DOI:10.13652/j.issn.1003－5788.2016.07.020

金刚砂自动分离炒货机的设计与研制

Designing and developing of automatic separation emery roasting machine

杨志成　　张利霞　　谷春秀　　张景胜

YANG Zhi-cheng　ZHANG Li-xia　GU Chun-xiu　ZHANG Jing-sheng

（北京联合大学生物化学工程学院，北京　100023）

（*Biochemical Engineering College of Beijing Union University, Beijing* 100023, *China*）

摘要：设计了一种集加料、加热、翻炒、分离和出货为一体的自动炒货机，对自动炒货机的整体、自动控温系统以及翻炒螺旋页等关键部件进行了设计。通过样机试验，表明所设计的自动炒货机烘炒质量稳定、自动化程度较高、温度控制精确。由于采用桶内自动分离技术，充分利用预热，加热时间缩短，适合连续化生产。

关键词：自动炒货机；自动控温；翻炒螺旋页；自动分离

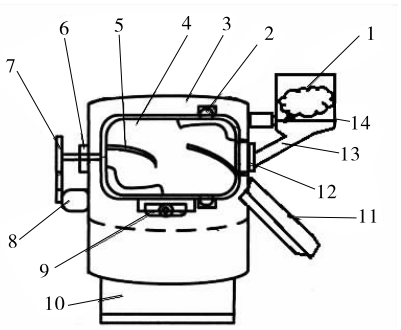
Abstract: An automatic roasting machine including feed, heating, stir fry, separation and shipping was designed. Our designs covered the overall roasting machine, the automatic temperature control system and the key components of stir fry spiral pages as well. Moreover, the prototype tests showed that the automatic roasting machine designed by us could work with stable quality, high degree of automation, and precise temperature control. The timely cook and sell functions have been achieved. As a result of the barrel automatic separation technology, making full use of preheat and the shortening of the heating time, our designed products are suitable for continuous production.

Keywords: automatic roasting machine; automatic temperature control; stir fry spiral blade; automatic separation

坚果是人们的重要食品，一些坚果烘炒加工后香酥四溢、口味俱佳，更受人们喜爱。例如葵花籽、花生、板栗等。烘炒方法通常分为两种：一种是现炒现卖的手工操作，它费时费力，加工量小不能满足人们的需求量；另一种是连续烘炒机械化操作，机械加工一般是大型机械化生产，它初期投入成本大，物链长，主要供应大超市，到了消费者口中，口味已经不再新鲜。由于保质期等原因，消费者更偏爱现炒现卖手工操作的烘炒坚果。因此，市场需要既能现炒现买，又能节省体力、保证质量的小型自动化炒货机。目前国内外的炒货机有多种类型，例如，刘义德[1]设计的滚筒式炒货机，它利用电机带动滚筒代替手工翻炒，采用调速箱调速。王德章[2]设计的电加热自动分离式滚筒炒货机，提出了炒货与金刚砂的自动分离技术，采用双滚筒储料，固定搅拌方向，适合大米、小麦等速熟类食品炒制。陈韦纲等[3]研发的全自动多功能炒货机，在炒制的过程中，360°旋转搅拌，使炒货食品上下、左右、前后、全方位立体翻炒，受热均匀，不会出现粘锅现象。上述自动炒货机，尽管可以实现机械化操作，但普遍存在自动化程度不高、操作复杂、适应范围小、烘炒效果不理想等问题。本研究结合文献[1]中电机带动滚筒代替手工翻炒功能，文献[2]中砂料自动分离理念，以及文献[3]中提出的立体翻炒技术进行整合，拟对炒货机的投料、温度控制、滚筒转速、砂料分离、出料等工序改用自动化控制，旨在提高自动化水平。

1　自动炒货机的整体设计及其工作原理

自动炒货机的机械机构包括：物料进出口、可旋转带加热内胆的滚筒、翻炒螺旋页、挡板、过滤筛、内胆、驱动机构、外壳体、电加热装置。机械机构见图1。控制系统包括单片



1. 投料斗　2. 轴承　3. 外壳　4. 滚筒　5. 螺旋页　6. 瓦轴　7. 传动件　8. 电机　9. 电热装置　10. 底座　11. 导流槽　12. 进料口　13. 导流管　14. 漏斗阀

