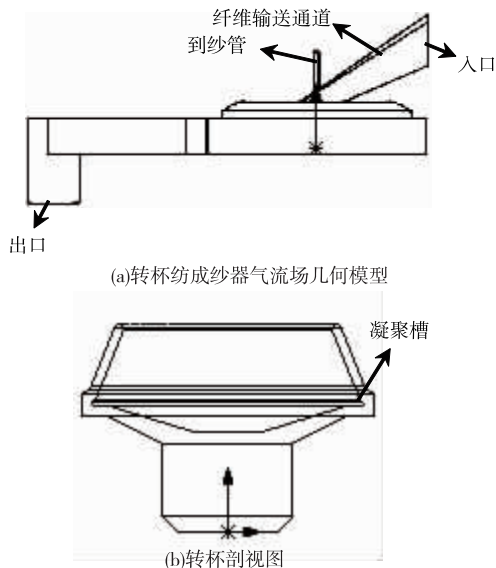


图 1 转杯纺成纱器关键气流场几何模型

Fig. 1 Geometric model of airflow field in rotor spinning unit and sectional view of rotor

## 2 转杯纺纱通道的数值模拟

### 2.1 控制方程

转杯纺成纱器内气体高速运动,流动特征为可压缩黏性流动。为便于模拟计算,忽略成纱过程中纤维输送通道和转杯内温度变化以及纤维运动对流体的影响,采用湍流模型作为流场分析模型,气体流动规律满足质量守恒和动量守恒定律。

质量守恒的微分方程式为

$$\frac{\partial(\rho u_k)}{\partial x_k} = 0 \quad (1)$$

式中: $u_k$  为气流速度在  $x_k$  方向的运动分量; $\rho$  为气体密度<sup>[8]</sup>。

动量守恒微分方程式为

$$\frac{\partial(\rho u_i u_k)}{\partial x_k} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (3)$$

式中: $u_i$  为气流速度在  $x_i$  方向的分量; $p$  为气体压强; $Re$  为雷诺数; $\tau_{ij}$  为牛顿流体的黏性应力张量<sup>[8]</sup>。

采用标准  $k-\varepsilon$  湍流模型方程进行分析:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (5)$$

式中: $G_k$  为平均速度梯度引起的湍动能  $k$  的产生项; $G_b$  为浮力引起的湍动能  $k$  的产生项; $Y_M$  为可压缩湍流中脉动膨胀的贡献; $\mu_t$  为湍流黏性系数; $\sigma_k$ 、 $\sigma_\varepsilon$  分别为湍动能  $k$  和耗散能  $\varepsilon$  对应的普朗特数; $S_k$  和  $S_\varepsilon$  为用户定义的源项; $C_{1\varepsilon} = 1.42$ ;  $C_{2\varepsilon} = 1.68$ ;  $C_{3\varepsilon} = 0.09$ <sup>[8]</sup>。

### 2.2 边界条件设置

入口边界条件:暂不考虑从导纱管流入的气流,纤维输送通道进口设置为质量流量入口,其中质量流量  $q_m = \rho \times v \times S = 0.0054 \text{ kg}^3/\text{s}$ 。

出口边界条件:以实际纺纱工艺过程为参考依据,出口边界条件设定为压力出口,出口静压为  $-8 \text{ kPa}$ <sup>[1]</sup>。

固体壁面:在转杯纺成纱过程中,纺杯可达到 20 万 r/min 高速旋转,因此纺杯壁面设为旋转壁面,运动类型为旋转运动<sup>[9]</sup>,模拟转速设为 12 万 r/min。

控制方程求解采用应用隐式有限体积法,运用二阶迎风格式离散对流项,以 SIMPLE 算法对流场

进行求解。

### 3 数值模拟与分析

#### 3.1 转杯纺成纱器内流场分析

对采用 T 型凝聚槽纺杯的成纱器内气流场进行数值模拟与计算,并对 3 种直径的纺杯内气流场

运动特征加以对比分析。由于 3 种不同直径 T 型凝聚槽纺纱通道内气流场的静压分布图与速度分布矢量图的趋势变化微小,文中以 T 型凝聚槽 42 mm 直径纺杯的成纱器内气流场为例进行分析。

