

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.013

联合收获机风筛式清选装置清选室内涡流试验*

唐忠 李耀明 李洪昌 徐立章 赵湛

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 在 DFQX-3 型物料清选试验台上,采用数字风速仪测得清选室内多点风速,利用绘制等速线的方法得出气流流速为零的点(涡心)。通过分析离心风机转速和出风口倾角对涡心位置的影响,得出在离心风机不同出风口倾角下风机转速与涡心位置变化关系,以及不同风机转速下出风口倾角对涡心位置变化的影响规律。通过水稻清选试验对比分析表明,涡心位置变化对清选的清洁率和损失率有较大影响,并得到离心风机转速为 950 r/min 且出风口倾角为 25°时,清选效果最佳。

关键词: 联合收获机 清选装置 离心风机 涡流 试验 气流场

中图分类号: S225.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0062-05

Analysis on the Eddy Current of the Air-and-screen Cleaning Device

Tang Zhong Li Yaoming Li Hongchang Xu Lizhang Zhao Zhan

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

Zero point of airflow velocity which is the heart of eddy current was found by drawing equal lines and measuring wind speed values of multi-point with digital screen anemometer on the DFQX-3 material clearing and simulation test platform. Based on analyzing the effect of eddy current by the speed or angle of the centrifugal fan, both the law of the centre of eddy current was affected by changing the angle of the centrifugal fan at the same speed of the centrifugal fan and the centre of eddy current was also affected by changing the speed of the centrifugal fan at the same angle of the centrifugal fan. The results of grain cleaning test showed that the cleaning rate and lose rate were affected by changing the centre of the centrifugal fan. The best results of cleaning grain were that the speed and angle of eddy current were 950 r/min and 25°, respectively.

Key words Combine harvester, Cleaning device, Centrifugal fan, Eddy current, Experiment, Flow field

引言

风筛式清选装置是联合收获机的重要组成部分,它的性能直接影响到整机的清选效果。近年来,国内外学者对清选装置的理论及试验进行了研究^[1-3],这些研究对进一步分析和认识清选机理,改善清选效果提供了重要的理论和试验依据^[4-7]。同时,有学者采用 ANSYS 等软件对清选室内气流场进行计算机模拟^[8],从清选室内的气流场流线图可以

看出清选室内气流场中存在涡流迹象。谢金法等人在双风道三圆筒筛清选机构的气流场试验中利用清选室内气流速度的分布证实了清选室内存在涡流现象,并指出涡流对清选效果有显著影响^[9]。涡流是清选室内特殊的气流流动现象,它是流体动能高度集中的相对稳定的结构,涡流中蕴含着很大能量,中心区压力很低,会导致奇特的吸力效果,它的高能量强离心力和为平衡离心力而产生压强骤降,伴随着机械能的耗损,对物料产生流体阻力,对物料的清选会

收稿日期:2009-11-30 修回日期:2010-03-11

* 国家自然科学基金资助项目(50875113,50805068)和国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2010AA101402)

作者简介:唐忠,博士生,主要从事农业机械设计及理论研究,E-mail: tangweizhong0427@163.com

带来很多破坏和不利影响。有学者曾设置导流板来消除涡流对清选的影响,但由于理论和技术未成熟,在清选中产生的效果不佳。陈霓等为改善清选室内气流分布,设计了圆锥形离心式清选风扇,在清选室内产生非均匀气流。由于在传统的风筛式清选装置中,落在距振动筛前端 165 ~ 495 mm 下的物料占总下落物料的 81.35%^[10],因此涡流的位置对清选效果有着重要的影响,开展风筛式清选装置清选室内涡流的研究具有重要的理论意义和实用价值。

本文采用数字风速仪测出清选室内气流速度及分布,利用 Matlab 软件绘制等速线,并找出等速线中速度为零的点(涡心)。在离心风机不同转速和不同出风口倾角下,对清选室内涡心的分布规律及位置变化趋势进行分析,得出涡心位置与出风口角度和离心风机转速之间的关系。通过水稻清选试验进行对比分析,得知可以通过调节离心风机的转速和出风口倾角来改变涡心位置,从而控制涡流的范围,提高清选效果,并得到最佳的离心风机转速和出风口倾角。

