

多联辊刀式莲子剥壳机的结构与工作原理

张永林, 易启伟, 余 群, 王旺平, 胡志刚

(武汉工业学院机械工程系, 武汉 430023)

摘 要: 为了实现高效低耗损机械化莲子剥壳, 针对壳莲物理及结构特性, 设计了一种基于辊刀切割原理的莲子剥壳机。辊刀式莲子剥壳机采用供送螺杆对壳莲进行分粒供送并使莲子按照一致的位形排序上料, 采用由双托辊和剥壳辊构成的剥壳通道实现莲子剥壳, 为适应不同品种、不同粒度壳莲的剥壳, 在剥壳机设计中采用了集总式调节机构以实现对主要切割参数即切割压力、切割深度、螺旋辊刀空间斜置和偏置角度的调节。通过基于物理样机的剥壳试验, 多联辊刀式莲子剥壳机的处理量大于 100 kg/h, 剥壳率大于 90%, 仁壳分离率达 92%, 籽仁破损率小于 3%。分析和试验结果表明, 多联辊刀式莲子剥壳机设计新颖, 性能稳定, 工作可靠, 调节维护方便快捷, 能够满足莲子机械化剥壳的实用性需求。

关键词: 剥壳机, 螺旋辊刀, 结构, 工作原理, 莲子

中图分类号: S226.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0076-04

张永林, 易启伟, 余 群, 等. 多联辊刀式莲子剥壳机的结构与工作原理[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 76—79.

Zhang Yonglin, Yi Qiwei, Yu Qun, et al. Structure and working principle of de-huller with multiple cutter units for lotus seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 76—79.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

莲子是盛产于两湖、两广和江浙地区的特色农产品。壳莲经由剥壳、脱皮、穿心和(或)开边等一系列加工后, 成为直接进入市场的成品莲米, 莲米营养价值高且适口性好^[1], 具有广阔的国内外市场。但是, 在莲子加工中, 壳莲的机械脱壳一直未能有效解决。莲壳主要由纤维素和半纤维素组成, 莲壳坚硬, 壳仁之间间隙小, 而主要由淀粉构成的莲仁又为脆性, 因此干壳莲子的破壳取仁难度很大^[2,3]。现有莲子剥壳仍以人工为主, 所研发的几类莲子剥壳机在实现壳莲机械剥壳方面进行了有益的探索^[4-6]。因为受限于壳莲的几何和物理机械特性, 当前在剥壳工艺上要解决剥壳率低、破碎率高等问题, 在设备性能上要解决可靠性低、作业稳定性差等问题, 通过创新设计, 形成成熟定型的剥壳机产品, 以满足莲子剥壳的实用性要求。

壳莲是一种外形较为规则、粒度分布较为集中且符合正态律的果实。经测定, 壳莲厚度径一般为10~18 mm, 长度径为12~20 mm, 壳厚0.61~0.86 mm, 外壳只有外表面的1/3较坚韧, 其余部分较脆, 只要坚韧部分被切开, 则较脆部分经适当挤压会自然裂开。故可按壳莲厚度径对壳莲分级, 在不同厚度径剥壳头上完成剥壳, 由此实现莲子剥壳的机械化^[7-9]。

1 剥壳机设计要求

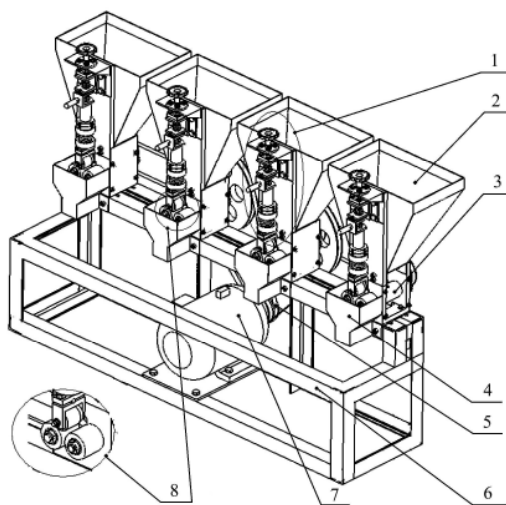
剥壳机设计要求为: 处理量: 80~100 kg/h; 剥壳率: >90%; 莲仁破损率: <3%; 仁壳分离率: >90%; 动力配备: 1.1 kW。

此外, 为提高原料的适应性, 剥壳机既能对不同厚度径的莲子进行机械剥壳, 也能对主要切割参数(切割力、切割深度、切割角度等)进行在线调节; 同时, 必须性能稳定、作业可靠、维护方便。