图 1　炒货机结构示意图

Figure 1　Schematic diagram of roasting machine

基金项目：北京联合大学新起点计划项目资助（编号：Zk10201504）

作者简介：杨志成（1969—），男，北京联合大学副教授，硕士。
E-mail：hxyzch@163.com

收稿日期：2015－11－29

机、温度传感器、功率放大器、中间继电器、固态继电器和执行机构等。执行机构主要包括加热丝和滚筒电机。炒货流程包括:投料、翻炒、桶内分拣和出料等工序,均能在控制器的控制下自动完成的。

1.1 投料工作原理

进料口 12 加入被炒制食品,当需要投料时,控制器控制电磁继电器动作,电磁继电器打开漏料口阀门,被炒制食品在重力的作用下,沿导流管 13 滑入滚筒 4 被混合、炒制。为了防止食品在投料斗 1 堆积,在投料斗至滚筒 4 内部中心装有翻炒螺旋页 5。翻炒螺旋页 5 在滚筒 4 的带动下,将食品推送到滚筒 4 中间。

1.2 翻炒工作原理

在炒制过程中,随着滚筒的转动,螺旋页带着被炒制的食品与金刚砂在滚筒内由底部转到顶部,螺旋页到达顶部时,食品与金刚砂没有了螺旋页的托挡,在重力的作用下,又倾泻到滚筒底部,如此周而复始,使食品与金刚砂充分混合,并被均匀加热。滚筒每转一周相当翻炒 6 次。

1.3 分拣与出料工作原理

加热完成后,控制器控制电机反转,滚筒在电机的带动下开始反转,滚筒内的螺旋页的推动作用将混合料向出料口方向自动推送。所有物品会全部积压到螺旋页的背面。由于螺旋页的背面装有曲面过滤筛,金刚砂直径小,会从过滤筛的筛孔落入滚筒内,可利用余热为下一批坚果加热,提高了工作效率,减少了能源消耗。而坚果由于体积大不能从滤网和过孔穿过,被螺旋页推出出料口,经导料槽滑入成品箱内,从而实现被炒制食品与金刚砂的自动分拣和出料。筒内分拣相对于筒外有利于减少金刚砂的热量损失。

2 炒货机的自动控温原理

由于燃煤和燃气都会给空气带来污染,采用电力加热可以很好地解决这个矛盾。但是电力加热对直观参数影响不明显,主要特点是温度参数滞后大,食品很容易烤制过火,这也是炒货机没有被广泛推广的主要原因。良好的产品质量需要借助现代电器产品参与控制,如图 2 所示的电器产品,包括控制器、Rt100 热电阻、固态继电器和加热丝。固态继电器采用德力西电气公司生产的 CDG1-1DA/40A,由于它输入功率小、灵敏度高、控制功率小、电磁兼容性好,且有隔离功能,控制器可对其直接控制;它采用的无触点电子开关,可以避免以前机械接触部件频繁接触带来的磨损,减少电路故障的发生;它还具有抗振动、耐机械冲击,安装位置无限制、噪声低和工作频率高等特点。加热丝功率为 2 kW,可以在短时间(15 min)内将滚筒内温度提升到 300 ℃。

由于滚筒的密闭性好,只有加热装置,而没有冷却装置,升温容易降温难。测温过程中热电阻的承载温度也有极限,不允许温度出现过冲现象;只能靠自然热交换来降温。所以温度控制的难点在于针对不同情况,实现高精度控温。常规的 PID 在实际使用过程中容易超调,抗干扰能力也较差,特别是针对不同的坚果,会出现不同的、严重的非线性[4],频繁地改变当前设定值,又容易使系统产生振荡。为了提高工作效率,改善控制性能,可采用广义预测控制(generalized predictive control,GPC)[5]。广义预测控制器结构见图 3。

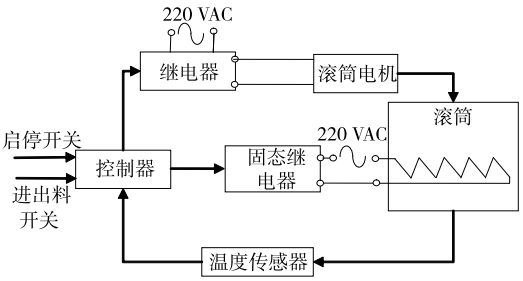


图 2 炒货机自动加热框图

Figure 2 Block diagram of automatic heating of roasting machine

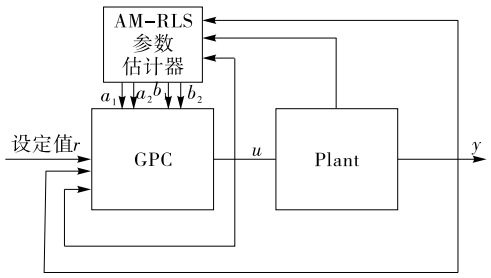


图 3 广义预测控制器结构图

Figure 3 Chart of generalized predictive controller

广义预测控制采用多步骤预测的方式,重点关注最小预测步长 N_1、最大预测步长 N_2、控制时域 Nu、当延迟时间 d、控制加权 Γ、柔化系数 λ 等参数[6]。

实施步骤:

