

# 电磁振动式颗粒食品定量分装机的改进

## Improvement on ration filling machine of grain by electromagnetic vibrating

冯 颖

FENG Ying

(华南理工大学广州学院, 广东 广州 510800)

(South China University of Technology Institute of Guangzhou, Guangzhou, Guangdong 510800, China)

**摘要:**针对传统颗粒食品定量分装机存在的诸多问题,从自动分装机的硬件设计、算法研究、软件设计、抗干扰设计等多个角度出发,提出模糊—PID 定量分装动态称重控制算法,并优化了内置芯片处理程序,简化了外围硬件设计,降低了开发成本。现场实际试验研究结果显示,新型分装控制机分装效果稳定、分装误差降低了 94.6%,可以满足颗粒食品的生产需求。

**关键词:**颗粒食品;定量分装;模糊—PID 控制算法

**Abstract:** According to the problems in traditional grain food ration filling machine, and from the automatic machine hardware designs, algorithms, software design, anti-jamming design of multiple perspective, quantitative packing of fuzzy-PID control algorithm of dynamic weighing, and optimal chip disposal procedures, simplified the peripheral hardware design and reduced development costs. Field test results show, the new packaging control machines is stable, divide errors reduced by 94.6%, and can meet the needs of grain food production.

**Keywords:** particles of food; quantitative packing; a fuzzy PID control algorithm

在自动定量分装机发明之前,食品生产线上的分装都是通过人力完成。20 世纪 80 年代中国开始逐步研究自动分装设备,但与国外技术相比仍然存在自动化程度低、分装精度差、分装速度慢、稳定性差等多项缺点。当前中国的颗粒食品自动定量分装机对大剂量颗粒进行分装时,其定量精度已经无法满足使用要求<sup>[1-2]</sup>。

传统的定量分装设备主要分为电磁振动式、活门重力式、皮带式 3 种构造。其中,电磁振动式通过改变振动电磁铁振幅和频率的方式来进行装料,但这种结构存在成本高、体积大、设备复杂、振幅频率控制点难以准确定位的缺点;活门重力式主要是依据分装颗粒的质量来进行分装的,这种构

造适合分装大剂量颗粒,当分装小颗粒时存在控制精度低的缺点;皮带式适用于中小剂量的颗粒分装,适用的颗粒材料范围有限<sup>[3-6]</sup>。针对当前越来越多的颗粒食品分装需求,对电磁振动式自动分装机进行改良以满足市场需求。本研究拟从硬件设计、软件设计、算法研究、试验研究等多个方面,开展颗粒食品定量分装机的改良设计研究工作。

### 1 组成原理分析及硬件设计

#### 1.1 自动定量分装控制机的机械结构

颗粒食品自动定量分装机所分装的颗粒粒径在 40~500  $\mu\text{m}$ ,气固密度差在 1 400~4 000  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。针对这一粒径范围,本试验设计的分装机结构由卸料装置、出料仓、给料槽、上下料开关、称重传感器等多个部分组成,见图 1。

在自动分装机结构设计时,可根据颗粒大小选择不同的储料仓形式。其侧面安装的上、下料开关可以随时检测料仓内的颗粒食品数量。与电磁铁相连的给料槽可作为传送装置,将颗粒食品传送到称重斗中,其中给料槽的倾斜角度一般不大于 15°。称重斗下面的称重传感器可对传送到的颗粒食品进行称量检测,并将检测数据传送到控制系统中以判断是否包装,因此这就要求传感器具有极高的快速响应分析系统。

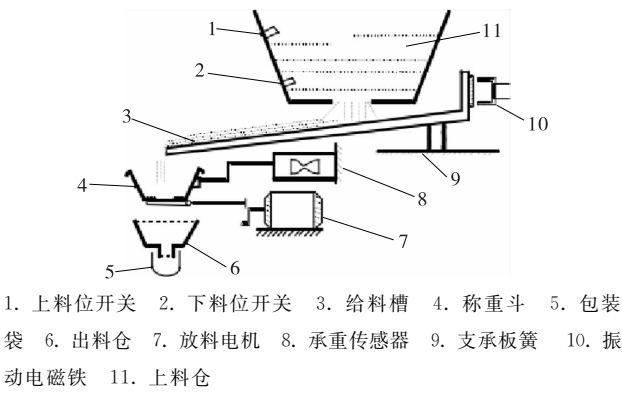


图 1 振动式颗粒剂自动定量分装机械结构图

Figure 1 Vibration type granule automatic weighing and quantitative packing machine structure

