

短程高强度横向轴流脱粒装置参数优化*

袁琦堡 师清翔 王国欣 倪长安 李心平 刘师多
(河南科技大学车辆与动力工程学院, 洛阳 471003)

【摘要】 以微型小麦联合收获机采用的横向轴流脱粒装置为研究对象,在额定喂入量下,对其滚筒转速、凹板间隙、导向板升角、筛孔尺寸等参数进行了正交试验和回归试验,并通过 DPS 等软件对试验数据进行统计分析,得出试验范围内滚筒转速、凹板间隙、导向板升角、筛孔尺寸对凹板分离物中含长茎秆率、籽粒破碎率、夹带籽粒率、脱不净率等指标的影响规律,优化确定了该脱粒装置的最佳参数组合:筛孔尺寸为 14 mm、导向板升角为 10°、凹板间隙为 16 mm、滚筒转速为 660 r/min,含长茎秆率、含杂率、夹带籽粒率、脱不净率、籽粒破碎率分别为 3.1%、39.5%、0.6%、0.01%、0.01%。

关键词: 小麦联合收获机 轴流脱粒装置 参数优化

中图分类号: S225.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)S0-0043-05

Parameters Optimization of Short-range High-strength Transverse Axial Threshing Unit

Yuan Qibao Shi Qingxiang Wang Guoxin Ni Chang'an Li Xinping Liu Shiduo
(Vehicle and Motive Power Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract

Taking the horizontal axial threshing unit of the miniature wheat combine for hills and mountains as the research object, the speed of the roller, concave gap, and angle of the guide plates were researched in the orthogonal mesh size experiment under the rated capacity feed. The roller speed, concave gap, angle of the guide plates were researched in the regression testing. Then by using the DPS and other software, the statistical analysis of test data was got. The influence curve of the roller speed, the concave gap, the angle of the guide plates, mesh size to the ratio of the long-stem, the grain breakage, entrainment, threshing without a net were obtained. The regression equation was built. The optimum operating point for the mini-combine was the mesh size of 14 mm, the angle of guide plate of 10°, the concave clearance of 16 mm and roller speed of 660 r/min. Accordingly, long-stem rate was 3.1%, impurity rate was 39.5%, entrainment rate was 0.6%, the rate of threshing without a net was 0.01%, and grain breakage rate was 0.01%.

Key words Wheat combine harvester, Axial threshing unit, Parameter optimization

引言

目前,轴流脱粒技术已比较成熟,轴流脱粒装置在谷物联合收获机上也已广泛采用。但是,丘陵山区使用的微型谷物联合收获机因受空间位置制约,脱粒装置结构尺寸受限,清选系统也相对简单。这

就要求脱粒装置在较短的行程内完成谷物的脱粒和籽粒分离,并尽可能降低分离物料的含杂率,减轻清选系统的负荷。

轴流脱粒装置工作性能主要由脱粒滚筒的结构运动参数、凹板的形式和筛孔尺寸、顶盖导向板升角等因素决定。本文研究一种用于微型联合收获机的

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-09-13
* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B10)和国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2010AA101405)
作者简介: 袁琦堡,硕士生,主要从事谷物联合收获机研究,E-mail: fondofexamverymuch@163.com

横向轴流脱粒装置,其脱粒滚筒直径为 490 mm,长度为 835 mm。目的是通过试验研究,确定该脱粒装置的最佳参数组合。

1 试验设备与试验方法

1.1 试验设备及仪器

脱粒试验台:脱粒试验在脱粒试验台上完成,如图 1 所示,其主要由输送带、脱粒装置、接料车等部分组成。输送带由 3 层速度相等的平带组成,用于保证待脱谷物的均匀稳定喂入;脱粒装置是待试验装置,其滚筒转速可调,凹板和顶盖装拆更换方便;接料车用于同时接取由脱粒装置凹板分离的物料和由脱粒装置排草口排出的物料。

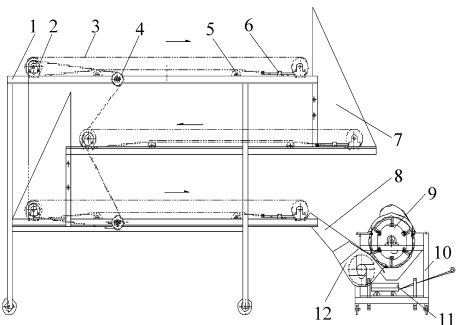


图 1 脱粒试验台结构图

Fig. 1 Threshing test bed

1. 输送带机架 2. 输送辊 3. 输送带 4. 链轮张紧总成 5. 带张紧总成 6. 平带张紧装置 7. 挡草板 8. 过桥 9. 脱粒装置 10. 机架 11. 接料车 12. 喂入装置

