

气力式油菜精量排种器管路负压监测系统研究

李兆东^{1,2} 谢 瑞¹ 王天琪¹ 张 甜^{1,2} 刘立超^{1,2} 陈永新^{1,2}

(1. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036; 2. 安徽省智能农机装备工程研究中心, 合肥 230036)

摘要: 针对油菜气力式精量排种器种子精准吸附过程中因配气管路负压实时监测困难且易导致排种性能下降问题,设计了一种基于虚拟仪器技术的油菜多行精量排种管路负压同步监测系统。以压力传感器为测量元件实时采集干、支管路负压,NI-9205型数采卡为数据采集模块,电动阀门对干路负压进行控制,在LabVIEW软件中进行压力转换和数据实时显示、分析、保存以及故障报警等。对管路负压监测系统精度进行了标定,结果表明:当种盘转速为20~60 r/min、阀门开度为18.3%~33.5% (干路静态负压1 000~3 000 Pa)时,监测系统监测值与风压计实测值相对偏差均不大于3.63%,负压稳定性变异系数不大于2.97%。台架试验结果表明,当种盘转速为20~60 r/min、阀门开度为18.3%~33.5% (1 000~3 000 Pa)时,具有锥柱锥列式配气机构短程配气系统负压损失率不大于18.99%,支路负压均匀性变异系数不大于2.3%,各行排量一致性变异系数不大于4.27%。田间试验结果表明,当播种作业种盘转速分别为23.1、34.2、44.5 r/min时,负压损失率均不大于18.75%,支路负压均匀性变异系数不大于2.95%,各行排量一致性变异系数不大于4.52%。该研究为解析气力式油菜精量排种器种子精准吸附及稳定运移机制与优化改进配气管路布局提供技术支撑。

关键词: 油菜种子; 气力式精量排种器; 监测系统; 管路负压

中图分类号: S223.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)10-0180-10

OSID:



Pipeline Negative Pressure Monitoring System of Pneumatic Precision Seed Dispenser for Rape

LI Zhaodong^{1,2} XIE Rui¹ WANG Tianqi¹ ZHANG Tian^{1,2} LIU Lichao^{1,2} CHEN Yongxin^{1,2}

(1. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2. Anhui Provincial Engineering Research Center of Intelligent Agricultural Machinery, Hefei 230036, China)

Abstract: Aiming at the problem that it is difficult to monitor the negative pressure in the air distribution pipeline in real time and it is easy to lead to the decline of seeding performance in the process of precise seed adsorption of rapeseed rape pneumatic precision seed metering device, a synchronised monitoring system for the negative pressure in rapeseed rape multiline precision seeding pipeline based on virtual instrumentation technology was designed. Pressure sensor as a measuring element for real-time collection of negative pressure of main and branch pipelines, NI-9205 digital acquisition card as a data acquisition module, the electric valve was used to control the negative pressure of main pipeline, and the LabVIEW software was used for the conversion, real-time display, analysis, preservation, fault alarms of the pressure value and so on. The accuracy of the pipeline negative pressure monitoring system was calibrated, and the results showed that under the condition that the rotational speed of the seeding plate was 20~60 r/min, and the valve opening was 18.3%~33.5% (the static negative pressure of the main pipeline was 1 000~3 000 Pa), the monitoring value of the monitoring system and the measured value of the wind manometer were not more than 3.63%, and the coefficient of variation of the stability of the negative pressure was not more than 2.97%. Bench test showed that under the conditions of 20~60 r/min rotational speed of the seeding plate and 18.3%~33.5% valve opening (1 000~3 000 Pa), the negative pressure loss rate of the short-distance air distribution system with the cone-column and cone-

收稿日期: 2024-04-19 修回日期: 2024-07-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2301402)和安徽省重点研究与开发计划项目(202204c06020071)

作者简介: 李兆东(1987—),男,副教授,博士,主要从事现代农业精准种植关键技术研究,E-mail: Lizd@ahau.edu.cn

通信作者: 陈永新(1971—),男,教授,博士,主要从事智能农机装备振动测试及可靠性研究,E-mail: cyx_zcz@sohu.com

column air distribution mechanism was not more than 18.99% , the coefficient of variation of the uniformity of the negative pressure of the branch was not more than 2.3% , and the relative deviation of the coefficient of variation of each row did not exceed 4.27% . The field test showed that when the rotational speed of the seeding plate of the seeding operation was 23.1 r/min , 34.2 r/min , and 44.5 r/min , respectively , the negative pressure loss rate was not more than 18.75% , the coefficient of variation of the uniformity of negative pressure in the branches was not more than 2.95% , and the relative deviation of the coefficient of variation of each row did not exceed 4.52% . The research can provide technical support for analyzing the mechanism of precise seed adsorption and stable transport in pneumatic rapeseed precision seed metering devices , as well as for optimizing and improving the layout of the air distribution pipeline.

Key words: rapeseed; pneumatic precision seed metering device; monitoring system; pipeline negative pressure

0 引言

油菜精量播种具有省时省力、节本增效、适宜机械化收获等优点,是油菜机械化直播的发展趋势^[1-2]。排种器是实现精量播种的核心部件,其排种质量直接影响播种质量^[3],因气力式排种器具有伤种率低、适应性好、可实现高速精量排种等优势被广泛应用^[4]。油菜种子因粒径小、含油率高、易粘连等特性,排种过程中易导致型孔堵塞,实践证明正负气压组合式排种技术是实现小粒径油菜精量播种的重要手段^[5],其主要是利用旋涡风泵产生的负压将种子定量吸附于种盘的型孔上,被型孔吸附的种子随种盘转动至卸种区后,在种子自重与正压吹送作用下完成投种,因此工作负压对种盘精量吸附性能影响显著^[6-7]。

影响气力式排种器排种性能的因素主要有型孔结构、工作负压、种盘转速等^[8-10],国内外学者前期围绕气力式排种器性能提升进行了众多研究,其主要集中在关键部件结构设计与优化^[11-14]、改善充种性能^[15-17]和排种性能试验研究^[18-21]。气力式排种器气力系统主要由旋涡风泵和各支路气力管道组成,在气力输送过程中容易产生气压损失。文献[22-24]围绕工作气压对排种性能影响研究取得了可借鉴成果,但吸运种子所需工作负压实时监测研究较少。LabVIEW 平台作为图形化编程软件,在数据实时采集、显示和处理方面优势明显,被广泛应用于农业领域^[25-27],但运用该手段对气力式精量排种器干支路气压实时监测研究尚且不多。

笔者团队前期基于机械气力组合原理研制了一种具有槽齿结构的气力盘式油菜精量排种器,可实现油菜精量排种^[28],但该排种器多行并联排种时干支路工作负压同步监测困难且各行排量一致性不易保证。本文运用虚拟仪器技术设计一种集干、支路工作负压同步监测系统,并进行短程配气下各行负压分配均匀性和负压损失试验,旨在提出一种干支

