

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.01.016

热风干燥烘房气流速度场均匀性优化

张伟¹, 严平²

(1. 上海工程技术大学机械与汽车工程学院, 上海 201620;
2. 上海工程技术大学航空运输学院, 上海 201620)

摘要:针对常规干燥烘房存在气流速度场不均匀,导致木材干燥不均、干燥效果差的问题,课题组在常规干燥烘房的基础上,设置风机引导送风罩,利用 FLUENT 对设置 3 种规格送风罩的烘房进行数值模拟,结果表明 600 mm × 300 mm 矩形出风口的引导送风罩可以使气流速度场均匀性达到最佳;将其与常规干燥烘房进行对比,结果表明设置 600 mm × 300 mm 引导送风罩的干燥烘房能使气流速度更加均匀,气流均方差降低了 2.5%,变异系数降低了 4.0%。本研究可提高木材干燥的均匀性。

关键词: 干燥烘房;均匀性;引导送风罩;FLUENT 软件;气流均方差

中图分类号:TS652 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)01-0083-05

Optimization of Airflow Velocity Field Uniformity in Hot Air Drying Kiln

ZHANG Wei¹, YAN Ping²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;
2. School of Air Transportation / Flying, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Conventional drying kiln has uneven airflow velocity field, which leads to uneven drying of wood and poor drying effect. Based on the conventional drying, guide air cover was set up. FLUENT was used to numerically simulate the drying kiln with three kinds of guide air cover, it was concluded that the guide air cover of the 600 mm × 300 mm rectangular air outlet could optimize the uniformity of the airflow velocity field. Compared with the conventional drying kiln, the results show that the drying kiln with 600 mm × 300 mm guide air cover can make the airflow speed more uniform, the airflow mean variance is reduced by 2.5%, and the coefficient of variation is reduced by 4.0%, which can significantly improve the uniformity of wood drying quality.

Keywords: drying kiln; uniformity; guide air cover; FLUENT; airflow mean variance

木材干燥烘房是木材制品加工的主要设备,目前我国干燥行业生产中使用的干燥设备 80% 以上是常规木材干燥设备^{[1]26}。影响木材干燥效果的因素分为内部因素和外部因素,内部因素包括木材的种类、密度、厚度和干燥时的含水率等,外部因素主要是干燥烘房的气流温度、湿度和速度等^{[1]26}。在内部因素无法改变的情况下,通过改变外部因素来改善木材干燥效果是主要的方法。干燥烘房内气流均匀性也是影响木材干燥质量的因素之一,干燥烘房内气流的均匀性与风机送风状况息息相关。课题组以实验室现有热风干燥烘房为基础,针对风机出口气流发散、气流分布不均

匀等问题,通过调节风机引导送风罩的出口截面,达到调节干燥烘房内气流速度和方向的目的,使气流能够顺利的由水平风道转入竖直风道内,同时改善气流在水平方向上和竖直风道内的气流均匀性,提高常规热风干燥烘房的效率。

1 常规热风干燥烘房数值模拟计算

1.1 热风干燥烘房工作原理

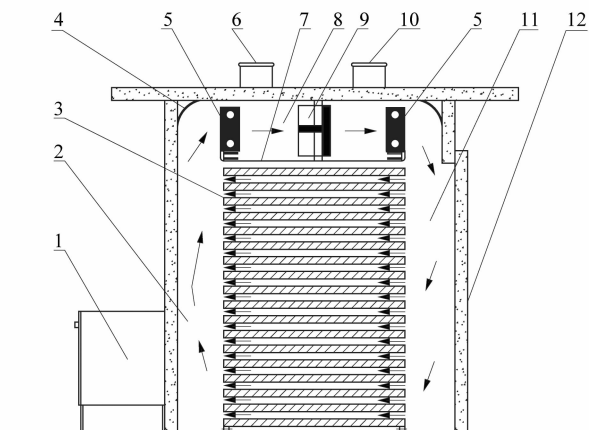
常规热风干燥烘房如图 1 所示。准备干燥的木材堆垛放入干燥烘房后,在各层木材之间形成水平气道。空气进入干燥烘房后由风机 9 进行加速,经过右侧散热器 5 加热升温后,经 90°转入竖直风道 11 内,再经

