

# 基于 TRIZ 的新型长生果柔性去壳机设计

刘晓雯

(唐山学院 机电工程系, 河北 唐山 063000)

**摘要:** **目的** 针对市场上现有的长生果去壳设备在粒度相差较大时, 壳和仁分离不完全、剥净率低等问题, 对其进行创新性改进设计。 **方法** 基于 TRIZ 理论, 对市场上应用最广泛的长生果去壳机的工作原理进行分析, 对其存在的问题进行分析, 利用发明问题解决理论, 通过宏观的矛盾矩阵法, 得到相对应的创新设计原理。 **结果** 根据选取的最优原理, 解决了设计过程中出现的 4 个主要技术冲突。利用参数变化原理, 将 I 级去壳装置中起碾压作用的工作板改成连续变化的斜面, 解决了脱壳效率低的问题; 利用分割原理和动态特性原理, 将驱动曲柄设计成长度可调的形式, 使生产节拍可调, 实现了柔性生产; 利用有效运动的连续性原理, 通过增加专门用于小果、秕果的碾压装置, 提高了剥净率及设备的自动化程度; 利用多用性原理, 用 III 级去壳装置的动力源代替果壳收集装置的动力源, 使设备结构更加紧凑。 **结论** 实验结果表明, 新型长生果柔性去壳机可实现大白沙剥净率达到 97.6%, 四粒红剥净率达到 98.2%, 均高于现有去壳设备; 大白沙破损率为 1.97%, 四粒红破损率为 1.18%, 均低于现有去壳设备。设计结果对类似去壳设备的设计研究奠定了一定的理论基础。

**关键词:** 长生果; 去壳; 粒度; 柔性生产; TRIZ 理论

**中图分类号:** TB486.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)15-0189-05

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.15.030

## Design of New Longevity Fruit Flexible Shelling Machine Based on TRIZ Theory

LIU Xiao-wen

(Department of Electro-Mechanical Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to innovatively improve the design of the existing longevity fruit shelling equipment in the market because of large particle size difference, incomplete husk and kernel separation and low peeling rate. Based on TRIZ theory, the working principle of the existing shelling machine for longevity fruit in the market and the corresponding problems were analyzed. The theory of solving inventive problems and macro contradiction matrix method were adopted to obtain the corresponding innovative design principle. According to the selected optimum principle, four main technical conflicts in the design process were solved. Based on the principle of parameter variation, the working plate in the first stage shell removal device was changed into a continuous inclined plane, which solved the problem of low efficiency of shell removal. Based on the principle of partition and dynamic characteristics, the driving crank was designed to be the type with adjustable length, so that the production rhythm could be adjusted and the flexible production could be realized. Based on the continuity principle of effective movement, the peeling rate and the automation degree of the equipment were improved by adding a rolling device specially used for small fruits and blighted fruits. Through the principle of multiplicity, the power source of the three-stage shelling device was used to replace the power source of the shell collecting device to

收稿日期: 2019-03-25

基金项目: 河北省科技计划 (18211838); 河北省高等学校科学技术研究项目 (QN2017417)

作者简介: 刘晓雯 (1983—), 女, 唐山学院副教授, 主要研究方向为非标机械设计和产品优化设计。

make the structure more compact. Experiments show that the new flexible shelling machine can achieve 97.6% of the peeling rate of Dabaisha and 98.2% of the peeling rate of Four-grain Red, which are higher than that of the existing shelling equipment. The breakage rate of Dabaisha and Four-grain Red is just 1.97% and 1.18%, which is lower than that of the existing shelling equipment. The design results lay a theoretical foundation for the design and research of similar shelling equipment.

