

坚果破壳取仁与包装生产线控制系统设计

曹成茂, 孙燕, 吴敏, 李泽泽
(安徽农业大学, 合肥 230036)

摘要: **目的** 通过改变山核桃的加工工序, 优化系统结构和控制, 保证果仁的完整性, 降低损伤率。**方法** 系统采用 PLC 为控制核心元件, 以及智能化控制系统软件设计, 实现山核桃的初次破壳、筛选、风选、二次高速碰撞破壳, 以及再次筛选、风选、色选和包装等工序的全程自动控制。通过采用变速给料和合适的算法, 来提高包装的精度。**结果** 损伤率实验表明, 山核桃整仁中果仁表面光亮、无明显伤痕、团仁较多, 果仁平均损伤率为 6.25%, 低果仁损伤率低, 系统的破壳质量得到了验证。**结论** 损伤率实验和包装精度实验结果表明, 系统达到了设计要求。目前, 该系统已在生产上得到广泛应用。

关键词: 山核桃; 损伤率; PLC; 生产线; 包装机; 包装精度

中图分类号: TB486; TP278 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)21-0017-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.004

Design of Control System of Production Line of Nut Shell Cracking and Packaging

CAO Cheng-mao, SUN Yan, WU Min, LI Ze-ze
(Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

ABSTRACT: The work aims to guarantee the integrity of pecan kernel and reduce the damage rate by changing the processing procedure of pecan and optimizing the system structure and control. With PLC as the control core component and based on the intelligent control system software design, the system realized the automatic control of the whole process of primary pecan shell cracking, screening, winnowing, secondary high-speed impact shell cracking, re-screening, winnowing, color selection and packaging. Through the variable-speed feeding and the appropriate algorithm, the packaging accuracy was improved. The damage rate test indicated that, in the perfect pecan kernels, the kernel surface was bright and free from obvious scars, and most of them were round. The average damage rate of the kernel was 6.25%. The kernel damage rate was low. The shell cracking quality of the system was verified. The damage rate test and packaging accuracy experiment results show that, the system meets the design requirements. At present, the system has been widely applied in production.

KEY WORDS: pecan; damage rate; PLC; production line; packaging machine; packaging precision

山核桃是胡桃科植物, 主要分布于安徽与浙江交界的天目山区一带, 体积是一般核桃的 1/3~1/2, 但其营养价值和经济价值比一般的核桃高^[1-3]。由于山核桃具有极高的营养价值, 因而深受消费者的喜爱, 山核桃破壳取仁自动化为其深加工中十分重要的环节^[4-6]。以前山核桃破壳取仁均采用单一的机械式操作, 果仁损伤率高, 直接影响了果仁的销售价格, 因此在破壳的同时保证果仁的完整性就显得更为重要。为了降低果仁损伤率, 除了采用改进优化破壳机械结

构^[7-8]、加载力方式^[9-11]等方法外, 改变山核桃的加工工序也很有效^[12-15]。为了在破壳的同时, 保证果仁的完整性, 笔者课题组拟采用分步破壳的生产线来实现, 采用多次破壳, 即初次破壳完成后, 进行筛选分离, 对 1/2 破壳、1/3 破壳等各式各样破壳效果不理想的山核桃进行再次破壳筛选分离。

智能包装作为最有发展潜力的包装技术之一, 融合了各种新型包装技术, 使更多的智能化元素应用于食品包装中, 以便达到方便贮存和物流、延长食品的

收稿日期: 2018-09-10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (51475002)

作者简介: 曹成茂 (1964—), 男, 安徽农业大学教授、博导, 主要研究方向为农业机械化工、智能检测与控制技术。

货架期和保持食品风味品质等功能,最大限度地为食品安全提供保障,为消费者提供更便捷的服务^[16]。文中设计就是基于控制核心元件 PLC、智能化控制系统软件设计的智能控制系统。

