

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2024.06.014

可调倾角编程式多功能取苗试验台设计与试验

尹大庆^{1,2} 刘港¹ 张明鑫¹ 王金武¹

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 北方寒地现代农业装备技术重点实验室, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对现有取苗试验台不能满足多种型号钵盘和取苗机构进行取苗试验的需求,设计了一种由多个步进电机驱动、可调取苗机构倾角、可编程控制系统的多功能取苗试验台。该试验台通过调节取苗机构安装支架的位姿、改变钵盘驱动鼠笼钢丝间距以及所在圆周直径,可以适应不同型号钵盘和满足多种取苗机构的试验要求;通过编写控制器程序可控制3个步进电机联动并实现送苗装置的横、纵向送苗与取苗机构取苗进程相匹配。在三维软件中对试验台进行了建模、装配和虚拟仿真,在加工制造的物理样机上进行了2种型号钵盘和3种取苗机构的取苗试验。3次试验结果表明:在此试验台上能够顺利完成取苗试验,证明该试验台满足多种型号钵盘和多种类型取苗机构的试验需求。

关键词: 钵苗移栽; 试验台; 横向送苗; 取苗机构; 编程控制

中图分类号: S223.92 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2024)06-0143-07

OSID:



Design and Experiment of Multipurpose Seedlings Pick-up Test Bench for Adjusting Inclination and Programming

YIN Daqing^{1,2} LIU Gang¹ ZHANG Mingxin¹ WANG Jinwu¹

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology in North Cold Region, Harbin 150030, China)

Abstract: Based on the fact that existing seedlings pick-up test bench cannot meet the needs of various types of seedlings bowls and seedlings pick-up mechanisms for seedlings pick-up test, a kind of multipurpose seedlings pick-up test bench which was driven by multiple stepper motors was designed and it can adjust seedlings pick-up mechanisms inclination and program in the control system. It can adapt to different types of bowls and meet the test requirements of various types seedlings pick-up mechanisms by adjusting the position and posture of the mounting bracket, changing the distance between steel wire and the diameter of the circumference of the wire in the driving cage of the bowl. By editing the controller program, the linkage of three stepper motors can be controlled and the horizontal and longitudinal seedlings feed process of the seedlings feeding device can be matched with seedlings pick-up process of the seedlings pick-up mechanism. Modeling, assembling and virtual simulation of the test bench were carried out in 3D modeling software. Two types of seedlings bowls and three types of seedlings pick-up mechanisms were tested on the physical prototype produced by processing. The results of the three tests showed that the seedlings pick-up test could be successfully completed on the seedlings pick-up test bench, which proved that the test bench could meet the test needs of various types of seedlings bowls and seedlings pick-up mechanisms.

Key words: bowl seedlings transplanting; test bench; the horizontal seedlings feed; seedlings pick-up mechanism; programming control

0 引言

钵苗移栽机械成为国内外学者的研究重点,高

效轻简化的全自动钵苗移栽机械一直是关注热点^[1]。而取苗机构是全自动钵苗移栽机的核心工作部件,研制出结构合理、性能稳定、高效的取苗机

收稿日期: 2023-11-07 修回日期: 2023-12-12

基金项目: 黑龙江省教改研究项目(SJGY20210102)和国家重点研发计划项目(2017YFD0700800)

作者简介: 尹大庆(1970—),男,教授,博士,主要从事农业机械设计与应用研究,E-mail: 63900962@qq.com

通信作者: 王金武(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事田间机械和机械可靠性研究,E-mail: jinwu@163.com

构是实现钵苗移栽自动化的前提^[2]。为了验证取苗机构设计的合理性和可靠性,在取苗试验台上进行取苗试验十分必要。

近年来,国内学者为了验证所研制取苗机构的可靠性和稳定性搭建了相应的试验台。俞高红等^[3]为了验证夹钵式水稻钵苗移栽机构的作业性能,搭建了水稻钵苗取苗试验台。该试验台的横向送苗功能是利用椭圆齿轮和双螺旋轴传动实现,纵向送苗由一套棘轮机构完成,可适用于横向14穴的水稻钵苗秧盘;该团队还设计了一种蔬菜钵苗密植移栽取苗机构试验台^[4]。李华等^[5]搭建了辣椒穴盘苗自动取苗试验台,该试验台通过横向和纵向间歇进给机构将钵苗送至取苗位置;童俊华等^[6]搭建了蔬菜钵苗自动送苗试验台,采用机械传动方式进行三臂回转取苗机构的取苗试验;俞亚新等^[7]设计了一种椭圆-不完全非圆齿轮行星系取苗机构试验台。以上试验台均适用于横向8穴的旱田钵苗钵盘。宫成宇^[8]搭建的夹苗或取钵式取苗试验台兼顾了水稻和旱田钵苗,适用于横向14穴的水稻钵苗和7穴的旱田钵苗钵盘。陈志威^[9]和俞腾飞^[10]搭建了自动送苗试验台用于所设计的取苗机构进行取苗试验,适用于横向5穴和8穴的钵盘。除上述文献外,本文检索到的取苗试验台均采用机械传动方式驱动横、纵向送苗和取苗机构,传动可靠,但调整困难,只能针对特定的钵盘和取苗机构^[11-13]。

