

玉米精量排种器排种质量自动检测仪设计与试验

和贤桃 郝永亮 赵东岳 张东兴 崔涛 杨丽

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要: 为了方便、准确地检测不同种类玉米精量排种器的排种性能参数,设计了一种排种质量自动检测仪。该检测仪由 PLC、伺服电动机、光电传感器、触摸屏组成,可以在不同播种参数(如播种粒距、播种速度、排种盘型孔数)下实时检测排种器的合格率、漏播率、重播率、粒距变异系数等播种质量参数,并可以检测指夹式排种器各个指夹的重播数和漏播数,同时对种子的下落情况进行实时的动画模拟;当下种粒数达到设定的下种目标时,系统自动停止检测并将检测到的排种质量参数自动显示和保存。为验证该检测系统的检测精度,分别与 JPS-12 型检测台和 MeterMax 型排种器检测仪进行了对比试验,试验结果表明:在 4、8、12 km/h 3 种播种行进速度下,本文检测仪的检测精度与 JPS-12 型检测台的检测精度相近(检测结果相差不超过 2%);在 4~12 km/h 的速度下,本文检测仪的检测精度与 MeterMax 型排种器检测仪的检测精度也相近(对指夹式排种器的检测结果相差小于 2%,对气吸式排种器的检测结果相差小于 0.7%)。试验证明该检测仪的检测精度符合使用要求。

关键词: 玉米排种器;播种质量;自动检测;设计;试验

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)10-0019-09

Design and Experiment of Testing Instrument for Maize Precision Seed Meter's Performance Detection

He Xiantao Hao Yongliang Zhao Dongyue Zhang Dongxing Cui Tao Yang Li

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to test the performance of different types of maize precision seed meters accurately and conveniently, an instrument for testing seed meter's performance was designed. Utilizing PLC as control component, the instrument can achieve driving seed meter by servo motor, detecting falling seeds by photoelectric seed sensor, setting planting parameters and displaying detection results by touch screen. Besides, under different planting parameters (i. e., seed spacing, planting speed, and number of holes on seed plate), it can real-time test seed meter's seeding performance indices, such as quality of feed index, miss index, multiple index and precision index. Meanwhile, the instrument can detect the multiple and miss number of each clip in finger pick-up seed meter and make real-time animation simulation to the dropping situation of seeds. When the quantity of dropping seeds met the number set out, the instrument would stop detecting and save the results automatically. To verify the detection precision of the instrument, a comparison experiment with JPS-12 seed meter detection platform and MeterMax seed meter detector was carried out. Experimental results showed that the instrument and JPS-12 seed meter detection platform's performance were almost the same at three speeds of 4 km/h, 8 km/h and 12 km/h, and the quality of feed index for testing finger pick-up seed meter was differed by less than 2%. The detection precision of the instrument and MeterMax seed meter detector were much the same at

收稿日期: 2016-07-13 修回日期: 2016-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51575515)、国家玉米产业技术体系项目(CARS-02)和农业部土壤-机器-植物系统技术重点实验室项目

作者简介: 和贤桃(1990—),男,博士生,主要从事农业装备智能化研究,E-mail: hxt@cau.edu.cn

通信作者: 杨丽(1975—),女,副教授,博士生导师,主要从事农业装备智能化和玉米生产全程机械化研究,E-mail: yl_hb68@126.com

nine speeds from 4 km/h to 12 km/h, because the results for testing finger pick-up seed meter were differed by less than 2% and the results for testing air-suction seed meter were differed by less than 0.7%. As a consequence, the instrument met requirements for testing seed meter's performance.

Key words: maize seed meter; quality of seed metering; automatic detection; design; experiment

引言

播种质量对作物产量有重要影响,而排种器是影响播种质量的关键部件^[1-5],所以对排种器排种性能的检测就显得尤为重要。目前,实验室内对排种器排种质量的检测方法主要有:①基于图像处理的检测方法^[6-11]。②基于高速摄影的检测方法^[12-15]。③基于虚拟仪器的检测方法^[16-17]。④基于光电传感器的检测方法。美国 Precision Planting 公司研发的 MeterMax 型检测仪^[18-19]是基于光电传感器的先进检测设备,其特点是操作简单、检测迅速、结果准确,但针对我国实际应用还存在以下问题:其输出扭矩和风压风量很难与国产排种器相匹配,其参数设置与国内使用习惯存在差异,当下种个数达到设定下种目标时不能自动停止工作。国内目前在排种器排种质量检测方面的研究还处于理论研究和实验阶段,能应用于生产实践的较少,其中 JPS-12 型检测台^[20-21]是应用于科研机构的一款排种器排种质量检测设备,但由于其体积庞大、价格高、检测速度慢、不适用于高速检测等原因,使其很难广泛应用于生产实践。针对以上问题,本文设计一套基于 PLC 和光电传感器的排种质量检测仪。

1 检测仪整体结构及工作原理

检测仪的整体结构分为机械部分和控制部分。机械部分主要由总支撑架、排种器支架、电机减速器等组成;控制部分主要由 PLC、触摸屏、伺服电动机、光电传感器等组成。其整体结构如图 1 所示,检测仪的控制系统结构如图 2 所示。检测仪的工作原理为:

检测前,先将需要检测的排种器安装于检测仪的排种器支架上,给检测仪上电,待检测系统启动后,通过触摸屏主界面上的“设置”按钮进入检测仪的“设置与历史记录”界面,在此界面设置播种速度、标准粒距、排种盘型孔数、下种目标等播种参数后,通过“返回”按钮返回主界面。

