［新设备·新材料·新方法］

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.017

微波解冻保鲜装置设计

王安敏，王金龙，李书佳

（青岛科技大学 机电工程学院，山东 青岛 266061）

摘 要：为满足酒店餐饮行业对冷冻食品快速解冻越来越高的技术要求，设计了一种微波解冻保鲜装置。以STM32F103作为控制处理器，采用了软件滤波算法、增量式PID温度控制算法、牛顿迭代算法等，通过采集解冻室内的温度、湿度、质量、设备状态等信息，来实现控制微波解冻、制冷保鲜、加湿雾化、杀菌等装置，完成冷冻食品的快速解冻保鲜。实验表明：解冻时间和样品质量成一定的线性关系，样品的解冻品质得以保证。该装置达到设计技术要求，具有较广的市场前景。

关 键 词：微波解冻；温度传感器；称质量传感器；STM32控制处理器；线性拟合

中图分类号：TS205.9 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-2895(2018)01-0079-05

Design of Microwave Thawing Fresh-Keeping Device

WANG Anmin, WANG Jinlong, LI Shujia

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao, Sandong 266061, China)

Abstract: In order to meet the higher technical requirements of rapid thawing for frozen food in hotel catering industry, a microwave thawing preservation device was designed. Taking the STM32F103 as the control processor, the software was used to control the microwave thawing device by collecting the temperature, humidity, weight and equipment status of the defrosting chamber by software filtering algorithm, incremental PID temperature control algorithm and Newton iteration algorithm. Fresh storage device, humidification atomization device, sterilization device, etc. were controlled to complete the rapid freezing of frozen food preservation. Experiments show that the thawing time and the quality of the sample have a certain linear relationship, the sample thaw quality can be guaranteed. The device can meet the design technical requirements, which has broad market prospects.

Keywords: microwave thawing; temperature sensor; load cell; STM32; linear fit

在当代社会生活中，冷冻食品与人们的生活息息相关，冷冻产品的最终品质不但与冷冻储藏、运输和加工相关，而且也取决于解冻技术。酒店餐饮行业是食品冷冻链条上的消费环节，因此根据市场的需求，需要一种全新的解冻技术。常见的解冻方式：高静水压解冻、空气解冻、电解冻（低频、高频、微波和高压静电场）、水解冻以及组合解冻[1]。在解冻过程中可能造成色泽劣变、过于脱水、蛋白质流失、气味恶化、脂肪氧化和肌肉组织恶化等一些列的问题[2-7]。为保证解冻品质优良，并且解冻装置人机交互性好、性能稳定、自动化水平较高，课题组设计了微波解冻保鲜装置，以满足酒店餐饮行业的冷冻食品快速解冻和冷藏保鲜要求。

1 微波解冻保鲜装置总体方案

1.1 微波解冻保鲜装置设计要求

1）设计装置的解冻时间尽量要快，控制在3～10 min内，控制温度不易超过20 ℃，相对湿度为70%～90%，食品解冻质量为0～50 kg。

2）解冻室的材料都采用耐腐蚀、防锈蚀的材料，防止解冻的食品被污染。

3）严格采用防止微波泄露技术，例如对宫形密封结构、观察窗和散热孔的孔占比等设计，装置内某些数

收稿日期：2017-04-06；**修回日期**：2017-10-30

第一作者简介：王安敏（1960 ），男，山东莱州人，博士，教授，主要研究方向为机电一体化、机电系统计算机控制及计算机辅助测试技术（CAT）。通信作者：王金龙（1988 ），男，山东泰安人，硕士研究生，主要研究方向为机电系统计算机控制、机电一体化。E-mail：978601153@qq.com

字仪器仪表和传感器要采用防干扰的设计。

4）微波解冻以半解冻为宜，-2 ~ 0 ℃最好，既保证了食物的品质和营养价值，又便于切割。

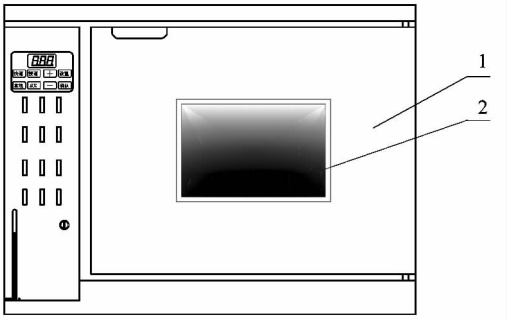
5）解冻箱体内应该考虑杀菌处理以免食品受到污染；微波解冻结束后，食物应保持在冷藏保鲜状态下。

