

组合式油菜脱粒装置设计与物料运动轨迹分析*

宗望远 廖庆喜 黄 鹏 李海同 陈 立

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要: 为有效提高油菜脱粒分离效率和降低损失率,设计了一种组合式油菜脱粒装置。应用运动学分析方法和高速摄像技术对物料在伸缩拨齿作用下进入到纵向轴流脱粒滚筒喂入口的迁移轨迹进行了分析和高速摄像观察,利用 ADAMS 软件对秸秆在纵向轴流脱粒滚筒中的运动特征进行了仿真分析。结果表明,轴流脱粒滚筒安装角度为 20° 和伸缩拨齿初始相位角 0° 条件下,可以实现物料的流畅迁移;物料在轴流脱粒滚筒中沿壳体内壁作圆周螺旋运动,钉齿与物料的撞击主要作用在圆周平面内。

关键词: 油菜 收获机械 组合脱粒 运动分析

中图分类号: S225.39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0041-06

Design of Combined Rape Threshing Device and Analysis of Rape Cane Movement Trail

Zong Wangyuan Liao Qingxi Huang Peng Li Haitong Chen Li

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: A tangential-longitudinal axial combined threshing and separating device was designed in order to reduce the loss of the rape when harvested. Kinematic analysis and high speed photograph were carried out on the course of the material flowed into the entrance of longitudinal roller, and the simulation analysis on the movement characteristics of rape cane moved in the longitudinal roller was done also by using the software ADAMS. The result showed that the materials could be flowed smoothly when the installing angle of longitudinal roller was 20° and the initial phase angle of telescopic tooth mechanism was 0°. The trajectory of rape cane moved in the longitudinal roller was a spiral along the inner wall of the roller shell. The impact between rape cane and teeth occurred in the radial plane.

Key words: Rape Harvest machinery Combine disengagement Kinematic analysis

引言

脱粒装置是油菜收获机械的关键部件,现有油菜联合收获机脱粒装置主要是借鉴稻麦联合收获机的脱粒原理,通过脱粒元件对油菜果荚产生冲击、揉搓以及碾压等作用,使得果荚炸口、开裂或粉碎,从而分离出油菜籽粒。其一般作业过程是:水平割刀将油菜的茎秆割断,垂直割刀将收割行油菜与待收

割行油菜分离,割下的油菜在拨禾轮作用下被喂入到输送滚筒,在输送螺旋作用下送往刮板式输送装置,后进入脱粒滚筒进行脱粒,长茎秆经过排草口排出,抛撒田间,筛下物经过筛分装置进行清选,得到油菜籽粒。但收获期油菜的物料特性与稻麦等作物有较大不同,油菜果荚在拨禾轮和输送螺旋、刮板式输送装置等的作用下很容易炸裂,造成较大的割台损失(总损失率达 15% ~ 20%)^[1~14]。

收稿日期: 2013-06-26 修回日期: 2013-07-10

* 国家油菜产业技术体系专项资助项目(CARS-13)、“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAD01B06)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011PY085)

作者简介: 宗望远,副教授,主要从事农业机械及工程研究,E-mail: zwy@mail.hzau.edu.cn

通讯作者: 廖庆喜,教授,博士生导师,主要从事油菜机械化生产技术与装备研究,E-mail: liaoxq@mail.hzau.edu.cn

为了减少收获损失,有的机型增加了二次回收螺旋输送机,并设置了杂余回收装置及杂余收集箱;为增大分离面积,有的采用了加密栅格式凹板筛;为减少脱粒损失,有的机具还将脱粒滚筒与凹板的间隙作了适当调整;为减少割台损失,有的机型适当加长了割台的长度和将拨禾轮轴线适当后移^[15-19]。

