

双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机设计与试验

戴飞¹ 付秋峰² 赵武云¹ 史瑞杰¹ 宋学锋¹ 张仕林³

(1. 甘肃农业大学机电工程学院, 兰州 730070; 2. 酒泉奥凯种子机械股份有限公司, 酒泉 735000;
3. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为进一步提升胡麻脱粒物料分离清选机械化作业水平, 针对胡麻脱粒物料各组分类型, 提出“先气流清、再风筛选”的作业模式, 制订了胡麻脱粒物料分离清选作业工艺流程, 设计了双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机。对三级振动筛分装置、双风道杂余集料装置及吸余除尘装置等关键作业部件进行设计选型与参数计算, 获得不同组分的胡麻脱粒物料在三级筛面上不同运动状态下振动筛分装置曲柄连杆机构运动参数必须满足的条件。样机性能试验表明, 当振动喂料系统电磁激振器振幅控制在 14 ~ 18 mm、前风道风量调节手柄在 2 ~ 4 挡位、后风道风量调节手柄在 4 ~ 6 挡位、三级振动筛分装置振动频率在 2 ~ 6 Hz 时, 双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机的籽粒清洁率为 97.16%、夹带总损失率为 1.12%, 试验结果满足设计要求, 能够实现对胡麻收获期脱粒物料不同组分的分离清选作业。

关键词: 胡麻脱粒物料; 双风道; 风筛式; 分离清选机

中图分类号: S225.99 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)04-0117-09 OSID: 

Design and Test of Double Duct System of Air-screen Separating and Cleaning Machine for Flax Threshing Material

DAI Fei¹ FU Qiufeng² ZHAO Wuyun¹ SHI Ruijie¹ SONG Xuefeng¹ ZHANG Shilin³
(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. Jiuquan OK Seed Machinery Co., Ltd., Jiuquan 735000, China

3. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Flax is one of the important oil crops in Northwest China, and Gansu Province is one of the main producing areas of flax. To enhance the mechanization level of separating and cleaning of flax threshing materials, according to the different components types of flax materials, the operation mode of “air cleaning first, and then air-screen separating” was put forward, the separation-cleaning technological process of flax threshing materials was developed, and a double duct system of air-screen separating and cleaning machine for flax threshing material was designed. Through design selection and parameter calculation of key operating components of the prototype, the important working parameters of the three stage vibrating screen, double duct impurities aggregate device and dust suction device were determined. The working conditions for the parameters of the crank connecting rod of the vibrating screen obtained with different components of flax material were in different motion states on three-stage screen surface. For the relevant work performance test of prototype, when the electromagnetic exciter amplitude of the vibration feeding system was controlled at 14 ~ 18 mm, the front duct air volume control handle in 2 ~ 4 gear, the rear duct air volume control handle in 4 ~ 6 gear, the vibration frequency of three-stage vibrating screen was 2 ~ 6 Hz, the operating machine had a strong adaptability to flax threshing material. After the operation of the double duct system of air-screen separating and cleaning machine for flax threshing material, the cleaning rate of grains was 97.16%, the entrained loss rate of was 1.12%, the experimental results met the design requirements of operation machine. The research results can provide an important reference for small grain crop threshing material separating and cleaning equipment development.

Key words: flax threshing material; double duct system; air-screen type; separating and cleaning machine

收稿日期: 2020-07-12 修回日期: 2020-08-20

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-14-1-28)、甘肃农业大学伏羲青年英才培养计划项目(Gaufx-03Y01)和甘肃省重点研发计划项目(20YF3WA019)

作者简介: 戴飞(1987—),男,副教授,博士,主要从事小差异混杂特色经济作物收获研究,E-mail: daifei@gsau.edu.cn

通信作者: 赵武云(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事北方旱区作物生产装备工程研究,E-mail: zhaowuy@gsau.edu.cn

0 引言

胡麻,即油用型亚麻或油纤兼用型亚麻的俗称,是中国西北地区和华北地区重要的油料作物,因其具有价值高、用途广的特点,而被 50 多个国家种植和应用^[1]。甘肃省是我国胡麻主产区之一,2016 年胡麻种植面积约占全国种植面积的 30%。胡麻种植品种具有较好的抗倒伏、成熟度一致等特性,适合机械化收获,还可配合化学干燥方法进行机械化联合收获,机收效果显著^[2-4]。因此,在农业智能化水平较高的欧美发达国家胡麻机械化收获模式主要以两段收获和联合收获为主。目前,我国胡麻主要以分段收获模式为主,仍旧采用割晒机收割铺放、传统稻麦脱粒机脱粒、人工扬场与手动筛分的组合作业方式,其劳动强度大、作业效率低,严重制约了我国胡麻产业的持续发展^[5]。在上述分段收获的 3 个关键作业环节中,胡麻机割、机脱相对容易,传统的稻麦收割机和脱粒机能够满足胡麻分段收获作业需求,但采用一般的谷物分离清选机进行胡麻脱粒物料分离清选作业时,由于脱粒物料各组分质量差异性小且易混杂,极易造成胡麻籽粒的夹带损失,这也是胡麻分离清选环节仍然较多采用人工扬场与筛分作业的主要原因^[3]。因此,有必要对胡麻机械化分段收获作业中的脱粒物料分离清选机理及配套装备做进一步研究,以实现胡麻脱粒物料机械化高效分离清选。

目前,常见的谷物分离清选方式有风筛式清选

和气流式清选 2 种类型^[6-9]。近年来,国内相关学者针对油菜、玉米、花生、油茶果、小麦等作物研制了多种分离清选装备,进行了作业性能试验研究^[9-15],但对胡麻脱粒物料分离清选作业装备的研究较少,丁进锋^[16]对亚麻籽脱壳分离系统关键技术及其设备进行了研究。本课题组前期通过振动有序喂入与气流高效风选相结合的方式,研制了气流式胡麻脱粒物料分离清选机^[3]。相关研究表明,在胡麻脱粒物料的气流分离清选过程中,能够有效将脱粒物料各组分中差异性较大的蒴果壳、轻杂质与胡麻籽粒分离,但与籽粒悬浮速度差异较小的未脱净蒴果、短茎秆易混杂,仅通过控制清选气流速度来调节分离清选效果容易造成胡麻籽粒夹带损失率变化较大。因此,为进一步提高胡麻脱粒物料分离清选效果与机械化作业水平,在结合已有研究的基础上,提出“先用气流清、再用风筛选”的双重作业模式,设计双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机,以期实现对胡麻脱粒物料不同组分的分级式分离清选。

