

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2023.02.007

# 喷孔锥度对喷气织机环槽型辅助喷嘴性能的影响

马建鑫<sup>1</sup>, 陈永当<sup>1\*</sup>, 程云飞<sup>1,2</sup>, 杨兴轩<sup>1</sup>, 牛思旗<sup>1</sup>

(1. 西安工程大学机电工程学院, 陕西 西安 710600; 2. 陕西省计量科学研究院, 陕西 西安 710100)

**摘要:**为提升引纬质量,课题组设计了一种环形槽型喷孔辅助喷嘴,并通过数值模拟探究辅助喷嘴结构对喷射性能的影响。课题组依据喷射出口面积等效原则,设计了3种环槽型辅助喷嘴,并分别建立了环形槽结合中心式辅助喷嘴的流场模型;利用FLUENT软件对建立的流场模型进行数值模拟,得到供气压力0.3 MPa时不同喷孔锥度的各环槽型辅助喷嘴对称面上速度云图、出口流速中心线上速度分布曲线图、气耗量,以及距喷嘴出口20,50,70 mm处截面速度分布图。结果表明:对同种环槽型辅助喷嘴,随着喷孔锥度增大,辅助喷嘴的喷射性能明显增强;喷孔锥度大于0°时,喷孔锥度增大各喷嘴出口处射流速度也随之增大。环槽型辅助喷嘴为喷气织机引纬提供了一种效率更高的方法。

**关键词:**环形槽辅助喷嘴;面积等效原则;流场模型;喷射性能;FLUENT

中图分类号:TS103.337.11

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2023)02-0042-06

## Influence of Nozzle Taper on Performance of Annular Groove Auxiliary Nozzle of Air-Jet Loom

MA Jianxin<sup>1</sup>, CHEN Yongdang<sup>1\*</sup>, CHENG Yunfei<sup>1,2</sup>, YANG Xingxuan<sup>1</sup>, NIU Siqi<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710600, China;

2. Shaanxi Institute of Metrology Science, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of weft insertion, an auxiliary nozzle in the form of an annular groove nozzle was designed and the numerical simulation was carried out to explore the effect of the auxiliary nozzle structure on the jetting performance. According to the principle of equivalence of jet outlet area, three different annular groove auxiliary nozzles were designed; flow field models of different annular grooves combined with central auxiliary nozzles were established respectively; the above flow field models were numerically simulated by FLUENT software, and the velocity cloud diagram on the symmetry plane, the velocity distribution curve on the centerline of the outlet velocity, the gas consumption and the sectional velocity distribution diagram at 20, 50, and 70 mm from the nozzle outlet were obtained of each annular groove nozzle with different nozzle taper at 0.3 MPa supply pressure. The results show that for the same annular groove type auxiliary nozzle, with the increase of nozzle taper, the spray performance of the auxiliary nozzle is significantly enhanced; when the nozzle taper is greater than 0°, the larger the nozzle taper is, the larger the jet velocity at the outlet of each type of nozzle. Annular-groove auxiliary nozzle provides a more efficient method for weft insertion on air-jet looms.

**Keywords:** annular groove auxiliary nozzle; area equivalence principle; flow field model; jetting performance; FLUENT

喷气织机具有入纬效率高、高速、宽幅、结构简单和低噪声等特点,广泛应用于纺织织造领域<sup>[1]</sup>。喷气织机采用“主喷嘴+辅助喷嘴”的引纬方式,纬纱由主喷嘴喷出进入梭口,再由辅助喷嘴持续供气以保证纬

纱顺利完成引纬,其中辅助喷嘴的耗气量约占总耗气量的70%~80%<sup>[2]</sup>。因此辅助喷嘴的研究重点之一就是喷嘴结构,辅助喷嘴结构性能的好坏直接影响喷气织机的引纬质量<sup>[3]</sup>和织机能耗<sup>[4]</sup>。