T 型凝聚槽 42 mm 直径纺杯的成纱器内静压特征和速度特征如图 2 和图 3 所示。

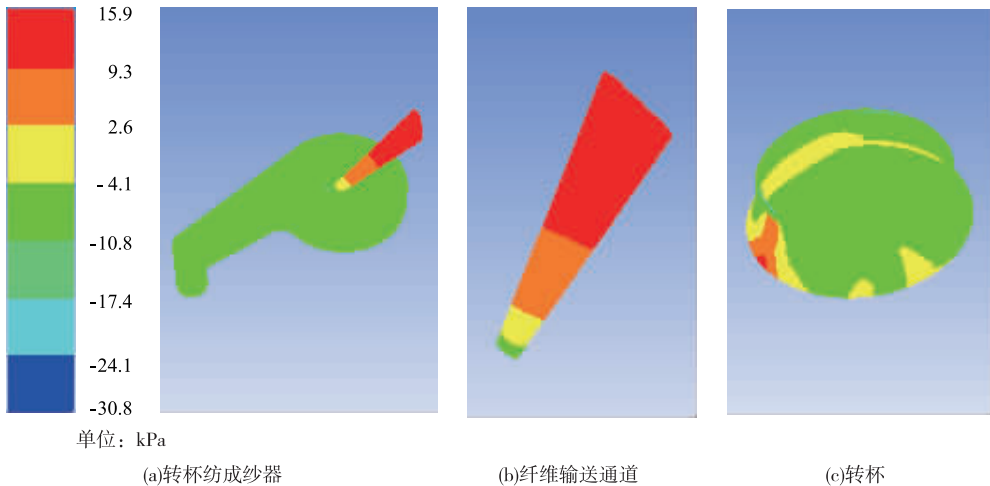


图 2 T 型凝聚槽 42 mm 直径纺杯的成纱器内静压特征

Fig. 2 Characteristics of airflow pressure in spinning unit with T<sub>42</sub> rotor

由图 2(a)可知,转杯纺纱通道内的静压为负压,小于纤维输送通道内的静压。由图 2(b)和图 2(c)可见,纤维输送通道入口处压力最大,约为 1.5 kPa,在气流从入口到纤维输送通道出口的运动过程中,正压以大梯度迅速转变为负压,出口处静压值最小达到约 -7 kPa,该负压梯度有利于纤维顺利脱离分梳辊,在输送通道内完成伸直平行。由图 4 可以得出,转杯区域内负压大部分处于 -4 ~ -10 kPa 之间,转杯内的负压使得纤维快速由纤维输送通道向转杯内运动,完成纤维的凝聚和并合。

由图 3(a)和图 3(b)可以看出,气流速度随着纤维输送通道的横截面积不断减小,呈现加速运动的趋势,并在出口截面达到最大值 241 m/s。气流的加速有利于纤维输送通道中弯钩纤维的伸直和纤维向转杯内顺利转移。由图 3(c)可以看出,经纤维输送通道,气流高速进入转杯内,冲击纺杯壁后分成顺时针和逆时针两股气流;在纺杯为顺时针运动时两股气流沿着顺时针方向运动的气流较多,逆时针方向的较少,并随着转杯高速旋转而逐渐在凝聚槽底部完成合拢。