1 整机结构与工作原理

1.1 结构组成

双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机主要由振动给料装置、三级振动筛分装置、双风道杂余收集装置、振动变频控制系统、脱粒物料不同组分接料盒、传动装置和吸杂除尘装置等组成,其结构如图 1 所示。其中,振动给料装置振幅、三级筛箱振动频率均由样机控制箱进行调节;三级振动筛类型自上往下分别为一级竖排长腰型冲孔筛、二级圆孔筛和三

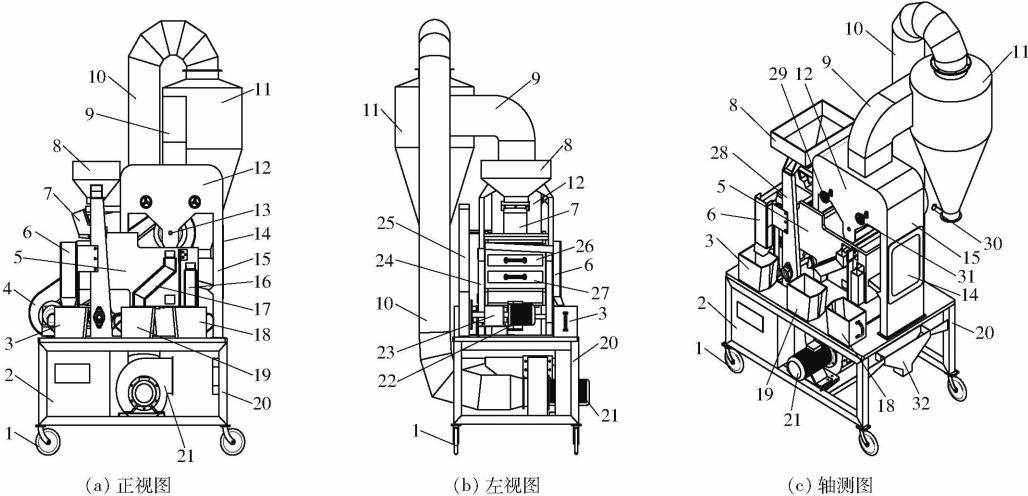


图 1 双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机结构图

Fig. 1 Structure diagrams of double duct system of air-screen separating and cleaning machine for flax threshing material

1. 行走轮 2. 控制箱 3. 接料盒 I 4. 带传动 I 5. 三级振动筛箱体 6. 一级筛排杂通道 7. 振动给料装置 8. 喂料斗 9. 吸杂管道 10. 风机管道 11. 旋风除尘器 12. 杂余集料室 13. 避风排杂装置 14. 物料观察窗 15. 后风道 16. 二级筛排杂通道 17. 避风排杂通道罩壳 18. 接料盒 II 19. 接料盒 III 20. 机架 21. 离心通风机 22. 电动机 23. 减速器 24. 柔性振动板 25. 带传动 II 26. 二级圆孔筛 27. 三级竖排长腰型冲孔筛 28. 喂料斗支撑架 29. 前风道风量调节手柄 30. 尘杂排料装置 31. 后风道风量调节手柄 32. 胡麻籽粒集料装置

级竖排长腰型冲孔筛；杂余收集装置设有前、后双风道，可通过前、后风道风量调节手柄来实现对胡麻脱粒物料分离清选效果的调整；除尘装置与杂余集料室通过吸杂管道相连接。

1.2 分离清选工艺与工作原理

设计的双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机获得成品胡麻籽粒的工艺流程如图 2 所示。通过振动变频控制箱实现对振动给料装置振动幅度、三级振动筛箱振动频率的控制调节。振动筛箱的 3 种不同类型筛片可确保对胡麻脱粒物料进行分级筛选分离，并在双风道杂余集料室的配合作用下实现将胡麻脱粒物料通过风筛分离清选为成品胡麻籽粒、干瘪破损籽粒与蒴果壳、不同长度茎秆杂余，并除去脱粒物料内混杂的灰尘和杂质。

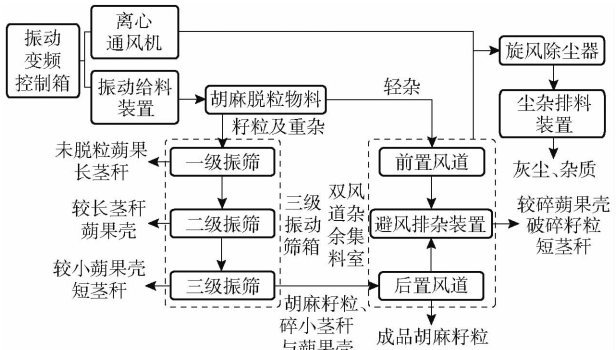


图 2 作业工艺流程图

Fig. 2 Flowchart of technological process

双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机进行作业时，通过振动变频控制箱分别对振动给料装置振动幅度和三级振动筛箱振动频率进行设定。在作业机喂料斗内加入胡麻机脱物料，在振动给料装置的作用下胡麻脱粒物料开始均匀向前输送，此时在物料即将落入筛箱一级竖排长腰型冲孔筛时，双风道杂余集料室前置风道将一些漂浮速度明显小于胡麻籽粒的轻杂物质率先吸出，随后对胡麻籽粒及脱粒物料中的各类重杂再进行筛分，经过一级竖排长腰型冲孔筛、二级圆孔筛和三级竖排长腰型冲孔筛的分别筛分，以及筛箱往复振动惯性力和筛体中清筛橡胶球的撞击下，脱粒物料中的绝大部分蒴果、不同长度茎秆、蒴果壳通过各自排料通道被分级排出，而分离的洁净胡麻籽粒和少量短茎秆被继续送入双风道杂余集料室的后置风道内，随后少量短茎秆在垂直气流的作用下被吸入杂余集料室，连同之前沉降的轻杂通过避风排杂装置被有序排出，成品洁净籽粒则在自重作用下通过胡麻籽粒集料装置收集，而胡麻脱粒物料中的灰尘杂质则在滞留双风道杂余集料室的过程中被旋风除尘器通过吸杂管道吸入沉降，由尘杂排料装置排出。

1.3 主要技术指标

结合胡麻脱粒物料分离清选工艺流程与样机工作原理，确定双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机技术参数如表 1 所示。

表 1 作业机主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters of operation machine	
参数	数值/型式
整机尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	1 280×1 210×2 330
整机质量/kg	330
作业机功率/kW	1.85
结构形式	移动式
一、二、三级筛倾角/(°)	1~6(可调)
一级筛类型	竖排长腰型冲孔筛
一级筛筛孔长×宽/(mm×mm)	15×2.5
二级筛类型	圆孔筛
二级筛筛孔直径/mm	4
三级筛类型	竖排长腰型冲孔筛
三级筛筛孔长×宽/(mm×mm)	10×1.8
筛箱振动频率/Hz	0~6
振动给料装置振幅/mm	0~30
吸杂风机转速/(r·min ⁻¹)	2 800
生产率/(kg·h ⁻¹)	100~120