收稿日期:2022-09-06;修回日期:2023-01-06

第一作者简介:马建鑫(1996),男,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为流体机械设计。通信作者:陈永当(1972),男,陕西潼关人,博士,教授,主要研究方向为先进制造技术。E-mail:chenyd@xpu.edu.cn

相关学者对单孔喷嘴的喷孔形状<sup>[5]</sup>、单圆孔孔径<sup>[6]</sup>及其锥度<sup>[7]</sup>、矩形喷孔最佳长宽比<sup>[8]</sup>、喷嘴出口截面积<sup>[9]</sup>进行了研究,得到了单孔喷孔形状和单圆孔不同孔径及相应锥度值下辅助喷嘴的流场特性,矩形孔喷嘴的最佳长宽比,及孔径 1.5 mm 单圆孔辅助喷嘴最佳锥度值等,证明了喷嘴出口截面积会影响射流的速度和持续性。此外,文献[10]中证实了单孔辅助喷嘴引纬流场具有射流强度大、稳定性高和集束性好等特性。胥光申等<sup>[11]</sup>通过数值模拟得出中心环形分布多圆孔结构辅助喷嘴的综合性能优于单圆孔辅助喷嘴的结论。陈永当等<sup>[12]</sup>对多圆孔辅助喷嘴的喷射角度进行了研究,得出在相同多圆孔中随着喷射角度的增加其喷射性能提高的结论。

目前对于辅助喷嘴喷孔的研究多集中于单圆孔、矩形孔、锥形孔和多圆孔等常规孔型的气流场特性研

究和喷孔结构参数优化上,对于异形结构喷孔的研究较少。课题组在对辅助喷嘴的现有研究基础上,提出以环槽型的异形喷孔结构作为辅助喷嘴出口,利用 FLUENT 软件对此异形孔结构辅助喷嘴流场进行研究,得到结构对辅助喷嘴气流场的影响规律,并与不同喷孔锥度的环槽型辅助喷嘴的喷射性能进行对比,探究不同喷孔锥度环形槽喷孔对于辅助喷嘴整体喷射性能的影响。

## 1 异型辅助喷嘴结构设计

目前工程应用中常见辅助喷嘴类型为单孔辅助喷嘴和多孔辅助喷嘴,课题组采用喷射出口面积等效原则(出口面积均为  $1.766\ 25\ \text{mm}^2$ )设计出 3 种不同环槽型辅助喷嘴,分别命名为 K1, K2 和 K3。图 1 所示为 3 种辅助喷嘴喷孔三维模型。

