

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.05.009

# 基于 Fluent 的不同形状烘箱风管 流场仿真分析及应用

徐 军<sup>1</sup>, 陈海卫<sup>1</sup>, 周一届<sup>1</sup>, 高一中<sup>2</sup>

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏海大印染机械有限公司, 江苏 无锡 214112)

**摘 要:**风管是烘箱中最为关键的部分,其质量直接影响织物拉幅定形的效果。针对目前设计风管结构时,存在着主要凭借设计师自身经验,而缺少计算分析的缺点,提出了通过 Fluent 软件对多种形状的风管进行仿真分析,并通过实验测量验证了模型的可靠性,最终确定了多种形状风管的适用场合。结果表明方孔式风管适用于绝大部分机织物、针织物;圆孔式风管较适用于对流速大小要求相对小些的织物,如化纤织物等;狭缝式风管由于在织物表面提供了非常好的气流分布,使得织物表面水分的干燥更快、更均匀,因而适用于长绒和毛圈织物。

**关 键 词:**烘箱;风管;流场分析;适用场合

中图分类号:TS195.3

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)05-0035-04

## Simulation Analysis and Application of the Flow Field in the Air Duct with Different Shapes on the Drying Oven Based on Fluent

XU Jun<sup>1</sup>, CHEN Haiwei<sup>1</sup>, ZHOU Yijie<sup>1</sup>, GAO Yizhong<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Haida Printing and Dyeing Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214112, China)

**Abstract:** The air duct is the most critical part of drying oven, and it has a significant impact on the effect of the fabric drying and heat setting. Since when designed the structure of the air duct, existed relying on designer own experience lack of calculation and analysis. The paper analyzed flow field in air ducts with different shapes through FLUENT software, verified the feasibility of the models by actual measurement, finally made the applicable occasions of these ducts clearly. The result shows that square hole-type duct is suitable for vast majority of woven and knitted fabrics; the circular hole-type duct is fit for the fabric which has relatively smaller velocity magnitude requirement, such as chemical fiber fabrics; since the slot-type duct provides a very good distribution of air flow on the surface of fabric, make the fabric surface moisture drying faster, and thus is suitable for deep pile and loop pile fabrics.

**Key words:** drying room; air duct; flow field analysis; applicable occasions

作为染整工艺中的重要后整理设备,拉幅定型机对织物的品质有重要的影响,广泛应用于对织物的烘干及热定型工艺中,其中用作烘干的部分称作烘箱<sup>[1]</sup>。

目前,国外对烘箱风管的研究很少,对烘箱的加热方式、空气供给系统、模拟织物表面水分蒸发等研究较多。Cay 等<sup>[2]</sup>对拉幅定型机工作时使用热油加热和直接热气体加热这两种加热方式进行了比较,结果表明直接热气体加热的效果更好,而使用热油加热时的破坏力和损失率更高。对于拉幅定型机工作时的两种空

气供给系统方式(旁路系统和风量控制),Kaphahn W<sup>[3]</sup>做了研究,指出旁路系统比较适合如煤气燃烧器等直接热源,而风量控制系统特别适用于循环油或蒸气等间接热源系统。Schmidt 等<sup>[4]</sup>对拉幅干燥机工作时织物表面水分的蒸发过程进行了模拟,结果表明:织物表面温度以及水分的分布都是不均匀的,因而现有风管设计还不够完美,迫切需要改进,这也是纺织机械需重点研究的课题。