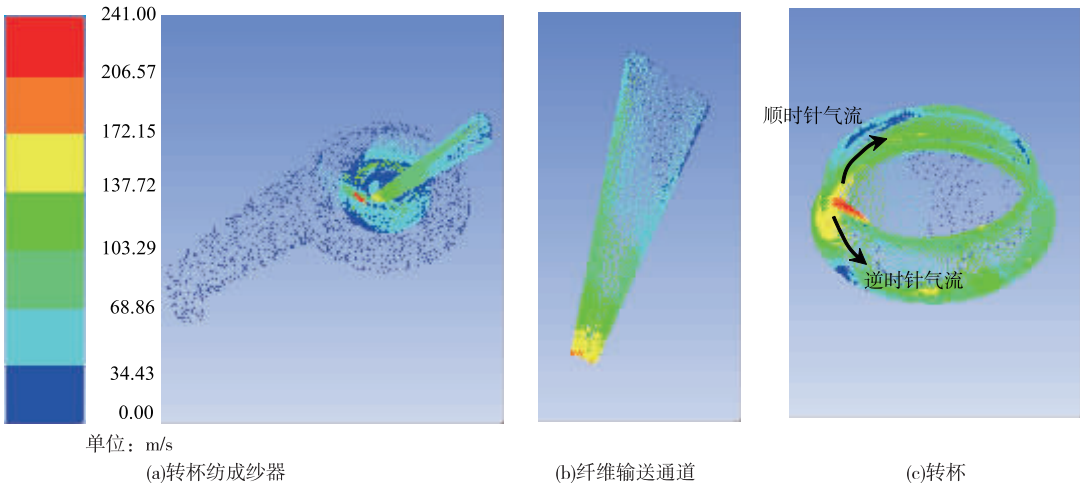


图 3 T 型凝聚槽 42 mm 直径纺杯的成纱器内速度特征

Fig. 3 Characteristics of airflow velocity in spinning unit with T<sub>42</sub> rotor

3.2 转杯直径对凝聚槽内气流场的影响分析

凝聚槽规格是决定转杯纺成纱品质和种类的重要工艺参数,转杯直径是影响成纱速度的关键因素。图 4 为不同直径转杯 T 型凝聚槽内气流压力特征示意,图 5 为直径转杯 T 型凝聚槽内气流速度分布示意,图 6 为凝聚槽一周 360°每隔 20°对气流压力和速度进行取值的数值示意。将纤维输送通道中心线的虚拟延长线与凝聚槽的交汇处设为 0°,角

度沿着顺时针方向增加。  
由图 4 可以看出,在相同工艺条件下,T<sub>36</sub>型凝聚槽内气流负压在 -3.7 ~ -32.9 kPa 之间,T<sub>42</sub>型凝聚槽内气流负压在 -4.1 ~ -30.8 kPa 之间,T<sub>46</sub>型凝聚槽内气流负压在 -4.1 ~ -30.8 kPa 之间。  
由图 5 可以看出,在相同工艺条件下,凝聚槽内气流速度特征值为 T<sub>36</sub>型 > T<sub>42</sub>型 > T<sub>46</sub>型;在不同直径的凝聚槽一周内,气流速度变化趋势基本一致。

