

壁纸包装机烘箱温度场模拟及结构改进

王园¹, 武吉梅², 陈彦³

(1.重庆商务职业学院, 重庆 401331; 2.西安理工大学, 西安 710048;

3.重庆端宜智能科技有限公司, 重庆 400711)

摘要: **目的** 采用有限元数值模拟方法分析壁纸包装机温度场的均匀性, 以提高包装质量。**方法** 创建包装机烘箱三维模型, 通过 FLUENT 对工作过程温度场进行模拟分析, 针对分析结果中的影响因素进行结构改进。**结果** 得到了壁纸包装机烘箱内部温度场的分布情况, 找到了影响烘箱温度场均匀性的因素, 通过对壁纸包装机烘箱结构进行改进, 提高了内部温度的均匀性。**结论** 通过对烘箱内部喷风口和出风口结构进行部分改进, 有效地改善了烘箱温度均匀性, 提高了包装效率。

关键词: 壁纸包装机; 烘箱; FLUENT; 温度场; 结构改进

中图分类号: TB489 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0184-05

Temperature Field Simulation and Structure Improvement of Wallpaper Packaging Machine Oven

WANG Yuan¹, WU Ji-mei², CHEN Yan³

(1.Chongqing Business Vocational College, Chongqing 401331, China; 2.Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3.Chongqing Doany Intelligent Technology Co., Ltd., Chongqing 400711, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the uniformity of wallpaper packaging machine temperature field by using the finite element numerical simulation method, so as to improve the packaging quality. The temperature field of the working process was simulated and analyzed via FLUENT by creating 3D model for packaging machine oven. The structure was improved with respect to the influence factors in the analysis results. The distribution of temperature field in the wallpaper packaging machine oven was obtained and the factors that affected the uniformity of oven temperature field were found out. The uniformity of internal temperatures was intensified by improving the structure of wallpaper packaging machine oven. The oven temperature uniformity and packaging efficiency can be effectively improved by partly changing the structures of air inlet and outlet of the oven.

KEY WORDS: wallpaper packaging machine; oven; FLUENT; temperature field; structure improvement

在壁纸的生产过程中, 印刷完成以后需要对用卷筒料连续印刷的壁纸分切成小卷, 并对壁纸小卷进行塑料薄膜包装。壁纸卷的包装主要为塑料薄膜热收缩包装, 即在壁纸外包裹一层具有热收缩性能的塑料薄膜, 加热收缩, 使薄膜将壁纸卷裹紧^[1-2]。薄膜收缩的质量直接影响壁纸的包装效果, 而热收缩机的工作性能主要取决于烘箱的温度场是否达到薄膜的热收缩要求^[3]。

1 烘箱流体域模型建立

烘箱结构见图 1, 由于风机的作用, 回风口将烘箱中的热空气和一部分冷空气吸入上部加热箱体中, 由电加热管将空气加热至设定温度并通过挡风板将热空气分流, 使热空气比较均匀地吹入烘箱箱体中, 对烘箱中的壁纸包装薄膜进行加热收缩。壁纸卷保持一定的速度, 由烘箱的壁纸入口进入烘箱, 完成收缩包装的壁纸卷由壁纸出口送出烘箱。

收稿日期: 2016-12-15

作者简介: 王园 (1988—), 女, 硕士, 重庆商务职业学院助教, 主要研究方向为印刷包装材料及设备。

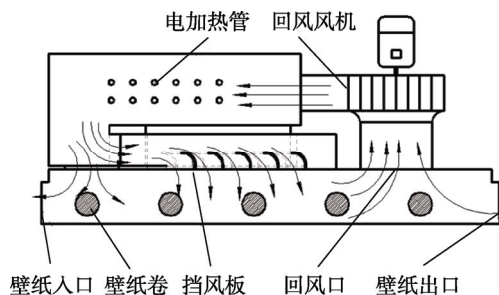


图1 烘箱结构
Fig.1 The structure of oven

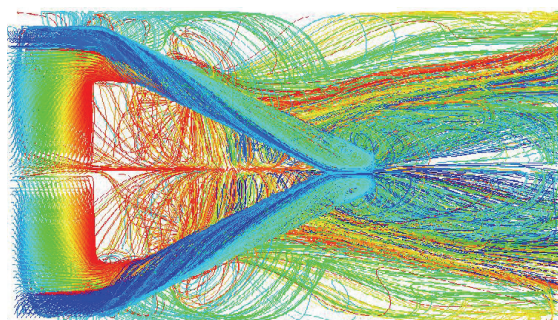


图2 整体流线
Fig.2 The whole line

2 边界条件和求解器

1) 热收缩及正常工作时烘箱进风口的热风温度为 520 K, 进风道壁面与空气的传热系数为 $160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{[4-7]}$ 。

