



转盘式小区大豆播种机自动供种装置的设计与试验

刘 龙,王 胜,屈 哲,杨 晨,张润锴,余永昌

(河南农业大学 机电工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要:小区大豆播种机田间作业时不同品种大豆需要人工换种,为解决换种效率低的问题,研究设计一种新型的自动转盘式小区大豆播种机自动供种装置。整个供种装置采用转盘式的圆形种盘与种杯组合的方式,使用 PLC 控制工作过程,完成小区大豆播种机播种过程中的自动换种。该自动供种装置包括机械部分和电控部分,其中机械部分由种杯、种盘、底座、安装支架等组成。试验对种杯进行了理论分析及结构设计,对电控部分进行了硬件选型及参数确定,并设计直流步进电机的控制软件。通过该自动供种装置进行室内台架试验,结果表明:种杯的偏移量合格率最大为 99.6%,种子无破碎供种合格率最大为 99.836%,具有较好的准确性和可靠性,符合小区播种机上种的农艺要求。

关键词:小区;大豆播种机;供种装置;种杯;PLC

Design and Experiment of Seed Supplying Device Applied to Turntable Soybean Plot Seeders

LIU Long, WANG Sheng, QU Zhe, YANG Chen, ZHANG Run-kai, YU Yong-chang

(College of Mechanical & Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to solve the problem of manual seed replacement in seeding different types soybean seeds in modern plot breeding, improving the seeding efficiency, a new automatic turntable soybean seed supplying device in plot seeders was designed. The whole construction of the device was composed of the round seed plate and some seed cups. All the seed supplying process was realized through a motor controlled by PLC. The electrical automatic seed supplying device was composed of the mechanical section and the electronic control section. The mechanical section was composed of seed cups, seed plate, pedestal and so on. The electronic control section was determined by hardware selection and parameter calculation. In this paper, theoretical analysis and structural design of seed cups were completed, DC stepping motor control was realized by the software design. The results of the platform experiment showed that, the maximum of the seed cup offset qualified rate was 99.6%, the maximum of the perfect seed rate was 99.836%. It had great accuracy and reliability and can meet the agricultural requirement of the plot seeders.

Keywords: Plot; Soybean seeder; Seed supplying device; Seed cup; PLC

随着我国良种繁育技术的快速发展,育种试验小区的整体规模和标准化程度也在不断提高,相对于快速发展的育种技术,相关育种机械装备的研发还相对滞后。长期以来,我国小区试验大多数采用传统的人力手工播种,劳动的繁重、工序的烦琐、播种效率低下、播种质量的不均衡严重地影响了小区试验研究的准确性和科学性。相比之下,小区播种机械化作业效率高,播种技术指标一致,避免了人力手工播种造成的明显试验误差,是小区试验不可或缺的重要方式。小区播种机是培育新品种、繁育良种和进行品种对比试验等田间作业时所用的专用播种机^[1-6]。我国小区播种机发展起步较晚,直到 20 世纪 90 年代之后田间播种机械逐渐完善并得到了蓬勃发展^[7-11]。小区播种机的农艺要求主要有:在一定区域面积内,播种精确数量的种子;在不同区域播种不同品种的种子,不混种;能够进行简单的更换种子及清种^[11-13]。

为了满足育种的要求,目前国内现有的小区播

种机主要有 3 种:小区精密播种机、小区条播机和株(穗)行播种机,其主要结构都有上种装置、排种装置、覆土镇压装置等。现有的小区播种机的排种装置、覆土镇压装置等技术已经成熟,但是上种装置还有待完善^[13-14]。国内现有的育种播种机的上种环节仍采用人工上种,在同时播种多行不同种子时单人上种已无法适应机械自动播种速度,需停机上种,已成为影响小区播种机工作效率的一个原因。目前多行小区播种机上种装置存在^[15-16]种子分种过程中分散均匀性差、装有不同品种种子的部件不能自动快速平稳更换、装置结构复杂、更换与维修困难等问题。

本研究在现有的 3 行小区大豆播种机的基础上,研制了一种新型的转盘式小区大豆播种机自动供种装置,并对大豆种子供种过程中的准确性和可靠性进行试验分析,为进一步改进自动供种装置提供依据。