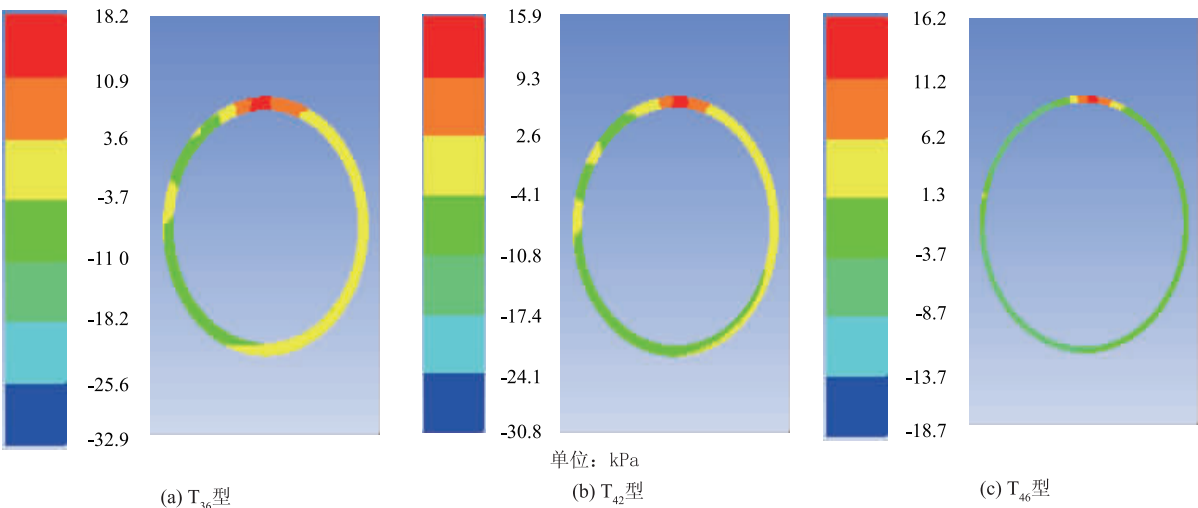


图 4 不同直径转杯 T 型凝聚槽内压力特征  
Fig.4 Characteristics of pressure in rotor grooves of different rotor diameter

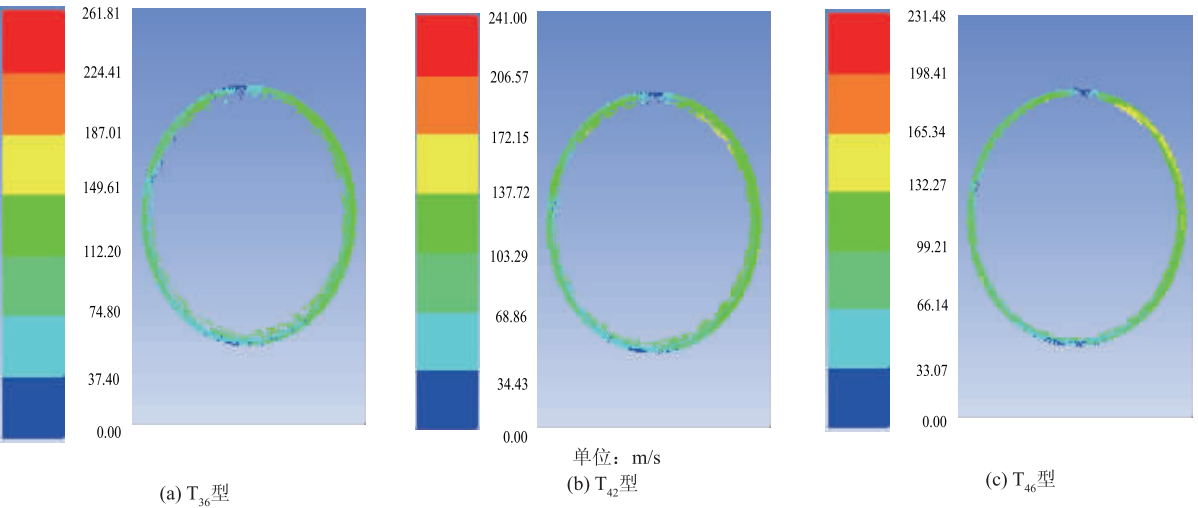


图 5 不同直径转杯 T 型凝聚槽内速度特征  
Fig.5 Characteristics of velocity in rotor grooves of different rotor diameter

由 6(a)可以看出,在纤维输送通道中心线的虚拟延长线与凝聚槽的交汇处(假设的 0°位置),凝聚槽内的气流压力值最大;在 0°~20°区间内,气流由正压迅速降为负压;在 20°~320°区间内,气流压力相差不大,比较稳定;在 320°~360°区间内,气流压力又由负压迅速增加为正压。因此可以认为,在 0°位置左右区间内存在正压区,表明气流由纤维输送

