

基于CFD的短纤纱经编机吸风装置外流场分析

从前开,夏凤林

(江南大学 针织技术教育部工程研究中心,江苏 无锡 214122)

摘要:为清除短纤纱在经编织造过程中脱落在织针等成圈机件上的飞花,在成圈区域后侧设计了以吸风方式清除飞花的除尘装置。针对吸风口外流场建立流场域,基于计算流体动力学方法(CFD),采用 $k-\varepsilon$ 三维湍流模型,利用Ansys Workbench内的流体仿真软件Fluent对吸风口外流场进行模拟仿真。结果表明:在80.0 Pa负压条件下,吸风口内部压力变化不大,外部压力迅速降低,针床周围的空气压力为负压力0.6~1.0 Pa、风速为0.5~0.7 m/s,可有效清除脱落在成圈区域的飞花。

关键词:经编;短纤纱;毛羽;除尘装置;外流场

中图分类号:TS 183.3

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2021)12-0001-05

CFD Based Outer Flow Field Analysis of Suction Device of Staple Yarn Warp Knitting Machine

Cong Qiankai, Xia Fenglin

(Engineering Research Center for Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: In order to clean up the lint of staple yarns on the looping elements such as needles during the knitting process, a suction dust removal device is installed behind the loop forming part. A flow field is established for the outflow field of suction outlet based on the computational fluid dynamics (CFD). Adopting $k-\varepsilon$ three-dimensional turbulence model, the outflow field of suction outlet is simulated using the fluid simulation software Fluent in Ansys Workbench. The results show that with the negative pressure of 80.0 Pa, the internal pressure of the suction outlet changes little and external pressure decreases sharply. The air pressure around the needle bar is under 0.6~1.0 Pa negative and the wind speed is between 0.5~0.7 m/s. Under this condition the lint in the loop forming part can be cleaned efficiently.

Key words: Warp Knitting; Staple Yarn; Hairiness; Dust Removal Device; Outer Flow Field

短纤纱经编产品舒适、透气,悬垂性能好,保形性优良,手感柔软,深受人们的喜爱^[1]。但由于棉纱毛羽的存在,在经编织造过程中因与导纱机件摩擦会产生大量的飞

花,飞花的存在使得生产效率降低,并且对人体的危害很大,因此飞花的在线清除亟须解决。

对于经编用短纤纱已有了大量研究,例如:付维娟等^[2]通过模拟

针织纱的运动分析精梳纱和普梳纱线毛羽脱落的规律;高明扬等^[3]研究了不同棉纱通过导纱部件时纱线表面毛羽的变化;蒋高明等^[4]研究了经编用短纤纱的纱线质量

基金项目:国家自然科学基金(61772238);国家自然科学基金(61902150);中央高校基本科研业务费专项资金资助(JUSRP52013B);中央高校基本科研业务费专项资金资助(tscy20180224)。

作者简介:从前开(1995—),男,硕士研究生。主要从事短纤纱经编机飞花清除装置的设计与开发。

通讯作者:夏凤林(1966—),男,教授。E-mail: xiafl_622@163.com。

变化,并提出经编用短纤纱的技术生产问题和解决办法;徐颖等^[5]则对紧密纺棉纱在经编生产中的整经工艺和织造工艺进行探究;夏风林等^[6]对经编棉盖丝面料的工艺要求进行了说明;在纺织类除尘中,张圣瑞等^[7]对梳棉除尘吸风的均匀性进行了计算与分析;张昌^[8]在《纺织除尘与空调》第一章中介绍了吸风形势下飞花清除所需要的风速大小。现阶段有关经编用短纤纱的研究主要体现在棉纱线的研究,经编棉织物的工艺设计,以及对棉纱线的织造前处理等,但是对短纤纱飞花在线清除的研究还比较少。

本文通过分析研究,在单针床经编机基础上以吸风形式对脱落在成圈机件上的飞花进行在线清理,通过 Solidworks 建模软件对吸风口外部流场进行建模,并使用 Ansys 仿真软件上的 Fluent 对吸风口外部流场进行仿真分析。仿真后可清楚地了解到吸风口的外部压力和速度分布,为经编机短纤纱飞花清除装置的设计提供理论依据。

