

无导向片旋风分离清选系统的试验分析

倪长安¹, 张利娟¹, 刘师多¹, 师清翔¹, 高春艳¹, 耿令新²

(1. 河南科技大学车辆与动力工程学院, 洛阳 471003; 2. 同济大学机械工程学院, 上海 201804)

摘要: 为简化微型小麦联合收割机旋风分离清选系统的结构, 便于推广应用, 进一步满足微型小麦联合收割机清选性能要求, 该文运用正交试验、通用旋转组合试验和优化设计, 找到了分离筒内无导向片的旋风分离清选系统各部分的结构参数和运动参数的最优组合。试验结果表明, 吸杂风机转速、扬谷器转速和分离筒上锥角对籽粒清洁率和清选损失率影响均显著, 但筒体高度对籽粒清洁率和清选损失率影响不显著。当吸杂风机的转速为 2399 r/min, 扬谷器的转速为 1097 r/min, 所得到的清洁率可达到 99.15%, 损失率为 0.295%。

关键词: 旋风分离; 清洁率; 损失率; 无导向片

中图分类号: S225.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0135-04

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 CSAE, 2008, 24(8): 135—138. (in Chinese with English abstract)

0 引言

2007 年中国小麦机械化收获水平已在 80% 以上, 但山区丘陵地区的小麦机械化收获水平却很低, 已成为制约中国小麦机械化收获水平进一步提高的主要因素之一。而这些地区的手扶拖拉机保有量极大 (2002 年为 600 多万台), 设计与手扶拖拉机配套的微型小麦联合收割机势在必行。已有一些单位在研制开发此类产品。此类产品的清选系统有振动筛型和简易风选型两种, 清选性能均不够理想^[1-6]。

为解决微型小麦联合收割机的清选质量差的问题, 设计制作了旋风分离清选系统试验台^[7-10], 在该试验台上进行了分离筒内有导向片的试验研究, 其试验结果已在文献[11]中予以介绍, 在此不再述及。由于旋风分离筒内的导向片结构较复杂, 制作有一定难度, 且安装也较困难, 不便推广应用, 本文就旋风分离筒中无导向片的清选系统对清选性能的影响进行研究。

1 材料与方法

1.1 试验物料

全喂入联合收割机收割小麦时, 进入清选系统的物料有籽粒、短茎秆、颖糠等, 重量占机器总喂入量的一半左右。在正常湿度的情况下, 物料重量比是: 谷粒重约占 85%, 茎秆、颖糠约各占 7.5%^[12]。试验物料选用当地自然成熟的小麦, 产量约为 6000 kg/hm²。为保证试验数据有较好的适应性, 取较大的清选喂入量 (0.24 kg/s), 较高的物料含杂率 (30%)。

由于试验是在室内进行的, 物料已经特别干燥。为模拟田间情况, 对试验物料作加湿处理, 使籽粒含水率为 14%~15%, 短茎秆和颖糠含水率为 17%~20%, 然后按上述比例分别称重、混合均匀, 作为试验物料。

1.2 试验设备

如图 1 所示, 旋风分离清选系统试验台主要由吸杂风机 2、旋风分离筒 4、扬谷器 5、物料推运器 6、物料室 7、输送带 8 等组成。旋风分离筒上部设计成锥台, 有利于茎秆和颖糠排出;

下部设计成锥台, 有利于籽粒收集。下部锥台与接粮箱之间敞开, 有利于旋风分离筒中有足够的气流。

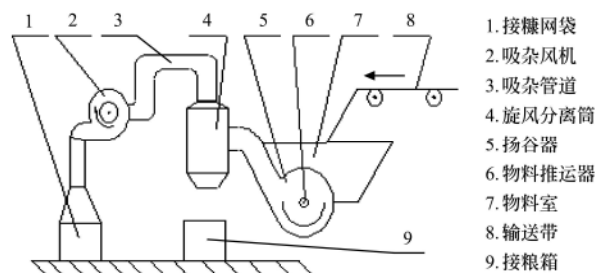


图 1 旋风分离清选系统试验台

Fig.1 Structure of cyclone-separating system

本试验台采用切线式旋风分离器。物料受到扬谷器的抛扔, 经输送管道沿切线方向高速进入旋风分离筒内, 受离心力较大的籽粒沿筒壁向下运动落至接粮箱。较轻的颖糠和短茎秆离心力较小, 集中于筒中心, 并随吸杂风机产生的上行气流经分离筒上部锥顶、吸杂管道和吸杂风机排出机外^[2,6,13,14]。

1.3 试验方法

将配制好的试验物料均匀铺放在输送带上, 然后模拟机组田间作业喂入量, 均匀连续地将试验物料喂送到清选装置。通过调整清选系统各部分的结构参数和运动参数, 采用正交试验和二次通用旋转组合试验, 找出最优参数并进行验证试验, 最后得到清选系统各参数的最优组合。