辅助设备:用于凹板分离物清选用的清选机,用于分离凹板分离物中长茎秆的振动筛,用于脱粒装置排出茎秆复脱的脱粒机,以及用于各旋转部分驱动的调速电动机等。

仪器:秒表、大电子秤、精密电子秤、计算机、打印机等。

1.2 试验方法及测量

试验开始前,将输送带速度调至 0.5 m/s,并加以固定。然后将脱粒装置各参数调至要求值。最后根据试验喂入量要求,计算单位长度输送带上应铺放的物料质量,分次称取物料,均匀铺放在 3 层输送带上。

试验时,首先启动脱粒装置,然后驱动输送带,待脱粒装置排草口稳定排草,且脱粒滚筒转速稳定后开始计时,同时将接料车推至接料位置,分别接取凹板分离物和排草口排出物。待输送带物料将近送完时,拉回接料车,停下计时秒表,记录取样时间 t 。最后处理接取的凹板分离物和排草口收集物。

凹板分离物的处理过程是:首先称量凹板分离物,得到凹板分离物的总质量 x ;然后利用预先调好

的清选机,对凹板分离物进行清选,并用振动筛将清选后的籽粒和长茎秆分开,分别称量,得到凹板分离籽粒质量 y_1 和长茎秆质量 x_1 ,对籽粒随机取样 3 次,每次取样的质量为 50 g,挑出样品中破碎籽粒并称量,得样品破碎籽粒质量 p 。

排草口收集物的处理过程是:首先称量排草口收集物,得到总质量 y ,然后手工抖出收集物中夹带籽粒和细小轻杂物,再用清选机清选并称量,获得夹带籽粒质量 y_3 ,然后将不含夹带籽粒的排草口收集物喂入脱粒机,并对脱出的籽粒称量,获得脱不净籽粒质量 y_2 ,最后用公式计算试验脱粒装置的性能参数:

喂入量

$q = (x + y) / t$

含长茎秆率

$v_1 = x_1 / x \times 100\%$

含杂率

$v_2 = (1 - y_1 / x) \times 100\%$

夹带籽粒率

$v_3 = y_3 / (y_1 + y_2 + y_3) \times 100\%$

脱不净率

$v_4 = y_2 / (y_1 + y_2 + y_3) \times 100\%$

籽粒破碎率

$v_5 = p / 150 \times 100\%$

脱粒损失率

$v_6 = (y_2 + y_3) / (y_1 + y_2 + y_3) \times 100\%$

2 试验结果及分析

2.1 正交试验

本脱粒装置用于微型谷物联合收获机,其滚筒长度和直径固定,凹板筛网使用方孔编织筛。其脱粒性能主要由凹板间隙 A 、滚筒转速 B 、顶盖导向板升角 C 和筛孔尺寸 D 决定。本试验主要研究这 4 个参数对脱粒性能的影响规律,并确定其取值。本试验小麦平均高为 704 mm,穗长 76.8 mm,籽粒含水率 6.9%、茎秆含水率 8.2%,喂入量取额定值 0.2 kg/s。

采用正交试验方法进行参数选优,正交试验各因素编码如表 1 所示,各因素的零水平是根据现有机型参数值和经验确定的。选用 $L_9(3^4)$ 正交表,试验方案及试验结果见表 2。

表 1 因素水平编码表
Tab. 1 Coding of factors levels

水平	因素			
	凹板间隙	滚筒转速	导向板升角	筛孔尺寸
	A/mm	$B/\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	$C/(\text{^\circ})$	D/mm
-1	6	650	13	10
0	10	800	17	12
1	14	950	21	14

利用 DPS 软件对正交试验数据进行极差分析,得各因素对性能的影响次序:对含长茎秆率的影响为 $D > B > C > A$;对含杂率的影响为 $A > C > D > B$;