**KEY WORDS:** longevity fruit; shelling; granularity; flexible production; TRIZ theory

长生果作为人们日常补充蛋白质的食物以及主要的油料来源,近些年其种植面积不断增加<sup>[1-3]</sup>。长生果的去壳处理是获得长生果种子以及加工前的重要工序<sup>[4-6]</sup>。目前,设备去壳的破损率较高。由于长生果在温度较高且潮湿的环境下,会产生I级致癌物黄曲霉毒素,而其果壳和外表面的化学性、生物性物质在一定程度上可抵御黄曲霉菌感染<sup>[7]</sup>,当长生果去壳后破损,更易被黄曲霉毒素污染,不利于长生果种子的贮藏,尤其是贮存回潮后毒素含量更高。故作为种子来源,为了降低破损率,大多以人工手工去壳为主,不仅对操作者的双手损伤较大,且效率极低<sup>[8-9]</sup>;人们食用其果仁、加工成蛋白质补充食品及加工成油料的长生果多采用去壳设备脱壳<sup>[10-12]</sup>,去壳设备虽然去掉其包被果皮的效率较人工去壳要高,但现有设备对于粒度相差较大的长生果具有壳仁分离不完全、剥净率低的问题,故用于食用的长生果多采取先使用设备去壳,再通过人工分拣的方法,不仅制造成本大大增加,且果壳不能完全收集,造成了一定的环境的污染<sup>[13-15]</sup>。文中基于 TRIZ 理论(发明问题解决理论),对市场上应用较广的长生果去壳机进行创新性改进设计。新型长生果柔性去壳机结构紧凑,剥净率高,不仅减小了对环境的污染,且生产能力及生产节拍可随实际情况进行调整,实现了柔性生产。

## 1 问题分析

### 1.1 工作原理

目前应用较广泛的长生果去壳机,是利用电机减速器通过带传动驱动圆柱形滚子旋转,滚子碾压长生果后,长生果进入筛选装置中。筛选装置主要是利用六杆机构中的摇杆,带动摇动筛在竖直运动的同时,作水平方向的反复运动,分离果仁与果壳<sup>[16]</sup>。

### 1.2 主要问题

1) 碾压长生果的工作面为一个平面,当长生果堆积高度大于碾压长生果的工作面与底面间的间隙时,不能实现碾压,故脱壳效率受到限制。

2) 生产节拍不可调。待脱壳长生果在摇动筛上累积过多时,摇动筛加速度不可调,筛选速度过慢。

3) 现有果壳去除设备只适用于长生果粒度相差

不大的情况,当长生果粒度相差较大或存在秕果时,壳仁分离不完全,剥净率低,部分设备的解决方法是停机后,调节碾压滚与底面的间隙,同时更换孔隙较小的栅网,然后开机重新碾压分离。这种方法不仅自动化程度较低,费时费力,且效率较低。

4) 没有果壳收集装置或果壳收集不完全,工作中的尘土、沙粒造成环境污染。

## 2 问题解决方案

针对问题 1,想要使滚子间隙满足碾压高度,提高脱壳机工作的可靠性,需要改变脱壳装置的细节结构。显然可靠性(27)与形状(39)成为一对矛盾冲突。查询矛盾矩阵表,得到推荐的发明原理 35(参数变化)、1(分割原理)、16(未达到或超过的作用原理)、11(事先防范原理)。

由于问题 1 的重点在于脱壳装置细节结构的改进,故选择原理 35 参数变化来解决该技术冲突。

具体解决方案:利用参数变化原理 1(改变物体的物理参数),把滚压长生果的工作板改成连续变化的斜面。空隙较大的一端固定花生,随着工作板作圆周运动,花生由间隙较大的一端被挤到间隙较小的一端,长生果壳被压破,长生果脱壳而出。工作板结构见图 1。针对问题 2,简化摇动筛装置,摇动筛结构见图 2。