2 剥壳机总体结构

按剥壳原理, 坚果类物料的脱、剥壳方法有挤压式、撕搓式、冲击式、摩擦式、切割式等多种^[10-15]。大量试验研究表明, 由于壳莲构造、组织结构以及莲壳与莲仁的物理特性所限, 莲子脱壳宜采用切割式即刀剥的方法。剥壳设备由3部分组成: 快速分级装置、剥壳机和仁壳分离装置。本文重点介绍剥壳机的结构和工作原理。

所设计的多联辊刀式莲子剥壳机结构如图1所示, 主要由进料斗、电机及传动系统、分粒供料螺杆、剥壳



1.切割参数集总式调控装置 2.进料斗 3.分粒供料螺杆
4.出料口 5.传动系统 6.机架 7.电机 8.剥壳头

图1 多联辊刀式莲子剥壳机单组结构

Fig.1 Structure of de-huller with multi-cutter units for lotus seeds

收稿日期: 2007-09-29 修订日期: 2008-10-31

基金项目: 湖北省科技攻关计划项目(2006AA402C80)

作者简介: 张永林(1962—), 男, 教授。主要研究方向为机械设计及理论。

武汉 武汉工业学院机械工程系, 430023。Email: ylz22@whpu.edu.cn

头、集总式调节机构、出料口、机架等部分组成。经分级杆筛分级后的各级壳莲, 分置于剥壳机各个不同的进料斗内, 在同向转动的螺杆和光辊组成的送料机构作用下, 壳莲按序排列着从机座上的出料孔中推出, 莲子一经排出就进入由双托辊和螺旋辊刀构成的剥壳通道, 双托辊平行布置且同向转动, 辊面切制螺旋槽并滚花处理, 莲子由托辊摩擦带动边转动边前行, 逐渐为辊刀所切割, 螺旋辊刀既完成切割莲壳, 又带动莲子转动翻滚并不断向出料口移行, 最终从出口排出已剥壳莲子和莲壳。

3 关键技术与解决方案

3.1 排序上料与粒料位姿控制

能否顺畅接续进行剥壳作业, 取决于物料能否连续排序供送并在送料中完成沿长轴方向的进料取向。多联辊刀式莲子剥壳机每一剥壳单元均配用一套螺杆送料装置, 送料螺杆由平行排列且同向转动的一根光辊和一根螺旋辊构成, 料斗中的壳莲被螺旋槽分粒排序并依次往前推送, 从出莲孔口排出后, 经由双托辊和剥壳辊构成的剥壳通道, 边转动旋进边剥去莲壳。显然, 采用双辊式螺杆送料机构, 壳莲在两辊间由辊的带动而自转, 其遵循最小能量法则, 壳莲均按长轴水平取向排列, 其位姿的一致性使得切割过程稳定而流畅。

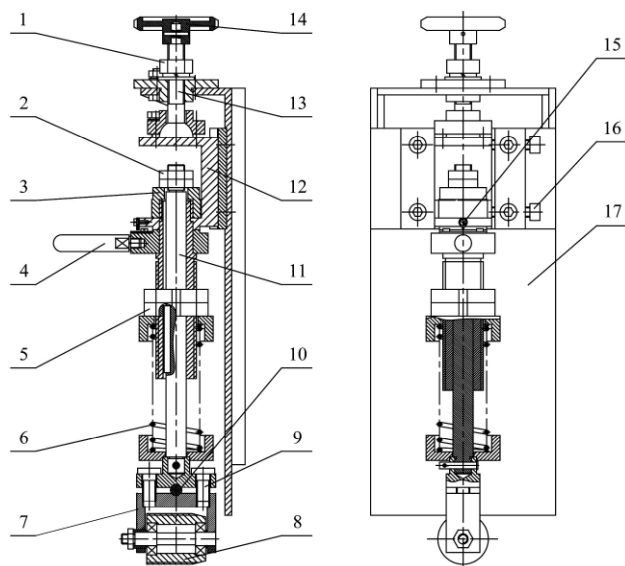
3.2 切割参数调控

剥壳机设计中所采用的集总式调节机构可以完成对切割主要参数的调节, 这些参数是: 切割压力、切割深度、切割刀在垂直面内的斜置角度、切割刀在水平面内的偏置角度。集总式调节机构如图 2 所示, 切割压力即预置且可调节的施于辊刀体上的正压力, 在切割压力作用下, 辊刀压向壳莲, 同时辊刀旋转以切割莲壳, 切割压力的调节由预压弹簧调节机构实现, 设计可调节传递压力为 8~20 kg 范围。切割深度即切深控制由切深限位调节机构在线调节控制, 主要根据被剥壳莲子尺寸及其壳壁厚度大小调节。该调节机构的设计考虑了 3 个要素: 一能在线调节, 二能在调节后自锁, 三要调节轻便省力。因此, 采用螺旋副调节机构, 调节的承力面加装滚珠, 以使调节操作轻快。