表 2 正交试验方案及试验结果

Tab.2 Orthogonal test program and test results

试验 序号	导向板 升角 C $/(^{\circ})$	筛孔 尺寸 D/mm	凹版 间隙 A/mm	滚筒 转速 B $/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	实际喂 入量 q $/\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	脱粒 损失率 $v_6/\%$	脱不 净率 $v_4/\%$	夹带 籽粒率 $v_3/\%$	含杂率 $v_2/\%$	含长 茎秆率 $v_1/\%$	籽粒 破碎率 $v_5/\%$
1	13	10	6	650	0.20	1.5	0	1.5	40.1	2.1	0.1
2	13	12	10	800	0.19	1.6	0	1.6	46.5	2.0	2.1
3	13	14	14	950	0.21	0.6	0	0.6	30.1	2.0	1.6
4	17	10	10	950	0.20	3.0	0	3.0	43.1	1.7	2.3
5	17	12	14	650	0.21	1.7	0	1.7	41.9	2.4	0
6	17	14	6	800	0.19	1.5	0	1.4	44.4	2.3	1.5
7	21	10	14	800	0.20	3.0	0	3.0	42.7	1.7	0.5
8	21	12	6	950	0.19	2.6	0	2.6	48.0	1.6	7.5
9	21	14	10	650	0.20	1.3	0	1.3	45.4	2.4	0.1

对脱粒损失率的影响为 $D > C > B > A$ 。

由于在试验范围内脱不净率均为零,而在脱不净率为零的情况下,夹带籽粒率即为脱粒损失率,故只列出脱粒损失率。

用加权评分法对各性能指标进行加权评分,当脱不净率、夹带籽粒率、含杂率、含长茎秆率、籽粒破碎率的加权系数分别取 -0.15 、 -0.25 、 -0.2 、 -0.15 、 -0.25 时,较优组合为:导向板升角为 13° ,筛网尺寸为 14 mm ,凹板间隙为 14 mm ,滚筒转速为 650 r/min 。

2.2 回归试验

回归试验设计能够减少试验次数,简化回归计算,获得实用、可靠而且高质量的回归方程。本研究采用二次通用旋转组合设计回归试验,以进一步提高预测精度。

正交试验给出了导向板升角、筛孔尺寸、凹板间隙、滚筒转速的较优组合。本试验旨在建立脱粒装置各性能指标与试验参数的关系模型,优化确定最佳参数组合。由于筛网已标准化生产,现有筛网的筛孔尺寸不能满足二次通用旋转组合设计回归试验的参数取值要求,故回归试验中将其固定在正交试验的较优组合水平,试验因素编码见表 3,试验方案及试验结果见表 4。

表中,喂入量实值是试验检测值,用于考察喂入量是否达到额定值,既不是试验因素,也不是性能指标。脱粒损失率是脱不净率和夹带籽粒率之和,不宜在考虑了脱不净率和夹带籽粒率的同时,将其也作为性能指标。

利用 DPS 软件对回归试验数据进行二次通用旋转分析,考虑到试验条件稳定性低(如物料含水率不断变化),故取较低的显著性水平 $\alpha = 0.25$,得标准空间内的回归方程:

表 3 回归试验编码表

Tab.3 Coding of regression test

编码空间	导向板升角 $C/(^{\circ})$	凹板间隙 A/mm	滚筒转速 $B/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$
1.682	17	16	900
1	15.6	14	839.18
0	13.5	11	750
-1	11.4	8	660.82
-1.682	10	6	600

含长茎秆率

$$\begin{aligned} v_1 = & 0.030\,07 + 0.000\,48X_1 + 0.001\,21X_2 + \\ & 0.001\,78X_3 - 0.001\,42X_1^2 + 0.000\,27X_2^2 + \\ & 0.001\,42X_3^2 + 0.000\,38X_1X_2 + \\ & 0.000\,02X_1X_3 + 0.000\,55X_2X_3 \end{aligned} \tag{1}$$

含杂率

$$\begin{aligned} v_2 = & 0.450\,55 - 0.007\,47X_1 - 0.004\,39X_2 + \\ & 0.018\,16X_3 - 0.014\,48X_1^2 - 0.015\,84X_2^2 + \\ & 0.010\,79X_3^2 + 0.015\,30X_1X_2 + \\ & 0.002\,70X_1X_3 - 0.002\,03X_2X_3 \end{aligned} \tag{2}$$