1 短纤纱除尘装置分析

短纤纱在经编织造过程中,针床部位堆积的毛羽和飞花对经编机寿命影响很大,图 1 为针床上的毛羽分布,毛羽积攒严重时会影响织造生产,需要每天进行清理,影响生产效率。本文针对针床和沉降片床上脱落的飞花进行除尘,理论上可以在针床前部和后部加装清除装置,针床前部安装空间大,但由于挡车工穿纱原因,纱线断头时也需要在针床前工作,飞花清除装置安装于针床前影响生产效率,故不在针床前安装飞花清除装置。由于成圈机构和机器机架安装位置的关系,在成圈区域后侧可安装飞花清除装置,当第 4 把梳栉摆至最后端即第 1 把梳栉开始针前垫纱

时,此时第 4 把梳栉和沉降片床围成面积最小,该区域内有一定的空间可以供飞花清除装置的安装,并且不影响经编机成圈机件的运动。

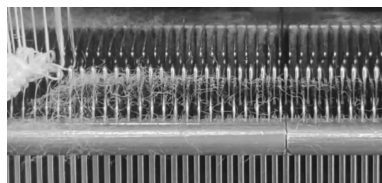


图 1 沉降片床上的毛羽分布

除尘可采用吸风、吹风、吸风加吹风的方法。吹风是将短纤纱在经编织造过程中成圈区域脱落的飞花向某一位置吹,但飞花得不到收集,散落在空气中。吹风加吸风是将飞花吹离成圈区域并有相应的吸风装置进行回收,但安装位置不好设计,不利于飞花清除装置的前期研究。吸风是直接将飞花清除与回收,这里选用吸风方式对短纤纱经编机飞花清除装置进行研究。

2 外流场仿真

2.1 模型建立

本文选用 GET4-EL 型特里科经编机为飞花清除装置的安装测试平台,该机型的成圈机构结构图如图 2 所示。图中的沉降片床上部和第 4 把梳栉所围成的区域为飞花清除装置的主要清理区域,此区域为吸风口外部流场区域,需要对此区域建立模型。为方便 Fluent 计算,模型分为沉降片床、第 4 把梳栉、导流管道、外流场空间 4 个部分。使用 Solidworks 软件对吸风装置外部流场进行三维建模,机器幅宽为 2 286.0 mm(90"),吸风口一侧长度大于幅宽长度即可,设置为 2 500.0 mm。通过实际测量数据可知,吸风口可安装在距沉降片床垂直距离为 10.0 mm、距针床水平距离为 20.0 mm 处。由于空间的可利用性,吸风口设计为一定长度的导流管道,图 3a 为模型侧面图,图中对导流管道

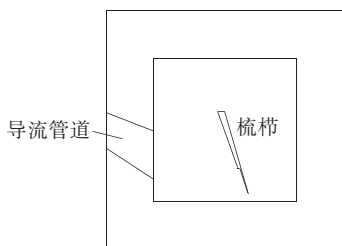
进行了标注,导流管道呈圆台形,与竖直方向呈 63.43°,正对着针床位置,导流管道内口和外口均为椭圆形,内口周长为 22.4 mm,外口周长为 30.2 mm。外流场模型如图 3b 所示,该模型壁面厚为 10.0 mm,即导流管道水平长为 10.0 mm,各导流管道间隔为 30.0 mm,沿水平方向均匀排列。为简化装置的复杂性,方便仿真计算,将梳栉用具有一定厚度的平块代替,沉降片床用模型底部代替,与经编机上沉降片床和梳栉的位置基本吻合,长度与实际尺寸一致。因导流管道排列的均匀性,现只取 5 个导流管道和相对的沉降片床和梳栉进行研究。将对如图 3c 所示的模型进行流体力学分析。



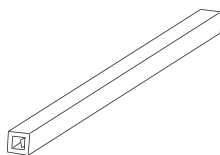
图 2 针床侧面图

2.2 DisgnModeler 前处理

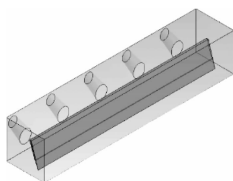
将 5 吸风口外流场模型从 Solidworks 中导出,导出格式为 X-T 格式。使用 Workbench 中的流体计算模块,将模型导入到 Disgn-Modeler 中进行流体抽离,使用 FILL 填充功能里的 Caps 功能,将模型所有端面以面的形式封闭,使用 FILL 将内部流体域抽离,最后使用布尔运算将梳栉外的流体抽离,并设置计算方式为 Fluid。导入到 Meshing 中,并用 Meshing 进行网格划分,将 Sizing 里的方式改为四面体邻近和曲率方式,并对梳栉进行网格单独划分,生成网格单元数为 1 016 132 个,生成 302 622 个网格节点数。划分后需要对网格质量进行检查,内置的 Chech 工具