收稿日期:2018-09-17;修回日期:2018-11-15

基金项目:上海工程技术大学研究生科研创新项目(E3-0903-17-01008)。

第一作者简介:张伟(1993),男,河北承德人,硕士研究生,主要研究方向为干燥技术及节能技术。E-mail:1224060317@qq.com

90°转入板材间水平气道。加热后的空气在板材间流动,吸收板材中析出的水分,从而降低木材含水率,热气流再通过左侧竖直风道2,返回风机9,完成一个循环。根据实际情况及干燥工艺要求,间隔一段时间风机反转,形成逆时针循环气流,以增加干燥均匀性。散热器一般采用蒸气作为热源,正向循环时右侧散热器通入高温蒸气,逆向循环时左侧散热器通入高温蒸气。因此,要使木材均匀干燥,必须保证干燥烘房内气流均匀性^[2]。但是常规干燥烘房存在送风气流不均匀,导致木材干燥不均匀的问题,因此课题组在常规干燥烘房风机出口设置送风罩,应用 FLUENT 软件对不同规格的送风罩进行模拟计算,以选取使烘房内气流在水平和竖直方向上更加均匀的送风罩规格,达到干燥均匀的目的。



1—配电柜;2—左侧竖直风道;3—木材堆垛;4—圆弧导流板;5—散热器;6—进气口;7—底托板;8—水平风道;9—风机;10—排气口;11—右侧竖直风道;12—密闭大门。

图1 常规热风干燥烘房结构示意图

Figure 1 Structure of conventional hot air drying kiln

1.2 常规干燥烘房数值模拟分析

1.2.1 干燥烘房建模与网格划分

实验室现有的干燥烘房外形尺寸为:43 000 mm × 3 100 mm × 2 600 mm。课题组采用 ANSYS Workbench 对干燥烘房内气流进行数值模拟,按照实验室干燥烘房 1:1 的比例进行数学建模,由于实际运行中干燥烘房需要正反转运行,为了简化模型,课题组只对正向循环情况进行模拟计算。干燥烘房模型如图2所示,烘房上部配置2台风机,风机直径为505 mm,风机支撑框架位于中间位置;风机右侧为散热器,采用高温蒸气为热源;烘房下部为单层厚度为70 mm、间隔为40 mm的木材堆垛,共设置18层板材。对建立好的模型用 ICEM 进行网格划分,网格划分采用八叉树算法划

