

小型红枣去核机料斗机械振动装置设计及仿真分析

Design and simulation analysis of the hopper mechanical vibration device for small jujube kernel removing machine

时明明 周洁 金瑶 孔晓玲
SHI Ming-ming ZHOU Jie JIN Yao KONG Xiao-ling

(安徽农业大学工学院, 安徽 合肥 230036)
(Technology School of Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

摘要:为了提高红枣的上料速率,使红枣能准确落入枣杯,减少空杯率,对料斗的结构进行了设计,并在料斗处采用了直线往复式的机械振动装置。利用 Adams 软件对振动装置进行虚拟仿真分析,表明振动装置最佳工作转速范围为 250~350 r/min 以及 400~425 r/min,红枣的上料效率最高。验证实验结果和仿真分析基本一致。

关键词:红枣;去核;振动;仿真

Abstract: In order to improve the feeding rate of jujube, make jujubes fall into the cups and reduce the rate of the empty cup, the structure of hopper was designed, and the linear reciprocating mechanical vibration device was adopted in the hopper. The virtual simulation analysis of the vibration device was carried out with Adams software. The result shows that the optimum operating speed range of the vibration device is 250~350 r/min and 400~425 r/min, and the feeding efficiency of jujubes is the highest at this time. Finally through the test, the results and the simulation analysis are basically consistent.

Keywords: jujube; kernel removing; vibration; simulation

红枣去核机其工作流程主要包括上料、输送、定位、冲核和分离等^[1-3];其中上料过程直接影响后续的工作效果,所以有必要对上料装置进行研究。杨莉玲等^[4]设计的 6QH-600 型红枣去核机,通过多面体轮驱动履带上料,并利用毛刷对红枣进行扶正。马朝峰等^[5]设计的红枣去核机,利用安装有 U 型凹槽块的滚子链板对红枣进行排队上料,同时采用打平机构将竖立在凹槽中的红枣拨平或者打落回料斗。刘振省^[6]设计的一种全自动去核机,采用圆盘式供料机构,定量拨枣滚刷旋转翻动,保证每个枣孔中只有一个红枣;该

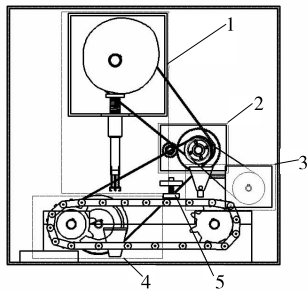
去核机结构简单紧凑,但生产时需要人员配合供料,效率较低。闫天翔等^[7]提出的履带式红枣去核机,采用电磁振动供料器供料,转盘式上料器上料,设计较为新颖,但结构复杂。上述上料装置对于料斗的设计较少,主要集中在输送装置上,结构较为复杂。

由于安徽农业大学所设计的红枣去核机,结构紧凑,适用于小型化生产,所以上料装置结构不能过于复杂。文章主要对料斗出口口进行设计,同时在料斗中添加机械振动装置,以提高红枣的下落速率,并且减少输送板上枣杯的空杯率,保证后续去核操作的工作效率。

1 去核机的组成及工作原理

红枣去核机主要组成结构见图 1。

去核机的动力由电动机提供,并经过减速器降速增扭后,通过传动系统传递到各个工作装置,主要包括振动装置、输送装置、以及去核装置等。振动装置由偏心轮驱动,并产生水平方向的往复直线运动,用于提高料斗中红枣的下落率;输送装置主要由链轮、链条以及附板等组成,用于输送红枣;去核装置由凸轮机构和去核冲针等组成,用以完成红枣去核工作。



1. 红枣去核装置 2. 减速器 3. 料斗振动装置 4. 红枣扶正装置
5. 红枣输送及收集装置

图 1 红枣去核机结构图

Figure 1 The total structure of the jujube pit removing machine

基金项目:安徽农业大学研究生创新基金项目(编号:2015-41)

作者简介:时明明,男,安徽农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:孔晓玲(1956—),女,安徽农业大学教授,硕士生导师。

E-mail: kong923@126.com

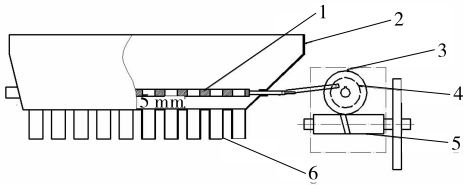
收稿日期:2016-04-12

2 料斗振动装置

红枣去核机在完成去核之前,首先需要使红枣竖直进入输送带上的枣杯之中;以往去核机大多通过改进输送装置,来完成这一工作,但该装置结构一般较为复杂,且多用于产量大的机械^[8]。针对小型去核机的料斗进行设计,添加直线往复运动的振动筛,辅助红枣下落,整体结构简单、紧凑。