收稿日期:2018-09-21

基金项目:农业部公益性行业科研专项(2013030114)。

第一作者简介:刘龙(1991-),男,硕士,主要从事农业机械化相关研究。E-mail:911461924@qq.com。

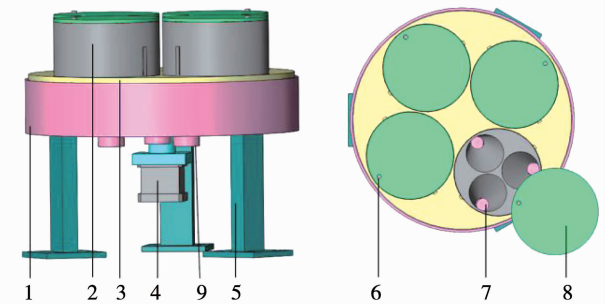
通讯作者:余永昌(1955-),男,学士,教授,主要从事农业装备与机器系统的研究。E-mail:hnyych@163.com。

1 整体结构设计及工作原理

由于车载体积的限制,要求上种装置体积小、结构紧凑,本文所设计的转盘式小区大豆播种机自动供种装置的总体结构主要分为种杯、种盘、种盘底座等硬件和 PLC、电机、驱动器等控制部分。以 PLC 作为控制核心,接收到上种指令后,通过驱动模块控制电机工作,电机带动种盘旋转,种盘转至种杯出种口并与其对准时,种杯开关片完全打开,种子输送至排种器存种腔内,一个播种小区的自动上种任务完成。

1.1 整体结构设计

转盘式小区大豆播种机自动供种装置的总体结构主要有种盘底座、种杯、种盘、电机、安装支架、种杯盖安装柱、种杯内腔出种口、种杯盖、底座出种口(图 1)。



1:种盘底座;2:种杯;3:种盘;4:电机;5:安装支架;6:种杯盖安装柱;7:种杯内腔出种口;8:种杯盖;9:底座出种口。
1:Seed plate pedestal; 2:Seed cup; 3:Seed plate; 4:Motor; 5:Bracket; 6:Seed cup lid column; 7:Seed cup outlet; 8:Seed cup lid; 9:Pedestal outlet.

图 1 整体结构图

Fig. 1 Overall structural diagram

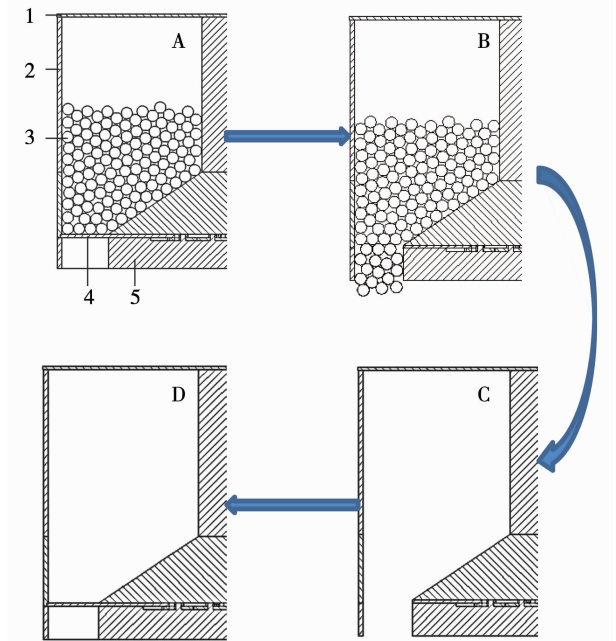
1.2 工作原理

本研究结合大豆小区育种要求,在现有 3 行小区大豆播种机基础上进行了转盘式小区大豆播种机自动供种装置的设计。自动供种装置采用种杯自动更换的工作思路,使用统一规格种杯按照顺序安放,通过 PLC 控制依次完成种盘转动、种杯开关打开、种子进入输种管、种杯开关闭合等步骤。为保证种盘的转动平稳,以及防止在剧烈晃动的车载状态下种子从种杯中甩出,在种杯上部设计有种杯盖。电机通过轴传动带动种盘做间歇式转动,种杯与种盘转动时,种杯开关片与底座上安装的开关柱相接触,从而使种杯开关片转动,种杯内的种子靠自身重力从种杯出种口落入输种管(输种管是排种器与上种装置底座出种口之间的连接管),完成对排种器的供种过程;当种杯内的种子全部进入排种器后,种杯与种盘再次转动,种杯开关片与开关柱

相分离,开关片在种杯底部安装的回位弹簧的作用下进行闭合。采用步进式电机进行动力驱动,间歇式的进给方式,完成不同大豆品种自动换种且不混种。

供种作业前,预先将种子装入种杯内,再将种杯按播种顺序装入种盘,并且将要播种的第一个品种的种杯所在位置固定,完成预备工作。播种机供种的整个过程分为两步,第一步:小区播种机行驶到第一个小区时开始进行供种作业,电机启动并带动种盘转动,在转动过程中种杯开关逐渐打开,直至种杯出种口正对底座出种口位置,种杯内的种子靠自身重力从种杯出种口落入输种管,完成对排种器的供种过程,完成第一个品种种子的供种;第二步:当下一个品种的种子需要供种时,电机在此启动,转动 90°,实现第二个品种的供种。