(a) 模型侧面图



(b) 模型三维图



(c) 5 吸风口外流场

图 3 外部流场模型

可以完成网格质量的检查,检查后的网格无负值体积,扭曲度是评价网格质量的重要指标,查看网格的单元质量和扭曲度均符合条件。图 4 为扭曲度截图,网格质量较好,可以进行 Fluent 计算。网格图和网格剖面图如图 5、图 6 所示。网格划分完成后需要对模型进行边界条件的设定,也可在网格划分前进行设定,可以在上述前处理软件 Disgn-Modeler 内进行或者在 Mesh 中进行。本文是在 Mesh 网格划分后进行边界条件设定,设定的压力边界条件包括压力入口、压力出口和壁面,其中压力入口一个,表示为成圈区域一侧壁面,压力出口包括 5 个压力面(吸风管道吸风口)。

2.3 控制方程

Fluent 计算中遵循质量、动量、能量守恒方程^[9-10]。质量守恒方程见式(1)。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

式中: ρ 为密度, kg/m^3 ; t 为时间, s ; u 为速度矢量, m/s 。

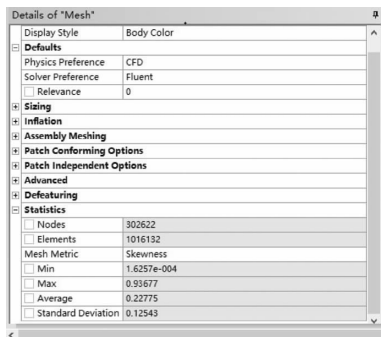


图 4 扭曲度数值

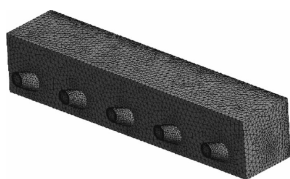


图 5 外流场整体网格

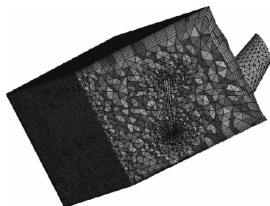


图 6 中间段网格剖面

动量守恒方程见式(2)—式(4)。

式中: x, y, z 表示方向; p 是流体微元体上的压力, Pa ; μ 是绝对黏度; s_u, s_v, s_w 是动量守恒方程的广义源项。

能量守恒方程见式(5)。式中: K 为流体的传热系数; S_T 为黏性耗散项; T 为温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

在 Fluent 中采用标准 $k-\varepsilon$ 模

型,方程见式(6)—(7)。

式中: G_k 为平均速度梯度引起的湍动能 k 的产生项; G_b 是浮力引起的湍动能 k 的产生项; Y_M 是可压缩湍流中脉动扩张的贡献; $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{\mu}$ 为经验常数; σ_k 和 σ_{ε} 是 Prandtl 数; S_k 和 S_{ε} 是根据计算工况定义的源项。根据实际经验,经验常数取值如下: $C_{1\varepsilon}=1.44, C_{2\varepsilon}=1.92, C_{\mu}=0.09, \sigma_k=1.0, \sigma_{\varepsilon}=1.3$ 。

2.4 边界条件设定

将 Meshing 中划分的网格在 Fluent 中打开,边界条件设置为压力入口和压力出口,设置压力出口为 -80.0 Pa ,压力入口为默认值。因在正常环境下测定,其他因素选择为默认。

3 外流场仿真分析

吸风口产生的负压越大,飞花所受到的吸力越强,短纤纱清除装置吸风口实际风压大小无法确定,本仿真模拟压力值负压 80.0 Pa 为导流管道内口压力,导流管道外口为实际吸风口,外口压力因内口负压 80.0 Pa 的变化而改变。为探究实际吸风口的压力大小、吸风口到针床的压力和速度变化范围、成圈区域的压力和速度的大小,现选取 3 个截面进行研究,截面 1 为实际吸风口所在平面的截面,截面 2 为吸风口中心在竖直方向上的对称截面,截面 3 为导流管道到针床处