2) 通过计算得到热风进口处的雷诺数为 38 090, 流体的流动形式为充分发展的湍流, 采用 $k-\varepsilon$ 模型^[5]。根据湍流参数, 即雷诺数、湍动能 k 和湍流耗散率 ε 的详细计算公式可得到 $k=0.011$, $\varepsilon=0.0096$ 。

3) 壁纸进口和壁纸出口设置边界条件为压力出口, 静压设置为 0 Pa; 2 个热风回流出口处压强设置为 5 Pa, 所有的出口处温度设置为 300 K。

4) 鉴于流体实际情况比较简单, 而网格数量比较大, 拟采用非耦合求解器。设置能量方程的残差为 10^{-6} , 连续性方程和 $k-\varepsilon$ 方程的残差为 10^{-3} 。通过求解流动方程和 $k-\varepsilon$ 方程, 计算出收敛的流场结果, 再求解能量方程、流动与传热方程, 最终获得完整解^[8-9]。

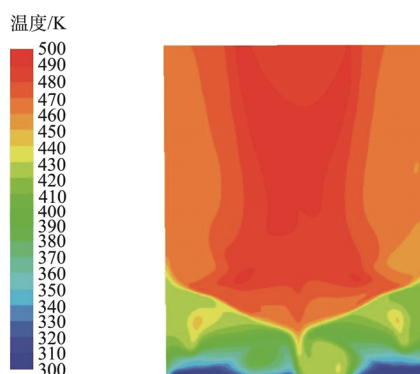
3 模拟结果

整个烘箱的流线见图 2。经过加热到设定温度的热风流入烘箱的进风道内, 分为 2 路, 然后由 4 个圆弧形隔风板将热风分为多路, 并垂直吹入烘箱内, 最后流出烘箱。由图 2 可看出, 由 4 个隔风板分流后, 5 个风口的风量是不均匀的, 首尾 2 个风口的风量明显大于中间 3 个风口的风量。

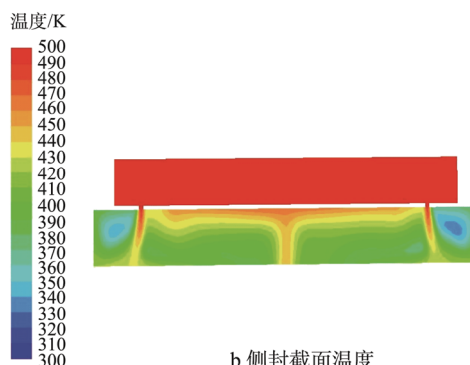
烘箱底面、侧封截面、回风口截面温度见图 3。由图 3c 可以看出, 进风道内的温度明显高于烘箱内的温度, 这是由于在风口处存在一定的出风阻力, 影响了热量的高效传输。另外壁纸入口和壁纸出口之间存在一定量的冷风流动。由于壁纸出口和壁纸入口直接与大气接触, 温度较低, 其间流动的冷风与风口的热风进行热交换降低了烘箱的温度。

4 改进方向

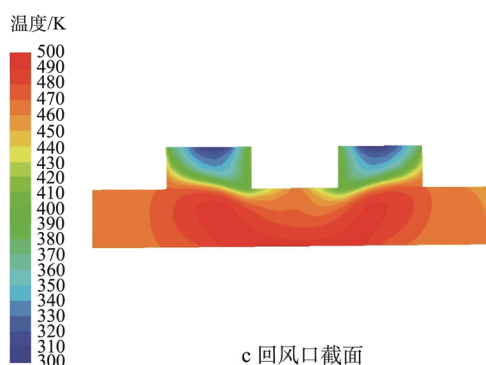
对原有热收缩烘箱的速度场和温度场分析可以发现, 喷口出风不够均匀, 在整个出风道内两端风口出风量远大于中间出风口; 烘箱的回风量不足, 使得



a 烘箱底面



b 侧封截面温度



c 回风口截面

图3 烘箱不同部位的温度分布

Fig.3 Temperature distribution in different parts of the oven

大量的热空气没有循环再次利用而直接从壁纸出口流出, 造成热能的极大浪费。需对烘箱热风出口结构进行改进, 并对回风口尺寸或者回风方式进行改进以增加回风量, 使热量尽可能被循环使用^[10-11]。

