

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.S1.010

水稻钵苗育苗穴盘分离套盘机设计与试验

孙泽强¹ 杜小强^{1,2} 李月婵¹ 丁坤¹ 俞亚新^{1,2} 陈建能^{1,2}

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江省种植装备技术重点实验室, 杭州 310018)

摘要: 采用工厂化育苗技术进行水稻钵苗育苗时,一般由人工将普通吸塑软穴盘分离然后套入硬托盘后再用于播种,增加了生产成本且劳动强度大。为减少人工成本、降低劳动强度,提高工厂育苗作业自动化,设计了一种适用于工厂化播种流水线的自动分离套盘机。利用真空吸盘吸附倒扣堆叠的软穴盘外侧壁后提升分离,再用翻转机构将分离出的软穴盘翻转180°到达套盘工位,套盘装置中的夹爪机构夹持软穴盘套入硬托盘中完成套盘作业。采用有限元分析软件 ANSYS 对软穴盘变形量进行分析,采用三维建模软件 SolidWorks 进行整机三维结构设计,设计了使用8个直径6 mm的风琴型真空吸盘吸附软穴盘作业的真空回路系统,并试制了样机,对不同工况下的软穴盘进行了分离套盘试验。样机试验结果表明,对14×29孔穴规格洁净软穴盘的分离套盘成功率为97%,穴盘表面粘附有水珠或泥土时分离套盘成功率均为98%,分离套盘效率为435盘/h,满足工厂化育苗播种流水线的工作要求,可为提高工厂化水稻钵苗育苗的自动化程度提供参考。

关键词: 水稻; 工厂化育苗; 吸塑穴盘; 分离机构; 套盘机构

中图分类号: S223.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2020)S1-0085-08

Design and Experiment of Tray Separating and Embedding Machine for Rice Pot Seedlings

SUN Zeqiang¹ DU Xiaoqiang^{1,2} LI Yuechan¹ DING Kun¹ YU Yaxin^{1,2} CHEN Jianneng^{1,2}

(1. Faculty of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China

2. Key Laboratory of Transplanting Equipment and Technology of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In the nursery factory for rice potseedlings, the soft plastic potseedling tray is embedded into a hard tray manually which increased the cost and the labor intensity. In order to improve the automation level of rice pot seedling nursery factory, an automatic soft tray separating and embedding machine was designed, which can be integrated with the rice seeding pipeline to reduce the cost and improve the efficiency. The automatic soft tray separating and embedding machine mainly consisted of tray separating section and tray embedding section. The separating section included the vacuum clamping mechanism and tray lifting mechanism; the embedding section included the tray turnover mechanism, embedding mechanism and conveying mechanism. According to the pulling force test for separating soft tray, the peak tensile force was varied in the range of 0.807~2.030 N. The vacuum suckers were used to separate the plastic soft trays that were stacked upside down. Then the type and amount of the vacuum suckers was determined. The catching points were set at the outer wall of the holes on the edge of the tray which had enough space for the suckers. By analyzing the overall force applied to the tray, the minimum air pressure for separating the tray was calculated to be 57.924 kPa. After the tray was separated, it was turned 180° by the tray turnover mechanism and sent to the tray embedding section. A hard tray was conveyed and stopped at a fixed position by the conveying mechanism. Then the tray embedding mechanism clamped the tray and moved downward to place the soft tray into the hard tray. The kinematic analysis of the separation mechanism was carried out. The open width variation of the clamping mechanism was determined, so that the time required for the clamping mechanism to clamp the tray can be calculated.

收稿日期: 2020-08-01 修回日期: 2020-09-23

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2018C02046)、国家自然科学基金项目(31971798)、浙江省151人才培养计划项目和浙江省高校中青年学科带头人培养项目

作者简介: 孙泽强(1997—),男,硕士生,主要从事农业机械研究,E-mail: 1486927431@qq.com

通信作者: 陈建能(1972—),男,教授,博士,主要从事农业机械研究,E-mail: jiannengchen@zstu.edu.cn

The minimum separation height of 20.47 mm was determined based on the tray deformation analysis by ANSYS, the height of the tray and the gap between the trays. According to the design requirements of the overall machine, the control scheme of the system was designed, including the control of the solenoid valve in the air pressure loop and the control of the motor in the mechanism. The overall machine was modeled by using SolidWorks. Based on the machine model, the prototype was manufactured, and the experiments of separating and embedding tray were carried out. 220 V single-phase alternative current was used to power the air compressor and the prototype respectively. The pressure regulating valve of the main pneumatic circuit was set to be 0.45 MPa. The experiments were conducted on 14×29 hole trays with clean surface and some water and soil adhered on the surface respectively. The results showed that by using eight 6-mm vacuum suckers, the success rate of separating and embedding 14×29 hole clean seedling tray was 97%. In the case of water and soil adhered on the surface of the tray, the success rate of separating and embedding 14×29 hole seedling tray was 98%. The machine efficiency was 435 trays/h, which could meet the working requirements of the factory seeding line.