2 关键部件设计与参数确定

2.1 三级振动筛分装置

2.1.1 结构组成

胡麻脱粒物料三级振动筛分装置采用箱体式结构，其具体组成结构如图 3 所示。三级振动筛分装置驱动主要通过其箱体底部与连杆相连接，连杆与偏心振动装置连接，在动力装置与减速器的配合作用下通过带传动实现三级振动筛分装置运动，且带动各级筛面上胡麻脱粒物料的起伏和翻转，三级振动筛分装置通过电动机变频器控制其振动频率在 2~6 Hz 之间。为保障胡麻脱粒物料筛分运动的协同一致性，通常各振动筛倾角均设置为 6°。同时，也可采用改变各筛体底部 V 型支撑架开口角度的方式进行各筛面倾角的调整（各筛面倾角能够在 1°~6°间调节）。

振动筛分装置的三级筛片及避风排杂装置均有对应的排杂通道及其罩壳，可将胡麻脱粒物料中的未脱粒蒴果、不同长度茎秆和不同大小蒴果壳进行有序分离，并将混有轻质杂物的胡麻籽粒在籽粒输送装置的作用下输送至胡麻脱粒物料分离清选机后风道进一步气流清选。

2.1.2 胡麻脱粒物料类型

应用课题组自行研制的小型胡麻脱粒机对收割机铺条收割的陇亚 14 号胡麻进行脱粒作业^[17]，经

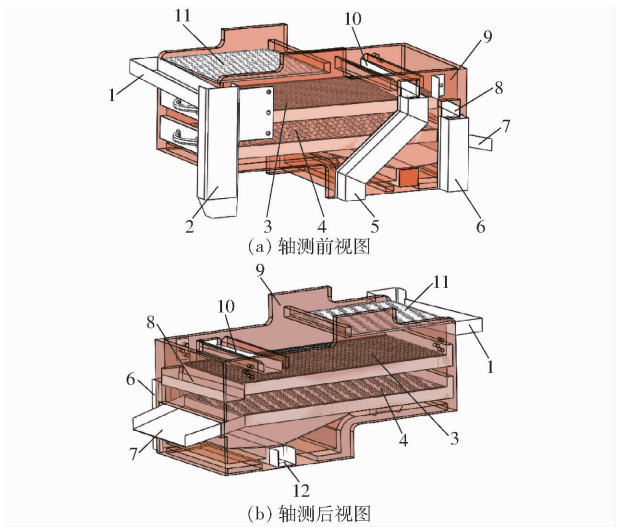


图 3 三级振动筛分装置结构图

Fig. 3 Structure diagrams of three stage vibrating screen device

1. 一级筛排杂通道 2. 一级筛排杂通道罩壳 3. 二级圆孔筛
4. 三级竖排长腰型冲孔筛 5. 避风排杂通道罩壳 6. 二级筛排杂通道罩壳 7. 籽粒输送装置 8. 二级筛排杂通道 9. 三级振动筛箱体 10. 避风排杂通道 11. 一级竖排长腰型冲孔筛 12. 三级筛排杂通道

脱粒机排料口进行脱粒物料采集。陇亚 14 号胡麻单株平均蒴果数为 24.1 个,蒴果平均粒数为 7.2 个,胡麻籽粒平均千粒质量为 8.1 g,单株产量 0.95 g,测定收获期胡麻脱粒物料含水率约为 11.8%。胡麻脱粒物料(图 4)主要包括 4 种组分:胡麻籽粒、胡麻蒴果壳、不同长度胡麻茎秆和轻质杂物。同时,当脱粒效果不充分时其物料中会混杂有少量未被脱粒的胡麻蒴果。

取 1 000 g 胡麻脱粒物料对其不同组分进行称量。其中,胡麻籽粒质量占物料总质量的比例 Y_1 为 36.6%,蒴果占物料总质量的比例 Y_2 为 27.8%,短茎秆占物料总质量的比例 Y_3 为 25.3%,蒴果壳占总质量的比例 Y_4 为 8.9%,其余轻杂质占总质量的比例 Y_5 为 1.4%。

2.1.3 清选筛结构

依据胡麻脱粒物料分离清选工艺,三级振动筛箱对各组分的分离次序为:一级竖排长腰型冲孔筛分离未脱粒胡麻蒴果和长茎秆,二级圆孔筛分离胡麻较长茎秆和部分蒴果壳,三级竖排长腰型冲孔筛

分离碎小的蒴果壳和茎秆。为便于三级清选筛尺寸与功率的计算,按照脱粒物料各组分能够在三级振动筛箱中完全分离,设定一级筛物料质量为胡麻脱粒物料总质量,二级筛物料质量从脱粒物料总质量中除去未脱粒胡麻蒴果质量,三级筛物料质量从脱粒物料总质量中除去未脱粒胡麻蒴果质量、茎秆质量和蒴果壳质量。

清选筛的尺寸主要由其面积决定,则清选筛的长度为^[18]

$$\begin{cases} L_1 = Q_1(1 - \delta_1 k) / (B_1 q_{s1}) \\ L_2 = Q_2(1 - \delta_2 k) / (B_2 q_{s2}) \\ L_3 = Q_3(1 - \delta_3 k) / (B_3 q_{s3}) \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{P_s}{3\,600 Y_1} \\ Q_2 = Q_1(1 - Y_2) \\ Q_3 = Q_1(1 - Y_2 - Y_3 - Y_4) \end{cases} \quad (2)$$

- 式中 L_1 ——一级筛片长度, m
 L_2 ——二级筛片长度, m
 L_3 ——三级筛片长度, m
 Q_1 ——一级筛喂入量, kg/s
 Q_2 ——二级筛喂入量, kg/s
 Q_3 ——三级筛喂入量, kg/s
 δ_1 ——一级筛上秸蒴杂余占胡麻脱粒物料总质量比,取 0.634
 δ_2 ——二级筛上秸蒴杂余占胡麻脱粒物料总质量比,取 0.356
 δ_3 ——三级筛上轻杂余占胡麻脱粒物料总质量比,取 0.014
 k ——分离清选装置特性参数,取 0.60
 B_1 ——一级筛片宽度,取 0.33 m
 B_2 ——二级筛片宽度,取 0.33 m
 B_3 ——三级筛片宽度,取 0.33 m
 q_{s1} ——一级筛单位面积可承担的胡麻脱粒混合物喂入量,取 $0.45 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ^[18]
 q_{s2} ——二级筛单位面积可承担的胡麻脱粒混合物喂入量,取 $0.23 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ^[18]
 q_{s3} ——三级筛单位面积可承担的胡麻脱粒混合物喂入量,取 $0.15 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ^[18]