通道高速进入另外一个高速旋转区域(即凝聚槽内),形成强冲击现象,从而形成一定的正压。  
由图 6(b)可以看出,在纤维输送通道中心线的虚拟延长线与凝聚槽的交汇处(假设的 0°和 180°位置),气流速度为谷值 40 ~ 60 m/s;在 0°~20°区间内,气流速度快速增加,梯度较大,在 20°位置处,气流速度达到最大值 120 ~ 160 m/s;20°~120°区间内

气流速度逐渐减小,但梯度缓慢;120°~180°区间内气流速度又急剧减少至 40~60 m/s;在 180°~280°区间内,气流速度逐渐增大;在 280°~340°区间内,气流速度变化很小;在 340°~360°区间内,气流速度又迅速降低。转杯内高速气流,有利于纤维运动和凝聚,而在 0°和 180°的位置处却形成了两个低速区,不利用纤维的凝聚和加捻,导致转杯纺细纱表面缠绕纤维的存在。

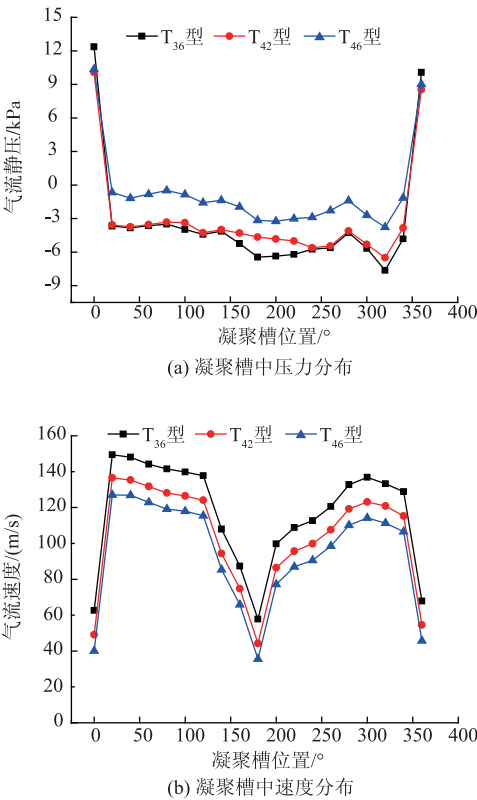


图 6 不同直径转杯的 T 型凝聚槽中压力和速度特征  
Fig. 6 Pressure characteristics in rotor groove and velocity

## 4 纺纱实验

### 4.1 原料与纺纱工艺

棉粗纱规格为 0.502 g/m,确定实验产品为 58.3 tex和 36.4 tex 的纯棉纱,设计捻系数为 460,实验方案见表 1。

表 1 实验方案 Tab.1 Experimental program			
方 案	转杯速度 (r/min)	分数辊速度 (r/min)	引纱速度 (m/s)
T <sub>36</sub> 型(58.3tex)	30 000	6 000	49.8
T <sub>42</sub> 型(58.3tex)	30 000	6 000	49.8
T <sub>46</sub> 型(58.3tex)	30 000	6 000	49.8
T <sub>36</sub> 型(36.4tex)	30 000	6 000	39.4
T <sub>42</sub> 型(36.4tex)	30 000	6 000	39.4
T <sub>46</sub> 型(36.4tex)	30 000	6 000	39.4

### 4.2 纱线性能测试仪器与方法

4.2.1 仪器 YG068C 型全自动单纱强力仪,常州第一纺织设备有限公司制造;USTER TESTER5 条干测试仪、USTER TESTER5 毛羽测试仪,均由苏州乌斯特技术公司制造。

4.2.2 纱线力学性能测试 参照 GB/T 3916—1997《纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强度和断裂伸长率的测定》,预张力系数 0.5 cN/tex,每管拉伸 30 次,拉伸速度 300 m/min,取样间隔 10 cm。

