

双排移栽机械手联动式高速移栽装置设计与试验

计东¹ 胡熙¹ 哲旋瑞¹ 白晓虎¹ 宫元娟¹ 田素博^{1,2}

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110866; 2. 农业农村部园艺作物农业装备重点实验室, 沈阳 110866)

摘要: 为了提高自动移栽机移栽效率,设计一种双排移栽机械手联动式高速移栽装置。利用安装在两个移栽臂上的双排移栽机械手交替取苗和栽苗的方法,采用联动控制方式使移栽效率翻倍。通过优化移栽机械臂和移栽机械手结构,并对其关键部件进行参数设计和运动学分析,综合考虑影响移栽成功率的关键因素,确定穴盘苗苗坨含水率、苗龄、爪针限位孔中心距为试验因素,以200穴欧石竹穴盘苗为试验对象,进行单因素试验和多因素正交试验,确定双排移栽机械手联动式高速移栽装置的最佳工作参数。试验结果表明:当穴盘苗苗坨含水率为32.6%、苗龄为46 d、爪针限位孔中心距为16.7 mm时,取苗成功率为94.7%,与软件计算结果94.2%接近,符合花卉、蔬菜移栽作业的技术要求。

关键词: 移栽机; 移栽装置; 移栽机械手; 正交试验

中图分类号: S223.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)12-0126-08 OSID: 

Design and Experiment of Double Row Transplanting Manipulator Linkage High Speed Transplanting Device

Ji Dong¹ HU Xi¹ ZHE Xuanrui¹ BAI Xiaohu¹ GONG Yuanjuan¹ TIAN Subo^{1,2}

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

2. Key Laboratory of Horticultural Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to improve the transplanting efficiency of transplanting machine to adapt to the greenhouse, a double row of transplanting manipulator linkage type high-speed transplanting device was designed. Using the double row transplanting manipulator installed on two transplanting arms to alternately take and plant seedlings, the control mode can double the efficiency of transplanting. Through the analysis of transplanting work process, the transplanting arm and transplanting manipulators were optimized, and the key components were parametrically designed and kinematically analyzed. Finally, considering the key factors influencing the success rate of transplanting, and determining tray seedling moisture content, age of seedling and center distance of limit hole of claw needle as the experiment factors. Selecting 200 holes carnation hole tray seedling as experiment object, the single factor experiment and multifactor orthogonal experiment were carried out to explore the double row transplanting manipulator linkage type optimal working parameters of the high-speed transplanting mechanism. The experimental results showed that when the water content of the pot seedling was 32.6%, the seedling age was 46 d, and the distance between the center of the limit hole of the paw needle was 16.7 mm, the average value of success rate was of 94.7%, which was close to the software calculation result of 94.2%. The results could lay a foundation for the development of high-speed automatic transplanter for potted flowers which met the technical requirements of the transplanting operation of flower transplanter.

Key words: transplanter; transplanting device; transplanting manipulator; orthogonal experiment

0 引言

盆栽花卉和蔬菜多采用育苗移栽技术进行生产,机械化栽植具有可降低生产成本、提高生产效率、降低劳动强度等优势^[1-4]。国外移栽机械已逐渐向智能化方向发展,国内移栽机械以半自动移栽机为主。我国对花卉的需求量逐年增加,已经成为世界最大的花卉生产基地^[5-9]。利用移栽机械手将穴盘中幼苗取出并移栽到钵盆中是整个移栽机作业的关键步骤^[10-12],因此,亟待研制出高效且性能可靠的自动移栽装置。

KUTZ 等^[13]基于 Puma560 设计了苗圃移栽机器人,可以将 96 穴的穴盘苗移栽入 36 穴的生长盘中;TING 等^[14]研制的移栽机器人可以通过视觉传感器检测穴苗的位置,力觉传感器感应取苗力度,极大地降低了穴盘苗损伤率;荷兰 Visser PIC-O-Mat 型自动移栽机,可根据需求提供不同数量的移栽机械手,且单个机械手移栽效率可达 1 700 株/h^[15]。国外基于机器人技术为主体研制了多款全自动移栽机,但这些机型均存在结构复杂、成本过高,且与我国的育苗技术不配套等问题。

