

薏仁米砂盘式脱壳机设计及其有限元分析

The design and finite element analysis of the Adlay grindingplate sheller

胡志刚 张永林 侯传亮 柳 军

HU Zhi-gang ZHANG Yong-lin HOU Chuan-liang LIU Jun

(武汉轻工大学机械工程学院, 湖北 武汉 430023)

(Department of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430023, China)

摘要:提出了一种薏仁脱壳技术的新方法,研制了一款新型的薏仁米脱壳机。提出了尼龙定盘和砂轮磨盘水平放置,进行了电机、带轮与进料机构、尼龙定盘及砂轮、主轴及其附属部件的结构设计,绘制了脱壳机的三维结构图,对脱壳机体和机架进行了 ANSYS 模态分析。并对试制的样机进行薏仁米脱壳试验,原料处理量 0.3 t/h,一次脱壳率 $\geq 95\%$,整仁率 $\geq 98\%$,设备功耗 3 kW。试验结果表明,所设计的薏仁米脱壳机能满足大多数中小型薏仁米加工企业的需求。

关键词:薏仁米;脱壳机;砂盘磨谷机;模态分析

Abstract: A new method of adlay shelling was presented to design a sheller. The adlay shelling technology that a mutual friction between grinding wheel and nylon wheels horizontally placed shell adlay was used. Moreover, the three-dimensional structure of sheller was designed, and the main parts of machine were also checked. Furthermore, in order to prevent the occurrence of resonance, ANSYS modal analysis of the body and the frame were carried out. The prototype of Adlay shell test results showed that the raw material processing capacity was 0.3 t/h, the shelling rate was greater than 95%, the whole kernel rate was more than 98%, and the power of the test equipment was 3 kW, respectively. As a result, the adlay shelling machine designed in this study might meet the needs of most processing enterprises.

Keywords: adlay; sheller; grindingplate hull; modal analysis

薏仁别名薏苡、六谷子、薏珠子、苡米。薏仁米是经薏仁谷脱壳加工而成的产品。目前的薏仁米脱壳加工设备也大多根据大米、小麦等谷物脱壳机改造而成^[1-2]。薏仁米脱壳加工设备的核心部件是脱壳机,目前针对各种五谷杂粮的脱壳技术有很多,归纳起来主要有如下几种技术方案:

(1) 滚筒揉搓式脱壳^[3]: 利用一个表面套着橡胶的运动滚筒,和一个表面黏有橡胶的静止凹板之间的揉搓作用来达到脱壳的目的。此方式脱壳效果较好,但是两块揉搓板之间

的间距不均匀且间隙大小不好掌握,脱壳后的谷物皮层完整率较高,但是产量很低,一般每小时的处理量只有几十公斤,不适用于大规模批量生产。

(2) 平面揉搓式脱壳^[4-5]: 此方法脱壳的原理和滚筒揉搓式脱壳原理相近,它是利用一个表面有橡胶的运动盘作为运动部件,另一个表面橡胶的静止平盘作静止件,两者之间相互揉搓,以此来达到脱壳的目的。这种方法脱壳效果较好,两块揉搓板之间的间距也好掌握,脱壳后的薏仁粒完整率高(整仁率可达 99% 以上),但是同样存在产量较低(与滚筒揉搓式脱壳处理量相近),不太适用于大规模、成批量生产的问题。

(3) 撞击脱壳^[6-7]: 使谷物原料和设备内撞击盘相互之间的撞击作用,达到谷物皮壳相互分离的目的。该方法首先将原料输送至水平状的叶轮上,当叶轮转动时,输入的物料随之被加速,并沿着叶轮上的涡旋状凹槽滚动,这时谷物将会沿水平方向并呈束状撞向周围的环状撞击盘,从而使谷物壳受到撞击而破开,实现谷物仁壳分离目的。该设备产量较大,谷物皮完整率较高,谷物仁完整率也较好(可达 98% 以上)。但会使谷物仁棱角损伤率变高,造成谷物仁有效成分浪费。

