

全自动炒菜机结构设计与试验

Structural design and experiment of automatic cooking machine

张帆^{1,2} 宁萌^{1,2} 邓倩³

ZHANG Fan^{1,2} NING Meng^{1,2} DENG Qian³

(1. 江南大学机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122; 3. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. State Key Laboratory of Food Science & Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:目的:针对现有炒菜机存在体积大、加热均匀性低等问题,设计一种采用电磁加热的全自动滚筒式炒菜机,减小设备体积并改善炒菜效果。**方法:**采用面向功能—结构的模块化设计方法,对炒菜机各模块机构进行设计;基于毕奥—萨伐尔定律,得到线圈在空间产生磁场与所通电流和距离的关系,并通过 Ansys-Maxwell 联合仿真,得到 3 种线圈排布方式下锅具表面磁场强度和温度分布曲线;采用 Ansys 软件,对滑轨机构进行模态分析,得到机构发生不当变形频率段;研制样机并与 3 种烹饪方式对比,验证样机炒菜效果。**结果:**与现有炒菜机相比加热均匀性有很大提升,结构设计和实际炒菜效果满足使用要求。**结论:**研究设计的全自动炒菜机具有较高的可行性与实用性。

关键词: 炒菜机; 滚筒式; 电磁加热; 模态分析

Abstract: Objective: In view of the problems of large size and low heating uniformity of the existing cooking machine, a miniaturized drum-type automatic cooking machine with electromagnetic heating was designed to reduce the equipment volume and improve the cooking effect. **Methods:** The modular design method oriented to function and structure was adopted to design each module mechanism of the frying machine. Then, based on Biot-Savart law, the relationship between the magnetic field generated by the coil in space and the current and distance is obtained, and the distribution curves of magnetic field intensity and temperature on the surface of the cooker under three coil

arrangements are obtained by Ansys-Maxwell joint simulation. Secondly, the modal analysis of the sliding rail mechanism is carried out by Ansys software, and the frequency band of improper deformation of the mechanism is obtained. Finally, a prototype was developed and compared with three cooking methods to verify the cooking effect of the proto type. **Results:** Compared with the existing cooking machine, the heating uniformity was greatly improved, and the structural design and actual cooking effect met the use requirements. **Conclusion:** The research and design of automatic cooking machine has high feasibility and practicability.

Keywords: automatic cooking machine; drum-type; electromagnetic heating; modal analysis

预计,2024 年中国餐饮市场规模可达 6.6 万亿元^[1]。连锁店成为餐饮品牌扩大经营的重要手段。传统基于厨师的炒菜过程很难标准化,导致各类特色中餐很难形成非常好的连锁经营,炒菜机可以很好地解决这个问题^[2]。

Li 等^[3-4]提出了一种基于 2T1R 三自由度机构的炒菜机设计方法,将 2T1R 并联机器人与一自由度直线进给机构结合,可以实现颠锅、晃锅和倾倒等动作;祝俊等^[5]在颠锅机构研究的基础上,增加了食材和调料添加机构,实现了炒菜机的全自动化;彭放^[6]参照滚筒洗衣机结构,研制出一种采用热辐射加热的滚筒炒菜机;郑小军^[7]将搅拌工具用偏心的方式固定在曲柄上,电机驱动搅拌工具在锅内旋转,完成了对菜肴的搅拌;雷鸣等^[8]为实现仿人翻炒烹饪轨迹,采用新型组合机构代替传统搅拌装置,并对模型进行运动学仿真,实现了多种烹饪轨迹联合运行;Inagawa 等^[9]改变传统炒菜机需要设置固定炒菜程序的弊端,通过机械臂操作不同的炊具,研发出一种可以将网络菜谱自动编码并转换为菜谱程序的炒菜机器人。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51705201);江苏省大学生创新创业训练计划资助项目(编号:202010295085E)

作者简介:张帆,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:宁萌(1985—),男,江南大学副教授,博士。

