

橡胶果碾搓式脱壳试验机设计

Design of extrusion-grind rubber fruit test sheller

范海燕 王涛 吴迪 何晓帆

FAN Hai-yan WANG Tao WU Di HE Xiao-fan

(海南大学机电工程学院, 海南 海口 570228)

(Institute of Electrical and Mechanical Engineering, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

摘要: 试验机装置主要由驱动传动、碾搓单元、控制电机自动正反转的电器元件、机架等组成。采用往复式摩擦、挤压的原理使橡胶果在摩擦力和挤压力的双重作用下实现壳仁分离。试验结果表明: 该机工作性能良好, 操作简便, 脱壳率可达到 78.3%, 可进行橡胶果脱壳效果试验和破壳机理的研究。该装置可为研制高效率低损伤的橡胶果脱壳机提供技术基础。

关键词: 橡胶果; 脱壳装置; 碾搓

Abstract: A test sheller for rubber fruit was designed and manufactured according to the principle of extrusion-grind, and it consisted of units of driving and extrusion-grind, the electrical elements for realizing automatic clockwise and anti-clockwise running of motors, and the frame, etc. Adopting the principle of reciprocating friction and extrusion, the fruit shells were separated under the dual of friction and extrusion pressure. Our results showed that the device could perform well and was, easy to operate, especially, the hulling rate could reach 78.3% by using it. Thus this sheller could be utilized in researches on effects and the mechanism of rubber fruit shelling. The device provides the technological base for the research of high efficiency and low damage rubber fruit sheller.

Keywords: rubber fruit; shelling device; extrusion-grind

橡胶树广泛种植于海南、广东、广西、福建、云南和台湾^[1]。橡胶果为橡胶树的果实, 属坚果类, 呈卵圆形, 壳硬且圆滑, 褐色并带有银灰色斑纹, 是天然橡胶种植业的副产品之一^[2]。其果仁压榨取油后的饼粕中粗蛋白含量可达 25%~30%, 是一种高品质饲料蛋白源。此外, Ramadhas 等^[3]还发现橡胶果中的油与柴油机混合后可形成一种新的内燃机燃料, 对燃料短缺问题的解决有所帮助。K. N. Unni

等^[4]发现廉价的橡胶籽粉可以有效地用于生产一种昂贵的脂肪酶, 其效果超过椰子与花生仁。中国橡胶果资源来源广泛且价格低廉, 为充分利用橡胶果作为农副产品的价值, 对其进行高效脱壳便是挖掘其价值的关键一步。

常见的坚果机械脱壳方法包括撞击法、搓擦法、剪切法、碾搓法等。国内外学者曾运用这些方法设计过许多坚果脱壳机械。如唐湘等^[5]采用撞击、搓擦原理设计出油茶果脱壳机, 该机运用立式甩盘对油茶果进行撞击, 使其果壳破裂, 然后使用脱壳室内齿圈对果子进行搓擦脱壳; 但由于立式甩盘对油茶果的撞击力较大, 油茶果果仁破损率也较高。Bundit Jarimopas 等^[6]设计了一种槟榔剥壳机械, 该机包含有上下并联的两个脱壳辊子机构, 当坚果通过第一个脱壳辊子机构的时候, 坚果壳破裂; 通过第二个脱壳辊子机构果壳和果实进一步分离。试验表明此机可以达到较好的分离效果, 但是当槟榔的含水率大于 6.31% 时脱壳效果不佳。朱立学等^[7]曾定义碾搓法是通过物料子粒在运动磨片和固定磨片之间受到强烈的碾搓作用, 使子粒的外壳被撕裂而脱壳的方法。并设计一款碾搓式银杏脱壳机, 其碾搓部分由传动装置带动的动碾搓盘和固定的定碾搓盘组成。试验表明其脱壳效果较好, 整仁率高。刘平等^[8]曾设计一种碾搓式葵花籽脱壳机, 碾搓部分由转动的齿辊和固定的齿板构成, 试验表明经此装置脱壳后坚果整仁率较高。但由于碾搓间隙不能连续调整而无法对所有尺寸的葵花籽进行脱壳。