范云翔等^[16]设计了一种利用负压空气整理水稻根系并实现自动化投苗的移栽机,伤苗率低,精度较高,但只适用于水稻秧苗,不适合移栽花卉;郁玉峰等^[17]开发了一种移栽机器人,其末端执行器在 3 组驱动机构的联合控制下可在工作空间内任一位置停留,但占用空间大,移栽效率过低;张丽华等^[18]设计了一种自动移栽机,利用并排放置的 2 条传送带分别运送穴盘苗和花盆,可实现多种规格穴盘的花卉幼苗移栽;冯青春等^[19]设计了一款智能移栽机,可快速检测幼苗生长状态,能将不合格的幼苗剔除,提高了移栽成功率;韩绿化等^[20]设计的钳夹式移栽机,移栽机械手采用两指四针式结构,可稳定夹持苗坨;李福^[21]运用模块化的设计思路研制了一款移栽设备,抓取效果好,不易伤苗。

我国花卉移栽机还处于研究初期,目前研制的移栽装置在移栽精度、移栽效率方面均有待提高^[22-24]。本文设计一种双排移栽机械手联动式高速移栽装置,以期为高速移栽机的研制奠定基础。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

本文设计的双排移栽机械手联动式高速移栽装置,主要包括机架、导轨滑块、移栽臂气缸、步进电机、同步带传动机构、带导轨的移栽臂、移栽机械手、移栽臂上升到位传感器、移栽机械手取苗位置传感

器和移栽机械手栽苗位置传感器等部分,如图 1 所示。该装置是盆栽花卉高速自动移栽机的一部分。栽植效率可达 6 000 株/h。

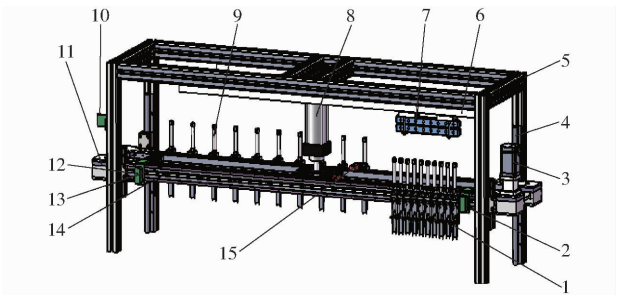


图 1 双排移栽机械手联动式高速移栽装置结构示意图
Fig.1 Schematic of double row transplanting manipulator linkage high speed transplanting device

- 1. 前排移栽机械手 2. 取苗一侧限位开关 3. 步进电机 4. 竖直导向机构 5. 机架 6. 多管路气排导向机构 7. 多管路气排
- 8. 移栽臂气缸 9. 后排移栽机械手 10. 移栽臂上升到位传感器
- 11. 同步带轮箱 12. 栽苗一侧限位开关 13. 水平导向机构
- 14. 同步带 15. 移栽机械手限位挡块

1.2 工作原理

控制系统采用 PLC 控制,通过安装在各位置的传感器接收信号控制气缸伸缩和电机启动、停止及正反转,以实现移栽臂精确定位和移栽机械手精准取栽苗作业。工作过程分为以下步骤:①穴盘输送机构与钵盆输送机构分别将穴盘与钵盆运送至高速移栽装置的正下方。此时,移栽臂气缸收缩。②步进电机驱动同步齿形带带动第一个与同步带固连的移栽机械手,依次推动其余 9 个移栽机械手到达第 10 排穴盘苗的正上方。③移栽臂气缸带动移栽臂向下运动,当移栽机械手底端离穴盘苗坨表面 3 mm 时,移栽手爪针伸出,夹紧苗坨。④移栽臂气缸带动移栽臂向上运动,同步带带动前排移栽爪展开,此时前排移栽机械手移动到钵盆正上方,与此同时后排移栽机械手也在同步带的带动下,到达第 11 排穴盘苗正上方。⑤移栽臂气缸带动移栽臂向下运动,前排移栽机械手将穴盘内第 1 排花苗移栽到钵盆内,后排的移栽机械手抓取第 11 排的穴盘苗坨,在后排移栽机械手完成取苗动作后,穴盘输送机构将穴盘向前输送 1 个穴的距离,进行下一排花苗的取栽作业。依此类推连续工作,直至完成整盘花卉幼苗的移栽作业。