夹带籽粒率

$$\begin{aligned} v_3 = & 0.007\,206 + 0.001\,47X_1 - 0.001\,29X_2 + \\ & 0.000\,50X_3 - 0.000\,23X_1^2 - 0.000\,35X_2^2 + \\ & 0.000\,15X_3^2 + 0.000\,08X_1X_2 - \\ & 0.000\,27X_1X_3 - 0.000\,40X_2X_3 \end{aligned} \tag{3}$$

脱不净率

$$v_4 = 0.000\,12 - 0.000\,03X_2^2 - 0.000\,04X_2X_3 \tag{4}$$

籽粒破碎率

$$\begin{aligned} v_5 = & 0.000\,33 + 0.000\,11X_1 - 0.000\,59X_2 + \\ & 0.000\,36X_3 - 0.000\,01X_1^2 + 0.000\,23X_2^2 + \\ & 0.000\,14X_3^2 - 0.000\,27X_1X_2 - \\ & 0.000\,15X_1X_3 - 0.000\,31X_2X_3 \end{aligned} \tag{5}$$

其中 X_1 为导向板升角编码值, X_2 为凹板间隙编码值, X_3 为滚筒转速编码值。

表 4 回归试验方案与试验结果

Tab.4 Regression test program test results

试验号	导向 板升角 /(°)	凹板 间隙 /mm	滚筒 转速 /r·min ⁻¹	喂入 量实值 /kg·s ⁻¹	脱粒 损失率 v ₆ /%	脱不 净率 v ₄ /%	夹带 籽粒率 v ₃ /%	含杂率 v ₂ /%	含长 茎秆率 v ₁ /%	籽粒 破碎率 v ₅ /%
1	1	1	1	0.18	0.58	0.01	0.58	44.40	3.42	0
2	1	1	-1	0.20	0.73	0.02	0.71	40.28	2.65	0
3	1	-1	1	0.20	0.91	0.01	0.89	42.59	2.99	0.25
4	1	-1	-1	0.20	0.75	0	0.75	39.17	3.00	0.13
5	-1	1	1	0.19	0.43	0	0.43	44.45	2.91	0.06
6	-1	1	-1	0.19	0.35	0.01	0.34	42.92	2.71	0
7	-1	-1	1	0.21	0.66	0	0.66	50.28	3.20	0.2
8	-1	-1	-1	0.19	0.53	0.01	0.53	46.42	2.65	0.02
9	-1.682	0	0	0.19	0.45	0.01	0.44	37.74	2.72	0
10	1.682	0	0	0.19	1.07	0.01	1.06	42.16	2.75	0.03
11	0	-1.682	0	0.20	1.01	0	1.01	39.44	2.68	0.16
12	0	1.682	0	0.20	0.42	0	0.42	39.69	3.75	0
13	0	0	-1.682	0.19	0.73	0	0.73	43.57	3.26	0.02
14	0	0	1.682	0.21	1.0	0.01	0.99	50.63	3.81	0.1
15	0	0	0	0.20	0.69	0.01	0.68	41.49	3.09	0
16	0	0	0	0.18	0.8	0.03	0.77	45.64	2.75	0
17	0	0	0	0.20	0.83	0.01	0.82	48.5	3.88	0.07
18	0	0	0	0.21	0.64	0.01	0.63	44.56	3.06	0.08
19	0	0	0	0.18	0.69	0.01	0.68	47.17	2.57	0
20	0	0	0	0.21	0.71	0.01	0.7	43.31	2.66	0.05

用加权评分法进行统计分析,当脱不净率、夹带籽粒率、含杂率、含长茎秆率、籽粒破碎率的加权系数分别取 - 0.15、- 0.25、- 0.2、- 0.15、- 0.25 时,最佳参数组合为 $X_1 = - 1.682$ 、 $X_2 = 1.682$ 、 $X_3 = - 1$ (即导向板升角为 10°、凹板间隙为 16 mm、滚筒转速为 660 r/min),含长茎秆率、含杂率、夹带籽粒率、脱不净率、籽粒破碎率分别为 3.1%、39.5%、

0.6%、0.01%、0.01%。

2.3 验证试验

由于最优参数没有在回归试验中出现,故需要做最优参数时的验证试验,以判定最优点处的各项指标是否和方程预测值吻合。在回归试验最优点进行验证试验,得到验证试验结果,如表 5。