1 山核桃破壳与包装自动化生产线的控制要求

1.1 破壳与包装生产线的工艺流程

破壳与包装生产线的工艺流程见图 1。

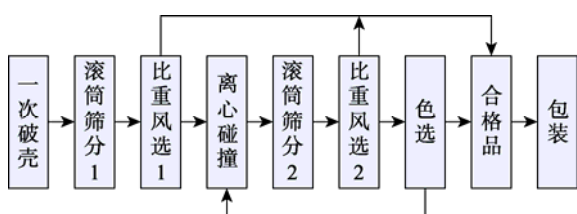


图 1 山核桃加工自动生产线的工序框图
Fig.1 Process diagram of automatic production line of pecan processing

为了最大程度地减少损伤,采用不同的破壳原理分次破壳、多次分选的工艺流程。首先将投入破壳机前的山核桃在震动筛上进行分选,将干瘪、偏小的山核桃剔除,而后投入自动生产线上进行加工。生产线的第 1 道工序是设计采用多点加载力锤头的破壳机进行初次破壳^[10],由于破壳时受多点加载力锤头的冲击,致使核桃壳表面产生了大量裂纹。这样有大量裂纹的核桃通过滚筒筛分机,在震动和滚动下致使壳仁

分离,通过滚筒筛分机的不同孔径对初次破壳的山核桃物料进行大小分级。分级后的物料顺次进入风选机进行比重风选,风选出壳、仁,以及未能很好破壳的核桃(初次破壳由于有的核桃在垂头位置,有半个或者大半个未受到很好的冲击),符合标准的核桃仁进入包装环节,其余的物料送入高速离心低损伤碰撞机,在高速下与离心碰撞机外圆壁撞击进行二次破壳。二次破壳后的物料再次通过滚筒筛分机筛分和风选机风选,再经过色选,合格品进入包装机包装,将破壳不充分的物料再次投入高速离心碰撞机撞击,进入二次循环。实践证明,这样的生产工序有效地提高了生产效率,减少了核桃仁的损伤机率。

1.2 破壳与包装生产线的系统控制方案

根据破壳与包装生产线工艺流程的要求,设计以 PLC 为整个控制系统的核心单元,主要通过采集各种开关(按钮、继电器)和触摸屏等信号的输入,以及输出模块输出的信号去控制交流接触器、继电器、电动机和变频器等硬件,从而执行各生产流程环节的操作。触摸屏主要用来进行生产过程中相关工艺参数的设置、运行状态的显示,以及报警信息的读取。在高速离心低损伤碰撞机破壳分离机和风选机壳仁分离机上安装传感器,PLC 采集该模拟量信号,通过 PLC 中的 PID 调节功能,输出信号调节滚筒筛分机、风选机和高速离心破壳分离机的转速,将信号通过传感器反馈回输入模块,以改变各机械模块的运动状态。该系统硬件结构见图 2。