E-mail: 1613722479@qq.com

收稿日期:2022-09-20 **改回日期:**2023-01-13

结合上述研究发现,虽然大部分炒菜机在一定程度上减轻了劳动量,但仍存在以下问题:① 颠锅方式多采用明火加热,安全和卫生方面不符合市场要求,且颠锅方式体积大,受热不均匀,单次炒制食材少,炒制效率低。② 传统搅拌式会对易碎食材造成破坏,影响菜肴外观,仿人搅拌方式机构复杂,翻炒效率低。③ 通过机械臂操纵的自动编码炒菜机器人具备了人的灵巧性和灵活性,但价格昂贵,炒制效率低。研究拟以机构小型化和提升受热均匀性为目标,对全自动炒菜机结构进行设计,通过计算与仿真对关键机构和加热效果进行测定,验证结构设计合理性;通过研制样机炒制的效果与传统人工炒制效果对比,验证设计样机的实用性,旨在为全自动炒菜机的推广使用提供参考。

1 结构设计

1.1 总体结构设计

为了使全自动炒菜机最大程度符合市场需求,采用模块化设计方法^[10],以结构轻便、操作简单和体积小为目标,对炒菜机各模块机构进行设计并合理布局,总体结构见图1。采用滚筒式机构对食材进行翻炒,通过对电磁感应磁场的研究,为炒菜机锅体设计一种新型包络式线圈缠绕方式。人工将不同调料放入对应调料存放区域,工作时,只需将菜肴所需各种食材分别放入菜盒不同区域,选择相应的菜谱命令,炒菜机便进入工作状态,按照相应菜谱命令,依次加入不同食材和调料,完成翻炒和倾倒步骤。设计时考虑到炒菜机要经常深度清洗,炒菜机的调料盒、锅和菜盒均可方便取下。

1.2 翻炒结构设计

翻炒作为中餐烹饪中至关重要的环节,直接影响菜肴加工的质量,翻炒机构要实现均匀翻炒食材、炒菜结束自动倾倒食材的功能,通过移动滑轨和3个电机的配合实现上述功能(见图2)。滑轨与地面倾斜 30° 固定,锅体具有三自由度,锅体移动电机控制锅体沿X轴的移动,倾覆电机控制锅体沿Y轴的转动,旋转电机控制锅体沿Z轴的转动。添加食材时,锅体沿-Y方向移动至顶端;食

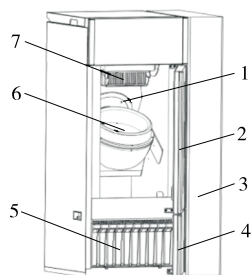


图1 全自动炒菜机总体结构

Figure 1 Overall structure of automatic frying machine

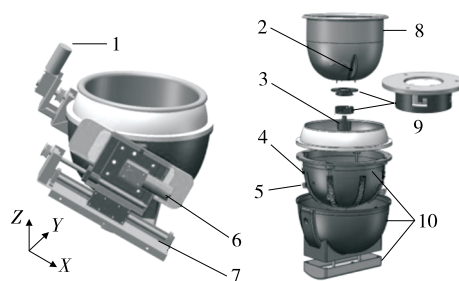


图2 食材翻炒机构

Figure 2 Food stir frying mechanism

材添加后,锅体返回中间位置,沿Y轴逆时针旋转一定角度,与位置固定的锅盖契合后,锅体开始沿锅中心轴旋转,对食材进行翻炒,锅体依靠底部3个拨片在旋转过程中将食材打散;翻炒结束后,锅体沿X轴移动至底端,沿Y轴转动完成倾倒动作。

1.3 食材添加结构设计

食材添加模块(图3)根据不同的食谱设定,依次将菜盒中的多种食材倒入锅中,菜盒在转轴驱动下可 180° 旋转,食材在重力作用下经漏斗掉入锅中。菜盒挡板本身可以在重力作用下自动旋转,炒菜开始时,电磁阀块处于伸出状态,菜盒挡板处于无法打开状态,通过控制某电磁阀块的收缩,便可控制菜盒挡板的开合,旋转过程中菜盒挡板便可在重力作用下打开,对应的一种或多种食材便可掉入锅中。菜盒单次最多可加入5种食材,满足绝大部分中餐品类的要求。区别于市面上常见的食材添加机构,试验设计结构小型化,控制简单。

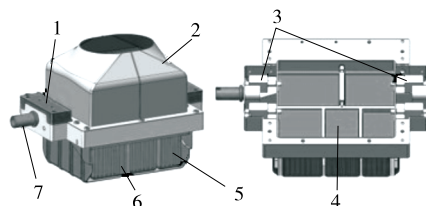
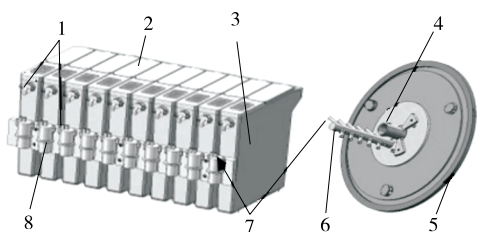