在借鉴相关机型设计方法的基础上,本文设计一种组合式油菜脱粒装置。

1 组合式脱粒装置的结构和工作原理

1.1 组合式脱粒装置结构组成

组合式油菜脱粒装置整体结构如图 1 所示。该装置主要由油菜收获机通用割台系统、割台脱粒系统、纵轴流脱粒系统构成。通用割台系统包括割台、切割机构和拨禾轮,其功能是将油菜割断并喂入到割台脱粒系统;割台脱粒系统包括割台脱粒滚筒、割台脱粒装置凹板筛、筛下物输送螺旋输送器和割台脱粒滚筒盖板等,该系统完成对喂入油菜的初步脱粒、切断和横向运输功能。纵向轴流脱粒系统由喂入头、脱粒滚筒和凹板筛等组成,其功能是二次脱粒,割台脱粒滚筒的筛上物通过伸缩拨齿的作用喂入到该系统,完成脱粒过程。主要结构参数如表 1 所示。

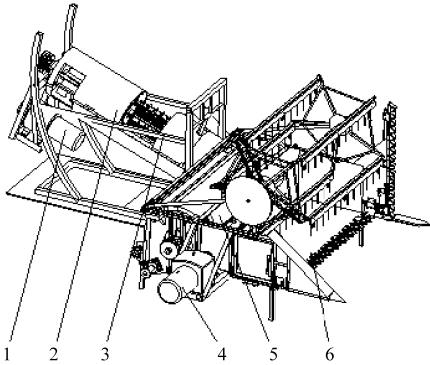


图 1 组合式脱粒装置结构简图

Fig.1 Schematic diagram of tangential-longitudinal axial threshing unit

1. 纵轴流脱粒滚筒驱动电动机 2. 纵轴流脱粒系统 3. 纵轴流脱粒系统支架 4. 割台脱粒系统驱动电动机 5. 割台脱粒系统 6. 通用割台系统

1.2 工作原理

待收油菜被切割后,在拨禾轮作用下喂入到割台脱粒系统,在钉齿和凹板筛作用下被初步脱粒,在割台螺旋输送机上的动刀和罩壳上的定刀共同作用下被切断以避免较长的油菜茎秆由伸缩拨齿输送至纵向轴流脱粒系统时出现缠绕现象,筛上物在滚筒螺旋作用下被输送至伸缩拨齿部位,筛下物被割台

螺旋输送机输送至集料口,后送至清选系统。筛上物经由伸缩拨齿送入到纵向轴流脱粒滚筒的喂料口,进行二次脱粒,其筛下物在重力和气力组合作用下经由导流滑板输送至集料口,后送至清选系统,筛上物由滚筒末端排草口排出。

表 1 组合式油菜脱粒装置主要参数

Tab.1 Key technical parameters of tangential-longitudinal axial threshing and separating unit

参数	数值
割台脱粒滚筒直径/mm	400
割台脱粒滚筒长度/mm	1800
割台/纵轴流脱粒滚筒钉齿直径/mm	12
割台/纵轴流脱粒滚筒钉齿长度/mm	70
割台脱粒滚筒切刀长度/mm	108
割台脱粒滚筒钉齿/切刀间距/mm	200
纵轴流脱粒滚筒直径/mm	260
纵轴流脱粒滚筒长度/mm	1850
纵轴流脱粒滚筒钉齿间距/mm	100
纵轴流脱粒滚筒安装倾斜角度/(°)	20

2 主要部件设计

2.1 割台脱粒系统

割台脱粒系统主要由滚筒、钉齿、切刀、滚筒螺旋、凹板筛和螺旋输送器等组成,如图 2 所示。割台脱粒系统的功能是将油菜集中输送至拨禾轮处、初步脱粒和切断,输送功能由滚筒螺旋实现,脱粒功能由钉齿和凹板筛实现,切断功能由安装在滚筒上的动刀和安装在顶盖上的定刀完成。