**作者简介:**冯颖(1979—),女,华南理工大学广州学院讲师,硕士。

E-mail: fengyin2223@tom.com

**收稿日期:**2015-12-20

当颗粒食品重量满足数据要求时,由放料挡板和放料电机组成的放料装置,就将开关打开,使其自动下落完成定量包装。

1.2 自动定量分装机硬件组成完善

传统的分装机控制结构存在活门重力式分料精度差、皮带式适用分装颗粒范围小、电磁振动式难以准确确定振幅频率等多种缺点<sup>[7]</sup>。传统的分装机由于没有准确的数据采集功能,因此人机交互性差,操作人员不能通过相关显示数据进行精确分装控制。即使具备精准分装的设备(如电磁振动式),也由于其设备体积庞大而难以大范围推广应用。其中,传统的分装控制组成见图 2。

为此本试验新设计了数据采集模块、人机通信模块以方便操作人员进行精准控制,此外新设计的 DA 转化电路模块也大大减小了控制系统的体积,实现了分装机的小型化。新设计的颗粒自动定量分装机的硬件结构主要包括:核心芯片、AD 输入电流、称重传感器、振动长安区、直流电机驱动器、LCD 显示、操作键盘等组成。

(1) 电源模块设计:建议采用 220 V 交流电压,将其转化为 9 V 直流电使用。其内部控制器采用一组 12 V 电源供电。其具体的电源设计模块与传统电源模块相似,见图 3。

在接地设计时,为防止数字电路和模拟电路信号的相互干扰,在初步设计时建议将二者分开布置。布设方法是将 AGND 和 DGND 线路分离连接,之后再将二者汇集起来,并在中间加入一个 0 Ω 的电阻进行分离设计。同时要尽可能

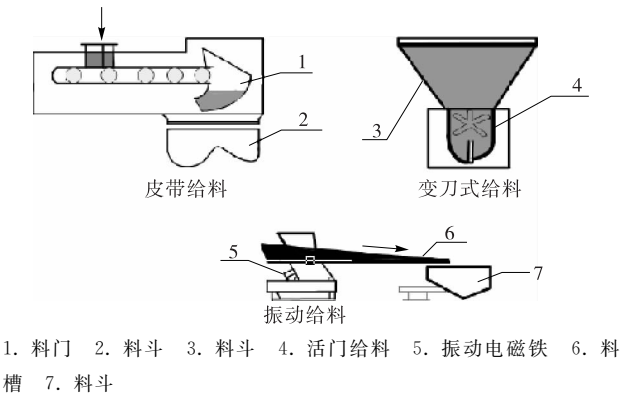


图 2 传统分装机组成  
Figure 2 Traditional packing unit

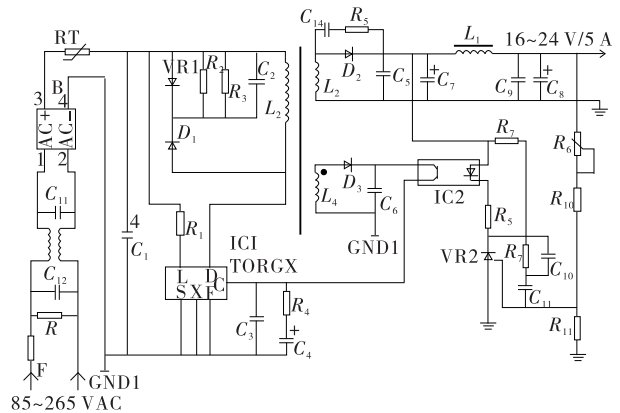


图 3 电源设计模块  
Figure 3 Power supply module design

将外接电源连接在地表下方,以消除静电。

(2) 数据采集模块设计:为减少工作环境中存在的粉尘、水气等对分装控制器的干扰,建议设计时采用密封性良好的装置进行外包。同时为提高本系统的传感器数据采集精度,因此建议传感器采用可将电信号放大检测的 L6J 桥式电阻称重传感器。其内部和外部结构见图 4。

