

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.018

切纵流双滚筒联合收获机脱粒分离装置*

徐立章¹ 李耀明¹ 王成红¹ 薛臻²

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 江苏常发锋陵农业装备有限公司, 泰州 225300)

摘要: 提出了一种喂入量为 4~5 kg/s 的履带式切纵流双滚筒联合收获机的总体配置方案, 论述了切纵流双滚筒脱粒分离装置切流脱粒滚筒、切流凹板、过渡口、纵轴流滚筒和纵轴流凹板等结构与运动参数的设计。田间试验与性能测试表明: 该机收获水稻时喂入量达到 4.86 kg/s 时, 整机损失率为 1.47%, 破碎率为 0.2%, 各项技术指标达到了设计要求。

关键词: 联合收获机 切纵流 设计 试验

中图分类号: S225.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)02-0105-04

引言

随着我国水稻育种和栽培技术的进步, 尤其是超级稻的大面积推广, 水稻单产迅速提高, 高产水稻的机械化收获对联合收获机的作业性能提出了更高的要求^[1-2]。

目前我国大部分水稻联合收获机喂入量仍为 2~3 kg/s 的履带式全喂入水稻联合收获机。脱粒装置主要分为 3 类: 横轴流单滚筒脱粒分离装置、切横流双滚筒脱粒分离装置和纵轴流单滚筒脱粒分离装置。试验表明切横流双滚筒脱粒分离装置和纵轴流单滚筒脱粒分离装置在收获潮湿、难脱的高产水稻时未脱净率和夹带损失率明显增加、作业效率显著下降^[3]。此外, 日本久保田、洋马、韩国大同等公司生产的半喂入式联合收获机不能有效解决水稻高冠层、穗幅差大、割幅增加等带来的夹持抽草、脱粒不净、夹带损失迅速增加等难题, 且作业效率难以明显提高, 因此其市场需求已呈明显下降趋势。

切流与纵轴流组合式脱粒分离技术, 具有脱粒行程长、分离面积大, 对潮湿、难脱作物适应性好等优点^[4-7]。以 John Deere C230 CTS、Case 2388、New Holland CR 980 和 CR 960 为代表的欧美切纵流联合收获机产品一经推出就迅速受到市场欢迎, 但该类产品以轮式、大型为主, 自重 16~20 t、割幅 6~12 m, 主要用于收获小麦、大豆等旱作物, 无法适应我国水稻主产区的深泥脚和小田块作业环境, 且售价高达 200 多万元, 难以大量引进。

本文根据水稻联合收获机的高性能、高效率作业需求, 设计一种喂入量为 4~5 kg/s 的切纵流脱粒分离装置, 并将其安装到履带式切纵流联合收获机上, 进行田间试验和性能检测。

1 履带式切纵流双滚筒联合收获机总体结构

为了适应我国水稻主产区小田块、深泥脚等作业环境, 研制的切纵流双滚筒联合收获机采用履带式行走底盘、HST 液压无级变速器及一杆操纵系统。机器总体采用 L 型布局方式, 如图 1 所示。割台位于机器的正前方, 倾斜输送机位于机器左侧, 切纵流脱粒分离装置及清选装置位于机器后方。驾驶座及其下方的发动机位于机器右侧。

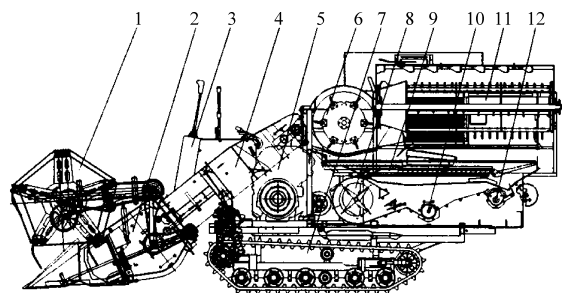


图 1 履带式切纵流双滚筒联合收获机总体方案
Fig. 1 Overall design of combine harvester on tracks with combinational threshing and separating unit of transverse tangential cylinder and axial rotor

1. 拨禾轮 2. 割台 3. 操纵系统 4. 倾斜输送机 5. 发动机
6. 切流脱粒分离装置 7. 底盘 8. 风机 9. 振动筛 10. 籽粒螺旋输送机
11. 纵轴流脱粒分离装置 12. 杂余螺旋输送机

收稿日期: 2013-01-24 修回日期: 2013-03-26

* 江苏省自然科学基金资助项目(BK2011469)、中国博士后科学基金特别资助项目(2012T50469)、江苏省“333 高层次人才培养工程”科研资助项目(BRA2012161)和江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8号)