种子上种前种杯开关未打开,种子在种杯内(图 2A);上种开始时,种杯开关片打开,种子从种杯内靠自重通过底座出种口进入输种管(图 2B);种子从种杯内完全进入到输种管及排种器内,种杯开关片仍处于打开状态,且种杯内无种子残留(图 2C);上种完成后,需要更换种子品种时,种盘带动转动,此时种杯开关片闭合(图 2D)。



A:种杯开关片未打开状态;B:种子进入输种管;C:种子完全进入;D:种杯开关片闭合。1:种杯盖;2:种杯上部;3:大豆;4:种杯开关片;5:种杯底盖。

A: Seed cup switch closed; B: Seeds rolled in draft tube; C: Seed entered completely; D: Seed cup switch closed. 1: Seed cup lid; 2: Upper seed cup; 3: Soybean seed; 4: Seed cup switch; 5: Seed cup bottom lid.

图 2 种杯内腔种子上种过程图

Fig. 2 Seed in cups supplying process diagram

2 关键零部件设计

在设计过程中,需要考虑到大豆种子与接触材料发生相对滑动时的滑动摩擦角,通过查找资料可知^[17]:大豆的滑动摩擦角为 $19^{\circ} \sim 25^{\circ}$,小区大豆播种机属于精密播种,为保证供种过程不漏播,种杯内腔斜度应大于大豆的最大摩擦角,故将种杯内腔斜度选取为 $\varphi = 30^{\circ}$ 。根据现有 3 行小区大豆播种机的播种农艺要求,播种机每前进 50 m 更换一个品种,株距为 10 cm,每行播种共需要 500 粒种子,故随机选取中黄 13 种子 500 粒。在设计上种装置过程中考虑到种子顺利进入排种器至少要保证 2 粒种子在上种时不会卡滞,即种杯出种口直径应大于种子的等直径的 2 倍,故利用游标卡尺等对大豆的长(L)、宽(W)、厚(T)及体积进行测量,并计算其等直径^[18](图 3)。

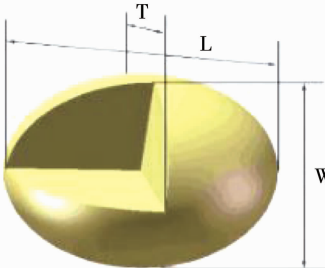


图 3 大豆三轴测定

Fig. 3 Three axis determination of soybean

试验豆种等效直径 D_p 计算公式如下:

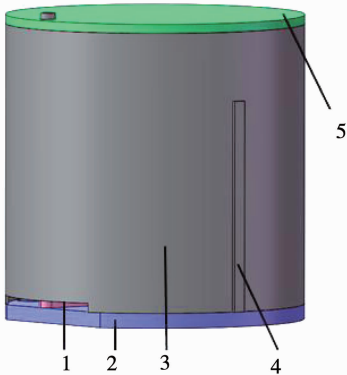
$$D_p = \sqrt[3]{LWT}$$

测得:百粒重 29.6 g,百粒体积 39 mL,长均值 6.21 mm。

2.1 种杯的设计

种杯是自动供种装置的关键工作部件,其运动稳定性及开关打开的精准性直接影响上种装置是否能顺畅完成供种工作。种杯的主要设计在于种杯底部安装的开关,由于该上种装置要求传动功率小,且传动平稳、低噪声甚至无噪声,以及能在无润滑油状态下正常工作,结构紧凑。种杯整体结构如图 4 所示。

2.1.1 种杯上部的设计及参数选取 整个上种装置要求结构简单、尺寸较小、便于车载安装,并完成对现有 3 行播种机 3 个排种器同时供种,种杯直径为 199 mm,故将每个种杯内设 3 个种杯内腔,通过导流管分别对 3 个排种器进行供种。为使种杯尽可能紧凑,3 个种杯内腔均匀分布,种杯结构如图 4 和 5 所示。

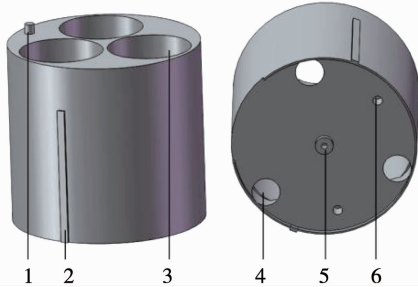


1:开关片;2:种杯底盖;3:种杯上部;4:安装限位凸台;5:种杯盖。

1:Switch; 2:Seed cup bottom lid; 3:Upper seed cup; 4:Limit boss; 5:Seed cup lid.