Key words: rice; nursery factory; soft plastic pot seedling tray; separation mechanism; embedding mechanism

0 引言

随着农村劳动力转移和老龄化,中国水稻生产正逐步向轻简化、机械化发展^[1-4]。传统的毯状苗机插作业在栽植臂切割秧块时易造成伤根问题,从而影响到秧苗的成长和水稻产量^[5]。而钵苗移栽作业方式可以避免伤根,秧苗无缓苗期,可提高稻米产量和品质。为降低育苗成本,当前国内工厂化水稻钵苗育苗仍以吸塑软穴盘为主,播种流水线对吸塑穴盘进行每穴(2 ± 1)粒的精量播种,再送入暗室育苗。为节约空间,常将穴盘堆叠起来育苗^[6-7]。然而普通吸塑穴盘质地柔软、穴孔密集、尺寸偏差较大,不能实现堆叠育苗。一般采用人工方式分离软穴盘再逐个套入硬托盘,导致生产成本增加且劳动强度较大。

近年来穴盘供盘装置和自动分离套盘装置国内外都有相关研究和产品。如荷兰 Visser 公司研发的蔬菜精量播种生产线配备了育苗穴盘自动摆盘机,使用方形塑料泡沫育苗盘,整机工作效率高达 1 250 盘/h^[8]。日本企业开发的成套播种育苗流水线,包括自动供盘设备,其结构完善、规模大、自动化程度高^[9-11]。此外,美国和澳大利亚等国家也采用全套的流水线进行播种育苗,很多机型都已有广泛应用,机器质量好、功能全,自动化程度高^[12-13]。但由于国外设备价格昂贵,并未在中国广泛使用。

在国内,台湾亦祥企业有限公司针对传统毯状苗育苗制造的水稻秧盘自动供送装置速度快、效率高,但仅适用于硬塑秧盘的分离^[14]。刘海彬^[15]研制的气吸式育苗穴盘自动摆放机采用真空吸盘吸取 50 穴育苗穴盘,并摆放到传送带上,仅适用于穴孔边界区域无圆孔的硬穴盘,应用范围有限。马旭等^[16]设计了一种水稻软硬秧盘自动叠放装置,实现

了秧盘自动叠放的功能,但软、硬穴盘嵌套工序未能实现自动化。楼建忠等^[17]设计了一种自动穴盘供给装置,其中自动剥离机构通过将插片插入到 2 个穴盘之间,向下移动升降机构将穴盘从整叠穴盘中分离出来,但由于软穴盘硬度低,穴盘间距分布不均匀,并不适用于软穴盘的分离。

现有的穴盘分离装置主要应用于硬塑秧盘或适用于特定尺寸的穴盘,尚缺少适应水稻钵苗育苗软穴盘分离并完成软、硬盘嵌套的装置。为此,本文针对国内工厂化水稻钵苗育苗常用的 14×29 孔穴规格吸塑软穴盘,提出一种穴盘分离与套盘方案,采用真空吸盘吸附倒扣堆叠的穴盘穴孔外侧壁面,再提升分离,将分离出的穴盘翻转 180° 后送到套盘工位,再夹紧穴盘套入硬托盘。

1 堆叠吸塑穴盘分离方案与机构设计

1.1 整机设计要求

为了能够有效地为水稻精量播种生产线提供吸塑穴盘,要求穴盘分离套盘机的工作效率不低于 435 盘/h,套盘成功率应不低于 95%,并且在多种工作条件下能够满足工作要求。为了保证设备和使用人员的安全,装置还应具备急停功能和复位功能。

1.2 穴盘基本参数与分离拉力测量

本文设计的吸塑软穴盘分离套盘机主要用于 14×29 孔穴规格的柔软 PVC 育苗穴盘,穴盘的长度约为 590 mm,宽度约为 285 mm,高度约为 20 mm。由于实际产品的制造误差,每个穴盘的尺寸略有不同。将穴盘分为 10 组、每组 5 个测量质量并统计其平均值,测得单个穴盘质量约为 71.5 g。

穴盘倒扣时的穴孔截面尺寸如图 1 所示。

分离成摞的穴盘时,不仅需要克服穴盘重力,还需要克服穴盘间的摩擦力。为了给穴盘自动分离套

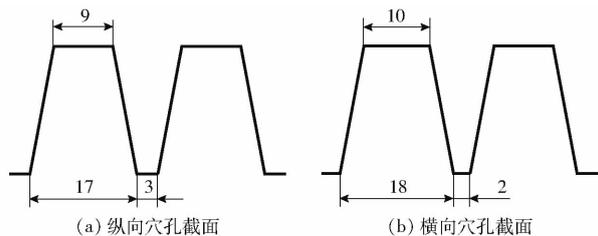


图 1 穴孔截面尺寸

Fig. 1 Section sizes of tray holes

盘机真空吸盘的选型设计提供依据,使用艾普 SF-5 型拉力计,最大负荷为 5 N,精度为 ±0.5%,拉起粘在穴孔外侧壁的细绳来模拟真实分离情况。用拉力计测试 20 组清洗后循环使用的穴盘分离拉力,记录分离过程中的拉力峰值。试验测量结果如表 1 所示。最大峰值拉力达到 2.030 N,最小峰值拉力为 0.807 N,波动范围较大。其中 6 号、12 号、19 号穴盘分离时带出下方的一个穴盘,其峰值拉力相对较大。