由图 2 可知,摇动筛结构为 6 杆机构。通过调节摇动筛装置中驱动曲柄即 AB 杆的长度,可以调节摇

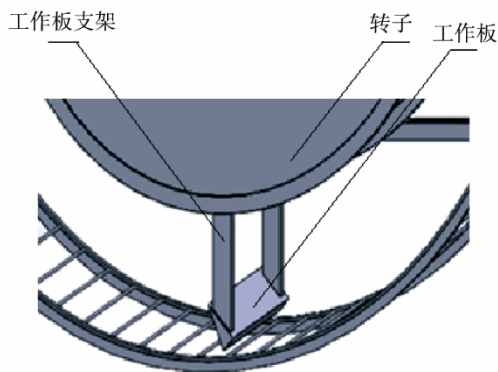


图 1 工作板结构  
Fig.1 Structure of working plate

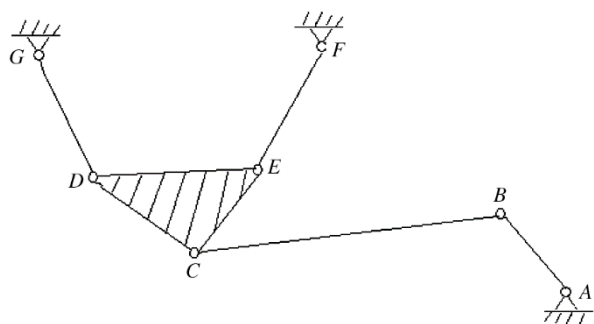


图 2 摇动筛结构简图

Fig.2 Structural sketch of shaking screen

动筛的振动加速度，提高摇动筛的筛选效率，但摇动筛振动的加速度增大，会导致系统的稳定性降低。显然，结构的稳定性（13）与运动物体的长度（3）成为一对矛盾冲突。查询矛盾矩阵表，得到推荐的发明原理 13（反向作用原理）、15（动态特性原理）、1（分割原理）、28（机械系统替代原理）。

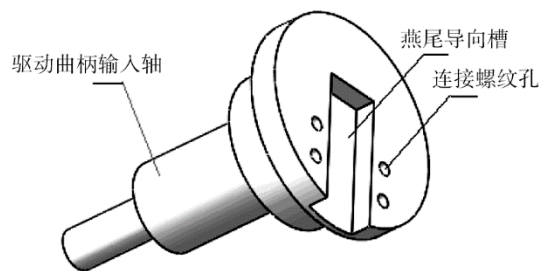
由于问题 2 的重点在于使摇动筛的驱动曲柄长度可调，故选择原理 1 分割原理和原理 15 动态特性原理来解决该技术冲突。

具体解决方案：利用分割原理 2（使物体分成容易组装及拆卸的部分），把摇动筛 6 杆机构中曲柄 AB 与摇杆 BC 的联接设计成容易组装和拆卸的结构。利用分割原理 3（提高系统的可分性，以实现系统的改造），曲柄与摇杆的联接设计成可分结构，完成摇动筛 6 杆机构的改造；利用动态特性原理 3（把物体分割成几个部分，它们能够改变彼此的相对位置），在驱动曲柄端面上设计一个燕尾导向槽，摇杆连接接头的燕尾滑块可在驱动曲柄的燕尾导向槽内滑动，从而实现曲柄长度的调节。滑到指定位置后，摇杆连接接头的定位孔微调至与驱动曲柄的连接螺纹孔重合，并通过螺钉联接。根据原理 1 和原理 15，改进后的摇动筛调节机构见图 3。

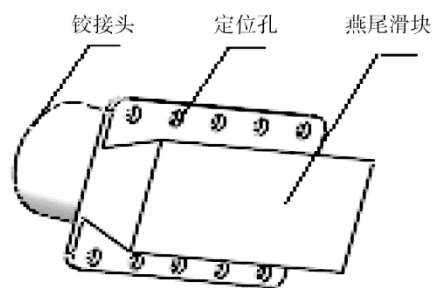
针对问题 3，为避免粒度较小的长寿果或枇杷因碾压工作板接触不到，需要停机手动调节碾压板、更换孔隙较小的栅网所造成的时间损失，可以增加一个小间隙的碾压装置，但同时会加大系统驱动装置的功率损耗。显然，时间损失（25）与功率（21）成为一对矛盾冲突。查询矛盾矩阵表，得到推荐的发明原理 35（物理或化学的参数变化原理）、20（有效运动的连续性原理）、10（预先作用原理）、6（多用性原理）。