6）装置的控制必须可靠稳定，人机交互性好，设备模块化设计，以便于日后维修。

1.2 设备器件构成

所设计的微波解冻保鲜装置按照功能可以划分为：控制单元、检测单元、执行单元和辅助单元。

控制单元包括控制器；检测单元包括：称质量传感器、湿度传感器、温度传感器（空间温度传感器 PT100，红外温度传感器 MLX90614-DCI ）、微动开关、位置传感器；执行单元包括：微波发生装置、压缩机、超声波雾化器、负氧离子发生器、散热风扇、蒸发器风扇、电动机、干扰盘模块、冷凝器等；辅助单元包括：触摸液晶显示屏、报警单元、高压变压器、膨胀阀等。机构视图如图 1 ~ 3 所示。



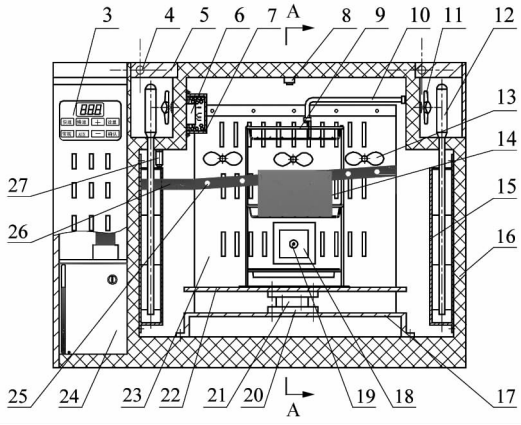
1—箱门；2—观察窗。

图 1 主视图

Figure 1 Main view

1.3 整体方案设计

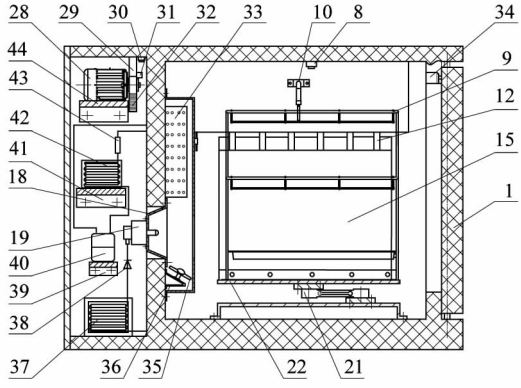
微波解冻保鲜装置从机电功能的角度可划分为：微波解冻系统、冷藏保鲜系统、杀菌保鲜系统、散热降温系统和加湿降温系统。微波解冻保鲜装置选取具有高效哈佛结构的 STM32F103ZET6 作为控制核心；用 TJC3224T024_011R 触摸液晶屏进行参数的显示和输入；以 PT100 铂电阻作为空间温度传感器；用 MLX90614-DCI 红外温度传感器测量食物表面温度；用 Risym DHT11 湿度传感器测量空间湿度；用 STDELE 牌微动开关 AZ-7310 测量门的开合状态；用诺盛 LAB-B-B 称质量传感器测量冷冻食品的质量；用威特 2M219K 微波发生器、高压变压器 GAL-900E-4 来



3—控制器；4—自动门轴；5—自动门；6—负氧离子发生器；7—保护盒；8—红外温度传感器；9—解冻架；10—空间温度传感器；11—散热风扇；12—超导热管；13—蒸发器风扇；14—解冻食物；15—散热硅油箱；16—箱体；17—支架；18—波导腔；19—微波发生器；20—过渡块；21—称质量传感器；22—底板；23—蒸发器散热罩；24—超声波雾化器；25—喷雾器；26—导流管；27—湿度传感器。

图 2 结构示意图

Figure 2 Schematic



28—电动机；29—齿轮；30—位置传感器；31—连杆；32—扇形齿轮；33—蒸发器；34—微动开关；35—干扰盘模块；36—干扰盘支架；37—高压变压器；38—高压二极管；39—压缩机支架；40—压缩机；41—冷凝器支架；42—冷凝器；43—膨胀阀；44—电机支架。

图 3 A-A 剖视图

Figure 3 Section A-A

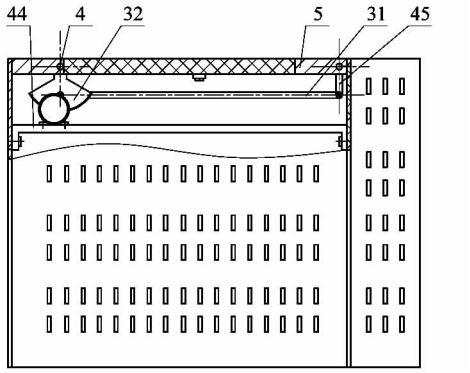
控制微波的发射；用压缩机、膨胀阀、冷凝器控制食物的冷藏保鲜；用负氧离子杀菌器给食物杀菌保鲜；用超声波雾化器设备湿润食物表面；解冻室的设计都采用耐腐蚀、防锈蚀的材料；箱门通过迷宫密封结构来防止微波泄露。