本团队发明了多种针对不同钵苗和用途的取苗机构。为了解决现有取苗试验台不能同时满足不同型号钵盘和不同取苗机构进行取苗试验的需求,本文设计一种可调倾角程式多功能取苗试验台。该试验台取苗机构安装支架的位姿可根据不同取苗机构要求来调整;控制系统中的多轴步进电机控制器可控制3个步进电机联动,修改控制器程序可改变横向送苗速度、纵向送苗角度和匹配取苗机构的转速;改变钵盘驱动鼠笼钢丝间距以及所在圆周直径可适应多种型号钵盘,以满足不同型号钵盘和取苗机构的试验要求。

1 试验台设计要求与整机结构

1.1 试验台设计要求

机械传动试验台是对机械传动装置进行综合性能测试和传动原理研究的试验平台^[14]。我国学者在验证取苗机构性能时所搭建的试验台采用的传动方式多为机械传动,送苗装置送苗速度与取苗机构转速已做到精准匹配,不改变传动比就无法调节取、送苗速度变化规律,同时也不能满足倾斜式宽窄行取苗机构对倾角的要求。为解决此问题,拟改变纯

粹机械传动方式为机电相结合,通过调整取苗机构位姿满足不同取苗初始位置的目标,本文试验台设计需要满足以下要求:

(1)试验台可适用于多种常用尺寸的钵盘。后续验证试验用到72(6×12)穴和406(14×29)穴2种规格,72穴钵盘穴深为43 mm,穴间距为46 mm,406穴钵盘穴深为22 mm,穴间距为20 mm。

(2)控制系统可满足送苗装置不同横向送苗速度、纵向送苗角度和匹配取苗机构转速要求。

(3)试验台可满足用于倾斜式宽窄行取苗机构的要求。

1.2 整机结构

可调倾角程式多功能取苗试验台结构示意图如图1所示。

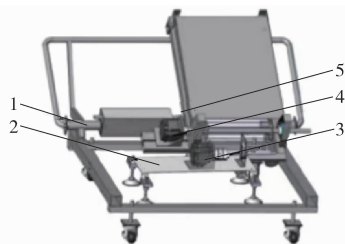


图1 试验台结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of test-bed

1. 送苗装置 2. 取苗机构安装支架 3. 取苗步进电机 4. 纵向送苗步进电机 5. 横向送苗步进电机

为了方便调整 and 适应不同取苗机构在取苗时的位姿要求,试验台在设计整体布局时将送苗装置与取苗机构安装支架完全分离。试验时,针对取苗机构安装支架上安装不同类型的取苗机构,送苗装置上可放置不同型号的钵盘。

根据设计要求,试验台采用机电相结合的传动方式,在送苗装置和取苗机构安装支架上安装多个步进电机。取苗机构安装支架上的取苗步进电机可用于独立控制取苗机构的转动速度与方向。送苗装置中的纵向送苗步进电机和横向送苗步进电机分别控制钵盘的纵向送苗速度、距离和横向送苗速度。在控制系统中进行编程可随时改变3个步进电机的转速,以适应不同型号的钵盘和取苗机构。

2 送苗装置与取苗机构安装支架设计

2.1 送苗装置

国内市场上常见的钵盘型号有很多,这些钵盘在穴数、穴深和穴间距等方面存在差异,学者根据研制出的取苗机构特点,选择其中一种类型进行试验台送苗装置设计^[15-17]。在取苗机构取苗作业时,这些送苗装置送苗速度呈一定规律变化,若换用其他型号钵盘则需要修改结构,造成人力、资源浪费。为