作者简介: 徐立章, 副研究员, 博士, 主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: justxlz@126.com

2 切纵流双滚筒脱粒分离装置设计

切纵流双滚筒脱粒分离装置主要由切流脱粒分离装置、纵轴流脱粒分离装置和机架等组成,如图2所示。

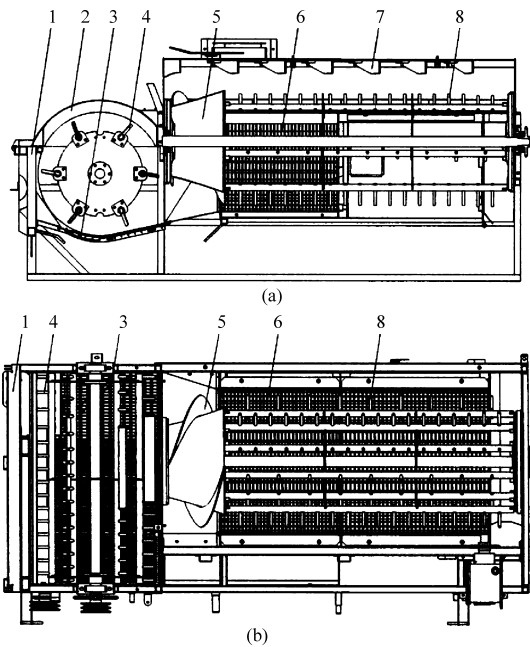


图2 切纵流双滚筒脱粒分离装置

Fig. 2 Combinational threshing and separating unit of transverse tangential cylinder and axial rotor

(a) 主视图 (b) 俯视图

1. 机架 2. 切流顶盖 3. 切流凹板 4. 切流脱粒滚筒 5. 螺旋喂入头 6. 纵轴流凹板 7. 纵轴流顶盖 8. 纵轴流脱粒滚筒

自然生长环境下,谷物脱粒的难易程度不仅因品种而异,而且同一穗头易脱和难脱谷粒的脱粒功几乎差20倍^[8]。因此,切纵脱粒分离装置采用先易后难、有序脱粒,即切流脱粒分离装置实现60%~80%成熟、易脱籽粒的脱粒且20%~40%已脱下的自由籽粒从切流凹板中分离出去,纵轴流脱粒分离装置完成20%~40%难脱籽粒的脱粒及60%~80%自由籽粒的分离,大量长秸秆从纵轴流滚筒排草口抛出机外。

2.1 切流脱粒分离装置

切流脱粒分离装置主要包括钉齿式切流滚筒、栅格式切流凹板和切流顶盖。

切流脱粒装置除了完成作物的初步脱粒和部分分离外,同时将倾斜输送机中4~6 m/s直线运动的作物迅速加速至15~20 m/s,并沿切线抛向纵轴流滚筒端部的螺旋喂入头。

切流滚筒一般采用对不均匀喂入和潮湿作物适应能力强、抓取和冲击脱粒好的钉齿脱粒滚筒(图3)。切流滚筒钉齿总数按脱粒装置的生产率确

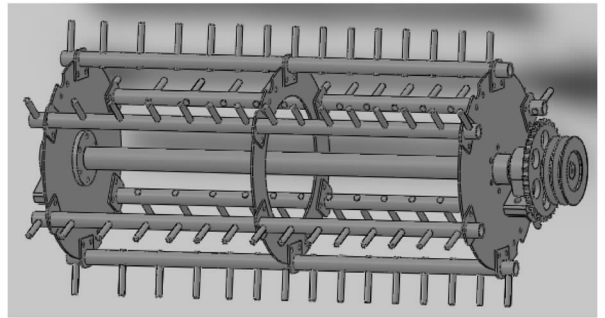


图3 钉齿式切流脱粒滚筒

Fig. 3 Tangential cylinder with spike teeth

定^[8],即

$$Z_q \geq \frac{(1 - \beta_c)q}{0.6q_d} \quad (1)$$

式中 q ——切流脱粒装置喂入量,按最大喂入量5 kg/s的80%计算

β_c ——喂入作物谷草比,取0.7

q_d ——每个钉齿的脱粒能力,取0.025 kg/s

考虑到切流滚筒与倾斜输送机(宽500 mm)的衔接,钉齿数量不宜过多,取 Z_q 为80。

切流钉齿脱粒滚筒长度为^[9]

