

基于 Fluent 的烤肉炉性能研究

Research on performance of meat-barbecue furnace based on fluent software

吕仲明 徐盛林

LU Zhong-ming XU Sheng-lin

(武昌首义学院, 湖北 武汉 430064)

(Wuchang Shouyi University, Wuhan, Hubei 430064, China)

摘要:针对市场上日用烤肉炉在烧烤过程中存在的环境污染严重、热量损失大、清洗及携带不便等问题,设计一款以扁气罐为热源、结合红外线无焰燃烧器与转动烤肉架的便携式烤肉炉;运用 Fluent 软件对烤肉炉炉内的温度场进行仿真分析,并进行性能试验。结果表明:该烤肉炉整体结构温度分布合理,保温效果较好,操作方便,烤制出的食肉品质优良能满足用户的要求。

关键词:烤肉炉;数值模拟;性能试验

Abstract: To solve the problems of daily barbecue furnaces in the barbecue process, such as severe environmental pollution, great heat loss and inconvenient cleaning and carrying, the author designs a kind of portable barbecue furnace taking outdoor flat gas tank as heat source and combining infrared flameless burner with rotary barbecue grill. This paper introduces the structure and operation principles of the barbecue furnace, and uses FLUENT software to conduct a simulated analysis of the temperature field in the barbecue furnace. The results showed that the barbecue furnace has the reasonable temperature distribution in the overall structure; uniform air flow; the good heat preservation effect, and the grill high-quality food to meets the users' requirements.

Keywords: portable roaster; FLUENT software; numerical modeling; performance test

传统的烤肉过程都是在家中或者餐馆中进行的^[1]。目前市场上对烤肉炉已经有了一定的研究,按照肉制品加热方法可将日用烤肉炉分为铁皮槽烤肉架、电加热烤肉炉和燃气烤肉炉三大类。其中,铁皮槽烤肉架是最原始的烤肉装置,燃料主要以煤炭为主,虽然装置结构比较简单,但烧烤过程产生的熏烟会对人体造成危害,如双排无烟节能烤肉炉^[2];在使用电加热烤肉炉时,需连接电源,不便于携带^[3];而燃气

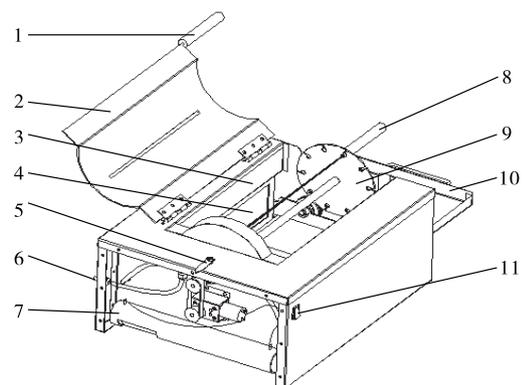
烤肉炉主要用燃气作为热源,该热源的优点是具有燃烧时热量大、方便清洁,如家用式燃气灶烤肉炉^[4]。目前,便携式烤肉炉主要加热方式为燃气加热,但均存在不同程度的问题^[5],比如热源分布不合理及热量利用率不高。

本研究为了解决市场上现存烤肉炉的不足以及对烤肉的需求,设计一种新型的便携式烤肉炉,并对其进行性能检验,以期为便携式烤肉装置的开发提供参考。

1 烤肉炉结构

为便于外出携带,采用便携式扁气罐,以燃气作为热源,2个小型的红外线燃烧器分别置于烤肉炉炉膛的左右两边,在中间安装一个由带有蜗轮蜗杆减速器的直流电机驱动的烤肉架。同时为了方便烤肉时滴落的油脂和未撒在烤肉上的调料不污染外界环境,在烤肉架下方设置一个滴油接盘。烤肉炉整体结构见图1。

该烤肉炉烤肉架采用匀速转动的方式来对肉串进行加热,有效减少食肉局部不熟的现象。该烤肉炉外形呈长方体,长×宽×高为330 mm×250 mm×320 mm,质量约6 kg。烤肉架可同时放置10串肉,保温绝热板置于燃烧器上



