

新型贯流式谷物清选装置中物料运动轨迹试验研究

胡小钦¹, 杜小强¹, 肖梦华¹, 陈建能¹, 赵 匀^{1,2}

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘 要: 设计一种新型贯流式谷物清选装置,采用高速摄像对该清选装置中谷物脱出物的运动轨迹进行试验研究。确定清选装置的五个试验因素,按照混合水平正交试验方案进行谷物脱出物的气流清选,通过高速摄像设备记录谷粒、短茎秆、颖壳的运动轨迹,并与数值计算得到的理论运动轨迹进行比较。以谷粒与杂质在水平方向上的距离差为清选指标,对试验数据进行极差和方差分析得到各因素对清选指标的影响大小,其依次为两喂料辊转动中心连线与水平面夹角,气流扩展通道类型,贯流风机的电机频率,两喂料辊的辊间距,喂料辊驱动电机频率。当两喂料辊转动中心连线与水平面夹角为 10° ,气流扩展通道选I型,贯流风机的电机频率设为60 Hz,两喂料辊的辊间距调整为4 mm,喂料辊驱动电机频率为60 Hz时,谷物与杂质的分离间距值最大,其值为125.1 mm。

关键词: 贯流风机; 谷物清选; 正交试验; 运动轨迹

中图分类号: S225.4 **文献标志码:** A

0 引 言

风筛组合式清选装置是联合收割机的重要组成部分,其清选性能中的籽粒含杂率、清选损失率是衡量联合收割机产品质量的重要指标之一。现有的一些国产收割机清选效果不佳,粮食损失率过大,损失率、含杂率等指标还不能达到一次清选入库的要求,这样就会直接影响到谷物的产品质量和农产品加工的作业效率^[1-2]。影响清选装置清选性能的主要因素有风源的气流速度、谷物脱出物进入清选室的初始速度以及振动筛的振动形式等^[3]。为了提高联合收割机中清选装置的清选性能,常用改进振动筛结构的方式,例如采用圆筒筛代替平面筛、采用双层平面筛或者在筛面上设置辅助抛洒装置等,很少考虑改进清选装置的风源与谷物脱出物的喂料方式。

传统谷物清选装置采用离心风机作为风源,存在气流紊乱、风速不均匀等问题,而谷物气流清选过程的动力学模型是假设气流场均匀,因此理论模型

无法直接用于指导清选装置的设计。同时,随着作业面积的不断扩大,谷物联合收割机不断向高效率、大型化发展,导致联合收割机清选部件宽度增加,而离心风机很难获得大宽幅稳定风源,制约了联合收割机的发展^[4]。此外,现有谷物清选装置无法控制谷物脱出物进入清选室的初始状态,一方面导致物料初始速度不确定,另一方面不受约束的短茎秆轴向旋转趋于气流方向时,短茎秆与谷粒的悬浮速度非常接近,不利于谷物的分离清选^[5]。为了解决现有谷物清选装置存在的流场不均匀、宽度受限以及喂料状态不受控等问题,本文设计了一种新型贯流式谷物清选装置,采用高速摄像对该清选装置内谷物的运动轨迹进行试验研究。

1 新型贯流式谷物清选装置及试验系统

图1(a)是新型贯流式谷物清选装置试验台,该装置采用两台贯流风机(FFD10-55-A型),一上一下倾斜安装以得到近似水平的风源,可获得沿风机

收稿日期: 2013-02-27

基金项目: 国家自然科学基金(51005215);浙江省钱江人才计划(2012R10055);浙江省留学人员科技活动择优资助项目(浙人社函[2012]323);浙江理工大学科研启动基金项目(0803814-Y)

作者简介: 胡小钦(1987-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事农业装备的研究。

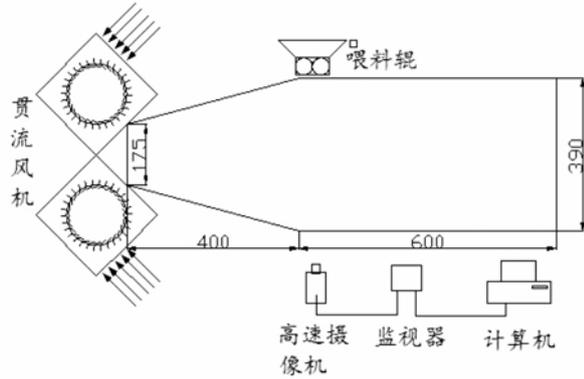
通信作者: 杜小强,电子邮箱: xqiangdu@zstu.edu.cn

轴向均匀分布的气流,且不受机器宽度的影响。然而,由于出风口高度小,无法形成足够高度的风场作用面,因此在风源与清选室之间设计了两种喇叭形气流扩展通道,如图2所示。两种通道的上下侧壁扩张角小于 15° ^[6],以改善管径突变导致的涡流问题。图2的I型气流扩展通道是为了弥补通道高度扩展造成的风速降低,将扩展通道垂直于风机轴的两个侧壁设计成向内收缩。清选室有效清选区域为