由于问题 3 的重点是不停机的前提下持续去壳并筛分，故选择原理 20 有效运动的连续性原理来解决该技术冲突。

具体解决方案：利用有效运动的连续性原理 1（持续采取行动，使对象的所有部分一直处于满负荷状态），增加专门用于小果、枇杷的碾压装置，该装置与



a 驱动曲柄



b 摇杆连接接头

图 3 摇动筛调节机构

Fig.3 Adjusting mechanism of shaking screen

原有碾压装置结构相近，不同的是碾压板与筒壁的间隙较小，满足小果、枇杷的碾压要求。

针对问题 4，可以采用风机将分离出的重量较小的长生果壳以及尘土、碎石吸至除尘器，果壳、碎石和灰尘经除尘器进入果壳收集装置，减轻了环境的污染。由于问题 3 中将未分离彻底的小果、枇杷送至新增的碾压装置是通过风机的作用，如果再增加一个风机，导致系统体积增大。而减少去壳装置的动力源，会导致动力源功率的增大。很显然，静止物体的体积（8）与功率（21）成为一对矛盾冲突。查询矛盾矩阵表，得到推荐的发明原理 30（利用软壳和薄膜原理）、6（多用性原理）。

由于问题 4 的重点在于减少脱壳装置的动力源，故选择原理 6 多用性原理来解决该技术冲突。

具体解决方案：利用多用性原理（一个物体执行多种功能，不需要其他物体），将未分离彻底的小果、枇杷送至新增的碾压装置的动力源与果壳收集装置的动力源合并，采用一个风机实现这 2 个功能。

### 3 长生果柔性去壳机创新设计方案

综合上述 4 个问题的解决方案，得到了长生果柔性去壳机的总体创新方案，见图 4。

工作原理：待去壳的长生果由进料斗进入 I 级去壳装置，碾压去壳后进入 II 级去壳装置，碾压致果壳破碎的长生果由可调摇动筛实现果、壳分离，分离后的果壳及尘土、碎石由风机吸入除尘装置，剥出的长生果粒和未实现碾压分离的大果、小果、枇杷，通过

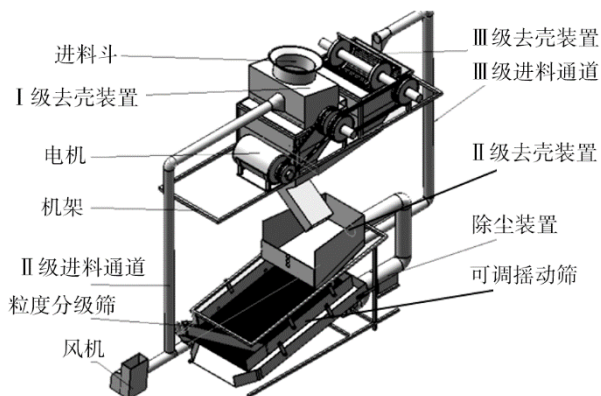


图4 长生果柔性去壳机整体结构

Fig.4 Overall structure of flexible shelling machine for long fruit

固定在可调摇动筛后部的栅网状粒度分级筛进一步分离,粒度较小未实现碾压的长生果以及枳果由III级进料通道进入III级去壳装置碾压去壳,粒度较大的长生果由II级进料通道重回II级去壳装置碾压去壳。此过程循环进行,直至去壳结束。

## 4 样机试验

试验器材:电子天平(精确度0.1 g),尺子(精度1 mm),设备调整辅具。试验材料:大白沙(荚果长3~4 mm,荚果百果质量为160~200 g,果仁百粒质量为60~80 g),四粒红(荚果长3~5 mm,荚果百果质量为170~200 g,果仁百粒质量为50~60 g)。