4.1 喷风口结构

改进前后的挡风板截面结构见图4。原烘箱中进风腔挡风板的排列见图4a, 5个挡风板大小相同(直径均为40 mm的1/4圆弧), 长度方向均匀排列。针对出风口风量不均匀的情况采取适当调整挡风板高度的方式来改善喷风口的出风量, 通过多层更改数据与模拟测试得到的结构见图4b。从进风风道第1个挡风板开始, 高度依次为20, 33.75, 47.5, 60, 75 mm, 而挡风板的左右位置不变的时候, 喷风口出风量的均匀性可以得到很明显的改善, 挡风板将进风道热风比较均匀地分到几个出风喷口中, 较理想地改变了进风喷口的流场, 使得进入烘箱中的热空气更加均匀, 能够在一定程度上改善烘箱中的温度场均匀性, 有效地提高薄膜的热收缩质量^[12-14]。

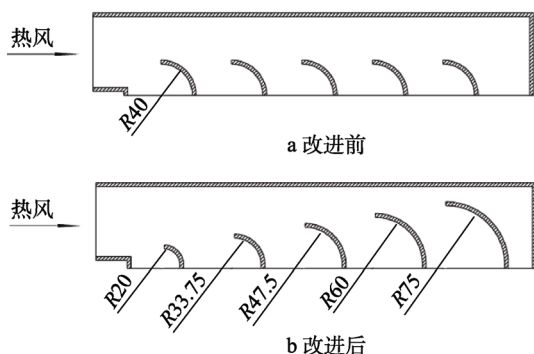


图4 改进前后挡风板截面

Fig.4 Wind deflector section before/after improvement

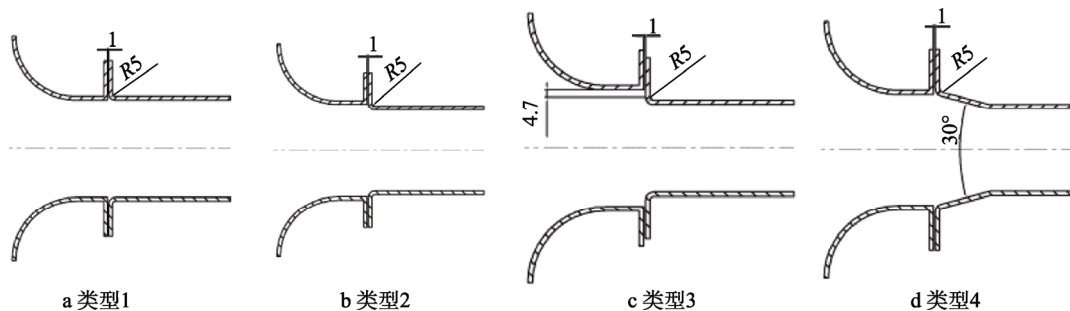


图5 4种不同设计模型

Fig.5 Four different design models

表1 4种回风口控制参数的比较

Tab.1 The comparison of the four return air control parameters

类型	进口流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	辅助流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	出口流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	流量比	放大 系数
1	0.008 451	0.015 742	0.024 193	0.650 684	2.862 738
2	0.008 451	0.017 526	0.025 977	0.674 674	3.073 807
3	0.008 451	0.019 564	0.028 615	0.683 697	3.385 990
4	0.008 451	0.024 623	0.032 777	0.751 229	3.878 476

改进后烘箱底面温度见图7a, 壁纸在烘箱中从右侧进入烘箱, 完成收缩后从左侧出料。这种温度分

4.2 回风口结构

由图3a和图3b可以发现, 原热收缩烘箱存在回风口的回风量不足的问题, 导致大量的热空气从壁纸出口流出, 使热能不能充分得到循环利用, 浪费能源。经考虑与比对能量的消耗量以及热收缩烘箱回风口的特点尝试改用康达效应回风口^[15], 根据康达效应原理以及参考实际应用经验设计出4种回风口结构, 见图5。通过对4种模型风量数据整理可得4种风口的放大系数, 见表1。可以看出, 第4种出风口能最大限度提高空气放大系数, 因此选择此种带锥角的回风口。