检测时,按下主界面上的“启动”按钮,排种器在伺服电动机的带动下开始工作,待排种器工作稳定后,按下“开始”按钮,则检测仪开始对排种器的排种性能进行检测。在检测过程中,主显示界面实时显示排种器下种粒数、合格率、漏播率、重播率、平

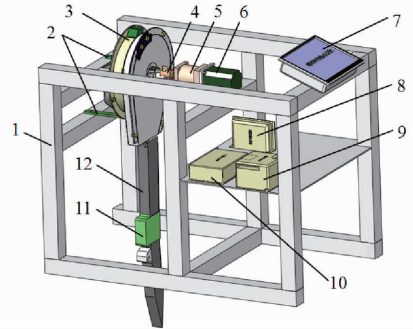


图 1 检测仪整体结构图

Fig. 1 Whole structure diagram of instrument

1. 总支撑架 2. 排种器支架 3. 排种器 4. 联轴器 5. 电动机
减速器 6. 伺服电动机 7. 触摸屏 8. 伺服驱动器 9. PLC
10. 24 V开关电源 11. 光电传感器 12. 导种管

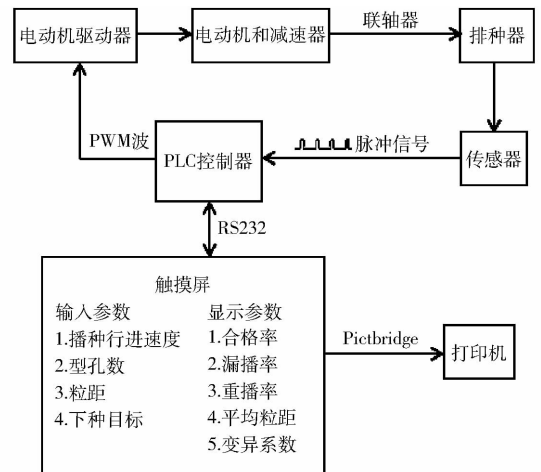


图 2 检测仪控制系统结构图

Fig. 2 Structure diagram of control system used in instrument

均粒距、粒距变异系数等播种质量参数,还可以动画模拟种子下落的过程。当检测仪检测到的下种粒数等于下种目标时,自动结束检测,同时伺服电动机停止工作。若设置的下种目标为 0,检测仪会一直检测,直到按下“结束”按钮。

检测结束后,触摸屏主界面显示该次检测的最终结果,同时检测仪对该次检测结果自动保存(最多能保存 100 次的检测结果)。用户在“设置和历史记录”界面,可以查看历次的检测结果,在连接好打印机的条件下,可根据需要选择检测结果进行打印。

2 检测仪控制系统设计

检测仪控制系统由排种驱动模块、排种质量参

数检测模块、人机交互模块组成。其基本检测原理是:PLC 根据用户设定的播种粒距、播种行进速度、排种盘型孔数等参数,发出一定周期的 PWM 信号控制伺服电动机驱动排种器按要求的转速工作。此时,种子连续不断地通过装有光电传感器的导种管,当有一粒种子经过传感器时,触发传感器,传感器便会发出一个脉冲信号发送给 PLC。PLC 通过统计相邻脉冲间的定时中断(每 0.1 ms 中断一次)的次数,可得到国标中划分的各粒距区段的种子个数,进而计算出排种器的合格率、漏播率、重播率、平均粒距、粒距变异系数等参数。

2.1 排种器驱动模块

检测仪的排种驱动模块是控制系统重要的执行部件,主要由伺服电动机、伺服驱动器和减速器等组成。控制器通过伺服驱动器控制伺服电动机,伺服电动机经减速器带动排种器进行工作。为保证检测仪的检测精度,要求检测仪精准地控制电动机的转速,从而使排种盘按照要求的转速工作。经分析,排种盘转速由触摸屏上设置的播种行进速度 v 、标准粒距 L 、排种盘型孔数 N 确定,其计算公式为

$$n = \frac{5\,000v}{3NL} \quad (1)$$

式中 n ——排种盘转速, r/min
 v ——播种行进速度, km/h
 L ——标准粒距, cm
 N ——排种盘型孔数

得到排种盘所需工作转速后,通过减速器的减速比可以得到伺服电动机转速 n_1 为

$$n_1 = in \quad (2)$$

式中 n_1 ——伺服电动机转速, r/min
 i ——减速器减速比

再根据伺服驱动器的电子齿轮比 i_1 (PWM 波每发出 i_1 个脉冲伺服电动机转动一圈)得到控制伺服电动机转速的 PWM 波的周期 T 为

$$T = \frac{60\,000\,000}{n_1 i_1} \quad (3)$$

式中 T ——PWM 波周期, μs

在 PLC 控制器的 PWM 波输出模块中, PWM 波的周期为整数型数值,即按式(3)得出的周期 T 需要取整为 T' 才能被 PWM 波的输出模块所用。PWM 波周期的取整造成了 PLC 对伺服电动机转速的控制误差,使排种器不能按照所要求的转速精确转动,对排种器性能的检测精度造成一定影响。为消除该问题造成的检测误差,在进行播种质量参数计算时,使用排种器的实际播种速度作为计算依据,而非设置的播种速度。其实际播种速度为

$$v' = \frac{3\,600NL}{i_1 T'} \quad (4)$$

式中 v' ——实际播种速度, km/h

T' ——周期 T 取整后的值, μs

使用实际播种行进速度计算播种质量参数虽消除了检测误差,但检测结果与设置的播种行进速度并非精确对应,会出现速度偏差,其偏差率 μ 为

$$\mu = \frac{v' - v}{v} = \frac{T - T'}{T'} \quad (5)$$

由式(5)可知,周期 T 取值越大,速度的偏差率越小。再结合式(2)、(3)可知,减速器的减速比和伺服电动机驱动器的电子齿轮比应取较小的值,以得到较大的周期 T 和较小的偏差率 μ 。最后综合考虑排种器所需扭矩,选取减速比为 16 的减速器进行增扭 ($i = 16$),并将伺服电动机驱动器的电子齿轮比 i_1 取值为 1 000。此时,在不同的排种盘速度 (0 ~ 100 r/min) 下,速度偏差率最大仅为 1.3%。