表 5 验证试验结果

Tab.5 Validation test results

试验点	凹板 间隙 /mm	导向 板升角 /(°)	滚筒 转速 /r·min ⁻¹	筛孔 尺寸 /mm	脱粒 损失率 v ₆ /%	脱不 净率 v ₄ /%	夹带 籽粒率 v ₃ /%	含杂率 v ₂ /%	含长 茎秆率 v ₁ /%	籽粒 破碎率 v ₅ /%
1	16	10	660	14	0.35	0.02	0.33	44.82	3.42	0
2	16	10	660	14	0.47	0.01	0.46	46.73	3.92	0

由于验证试验所用谷物在室内放置时间较长,含水率较低。试验中茎秆破碎较严重,因而含杂率偏高。

2.4 脱粒损失影响因素分析

脱粒损失率是脱粒装置的主要性能指标,由脱

不净率和夹带籽粒率构成。由表 4 可知,在试验条件下,脱不净率很小,可以通过夹带籽粒率来分析各因素对脱粒损失率的影响。借助夹带籽粒率回归方程(3),将 3 个变量中的 2 个固定于最优值,分析另一变量对夹带籽粒率的影响。

当 $X_2 = 1.682$ 、 $X_3 = -1$ 时

$$v_3 = 0.004\ 4 + 0.001\ 9X_1 - 0.000\ 23X_1^2 \quad (6)$$

由式(6)可知,当 X_1 在 $-1.682 \sim 1.682$ 变化时,夹带籽粒率 v_3 在 $0.06\% \sim 0.69\%$ 变化。

当 $X_1 = -1.682$ 、 $X_3 = -1$ 时

$$v_3 = 0.004\ 2 + 0.001\ 0X_2 - 0.000\ 35X_2^2 \quad (7)$$

由式(7)可知,当 X_2 在 $-1.682 \sim 1.682$ 变化时,夹带籽粒率 v_3 在 $0.49\% \sim 0.15\%$ 变化。

当 $X_1 = -1.682$ 、 $X_3 = 1.682$ 时

$$v_3 = 0.000\ 81 + 0.000\ 28X_3 - 0.000\ 15X_3^2 \quad (8)$$

由式(8)可知,当 X_3 在 $-1.682 \sim 1.682$ 变化时,夹带籽粒率 v_3 在 $0.07\% \sim 0.17\%$ 变化。

可见,当顶盖导向板升角变化时,夹带籽粒率变化最大。

2.5 喂入量适应性试验

在谷物联合收获机的作业过程中,很难保证喂入量恒定,脱粒装置对喂入量的适应性是衡量其性能的重要方面,为此,本研究进行了该脱粒装置的喂入量适应性试验,试验结果见表6。

表 6 喂入量适应性试验结果
Tab.6 Adaptive test results of feed rate

试验 序号	理论喂入量 /kg·s ⁻¹	实际喂入量 /kg·s ⁻¹	脱粒损失率 $v_6/\%$	脱不净率 $v_4/\%$	夹带籽粒率 $v_3/\%$	含杂率 $v_2/\%$	含长茎秆率 $v_1/\%$	籽粒破碎率 $v_5/\%$
1	0.10	0.10	0.75	0.00	0.75	46.84	3.60	0.00
2	0.15	0.15	0.66	0.00	0.66	45.82	3.20	0.00
3	0.20	0.19	0.48	0.00	0.48	44.65	2.92	0.00
4	0.25	0.23	0.37	0.00	0.37	43.56	3.01	0.00

从表6可看出,当喂入量在 $0.1 \sim 0.25$ kg/s 变化时,脱粒装置性能稳定。同时发现,当喂入量达到 0.30 kg/s 时,驱动脱粒滚筒的胶带严重打滑,无法正常试验,这是因为喂入量增加时,脱粒滚筒扭矩明显增加所致。

3 结论

(1)在试验条件下,滚筒转速为 660 r/min、凹板

间隙为 16 mm、导向板升角为 10° 、筛孔尺寸为 14 mm时脱粒装置性能最优,且主要性能指标含长茎秆率、含杂率、夹带籽粒率、脱不净率、籽粒破碎率分别为 3.1% 、 39.5% 、 0.6% 、 0.01% 、 0.01% 。

(2)当脱粒装置滚筒长度受限时,减小顶盖导向板升角是降低脱粒损失的有效途径。

参 考 文 献

1 李显旺,张彬,石磊. 超级稻联合收获机具的探讨[J]. 中国农机化,2004(4):57~58.
Li Xianwang, Zhang Bin, Shi Lei. Discussion of combine harvester for the super hybrid rice[J]. Chinese Agriculture Mechanization, 2004(4):57~58. (in Chinese)