图 4 种杯整体结构

Fig. 4 Overall seed cup structure



1:种杯上盖安装柱;2:安装限位凸台;3:种杯内腔;4:种杯出种口;5:开关片安装孔;6:安装定位孔。

1:Seed cup upper lid mounting column; 2:Limit boss; 3:Seed cup inner cavity; 4:Seed cup outlet; 5:Switch mounting hole; 6:Mounting location hole.

图 5 种杯上部结构图

Fig. 5 Seed cup upper-structure diagram

为使上种速度快,种杯内腔出种口的尺寸尽可能大,将出种口直径设计为不小于 20 mm,且上种口半径大于出种口半径;同时为了便于加工生产,且整个种杯的尺寸、体积更紧凑,故而设计的种杯内腔出种口与种杯内腔上种口成偏心布置,偏置于种杯边缘,并且均匀分布于整个种杯,从而能够保证上种过程中种子顺利进入导流管,避免出现卡种、漏种等问题。通过测量,500 粒中黄 13 种子体积最大为 195 mL,故种杯单个内腔体积设计为 220 mL(保留一定富余量,以满足其它品种大豆的上种要求),种杯内腔结构示意图如图 6 所示。

种杯每个内腔的体积 V 要满足以下条件:

$$V = \pi \cdot (r_1)^2 \cdot h_1 + \frac{\pi}{3} \cdot (r_1^2 - r_2^2) \cdot h_2, \text{ 其中,}$$

$$h_2 = 2 \cdot (r_1 - r_2) \cdot \tan \varphi, r_2 \geq 10, r_1 > r_2。$$

式中: V 为种杯每个内腔的体积(mL); r_1 为种杯内腔上种口半径(mm); r_2 为种杯内腔出种口半径(mm); φ 为大豆滑动摩擦角(30°); h_1 为种杯内

腔上部圆柱体高度 (mm); h_2 种杯内腔下部半锥体高度 (mm)。

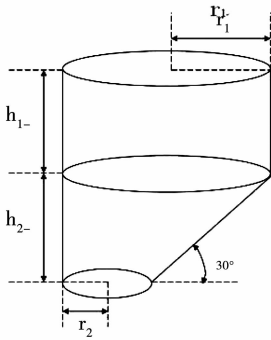


图 6 种杯内腔示意图

Fig. 6 Schematic diagram of seed cup inner cavity

联立上式,通过 MATLAB 拟合整理后得到 r_1 、 r_2 、 h_1 关系图 (图 7) 和 r_1 、 h_1 关系图 (图 8)。

由图 7 可知,当 r_1 不变时, r_2 对 h_1 的影响很小。相比较而言, r_1 对 h_1 的影响是主要因素,故对 r_1 和 h_1 关系进行分析 (图 8)。