1 试验方案

1.1 试验仪器设备

试验在 DFQX-3 型物料清选试验台上进行,试验台结构见文献[11]。

1.2 建立清选室内坐标系

以 DFQX-3 型物料清选试验台筛面前端中点距离筛面 50 mm 高处作为坐标原点,沿平行筛面前端横向为 Y 方向,沿平行筛面纵向中心线指向筛尾为 X 正向,垂直筛面向上为 Z 正向。

在 X 方向均匀设定 5 个水平测量点,坐标分别为:0、250、500、750 和 1 000 mm。

在 Y 方向均匀设定 5 个水平测量点,坐标分别为:-460、-230、0、230 和 460 mm。

在 Z 方向设定 3 层水平测量点,坐标分别为:0、100 和 200 mm。

其中,抖动板尾部在清选室内进料端坐标是 $X = 50$ mm, $Z = 165$ mm。抖动板曲柄转速为 280 r/min,水稻清选混合物从抖动板末端抛出。

2 试验条件与分析

2.1 试验条件及结果

试验设定离心风机出风口倾角为 20°、25° 和 30°,风机采用同轴串联两个相同的离心式风机,两风机间隔 100 mm,离心风机转速为 850、950、1 050、1 150 和 1 250 r/min,贯流风机转速为 1 050 r/min。选用双层鱼鳞筛,开度为 30°,其尺寸为 1 200 mm ×

1 200 mm。使用数字风速仪对空间不同位置布点的风速进行测量。图 1 为风速仪在清选室内的测点位置分布图。

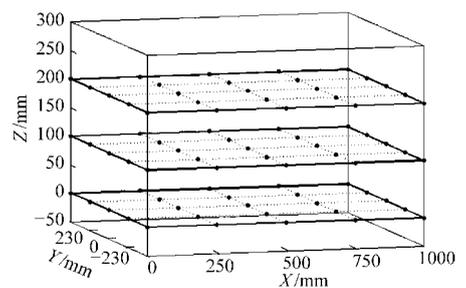


图 1 风速仪在清选室内的测点位置

Fig. 1 Locations of anemometer measuring points on air-and-screen cleaning mechanism

根据图 1 所示的测点,沿筛面 X 正方向把清选室分成了 $Y = \pm 460$ mm、 ± 230 mm、0 共 5 个平面,每个面都与同一涡流的涡轴相交,由于清选室是关于 $Y = 0$ 面左右对称,且测量的 $Y = \pm 460$ mm、 ± 230 mm 对称面上风速基本相同,则涡轴与 5 个平面都垂直,每一面上的涡心相同。为便于对涡心研究和分析,以下只分析 $Y = 0$ 平面上的涡心情况,其他面上涡心坐标与 $Y = 0$ 平面上分析完全相同。每个面上有 3×5 个点,在离心风机相同出风口倾角下采用 5 种离心风机转速,在 5 种转速 3 种出风口倾角下共测量风速 1 125 个(每个风速都是该点各方向中风速的最大值)。测量结果如表 1 ~ 3 所示。

2.2 试验结果分析

为了分析清选室内涡流的情况,利用等速线法(等速线是指把气流场中速度相等的点连接成的线)找出气流速度为零的点(即涡心)。根据清选室内各测点风速,运用 Matlab 软件,采用二维三次插值法,绘出筛面上气流的等速线图^[12]。

图 2 为离心风机不同出风口倾角和转速时清选室内 $Y = 0$ 平面上的等速线图,由于原理相同只绘制 3 种情况。

由图 2 可知,随着气流速度在等速线梯度方向的降低, $Y = 0$ 平面上存在一个速度为零的点,此即为涡心。由流体力学原理可知清选室内涡流非常复杂,并且存在许多小旋涡,如气流流动遇到清选室壁面而产生的边界层中的小涡以及湍流中的随机涡等,这些小涡都不易观察到且对清选室内气流影响较小,在此不再分析讨论。

利用表 1 ~ 3 所示的风速,通过绘制离心风机出风口角度为 20°、25° 和 30°,风机转速为 850、950、1 050、1 150 和 1 250 r/min 的 15 种情况下 $Y = 0$ 面上的等速线可知,清选室内均存在涡流现象,且涡心位置随风机出风口倾角和转速的改变而变化,离心