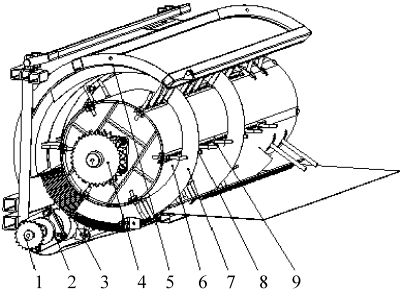


图 2 割台脱粒系统结构简图

Fig.2 Schematic diagram of tangential axial threshing and separating unit

1. 螺旋输送机链轮 2. 螺旋输送机 3. 凹板筛网 4. 滚筒驱动链轮 5. 顶盖定刀 6. 滚筒 7. 螺旋 8. 钉齿 9. 动切刀

2.2 纵轴流脱粒系统

纵轴流脱粒系统主要由喂入头、脱粒滚筒、钉齿、顶盖及导向螺旋、凹板筛等组成,如图 3 所示。喂入头将拨禾轮抛送过来的物料轴向喂入到脱粒区,在滚筒钉齿和顶盖螺旋联合作用下实现物料的轴向流动,在滚筒钉齿和凹板筛联合作用下实现茎秆和籽粒等组分的分离。

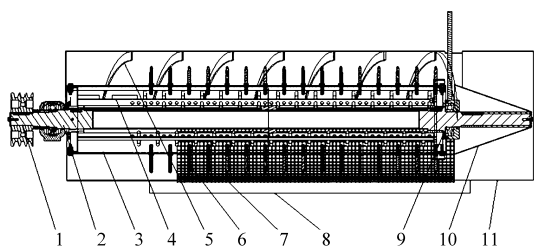


图3 纵轴流脱粒系统结构简图

Fig. 3 Schematic diagram of longitudinal axial threshing and separating unit

1. 驱动带轮 2. 后端轴头及支撑 3. 滚筒 4. 排草板 5. 顶盖螺旋 6. 钉齿 7. 凹板筛 8. 筛下物溜板 9. 前端轴头及支撑 10. 喂入头 11. 喂入头外壳

3 物料迁移轨迹分析

3.1 两级脱粒装置接口处物料运动情况分析

3.1.1 伸缩拨齿运动分析

该装置取消了现有机型中普遍采用的刮板式输送机构,将纵向轴流脱粒滚筒直接放置在伸缩拨齿机构后端,因而物料在伸缩拨齿作用下顺利进入到纵向轴流滚筒,是该装置有效工作的关键环节。

伸缩拨齿是收获机械的通用部件,其结构如图4所示。拨齿位置调整转轴用于调整拨齿轴线的位置,安装于割台滚筒上的拨齿驱动块驱动拨齿转动,其功能是将割台物料输送至后续输送装置。割台滚筒作等角速度转动,伸缩拨齿在滚筒的带动下转动,由于是偏心,伸缩拨齿作变角速度转动,拨齿在随割台滚筒旋转的同时,其伸出滚筒外部的长度不断变化,实现对物料的输送。

如图5所示,滚筒半径 $R = 200 \text{ mm}$,伸缩拨齿长度 $l_{O_1A} = 300 \text{ mm}$,偏心距 $e = 65 \text{ mm}$,初始相位角 $\phi_0 = 0^\circ$,滚筒转动角速度 $\omega_0 = 10\pi/\text{s}$ 。

$$\omega = \frac{\omega_0 R \cos \gamma}{l_{O_1B}} = \frac{\omega_0 R (R - e \cos \phi)}{R^2 + e^2 - 2eR \cos \phi} = \frac{48.3 - 15.7 \cos \phi}{1.69 - \cos \phi} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{R\omega_0^2 \sin \gamma - 2\omega\omega_0 R \sin \gamma}{|l_{O_1B}|} = \frac{(R\omega_0^2 e^2 - \omega_0^2 R^3) e \sqrt{1 - \cos^2 \phi}}{(R^2 + e^2 - 2eR \cos \phi)^2} = -\frac{678 \sqrt{1 - \cos^2 \phi}}{(1.69 - \cos \phi)^2} \quad (2)$$

$$a_A^\tau = l\varepsilon = -\frac{206.8 \sqrt{1 - \cos^2 \phi}}{(1.69 - \cos \phi)^2} \quad (3)$$

