

文章编号: 0253-9721(2008)04-0032-05

喷气涡流纺工艺参数对气流场影响的数值计算

邹专勇, 俞建勇, 薛文良, 刘丽芳, 程隆棣

(东华大学 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620)

摘要 通过数值计算的方法研究喷嘴结构参数及喷孔出口速度对喷嘴内部流场流动特征的影响。研究结果表明: 喷孔倾角增加, 喷嘴轴线负压先增大后减小, 倾角为 30°时负压最大; 切向速度随喷孔倾角的增加而减小, 轴向速度随喷孔倾角的增加而增大; 喷孔出口速度越大, 切向、轴向、径向速度越大, 在喷嘴轴线上负压也越大; 空心锭外径对喷嘴内气流速度值影响较小, 但空心锭外径较小时可使喷嘴轴线上负压增大; 随空心锭与喷嘴入口间距的增加, 速度场呈减小趋势, 喷嘴内部静压减小, 喷嘴进口负压增大。

关键词 喷气涡流纺; 工艺参数; 气流; 数值计算

中图分类号: TS 101.2 文献标识码: A

Numerical computation of flow field affected by process parameters in air jetvortex spinning machine

ZOU Zhuanyong, YU Jianyong, XUE Wenliang, LIU Lifang, CHENG Longdi

(Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract The flow patterns affected by the nozzle structure parameters and the velocity at jet orifice exit inside the nozzle of air jetvortex spinning were investigated by the method of numerical computation. The results show that the negative pressure along the nozzle axis enhances first, and then diminishes along with increasing the jet orifice angle, and the negative pressure is maximal when jet orifice angle is 30 degree. The tangential velocity decreases along with increasing the jet orifice angle, however, the axial velocity increases along with increasing the jet orifice angle. When the velocity at the exit of jet orifice enhances, the greater the tangential and axial and radial velocity, the bigger the negative pressure along the nozzle axis. The outer diameter of the hollow spindle has comparatively small effect on the velocity of airflow inside the nozzle, however, when the outer diameter of the hollow spindle is smaller, the negative pressure along the nozzle axis will become higher. Increasing the distance between the hollow spindle and the entrance of the nozzle, the velocity and the static pressure inside the nozzle diminish and the negative pressure at the entrance of the nozzle increase.

Key words air jetvortex spinning; process parameters; air flow; numerical computation

喷气涡流纺是利用喷嘴内部形成的旋转气流对边缘尾端自由端纤维加捻成纱, 喷嘴内部气流场的流动特征直接决定了喷气涡流纱的性能优劣。Tyagi G K 和 Guldemet Basal 等人研究了喷孔倾角、喷嘴气压、空心锭与前罗拉距、纺纱速度等工艺参数对成纱结构与性能的影响^[1-2]。但喷嘴参数对喷嘴内部流场影响的系统研究未见报道, 本文采用数值计算的

方法研究喷嘴结构参数及喷孔出口速度对喷嘴内部流场流动特征的影响, 为合理设计喷嘴系统及优化工艺参数提供理论依据。

1 数值计算

结合相应喷嘴结构参数, 建立 CFD 计算模型

(见图1),应用 Fluent 软件,采用标准 $k-\epsilon$ 湍流模型对喷嘴内部流场流动进行数值计算。计算模型设定:喷嘴内气流属黏性不可压缩的等焓流体;喷嘴入口及空心锭入口设定为对称边界,喷孔出口设定为速度进口边界;喷嘴出口设定为流出边界;壁面采用无滑移边界。

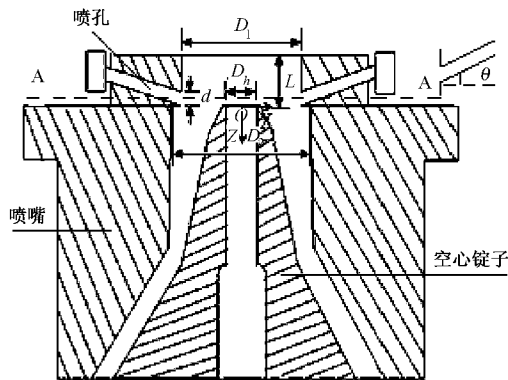


图1 喷嘴剖面示意图

Fig.1 Longitudinal sectional view of the nozzle block

影响喷嘴内部气流流动的特征因素较多,本文仅考虑喷嘴倾角 θ (喷孔与水平面的夹角)、喷嘴入口直径 D_1 、空心锭与喷嘴入口间距 L 、空心锭入口外径 D_h (空心锭各截面外径随入口外径相应变化) 对喷嘴内部流场流动特征的影响。数值计算方案见表1。