为了适应多型号钵盘,基于对本试验台送苗装置设计要求,在实现纵向和横向送苗步进电机进行送苗速度控制的基础上对其进行结构设计。送苗装置具体结构如图2所示。主要由螺旋轴箱(包含双螺旋轴和滑块等)、纵向送苗步进电机、福马轮、机架、轨道轮、钵盘驱动鼠笼、横向送苗步进电机和苗箱等组成。纵向送苗步进电机与钵盘驱动鼠笼通过联轴器进行连接,横向送苗步进电机与双螺旋轴箱中的双螺旋轴连接,双螺旋轴通过滑块带动轴套继而带动苗箱往复横移。福马轮在不进行试验时即可自由推动,试验时固定在原地。

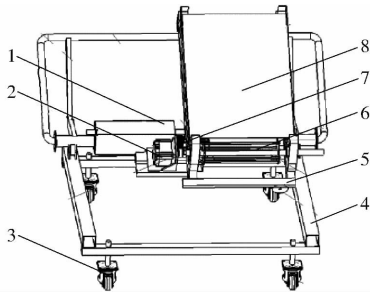


图2 送苗装置结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of seedling feeding device

1. 螺旋轴箱 2. 纵向送苗步进电机 3. 福马轮 4. 机架 5. 轨道轮 6. 钵盘驱动鼠笼 7. 横向送苗步进电机 8. 苗箱

送苗装置分为横向和纵向送苗两部分进行设计。前者是实现钵盘横向双向运动,同时满足取苗机构在取苗时钵苗能被准确送到取苗点;后者是纵向送苗,当取苗机构取完一行钵苗时,纵向送苗机构能实现下一行钵苗运动到该取钵苗位置。

2.1.1 横向送苗机构设计

刘廉辉等^[18]设计的59型横向送秧机构和马旭等^[19]针对特定秧苗设计的横向送秧装置尺寸较大,工作时有一定的冲击,不适用于小型取苗试验台,目前普遍采用的是双螺旋凸轮轴结构。同时针对不同类型的取苗机构,钵盘在试验时有平放、斜放等多种放置方式^[20-21],本文选择适用于大多数取苗机构的钵盘斜放方式进行横向送苗机构设计。

横向送苗机构主要包括横向送苗步进电机、双螺旋轴、滑块、轴套、苗箱、轨道轮等。在工作时,横向送苗步进电机提供动力带动双螺旋轴旋转,滑块通过轴套的连接作用在双螺旋轴上横向往复双向运动。不同取苗机构因对横向送苗速度要求不同,可通过修改控制器程序使横向送苗步进电机转速与取苗速度相匹配。

双螺旋轴、滑块是横向送苗机构的核心部件,其尺寸设计以及材料选择决定横向送苗精度。由于双螺旋轴在进行送苗作业时受力很大,易发生磨损而影响横向送苗工作的正常运转,其材料选用40Cr。

设计时按扭转强度确定双螺旋轴最小直径为18 mm,考虑键槽对轴强度的影响,同时为提高安全性,最终选择双螺旋轴直径为24 mm^[22]。

2.1.2 纵向送苗机构设计

由于不同型号钵盘的穴间距不同,试验台针对不同钵盘时的纵向送苗距离就不同。在机械传动式试验台中取苗机构与横向送苗速度方面已提前匹配好,同时纵向送苗距离保持不变,无法适应不同型号钵盘。

为了解决此问题,本文设计的纵向送苗机构主要包括纵向送苗步进电机、传动轴、钵盘驱动鼠笼等,如图3所示。纵向送苗步进电机通过固定支架固定在苗箱上,钵盘驱动鼠笼固定在传动轴上。由纵向送苗步进电机带动钵盘驱动鼠笼旋转,实现钵苗盘的纵向送苗。根据不同型号的钵盘穴孔尺寸,在控制器中输入不同的脉冲数量可调节纵向送苗步进电机转动角以适应不同型号钵盘的作业要求。



图3 纵向送苗机构

Fig. 3 Vertical seedling delivery mechanism

1. 联轴器 2. 纵向送苗步进电机 3. 传动轴 4. 钵盘驱动鼠笼

针对不同型号的钵盘对放置位置以及高度的要求不同,纵向送苗机构中核心部件钵盘驱动鼠笼在设计时有如下要求:①长度 S 应大于钵盘宽度。②驱动鼠笼上钢丝的间距以及所在的圆周直径可根据实际需求调整。③固定钢丝的圆板上先加工出针对常用型号钵盘的对应圆孔,便于调整钢丝位置。

2.2 取苗机构安装支架

现有机械传动式试验台上的取苗机构安装支架与送苗装置的相对空间位置可以调整,但取苗机构无法倾斜一定角度,不能适用于倾斜式宽窄行取苗机构。针对这一问题,本文设计了可调倾角的取苗机构安装支架,具体结构如图4所示。