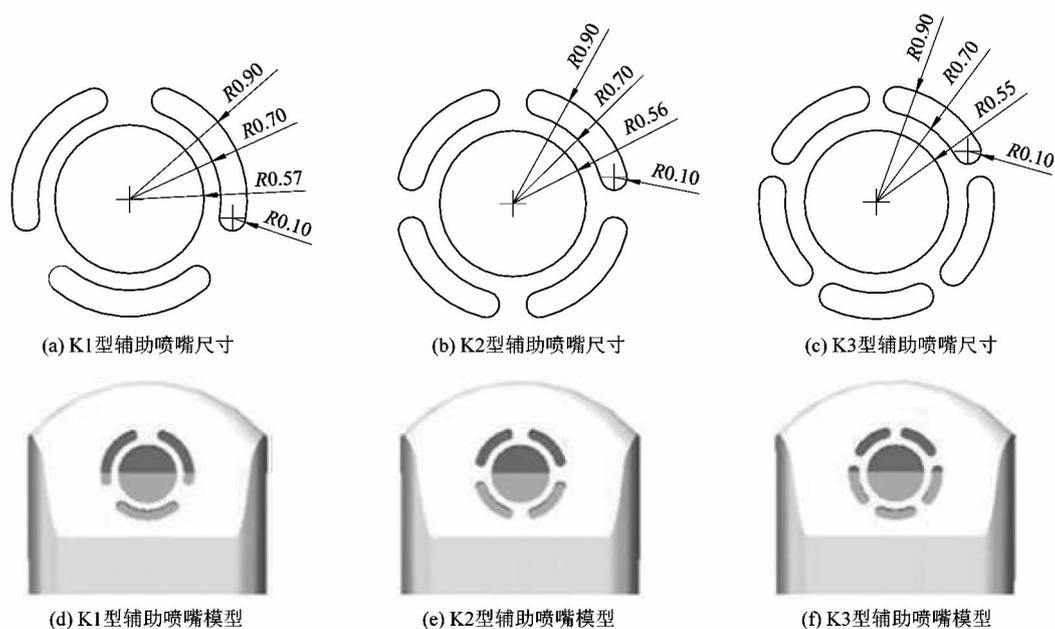


图 1 各异形孔辅助喷嘴喷孔参数及其三维模型

Figure 1 Nozzle parameters and 3D models of each auxiliary nozzles with shaped holes

## 2 辅助喷嘴数值分析前处理

### 2.1 辅助喷嘴流场三维模型建立

以 K1 型辅助喷嘴为例说明三维流场模型的建立、网格划分、边界条件定义及边界条件设定等前处理工艺,其他类型辅助喷嘴前处理方式与之一致。

利用三维建模软件 SolidWorks 建立 K1 型辅助喷嘴的全流场三维模型如图 2 所示,包括喷嘴内部流场

和外部远场流场 2 部分,其中外部远场流场的长度为 80 mm,直径为 24 mm。

### 2.2 边界条件和求解器设定

利用 ANSYS Workbench 中 Mesh 插件对辅助喷嘴三维流场模型进行网格划分,图 3 以 K1 型辅助喷嘴为例进行流场模型网格划分及边界条件设定。其中,网格密度设置为 100,网格划分质量设置为 fine,采用

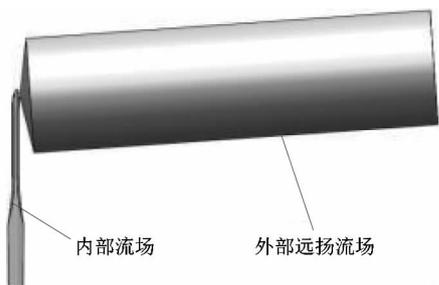


图 2 K1 型辅助喷嘴全流场模型

Figure 2 Full flow field model of K1 auxiliary nozzle

自由四面体网格,全流场模型最终生成网格数约为 98 万;根据求解需要生成网格后分别设置其压力入口、对称面、压力出口和壁面 4 个边界条件,将定义好边界属性的网格文件导入 FLUENT 中并检查网格是否可以被求解,FLUENT 中流场边界各参数设定值如表 1 所示。

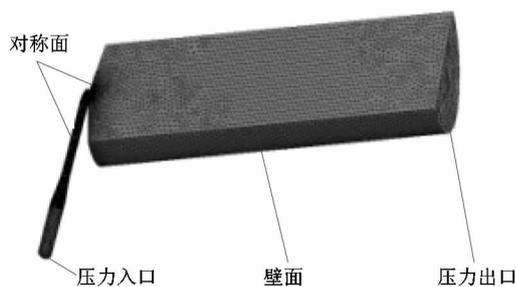


图 3 辅助喷嘴三维流场模型网格划分及边界条件设定

Figure 3 Mesh division and boundary condition setting of 3D flow field model of auxiliary nozzle

表 1 FLUENT 中的参数设定

Table 1 Setting of parameter values in FLUENT

入口供气压力/ kPa	入口处湍动耗散率 $\epsilon / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3})$	静压/ Pa	湍动能 $\kappa /$ $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$	温度/ K	压力出口 总压/kPa
300.000	8 428.8	297 510	5.019 2	293	101.325

辅助喷嘴射流为高速、可压、黏性流体,且其流动弯曲程度大,应变率及雷诺数  $Re$  高,湍流模型选用 RNG  $\kappa-\epsilon$  双方程模型时效果最好,流体介质选用理想气体,采用混合初始化条件,迭代次数设置为 500。