横向长度600 mm、高度390 mm、纵向宽度410 mm的矩形空间。在清选室上方布置一对直径为150 mm的喂料辊(如图3所示),将集中落入两个喂料辊间隙中的物料挤压成薄层状,并以一定速度送入清选室,这样就可以控制物料的初始速度,并保证大部分进入清选室的短茎秆轴向与风向垂直,充分利用短茎秆的迎风面来增大气流的作用力,使短茎秆与谷粒尽快分离。

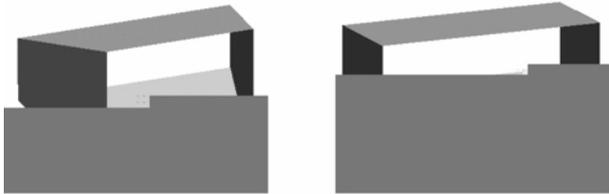


(a) 新型贯流式谷物清选装置试验台



(b) 试验系统组成

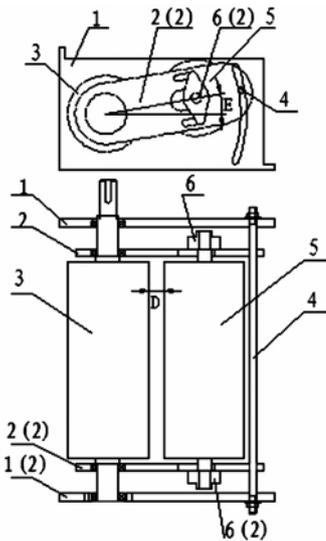
图1 新型贯流式谷物清选装置及试验系统组成



(a) I型气流扩展通道

(b) II型气流扩展通道

图2 两种气流扩展通道



1. 固定板, 2. 活动板, 3. 主喂料辊, 4. 角度调节杆, 5. 喂料辊, 6. 法兰轴承座

图3 喂料辊组装

为了研究物料在清选室内的运动轨迹,搭建了

试验系统,如图1(b)所示,主要由新型贯流式谷物清选装置、高速摄像机(Photron Fastcam Super 10K)和计算机等组成。高速摄像机对清选室内的物料进行拍摄,拍摄速度为250帧/s,拍摄距离为2.2 m。为便于拍摄,清选室一侧采用透明玻璃板,另一侧表面漆黑,在清选室两侧布置两盏1 000 W的辅助光源进行照明。拍摄得到的物料运动序列图像在分析软件中通过逐帧描点得到物料在清选流场中的运动轨迹。

2 物料运动轨迹正交试验设计

根据设计的新型贯流式谷物清选装置,影响清选室内物料运动轨迹的因素主要有:气流扩展通道类型A、贯流风机的电机频率B、喂料辊驱动电机频率C、两喂料辊的辊间距D,两喂料辊转动中心连线与水平面夹角E。采用正交试验对影响物料运动轨迹的各因素进行研究,正交试验的因素-水平如表1所示。

表1 物料运动轨迹正交试验因素-水平表

水平	因素 A	因素 B/Hz	因素 C/Hz	因素 D/mm	因素 E/ $^\circ$
1	I型	40	40	4	10
2	II型	50	50	7	0
3		60	60	10	-10

根据表1可以看出,因素A有两个水平,因素

B、C、D、E 各三个水平,是一组不同水平数的混合正交试验。选择混合水平正交表 $L_{18}(2 \times 3^7)$ [7] 如表 2 所示。依次进行 18 组试验,每组试验重复 3 次。试验谷物品种为糯稻,为联合收割机收割下来的未经

清选的谷物脱出物。为方便提取物料运动轨迹,将谷物脱出物手工分拣成谷粒、短茎秆和颖壳,在每次试验时,分别记录谷粒、短茎秆、颖壳的运动图像,通过分析软件得出各自的运动轨迹。