表 1 穴盘分离拉力峰值测试结果

Tab. 1 Test results for peak tension of tray separation

试验序号	拉力峰值/N
1	0.824
2	1.142
3	0.973
4	0.923
5	1.820
6	1.500*
7	1.052
8	1.379
9	1.162
10	2.030
11	1.202
12	1.328*
13	1.024
14	0.807
15	1.499
16	0.964
17	1.190
18	1.425
19	1.585*
20	0.925

注：* 表示拉力测试时出现带盘现象。

1.3 分离夹持机构设计

本文采用真空吸盘分离堆叠成摞的吸塑软穴盘,由于吸塑软穴盘不适用插片分离与穴孔边界吸取分离的方案,所以将吸附位置定在穴孔外侧壁,因此分离时吸塑软穴盘呈倒扣状态。通过试验比较确定采用 8 个孔径为 6 mm 的风琴形真空吸盘,最佳吸附位置在穴盘长边穴孔的外侧壁,如图 2 所示。这种方式可以很大程度上避免一次分离带出多个育苗穴盘的情况。

倒扣情况下育苗穴盘穴孔侧壁与水平面倾角约为 80°,为保证真空吸附效果,要求真空吸盘盘面与

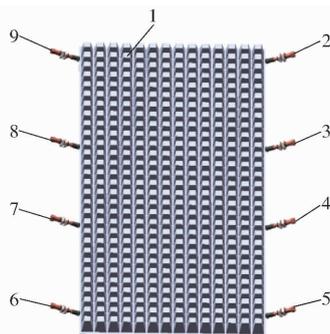


图 2 真空吸盘布置图

Fig. 2 Arrangement of vacuum suckers

1. 穴盘 2~9. 真空吸盘

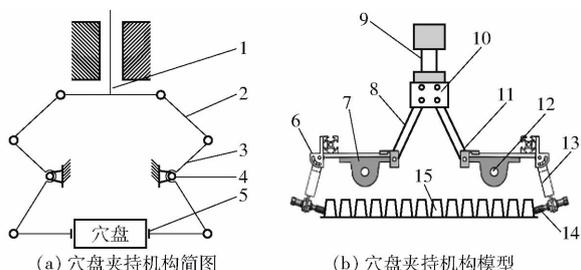


图 3 穴盘夹持机构

Fig. 3 Tray clamping mechanism

1,9. 推杆 2,8. 连杆 3. 钳臂 4. 支架 5. 钳口 6. 角度可调节连接座 7. 轴承座连杆 10. 推杆链接块 11. 铰链块 12. 固定轴 13. 真空吸盘支架连杆 14. 真空吸盘缓冲支架 15. 穴盘

穴孔侧壁保持平行贴合,本文根据穴盘分离要求设计了穴盘夹持机构^[18],其机构简图如图 3a 所示。工作时动力源施加推力于推杆上,通过铰链带动连杆及钳臂,使两钳口相对运动,夹紧物体。

穴盘夹持机构三维模型如图 3b 所示,选用步进电机作为动力源,两侧真空吸盘支架的轴承座连杆与连杆 8 设计成可调节角度的模式,使吸盘在到达吸附点的位置时其盘面能够平行于穴孔侧壁,不仅可以适应多种型号的穴盘,也可以降低夹持机构的装配精度要求。真空吸盘支架具有缓冲效果,保障穴盘存在挤压变形时也能够有很好的吸附效果。

1.4 分离夹持机构运动学分析

因为分离夹持机构为对称结构,所以只需要分析一侧的运动即可^[19-21],其机构简图如图 4 所示。分离夹持机构需要准确地夹持穴盘,根据机构运动简图有

$$x = a + b\sin\alpha + c\sin\beta + d\sin(90^\circ - \beta) \quad (1)$$

$$\begin{cases} s_0 = b\sin\alpha_0 - e\cos\beta_0 \\ s = b\sin\alpha - e\cos\beta \\ s - s_0 = vt \end{cases} \quad (2)$$

式中 α —— t 时刻连杆 BC 与竖直方向夹角, ($^\circ$)
 β —— t 时刻连杆 CE 与竖直方向夹角, ($^\circ$)
 a ——驱动块半宽, m

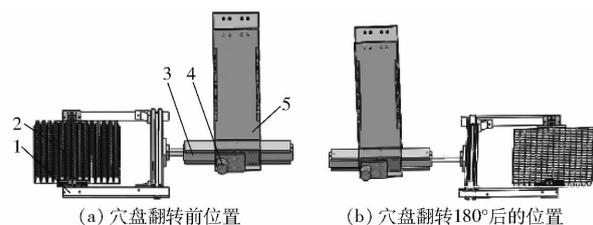


图 6 穴盘翻转机构

Fig. 6 Tray turnover mechanism

1. 穴盘 2. 夹爪机构 3. 气缸 4. 电机 5. 机架

向下套入到输送线的硬托盘中,硬托盘采用输送线方式供盘。

抓取机构由气爪和固定架组成,4 个气爪安装在气爪固定架上,气爪夹取位置可进行前后左右 4 个方向调节,以便于找到最佳夹紧点。夹爪夹紧相邻穴孔间的脊条,再启动竖直气缸,将穴盘竖直向下套入硬托盘中。机构模型如图 7 所示。