综上所述, 国内外对坚果脱壳机械的研究多采用碾搓原理, 但是缺乏对碾搓式脱壳过程及破壳机理的试验研究, 尤其缺少针对橡胶果的碾搓式脱壳机理的讨论。本研究拟设计一种碾搓式橡胶果单体脱壳试验机, 该装置可用于研究摩擦板面材料、挤压压力和摩擦速度等因素对其脱壳效率的影响。

1 试验机的组成与工作原理

1.1 试验机的结构

橡胶果脱壳试验机的总体结构见图 1。其电机驱动齿轮

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 51465015)

作者简介: 范海燕, 女, 海南大学在读本科生。

通信作者: 王涛(1980—), 男, 海南大学副教授, 硕士。

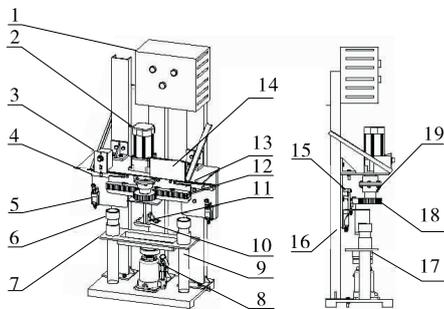
E-mail: gxdxyjs@163.com

收稿日期: 2016—10—31

齿条机构,使安装于齿条座 13 上的摩擦板 10 做直线运动,通过行程开关 5、接触器等元件可控制摩擦板 10 自动进行左右往复直线运动,使得摩擦板 10 可以对放置于摩擦槽 7 中的橡胶果进行碾搓。

碾搓单元由摩擦板 10 和摩擦槽 7 组成。摩擦板 10 通过两个角码 11 固定在齿条座 13 上,使得摩擦板 10 可以较容易地被拆卸,方便后续试验对摩擦板面材料的更换。液压千斤顶 8 顶在与摩擦槽 7 连接的压力传感器 17 上。显示器 14 用于显示千斤顶 8 对摩擦槽 7 施加的压力数值。电机 2 配有带指示数值的调速器 3,可对电机 2 转速进行调节。配电箱 1 中则安装有接触器、空气开关等控制元件。

机架 16 包括三根与底板螺栓连接的槽钢和焊接在底板上的两根摩擦槽导柱 9 以及支撑电机的电机架板。摩擦槽导柱 9 主要用于限制摩擦槽的自由度,使其仅能够沿竖直方向运动。该导柱可保证在摩擦过程中摩擦板 10 不发生倾斜,使得摩擦板 10 对橡胶果壳施加的力更加均匀。



1. 配电箱 2. 单相电机 3. 电机调速器 4. 导轨 5. 行程开关 6. 止推环 7. 摩擦槽 8. 液压千斤顶 9. 摩擦槽导柱 10. 摩擦板 11. 角码 12. 齿条 13. 齿条座 14. 压力数值显示器 15. 滑块 16. 机架 17. 压力传感器 18. 齿轮 19. 凸缘联轴器

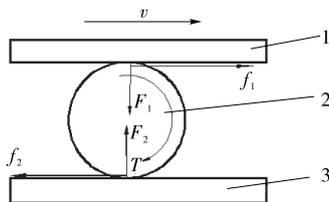
图 1 橡胶果脱壳试验机三维图

Figure 1 Three-dimensional drawing of rubber fruit test sheller

1.2 工作原理

该装置对橡胶果进行脱壳前先将千斤顶降到最低点,将橡胶果放进摩擦槽 7 里。之后升起千斤顶 8 活塞,使摩擦槽沿着导柱 9 上升。千斤顶 8 活塞顶端与压力传感器 14 相接触,传感器可以实时测出摩擦板 10 对橡胶果的正压力,可方便地监测和调整正压力数值。当橡胶果所受正压力达到预定值后拧紧止推环 6 顶丝。此步骤的作用是避免碾搓过程中摩擦槽 7 和导柱 9 间因存在配合间隙而晃动。最后通过调速器 3 调节电机转速,启动电机 2,机器开始运行并对果壳进行碾搓。