该支架由取苗步进电机、基座、地脚、驱动轴、轴承、联轴器等组成。取苗作业时,取苗步进电机通过联轴器控制取苗机构转动。其中带螺纹的地脚是取苗机构安装支架的核心部件,通过带螺纹孔的连接块与基座相连。当取苗机构在试验台上需要调节位姿时,可通过调节地脚位置和高度来实现。

取苗机构安装支架左、右两端各有2个地脚,且两端地脚水平距离 D 取800 mm。地脚中带有螺纹段高度 H 为200 mm,亦是连接块上下可移动的距离,因此宽窄行取苗机构在取苗作业时可倾斜的最

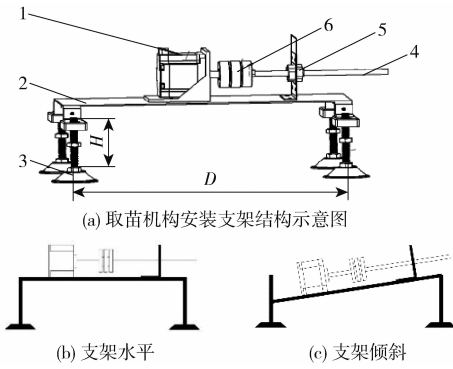


图4 取苗机构安装支架

Fig. 4 Mounting frame of transplanting mechanism

1. 取苗步进电机 2. 基座 3. 地脚 4. 驱动轴 5. 轴承 6. 联轴器

大角度 α 为

$$\alpha = \arctan(H/D) \quad (1)$$

最终求得 $\alpha = 14^\circ$, 满足倾斜式宽窄行取苗机构的姿态要求。取苗机构安装支架与送苗装置是相互独立的, 位姿可随意调整, 后续取苗试验时, 可根据具体要求调节地脚的位置和高度, 以适应不同类型取苗机构的试验需求。

3 控制系统设计

3.1 控制原理

在试验过程中, 取苗机构与纵向送苗、横向送苗 3 个步进电机之间联动和速度关系匹配是实现精准取苗的关键。本试验台采用控制器控制 3 个步进电机, 根据不同取苗机构、不同型号钵盘, 在控制器中进行编程, 实现送苗装置与取苗机构的联动和不同速度要求。

3.2 控制系统组成

试验台控制系统由 1 个步进电机多轴控制器、2 个接近开关、3 个步进电机驱动器、3 个步进电机和 1 个开关电源组成, 如图 5 所示。选用 DKC-Y240 型步进电机控制器控制 2 个 86BYG250H 型取苗与横向送苗步进电机和 1 个 57BYG250H 型纵向送苗步进电机。

3.3 软件设计

将取苗机构按照初始安装位置固定在取苗机构安装支架上, 送苗装置上的双螺旋轴两端安装接近开关。打开开关电源, 运行 DKC-Y240 型步进电机控制器, 送苗装置在横向送苗步进电机的带动下进行横向移动, 取苗机构开始取苗。当滑块接触到接近开关时, 接近开关开始提供信号并实时反馈给 DKC-Y240 型步进电机控制器, 系统发出指令控制纵向送苗步进电机纵向进给一次, 完成纵向送苗工作。取苗机构继续取下一行钵苗, 并与送苗装置的

