

一种刮板式花生剥壳机的设计与分析



付建宇, 薛向明, 武晓燕, 战景明*

中国辐射防护研究院, 山西太原 030006

摘要: 一般花生作为出口产品或深加工产品, 都需要进行剥壳加工这道工序, 花生在榨取花生油的时候, 为了提高出油率, 都会对花生去壳。由于当前花生剥壳机都存在性能不稳定, 脱壳率与破损率相矛盾, 环境适应能力差, 通用性和利用率低等问题, 所以通过改进花生剥壳机的技术方案, 设计了刮板式花生剥壳机的剥壳装置、清选装置、传动装置等关键部位, 可知刮板式花生剥壳机具备撞击法、碾搓法、剪切法和挤压法等特点; 同时对机架进行了模态分析, 通过与理论计算下皮带运行产生的最高振动频率相对比, 可知皮带正常运行产生的最高振动频率低于机架模态分析的第一阶固有频率, 不会产生剥壳机的共振现象, 所以脱壳效率很高, 效果好, 预计能够满足人们的使用需求。

关键词: 花生; 剥壳加工; 刮板式; 模态分析

DOI: 10.57237/j.msc.2024.01.004

Design and Analysis of a Scraper Type Peanut Sheller

Fu Jianyu, Xue Xiangming, Wu Xiaoyan, Zhan Jingming*

China Institute of Radiation Protection, Taiyuan 030006, China

Abstract: Generally, peanuts as export products or deep-processing products need to be shelled. When peanuts are extracted from peanut oil, in order to improve the oil yield, peanuts will be shelled. As the current peanut sheller has problems such as unstable performance, contradictory sheller rate and breakage rate, poor adaptability to the environment, low versatility and low utilization rate, by improving the technical scheme of the peanut sheller, the key parts of the scraper peanut sheller, such as sheller device, cleaning device and transmission device, are designed. It is known that the scraper peanut sheller has the characteristics of impact method, rolling method, shearing method and extrusion method. At the same time, the modal analysis of the frame is carried out. Compared with the highest vibration frequency generated by the belt operation under the theoretical calculation, it can be seen that the highest vibration frequency generated by the normal operation of the belt is lower than the first natural frequency of the frame modal analysis, and the resonance phenomenon of the shucker will not be produced, so the shucking efficiency is high, the effect is good, and it is expected to meet the needs of people.

Keywords: Peanut; Shell Processing; Scraper Plate; Modal Analysis

1 引言

花生含有大量的脂肪和蛋白质, 它是我们日常生活中重要的植物油和植物蛋白来源之一。花生不仅

经过简单加工就可食用, 而且还可以加工成各种营养丰富、色香味俱全的食品和营养品[1]。比如: 我们把

*通信作者: 战景明, 936388580@qq.com

花生蛋白质融入原料或者食品添加剂，不仅可以提高食品的蛋白质含量，还可以改变食物的味道和形态。与此同时，花生加工成副产品过程中产生的花生壳和花生饼粕可以用作饲料，提高花生的经济效益。

花生剥壳机就是把花生的外壳利用挤压剪切等方法把外壳去掉从而得到花生仁的一种农业机械。但是由于花生的物理特性决定花生不能再收获的时候就发明一种机器把花生给去壳，只有花生的含水量降到一定程度时才能剥壳，以便保证剥壳后花生质量。由于近几年花生附加产品多，需求大，种植面积不断增加。花生手工剥壳已经无法满足社会需要。实现花生剥壳机械自动化是一种大势所趋，刻不容缓。国内目前所使用的花生剥壳机广泛采取的是搓擦式的滚筒-凹板筛结构[2-6]，为此，笔者研制出一种剥净率高、破损率低的刮板式花生剥壳机，对促进花生产业发展具有重要的实际意义。