路负压同步监测方法,为解析工作负压对多行排种精准吸附及稳定运行提供技术支撑,也为优化配气管路布局提供参考。

1 管路负压监测系统结构与工作原理

1.1 压力数据采集原理

运用 LabVIEW - DAQmx 函数进行数据采集和读取,包括创建虚拟物理通道、采样时钟、开始函数、读取函数、清除和停止函数,由于传感器输出电压信号和实际压力信号之间是线性对应关系,则读取的电压信号可直接根据量程来线性转换成所需的压力。

负压气流经过压力传感器,压力传感器输出一个对应的电压信号 $x(t)$,每隔时间 Δt 进行一次采样,时间间隔 Δt 被称为采样间隔或采样周期,采样频率为 $1/\Delta t$ 。 $t=0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, x(t)$ 为采样值, $x(0), x(\Delta t), x(2\Delta t)$ 等均表示采样值。

各个电压信号及其采样后的采样值,采样间隔为 Δt ,采样点在时间域上呈离散状态,如图 1 所示。对信号 $x(t)$ 采集 N 个采样点,则 $x(t)$ 可表示为: $X = \{x[0], x[1], x[2], \dots, x[N-1]\}$,该数列称为电压信号 $x(t)$ 的数字化显示或采样显示。

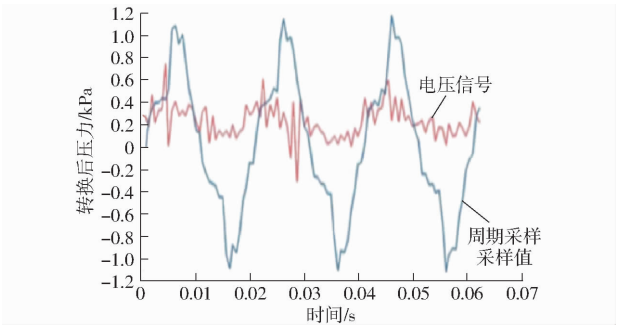


图 1 压力采样信号

Fig. 1 Pressure sampling signal

数据采集卡将压力传感器传出的电压信号存储到内部缓冲区,在负压监测系统数据采集,连续采样模式下,缓冲区大小取决于每个通道采样数和通

道数。由于是环形缓冲区,系统程序会持续地从这个缓冲区中提取信息。每当读取部分数据时,之前读取的数据部分会转为可写入状态,使得数据采集卡能够持续地从外部收集信息,并将其保存在环形缓冲区内。

缓冲区大小为 N , 程序运行时间为 t , 数据采集卡采集的数据点数为 N_1 , DAQ 读取的数据点数为 N_2 , 采样率为 f_s , 每次循环执行时间为 T , 而每次循环读取的采样数为 n 。因此, 在时间 t 内数据采集卡总共收集的数据点数 N_1 为

$$N_1 = f_s t$$

(1)

时间 T 内 DAQ 共读取的数据点数 N_2 为

$$N_2 = \frac{n}{T} t$$

(2)

为了保证缓冲区不溢出,需相同时间内数据采集卡采集的数据点数与 DAQ 读取的数据点数之差小于缓冲区大小,即

$$N_1 - N_2 < N$$

(3)

其中, f_s 、 n 、 T 、 N 为确定值, $N_1 - N_2$ 为 t 的一次函数。通过将程序框图里的写入测量文件重新放置在 while 循环中,操作完成后,存储的数据将不再是固定点数,从而能够实现对数据的全面连续实时采集。从而完成气力式排种器工作负压采集。

1.2 管路负压监测系统工作过程

气力式油菜精量排种管路负压监测系统主要由压力传感器、数据采集卡、电动阀门、直流电源和 LabVIEW 上位机等组成,系统总体结构图如图 2 所示。通过压力传感器采集干路及支路压力信号,使用电动阀门调节旋涡风泵出口处工作负压。

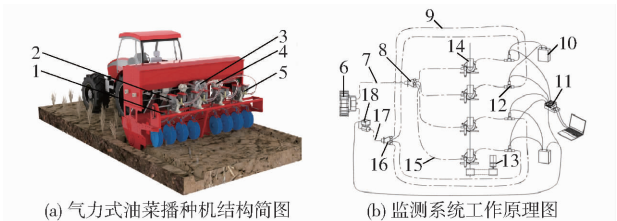


图 2 管路负压监测系统总体结构图

Fig. 2 Overall structure diagrams of monitoring device

1. 步进电机 2. 油菜精量排种器 3. 旋涡风泵 4. 负压管道
5. 压力传感器 6. 风机 7. 正压干路管道 8. 正压配气装置
9. 负压支路输气管 10. 电源 11. NI 数据采集装备 12. 负压监测系统 13. 电机 14. 排种器 15. 正压支路输气管 16. 负压配气装置 17. 负压干路管道 18. 电动阀门

系统工作时,旋涡风泵产生的负压气流经软管传输到各排种器负压腔室内,种子在负压气流产生的吸力和种盘转动共同作用下被吸附于种盘型孔。

压力传感器内部电路基于压变效应原理,当负压气流经过传感器时,其产生的压力使传感器内部

压变电阻阻值发生改变,输出一个对应压力 0 ~ 5 V 信号,并通过传感器信号线传输到信号隔离器,从隔离器输出的电压信号被数据采集卡采集并存储在数据采集卡内部缓冲区,上位机中的 LabVIEW 软件读取数据采集卡内储存的电压信号并转换成所需的压力信号,再将干、支管路压力信号分离,在前面板中显示各管路负压波形,同时对压力信号进行分析和保存。

2 管路负压监测系统设计

2.1 系统硬件设计

系统硬件组成包括电源模块、压力传感器模块、数据采集模块、信号调理模块、阀门控制模块以及上位机模块。监测系统通过压力传感器监测干路及 4 个支路负压,经数据采集转换处理后在前面板上实时显示干、支路负压及负压波形;同时设置有监测故障报警功能,在任一路负压监测异常时实时报警;在干路上安装有电动阀门,系统通过阀门控制模块由输出通道控制输出电压,调节电动阀门开度,实现干路及各支路负压的调节,达到油菜播种所需负压。传感器模块选用 MIK - P300 型三线制扩散硅式压力传感器,能按照一定的规律将压力信号转换成可用的输出电信号。数据采集模块选用 NI - 9205 型数据采集卡(数采卡),采集模式为模拟电压输入,能够同时采集多个通道数据,提高采集效率。阀门控制模块选用 NI - 9263 型板卡,具有 4 个电压输出通道,电动阀门选用 FRSQT11F - 16P 型电动球阀,通过电压信号控制阀门开度来控制实际负压,输入 0 ~ 10 V 电压信号对应阀门开度 0 ~ 100%。部分硬件具体型号及参数如表 1 所示。