2.1 料斗振动装置结构及原理

根据振动筛原理^{[9]15},在料斗中添加水平直线往复振动装置(以下简称为振动筛),并且通过偏心轮机构进行驱动。振动筛表面开有 2 排筛孔,并与料斗漏枣孔相对应;同时振动装置与料斗底面的间隙为 5 mm,以防止红枣在振动过程中卡在间隙之中。料斗底面漏枣孔下方连接红枣下落方向导管,用于将红枣竖直输送到输送带的枣杯之中。由于本去核机处理的红枣直径大于 15 mm,同时为了防止红枣在振动过程中卡在振动筛与料斗之间的水平间隙中,将振动筛的振幅定为 15 mm。其料斗振动筛的结构见图 2。



1. 振动筛 2. 料斗 3. 蜗轮 4. 偏心轮 5. 蜗杆 6. 红枣导向管
图 2 料斗振动装置的结构示意

Figure 2 Structure diagram of the hopper vibration device

动力首先经过蜗轮蜗杆改变方向,然后传递给偏心轮,进而驱动振动筛,其运动规律为直线往复简谐运动^{[10]9},振动筛沿振动方向的位移、速度、加速度可表示为:

$$x = A \sin \omega t , \tag{1}$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega A \cos \omega t , \tag{2}$$

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 A \sin \omega t , \tag{3}$$

式中:

- x —— 位移,mm;
- d —— 颗粒直径,mm;
- v —— 速度,mm/s;
- a —— 加速度,mm/s²;
- t —— 时间,s;
- A —— 振动筛的振幅,mm;
- ω —— 振动筛的圆频率,rad/s。

由式(1)~(3)可知,本直线往复振动装置性能主要受振幅以及曲柄转速等因素的影响。而为了防止红枣在振动过程中卡在振动装置与料斗之间的水平间隙中,影响振动效果,故将振动装置振幅 A 定为 15 mm;此时主要影响因素为曲柄转速。

2.2 颗粒垂直落到水平振动筛面的透筛概率

在料斗振动筛的工作过程中,红枣与振动筛表面发生相

对运动,红枣通过筛孔落下。而当红枣从垂直方向落下时,红枣会直接通过筛孔,而不与振动筛表面在水平方向发生运动,也有部分红枣与振动筛表面发生碰撞后并与振动筛表面在水平方向发生运动落下的情况。分析红枣颗粒的透筛概率^{[9]16-25[10]19-21},可以了解红枣的下落速率及减少空杯率。振动筛筛孔形状为圆形,直径为 D ,为方便计算,将筛孔现状简化为外切的正方形,且其边长为 L ;筛孔之间的间距为 a ,红枣直径为 d ,见图 3;颗粒每次在筛体上跳动的透筛概率为透过筛孔有效面积 $n(L-d+\delta a)^2$ 与振动筛总面积 $n(L+a)^2$ 的比值,即为:

$$P = \frac{n(L-d+\delta a)^2}{n(L+a)^2} = \frac{(1-\frac{d}{L}+\delta\frac{a}{L})^2}{(1+\frac{a}{L})^2} , \tag{4}$$

式中:

- n —— 振动筛面上筛孔个数;
- L —— 筛孔的边长,mm;
- a —— 筛孔之间的间距,mm;
- d —— 颗粒直径,mm;
- δ —— 颗粒与筛孔内表面碰撞后仍可通过筛孔的系数,且其值小于 1。

δ 与相对粒度 $x = \frac{d}{L}$ 的取值关系见表 1。

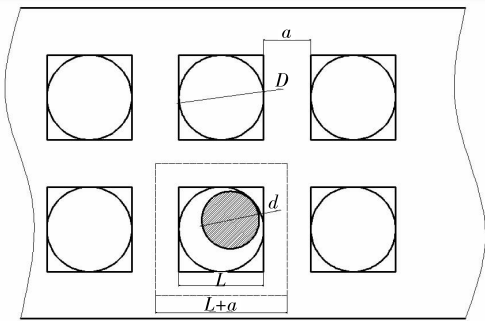


图 3 颗粒透筛图

Figure 3 The figure of particles pass the screen

表 1 相对粒度 x 与 δ 的取值关系

Table 1 The relationship between relative size x and δ				
x	0.80	0.60	0.40	0.30
δ	0.05	0.10	0.15	0.20