(4) 胶辊磨谷脱壳^[8]: 通过具有速度差的两个橡胶棍筒之间的相向转动,对谷物进行搓撕,从而达到磨谷脱壳的目的。这要求两辊筒的间距调整得非常好,否则,会造成谷仁的破碎率增高,或者脱壳效率降低。通过使用多台胶辊磨谷机进行连续脱壳,并且将每台机器的轧距调整到适当位置时,可以大大提高生产效率,并能明显降低谷物的破碎率(可比单台降低破碎率 2% 以上)。目前大产量的大米加工设备大多采用这种方法。但是这种方法工艺比较复杂,使用的设备也尺寸较大,对于产量不大的薏米脱壳加工来说不太经济。

(5) 砂盘磨谷脱壳^[9-10]: 此方法有两个圆形砂盘,一个为固定盘,另一个为可调整盘,谷物原料以稳定的流量从进料斗进入到第一个砂盘间,根据谷物粒度的不同,可以调整固定盘和可调整盘之间的间距,从而达到脱壳的目的。该方法的生产效率较高,使用的设备比较简单,所需空间较小,操作性和安全性也较好,比较适合薏米等小产量杂粮脱壳加工。但目前中国市场上这类设备技术不够成熟且可靠性差、

基金项目:湖北省教育厅创新团队项目(编号:T201310)

作者简介:胡志刚(1974—),男,武汉轻工大学副教授,博士。

E-mail: whzhg@qq.com

收稿日期:2016-01-05

处理量小(大多每小时处理量在 100 kg 以下),也较少用于薏仁米砉谷脱壳。所以本试验的薏米脱壳机将在此方法的基础上进行改进设计和优化。

1 脱壳机结构设计

为便于进料操作,本设计的薏仁米脱壳机采用立式布置。其主要结构由电动机、机架、进料斗、砂轮磨盘、主轴、带轮及机壳组成。为了提高产量,节约设备安装空间及成本,采用如图 1 所示的两台脱壳机用一台电机驱动的结构布置,脱壳机的内部主体结构见图 2。

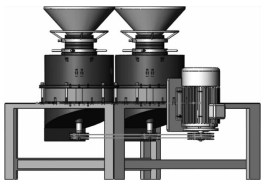
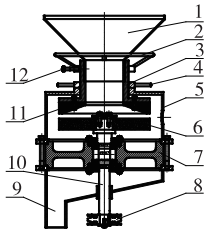


图 1 脱壳机外形图
Figure 1 Sheller graphic model



1. 进料斗 2. 调节手轮 3. 立料盘 4. 固定盘 5. 上机壳 6. 砂轮磨盘 7. 轴承座 8. 皮带轮 9. 出料口 10. 主轴 11. 尼龙定盘 12. 定位螺钉

图 2 脱壳机结构图
Figure 2 Sheller structure diagram

脱壳的工作原理是利用两磨盘之间的相对速度,对薏仁谷进行搓撕,薏仁谷与磨盘砂粒之间相互搓撕摩擦,使薏仁谷皮层受力不同,而被撕裂,从而达到脱壳的目的。

其主要工作过程为:当启动电动机时,电动机带动皮带轮 8 转动,皮带轮的从动轮带动脱壳机的主轴 10 转动,而主轴 10 的转动进而会带动磨盘 6 的转动。当薏仁谷从进料斗 1 经导仓进入尼龙定盘 11 和砂轮磨盘 6 间,磨盘 6 和薏仁谷粒间的相互摩擦导致薏仁谷的脱壳,脱壳后的薏仁米从磨盘边经出料口 9 流出,经过仁壳分离机构即完成薏仁谷的脱壳过程。

此脱壳机采用垂直式布置,进料料斗的机座和脱壳室之间安装有料闸板,可以调节进料速度,在主轴顶端通过轴肩座和轴端盖固定砂轮磨盘,在脱壳室底部装可安装仁壳分离机构,结构简单,操作方便,而且加工效率比较高。通过调整磨盘间距,也可以对其他五谷杂粮进行脱壳加工。

2 主要参数设计

本次设计的薏仁米脱壳机处理量为 300~400 kg/h,设计额定功率为 3 kW,额定电压 380 V。

2.1 电机与进料机构

根据输出功率及转速要求,选用型号为 Y100L2-4 电动机,输出功率 3 kW,转速 1 420 r/min。进料机构是调节薏仁粒进机流量的机构,它由进料斗、流量调节机构和螺旋输送器三部分组成。螺旋输送器可在碾米机工作时对其进机的