表 1 主要传感器参数
Tab. 1 Main sensor parameters

传感器/模块	主要特性	供电(DC) 电压/V
MIK - P300 型压力传感器	量程范围: -30 ~ 0 Pa 输出电压信号范围: 0 ~ 5 V	24
NI - 9205 型数据采集卡	单端模拟输入通道 32 个,差分模拟输入通道 16 个,采样频率 250 kS/s	220
NI - 9263 型电压输出模块	4 个模拟电压输出通道,输出电压范围: -10 ~ 10 V	24
FRSQT11F - 16P 型电动球阀	阀门开度从 0% 到 100% 的运行时间为 5 s,位置精确度: ± 1%	24

2.2 系统软件设计

系统上位机监测软件使用虚拟仪器软件平台

LabVIEW 进行开发设计,借助 LabVIEW 的图形化、通用性、模块化编程特点,实现良好的人机交互界面设计。将各种功能模块以图形化的方式连接,完成程序编写和调试,实现设计功能。

2.2.1 前面板设计

前面板作为用户操作界面,包括设置采样通道,采集数据保存处理,干、支路负压波形实时显示以及监测故障报警等;其中,模拟电压输入物理通道连接 NI-9205 型数采卡的接线引脚;模拟电压输出物理通道连接 NI-9263 型电压输出模块的接线引脚,监测系统的开始、停止和保存等功能采用布尔控件,采用波形图表控件显示各支路数据波形。系统工作前,将输入口采样通道分别设为 ai0、ai1、ai3、ai5 和 ai7,分别对应 NI-9205 型数采卡与压力传感器接线通道,输出口采样通道设为 ao0,对应 NI-9263 型板卡与电动阀门的接线通道,记录文件存储路径,调整采样速率、压力输入范围、各通道采样数以及采样方式。各控件整合后前面板工作界面如图 3 所示。

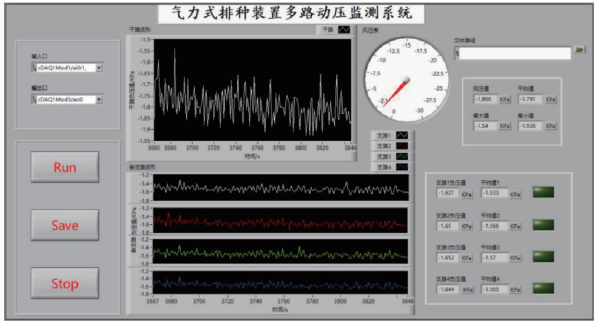


图 3 监测系统前面板界面

Fig. 3 Front panel interface of monitoring system

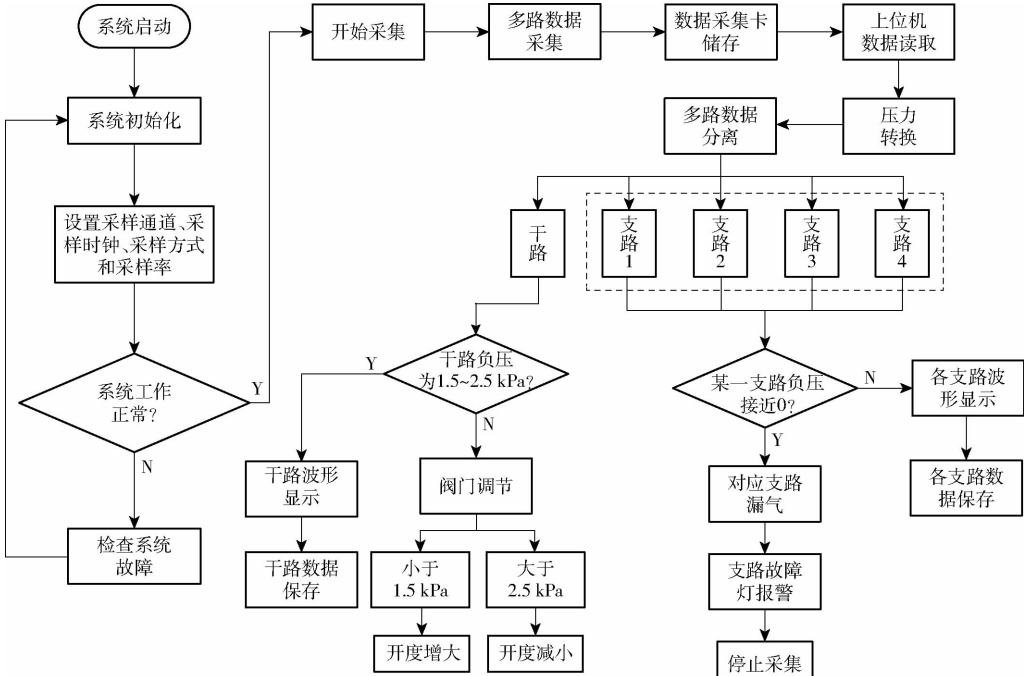


图 4 监测系统数据采集流程图

Fig. 4 Flowchart of monitoring system data acquisition

2.2.2 程序设计

采用模块化思想设计监测系统各功能模块,主要包括数据采集模块、数据分析模块、数据保存模块、阀门控制模块等。管路负压监测系统数据采集流程图如图 4 所示。

程序框图是一种图像化框图结构,是系统各种功能的实施流程。监测系统程序框图主要分为数据采集模块(图 5a)、数据分析保存模块(图 5b、5c)、故障报警模块、阀门控制模块(图 5d)4 个子模块,用来完成对干、支路的负压进行实时采集、读取和保存等功能。监测系统各部分程序框图如图 5 所示。

3 管路负压监测系统台架试验

为检验该管路负压监测系统在多功能排种试验台上的可行性,首先进行标定试验,再利用该装置开展气力式油菜精量排种器组合排种时各支路间负压分配的均匀性、波动稳定性以及干路负压传递到各支路时负压损失情况,为探究负压对油菜气力式排种器精准与稳衡排种的影响提供技术支持。

3.1 试验材料与设备

试验材料选择“盛油 664”品种油菜种子,其含水率为 3.54%,千粒质量为 4.66 g。台架试验包括:监测系统精度标定试验和负压分配及损失试验。台架试验在油菜气力式多行排种装置试验台上进行,其结构如图 6 所示,主要包括 HG-1500-C2 型旋涡风泵、控制箱、YVF2-802-4 型三相异步变频电