表1 数值计算方案

Tab.1 Scheme of numerical computation

方案编号	$v_0/(m \cdot s^{-1})$	$\theta/(^\circ)$	D_1/mm	L/mm	D_h/mm
1	260	10	4.4	1.85	1.4
2	260	15	4.4	1.85	1.4
3	260	25	4.4	1.85	1.4
4	260	30	4.4	1.85	1.4
5	260	35	4.4	1.85	1.4
6	260	40	4.4	1.85	1.4
7	220	15	4.4	1.85	1.4
8	300	15	4.4	1.85	1.4
9	260	15	4.8	1.85	1.4
10	260	15	5.1	1.85	1.4
11	260	15	4.4	1.85	1.2
12	260	15	4.4	1.60	1.4
13	260	15	4.4	2.10	1.4
14	260	15	4.4	2.40	1.4

注: v_0 为喷孔出口初速, θ 为喷孔倾角, D_1 为喷嘴入口直径, L 为空心锭与喷嘴入口间距, D_h 为空心锭入口外径。

2 结果与讨论

2.1 喷孔倾角对气流流动特征的影响

压缩空气经过4个喷孔后在喷嘴内部形成旋转

气流。喷孔倾角对气流场的影响较复杂,倾角改变将导致气流推力及切向、轴向、径向流速的变化。由旋转射流理论可知^[3],射流的卷吸能力 $\frac{dm}{dx}$ 与推力 G_r 及旋度 S 具有如下关系:

$$\frac{dm}{dx} = f[(\rho G_r)^{\frac{1}{2}} S^q] = f[(\rho G_r)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{v_t}{v_a}\right)^q]$$

式中: v_t 、 v_a 分别为切向速度与轴向速度; q 为常数。

方案1~6讨论了喷孔倾角对喷嘴内部气流流动特征的影响。喷孔倾角不同时, A-A 截面速度沿喷嘴半径的分布随喷嘴倾角 θ 的增加,气流切向速度分量减小,轴向速度分量增加,导致切向速度随 θ 的增加而减小,轴向速度随 θ 的增加而增大;由径向速度变化看出倾角变化对气流的膨胀作用不同。在径向速度对进入喷嘴加捻腔的纤维束膨胀作用下产生大量边缘自由端纤维,较大的切向速度利于对边缘自由端纤维的加捻,对提高成纱强力有利,相关关系见图2。

静压沿喷嘴轴线逐渐增加,同时随 θ 先增加后减小,如图3所示,这是因为在喷嘴倾角较小时,随着喷嘴倾角的增加,推力的增加幅度大于旋度减小的幅度,导致气流的卷吸能力增强,喷嘴进口负压增强,有利于纤维流顺利进入加捻腔,为此喷嘴进口负压随 θ 的增大而增加,当 θ 超过 30° 时,旋度减小占主导地位,卷吸能力减弱,喷嘴进口负压随 θ 的增大而减小,负压不足难以使纤维顺利吸入加捻腔。静压沿喷嘴半径方向随 θ 的增大而减小,原因在于角度增加,切向速度减小。

2.2 喷孔出口速度对气流流动特征的影响

根据等焓流动假设,当气流流动速度为亚音速时,确定的喷嘴气室压力 p_0 对应唯一的喷孔出口速度 v_0 , v_0 随 p_0 的增加而增大^[4],讨论喷孔出口速度对喷嘴内部气流流动特征的影响(方案2、7和8)也即是讨论喷嘴气压对喷嘴内部气流流动特征的影响。

不同 v_0 时,喷嘴内部速度(切向、轴向、径向)随着喷孔出口速度的增大(即喷嘴气压增加)而增大,但喷嘴内部气流流动特征没有发生变化(如图4所示),符合旋转气流理论^[5],势流旋转区向似固旋转区转变的转变点向喷嘴中心靠近,但幅度较小。随喷嘴气压的增加,径向速度增加,对纤维束的膨胀作用加强,边缘自由端纤维数量增加,在切向气流作用下产生更多的包缠纤维;同时切向气流增加对边缘自由端纤维的加捻效率提高,从而纱线强力得到提