图3 食材添加机构

Figure 3 Food material adding mechanism

1.4 调料添加结构设计

调料添加机构需完成常见固体和液体调料的自动添加,常见如失重秤之类的粉末状物体定量添加机构,价格昂贵且体积大,不符合结构轻便和体积小的目标。试验将固体调料按照一定比例制成液体,通过调料添加机构和锅盖上的管接口完成调料添加功能,调料添加机构和锅盖结构如图4所示。一根深入调料盒底部的固定管通过管接口和水泵上的管接口A相连,水泵上的管接口B



1. 管接口 A 2. 进料口 3. 佐料盒 4. 油烟口 5. 密封圈
6. 佐料入口 7. 管接口 B 8. 水泵

图 4 调料添加机构

Figure 4 Seasoning adding mechanism

通过软管和锅盖上的管接口 B 相连,水泵抽取的液状调料通过锅盖上的进料管进入锅中。整个食材添加机构长 50 cm,宽 35 cm,高 25 cm,且可单次存放 10 种不同调料,满足绝大部分中餐对调味料的需求。

2 基于 Ansys-Maxwell 的电磁加热模块设计与仿真

2.1 线圈缠绕方案设计

中餐烹饪对火候的控制极为严格,火候直接影响菜肴最终口感,综合考虑几种常见工业加热方式,电磁加热由于其寿命长、高效节能、控温精准和安全可靠的优点被选用^[11-13]。依据锅体形状设计 3 种线圈加热方案,如图 5 所示。方案 1 线圈采用饼状式缠绕,是常见电磁炉线圈缠绕方式,方案 2 采用筒状式缠绕,是常见炒菜机的线圈缠绕方式,方案 3 线圈根据锅的形状采用包络式缠绕。

根据毕奥—萨伐尔定律可知,线圈在锅体周围产生的磁感应强度为:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{Idl \times e_r}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{Idl \times \vec{r}}{r^3}, \quad (1)$$

式中:

μ_0 ——真空磁导率, H/m;

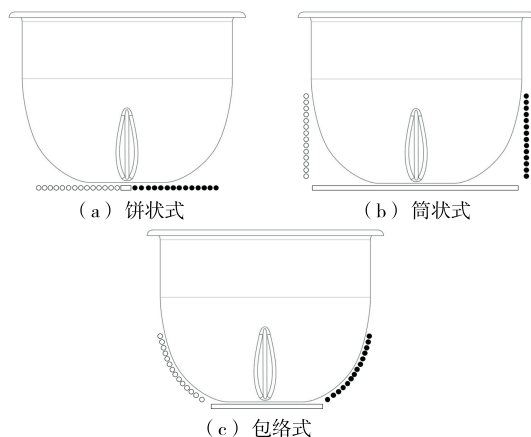


图 5 线圈缠绕方案

Figure 5 Coil winding scheme

I ——源电流, A;

l ——积分路径, mm;

dl ——源电流的积分单元;

$\vec{r}$ ——单位向量。

对单匝线圈进行分析(图 6),其周围所产生的磁场满足毕奥—萨伐尔定律,假设线圈半径为 r_1 ,通过线圈的电流为 I 。

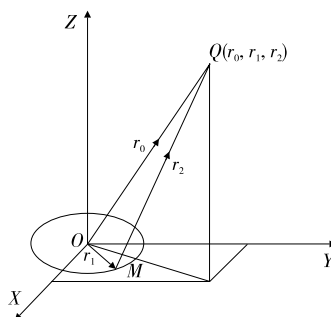


图 6 线圈空间磁场模型

Figure 6 Coil space magnetic field model

单匝线圈上的电流为:

$$Idl' = Ir_1 d\varphi' (-\sin\varphi' e_x + \cos\varphi' e_y). \quad (2)$$

电流源到空间任意点 Q 的距离为:

$$r = |r_0 - r_1| = \sqrt{r_0^2 + r_1^2 - 2r_0 r_1 \cos\alpha}, \quad (3)$$

式中:

$|r_2|$ ——电流源 Idl 到 Q 点的距离, mm;