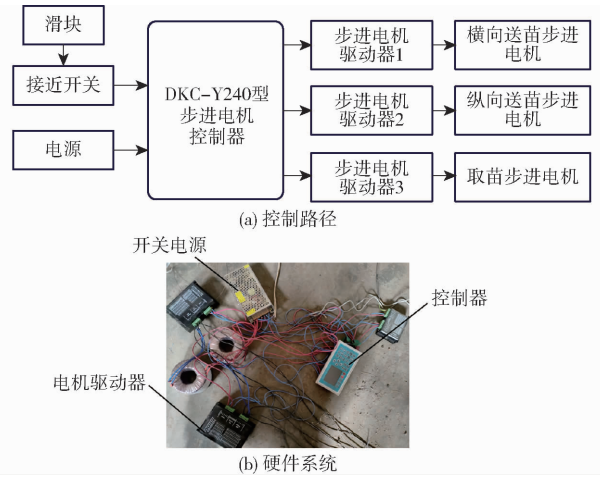


图5 试验台控制系统

Fig. 5 Test bench control system

横向移动相配合进行取苗, 直至完成取苗作业, 控制系统流程图如图 6 所示。

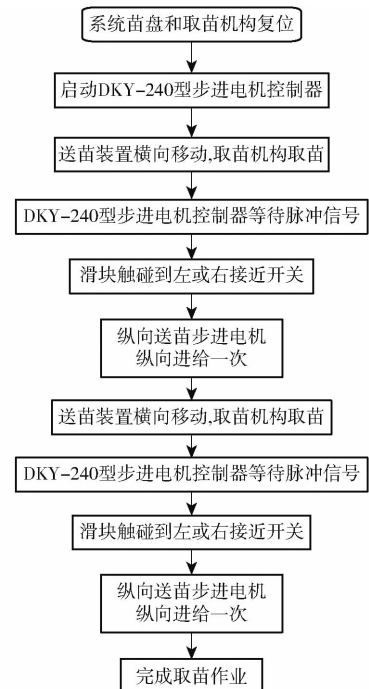


图6 控制系统流程图

Fig. 6 Flowchart of control system

3.4 控制器程序编写

在控制器中进行编程时, 考虑到试验台双螺旋轴导程为 40 mm、所用钵盘横向宽度为 280 mm、所用取苗机构为旋转一周取苗 x 次后, 得到

$$t = 7x/b \quad (2)$$

$$M = 1\ 600c/60 \quad (3)$$

$$N = Mt \quad (4)$$

式中 t ——取苗步进电机与横向送苗步进电机转速比

b ——所用钵盘每行穴数

c ——每分钟取苗次数, 次/min

M ——取苗步进电机脉冲频率, Hz

N ——横向送苗步进电机脉冲频率, Hz

在纵向送苗方面,由于所选的3个步进电机均为16细分并已知步距角为 1.8° ,得到

$$A = 16 \times 360^\circ / (k\theta_s) \quad (5)$$

式中 A ——纵向送苗步进电机脉冲数,个

θ_s ——步进电机步距角, ($^\circ$)

k ——驱动鼠笼一周钢丝数,个

以使用72穴钵盘、取苗机构每分钟取苗84次为例在控制器中进行编程。由式(2)得到取苗步进电机与横向送苗步进电机脉冲频率的比值为7:3。先选用程序1,再选择程序1中前3个线程(线程1、线程2、线程3)进行参数设置。在线程1中进行纵向送苗步进电机与取苗步进电机联动控制程序的编写,取苗步进电机与横向送苗步进电机脉冲频率应同时保证为整数;在线程2、3中进行左、右端接近开关控制步进电机纵向送苗程序的编写,具体编程过程如图7所示。

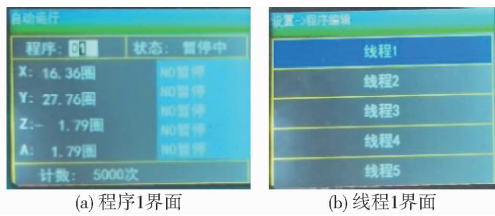


图7 具体编程流程图

Fig. 7 Specific programming flow chart

在控制器中编出的程序如表1~3所示。

表1 程序1线程1

Tab.1 Program 1 thread 1

序号	选项	数值	对应电机
N1	正转	0	1
N2	反转	0	2
N3	脉冲频率/Hz	5 229	1
N4	脉冲频率/Hz	2 241	2

表2 程序1线程2

Tab.2 Program 1 thread 2

序号	选项	数值	对应电机
N1	输入	12	0
N2	延时/ms	200	0
N3	脉冲/个	267	4
N4	脉冲频率/Hz	26 678	4
N5	停转	0	4

表3 程序1线程3

Tab.3 Program 1 thread 3

序号	选项	数值	对应电机
N1	输入	11	0
N2	延时/ms	200	0
N3	脉冲/个	267	4
N4	脉冲频率/Hz	26 678	4
N5	停转	0	4

根据此程序,在试验台上完成整个取苗作业的过程为:设置横向送苗步进电机与取苗步进电机为1号和2号电机,纵向送苗步进电机为4号电机。72穴钵盘放在苗箱上后打开开关电源,1号电机与2号电机联动,转速分别为98 r/min(对应脉冲频率为5 229 Hz)和42 r/min(对应脉冲频率为2 241 Hz)。当取苗机构横向取完一排共6株苗,控制器接收到左或右端接近开关信号后(本文分别使用12和11输入端口)控制已添加267个脉冲的4号电机以500 r/min(对应脉冲频率为26 678 Hz)的转速转动 30° 完成纵向送苗,此过程循环直至完成取苗任务。编程时纵向送苗延时时长为每次取苗间隔时长的 $1/3$ 以内;在计算脉冲时需取整数,多次纵向送苗后会产生累计误差,可通过周期添加或减少脉冲的方法来解决此问题。若所用钵盘横向宽度小于280 mm,可通过调整横向送苗步进电机的转速,以及控制器接收到左或右端接近开关信号后调整横向送苗步进电机的转向来实现。