通过式(4)和表 1 可知,透筛概率 P 与相对粒度 x 之间密切相关,即 P 与 x 之间呈负相关,所以直径小于筛孔的颗粒更容易通过振动筛,实现颗粒透筛。同时通过式(4)可以看出振动筛有效面积系数 $\frac{L^2}{(L+a)^2}$ 越大,透筛概率 P 也越大,即 L 越大、 a 越小,透筛概率 P 越大;同时为使红枣能够竖直通过筛孔,并防止红枣横躺通过,造成红枣卡在料斗和振动筛之间的纵向间隙中,将筛孔尺寸 L 的取值范围定为 $d+e \leq L \leq 0.8b$,其中 d 为红枣直径、 e 为筛孔尺寸误差、 b 为红枣横向长度;振动筛筛孔与料斗漏枣孔在位置上需要相

互对应,且筛孔之间的间距 a 越小,透筛概率越大,在满足振动筛强度的情况下, a 的取值范围尽量减小。结合 L 、 a 的取值设计振动筛,保证红枣能够准确的竖直落入枣杯之中。

2.3 料斗振动装置仿真分析

利用 Adams 虚拟仿真软件对料斗振动筛进行仿真分析^[11],得到单颗粒红枣在不同大小的力 F 的作用下,以及不同驱动转速 n 下的透筛时间,进而分析最佳驱动转速的范围,为去核机的整体设计提供帮助。

2.3.1 虚拟样机模型的建立 利用 CATIA 软件建立振动装置模型,然后导入 ADAMS 软件,并在其中创建连杆和曲柄,代替偏心,最后进行仿真分析。其中各部件之间的约束以及运动副的添加情况见表 2。

表 2 各部件之间约束以及运动副的添加情况

Table 2 Constraints between parts and motion pair to add

约束类型	约束对象	约束位置
移动副	振动体与料斗之间	振动体伸出杆右侧 Marker 点
旋转副	曲柄与大地之间	曲柄下端 Marker 点
旋转副	曲柄与连杆之间	曲柄上端 Marker 点
旋转副	连杆与振动体之间	连杆左侧 Marker 点
固定副	料斗与大地之间	料斗质心
旋转驱动	曲柄与大地之间的旋转	曲柄下端 Marker 点

经过对振动装置模型的简化、约束和运动副的添加之后,建立的虚拟样机模型见图 4。

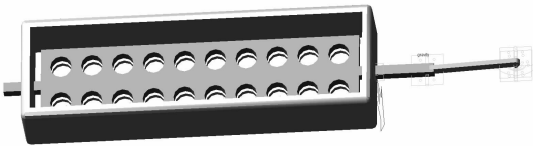


图 4 直线往复振动筛虚拟样机模型

Figure 4 The virtual prototype model of linear reciprocating vibrating screen

2.3.2 红枣在振动装置中的透筛仿真分析 考虑仿真分析的复杂度以及仿真要求,仅对单颗红枣在料斗振动装置中的透筛性能进行分析。为了研究不同数量红枣在振动过程中的透筛时间,将红枣间的相互作用简化为力 F ,其与红枣重力 mg 之间的夹角小于 30° ,与此同时红枣还受到垂直于振动体表面的支持力 N 的作用;当振动面的加速度水平向左时,红枣受到振动面施加的系统惯性力 F_2 水平向右,见图 5。

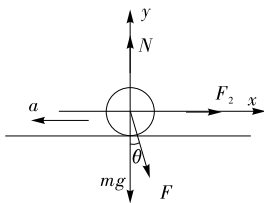


图 5 颗粒在水平筛面上的受力图

Figure 5 The force analysis of particles on the screen

在虚拟样机中导入红枣模型,定义基本属性,并添加红枣与振动筛以及料斗之间的接触约束,然后对红枣施加力 F ,最后进行仿真试验。

影响红枣透筛的因素主要有曲柄转速 n 、以及力 F 大小。仿真试验中,分别取 4 组不同大小的力 F ,然后在各个力 F 下选取不同的曲柄转速 n ,设定透筛时间上限为 50 s,最后测定透筛时间 t ,进而选定有效透筛转速范围(设定单颗红枣的透筛时间 $t \leq 5$ s 时为有效值),见图 6。