本装置能实现高速移栽的关键在于:前后双排移栽机械手在一条同步带和气缸的带动下实现交替取、栽苗,与单排移栽机械手的移栽装置相比,去除了移栽机械手栽完后从钵盆上方移动到穴盘上方取苗这一空行程所造成的时间浪费,移栽效率提高 1 倍。穴盘苗移栽位置工作逻辑如图 2 所示。

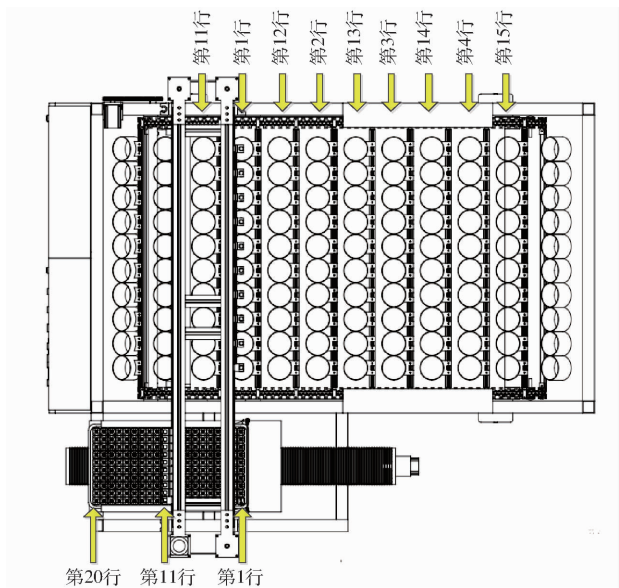


图 2 移栽位置工作逻辑图

Fig. 2 Logical diagram of transplanting location allocation

2 关键部件设计

2.1 双排移栽机械手联动式高速移栽机械臂设计

双排移栽机械手联动式高速移栽机械臂采用龙门结构,由步进电机、同步带轮箱、同步带、移栽机械手固定铝型材、安装板、导轨、固定块和移栽机械手限位挡块组成,如图 3 所示。移栽臂上可安装 20 个移栽机械手,通过安装板安装在移栽机械手所在铝型材上,安装板通过固定块固定在齿形带上,并安装有传感器感应元件,齿形带可以带动移栽机械手实现分合。两排移栽机械手分别在两个相互平行的面内呈“门”字型往复移动。

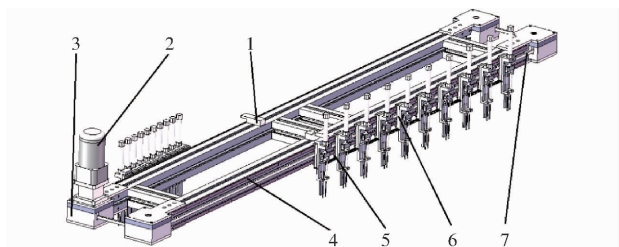


图 3 移栽臂结构示意图

Fig. 3 Schematic of transplanted arm structure

1. 移栽机械手限位挡块 2. 步进电机 3. 同步带轮箱 4. 导轨
5. 安装板 6. 移栽机械手固定铝型材 7. 同步带

其中移栽机械手水平运动通过移栽臂上的滑轨和与移栽机械手固连的滑块来导向,利用步进电机驱动同步带进而带动最靠近钵盆输送系统一侧的移栽机械手(主动移栽机械手)提供动力。通过柔性缓冲带与微型链条将 10 个移栽机械手串联,向栽苗一侧移动时,主动移栽机械手依次将从动移栽机械手拉动至钵盆上方,当传感器感应元件触碰到限位开关时,步进电机停止,完成分散过程。向取苗一侧

移动时,主动移栽机械手依次推动从动移栽机械手运动至穴盘输送机构上方,当传感器感应元件触碰到限位开关时,步进电机停止,完成合拢过程。

2.2 移栽机械手设计

2.2.1 取苗夹持受力分析

移栽机械手爪针在抓取苗坨时既需一定的刚性来抓紧,又需一定的弹性保证苗坨不被破坏。移栽机械手执行取苗动作时,两根苗针以一定角度插入苗坨,当苗针插入到一定深度后,以角度 α 夹持苗坨,在移栽臂带动下将苗坨从苗盘中取出,如图 4a 所示。移栽机械手取苗时苗坨受力分析如图 4b 所示。其中 d 为爪针扎入苗坨时与苗坨中心的距离, h 为爪针扎入苗坨的深度。