由于脱壳试验多采用干燥后的橡胶果,受力分析时可将其近似看成是刚性材料,橡胶果两端分别受到摩擦板的挤压力 F_1 和摩擦槽的支持力 F_2 ,若挤压应力超过橡胶果壳破裂的强度极限时,果壳会产生裂纹甚至破碎。橡胶果在摩擦板平动的作用下,其顶部接触处受到一个向前的摩擦力 f_1 ,其底部受到摩擦槽作用的向后的摩擦力 f_2 ,产生力矩 T 使得橡胶果向前做纯滚动运动。同时受力 F_1 、 F_2 的作用使橡胶果壳破碎。橡胶果被碾搓时的受力分析见图 2。



1. 摩擦板 2. 橡胶果 3. 摩擦槽

图 2 橡胶果受力分析

Figure 2 Stress analysis of rubber fruit

2 关键部件的选取与设计

2.1 控制电路的设计

本控制系统由主电路和控制电路组成,其设计使得试验机器的自动化程度大大提高。KM1 的常开触点接入单相电机的正转回路,KM2 的常开触点接入电机的反转回路。工作原理是:当空气开关闭合后按压启动按钮 SB1,接触器 KM1 线圈得电并吸合,电机正转。同时,KM1 自锁触点闭合。当行程开关 SQ2 被触动后,KM2 线圈及其自锁触点得电,电机反转。在按动停止按钮 SB3 后,电机停止运行。本电路中配有正反转互锁机制用于保证电机不会发生因正反转回路同时被接通所导致的短路的危险。此外,该控制电路还装有温度保护开关 WK1。此种常闭开关安装在电机的机壳上。当电机机壳温度过高时开关断开,从而保证电机不会因温度过高而损坏。

主电路图见图 4,CM 为正转回路输入端,CCW 为反转回路输入端,COM 为正转、反转回路输出端。当 KM1 接触器的常开触点闭合后,电机正转。同理,当 KM2 接触器的常开触点闭合后,电机反转。

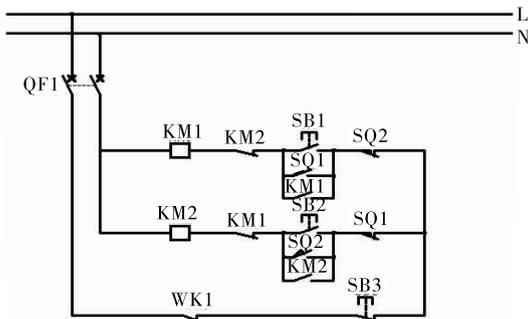


图 3 控制电路图

Figure 3 Control circuit diagram

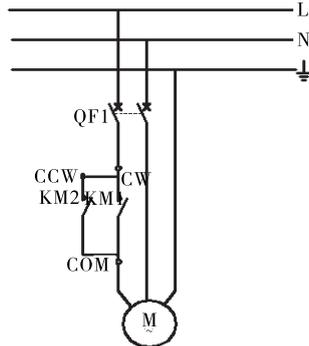


图 4 主电路图

Figure 4 Main circuit diagram

2.2 电机型号的选取

碾搓式橡胶果脱壳机在运行时的主要消耗功率为摩擦板对橡胶果外壳所施加的摩擦力做的功率。因此,电机所提供的功率应大于该摩擦力所做的功。由此可知,需计算摩擦力相对于齿轮轴转动中心的力矩才可确定所需电机的功率。