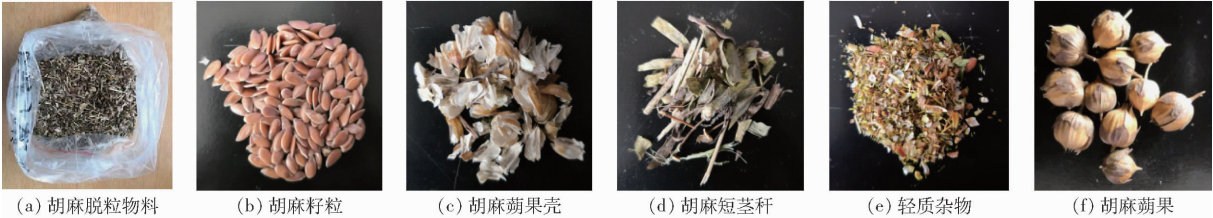


图 4 胡麻脱粒物料不同组分

Fig. 4 Different components of flax threshing materials

P_s ——双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机生产率,为 120 kg/h

由式(1)、(2)可得,一级筛片长度 $L_1 = 0.38\text{ m}$,一级筛喂入量 $Q_1 = 0.090\text{ kg/s}$;二级筛片长度 $L_2 = 0.68\text{ m}$,二级筛喂入量 $Q_2 = 0.065\text{ kg/s}$;三级筛片长度 $L_3 = 0.68\text{ m}$,三级筛喂入量 $Q_3 = 0.034\text{ kg/s}$ 。

对胡麻脱粒物料各组分的几何尺寸进行统计分析,结合三级振动筛分装置结构,选取的三级振动筛片如图 5a 所示,其中一级筛长腰型冲孔尺寸(长×宽)为 15 mm×2.5 mm,筛片尺寸(长×宽)为 380 mm×330 mm;二级筛圆孔直径为 4 mm,筛片尺寸(长×宽)为 680 mm×330 mm;三级筛长腰型冲孔尺寸(长×宽)为 10 mm×1.8 mm,筛片尺寸(长×宽)为 680 mm×330 mm。由于二级、三级筛筛孔较小,为防止胡麻脱粒物料堵塞筛孔,将这两类筛片设计为盒体式,盒体内装有清筛橡胶球,如图 5b 所示^[19-20]。

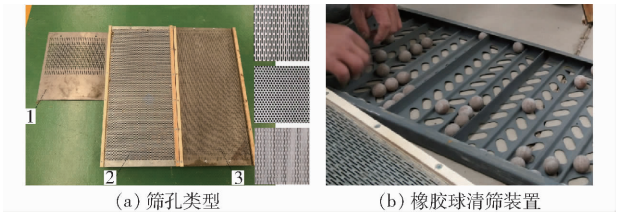


图 5 三级振动筛实物图

Fig. 5 Diagrams of three stage vibrating screen

2.1.4 清选筛功率

清选筛所需总功率为^[18]

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \tag{3}$$

其中

$$\begin{cases} P_1 = Q_1(1 - \delta_1 k) P_{p1} / \eta \\ P_2 = Q_2(1 - \delta_2 k) P_{p2} / \eta \\ P_3 = Q_3(1 - \delta_3 k) P_{p3} / \eta \end{cases} \tag{4}$$

式中 P ——清选筛所需总功率,kW

P_1 ——一级筛片所需总功率,kW

P_2 ——二级筛片所需总功率,kW

P_3 ——三级筛片所需总功率,kW

P_{p1} ——一级筛片单位生产率所需功率,取 0.55 kW·s/kg^[18]

P_{p2} ——二级筛片单位生产率所需功率,取 0.40 kW·s/kg^[18]

P_{p3} ——三级筛片单位生产率所需功率,取 0.30 kW·s/kg^[18]

η ——功率系数,取 0.90

由式(3)、(4)可得,清选筛所需总功率 $P = 0.072\text{ kW}$,一级筛片所需总功率 $P_1 = 0.035\text{ kW}$,二级筛片所需总功率 $P_2 = 0.025\text{ kW}$,三级筛片所需总功率 $P_3 = 0.012\text{ kW}$ 。

2.1.5 胡麻脱粒物料筛面运动分析

由于胡麻蒴果不论从形态或质量方面都与其他脱粒物料组分差异较大,为提高不同组分分离清选效率,结合胡麻脱粒物料分离清选作业工艺流程图(图 2),未脱粒蒴果应在一级筛面上处于后滑运动状态,并从一级筛排杂通道排出;蒴果壳和短茎秆、胡麻籽粒分别在二级筛面、三级筛面上处于前滑运动状态,分别从二级筛排杂通道、三级筛排杂通道排出。胡麻脱粒物料筛面的运动分析分别对未脱粒蒴果在一级筛面运动状况(图 6a)和胡麻脱粒物料在二级筛面运动状况(图 6b)进行分析。

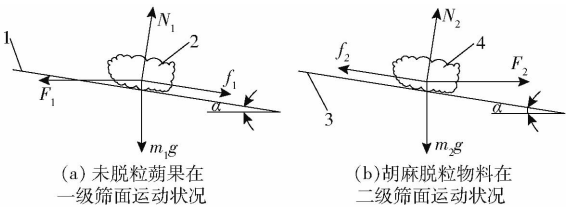


图 6 胡麻脱粒物料筛面运动分析简图

Fig. 6 Analysis diagrams of screen surface motion of flax threshing material

1. 一级竖排长腰型冲孔筛 2. 未脱粒蒴果 3. 二级圆孔筛 4. 胡麻脱粒物料(不包括胡麻蒴果)

由图 6a 可得^[12,18,20]

$$\begin{cases} F_1 \cos \alpha + m_1 g \sin \alpha = f_1 \\ F_1 = m_1 \omega^2 r \cos(\omega t) \\ f_1 = N_1 \tan \varphi \\ N_1 = F_1 \sin \alpha + m_1 g \cos \alpha \end{cases} \tag{5}$$