2.2 排种质量参数检测模块

为准确检测出排种器的排种质量,对种子的下落过程进行分析,对国标中的粒距区段进行转换,同时对指夹式排种器各指夹重漏播的检测进行理论分析。

2.2.1 种子下落过程分析

在排种器工作过程中,漏播时相邻种子的间距较大,其检测较为容易,因此本文不涉及漏播过程,而只对正常播种及检测难度较大的重播进行了下种过程分析。

正常播种情况下,相邻种子下落的时间间隔为

$$T_1 = \frac{L}{v'} \quad (6)$$

式中 T_1 ——相邻种子的时间间隔

由式(6)可知,在正常播种情况下,取最小播种粒距 10 cm,最大播种行进速度 18 km/h,则相邻种子下落的时间间隔最小为 20 ms。在用定时中断检测相邻种子下落的时间间隔时,使用时基 0.1 ms 的定时中断满足检测精度要求。

在重播情况下,种子的下落过程如图 3 所示。

在图 3 中, A 点为排种器下种口, B 点为传感器

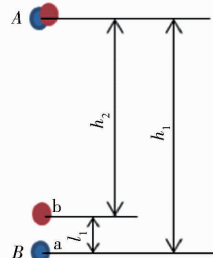


图 3 重播时种子下落模型

Fig. 3 Model of seed falling for multiple seeds

的安装位置, a、b 为从同一个型孔中下落的种子。为方便分析, 种子下落过程只考虑竖直方向的速度, 且假设种子从同一型孔下落时初速度相同。设 a、b 2 粒种子从 A 点以 Δt 的时间差先后落下, 且从 A 点下落的初速度均为 v_1 , 当 a 种子下落到传感器位置 B 时, a、b 2 粒种子在竖直方向的间距为 l_1 , 则数学模型为

$$h_1 = \frac{1}{2}gt^2 + v_1t \quad (7)$$

$$h_2 = \frac{1}{2}g(t - \Delta t)^2 + v_1(t - \Delta t) \quad (8)$$

$$l_1 = h_1 - h_2 \quad (9)$$

式中 t ——a 种子下落到传感器位置的时间

由式(7)~(9)可得

$$l_1 = g\Delta t t + \Delta t v_1 - \frac{1}{2}g\Delta t^2$$

由于式中 Δt 为下落时间差, 数值极小, 故将式中的高次阶舍去, 则简化为

$$l_1 \approx (gt + v_1)\Delta t \quad (10)$$

刚开始下落时 a、b 2 粒种子有重叠部分, 为使传感器能够分辨出 a、b 是 2 粒种子, 当 a、b 种子下落到传感器位置时应处于分离状态(l_1 大于 a、b 种子的半径之和)。由式(10)可知, 在 Δt 为定值时, 随着 t 和 v_1 的增大, l_1 变大, h_1 也随着变大, 故 l_1 和 h_1 存在正相关性; 而实际工作时, Δt 的值存在不确定性且不受人为控制, 其值越小, a、b 种子的重叠率越高, a、b 种子到达传感器位置时越不易分开; 因此为增大 a、b 种子下落到传感器位置时分开的概率, 应尽量增大 h_1 , 故传感器的安装位置应尽量远离下种口, 有利于提高检测仪对重播的检测精度。

2.2.2 种子粒距的转换

国标《单粒(精密)播种机试验方法》中^[22], 为检测播种质量, 按标准粒距的 0~0.5 倍、0.5~1.5 倍、1.5~2.5 倍、2.5~3.5 倍、3.5 倍到无穷大划分了 5 个大的粒距区段。播种过程中, 落入每个粒距区段的粒距个数分别记为 n'_1 、 n'_2 、 n'_3 、 n'_4 、 n'_5 , 通过对 n'_1 、 n'_2 、 n'_3 、 n'_4 、 n'_5 的统计来计算各播种质量参数。

为实现对 n'_1 、 n'_2 、 n'_3 、 n'_4 、 n'_5 的统计, 需要不断地计算相邻种子间的实际粒距, 其计算公式为

$$L_1 = v't' \quad (11)$$

式中 L_1 ——实际粒距, cm

t' ——相邻种子间的间隔时间, s

为了避免对式(11)进行反复计算, 将粒距进行了转换, 用相邻种子间的中断次数来直接表示种子间的实际粒距, 并将国标中的粒距区段转换成中断次数区段。中断次数与标准粒距、设定播种速度之

间的关系为

$$n' = \frac{360L}{v} \quad (12)$$

式中 n' ——相邻种子间的中断次数

通过式(12)将粒距区段转换为中断次数区段, 如表 1 所示。

表 1 粒距区段转换表

x_i (粒距区段)	n_i (中断次数区段)	n'_i (出现次数)
(0~0.5)L	(0~180)L/v	n'_1
(0.5~1.5)L	(180~540)L/v	n'_2
(1.5~2.5)L	(540~900)L/v	n'_3
(2.5~3.5)L	(900~1260)L/v	n'_4
3.5L~+∞	1260L/v~+∞	n'_5