根据研究可知橡胶果果壳的破碎力约为 800 N,橡胶果壳的摩擦系数最大约为 0.4^[9]。因此可确定磨碎果壳所需的摩擦力大约为 320 N。则该摩擦力相对于齿轮轴转动中心的力矩为:

$$T = f \times L, \quad (1)$$

式中:

T ——摩擦力相对于齿轮轴转动中心的力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

f ——橡胶果壳对摩擦板的摩擦力, N ;

L ——橡胶果对摩擦板的摩擦点与齿轮轴转动中心的距离, $L = 100 \text{ mm}$ 。

将数据代入式(1),得: $T = 32 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

根据式(1)估算出电机所提供的功率为:

$$P = \frac{T \times n}{9550}, \quad (2)$$

式中:

P ——电机所需功率, W ;

T ——摩擦力相对于齿轮轴转动中心的力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

n ——电动机输出轴转速, $n = 35 \text{ r/min}$ 。

将数据代入式(2),得: $P \approx 117 \text{ W}$ 。

考虑到导轨滑块机构在运动时产生的摩擦力以及电机减速器的机械损耗,选择额定功率为 200 W 的单相交流减速电机。电机型号为 7GU-40K,具体参数为:额定功率 200 W;额定电压 220 V;电动机转速 1 400 r/min;减速器减速比 1:40;调速方式为无极调速。

2.3 齿轮齿条参数的选取

齿轮齿条机构主要用于传递电机输出的扭矩,并将其输出轴的定轴转动转换为直线运动。齿轮齿条机构运动的主要阻力为橡胶果对摩擦板的摩擦力 320 N,根据齿根弯曲疲劳强度以及齿面磨损疲劳强度可确定齿轮与齿条的模数 $m = 2.5$,齿宽 $D = 25 \text{ mm}$,齿轮齿数 $z = 40$ 。

2.4 导轨滑块机构参数的选取

导轨滑块机构所承载荷主要是橡胶果对摩擦板的压力 F 和零件重力 G 所产生的力矩,其受力分析见图 5。摩擦板 6 所受最大正压力 $F_{\max} = 800 \text{ N}$,齿条 3、齿条座 4、摩擦板 6 和角码 5 的重力之和 $G = 50 \text{ N}$ (假设重心在摩擦板处),因此滑块 1 所受的最大扭矩 M_r 为:

$$M_r = \sum F \times L_1 = (F_{\max} + G) \times L_1, \quad (3)$$

式中:

M_r ——滑块所受的最大扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

$\sum F$ ——摩擦板所受最大正压力与各零件重力的矢量和, N ;

F_{\max} ——摩擦板所受最大正压力, N ;

G ——齿条、齿条座、摩擦板和角码的重力之和, N ;

L_1 ——摩擦板在摩擦橡胶果过程中的受力点与导轨间的距离, $L_1 = 180 \text{ mm}$ 。

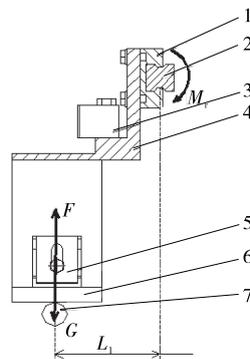


图 5 导轨滑块机构受力分析图

Figure 5 The stress of the guide rail slider mechanism analysis diagram

将数据代入式(3),得: $M_r = 135 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

根据式(3)可确定导轨滑块机构的型号为 HGH-30CA。主要参数:额定动载荷 38.74 kN;额定静载荷 52.19 kN;额定力矩 M_r 为 660 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

2.5 碾搓单元的设计

摩擦板 3 与摩擦槽 4 组成的碾搓单元,是为了碾搓橡胶果使其脱壳,实现壳仁分离。将橡胶果放入摩擦槽 4 后启动机器。摩擦板 3 在电机的驱动下做左右往复直线运动,橡胶果被脱壳。碾搓过程示意图见图 6。该机的摩擦板通过两个角码 2 与摩擦板架 1 相连,可随时更换不同材质的摩擦板以研究不同摩擦系数的摩擦材料对橡胶果脱壳率的影响。