流量进行微调,通过调节流量可在一定范围内控制脱壳室内的压力。

2.2 尼龙定盘与砂轮磨盘

尼龙定盘及砂轮的设计是整个薏仁米脱壳机设计中的重点。其两者之间造型的设计,材料的选择,距离的控制是整个脱壳效果理想与否的关键。

尼龙定盘的作用主要是控制薏仁米的进料及扩散,保证薏仁米能均匀地分布于砂轮磨盘上,且流动流畅。故在定盘材料的选择上选用尼龙塑料,既经济又耐用。定盘的外形选用内凹倾斜型,这样便于薏仁粒的均匀扩散,且留有一定的平行余边,可以保证薏仁与磨盘的充分接触摩擦。根据薏仁粒的大小,尼龙定盘与砂轮磨盘之间的距离宜控制在 10 mm 左右,这样可以保证薏仁与磨盘的充分接触。尼龙定盘的外形见图 3。



图 3 尼龙定盘外形图
Figure 3 Nylon wheels graphic model

砂轮磨盘是进行脱壳的主要部件。它是薏仁米脱壳质量的决定性因素。砂轮磨盘的主要设计参数有:粒度、硬度、盘形。砂轮磨盘的主要成分是磨料和结合剂,目前制作砂轮磨盘的主要磨料采用的结合剂都是树脂结合剂。这种砂轮磨盘具有较好的弹性和耐冲击性,能在较高速的情况下长期负荷工作,且自身强度高、脱壳性能好、脱壳效率高、能耗较低^[1]。

在物理定义中,粒度表示磨料类物质颗粒的大小。因为刚进入脱壳机的薏仁皮层厚且表面较为光滑,抗剪切、挤压能力较大,因此为了提高脱壳的效率,磨盘采用粒度号为 60,基本尺寸为 710~600 μm 的砂轮磨盘。砂轮磨盘的硬度表示磨料类物质的颗粒之间相互黏合的紧密程度。它是指砂轮磨盘在受外部力量的作用下,磨料颗粒脱落的难易水平。如果磨料颗粒易于脱落,则表明砂轮磨盘的硬度不够强。如果砂轮磨盘表面的硬度过高,会导致磨料颗粒脱落困难,那么薏仁谷粒就会因表面打滑而不易脱壳,脱壳效率将会变低、电量损耗提高、薏仁米表面温度上升加快,导致薏仁米粒物理强度降低而形成碎米;相反,如果砂轮磨盘的硬度太低,砂轮磨盘的损耗加快,这将不仅严重影响砂轮磨盘的工作寿命,并且脱落的砂粒混在成品中影响薏仁米的质量。故砂轮磨盘的表面硬度影响出米率、薏仁米质量及电量损耗等方面。为保证本薏仁脱壳机的出米率,降低碎米率,提高薏仁米质量,选定砂轮磨盘为中 2 等级。考虑到砂轮磨盘的尺寸要与尼龙定盘的尺寸相对应,故将其尺寸设为: $\Phi 300\text{ mm}\times\Phi 55\text{ mm}\times 40\text{ mm}$ 。砂轮磨盘的外形见图 4。

2.3 主轴及其附属部件的结构设计

主轴的结构主要取决于轴上载荷的大小、方向、作用点、



图 4 砂轮磨盘外形图
Figure 4 Grinding wheels graphic model

及载荷的性质和轴的加工及装配工艺等综合因素。主轴上需要安装小带轮、砂轮磨盘、轴承等部件,主轴及安装在其上的部件爆炸图见图 5。

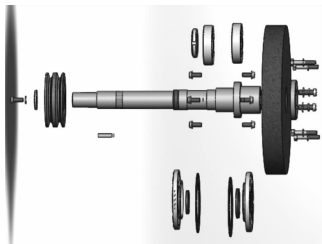


图 5 主轴及其部件爆炸图

Figure 5 Spindles and parts explosive view

3 模态分析

模态分析可用来计算机械结构的固有频率、阻尼比和模态振型等特征。为了避免薏仁米脱壳机工作时因机器结构设计的不合理而导致机壳与机架发生共振破坏或噪声污染,可以使用 ANSYS Workbench 有限元分析软件分别对薏仁米脱壳机的机壳与机架的运动参数进行分析求解,以排除设备运行时发生共振的可能^[12],并可根据分析结果改进设计,以减低设备运行时的噪声。根据机壳和机架的前四阶约束模态的固有频率和对应振型,计算出工作时的危险转速范围,这样就可以验证设计的合理性,或进一步优化设计。