2 万霖,衣淑娟,马永财. 纵置单轴流滚筒脱粒与分离装置功耗性能试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(2):56~58.
Wan Lin, Yi Shujuan, Ma Yongcai. Study on power consumption of single axial flow threshing and separation unit of paddy[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005,17(2):56~58. (in Chinese)

3 李杰,阎楚良,杨方飞. 纵向轴流脱离装置的理论模型与仿真[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2006,27(4):299~302.
Li Jie, Yan Chuliang, Yang Fangfei. Theoretical model and simulation of threshing of axial unit with axial unit with axial feeding[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2006,27(4):299~302. (in Chinese)

4 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. Comparable experiments of combine harvester of rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(5):141~143. (in Chinese)

5 李耀明,周金芝,徐立章,等. 水稻复脱分离系统脱粒分离性能的试验[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2005,26(1):1~4.
Li Yaoming, Zhou Jinzhi, Xu Lizhang, et al. Experimental test of grain threshing and separating unit[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2005,26(1):1~4. (in Chinese)

低非常显著。

4 结束语

单滚筒联合收获机分离不净、夹带损失过高与未脱净率偏高等问题;本机较好地适应了南方地区高产水稻收获。

小型双滚筒轴流联合收获机有效地解决了该型

参 考 文 献

- 1 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:391.
- 2 Hitoshi Samuraki. Combine harvester[J]. 農業機械學會誌,2010,72(5):24~28.
- 3 杨方飞,阎楚良. 谷物在纵向轴流脱粒空间中的运动状态分析[J]. 农业机械学报,2008,39(11):48~50,25.
Yang Fangfei,Yan Chuliang. Movement analysis of cereal in axial flow threshing roller space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(11):48~50,25. (in Chinese)
- 4 王成芝,葛永久. 轴流滚筒试验研究[J]. 农业机械学报,1982,13(1):55~72.
Wang Chengzhi,Ge Yongjiu. A research on axial-flow threshing cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1982,13(1):55~72. (in Chinese)
- 5 许大兴,杨健明. 卧式轴流脱粒分离装置研究[J]. 农业机械学报,1984,15(3):57~66.
Xu Daxing,Yang Jianming. Study of horizontal axial-flow thrash-separating unit characteristics[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1984,15(3):57~66. (in Chinese)
- 6 市川友彦,杉山隆夫. 汎用コンバインの開発研究(第1報)[J]. 農業機械學會誌,1996,58(3):77~86.
- 7 衣淑娟,陶佳香,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 Chinese Society of Agricultural Engineering,2008,24(6):154~156. (in Chinese)
- 8 李昇揆,川村登. 轴流スリッシャに関する研究(第2報)[J]. 農業機械學會誌,1986,48(1):33~41.
- 9 张认成,桑正中. 轴流脱粒空间谷物运动仿真研究[J]. 农业机械学报,2000,31(1):55~57,85.
Zhang Rencheng ,Sang Zhengzhong. Simulation research on the motion of celeration in axial threshing space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000,31(1):55~57,85. (in Chinese)
- 10 陈德俊,龚永坚,黄东明,等. 履带式全喂入稻麦联合收获机新型工作装置研究设计[J]. 农业机械学报,2007,38(8):82~85.
Chen Dejun, Gong Yongjian, Huang Dongming, et al. Development on some apparatus of Chinese model caterpillar rice-wheat combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):82~85. (in Chinese)
- 11 张兰星,何月娥. 谷物收割机机械理论与计算[M]. 长春:吉林人民出版社,1980:109~110.
- 12 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,2007:946~951.

(上接第47页)

- 6 徐立章,李耀明,张立功,等. 轴流式脱粒-清选装置试验台的设计[J]. 农业机械学报,2007,38(12):85~88.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Zhang Ligong, et al. Development on test-bed of axial threshing and cleaning unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(12):85~88. (in Chinese)
- 7 李耀明,乔明光,徐立章,等. 纵轴流复脱分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(11):50~54.
Li Yaoming, Qiao Mingguang, Xu Lizhang, et al. Development and performance experiments on axial-rethreshing with axial feeding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(11):50~54. (in Chinese)
- 8 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 Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,24(3):139~142. (in Chinese)