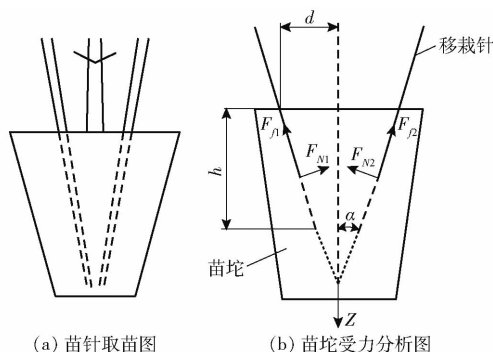


图 4 取苗受力分析

Fig. 4 Stress analysis diagrams of seedling taking

取苗时,苗针对苗坨产生两侧夹持力 F_{N1} 、 F_{N2} ,苗针和苗坨相对静止,苗针对苗坨产生静摩擦力 F_{f1} 、 F_{f2} ,理论上 $F_{f1} = F_{f2} = \mu F_{N1} = \mu F_{N2}$, μ 为苗针和苗坨的静摩擦因数。当取苗成功时,苗针应克服穴盘苗从穴盘孔里拉拔出来的力 F_L ,包括重力 G 和穴盘对苗坨的摩擦力 Z 。通过穴盘苗拉拔试验,测得 100 穴欧石竹含水率为 40% 时,拉拔力 F_L 平均为 2.5 N。

当成功取苗时,有

$$F_L = G + Z = (F_{f1} + F_{f2}) \cos \alpha + (F_{N1} + F_{N2}) \sin \alpha \quad (1)$$

由式(1)可看出,拉拔力 F_L 取决于夹持力 F_N 、静摩擦因数 μ 、夹持角 α ,其中夹持力 F_N 为

$$F_N = \sigma A_N \quad (2)$$

其中

$$\sigma = \frac{F}{A_y} \quad (3)$$

式中 A_N ——苗针夹持苗坨面积, mm^2

σ ——苗坨抗压强度, Pa

F ——苗坨抗压力, N

A_y ——苗针压缩面积, mm^2

穴盘苗苗坨抗压力-变形量 x 关系为非线性曲线,关系式为

$$F = 0.065\,0x^3 - 0.674\,2x^2 + 3.602x - 0.754\,8$$

(4)

联立式(1)~(4)可得

$$F_L = \frac{2FA_N(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}{A_y}$$

(5)

经过以上分析,在测定穴盘苗的拉拔力 F_L 、苗坨抗压力 F 、苗坨与夹取针的静摩擦因数 μ 等 3 个参数基础上,建立夹取针的夹持角 α 、苗针压缩的面积 A_y 、苗坨夹持变形量 x 之间关系^[25]。

2.2.2 结构设计

由于穴盘苗苗坨尺寸较小,移栽机械手采用两爪针式结构,主要由基座、爪针、压苗挡板、微型气缸及连接件组成,如图 5a 所示,机构运动简图如 5b 所示。抓苗时,气缸杆伸出,苗针进入苗坨,推杆越低,苗针角度越大,越夹紧苗坨,当推杆下降到最低处时,苗针对苗坨的夹持力达到最大;栽苗时,推杆上升,苗针对苗坨的夹持力减小,当推杆上升到最高处时,苗坨撞击压苗挡板,脱离爪针,依靠重力落入钵盆中。

为使爪针伸出后能成功取苗,两爪针连接件的转动轴距应大于限位孔间距,设计中受移栽机械手宽度及转轴结构限制,确定转动轴距为 20 mm。限位孔间距决定爪针入土时爪针尖端距离,也控制着爪针完全伸出后对穴盘苗苗坨的夹紧程度。