### 3 数值模拟

#### 3.1 对称面上速度云图

图 4 所示为供气压力 0.3 MPa 时,外部远扬流场

为 80 mm 的 3 类环槽孔辅助喷嘴对称面上速度分布云图。由图 4 可以看出各辅助喷嘴的自由射流速度分布情况。K1 型辅助喷嘴出口处最大速度在喷孔锥度为  $0^\circ$  时达 471 m/s,在喷孔锥度为  $9^\circ$  时达 490 m/s,喷孔锥度从  $0^\circ$  增大至  $9^\circ$  喷嘴最大出口速度提高了 4.033%;K2 型辅助喷嘴出口处最大速度值在  $0^\circ$  时为 467 m/s,在  $9^\circ$  时为 496 m/s,喷孔锥度从  $0^\circ$  增大至  $9^\circ$  喷嘴最大出口速度提高了 6.21%;K3 型辅助喷嘴出口处最大速度在喷孔锥度为  $0^\circ$  时达 465 m/s,在喷孔锥度为  $9^\circ$  时达 494 m/s,喷孔锥度从  $0^\circ$  增大至  $9^\circ$  喷嘴最大出口速度提高了 6.24%。

#### 3.2 中心线上速度衰减曲线及耗气量

环槽型辅助喷嘴的气流速度衰减较快,这是由于环形槽结构喷孔辅助喷嘴的气流集束性较差导致气流速度衰减较快。图 5 所示为 3 类异形孔辅助喷嘴气流中心线上速度衰减曲线图。由图 5 可知,3 类环槽孔辅助喷嘴的气流中心线上速度曲线类似,随着环形槽数目的增加其气流集束性逐渐减弱使得 K1, K2 和 K3 型辅助喷嘴的气流速度衰减逐渐加快。

表 2 所示为 3 类环槽型喷嘴不同喷孔锥度下的耗气量。由表 2 可知相同喷孔锥度时,随着环形槽数目的增加,喷嘴的耗气量随之增加;同型号环槽型喷嘴随着喷孔锥度的增大,喷嘴的耗气量也逐渐增加;而不同型号环槽型喷嘴在相同的喷孔锥度下, K3 型辅助喷嘴耗气量最大。

表 2 3 类环槽孔不同锥度下耗气量

Table 2 Air consumption under different tapers of three types of annular grooves

孔类型	耗气量/ $(\text{mm}^3 \cdot \text{h}^{-1})$			
	锥度为 $0^\circ$	锥度为 $3^\circ$	锥度为 $6^\circ$	锥度为 $9^\circ$
环槽 K1	2.809	3.014	3.152	3.225
环槽 K2	2.824	3.048	3.174	3.239
环槽 K3	2.826	3.051	3.185	3.242

#### 3.3 不同距离处截面速度对比分析

图 6 所示为 K3 型辅助喷嘴喷孔锥度  $0^\circ$  时距出口不同距离处截面速度分布云图。从距喷嘴出口 20 mm 处开始截取了 3 个截面,得到 20, 50 和 70 mm 处的截面速度云图。随着喷嘴距离的不断增大,最大出口速