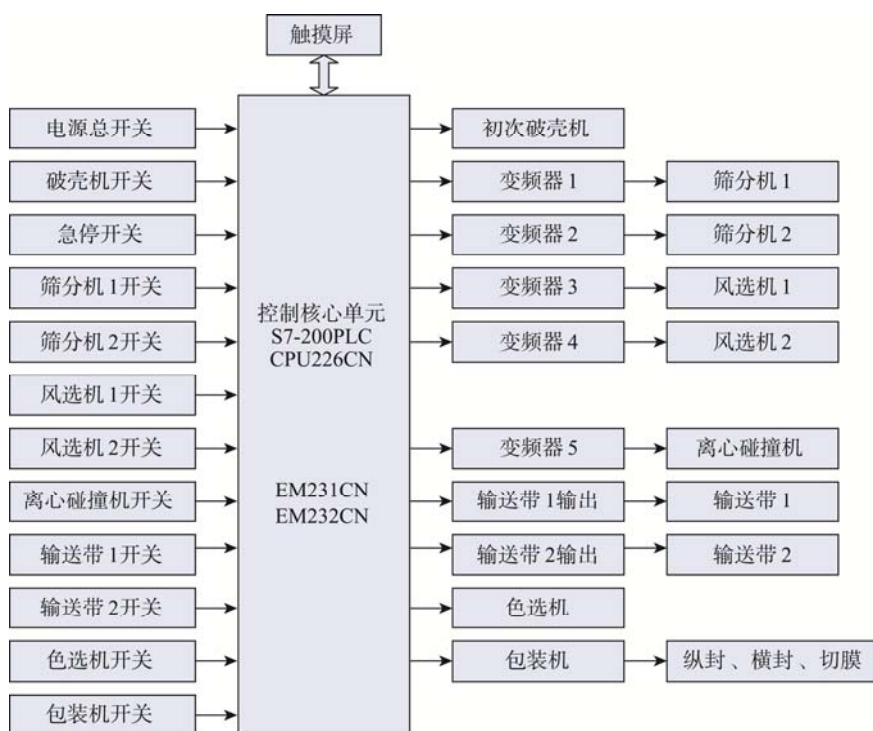


图 2 山核桃破壳自动化生产线控制系统结构
Fig.2 Structure of automatic production line control system of pecan shell cracking

在该生产线的控制方案中，主要通过控制中心 PLC 和模拟量模块的配合来实现对各执行机构的控制，而在整个山核桃破壳生产线中，核桃破壳、滚筒筛分机分选、比重风选、高速离心低损伤碰撞分离是其中的重点环节，这些环节直接影响着整个系统的破壳质量。由此，该控制系统对滚筒筛分机、比重风选机、高速离心低损伤碰撞机采用变频器控制，固定在滚筒筛分机、低损伤离心破壳分离机及风选式壳仁分离机上的传感器，通过变送器连接模拟量输入模块，实现 A/D 转换输出 0~10 V 的电压信号到 PLC 中。模拟电压从 0~10 V 变化，对应变频器从 0~50 Hz 变化，对应电动机转速从 0~1500 r/min 变化。此时通过改变变频器输入端口的电压，可平滑无级地调节其电机的转速大小及风选机的风速，从而保证筛分机、风选机、碰撞破壳机运行稳定，且破壳效果良好，实现对 2 个循环线的实时控制^[13]。

在山核桃破壳生产线开始动作，且进行破壳取仁加工生产前，应先保证生产线中各破壳生产参数已设定完成，并且保证各机械设备处于正常工作状态。同时，在控制系统研究方案中，设置了生产线的 2 个停止按钮。考虑到机械实际加工生产的需要，一个停止按钮用来在设备调度存在惯性和滞后时，可及时切断各个设备的传动部分，以保证生产线的有序及通畅；另外一个主要控制生产线的总停止，按下后所有设备停止工作。此外，还在生产线中设置了控制如山核桃破壳机、二次低损伤离心破壳分离机、风选机、色选机单机运行/停止的按钮。控制系统电路图详见文献[13]。

1.3 包装机控制系统精度分析控制设计

1.3.1 立式自动包装机工作原理

该系统采用立式包装机，包装机的工作原理见图 3。

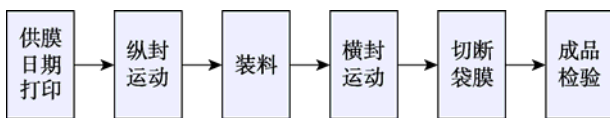


图 3 包装机原理

Fig.3 Block diagram of packaging machine principle

该包装机拥有日期打印、纵封、装料、横封、切断等功能，其工作原理是将包装材料按照预先设计的要求安装好后，材料由走袋电动机带动同步带轮拉动 2 组同步带将包装材料往下牵引。当材料通过打印设备时，便可自动打印设定好的日期。拉膜装置内侧为高弹力橡胶，可以通过增加与薄膜的摩擦带动包装材料向下运动^[17]。在包装过程中，未完成入袋的空中料柱和系统延时会造成最终入袋的物料量大于实际设定需要的物料量，为了提高包装物的精度，必须考虑未完成入袋的空中料柱物料的质量，否则会大大影响