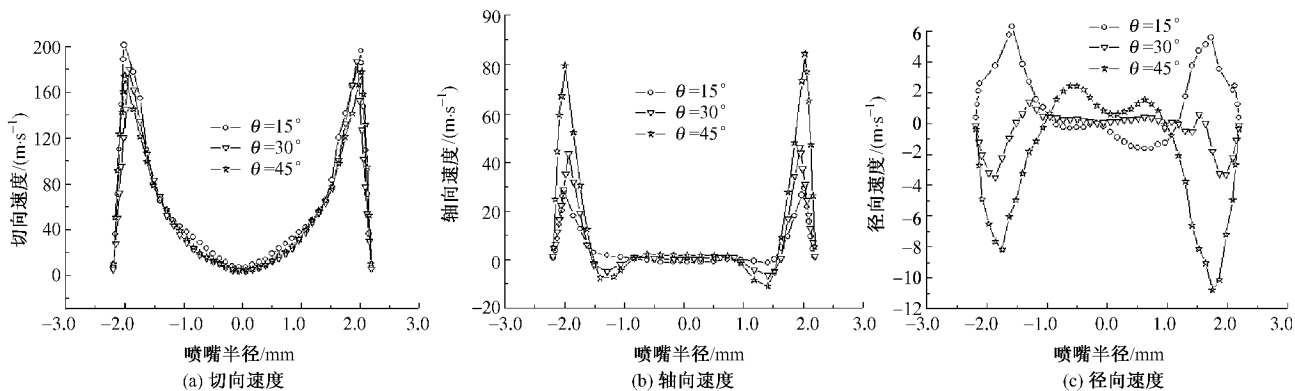


图 2 不同喷孔倾角 θ 时在 A-A 截面速度沿喷嘴半径的分布

Fig.2 Tangential velocity (a), axial velocity (b) and radial velocity (c) distributions of different θ values along the nozzle radius at section A-A

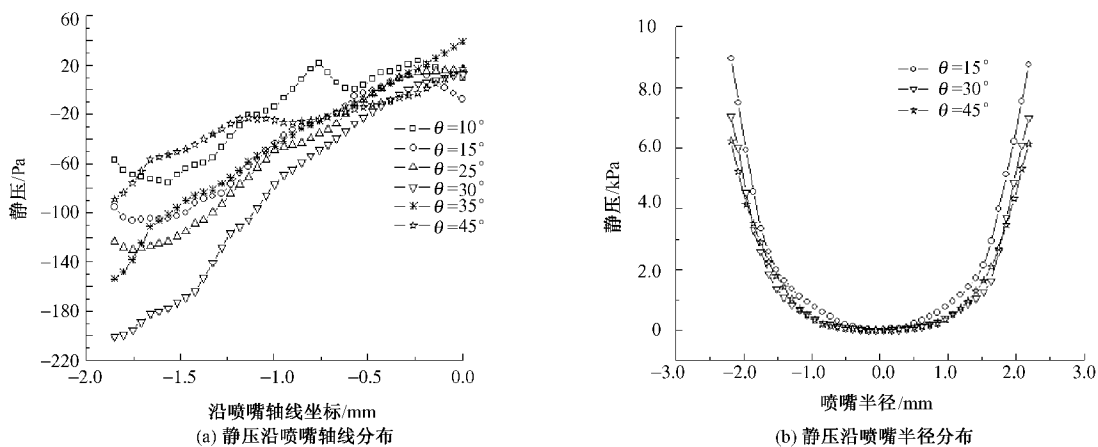


图 3 不同喷孔倾角时静压沿喷嘴轴向和 A-A 截面半径的分布

Fig.3 Static pressure distributions of different θ values along the nozzle axis (a) and the radius (b) at section A-A