切割刀在垂直面内的斜置角度 α 和在水平面内的偏置角度 β (图 3 所示)的调节是剥壳机设计中最重要的一种几何量的调节设计。切割刀在垂直面内的斜置角度调节是为适应不同厚度径壳莲脱壳而设计, 但该参数同时也规定着剥壳通道的几何形状进而影响剥壳速度, 该倾角的调节采用上下两偏移块相对移位来实现。切割刀在水平面内的偏置角度的调节即为调节斜切角度和带料速度, 采用动定两转动盘的相对转动位移来达到对其调节的目的, 斜切是根据斜切省力原理而设计的。

对照图 2 所示, 切割参数的调节过程为: 旋动手轮 14 可以旋动半球杆 13 从而带动滑块 12、滑动轴 11、刀架 7、螺旋辊刀 8 等一系列零件的上下移动, 从而可调整辊刀 8 在竖直方向的初始位置。通过螺母 2 调整滑动轴 11 带动上调节板、刀架 7 等, 可控制辊刀 8 的下始点位置, 从而实现对莲子切割深度的调节及控制。松动螺母 3,

旋转手柄 4 可以依次带动滑动轴 11、刀架 7 及辊刀 8 等转动, 从而调整辊刀 8 在水平面内的偏置角度。调节螺钉 9 可使刀架 7 围绕轴 10 旋转, 从而调整辊刀 8 在垂直面内的斜置角度。通过调节薄螺母 5 可以调整弹簧 6 的预压缩量, 从而调整切割力大小。



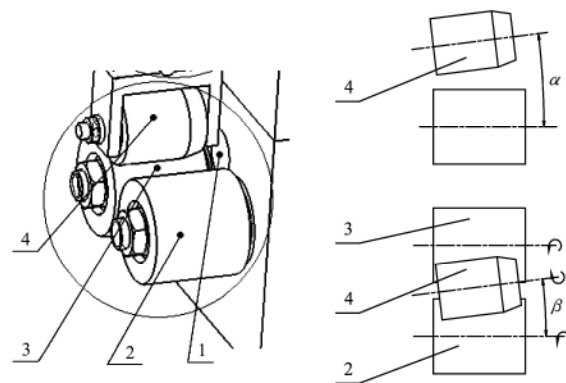
1.锁紧螺母 2.调节螺母 3.螺母 4.手柄 5.薄螺母 6.弹簧 7.刀架
8.螺旋辊刀 9.螺钉 10.轴 11.滑动轴 12.滑块 13.半球杆 14.手轮
15.指针 16.螺钉 17.支座

图 2 集总式调节机构

Fig.2 Lumped adjusting mechanism

3.3 剥壳头结构与仁壳自动分离

莲子剥壳的核心技术是既要保证得到较高的剥壳率, 又要保证剥壳后莲仁的完整性, 因此, 剥壳头的设计是莲子剥壳机设计的关键。所采用的剥壳头结构如图 3, 由水平平行布置的双托辊和空间斜置的螺旋剥壳辊刀构成渐变空间的剥壳通道, 壳莲从供料机构的出莲孔送出依次进入剥壳通道, 由外啮合齿轮传动的双托辊同向差速旋转以带动莲子转动, 同时上部的螺旋剥壳辊刀在由切割压力调节弹簧的施压下压向壳莲, 壳莲在转动过程中被旋转的辊刀破壳, 显然, 破壳位置发生在莲子颗粒最大周径的邻域。



1.上料孔 2.托辊 I 3.托辊 II 4.螺旋辊刀

图 3 剥壳头结构及空间布置

Fig.3 Structure and spatial arrangement of de-huller head

大量资料表明, 莲子外壳厚度方向从外到内只要 2/3 以上的外壳被切开后经适当挤压莲子壳就可以脱下^[5]。因此, 破壳莲子的仁壳分离通过挤压实现。莲子在螺旋辊刀作用下边周转破壳边向出口旋进, 通过结构设计和运动参数的选定以确保每颗莲子在一次通过剥壳通道过程中完成多次旋切, 这有利于仁壳分离。之后, 由螺旋辊刀斜置和偏置而构造的渐小通道空间对破壳莲子施加一定的挤压, 使仁壳自动分离。由托辊 I、托辊 II 及螺旋辊刀的相对位置及相对运动可以看出, 该剥壳头最显著特征为其采用的螺旋剥壳刀具结构具有切割和挟持进料合并功能。