试验参数:经反复优化试验,长生果剥净率最高且剥壳破损率最低的试验参数为:碾压板转速为253 r/min,工作班间隙大头为27 mm,小头为23 mm,进料量为238 g/s,调湿比为18%。

试验方法:大白沙、四粒红各取500粒长生果荚果、500粒仁果进行脱壳试验,试验完成后,整理长生果再次称量,并对未脱壳和损伤的长生果分别称量。

称量后由式(1)和(2)分别计算剥净率和破损率。试验重复3次,取平均值。

$$P_{\text{净}} = 1 - \frac{Z_{\text{未}}}{Z_{\text{总}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $P_{\text{净}}$  为剥净率(%);  $Z_{\text{总}}$  为荚果的总质量(kg);  $Z_{\text{未}}$  为未脱荚果的质量(kg)。

$$P_{\text{损}} = \frac{Z_{\text{损}}}{Z_{\text{仁}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $P_{\text{损}}$  为破损率(%);  $Z_{\text{损}}$  为破损果仁质量(kg);  $Z_{\text{仁}}$  为果仁总质量(kg)。

试验结果见表1。

由表1可知,试验3次,大白沙的平均剥净率在97.6%左右,四粒红平均剥净率在98.2%左右,均高于现有去壳设备的脱净率;大白沙平均破损率在

表1 试验结果

Tab.1 Test results

品种	新型剥净率/%	新型破损率/%	现有剥净率/%	现有破损率/%
大白沙	97.6	1.97	94.8	3.21
四粒红	98.2	1.18	95.2	3.34

1.97%左右,四粒红平均破损率在1.18%左右,均低于现有去壳设备。

## 5 结语

基于TRIZ理论,针对长生果去壳机壳仁分离不完全、剥净率低等问题进行了功能分析,利用发明问题的解决理论,通过宏观的矛盾矩阵法,解决了设计过程中出现的4个主要技术冲突:利用参数变化原理,解决了脱壳机工作的可靠性与结构之间的矛盾冲突,提高了脱壳效率;利用分割原理和动态特性原理,解决了结构的稳定性与筛选效率之间的矛盾冲突,通过设计摇动筛调节机构,使生产节拍可调,实现了柔性生产;利用有效运动的连续性原理,解决了需停机手动调节碾压板、更换不同孔隙栅网所造成的时间损失与增大的系统驱动装置的功率损耗之间的技术冲突,提高了剥净率及设备的自动化程度;利用多用性原理,解决了减少动力源与动力源功率的增大之间的矛盾冲突,使设备结构紧凑,且减少了环境污染。

新型长生果柔性去壳机彻底解决了粒度相差较大的长生果去壳问题,结构紧凑,大白沙剥净率为97.6%,四粒红剥净率为98.2%,均高于现有去壳设备;大白沙破损率为1.97%,四粒红破损率为1.18%,均低于现有去壳设备。该去壳机不仅减小了长生果种子被黄曲霉毒素污染的可能性,更有利于种子的贮藏,而且提高了去壳设备的自动化程度,减小了环境污染,且生产节拍随生产需要可调,实现了柔性生产。

## 参考文献:

- [1] 董华山. 小型卧式育种花生脱壳机试验研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.  
DONG Hua-shan. Experimental Study on Small Horizontal Peanut Sheller[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [2] VAN DE K G, VAN H E, VRIES H J, et al. Supporting Decision Making in Technology Standards Battles Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Engineering Management, 2014, 61(2): 336—348.
- [3] 吴宝顺. 我国花生产后加工工艺及设备发展研究[J]. 农业科技与装备, 2010(6): 47—50.  
WU Bao-shun. Research on Development of Peanut Post-production Processing Technology and Equipment