表1 出风口倾角为20°时清选室内各测点风速测量结果

Tab.1 Measurement results of flow field speed on air-and-screen cleaning device of 20° of centrifugal fan

风机转速 /r·min ⁻¹	X/mm	风速/m·s ⁻¹		
		Z=0 mm	Z=100 mm	Z=200 mm
850	0	1.46	2.22	1.86
850	250	3.68	0.92	0.96
850	500	2.74	2.72	1.39
850	750	2.06	2.89	2.07
850	1 000	1.81	2.58	2.35
950	0	1.73	2.50	2.03
950	250	4.16	1.06	1.08
950	500	3.26	3.01	1.45
950	750	2.40	3.19	2.27
950	1 000	2.45	2.80	2.64
1 050	0	1.97	2.78	1.86
1 050	250	4.46	0.90	0.87
1 050	500	3.68	3.10	1.38
1 050	750	2.82	3.68	2.58
1 050	1 000	2.21	3.12	3.05
1 150	0	2.03	3.06	2.05
1 150	250	4.75	0.94	0.96
1 150	500	4.15	3.68	1.63
1 150	750	2.68	4.11	2.72
1 150	1 000	2.44	3.65	3.14
1 250	0	2.25	3.20	2.42
1 250	250	5.45	1.06	1.02
1 250	500	4.24	4.20	1.60
1 250	750	3.23	4.35	3.25
1 250	1 000	2.64	3.91	3.57

表2 出风口倾角为25°时清选室内各测点风速测量结果

Tab.2 Measurement results of flow field speed on air-and-screen cleaning device of 25° of centrifugal fan

风机转速 /r·min ⁻¹	X/mm	风速/m·s ⁻¹		
		Z=0 mm	Z=100 mm	Z=200 mm
850	0	1.62	3.29	2.82
850	250	3.91	1.52	1.53
850	500	2.78	3.07	1.84
850	750	2.22	3.19	2.02
850	1 000	2.01	2.82	2.32
950	0	1.80	4.21	2.38
950	250	4.33	1.77	1.75
950	500	3.17	3.53	1.97
950	750	2.39	3.55	2.56
950	1 000	1.80	2.61	1.98
1 050	0	1.93	4.36	2.28
1 050	250	4.83	1.90	1.86
1 050	500	3.56	3.72	2.04
1 050	750	2.74	3.91	2.62
1 050	1 000	2.43	3.47	2.85
1 150	0	2.20	4.75	2.68
1 150	250	5.28	2.03	2.04
1 150	500	4.08	4.15	2.48
1 150	750	3.03	4.00	2.98
1 150	1 000	2.64	3.71	3.38
1 250	0	2.41	5.00	2.48
1 250	250	6.02	2.24	2.25
1 250	500	4.30	4.50	2.54
1 250	750	3.25	4.78	3.20
1 250	1 000	2.90	4.12	3.50

表3 风机倾角为30°时清选室内各测点风速测量结果

Tab.3 Measurement results of flow field speed on air-and-screen cleaning device of 30° of centrifugal fan