双托辊和辊刀材料均采用 9CrWMn, 表面真空淬火处理。托辊 I 为斜纹托辊, 直径 40 mm, 辊长 40 mm, 圆柱面采用模数 $m=0.5$ 网纹滚花处理。托辊 II 为螺旋托辊, 直径 40 mm, 辊长 40 mm, 圆柱面先车制 M40×2.5 的螺旋纹, 然后采用模数 $m=0.5$ 网纹滚花处理。螺旋辊刀直径 30 mm, 辊长 36 mm, 圆柱面上车制头数为 1、导程为 2、牙型角为 50° 的右旋螺旋纹, 并保持螺旋刃口锋利。

4 剥壳试验

分级是实现低破损剥壳的前提。根据莲子粒度与尺寸分布范围, 采用专用莲子分级杆筛对莲子进行分级, 杆筛分级按壳莲颗粒的厚度径差异进行。按照有效剥壳且便于控深切割的原则, 结合壳莲尺度分布, 将壳莲分为 8 级, 所分级的壳莲各级对应的厚度径范围为: <12.5、12.5~13、13~13.5、13.5~14、14~14.5、14.5~15、15~15.5、>15.5 mm。与各级对应的筛杆各段的杆长按递减规律设计, 以适应流量递减。对分级得到的各级别壳莲

进行取样测量, 以保证分级精度达到 95%, 如果某级别精度未达到要求, 则对该级别壳莲进行二次杆筛分级。

在所研发的多联辊刀式剥壳机上进行剥壳试验。首先将经过称量的原料莲子放入杆筛料斗, 启动分级筛, 得到 8 级不同尺度范围的壳莲。将不同级别的壳莲放于 2 组共 8 个不同剥壳头单元相应的进料斗中, 按壳莲粒度预调剥壳机切割参数, 然后启动剥壳机, 在线调控切割参数并进行剥壳试验, 将脱出物分拣出未剥壳、莲仁破碎和已破壳而壳仁未分离 3 部分, 分别计算其剥壳率、破碎率和分离率。计算公式为:

剥壳率 (%) = $\frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$

破碎率 (%) = $\frac{M_2}{M_2 + M_3} \times 100$

分离率 (%) = $(1 - \frac{M_4}{M_0 - M_1}) \times 100$

式中 M_0 、 M_1 、 M_2 、 M_3 和 M_4 ——分别为进料总质量、出料中未剥壳部分质量、剥壳造成破碎的莲仁质量、剥壳所得整仁质量和已剥壳而壳仁未分离部分的重量。

试验所用的同品种壳莲(洪湖莲子)的莲壳强度一致, 将切割力调整到 12 kg 固定即可。取辊切刀偏置角度 8°、斜置角度 6°。分别调整切割深度参数为 0.65、0.7、0.75 和 0.8 mm 进行 4 组试验, 每组试验重复 4 次, 取 4 组试验结果的均值作为评定剥壳机性能的指标。剥壳试验数据记录如表 1。必须指出, 小于 12.5 mm 和大于 15.5 mm 粒度级别的壳莲由于尺度差异较大, 其试验结果与上下限界的粒度级别的壳莲试验结果存在差距, 两极试验仅具比较意义。

表 1 剥壳率与破碎率试验结果
Table 1 Experimental results of de-hulling ratio and broken ratio

试验组别	壳莲厚度径/mm								%
	<12.5	12.5~13	13~13.5	13.5~14	14~14.5	14.5~15	15~15.5	>15.5	
1	86.5/2.1	91.2/2.3	91.1/2.1	91.3/2.2	91.1/2.2	91.2/2.1	91.1/2.3	88.1/3.1	90.2/2.3
2	87.4/2.3	91.6/2.3	91.6/2.2	91.5/2.3	91.4/2.3	91.4/2.2	91.7/2.4	88.3/3.2	90.6/2.4
3	88.2/2.5	92.3/2.5	92.1/2.5	92.0/2.5	91.8/2.4	92.1/2.5	92.4/2.7	89.4/3.4	91.3/2.6
4	89.1/2.7	92.9/2.8	93.0/3.0	92.8/2.9	92.8/2.8	93.1/3.2	93.0/3.2	90.3/3.9	92.2/3.0