3.1 机壳的模态分析

脱壳机的壳体由上壳体、轴承座、下壳体组成。上下壳体的材料均为 45 号钢,弹性模量为 200 GPa,密度为 7.852×10^{-6} kg/mm³,泊松比为 0.32,轴承座材料为铸铁,弹性模量和泊松比设为系统默认。进行网格划分法,生成壳体网格,

如图 6 所示,划分共产生 15 774 个节点,7 888 个单元。然后设置相应模态来求解参数,求解结果见图 7。现取其前四阶模态进行分析,相应的振型见图 8。

3.2 机架的模态分析

机架由 10 mm 厚的 45 号钢板焊接而成,弹性模量为 200 GPa,密度为 7.82×10^{-6} kg/mm³,泊松比为 0.32。对它进行网格划分法,生成壳体网格,如图 9 所示,划分共产生 8 017 个节点,3 832 个单元。然后给其施加约束,设置相应模态来求解参数,求解结果见图 10。取其前四阶模态进行分析,相应的振型见图 11。

3.3 结果分析

由上述数据分析可知,一阶频率是机壳与机架振动过程

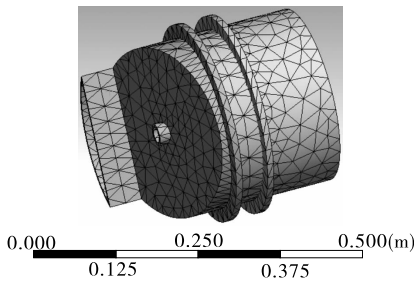


图 6 壳体模型的网格划分

Figure 6 Shell model finite element meshing

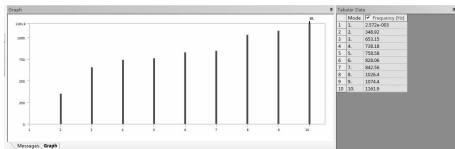
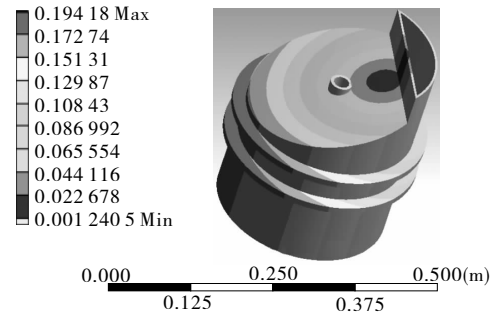
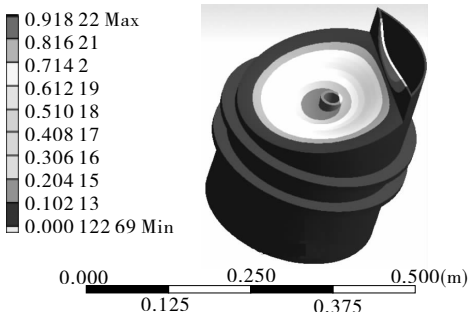