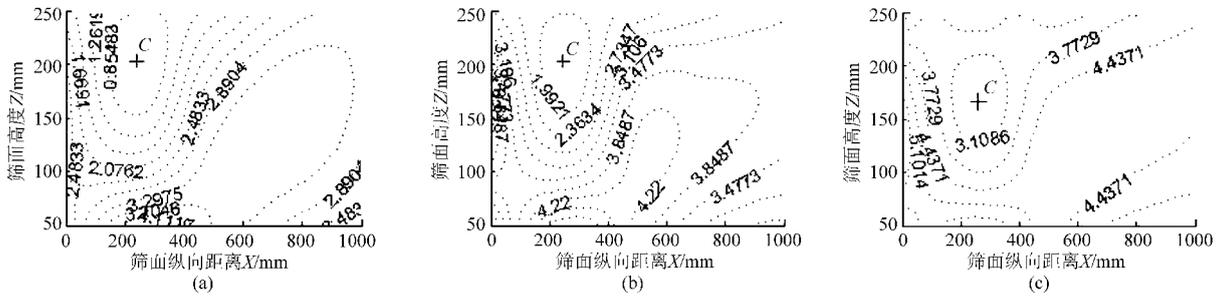
风机转速 /r·min ⁻¹	X/mm	风速/m·s ⁻¹		
		Z=0 mm	Z=100 mm	Z=200 mm
850	0	2.87	4.26	1.87
850	250	4.28	1.60	3.06
850	500	3.07	3.26	1.86
850	750	2.35	3.17	2.33
850	1 000	2.07	2.97	2.82
950	0	3.32	4.68	1.94
950	250	4.63	1.72	2.94
950	500	3.64	3.72	2.01
950	750	2.57	3.55	2.50
950	1 000	2.35	3.25	2.99
1 050	0	3.72	5.02	2.08
1 050	250	5.18	2.02	3.56
1 050	500	4.05	4.01	2.25
1 050	750	2.94	3.99	3.06
1 050	1 000	2.68	3.76	3.17
1 150	0	3.96	5.80	2.26
1 150	250	5.61	2.28	4.07
1 150	500	4.31	4.52	2.80
1 150	750	3.27	4.37	3.23
1 150	1 000	2.96	4.20	3.95
1 250	0	4.29	6.31	1.78
1 250	250	6.24	2.67	4.48
1 250	500	4.72	4.71	2.72
1 250	750	3.57	4.85	3.61
1 250	1 000	3.19	4.52	4.33

风机不同出风口倾角和转速下涡心 C 的位置坐标如表4所示。其中,涡心 C 在筛面纵向 X 轴上的位置即为涡心水平位置,在筛面高度 Z 轴上的位置即为涡心高度位置。

表4 离心风机不同出风口倾角和转速下涡心位置及水稻清选结果

Tab.4 Coordinate value of vortex core and the cleaning results with different angles and rotation speed of centrifugal fan

出风口倾角/(°)	风机转速 /r·min ⁻¹	涡心位置/mm		清洁率 /%	损失率 /%
		水平位置 X	高度位置 Z		
20	850	256.20	209.22	97.46	0.68
20	950	258.60	211.09	98.01	0.52
20	1 050	252.59	201.02	97.76	0.63
20	1 150	234.79	196.43	95.23	0.91
20	1 250	242.32	200.24	96.84	0.76
25	850	255.86	215.26	97.63	0.51
25	950	262.56	219.77	98.24	0.42
25	1 050	261.57	207.61	98.02	0.53
25	1 150	258.08	200.77	97.56	0.68
25	1 250	259.81	200.85	97.34	0.72
30	850	261.14	167.51	97.13	0.73
30	950	259.86	170.51	97.38	0.64
30	1 050	254.19	169.02	97.24	0.76
30	1 150	261.16	165.34	96.78	0.81
30	1 250	262.27	168.05	96.63	1.06

图 2 离心风机在不同出风口倾角和转速下 $Y=0$ 平面上等速线图Fig. 2 Equal speed distribution with different angles and rotation speed of centrifugal fan on $Y=0$ plan(a) 出风口倾角 20° , 风机转速 $1\ 050\ \text{r}/\text{min}$ (b) 出风口倾角 25° , 风机转速 $1\ 150\ \text{r}/\text{min}$ (c) 出风口倾角 30° , 风机转速 $1\ 250\ \text{r}/\text{min}$

利用表 4 的涡心 C 坐标值, 绘制离心风机在不同出风口倾角下风机转速与涡心位置关系(图 3)以及在不同风机转速下出风口倾角与涡心位置关系(图 4)。

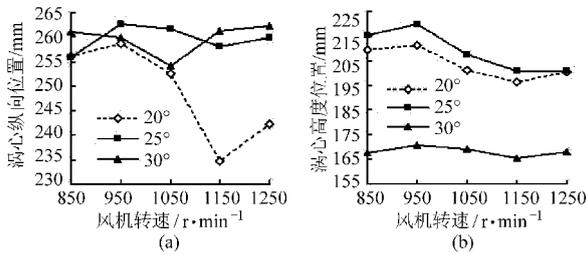


图 3 不同出风口倾角下风机转速与涡心位置的关系

Fig. 3 Variation curve of the rotation speed and vortex core ordinate with the same angles of centrifugal fan