后续在选用不同型号钵盘以及不同类型取苗机构进行试验时,手动修改控制器中线程1的脉冲频率、线程2和线程3中的脉冲数以及相关输入值,送苗装置移动速度和取苗机构取苗频率即随之改变。

4 试验

4.1 试验台物理样机

在Solidworks 2020和Adams软件中完成对可调倾角编程式多功能取苗试验台的建模、装配与仿真。将试验台各零件进行加工并组装,完成试验台装配,物理样机如图8所示。

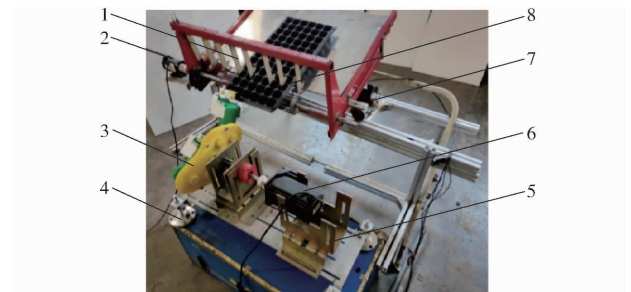


图8 试验台物理样机

Fig. 8 Physical drawing of test bench

1. 送苗装置
2. 纵向送苗步进电机
3. 取苗机构
4. 地脚
5. 取苗机构安装支架
6. 取苗步进电机
7. 横向送苗步进电机
8. 钵苗盘

4.2 取苗机构台架试验

为了验证物理样机的可行性,选择3种不同类型取苗机构和2种型号钵盘在试验台上进行3次取苗试验。

第1次试验采用探出取推钵式蔬菜钵苗取苗机

构^[22],并配合72(6×12)穴钵盘,如图9所示。以60 d苗龄的朝天椒钵苗作为取苗对象,因该取苗机构中部分零件采用3D打印而成,工作转速不宜太高,故每分钟取苗84次,对应取苗步进电机转速为42 r/min。设置钵盘驱动鼠笼钢丝间距为46 mm,所在圆周直径为174 mm,取3盘苗共计216株。

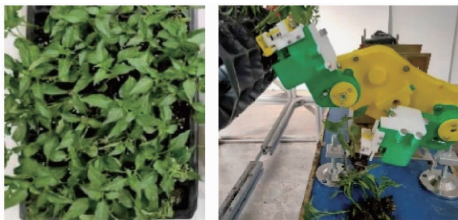


图9 第1次取苗试验

Fig. 9 The first seedlings pick-up test

第2次试验采用水稻钵苗等行距取苗机构^[23],并配合406(14×29)穴钵盘,如图10所示。以苗高为120 mm的水稻钵苗作为取苗对象,每分钟取苗160次,对应取苗步进电机转速为80 r/min。更改钵盘驱动鼠笼钢丝间距为20 mm,所在圆周直径为74 mm,并重新在控制器中进行编程。手动修改控制器中线程1的电机1、2脉冲频率为4 267 Hz、线程2和线程3中的脉冲数仍为267个,速度值不变,延时改为100 ms,取两盘苗共计812株。

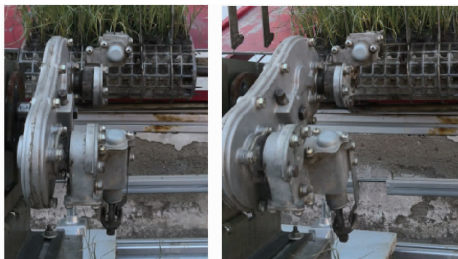


图10 第2次取苗试验

Fig. 10 The second seedlings pick-up test

为验证试验台能适应倾斜式宽窄行取苗机构,进行第3次试验。选用倾斜式宽窄行取苗机构,并配合406(14×29)穴钵盘,如图11所示。同样使用水稻钵苗作为取苗对象,每分钟取苗120次,对应取

苗步进电机转速为60 r/min。调节取苗机构安装支架的位姿,使得取苗机构安装倾角为12°,手动修改控制器中线程1的电机1、2脉冲频率为3 200 Hz,线程2和线程3中的脉冲数仍为267个,速度值不变,延时改为150 ms,其余条件与试验2相同,取2盘苗共计812株。