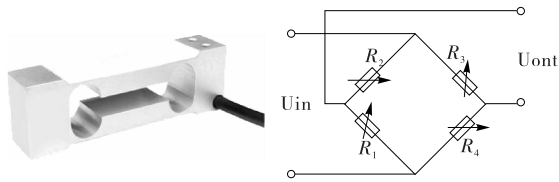


图 4 L6J 桥式电阻称重传感器外部结构、内部电路图  
Figure 4 L6J bridge resistance weighing sensor external structure, internal circuit diagram

(3) DA 转化电路设计:为提高控制系统的快速响应,建议采用数字调压振动控制器。该控制器可根据分装重量和规格,通过内部的 DAC 计算系统实时调整电磁铁振幅的大小。

(4) 人机通信模块:为了可以实现控制人员与控制机械的良好互动,方便操作人员对控制器的准确控制,需建立界面简洁、操作简便的人机交互控制系统。因此需对 LCD 显示模块、键盘控制模块进行设计。其设计原理图见图 5、6。

(5) 控制开关设计:电机控制和光电开关控制是颗粒自动定量分装机的操作控制系统,设计时应采用不产生静电弧、可靠性高、消耗功率低的装置,本试验采用的是固态继电器电机控制开关和光电控制开关。其具体的设计原理见图 7、8。