2 整体结构与工作原理

刮板式花生剥壳机主要由进料箱脱壳转轴部件（刮板架和刮板）、惯性筛、风机、电机、支架、花生壳收集斗等组成。如图1所示。

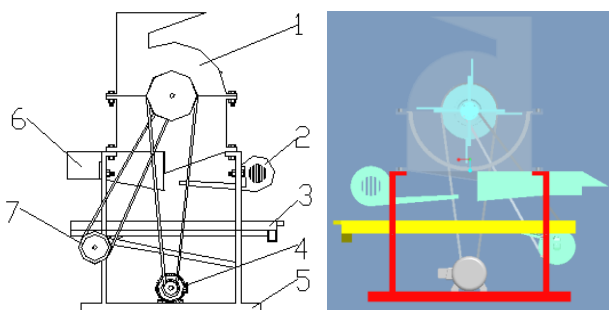


图1 花生剥壳机的整体结构图

（1. 剥壳箱；2. 风机；3. 花生仁出口；4. 电机；5. 机架；6. 花生壳收集箱；7. 传动装置）

剥壳机运行过程是从上往下，从花生收集开始，花生进入剥壳箱，经过刮板的挤压和撞击后进行剥壳，那些没有被剥壳的花生留在栅格上面再次经过刮板碾搓和挤压进行剥壳。刮板和栅格间隙称为剥壳间隙，剥壳间隙影响破碎率和生产率。半栅笼栅条与栅条间隙影响破碎率和脱净率。把栅条做成半栅笼固定在剥壳箱内，剥壳后花生壳和花生仁经过半栅笼下落，同时受到风机吹来的风，把花生壳吹到收集斗[7]。花生荚果和花生仁因为比较重下落到惯性筛上，惯性筛把

花生荚果和花生仁分开。花生仁在惯性筛的作用下从过滤网一边收集起来，花生荚果在间距较小的半栅笼进行剥壳。其工作原理简图如图2所示。

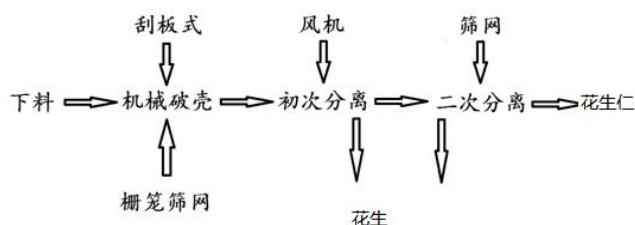


图2 花生剥壳机的工作原理图

3 关键部位的设计与验证

3.1 剥壳装置的设计

3.1.1 破壳部分结构设计

破壳机构是使用刮板与花生的撞击来实现花生的破碎工作的，如下示意图就很清楚地表达了花生在工作机构中是如何被破除外壳的。（图3）这个结构很充分地利用了栅笼和刮板之间的配合，栅笼中两铁棒之间的距离经过很合理的设计，这样栅笼就可以当做花生破壳的支撑点，而且还未破壳的花生就不会从栅笼之间掉下，同时刮板与栅笼之间的距离也是经过合理的设计，使得不同尺寸的花生都可以被刮板敲击到而达到破壳的目的，而在破壳完成后花生在刮板旋转情况下达到壳仁分离，同时也因为尺寸的减少而可以顺利通过栅笼进入下一道工艺。