2 主要部件的设计

2.1 解冻装置母体和制冷模块

微波解冻解冻保鲜装置的尺寸为 800 mm × 760

mm×900 mm(长×宽×高),解冻保鲜装置外观如图1和图4所示。由控制器、自动门、散热风扇、超导热管、散热硅油箱、扇形齿轮、齿轮、连杆、位置感应器、从动连杆、电机组成散热降温系统。冷藏保鲜系统由控制器、压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器、蒸发器风扇、蒸发器散热罩等组成,其制冷保鲜工作由控制器来控制。箱门内侧安装迷宫结构,箱门上留有观察窗,其内有一层金属微孔网,既可以透过窗口看到实物,又防止电磁辐射。解冻室口安装弹力密封圈,当闭门时,迷宫结构和密封圈是过应力配合,防止微波泄露。



45—从动连杆

图4　后视图

Figure 4　Rear view

2.2　微波发生装置

微波发生装置包括:磁控管、波导管、高压变压器、高压二极管、干扰盘模块、干扰盘支架。磁控管产生和发射微波的频率为915 MHz;波导管将微波传输到解冻室内进而加热食物;干扰模块使解冻室内的微波均匀分布。对冷冻食品进行解冻时,将食品放置在解冻架托盘上,设定解冻温度(-2~0 ℃),此时称质量传感器、空间温度传感器、红外温度传感器获取的参数送往控制器进行分析处理,根据一定的算法得出食物中心温度,之后控制器用增量式PID算法来控制磁控管对冷冻食品加热解冻所需工作时间和功率数值,同时散热降温系统协调控制,当设定解冻温度与冷冻食品的中心温度相符合时,微波解冻停止工作。该装置选用磁控管的参数如表1所示。

2.3　温度传感器

2.3.1　铂电阻温度传感器PT100

铂电阻温度传感器的原理是利用金属铂(Pt)的温度变化对应特定电阻值并可传送标准化输出信号的仪表。PT100温度传感器主要是测量解冻箱内的空间温度,其温度测量范围为-200~850 ℃。其电阻值随着温度的增长而均匀增长,电阻的变化率为0.385 1 Ω/℃[8]。PT100由带有螺纹的保护钢管、延长导线、测温电阻、氧化铝装配而成,安装方式是螺纹联接。通过不锈钢外壳对铂电阻芯片进行封装,壳内填充导热材料,在接口处通过密封材料进行密封,能够有效防护微波的电磁辐射。建立三维模型,PT100安装外观图如图5所示。

表1　威特2M219K磁控管参数

Table 1　WITOL 2M219K magnetron parameters

产品系列	灯丝电压/V	灯丝电流/A	阳极电压/kV	阳极电流/mA	功率/W	频率/MHz	匹配输出/W
2M219K	2.8~3.7	10±2	4.2±0.2	300	945±40	2 458	700~900

图5　PT100安装外观图

Figure 5　PT100 installation appearance

选取STM32F103ZET6作为核心处理器,以PT100铂电阻作为温度传感器,测量方法使用的是四线制方法,在外部参考电压测量法中采用了一个高精度参考电阻,使PT100的精确度得以提高。选用的24位的ADS1248集成芯片作为AD转换器,通过查表差值法和牛顿迭代法相结合的算法优化PT100的非线性特性,提高了其精度。

2.3.2　红外温度传感器

用红外温度传感器测量冷冻食物的表面温度,微波解冻保鲜装置选用了某公司的MLX90614-DCI产品。需要供电电源为3~5 V,电流为5 mA,比特率为9 600 bit/s或者115 200 bit/s;默认自动输出频率为14 Hz;环境温度范围为-40~125 ℃,测量目标温度范围为-70~380 ℃,测量距离为远距离50~100 cm,测量值的分辨率为0.02 ℃。温度传感器MLX90614将食物表面的红外辐射转化成微弱电信号,经低噪音放大器差分放大后传给ADS,ADS转换器将模拟信号转化成数字信号,之后经低通滤波器送进芯片

MLX90302 进行信号处理,MLX90302 将计算结果存储在芯片 RAM 单元,温度分辨率为 0.01 ℃,并可通过 2 线 SMBus 输出给 STM32F103ZET6 处理器[9]。MLX90614 电路图如图 6 所示。