2 自动定量分装控制软件设计

2.1 软件开发环境

本试验针对颗粒食品分装机的软件开发程序,是在 C051F350 单片机上进行操作实现的。同时考虑到 C 语言具

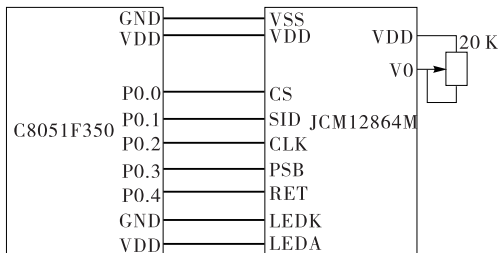


图 5 LCD 显示模块设计  
Figure 5 LCD display module design

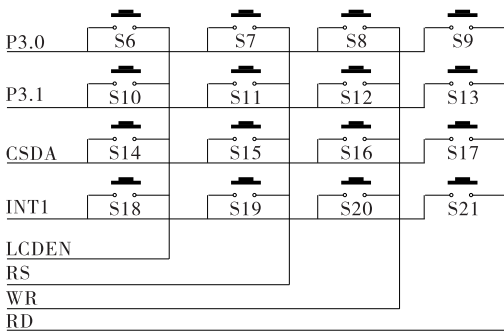


图 6 键盘控制模块设计  
Figure 6 The keyboard control module design

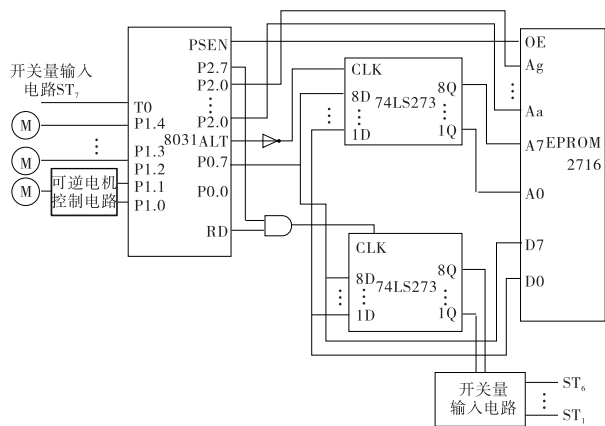


图 7 固态继电器电机控制开关原理图

Figure 7 Solid state relay motor control principle diagram of the switch

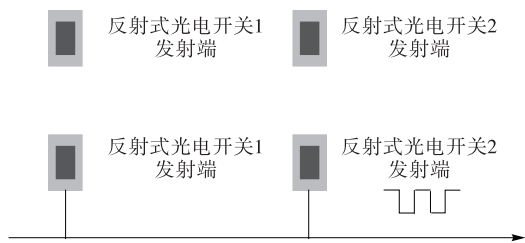


图 8 光电控制开关原理图

Figure 8 The principle diagram of the photoelectric control switch

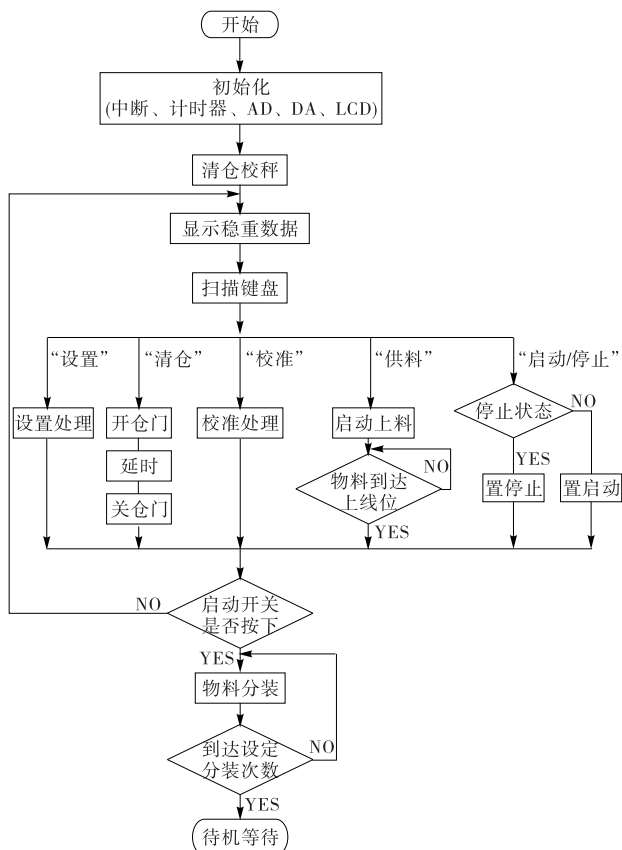


图 9 主程序流程图

Figure 9 Main program flow chart

有可读性强、编程简单、翻译效率高等诸多优点,因此本次优化设计采用的是编程语言维 C 语言。

此外,在对内置芯片调试时,须对分装机的断点下载程序、内核寄存器、IP 模块等进行调试。本试验采用的是 JTAG 协议设定的系统,该协议通用性强、应用范围广,是目前应用较为广泛地检测 PCB 和 IC 芯片的国际协议。<sup>[8]</sup>

## 2.2 控制软件总体结构

主程序流程图见图 9。该控制程序采用模糊 PID 的控制原理。在分装机开始工作时,两个加料斗开始高速震动,控制器开始计算各斗所需的流量值,当达到设定的流量快慢分界点之后,加料斗的震动频率变慢使得颗粒流量稳定。当程序检测颗粒重量达到设定值时,系统提前关闭加料口,同时卸料斗打开,最后包装机打包。当接受到光电开关发出的信号后,系统自动进入下一轮分装过程。

### 2.3 各模块软件设计

(1) 初试模块设计:本模块通过 C8051F350 单片机实现输入端口初始化,以便为系统正常工作做准备。同时需将卸料电机外部中断控制,以方便调用称重模块。

(2) 数据采集和处理设计:由于系统内置芯片具有可编程振荡器,因此本设计通过对芯片设定以实现 AD 转换。须注意的是,对 ADC 软件设定的抽取比需经过准确计算,否则会导致噪声的产生。