$$L_q = a_q \left(\frac{Z_q}{k_q} - 1 \right) + 2\Delta l_q \quad (2)$$

式中 a_q ——切流钉齿齿迹距,取35 mm

k_q ——切流钉齿螺旋头数,取3

Δl_q ——切流滚筒边齿距齿杆端部的距离,取20 mm

因此,切流钉齿滚筒长度 L_q 取整数为940 mm。

切流钉齿脱粒滚筒直径为

$$D_q \geq D_{qg} + 2h_q \quad (3)$$

式中 D_{qg} ——齿杆处直径,一般不小于300 mm^[9]

h_q ——切流钉齿高度,取65 mm

考虑到脱粒滚筒常用直径系列为450、550、600、650 mm,因此取切流钉齿脱粒滚筒直径 D_q 为550 mm。

切流钉齿脱粒滚筒转速为

$$n_q = 6 \times 10^4 \frac{v_g}{\pi D_q} \quad (4)$$

式中, v_g 为脱粒滚筒线速度,容易脱粒水稻的脱粒线速度为18~22 m/s^[8],则可求得切流钉齿滚筒转速 $n_q = 625 \sim 764$ r/min。

台架试验表明,切流滚筒转速 n_q 为757 r/min(线速度为21.79 m/s)、脱粒间隙为27 mm,作业性能较好、功耗较低^[10]。切流凹板筛采用栅格结构,钢丝直径为2 mm、钢丝中心距为10 mm,格板高出钢丝6 mm。

2.2 纵轴流脱粒分离装置

切流滚筒抛出的谷物在螺旋喂入头抓取下沿纵

轴流脱粒滚筒轴向喂入,在纵轴流脱粒空间中作螺旋运动,最终由纵轴流滚筒末端沿切向排出。纵轴流脱粒分离装置主要包括螺旋喂入头、纵轴流脱粒滚筒(图 4)、纵轴流凹板和纵轴流顶盖。

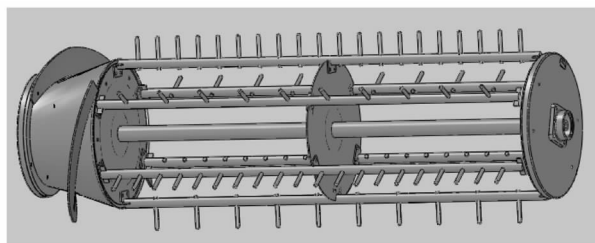


图 4 杆齿式纵轴流脱粒滚筒

Fig. 4 Axial rotor with spike teeth

螺旋喂入头的作用主要是将切流滚筒输送过来沿直线运动的作物迅速推送、换向作螺旋运动。螺旋喂入头主体为 2 个螺旋喂入叶片,其高速旋转时,在过渡口(图 5)处形成向滚筒排草口运动的气流,有利于切流脱粒分离装置中的作物及已脱粒但未分离的籽粒进入纵轴流脱粒分离装置并向纵轴流排草口输送,增加对已脱粒物料的轴向推送能力,减少作物在过渡区内滞留时间。

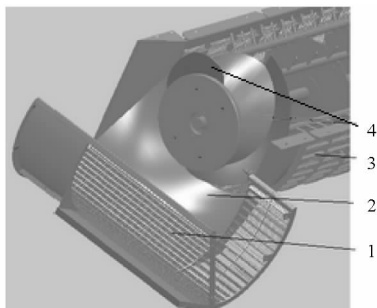


图 5 切流与纵轴流装置过渡口

Fig. 5 Transition section of transverse tangential concave and axial concave

1. 切流凹板 2. 过渡板 3. 纵轴流凹板 4. 螺旋喂入叶片

纵轴流脱粒分离装置要完成 60% ~ 80% 自由籽粒的分离,根据轴流脱粒分离装置的分离模型^[11-12]

$$s_s(x) = \frac{1}{\lambda - \beta} [\lambda(1 - e^{-\beta x}) - \beta(1 - e^{-\lambda x})] \times 100\% \quad (0 \leq x \leq L_z) \quad (5)$$

式中 $s_s(x)$ ——凹板筛累积分离籽粒量, %

λ ——轴流滚筒轴向任意一点 x 处相邻长度为 Δx 的凹板筛区域内,脱粒发生的概率与其中所含未被脱粒的籽粒量的比例系数

β ——轴流滚筒轴向任意一点处相邻长度为 Δx 的凹板筛区域内,籽粒从凹板筛分离出来的概率与其中自由籽粒(已脱粒但尚未分离的籽粒)量的比例系数

x ——轴流滚筒轴向位置, m

L_z ——纵轴流凹板长度, m

当 $x = L_z$ 时,按脱粒损失率 0.5% 计算,则 $s_s(x) = 99.5\%$ 。

通过台架试验^[11]计算可得 $L_z = 1\,192.5$ mm。因此,取纵轴流滚筒长度为 1 200 mm。

纵轴流脱粒滚筒直径为

$$D_z \geq D_{zg} + 2h_z$$

式中 D_{zg} ——齿杆处直径,一般不小于 300 mm^[9]