第 1 步:算法初始化,确定 N_1、N_2、Nu、d、Γ、λ 等参数。

第 2 步:利用最小二乘法来估计被控对象的参数。

第 3 步:求解 Diphantine 方程。

第 4 步:通过推导广义预测控制模型得到控制增量 $\Delta u(k)$。

第 5 步:令迭代步长 $k = k + 1$,更新采样变化量 $\Delta y(k)$,$\Delta u(k)$和采样量 $y(k)$,转向第 2 步。

采用这种控制方法可以达到精确控温的目的。

3 关键部件的设计

3.1 翻炒螺旋页的设计

由于螺旋页的设计关系到进料出料的速度,也关系到坚果和金刚砂的区分水平。进料的速度过慢会造成物料外泄,过快又会导致物料积聚最内仓不能均匀加热。坚果和金刚砂区分不清,坚果中如夹带杂物会影响到商铺的信誉度。因此,螺旋页设计是本结构的关键。解决的方法是在螺旋页上增加过滤装置,见图 4。

如图 5 所示,设空间坐标系滚筒轴心为 x 轴,以垂直 x 轴中点的水平方向为 y 轴,以过 x 轴、y 轴交叉点的竖直方向为 z 轴。螺旋页安装在滚筒内部,共有 6 个,分为两组,即内组和外组。内组和外组同时安装在滚筒内部,区别是滚筒沿 z 轴线对称,且在 x 轴有 30°的相位差。图 5 中的 A 和 B

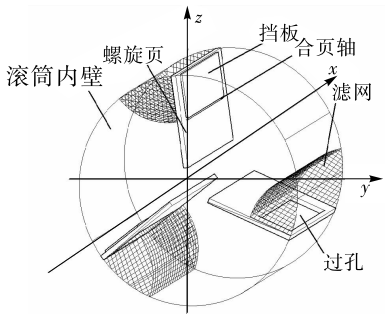


图 4　螺旋页位置示意图

Figure 4　Diagram of spiral page

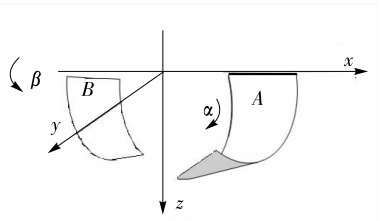


图 5　螺旋页形状示意图

Figure 5　Schematic shape of spiral page

分别是内组和外组的螺旋页。当滚筒转动时,内组的螺旋页与外组的螺旋页相互配合,完成被炒物的翻炒工序,滚筒每转一周,相当于翻炒 6 次。两者带起的物料在滑落时交替溶搅,使得先进入和后进入的坚果反复混合,达到生熟一致的目的。因此,对安装有严格的要求,具体是:每组 3 个,呈 120°三角形对称安装,使之均匀分布在滚筒内壁。安装翻炒螺旋片的角度也有要求。螺旋页滚筒轴线 α,呈 30°～60°安装,两组之间叶片相位相对角度为 β,呈 60°安装,这样安装的目的是使每个同组之间的相位差为 120°,而与相邻组相邻两个叶片之间的相位差都是 60°。当坚果投送时,使之能够快速将坚果推入滚筒中,烘炒完成后又不至送出过快,将坚果洒落到导料槽外。