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho u T) = \text{div}\left(\frac{k}{C_p} \text{grad} T\right) + S_T \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \bar{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \bar{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho u T) = \text{div}\left(\frac{k}{C_p} \text{grad} T\right) + S_T \quad (5)$$

$$\left[\frac{\partial(\rho \kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \kappa u_i)}{\partial x_i} \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \right] \quad (6)$$

$$\left[\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\kappa} (G_k + C_{\mu} G_b) - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{\kappa} + S_\varepsilon \right] \quad (7)$$

的一个斜面,该截面与竖直方向呈 63.43° 。截面 1 和截面 1 上的压力云图如图 7 所示。

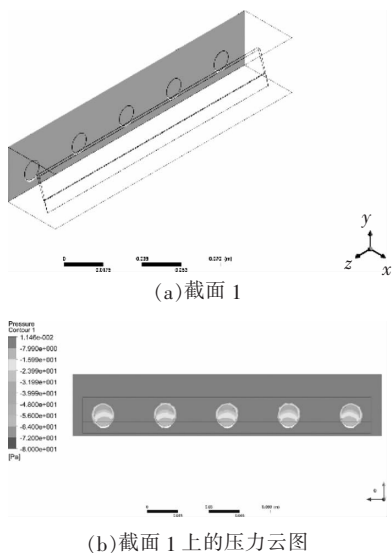


图 7 截面 1 和截面 1 上的压力云图

由图 7 可知,吸风口压力中心的压力值为负压 62.0 Pa ,为实际吸风口的压力大小。与设置的负压 80.0 Pa 产生负压差的原因因为导流管道内流场空间小,但由于外部风量在进入吸风口后以直线的形式在导流管道内流动,碰撞到导流管道壁面会造成能量的损失。图 8 为截面 2 和截面 2 上的压力云图,从图中可以看出,压力最大值在吸风口处且最大值为负压 80.0 Pa ,最小值为 0 ,通过云图可知,吸风口内部和吸风口外围小范围内压力值大,但云图上的极值相差很大,无法直接分析吸风口到针床位置的流场分布。图 9 为截面 3 和截面 3 上的局部压力云图,从云图上可以看出,靠近吸风口外围负压力值明显高于针床处压力,并且从云图中无法直观地观察针床位置处的压力分布。现根据云图上的压力值范围大小,选取 -10.0 Pa 到 0 、 -5.0 Pa 到 0 、 -2.0 Pa 到 0 、 -1.0 Pa 到 0 共 4 组数据,在截面 2 上生成的云图如图 10 所示。

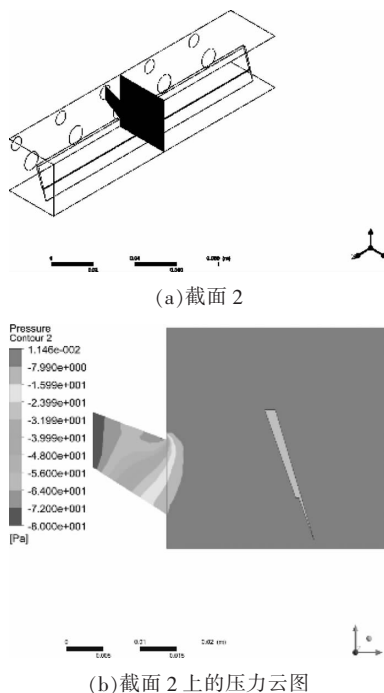


图 8 截面 2 和截面 2 上的压力云图

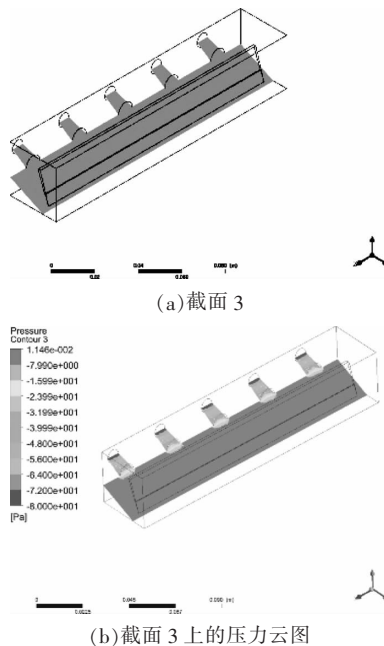


图 9 截面 3 和截面 3 上的压力云图

通过图 10 可以清晰地观察到压力值为 -10.0 Pa 到 0 、 -5.0 Pa 到 0 范围内的压力云图变化不大,吸风管道内部和吸风口外部小范围内压力很大,成圈区域内的压力小,变化不明显,无法直观地了解到飞花清除装置外部流场的压力分布。压力值在 -2.0 Pa 到 0 时的