表 2 正交试验方案的组别设计

试验组	因素 A	空	因素 B	因素 C	因素 D	因素 E	空	空
S1	1	1	1	1	1	1	1	1
S2	1	1	2	2	2	2	2	2
S3	1	1	3	3	3	3	3	3
S4	1	2	1	1	2	2	3	3
S5	1	2	2	2	3	3	1	1
S6	1	2	3	3	1	1	2	2
S7	1	3	1	2	1	3	2	3
S8	1	3	2	3	2	1	3	1
S9	1	3	3	1	3	2	1	2
S10	2	1	1	3	3	2	2	1
S11	2	1	2	1	1	3	3	2
S12	2	1	3	2	2	1	1	3
S13	2	2	1	2	3	1	3	2
S14	2	2	2	3	1	2	1	3
S15	2	2	3	1	2	3	2	1
S16	2	3	1	3	2	3	1	2
S17	2	3	2	1	3	1	2	3
S18	2	3	3	2	1	2	3	1

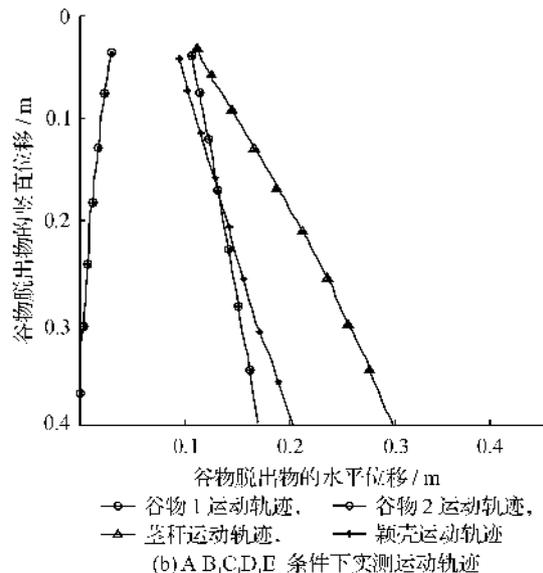
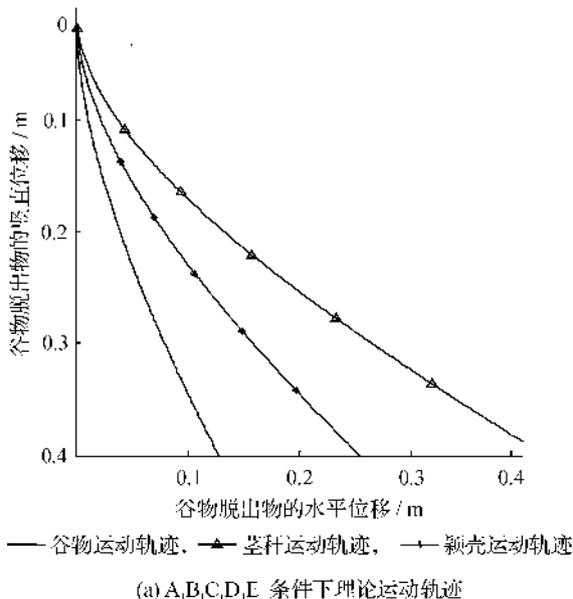
3 物料运动轨迹试验结果及分析

3.1 实测物料轨迹与理论结果比较

物料下落时分散成一定宽度的物料带,其中,谷粒带相对比较集中,而短茎秆、颖壳的分布比较分散,且超出高速摄像的拍摄区域。因此,在提取谷粒运动轨迹时跟踪谷粒带最左侧和最右侧的轨迹清晰的两颗特征谷粒,则这两颗谷粒的运动轨迹线的内侧可近似看作谷粒的下落区域。而对于短茎秆和颖壳,只需跟踪拍摄区域内最左侧的特征物,其运动轨迹右侧可近似看作各自的下落区域。根据物料在倾

斜气流中的动力学模型[8],计算出 18 组因素水平组合下物料的理论运动轨迹,与实测得到的物料运动轨迹进行对比,以验证理论模型的可靠性。

图 4 是两组因素水平组合下物料理论运动轨迹与实测轨迹的对比。由图 4 可发现,尽管实测物料下落区域分散,但物料各成分的实际运动趋势与对应的理论轨迹相近,且各成分之间的实际相对水平位移远近与理论计算结果相近,从而验证了理论模型的可靠性。当然理论运动轨迹与实测运动轨迹依旧存在差异,原因可以归结为:清选室未完全封闭造成风能损失;对于理论计算中的颗粒模型存在一定的差异。



