

变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机设计与试验

赵武云^{1,2}, 郭康权¹

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对传统种子玉米脱粒机作业时所引起的籽粒脱粒损失率大、破碎率高, 果穗轴碎芯较多, 对玉米种子发芽及后续清选作业产生严重影响的问题, 研制了一种变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机。结合挤搓式脱粒工艺及仿生技术, 对样机关键作业部件变径变间距螺旋板齿式脱粒装置及排芯口变刚度压板装置进行了设计与理论分析, 并结合该脱粒机进行了相关种子玉米果穗脱粒试验。结果表明, 利用该变径变间距螺旋板齿式种子玉米脱粒机进行作业, 籽粒破碎率为 0.45% ~ 0.64%, 脱粒损失率 0.30% ~ 0.53%, 脱粒含杂率为 4.13% ~ 5.83%, 能够实现种子玉米果穗高脱净、低破碎、少碎芯的脱粒作业要求。

关键词: 玉米脱粒机; 螺旋板齿; 变径变间距; 设计; 试验

中图分类号: S23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0226-05

Design and experiment of corn thresher with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth

ZHAO Wu-yun^{1,2}, GUO Kang-quan¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. School of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Aimed at the problems that the conventional seed corn threshers faced in operation such as the high loss rate and high crushing rate of grains, and high impurity rate of broken cores, which caused great influence to the germination and cleaning of corn seeds, a new type of corn thresher with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth was developed. Combined with the threshing process by squeezing and rubbing and bionic technology, the key parts of the prototype including the threshing device with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth and the cob discharging outlet device with variable stiffness clamp were designed and analyzed theoretically, and the experiment of the corn thresher was carried out. The results showed that, by adopting the seed corn thresher with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth, the broken rate of grains was 0.45% ~ 0.64%, the threshing loss rate was 0.30% ~ 0.53%, and the impurity rate was 4.13% ~ 5.83%, which could meet the demand of clean threshing, low fragmentation and little broken core.

Keywords: corn thresher; spiral plate tooth; varied-diameter and varied-spacing; design; experiment

甘肃西部是中国重要的玉米种子育种基地之一^[1-2], 目前, 大部分玉米种子的脱粒作业均采用传统玉米脱粒机完成^[3]。传统种子玉米脱粒装置主要通过垂直安装在脱粒主轴上的板齿元件对玉米果穗进行搅动和撞击来完成脱粒作业, 对玉米制种籽粒的损伤大、破碎率高, 对玉米种子后续发芽、出苗产生严重影响与制约^[3]。一般来说, 传统脱粒方式总损失率要超过 2%, 脱净率略低。玉米果穗在脱粒

过程中, 穗轴碎芯较多, 对预清机的风选、筛选系统构成很大压力, 导致预清后种子清选含杂率较大^[4-6]。

针对上述问题, 结合挤搓式脱粒工艺、仿生技术及组合式轴流脱粒滚筒脱粒性能柔和、脱粒效果好的特点, 研制了一种设有变径变间距螺旋板齿式脱粒装置及排芯口变刚度压板装置的种子玉米脱粒机, 以期解决传统种子玉米脱粒机作业时的弊端与不足, 为

收稿日期: 2012-09-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“西北绿洲农牧循环技术集成与示范”(2012BAD14B10); 甘肃省科学技术攻关计划项目“新型低破碎玉米种子脱粒机”(2GS064-A52-032-03)

作者简介: 赵武云(1966—), 男, 甘肃兰州人, 教授, 博士, 主要从事农业工程技术与装备研究。E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn。

通信作者: 郭康权(1955—), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械及农产品加工装备的研究。E-mail: jdgkq@nwsuaf.edu.cn。