3.2　过滤网的设计

由于金刚砂具备良好的导热和热稳定性,如作为被加热坚果的导热器,能填补坚果之间的空隙,使得坚果受热均匀,整体生熟度一致。金刚砂的耐腐蚀、耐高温、强度大、抗冲击等特性,不会对坚果构成污染,是理想的辅助材料。但由于金刚砂颗粒小,混杂在坚果中会影响其品质,传统的方法是采用人工过筛分离,费时费力,同时,过筛分离需要将混合物品一起带出,使得能耗增加,生产率下降。如果在滚筒内部增加分离功能,无疑会解决上述提到的问题。如在外组的螺旋页的叶片上开一个过孔,过孔外面罩上一层滤网,让金刚砂可以通过,坚果无法通过可以解决上述问题。但是这样每次分离,会减少金刚砂与坚果的接触时间,降低效率。而在螺旋页的背面增加一个可以转动的合页,合页下面挂一个挡板,在翻炒时,挡板在螺旋页的上方,且挡板截面大于过孔面积,坚果和金刚砂不会通过过孔。当坚果炒熟时,螺旋页反转,挡板在螺旋页的下面,挡板在合页连接下自然下垂,金刚砂经过滤网、过孔,重新滑落到滚筒的堂内。由于金刚砂不外出,热量不会损失,可以快速对新送进的坚果加热,提高了效率,减少加工时间。

3.3　电机及传动装置

为了使炒货机能更安全地工作,本设计采用的滚筒动力源电机为交流电机,它的额定电压为 220 V,传动装置采用涡轮传动装置。电机的动力输出通过联轴器与涡轮输入轴相连接。联轴器的作用:① 传动;② 当筒内阻力过大时,联轴器断开,防止电机和内部机械机构损坏。涡轮蜗杆减速机采用 RV050 交流微型电机专用变速机。电机功率为 180 W,传动比为 14∶1。

4　自动炒货机试验

4.1　试验材料

炒货机实物见图 6。试验材料为北京某农贸市场采购的板栗。板栗按颗粒大小进行分级,分别取直径约为 10～15,16～20,21～25 mm 的板栗作为烘炒试验对象。为了验证自动炒货机的有效性,所筛选的板栗在试验之前需进行保湿处理。

图 6　炒货机实物图

Figure 6　Physical map of the roasting machine

4.2　试验方法

各取 30 kg 板栗进行烘炒试验,分别统计板栗的炒制时间、耗电量、火候和整体一致性,得出机器的整体性能指标。试验前先将机器内的金刚砂加热到 300 ℃,其它机械部件调整到最佳状态。

(1) 炒制时间:以板栗投放到滚筒开始到炒制完成,自动炒货机将板栗输出完毕作为计时时间,单位 min;

(2) 耗电量:以板栗投放到滚筒开始到炒制完成,自动炒货机将板栗输出完毕作为耗电统计时间,单位 kW·h;

(3) 火候:板栗炒制的时间对板栗的味道影响较大,火候过小,板栗味道生硬且外壳不易剥开;火候过大,板栗外壳容易爆开,爆开的缝隙容易钻进沙土影响口感。

(4) 整体一致性:同一炒锅出来的炒货火候是否一致,反应内部翻炒的有效性,是否存在死角,改进方法包括增减螺旋页数量或者更改倾斜角度。

(5) 自动分离:板栗出锅后,对出锅的板栗进行检查,是否有金刚砂掺杂;同时对滚筒内的金刚砂进行检查,是否有板栗掺杂。

4.3　试验结果

表 1 为本试验机试验参数结果。

(下转第 92 页)

现场变化曲线图表观察数据变化，为自动控制煮糖过程提供依据；这些数据都是进一步转存到嵌入式数据库 SQLite 中的，以便数据的统计和管理，为日后数据的统计分析提供可靠依据，如计算每罐糖的功能效率、单位出糖率、用水用料情况等。另外，系统还提供了数据浏览方式查看监测值的变化过程，为数据的智能处理与智能控制提供数据保障。该系统除了可以对传感器数据实时采集显示以外，还可以实现工业现场的手动和自动的控制，但是具体的阀值要通过多次的实际测试之后方可得到最佳值，系统控制界面见图 8。

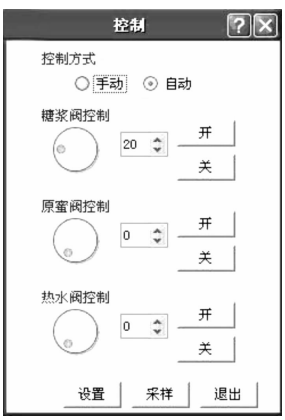


图 8 实时控制系统界面

Figure 8 System interface of real-time controlling

通过现场的多次测试，可以通过设置阀值的方式实现自动控制，也可以和原有的人工煮糖控制的方式对比后进行人为干预。通过测试表明蔗糖结晶过程节点控制系统操作简单，运行稳定可靠，基本可以满足自动煮糖的要求。