2 结果与分析

2.1 正交试验

影响旋风分离清选系统清选性能的结构参数主要有: 吸杂风机叶轮直径, 分离筒直径、高度、上锥角, 输送和吸杂管道的尺寸; 运动参数主要有: 吸杂风机和扬谷器的转速。考虑到风机叶轮直径、分离筒直径、输送和吸杂管道的尺寸在整机配置时就已确定, 试验时, 仅将分离筒高度、上锥角, 吸杂风机和扬谷器转速作为试验因素。各因素水平通过预试验确定。试验因素水平见表 1。

从表 1 可知, 正交试验有 4 个因素, 因素 A 有两个水平, 其他 3 个因素均有 3 个水平, 因此选用 L₁₈(2×3³) 混合水平正交表安排试验, 并对正交试验结果进行了极差分析, 得出影响籽粒清洁率的主次因素依次为 B、C、D、A, 较优组合为 A₁B₃C₃D₁;

收稿日期: 2007-10-15 修订日期: 2008-07-17

基金项目: 河南科技大学科学研究基金资助项目 (20020013)

作者简介: 倪长安 (1951—), 男, 副教授, 主要从事谷物、玉米等系列联合收割机的研究和新产品开发方面的研究。洛阳市涧西区西苑路 48 号 河南科技大学西苑校区 83 信箱, 471003。Email: nichan@mail.haust.edu.cn

影响清选损失率的主次因素依次为 B、A、C、D，较优组合为 A₂B₁C₂D₃。由于以上结果存在着矛盾，故采取加权综合评分法进行处理，清洁率权重取 0.4，损失率权重取 0.6，得出影响综合指标的主次因素依次为 B、A、D、C，较优组合为 A₂B₂C₂D₃，即上锥角为 30°，吸杂风机的转速为 2100 r/min，扬谷器的转速为 850 r/min，筒体高度为 430 mm。通过对正交试验数据进行方差分析，得出因素 B、C 对清洁率影响显著，因素 A、B、C 对损失率影响显著。

表 1 试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of experiment

水平	因 素			
	上锥角 A/(°)	风机转速 B/r·min ⁻¹	扬谷器转速 C/r·min ⁻¹	筒体高度 D/mm
1	45	1800	700	370
2	30	2100	850	400
3		2400	1000	430

2.2 二次通用旋转组合试验

二次通用旋转组合试验时，取正交试验的综合评价较优水平，即分离筒上锥角 30°、筒体高度 430 mm，不再考虑它们对清选性能的影响。仅考虑对清选性能影响较为显著的其他二因素，即吸杂风机和扬谷器转速。在正交试验确定的较优试验条件附近，安排二次通用旋转组合试验，建立籽粒清洁率、损失率与因素 B、C 之间的关系，以确定最优参数。试验因素及水平编码值见表 2，二次通用旋转组合试验安排及结果见表 3。

应用二次通用旋转组合试验方法，对表 3 的数据进行回归分析，得出籽粒清洁率 Y_q 、清选损失率 Y_s 与吸杂风机转速和扬谷器转速二因素编码值 X_1 、 X_2 的回归方程。

$$Y_q=97.183765+1.773160X_1+0.031039X_2+0.439751X_1X_2-0.366907X_1^2-0.133730X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_s=0.148037+0.074817X_1+0.025446X_2+0.025500X_1X_2+0.004530X_1^2-0.010216X_2^2 \quad (2)$$

表 4 籽粒清洁率及清选损失率回归方程的显著性检验

Table 4 Significance test of cleaning rate and loss rate regression equations

方差来源	籽粒清洁率					清选损失率				
	平方和	自由度	均方和	$F_{比}$	显著性	平方和	自由度	均方和	$F_{比}$	显著性
失拟平方和	1.126500	3	0.375500	5.65	失拟不显著	0.002031	3	0.000677	9.67	失拟不显著
误差平方和	0.026566	4	0.066417			0.000278	4	0.000070		
回归平方和	26.826608	5	5.365322	26.98	方程显著	0.053536	5	0.010707	32.45	方程显著
剩余平方和	1.392166	7	0.198881			0.002309	7	0.000330		
总体平方和	28.218774	12				0.055845	12			

以上检验结果表明，籽粒清洁率回归方程式(1)的显著性水平小于 0.01，即方程的置信度大于 99%。在失拟检验中 $F_{比}=5.65<F_{0.01}(3,4)=16.7$ ，表明方程拟合得好，方程式 (1)可用于描述试验因素对籽粒清洁率的影响规律。