h_z ——纵轴流杆齿高度,取 65 mm

考虑到纵轴流滚筒纵向布置,其直径方向尺寸不受限制,同时为了尽可能增大分离凹板的面积,取纵轴流脱粒滚筒直径 D_z 为 650 mm。

纵轴流脱粒滚筒转速为

$$n_z = 6 \times 10^4 \frac{v_g}{\pi D_z}$$

式中, v_g 为脱粒滚筒线速度,难脱水稻的脱粒线速度 22 ~ 26 m/s^[8],则可求得纵轴流滚筒转速 $n_z = 648 \sim 764$ r/min。

台架试验表明,纵轴流滚筒转速 n_z 为 682 r/min (粒线速度为 23.20 m/s)、脱粒间隙为 14 mm,作业性能较好、功耗较低^[11]。纵轴流凹板筛采用栅格结构,为了增强分离能力,钢丝直径为 4 mm、钢丝中心距为 16 mm,格板高出钢丝 6 mm,凹板包角为 220°。

3 试验

2010 年 9 月 8 日在安徽省六安市徐集镇进行了水稻收获田间试验。依据 GB/T8097—2008《收获机 联合收割机 试验方法》及 GB/T5262—2008《农业机械 试验条件测定方法的一般规定》江苏省农业机械试验鉴定站对 4LL-2.2Z 型履带式切纵流双滚筒联合收获机进行了性能检测。

作物原始数据为:品种协优 759,自然高度 826 cm,稻谷千粒质量 39.5 g,籽粒含水率 16.8%,茎秆含水率 42.5%,平均产量 8 104 kg/hm²,作业速度 4.5 hm/h,谷草比 0.71。检测结果如表 1 所示。

表 1 切纵流双滚筒联合收获机水稻试验检测结果

Tab. 1 Performance index of combine with combinational threshing and separating unit of transverse tangential cylinder and axial rotor while harvesting rice

参数	合同指标	实测指标
发动机功率/kW	60 ~ 70	65
割台宽度/mm	2 000	2 000
喂入量/(kg·s ⁻¹)	4 ~ 5	4.86
总损失率/%	≤ 2.5	1.47
含杂率/%	≤ 2.0	1.73
破碎率/%	≤ 1.5	0.2
作业效率/(hm ² ·h ⁻¹)	0.4 ~ 0.8	0.73

从表1中可以看出,该机收获水稻时喂入量达到了4.86 kg/s时,整机损失率仅为1.47%,破碎率为0.2%,各项技术性能指标均符合设计要求。含杂率为1.73%,表明该机与切纵流双滚筒脱粒分离装置配套的风筛式清选系统仍需进一步完善。

此外,田间大面积试验时发现,适当增加机器前进速度时,作业喂入量增大,机器收获性能没有明显下降,此外排出茎秆撕裂程度较轻,整机运行平稳,没有发现滚筒堵塞现象,表明切纵流双滚筒脱粒分离装置有较强的适应性。

4 结论

(1)提出的喂入量为4~5 kg/s的履带式切纵流双滚筒联合收获机总体结构,可满足我国水稻主

产区深泥脚、小田块作业条件下联合收获机高性能和高效率作业的要求。

(2)设计了一种切纵流双滚筒脱粒分离装置,切流滚筒采用钉齿脱粒滚筒,纵轴流滚筒采用螺旋喂入头与杆齿滚筒混合结构。确定了切流、纵轴流脱粒分离装置的结构与运动参数:切流滚筒转速757 r/min(粒线速度为21.79 m/s)、切流脱粒间隙为27 mm,纵轴流滚筒转速为682 r/min(粒线速度为23.20 m/s)、纵轴流脱粒间隙为14 mm。

(3)水稻田间试验及性能检测表明,该机喂入量达到4.86 kg/s时,整机损失率仅为1.47%,破碎率为0.2%,其切纵流双滚筒脱粒分离装置相关技术性能指标均符合设计要求。