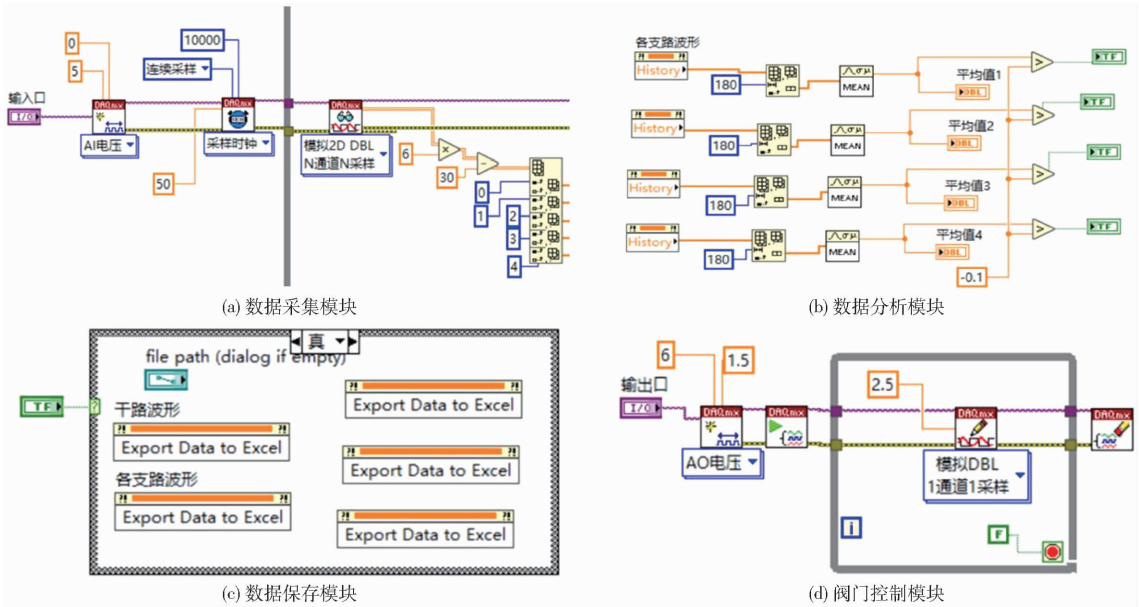


图 5 监测系统程序框图

Fig. 5 Overall program block diagram of monitoring system

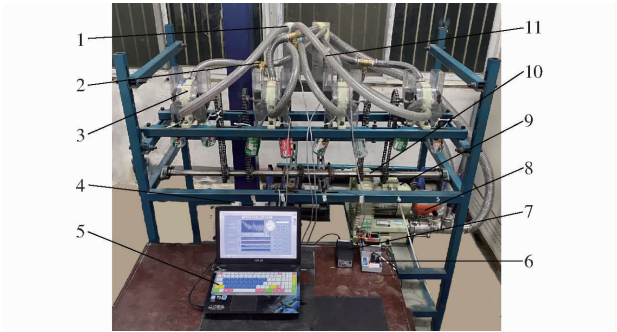


图 6 负压管控油菜精量播种试验台

Fig. 6 Negative pressure control of rapeseed precision seeding test-bed

1. 配气机构 2. 压力传感器 3. 扰动气力式精量排种器 4. 电机
5. 上位机 6. 数据采集卡 7. 直流电源 8. 电动阀门 9. 旋涡风机
10. 过渡轴 11. 输气软管

机、锥柱锥列式配气机构、FRSQT11F-16P 型电动阀门、过渡轴和油菜扰动气力式精量排种器等。

3.2 试验条件

试验选取种盘转速和干路负压为试验因素,根据前期研究可知^[17,28],江淮地区油菜播种作业速度为 3~7 km/h,满足实际需要的种盘转速为 20~60 r/min,对应干路负压为 1 000~3 000 Pa。因此管路负压监测试验选取的试验因素水平如表 2 所示。

表 2 试验因素水平

Tab. 2 Factors and levels

水平	干路负压/Pa	种盘转速/(r·min ⁻¹)
1	1 000	20
2	2 000	40
3	3 000	60

干路出口负压通过调节电动阀门开度进行控

制,台架试验前需确定干路负压与电动阀门开度的对应关系,因此需开展干路负压与阀门开度匹配试验。由于试验台工作过程中排种轴不转动时负压波动较小,可通过风压计直接测量读取干路负压,以 SG-312 型风量风压计测量数据作为实测值,通过实时调节电动阀门输入电压来控制电动阀门开度,调整干路负压。通过 NI-9263 型电压输出模块将输入电动阀门电压从 0 V 到 10 V 每次增加 0.5 V,记录电动阀门实际开度及其对应的干路负压,计算通过风压计读取的 3 min 内的平均负压,每组试验重复 3 次,结果如图 7 所示。

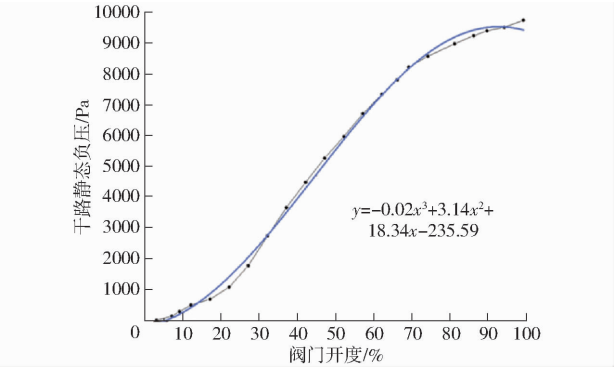


图 7 阀门特性曲线与拟合方程

Fig. 7 Valve characteristic curve and fitting equation

利用 Origin 软件对图 7 结果进行多项式拟合得到曲线方程为

$$y = -0.02x^3 + 3.14x^2 + 18.34x - 235.59 \quad (4)$$

式(4)模型决定系数 R^2 为 0.993 9,表明拟合模型显著。根据拟合曲线方程计算干路负压为 1 000、2 000、3 000 Pa 时阀门开度并利用风压计进行实测,结果如表 3 所示。

表 3 阀门开度与干路负压对应关系

Tab.3 Corresponding relationship between valve opening and main negative pressure

负压设定值/Pa	阀门开度/%	实测值/Pa
1 000	18.3	1 018
2 000	26.4	1 997
3 000	33.5	3 008

3.3 试验方法

3.3.1 管路负压监测系统标定试验

以风压计测量数据为实测值,监测系统采集数据为监测值,管路负压均在排种轴转动条件下进行测量。试验方法为:调节电动阀门开度分别为 18.3%、26.4% 和 33.5%,调节变频控制箱输出频率分别为 6、12、18 Hz,记录时间 3 min 内风压计和管路负压监测系统 2 种方法测量干路负压,并计算其平均值和标准差,以平均值和标准差作为该工况下管路负压。由于在排种轴转动条件下管路负压波动较大,风压计实测值不易连续读取,通过高清视频连续记录,数据统计时采用倍速慢放的方法获取离散数据;管路负压监测值则直接由上位机前面板界面获取,2 种采集数据方式对比如图 8 所示。每组试验重复 3 次,以测量相对偏差和负压稳定性变异系数为评价指标,计算 2 种方法测定数据平均值的相对偏差以及 3 次重复试验的负压稳定性变异系数,其计算式为

$$\left\{ \begin{aligned} E &= \frac{|p_a - p_b|}{p_a} \times 100\% \\ S &= \frac{\sqrt{\frac{1}{x} \sum_{x=1}^3 (p_x \bar{p}_b)^2}}{\bar{p}_b} \times 100\% \end{aligned} \right. \quad (5)$$