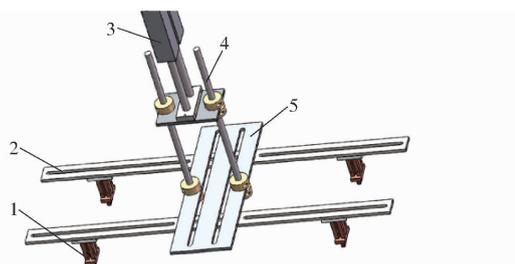


图 7 穴盘抓取机构模型

Fig. 7 Model of tray grabbing mechanism

1. 夹爪 2. 横向调节板 3. 气缸 4. 高度调节杆 5. 纵向调节板

2.3 硬托盘输送机构

硬托盘输送机构位于穴盘抓取机构的正下方,包括输送线和挡盘机构,用于输送和定位硬托盘,如图 8 所示。本文使用的改进硬托盘长 600 mm,宽 300 mm,深 35 mm,硬托盘通过输送辊运动到套盘位置,挡盘机构动作使硬托盘固定,随后套盘机构将穴盘套入硬托盘内,然后硬托盘携带育苗穴盘继续经输送线送入水稻播种线内。

输送线上设有硬托盘导槽,以实现硬托盘宽度方向上的定位。导槽位于输送辊的正上方,托盘从

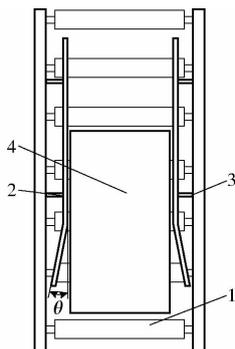


图 8 硬托盘输送机构模型

Fig. 8 Model of hard tray conveying mechanism

1. 输送带 2. 托盘导槽 3. 导槽支撑架 4. 硬托盘

导槽的张口处传送过来,随着槽口变窄,托盘被调整到需要的位置。导槽的开口角 θ 可以在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 之间调节,同时两侧导槽间距可以通过导槽支架来调节。

挡盘机构由龙门架、双轴气缸以及挡块组成。气缸缸体固定在龙门架上,挡块固定在气缸的活塞杆上。当穴盘套入托盘时,气缸缩回,使托盘通过;否则,气缸处于伸出状态,使托盘固定等待套盘动作。待托盘完全通过后气缸回到伸出状态。

3 分离机构真空系统设计

真空系统的气压回路原理图如图 9 所示。当电磁阀处于常通状态时,真空发生器内有正压气流通过,真空口产生真空,使吸盘产生吸附力吸附物件。

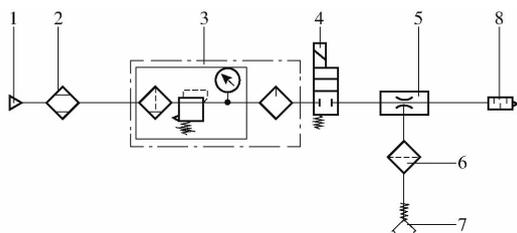


图 9 真空气动回路原理图

Fig. 9 Schematic of vacuum pneumatic circuit

1. 气源 2. 空气干燥器 3. 空气过滤器、油雾器及减压阀三联件 4. 电磁阀 5. 真空发生器 6. 真空过滤器 7. 真空吸盘 8. 消声器

3.1 分离穴盘所需吸附力

穴盘在提升的过程中受真空吸盘近似垂直于外表面的吸附力以及自身重力的作用。忽略惯性力,整个提升过程可以近似看作匀速直线运动。8 个真空吸盘产生的等效吸附力均垂直于各吸附点穴盘壁外表面,方向向外,大小相等。

如图 10 所示,对穴盘进行整体受力分析,其中 F_1 、 F_2 为穴盘两侧受到的吸附力合力。

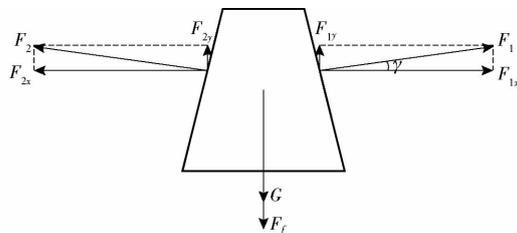


图 10 穴盘整体受力分析图

Fig. 10 Force analysis diagram of single tray

由于 F_{1x} 、 F_{2x} 对称分布,相互抵消。吸附力合力对穴盘在竖直方向上的分力为 F_{iy} ,有

$$F_{iy} = F_i \sin \gamma \quad (i = 1, 2) \quad (5)$$

式中 γ —— F_i 与 F_{ix} 之间的夹角,即穴盘外壁倾角的余角,经实际测量 $\gamma = 11^\circ$

当穴盘两侧吸附力向上的合力大于穴盘的重力

G 与摩擦力 F_f 的合力时,穴盘即可成功分离,因此

$$F_{1y} + F_{2y} \geq G + F_f \quad (6)$$

根据穴盘分离拉力峰值的测量结果可知, $G + F_f$ 的最大值为 2.030 N,取安全系数 1.25,得到 $F_{1y} + F_{2y} = 2.5$ N。

根据力与压强的关系

$$P \geq \frac{F}{S} = \frac{F_{1y} + F_{2y}}{8 \times \frac{1}{4} \pi D^2} \quad (7)$$