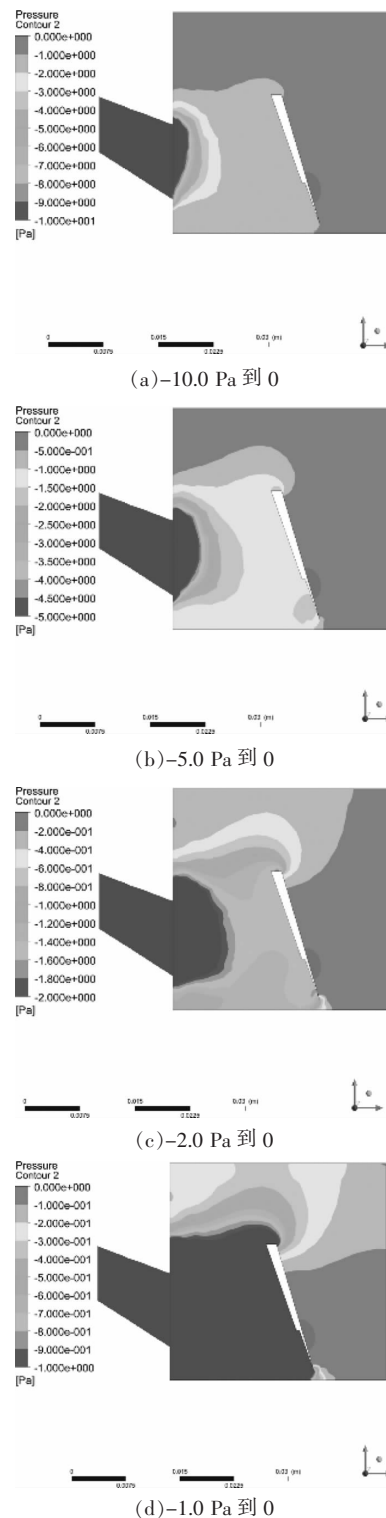


图 10 各范围内压力云图

云图变化显著,吸风口距针床水平距离为 20.0 mm ,在云图上可以得到在距吸风口水平距离 8.0 mm 处是负压 2.0 Pa 的分界线, 8.0 mm 到 20.0 mm 时压力逐渐减小,从 -1.0

Pa 到 0 的压力云图上得知,截面 2 上针床处的压力为负压 0.7 Pa 左右。由于外部流场空间大,在吸风口处负压极大,负压力在出吸风口时迅速降低,从吸风口处的负压 62.0 Pa,到针床位置时降低成负压 0.7 Pa,压力损失较大。图 11 为截面 3 上的速度矢量图。图 11a 为整体速度矢量,从图上可看出风速最高可以达到 10.9 m/s,分布在导流管道内部;图 11b 为速度 0.5~1.0 m/s 范围内的速度矢量图,从图中可以清晰地观察到针床部位的速度在 0.5~1.0 m/s 之间,具体数值无法确定,运动轨迹流畅。

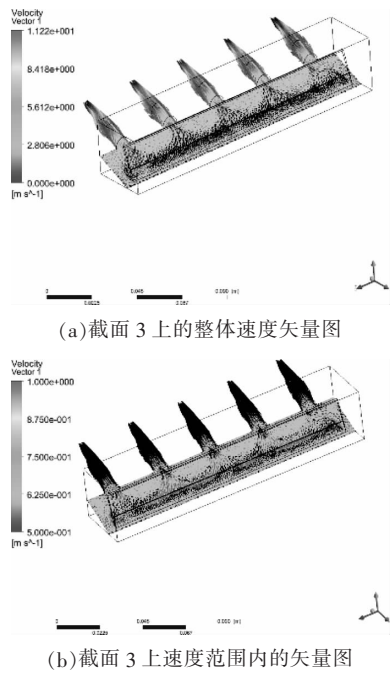


图 11 截面 3 上的速度矢量图

为了解截面 2 和截面 3 上压力和速度的具体数值变化情况,现从截面 2 和截面 3 上各截取一条直线,截面 2 上的直线 1 为吸风口到针床位置上的一条直线,直线 1 一端点在吸风口中心,另一端点在针床位置处,截面 3 上的直线 2 位于针床和梳栉之间,两直线的实际位置如图 12 所示。分别将直线上的压力和速度数据导出,图 13 和