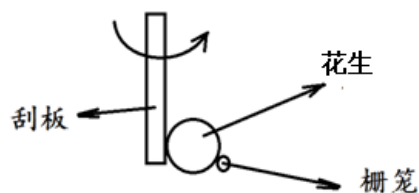


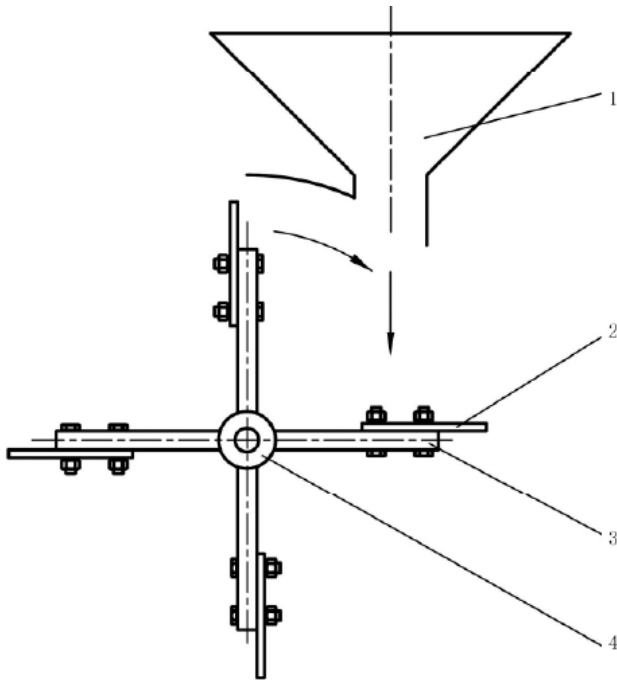
图3 栅笼与刮板的配合进行花生的破壳

3.1.2 刮板的半径及转速确定

从实验数据中可以看出，当刮板和花生果的相对速度达到4~5m/s时候，能够达到比较好的破碎花生壳的效果。根据这个实验结果来设计刮板轴的转速和刮板旋转半径[8]。

如图4所示，花生下落的位置基本都在板轴半径的0.5R至R之间，此次是采用0.5R的最小半径标准

进行设计。为了有较高的生产效率,取半径 $R=260\text{mm}$, $v=4\sim5\text{m/s}$, 由 $v = 2\pi n r$, $r = 0.5R$, $v = \pi n R$, 得 $n=294\sim367.5\text{r/min}$ 。



1. 料斗 2. 刮板 3. 刮板架 4. 转轴

图4 花生下落位置示意图

3.1.3 刮板所需功率计算

因为刮板式花生剥壳机的剥壳通过高速旋转的转轴带动刮板,刮板对花生果进行反复打击碰撞以及刮板和半栅笼对花生果产生摩擦、碾搓、剪切、挤压下进行的,所以脱壳功率不是简单的动能计算,还要考虑到空气阻力和摩擦对剥壳功率的影响,在计算剥壳功率的时候应该按照以下公式进行。

$$P = \frac{QR_dAK}{3.6\eta} \times 10^{-6} \text{ (KW)}$$

R_d ——每脱 1kg 物料所需功 (N.m/kg);

K ——花生与刮板的摩擦系数;

A ——运转消耗的功率系数;

Q ——脱壳机的加工量 (kg/h);

η ——机械效率。

根据设计要求取 $Q=1000\text{kg/h}$, 根据实验数据取 $K=2$, $A=1.4$, $R_d=300 \text{ N.m/kg}$, $\eta=0.7$, 计算得到功率为 1.2kw , 所以刮板花生剥壳机的需要的功率应该不低于 1.2kw [9]。

3.1.4 刮板结构设计

考虑到花生剥壳机是利用打击和挤压脱壳原理,刮板受到冲击容易产生磨损,所以刮板需要一定的刚度和强度。根据期刊实验结果表明,刮板使用木板和橡胶板的剥壳效果差,剥净率在 70%左右,使用钢板的剥净率可以控制在 95%以上[8]。所以刮板结构是采用四个直钢板组合成十字型并用 M10 螺栓连接连接杆,其中,钢板的长和宽分别设置为 500mm 和 130mm,刮板的内外径为 60mm 和 70mm,旋转中心距是 260mm,而连接杆则是焊接固定在旋转筒上。具体刮板示意图如图 5 所示。