包装精度。系统延时和空中料柱两者产生的误差多少取决于系统延时的时间和空中料柱的质量。

1.3.2 包装机控制精度分析

包装机的包装秤工作中的加料速度对包装秤的加料精度有着很重要的影响，不同的加料速度对加料精度影响相差很大^[15]。为了提高包装精度，采用变速加料方式，即高速、中速、慢速（或缓速加料）等 3 个阶段。加料时速度越高，对包装物的冲击越大，反之加料速度越低，对包装物的冲击越小，加料精度相对较高。加料速度和加料时间对称量误差的影响见图 4，图 4 中 v_b 、 v_c 为加料速度。

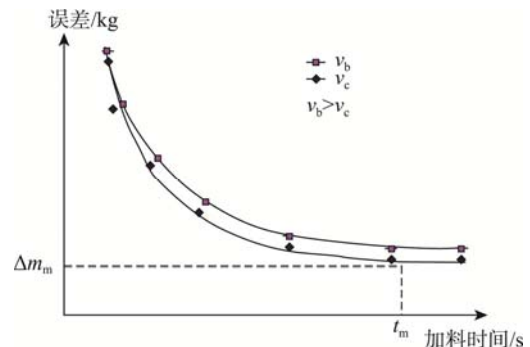


图 4 加料速度和加料时间对称量误差的影响

Fig.4 Influence of feeding speed and feeding time on weighing error

从图 4 得知，当加料速度一定时，加料时间对加料精度也有很大的影响。因为刚开始加料时振动较大，随着加料时间的增加，振动趋于稳定状态，此时称量误差相对较小。

1.3.3 包装秤的加料过程

加料和称量是包装秤的 2 个重要环节，为了提高包装称量的精度，可以采用变速给料方式，加料控制流程图见图 5。控制系统先判定是否开始加料，若是则

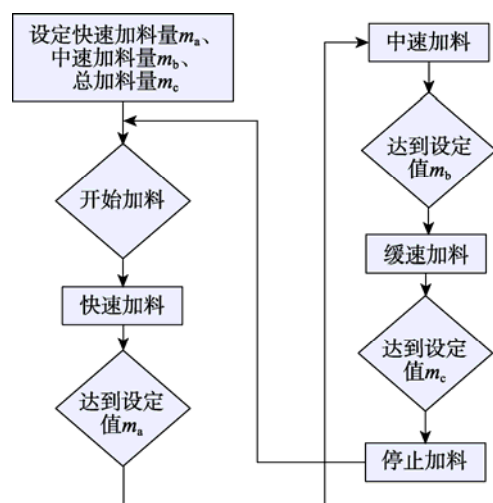


图 5 加料控制流程

Fig.5 Flow chart of feeding control

进入快速加料过程,高速(粗加料)、中速(中加料)、慢速或缓速(精加料)加料,加料时称量传感器实时输出信号给 PLC,PLC 控制器判定其是否达到设定的高速加料量 m_a 。当达到 m_a 时,进入中速加料过程,同时称量传感器实时输出信号给 PLC。当达到设定的中速加料量 m_b 时,则进入慢速或缓速加料阶段,这一阶段又称为精加料阶段。若未达到设定的总加料量 m_c 时,继续进行精加料过程,同时根据预测空中料柱的质量(预测算法详见文献[15])决策是否停止加料,实现循环快速加料的称量过程^[18]。

2 试验结果

2.1 果仁损伤率的测算

按照果仁的完整程度及大小分为 3 类:大于整个核桃仁 1/2 的;小于整个核桃仁 1/2 但大于 1/4 的;小于整个核桃仁 1/4 的,为碎仁。

按照加工的实际要求,1 个整核桃仁有 4 瓣,在生产时取每瓣为 1 个的加工单位,即整仁(整个核桃仁称为团仁)。此处,一类仁与二类仁均符合整仁的要求,归类为不损伤果仁,碎仁归类为损伤果仁。果仁损伤率的计算见式(1)。