用表 1 中转换后的中断次数区段来统计国标中 5 个粒距区段内的粒距个数 n'_1 、 n'_2 、 n'_3 、 n'_4 、 n'_5 , 简化了播种质量参数的计算过程。

2.2.3 指夹式排种器各指夹重漏播的检测

指夹式排种器各指夹重漏播的检测对指夹式排种器十分重要, 通过检测结果可找出有问题的指夹, 从而对其进行调整或更换。

对每个指夹重漏播检测的难点在于如何准确地将种子下落触发的脉冲与各指夹一一对应。对于指夹式排种器(12 个指夹), 每个指夹对应 30° 的圆心角, 因此, 检测每个指夹的重漏播时, 指夹所对应的位置有 30° 圆心角的范围, 在这 30° 圆心角的范围内所对应的脉冲都应该属于同一个指夹, 如图 4 所示。因此, 当传感器检测到种子并触发脉冲时, 从落种口开始顺时针方向(排种盘转动的方向)30° 范围内的指夹即为该脉冲对应的指夹。为保证对应关系的准确性, 种子从排种口下落到被传感器检测到的时间范围内, 指夹转过的角度必须小于 30°。

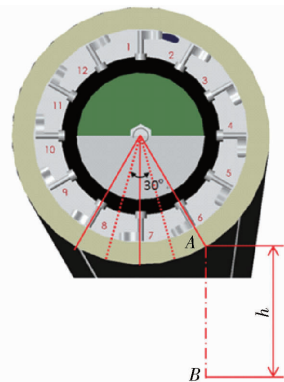


图 4 指夹位置对应示意图

Fig. 4 Diagram of matching for finger clip and pulse

经分析, 传感器距种子下落口位置的高度 h 和排种盘转速 n 是决定种子被传感器检测到时指夹转动的角度是否小于 30° 的两个重要因素, 因此本文

对其进行了相应研究。如图 4 所示, A 点为排种器下种口, B 点为传感器安装位置, 若排种盘转过 30° 的角度所用时间为 t_1 , 种子从下种口到传感器的下落时间为 t_2 , 则传感器距种子下落口位置的高度 h 、排种盘转速 n 与时间 t_1 、 t_2 之间有以下关系

$$n = \frac{5}{t_1} \quad (13)$$

$$n = \frac{100h}{t_2} - 500t_2 \quad (14)$$

式中 t_1 ——排种盘转过 30° 的角度所用时间, s
 t_2 ——种子从下种口到传感器的下落时间, s
 h ——传感器距种子下落口位置的高度, m
 分别取 h 为 0.2 m、0.1 m、0.05 m, 使用 Matlab 绘制出式(13)和式(14)的拟合曲线, 如图 5 所示。

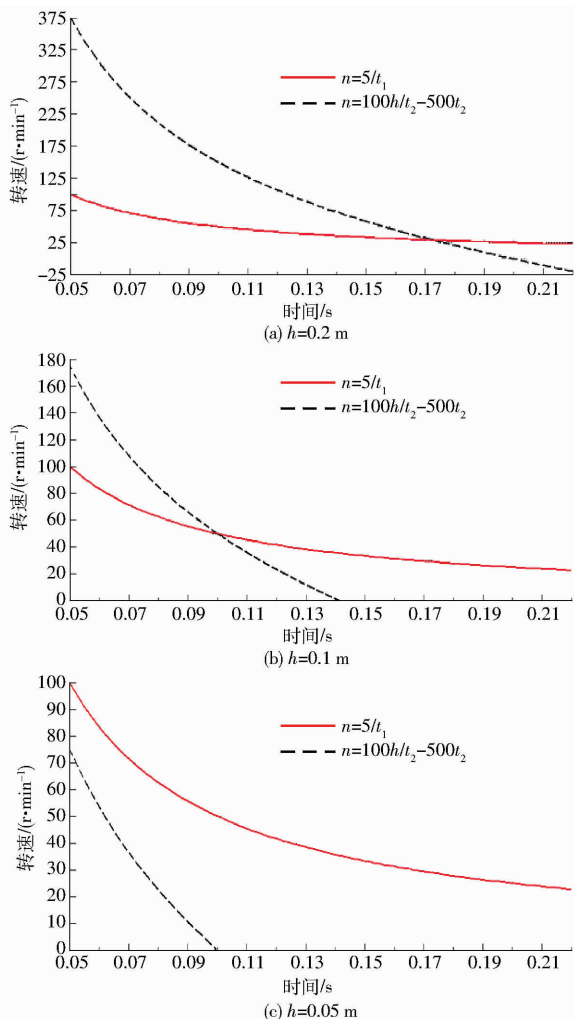


图 5 排种盘转速与时间 t_1 (或 t_2) 的拟合曲线
 Fig. 5 Matched curves of seed plate speed with time t_1 and t_2

由图 5a、5b 可知, 当 $h = 0.2$ m 时, 时间 t_1 和时间 t_2 在排种盘转速为 28 r/min 时相等, 当 $h = 0.1$ m 时, 时间 t_1 和时间 t_2 在排种盘转速为 50 r/min 时相等; 即 $h = 0.2$ m 时排种盘转速在 28 r/min 的范围内, 种子从排种口下落到被传感器检测到, 指夹转过

的角度始终小于 30°, 满足对每个指夹的检测要求; 而 $h = 0.1$ m 时, 满足检测要求的排种盘最高转速从 28 r/min 提至 50 r/min。而当 $h = 0.05$ m 时(图 5c), 在图中可显示的排种盘最高转速 100 r/min 的范围内, 始终满足检测的要求。