式中 D ——吸盘直径,为 0.006 m

F ——吸附合力

S ——接触面总面积

求得 $P \geq 57.924$ kPa。

3.2 控制系统设计

穴盘自动分离套盘机控制系统结构如图 11 所示。选用 BE-2017 PLC 一体机为控制器,由 24 V、5 A 直流电源供电,PLC 的 I/O 口通过控制电磁阀通断来控制执行部件的动作。

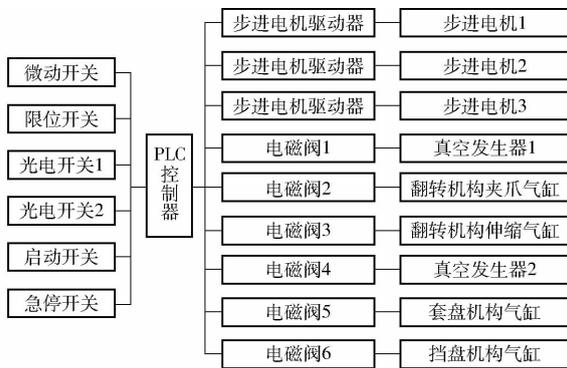


图 11 控制系统结构图

Fig. 11 Structure diagram of control system

穴盘自动分离套盘机选用两个 57HS22 两相步进电机分别作为提升机构与翻转机构的执行元件,选用 39HB3302 型步进电机驱动推杆作为穴盘分离夹持机构的执行元件,选用 TB6600 型步进电机驱动器配合两款步进电机使用。穴盘分离机构的行程随着穴盘上料架上剩余育苗穴盘的数量减少而增加,使用一对 LXDJ-31NO 光电对射型开关检测穴盘分离装置下降行程:一个安装在机架上,一个安装在穴盘分离装置上。使用 YBLX-ME-8018 型滚轮摇臂式限位开关控制上升行程。分离装置吸盘架的夹持角度使用 YBLXW-6/11CG 型微动开关调节,确保吸盘贴合穴盘穴孔外侧壁。另一对 LXDJ-31NO 光电对射型开关安装在机架上,待翻转机构转过 180°后触发信号,发送套盘机构和挡盘机构运动指令。各元器件安装位置如图 12 所示。控制系统流程图如图 13 所示。

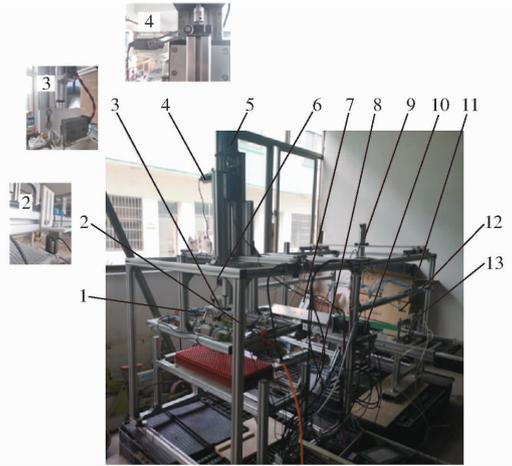


图 12 元器件安装位置图

Fig. 12 Component installation schematics

1. 真空发生器 1 2. 光电开关 1 3. 微动开关 4. 限位开关 5. 步进电机 1 6. 步进电机 2 7. 翻转机构伸缩气缸 8. 翻转机构夹爪气缸 9. 套盘机构气缸 10. 步进电机 3 11. 真空发生器 2 12. 光电开关 2 13. 挡盘机构气缸

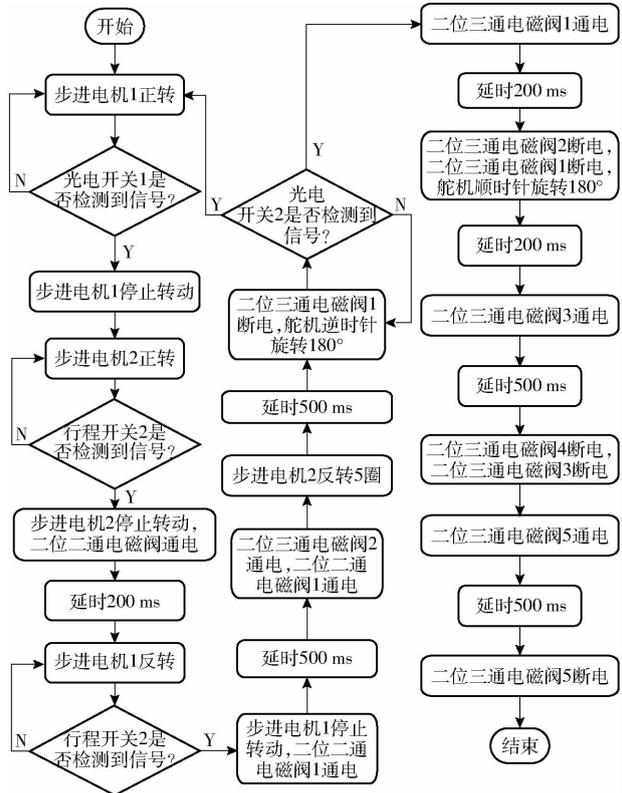


图 13 控制系统流程图

Fig. 13 Flow chart of control system

分离套盘机构的运动执行件主要为步进电机和气缸。启动后输送带开始转动,带动硬托盘到达预定位置,步进电机 1 驱动吸盘夹持机构接近育苗穴盘,当到达吸附点时,安装在夹持机构上的光电开关 1 检测到光电信号被穴盘遮挡后发送电压信号给 PLC,控制步进电机 1 停止运行。