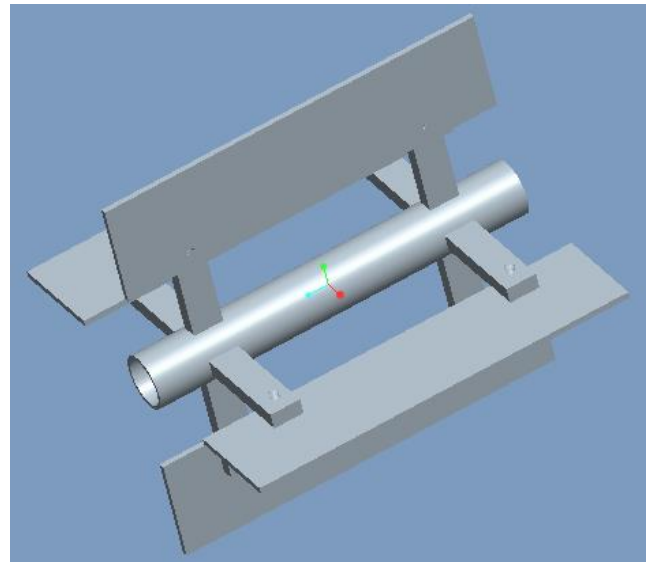


图5 刮板示意图

3.2 清选装置的设计

3.2.1 半栅筛的设计

半栅笼作用有两点,一是让剥壳的花生掉落,而是让未剥壳花生继续留在剥壳箱内剥壳。由于中国的花生品种比较多,尺寸大小不相同,一般来说花生仁的尺寸在 7-14mm 之间。所以为了提高花生剥壳机的通用性,所以可以设计不同尺寸的半栅笼来适应不同品种花生。

脱壳时,刮板和半栅笼形成一个活动层,该层的厚度就是刮板和半栅笼之间的距离,称为剥壳间隙。剥壳间隙越小,破碎率和生产效率越高。为了降低破碎率,应适当增大剥壳间隙。经试验证明,剥壳间隙最佳值 30mm 左右。考虑到不同品种的花生果大小的差异,我们将剥壳间隙定为 25~40mm 可调,脱小果时

调为 25~30mm，脱大果时可调为 30~35mm。[10]
半栅笼的栅条是用两块墙板进行固定的，栅条的材料是 HT150，墙板材料是 HT200，栅条的直径为 10mm，长度为 576mm，因其作用特殊，需对其进行表面处理（渗碳和热处理），然后组成半栅笼筛。根据相关研究，最佳栅条间距由花生仁的宽度和厚度决定[11]，此次选择 10mm 作为栅条间距，这样可以使剥出来的花生仁能够过栅格，半栅笼的内径为 580mm。

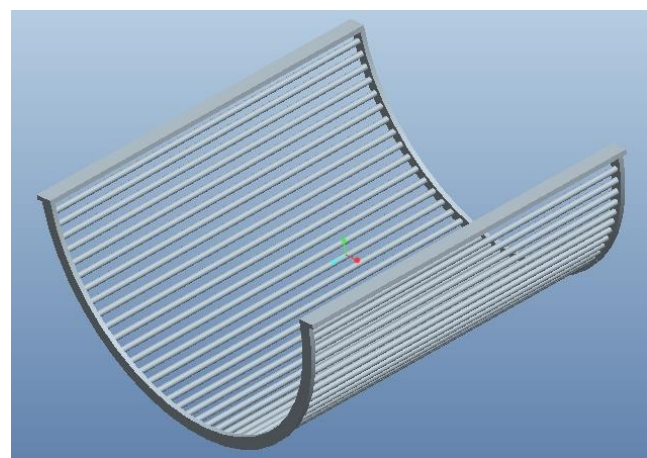


图 6 半栅笼示意图

3.2.2 筛网

花生剥壳机的筛网主要作用是把未剥壳的花生和花生仁分离出来。根据一般花生仁的尺寸，将筛网的孔的尺寸大小设计为 10mm。由于钢丝编织筛网具有筛分效果好、对花生的损坏较小、使用寿命长等特点，故花生剥壳机中选用钢丝编织筛网。筛网结构如图 7 所示。