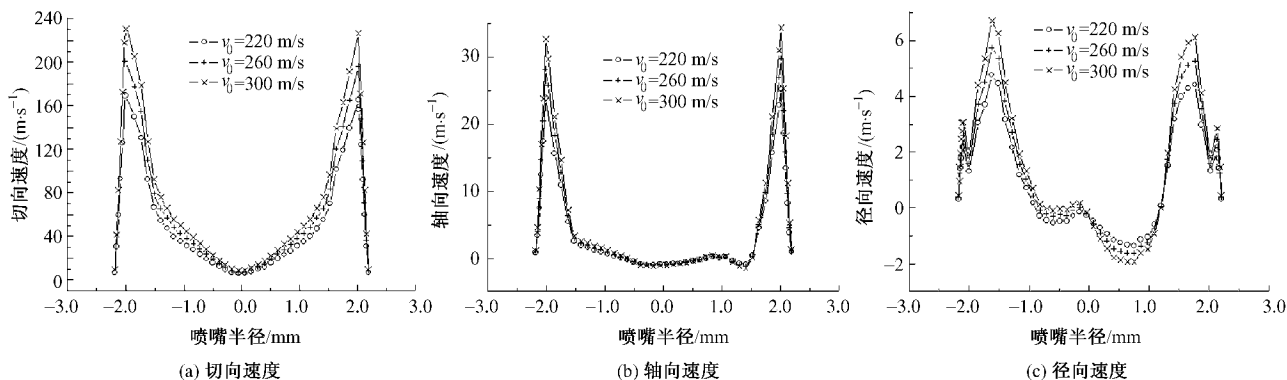


图 4 不同喷孔出口速度 v_0 时速度在 A-A 截面沿喷嘴半径的分布

Fig.4 Tangential velocity (a), axial velocity (b) and radial velocity (c) distributions of different v_0 values along the nozzle radius at section A-A

高,但是喷嘴气压过大,产生过强的径向、切向气流,进入纱尾的单纤维易被抽拔,浮游纤维增加,同时落纤量增大,纱线均匀性变差,这与文献[1,6]的研究结果一致;轴向速度的增加有利于使自由端尾端纤维倒伏在空心锭上表面,从而在旋转气流作用下加

捻效率将有所提高。

不同 v_0 时静压沿喷嘴轴向及 A-A 截面半径方向上的分布如图 5 所示,可以看出,随着喷孔出口速度的增加(即喷嘴气压增大),喷嘴入口负压变大,气流的吮吸作用增强,有利于单纤维的平行伸直,也有

利于纤维束顺利进入加捻腔; 但负压过大, 使纤维束进入加捻腔的速度太快, 加捻时间缩短, 成纱强力降

低; 静压沿喷嘴半径分布随 v_0 的增加而增大, 这主要由喷嘴气压增大导致。

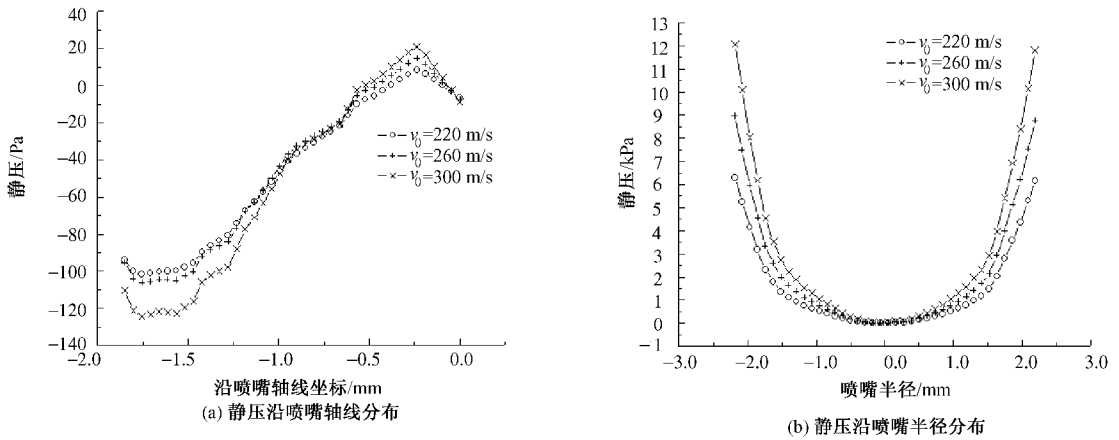


图 5 不同喷孔出口速度时静压沿喷嘴轴向及 A-A 截面半径的分布

Fig.5 Static pressure distributions of different v_0 values along the nozzle axis (a) and the radius (b) at section A-A

2.3 喷嘴入口直径对气流流动特征的影响

方案 2、9 和 10 讨论了喷嘴入口直径对喷嘴内部气流流动特征的影响。喷嘴入口直径 D_1 对喷嘴内部气流流动影响显著(如图 6 所示), 在对应喷嘴半径处, 气流切向、轴向速度随喷孔入口直径的减小而增加, 但喷嘴中心切向、轴向及径向速度变化不明

显。较小的喷嘴入口直径在相应半径上能获得较大的切向速度, 对提高喷嘴加捻效率有利, 但需要考虑直径 D_1 、 D_2 的合理配合, 否则会造成能量的大量损失, 为此在不影响喷嘴内部最大速度值及边缘自由端纤维加捻前提下, D_1 应偏小选择为好, 而 D_2 也应相应减小。