5 改进结构分析结果

将烘箱的喷风口用改进后的结构进行替换, 回风口也同样替换为具有贴壁效应的风口, 划分网格, 设置边界条件进行计算求解, 边界条件仍然根据实际情况保持与改进前的边界情况相同^[1-2], 得到的烘箱整体流线见图6。从图6可以看出, 结构改进后烘箱温度更加均匀, 反映了烘箱的温度场均匀性得到了改善; 烘箱的喷风口处各个喷风口的流线也相比于改进前更加均匀; 由表1可以看出, 换用了新的回风口后, 回风量得到了极大增加, 空气放大系数增大到将近4; 烘箱相比于以前的风机式回风口, 能够在不增加电机功率的前提下增加回风口的回风量, 也使得烘箱中的热空气更大程度地被回收使用, 减小了热空气被排出烘箱造成浪费的可能性。

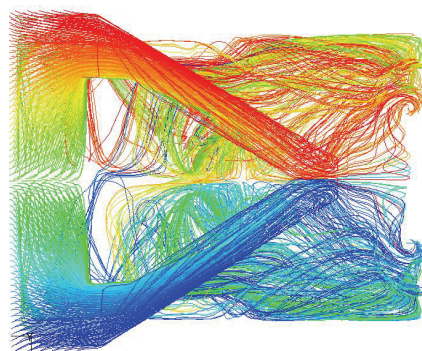


图6 改进后烘箱整体流线

Fig.6 Overall flow line of improved modifications oven

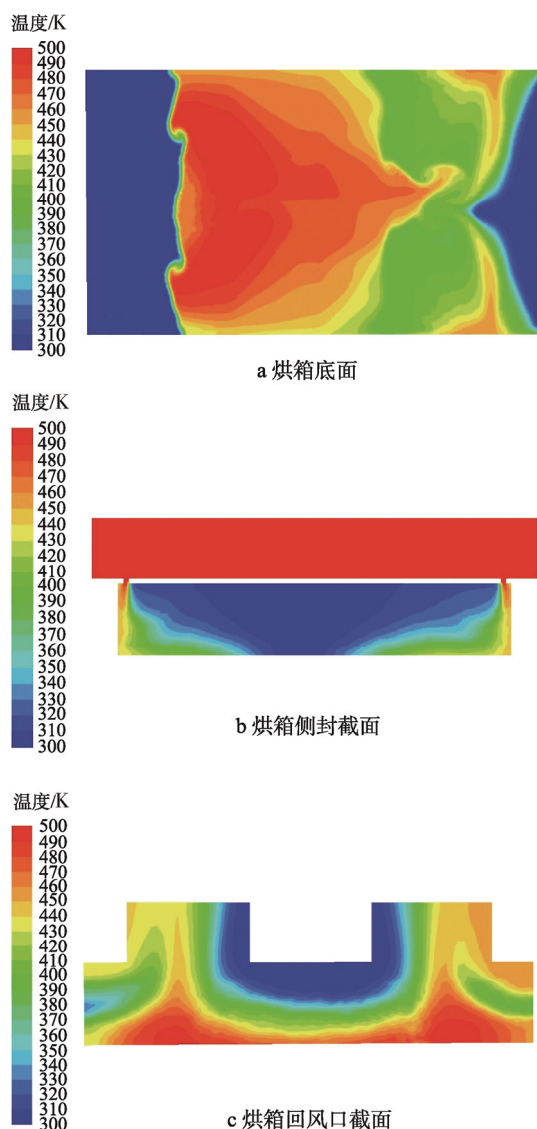


图7 改进后烘箱不同部位的温度分布

Fig.7 Temperature distribution in different parts of the oven after improvement

布有利于壁纸卷上完成加热收缩的薄膜的冷却定型, 创造了对薄膜进行骤冷的条件。改进后烘箱侧封截面温度见图 7b, 可以看出其温度高低的分布区域与速度大小的分布区域相对应, 温度越高的地方速度越大, 反之亦然。改进后烘箱回风口截面温度见图 7c, 相比于改进前的回风面温度有极大的提高, 也反映所采用的康达回风口对改善回风情况是卓有成效的。