式中 F_1 ——未脱粒蒴果所受的惯性力,N
 N_1 ——未脱粒蒴果所受的法向力,N
 f_1 ——未脱粒蒴果沿筛面滑动所受的摩擦力,N
 m_1 ——未脱粒蒴果质量,g
 α ——三级振动筛设置倾角,取 6°
 φ ——未脱粒蒴果与筛面的摩擦角,取 29.2° ^[3]
 ω ——三级振动筛分装置连接曲柄角速度,测得 18 rad/s
 r ——曲柄半径,取 260 mm
 t ——时间,s
 g ——重力加速度,m/s²

将各参数值代入式(5)化简可得

$$m_1 \omega^2 r \cos(\omega t) \cos(\alpha + \varphi) = m_1 g \sin(\varphi - \alpha) \tag{6}$$

即
$$\frac{\omega^2 r}{g} \cos(\omega t) = \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\alpha + \varphi)} \tag{7}$$

因 $\cos(\omega t) \leq 1$,为确保未脱粒蒴果向后滑动分离,则必须有

$$\frac{\omega^2 r}{g} \geq \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\alpha + \varphi)} = K_H \quad (8)$$

式中 K_H ——未脱粒蒴果在一级筛面上处于后滑运动状态的临界系数

同理,由图 6b 可得

$$\begin{cases} F_2 \cos \alpha - m_2 g \sin \alpha = f_2 \\ F_2 = m_2 \omega^2 r \cos(\omega t) \\ f_2 = N_2 \tan \varphi \\ N_2 = m_2 g \cos \alpha - F_2 \sin \alpha \end{cases} \quad (9)$$

式中 F_2 ——胡麻脱粒物料所受的惯性力,N

N_2 ——胡麻脱粒物料所受的法向力,N

f_2 ——胡麻脱粒物料沿筛面滑动所受的摩擦力,N

m_2 ——胡麻脱粒物料的质量,g

将各参数值代入式(9)化简可得

$$\frac{\omega^2 r}{g} \cos(\omega t) = \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\cos(\alpha - \varphi)} \quad (10)$$

因 $\cos(\omega t) \leq 1$,为确保胡麻脱粒物料(不包括胡麻蒴果)向前滑动分离,则必须有

$$\frac{\omega^2 r}{g} \geq \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\cos(\alpha - \varphi)} = K_Q \quad (11)$$

式中 K_Q ——胡麻脱粒物料在二级筛面上处于前滑运动状态的临界系数

依据式(8)和式(11)可得 $K_H = 0.482$, $K_Q = 0.627$,即三级振动筛分装置曲柄连杆机构满足设计要求。

胡麻脱粒物料在进行分离筛选的过程中,除满足未脱粒蒴果在一级筛面后滑,其余胡麻脱粒物料在二、三级筛面前滑条件外,还必须保证不被筛面抛离造成飞溅损失,即

$$\begin{cases} N_1 \geq 0 \\ N_2 \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

结合式(5)和式(9)对式(12)进行简化,可得出胡麻脱粒物料不被筛面抛离的临界系数 K_p 为

$$\frac{\omega^2 r}{g} \leq \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = K_p \quad (13)$$

依据式(13)可得 $K_p = 9.52$ 。

由上述分析可知:筛面上胡麻脱粒物料的运动状况主要取决于筛分装置曲柄连杆机构运动参数和筛面倾角。要满足三级振动筛分装置正常的工作要求,胡麻脱粒物料和各筛面之间必须产生相对运动。其中,未脱粒蒴果在一级筛面上处于后滑运动状态;胡麻脱粒物料在二、三级筛面上处于前滑运动状态;同时为增加透筛概率,脱粒物料不能在筛面上被抛起。

因此,三级振动筛分装置曲柄连杆机构运动参

数应满足条件

$$K_p \geq \frac{\omega^2 r}{g} \geq \frac{K_H}{K_Q} \quad (14)$$

2.2 双风道杂余集料装置

2.2.1 结构组成

如图 7 所示,双风道胡麻脱粒物料杂余集料装置主要由前风道、后风道以及前后风道风量调节装置和避风排杂装置等组成^[21]。其中,前风道、后风道的风量均由风量调节板开启大小实现调节,风量调节板的伸长与缩放均依靠连接其上的齿条与调节手柄同轴连接的齿轮通过啮合机构实现。当前风道风量调节手柄顺时针转动时,调节手柄同轴的齿轮驱动风量调节板上的齿条倾斜向上伸出,前风道横截面(280 mm × 80 mm)开口被风量调节板逐步遮挡而减小,前风道风量降低;同理,当前风道风量调节手柄逆时针转动时,前风道横截面开口增加,风量增大。由于后风道安装位置与前风道对称,因此调节后风道风量大小的调节手柄的正反转向与前风道相反。

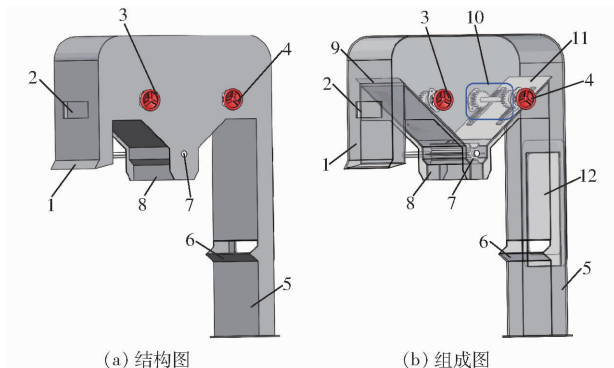


图 7 双风道杂余集料装置结构图

Fig.7 Structure diagrams of double duct impurities aggregate device

1. 前风道 2. 前风道物料观察窗 3. 前风道风量调节手柄 4. 后风道风量调节手柄 5. 后风道 6. 籽粒与杂余进料口 7. 避风排杂装置 8. 排杂出口 9. 前风道风量调节板 10. 齿轮-齿条机构 11. 后风道风量调节板 12. 后风道物料观察窗

当双风道杂余集料装置作业时,前置风道先将胡麻脱粒物料中一些漂浮速度明显小于胡麻籽粒的轻杂物质首先吸出,以减小后续分离清选功率消耗。当胡麻脱粒物料在三级振动筛分装置内分离后,洁净胡麻籽粒和少量短茎秆被送入双风道杂余集料装置后风道内,随后少量短茎秆在垂直气流的作用下被吸入杂余集料室,连同之前的轻杂通过避风排杂装置被有序排出,而成品洁净籽粒则在自重作用下通过胡麻籽粒集料装置收集。

2.2.2 风量调节装置参数确定

双风道杂余集料装置中的风量调节装置结构组

成如图 8 所示。其中,前后风道风量调节手柄与齿轮同轴,齿轮与风量调节板上的齿条相啮合驱动(图 8a)。通过正反转风量调节手柄能够实现对前后风道风门的开启与闭合,完成对前后风道风量调节。依照风量调节装置设定,两个风量调节手柄分别转动 180°经历 7 个挡位(图 8b),均能够实现对前、后风道风量的完全开启与闭合。