国内对烘箱风管的研究甚少,而对烘箱整体结构、

收稿日期:2014-03-16;修回日期:2014-03-21

作者简介:徐军(1988),男,江苏盐城人,硕士,主要研究方向为热定型工艺、流体仿真分析。E-mail:917142625@qq.com

烘箱的活动门、废气的热回收装置的研究居多。洪正凯<sup>[5]</sup>提出了一种新型烘箱结构,由于安装在风管回风端处的风机设备吸入的是冷风,所以延长了风机设备的使用寿命,而且可以减少热量损失,节约能源,降低生产成本。现有烘箱结构中的活动门大多采用的是手动锁紧和侧面打开的方式,使得手柄的旋转角度不好控制、开关门的时候需要占据较大的侧面空间、外形不美观,罗先进<sup>[6]</sup>提出了一种烘箱中的自动升降门,主要原理是通过气缸实现了门的自动升降。在废气处理这方面,陈少军<sup>[7]</sup>提出了一种新的换热装置,对废气进行了回收利用。风管是烘箱中最为关键的部分,其质量直接影响着织物拉幅定形的效果,然而目前,风管的设计主要是凭借设计师自身的经验,缺少定性定量的计算分析,所以对风管内的流场进行分析和适用场合进行讨论就显得尤为重要,这也是实际生产中迫切需要的,既可以提高织物的质量,又可以提高企业的效益。

利用 CFD(计算流体动力学)方法可以缩短烘房风管的研究周期、节约研究经费,并且可获得实验测量所无法得到的数据<sup>[8]</sup>,通过 CFD 软件 Fluent 对 3 种不同形状的烘箱风管进行仿真分析,并且通过实验测量验证了模型的可靠性和准确性,在分析的基础上确定了各自的适用场合,对实际生产有重要的指导意义。

## 1 烘箱风管来源

仿真分析的 3 种风管是实际生产中常用的:方孔式、圆孔式、狭缝式。其中方孔式风管上共有 46 个方孔,左右各 23 个;圆孔式风管的下表面是平板面,区别于方孔式风管;狭缝式风管是作特殊用途的,通过气动控制选用方孔式或狭缝式风管。3 种风管的实体如图 1 所示。

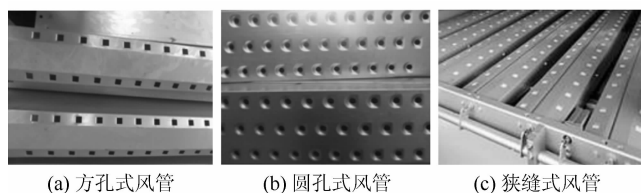


图 1 3 种风管实体图

Figure 1 Model diagrams of the three air ducts with different shapes

## 2 3 种不同形状风管模型的建立

### 2.1 建立几何模型和划分网格

这 3 种形状不同的风管有个共同点:其内部尺寸较小且比较复杂。如果直接在 GAMBIT 中进行建模会

相当困难;而通过 CAD/CAE 软件建模的话,虽然可以建立模型,但是在设置边界条件的时候由于面、体的数目较多,容易漏选或错选,工作量比较繁重。综上所述,本文选择使用 VC 语言来建立模型,其主要原理是通过 VC 编译出 JOU 文件(JOU 文件中包括模型中点、线、面、体、边界条件以及网格的详细信息),GAMBIT 读取 JOU 文件时就可以自动建立模型、设置边界条件、划分网格。接着只要将结果保存成 MSH 文件就可以供 FLUENT 软件仿真分析。

设置边界条件时,进气口选用速度入口边界条件,仿真分析时设置速度大小,其具体数值由测量进入风管的值决定;实际热定形过程中,由于烘箱存在回流,所以出气口选用压力出口边界条件,烘箱外部设置为标准大气压;对于壁面 wall,采用的是 Fluent 软件中的默认值<sup>[9]</sup>。

### 2.2 计算模型

由于本文主要分析烘箱风管内流场,不考虑温度影响,故假设风管内部的湿度与温度都是常数<sup>[10]</sup>。

根据雷诺数  $Re = \rho v d / \eta$ ,式中: $\rho$  表示流体的密度, $v$  表示流体的速度, $\eta$  表示黏性系数, $d$  表示特征长度,可以估算出流体的速度取较小值如 1 m/s 时,雷诺数  $Re = 9\ 808 > 4\ 000$ ,据此可以确定风管内部流场为湍流。根据风管内部空气的流动特征,可以将风管内的流动看作是是不可压缩的湍流模型、其密度是常数<sup>[11]</sup>。此外,因为空气分子黏性的影响很小,可以忽略不计,流动为完全湍流,而标准  $k-\varepsilon$  模型只适用于模拟完全湍流的流动过程,所以分析时选用标准  $k-\varepsilon$  模型。