条干测试:根据 GB/T 3292—1997《纺织品 条干 条干不匀试验方法》,测试速度 400 m/min,测试时间 1 min,吸纱器使用压力为最大压力的 67%。

毛羽指标测试:采用 ASTM D5647—2001《用光电仪器测量纱线的毛状特性的标准指南》,测试速度 400 m/min,测试时间 1 min。

### 4.3 结果与讨论

纱线性能测试结果见表 2 和表 3。由表 2 和表 3 可知,3 种不同直径 T 型转杯所纺纱线的断裂强力为 T<sub>36</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>46</sub>型,断裂伸长率为 T<sub>36</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>46</sub>型,条干不匀率为 T<sub>46</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>36</sub>型,毛羽值为 T<sub>46</sub>型>T<sub>42</sub>型>T<sub>36</sub>型。

T<sub>36</sub>型,T<sub>42</sub>型和 T<sub>46</sub>型转杯内气流速度平均值分别为 261.81,241 和 231.48 m/s。为了更直观呈现成纱性能和气流速度之间的关系,以 3 种直径转杯内的气流速度为横坐标,纱线性能为纵坐标分别具体分析。

表 2 58.3 tex 纱线性能 Tab.2 Yarn properties of 58.3 tex				
规 格	断裂强力 均值/cN	断裂伸长率 均值/%	条干 不匀率/%	毛羽值
T <sub>36</sub> 型	783.19	9.05	13.36	6.09
T <sub>42</sub> 型	727.79	8.73	14.17	7.25
T <sub>46</sub> 型	696.36	7.78	14.60	8.16

表 3 36.4 tex 纱线性能 Tab.3 Yarn properties of 36.4 tex				
规 格	断裂强力 均值/cN	断裂伸长率 均值/%	条干 不匀率/%	毛羽值
T <sub>36</sub> 型	464.09	7.63	15.17	5.67
T <sub>42</sub> 型	420.50	7.26	15.22	6.43
T <sub>46</sub> 型	394.20	7.09	15.85	6.70

图 7 为采用不同直径 T 型槽生产的纱线断裂强力分布。



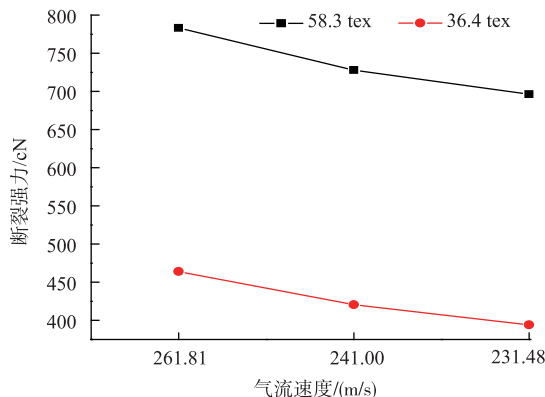


图7 不同直径T型槽纱线断裂强力分布

Fig. 7 Breaking strength distribution of different diameters rotors with T-slot

由图7可以看出,T型转杯凝聚槽内气流速度大,则纱线强力大,凝聚槽内气流速度小,则纱线强力小。转杯中纱条受到的离心力

$$F = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

式中: $m$ 为单位长度纱条的质量; $v$ 为转杯回转线速度; $r$ 为圆周半径(转杯直径的一半)。

式(1)表明,转杯的直径越小,气体运动速度越大,纤维在凝聚槽内受到的离心力就越大,从而聚集更紧密,纤维抱合效果更好。纤维须条越紧实,横截面越小,从而加捻阻力减小,捻回传递长度缩短,形成的纱线强力增加。所以直径最小的 $T_{36}$ 型转杯纺出的纱线强力最大, $T_{42}$ 型转杯纺出的纱线强力大于 $T_{46}$ 型转杯。