中国制种玉米脱粒装置的设计研发提供参考。

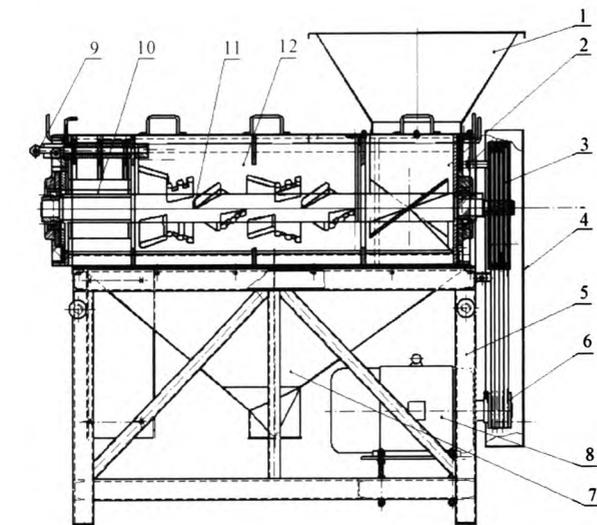
1 整机组成及工作原理

1.1 结构组成

设计的变径变间距螺旋板齿式种子玉米脱粒机主要由变径变间距螺旋板齿式脱粒装置^[7]、排芯口变刚度压板装置^[8]及动力、传动系统等组成,整机结构如图 1 所示。

1.2 工作原理

应用该机脱粒作业时,剥去苞叶的种子玉米果穗在人工投入下由喂料斗快速进入脱粒仓,在滚筒端部螺旋板齿的旋转带动下,玉米果穗随着脱粒装置上的螺旋平板齿及螺旋冠状齿绕板齿滚筒做轴向螺旋运动。在脱粒滚筒的径向方位,果穗与果穗之间、果穗与栅栏式漏籽凹板之间进行相互挤搓;在脱粒滚筒的轴向方位,脱粒装置的螺旋平板齿和螺旋冠状齿推动玉米果穗沿其轴向运动;因此,玉米果穗在脱粒滚筒的径轴方向上既滚动又滑动,从而达到挤搓脱粒的效果^[3,9]。在挤搓脱粒过程中,玉米籽粒通过漏籽板进入出料斗进而排出机外,果穗轴芯向前运动,滞留在排芯口附近,当穗轴芯大量堆积在脱粒区内产生一定压力后,顶起脱粒机排芯口变刚度压板装置而排出,从而完成种子玉米果穗揉搓脱粒的目的。



1. 喂料斗 Feeding hopper; 2. 进料口 Feeding inlet; 3. 大皮带轮 Large pulley; 4. 皮带外罩 Belt cover; 5. 机架 Rack; 6. 小皮带轮 Small pulley; 7. 出料斗 Outlet hopper; 8. 电动机 Electromotor; 9. 排芯口压板装置 Cob discharging outlet clamp device; 10. 排芯口 Cob discharging outlet; 11. 变径变间距螺旋板齿式脱粒装置 Threshing device with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth; 12. 脱粒区 Threshing area

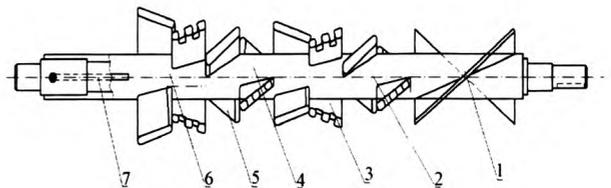
图 1 变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机结构图

Fig. 1 Structure schematic of corn thresher with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth

2 关键部件设计

2.1 变径变间距螺旋板齿式脱粒装置

2.1.1 装置结构设计 如图 2 所示,脱粒装置由固定在脱粒主轴上呈螺旋线分布的螺旋平板齿、螺旋冠状齿及栅格式凹板组成,脱粒元件采用变径变间距结构,其结构参数见表 1。自脱粒机进料口到排芯口方向,脱粒装置上分布的冠状齿间距增大,平板齿间距减小,且冠状齿与平板齿的直径均有增加。螺旋冠状齿设计成顶部带冠形状,其作用如同人工用竹签子先将玉米果穗上的局部籽粒挤掉,以便后面挤搓顺利。脱粒开始阶段尽量多增加螺旋冠状齿与玉米果穗的脱粒接触,从完整的玉米棒子上剥掉玉米籽粒,脱粒后期阶段尽量多增加螺旋平板齿与玉米果穗的脱粒接触,以保证种子玉米籽粒破碎率降低。



1. 螺旋进料板齿 Spiral feeding plate tooth; 2. 小径组合板齿 Small diameter combined plate tooth; 3. 螺旋冠状齿 Spiral coronary tooth; 4. 脱粒轴 Threshing spindle; 5. 螺旋平板齿 Spiral plate tooth; 6. 大径组合板齿 Large diameter combined plate tooth; 7. 排芯口拨板 Cob discharging outlet dial plate

图 2 变径变间距螺旋板齿式脱粒装置结构图

Fig. 2 Structure schematic of threshing device with varied-diameter and varied-spacing spiral plate tooth