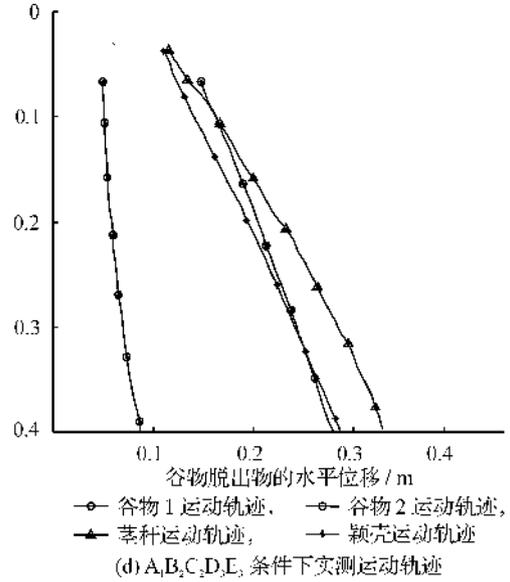
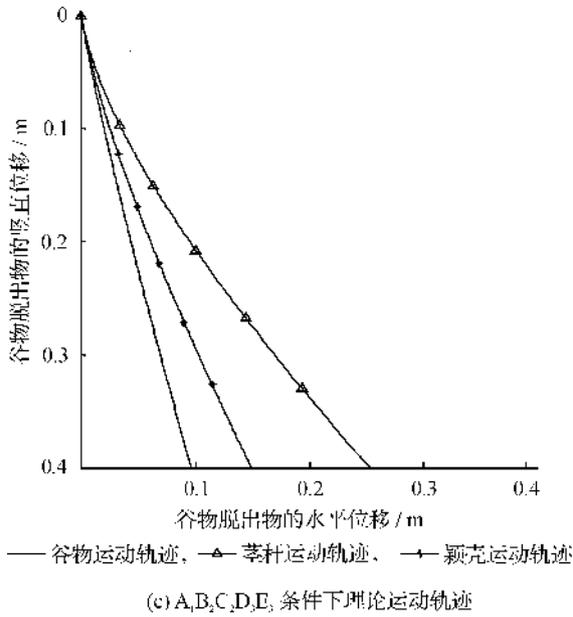


图4 两组因素水平组合下物料理论运动轨迹与实测轨迹对比

3.2 谷物运动轨迹的影响因素分析

对于气流清选效果,可通过考察谷粒与杂质在落下同一高度时水平位移的间距来衡量。根据正交试验表得到的 18 组物料的实测运动轨迹图,确定谷粒与杂质在离开清选室底部时的水平位移间距,对各组试验的三次重复试验数据进行平均,结果如表 3 所示。

表 1 正交试验得到的谷粒与杂质水平位移间距数据

试验组	平均间距/mm
S1	44.2
S2	43.9
S3	18.3
S4	22.9
S5	-17.2
S6	125.1
S7	-23.4
S8	57.4
S9	31.4
S10	-23.0
S11	-47.8
S12	62.6
S13	37.7
S14	61.4
S15	13.9
S16	-89.2
S17	6.2
S18	-21.6

表 3 可见,当实验方案选择 S6 时,平均距离最大为 125.1 mm。

各因素对谷物与杂质分离间距的极差分析如表 4 所示。

表 4 极差分析结果

	A	B	C	D	E	总和 T
K_1	302.6	-30.8	70.8	137.9	333.2	
K_2	0.2	103.9	82	111.5	115	
K_3		229.7	150	53.4	-145.4	
R	302.4	260.5	79.2	84.5	478.6	

注: K_1 —每一列水平 1 所对应的试验指标的总和; K_2 —每一列水平 2 所对应的试验指标的总和; K_3 —每一列水平 3 所对应的试验指标的总和; R — $\max(K_1, K_2, K_3) - \min(K_1, K_2, K_3)$ 的绝对值。

由表 4 可以看出得到 $R_E > R_A > R_B > R_D > R_C$,初步判断各因素对间距变化的影响程度的大小依次为: $E > A > B > D > C$,但是由于因素 A 与其他各因素的水平数不同,并不能准确判断因素 A 影响程度的大小。因此利用 SPSS 对各因素对谷物与杂质的分离间距进行方差分析,结果如表 5 所示。

表 5 方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	$F_{比}$	显著性
A	5 080.3	1	5 080.3	4.1	显著
B	5 657.2	2	2 828.6	2.29	
C	612.3	2	306.15	0.247	
D	622.9	2	311.45	0.252	
E	19 137.6	2	9 568.8	7.74	非常显著
误差	9 888.9	8	1 236.1		
总平方和	40 999.2	17			