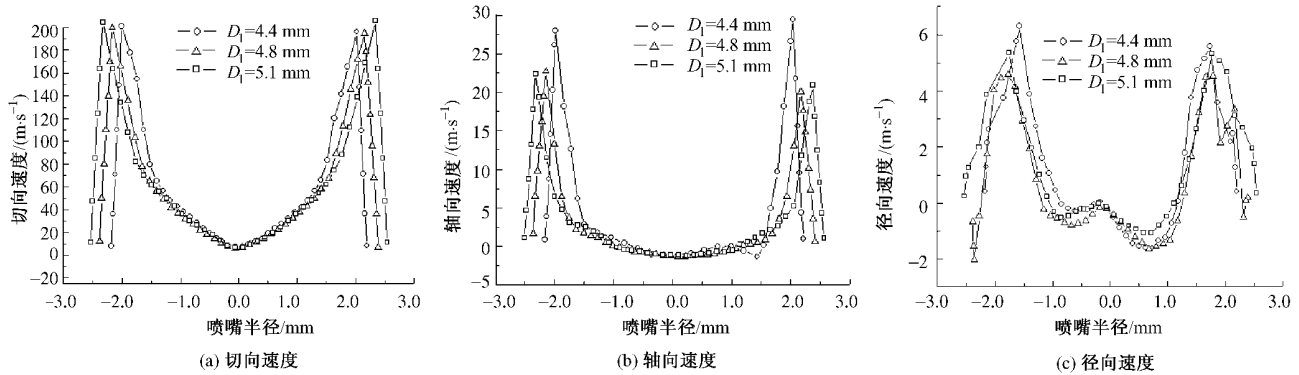


图 6 不同喷嘴入口直径 D_1 时速度在 A-A 截面沿喷嘴半径的分布

Fig.6 Tangential velocity (a), axial velocity (b) and radial velocity (c) distributions of different D_1 values along the radius at section A-A

2.4 空心锭对气流流动特征的影响

2.4.1 空心锭外径对气流流动特征的影响

方案 2 和 11 讨论了空心锭外径对喷嘴内部气流流动特征的影响。空心锭外径较小时, 喷嘴入口负压较大, 致使经前罗拉牵伸后的纤维束受到气流的吮吸作用增强, 有利于纤维流顺利进入加捻腔及单纤维的平行伸直(如图 7 所示)。数值计算表明空心锭外径对气流流动影响较小, 可能是空心锭外径差异较小导致结果变化不明显; 但空心锭尺寸较小, 增大了加捻腔, 有利于对边缘自由端纤维的加捻。

2.4.2 空心锭入口位置对气流流动特征的影响

方案 11、12 和 13 讨论了空心锭入口位置对喷嘴内部气流流动特征的影响。喷气涡流纺中, 空心锭入口平面的位置是很重要的参数, 空心锭入口平面与喷嘴入口间距 L 越大, 意味着空心锭与前罗拉的间距越大, 对纱线性能影响较大。 L 值越大, 静压越小, 喷嘴入口负压越高, 这有利于经前罗拉牵伸后的须条进入加捻腔(如图 8 所示)。 L 值增大, 加捻腔空间增大, 一定程度上有利于对边缘自由端纤维的加捻; 但 L 过大, 须条头端进入加捻腔过程中易受气流干扰, 造成

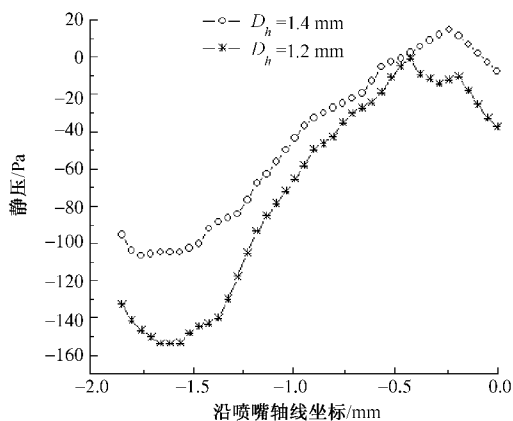


图 7 空心锭外径对静压沿喷嘴轴线的影

Fig.7 Effect of the outer diameter of hollow spindle on static pressure along the nozzle axis