图 7 壳体的求解结果

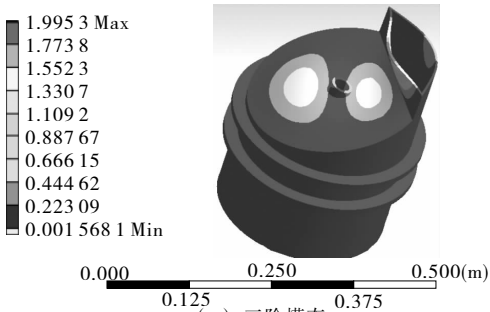
Figure 7 The modal results of shell



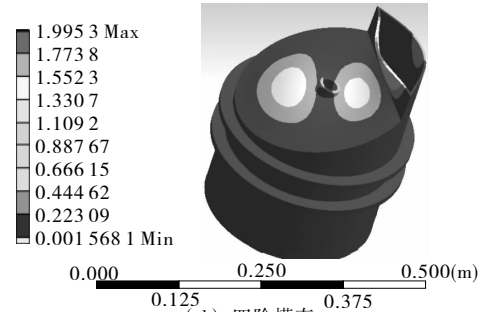
(a) 一阶模态



(b) 二阶模态



(c) 三阶模态



(d) 四阶模态

图 8 机壳模态振型图

Figure 8 Shell modal vibration mode figure

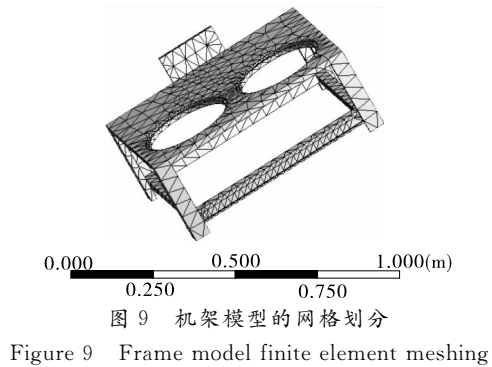


图 9 机架模型的网格划分

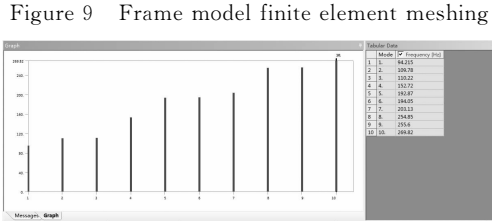
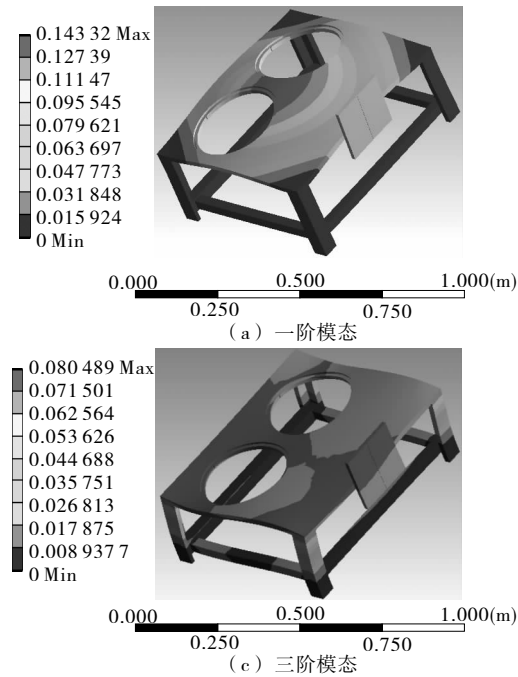
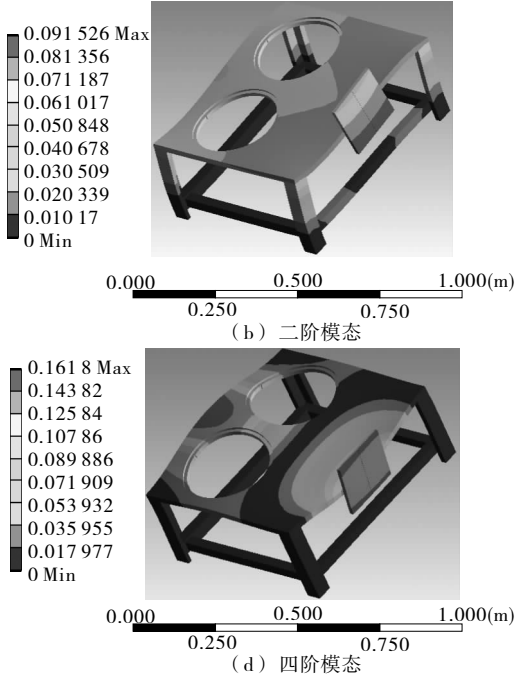