图8为采用不同直径T型槽纺制纱线的断裂伸长率分布情况。

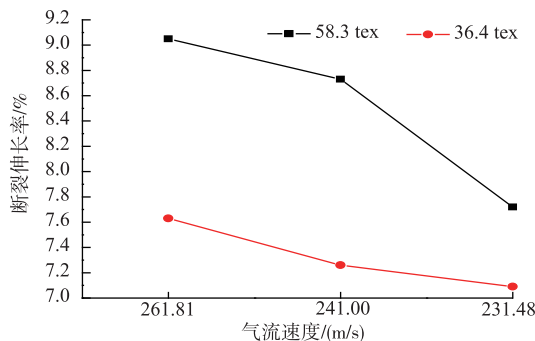


图8 不同直径T型槽纱线断裂伸长率分布

Fig. 8 Breaking elongation distribution of different diameters rotors with T-slot

由图8可以看出,凝聚槽内的气流速度越大,纱线的断裂伸长率就越大,与纱线断裂强力的分布有着相似的规律性。

图9为采用不同直径T型槽生产纺纱的条干不匀率分布情况。图10为不同直径T型槽纺制纱线

的毛羽值分布情况。

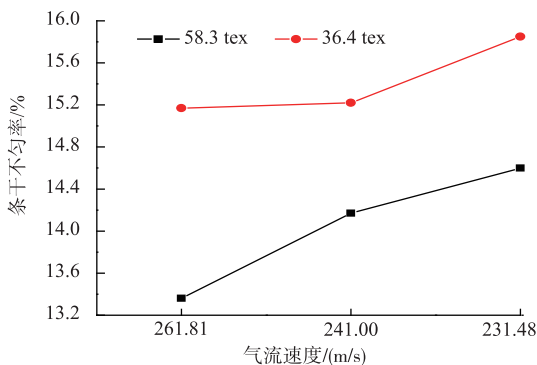


图9 不同直径T型槽纱线条干不匀率分布

Fig. 9 Yarn evenness CV distribution of different diameters rotors with T-slot

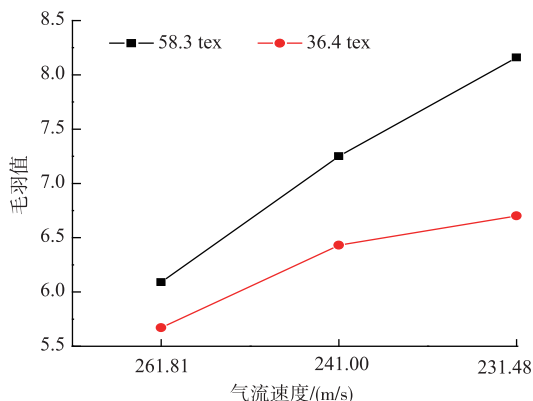


图10 不同直径T型槽纱线毛羽值分布

Fig. 10 Yarn hairiness distribution of different diameters rotors with T-slot

从图9和图10可以看出,气流速度越大,纱线的条干不匀率和毛羽值就越小。缠绕纤维的存在使得转杯纺纱产生毛羽的因素复杂<sup>[10]</sup>。凝聚槽内气流速度越小,导致纱条直径越大,影响捻度的传递,从而纱条上的捻度就越易向剥离点传递且延伸,使得捻回传递长度增大,缠绕纤维增多,纱线表面的毛羽逐渐增多。因此, $T_{46}$ 型转杯凝聚槽内的气流速度最小,其形成的缠绕纤维最多,所纺纱线的毛羽值也最大。

## 5 结 语

成纱质量是影响面料性能的关键因素,文中研究了转杯纺成纱器中的流体特征,并对成纱工艺进行了优化,具体包括以下4个方面:

1)以 $T_{42}$ 型凝聚槽为例,纤维输送通道入口处气流为正压值,在出口处气流为负压值,气流压差达到 $-8$  kPa左右。

2) 气流在纤维输送通道中随着其横截面积的逐渐减少而呈加速运动,在出口处达到 241 m/s;气流经纤维输送通道高速进入转杯内时,冲击纺杯壁后分成顺时针和逆时针两股气流;在纺杯为顺时针运动时两股气流沿着顺时针方向运动的气流较多,逆时针方向的较少,并随着转杯高速旋转而逐渐在凝聚槽底部完成合拢,形成一股气流。

3) 在 0° ~ 360° 区间内,转杯内气流速度为  $T_{36}型 > T_{42}型 > T_{46}型$ ;在 20° ~ 340° 区间内,气流负压为  $T_{46}型 > T_{42}型 > T_{36}型$ ,即负压绝对值  $T_{36}型 > T_{42}型 > T_{46}型$ ;但在 0° (即 360°) 位置处,由于纤维输送通道气压的冲击作用,转杯内气流压力为  $T_{36}型 > T_{46}型 > T_{42}型$ 。

4) 3 种不同直径 T 型转杯所纺纱线的断裂强力为  $T_{36}型 > T_{42}型 > T_{46}型$ ,断裂伸长率  $T_{36}型 > T_{42}型 > T_{46}型$ ,条干不匀率  $T_{46}型 > T_{42}型 > T_{36}型$ ,毛羽值为  $T_{46}型 > T_{42}型 > T_{36}型$ 。

参考文献:

[ 1 ] 张百祥,周慈念. 转杯纺纱[M]. 北京:纺织工业出版社,1993:61- 65.

[ 2 ] 刘超,杨瑞华,王鸿博,等. 转杯纺纱通道三维流场的数值模拟[J]. 纺织学报,2016,37(9):145-150.

LIU Chao, YANG Ruihua, WANG Hongbo, et al. Numerical simulation for 3-D flow field of rotor spinning channel[J]. Journal of Textile Research, 2016,37(9): 145-150. (in Chinese)

[ 3 ] 徐惠君,巴塔. 转杯纺转杯的作用与选择[J]. 纺织导报,2015(6):64- 67.

XU Huijun, BA Ta. The role of rotor spinning rotor and selection[J]. China Textile Leader, 2015(6): 64- 67.

(in Chinese)

[ 4 ] 杨瑞华,高卫东,王善元. 转杯纺复合纱长丝与短纤复合点位置的建模与分析[J]. 纺织学报,2011,31(4): 39- 42.

YANG Ruihua, GAO Weidong, WANG Shanyuan. Mathematic model of convergent point for rotor-spun composite yarn spinning process[J]. Journal of Textile Research, 2011, 31(4):39- 42. (in Chinese)

[ 5 ] KONG L X, Platfoot R A. Fiber transportation in confined channel with recirculation[J]. Computers and Structures, 2000, 78(1): 237-245.

[ 6 ] 马开斌. 影响转杯纺成纱强力的因素分析与改善措施[J]. 棉纺织技术,2014,42(9): 51-54.

MA Kaibin. Impact of spinning yarn into a powerful factor analysis and improvement measures[J]. Cotton Textile Technology, 2014,42(9): 51-54. (in Chinese)

[ 7 ] LIN H T, ZENG Y C, WANG J. Computational simulation of air flow in the rotor spinning unit[J]. Textile Research Journal, 2016, 86(2): 115-126.

[ 8 ] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004:7-9.

[ 9 ] 朱红均,林远华,谢龙汉. FLUENT 流体分析及仿真实用教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2010:237-238.

[ 10 ] 李慧暄,韩丽美,胡继顺. 转杯纺纱与环锭纺纱毛羽的比较及成因分析[J]. 吉林工学院学报(自然科学版), 1994,15(1): 65- 69.

LI Huixuan, HAN Limei, HU Jishun. Comparison of yarn hairiness resulted from rotor spinning and ring spinning with an analysis on its formation[J]. Journal of Jilin Institute of Technology(Nature Science), 1994, 15(1): 65- 69. (in Chinese)

(责任编辑:邢宝姝)