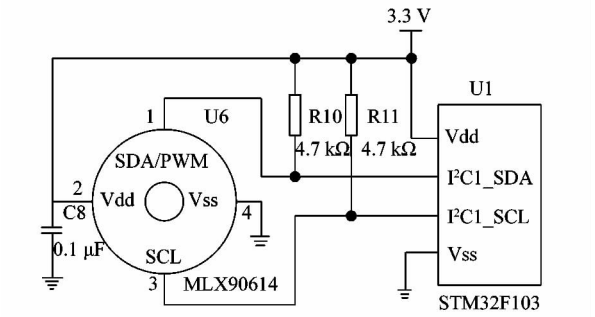


图 6 MLX90614 电路图

Figure 6 MLX90614 circuit diagram

2.4 称质量传感器模块

本模块的工作原理为:称质量传感器是将质量信号转变为比较小的电压信号,采用 HX711 芯片提供激励电压,并对输出的电压信号放大并进行 A/D 转化成数字信号,之后将数据传给控制器 STM32F103ZET6 进行处理;处理器采用滑动均值滤波法进行数字滤波,然后进行曲线拟合、标定等一系列算法处理转换成质量参数,最后处理器将数据储存到 RAM 以便后续处理并发送给液晶屏进行显示。称质量传感器是基于金属的电阻应变效应工作而制成的,如图 7 所示。其安装方式如图 8 所示,除了称质量传感器,安装时还必须配备过渡模块、支撑板、载质量板和调节螺栓,其中调节螺栓具有过载保护和调节最大有效载荷的作用。

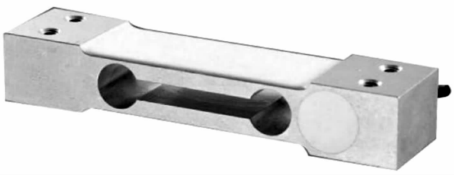
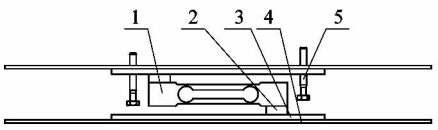


图 7 平行梁型称质量传感器旭日 XRL-2B

Figure 7 Parallel beam type load cell sun XRL-2B

3 微波解冻保鲜装置的控制系统

本装置在电器线路方面,在电源插头处设有滤波器,在各个电器前均采用熔断保护,以确保安全。设计使用的主控芯片是意法半导体公司的超低功耗 STM32F103ZET6 处理器,STM32 系列使用了 ARM 先进架构的 Corter-M3 内核,采用哈弗体系结构。STM32F103 系列芯片集成度高,内核工作频率最高 72 MHz,可以进行单周期乘法和硬件除法,有 144 个引



1—称质量传感器;2—过渡模块;3—支撑板;4—载质量板;5—调节螺栓。

图 8 平行梁型称质量传感器安装方式

Figure 8 Installation method of parallel beam type load cell

脚、64 kibit SRAM 、512 kibit FLASH、2 个基本定时器、4 个通道定时器、2 个高级定时器、3 个 SPI、2 个 I^2C、5 个串口、1 个 CAN、3 个 12 位 DAC、1 个 SDIO 接口、1 个 FSMC 接口以及 112 个通用 I/O 口以及其他丰富的外设资源[10]。控制器硬件电路结构如图 9 所示。

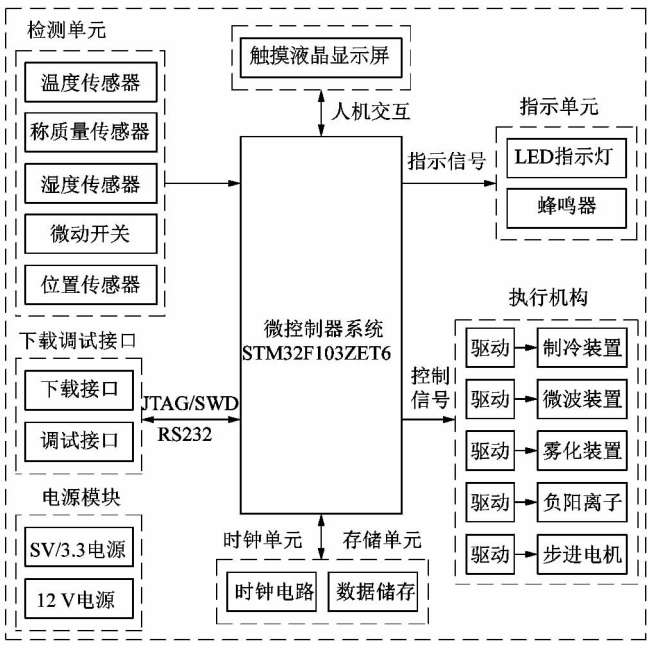


图 9 控制器硬件电路结构

Figure 9 Controller hardware circuit structure

4 解冻实验

微波解冻是将冷冻食品加热到 -4 ~ -2 ℃,此时冷冻肉易于切片或进行其它加工[11]。解冻食物是冷冻猪肉,取 15 份不同质量的样品,需要在冷藏柜冷冻 2 d,使样品中心温度稳定在 -15 ℃,切割成长方体,设定目标解冻温度为 -2 ℃。