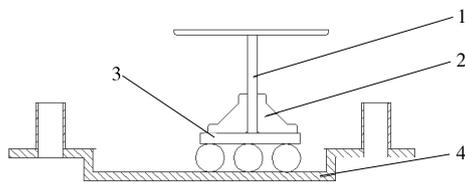


图 6 碾搓过程示意图

Figure 6 Extrusion-grind process diagram

3 样机性能试验

3.1 试验材料与方法

2016 年 3 月于海南大学进行脱壳试验样机的运行试验研究。橡胶果:经过自然风干 1 年,含水率约为 12.5%,宽为 19.2~20.2 mm,高为 18.0~19.0 mm。分成 4 组进行试验,每组试验重复 5 次,结果取其平均值,每次试验样本为 10 个橡胶果。

3.2 试验指标

根据试验目的和实际生产的需要,将橡胶果的脱壳率作为试验结果的主要评价指标。脱壳率^[10]:

$$T = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

T ——橡胶果的脱壳率, %;

M_1 ——放入的橡胶果总质量, g;

M_2 ——未脱壳橡胶果质量, g;

3.3 试验结果

表1试验结果表明:运用碾搓法对橡胶果脱壳是可行的,该试验机可以对橡胶果的脱壳率进行测试,并对碾搓式脱壳机机理深入研究起到帮助。

4 结论

(1)该试验机是机电一体化试验机器,制造成本较低,结构简单,碾搓部分由传动装置带动的摩擦板和仅能够沿垂直方向运动的摩擦槽组成。其间隙可以通过千斤顶实现连续可变,满足对所有尺寸的橡胶果的碾搓脱壳。工作性能良好,可为高效碾搓式脱壳机械的研制提供参考。

(2)试验证明该机可以通过更换不同材料的摩擦板,调节调速器和千斤顶而选择不同的摩擦速度和挤压压力,研究橡胶果的脱壳试验效果。为后续更深层次的研究碾搓式脱壳机理奠定基础。

表1 性能试验结果

Table 1 The performance test results

试验号	摩擦板 面材料	挤压压 力/N	摩擦速度/ (mm·s ⁻¹)	脱壳 率/%
1	橡胶板	200	23	12.1
2	木板	400	46	51.8
3	塑料板	600	92	40.3
4	45#钢板	700	137	78.3

(上接第44页)

参考文献

- [1] 王颖, 李楠. 分子印迹技术及其应用[J]. 化工进展, 2010, 29(12): 2 315-2 323.
- [2] 卢春阳, 何海成, 何锡文, 等. 除草剂青芳定分子印迹聚合物的合成及结合性能研究[J]. 化学学报, 2004, 62(8): 799-803.
- [3] 卢智玲, 刘华栋. 反相高效液相色谱法测定克痢痧胶囊中丁香酚的含量[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(9): 2 190-2 191.
- [4] 余小平. RP-HPLC法测定中药丁香中丁香酚的含[J]. 中华中医药学刊, 2009, 27(4): 880-881.
- [5] 陈焕, 黄和, 高平, 等. 高效液相色谱法测定水产品中丁香酚类麻醉剂的残留量[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12): 156-160.
- [6] 张忠盼. 液-液萃取-液相色谱-串联质谱法测定“地沟油”中辣椒碱类化合物及丁香酚[J]. 色谱, 2012, 30(11): 1 108-1 112.
- [7] 芦智远, 刘辰乾, 冯歆轶, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法鱼肉丁香酚的残留量测定[J]. 科学养鱼, 2016, 47(7): 76-77.
- [8] 赵秀丽, 陈大为, 任飞, 等. LC/MSn 鉴定丁香酚布洛芬酯在大鼠尿中的主要代谢产物[J]. 中国药理学杂志, 2005, 40(21): 66-69.
- [9] 王哲民, 魏学兵. 气相色谱法测定藏药静心胶囊中丁香酚的含量[J]. 中成药, 2006, 28(10): 1 536-1 538.
- [10] 周相娟, 江改青, 李伟. 气相色谱-质谱法测定香水中的甲基丁香酚[J]. 分析试验室, 2013, 32(5): 104-106.
- [11] 赵文武, 刘翠格, 魏永巨. 丁香酚的荧光光谱及其在中药丁香质量评价中的应用[C]// 第十五届全国分子光谱学术报告会论

