

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.04.017

烟熏炉加热仓流动性能研究

施明¹, 刘红², 李伟国², 陈斐奇²

(1. 浙江瑞邦智能装备股份有限公司, 浙江嘉兴 314006; 2. 浙江工业大学机械工程学院, 浙江杭州 310014)

摘要:针对某款烟熏炉在使用过程中出现的烟熏效果不佳、加热仓内上下2部分食物蒸煮不均匀的问题,采用CFD技术,依据烟熏炉结构特点与加工要求,研究加热仓的气流场仿真分析的建模方法。提出采用二维简化建模分析方法,提高计算效率。根据加热仓气流场的仿真结果,论文提出了在加热仓进风口增加导流板结构的方案。仿真与实验结果表明:导流板有效地改善了加热仓内的流场分布,有助于克服加热仓内流场分布不均匀导致的食品加工效率低的问题。该研究具有良好的实用价值。

关键词:烟熏炉;计算流体动力学(CFD);导流板;二维简化建模;流场分布

中图分类号:TS251.3 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)04-0079-04

Fluidity Performance Study for Heating House of Fumigation Oven

SHI Ming¹, LIU Hong², LI Weiguo², CHENG Feiqi²

(1. Zhejiang Ribon Intelligent Equipment Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314006, China;

2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310024, China)

Abstract: According to the shortcoming of that the smoking effect is not good and the food of upper part and lower part in heating bin can't be smoked simultaneously in the use process of some a fumigation oven, this paper studied modeling method of air flow field for simulation analysis based on to the structural characteristics and processing requirements of the fumigation oven, using CFD techniques. The paper put forward a method of 2D simplifying modeling and analysis to improve the simulation efficiency. According to the simulation results of the air flow field, this paper gave out a kind of deflector structure. The simulation and experimental results showed that the deflector had a good practical value to solve the problem of the lower efficiency caused by uneven distribution of flow field.

Key words: fumigation oven; CFD (Computational Fluid Dynamics); deflector; 2D simplifying modeling; distribution of flow field

在现代食品工业中,烟熏是一种用于丰富肉食品感官和保护肉制品的加工工艺^[1-2]。烟熏产品无论在中国还是欧洲,都是一种颇具特色的食品。烟熏作为一种常见的食品加工工艺^[3],其效果是改进产品风味,促进发色、杀菌及抗氧化的有效性。国外的诸多研究都曾例证烟熏的效果。Šimko^[4]在烟熏研究中提到热处理可以杀除大部分有害酶的化合物和微生物。Birkeland等^[5]的研究证明烟熏鱼类食品可降低其高脂肪水平,有助人类健康。Varlet^[6]研究证明烟熏工艺可以抑制微生物的发展和氧化。烟熏炉是加工烟熏产品的主要设备,通常具有蒸煮、烟熏、干燥等功能。经

过了几十年的发展烟熏炉的性能日趋完善,具有箱体清洗、气流循环控制、发烟、加热等功能^[7],得到了广泛的应用。烟熏炉的主要结构包括控制系统、换热系统、动力系统和加热仓。其中,加热仓是熏制过程完成的主要节点,加热仓内的流场分布合理与否是影响烟熏制品质量好坏的重要因素。

德国的威马格公司生产的烟熏炉在循环风设计上具有独到之处。它在循环风进入加热仓时采用了摆动式风门^[8],使加热仓内形成无数个漩涡,令熏烟气流与产品在各个不同侧面充分接触,达到着色一致、质量一致的目的。

收稿日期:2016-04-06;修回日期:2016-06-01

作者简介:施明(1970),男,浙江嘉兴人,工商管理硕士,浙江瑞邦智能装备股份有限公司董事长、总经理,中国肉类食品协会常务理事。主要从事食品机械设备的研发、制造和企业管理工作,取得34项国家专利。通信作者:刘红。E-mail:hliu@zjut.edu.cn

目前,国内企业生产的烟熏炉遇到的主要问题是:烟熏质量不均匀,即加热仓上部的食品已经蒸煮完成,而下部的食品蒸煮效果不理想,且着色效果也不理想。

本文针对这一问题进行研究,通过 FLUENT 流体仿真软件^[9-10]对加热仓内的流场进行模拟仿真,并进行结构改进,以提高烟熏质量。

1 烟熏炉加热仓仿真分析

由烟熏炉的工作原理可知,影响烟熏炉工作效率的因素除了换热器的换热效率外,加热仓内的风循环(即流场分布)是另一个重要因素。

图 1 是加热仓的三维模型图,进风口在加热仓的二侧均匀排布,位于仓中央顶部是圆形的出风口。从垂直于各进风口连线的横截面看,如果忽略出风口的影响则对应左右进风口位置的各个横截面是相似的。由于各进风口风速相等,可以假设各个横截面的流场分布是相似的。将此横截面对应的区域设为基本单元,则加热仓可看成有若干基本单元组成。这样有利于简化仿真分析。