1. 把手 2. 保温盖 3. 绝热板 4. 燃烧器 5. 分气阀 6. 进气孔
7. 电池盒 8. 烤肉钎 9. 旋转烤架 10. 接油盘 11. 开关

图1 便携式烤肉炉的整体结构图

Figure 1 The overall structure of the portable roaster

作者简介:吕仲明(1989—),男,武昌首义学院助教,硕士。

E-mail:lvzhongming1989@126.com

收稿日期:2017-12-09

方,与炉盖相结合以减少热量散失。烤肉炉的转动系统由2个同步带轮在电机作用下匀速转动,烤肉架在烤肉炉前面板内侧的2个槽型支撑滚轮和烤肉炉后面板的带座轴承共同支撑下,使烤肉架中心保持同一水平,从而使肉串实现平稳匀速翻转。烤肉炉整体结构紧凑,既满足了烤肉的工艺要求,又克服了传统炉子携带不便的缺点,使其能够满足人们对户外饮食的要求。

2 烤肉炉的数值模拟

通过 Fluent 流体仿真模拟可以得到炉膛内的温度场分布情况,对该装置传热的有效利用及制造和试验过程中的优化有着重要作用,为今后的试验和操作过程提供理论依据^[6-7]。

2.1 烤肉炉的物理模型简化

由于烤肉炉的结构较为复杂,在建立其物理模型时,对仿真时网格划分及后处理会造成困难,故需简化处理模型,可忽略热源对提供动力等部件的影响,从而将其看作一个封闭的面,这样烤肉炉将成为一个四周封闭的区域^[8-9]。图2为基于 ICEM 软件进行数值模拟的简化模型。

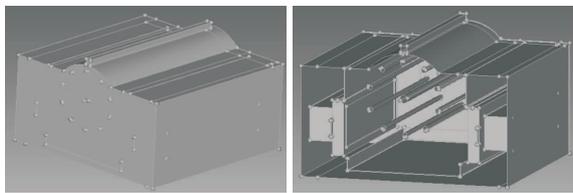


图2 简化模型结构图

Figure 2 Structure of simplified model

2.2 烤肉炉计算区域的网格划分

烤肉炉在工作时,整个空间的空气域都会对烤肉炉的运作造成影响,划分网格时若划分整个空间的空气域则会造成网格密集增加计算量,故根据划分网格的简化原则,从而建立延长进出口两端空气域作为燃烧空间,由于烤肉炉左右两边有保温隔热板的作用,两边的空气流动相对较少,故忽略两边空气域的作用,将进出口两端的延长长度定为初始模型长度的2倍^[10]。从而得到简化模型的网格图见图3。

2.3 烤肉炉模拟计算方法

2.3.1 烤肉炉计算区域的建立 计算区域包括烤肉炉底部为进气口、炉盖缝隙为出气口、烤肉炉的炉壁及绝热板所包

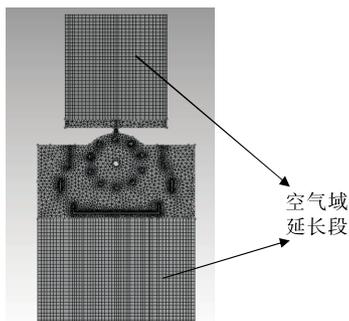


图3 简化模型燃烧区域的网格图

Figure 3 Gridding of simplified model

含的区域。由于烤肉炉在空载并且热稳态时,可将空气看作平面二维流动状态,只对二维平面封闭区域内的流体进行仿真^[11-12]。

2.3.2 烤肉炉边界条件的设置 设置该烤肉炉的进气口为压力进气口边界条件,出气口为压力出气口边界条件,热源为恒温稳定时温度 603 K,烤肉炉外壳温度为稳定时温度 330 K,其余边界设为绝热。