分四面体网格,网格划分结果如图3所示。

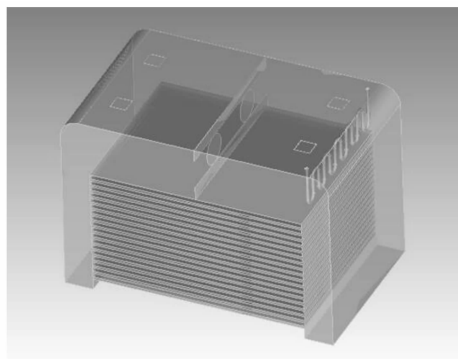


图2 常规热风干燥烘房模型

Figure 2 Conventional hot air drying kiln model

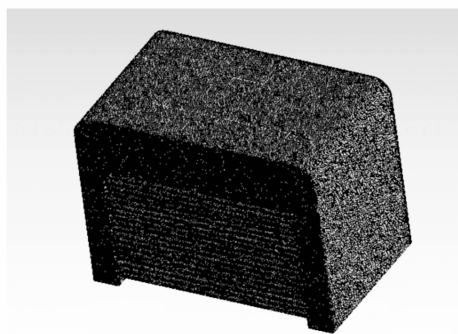


图3 常规干燥烘房网格划分结果

Figure 3 Mesh generation results of conventional drying kiln

1.2.2 数值模拟及结果分析

利用 ANSYS FLUENT 软件进行数值模拟,选择基于压力的求解器,求解器速度方程类型选择绝对速度,时间类型选择定常流动,考虑重力影响,重力加速度设置为 9.8 m/s^2 ;开启能量方程,选取 Realizable $\kappa-\varepsilon$ 2 方程湍流模型;2 台轴流风机采用 FAN 边界条件;干燥烘房壁面及板材表面采用无滑移绝热壁面边界条件;散热器设置为固定温度壁面边界条件;烘房入口设置为压力入口边界条件,出口设置为质量出口边界条件^[3]。求解方法采用速度与压力耦合方法 SIMPLE 算法,初始化进行计算^[4]。在常规干燥烘房模拟结果中分别选择竖直方向与水平方向2个截面进行观察分析,竖直平面即 X-Y 平面选择 $Z = -1.9 \text{ m}$ 平面,水平平面即 X-Z 选择 $Y = 2.65 \text{ m}$ 平面。在2个平面上的速度分布云图如图4和图5所示。

从常规热风干燥烘房内速度流场云图可以看出:①在 X-Y 平面上,风机出口气流较为发散,在由水平风道转入竖直风道时不够平滑,转入竖直风道后气流变

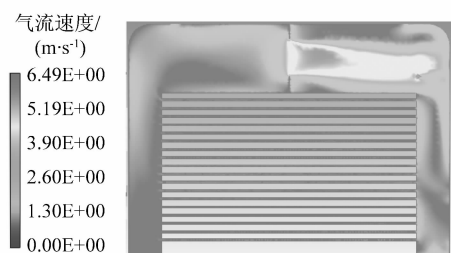


图4 常规烘房内X-Y截面上气流速度分布云图

Figure 4 Airflow velocity contours on X-Y section in conventional drying kiln

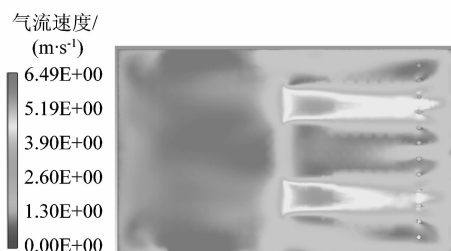


图5 常规烘房内X-Z截面上气流速度分布云图

Figure 5 Airflow velocity contours on X-Z section in conventional drying kiln

得紊乱,使气流速度下降较快,同时导致气流流入板材间水平风道时沿高度方向速度不均匀,进而使得木材干燥不均匀,干燥质量差;②在X-Z平面上,风机出口气流呈单束狭长射流,2束射流之间形成涡流,射流即将转入竖直风道时尚未在Z方向上均匀分布,然后与壁面撞击散开,形成涡流,导致气流转入竖直风道后在Z方向上分布不均,干燥效果不佳。

2 热风干燥烘房送风优化模拟

为了改善常规干燥烘房存在送风不均匀的问题,在风机处设置引导送风罩,以使风机能够更加均匀地送风,加设引导送风罩的干燥烘房建立模型如图6所示;引导送风罩三维视图如图7所示。风机引导送风罩进风口为直径为505 mm的圆形,由于出风口规格严重影响风机送风状况,又风机出口射流在X-Z平面上分布不均,为使风机送风在X-Z平面上分布均匀,转入竖直风道时恰好均匀散开,课题组对引导送风罩出风口设置3种不同的出口截面,分别为:矩形出风口Ⅰ为宽500 mm,高300 mm;矩形出风口Ⅱ为宽600 mm,高300 mm;矩形出风口Ⅲ为宽700 mm,高300 mm。分别对设置3种规格的引导送风罩的干燥烘房进行建模、网格划分和数值模拟,其建模方法、网格划分方法、求解条件等均与常规热风干燥烘房相同^[5-7]。数值模拟结果如图8~13所示。