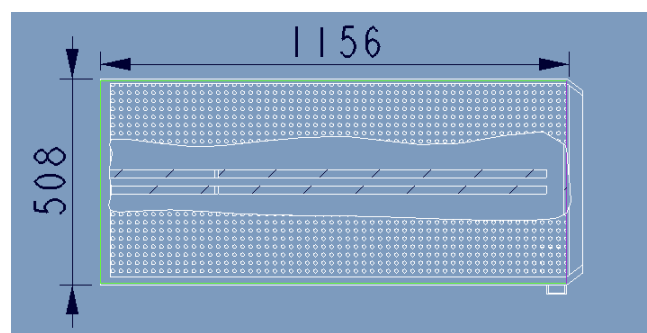


图 7 筛网示意图

3.2.3 风机分离部分的设计

花生壳与花生仁分离后经过栅笼进入风力分离部分，这部分的结构设计比较简单，就是利用花生仁与花生壳的重量差，用风把质量较轻的花生壳从下图所标的花生壳出口处吹出，然后利用挡板把飞驰而出的花生壳挡住，使其落在一定方位内，也可以在出口装上麻袋，这样方便打扫。但是风机并不能完全解决花生壳杂质问题。因此，选择适当型号的风机显得至关重要。

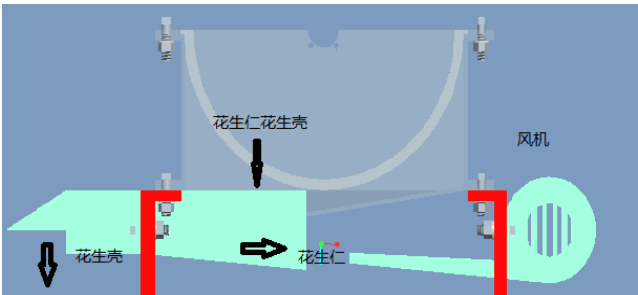


图 8 风机结构图

3.3 传动装置的设计

查看机械手册可知电机的中心距 $H=90\text{mm}$ ，轴外径为 24mm，轴的外伸长度为 50mm。总宽为 180mm。

轴的转速： $n_1=1400\text{r/min}$ ， $n_2=n_1/i=367.5\text{r/min}$ ， $n_1/n_2=1400/367.5=3.81$

轴的输入功率： $P_2=P_d \times \eta_2^2=1.5 \times 0.95^2=1.35\text{kw}$

轴的转矩： $T_2=9550P_2/n_2$ ，

$$T_2=9550 \times \frac{1.35}{367.5}=35.081\text{N.m}$$

目前，市面上最常用的电机为三相交流异步电动机，由于 Y 系列类型的三相异步交流电动机具有启动性能好、价格低廉，工作效率高、稳定性好、结构简单、便于维修等特点，所以一般应用于要求较高的启动转矩机械，但是不适合在易燃易爆有腐蚀的场所。根据转轴需要的功率和转速，可以确定两种电机型号：Y90L-4 型和 Y100L-6 型，根据电机全负荷的速度和刮板速度可以计算总传动比，两种型号电机的总传动比如表 1 所示。

表 1 不同型号电机的总传动比

方案号	电机型号	额定功率 kw	同步转速 r/min	满载转速 r/min	总传动比 i
1	Y100L-6	1.5	1000	940	2.459
2	Y90L-4	1.5	1500	1400	3.81