式中 E ——测量相对偏差,%
 p_a ——风压计实测值,Pa
 p_b ——监测系统监测值,Pa
 $\bar{p}_b$ ——各支路负压平均值,Pa
 S ——负压稳定性变异系数,%
 x ——重复试验次数,取 3
 p_x ——第 x 次重复试验监测系统监测值,Pa

3.3.2 干支路负压监测性能试验

为确定气力式油菜精量排种器多行并联排种时各支路间负压分配的均匀性、波动稳定性以及干路负压传递到各支路时气压损失情况,开展干、支管路负压监测性能试验,利用监测系统采集时间 3 min 内多行排种装置干路和各支路的负压,并计算其平均值和标准差,均以平均值±标准差作为该工况下干、支管路负压。试验以波动稳定性标准差、支路负

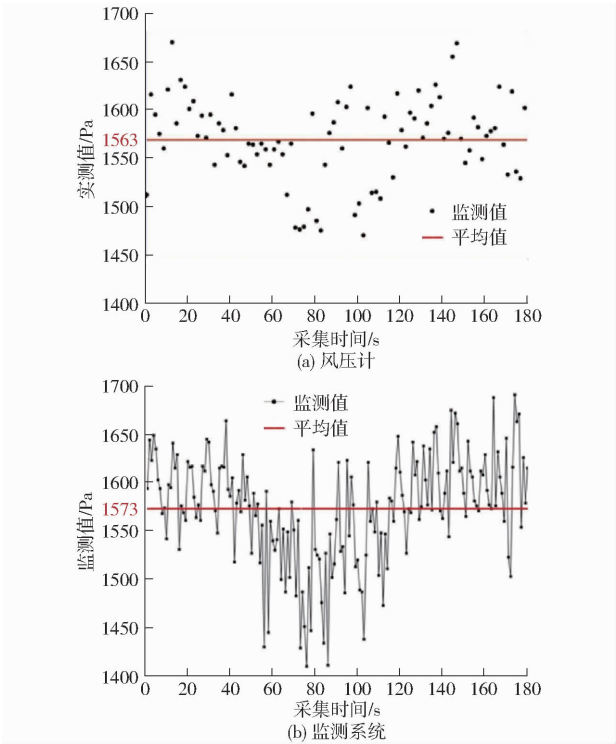


图 8 2 种采集方式数据对比

Fig.8 Data comparison of two collection methods

压均匀性变异系数和负压损失率为评价指标,计算式为

$$\left\{ \begin{aligned} \partial &= \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (p_i - \bar{p})^2} \\ K &= \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (p_j - \bar{p}_b)^2}}{\bar{p}_b} \times 100\% \\ L &= \frac{p_m - p_c}{p_m} \times 100\% \end{aligned} \right. \quad (6)$$

式中 ∂ ——各支路负压波动稳定性标准差,Pa
 K ——支路负压均匀性变异系数,%
 p_i ——第 i 秒某一支路负压,Pa
 $\bar{p}$ —— t 时间段内某一支路负压平均值,Pa
 n ——支路数目,取 4
 p_j ——各支路负压,Pa
 L ——负压损失率,%
 p_m ——干路负压平均值,Pa
 p_c ——各支路负压平均值,Pa

3.4 标定试验

表 4 为标定试验测定结果。由表 4 可知,当种盘转速 20~60 r/min、阀门开度 18.3%~33.5% 时,监测系统监测值与风压计实测值相对偏差不大于 3.63%,重复试验所得的负压稳定性变异系数不大于 2.97%,表明监测系统精度可靠性和监测稳定性较好,可满足后续试验对管路负压监测的要求。

表 4 监测系统标定试验结果统计

Tab.4 Results statistics of calibration test of monitoring system

种盘转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	阀门 开度/%	实测值/ Pa	监测值/ Pa	E/%	S/%
20	18.3	1 537 ± 51	1 538 ± 54	0.65	1.34
	26.4	3 552 ± 352	3 423 ± 364	3.63	0.48
	33.5	5 768 ± 1 171	5 751 ± 1 092	0.29	1.68
40	18.3	1 529 ± 56	1 552 ± 50	1.50	2.96
	26.4	3 035 ± 215	3 083 ± 206	1.58	0.96
	33.5	4 307 ± 678	4 323 ± 654	0.37	2.40
60	18.3	1 576 ± 53	1 581 ± 61	0.32	2.43
	26.4	2 997 ± 212	2 912 ± 201	2.84	2.97
	33.5	4 302 ± 636	4 312 ± 647	0.23	0.36

3.5 干支路负压监测性能试验

表 5 为测定的干、支管路在不同阀门开度和种盘转速下负压监测试验结果。从表 5 可得,当种盘转速 20 ~ 60 r/min、阀门开度 18.3% ~ 33.5% (干路静态负压 1 000 ~ 3 000 Pa) 时,具有锥柱锥列式配气机构的短程配气系统负压损失率不大于 18.99%,支路负压均匀性变异系数均不大于 2.3%,各行排

量一致性变异系数不大于 4.27%。在相同种盘转速下,随着阀门开度增大,干支路动态负压均呈上升趋势、负压损失率呈下降趋势;在相同阀门开度下,随着种盘转速的增大,干支路动态负压均呈下降趋势、负压损失率呈上升趋势。由此分析可知,干路负压经输气管道和配气装置分配给各支路单体排种器时会产生一定的负压损失,这种负压损失受气流在管道内传输过程中固有阻力和各支路管道非等距布局等因素影响,实际播种过程中干路负压应保有一定阈值且不宜过低,过低会增大负压损失率,导致支路负压的有效利用率降低,以致排种器工作时存在种子漏充造成各行排量不匀的问题。因此,气力式油菜精量排种器多行顺畅播种需给予各支路拥有额定负压的前提下,确保干路负压有一定阈值。在不同种盘转速和阀门开度下,各支路负压波动稳定性标准差相差不大,表明各支路负压波动幅度大致相同且负压分配均匀性较好。当阀门开度为 18.3% 时,干、支路负压较小,各行排量一致性变异系数随种盘转速增大呈上升趋势;当阀门开度为 26.4% 和 33.5% 时,各行排量一致性变异系数随种盘转速的