5 结论

在原有生产设备基础上，以微波技术为基础，采用嵌入式微处理器和 ZigBee 无线传感器，结合嵌入式操作系统设计一套可靠、节能智能化煮糖在线检测与控制系统。对该系统的有效性测试，表明采用嵌入式处理器为主控平台，在提高处理速度的同时，可以使系统更趋小型化，节约能耗，降低成本，也更适合工业现场环境；采用 ZigBee 技术可以让蔗糖自动化生产设备能在环境恶劣、干扰严重的制炼车间可靠运行，为数据的传输提供可靠的保障；开发基于嵌入式 ZigBee 节点的自动煮糖控制系统，实现了蔗糖结晶过程的自动控制，降低了成本，增加了糖的产量，提高了糖的质量，可使企业在与国外同行的竞争中处于优势地位。

参考文献

[1] 沈参秋. 甘蔗制糖原理与技术：第四分册 蔗汁结晶[M]. 北京：中国轻工业出版社，2001：32-87.

[2] MARTINS P M，ROCHA F. New developments on size-dependent growth applied to the crystallization of sucrose[J]. Surface Science，2007，601(23)：5 466-5 472.

[3] 叶权胜，徐宁，陈骏佳，等. 双参数自动煮糖控制系统的研制[J]. 甘蔗糖业，2013(3)：40-45.

[4] 蒙艳玫，何海平，卢福宁，等. 煮糖过程糖液过饱和度在线软测量系统的研究[J]. 广西大学学报：自然科学版，2013，38(2)：241-249.

[5] 陈佳权，穆星宇，廖子夙，等. 微波辅助提取甘蔗糖分的工艺研究[J]. 食品与机械，2008，24(5)：57-59.

[6] 姜仲，刘丹. ZigBee 技术与实训教程：基于 CC2530 的无线传感网技术[M]. 北京：清华大学出版社，2014：87-143.

[7] 王敦锋，朱名日，庾志衡. 基于 ARM-Linux 和 ZigBee 的自动煮糖数据采集系统[J]. 仪表技术与传感器，2011(1)：45-48.

[8] 朱名日，朱莹，杜云松. 蔗汁晶化过饱和度微波感应在线检测方法和检测器：中国，200710049234.5[P]. 2007-10-24.

[9] 潘泽锴，朱名日，张振升. 基于 ARM9 的蔗糖结晶图像采集系统设计[J]. 计算机系统应用，2010，19(7)：15-20.

[10] 覃贵礼，潘泽锴，王敦锋. 嵌入式数据库 SQLite 在自动煮糖控制系统中的研究与应用[J]. 柳州师专学报，2013，28(1)：115-118.

(上接第 88 页)

表 1 自动炒货机试验参数表

Table 1 Test parameters of the automatic raoasting machine

板栗直径/mm	炒制时间/min	耗电量/(kW·h)	火候	一致性	自动分离	空气污染
10～15	21	1.44	合适	均匀	无掺杂	很小
16～20	23	1.61	合适	均匀	无掺杂	很小
21～25	25	1.72	合适	均匀	无掺杂	很小

由表 1 可知，自动炒货机在自动控制、能源损耗、加工时间等指标与文献[7](耗电 2 kW·h，加工时间 30～40 min)对比，有一定的优势。尤其在智能化方面采用广义预测控制方法，使得温度控制更加有保障，确保了干果炒制火候。

参考文献

[1] 刘义德. 滚筒式炒货机：中国，982426380[P]. 2000-02-02.

[2] 王德章. 电加热自动分离式滚筒炒货机：中国，2011200894222[P]. 2011-09-14.

[3] 陈韦纲，陈香君，陈香伊，等. 全自动多功能炒货机：中国 20122046163 58[P]. 2013-06-12.

[4] CANNON M，KOUVARITAKIS B，NG D. Probabilistic tubes in linear stochastic model predictive control[J]. Systems & ControlLetters，2009，58(10)：747-753.

[5] PRIMBS J A，SUNG C H. Stochastic receding horizon control of constrained linear systems with state and control multiplicative noise[J]. IEEE Transactions on Automatic Control，2009，54(2)：221-230.

[6] 邓丽，黄炎，费敏锐，等. 改进的广义预测控制及其在温度系统中的应用[J]. 仪器仪表学报，2014，35(5)：1 057-1 064.

[7] 自动炒货机[EB/OL]. [2016-06-08]. http://baike.baidu.com/link?url = gRsU-wrzzgymUyoKu89kCpm TeKYI4ujEEWnbujiohxxsrN-3gAWBqpW-oIwC3Nbm5yN6OXcbgoI6SHS_K7XbD_.