α —— r_1 和 r_0 的夹角, °。

因此,单个线圈在任意点处产生的磁场强度为:

$$B = \frac{\mu_0 I_0 r_1^2}{4r_2^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}, \quad (4)$$

式中:

θ ——点 Q 与 Z 轴之间夹角, °。

对式(4)进行积分可得简化后的线圈产生的磁感应强度表达式:

$$B = \frac{\mu_0 I \cos\theta}{4\pi d}, \quad (5)$$

式中:

d ——锅中某加热点距离线圈导线的距离, mm。

由式(5)可知,单匝线圈在空间产生的磁场强度与所通电流大小和距离成正比,饼状式线圈缠绕方式明显会在锅体上形成较大的磁场强度差异,从而在炒菜时形成较大的温度差异,包络式和筒状式线圈缠绕方式产生的磁场强度只因锅体不同高度处的半径不同而有所差异,有利于食材的均匀受热,因此初步采用筒状式或包络式作为加热线圈的缠绕方式。

2.2 线圈匝数计算

炒菜机的加热功率一般为 300~2 100 W,以最高功

率 2 100 W 确定加热线圈匝数,结合电控板设计,线圈中电压为 320 V,电压频率为 25~35 kHz,根据电路基本公式求得电阻。

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{320^2}{2\,100} = 48.76 \, \Omega。$$

当线圈等效电阻为 22 Ω 时,炒菜机便可达到最大功率 2 100 W。根据电感公式求得线圈中的电感量。

$$L_1 = \frac{X_L}{2\pi f_1} = \frac{48.76}{2 \times 3.14 \times 3\,500} = 221 \, \mu\text{H}。$$

炒菜机要达到最大加热功率 2 100 W,线圈中电感量需达到 221 μH 。

电感量计算公式:

$$L = K\mu_0 N^2 \frac{\pi D^2}{4l}, \quad (6)$$

式中:

K ——形状系数;

N ——线圈匝数;

D ——线圈直径,mm;

l ——线圈长度,mm。

由于线圈沿锅体形状缠绕,根据行业经验,一般加热线圈与被加热锅体的距离为 10 mm^[14],根据锅的形状以及炒菜时实际加热位置,线圈形状及尺寸如图 7 所示。

不同高度处的直径不同,取锅体最大直径和最小直径的平均值 $D = 190 \, \text{mm}$ 作为计算线圈直径,查阅手册 $K = 0.65$,得 $N = \sqrt{\frac{4Ll}{K\mu_0\pi D^2}} = \sqrt{\frac{4 \times 221 \times 140}{0.65 \times 3.14 \times 19^2}} = 12.9$ 。

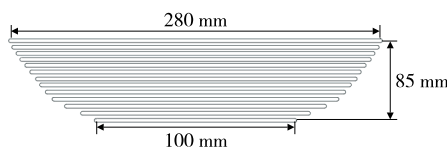
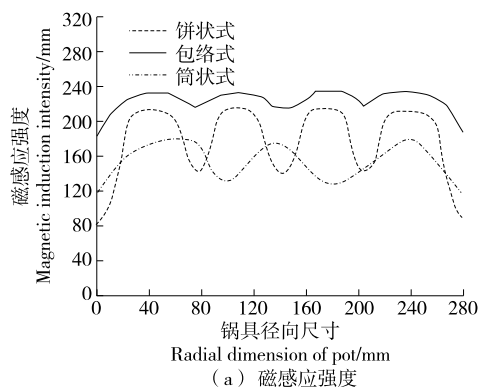


图 7 线圈缠绕形状与尺寸

Figure 7 Coil winding shape and size



(a) 磁感应强度

根据计算,加热线圈匝数达到 13 圈便可达到最大加热功率,考虑到线圈内部的锅体为一种铁磁材料,对结果影响较小。由于不同材质的锅对电感量大小也会有一定影响,后期搭建实物会根据实际情况对线圈匝数和排布进行调整。

2.3 加热线圈磁感应强度仿真分析

在完成线圈理论设计的基础上,为了进一步验证方案的优越性,使用 Maxwell 对线圈进行磁感应强度仿真,分析饼状式、筒状式和包络式 3 种线圈缠绕方式的磁感应强度变化,在此基础上通过 Ansys-Maxwell 感应加热联合仿真,分析 3 种线圈缠绕方式的温度变化。假定通过 3 种线圈的交流电流为 30 A(对应炒菜机 2 100 W 功率),电流工作频率为 25 kHz,由于高频涡流存在集肤效应^[15],所以设置网格最大长度为 1 mm,通过仿真可得,3 种方案的磁感应强度分布曲线和表面温度曲线如图 8 所示。