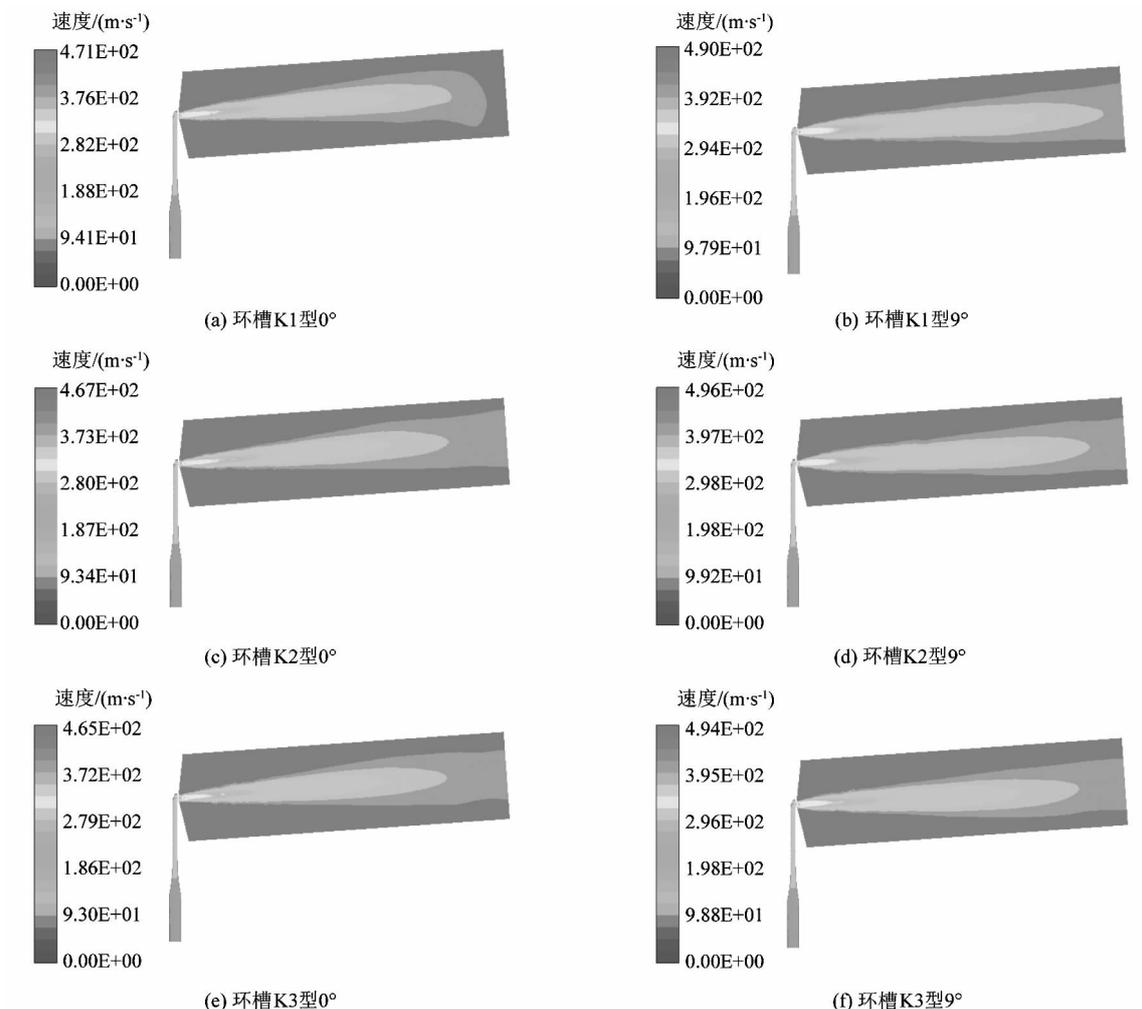


图4 3类异形孔辅助喷嘴对称面上速度分布云图

Figure 4 Cloud diagram of velocity distribution on symmetry plane of auxiliary nozzles with three types of special-shaped holes