由于玉米果穗在刚喂入开始脱粒时,穗轴籽粒间籽粒密集依靠,脱粒难度较大,此时应增加螺旋冠状齿与玉米果穗的脱粒接触,因此,在脱粒装置进料螺旋板齿左端部设有小径组合板齿区,意在减小穗轴碎芯,降低脱粒含杂率。在玉米果穗较易脱粒的后段应尽量增加螺旋平板齿与果穗接触,在脱粒装置右端部设有大径组合板齿区。在玉米果穗脱粒中、后阶段,随着穗轴直径不断减小,装置脱粒间隙也逐渐变小,因此增大螺旋冠状齿、螺旋平板齿的直径,以减小玉米果穗的脱粒损失率。

2.1.2 螺旋进料板齿的运动学分析 由于螺旋进料板齿上各点的螺旋角随其截面半径不同而变化,螺旋进料板齿工作时,玉米果穗的轴向运动速度、切向运动速度在板齿上的分布较为复杂。玉米果穗在脱粒装置喂入段轴向运动速度 V_z 值的大小选取不

仅会影响玉米果穗相关籽粒脱净率与破碎率的大小,而且与脱粒含杂率密切相关。因此,明确玉米果穗的轴向运动速度 V_z 与螺旋进料板齿自身结构参数(螺旋角 β 、螺距 S_n)之间的关系具有重要意义。

表 1 脱粒元件结构参数

Table 1 Structural parameters of the threshing components

脱粒元件类型 Type of threshing components	参数 Parameters	数值 Numerical value
平板齿 Flat tooth	齿宽 Tooth width/mm	109
	齿厚 Tooth thickness/mm	10
	齿高增幅 Tooth height growth rate/%	25
	齿节距增幅 Tooth pitch growth rate/%	53
	螺旋分布角 Spiral distribution angle/°	9
	冠状齿 Coronary tooth	齿宽 Tooth width/mm
	齿厚 Tooth thickness/mm	10
	齿高增幅 Tooth height growth rate/%	25
	齿节距增幅 Tooth pitch growth rate/%	53
	螺旋分布角 Spiral distribution angle/°	9

注:小径冠状板齿高度为 50 mm、齿节距 50 mm,后续齿高、齿节距均由右向左按增幅变化,板齿高度变化范围为 50 ~ 66 mm,齿节距变化范围为 50 ~ 125 mm。

Note: The height and pitch of small diameter coronary plate tooth from the right end were 50 mm and 50 mm respectively, and those of the following groups increase from right to left in accordance with the growth rates. The variation range of tooth height is 50 ~ 66 mm, and that of tooth pitch is 50 ~ 125 mm.

若变径变间距螺旋板齿式脱粒装置以 ω 的匀角速度旋转,在进料板齿截面任一半径为 r 且与果穗相接触 O 点处建立分析模型,如图 3 所示。

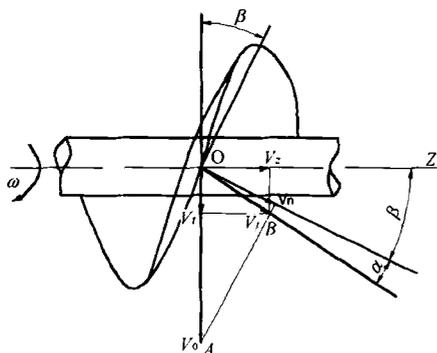


图 3 螺旋进料板齿的运动分析

Fig. 3 Movement analysis of spiral feeding plate tooth

以图 3 为分析基准,建立各分速度运动方

程^[10]:

$$\begin{cases} V_z = V_f \cos(\alpha + \beta) \\ V_t = V_f \sin(\alpha + \beta) \end{cases} \quad (1)$$