实验结果如图 10 所示,解冻时间与解冻质量成正相关,用 Origin Lab 软件进线性拟合得到图中的拟合直线,用函数表示为:$y = 30.708\ 32x + 0.980\ 30$。由此,得到了微波解冻时间与解冻质量的线性关系,进而还可通过解冻食物质量来控制解冻时间。与这种方法

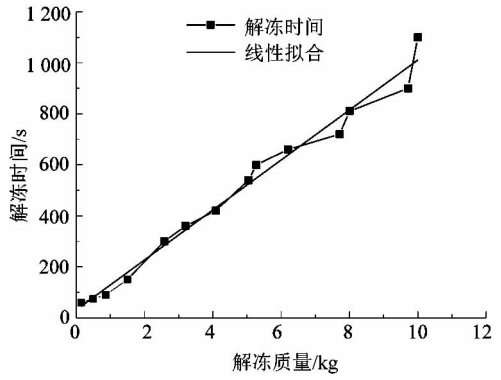


图 10　解冻时间与解冻质量规律

Figure 10　Thawing time and thawing quality rule

相比,本实验中以食物的中心温度为目标参数进行控制更为精确,解冻效果好,而且不易出现样品局部过热甚至焦灼状态。从 915 MHz 微波解冻的实验效果来看,解冻速度快、解冻均匀、营养流失少、色泽好[12],利于保持肉的品质,同时微波对于微生物菌落的生长繁殖具有一定的抑制作用,使菌落总数大幅度降低。

5　结语

笔者设计的微波解冻保鲜装置,利用 STM32F103ZET6 控制系统,通过传感器采集温度、湿度、质量、设备状态等信息,控制了微波发生装置、制冷保鲜装置、加湿装置、负氧离子发生器及降温散热装置;在算法方面,采用了软件滤波算法、增量式 PID 温度控制算法、牛顿迭代算法等。实验的结果表明达到了设计的目的,后期可以根据不同食品的电特性不同设计出不同解冻模式,还可以进一步优化算法,例如将神经网路 PID 算法应用在控温系统中。总之,随着微波解冻技术深入研究和发展完善,将会进一步影响整个食品解冻领域。

参考文献:

[1] 冯晚平,胡娟.冷冻猪肉新型解冻方法对比试验研究[J].农产品加工(学刊):2011(9):33-36.

[2] LI Bing,SUN Dawen. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: a review[J]. Journal of food engineering,2002,54(3):175-182.

[3] BENJIAKUL S, VISESSANGUAN W, THONGKAEW C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage [J]. Food research international,2003,36(8):787-795.

[4] XIA Xiufang, KONG Baohua, XIONG Youling, et al. Decreased gelling and emulsifying properties of myofibrillar protein from repeatedly frozen-thawed porcine longissimus muscle are due to protein denaturation and susceptibility to aggregation[J]. Meat science, 2010,85(3):481-486.

[5] LEYGOIE C,BRITZ T J,HOFFMAN L C. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich M. iliofibularis[J]. Meat science,2012,91(3):364-368.

[6] TOKUR B,KANDEMIR S. The effects of different thawing methods on protein quality of frozen fish[J]. Journal of fisheries sciences, 2008,2(1):100-106.

[7] 迟海,李学英,杨宪时,等. 解冻方式和条件对南极磷虾品质的影响[J]. 食品与机械,2011,27(1):94-97.

[8] 刘培基,王安敏.机械工程测试技术[M].北京:机械工程出版社,2007:25-101.

[9] 李浩.采用 STM32F103 芯片的红外测温仪设计[J].电子产品界,2013,9(12):45-56.

[10] 王晓丹,孟令军.多通道高精度测温存储系统的研究[D].太原:中北大学,2015:30-66.

[11] 张林青.基于射频加热的食品解冻技术研究[D].济南:山东大学,2015:10-43.

[12] LEE J K. Rapid thawing of frozen pork by 915MHz microwave. Korean[J]. Food science and technology,1993,31(1):54-61.