式中 ω ——伸缩拨齿的角速度, rad/s

ε ——伸缩拨齿角加速度, rad/s^2

a_A^τ ——伸缩拨齿端点处的切向加速度, mm/s^2

a_A^τ 变化特征如图6所示。

由图6可知,伸缩拨齿端点处的切向加速度随

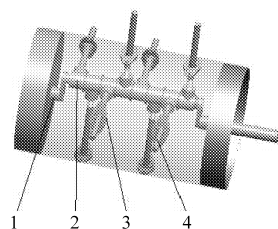


图4 伸缩拨齿结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of telescopic tooth unit

1. 拨齿位置调整转轴 2. 拨齿轴 3. 拨齿驱动块 4. 拨齿

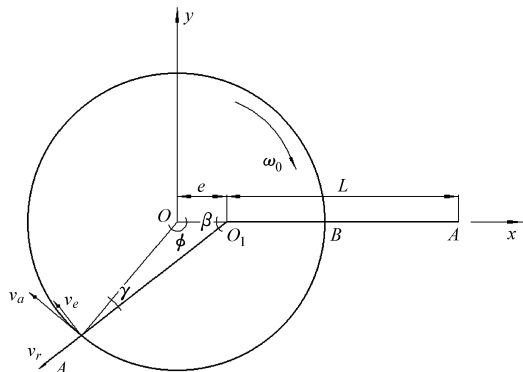


图5 伸缩拨齿运动分析简图

Fig. 5 Kinematic analysis sketch of telescopic tooth unit

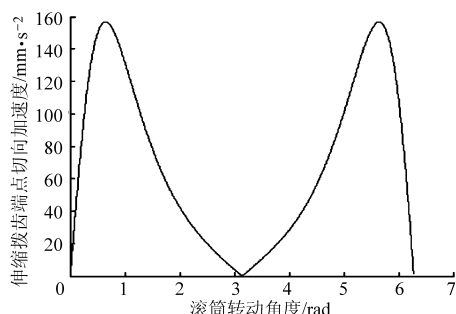


图6 伸缩拨齿端点切向加速度变化特征

Fig. 6 Tangential acceleration characteristic curve of end point of telescopic tooth

转角 ϕ 以 360° 为周期变化。整个变化周期内,均为正值,在转角 ϕ 为 0.64 和 5.64 rad 时,其值最大为 156.7 mm/s^2 ;在转角 ϕ 为 3.14 rad 时,其值最小为 0.046 mm/s^2 。根据牛顿第二定律有 $F_N = ma_A^\tau - mg \cos \alpha$,物料在被伸缩拨齿抓取并输送过程中,受到的推力在不断变化,使得物料时而压紧,时而放松,这种作用特征将会促进油菜的脱粒。如果没有设计相应的收集装置,就会造成油菜籽粒的损失。

物料脱粒拨齿端点 A 作用时的初始位置为 $x_{A0} = -(L \cos \beta - e) = -174 \text{ mm}$, $y_{A0} = -L \sin \beta = -189 \text{ mm}$ 。

假设物料为质点,忽略空气阻力影响,物料脱粒伸缩拨齿作用后沿脱粒点处的切线方向作抛物运动。

$$\begin{cases} x = -(5.9t + 0.174) \\ y = -4.9t^2 + 7.5t - 0.189 \end{cases} \quad (4)$$

理想条件下,物料在 0.1 s 的时间内可以被抛送到滚筒轴线上方 500 mm 和滚筒轴线后方 800 mm 处,完全进入到了纵向轴流脱粒滚筒的喂入头区域,可以保证物料的顺利流动。