表 5 干支路负压监测试验结果

Tab.5 Main branch negative pressure monitoring test results

种盘转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	阀门开度/ %	干路负压/ Pa	支路 1 负压/ Pa	支路 2 负压/ Pa	支路 3 负压/ Pa	支路 4 负压/ Pa	L/%	K/%	各行排量一致 性变异系数/%
20	18.3	1 785 ± 73	1 526 ± 51	1 560 ± 56	1 564 ± 57	1 558 ± 52	13.07	1.13	3.36
	26.4	4 314 ± 675	3 918 ± 634	3 963 ± 648	3 967 ± 661	3 968 ± 666	8.36	0.61	3.17
	33.5	6 173 ± 1 342	5 835 ± 1 268	5 707 ± 1 241	5 884 ± 1 296	5 861 ± 1 287	5.69	1.36	3.28
40	18.3	1 412 ± 51	1 164 ± 39	1 196 ± 45	1 199 ± 43	1 182 ± 41	16.07	1.35	4.01
	26.4	3 739 ± 421	3 339 ± 205	3 379 ± 208	3 390 ± 221	3 405 ± 226	9.64	0.84	3.21
	33.5	6 010 ± 1 231	5 680 ± 1 172	5 544 ± 1 019	5 698 ± 1 184	5 649 ± 1 153	6.11	1.22	3.34
60	18.3	1 352 ± 45	1 059 ± 29	1 102 ± 43	1 117 ± 45	1 105 ± 43	18.99	2.31	4.27
	26.4	3 599 ± 364	3 142 ± 205	3 196 ± 208	3 213 ± 215	3 236 ± 220	11.17	1.25	3.46
	33.5	5 450 ± 876	5 159 ± 1 065	5 051 ± 973	5 102 ± 994	5 107 ± 1 032	6.33	0.86	3.49

增大无明显变化。
本试验以支路 2 为例,利用 Origin 软件分析其
在不同种盘转速和阀门开度条件下的负压动态变化情况,如图 9 所示。

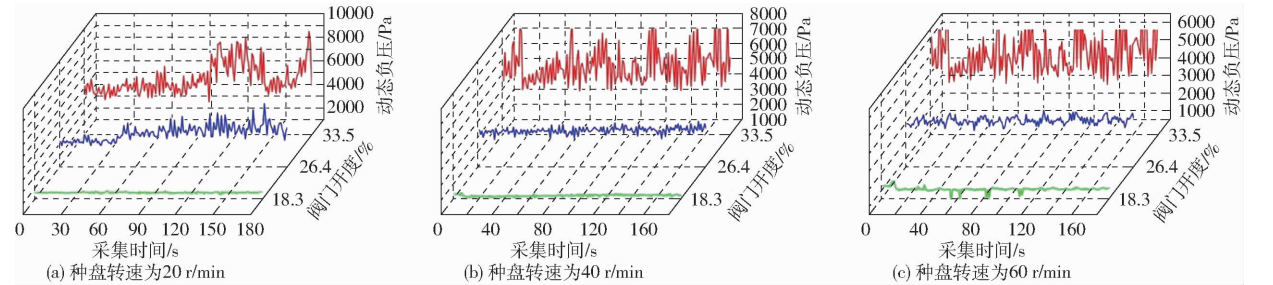


图 9 不同种盘转速和阀门开度条件下某一支路动态负压波动情况

Fig.9 Dynamic negative pressure fluctuation of certain branch under different seed plate speed and valve opening conditions

由表 5 和图 9 可知,当阀门开度为 18.3% 时,排种装置动态负压较小,排种器工作时存在漏吸现象,且随种盘转速增大,干支路动态负压均呈下降趋势,各行排量一致性变异系数随之上升;当阀门开度

为 26.4% 和 33.5% 时, 阀门开度增大直接引起干支路动态负压上升, 进而引起负压波动幅度增大, 但各行排量一致性变异系数未发生明显波动。表明适当增大阀门开度既可抑制型孔漏充, 又可确保各行排量一致性。

排种器工作时, 工作区域可划分为充种区、携种区、卸种区和过渡区 4 部分, 图 10 为 4 种不同结构型式种盘的工作区域划分。

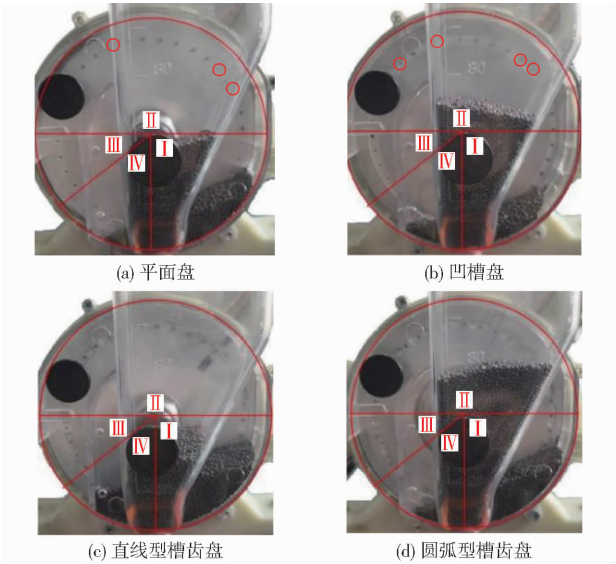


图 10 排种器工作区域划分

Fig. 10 Working area of seed-metering device

I. 充种区 II. 携种区 III. 卸种区 IV. 过渡区

种盘定向转动时, 油菜种子在负压吸力作用下被种盘型孔吸附, 种子堵塞了型孔, 此时动态负压增大; 当吸运种子型孔到达卸种区时, 种子在重力和正压吹送共同作用下脱离型孔, 此时动态负压减小, 因此与排种器相连的支路负压会随着种子在充种区和携种区吸附于型孔以及种子在卸种区脱离型孔 2 种状态变化而产生波动。由图 10 可得, 处于过渡区处的型孔始终没有种子吸附, 部分支路负压会通过过渡区处的型孔流出, 随着阀门开度增大, 旋涡风泵产生的负压增大, 从过渡区未吸附种子的型孔处流出的支路负压增多, 导致产生的波动幅度增大。在田间播种作业时, 工作负压由旋涡风泵提供, 旋涡风泵由拖拉机提供动力, 在机组起步和降速 2 个阶段, 实际动态负压均处于较小范围, 在气力式油菜精量排种器上安装传统型种盘(平面盘、凹槽盘)各行排量一致性不易保证, 应用对种群定向扰动的新种盘(直线型槽齿盘或圆弧型槽齿盘)可抑制低负压条件下型孔漏吸。