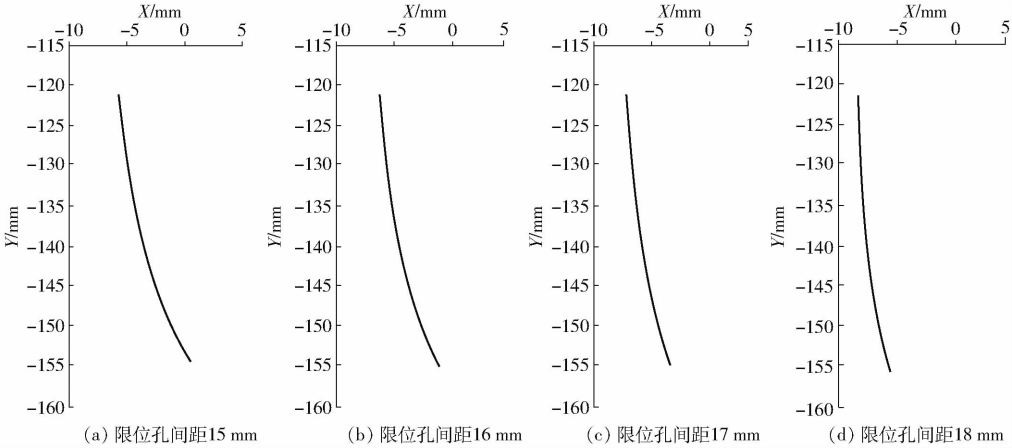


图 6 爪针尖端空载时的运动轨迹

Fig. 6 Trajectory of claw needle tip when it was unloaded

选用微型气缸作为移栽机械手的动力源,为使爪针能夹取到穴盘苗苗坨底部,根据穴盘深度 35 mm,设计爪针伸出长度为 35 mm,相应地选取行程与之对应的微型气缸作为动力源。

2.2.3 移栽机械手水平运动状态优化设计

各移栽机械手分散时的受力情况如图 7 所示。由图 7 可得

$$\begin{cases} F_d - f - F_r = ma \\ F_r = K(x_1 - x_0) \end{cases}$$

(6)

式中 F_d ——同步带拉力,N

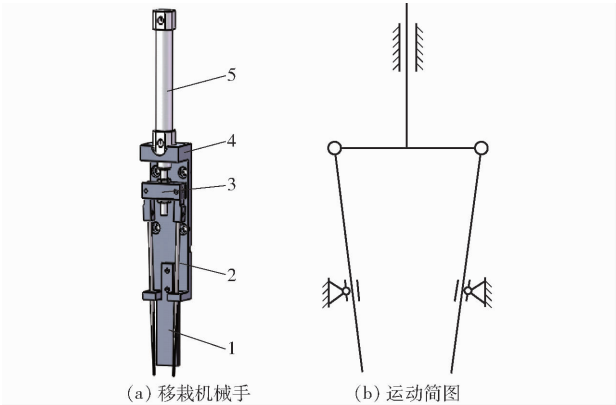


图 5 移栽机械手结构图

Fig. 5 Structure diagrams of feeding claw

1. 压苗挡板 2. 爪针 3. 气缸杆与爪针连接件 4. 基座 5. 气缸

利用 SolidWorks Motion 模块分析移栽机械手爪针尖端空载时的运动轨迹,如图 6 所示。限位孔间距越大,运动轨迹越平直,表明实际扎取穴盘苗苗坨时爪针的变形量越小,则爪针对穴盘苗苗坨的压力越小,产生的摩擦力和爪针对穴盘苗苗坨向上的分力也减小。若限位孔中心距过小,爪针完全伸出时两爪针尖端会产生干涉,且随着限位孔中心距减小,两爪针尖端的初始间距也减小,导致两爪针间夹取的基质量变少,也会导致夹取成功率降低。

f ——阻力,N
 a ——主动移栽手加速度, m/s^2
 x_0 ——缓冲带原长,m
 x_1 ——缓冲带长度,m
 K ——缓冲带弹性系数,N/m
 m ——单个移栽机械手质量,kg

第 2 个移栽爪受力平衡方程

$$Kx_1 - f - K(x_2 - x_0) = ma_2$$

(7)