3.1.2 高速摄影观察分析

在纵向轴流滚筒喂入头外壳上用有机玻璃开设一个 200 mm × 400 mm 的观察窗口,进行高速摄影,观察物料流动特征。所用高速摄像机由美国 Cooke 公司生产,型号 PCO. dimax HD,其分辨率为 2 016 像素 × 2 016 像素,拍摄帧率为 1 500 帧/s。标定一段物料,分别取其在拍摄开始后 2、6、10、14、18、22、26 和 30 ms 的图片,如图 7 所示(图中白点标定为一段物料)。

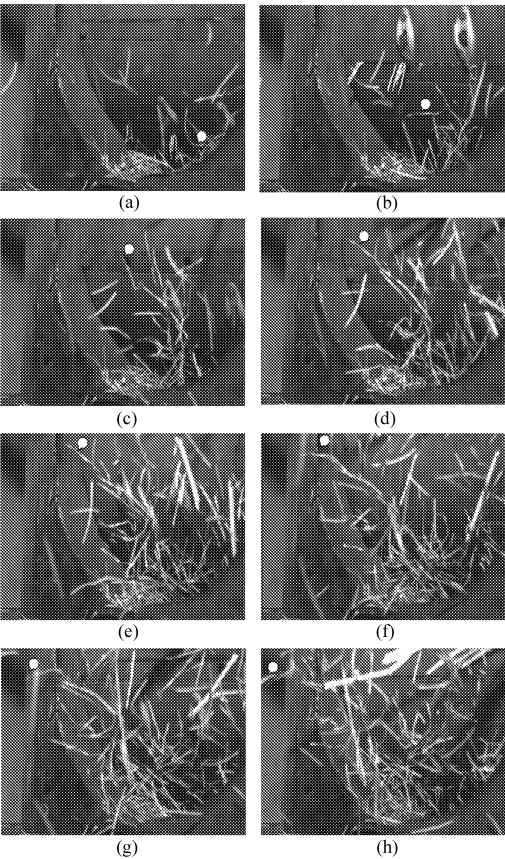


图 7 高速摄影截图

Fig. 7 High speed CCD photographs

(a) $t = 2\text{ ms}$ (b) $t = 6\text{ ms}$ (c) $t = 10\text{ ms}$ (d) $t = 14\text{ ms}$
(e) $t = 18\text{ ms}$ (f) $t = 22\text{ ms}$ (g) $t = 26\text{ ms}$ (h) $t = 30\text{ ms}$

由式(4)可知,当 $t = 30\text{ ms}$ 时, $x = -351\text{ mm}$, $y = 32\text{ mm}$ 。坐标系建立在滚筒轴线上,即物料被拨齿抛出 30 ms 后,运动到滚筒轴线上方 32 mm、后方 351 mm 处。由于观察窗口设置位置受到试验装置结构的限制,高速摄影图像无法建立与上述理论分析相对应的坐标系来对理论分析结果进行精确验证,但从图 7 及另外 2 个角度的高速摄影结果综合观察,标定物料的运动规律与理论分析结果基本相