步进电机 2 驱动夹持机构运动,使真空吸盘贴合穴盘穴孔外侧壁,当完全贴合时,微动开关传递信

号使电机 2 停止运行,步进电机 1 反转带动提升机构向上运行。

限位开关检测提升上限点上升行程,同时也是翻转机构的启动信号开关。当吸盘夹持机构吸附吸盘提升到最高点时,限位开关闭合,翻转机构伸缩气缸伸出到达夹持穴盘位置,夹持气缸收缩夹紧穴盘后伸缩气缸边缩回边翻转,此时分离机构开始下一个穴盘的分离动作,步进电机 3 继续带动翻转机构翻转,伸缩气缸转过最低点后边伸出边翻转,伸缩翻转 180°后将穴盘送至套盘工位,套盘机构夹紧吸塑软穴盘并套入硬托盘中。

光电开关 2 为分离机构和套盘机构的启动信号开关,当翻转机构带动穴盘翻转 180°后,光电开关发出信号,套盘机构夹紧送过来的穴盘进行套盘作业。设置延时程序控制挡盘机构伸缩。翻转机构反转 180°回到夹持机构一侧等待夹取下一个穴盘。

4 样机试验

样机如图 14 所示,整机机架主要由 4040 铝型材构成,通过机架将几个联动的机构连接在一起。整机长约 2 380 mm,宽约 1 000 mm,高约 1 730 mm。套盘机构的竖直气缸固定在可以调节位置的 SBR 滑轨上,方便机器装配时调试。

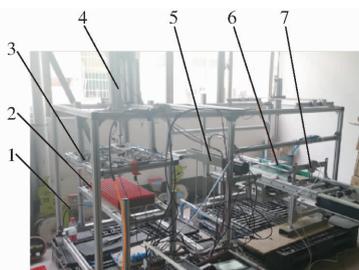


图 14 穴盘分离套盘样机实物图

Fig. 14 Photo of prototype of seedling tray separating and embedding machine

1. 机架 2. 穴盘上料架 3. 真空吸盘夹持机构 4. 提升机构
5. 穴盘翻转机构 6. 穴盘套盘机构 7. 输送带及挡盘机构

4.1 洁净穴盘分离套盘试验

为了验证样机在实际运用中的可行性,取 50 个表面洁净的吸塑软穴盘,对分离套盘样机做 500 次分离套盘试验,每组 50 个工作循环,重复 10 组。

试验采用如下参数:吸盘个数为 8 个,使用直径为 6 mm 的 3 层风琴型真空吸盘,根据仿真分析结果,同侧 4 个真空吸盘相邻间距为 180 mm,对侧真空吸盘夹紧间距为 273 mm。夹持机构步进电机转速调节为 1.25 r/s。提升机构步进电机转速调节为 10 r/s。翻转机构步进电机转速调节为 0.25 r/s,伸缩气缸行程为 600 mm,夹持气缸行程为 40 mm。套盘机构使用 4 个夹爪,横向间距为 400 mm,纵向间

距为 190 mm,竖直气缸工作行程为 300 mm。使用 220 V 单相交流电对上海捷豹 2 × 1500 - 100 型空气压缩机和穴盘自动分离套盘机分别供电,将主气动回路的调压阀调节为 0.45 MPa,夹持角度固定为垂直于穴孔外侧壁面。试验现场如图 15 所示。



图 15 穴盘自动分离与套盘试验现场

Fig. 15 Test on separating and embedding machine

通过试验发现,分离套盘样机工作时出现如下 3 种情况:①单个穴盘被成功分离并套入硬托盘。②穴盘发生粘连,一次分离出了 2 个穴盘并成功套盘,导致这种情况发生的主要原因是穴盘间的粘合力过大,仍视为套盘成功,因为在实际生产中软穴盘的价格为 0.3 ~ 0.5 元,相比于硬穴盘 13 ~ 16 元,价值较低,且在生产中损耗较大,粘连虽然会浪费穴盘,但不影响后续使用且对成本影响较小。③穴盘未成功套盘,即穴盘未被成功分离或在翻转、套盘过程中掉落。由试验结果可见,样机分离套盘成功率达到了 97%,其中 8 次出现粘连情况,粘连率为 0.16%,而未成功分离套盘的情况有 15 次。通过计时得到 500 次分离套盘作业耗时约 69 min,工作效率为 435 盘/h。由于软穴盘不确定因素多,分离难度大,现有研究少。分离成功率结果无法从行业标准获得求证,该结果可作为继续研究的参考依据。

4.2 特殊环境下的穴盘分离套盘试验

在水稻育苗播种时,育苗穴盘可能存在清洗后未完全干燥导致表面残留水珠或者没有清洗干净导致穴盘表面粘附有泥土的情况,为获取特殊环境下的穴盘分离套盘效果,分别对 50 个洁净的育苗穴盘喷洒水雾和抛撒泥土,模拟两种特殊环境下穴盘情况,处理效果图如图 16 所示。分别进行 300 次分离套盘试验。