式中 a_2 ——第 2 个移栽机械手加速度, m/s^2

第 n 个移栽爪受力平衡方程

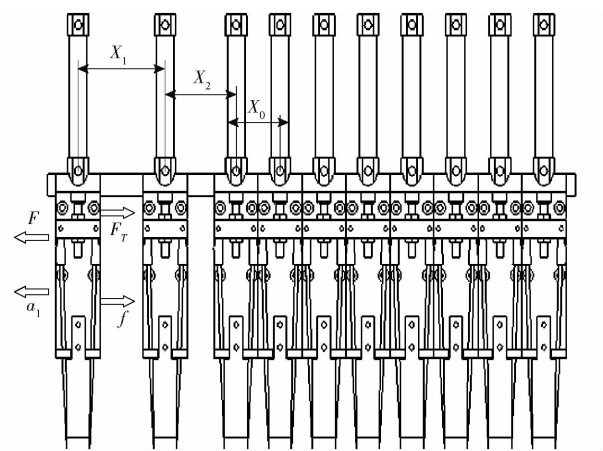


图 7 受力分析
Fig.7 Force analysis

$$K(x_{i-1} - x_i + x_0) - f = ma_n \tag{8}$$

式中 x_{i-1} ——第 $i-1$ 段柔性缓冲带张紧长度, m
 x_i ——第 i 段柔性缓冲带张紧长度, m
 a_n ——第 n 个移栽机械手加速度, m/s^2

从式(8)可以看出,若 $K=0$ 时,表示各个移栽机械手之间是刚性连接,在移栽机械手展开时,前面的移栽机械手带动后面的运动,当到达刚性连接的行程时,后面的移栽机械手突然启动,瞬时加速度过大,会在移栽过程中产生振动,造成苗坨脱落,降低移栽成功率^[26]。所以,为减小移栽机械手的瞬时加速度,在相邻两移栽机械手间添加柔性缓冲带,设置柔性缓冲带长为 25 mm,在 SolidWorks Motion 模块中经过多次仿真验证,当柔性缓冲带弹性系数为 0.007 N/mm 时,各移栽机械手在加速和减速过程均较稳定,各移栽机械手速度如图 8 所示。

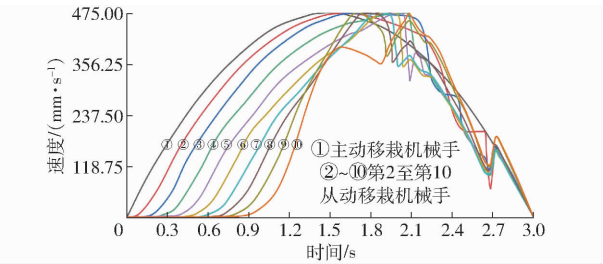


图 8 各移栽机械手在弹性系数 0.007 N/mm 缓冲带下的运动速度

Fig.8 Movement speed of each transplanting manipulator

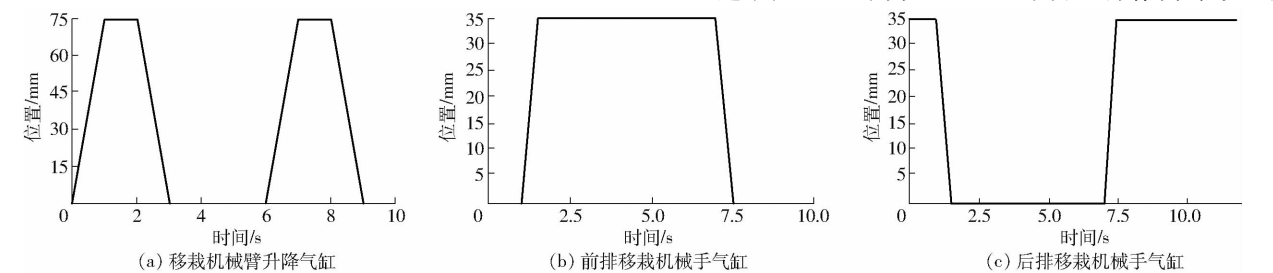


图 11 气缸动作时序图

Fig.11 Cylinder action timing charts

2.3 控制系统设计

控制系统采用 PLC 作为控制主机,包括硬件部分和软件部分,硬件部分主要由 PLC 控制器、传感器、驱动器、步进电机、电磁开关等组成,如图 9 所示。开始工作前,先按下复位按钮,进入复位状态,然后按下启动按钮,整个移栽装置按照程序运行,完成移栽作业。