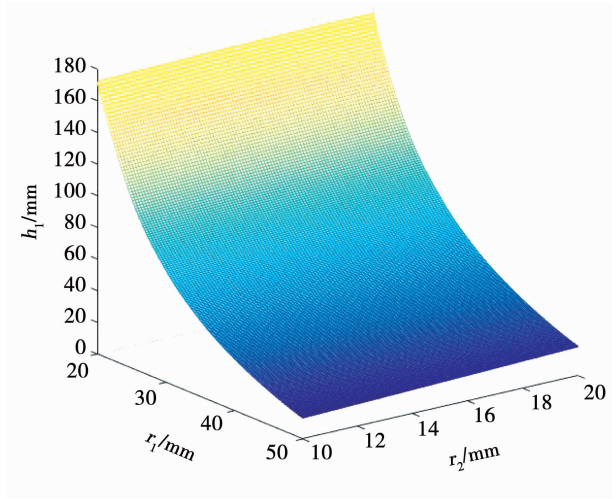


图 7 r_1 、 r_2 、 h_1 三者关系图

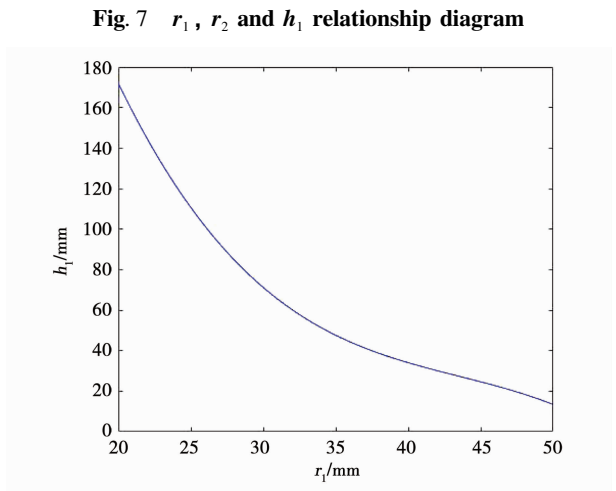


图 8 r_1 与 h_1 的关系

Fig. 8 Relationship between r_1 and h_1

从图 8 中可以看出两者之间的变化趋势,随着种杯上种口半径 r_1 的增大,种杯内腔上部圆柱体高度 h_1 减小,在此范围内, h_1 下降速度变慢,趋于平稳,说明 r_1 对 h_1 的影响越来越小。为使整个种杯直径尽可能小,3 个种杯内腔均匀分布于种杯内,故选取种杯内腔上种口半径 r_1 为 35 mm,种杯内腔出种口半径 r_2 为 15 mm,此时种杯内腔上部圆柱体高度 h_1 大于 50.8 mm,将 h_1 设计为 60 mm。

2.1.2 种杯底部的结构设计 由于供种装置结构紧凑,同时保证开关片的安装与更换方便,种杯出种口与种杯上种口半径不能相同,并且留有开关片的转动空间,出种口的偏置。能够保证大豆种子的进入,种杯底部主要由种杯底盖、开关片、安装螺钉、回位弹簧等组成,其中种杯底部开关片的打开与闭合状态如图 9 所示。

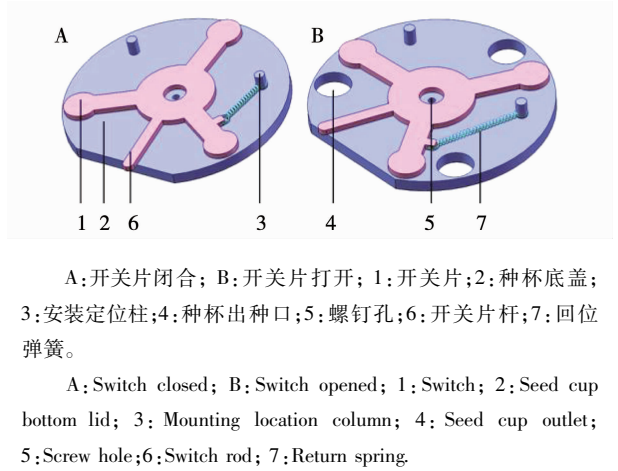


图 9 种杯底盖与开关片的开闭图

Fig. 9 Cup bottom and switch working diagram

种子装入种杯时,开关片的状态如图 9A;工作状态中,种杯开关片由于开关片杆与开关柱接触及阻挡,开关片逐渐打开;当种盘转动到指定位置时,种盘内的种杯出种口与底座上的出种口 (导流管) 对齐,此时种杯开关片完全打开,如图 9B 所示。当种杯口完全打开时,电机暂停工作,等待种子完全进入排种器及接收下一个脉冲信号,从而实现自动上种。

为实现结构紧凑、加工及安装更换方便,把开关片与开关片杆设计为一体,种杯底盖上的 2 个安装定位柱与种杯上部的相应位置的安装定位孔相配合,起到种杯底盖与种杯上部的安装及方向的定位。

2.2 种盘的设计

种盘是实现种杯自动更换的关键部件,种盘的直径设计为 498 mm,高为 100 mm。在种盘底部通过切削形成了种盘边缘凹槽,如图 10 所示。当种盘转动时,底座上的开关柱在种盘边缘凹槽内,两者

不干涉,并为种杯开关片的打开提供了路径,凹槽直径设计为 470 mm,切削深度为 20 mm;种盘内均匀分布有 4 个种杯安装内槽,可以安装 4 个种杯,每个种杯安装内槽直径设计为 200 mm;种盘内有种杯安装凹槽,为种杯在种盘内的安装提供支撑及定位,避免种杯在种盘内与种盘相对转动;电机转动带动传动轴转动,传动轴的另一端为正六角形与种盘传动轴孔配合,从而使种盘随着电机的转动而转动,轴的直径设计为 18 mm。