符。伸缩拨齿和纵轴流滚筒喂入头的共同作用,可以保证物料的顺利输送。

3.2 纵轴流脱粒滚筒秸秆运动轨迹仿真分析

3.2.1 建立仿真模型

将 PROE 中建立的纵轴流脱粒滚筒三维模型导入到 ADAMS 软件,经过模型再生和属性添加,得到脱粒滚筒仿真模型如图 8 所示。

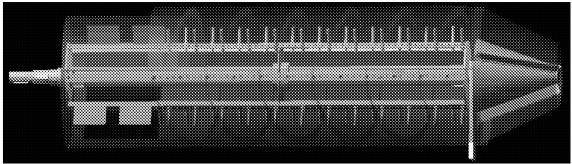


图 8 纵轴流脱粒系统仿真模型

Fig. 8 Simulation model of longitudinal axial threshing and separating unit

将进入纵轴流脱粒滚筒的油菜秸秆简化为圆柱体,利用离散梁法建立秸秆柔性体仿真模型。秸秆模型几何参数为:直径 $\phi = 10\text{ mm}$,壁厚 $\delta = 1\text{ mm}$,长度 $L = 200\text{ mm}$ 。物理特性参数为:泊松比 $\mu = 0.36$,弹性模量 $E = 1.1 \times 10^7\text{ Pa}$,密度 $\rho = 326.6\text{ kg/m}^3$ 。

3.2.2 仿真与分析

对滚筒主轴施加 700 r/min 的转速,进行 5 s、5 000 步的仿真分析。得到秸秆运动轨迹线如图 9 所示。

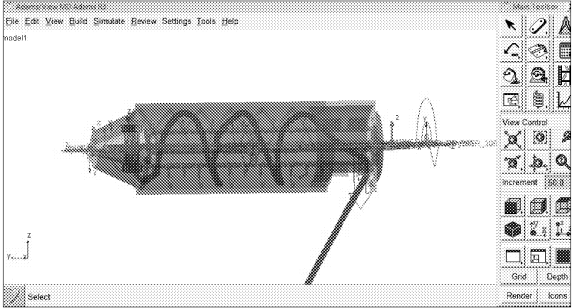


图 9 秸秆运动轨迹

Fig. 9 Trajectory of rape cane

秸秆在喂入段运动时间区间为 0 ~ 0.08 s、在脱粒段运动时间区间为 0.08 ~ 0.21 s、在排出段运动时间区间为 0.21 ~ 0.24 s。

秸秆 y 坐标方向(滚筒轴线方向)速度变化曲线如图 10 所示。 x 、 z 坐标方向(垂直滚筒轴线方向)位置变化曲线如图 11 所示。滚筒主轴加速度变化曲线如图 12 所示。秸秆在滚筒中受力变化曲线如图 13 所示。

由图 10 可知,进入喂入口的秸秆在叶片离心力和锥形外壳的作用下获得轴向速度,运动到脱粒段后,又在滚筒钉齿和外壳导向螺旋作用下获得轴向运动速度,轴向速度呈现出近似脉动变化特征。由图 11 可知,秸秆在 z 轴和 x 轴方向的位置呈现出周