由以上分析可知, 当导种管上传感器的位置越靠近排种器的下种口时, 对于指夹式排种器上的每个指夹与传感器发出的脉冲匹配就越简单, 越有利于每个指夹重漏播的检测, 而在 2.2.1 节中提到, 传感器安装位置离下种口越远对重播的检测却越有利, 同时考虑到检测的排种器能达到的最高转速低于 50 r/min, 故取 $h = 0.1$ m。

2.3 人机交互模块

在人机交互模块中, 主要实现的功能包括播种参数的设置、播种质量参数的实时显示、种子下落的动画模拟、数据存储和显示。人机交互模块由主界面和设置与历史记录界面组成, 如图 6、图 7 所示。

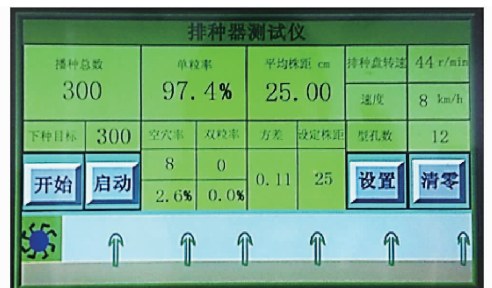


图 6 主界面
 Fig. 6 Main interface

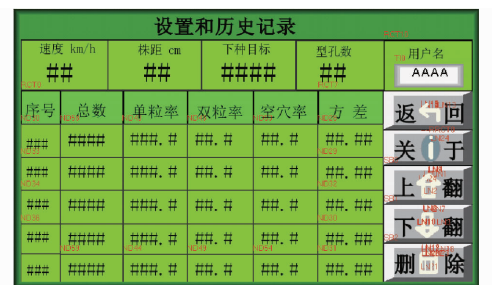


图 7 设置和历史记录界面
 Fig. 7 Interface of setups and historical records

主界面主要用来实时显示播种质量参数、设定的播种参数以及种子下落的模拟动画, 设置和历史记录界面主要用来设置播种参数、显示和操作存储的播种质量参数。人机交互模块的操作流程如图 8 所示。

在进行数据存储时, 为便于数据的管理, 将相同的播种质量参数放在连续的存储地址内。同时, 为每类播种质量参数各设置一个指针变量, 指针变量的初始值设置为每类播种质量参数存储空间的首地址。每保存一次检测结果, 各类参数指针加 1, 从而指向下一个存储地址。当指针指到存储空间之外

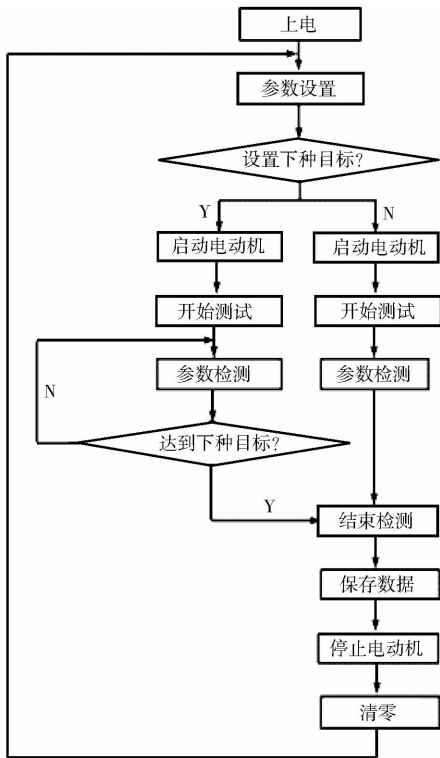


图8 人机交互模块流程图

Fig. 8 Flow chart of man-machine interaction

时,则将指针自动拉到存储地址的初始位置,开始覆盖之前保存的数据。测试仪因存储容量所限,最大保存 100 次检测结果,其数据保存流程如图 9 所示。

数据的显示也是通过指针实现,将数据的显示地址通过指针与数据的保存地址建立联系,当需要改变数据的显示或需要对数据进行上翻、下翻和删除等操作时,通过改变指针即可实现,从而大大简化了程序的编写。

3 检测仪性能试验

3.1 本文检测仪与 JPS-12 型检测台的对比试验

试验时,将检测仪放置于 JPS-12 型检测台上,检测仪上的导种管置于油带正上方,从而实现检测仪和 JPS-12 型检测台对同一排种器进行同步检测(图 10)。试验采用美国 Precision Planting 公司的指夹式排种器^[23]作为测试用排种器,分别选取 4、8、