查表得: $F_{0.1}(1,8) = 3.46, F_{0.05}(1,8) = 5.32, F_{0.01}(1,8) = 11.26, F_{0.1}(2,8) = 3.11, F_{0.05}(2,8) = 4.46, F_{0.01}(2,8) = 8.65, F_{0.1}(1,8) > F_A > F_{0.05}(1,8)$,可得因素 A 对间距有显著的影响; $F_{0.05}(2,8) > F_E >$

$F_{0.01}(2,8)$,可得因素 E 对间距有非常显著的影响。

由方差分析法可以得到喂入角度 E 的影响程度非常显著,而气流扩展通道的影响程度为显著。综上,可以得到各因素对谷物与杂质分离间距影响的最终主次关系依次为: E 两喂料辊转动中心连线与水平面夹角(喂入角度) > A 气流扩展通道类型 > B 贯流风机的电机频率(气流速度) > D 两喂料辊的辊间距 > C 喂料辊驱动电机频率(喂入速度)。

4 结 论

a) 本文设计了一种新型贯流式谷物清选装置,采用双贯流风机相向斜置提供风源,而贯流风机是采用径向进气可解决传统谷物清选装置存在的气流场不均匀、宽度受限等问题。采用喂料辊挤压入料使得物料下落过程中短茎秆轴向垂直于气流方向,解决了短茎秆受风面不确定性的问题,有利于谷粒与杂质的分离。

b) 在该清选装置试验台上进行轨迹试验,对其测得的结果进行极差和方差分析,得到各因素对分离间距影响的主次关系从大到小依次为:两喂料辊转动中心连线与水平面夹角,气流扩展通道类型,贯流风机的电机频率,两喂料辊的辊间距,喂料辊驱动电机频率。并且两喂料辊转动中心线与水平面夹角

选为 10° ,气流扩展通道选 I 型,贯流风机的电机频率设为 60 Hz,两喂料辊的辊间距调整为 4 mm,喂料辊驱动电机频率为 60 Hz 时,谷物与杂质的分离间距值最佳,其值为 125.1 mm。

参考文献:

- [1] 邓春香,陶栋材,高英武. 谷物清选机的研究现状和发展趋势[J]. 农机化研究, 2005, 6(2): 5-7.
- [2] 邓玲黎,李耀明. 我国水稻联合收割机的现状及发展趋势[J]. 农机化研究, 2001, 12(2): 4-6, 25.
- [3] 邓春香,陶栋材,高静萍. 气流清选风车中谷物的动力学特性和影响因素的研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 121-124.
- [4] 吕明杰,孙伟,常建国. 谷物联合收割机清选横流风机的设计[J]. 农机化研究, 2012, 13(8): 90-92.
- [5] 赵学笃,张魁学,张振京. 短茎秆的气动特性及其在气流中的运动[J]. 农业机械学报, 1982, 13(2): 55-65.
- [6] 景思睿,张鸣远. 流体力学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2001: 215-227.
- [7] 正交试验法编写组. 正交试验法[M]. 北京:国防工业出版社, 1976: 196-203.
- [8] 李革,赵匀,俞高红. 倾斜气流清选装置中物料的动力学特性、轨迹和分离研究[J]. 农业工程学报, 2001, 16(6): 22-25.

Experimental Study on Motion Trail of Materials in New Cross-flow Grain Cleaning Device

HU Xiao-qin¹, DU Xiao-qiang¹, XIAO Meng-hua¹, CHEN Jian-neng¹, ZHAO Yun^{1,2}

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: This paper designs a new cross-flow grain cleaning device; conducts experimental study on the motion trail of prolapsed object of grain in the cleaning device with high-speed photography; determines five experimental factors of the cleaning device; conducts airflow cleaning of prolapsed object of grain according to the orthogonal test table at mixed level, records the motion trail of grain, short stalk and glumes with high-speed photographic equipment and makes a comparison with the theoretical motion trail obtained by numerical calculation; conducts range analysis and variance analysis on test data with the distance difference of grain and impurities horizontally as the cleaning index and obtains the degree of influence of various factors on the cleaning index, respectively included angle of the line connecting rotation centers of two feeding rolls and the horizontal plane, type of airflow extension channel, motor frequency of cross-flow fan, spacing between two feeding rolls and driving motor frequency of feeding roll in proper order. When the included angle of the line connecting rotation centers of two feeding rolls and the horizontal plane is 10° , type of airflow extension channel is I, motor frequency of cross-flow fan is 60 Hz, spacing between two feeding rolls is 4 mm and driving motor frequency of feeding roll is 60 Hz, the separation distance between grain and impurities is maximum, the value of which is 125.1 mm.

Key words: cross-flow fan; grain cleaning; orthogonal experiment; motion trail; high-speed photography
(责任编辑:张祖尧)