$$\text{果仁损伤率} = \frac{\text{损伤果仁总质量}}{\text{山核桃果仁总质量}} \times 100\% \quad (1)$$

实验得出果仁损伤情况见表 1^[7]。

表 1 果仁损伤情况试验数据
Tab.1 Test data of nuts damage rate

测量组别	山核桃仁的总质量/g	整仁		碎仁质量/g	果仁损伤率/%
		一类仁质量/g	二类仁质量/g		
1	1682	498	1087	97	5.77
2	1614	511	990	113	7.00
3	1779	549	1123	107	6.01
平均	1691.7	519.3	1066.7	105.7	6.25

由表 1 的分析数据可知,果仁平均损伤率为 6.25%,在合理允许范围之内。在山核桃整仁中,果仁表面光亮,无明显伤痕,团仁较多,低果仁损伤率较低,达到了设计指标,系统的破壳质量得到了验证。

2.2 包装精度的实验

采用的实验测试比对对象为标准砝码。将砝码放在称量机构的测量盘上,待测量读数稳定后记录结果。经过实验测量,从测量数据中每组挑选 5 个,测量数据见表 2^[15]。

从表 2 可知,经过合适算法处理后,称量模块在 0~70 g 之内都有很好的测量精确度。

表 2 测量实验数据
Tab.2 Measuring experimental data g

砝码质量	质量 1	质量 2	质量 3	质量 4	质量 5	平均质量
0	-0.125	-0.075	0.037	0.025	0.56	0.082
5	4.84	5.03	5.02	5.14	4.96	4.997
10	9.94	10.01	9.99	9.94	9.99	9.979
15	15.01	14.95	15.05	15.17	15.03	15.045
20	20.01	20.01	20.11	20.18	20.06	20.077
30	29.99	30.14	30.26	30.08	30.29	30.150
40	40.00	40.07	40.10	40.18	40.26	40.122
50	50.07	50.11	50.31	50.47	50.28	50.255
70	70.32	70.61	70.45	70.62	70.72	70.554

3 结语

山核桃在破壳取仁时,如何保证果仁的完整性极为重要,否则果仁的损伤会降低其经济价值。通过改变山核桃的加工工序,优化破壳机、滚筒分离机、分选机以及高速离心碰撞破壳机的结构和控制系统,可以保证果仁的完整性,降低损伤率。将工序由原来的一次破壳工序,改为多次破壳、多次循环的破壳工序,并采用 PLC 的控制优势,提高了山核桃破壳机械加工的自动化水平,有效保障了山核桃破壳取仁的整仁率及低损伤率,实现了破壳取仁到包装封袋的完美衔接,节省了大量的人工成本,解放了劳动力。该项研究成果可为坚果类果实的破壳提供参考依据,并为山核桃加工自动化提供了有效的技术支撑。

参考文献:

- [1] 赵超山. 核桃破壳力学分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(9): 123—127.
ZHAO Chao-shan. Mechanical Analysis of Cracking Hickory[J]. Journal of Southwest University(Natural Science Edition), 2012, 34(9): 123—127.
- [2] 陈向明, 徐涛, 查甫本. 山核桃外果皮黄酮提取与纯化[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 177—181.
CHEN Xiang-ming, XU Tao, ZHA Fu-ben. Extraction and Purification of Flavone in *C. Cathayensis Exocarp*[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 177—181.
- [3] 薛波. 大别山山核桃品种类型及其品质的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
XUE Bo. Study on Biotypes and Nuts Quality of *Carya dabieshanensis*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2013.
- [4] SHARIFIAN F, DERAFSHI M H. Mechanical Behavior of Walnut under Cracking Conditions[J]. Journal of Applied Sciences, 2008, 8(5): 886—890.