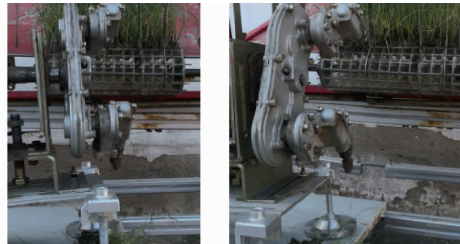


图11 第3次取苗试验

Fig. 11 The third seedlings pick-up test

试验台横向与纵向送苗准确性以及取苗机构性能均影响取苗成功与否,以钵苗能否被成功取出作为评价试验台设计是否合理的综合指标,得到3次取苗试验取苗成功率分别为:96.30%、98.52%、98.15%。

3种类型取苗机构的取苗成功率均超过96%,表明在此试验台上能够完成取苗试验,通过试验能够验证取苗机构的性能,证明该试验台满足多种型号钵盘和多种类型取苗机构的试验需求。

5 结论

(1)提出了一种能够适应多种型号钵盘和多种取苗机构的可调倾角程式多功能取苗试验台,改变控制系统中的多轴步进电机控制器程序可控制输出脉冲的数量与频率,进而对3个步进电机进行操控,可调节送苗装置中横、纵向送苗速度和取苗机构转速。

(2)根据农艺和试验台实际需求,完成了试验台设计、加工与装配。通过3次取苗试验,证明该试验台能够满足多种型号钵盘和取苗机构的试验条件,验证了试验台设计的合理性,达到了多功能的目标。

参考文献

- [1] 于晓旭,赵匀,陈宝成,等.移栽机械发展现状与展望[J].农业机械学报,2014,45(8):44-53.
YU Xiaoxu, ZHAO Yun, CHEN Baocheng, et al. Development status and prospects of transplanting machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(8): 44-53. (in Chinese)
- [2] 俞高红,王磊,孙良,等.大田机械化移栽技术与装备研究进展[J].农业机械学报,2022,53(9):1-20.
YU Gaohong, WANG Lei, SUN Liang, et al. Advancement of mechanized transplanting technology and equipments for field crops[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022,53(9): 1-20. (in Chinese)
- [3] 俞高红,金也,常数数,等.夹钵式水稻钵苗移栽机构设计与试验[J].农业机械学报,2019,50(7):100-108.
YU Gaohong, JIN Ye, CHANG Shushu, et al. Design and test of clipping-plug type transplantation mechanism of rice plug-seedling[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(7): 100-108. (in Chinese)
- [4] 俞高红,王系林,刘建刚,等.蔬菜钵苗密植移栽机多行取苗机构设计与试验[J].农业机械学报,2023,54(1):94-103.
YU Gaohong, WANG Xilin, LIU Jian'gang, et al. Design and experiment of multi row seedling picking mechanism for vegetable bowl seedling dense planting transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023,54(1): 94-103. (in Chinese)