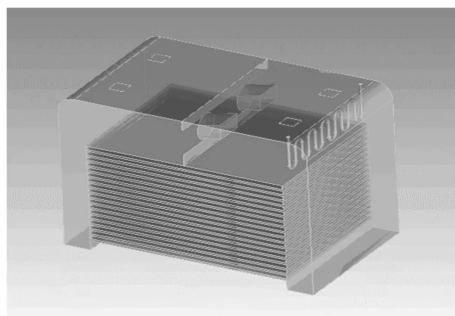


图6 优化设计后热风干燥烘房模型

Figure 6 Hot air drying kiln model after optimization design

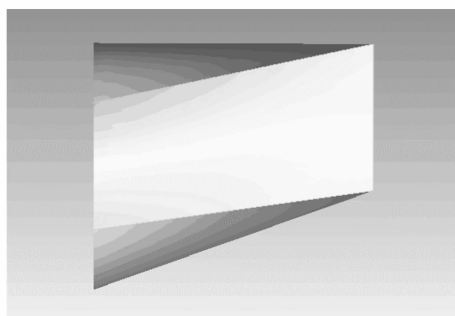


图7 引导送风罩三维视图

Figure 7 Three-dimensional view of air guide cover

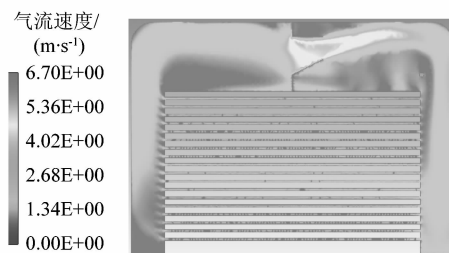


图8 矩形出风口Ⅰ在X-Y平面速度分布云图

Figure 8 Rectangular outlet airflow I on X-Y section airflow velocity contours

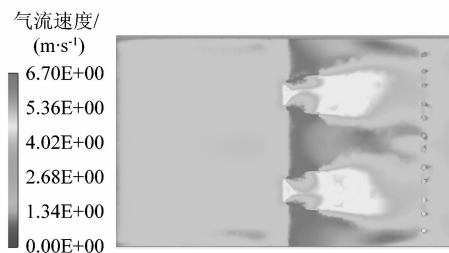


图9 矩形出风口Ⅰ在X-Z平面速度分布云图

Figure 9 Rectangular outlet airflow I on X-Z section airflow velocity contours

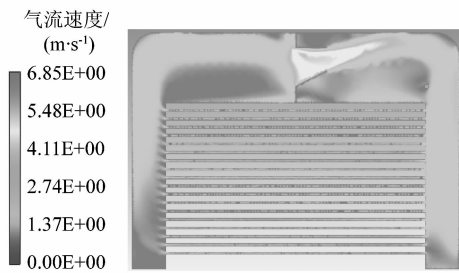


图 10 矩形出风口 II 在 X-Y 平面速度分布云图

Figure 10 Rectangular outlet airflow II on X-Y section airflow velocity contours

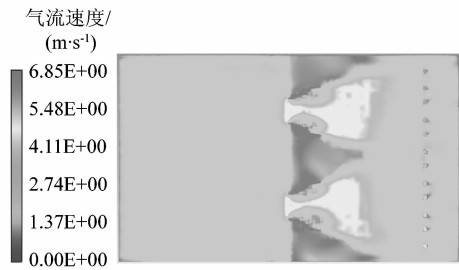


图 11 矩形出风口 II 在 X-Z 平面速度分布云图

Figure 11 Rectangular outlet airflow II on X-Z section airflow velocity contours

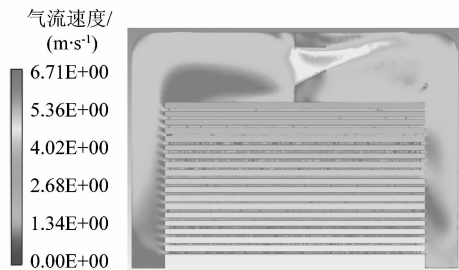


图 12 矩形出风口 III 在 X-Y 平面速度分布云图

Figure 12 Rectangular outlet airflow III on X-Y section airflow velocity contours

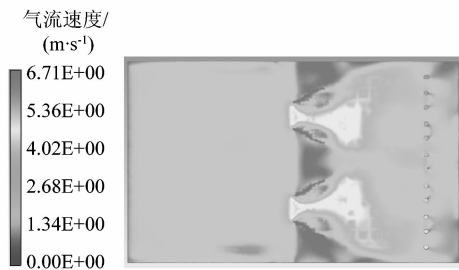


图 13 矩形出风口 III 在 X-Z 平面速度分布云图

Figure 13 Rectangular outlet airflow III on X-Z section airflow velocity contours