从表中可以看出方案一:Y100L-6 型电机总传动比小,但价格高,不适用于家庭小农业机械,所以方案选择 2,电机型号 Y90L-4。结构如图 9 所示。

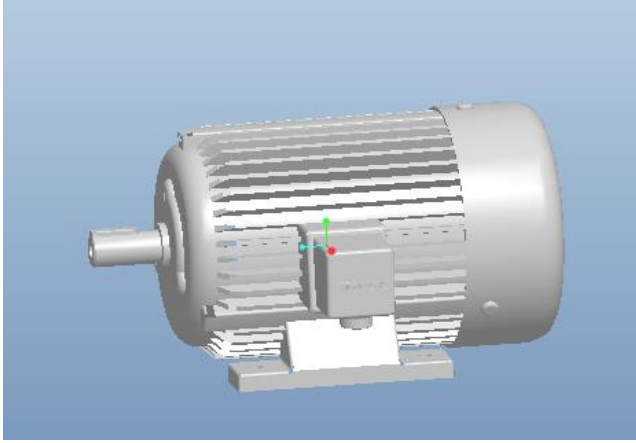


图 9 电机结构图

3.4 机架的模态分析

机架在花生剥壳机当中承受着复杂的载荷,使用有限元分析可以了解机架的频率和振型,从而更好地设计机架。使用的机架是用焊接而成,跟铸件相比有一定的内应力,使用传统的设计和分析难以保证其安全性。所以要对它进行模态分析以了解其结构,提高安全性。

根据上面各个零件的参数设计机架,机架的总长为 1000mm,宽 608mm,高 651mm,厚 50mm,机架采用的材料为 Q235 钢,机架的示意图如图 10 所示。

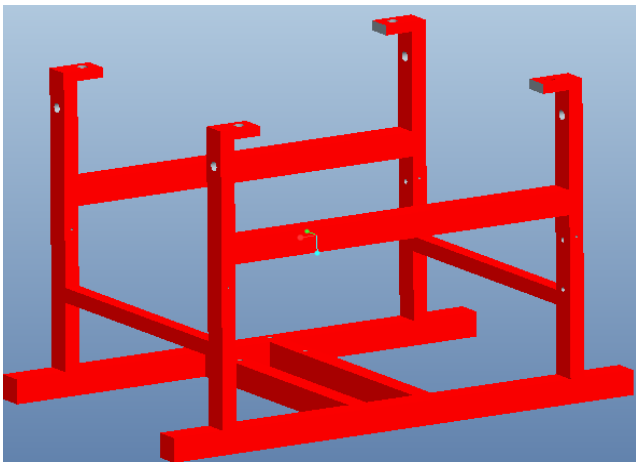


图 10 机架示意图

将 Solidworks 建立的三维实体模型导入到有限元分析软件 ANSYS Workbench 中进行模态分析,用软件

自动划分网格,网格如图 11 所示。

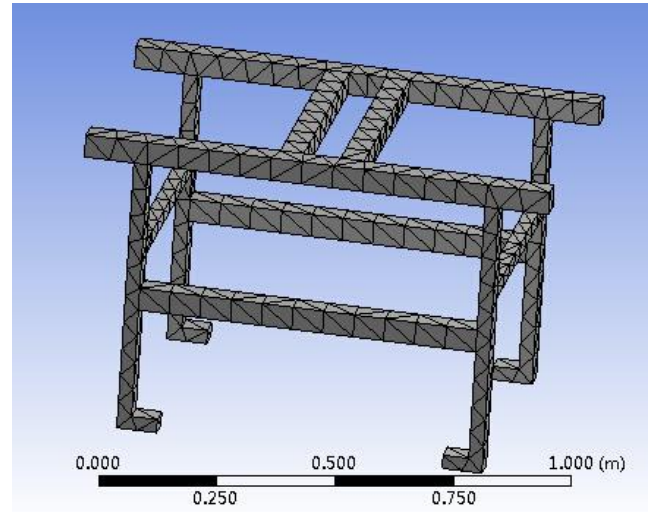


图 11 网格图

机架的模态分析结果包括振动频率及对应的阶数和振型图等,其中前六阶固有频率如表 2 所示。

表 2 频率表

阶数	频率/Hz
1	60.801
2	100.42
3	110.75
4	120.37
5	155.72
6	157.15

由模态分析结果可知,第一阶主要的振动为左右摆动,最大移动量为 0.19808m;第二阶主要为前后摆动,最大移动量 0.20123m;第三阶主要为竖直方向弯曲摆动,最大移动量为 0.2011m;第四阶主要为前后扭转摆动,最大移动量为 0.2012m;第五阶主要为弯曲摆动,最大移动量为 0.24959m;第六阶主要为竖直弯曲摆动,最大移动量为 0.2898m。