- [5] 李华,马晓晓,曹卫彬,等.夹茎式番茄钵苗取苗机构设计与试验[J].农业工程学报,2020,36(21):39-48.
LI Hua, MA Xiaoxiao, CAO Weibin, et al. The design and test of the mechanism for picking tomato seedlings in a bowl with clamped stems[J]. Transactions of the CSAE, 2020,36(21):39-48. (in Chinese)
- [6] 童俊华,俞高红,朱赢鹏,等.三臂回转式蔬菜钵苗取苗机构设计与试验[J].农业机械学报,2019,50(1):113-121.
TONG Junhua, YU Gaohong, ZHU Yingpeng, et al. Design and experiment of a three arm rotating vegetable seedling harvesting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(1):113-121. (in Chinese)
- [7] 俞亚新,骆春晓,俞高红,等.椭圆-不完全非圆齿轮行星系取苗机构参数优化[J].农业机械学报,2013,44(6):62-68.
YU Yaxin, LUO Chunxiao, YU Gaohong, et al. Parameter optimization of the seedling picking mechanism for elliptical incomplete non circular gear planetary systems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(6):62-68. (in Chinese)
- [8] 宫成宇.多功能钵苗移栽试验台设计与试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.
GONG Chengyu. Design and experimental study of a multifunctional bowl seedling transplantation test bed[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [9] 陈志威.基于椭圆-不完全非圆齿轮传动的蔬菜钵苗取苗机构的优化和设计[D].杭州:浙江理工大学,2012.
CHEN Zhiwei. Optimization and design of vegetable bowl seedling picking mechanism based on elliptical incomplete non circular gear transmission[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012. (in Chinese)
- [10] 俞腾飞.非圆-椭圆齿轮行星系取苗机构的参数优化与设计[D].杭州:浙江理工大学,2013.
YU Tengfei. Parameter optimization and design of the seedling harvesting mechanism for non circular elliptical gear planetary systems[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [11] 叶秉良,唐涛,俞高红.添加配重的蔬菜移栽机旋转式取苗机构动力学分析[J].农业机械学报,2019,50(8):117-122.
YE Bingliang, TANG Tao, YU Gaohong. Dynamic analysis of the rotating seedling picking mechanism of vegetable transplanters with added counterweights[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(8):117-122. (in Chinese)
- [12] 吴国环,俞高红,叶秉良,等.行星轮系水稻钵苗移栽机构正反求设计方法研究[J].农业机械学报,2020,51(2):85-93,102.
WU Guohuan, YU Gaohong, YE Bingliang, et al. Research on the forward and reverse design method of planetary gear rice bowl seedling transplanting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020,51(2):85-93,102. (in Chinese)
- [13] 崔巍,方宪法,赵亮,等.齿轮-五杆取苗装置机构优化与试验验证[J].农业机械学报,2013,44(8):74-77.
CUI Wei, FANG Xianfa, ZHAO Liang, et al. Optimization and experimental verification of gear five bar seedling harvesting device mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(8):74-77. (in Chinese)
- [14] 秦晓峰.机械传动试验台测控系统的设计[D].重庆:重庆大学,2007.
QIN Xiaofeng. Design of measurement and control system for mechanical transmission test bench[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007. (in Chinese)
- [15] 廖庆喜,张照,胡乔磊.油菜钵苗移栽机气动取苗机构设计与轨迹分析[J].农业机械学报,2017,48(11):70-78.
LIAO Qingxi, ZHANG Zhao, HU Qiaolei. Design and trajectory analysis of pneumatic seedling picking mechanism for rapeseed paper bowl seedling transplanting machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017,48(11):70-78. (in Chinese)
- [16] 张开兴,吴昊,王文中,等.夹紧式番茄移栽机取苗机构的设计与试验[J].农机化研究,2020,42(12):64-68.
ZHANG Kaixing, WU Hao, WANG Wenzhong, et al. Design and experiment of a clamping tomato transplanter seedling picking mechanism[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020,42(12):64-68. (in Chinese)
- [17] 龙新华,韩长杰,张静.穴盘苗自动移栽机苗盘进给装置的设计与试验[J].农机化研究,2022,44(2):103-107,113.
LONG Xinhua, HAN Changjie, ZHANG Jing. Design and experiment of seedling tray feeding device for automatic transplanting machine of hole tray seedlings[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2022,44(2):103-107,113. (in Chinese)
- [18] 刘廉辉,江全明,金祖贻,等.江西59型水稻插秧机的研究设计[J].农业机械学报,1965,8(2):121-128.
LIU Lianhui, JIANG Quanming, JIN Zuyi, et al. Research and design of Jiangxi 59 type rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1965,8(2):121-128. (in Chinese)
- [19] 马旭,马成林,孙裕晶,等.空气整钵苗移栽器送秧及投苗机构的研究[J].农业机械学报,1996,27(增刊):48-52.
MA Xu, MA Chenglin, SUN Yujing, et al. Study on conveying and conveying mechanism of whole air pot seedling transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996,27(Supp.):48-52. (in Chinese)
- [20] 姚思博,刘建雄,曾家兴,等.夹取振动复合式取苗机构的结构设计[J].农业装备与车辆工程,2022,60(1):70-73.
YAO Sibo, LIU Jianxiong, ZENG Jiaying, et al. Structural design of clamping vibration composite seedling picking mechanism[J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2022,60(1):70-73. (in Chinese)
- [21] CHOI W C, KIM D C, RYUI K, et al. Development of seedling pick-up device for vegetable transplants[J]. Transactions of the ASAE, 2001,45(1):13-19.
- [22] 尹大庆,王佳照,周脉乐,等.探出取推钵式蔬菜钵苗取苗机构优化设计与试验[J].农业机械学报,2019,50(10):64-71.
YIN Daqing, WANG Jiazhao, ZHOU Maile, et al. Optimal design and experiment of vegetable potted seedlings pick-up mechanism for exploring and picking-pushing plugs[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(10):64-71. (in Chinese)
- [23] 尹大庆,池相河,周脉乐,等.水稻钵苗夹秧式分秧装置夹秧片变形试验[J].东北农业大学学报,2020,51(6):88-96.
YIN Daqing, CHI Xianghe, ZHOU Maile, et al. Experimental study on the deformation of rice seedling splitting device with rice bowl seedlings[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2020,51(6):88-96. (in Chinese)