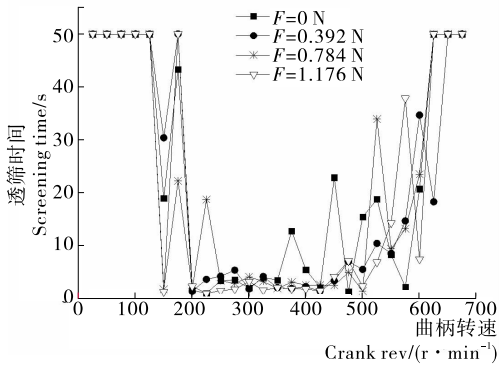


图 6 不同转速和受力对透筛时间的影响

Figure 6 Effect of different speed and force on particles pass the screen

由图 6 可知,低速段(25~125 r/min),透筛时间为 50 s,中速段(150~500 r/min),透筛时间基本在 10 s 以下,最后到达高速段(525~675 r/min),透筛时间变化较大,并到达 50 s 的上限值。同时,随着力 F 的增大,红枣有效透筛转速 n 的可取值范围有所增大。通过对比以上 4 种情况下的透筛时间,选定有效转速 n 的范围为 250~350 r/min、以及 400~425 r/min。

3 验证实验

试验中所采用的样机为原型装置经过一定简化的相似模型,其动态特性仍然相似^[12-16]。根据虚拟仿真分析所得到的透筛时间,以及试验装置的大小,将试验所用的红枣数量定为 40 枚(大约等效于 0.784 N 的力作用于红枣),测定在不同转速下红枣的透筛时间,每个转速测试 10 次,然后取平均透筛时间。试验结果见图 7。

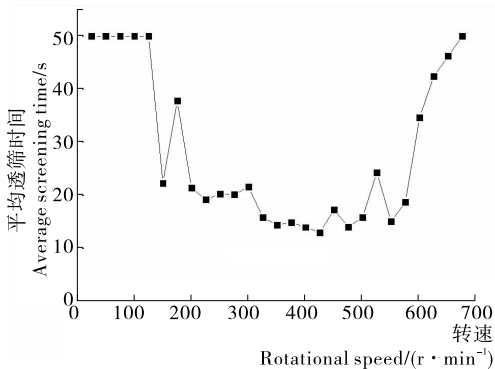


图 7 40 枚红枣在不同转速下的透筛时间

Figure 7 Structure diagram of the hopper vibration device

由图 7 可知,40 枚红枣随着转速的逐渐提高,红枣透筛时间整体呈下降趋势,而透筛时间在 20 s 以内的转速范围为 200~500 r/min,当转速提升到 525 r/min 后,透筛时间开始逐渐增加,并且透筛时间超过 20 s。试验中设备自身存在一定的上下振动,可能会对透筛时间产生一定的影响,但整体的变化规律与虚拟仿真分析结果大体一致,故可以认为仿真分析所得转速取值范围有效,进而为确定振动装置的驱动转速提供依据。

4 结论

(1) 设计的料斗振动装置结构简单,并能够有效地实现红枣定向下落,减少输送过程中的空杯率。

(2) 通过 Adams 软件对料斗振动装置进行仿真分析,了解到转速与透筛时间密切相关,同时确定驱动转速为 250~350 r/min 或者 400~425 r/min 时,单颗红枣的透筛时间均较稳定,且处在 5 s 以内,完全满足设计要求。

(3) 通过 40 颗红枣的透筛试验,得出不同驱动转速下红枣的透筛时间趋势与仿真结果大体一致,进而验证仿真结果的可靠性。

该料斗振动装置已经满足设计的红枣去核机的使用要求,但可以通过改变振动倾角和方向角等因素,对其进行改进,提高适用范围。

参考文献

[1] 文怀兴,李新博.大枣去核机构的设计与分析[J].食品与机械,2013,29(4):112-121.
[2] 王小爱.红枣去核机的设计与研发[J].安徽农业科学,2012,40(14):8 374-8 375,8 381.