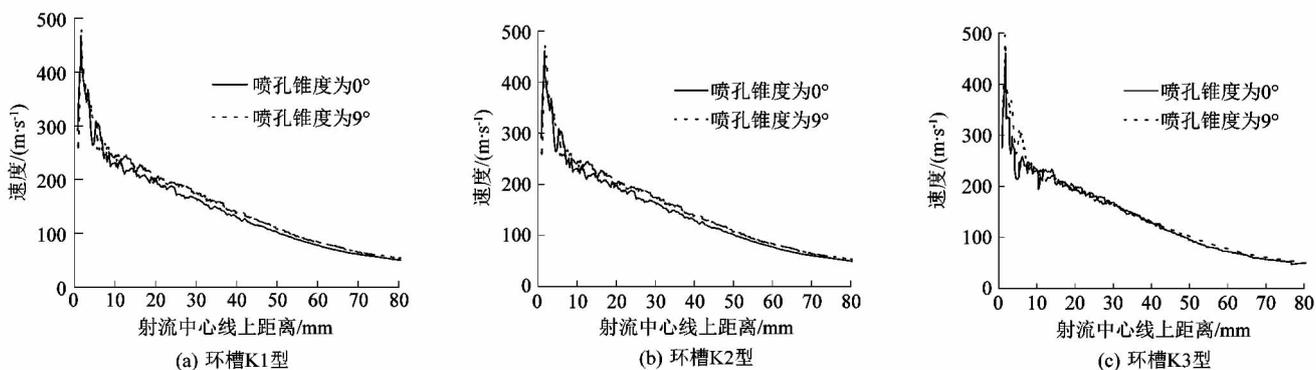


图5 3类环槽结构辅助喷嘴射流中心线上速度衰减曲线

Figure 5 Velocity curve of auxiliary nozzles with three types of annular groove structures on jet centerline

度逐渐减小。

图7所示为K3型辅助喷嘴喷孔锥度9°时距出口

不同距离处截面速度分布云图。与图6相比,在相同的出口距离处随着锥度的增大,出口速度增大,说明喷

孔锥度的增大可改善喷射效率,使引纬稳定性更强。

由图6和7可以看出,在同锥度下随着距喷嘴出口处距离的增加相应截面处的等速圆半径也随之增大;环槽数目增加,其对应截面处的等速圆半径也随之增大;同一截面处随孔锥度的增加其等速圆半径随之减小,喷射的气流更为集中,出口速度更大。

向速度分布,可以看出各截面速度均大于30 m/s(泰坦TT-800喷气织机有效运行时纱线飞行最高速度要大于30 m/s<sup>[13]</sup>)。对比3类环槽孔辅助喷嘴距出口不同距离处截面速度径向分布可知除中心区速度不同以外,3类环槽孔辅助喷嘴的截面速度分布较为相似。图中 $\alpha$ 为喷孔锥度, $d$ 为距喷嘴出口距离。

如图8所示为各类环槽孔辅助喷嘴不同截面上径

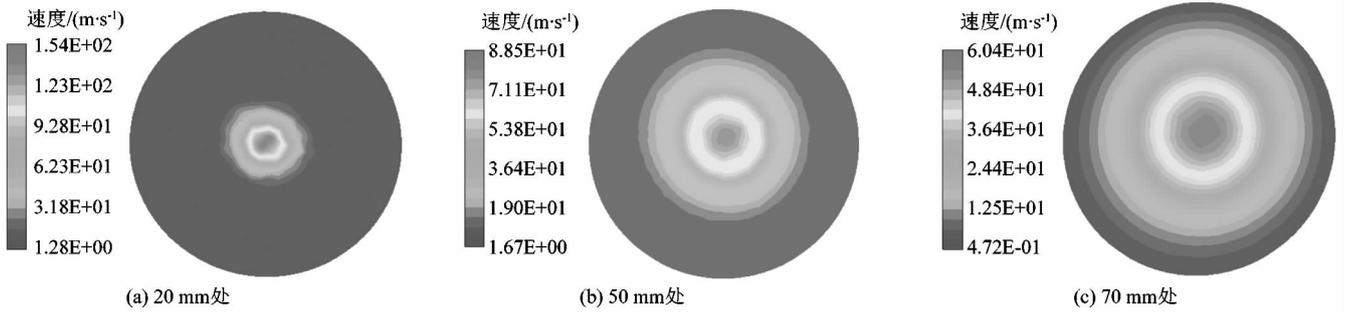


图6 K3型辅助喷嘴喷孔锥度0°时距出口不同距离处截面速度分布云图

Figure 6 Cross-section velocity distribution cloud diagram with K3 auxiliary nozzle hole taper of 0° at different distances from outlet