6 结语

针对壁纸包装机热收缩烘箱影响烘箱温度场均匀性的因素进行了分析, 并从烘箱的喷风口和回风口对烘箱进行了改进, 即为增加均匀性, 改变各个挡风板的位置和高度, 使得导入各个喷风口的风量发生变化, 较改进前各个喷风口流出的风量更加均匀。同时经过对原模型的分析发现, 回风口的回风量不足导致加热的空气没有得到有效的循环利用, 提出了一种采

用康达效应来实现回风的新型回风方式, 并设计了4种待选用的回风口模型进行模拟分析, 对比选择了其中回风量最好的1种作为改进的回风口。最终将确定的挡风板改进方案和回风口改进方案加入烘箱整体的模型中, 对改进后的烘箱进行模拟分析, 并与改进前进行计算结果的对比, 可知烘箱中各个关键点流场的均匀性都得到了一定程度的改善。

参考文献:

- [1] 李晓燕, 孙智慧. 包装机中塑料薄膜常热式热封参数的实验研究[J]. 包装工程, 2003, 24(6): 32—34.
LI Xiao-yan, SUN Zhi-hui. Research on the Film Heat-Sealing Course in Heated-Continuously Packing Machine through Experiments[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(6): 32—34.
- [2] 孙智慧, 张荣. 包装机中常热式薄膜热封过程的仿真研究[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 131—136.
SUN Zhi-hui, ZHANG Rong. Research on the Simulation of the Film Heat Sealing Course in the Constant Heating Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(5): 131—136.
- [3] 徐克非, 孙智慧, 李萌萌. 塑料包装薄膜热封参数的仿真[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 194—196.
XU Ke-fei, SUN Zhi-hui, LI Meng-meng. Simulation Research on Plastic Packaging Film Heat-seal Parameters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 194—196.
- [4] 陶文铨. 计算传热学的近代发展[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
TAO Wen-quan. Calculation of Heat Transfer of Recent Development[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [5] 龙锡怡, 张世庆, 孙玉坤. 收缩薄膜动态加热过程的数值模拟分析[J]. 江苏大学学报, 1992(4): 52—57.
LONG Xi-yi, ZHANG Shi-qing, SUN Yu-kun. Numerical Simulation Analysis of Dynamic Heat Shrinkable Film Process[J]. Journal of Jiangsu University, 1992(4): 52—57.
- [6] 龚钊, 杨春信. 接触热阻理论模型的简化[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(5): 850—852.
GONG Zhao, YANG Chun-xin. The Simplification of the Thermal Contact Conductance Model[J]. Journal of Engineering Thermal Physics, 2007, 28(5): 850—852.
- [7] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
YANG Shi-ming, TAO Wen-quan. Heat Transfer Theory[M]. Beijing: Higher Education Press, 1998.
- [8] NARH K A, SRIDHAR L. Measurement and Modeling of Thermal Contact Resistance at a Plastic Metal Interface[C]// ANTEC Conference, 1997.
- [9] XU Rui-ping, FENG Hai-dong, ZHAO Lan-ping, et al. Experimental Investigation of Thermal Contact Conductance at Low Temperature Based on Fractal Description[J]. International Communications in Heat and

- Mass Transfer, 2006, 33(7): 811—818.
- [10] TERROLA P. A Method to Determine the Thermal Conductivity from Measured Temperature Profile[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1989(2): 1452—1430.
- [11] ZHANG X, CONG P Z, FUJIWARA S, et al. A New Method for Numerical Simulation of Thermal Contact Resistance in Cylindrical Coordinates[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2004, 47(5): 1091—1098.
- [12] TELEJKO T, MALINOWSKI Z. Application of an Inverse Solution to the Thermal Conductivity Identification Using the Finite Element Method[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 146(2): 145—155.
- [13] CHAI E H, RAITHBY G D. Computation of Heat Transfer on a Non-orthogonal Mesh Using the Finite Volume Method[J]. Numerical Heat Transfer Fundamentals, 1993, 23(23): 269—288.
- [14] CHAI J C, LEE H S, PATANKAR S V. Treatment of Irregular Geometries Using a Cartesian Coordinates Finite-volume Radiation Heat Transfer Procedure[J]. Numerical Heat Transfer Fundamentals, 1994, 26(2): 225—235.
- [15] BAHRAMI M, YOVANOVICH M M, CULHAM J R. Thermal Contact Resistance at Low Contact Pressure: Effect of Elastic Deformation[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2005, 48(16): 3284—3293.