[3] 杨一,周靖博,张淑娟.红枣去核机传动系统中主轴的有限元分析[J].农机化研究,2015(10):19-23.
[4] 杨莉玲,李忠新,刘佳,等.6QH-600 型红枣去核机[J].新疆农机化,2011(4):34-35.
[5] 马朝峰,刘凯,周春国,等.链式红枣去核机的设计与实验[J].农业工程学报,2011,27(5):127-130.
[6] 刘振省.新型全自动红枣去核机:中国,201020249547.2[P].2011-01-12.
[7] 闫天翔,赵建国.履带式大枣自动去核机[J].轻工机械,2009,27(6):73-78.
[8] 袁东阁.红枣自动去核机的设计与技术研究[D].泰安:山东农业大学,2014:1-8.
[9] 程云芬.直线振动筛的结构优化设计及模态分析[D].太原:太原理工大学,2014.
[10] 李海龙.基于 ADAMS 的直线往复振动筛筛分性能研究[D].昆明:昆明理工大学,2014.
[11] 霍鹏飞,杨洁明,任锡义,等.基于 Pro/E 和 ADAMS 的直线振动筛动力学仿真[J].煤矿机电,2010(3):14-17.
[12] 王永岩,张则荣.振动筛试验模型和原型相似试验研究[J].机械工程学报,2011,47(5):101-105.
[13] 张立,仲梁维.直线振动筛的动力学和疲劳分析[J].上海理工大学学报,2009,31(3):299-302.
[14] 李洪昌,李耀明,唐忠,等.基于 EDEM 的振动筛数值模拟与分析[J].农业工程学报,2011,27(5):117-121.
[15] Demeulenaere B, Berkof R S. Improving machine drive dynamics: a structured design approach toward balancing[J]. Journal of Mechanical Design, 2008, 130(8): 1-7.
[16] 马履中,林钰珍,杨文亮,等.基于籽粒运动的多维振动筛分效率分析[J].农业机械学报,2009,40(10):62-66.

(上接第 4 页)

其中有近 30% 荞麦仁的硬度低于 0.80 kg。这些结果表明,各品种荞麦的仁硬度都较低,不同品种荞麦的仁硬度会有较大差异,对不同品种荞麦进行脱壳加工时,应注意适当调节脱壳工艺。

3 结论

不同品种荞麦间籽粒的有些物理学特性存在共性,如籽粒度 3.8~5.0 mm 占 90% 以上,仁色泽 L^* 、 a^* 和 b^* 值显著高于荞麦籽,籽壳仁比重及壳厚度差异很小;但籽含水率和千粒重,籽仁容重,壳仁占籽重量比率,壳仁间隙及仁硬度等物理学特性又有较大差异。荞麦脱壳技术研发及脱壳生产,既要利用荞麦籽粒的这些物理学共性,也要根据具体荞麦籽粒原料的物理学特性,调整脱壳设备与工艺,才能提高荞麦脱壳加工的壳仁分离效率和整半仁率。

参考文献

[1] 徐树科.荞麦的营养功能、应用及其脱壳工艺和设备[J].粮食与饲料工业,2004(12):17-19.
[2] 胡志超.加强荞麦脱壳加工设备研究开发促进荞麦加工产业化发展[J].中国农机化,2004(3):11-13.

[3] 向达兵,彭镰心,赵钢,等.荞麦栽培研究进展[J].作物杂志,2013(3):1-6.
[4] 郭谊,林保,任宏霞,等.实验室条件下稻谷水分对整精米率的影响验证实验[J].粮食贮藏,2008(3):42-44.
[5] 杉本雅俊,稻木幸夫,今井徹,福井県産ソバの性状との関係[J].北陸作物学会報,1993,28:81-84.
[6] KALINOVA J, VRCHOTOVA N. The influence of organic and conventional crop management, variety and year on the yield and flavonoid level in common buckwheat groats [J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 602-608.
[7] SOBHANI M R, RAHMIKHDOEV G, MAZAHERI D, et al. Effects of sowing date, cropping pattern and nitrogen on CGR, yield and yield component summer sowing buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)[J]. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 2012, 2(1): 35-46.
[8] 张丽君,马名川,刘龙龙,等.山西省甜荞品种资源的研究[J].中国种业,2014(6):42-45.
[9] 刁斯琴,杜文亮,隋建民,等.剥壳间隙对荞麦整半仁率的影响规律[J].食品与机械,2013,29(3):191-193,221.
[10] 贾富国,南景富,白士刚.糙米的含水率与其碾米性能的影响规律研究[J].东北农业大学学报,2006,37(5):665-668.