其中:

$$V_f = \frac{V_n}{\cos\alpha} \quad (2)$$

$$V_n = V_0 \sin\beta \quad (3)$$

$$V_0 = \omega r = \frac{S_n}{60 \tan\beta} \quad (4)$$

由(1) ~ (4)式联合可得:

$$\text{故 } V_z = \frac{S_n}{60} \cos^2\beta (1 - f \tan\beta) \quad (5)$$

式中, V_z 为果穗在螺旋进料板齿作用下的轴向分速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); V_t 为果穗在螺旋进料板齿作用下的圆周分速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); V_f 为果穗在螺旋进料板齿作用下的绝对速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); α 为果穗与螺旋进料板齿之间的偏转摩擦角 ($^\circ$); V_0 为螺旋进料板齿上的 O 点的牵连运动速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); V_n 为螺旋进料板齿上的 O 点的牵连运动速度 V_0 与果穗沿螺旋板齿面滑动形成的相对速度 V_{AB} 的合速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); β 为螺旋进料板齿螺旋角 ($^\circ$); S_n 为螺旋进料板齿螺距 (m); r 为螺旋进料板齿半径 (m); ω 为螺旋板齿脱粒装置匀角速度 ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)。

2.2 排芯口变刚度压板装置

目前,国内挤搓式脱粒机排芯口普遍采用配铁压板装置(如图 4a 所示),其产生的转矩是恒定的,当排出果穗轴芯后,不能迅速或完全关闭排芯口^[11]。不仅减小了脱粒区的压力值,使得脱粒能力下降;而且造成玉米果穗从脱粒区移动到排芯口的过程中,未完全脱粒就被排出,使得籽粒脱粒损失率增加。为此,设计了一种排芯口变刚度压板装置,其结构如图 4b 所示。

样机在脱粒作业过程中可根据不同品种、不同含水率的种子玉米果穗,调整变刚度弹簧在压板杆上的位置,从而实现压板杆转矩的调节。当玉米果穗较难脱粒时,移动弹簧在变位装置和压板杆上的位置,增大压板杆的转矩,增加果穗在脱粒区的脱粒时间,从而减小果穗脱粒损失率。若玉米果穗较易脱粒时,可通过减小压板杆的转矩,使得脱净的果穗穗芯能够快速排出。

应用 ADAMS 仿真软件对两种不同类型的排芯口压板装置进行仿真模拟试验^[12],在 100 Pa 开启压力作用下,变刚度压板装置关闭排芯口的时间仅需 0.25 s,而配铁压板装置作用时则需要 0.41 s,前者能够快速关闭排芯口压板,降低脱粒装置罩壳内部