12 km/h 3 种播种行进速度进行试验,同时将导种管尽量靠近油带。试验时先使 JPS-12 型检测台开始检测,再启动检测仪检测。试验结果如表 2 所示。

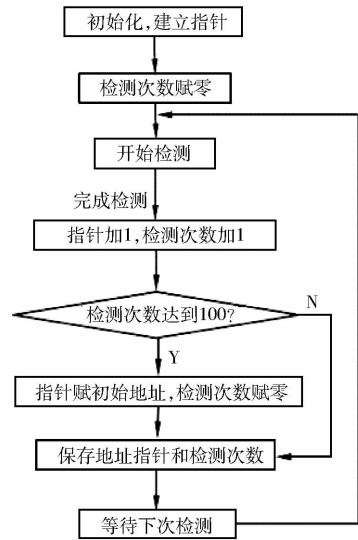


图9 数据保存流程图

Fig. 9 Flow chart of data save

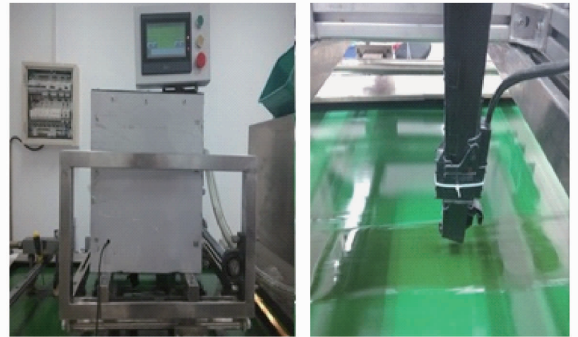


图10 本文检测仪(左)与 JPS-12 型检测台的对比试验

Fig. 10 Contrast test between designed instrument and JPS-12 seed meter detection platform

试验结果表明:在 3 个播种行进速度下,检测仪和 JPS-12 型检测台检测结果的合格率相差最大不超过 2%,且 3 个速度下,检测仪的检测结果都优于 JPS-12 型检测台的检测结果,试验结果符合预期。分析原因,种子落在传送带上时会出现弹跳,故使 JPS-12 型检测台的检测结果略差于检测仪的检测

表 2 本文检测仪与 JPS-12 型检测台对比试验结果

Tab. 2 Contrast test results between designed instrument and JPS-12 seed meter detection platform

	播种行进速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)		下种粒数	合格率/%	重播数	重播率/%	漏播数	漏播率/%	变异系数
	4	8							
本文检测仪	4	300	96.5	2	0.6	9	2.9	0.06	
	8	300	97.7	3	1.0	4	1.3	0.11	
	12	300	97.5	3	1.0	5	1.5	0.12	
JPS-12 型检测台	4	300	96.73	2	0.65	9	2.61	0.07	
	8	299	97.05	2	0.66	7	2.30	0.10	
	12	300	95.71	5	1.65	8	2.64	0.11	

结果。由以上分析可知,检测仪检测结果能准确地反映排种器的排种性能。

3.2 本文检测仪与 MeterMax 型排种器检测仪的对比试验

分别选用了美国 Precision Planting 公司生产的指夹式排种器和气吸式排种器^[24]进行了对比试验。试验中设定的播种条件完全一致:在播种行进速度均为 4~12 km/h 时测试同一个指夹式排种器以及同一个气吸式排种器,使用相同的玉米种子,每次试验加入排种器种箱中的种子数量相同,每次试验所设定的下种目标均为 1 000 粒,在检测气吸式排种器时,设定工作压力均为 5 kPa。对比试验如图 11 所示,指夹式排种器的检测结果如表 3 所示,气吸式排种器的检测结果如表 4 所示。



图 11 本文检测仪(左)与 MeterMax 型排种器检测仪(右)的对比试验

Fig. 11 Contrast test between designed instrument and MeterMax seed meter detector

表 3 指夹式排种器对比试验结果

Tab.3 Contrast test results of finger pick-up seed meter

播种行进速度/ (km·h ⁻¹)	本文检测仪			MeterMax 型排种器检测仪		
	合格率	漏播率	重播率	合格率	漏播率	重播率
4	96.6	3.4	0	95.2	4.6	0.2
5	97.8	2.2	0	96.2	3.8	0
6	97.7	2.3	0	96.0	3.9	0.1
7	98.1	1.9	0	97.0	2.9	0.1
8	97.7	2.1	0.2	97.2	2.5	0.3
9	97.8	2.0	0.2	97.9	1.8	0.3
10	98.7	1.2	0.1	98.8	0.9	0.3
11	98.9	1.0	0.1	98.6	1.0	0.4
12	98.1	1.2	0.7	97.5	1.1	1.4

(1)指夹式排种器的对比试验结果

由图 12 可知,本文检测仪和 MeterMax 型排种器检测仪对指夹式排种器的检测结果比较相近,其合格率均在 95%~98% 之间。从 4~12 km/h,两者检测出的合格率互有高低,但相差不超过 2%。由于指夹式排种器自身排种性能的波动,在相同的播种速

度下,指夹式排种器的合格率也会出现 2% 的波动,因此两者出现的检测差异极可能是由排种器的性能波动造成的。故本文设计的检测仪对指夹式排种器的检测精度符合使用要求。

表 4 气吸式排种器对比试验结果

Tab.4 Contrast test results of air-suction seed meter

播种行进速度/ (km·h ⁻¹)	本文检测仪			MeterMax 型排种器检测仪		
	合格率	漏播率	重播率	合格率	漏播率	重播率
4	99.0	0.2	0.8	99.3	0	0.7
5	99.1	0.4	0.5	99.1	0	0.9
6	99.0	0.5	0.5	99.7	0.1	0.2
7	99.5	0.1	0.1	99.5	0	0.5
8	99.1	0.3	0.6	99.6	0	0.4
9	99.2	0.5	0.3	99.1	0.1	0.8
10	99.8	0.1	0.1	99.4	0.2	0.4
11	99.2	0.2	0.6	99.7	0.1	0.2
12	99.3	0.2	0.5	99.3	0.3	0.4