2.3.3 数值算法的设置 烤肉炉内空气的燃烧及流动是一个复杂的湍流流动。该模型选择能量方程,采用 $k-\epsilon$ 标准方程,选择热辐射模型为 DO 模型,该模型是一种计算燃烧过程中参与性媒体辐射的算法,它属于热辐射模型。代数方程迭代计算采用亚松弛,根据多次试验摸索以及同种模型工况的经验^[13]设定,选定的最好松弛因子见表1。

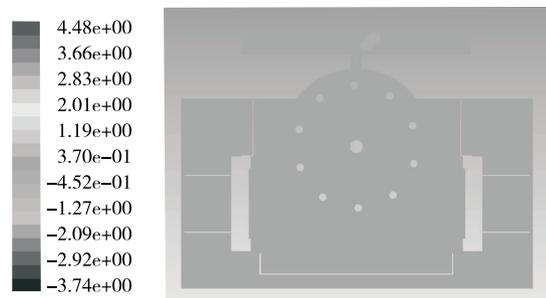
表1 松弛因子的选取

Table 1 Selection of relaxation factors

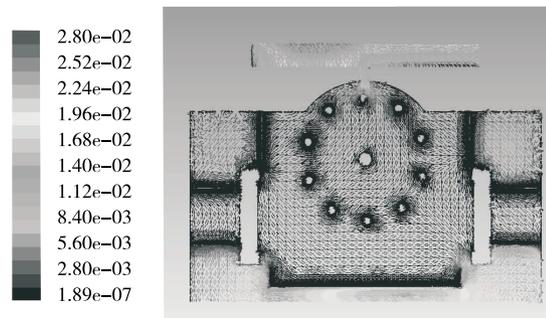
方程	压力	密度	湍流动能	精度	能量
松弛因子	0.3	0.7	0.7	0.8	0.7

2.4 计算结果分析

2.4.1 烤肉炉内压力及气流速度矢量的模拟 烤肉炉炉膛内的压力及气体速度的矢量图见图4。由图4(a)可知,炉膛内压力分布非常均匀;由图4(b)可知,气流矢量运动分布较为均匀。由于燃烧器在燃烧时会卷入空气,从而使该处气流速度变大,而未完全燃烧的空气则会从出气口处顺着烤肉架方向流出,由于出气口处截面积减少,故气流速度会变大,可见最大处发生在烤肉炉进出口处,故该烤肉炉在压力场及气流速度分布方面较为合理。



(a) 烤肉炉压力场整体分布图



(b) 烤肉炉整体气流速度矢量图

图4 烤肉炉炉内压力及气流速度矢量图

Figure 4 Barbecue grill furnace pressure and airflow velocity vector diagram

2.4.2 烤肉炉内空气温度场分布的模拟 由图 5 可知,烤肉炉炉膛内温度场分布均匀,由于外界温度较炉内温度低,出口处与外部环境存在热交换,故烤肉炉此处温度相对较低,但是由于烤肉架是匀速转动的,同时燃烧面的热辐射对肉串的成熟也具有一定的影响,故此并不影响烤肉的质量。