### 2.3 模型的验证

为了证明计算模型是可靠的,将方孔式风管的实际测量结果和仿真分析结果进行了比较。测量气流速度采用的仪器是 MP200 多功能差压仪,测量风速的范围是 0 ~ 200 m/s,精度为 0.1 m/s。根据测量结果给定进气速度大小为 7.9 m/s。在方孔风管中,选取 10 个小孔出口处作为测量点,测出流速大小。实际测量过程中,每个测量点都测了 3 次,取其平均值。图 2 所示的是仿真分析结果与实际测量结果数据的对比。

由于对烘箱风管模型作了一些理想化的假设,比如进气面速度均匀,而且实际测量过程中存在人为误差、实验仪器误差,这些都使得实际测量结果和仿真分析结果有一定的出入。但总而言之,误差在 5% 以内,说明了 Fluent 软件可以用来分析烘箱风管内气流特性,计算模型是可靠的。

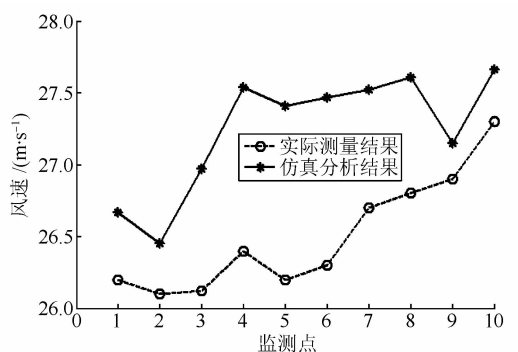


图2 测量结果和仿真结果的对比

Figure 2 Comparison of experimental data and simulation result

### 3 不同形状风管的流场对比及适用场合的讨论

如果织物的材料不同,那么在对织物的热定形工艺中所提出来的要求也会不相同,而风管对织物热定形的效果有非常重要的影响,因此对不同形状风管的流场进行对比分析并讨论各自的适用场合就尤为重要。对方孔、圆孔、狭缝式风管进行流场对比分析时,设置一样的边界条件,如均选用标准  $k-\varepsilon$  模型,进气速度均为  $7.9 \text{ m/s}$ ,进气面都相同,均采用压力出口边界等。方孔式风管的网格模型图如图3所示,其方孔出口处局部速度矢量图如图4所示。圆孔式风管的网格模型图如图5所示,其圆孔出口处局部速度矢量图如图6所示。狭缝式风管的网格模型图如图7所示,其狭缝出口处局部速度矢量图如图8所示。

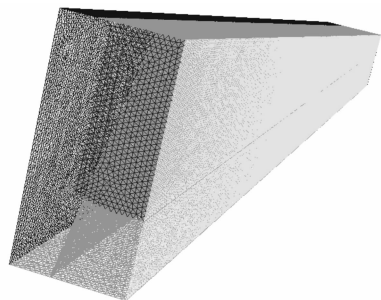


图3 方孔式风管网格模型图

Figure 3 Mesh model of the air duct with square holes

通过 MATLAB 软件进行后续处理分析出方孔出口处、圆孔出口处、狭缝出口处气流方向均基本垂直向下,其误差分别在  $2^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $5^\circ$  以内,对织物的定形效果都比较好。方孔式风管中气流在方孔出口处的速度大小为  $25.8 \text{ m/s}$ ,到达织物表面的时候仍有  $14.7 \text{ m/s}$  的速度,气流速度减小了  $43\%$ ;圆孔式风管中气流在圆孔出口处的速度大小为  $17.6 \text{ m/s}$ ,到达织物表面的时候