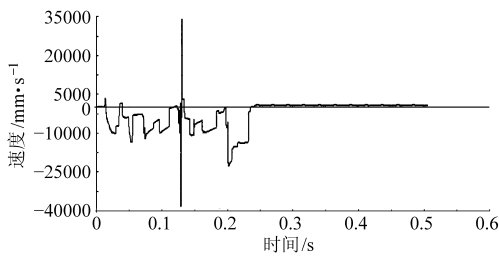


图 10 秸秆 y 向运动速度随时间变化曲线

Fig. 10 y coordinate axis speed curve of rape cane

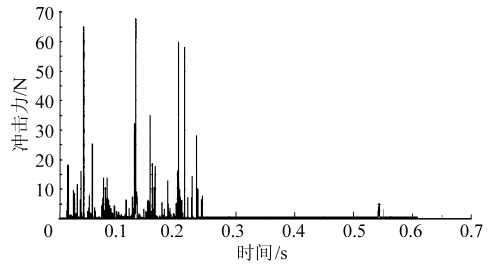


图 13 秸秆受冲击力随时间变化曲线

Fig. 13 Change curve of impact force on rape cane

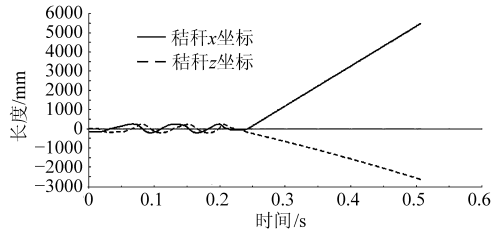


图 11 秸秆 x、z 轴向位置随时间变化曲线

Fig. 11 Change curves of rape cane position on x- and z- coordinate axis

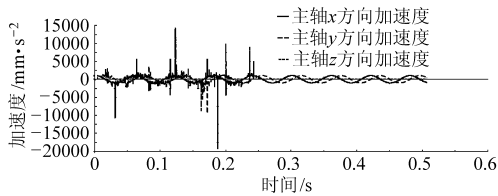


图 12 主轴加速度随时间变化曲线

Fig. 12 Change curve of roller shaft acceleration

说明滚筒钉齿对秸秆没有轴线方向的推进作用，只有圆周平面内的作用。由图 13 看出，秸秆在脱粒滚筒中受到的作用力为间歇震荡式的冲击力，这种冲击力来自于钉齿和顶盖螺旋等对秸秆的冲击作用。

4 结论

(1)设计了一种组合式油菜脱粒装置，增加了割台滚筒的脱粒功能，实现了对割台脱落籽粒的收集，有效减少割台损失。

(2)将纵向轴流脱粒滚筒与割台滚筒直接对接，减少了现有机型的中间输送环节，缩短输送路径并简化油菜联合收获机的结构。理论分析和实践表明，在轴流脱粒滚筒安装角度为 20° 和伸缩拨齿初始相位角 0° 条件下，该装置物料流动顺畅，可以有效进行成熟期油菜的脱粒和分离。

(3)秸秆沿轴流脱粒滚筒外壳内壁作圆周螺旋运动，轴向运动速度呈现出近似脉动变化特征。钉齿与秸秆的撞击主要对秸秆产生圆周平面内的推进作用，秸秆的轴向运动主要依靠导向螺旋的推进。

参 考 文 献

- 1 李耀明,李洪昌,徐立章,等. 短纹杆-板齿轴流脱粒分离装置性能试验[J]. 农业机械学报,2009,40(7):88~92.
Li Yaoming, Li Hongchang, Xu Lizhang, et al. Performance test of short-rasp-bar of axial flow threshing and separating unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7):88~92. (in Chinese)
- 2 王显仁,李耀明,徐立章. 水稻脱粒破碎率与脱粒元件速度关系研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8):16~19.
Wang Xianren, Li Yaoming, Xu Lizhang. Relationship between thresher velocities and rice grain broken rate [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 16~19. (in Chinese)
- 3 宗望远,廖庆喜,陈立,等. 完熟期油菜果荚不同脱粒方式的脱粒效果[J]. 农业工程学报,2012,28(9):29~34.
Zong Wangyuan, Liao Qingxi, Chen Li, et al. Threshing effect of ripe rape by different methods [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(9): 29~34. (in Chinese)
- 4 谢方平,罗锡文,卢向阳,等. 柔性杆齿滚筒脱粒机理 [J]. 农业工程学报,2009,25(8):110~114.
Xie Fangping, Luo Xiwen, Lu Xiangyang, et al. Threshing principle of flexible pole-teeth roller for paddy rice [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8):110~114. (in Chinese)
- 5 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.
Li Yaoming, Li Hongchang, Xu Lizhang. Comparative experiment on threshing performance between short-rasp-bar tooth cylinder and spike tooth cylinder[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3):139~142. (in Chinese)
- 6 李耀明,徐立章,杨秀景,等. 油菜轴流脱粒滚筒性能对比试验[J]. 农业机械学报,2007,38(8):86~89.
Li Yaoming, Xu Lizhang, Yang Xiujing, et al. Comparative experiment on axial threshing cylinder of rape[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):86~89. (in Chinese)