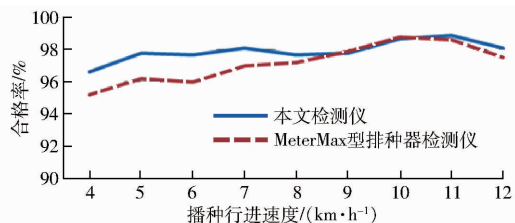


图 12 指夹式排种器合格率对比

Fig. 12 Comparison of quality of feed index for finger pick-up seed meter

(2)气吸式排种器的对比试验结果

由图 13 可知,本文检测仪和 MeterMax 型排种器检测仪对气吸式排种器的检测结果十分接近,其合格率均在 99% 以上,且两者检测合格率相差最大只有 0.7%,两者检测结果在 4~12 km/h 内互有高低,考虑到排种器本身性能的波动,可认为两者的检测精度基本一样。因此,本文所设计的检测仪对气吸式排种器的检测精度同样符合使用要求。

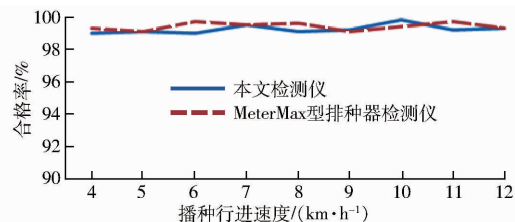


图 13 气吸式排种器合格率对比

Fig. 13 Comparison of quality of feed index for air-suction seed meter

4 结论

(1)设计了一套基于 PLC 和光电传感器的排种质量检测仪。该检测仪体积小巧,运行稳定可靠,能

进行排种器排种质量参数的实时统计计算和显示以及种子下落情况的动画模拟,检测精度高,便于应用于排种器生产线。

(2)采用实际播种行进速度作为播种质量参数的计算依据,消除了检测误差,而产生的播种速度偏差率在不同的排种盘速度(0~100 r/min)下,最大为1.3%,满足工作要求。

(3)对种子下落过程和指夹式排种器各指夹排种质量参数的检测进行了分析,得出传感器的安装位置越远离下种口越利于检测仪对重播的检测,而

越靠近下种口越有利于各指夹重漏播检测的结论。

(4)对比试验表明,本文检测仪的检测精度与JPS-12型检测台的检测精度相近(检测结果相差不超过2%);与MeterMax型排种器检测仪的检测精度也相近(对指夹式排种器的检测结果相差小于2%,对气吸式排种器的检测结果相差小于0.7%)。考虑排种器本身性能波动等随机因素的影响,认为本文设计的检测仪检测精度与对照组检测精度基本一致。

参 考 文 献

- 刘佳,崔涛,张东兴,等. 机械气力组合式玉米精密排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 43-47.
LIU Jia, CUI Tao, ZHANG Dongxing, et al. Mechanical-pneumatic combined corn precision seed-metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(2): 43-47. (in Chinese)
- 杨丽,史嵩,崔涛,等. 气吸与机械辅助助种结合式玉米精量排种器[J]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 48-53.
YANG Li, SHI Song, CUI Tao, et al. Air-suction corn precision metering device with mechanical supporting plate to assist carrying seed[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 48-53. (in Chinese)
- 李国林,宋炜,毛俐,等. 国内外几种主要排种器的特点[J]. 农业科技与装备, 2011(8): 70-71.
LI Guolin, SONG Wei, MAO Li, et al. Features of some main seed-metering devices at home and abroad[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2011(8): 70-71. (in Chinese)
- 史嵩,张东兴,杨丽,等. 气压组合孔式玉米精量排种器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 10-18.
SHI Song, ZHANG Dongxing, YANG Li, et al. Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 10-18. (in Chinese)
- 王金武,唐汉,周文琪,等. 指夹式精量玉米排种器改进设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 68-76.
WANG Jinwu, TANG Han, ZHOU Wenqi, et al. Improved design and experiment on pickup finger precision seed metering device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 68-76. (in Chinese)
- 李伟,林家春,谭豫之,等. 基于图像处理技术的种子粒距检测方法研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 165-168.
LI Wei, LIN Jiachun, TAN Yuzhi, et al. Measuring method of seed spacing on test rig based on image processing techniques[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6): 165-168. (in Chinese)
- 郭俊旺. 条播排种器性能检测的机器视觉方法[D]. 太谷: 山西农业大学, 2004.
GUO Junwang. A method of machine vision to detect the performance of metering mechanism for drill [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 王玉顺,郭俊旺,赵晓霞,等. 基于机器视觉的条播排种器性能检测及分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 56-60.
WANG Yushun, GUO Junwang, ZHAO Xiaoxia, et al. Performance detection and analysis of a machine vision based metering mechanism of drill[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 56-60. (in Chinese)
- 胡少兴,马成林,张爱武. 排种器性能检测中种子位置智能检测方法[J]. 农业机械学报, 2001, 32(3): 36-39.
HU Shaoxing, MA Chenglin, ZHANG Aiwu. An intelligent detecting method for seed position in performance detection of seed meter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(3): 36-39. (in Chinese)
- 马旭,王剑平,胡少兴,等. 用图像处理技术检测精密排种器性能[J]. 农业机械学报, 2001, 32(4): 34-37.
MA Xu, WANG Jianping, HU Shaoxing, et al. Detection of a precision seed meter performance using image processing technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(4): 34-37. (in Chinese)
- 蔡晓华,吴泽全,程睿. 机器视觉排种试验台的研制[J]. 农机化研究, 2005(4): 131-133.
CAI Xiaohua, WU Zequan, CHENG Rui. The research of machine visual drilling experiment table [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(4): 131-133. (in Chinese)
- 陈进,边疆,李耀明,等. 基于高速摄像系统的精密排种器性能检测试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 90-95.
CHEN Jin, BIAN Jiang, LI Yaoming, et al. Performance detection experiment of precision seed metering device based on high-speed camera system[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 90-95. (in Chinese)
- KARAYEI D, WIESEHOFF M, ÖZMERZI A, et al. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2006, 50(2): 89-96.
- YAZGI A, DEGIRMENCIÖGLU A. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology[J]. Biosystems Engineering, 2007, 97(3): 347-356.
- 廖庆喜,邓在京,黄海东. 高速摄影在精密排种器性能检测中的应用[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(5): 570-573.