烟熏炉的工作状态主要包括干燥和蒸煮 2 部分,两者的主要区别是从进风口进入加热仓的风速不同,前者风速达到 20 m/s,而后者风速为 10 m/s。烟熏炉在工作时,加热仓中分层摆放了待熏制食品,食品的摆放也是影响烟熏食品质量的一个重要因素。为简化研究,本文只考虑无熏制食品,即空仓的情况。

这样建立的烟熏炉加热仓仿真模型如图 2 所示。顶部的左右角各有一个进风口,取干燥状态,顶部中间为出风口,设为压力出口。

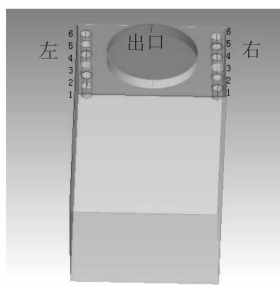


图 1 加热仓的三维模型

Figure 1 3D model of heating bin

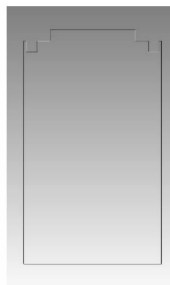


图 2 加热仓空仓的二维模型

Figure 2 2D model of heating bin

在 FLUENT 计算流体动力学仿真平台上对该模型进行分析计算,得到仿真速度云图见图 3。由图 3 速度云图可知,有些部位的风量明显偏少,尤其是下部会出现风速几乎为零的情况。其原因是出风口的负压

(产生吸力),使得进风口的高温气流还没流到仓的底部便被吸引流向出风口。这不仅导致仓的底部区域干燥缓慢,而且能量浪费严重。

同样蒸煮环节(风速为 10 m/s)的仿真与其结果类似,如图 4 所示。加热仓下部风量较少,需要较长的加热时间才能使下部的食物煮熟,而上部同样出现风热能浪费的现象。



图 3 空仓模型干燥仿真速度云图
Figure 3 Velocity image of drying empty heating bin



图 4 空仓模型加热仿真速度云图
Figure 4 Velocity image of heating empty heating bin

2 烟熏炉加热仓结构改进及仿真分析

2.1 加热仓结构改进

针对上一节的问题,运用 CFD 技术提出了改进方案。加热仓改进后的三维示意图如图 5 所示。针对干燥和蒸煮 2 种工况,烟熏炉加热仓增加了 2 种不同结构的导流板,如图 6 和图 7 所示。

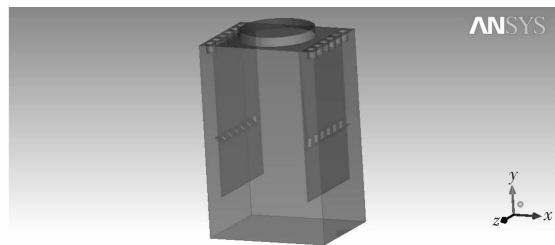


图 5 带导流板的加热仓三维模型

Figure 5 3D model of heating bin with deflector

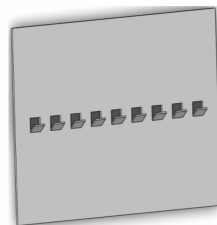


图 6 干燥状态导流板
Figure 6 Deflector of dry state

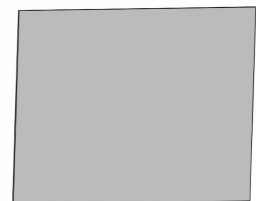


图 7 蒸煮状态导流板
Figure 7 Deflector of cooking state

由于空气中所含的水分达到饱和后,风经过食品并不会带走水分,所以需要保证对加热仓各个角落进行干燥的空气尽可能少地带有水分,故采用图6的导流板结构,每个孔的位置对应一个风嘴,一部分干燥空气由孔直接进入加热仓上部,保证了对加热仓上部干燥的是干净干燥的空气,而不是加热仓下部干燥后的即将饱和或已经饱和的空气,从而保证了加热仓上下部分的食品均匀干燥。而在蒸煮时,采用如图7所示的导流板,将加热空气导流至加热仓下部,避免热空气由于负压的作用直接从加热仓顶部的出风口离开加热仓,充分利用热量,从而避免不必要的浪费。