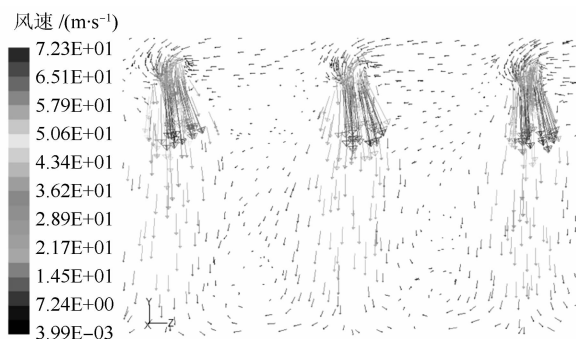


图4 方孔出口处局部速度矢量图

Figure 4 Velocity vector diagram at the outlet of the square holes

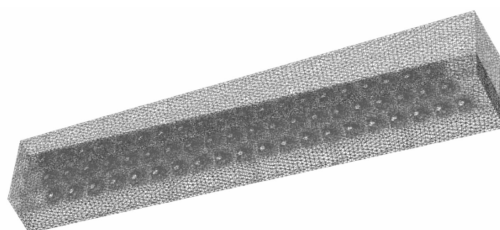


图5 圆孔式风管网格模型图

Figure 5 Mesh model of the air duct with circle holes

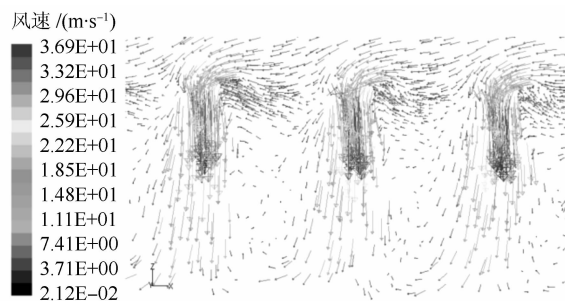


图6 圆孔出口处局部速度矢量图

Figure 6 Velocity vector diagram at the outlet of the circle holes

还有  $5.3 \text{ m/s}$  的速度,气流速度减小了  $69.9\%$ ;狭缝式风管中气流在狭缝出口处的速度大小为  $28.7 \text{ m/s}$ ,到达织物表面的时候还有  $7.5 \text{ m/s}$  的速度,气流速度减小了  $73.8\%$ 。对比发现,狭缝式风管在其风管出口处速度最大,而圆孔式的最小,这是因为在进气速度、进气面大小都一样时,总的进风量相同,而狭缝式风管的出口面积最小,所以其风管出口平均速度就最大;相反,圆孔式的则最小,这一点也从侧面证明了计算模型的可靠性。

1) 方孔式风管。在方孔正下方的织物表面上的流速明显比织物表面别的地方要大,也就是说在织物

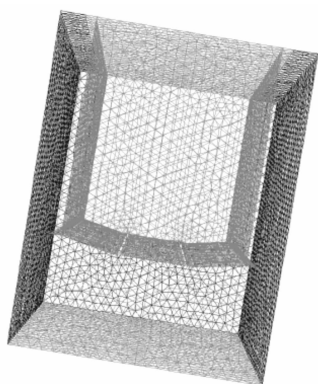


图7 狭缝式风管网格模型图

Figure 7 Mesh model of the air duct with slot holes

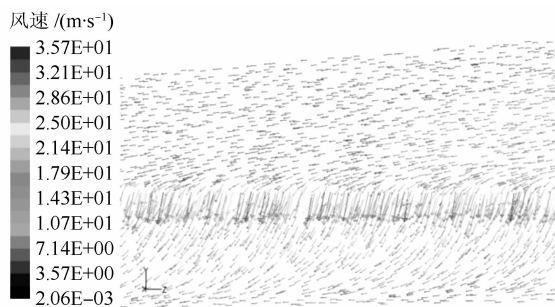


图8 狭缝出口处局部速度矢量图

Figure 8 Velocity vector diagram at the outlet of the slot holes

横向截面上位于方孔正下方的部分可以有效烘干定形,而别的地方相对要弱些,这样就容易在织物表面形成一条条亮斑,为此,方孔式风管应该把两边的方孔错开排列,这样织物表面的流速和温度会更加均匀,且同一节烘房中的6个风管中取3个为一个循环,使得织物横向截面上所有的区域都能在一个循环中得到充分的烘干定形,有效地提高了织物的质量。改进后的方孔式风管由于在风管出口处有较好的气流方向以及织物表面具有较大的气流速度,对织物的拉幅定形有很好的效果,因此其使用范围也最广,可适用于大部分机织物、针织物。