- 7 衣淑娟,陶桂香,毛欣. 两种轴流脱粒分离装置脱出物分布规律对比试验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(6):154~156.
Yi Shujuan, Tao Guixiang, Mao Xin. Comparative experiment on the distribution regularities of threshed mixtures for two types of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 154~156. (in Chinese)
- 8 杨方飞,阎楚良,杨炳南,等. 联合收获机纵向轴流脱粒谷物运动仿真与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(12):67~88.
Yang Fangfei, Yan Chuliang, Yang Bingnan, et al. Simulation and testing of cereal motion in threshing unit of combine harvester with axial feeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 67~88. (in Chinese)
- 9 衣淑娟,蒋恩臣. 轴流脱粒与分离装置脱粒过程的高速摄像分析[J]. 农业机械学报,2008,39(5):52~55.
Yi Shujuan, Jiang Enchen. High-speed photograph analysis on process of threshing of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 52~55. (in Chinese)
- 10 衣淑娟,汪春,毛欣,等. 轴流滚筒脱粒后自由籽粒空间运动规律的观察与分析[J]. 农业工程学报,2008,24(5):136~139.
Yi Shujuan, Wang Chun, Mao Xin, et al. Observation and analysis of motion rule of free kernel in threshing and separating space [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5):136~139. (in Chinese)
- 11 徐立章,李耀明,丁林峰. 水稻谷粒与脱粒元件碰撞过程的接触力分析[J]. 农业工程学报,2008,24(6):146~149.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Ding Linfeng. Contacting mechanics analysis during impact process between rice and threshing component[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 146~149. (in Chinese)
- 12 谭小力,张洁夫,杨莉,等. 油菜角果裂角力的定量测定[J]. 农业工程学报,2006,22(11):40~43.
Tan Xiaoli, Zhang Jie fu, Yang Li, et al. Quantitive determination of the strength of rapeseed pod dehiscence[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 40~43. (in Chinese)
- 13 Bruce D M, Hobson R N, Morgan C L, et al. Thresh ability of shatter-resistant seed pods in oilseed rape [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 80(4): 343~350.
- 14 张认成,桑正中. 轴流脱粒滚筒功耗模型的研究[J]. 农业工程学报,1999,15(4):121~125.
Zhang Rencheng, Sang Zhengzhong. Research on the power consumption model of axial threshing cylinder[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(4): 121~125. (in Chinese)
- 15 石磊,吴崇友,梁苏宁,等. 油菜捡拾脱粒机脱粒精选装置设计参数试验研究[J]. 中国农机化,2010(6):45~47,64.
Shi Lei, Wu Chongyou, Liang Suning, et al. Design of combine planter for watermelon on dinas—covered soil [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(6): 45~47, 64. (in Chinese)
- 16 幸福志,郑瑞军,席永忠,等. 油菜收割机脱粒分离装置的试验研究[J]. 农机化研究,2009,31(6):129~131.
Xin Fuzhi, Zheng Ruijun, Xi Yongzhong, et al. Experimental study on threshing and separating unit of rape combine harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009,31(6):129~131. (in Chinese)
- 17 徐立章,李耀明,李洪昌,等. 纵轴流脱粒分离—精选试验台设计[J]. 农业机械学报,2009,40(12):76~79,134.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Li Hongchang, et al. Development on test-bed of longitudinal axial threshing-separating-cleaning unit [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(12):76~79,134. (in Chinese)
- 18 李耀明,贾毕清,徐立章,等. 纵轴流联合收割机切流脱粒分离装置的研制与试验[J]. 农业工程学报,2009,25(12):93~96.
Li Yaoming, Jia Biqing, Xu Lizhang, et al. Development and experiments on tangential flow threshing and separating device of axial flow combine [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 93~96. (in Chinese)
- 19 李耀明,周金芝,徐立章,等. 油菜联合收获机脱粒分离装置的试验[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2005,26(4):281~284.
Li Yaoming, Zhou Jinzhi, Xu Lizhang, et al. Experimental study on threshing ang separating unit of rape combine[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2005, 26(4): 281~284. (in Chinese)