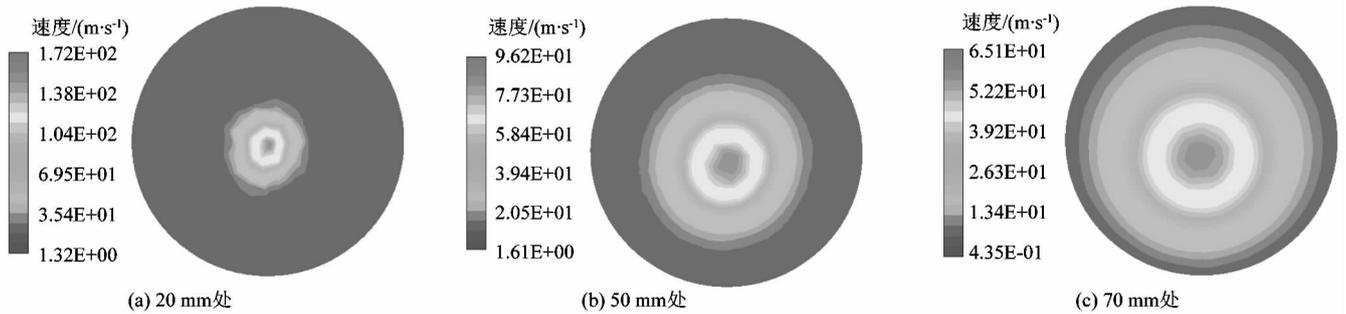
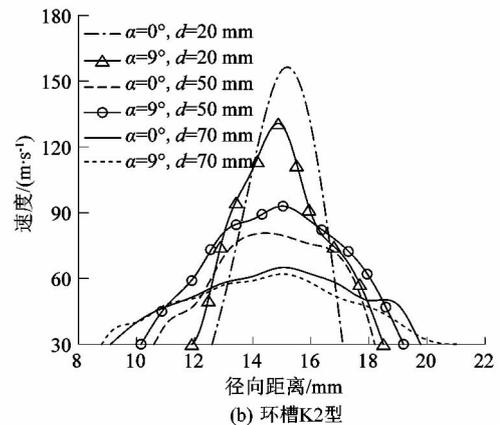
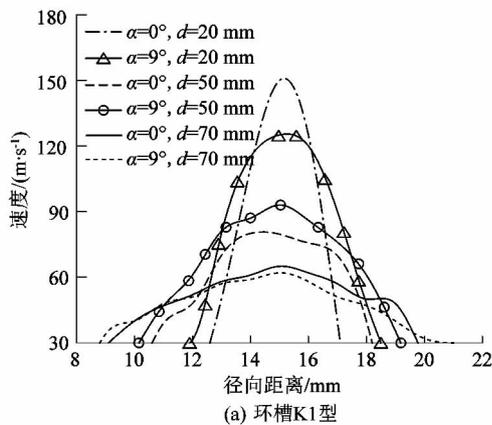


图7 K3型辅助喷嘴喷孔锥度9°时距出口不同距离处截面速度分布云图

Figure 7 Cross-section velocity distribution cloud diagram with K3 auxiliary nozzle hole taper of 9° at different distances from outlet



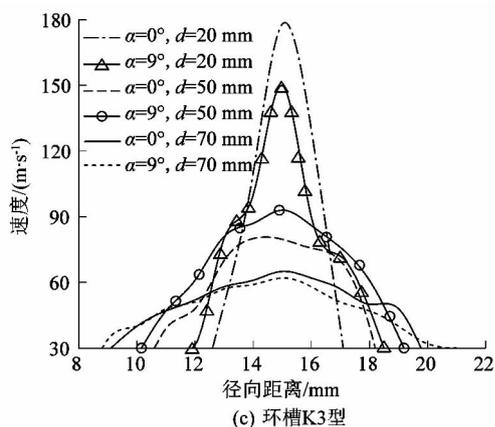


图8 3类环槽型辅喷嘴0°和9°时距出口不同距离处截面径向速度分布图

Figure 8 Cross-sectional radial velocity distribution diagram of three types of annular groove auxiliary nozzles taper of 0° and 9° at different distances from outlet