参考文献

- [1] 王震, 张曦, 陶琳丽, 等. 橡胶籽资源的潜在开发利用价值研究[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2015(4): 642-647.
- [2] 袁江, 胡明辅, 毕二朋, 等. 橡胶籽的开发利用[J]. 中国农业科技导报, 2012(1): 116-121.
- [3] RAMADHAS A S, JAYARAJ S, MURALEEDHARAN C, et al. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil[J]. Fuel, 2005, 84(4): 335-340.
- [4] UNNI K N, FAISAL P A, PRIJI P. Rubber Seed Kernel as Potent Solid Substrate for the Production of Lipase by Pseudomonas aeruginosa Strain BUP2[J]. Advances in Enzyme Research, 2015(3): 31-38.
- [5] 唐湘, 谢方平, 李旭, 等. 油茶果脱壳装置设计及试验[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2014(6): 665-668.
- [6] JARIMOPAS B, NIAMHOM S, TERDWONGWORAKUL A. Development and testing of a husking machine for dry betel nut (Areca Catechu Linn.)[J]. Biosystems Engineering, 2009, 102(1): 83-89.
- [7] 朱立学, 张日红, 韦鸿钰, 等. 碾搓式银杏脱壳机的设计与试验[J]. 食品与机械, 2008, 24(4): 86-88, 123.
- [8] 刘平, 肖诗明, 巩发永, 等. 新型碾搓式葵花籽脱壳机[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 100-101, 116.
- [9] 张琪琪, 王涛, 孙丽莹. 橡胶子粒的物理特性测定[J]. 湖北农业科学, 2015(18): 4 519-4 524.
- [10] 张黎骅, 徐中明, 苟文, 等. 滚筒-栅条式银杏脱壳机结构参数的优化[J]. 农业工程学报, 2012(10): 39-45.

文集. [出版地不详]: 中国光学学会, 中国化学学会, 2008: 327-328.

- [12] 林伟丰, 吴小林, 陈缙光, 等. 毛细管电泳高频电导法测定几种中药中的丁香酚[J]. 高等学校化学学报, 2006, 27(11): 2 070-2 072.
- [13] 张智敏, 朱倩倩. 紫外分光光度法测定丁香油和风油精中丁香酚的含量[J]. 安徽工业大学学报: 自然科学版, 2006, 23(3): 272-274.
- [14] 陈焕, 黄和, 高平, 等. 分散固相萃取-气相色谱法同时测定水产品中六种丁香酚类麻醉剂的残留量[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 89-92.
- [15] KOOHPAEI A R, SHAHTAHERI S J, GANJALIC M R, et al. Application of multivariate analysis to the screening of molecularly imprinted polymers(MIPs) for ametryn[J]. Talanta, 2008, 75: 978-986.
- [16] 袁列江, 王会娟, 李忠海, 等. 双酚 A 磁性分子印迹聚合物的制备及性能研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 93-97.
- [17] 肖琴, 林一, 郑琳, 等. 分子印迹固相萃取-高效液相色谱法检测鱼肉中的孔雀石绿和结晶紫[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(6): 31-34.
- [18] 李永红, 王瑞, 孙志浩. RP-HPLC 方法同时测定生物转化液中的香草醛和异丁香酚含量[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2007, 28(5): 50-52.
- [19] 李得恩. 保健食品中丁香酚的毛细管气相色谱测定法[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(7): 574.