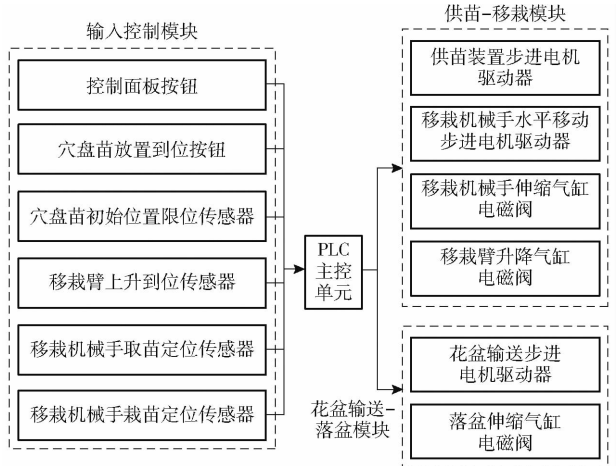


图 9 控制系统硬件组成

Fig.9 Hardware composition of control system

本机器气动系统原理图如图 10 所示,需控制的气缸有 3 组,分别为移栽机械臂升降气缸、前排移栽机械手气缸、后排移栽机械手气缸。其动作时序图如图 11 所示,可较直观地表示出某一时刻下各个气缸的状态,进而了解整个工作流程^[27-28]。

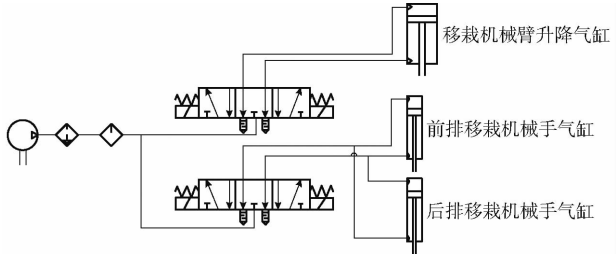


图 10 气动系统原理图

Fig.10 Pneumatic system schematic

3 样机试验

3.1 试验条件

选取穴盘型号为 10 × 20 的欧石竹作为本次试

验的对象,按照试验规定条件以及试验需求对穴盘苗进行管理。试验样机如图 12 所示。



图 12 试验样机
Fig. 12 Experimental prototype

3.2 试验因素和指标

穴盘苗苗坨含水率对基质的抗压能力影响较大,含水率较低时,基质较坚硬且易破碎,不利于花卉幼苗生长;当苗坨含水率过大时,基质抗压能力变小,松散易变形,影响取苗;苗龄越大则穴盘苗根部发育越充分,但抓取过程中容易破坏根系,苗龄越小则苗坨越松散,不易抓取;由于扎取深度为最大固定值并由上文分析可知,限位孔中心距的大小影响着夹取苗坨基质的多少,进而影响移栽成功率。因此,选取苗坨含水率、苗龄和爪针限位孔中心距为试验因素。

选择试验指标为移栽成功率,移栽成功的标准是把苗坨从穴盘中取出,苗坨完好,并准确移栽到钵盆中。移栽成功率 η 计算式为

$$\eta = \frac{W - M - N - V}{W} \times 100\%$$
 (9)

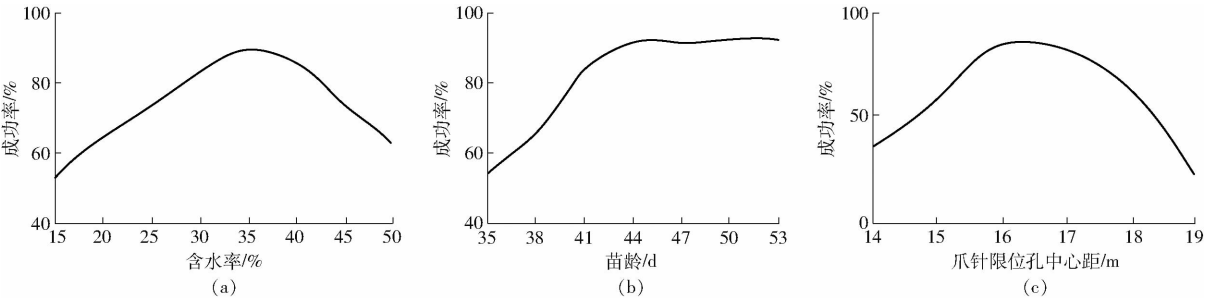


图 13 单因素试验结果
Fig. 13 Results of single factor tests

3.4 多因素试验

为了获得上述 3 个因素的最优参数值,选取穴盘苗苗坨含水率 x_1 、苗龄 x_2 、爪针限位孔中心距 x_3 为试验因素,取苗成功率 Y 为指标进行三元二次回归正交组合试验。根据单因素试验结果,得出因素编码如表 1 所示。试验方案与结果如表 2 所示。方差结果如表 3 所示。