从图 8 ~ 13 气流分布速度云图可以看出:①矩形出风口 I 在 X-Y 平面上看气流由水平风道转入竖直风

道后,大部分气流聚积在烘房下部板材部分,考虑可能是因为出风口面积较小,导致气流速度过快,转向之后冲击到烘房下部;在 X-Z 平面上,可以看到风机出口气流在即将转入竖直风道时,在 Y 方向上速度尚未均匀分布,2 股风机气流之间有涡流出现。②矩形出风口 II 在 X-Y 平面上看气流由水平风道转入竖直风道后,能较为均匀地充满整个竖直风道,使气流速度沿木材堆垛方向上趋向均匀;在 X-Z 平面上,可以看出气流在平面上混合得比较好,速度也比较均匀,使气流在转入竖直风道内时速度均匀性保持得较好。③矩形出风口 III 在 X-Y 平面上气流在由水平风道转入竖直风道时出现涡流,导致气流在竖直风道内速度分布不均;在 X-Z 平面上,风机的 2 股气流过早地混合并相互扰动,导致在后面气流出现紊乱,转入竖直风道时气流速度分布不均匀。

综上所述,可以得出当风机引导送风罩出口截面为矩形出风口 II (宽 600 mm,高 300 mm)时,热风干燥烘房内气流速度均匀性最好。

3 速度场均匀性对比处理分析

为了验证设置了引导送风罩的干燥烘房对提高气流速度场均匀性的效果,对常规干燥烘房和设置截面为 600 mm × 300 mm 矩形出风口的干燥烘房进行对比。在板材间水平气道的右端、中间和左端,每层设置 3 个监测点。从上到下共有 18 层水平气道,在 FLUENT 中创建耙状表面,从上到下指定等间距分布的 18 个监测点^[8-9]。利用 FLUENT 中 XY plot 功能导出各点数据,各层测点气流平均速度如表 1 所示,各层测点气流平均速度如图 14 所示。由图 14 可以明显地看出,设置引导送风罩的干燥烘房气流速度差异较小,气流速度分布更为均匀。

表 1 各层测点气流平均速度

Table 1 Airflow average velocity distribution of each measuring points $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

层数	常规干燥烘房	优化后干燥烘房	层数	常规干燥烘房	优化后干燥烘房
1	1.100	1.230	10	0.866	1.117
2	0.954	1.234	11	0.800	1.173
3	0.921	1.175	12	0.840	1.188
4	0.914	1.167	13	1.022	1.174
5	1.007	1.198	14	1.042	1.180
6	1.045	1.147	15	0.986	1.182
7	1.046	1.117	16	1.012	1.100
8	1.142	1.146	17	1.000	0.950
9	0.887	1.150	18	0.700	0.900

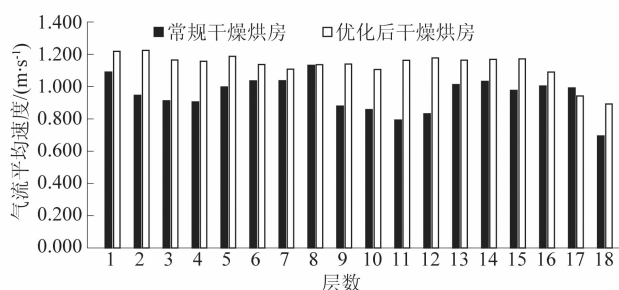


图14 各层测点气流平均速度

Figure 14 Airflow average velocity distribution of each measuring points

课题组引入均方差和变异系数对数据的离散程度进行分析,均方差表示各数据偏离平均数的距离的平均数,反映数据的离散程度。均方差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (1)$$