图 14 分别为直线 1 和直线 2 上的压力和速度值。

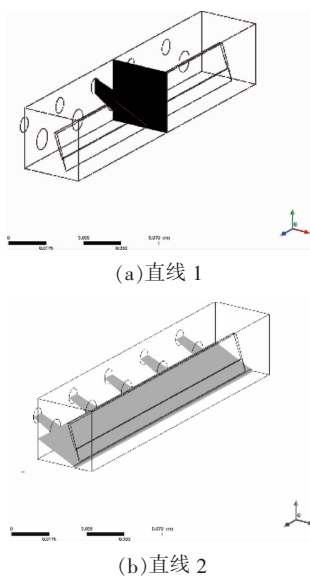


图 12 直线 1 和直线 2

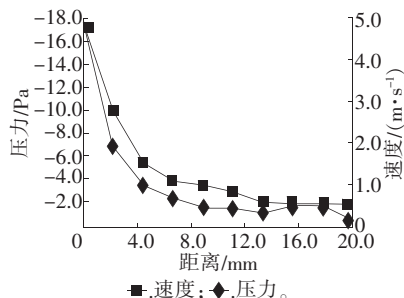


图 13 直线 1 上的速度和压力

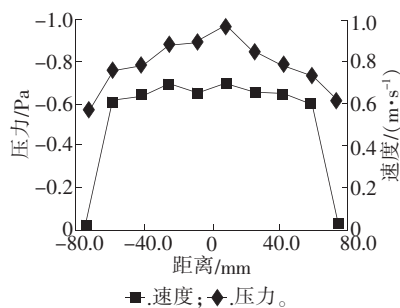


图 14 直线 2 上的速度和压力

由图 13 可知,从吸风口到针床位置的负压和速度在出吸风口后迅速减小。由图 14 可知,针床处的速度在 0.5~0.7 m/s 区间内,负压力在 0.6~1.0 Pa,可有效地清除脱落在成圈区域内的飞花^[8]。

4 结束语

短纤纱经编机飞花清除装置

外流场空间大,为减小空间大小,设计了一个导流管道,导流管道的形状设计为圆台,吸风口距针床的水平距离为 20.0 mm、垂直距离为 10.0 mm,两吸风口中心位置处相距 30.0 mm,导流管道正对于针床处。得到结论如下:当吸风口施加 80.0 Pa 负压时,从吸风口到针床处的负压和速度迅速减小,针床位置负压力在 0.5~0.8 Pa,速度在 0.6~0.8 m/s 区间内,此速度能够有效地清除脱落在针床上的飞花,为后续短纤纱经编机飞花清除装置的设计提供思路和理论参考依据。

参考文献

- [1] 蒋高明. 经编针织物生产技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2010.
- [2] 付维娟, 张毅. 纯棉针织纱毛羽脱落量规律的探讨[J]. 针织工业, 2009(9): 21-23.
- [3] 高明扬, 夏凤林, 王聪聪. 经编编织中棉纱的毛羽脱落分析[J]. 纺织导报, 2018(2): 48-51.
- [4] 蒋高明, 李欣欣. 短纤纱经编产品开发与应用[J]. 纺织导报, 2016(9): 88-92.
- [5] 徐颖, 蒋高明, 缪旭红. 紧密纺高支棉纱的经编编织工艺探讨[J]. 针织工业, 2008(6): 22-24.
- [6] 夏凤林, 蒋高明, 张帅, 等. 经编棉盖丝面料生产工艺探讨[J]. 针织工业, 2006(12): 11-13.
- [7] 张圣瑞, 何广德. 梳棉除尘设计中有关吸风形式的探讨[J]. 纺织学报, 1984(8): 478-482.
- [8] 张昌. 纺织除尘与空调[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2017.
- [9] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [10] 刘斌. Fluent 19.0 流体仿真从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2019.

收稿日期 2021 年 3 月 15 日