- [5] SEZAI E, MAZHAR K, ISMAIL O, et al. Comparison of some Physico-mechanical Nut and Kernel Properties of Two Walnut(*Juglans Regia* L) Cultivars[J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- napoca*, 2011, 39(2): 227—231.
- [6] RAGAB K, PAN Zhong-li, GRIFFITHS G A, et al. Size and Moisture Distribution Characteristics of Walnuts and Their Components[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2011(11): 11—15.
- [7] 丁冉, 曹成茂, 詹超, 等. 仿生敲击式山核桃破壳机的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(3): 257—264.
DING Ran, CAO Cheng-mao, ZHAN Chao, et al. Design and Experiment of Bionic-impact Type Pecan Shell Breaker[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2017, 33(3): 257—264.
- [8] 蒋兰, 曹成茂, 谢承健, 等. 山核桃破壳机敲击臂凸轮机构的设计与试验[J]. *机械设计*, 2018, 35(6): 54—59.
JIANG Lan, CAO Cheng-mao, XIE Cheng-jian, et al. Design and Test on Cam Mechanism of Striking-arm for Pecan Shell Breaker[J]. *Journal of Machine Design*, 2018, 35(6): 54—59.
- [9] 孙偲, 曹成茂, 姜帅帅, 等. 山核桃破壳力学性能试验[J]. *安徽农业大学学报*, 2016, 43(2): 331—336.
SUN Si, CAO Cheng-mao, LOU Shuai-shuai, et al. A Test of Breaking Mechanical Properties of Pecan Shell[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2016, 43(2): 331—336.
- [10] 曹成茂, 蒋兰, 吴崇友, 等. 山核桃破壳机加载锤头设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(10): 307—315.
CAO Cheng-mao, JIANG Lan, WU Chong-you, et al. Design and Test on Hammerhead of Pecan Shell-breaking Machine[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(10): 307—315.
- [11] 闫茹, 高警, 郑甲红, 等. 基于 Workbench 的核桃破壳力学特性分析[J]. *农机化研究*, 2014, 36(10): 38—41.
YAN Ru, GAO Jing, ZHENG Jia-hong, et al. Analysis of Mechanical Properties of Walnut Shell Based on Workbench[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2014, 36(10): 38—41.
- [12] 刘明政. 核桃剪切挤压柔性破壳取仁的机理分析与实验研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2015.
LIU Ming-zheng. Mechanization Analysis and Experimentation Research of Walnut Shearing-extrusion Flexible Shell-crushing[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2015.
- [13] 李泽泽, 曹成茂. 山核桃破壳及包装自动化生产线控制系统的设计[J]. *包装工程*, 2017, 38(3): 140—146.
LI Ze-ze, CAO Cheng-mao. Design of Control System of Automatic Production Line of Pecan Shell Cracking and Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(3): 140—146.
- [14] 胡汪洋, 曹成茂, 吴正敏, 等. 小袋山核桃仁包装机袋膜纠偏模糊控制系统设计[J]. *包装工程*, 2017, 33(8): 59—65.
HU Wang-yang, CAO Cheng-mao, WU Zheng-ming, et al. Design of the Rectifying Fuzzy Control System of the Bag Film of Pouch Pecan Kernel Packaging Machine[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 33(8): 59—65.
- [15] 孙惠琳, 曹成茂. DB 8320 型立式包装机称重控制系统的研究与改进[J]. *农机化研究*, 2016(7): 142—151.
SUN Hui-lin, CAO Cheng-mao. Research and Improvement of DB8320 Packaging Machine Weighing Control System[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016(7): 142—151.
- [16] 王艳娟, 王桂英, 王艺萌. 食品类智能包装技术研究进展[J]. *包装工程*, 2018, 39(11): 6—12.
WANG Yan-juan, WANG Gui-ying, WANG Yi-meng. Research Progress of Food Intelligent Packaging Technology[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(11): 6—12.
- [17] 胡伟. 基于 PLC 的 BL300 型立式食品包装机控制系统设计[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2015.
HU Wei. The Design of Control System of BL300 Vertical Food Packing Machine Based on PLC[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2015.
- [18] 孙惠琳. 包装秤控制系统的研究与改进[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
SUN Hui-lin. Research and Improvement of Packing Scale Control System[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.