穴盘表面残留水珠或泥土时分离套盘成功率可以达到 98%,残留水珠时粘连率为 10%,残留泥土



(a) 表面有水的育苗穴盘 (b) 表面粘附泥土的育苗穴盘

图 16 穴盘表面处理效果

Fig. 16 Tray treatment under special circumstances

时粘连率为2%。但由于穴盘表面有水导致穴盘间粘附力变大,所以在分离穴盘阶段更容易产生粘连分离情况。穴盘表面残留泥土时单个穴盘分离套盘成功率显著增高,原因在于穴盘表面附着泥土时穴盘间粘附力变小,穴盘更易单个分离。

5 结论

(1)设计了一种适用于普通吸塑软穴盘的分离套盘机构,主要由育苗穴盘上料架、真空吸盘夹持机构、夹持装置提升机构、穴盘翻转机构和穴盘套盘机

构组成,采用气动与机械相结合的方式,能够实现吸塑软穴盘的自动分离套盘。

(2)通过对分离机构进行运动学分析,确定了推杆电机的运行时间;并根据 ANSYS 计算出的穴盘变形量确定了穴盘分离提升高度。

(3)搭建样机进行了多种工况下的穴盘分离套盘试验,结果表明洁净穴盘分离套盘成功率达97%,穴盘表面残留水珠和泥土情况下穴盘分离套盘试验结果表明成功率均为98%,整机工作效率为435盘/h,满足实际使用要求。

参 考 文 献

- [1] 边文范,田慎重,郑东峰,等. 水稻水田栽培史及早田钵苗机械化移栽新发展研究概述[J]. 南方农业,2018,12(26):11-14.
BIAN Wenfan, TIAN Shenchong, ZHENG Dongfeng, et al. Summary of research on rice paddy cultivation history and new development of mechanized transplanting of dryland seedlings[J]. South China Agriculture, 2018, 12(26): 11-14. (in Chinese)
- [2] 朱聪聪,张洪程,郭保卫,等. 钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J]. 作物学报,2014,40(1):122-133.
ZHU Congcong, ZHANG Hongcheng, GUO Baowei, et al. Effect of planting density on yield and photosynthate production characteristics in different types of rice with bowl mechanical transplanting method[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(1): 122-133. (in Chinese)
- [3] 包春江,李宝筏,包文育,等. 水稻钵苗空气整根气吸式有序移栽机的研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):130-134.
BAO Chunjiang, LI Baofa, BAO Wenyu, et al. Air-sucking sequential rice transplanter for airpruning tray grown seedlings [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(6): 130-134. (in Chinese)
- [4] 史鸿志,朱德峰,张玉屏,等. 生物降解秧盘及播种量对机插水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 农业工程学报,2017,33(24):27-34.
SHI Hongzhi, ZHU Defeng, ZHANG Yuping, et al. Effect of biodegradable seedling tray and sowing rate on seedling quality and yield of mechanical transplanting rice[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(24): 27-34. (in Chinese)
- [5] 张洪程,朱聪聪,霍中洋,等. 钵苗机插水稻产量形成优势及主要生理生态特点[J]. 农业工程学报,2013,29(21):50-59.
ZHANG Hongcheng, ZHU Congcong, HUO Zhongyang, et al. Advantages of yield formation and main characteristics of physiological and ecological in rice with nutrition bowl mechanical transplanting[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(21): 50-59. (in Chinese)
- [6] 李泽华,马旭,谢俊锋,等. 双季稻区杂交稻机插秧低播量精密育秧试验[J]. 农业工程学报,2014,30(6):17-27.
LI Zehua, MA Xu, XIE Junfeng, et al. Experiment on precision seedling raising and mechanized transplanting of hybrid rice under low sowing rate in double cropping area[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(6): 17-27. (in Chinese)
- [7] 花劲,周年兵,张军,等. 双季晚稻甬优系列籼粳杂交稻超高产结构与群体形成特征[J]. 中国农业科学,2015,48(5):1023-1034.
HUA Jing, ZHOU Nianbing, ZHANG Jun, et al. The structure and formation characteristics of super-high yield population with late Yongyou series of indica-japonica hybrid rice in double-cropping rice area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(5): 1023-1034. (in Chinese)
- [8] Visser. MHD-LB tray destacker and pot dispenser [EB/OL]. (2016-02-23) [2020-08-07]. <http://www.visser.eu/products/all-products/MHD-LB/>.
- [9] 株式会社クボタ. 育苗箱積重ね機構:2003246450[P]. 2003-09-02.
- [10] 井關農機株式会社. 苗箱の段積装置:200347343[P]. 2003-02-18.
- [11] ヤンマー農機株式会社. 箱体積載装置:1056884[P]. 1998-03-03.
- [12] 高升,洪艳. 国外农业产业集群发展的特点与启示——以荷兰、法国和美国为例[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2010, 11(2): 66-70.
GAO Sheng, HONG Yan. The characteristics and inspiration of agricultural industry cluster-style development of Netherlands, France and the U. S. [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences), 2010, 11(2): 66-70. (in Chinese)
- [13] MEERBURG B G, KOREVAAR H, HAUBENHOFER D K, et al. The changing role of agriculture in Dutch society[J]. Journal of Agricultural Science, 2009, 147(5): 511-521.
- [14] 邱德旺. 自动进料排箱机:85214362[P]. 1996-09-17.
- [15] 刘海彬. 气吸式育苗穴盘自动摆放机的研制[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
LIU Haibin. Development of automatic machine for placing seed trays using suction cups [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017. (in Chinese)