注: 表中数据为剥壳率/破碎率。

此外, 由 4 组试验的结果可以看出, 剥壳率与破碎率之间是一种反向制约规律, 即, 下调控深参数可以获得递增的剥壳率, 但与此同时, 莲仁的破碎率急剧上升。

所研发的多联辊刀式莲子剥壳机依据壳莲 8 级分级剥壳要求, 1 台剥壳机由 2 组共 8 个剥壳头组成(图 1 所示为其中的 1 组, 有 4 个剥壳头), 剥壳机的处理能力为 100 kg/h, 在前路壳莲分级杆筛的分级精度达到 95% 时, 剥壳机的剥壳率超过 91%, 籽仁破损率小于 3%, 仁壳分离率达到 92%, 故达到了预期设计目标。

5 结 论

针对壳莲物理特性和结构特点所创新设计的多联辊刀式莲子剥壳机基于切割破壳原理方法, 采用螺杆供料机构实现排序上料及莲子颗粒进料时的位姿控制, 采用可在线调节的集总式调节机构实现对不同厚度径壳莲的机械剥壳, 在剥壳过程中, 3 个主要剥壳参数切割深度、切割压力、切刀空间斜置及偏置角度均可调控。剥壳试验表明, 多联辊刀式莲子剥壳机在满足设定的处理量的前提下, 剥壳率达 91%, 籽仁破损率小于 3%, 仁壳分离

率达 92%。同时,剥壳机工作稳定可靠、适应性强、调节维护方便快捷,可以满足莲子机械化剥壳的实际应用需要。

[参 考 文 献]

- [1] 郑宝东,郑金贵,曾绍校.我国主要莲子品种营养成分的分析[J].营养学报,2003,25(2):153-156.
- [2] 赵小广,宗 力.坚果类物料脱壳技术应用与发展现状[J].新疆农机化,2005,(6):29-32.
- [3] 袁巧霞.我国坚果脱壳机现状及亟待解决的技术问题[J].农机化研究,2001,(3):9-10,27.
- [4] 郑传祥.莲子脱壳机设计与试验[J].农业机械学报,2003,34(5):106-108.
- [5] 王 飞,陈义厚.莲子穿心脱壳机的设计与研究[J].机械研究与应用,2006,19(5):79-80.
- [6] 刘绍雄.莲子加工工艺与剥壳原理的分析研究[J].粮油加工食品机械,1987,(6):9-12.
- [7] 赵小广,宗 力,谢丽娟.干壳莲子物理参数试验研究[J].食品与机械,2006,22(2):53-55.
- [8] 谢丽娟,宗 力,李小昱.莲子机械特性的测试研究[J].农业工程学报,2005,21(7):11-14.
- [9] 刘木华.莲子物理机械特性试验研究[J].江西农业大学学报,1999,21(3):25-27.
- [10] 郑传祥.锥栗脱壳去皮技术及设备的开发[J].农业工程学报,2003,19(1):165-167.
- [11] 张 麟.油菜籽脱壳与仁壳分离设备研究[J].农业工程学报,2004,20(1):140-143.
- [12] 吴子岳.绵核桃剥壳取仁机械的研究[J].农业工程学报,1995,11(4):164-169.
- [13] 黄家瀚,陈 静,周 刚,等.澳洲坚果锯壳机的研制与试验[J].热带作物机械化,1998,(2):7-9,37.
- [14] 陈奎孚,王凤竹,张 平.用于剥裂球形坚果的碾磨盘间距优化[J].力学与实践,2001,23(6):31-33.
- [15] 刘滨凡,战廷文,王怀宇.风吸式多功能坚果脱壳机的研制[J].森林工程,2005,21(2):10-12.

Structure and working principle of de-huller with multiple cutter units for lotus seeds

Zhang Yonglin, Yi Qiwei, Yu Qun, Wang Wangping, Hu Zhigang

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

Abstract: In order to reach high efficiency and low loss of mechanized de-hulling for lotus seeds, de-huller for lotus seeds was designed based on the cutting principle and corresponding to the physical and structure characteristics of lotus seeds. In the design of the de-huller, the lotus seeds were fed into the de-hulling channel in queue of the seeds with a certain heading orientation by using a screw expeller, and the de-hulling channel composed of two rotating supporting roller and a con-rotating cutting roller was established to realize the de-hulling of seeds. The integrated adjustment unit was designed for the adjustment of the main cutting parameters such as cutting force, cutting depth, two obliquities in horizontal and vertical plane so that the different variety and granularity of seeds were de-hulled. With the experiment on the a physical prototyping, the de-huller was specified with the capacity of above 100 kg/h, the de-hulling rate of 90%, the separating rate of kernel from hull of 92% and the broken rate of kernels of less than 3%. The analysis and practice demonstrated that the de-huller was characterized with the innovative design, stable performance, reliable operation and convenient adjustment and suited for the mechanical processing of lotus seeds.

Key words: de-huller, screw cutter, structure, working principle, lotus seed