(a) 涡心纵向位置 (b) 涡心高度位置

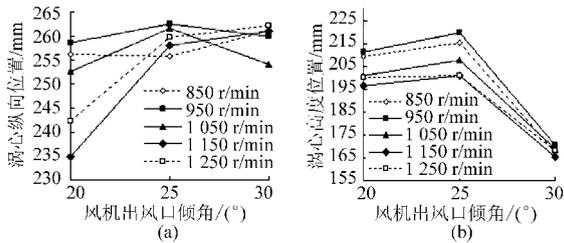


图 4 不同风机转速下出风口倾角与涡心位置的关系

Fig. 4 Variation curve of the angles and vortex core abscissa with the same rotation speed of centrifugal fan

(a) 涡心纵向位置 (b) 涡心高度位置

图 3a 表明, 离心风机出风口倾角为 20° 且风机转速为 $950\ \text{r}/\text{min}$ 时, 涡心的纵向位置最大为 $258.60\ \text{mm}$; 离心风机出风口倾角为 25° 且风机转速为 $950\ \text{r}/\text{min}$ 时, 涡心纵向位置最大为 $262.56\ \text{mm}$; 当离心风机出风口倾角为 30° 且风机转速为 $1\ 050\ \text{r}/\text{min}$ 时, 涡心的纵向位置最小为 $254.19\ \text{mm}$ 。涡心纵向位置值越小, 涡流越靠近进料端。

图 3b 表明, 离心风机在不同出风口倾角下, 涡心高度位置均在 $950\ \text{r}/\text{min}$ 时达到最大值, 即涡流离筛面最高。在 $1\ 150\ \text{r}/\text{min}$ 时达到最小值, 即涡流离筛面最低。

图 4a 表明, 离心风机在不同转速下出风口倾角

不同时, 涡心纵向位置变化较复杂。当离心风机转速为 $850\ \text{r}/\text{min}$ 且出风口倾角为 30° 时, 涡心纵向位置最远。当离心风机转速为 950 和 $1\ 050\ \text{r}/\text{min}$ 时, 涡心纵向位置在 25° 倾角时达到最大值。当离心风机转速为 $1\ 150$ 和 $1\ 250\ \text{r}/\text{min}$ 时, 涡心纵向位置都是在出风口倾角为 30° 达到最大值。涡心纵向位置值越大, 涡流距进料端越远。

图 4b 表明, 离心风机在不同转速下, 当风机出风口倾角为 25° 时, 涡心高度位置值最大, 涡流离筛面最高。

在 DFQX-3 型风筛式清选装置试验台上可以通过调节离心风机的转速和出风口倾角来改变涡心的坐标位置, 从而控制涡流作用范围, 并改变筛面上有效的清选气流层厚, 达到提高清选效果的目的。

3 清选试验分析

从涡心位置变化的分析可知, 可以通过调节离心风机出风口倾角和转速来改变涡流位置, 从而改变清选效果。为此, 通过水稻清选对比试验来分析涡流对清选效果的影响。

试验用的水稻脱出物中长茎秆平均含水率 45% , 籽粒平均含水率 25% , 短茎秆平均含水率 50% ; 茎秆、杂余长度在 $30\sim 90\ \text{mm}$ 之间, 杂余占脱出物总质量的 20% 。DFQX-3 型物料清选试验台清选能力为 $3\ \text{kg}/\text{s}$, 试验中清选物料喂入量 $2\ \text{kg}/\text{s}$ 。通过改变风机的出风口倾角和转速控制涡心位置, 并进行水稻清选试验, 每组试验进行 3 次取平均值, 试验结果如表 4 所示。

由表可知, 在离心风机转速为 $950\ \text{r}/\text{min}$ 且出风口倾角为 25° 时, 水稻清选的清选率最高为 98.24% 、清选损失率最低为 0.42% , 此时涡心高度位置达到最高, 纵向位置也较远。试验中通过调节离心风机转速和出风口倾角改变涡心位置, 从而控制涡流的范围, 涡心位置升高使得筛面有效的清选气流层变厚, 涡心位置远离筛面进料端使得涡流对筛前端进料的影响小, 可提高清选效果。