压力波动范围,仿真模拟试验如图 5(a)、5(b)、5(c) 及 5(d)所示。因此,脱粒机排芯口选用变刚度压板装置的结构设计更为合理,作业效果显著。

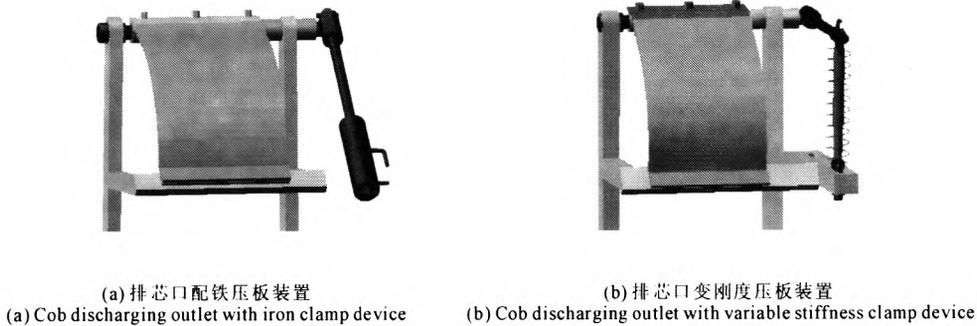


图 4 两种类型的排芯口压板装置

Fig. 4 Two kinds of cob discharging outlet clamp device

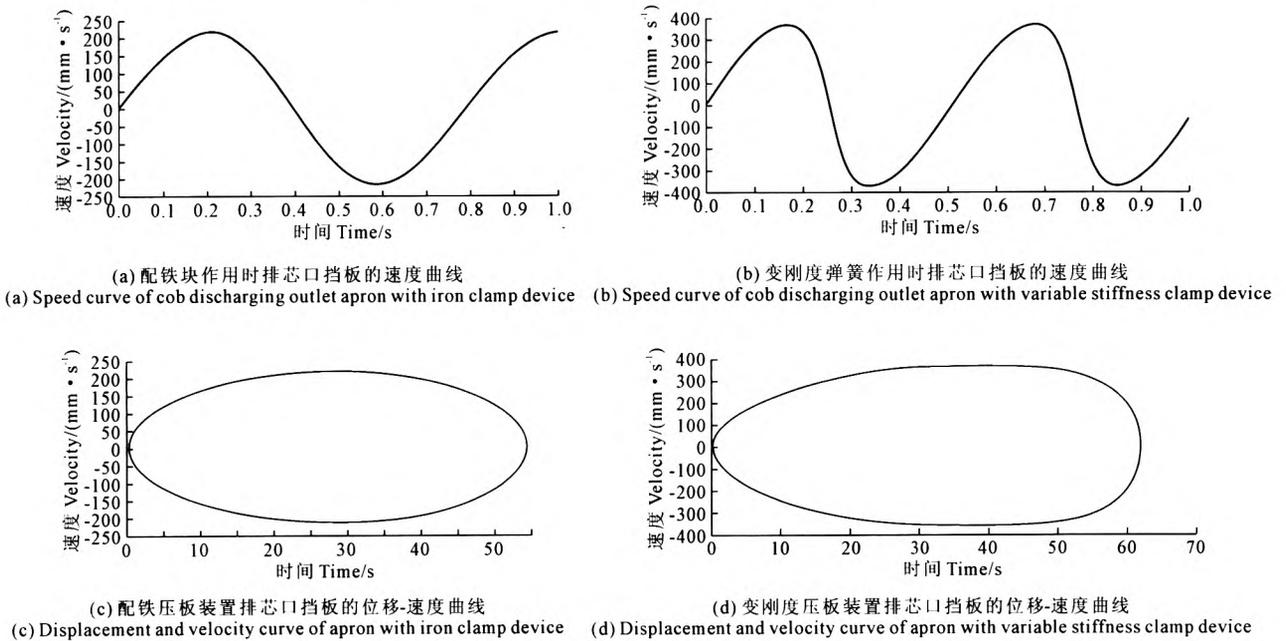


图 5 两类型排芯压板装置仿真模拟试验图

Fig. 5 Simulation test chart of two kinds of cob discharging outlet clamp device

3 试验设计与分析

3.1 试验材料选取

选取甘肃省种子玉米种植主导品种金穗 4 号(甘审玉 2005006)玉米果穗作为试验材料,试验在甘肃白银金穗种业有限公司果穗脱粒车间内进行。果穗平均穗长为 15.3 cm,平均直径为 4.25 cm,穗行数为 14~16 行,行粒数达 32 粒,千粒质量 286 g,籽粒黄色,偏马齿型,玉米果穗籽粒含水率在 17.3%~18.5%之间。

3.2 试验方法

应用自行设计的变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机进行玉米果穗脱粒试验。试验时去除苞叶的玉米果穗由脱粒机喂料斗匀速进入,试验过程中,通过

玉米果穗不同质量的人工均匀喂入及应用电磁调速电动机控制脱粒轴不同转速来实现喂入量的改变,果穗喂入量分别选取 2.8、3.3 $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$,变径变间距螺旋板齿式脱粒装置转速分别为 220、270 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$,试验重复 3 次^[13]。

3.3 试验结果与分析

以籽粒破碎率、脱粒损失率(包括夹带损失和未脱净损失)、脱粒含杂率为试验评价指标,进行种子玉米脱粒机作业性能试验与分析。

由表 2 试验结果可以看出,当变径变间距组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机的果穗喂入量由 2.8 $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ 上升至 3.3 $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$,转速由 220 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 增加至 270 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 时,种子破碎率增加了 0.19 个百分点,脱粒损失率也仅增加了 0.23 个百分点,脱粒含

杂率升高了 1.70 个百分点。因此,所采用的变径变间距螺旋板齿式脱粒装置在一定范围内对物料喂入量及脱粒轴转速不很敏感,也就是说这种脱粒装置适应性较强,物料喂入的不均匀及脱粒轴转速的波

动对其脱粒性能影响不大;脱粒装置所采用的螺旋平板齿、螺旋冠状板齿脱粒元件对玉米果穗打击较弱,有利于籽粒破碎率的降低。

表 2 不同喂入量、不同转速下种子玉米脱粒机性能检测结果

Table 2 Performance test results of the seed corn thresher at different feeding rates and different rotation speeds

喂入量 Feeding rate /(kg·s ⁻¹)	滚筒转速 Roller rotation speed /(r·min ⁻¹)	籽粒破碎率 Grain crushing rate /%	脱粒损失率 Threshing loss rate /%	脱粒含杂率 Threshing impurity rate /%
2.8	220	0.45	0.45	4.13
2.8	270	0.54	0.30	4.86
3.3	220	0.59	0.53	5.33
3.3	270	0.64	0.43	5.83