- in China[J]. *Agricultural Science and Technology and Equipment*, 2010(6): 47—50.
- [4] 车砚名. 花生脱壳机械发展研究[J]. *农业科技与装备*, 2014(4): 27—28.  
CHE Yan-ming. Research on Peanut Shelling Machinery Development[J]. *Agricultural Science and Technology and Equipment*, 2014(4): 27—28.
- [5] LIU J, LI Z, WANG L, et al. Numerical Simulation of the Transient Flow in a Radial Flow Pump during Stopping Period[J]. *ASME Journal of Fluids Engineering*, 2011, 133(11): 112.
- [6] 喻杰, 包秀辉. 常用花生脱壳机的分析研究[J]. *农业科技与装备*, 2009(1): 114—115.  
YU Jie, BAO Xiu-hui. Analysis and Research of Peanut Shellers in Common Use[J]. *Agricultural Science and Technology and Equipment*, 2009(1): 114—115.
- [7] 李前波, 杨春燕, 黄莉, 等. 花生遗传图谱构建及黄曲霉抗性相关 QTL[J]. *中国油料作物学报*, 2015, 37(5): 596—604.  
LI Qian-bo, YANG Chun-yan, HUANG Li, et al. Construction of Genetic Map of Peanut and QTL Related to *Aspergillus Flavus* Resistance[J]. *Chinese Journal of Oil Crops*, 2015, 37(5): 596—604.
- [8] ZHANG Y L, LI Y, CUI B L, et al. Numerical Simulation and Analysis of Solid-liquid Two-phase Flow in Centrifugal Pump[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2013, 26(1): 53—60.
- [9] 李建东, 尚书旗, 李西振, 等. 我国花生脱壳机械研究应用现状及进展[J]. *花生学报*, 2006(4): 23—27.  
LI Jian-dong, SHANG Shu-qi, LI Xi-zhen, et al. Present Situation and Progress of Research and Application of Peanut Shelling Machinery in China[J]. *Journal of Peanut*, 2006(4): 23—27.
- [10] ZHANG Chi. Path Tracking of a Mobile Robot Using Inertial Measurement Unit[J]. *Control Theory & Applications*, 2013, 3(3): 398—403.
- [11] 李心平, 马福丽, 高连兴. 花生脱壳装置的结构技术剖析[J]. *农机化研究*, 2010, 32(3): 18—20.  
LI Xin-ping, MA Fu-li, GAO Lian-xing. Structural and Technical Analysis of Peanut Shelling Device[J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2010, 32(3): 18—20.
- [12] 张建敏, 王建伟, 杨勤, 等. 基于 TRIZ 理论的手扶式旋耕机造型设计研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(4): 133—139.  
ZHANG Jian-min, WANG Jian-wei, YANG Qin, et al. Research on Modeling Design of Hand-held Rotary Tiller Based on TRIZ Theory[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(4): 133—139.
- [13] 王建楠, 谢焕雄, 胡志超, 等. 滚筒凹板筛式花生脱壳机关键部件试验研究及参数优化[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(14): 191—196.  
WANG Jian-nan, XIE Huan-xiong, HU Zhi-chao, et al. Experimental Study and Parameter Optimization of Key Components of Drum Concave Plate Sieve Peanut Sheller[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2018, 46 (14): 191—196.
- [14] 高连兴, 回子健, 董华山, 等. 三滚式小区育种花生脱壳机设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(7): 159—165.  
GAO Lian-xing, HUI Zi-jian, DONG Hua-shan, et al. Design and Experiment of Peanut Sheller for Three-roll Community Breeding[J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2016, 47(7): 159—165.
- [15] OGUNSINA B S, BAMGBOYE A I. Effect of Pre-Shelling Treatment on Physical and Mechanical Properties of Cashew Nut (*Anacardium occidentale*)[J]. *International Agrophysics*, 2007, 21(4): 1101—1106.
- [16] 王秀红, 唐淑珍, 李淑方, 等. 基于 TRIZ 和 QFD 理论的视障儿童玩具创新设计[J]. *包装工程*, 2019, 40(4): 168—172.  
WANG Xiu-hong, TANG Shu-zhen, LI Shu-fang, et al. Innovative Design of Toys for Visually Impaired Children Based on TRIZ and QFD Theory[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(4): 168—172.