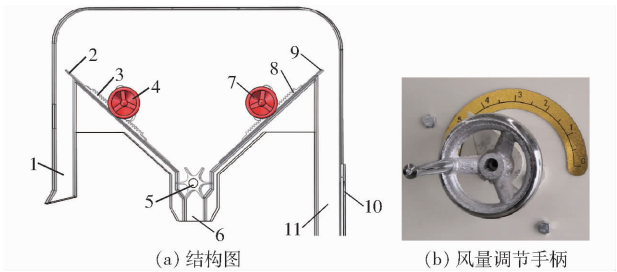


图 8 风量调节装置

Fig. 8 Air volume regulating device

1. 前风道 2. 前风道风量调节板 3. 左侧齿条 4. 前风道风量调节手柄 5. 避风排杂装置 6. 排杂出口 7. 后风道风量调节手柄 8. 右侧齿条 9. 后风道风量调节板 10. 后风道物料观察窗 11. 后风道

前风道齿轮-齿条风量调节机构作业原理如图 9 所示,前风道风量调节板与其表面齿条相连接,其倾角 α 为 45°,调节手柄由位置 a_1 旋转至位置 a_2 时(图 9a),风量调节板全部伸出,前风道风量关闭,此时驱动齿轮正好转动 180°。

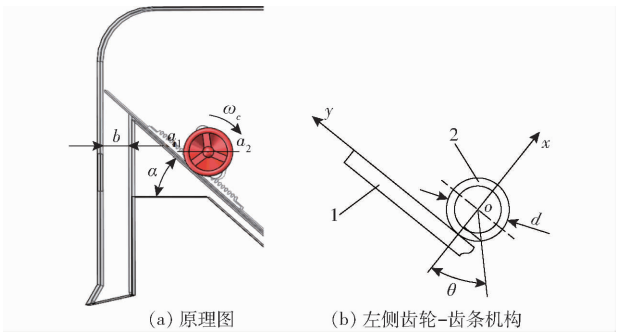


图 9 风量调节装置作业原理图

Fig. 9 Operation principle of air volume regulating device

1. 左侧齿条 2. 左侧齿轮

依据图 9 所示几何关系可得

$$\begin{cases} \Delta y = \frac{b}{\cos\alpha} \\ d = \frac{2\Delta y}{\pi} \end{cases} \quad (15)$$

式中 Δy ——前风道风量调节板最大伸出量,mm
 b ——前风道横截面宽度,为 80 mm
 d ——齿轮分度圆直径,mm

由式(15)计算可得 $\Delta y = 113$ mm, $d = 72$ mm。因此,选取分度圆直径为 72 mm 的直齿圆柱齿轮,并选取配套直齿齿条。

2.3 吸杂除尘装置

2.3.1 结构组成

吸杂除尘装置结构如图 10 所示,主要由离心通风机、吸杂管道、风机管道、旋风除尘器和尘杂排料装置等部件组成。吸杂除尘装置作业时,在离心通风机和风机管道的配套作用下,通过吸杂管道将双风道杂集料装置内的灰尘杂质吸入,在旋风除尘器内悬浮沉降,并由尘杂排料装置排出。

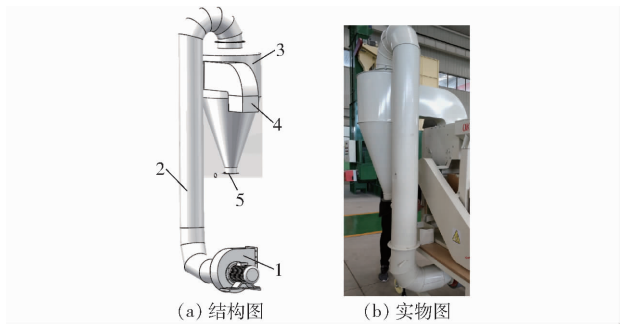


图 10 吸杂除尘装置

Fig. 10 Dust suction device

1. 离心通风机 2. 风机管道 3. 旋风除尘器 4. 吸杂管道 5. 尘杂排料装置

其中,吸杂除尘装置风机管道设计为圆柱型,管道长度 $l = 2.70$ m,管道直径 $d_g = 0.21$ m;旋风除尘器进料口尺寸为 0.16 m × 0.12 m,出风口直径 d_c 为 0.21 m,尘杂排料口直径 d_p 为 0.11 m。

2.3.2 离心通风机转速确定

双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机的吸杂风机选用吸入型通用离心通风机。分离清选系统内气流工作速度应不大于胡麻籽粒的最大悬浮速度 v_0 (8.60 m/s),则离心通风机风压全压计算式为

$$h = h_j + h_d \quad (16)$$

其中

$$h_j = \frac{\xi l \rho v_0^2}{2r_1 g} + \frac{\psi \rho v_0^2}{2g} + \frac{\lambda \rho v_0^2}{2g}$$
$$h_d = \frac{\rho v_0^2}{2g}$$

式中 h ——离心通风机风压全压,Pa

h_j ——静压,克服空气在流动中的阻力,Pa

h_d ——动压头,Pa

ξ ——气流摩擦因数,取 0.35^[22]

ψ ——管道对气流阻力系数,取 0.35^[22]

λ ——风机进出口对气流的阻力系数,取 0.60^[22]

r_1 ——风管水力半径,取 0.038 m^[22]

ρ ——空气密度,取 1.2 kg/m³^[23]

由式(16)计算可得 $h_j = 116.9$ Pa, $h_d = 4.5$ Pa,离心通风机风压全压 $h = 121.4$ Pa。

离心通风机叶轮外径 D_f 一般控制在 250 ~ 400 mm

之间,设计中取 $D_f = 340\text{ mm}$;则离心通风机转速计算式为^[21]

$$n = \frac{60}{\pi D_f} \sqrt{\frac{hg}{\varepsilon \rho}} \tag{17}$$

式中 n ——离心通风机转速, r/min

ε ——计算系数,为 0.35 ~ 0.40,取 0.40^[22]

由式(17)计算得出 $n = 2\,798\text{ r/min}$,则设计离心通风机最大转速为 2 800 r/min。

3 性能试验

3.1 试验条件与材料

2019 年 6 月,课题组在酒泉奥凯种子机械股份有限公司技术研发中心对双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机进行作业性能试验(图 11)。选用陇亚 14 号胡麻收获期脱粒物料(2.1.2 节所选取的胡麻脱粒物料)为试验材料。试验时通过观察作业机振动给料装置、三级振动筛分装置、双风道杂余收集装置和吸杂除尘装置相关工作状态,对双风道杂余集料装置前后风道风量调节手柄进行转动,对振动喂料系统电磁激振器振幅(0 ~ 30 mm)进行实时调节。