通过表 4 的检验可以看出，籽粒清洁率和损失率的回归方程失拟不显著，且方程的回归平方和显著，说明回归方程与实际情况拟合较好。

2.3 参数优化与验证

由于清选系统的性能指标是籽粒清洁率和损失率^[15]，优化属多目标优化，拟采用惩罚函数法进行求解。

式中 $X_1=(n_1-2100)/212$ ； $X_2=(n_2-1000)/141$ 若将 X_1 、 X_2 分别代入式(1)、(2)，整理后即可得清选性能指标随各试验参数变化的回归方程。方程(1)、(2)的显著性检验结果见表 4。

表 2 试验因素及水平编码表

Table 2 Experimental factors and levels

水平	吸杂风机转速 $n_1/r \cdot \min^{-1}$	扬谷器转速 $n_2/r \cdot \min^{-1}$
γ	2400	1200
1	2312	1141
0	2100	1000
-1	1888	859
$-\gamma$	1800	800
Δj	212	141

表 3 二次通用旋转组合试验安排及试验结果

Table 3 Arrangement and results of quadratic universal rotary assembly experiment

试验号	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	清洁率/%	损失率/%
1	1	1	1	1	1	1	98.521	0.247
2	1	1	-1	-1	1	1	98.230	0.143
3	1	-1	1	-1	1	1	93.946	0.065
4	1	-1	-1	1	1	1	95.414	0.063
5	1	1.414	0	0	2	0	99.037	0.289
6	1	-1.414	0	0	2	0	94.232	0.051
7	1	0	1.414	0	0	2	97.605	0.175
8	1	0	1.414	0	0	2	96.597	0.106
9	1	0	0	0	0	0	96.954	0.143
10	1	0	0	0	0	0	96.863	0.138
11	1	0	0	0	0	0	97.494	0.158
12	1	0	0	0	0	0	97.179	0.146
13	1	0	0	0	0	0	97.312	0.155

目标函数： $F(X)=-Y_q$

性能约束条件： $G(X)=Y_s \leq 0.003$

边界约束条件： $-1.414 < X_j < 1.414$

数学模型中 X_j 是指试验参数（吸杂风机转速 X_1 、扬谷器转速 X_2 ）在因子编码空间内的取值。

经过优化得到最优参数组合为： $X_1=1.412130$ ， $X_2=0.686443$ ，即吸杂风机的转速为 2399 r/min，扬谷器的转速为 1097 r/min。验证试验的结果见表 5。

两次试验验证值 Y_q 为 99.31%、98.99%， Y_s 为 0.30%、0.29%，说明回归方程可靠，可用于该装置的性能预测。

表 5 验证试验结果
Table 5 Results of verification test

试验序号	籽粒清洁率/%	清选损失率/%
1	99.31	0.30
2	98.99	0.29

3 结构、运动参数对清选性能的影响

为了便于分析各试验参数对性能指标的影响程度，将籽粒清洁率和清选损失率的回归方程各项系数检验的 t 值列于表 6。

表 6 回归方程系数的显著性检验
Table 6 Significance test of regression equation coefficients

因素	籽粒清洁率回归 方程系数 t 值	清选损失率回归 方程系数 t 值	$F_{比}$	显著性	
				清洁率	损失率
X_1	11.245957	11.651098	$t_{0.001}(7)=5.405$ $t_{0.2}(7)=1.415$	显著	显著
X_2	0.196858	3.962641		不显著	显著
X_1X_2	1.972150	2.807984		显著	显著
X_1^2	2.169977	0.651098		显著	不显著
X_2^2	0.790910	1.483509		不显著	显著

由表 6 可以看出，在清选系统中，对籽粒清洁率影响较大的因素是吸杂风机转速，对清选损失率影响较大的因素是吸杂风机转速和扬谷器转速；吸杂风机和扬谷器转速的交互作用对籽粒清洁率和清选损失率的影响也较显著。两转速之间的交互作用说明，当其中一个转速改变时，若要保持较好的清选性能，另一转速也必须随之发生改变。因此就有必要分析两因素与清选性能指标之间的关系。

各因素对清选性能的影响也可以从性能指标的回归方程式 (1)、(2) 在最优点的降维分析图中看出 (如图 2 所示)。在因子编码空间内，扬谷器的转速固定在最优点，清洁率、损失率均随吸杂风机转速的上升而增加；吸杂风机转速固定在最优点，清洁率、损失率均随扬谷器转速的上升而增加。