2) 圆孔式风管。同一个风管上3排圆孔的错开排列使织物得到均匀有效的烘干定形。风管在圆孔出口处及织物表面的速度都比方孔式的小,因此圆孔式风管比较适用于对流速相对小些的织物,比如化纤织物等。

3) 狭缝式风管。和前两者相比,狭缝式风管虽然从狭缝出口到织物表面这段过程中,其速度减小率最大,织物表面的速度最小,但是有一个特别显著的特点:织物表面的气流方向特别一致。而长绒织物(如羽绒服帽子上的长毛绒等)在烘干定形过程中特别需

要织物表面流速方向一致,而且织物表面速度还必须尽可能的小。所以,通过对狭缝式风管流场的分析可知,狭缝式风管特别适用于定形过程中要求流速小、方向特别一致的织物,如长绒织物等。

#### 4 结论

对3种不同形状的风管进行了流场分析,并且通过实际测量验证了计算模型的可靠性。在此基础上,对3种风管的适用场合作了简要分析,得出以下结论:

1) 原先对称形的方孔式风管容易使织物形成亮斑,改进措施是将各风管上的方孔错开排列,且同一节烘房中的6个风管中取3个为一个循环,这样就使得织物横向截面上所有的区域都能在一个循环中得到充分的烘干定形,有效地提高了织物的质量,对实际生产制造有重大意义。方孔式风管在风管出口处有较好的气流方向,且织物表面具有较大的气流速度,对织物的拉幅定形有很好的效果,适用于绝大部分机织物、针织物。

2) 圆孔式风管由于其特殊结构的设计使空气的喷射保持垂直方向,使得织物的各部位之间不产生密度差和质量差,拉幅定形效果极好,适用于化纤织物、混纺织物。

3) 狭缝式风管由于在织物表面提供了非常好的气流分布,使得织物表面水分的干燥更快、更均匀,且没有瑕疵,因而狭缝式风管常用于处理非弹性、长绒和毛圈织物。

#### 参考文献:

- [1] 余益. 拉幅干燥机的改革[J]. 中外技术情报, 1990(5): 2-3.
- [2] CAY A, TARAKÇIOĞLU I, HEPBASLI A. Exergetic analysis of textile convective drying with stenters by subsystem models: part I—Exergetic modeling and evaluation [J]. Drying Technology, 2010, 28(12): 1359-1367.
- [3] KAPHAHN W. Air feed systems in stenter dryers [J]. International Dyer, 1995, 180(2): 10-13.
- [4] SCHMIDT M, SCHLOSSER U, BAHNERS T, 等. 拉幅干燥机的计算流体力学模拟[J]. 国际纺织导报, 2009, 37(9): 42-44.
- [5] 洪正凯. 一种拉幅定型机烘箱: 中国, 201952640[P]. 2011-08-31.
- [6] 罗先进. 拉幅定型机的自动升降门: 中国, 201016140[P]. 2008-02-06.
- [7] 陈少军. 拉幅定型机换热装置: 中国, 201120103385[P]. 2011-12-07.
- [8] 王小纯, 占细峰. 基于CFD的搅拌反应罐内部流场的数值模拟[J]. 轻工机械, 2013, 31(1): 9-14.
- [9] 韩占忠, 王敬. 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 理工大学出版社, 2004.
- [10] 于志勇, 周文, 徐小捷, 等. 竹胶板行业蒸气烘房的模拟分析与优化[J]. 机电产品开发与创新, 2012, 25(2): 104-106.
- [11] 张瑞雪, 孙丽萍. 计算流体力学在干燥窑风速检测中的应用研究[J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23(1): 119-121.