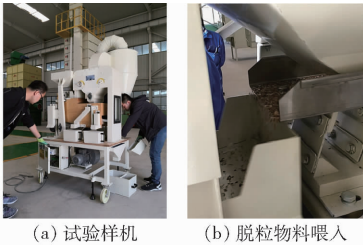


图 11 作业性能试验

Fig. 11 Operating performance test

3.2 试验方案与方法

按照 GB/T 5262—2008《农业机械试验条件测定方法的一般规定》规定的试验方法进行作业性能试验。待机器调试运行正常后在喂料斗内加入胡麻收获期脱粒物料(图 11b),当振动喂料系统电磁激振器振幅控制在 14 ~ 18 mm,前风道风量调节手柄在 2 ~ 4 挡位,后风道风量调节手柄在 4 ~ 6 挡位,三级振动筛分装置振动频率在 2 ~ 6 Hz 之间时,作业机具有较强的脱粒物料分离清选适应性。因此,在此工作参数下测定籽粒清洁率和夹带损失率^[3,24-25]。

其中,籽粒清洁率以胡麻籽粒集料装置排出的物料为测定对象,取 3 次随机抽样的测定平均值为测试结果。夹带损失率以胡麻籽粒集料装置排出的物料及各通道对应 4 个接料盒内的籽粒为测定对象,取 3 次随机抽样的测定平均值为测试结果。

3.3 试验结果与分析

由试验结果分析计算可以得出,双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机的籽粒清洁率为

97.16%、夹带总损失率为 1.12%,能够实现对胡麻收获期脱粒物料的高效分离清选作业。

图 12 为胡麻脱粒物料分离清选后在胡麻籽粒集料装置及各级筛排杂通道对应接料盒内的承接分布。在试验过程中发现,三级振动筛分装置、双风道杂余收集装置和吸杂除尘装置工作参数设置相对适宜时,样机运行状态稳定,能够将胡麻脱粒物料不同组分进行分离清选,符合预设的作业工艺流程。同时,在避风排杂装置中排出的物料内也含有较少长茎秆和胡麻籽粒,这主要是在协同调节双风道胡麻脱粒物料杂余集料装置前后风道风量时,双风道内风量、风速不稳定,导致胡麻籽粒夹带损失较大,这也是影响双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机作业性能的关键因素之一,将在后续研究中进一步试验优化。



图 12 胡麻脱粒物料分离清选与除尘作业效果

Fig. 12 Separation, cleaning and dust removal of flax materials

- 1. 一级筛片分离出的未脱粒蒴果与部分较长茎秆
- 2. 避风排杂装置从双风道杂余集料装置中排出的部分适中长茎秆和蒴果壳
- 3. 二级筛片分离的胡麻较长茎秆和部分蒴果壳
- 4. 三级筛片分离的短茎秆、破碎籽粒与碎小蒴果壳混合物
- 5. 由后风道清选经胡麻籽粒集料装置排出的胡麻籽粒

4 结论

(1)针对胡麻脱粒物料组分类型,提出“先气流清、再风筛选”的作业模式,制订了胡麻脱粒物料分离清选作业工艺流程,对三级振动筛分装置、双风道杂余集料装置及吸杂除尘装置等关键作业部件进行选型与设计,对胡麻脱粒物料三级筛面关键工作参数进行分析与计算,设计了双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机。

(2)样机性能试验表明,当振动喂料系统电磁激振器振幅控制在 14 ~ 18 mm、前风道风量调节手柄在 2 ~ 4 挡位、后风道风量调节手柄在 4 ~ 6 挡位、三级振动筛分装置振动频率在 2 ~ 6 Hz 之间时,该机具有较强的物料适应性;双风道风筛式胡麻脱粒物料分离清选机作业后籽粒清洁率为 97.16%、夹带总损失率为 1.12%,试验结果满足设计要求,能够实现对胡麻收获期脱粒物料不同组分的分离清选作业。