参 考 文 献

- 张桃林. 转变方式 提升质量 努力推动农业机械化科学发展——在全国农业机械化工作会议上的讲话(摘要)[J]. 中国农机化, 2010(1): 3-7, 19.
- 高焕文, 李问盈, 李洪文. 我国农业机械化的跨世纪展望[J]. 农业工程学报, 2003, 16(2): 9-12.
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Prospects of China agricultural mechanization facing the 21st century[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 16(2): 9-12. (in Chinese)
- 许太白. 多滚筒脱粒分离装置的试验及分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2012.
Xu Taibai. Research and analysis on the experimental of threshing and separating unit with multi cylinder[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2012. (in Chinese)
- 孟繁昌, 庞风斌, 叶耘, 等. 联合收获机水稻收获性能对比试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(5): 141-143.
Meng Fanchang, Pang Fengbin, Ye Yun, et al. Comparativetests of harvesting performance on rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(5): 141-143. (in Chinese)
- 赵越云, 荆小杰, 郭永杰. 3518 CTS型联合收割机脱粒分离机构的研究[J]. 农业机械, 2012(6): 108-109.
- 李耀明, 唐忠, 徐立章, 等. 纵轴流脱粒分离装置功耗分析与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 93-97.
Li Yaoming, Tang Zhong, Xu Lizhang, et al. Power analysis and experiment on longitudinal axial-threshing unit test-bed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 93-97. (in Chinese)
- 衣淑娟, 陶桂香, 毛欣. 组合式轴流脱分装置动力学仿真[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 94-97.
Yi Shujuan, Tao Guixiang, Mao Xin. Dynamic simulation of assembled axial flow threshing and separating device[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 94-97. (in Chinese)
- 吴守一. 农业机械学: 下[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1992.
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- 贾毕清. 纵轴流联合收割机切流脱粒分离装置的试验研究与分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
Jia Bqing. Experimental study and analysis on tangential flow threshing and separating device of axial flow combine harvester[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010. (in Chinese)
- 乔明光. 纵轴流脱粒分离装置的试验研究与分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
Qiao Mingguang. Research and parameters optimization on axial-threshing and separating device with axial-feeding[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010. (in Chinese)
- Miu P I, Kutzbach H D. Mathematical model of material kinematics in an axial threshing unit[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 58(2): 93-99.
- Miu P I. Modeling and simulation of grain threshing and separation in axial threshing units. Part II. Application to tangential feeding[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(1): 105-109.
- 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 experiments 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)
- Anil J, Guruswamy T, Desai S R, et al. Effect of cylinder speed and feed rate on the performance of thresher[J]. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 1998(4): 1120-1123.
- Maertens K, Baerdemaeker J D. Flow rate based prediction of threshing process in combine harvesters[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(4): 383-388.

Surface Analysis and Resistance Characteristics Experiment on Ditch Plow Ahead of Direct Rapeseed Seeder

Zhang Qingsong Ji Wenfeng Liao Yitao Liao Qingxi

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

Abstract: Since ditch plow of direct rapeseed seeder would directly affect ditch quality and power consumption, a ditch plow and an optimized plow were designed and studied comparatively. The basic structure of the ditch plow was investigated and the characteristic of the digging-type surface of ditch plow and the smashing-type surface of the optimized plow were comparatively analyzed. Furthermore, taking traction resistance, plowing specific resistance, and power consumption as the evaluation indices, the experimental research on the impact factors of forward speed, ditch depth, ditch width, soil firmness were conducted by the high speed digitized soil bin platform. The experimental results showed that the greatest impact factor on traction resistance and plowing specific resistance was ditch depth, and the greatest impact factor on power consumption were forward speed and ditch depth. The traction resistance, plowing specific resistance, power consumption of the optimized plow were all only 35% ~ 50% of the ditch plow's respectively. The research conclusion had great theoretical value and practical significance to the optimization of ditch plow and the power consumption reduction of precision rapeseed planter.

Key words: Direct rape seeder Ditch plow Surface analysis Traction resistance Plowing specific resistance Power consumption

(上接第 108 页)

A Combinational Threshing and Separating Unit of Combine Harvester with a Transverse Tangential Cylinder and an Axial Rotor

Xu Lizhang¹ Li Yaoming¹ Wang Chenghong¹ Xue Zhen²

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. Jiangsu Changfa-fengling Agricultural Equipment Co. Ltd., Taizhou 225300, China)

Abstract: With the development of rice harvesting with large scale in China, high-efficiency of combine is more and more important. In order to satisfy the urgent demand of high-efficiency combine, the overall structure of a new crawler-type combine with a feed rate of 4 ~ 5 kg/s was proposed and the combinational threshing and separating unit with a transverse tangential cylinder and axial rotor was designed. The design focused on the designing process of structural and operational parameters of transverse tangential cylinder tangential concave, transition section between transverse tangential concave and rotor concave, axial rotor and concave. Field test showed that the total loss was 1.47% and the damage rate was 0.2%, when the feed rate was 4.86 kg/s, which met the demands of the design.

Key words: Combine harvester Tangential-longitudinal axial Design Experiment