2.2 加热仓改进后仿真分析

将上述模型仿真建模并分析,获得图8~9的速度云图。在图8中,仓中干燥空气分布明显比未改进时(如图3所示)的更加均匀、合理,充分利用了热能源;同样,图9中热空气分布明显比未改进时(如图4所示)的更加均匀、合理。改进后的加热仓能够使带有热量的空气到达仓的底部后,再在出风口负压的作用下,进行自下而上的流动,有效利用能源。从仿真结果看,很明显地可以发现导流板带来的改变符合预期效果,可以有效改善生产实际中存在的问题。



图8 空仓加板的干燥状态速度云图

Figure 8 Velocity image of drying empty heating bin with deflector



图9 空仓加板的蒸煮状态速度云图

Figure 9 Velocity image of cooking empty heating bin with deflector

3 实验及数据分析

为了验证上述仿真结果,对加热仓的实际气流状态进行检测。实验具体检测了4个状态下的流场:干燥时原模型的风循环,干燥时加板的风循环,蒸煮时原模型的风循环和蒸煮时加板的风循环。

如图10所示,将该模型平面划分3个区域,记为A,B,C区域;每个区域选取3个点,编号为 $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2$ 及 C_3 。对加热仓的蒸煮状态(出风口速度 10 m/s)进行检测,测得各测点的 $+x, -x,$

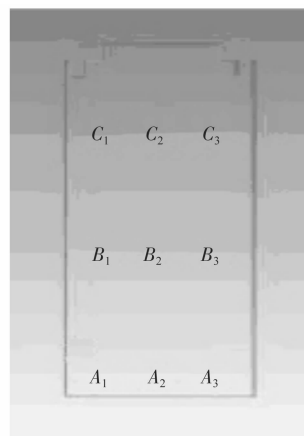


图10 测点位置图

Figure 10 Position of measuring points

$+y, -y$ 方向的风速(水平向左为 $+x$,垂直向上为 $+y$),并合成得到该点的气流速度。采集加热仓内各点风速与仿真结果进行对比,结果见表1。

表1 蒸煮时实验与仿真结果比较

Table 1 Comparison of experiment and simulation results

试验点	实验原始/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	实验加板/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	仿真原始/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	仿真加板/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
A_1	1.22	2.35	1.21	2.12
A_2	1.85	2.47	1.61	2.51
A_3	2.36	3.99	1.63	3.46
B_1	2.55	1.73	2.57	2.31
B_2	2.67	1.73	1.95	1.78
B_3	1.46	1.57	1.83	1.47
C_1	2.05	1.51	2.41	1.37
C_2	3.00	1.84	2.66	0.97
C_3	2.22	0.93	2.47	1.13

观察表1数据,可以发现在蒸煮时,对于原模型而言,B区域和C区域的风速相对A区域比较大,这导致了在相同的蒸煮时间内,当B,C区蒸煮结束时,A区域的食物还没有达到蒸煮加工所要求的状态。当添加了导流板之后,可以发现A,B,C区域的风速由加热仓的底部向上逐渐减小,而这符合之前仿真结果的预期,意味着添加导流板确实有利于获得更加合理的流场分布,达到各个区域同步干燥和蒸煮的目的。

4 结语

本文基于CFD平台研究了烟熏炉加热仓的气流场分布,提出了二维简化建模分析方法,并给出了增加加热仓进风口导流板的改进方案。仿真与实验结果对比表明:烟熏炉加热仓的二维简化建模分析方法简单有效,提高了仿真计算效率;导流板则有效地改善了加

热仓内的流场分布,有助于克服加热仓内流场分布不均匀导致的食品加工效率低的问题,具有良好的实用价值。

参考文献:

- [1] DJINOVIC J, POPOVIC A, JIRA W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different types of smoked meat products from Serbia[J]. Meat science, 2008, 80(2): 449 - 456.
- [2] LORENZO J M, PURRINOS L, FONTAN M C G, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two Spanish traditional smoked sausage varieties: "Androlla" and "Botillo" [J]. Meat science, 2010, 86(3): 660 - 664.
- [3] 刘宏洋. 烟熏炉的选择和设计要求[J]. 肉类工业, 2001(6): 8 - 9.
- [4] SIMKO P. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives [J]. Journal of chromatography B, 2002, 770(1/2): 3 - 18.
- [5] BIRKELAND S, BENCZE-RORA A M, SKARA T, et al. Effects of cold smoking procedures and raw material characteristics on product yield and quality parameters of cold smoked Atlantic salmon (Salmo salar L.) fillets [J]. Food research international, 2004, 37(3): 273 - 286.
- [6] VARLET V, PROST C, SEROT T. Volatile aldehydes in smoked fish: analysis methods, occurrence and mechanisms of formation [J]. Food chemistry, 2007, 105(4): 1536 - 1556.
- [7] 于连江. 肉制品加工烟熏炉的技术特点 [J]. 养殖技术顾问, 2013(7): 246.
- [8] 汤定明. 肉制品加工中的烟熏技术 [J]. 肉类研究, 2007(2): 36 - 38.
- [9] 江帆, 黄鹏. FLUENT 高级应用与实例分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [10] 孙建辉, 倪旭光, 袁巧玲, 等. 基于 FLUENT 的无摩擦气缸活塞结构设计仿真 [J]. 机电工程, 2013, 30(8): 933 - 936.

(上接第 78 页)

195 367. 10 + 3 387 311. 20 = 3 582 678. 30 kJ。与双效真空蒸发器浓缩相比, 梯度串联膜浓缩能够节能 80. 50%。

4 结论

本研究提供了一种梯度串联膜浓缩骨提取液的方法, 主要利用微滤膜结合反渗透膜的集成膜技术除去骨提取液中的水分, 达到浓缩的目的。与传统双效真空蒸发器浓缩相比, 梯度串联膜浓缩无蒸气和冷却水消耗, 能耗降低了 80. 50%, 成本降低了 83. 43%。同时, 膜分离技术属于低温浓缩技术, 在浓缩过程中降低骨提取液中的营养和风味损失, 提高了产品质量。该研究为集成膜技术的研究及应用提供了依据, 降低了运行成本, 减少了能源消耗, 可实现标准化、工业化生产。虽然集成膜技术现已广泛应用于食品等领域, 但是膜污染和膜损耗等问题不容小觑, 需要不断开发新的膜材料和优化生产工艺, 以此达到降低膜的污染和减少膜损耗的目的。

参考文献:

- [1] 张春晖. 骨源食品加工技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 11 - 12.
- [2] KIJOWSKI J, NIEWIAROWICZ A. A method of protein extraction from chicken bone residue and the chemical and electrophoretic characteristics of the extract [J]. International journal of food science & technology, 1985, 20(1): 43 - 49.
- [3] WANG Jinzhi, DONG Xianbing, YUE Jianying, et al. Preparation of substrate for flavorant from chicken bone residue with hot-pressure process [J]. Journal of food science, 2016, 81(3): C578 - C586.
- [4] SUN Hongmei, WANG Jinzhi, ZHANG Chunhui, et al. Changes of flavor compounds of hydrolyzed chicken bone extracts during maillard reaction [J]. Journal of food science, 2014, 79(12): C2415 - C2426.
- [5] 张建友, 柳敏, 林龙, 等. 鳃鱼蒸煮液膜浓缩与蒸发浓缩的比较分析 [J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 205 - 210.
- [6] 王丽玲. 几种膜分离技术在果汁浓缩中的应用 [J]. 中国食品添加剂, 2005(2): 94 - 99.
- [7] 袁亮, 周显宏, 肖凯军, 等. 多级膜浓缩黄芩苷提取液的研究 [J]. 现代食品科技, 2008, 24(3): 237 - 240.
- [8] 张建友, 林龙, 王斌, 等. 鳃鱼蒸煮液陶瓷膜微滤浓缩的研究 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(12): 2958 - 2963.
- [9] 武治昌, 刘玉环. 反渗透膜浓缩: 真空冷冻干燥制备芦荟活性凝胶的工艺研究 [J]. 中国食物与营养, 2009(6): 53 - 54.
- [10] 刘红, 祝高永, 陈斐奇, 等. 烟熏炉螺旋管换热器换热仿真模型研究 [J]. 轻工机械, 2016, 34(1): 28 - 30.
- [11] 杨宽宽. 谈谈电力换算系数 [J]. 中国统计, 1987(3): 28 - 29.