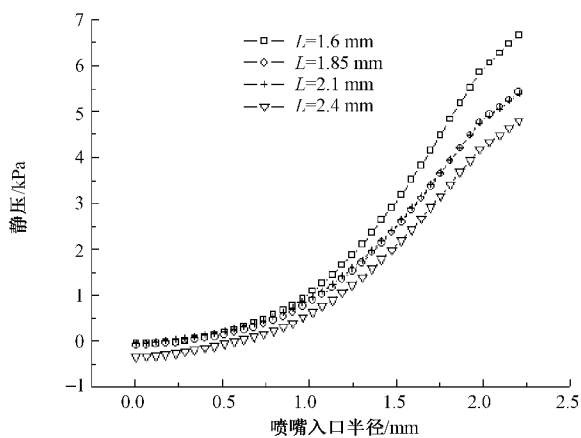


图 8 不同 L 时静压沿喷嘴入口半径的分布

Fig.8 Static pressure distributions of different L values along the nozzle radius at the nozzle entrance

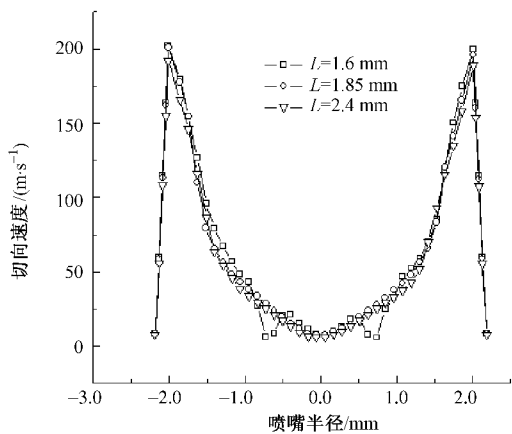


图 9 不同 L 时切向速度沿 A-A 截面喷嘴半径的分布

Fig.9 Tangential velocity distributions of different L values along the nozzle radius at section A-A

向速度有减小的趋势(如图 9 所示), L 差异较小时, 速度减小趋势不明显, 切向速度减小对自由端纤维的加捻作用减弱。为此 L 值增加, 成纱性能先变好后变差, 这与文献[7]的研究结果一致。

3 结 论

1) 喷孔倾角增加, 喷嘴轴线负压先增大后减小, 倾角为 30° 时负压最大, 负压较小对纤维吮吸作用不足, 不利于纤维进入加捻腔; 切向速度随 θ 的增加而减小, 轴向速度随 θ 的增加而增大, 较大的切向速度有利于对边缘自由端纤维进行加捻。

2) 喷嘴出口速度越大, 切向、轴向、径向速度越大, 在喷嘴轴线上负压也越大。径向速度增大可增加边缘自由端纤维的数量; 切向速度增大有利于对自由端纤维的加捻, 但过大会造成纤维从须条中抽拔, 落纤量增大; 轴向速度增加有利于使尾端纤维倒伏在空心锭顶端外侧, 有利于加捻。

3) 喷嘴入口直径越小, 对应半径处的切向、轴向速度越大, 在不影响边缘自由端纤维加捻情况下, 可减小喷嘴入口直径。

4) 较小的空心锭可使喷嘴轴线上负压增大, 须条受到的吮吸作用将加强。随空心锭与喷嘴入口间距增加, 速度呈减小趋势, 喷嘴内部静压减小, 喷嘴进口负压增大, 对须条吮吸作用增强, 但该距离过大会造成落纤增多。

FZXB

参考文献:

[1] Tyagi G K, Dhirendra Sharma. Process-structure-property relationship of polyester-cotton MVS yarns: Part I - influence of processing variables on yarn structural parameters[J]. Indian Journal of Fiber & Textile Research, 2004(29): 419 - 428.

[2] Guldemet Basal, William Oxenham. Effects of some process parameters on the structure and properties of vortex spun yarn[J]. Textile Research Journal, 2006, 76(6):492 - 499.

[3] 董志勇. 射流力学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[4] 郁崇文, 张文赓. 喷气纺喷嘴中气流场的分布规律[J]. 中国纺织大学学报, 1996, 22(4):47 - 57.

[5] 曾泳春. 纤维在喷嘴高速气流场中运动的研究和应用[D]. 上海: 东华大学, 2003.

[6] Tyagi G K, Dhirendra Sharma. Process-structure-property relationship of polyester-cotton MVS yarns: Part II - influence of process variables on yarn characteristics[J]. Indian Journal of Fiber & Textile Research, 2004, 29(12): 429 - 435.

[7] Liu Yong, Xu Lan. Controlling air vortex in air-vortex spinning by Zeng-He model [J]. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 2006, 7(4): 389 - 392.

落纤量增大, 形成纱线细节。 L 值增加, 加捻腔中切