#### 4 结论

笔者提出了3种环槽型辅助喷嘴,通过分析环槽型辅助喷嘴在相同供气压力、相同出口面积条件下,不同喷孔锥度对辅助喷嘴流场的影响规律,得到如下结论:

1) 分析喷孔锥度为0°时较9°时达到相同射程(80 mm)时的整体速度可得:在喷孔锥度为0°时,K1型辅助喷嘴出口最大速度最大为471 m/s,在喷射角度为9°时,K1型辅助喷嘴出口处最大速度最大为496 m/s;喷孔锥度由0°提高至9°时,K1型辅助喷嘴出口最大速度提升了4.033%,K2型辅助喷嘴出口最大速度提升了6.21%,K3型辅助喷嘴出口最大速度提升了6.24%,这是因为环槽型辅助喷嘴在喷孔锥度增加后,提高了射流的束集性,增强了整体的喷射性能。

2) 3类环槽型辅助喷嘴的整体喷射性能类似,随着环形槽数目的增加使得辅助喷嘴的气流速度衰减逐渐加快,但环槽数目的增加不利于喷射气流的集束,使

气流速度减小。随着喷孔锥度的增大,同型号环槽型喷嘴的耗气量逐渐增加,而不同型号的环槽型喷嘴在相同的喷孔锥度下,K3型耗气量最大。

3) 环槽型辅助喷嘴的射流对纱线的影响较小,其引纬稳定性更好,适合纱线强度较弱和弹力织物的引纬;且环槽型辅助喷嘴射流集中,可有效降低气耗量,提高引纬效率。

#### 参考文献:

- [1] 秦绍辉,胥光申,沈丹峰,等.基于LabVIEW的喷气织机综合性能测试系统[J].西安工程大学学报,2016,30(1):108.
- [2] 李斯湖,沈敏,白聪,等.喷气织机辅助喷嘴结构参数对流场特性的影响[J].纺织学报,2019,40(11):163.
- [3] GKTEPE O,BOZKAN O. Study on reduction of air consumption on air-jet weaving machines [J] Textile Research Journal,2008,78(9):818.
- [4] BELFORTE G, MATTIAZZO G, TESTORE F, et al. Experimental investigation on air-jet loom sub-nozzles for weft yarn insertion [J]. Textile Research Journal,2011,81(8):793.
- [5] 孔双祥,胥光申.基于FLUENT喷气织机不同单孔辅助喷嘴的结构优化[J].西安工程大学学报,2017,31(1):84-85.
- [6] 陈巧兰,王鸿博,高卫东,等.喷气织机单圆孔辅助喷嘴结构优化[J].纺织学报,2016,37(1):144.
- [7] 陈巧兰.喷气织机单孔辅助喷嘴流场模拟及结构优化[D].无锡:江南大学,2015:22-26.
- [8] 张亮.喷气织机辅助流场研究及喷孔结构优化[D].苏州:苏州大学,2016:50.
- [9] 张敏,王鸿博,高卫东,等.喷气织机辅助喷嘴流场特性与耗气量分析[J].纺织学报,2016,37(12):124.
- [10] 王卫华,冯志华,谭保辉,等.喷气织机辅助喷嘴流场特性分析与纬纱牵引实验研究[J].纺织学报,2014,35(10):121.
- [11] 胥光申,孔双祥,刘洋,等.基于FLUENT的喷气织机辅助喷嘴综合性能[J].纺织学报,2018,39(8):123.
- [12] 陈永当,程云飞,殷俊清,等.喷孔锥度对喷气织机辅助喷嘴喷射性能的影响[J].轻工机械,2020,38(5):6.
- [13] 朱文静.喷气引纬运动规律及其优化研究[D].杭州:浙江理工大学,2012:26.