4 田间试验

4.1 试验设备与方法

为验证设计的气力式油菜精量排种器管路负压

监测系统田间工作可靠性及稳定性, 在安徽省安庆市怀宁县进行了油菜播种及田间试验, 所播土地为稻油轮作地块, 残留稻茬较高。试验设备以 2BQG-8 型气力式油菜精量播种机为试验平台, 配套动力选用东方红 LY-1204D 型轮式拖拉机, 在播种机上安装前期研制的油菜扰动气力式排种器和管路负压监测系统, 在干路负压气力管道和各支路负压气力管道上分别使用金属三通阀来安装压力传感器, 进行田间试验验证。

如图 11 所示, 在田间播种过程中, 将拖拉机前进速度设置为 2.6 km/h (慢 I 挡)、3.3 km/h (慢 II 挡)、4.5 km/h (慢 III 挡) 3 个挡位, 利用转速测量仪测得对应的种盘转速为 23.1、34.2、44.5 r/min。为确定气力式油菜精量排种器在田间不同作业速度排种时各支路间负压分配的均匀性、波动稳定性以及干路负压传递到各支路时气压损失情况, 开展田间干、支管路负压监测性能试验, 利用管路负压监测系统采集 3 min 内多行排种装置干路和各支路的负压, 重复 3 组试验, 计算支路负压均匀性变异系数、负压损失率及各行排量一致性变异系数。



图 11 田间试验

Fig. 11 Field test

4.2 试验结果分析

油菜气力式播种机在田间实际排种作业中受振动影响, 田间试验结果与台架试验结果存在一定误差。由表 6 可知, 田间实际播种作业时, 当种盘转速为 23.1、34.2、44.5 r/min 时, 负压损失率不大于 18.75%, 支路负压均匀性变异系数不大于 2.95%, 各行排量一致性变异系数不大于 4.52%。田间试验表明, 在符合油菜播种农艺要求条件下, 结合机具作业速度, 在播种机正常工作速度区间内, 管路负压监测系统在田间工作稳定、试验可靠。

5 结论

(1) 基于虚拟仪器技术设计了一种气力式油菜

表 6 管路负压监测系统田间试验结果

Tab.6 Field test results of pipeline negative pressure monitoring system

种盘转速/ ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	干路 负压/Pa	支路 1 负压/Pa	支路 2 负压/Pa	支路 3 负压/Pa	支路 4 负压/Pa	负压损失率/ %	负压均匀性 变异系数/%	各行排量一致性 变异系数/%
23.1	1 962	1 628	1 637	1 589	1 661	17.02	2.21	3.10
	1 879	1 551	1 532	1 548	1 580	17.51	2.33	3.01
	1 934	1 613	1 601	1 572	1 625	16.65	2.18	3.15
34.2	1 998	1 634	1 598	1 654	1 610	18.19	2.69	3.95
	2 055	1 717	1 731	1 695	1 763	16.43	2.79	3.86
	2 039	1 688	1 714	1 734	1 681	17.21	2.57	3.97
44.5	2 141	1 755	1 701	1 748	1 759	18.01	2.63	4.46
	2 089	1 700	1 689	1 732	1 667	18.59	2.95	4.52
	2 176	1 768	1 704	1 776	1 752	18.75	2.86	4.39

精量排种管路负压监测系统,该装置实现了干、支路动态负压同步监测,并对管路负压监测系统精度进行了标定,试验结果表明:在种盘转速 20 ~ 60 r/min、阀门开度 18.3% ~ 33.5% (干路静态负压 1 000 ~ 3 000 Pa)条件下,监测系统监测值与对照组实测值偏差均不大于 3.63%,负压稳定性变异系数不大于 2.97%,其精度可满足实际需要。

(2)台架试验表明,当种盘转速 20 ~ 60 r/min、阀门开度 18.3% ~ 33.5% (干路静态负压1 000 ~ 3 000 Pa)时,在相同种盘转速下,随着阀门开度增大,干支路动态负压均呈上升趋势、负压损失率呈下

降趋势;在相同阀门开度下,随着种盘转速增大,干支路动态负压均呈下降趋势、负压损失率呈上升趋势;具有锥柱锥列式配气机构的短程配气系统负压损失率不大于 18.99%,支路负压均匀性变异系数不大于 2.3%,各行排量一致性变异系数不大于 4.27%。

(3)田间试验表明,当播种作业的种盘转速为 23.1、34.2、44.5 r/min 时,负压损失率均不大于 18.75%,支路负压均匀性变异系数不大于 2.95%,各行排量一致性变异系数不大于 4.52%,管路负压监测系统田间工作性能良好。

参 考 文 献

[1] 廖庆喜,雷小龙,廖宜涛,等. 油菜精量播种技术研究进展[J]. 农业机械学报,2017,48(9):1-16.
LIAO Qingxi, LEI Xiaolong, LIAO Yitao, et al. Research progress of precision seeding for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(9): 1-16. (in Chinese)

[2] 廖宜涛,李成良,廖庆喜,等. 播种机导种技术与装置研究进展分析[J]. 农业机械学报,2020,51(12):1-14.
LIAO Yitao, LI Chengliang, LIAO Qingxi, et al. Research progress of seed guiding technology and device of planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(12): 1-14. (in Chinese)

[3] 王宝山,王磊,廖宜涛,等. 小粒径种子精量穴播集排器型孔轮设计与试验[J]. 农业机械学报,2022,53(11):64-75,119.
WANG Baoshan, WANG Lei, LIAO Yitao, et al. Design and test of seeding wheels of precision hill-seeding centralized metering device for small particle size seeds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(11): 64-75, 119. (in Chinese)

[4] 丛锦玲,余佳佳,曹秀英,等. 油菜小麦兼用型气力式精量排种器[J]. 农业机械学报,2014,45(1):46-52.
CONG Jinling, YU Jiajia, CAO Xiuying, et al. Design of dual purpose pneumatic precision metering device for rape and wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 46-52. (in Chinese)

[5] 廖庆喜,李继波,覃国良. 气力式油菜精量排种器试验[J]. 农业机械学报,2009,40(8):44-48.
LIAO Qingxi, LI Jibo, QIN Guoliang. Experiment of pneumatic precision seed dispenser for rape[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 44-48. (in Chinese)

[6] 李兆东,杨文超,张甜,等. 油菜高速精量排种器槽齿组合式吸种盘设计与吸附性能试验[J]. 农业工程学报,2019,35(1):12-22.
LI Zhaocong, YANG Wenchao, ZHANG Tian, et al. Design and suction performance test of sucking-seed plate combined with groove-tooth structure on high speed precision metering device of rapeseed[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(1): 12-22. (in Chinese)

[7] 李淑娟,陈涛,李衣菲,等. 正负气压-型孔轮组合式谷子穴播排种器设计与试验[J]. 农业机械学报,2021,52(6):83-94.
YI Shujuan, CHEN Tao, LI Yifei, et al. Design and test of millet hill-drop seed-metering device with combination of positive-negative pressure and hole wheel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(6): 83-94. (in Chinese)