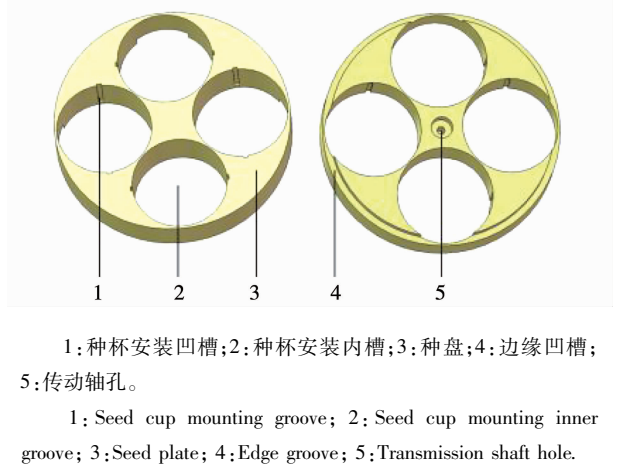


图 10 种盘整体结构图

Fig. 10 Overall seed plate structure diagram

2.3 种盘底座的设计

种盘底座主要由电机、底座外壳、安装支架等组成,如图 11 所示。其中种盘底盘安装了 1 个直流步进电机,种杯随着种盘转动时,开关片受到种盘

底座外壳上的开关柱阻挡,开关片与种杯发生相对运动,使种杯出种口打开,种子从种杯落入种盘底座出种口,从而进入导流管,最终进入排种器存种腔。安装支架主要起到上种装置与现有的大豆电动小区播种机安装作用,可方便供种装置的安装、维修及拆卸,可根据安装位置不同而改变安装方式。

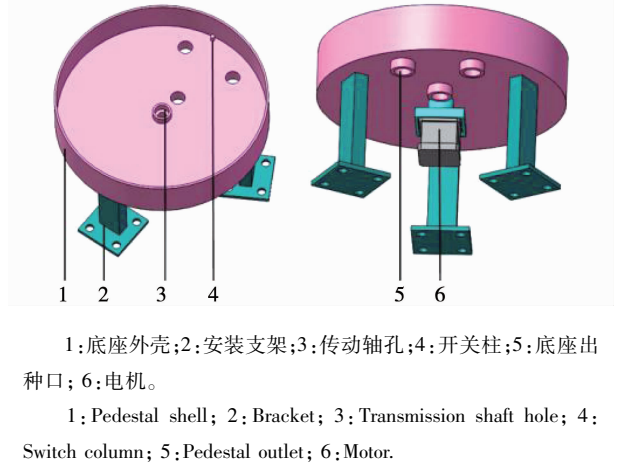


图 11 种盘底座结构图

Fig. 11 Seed plate structure diagram

种盘底座外壳直径设计为 512 mm,3 个出种口与种杯出种口同心,出种口略大于种杯出种口,直径为 35 mm,可通过输种管与排种器相连;开关柱位于底座直径为 485 mm 圆周上,直径为 15 mm,高为 16 mm。

2.4 控制系统

2.4.1 硬件设计 控制系统主要包括:PLC、电源模块、电机及其驱动模块等。

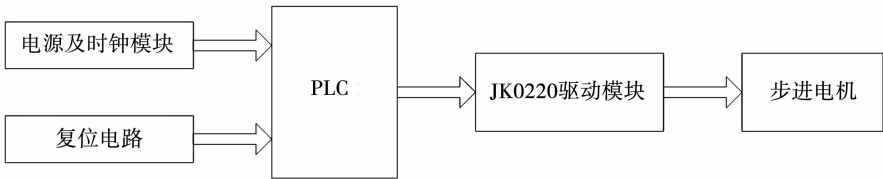


图 12 电控系统简图

Fig. 12 Schematic diagram of the electronic control system

设计中选用转盘式种盘,为保证转动过程的平稳性,种盘的转速不宜过高,要求电机低速运转。种盘自重为 800 g,该装置一次最多可安装 4 个种杯,每个种杯自重 200 g,每个种杯内有 3 个腔,每个腔内 500 粒大豆种子为 150 g,电机负载总重 3 400 g,考虑到装置内部阻力及摩擦力等因素,将额定负载扩大至 5 kg,计算得转矩约为 $T=0.57\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

因此,本设计选用 JK42HS60-1704A 步进电机,驱动器型号为 JK0220,其控制精度高、失步少,在给定的转速时能够匀速转动低速运转;额定电压:12~24 V;电流:1.7 A;相数为两相混合式;步距角度为 1.8° ;静力矩:0.73 N·m。

2.4.2 软件设计 选择 MM-24MR-4MT-500-FX-B 型号的中达优控触摸屏 PLC 一体机作为整个自动供种装置的电控系统控制核心,并带有人机交换界面。人机交换触摸屏界面将供种装置工作过程中的种盘作业转速、种杯更换转动的角度等数据呈现出来,可以在触摸屏上对这些参数进行设置。

该系统通过 PLC 控制整个供种装置的运行,由 JK0220 驱动模块控制电机的运行,电源模块可由电动小区播种机自带的电池提供 24 V 直流电压或通过变压器将 220 V 交流电压转换成 24 V 直流电;每次更换种杯需要转动,通过控制脉冲的个数来控制角位移量,从而达到准确定位的目的,同时也可以