式中: N 为数据的总数; x_i 为第 i 个数据, $i = 1, 2, 3, \dots, N$; μ 为 N 个数据的平均值。

变异系数是均方差与其平均数的比值,反映了在消除测量尺度和量纲影响的情况下,数据离散程度的绝对值。变异系数

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

由公式(1)和公式(2)可以计算得到,气流速度均方差降低了 2.5%,变异系数降低了 4.0%。表明优化后的干燥烘房气流速度离散程度更小,速度分布更为均匀合理。

4 结论

课题组在常规干燥烘房设置风机的引导送风罩,以改善常规干燥烘房存在的送风气流速度不均匀的情况。通过数值模拟与对比分析,得到如下结论:①比较 3 组不同规格的引导送风罩,得出 600 mm × 300 mm 的矩形出风口的引导送风罩能使干燥烘房在水平和竖直方向上气流均匀性达到最佳。②对比常规干燥烘房和设置引导送风罩的干燥烘房,结果表明后者的气流速度分布更加均匀合理,气流速度均方差降低了 2.5%,变异系数降低了 4.0%,提高了烘房木材干燥的均匀性。

参考文献:

- [1] 李磊,陈广元.改善顶风机型木材干燥室空气流动特性研究[J].森林工程,2010,26(3):26.
- [2] 赵晔玫,徐滕岗,严平,等.木材干燥窑的优化设计[J].东华大学学报(自然科学版),2013,39(4):468-471.
- [3] 茹煜,贾志成,郁金.基于 FLUENT 软件的木材干燥窑内部流场分析研究[J].木材加工机械,2010,21(4):12-15.
- [4] 孟兆新,李尚,肖定福,等.木材干燥窑内部流场改进与风速均匀性研究[J].西北林学院学报,2016,31(3):247-251.
- [5] 张杨,吴哲,曹军.基于计算流体力学的木材干燥窑内三维流场的数值模拟[J].东北林业大学学报,2013,41(12):135-140.
- [6] 段中喆.ANSYS FLUENT 流体分析与工程实例 配视频教程[M].北京:电子工业出版社,2015:55-124.
- [7] 李鹏飞,徐敏义,王飞飞.精通 CFD 工程仿真与案例实战 FLUENT GAMBIT ICEM CFD Tecplot[M].北京:人民邮电出版社,2011:162-198.
- [8] 闫一野,陈海峰,张士玺.基于 FLUENT 的木材压干窑风速均匀性数值模拟[J].中南林业科技大学学报,2012,32(2):151-154.
- [9] 孙慧慧.顶风机型热风干燥烘房移动式可调控射流装置的研究[D].上海:上海工程技术大学,2016:45-54.

[信息·简讯]

· 产品信息 ·

西门子发布针对 Simatic 控制系统的人工智能模块

西门子推出一款集成了人工智能(AI)芯片的全新模块,用于 Simatic S7-1500 控制器和 ET 200MP I/O 系统。Simatic S7-1500 TM 神经处理器(NPU)使用英特尔 Movidius Myriad X 视觉处理器(VPU),能够实现神经网络的高效处理。新模块配有 USB 3.1 接口和千兆以太网端口,通过 SD 卡获得训练过的神经网络中的功能。传感器的数据和来自 CPU 程序的数据,在神经网络的基础上进行处理。借助机器学习算法,诸如生产工厂的视觉质量检验或图像引导的机器人系统等应用将得以有效实现。这些行为从而变得更高效率、更像人类专家。随着该模块的推出,西门子将更多的未来技术整合到工业应用场景。

Simatic S7-1500 TM NPU 上安装的 VPU 采用英特尔新款 Myriad X VPU 芯片,配有深度神经网络结构的专用硬件加速器。嵌入式英特尔芯片可基于训练过的模型来加速图像处理过程和快速本地数据评估,从而促进工业自动化领域新的应用。

用户可以在 S7-1500 TM NPU 模块的集成接口上连接可兼容的传感器,例如摄像头或麦克风,传感器数据和来自 CPU 程序的信息利用神经网络进行处理,处理的结果再在 CPU 程序中进行评估。利用传统图像处理技术识别工件时,必须极其精准地设置每个工件的数据;而应用学习算法对所识别的图像数据进行分析,工件数据的设置在一定程度上可以更加灵活。

Simatic S7-1500 TM NPU 的优势在分拣/放置应用场景里,体现在移动机器人必须能够识别、分拣并放置随意摆放在箱子中的部件。此外,在质检方面也将带来附加价值,例如利用联网摄像头所采集的图像或数据对神经网络进行不断训练,模块将像专家一样具备判断产品或工艺一致性、颜色和质量参数的知识。

(朱建芸)