图 10 机架的求解结果

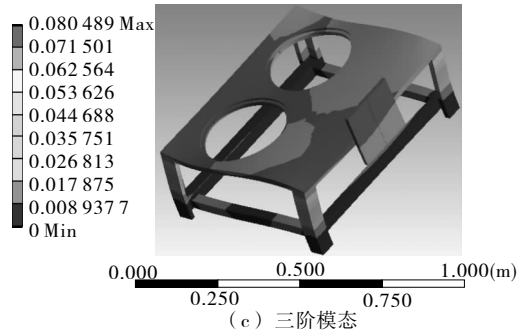
Figure 10 The modal results of frame



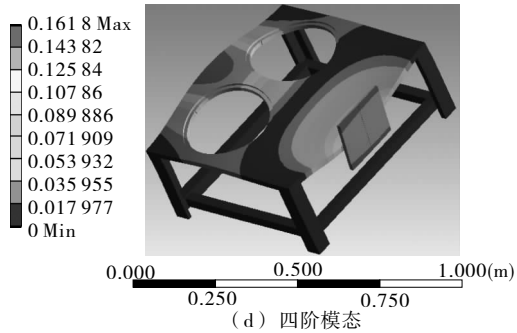
(a) 一阶模态



(b) 二阶模态



(c) 三阶模态



(d) 四阶模态

图 11 机架模态振型图

Figure 11 Frame modal vibration mode figure

参考文献

[1] 杨正志, 汤进. 一种薏仁米加工方法: 中国, CN103621874A [P]. 2014-03-12.

[2] 谢孝仁. 薏仁米加工技术的优化与应用[J]. 粮食与食品工业, 2013, 20(5): 27-29.

[3] 倪卫英, 钮向民. 豆类去皮机: 中国, CN103005622A[P]. 2013-04-03.

[4] 张日红, 朱立学. 水平碾搓式银杏脱壳机脱壳过程仿真研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 101-103.

[5] 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.

[6] NKAKINI S O, AYOTAMUNO M J, MAEBA G P D, et al. Manually-powered continuous-flow maize-sheller [J]. Applied

中的能量密集度最高处, 根据转速与频率的关系可知, 模态频率越高, 极限转速越高。由图 7 可知, 壳体的一阶模态频率为 2.572×10^{-3} Hz; 再由图 10 可知, 机架的一阶模态频率为 94.218 Hz。取壳体的一阶模态频率为参考量, 其对应的极限转速为 4 235.2 r/min, 而电动机的额定转速为 1 420 r/min, 故其远低于其危险转速范围, 可知脱壳机工作时是正常状态, 不会与机架发生共振。

4 结论

本试验设计了一种结构简单、脱壳效率高、碎米率低、能耗低的薏仁米脱壳机, 根据设计图纸和参数数据在湖北的一家粮机制造企业进行了试制生产, 并对试制的样机进行薏仁米脱壳试验。由试验得到: 原料处理量 0.3 t/h, 一次脱壳率 $\geq 95\%$, 整仁率 $\geq 98\%$, 设备功耗 3 kW。根据试验结果, 本薏仁米脱壳机能满足大多数中小型薏仁米加工企业的需求。在后续的设计工作中, 为了进一步提高产品的质量和性能, 本设计团队将对部分关键零件进行优化设计, 并设计该设备的智能控制系统, 以提高设备的操作性和进一步节能降耗。

Energy, 2007, 84(12): 1 175-1 186.

[7] 朱德泉, 曹成茂, 方家文, 等. 6HS-6 型山核桃破壳机的实验研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(11): 304-306.

[8] 阮克让, 向光波, 程相法. 胶辊砻谷机性能参数试验与优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 353-357.

[9] 陆华忠, 李君, 吕恩利, 等. 一种盘式剑豆脱壳机: 中国, 201210005901.0[P]. 2012-07-04.

[10] 杨正志, 杨延宏. 一种薏仁米生产加工工艺及装置: 中国, CN103894257A[P]. 2014-07-02.

[11] 邱健, 詹友基, 贾敏忠. 陶瓷结合剂金刚石砂轮磨削超细晶粒硬质合金的表面粗糙度研究[J]. 工具技术, 2014, 48(9): 20-24.

[12] 周怒潮, 贺小华, 李映峰. 搅拌釜凸缘结构的模态分析及改进设计[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 133-136.