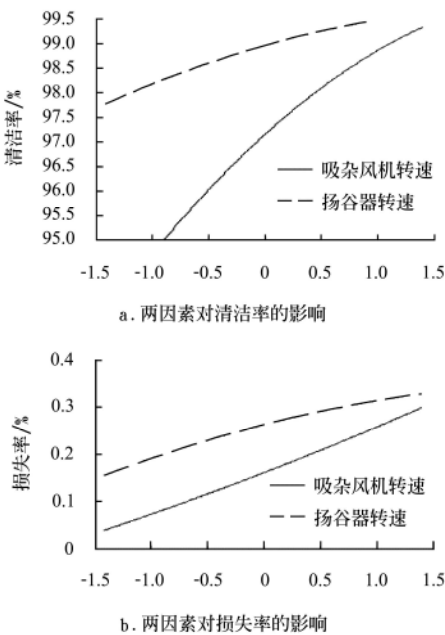


图 2 转速对清洁率及损失率的影响

Fig.2 Influence of rotate speeds on cleaning rate and loss rate

4 结 论

1) 旋风分离清选系统采用无导向片的分离筒结构，当吸杂风机的转速为 2399 r/min，扬谷器的转速为 1097 r/min，所得到的清洁率可达到 99.15%，损失率为 0.295%，获得较为满意的清选效果。与带导向片的分离筒相比，无导向片分离筒结构简单，制作方便，有利于推广应用。

2) 吸杂风机转速和扬谷器转速对籽粒清洁率和损失率影响显著，且两者的交互作用对籽粒清洁率和损失率影响也较大；分离筒上锥角对两者影响也较显著，筒体高度对两者虽有影响，但影响不显著。

3) 吸杂风机转速和扬谷器转速较高，机器工作时的震动和噪音较大；扬谷器和物料推运器同轴，扬谷器转速过高，物料推运器转速就过高，会造成籽粒的破碎率比较高。因此应对吸杂风机和扬谷器的结构作进一步的改进研究，以提高性能，降低转速。

【参 考 文 献】

[1] 农业部农机化管理司. 2007 年全国农业机械化发展情况[J]. 农机科技推广, 2007, (12): 14—16.

[2] 张巧莲. 4LW—80 型微型联合收割机的研究与设计[J]. 河北农机, 2005, (3): 14—15.

[3] 韩 抗, 安俊杰, 刘淑霞. 小型联合收割机的发展现状 & 设计中几个问题的探讨[J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(2): 90—92.

[4] 李耀明, 邓玲黎, 丁为民. 小型联合收割机清选装置的技术分析[J]. 农机化研究, 2004, (3): 55—56.

[5] 刘世辉. 手扶式微型联合收割机[J]. 经贸世界, 2004, (5): 26.

[6] 王长青, 张巧莲, 张红霞. 微型联合收割机的研究与设计[J]. 山西农机, 2002, (1): 50—51.

[7] 杨丽芳. 旋风分离器分离段形状探讨[J]. 云南环境科学, 2001, 20(2): 54—56.

[8] 程丽华, 梁朝林. 改进旋风分离器的新应用[J]. 石油化工高等学校学报, 2001, 14(3): 69—72.

[9] 彭维明. 切向旋风分离器内部流场的数值模拟及试验研究[J]. 农业机械学报, 2001, 32(4): 20—24.

[10] 王同福, 宋玉英, 王进朝. 气流清选原理在脱粒机上的应用[J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(1): 103—109.

[11] 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): 46—48.

[12] 张兰星, 何月娥. 谷物收获机械理论与计算[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1980.

[13] 张林鹤. 旋风式气流分选装置及其性能试验研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2000.

[14] 刘师多, 毛鹏军, 师清翔, 等. 微型小麦联合收割机的研制[J]. 农业机械, 2006, (9 下): 66.

[15] 邹必昌, 彭三河, 汤小凝. 谷物清选机构主要参数优化设计试验研究[J]. 湖北农学院学报, 2003, 23 (2): 108—112.

Experimental analysis on cyclone separating cleaning system of no-guide vanes

Ni Chang'an¹, Zhang Lijuan¹, Liu Shiduo¹, Shi Qingxiang¹, Gao Chunyan¹, Geng Lingxin²

(1. College of Vehicle & Motive Power Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: To improve the cleaning performance of micro-combine harvester of wheat, facilitate applying of production, and meet requirements of cleaning performance of the micro-combine wheat harvesters, the optimum combination between structural parameters and motion parameters on cyclone separating system of no-oriented films are tested and verified based on orthogonal test and general rotary unitized test. The experimental results are analyzed by variance analysis method and regression analysis method. The results show that the rotate speed of catching impurity fan, the rotate speed of winnower, and the top cone angle have more evident effects on the cleaning rate and the loss rate of seeds than the height of separating barrel. The results can provide design reference for cleaning system of micro-combine harvester of wheat. When the rotate speed of catching impurity fan is 2399 r/min and the rotate speed of winnower is 1097 r/min, the cleaning rate is 99.15 percent and the loss rate is 0.295 percent.

Key words: cyclone separating; cleaning rate; loss rate; no guide vane