通过控制电机转动的速度和加速度达到调速的目的。

3 播种机精准性试验

3.1 材料

为检验设计的转盘式小区大豆播种机自动供种装置工作的准确性及可靠性,进行室内台架试验。选取中黄 13 作为转盘式小区大豆播种机自动供种装置的供种试验对象,进行室内台架试验。随机选取 500 粒中黄 13 籽粒,重 148.293 g,体积 195 mL,长均值 6.21 mm,种子含水率 8.80%,泊松比 0.413,剪切模量 45.56 MPa。种杯与大豆的静摩擦系数为 0.32、滚动摩擦系数为 0.1。选用明威 S-250-24 变压器将 220 V 交流电转换成 24 V 直流电,对自动供种装置进行供电。

3.2 方法

3.2.1 试验设计 根据 3 行小区大豆播种机的播种农艺要求,播种机每前进 50 m 更换一个品种,保持株距为 10 cm。于每个种杯的 3 个内腔中分别填装 500 粒种子,进行室内台架试验,供种试验模拟小区连续播种的作业步骤,每完成一个种杯的供种,每个种杯的种子完全进入排种器存种空间内。由于整个上种装置内置 4 个种杯,在现有 3 行小区大豆播种机前端的人机交互界面点击更换品种,通过 PLC 控制驱动器和步进电机工作。当种盘转动 90°便可进行一次种杯的更换,控制驱动器的脉冲频率

调整种盘转动速度,在 1~6 r·min⁻¹ 不同转速下将种盘转动 90°,研究其对种杯上种的影响。

3.2.2 测定项目与方法 记录供种过程的种杯出种口偏移量、种子的破碎率等情况,待所有种杯内的种子供种完成后统计并计算确定每个种杯的工作性能。在不同转速下进行自动供种装置性能的试验,每组试验 20 次,取平均值。

为测试整个装置中电机运转时对供种过程的影响,在本试验过程中只考虑供种过程中主要因素,忽略次要因素。选择合格率为主要性能指标,计算公式为:

$$A_1 = \frac{n_1}{N_1} \times 100\%$$
$$A_2 = \left(1 - \frac{n_2}{N_2}\right) \times 100\%$$

式中: A_1 为每次试验总偏移量合格率; A_2 为种子无破碎率; n_1 为每次试验总偏移量小于等效半径的次数; N_1 为试验次数; n_2 为每个种杯的种子破碎个数均值(粒); N_2 为每个种杯种子总数(粒)。

3.3 结果与分析

由表 1 可知:种杯的偏移量合格率为 99.4%~99.6%,种子无破碎供种合格率为 99.738%~99.836%。该转盘式小区大豆播种机自动供种装置用中黄 13 籽粒为试验对象,其性能指标均在 99.4% 以上,试验结果满足大豆小区播种机上种装置的要求,具有较好的准确性和较强的可靠性。

表 1 供种装置精准性试验
Table 1 Accuracy test of seeding device

转速 Speed/(r·min ⁻¹)	偏移量 Offset		种子破碎 Seed crushing	
	均值	合格率	破碎个数均值	合格率
	Mean/mm	Qualification rate/%	Number of broken seeds	Qualification rate/%
1	1.20	99.4	0.82	99.836
2	1.22	99.6	1.14	99.772
3	1.25	99.5	1.21	99.758
4	1.33	99.4	1.26	99.748
5	1.40	99.4	1.29	99.742
6	1.52	99.4	1.31	99.738

4 结 论

(1)研究设计了一种新型的转盘式小区大豆播种机自动供种装置,主要由种盘底座、种盘、种杯、安装支架、步进电机、驱动器及 PLC 等组成。

(2)控制部分通过计算选择了中达优控触摸屏 PLC 一体机作为整个电控系统的控制核心、JK42HS60-1704A 步进电机作为驱动动力、JK0220

驱动模块控制电机的运行、明威 S-250-24 变压器将 220 V 交流电转换成 24 V 直流电,对转盘式小区大豆播种机自动供种装置的步进电机进行供电。

(3)转盘式小区大豆播种机自动供种装置的精准性验证结果表明:装置内种杯的偏移量合格率最大为 99.6%,种子无破碎供种合格率最大达到 99.836%,表明该供种装置具有较好的准确性和较强的可靠性,能够满足大豆小区播种机的实际需要。

参考文献

[1] 刘曙光,尚书旗,杨然兵,等. 小区播种机的发展分析[J]. 农机化研究,2011,33(3):237-241. (Liu S G, Shang S Q, Yang R B, et al. Analysis of plot seeder development[J]. Agricultural Mechanization Research,2011,33(3):237-241.)