由图 8 可知,包络式缠绕方式在强度和均一性方面均高于饼状式和筒状式,因此包络式结构更有利于提高机器工作效率和食材的均匀受热,验证了线圈缠绕方式的合理性。

3 结构设计关键部件模态分析

模态是物体本身的一种固有属性,每种模态都有其对应的振型、周期、频率等参数,对不同模态的参数进行分析,并提取特征值的过程为模态分析^[16-17]。

3.1 模态分析基础理论

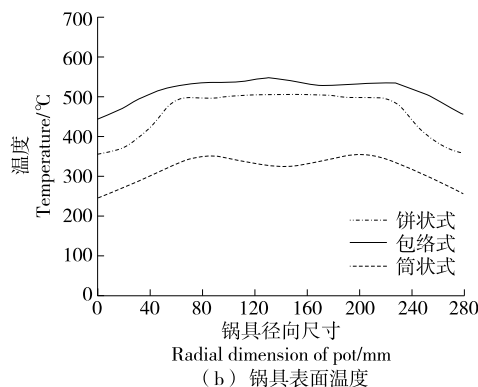
质量和刚度是任意振动系统必备的两要素,由质量、阻尼和刚度组成的振动系统有限元平衡方程组为:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F, \quad (7)$$

式中:

M 、 C 、 K ——平移滑轨的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵;

X ——平移振动导致的位移量;



(b) 锅具表面温度

图 8 锅具表面磁感应强度与温度分布图

Figure 8 Magnetic induction intensity and temperature distribution on the surface of cooker

F ——外部激励向量。

考虑实际震动模型中,阻尼对频率和振型分析结果的影响较小^[18-19],因此省略阻尼项,得到系统的无阻尼振动微分方程:

$$M\ddot{X} + KX = F. \quad (8)$$

根据线性代数的基本知识,式(7)解的基本形式为:

$$a = A \cos(\omega t + \varphi). \quad (9)$$

代入方程式求解可得:

$$(K - \omega^2 M)A = 0. \quad (10)$$

实际振动系统中,振幅必定存在非零值,因此

$$|K - \omega^2 M| = 0. \quad (11)$$

对于每个特征值 ω_i^2 都有唯一确定的振幅值 A 与之

对应,系统的 n 阶固有频率即为上式方程的 n 个互异正解,按顺序依次对应系统的 n 阶振型。由于结构模型的不规则性,无法通过上述建立方程的方法求解,所以通过有限元分析软件求解特征值。

3.2 模态分析

滑轨模型忽略螺栓孔、轴承等非必要结构后导入 ANSYS Workbench 中,忽略阻尼,并且假设滑轨为自由振动状态,锅体所有结构重量为 10 kg,并等量分布在两个滑轨的 6 个轴承上。理论上滑轨有无数阶模态,考虑实际工作中,电机频率相对较低,对炒菜机系统影响最大的为低阶模态,因此选取前六阶模态进行分析,结果如图 9 所示。