由前面设计可知刮板轴的转速为 294~367.5r/min,皮带传动的振动频率可以根据下面公式计算:

$$f = n\pi d N / 60L$$

式中 f 表示皮带引起的频率, N 为频率整数倍, d 为皮带的直径, n 为皮带轮转速, L 为皮带轮周长。根据上面参数, $n=294\sim367.5\text{r/min}$, $d=0.286\text{m}$, $L=2.018$, N 的取值跟皮带的根数有关(一般不会超过 8),当 $N=1$ 时, $f=2.1\sim2.7\text{Hz}$, 因此,皮带能引起的最高频率为 21.6Hz, 低于机架一阶模态固有频率 60.801Hz。所

以不会产生共振。

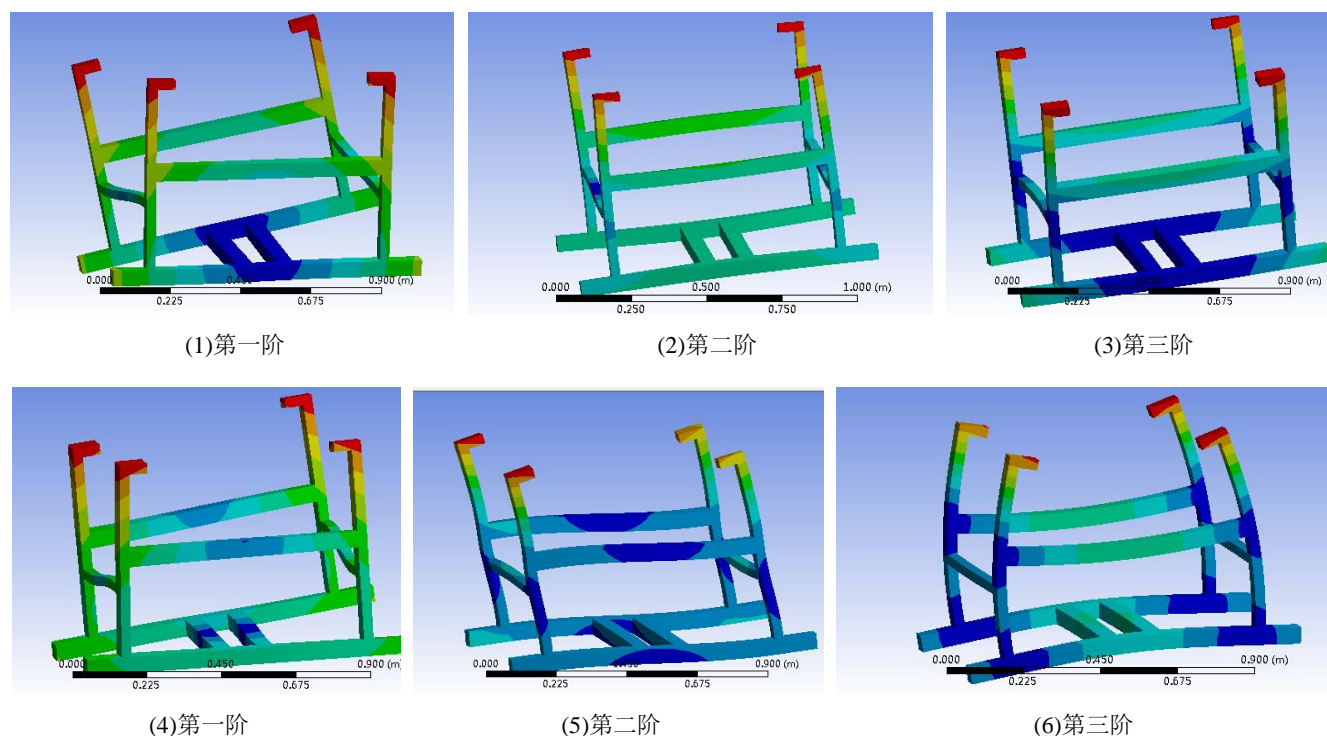


图 12 各阶振型图

4 结论

花生生产机械化是农业现代化的重要组成部分，是农业和农村经济持续快速发展的重要保证，近年来，花生机械装备总量不断稳步增长，作业水平进一步提高，社会化服务规模不断扩大，虽然目前花生脱壳机械化水平较高，但是多应用于经济发达地区与示范推广区，并且小型机械多、大型机械少，低档机械多、高性能机械少。在一些地区，用作种子和特殊用途的花生仁仍采用传统的手工剥壳，劳动生产率低，区域性发展不平衡[12, 13]。随着花生种植业的不断发展，国内外对花生深加工产品的需求不断增大，提高花生脱壳机械化作业水平成为必然。花生脱壳机在提高劳动生产率，减轻劳动强度方面起到了积极的作用，促进了花生加工业的科技进步，为花生脱壳机械的发展提供了空间[14, 15]。

本刮板式花生剥壳机集花生剥壳、清选为一体，利用刮板与半栅笼之间挤压碰撞进行剥壳，通过对刮板及半栅笼进行合理设计，可有效提高剥壳机的使用效率，预计能满足《花生剥壳机技术条件》[16]中对带复脱设备的花生剥壳机的剥壳性能要求为：花生仁破碎率 $\leq 4.0\%$ ，花生仁损伤率 $\leq 3.5\%$ ，剥净率 $\geq 97\%$ 。

本刮板式花生剥壳机的剥壳间隙的入口间隙和出口间隙均为可调，可以适应中国众多花生品种，适应性较好。

参考文献

- [1] 佟庆坦, 王延耀, 王东伟, 张甜甜, 韩文平, 周家鹏. 花生剥壳机的设计 [J]. 农机化研究, 2017, 39(02): 112-116.
- [2] 吴岩, 王剑文, 刘道奇, 刘龙, 常有山, 王思明. 花生剥壳机技术条件及试验方法相关标准修订建议 [J]. 农业工程, 2022, 12(11): 5-9.