- LIAO Qingxi, DENG Zaijing, HUANG Haidong. Application of the high speed photography checking the precision metering performances[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(5): 570 - 573. (in Chinese)
- 16 姜忠爱. 虚拟仪器技术和图像处理技术在精密种机排种性能测试中的应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
JIANG Zhongai. Application research of virtual instruments and image processing technique on seedmeter's performance test[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 17 赵立业. 精密排种器虚拟仪器检测系统研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2002.
ZHAO Liye. Study on the test system of virtual instrumentation for precision seed-metering device[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2002. (in Chinese)
- 18 刘广玉, 胡和兴, 杨丽娜, 等. MeterMax 精密排种器试验台简介[J]. 农业机械, 2011(25): 102 - 104.
- 19 胡和兴, 姚娜, 刘晨, 等. 新型气吸式排种器用于播种食葵的试验研究[J]. 农业机械, 2012(25): 135 - 137.
- 20 靳培英. JPS-12 型排种器试验台的工作原理及正确使用[J]. 当代农机, 2015(8): 74 - 75.
- 21 李帆, 郑炫, 张鲁云, 等. JPS-12 计算机视觉排种器试验台的结构原理及使用[J]. 新疆农机化, 2012(5): 15 - 16.
- 22 GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 2005.
- 23 Precision Planting Inc. Adjustable singlation brush assembly and method of singulating seeds; US, 7162963[P]. 2007-01-16.
- 24 Precision Planting Inc. Vacuum seed meter and retrofit kit for celled-disk vacuum meters; US, 7334532[P]. 2008-02-26.

~~~~~

(上接第 50 页)

- 4 熊亚, 李海涛, 张绍英, 等. 打结器割绳脱扣机构的运动规律与设计依据研究[J]. 农机化研究, 2015(7): 113 - 118.  
XIONG Ya, LI Haitao, ZHANG Shaoying, et al. Motion laws and design basis of the knotter wiper mechanism [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(7): 113 - 118. (in Chinese)
- 5 李海涛, 熊亚, 陈龙健, 等. 打结器割绳脱扣机构磨损分析与改进设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 118 - 124.  
LI Haitao, XIONG Ya, CHEN Longjian, et al. Wear research and improved design of D-knotter wiper mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 118 - 124. (in Chinese)
- 6 尹建军, 张万庆, 陈亚明, 等. 打结器夹绳脱扣钳咬动作参数分析与打结试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 135 - 143.  
YIN Jianjun, ZHANG Wanqing, CHEN Yaming, et al. Parameters analysis of rope-holding motion, knot-winding motion, rope-biting motion of knotter and knotting test [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 135 - 143. (in Chinese)
- 7 孙楠. 打结器数字化设计平台研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2011.
- 8 吕红. 秸秆方捆捆扎机构空间匹配研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2011.
- 9 李慧, 何进, 李洪文, 等. 方草捆压捆机打结器空间参数研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(8): 99 - 105.  
LI Hui, HE Jin, LI Hongwen, et al. Spatial parameters of knotters of square balers [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 99 - 105. (in Chinese)
- 10 张安琪, 陈龙健, 李诚, 等. 打结器运动图像与捆绳张力信息同步获取系统研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 31 - 37.  
ZHANG Anqi, CHEN Longjian, LI Cheng, et al. Synchronous acquiring system about information of bale knotter movement and cord tension [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 31 - 37. (in Chinese)
- 11 李诚. 逆向重构 D 型打结器运动仿真分析与打结钳嘴受力分析研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- 12 陈龙健, 李诚, 张安琪, 等. 秸秆捆扎过程中打结钳嘴载荷试验分析[J]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 128 - 134.  
CHEN Longjian, LI Cheng, ZHANG Anqi, et al. Load experimental analysis of bill hook during straw baling [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 128 - 134. (in Chinese)
- 13 WRIGHT John, SPRINGS Olney. Twine cutting knife for square baler apparatus; US, 2007/0180967A1[P]. 2007-08-09.
- 14 李慧. 方草捆压捆机成结系统研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2013.
- 15 刘智强. D 型打结器钳嘴结构性能分析研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- 16 王斌锐, 严冬明, 方水光, 等. 机器人倾侧碰撞动力学建模与不同刚度下碰撞响应[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 51 - 56.  
WANG Binrui, YAN Dongming, FANG Shuiguang, et al. Dynamics modeling of slipping collision of robot and impact response under different stiffness [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(7): 51 - 56. (in Chinese)
- 17 严冬明. 仿人机器人上肢柔性碰撞动力学与缓冲调节[D]. 杭州: 中国计量学院, 2012.
- 18 郭卫东. 虚拟样机技术与 ADAMS 应用实例教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- 19 王黎辉, 李英豪, 刘志强. 大型船舶锚系多接触碰撞动力学分析研究[J]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2013, 27(4): 317 - 321.  
WANG Lihui, LI Yinghao, LIU Zhiqiang. Analysis and study of multiple contact dynamics based on large ship anchor system [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2013, 27(4): 317 - 321. (in Chinese)
- 20 方水光. 两连杆机械臂碰撞动力学建模及阻抗控制[D]. 杭州: 中国计量学院, 2013.