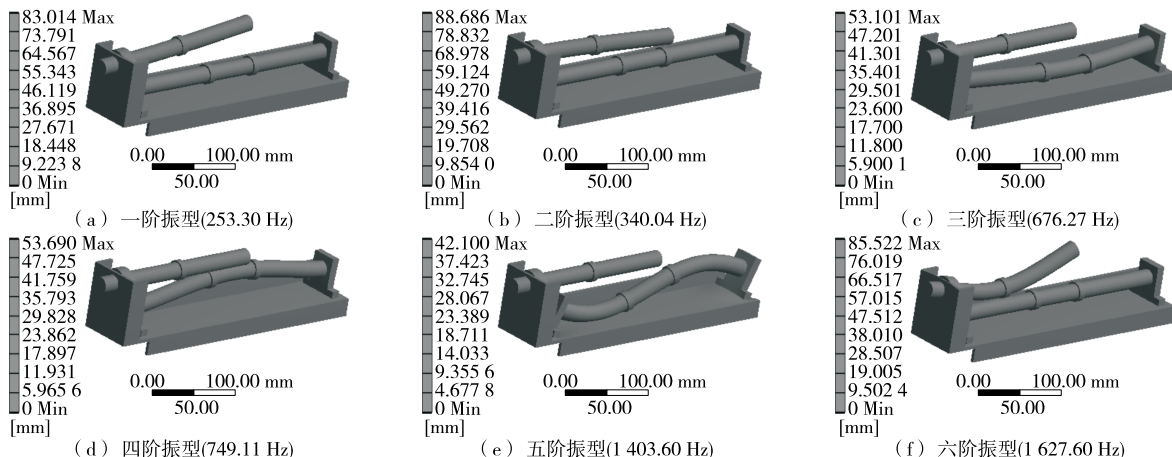


图 9 滑轨前六阶振型

Figure 9 First six modes of sliding rail

由图 9 可知,滑轨的前六阶固有振型频率主要集中在 250~1 630 Hz,各阶振型描述见表 1。

由表 1 可知,滑轨前两阶振型固有频率分别为 253.30,340.04 Hz,主要为上方导向杆发生变形,下方支撑杆几乎不发生变形,考虑实际工作时,锅体与滑轨连接时下方支撑杆可以对上方导向杆起到固定作用,所以此频段为安全频段,当频率达到 676.27 Hz 时,下方支撑杆开始发生较大扭曲变形,此时,翻炒结构将发生较大的变形,因此,后期控制时应注意控制频率低于此频段。

表 1 滑轨前六阶振型与固有频率

Table 1 The first six modes and natural frequencies of the slide rail

模态阶次	固有频率/Hz	振型特征
1	253.30	滑轨上方杆沿 Y 轴正方向变形
2	340.04	滑轨上方杆沿 Y 轴负方向变形
3	676.27	滑轨下方杆沿 Z 轴正方向变形
4	749.11	滑轨下方杆沿 Y 轴正方向变形
5	1 403.60	滑轨下方杆沿 Y 轴正负方向变形
6	1 627.60	滑轨上方杆沿 Y 轴正方向变形

3.3 电机运行频率计算

移动滑轨振源主要来自 3 个电机的转动,包括水平移动电机、倾倒电机和旋转电机,为避开移动滑轨发生不当变形以及共振的振动频率区间,需对电机运行频率进行计算,电机频率需低于下方支撑杆发生变形的频率 340.04 Hz,考虑实际工作中其他因素的影响,取安全系数为 1.5,所以电机频率需控制在 227 Hz 内。假设电机和传动机构直接连接,则传动比为 1,电机运转角速度为:

$$\omega = 2\pi f \approx 227 \text{ rad/s}.$$

根据 $\omega = \frac{n_{\text{电机}}}{60} \times \frac{2\pi}{i}$ 可得,电机转速为 2 168 r/min,所

以在不添加任何电机减速机构的情况下,电机直接连接传动机构时,电机转速需 $< 2\ 168 \text{ r/min}$ 。

4 炒菜机验证实验

分别在手工锅铲翻炒(对照)、手工颠锅(颠锅)、搅拌式炒菜机(搅拌式)和试验样机(样机)4 种烹饪方式下,对黑鱼、罗非鱼和鲢鱼进行炒制,设定试验样机锅具转速为 4 r/min,倾斜角度为 45°,手工锅铲翻炒和手工颠锅翻炒由一位经验丰富的厨师完成,搅拌式炒菜机采用某品牌

智能炒菜机进行。经测定计算,手工锅铲翻炒频率为40次/min,手工颠锅频率为38次/min,搅拌式炒菜机工作时搅拌杆转速为2 r/min,通过红外测温仪测定不同烹饪方式下的锅体温度,并将不同烹饪方式下的加热温度调节到最接近的温度,对3种鱼类进行炒制。

由图10可知,3种鱼类的硬度测试结果从大到小依次为手工或搅拌式、样机和颠锅,鱼肉硬度越大,肉质越紧实,咀嚼时口感越好。样机炒制的鱼肉和手工(对照)组无显著性差异($P>0.05$),在质构方面满足使用要求。