- [3] 喻杰, 包秀辉. 常用花生剥壳机的分析研究 [J]. 农业科技与装备, 2009, 1(1): 114-118.
- [4] 徐绍娟, 汪钦, 王映龙. 人力花生剥壳机的设计 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(36): 12134-12136.
- [5] 尚书旗, 刘曙光, 王方艳等. 花生生产机械的应用现状与进展分析 [J]. 花生学报, 2003, 32(S1): 509-517.
- [6] 谢焕雄, 彭宝良, 张会娟等. 我国花生脱壳技术与设备概况及发展 [J]. 江苏农业科学, 2010(6): 581-582.
- [7] 杨明轩. 挤压式花生剥壳机的技术改造 [J]. 机械, 2017, 44(09): 71-75.

- [8] 李建东. 花生脱壳装置的试验研究 [D]. 青岛: 青岛农业大学, 2007: 3-5.
- [9] 王军锋. 刮板式花生脱壳机设计 [D]. 农机化研究, 2012, 12: 96-99.
- [10] 原重献, 程延林. 花生剥壳机剥壳部件试验研究 [J]. 粮油加工与食品机械, 1991(03): 19-21.
- [11] 王京, 高连兴, 刘志侠等. 花生荚果力学特性研究 [J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 182—186, 196.
- [12] 王移收. 我国花生产品加工业现状、问题及发展趋势 [J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(4): 498—502.
- [13] 周雪松, 赵谋明. 我国花生食品产业现状与发展趋势 [J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(6): 84—89.
- [14] 陆荣, 刘志侠, 高连兴等. 美国花生脱壳机研究现状及发展分析 [J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(2): 170-180.
- [15] 陆荣, 高连兴, 刘志侠等. 中国花生脱壳机技术发展现状与展望 [J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(5): 631-640.
- [16] 中国国家标准化管理委员会. 花生剥壳机作业质量: NY/T 994-2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.