- [17] BROWN E, RODENBERG N, AMEND J, et al. Universal robotic gripper based on the jamming of granular material[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010, 107(44): 18809 - 18814.
- [18] 卢伟, 王鹏, 王玲, 等. 褐菇无损采摘柔性手爪设计与结构优化[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 28 - 36.
LU Wei, WANG Peng, WANG Ling, et al. Design and structure optimization of flexible gripper for mushroom nondestructive picking[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 28 - 36. (in Chinese)
- [19] HAO Yufei, GONG Zheyuan, XIE Zhixin, et al. A soft bionic gripper with variable effective length[J]. Journal of Bionic Engineering, 2018, 15(2): 220 - 235.
- [20] SHEN H. A study of welding robot path planning application based on genetic ant colony hybrid algorithm[C]// Advanced Information Management, Communicates, Electronic & Automation Control Conference. IEEE, 2017: 1743 - 1746.
- [21] GUTFREUND Y, FLASH T, FIORITO G, et al. Patterns of arm muscle activation involved in octopus reaching movements [J]. Journal of Neuroscience; the Official Journal of the Society for Neuroscience, 1998, 18(15): 5976 - 5987.
- [22] KIER W M, SMITH K K. Tongues, tentacles and trunks: the biomechanics of movement in muscular-hydrostats [J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 1985, 83(4): 307 - 324.
- [23] FEI Y Q, WANG J B, PANG W. A novel fabric-based versatile and stiffness-tunable soft gripper integrating soft pneumatic fingers and wrist[J]. Soft Robotics, 2018, 6(1): 1 - 20.
- [24] ZHONG G, HOU Y, DOU W. A soft pneumatic dexterous gripper with convertible grasping modes[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2019, 2(28): 445 - 456.
- [25] WANG Z, OR K, HIRAI S. A dual-mode soft gripper for food packaging[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2020, 125: 103427.

(上接第 92 页)

- [16] 马旭, 谭永妍, 齐龙, 等. 水稻秧盘育秧精密播种流水线软硬秧盘自动叠放装置[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 29 - 36.
MA Xu, TAN Yongxin, QI Long, et al. Automatic tray stacking device for hard and soft tray of rice precision seeding for nursing seedlings pipeline[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 29 - 36. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160305&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.005. (in Chinese)
- [17] 楼建忠, 徐高杨, 陈家, 等. 一种自动穴盘供给装置: 106379745[P]. 2019-03-08.
- [18] 炜康. 基于图论的重载夹持装置构型及其优化[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
WEI Kang. Configuration and optimization of heavy load clamping device based on graph theory[D]. Changsha: Central South University, 2010. (in Chinese)
- [19] 李丰延, 成铭, 王瑞, 等. 快递包装夹持装置的设计与研究[J]. 包装工程, 2018, 39(13): 123 - 128.
LI Fengyan, CHENG Ming, WANG Rui, et al. Design and research of express package clamping device[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(13): 123 - 128. (in Chinese)
- [20] 叶秉良, 朱浩, 俞高红, 等. 旋转式水稻钵苗移栽机构动力学分析与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 53 - 61.
YE Bingliang, ZHU Hao, YU Gaohong, et al. Dynamics analysis and tests of rotary transplanting mechanism for rice pot-seedling [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 53 - 61. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160508&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.008. (in Chinese)
- [21] YE Bingliang, YI Weiming, YU Gaohong, et al. Optimization design and test of rice plug seedling transplanting mechanism of planetary gear train with incomplete eccentric circular gear and non-circular gears[J]. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 2017, 10(6): 43 - 55.
- [22] 徐建飞, 范纪华, 任亮, 等. 基于 ADAMS 和 ANSYS 工业机器人运动仿真与有限元分析[J]. 机床与液压, 2018, 46(18): 31 - 34.
XU Jianfei, FAN Jihua, REN Liang, et al. Motion simulation and finite element analysis of industrial robot based on ADAMS and ANSYS[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(18): 31 - 34. (in Chinese)
- [23] 余俊伟, 许洪斌, 徐涛金, 等. 一种绳牵引上肢康复机器人结构设计与有限元分析[J]. 机械传动, 2018, 42(12): 99 - 103.
YU Junwei, XU Hongbin, XU Taojin, et al. Structural design and finite element analysis of a rope-drawn upper limb rehabilitation robot[J]. Mechanical Transmission, 2018, 42(12): 99 - 103. (in Chinese)
- [24] 浦广益. ANSYS Workbench 基础教程与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [25] 郑兆启, 李树君, 王冰, 等. 鲜切果蔬包装机输送机构仿真与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 252 - 258.
ZHENG Zhaoqi, LI Shujun, WANG Bing, et al. Simulation and experiment on conveying mechanism of fresh-cut fruit and vegetable packaging machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(7): 252 - 258. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160735&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.07.035. (in Chinese)