由表3可知,样机炒制的3种鱼片一等品的数量均明显高于其余3种,可能是因为样机相对于手工炒制,没有增加破碎度的锅铲搅拌环节,而是通过拨片将鱼片分散,很大程度保留了鱼片的原始形态;而颠锅方式下,由于鱼片不停地腾空、下落,不可避免地对鱼片形态完整性造成破坏,因此破碎程度较大;搅拌式炒菜机下由于搅拌杆不停地对食材进行翻炒,食材破坏程度最大。因此,试验样机炒制效果在保留食材完整性方面具有良好的效果。

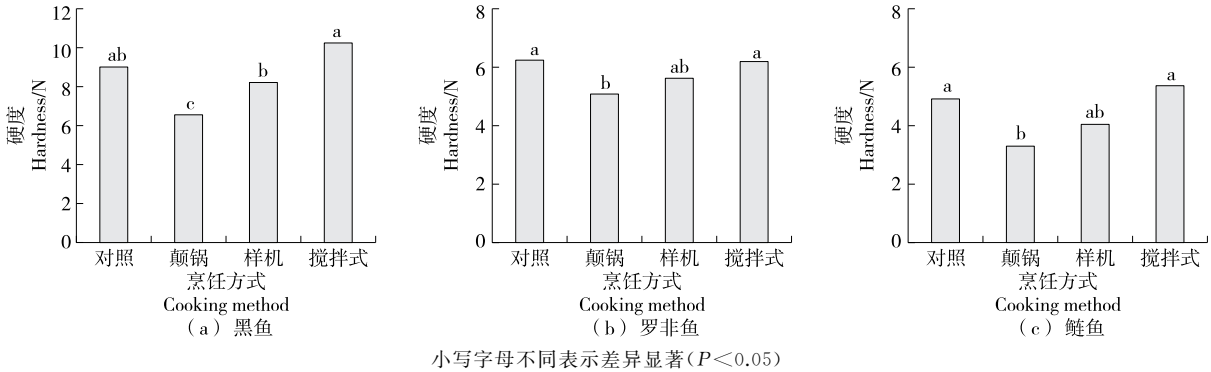


图10 4种烹饪方式对鱼类质构的影响

Figure 10 Effects of four cooking methods on fish texture

表3 4种烹饪方式对鱼片破损度的影响

Table 3 Effects of three cooking methods on the damage degree of fish fillets

种类	烹饪方式	鱼片总数/片	一等品(片 $\geq 9\text{ cm}^2$)	二等品(片 $6\sim 9\text{ cm}^2$)	三等品(片 $\leq 6\text{ cm}^2$)
黑鱼	手工	18	6	15	17
	颠锅	18	9	10	9
	样机	18	12	8	4
	搅拌式	18	3	20	15
罗非鱼	手工	28	6	30	25
	颠锅	28	14	21	12
	样机	28	19	11	15
	搅拌式	28	4	21	30
鲢鱼	手工	18	1	5	24
	颠锅	18	3	8	15
	样机	18	5	9	13
	搅拌式	18	0	10	26

5 结论

设计了一种全自动炒菜机。结果表明,通过面向功能—结构的模块化设计方法,分别对翻炒机构、食材添加机构和调料添加机构进行设计并合理布局得到了一种结构紧凑且自动化程度高的全自动炒菜机,解决了传统机构体积大、灵活度低等问题,并对比了试验样机、人工锅铲翻炒、人工颠锅翻炒和搅拌式炒菜机翻炒方式在质构和食材破碎程度的区别,证明了试验样机的实用性。试

验对炒菜机加热的研究只涉及线圈的排布方式,加热均匀性得到了提升,但温度控制精度有待提高,后续可拟合出电流大小、频率与温度的关系,为控制系统提升温度控制精度提供依据。

参考文献

[1] 程守真. 餐饮行业竞争日益白热化餐企未来将有四大发展趋势[J]. 中国食品, 2022(6): 73-75.
CHENG S Z. Increasingly fierce competition in the catering