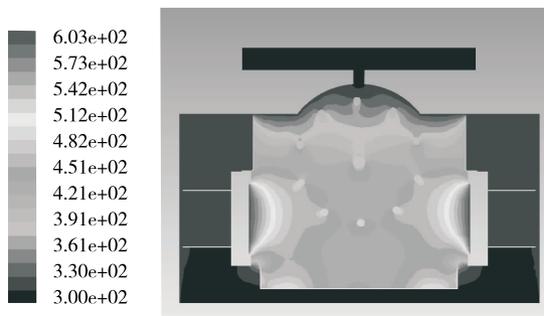


图 5 烤肉炉内整体空气温度场分布图

Figure 5 Barbecue grill air temperature field distribution

根据上述模拟结果,该烤肉炉模型的结构较为合理,热量利用率高,保温效果好,并且能满足烤肉炉在工作时外壁的触碰要求,达到了预期的设计目标。

3 烤肉炉的性能试验

3.1 试验结果

在实验室进行了便携式烤肉炉的性能测试和烘烤试验,试验工况见图 6。

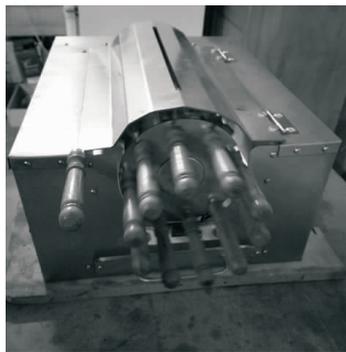


图 6 便携式烤肉炉的样机试验工况

Figure 6 Barbecue grill prototype test conditions

将新鲜羊肉切成长 \times 宽 \times 厚近似为 $60\text{ mm}\times 25\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的长方体样品,整串羊肉按照 3 块瘦肉搭配 1 块肥肉的比例进行穿制,共制作 90 串烤肉。通过试验得出,将烤肉炉燃烧器的火力类型调节成小火,烤制时间 7 min 时烤制出来的肉品质较优。

3.2 分析及讨论

试验发现该便携式烤肉炉适合各类肉制品的烤制加工。该烤肉炉的机械结构分布合理,可以实现肉串的自动旋转加热以及连续性烤制,生产效率高且操作简单。同时为了确定该装置的烤制效果与电机旋转的速度、烤制温度以及时间之间的联系,后续还需进行正交试验。

4 结论

(1) 通过 Fluent 对便携式烤肉炉进行炉膛的流体热性能试验,该烤肉炉在炉膛的压力、空气速度矢量及温度等方面分布较为均匀,说明该便携式烤肉炉的结构较为合理,热量利用率较高,保温效果较好,并且能满足烤肉炉在工作时外壁的触碰要求。

(2) 相对于市场上其他的日用烤肉炉,本次研制的新型烤肉炉具有结构紧凑合理、热利用率高、方便携带等优点。通过一定时间的运用实践,检验其制品达到预期效果,证明该烤肉炉的设计是正确合理的,故该新型烤肉炉改善了传统的户外烤肉方式,减少了油烟对环境的污染,提高了热能利用率,具有一定的实用和推广价值。

(3) 根据仿真结果分析可知,需进一步研究对燃烧器的最优安装位置,从而减少涡流现象。同时后续试验应继续对烤肉炉进行正交试验,从而验证该装置的烤制效果与电机旋转的速度、烤制温度以及烤制时间之间的联系。

参考文献

- [1] 林乃桑. 中国古代饮食文化[M]. 北京: 商务印书馆, 2007: 17-18.
- [2] 万兆平. 双排无烟节能烤肉炉: 中国, ZL 200720153375.7[P]. 2008-04-09.
- [3] 蓝宗顺. 一种轻便式多用电烤炉: 中国, ZL 201220092626.6[P]. 2012-03-13.
- [4] 张振, 肉孜·阿木提. 家用烤肉炉的设计与试验[J]. 粮油加工, 2014(10): 77-80.
- [5] 吕仲明, 肉孜·阿木提, 史勇, 等. 新型便携式烤肉炉的设计与性能研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 110-114.
- [6] 温正. FLUENT 流体计算应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 53-105.
- [7] 田松涛, 高振江. 基于 FLUENT 的气体射流冲击烤箱气流分配室改进设计[J]. 现代食品科技, 2009, 25(6): 612-616.
- [8] SI Huang, TIAN Tian-ding, CHAO Yan, et al. Optimal design of heating and ventilation for drying room based on transient CFD simulation[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 2 559(364): 524-528.
- [9] 裴坤, 段凤江, 孔晓玲, 等. 太阳能蒸汽热风干燥系统的设计与研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 106-108.
- [10] OLWI Ibrahim, KHALIFA Adel. Numerical modeling and experimental testing of a solar roaster[J]. Solar Energy, 1993, 115(1): 5-10.
- [11] 聂学俊, 王丽, 李国锋. 压力锅工作过程中的热分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 112-114.
- [12] 苏全卫, 周航. 连续盘式热风干燥器干燥盘结构设计与传热分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 97-100.
- [13] 任海伟, 李金平, 刘增光, 等. 太阳能干燥室内部气流场分布 CFD 数值模拟[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 235-238.