4 结论

(1) 通过绘制等速线图得知在清选室内存在涡流现象。离心风机在不同出风口倾角下,风机转速为 950 r/min 时,涡心高度位置最大,同时涡心纵向位置最远。离心风机在不同风机转速下,出风口倾角为 25°时,涡心高度位置最大,同时涡心纵向位置最远。

(2) 水稻清选试验结果表明,涡流的存在对清

选效果有较大影响,在离心风机转速为 950 r/min,出风口倾角为 25°时,清选的清洁率最高为 98.24%,清选损失率最低为 0.42%。

(3) 通过调节离心风机的转速和出风口倾角可以改变涡心位置,控制涡流的作用范围及筛面上有效的清选气流层厚,从而提高清选效果。通过对比涡心位置与水稻清选试验结果得知,清选时离心风机最佳风机转速为 950 r/min,最佳出风口倾角为 25°。

参 考 文 献

- 野波和好,梅田幹雄,湯崎芳啟,等. コンバインの選別性能關する研究:第1報[J],農業機械學會誌,2002,64(3):45~50.
- 成芳,王俊. 风筛式清选装置筛上流场的试验研究[J]. 农业工程学报,1999,15(1):55~58.
Cheng Fang, Wang Jun. Test study on the flow field above surface of the air and screen cleaning mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1999,15(1):55~58. (in Chinese)
- 李耀明,林恒善,陈进,等. 基于神经网络的风筛式清选气流场研究[J]. 农业机械学报,2006,37(7):197~198.
- 刘师多,张利娟,师清翔,等. 微型小麦联合收获机旋风分离清选系统研究[J]. 农业机械学报,2006,37(6):45~48.
Liu Shiduo, Zhang Lijuan, Shi Qingxiang, et al. Experimental research on cyclone separating used on micro-combine harvester of cleaning system wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(6):45~48. (in Chinese)
- 倪长安,张利娟,刘师多,等. 无导向片旋风分离清选系统的试验分析[J]. 农业工程学报,2008,24(8):135~138.
Ni Chang'an, Zhang Lijuan, Liu Shiduo, et al. Experimental analysis on cyclone separating cleaning system of no-guide vanes [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008,24(8):135~138. (in Chinese)
- 李耀明,徐立章,陆林,等. 油菜脱出物清选性能的试验[J]. 农业机械学报,2006,37(11):63~66.
Li Yaoming, Xu Lizhang, Lu Lin, et al. Cleaning experiment of rape extractions[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(11):63~66. (in Chinese)
- 徐立章,李耀明,李洪昌,等. 纵轴流脱粒分离-清选试验台设计[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)
- 蒋恩臣,王立军,刘坤,等. 联合收获机惯性分离室内气固两相流数值模拟[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2006,27(3):193~196.
Jiang Enchen, Wang Lijun, Liu Kun, et al. Numerical simulation of gas-particle flow in inertia separation chamber of stripper combine harvester[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2006,27(3):193~196. (in Chinese)
- 谢金法,朱永宁,吴长来,等. 双风道三圆筒筛清选机构内流场的试验研究[J]. 农业机械学报,1996,27(4):65~69.
Xie Jinfang, Zhu Yongning, Wu Changlai, et al. Testing research on flow field of the dual wind channel and three cylinder screen cleaning mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996,27(4):65~69. (in Chinese)
- 陈霓,黄东明,陈德俊,等. 风筛式清选装置非均匀布气流清选原理与试验[J]. 农业机械学报,2009,40(4):73~77.
Chen Ni, Huang Dongming, Chen Dejun, et al. Theory and experiment on non-uniform air-flow cleaning of air-screen cleaning unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(4):73~77. (in Chinese)
- 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)
- 李耀明,唐忠,李洪昌,等. 风筛式清选装置筛面气流场试验[J]. 农业机械学报,2009,40(12):80~83.
Li Yaoming, Tang Zhong, Li Hongchang, et al. Experiment on the flow field of the air-and-screen cleaning device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(12):80~83. (in Chinese)