(3) FLASH 存储子程序设计:C8051F3X 单片机内部包含程序存储器和数据存储器,设计时可通过设定程序存储允

许位对程序存储器进行修改。

### 3 自动定量分装控制算法

### 3.1 自动定量分装控制误差分析

市场上常见的分装控制机采用的是传统的 PID 控制算法, PID 法控制原理较为简单, 鲁棒性强, 其静态指标只需提高调解 PID 值就可以得到。但这种控制原理又使得 PID 存在某些不足: ① 实际测量时缺乏合适的微分器, 单纯用 PI 控制限制了 PID 的准确性; ② 理论计算与实际数据误差较大, 可能使 PID 控制结果产生“快速性”和“超调”矛盾; ③ PID 受环境变化较为敏感, 数据稳定性差<sup>[9]</sup>。这些缺点都限制了 PID 控制法的推广应用。这种传统的 PID 算法多数采用数字 PID 控制算法, PID 控制在不考虑环境外界因素影响下, 可以快速、平稳、精确的进行给定数据控制。但是实际上在外界环境干扰下, 比较精确的数字 PID 控制会有比较明显的数字误差。对于自动分装系统采用数字 PID 算法, 用户可以自行确定分装的次数和重量, 之后分装机根据输入的数据计算振幅和频率进行颗粒分装。分装效率确实比人工分装有大幅度提升。但由于分装机工作环境的不同, 导致对控制器内的参数的变化影响较大, 所以分装后的产品合格率不能保证。本文设计改进的大量剂颗粒分装机, 其分装规模大, 所以外界因素影响加多, 导致在控制环节的数字 PID 控制无法保证分装成功率。因此传统的 PID 算法会在分装过程中经常出现分装不均匀、波动性大等问题, 算法的系统稳定性

差<sup>[10]</sup>,误差来源主要包括:

- (1) 晃动干扰:在放料装置自动开闭时,电机会产生剧烈震荡,其震荡产生的干扰可能会导致称重传感器无法准确判断当前的颗粒食品质量。
- (2) 余料干扰:各开关、传感器、启闭装置运作时会有一定的时间滞后性,在这一时间内颗粒食品可能仍然在进行传输运送,因此进入放料斗的重量不一定与实际称重质量相符合。
- (3) 机械启动滞后性干扰:各机械组成部分在收到传感器信号时,从作出信号判断到启动机械具有一定的时间滞后性,这导致了称量精度、传送速度等各方面数据采集时不相互匹配。

在优化改良设计自动定量分装机时,建议采用更高级的智能定量算法进行分装控制,弥补外界干扰带来的数据误差,保证分装合格率。因此提出以下 PID 控制算法即模糊-PID 定量分装动态称重控制算法。

### 3.2 模糊控制基本原理

模糊控制器主要由清晰化、模糊化、模糊推理、知识库这四方面构成。

与其他控制方法相比,模糊控制具有如下特点:① 模糊控制无需操作人员对其进行深入了解,只需现场进行简单操作;② 模糊控制以语言变量代替传统变量,以模糊控制为核心,便于操作技术人员理解;③ 模糊控制可通过软件计算算法,单片机实现操作,构造简便;④ 模糊控制无需确定控制对象的多种影响因素,因此其具有十分广阔的运用前景。

### 3.3 模糊-PID 定量分装动态称重控制

为了将模糊控制和传统 PID 控制二者的优点结合在一起,本试验将二者进行了重新联合优化设计。最终得到了模糊-PID 联合控制器即模糊-PID 定量分装动态称重控制,其控制原理见图 10。

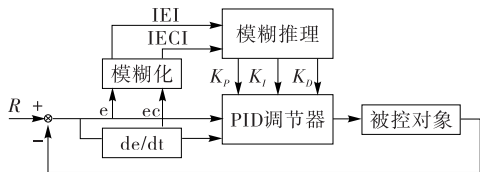


图 10 模糊-PID 联合控制器原理图

Figure 10 The principle diagram of the fuzzy-PID controller

通过图 10 可以看出,模糊-PID 联合控制器由一个标准 PID 控制器和模糊 PID 控制器组成,控制对象为使得输出值为目标值 R。该系统的核心是模糊控制规则表。其中,本试验是采用分段调速的方法来实现颗粒食品定量分装的。模糊-PID 定量分装动态称重控制原理就是在原有分装系统基础上去掉数字 PID 控制环节,改用模糊 PID 控制,通过数据修订重新输入给定分装数据,最终可以达到分装合格率。

模糊-PID 定量分装动态称重控制算法相对传统 PID 算法在效率上异曲同工,但在稳定性上,模糊-PID 定量分装动态称重控制通过分析传统控制分装误差和现场分装经验,可以通过动态分析和数据给定来弥补外界干扰带来的误

差,这样对于大剂量分装产品在拥有传统分装效率的同时,更能保证其分装合格。

## 4 自动定量分装控制抗干扰设计

### 4.1 抗干扰设计

颗粒食品分装机在不同的使用环境中,会产生不同的干扰。为了提高分装机的分装精度,须对分装机的软硬件进行抗干扰设计。具体可采用如下手段来提高抗干扰能力:

(1) 对温度漂移产生的传感器干扰进行补偿:分装机在分装过程中,其内部电阻会随着时间的增长而产生很多热量,传感器附着的应变片受到高温影响会产生数据测量不准确的情况,因此需对温度漂移产生的传感器干扰进行补偿。补偿方法是使用热敏元件。

(2) 多环节称重测量:为减少颗粒食品在下料过程中导致的重量不平衡,建议在物品分装完成后进行 2 次以上称量,将平均值数据传送回控制系统,以减少下一次分装误差。

(3) 数字、模糊、电源必须分开布线;PCB 中不允许有交叉电路;尽量将高频元件放置紧凑,保证各元件之间互不干扰。

### 4.2 验证分析

利用研制成功的颗粒食品自动定量分装机,进行了实际分装效果验证。试验时采用 220 V 交流电,在称重斗内放置一个固定砝码,之后开始进行颗粒食品分装,最后得到了静态下的分装称重数据。同时,对相同质量(每次定量分装 10 kg)的颗粒用传统活门重力式分装机进行测定,得到的数据见表 1。

由表 1 可知:传统的活门重力式分装机分装数据波动性大,最大的波动范围达到了 5.6 kg,方差为 8.1 kg;改进的分装机波动范围小,最大的波动重量为 0.3 kg,方差为 1.2 kg,数据离散性大大降低,误差降低了 94.6%。这说明改进的颗粒食品分装机的分装质量较为稳定,误差较小,可以实际应用于颗粒食品的分装工程中。

表 1 新旧分装机试验对比结果

Table 1 Packer test comparison results between the old and the new

| 时间/min | 重量/kg |          |
|--------|-------|----------|
|        | 新型分装机 | 活门重力式分装机 |
| 1      | 10.1  | 10.5     |
| 10     | 9.9   | 10.4     |
| 30     | 10.1  | 8.1      |
| 50     | 10.2  | 13.1     |
| 70     | 10.2  | 8.3      |
| 90     | 10.1  | 9.2      |
| 100    | 10.2  | 13.2     |
| 120    | 10.1  | 7.6      |
| 160    | 10.1  | 7.9      |
| 方差     | 1.2   | 8.1      |

(下转第 159 页)

物质和其含氧衍生物的相对含量急剧上升。样品中主要来自于脂肪氧化降解的风味物质的相对含量随花椒添加量的增加基本变化趋势为先升后降,可能由于花椒中一些活性物质的抗氧化作用所致,但仍有待进一步研究。

参考文献

[1] 罗凯,朱琳,阙建全,等. 不同产地青花椒和红花椒挥发油的比较研究[J]. 食品工业科技,2012,33(18):103-106.

[2] 祝瑞雪,曾维才,赵志峰,等. 汉源花椒精油的化学成分分析及其抑菌作用[J]. 食品科学,2011,32(17):85-88.

[3] 杨佳,杨佳艺,王国栋,等. 兔肉营养特点与人体健康[J]. 食品工业科技,2012,33(12):422-426.

[4] Antonella D Z, Zsolt S. The role of rabbit meat as functional food[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 319-331.

[5] 荣笠棚,卓勇贤,彭翔东,等. 兔肉熟食产品加工现状及其发展趋势[J]. 中国养兔,2013(8):37-40.

[6] 段艳,郑福平,杨梦云,等. ASE—SAFE/GC—MS/GC—O 法分析德州扒鸡风味化合物[J]. 中国食品学报,2014,14(4):222-230.

[7] 张逸君,郑福平,张玉玉,等. MAE—SAFE—GC—MS 法分析道口烧鸡挥发性成分[J]. 食品科学,2014,35(22):130-134.

[8] 孙承锋,喻倩倩,宋长坤,等. 酱牛肉加工过程中挥发性成分的含量变化分析[J]. 现代食品科技,2014,30(3):130-136.

[9] 王琴,蒋林,温其标,等. 气质联用对不同提取法的八角茴香油化学成分的分析[J]. 食品工业科技,2006,27(10):189-190.

[10] 陈旭,王胜威,母应春,等. 顶空固相微萃取气—质联用研究贵州常用卤味料挥发性成分[J]. 食品与机械,2013,29(4):24-28.