- industry, catering enterprises will have four major development trends in the future[J]. Chinese Food, 2022(6): 73-75.
- [2] 王康旭. 炒菜机器人的研究现状和发展趋势[J]. 数字化用户, 2017, 23(2): 125-126.
- WANG K X. Research status and development trend of cooking robot[J]. Digital Users, 2017, 23(2): 125-126.
- [3] LI B, CHEN Y, DENG Z Q, et al. Conceptual design and analysis of the 2T1R mechanism for a cooking robot [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2010, 59(2): 74-83.
- [4] FU Z, YAN W X, MA W T, et al. The auto-cooking system for Chinese traditional dishes[J]. Assembly Automation, 2010, 30(1): 75-81.
- [5] 祝俊. 智能炒菜机及其关键技术的研究[D]. 武汉: 武汉工程大学, 2014: 34-48.
- ZHU J. Research on intelligent cooking machine and its key technology[D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2014: 34-48.
- [6] 彭放. 家用炒菜机的关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2016: 46-53.
- PENG F. Research on the key technology of household cooking machine [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016: 46-53.
- [7] 郑小军. 一种多功能炒菜机: CN215605055U[P]. 2022-01-25.
- ZHENG X J. A multifunctional frying machine: CN215605055U[P]. 2022-01-25.
- [8] 雷鸣, 管声启, 王杰, 等. 新型商用炒菜机器人搅拌系统结构设计及轨迹分析[J]. 西安工程大学学报, 2019, 33(6): 660-665.
- LEI M, GUAN S Q, WANG J, et al. Structure design and trajectory analysis of a new type of commercial stir-frying robot mixing system[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2019, 33(6): 660-665.
- [9] INAGAWA M, TAKEI T, IMANISHI E. Analysis of cooking recipes written in Japanese and motion planning for cooking robot [J]. Robomech Journal, 2021, 8: 17-29.
- [10] 王晓兵. 机械产品模块化设计策略[J]. 内燃机与配件, 2021(7): 194-195.
- WANG X B. Modular design strategy of mechanical products[J]. Internal Combustion Engine and Accessories, 2021(7): 194-195.
- [11] ILAN T. Electric heaters for industrial heating applications[J]. Process Heating, 2016, 23(4): 30-32.
- [12] GAONE J M, TILLEY B S, YAKOVLEV V V. Electromagnetic heating control via high-frequency resonance of a triple-layer laminate[J]. Journal of Engineering Mathematics, 2019, 114(1): 65-86.
- [13] 纪金灿. 智能炒菜机火控与炒菜装置的机电一体化设计[D]. 广州: 广东工业大学, 2015: 56-64.
- JI J C. Electromechanical integration design of fire control and cooking device of intelligent cooking machine [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2015: 56-64.
- [14] LI C X, ZHOU Y, WANG P F, et al. Design and experiments of electromagnetic heating forming technology[J]. IEEE Access, 2019, 7: 62 646-62 656.
- [15] PERON V, POIGNARD C. On a magnetic skin effect in eddy current problems: The magnetic potential in magnetically soft materials[J]. Zeitschrift Für Angewandte Mathematik und Physik, 2021, 72(4): 164.
- [16] BASAVARAJ N, SHANMUKHA N. Modal analysis of smart composite cantilever beams[J]. Materials Today Proceedings, 2020, 27: 52-59.
- [17] JIANG X, JIANG F. Operational modal analysis using symbolic regression for a nonlinear vibration system[J]. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2020, 40(1): 56-71.
- [18] LEONARD M C G, GABRIEL C M, ANDRA R C, et al. Dynamic modal analysis of a mechanical system with deformable elements [J]. Applied Mechanics and Materials, 2020, 896: 75-82.
- [19] ABDELKADER M. Combined use of modal analysis and machine learning for materials classification [J]. Materials, 2021, 14(15): 14154270.

信息窗

俄罗斯对饮料类产品实施阶段性标签实验

俄媒 Alta.soft6 月 1 日消息:俄罗斯联邦政府发布 N.858 号决议,要求于 2023 年 6 月 1 日—2023 年 8 月 31 日,在俄罗斯联邦境内进行一项通过识别方式标示某些类型的软饮料(包括果汁)的实验。

该法规规定参与该实验的官方部门包括:俄罗斯农业部、工贸部、税务局、海关总署、消费者权益保护和公益监督局以及认证局。

法规规定了标签实验的程序、目标、参与方等,规定软饮料生产、销售等相关方应自愿参加实验并按照

规定提交申请。

俄进行标签实验的产品清单(包括欧亚经济联盟对外经济活动产品编码 TH VED)包括:添加糖或其他甜味剂或风味物质的饮用水,包括矿泉水和碳酸水;大豆基饮料(蛋白质含量不低于 2.5%);克瓦斯;未发酵且未添加酒精的水果、坚果果汁(包括椰子汁)和蔬菜汁等。

(来源: <http://news.foodmate.net>)