参 考 文 献

- [1] 王利民, 张建平, 党照, 等. 胡麻两系杂交亲本的配合力及杂种优势分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(6): 1047 - 1059. WANG Limin, ZHANG Jianping, DANG Zhao, et al. The analysis of the parental combining ability and heterosis on two-line hybrid flax[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(6): 1047 - 1059. (in Chinese)
- [2] 孙仕明, 孙文峰, 吕海杰. 我国亚麻生产机械化现状及发展建议[J]. 农机化研究, 2004, 26(4): 23 - 24. SUN Shiming, SUN Wenfeng, LÜ Haijie. The present status and development suggestion on flax production mechanization in our country[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004, 26(4): 23 - 24. (in Chinese)
- [3] 戴飞, 赵武云, 刘国春, 等. 胡麻脱粒物料分离清选机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 140 - 147. DAI Fei, ZHAO Wuyun, LIU Guochun, et al. Design and experiment of separating and cleaning machine for flax threshing material[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(8): 140 - 147. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190816&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.016. (in Chinese)
- [4] JERZY M, WOJCIECH M, GRZEGORZ S, et al. Research on new technology of fiber flax harvesting[J]. Journal of Natural Fibers, 2018, 15(1): 53 - 61.
- [5] 丁进锋, 赵凤敏, 曹有福, 等. 亚麻籽脱壳机脱壳性能试验研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 158 - 164. DING Jinfeng, ZHAO Fengmin, CAO Youfu, et al. Experiment on shelling machine of flaxseed[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(1): 158 - 164. (in Chinese)
- [6] 金鑫, 杜新武, 甘帮兴, 等. 小型联合收获机旋风分离系统清选性能试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 99 - 105. JIN Xin, DU Xinwu, GAN Bangxing, et al. Cleaning performance experiment of cyclone separating system in miniature combine harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 99 - 105. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160514&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.014. (in Chinese)
- [7] LI Hongchang, LI Yaoming, GAO Fang, et al. CFD - DEM simulation of material motion in air-and-screen cleaning device[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 88: 111 - 119.
- [8] FU J, CHEN Z, TIAN L Q, et al. Review of grain threshing theory and technology[J]. Int. J. Agric. & Biol. Eng., 2018, 11(3): 12 - 20.
- [9] 高连兴, 李献奇, 关萌, 等. 双吸风口振动式花生荚果清选装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 110 - 117. GAO Lianxing, LI Xianqi, GUAN Meng, et al. Design and test on cleaning device of peanut pods with double air-suction inlets with vibration screen[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 110 - 117. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150316&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.016. (in Chinese)
- [10] 廖庆喜, 万星宇, 李海同, 等. 油菜联合收获机旋风分离清选系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 24 - 31. LIAO Qingxi, WAN Xingyu, LI Haitong, et al. Design and experiment on cyclone separating cleaning system for rape combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(14): 24 - 31. (in Chinese)
- [11] 王立军, 武振超, 冯鑫, 等. 玉米收获机清选曲面筛设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 90 - 101. WANG Lijun, WU Zhenchao, FENG Xin, et al. Design and experiment of curved screen for maize grain harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 90 - 101. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190210&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.02.010. (in Chinese)
- [12] 李立君, 胡文宇, 高自成, 等. 曲柄摇杆振动破壳油茶果粗选机运动学分析及试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 28 - 35. LI Lijun, HU Wenyu, GAO Zicheng, et al. Kinematics analysis and experiment of crank rocker vibrating coarse sorting machine for unshelled oil-tea fruit[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(7): 28 - 35. (in Chinese)
- [13] DAI Fei, SONG Xuefeng, ZHAO Wuyun, et al. Motion simulation and test on threshed grains in tapered threshing and transmission device for plot wheat breeding based on CFD - DEM[J]. Int. J. Agric. & Biol. Eng., 2019, 12(1): 66 - 73.
- [14] DAI Fei, SONG Xuefeng, GUO Wenjuan, et al. Simulation and test on separating cleaning process of flax threshing material based on gas-solid coupling theory[J]. Int. J. Agric. & Biol. Eng., 2020, 13(1): 73 - 81.
- [15] MA Licheng, WEI Lubin, PEI Xinyu, et al. CFD - DEM simulations of particle separation characteristic in centrifugal compounding force field[J]. Powder Technology, 2019, 343(1): 11 - 18.
- [16] 丁进锋. 亚麻籽脱壳分离系统关键技术及设备研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2016. DING Jinfeng. Study on the critical technology of flaxseed dehulling and separation and dehull equipment[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2016. (in Chinese)
- [17] 史瑞杰, 戴飞, 赵武云, 等. 全喂入式胡麻脱粒机的设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(8): 120 - 132. SHI Ruijie, DAI Fei, ZHAO Wuyun, et al. Design and test of full-feed flax thresher[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(8): 120 - 132. (in Chinese)
- [18] 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.
- [19] 王立军, 冯鑫, 郑招辉, 等. 玉米清选组合孔筛体设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(5): 104 - 113. WANG Lijun, FENG Xin, ZHENG Zhaohui, et al. Design and test of combined sieve of maize screening[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(5): 104 - 113. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190512&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.012. (in Chinese)

- [15] RUMELHART D E, HINTON G E, WILLIAMS R J. Learning representations by back-propagating errors[J]. *Nature*, 1986, 323(6088): 533–536.
- [16] FU J, ZHENG H, MEI T. Look closer to see better; recurrent attention convolutional neural network for fine-grained image recognition[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2017:4476–4484.
- [17] HU J, SHEN L, SUN G. Squeeze-and-excitation networks[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2018:7132–7141.
- [18] SZEGEDY C, IOFFE S, VANHOUCKE V, et al. Inception – v4, Inception – ResNet and the impact of residual connections on learning[C]//Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Computer Society, 2016:1–9.
- [19] SZEGEDY C, LIU W, JIA Y, et al. Going deeper with convolutions[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2015:1–9.
- [20] HE K, ZHANG X, REN S, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2016:770–778.
- [21] SANDLER M, HOWARD A, ZHU M, et al. MobileNetV2: inverted residuals and linear bottlenecks[C]//Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2018.
- [22] SELVARAJU R R, COGSWELL M, DAS A, et al. Grad-cam; visual explanations from deep networks via gradient-based localization[C]//IEEE International Conference on Computer Vision, 2017:618–626.
- [23] LECUN Y, BOTTOU L, BENGIO Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. *Proceedings of the IEEE*, 1998, 86(11): 2278–2324.
- [24] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[J]. *Communications of the ACM*, 2017, 60(6):84–90.
- [25] 孙俊, 谭文军, 毛罕平, 等. 基于改进卷积神经网络的多种植物叶片病害识别[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(19): 209–215.
SUN Jun, TAN Wenjun, MAO Hanping, et al. Identification of multiple plant leaf diseases based on improved convolutional neural network[J]. *Transactions of the CSAE*, 2017, 33(19): 209–215. (in Chinese)
-

(上接第 125 页)

- [20] 王立军, 段良坤, 郑招辉, 等. 三移动两转动振动筛驱动机构优化与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2018, 49(6): 138–145.
WANG Lijun, DUAN Liangkun, ZHENG Zhaohui, et al. Optimization and experiment on driving mechanism of vibrating screen with three translations and two rotations[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(6): 138–145. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180616&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.06.016. (in Chinese)
- [21] 胡志超, 彭宝良, 田立佳, 等. 5X-5 型风筛式清选机的研制[J]. *西北农业学报*, 2007, 16(4): 288–291, 294.
HU Zhichao, PENG Baoliang, TIAN Lijia, et al. Design of 5X-5 air-screen separator[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007, 16(4): 288–291, 294. (in Chinese)
- [22] 刘正怀, 郑一平, 王志明, 等. 微型稻麦联合收获机气流式清选装置研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2015, 46(7): 102–108.
LIU Zhenghuai, ZHENG Yiping, WANG Zhiming, et al. Design on air-flowing cleaning unit of micro rice-wheat combine harvester[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(7): 102–108. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150716&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.016. (in Chinese)
- [23] 廖庆喜, 陈立, 李海同, 等. 油菜联合收获机脱出物清选试验台[J/OL]. *农业机械学报*, 2013, 44(10): 80–85, 79.
LIAO Qingxi, CHEN Li, LI Haitong, et al. Cleaning unit test-bed of extraction components for rape combine harvester[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(10): 80–85, 79. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20131014&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.10.014. (in Chinese)
- [24] MIU P I, KUTZBACH H D. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units—Part I[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, 60(1): 96–104.
- [25] 高连兴, 苏展, 陈中玉, 等. 对辊半喂入式小区育种花生摘果装置设计与试验[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(9): 93–98.
GAO Lianxing, SU Zhan, CHEN Zhongyu, et al. Design and experiment of double-roller semi-feeding peanut picking device for breeding in mini type area[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(9): 93–98. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160914&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.09.014. (in Chinese)