[11] 刘欣,赵改名,田玮,等. 肉桂添加量对卤鸡腿肉挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业,2013,39(6):34-40.

[12] 鲁松涛,赵改名,李苗云,等. 丁香对卤制鸡肉风味物质形成的影响[J]. 农产品加工学刊,2011(11):20-25.

[13] 王珺,贺雅非,李洪军,等. 顶空固相微萃取结合气相色谱—质谱法分析兔肉的挥发性风味物质[J]. 食品科学,2013,34(14):212-217.

[14] 陈康,李洪军,贺雅非,等. 不同性别伊拉兔肉挥发性风味物质的 SPME—GC—MS 分析[J]. 食品科学,2014,35(6):

98-102.

[15] Riu-Aumatell M, Castellari M, Lôpez-Tamames E, et al. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4):627-637.

[16] Elmore J S, Motterm D S, Enser M, et al. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47(4):1619-1625.

[17] Ventanas J, Coârdoba J J, Antequera T, et al. Hydrolysis and Maillard reactions during ripening of Iberian ham[J]. Journal of Food Science, 1992, 57(4):813-815.

[18] Padmashree A, Roopa N, Semwal A D, et al. Star-anise (Ilicium verum) and black caraway (Carum nigrum) as natural antioxidants[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1):59-66.

[19] Sampaio, G R, Saldanha T, Soares R A M, et al. Effect of natural antioxidant combinations on lipid oxidation in cooked chicken meat during refrigerated storage[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2012, 135(3):1383-1390.

[20] 陈建良, 芮汉明, 陈号川. 不同鸡种的鸡肉挥发性风味特性的比较研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10):1129-1134.

[21] 袁华根, 高峰, 徐骏, 等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5):139-141.

[22] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1):63-80.

[23] 朱建军, 王晓宇, 胡萍, 等. 黔式腊肉加工过程中挥发性风味物质的变化[J]. 食品与机械, 2013, 29(4):20-23.

[24] Spanier A M, Shahid Y F, Parliament T H, et al. Food flavors and chemistry[M]. Cambrige: Royal Society of Chemistry, 2001:280-288.

[25] Liu Y, Xu X L, Ouyang G F, et al. Changes in volatile compounds of traditional Chinese Nanjing water-boiled salted duck during processing[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(71):S371-S377.

[26] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4):415-424.

[27] 何苗, 陈洁, 曾茂茂, 等. 高温杀菌对福建风味鸭风味的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3):29-34.

(上接第87页)

5 结语

本试验针对传统分装机存在的分装精度差、自动化程度低、工作效率不高等缺点进行了深入研究。从自动分装机的硬件设计、算法研究、软件设计、抗干扰设计等多个角度,开展了相关理论与试验研究,提出了模糊—PID 动态称重控制算法,优化了内置芯片处理程序,简化了外围硬件设计,降低了开发成本。最后研制得到了一种可以应用于颗粒食品分装的新型自动定量分装控制机。通过现场实际试验研究发现,新型分装控制机分装效果稳定、分装误差小、工作效率高,可以满足颗粒食品的生产需求。

参考文献

[1] 张莹. 颗粒食品自动定量分装控制技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2010: 23-24.

[2] 王晓彬. 试剂精密定量封装机的开发设计[D]. 济南: 山东大学,

2014: 32-33.

[3] 杨振昊. 肠类米饭定量灌装技术与装备研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 45-47.

[4] 吕帅. 用于带硬颗粒黏稠物料的活塞式定量灌装装置研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 2-32.

[5] 王家寅. 基于 PLC 的试剂精密定量封装控制系统开发[D]. 济南: 山东大学, 2014: 41-43.

[6] 肖玮. 粉针剂间歇计量与连续充填装置的协同设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2012: 21-27.

[7] 刘铭宇. 蔬菜基复合材料全自动多列填充包装机设计及相关技术研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2014: 34-36.

[8] 张磊. 基于 STM32 的连续式分包装机的研发[D]. 泉州: 华侨大学, 2014: 33-39.

[9] 张沂阳. 油制辣椒灌装机控制系统的设计[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015: 22-27.

[10] 孙国梁. 油制辣椒自动灌装机设计与研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015: 19-25.