变径变间距螺旋板齿式脱粒装置在相同转速下其种子破碎率、脱粒损失率及籽粒含杂率都会随着螺旋进料板齿喂入量的增加呈增长趋势;而当喂入量相同,脱粒装置转速提高时,由于螺旋平板齿、螺旋冠状板齿脱粒元件体积较大,脱粒物料不宜膨胀,且装置作业时能使玉米果穗运动方向与脱粒轴线接近一致,使得果穗轴能够按照预先设计的部位、方向进行特定击打、碰撞^[14]。因此,该种子玉米脱粒机作业后的脱粒含杂率较低,保持在 4.13%~5.83%,有利于后续预清机的风选、筛选,降低了玉米种子的清选率。

试验过程中发现,设计的排芯口变刚度压板装置作业时,能够快速关闭排芯口压板,降低脱粒装置罩壳内部压力波动范围,提高变径变间距螺旋板齿式种子玉米脱粒机的各项作业性能。

4 结 论

1) 为解决传统种子玉米脱粒机作业时所引起的籽粒损伤大、破碎率高,果穗轴碎芯较多,对玉米种子发芽及后续清选作业产生严重影响的问题,结合挤搓式脱粒工艺及仿生技术,研制了一种集变径变间距螺旋板齿式脱粒装置与排芯口变刚度压板装置于一体的玉米脱粒机。

2) 利用设计的变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机进行玉米果穗脱粒作业性能试验,试验结果表明,籽粒破碎率为 0.45%~0.64%,脱粒损失率达 0.30%~0.53%,脱粒含杂率为 4.13%~5.83%,能够实现制种玉米果穗高脱净、低破碎、少碎芯的脱粒作业要求。

3) 设计的变径变间距螺旋板齿式脱粒装置适

应性较强,在一定范围内对物料喂入量及脱粒轴转速不很敏感。排芯口变刚度压板装置作业时,能够快速关闭排芯口压板,降低脱粒装置罩壳内部压力波动范围,有利于脱粒损失率减小,果穗轴碎芯减少,脱粒含杂率降低。

参 考 文 献:

- [1] 张锋伟,戴 飞,张克平,等.基于两级干燥工艺的玉米果穗太阳能集热通风干燥系统设计[J].农业工程学报,2010,26(8):338-342.
- [2] 戴 飞,张锋伟,韩正晟,等.自动跟踪式小型太阳能集热玉米果穗干燥装置设计[J].农业工程学报,2012,28(5):189-193.
- [3] 何晓鹏,刘春和,师建芳,等.挤搓式玉米脱粒机的研制[J].农业工程学报,2003,19(2):105-108.
- [4] 李心平,高连兴.差速式玉米种子脱粒机的性能试验[J].农业工程学报,2009,25(12):102-106.
- [5] 王 晶,聂 影,官元娟,等.玉米对生种子脱粒机试验[J].农业机械学报,2011,42(2):104-108.
- [6] 李心平,马福丽,高连兴.差速式玉米种子脱粒机的设计[J].农业机械学报,2008,39(8):192-195.
- [7] 赵武云,吴劲锋,吴建民,等.变径变间距组合式螺旋板齿脱粒装置:中国,201010515028.0[P].2012-05-09.
- [8] 赵武云,吴劲锋,张 炜,等.揉搓式玉米脱粒机排芯口变刚度压板装置:中国,200920033440.1[P].2010-03-10.
- [9] 李心平,高连兴,马福丽.玉米种子脱粒特性的试验研究[J].农机化研究,2007,(2):156-158.
- [10] 李宝筏.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [11] 李漫江,何 军,冯 欣.脱粒机械与脱粒装置[J].农机化研究,2004,(2):124-125.
- [12] 李增刚.ADAMS 入门详解与实例[M].北京:国防工业出版社,2006.
- [13] 戴 飞,高爱民,孙 伟,等.纵轴流锥型滚筒脱粒装置设计与试验[J].农业机械学报,2011,42(1):74-78.
- [14] 李耀明,李洪昌,徐立章.短纹杆-板齿与钉齿脱粒滚筒的脱粒对比试验研究[J].农业工程学报,2008,24(3):139-142.