[2] 宋江腾. 小区播种机结构设计和试验研究[D]. 北京: 中国农业大学,2004. (Song J T. Structural design and experimental study of small area seeder [D]. Beijing:China Agricultural University,2004.)

[3] 李炎,万映秀,曹文昕,等. XBJ-150 型自走式播种机在小麦育种小区试验中的应用[J]. 安徽农学通报,2011,17(15):206-206,251. (Li Y, Wan Y X, Cao W X, et al. Application of XBJ-150 self-propelled planter in the trial of wheat breeding plot [J]. Anhui Agronomy Bulletin,2011,17(15):206-206,251.)

[4] 张力友. 基于 PLC 控制的小麦小区试验点播机的设计[D]. 济南:山东农业大学,2012. (Zhang L Y. Design on wheat hill-drop planter based on PLC controlled used for experimental plot[D]. Jinan: Shandong Agricultural University,2012.)

[5] 宋江腾,张淑敏. 小区播种机的研究现状及发展方向[J]. 农机化研究,2004,26(4):14-16. (Song J T, Zhang S M. Current situation and developmental orientation of plot seeder[J]. Agricultural Mechanization Research,2004,26(4):14-16.)

[6] 刘曙光,尚书旗,杨然兵,等. 小区播种机存种装置参数试验及优化[J]. 农业工程学报,2010,26(9):101-108. (Liu S G, Shang S Q, Yang R B, et al. Test and optimization of parameters for the storing device of plot seeders[J]. Journal of Agricultural Engineering,2010,26(9):101-108.)

[7] 张海军,韩正晟,王丽维. 小区种子收获机械的研究现状与发展[J]. 湖南农业科学,2008,34(6):102-104,139. (Zhang H J, Han Z S, Wang L W. Research status and development of seed harvesting machinery in community [J]. Hunan Agricultural Science,2008,34(6):102-104,139.)

[8] 张海军. 小区小麦种子联合收获机的研究与设计[D]. 兰州:甘肃农业大学,2009. (Zhang H J. Research and design of wheat seed combine harvester [D]. Lanzhou:Gansu Agricultural University,2009.)

[9] 姜峰. 机动式大豆育种精密播种机的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012. (Jiang F. Research on mobile soybean seed planter [D]. Harbin:Northeast Agricultural University,2012.)

[10] 杨薇,王飞,赫志飞,等. 小区育种机械发展现状及展望[J]. 农业工程,2014,4(6):7-9,56. (Yang W, Wang F, He Z F, et al. Development status and prospect of breeding machinery in community [J]. Agricultural Engineering,2014,4(6):7-9,56.)

[11] 何仲凯,龚丽农,崔海鸣,等. 小区精密播种机自动上种机的设计[J]. 农机化研究,2015,(1):156-159. (He Z K, Gong L N, Cui H M, et al. Design of precision seeding machine for small communities [J]. Agricultural Mechanization Research, 2015, (1):156-159.)

[12] 赵宇. 2BXJ-6 型大豆垄三栽培育种精量播种机的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2013. (Zhao Y. Study on 2BXJ-6 soybean ridge cultivation and breeding precision planter [D]. Harbin: Northeast Agricultural University,2013.)

[13] 周家鹏. 小区玉米单粒精密点播机的设计与试验研究[D]. 青岛:青岛农业大学,2016. (Zhou J P. Design and experimental study of single-grain precision seed drill for small plot maize [D]. Qingdao :Qingdao Agricultural University,2016.)

[14] 张婷婷. 六行同步小区条播机的设计与试验研究[D]. 青岛青岛农业大学,2016. (Zhang T T. Design and experimental study of six line synchronous zone drill [D]. Qingdao :Qingdao Agricultural University,2016.)

[15] 杨薇,李建东,张翔,等. 小区株行条播机弹匣式上种装置的设计与试验[J]. 农机化研究,2016,38(2):72-76. (Yang W, Li J D, Zhang X, et al. Design and Experiment of magazing-fed seed-distributing device for row-seeding spaced planter[J]. Agricultural Mechanization Research,2016,38(2):72-76.)

[16] 王琛,刘扬,段俊兆,等. 育种试验小区播种机排种器性能及应用分析[J]. 农业机械,2012,(28):124-126. (Wang C, Liu Y, Duan J Z, et al. Performance and application analysis of planter planter in breeding test areas [J]. Agricultural Machinery,2012,(28):124-126.)

[17] 周祖镠. 农业物料学[M]. 北京:农业出版社,1994:103-104. (Zhou Z L. Agricultural materials science [M]. Beijing: Agricultural Press,1994:103-104.)

[18] Mohsenin N. N. Physical properties of plants and animal materials [M]. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1980.