[8] 杨松,廖宜涛,廖庆喜. 2BFQ-6 型油菜精量联合直播机气力式排种系统试验研究[J]. 农业工程学报,2012,28(17):57-62.
YANG Song, LIAO Yitao, LIAO Qingxi. Experimental study on pneumatic seed-metering system of 2BFQ-6 precision planter for rapeseed[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(17): 57-62. (in Chinese)

[9] 李林. 气吸式排种器理论及试验的初步研究[J]. 农业机械学报,1979,10(3):56-63.
LI Lin. A preliminary study on the theory and experimentation of the suction-type metering device for precision drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1979, 10(3): 56-63. (in Chinese)

- [10] 舒彩霞,韦跃培,廖宜涛,等. 油菜气力式排种系统参数对其负压特性的影响及漩涡风泵选型[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 26–33.
SHU Caixia, WEI Yuepei, LIAO Yitao, et al. Influence of air blower parameters of pneumatic seed-metering system for rapeseed on negative pressure characteristics and air blower selection[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(10): 26–33. (in Chinese)
- [11] 李兆东,雷小龙,曹秀英,等. 油菜精量气压式集排器的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 9–17.
LI Zhaodong, LEI Xiaolong, CAO Xiuying, et al. Design and experiment of pneumatic-typed precision centralized metering device for rapeseed[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7): 9–17. (in Chinese)
- [12] 雷小龙,杨文浩,杨龙君,等. 油菜精量穴播集中排种装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 54–64.
LEI Xiaolong, YANG Wenhao, YANG Longjun, et al. Design and experiment of seed hill-seeding centralized metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 54–64. (in Chinese)
- [13] 丁力,杨丽,张东兴,等. 气吸式排种器卸种机构设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(1): 37–46.
DING Li, YANG Li, ZHANG Dongxing, et al. Design and test of unloading mechanism of air-suction seed metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(1): 37–46. (in Chinese)
- [14] 张青松,余琦,王磊,等. 油菜勺式精量穴播排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(6): 47–54, 64.
ZHANG Qingsong, YU Qi, WANG Lei, et al. Design and experiment of scoop-type precision hole metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(6): 47–54, 64. (in Chinese)
- [15] 李衍军,刘友华,刘立晶. 气送式播种机输种管长度影响管内气流分布的机理分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(6): 55–64.
LI Yanjun, LIU Youhua, LIU Lijing. Distribution mechanism of airflow in seed tube of different lengths in pneumatic seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(6): 55–64. (in Chinese)
- [16] 廖宜涛,廖庆喜,王磊,等. 气力式小粒径种子精量排种器吸种效果影响因素研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24): 10–17.
LIAO Yitao, LIAO Qingxi, WANG Lei, et al. Investigation on vacuum singulating effect influencing factors of pneumatic precision seed metering device for small particle size of seeds[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(24): 10–17. (in Chinese)
- [17] 李兆东,杨文超,武尧尧,等. 油菜气力盘式精量排种器槽齿辅助充种性能分析与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 57–66.
LI Zhaodong, YANG Wenchao, WU Yaoyao, et al. Performance analysis and experiments of seed filling assisted by groove-tooth of pneumatic disc precision metering device for rapeseed[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(20): 57–66. (in Chinese)
- [18] 丁幼春,刘伟鹏,董万静,等. 基于排种频率实时反馈的油菜排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(6): 73–82.
DING Youchun, LIU Weipeng, DONG Wanjing, et al. Design and experiment of seed metering device for rapeseed based on seeding frequency feedback[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(6): 73–82. (in Chinese)
- [19] 谢东波,张春岭,吴晓庆,等. 扰种齿辅助气吸式大蒜排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(2): 47–57.
XIE Dongbo, ZHANG Chunling, WU Xiaoqing, et al. Design and test of garlic seed placer with seed disturbing tooth assisted air suction[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(2): 47–57. (in Chinese)
- [20] 廖庆喜,沈文惠,王磊,等. 油菜高速机械离心式集排器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2024, 55(7): 154–167.
LIAO Qingxi, SHEN Wenhui, WANG Lei, et al. Design and experiment of high-speed mechanical centrifugal centralized seed metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(7): 154–167. (in Chinese)
- [21] 廖宜涛,刘嘉诚,廖庆喜,等. 正负气压组合滚轮式油菜精密排种器设计与试验[J]. 农业机械学报, 2024, 55(5): 63–76.
LIAO Yitao, LIU Jiacheng, LIAO Qingxi, et al. Design and test of positive and negative pressure combination roller type precision seed-metering device for rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(5): 63–76. (in Chinese)
- [22] 秦伟,王在满,王钰静,等. 气吸式播种机多分支汇流管路气压损失分析与试验[J]. 农业工程学报, 2023, 39(10): 1–14.
QIN Wei, WANG Zaiman, WANG Yujing, et al. Analysis and test of air pressure loss in multi-branch bus line of suction seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(10): 1–14. (in Chinese)
- [23] 廖宜涛,舒彩霞,廖庆喜,等. 油菜精量直播机气力式排种系统稳压控制方法与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(15): 49–56.
LIAO Yitao, SHU Caixia, LIAO Qingxi, et al. Pressure control method and experiment of pneumatic seeding system for precision sowing machine of rape[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(15): 49–56. (in Chinese)
- [24] 施彬彬,郑娟,王磊,等. 小粒径种子气力自适应排种系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(8): 30–41.
SHI Binbin, ZHENG Juan, WANG Lei, et al. Design and experiment of pneumatic adaptive seeding system for small particle size seeds[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(8): 30–41. (in Chinese)
- [25] RAVEENDRA P, REDDY S V, SUBBAIAH G. Vision based weed recognition using LabVIEW environment for agricultural applications[J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 23(Pt 3): 483–489.
- [26] 汪凤珠,赵博,刘阳春,等. 玉米青贮收获机多参数检测系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2023, 54(1): 127–136.
WANG Fengzhu, ZHAO Bo, LIU Yangchun, et al. Design and test of multi-parameter detection system for corn silage harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(1): 127–136. (in Chinese)
- [27] BEYAZ A, GERDAN D. Potato classification by using ultrasonic sensor with LabVIEW[J]. Agricultural Science Digest, 2020, 40(4): 376–381.
- [28] 李兆东,何顺,钟继宇,等. 油菜扰动气吸式穴播排种器参数优化与试验[J]. 农业工程学报, 2021, 37(17): 1–11.
LI Zhaodong, HE Shun, ZHONG Jiyu, et al. Parameter optimization and experiment of the disturbance air-suction hole metering device for rapeseed[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(17): 1–11. (in Chinese)