对回归模型进行显著性分析,在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平下,由方差分析结果可知,回归方程模型 $P =$

式中 W ——每组试验总株数
 M ——未取出株数
 N ——取出苗坨松散株数
 V ——未栽入钵盆株数

3.3 单因素试验

选取欧石竹为试验对象,进行苗坨含水率单因素试验,限定苗龄为 45 d,爪针限位孔中心距为 16 mm 的条件下,在苗坨含水率为 15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50% 左右时进行移栽试验。试验结果如图 13a 所示,穴盘苗苗坨含水率在 35% 左右时取苗成功率最高。因此选取较优的苗坨含水率区间为 25% ~ 45%。

苗龄的单因素试验,限定爪针限位孔中心距为 16 mm,穴盘苗苗坨含水率为 35%,选取苗龄为 35、38、41、44、47、50、53 d 的幼苗进行试验。试验结果如图 13b 所示,可以看出苗龄对取苗成功率的影响极显著。苗龄在 35 ~ 44 d 区间内,取苗成功率随苗龄的增加而明显提高,在 44 ~ 53 d 区间内,取苗成功率随苗龄增加而缓慢下降。苗龄在 45 d 左右时取苗成功率最高,因此选取较优的培养时间为 40 ~ 50 d。

爪针限位孔中心距的单因素试验中,在苗坨含水率为 35%、苗龄为 45 d 的条件下,爪针限位孔中心距分别为 14、15、16、17、18、19 mm。试验结果如图 13c 所示,可看出爪针限位孔中心距在 16 mm 左右时取苗成功率最高。因此选取较优的爪针限位孔中心距为 15 ~ 18 mm。

表 1 因素编码
Tab. 1 Coding of factors

编码	因素		
	苗坨含水率 $x_1/\%$	苗龄 x_2/d	爪针限位孔中心距 x_3/mm
1. 525	45	50	18.0
1	41	48	17.4
0	35	45	16.5
-1	29	42	15.6
-1. 525	25	40	15.0

表 2 试验方案及结果
Tab.2 Test plan and results

试验 序号	因素			成功率 Y/%
	苗坨含水率 X_1	苗龄 X_2	爪针限位孔中 心距 X_3	
1	-1	-1	-1	69
2	1	-1	-1	72
3	-1	1	-1	83
4	1	1	-1	85
5	-1	-1	1	85
6	1	-1	1	75
7	-1	1	1	90
8	1	1	1	83
9	-1.525	0	0	87
10	1.525	0	0	75
11	0	-1.525	0	75
12	0	1.525	0	83
13	0	0	-1.525	70
14	0	0	1.525	75
15	0	0	0	90
16	0	0	0	95
17	0	0	0	92
18	0	0	0	96
19	0	0	0	94
20	0	0	0	93

表 3 方差分析
Tab.3 Variance analysis

变异来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	1 456.42	9	161.82	11.37	0.000 4 **
X_1	77.43	1	77.43	5.44	0.041 9 *
X_2	191.35	1	191.35	13.44	0.004 3 **
X_3	121.46	1	121.46	8.53	0.015 3 *
X_1X_2	0.13	1	0.13	0.009	0.927 2
X_1X_3	91.12	1	91.12	6.40	0.029 9 *
X_2X_3	55.12	1	55.12	3.87	0.077 4
X_1^2	255.40	1	255.40	17.94	0.001 7 **
X_2^2	255.40	1	255.40	17.94	0.001 7 **
X_3^2	409.00	1	409.00	28.73	0.000 3 **
残项	142.38	10	14.24		
失拟	81.55	5	16.31	1.34	0.377 8
误差项	60.83	5	12.17		
总误差	1 598.80	19			

注：** 表示极显著 ($P < 0.01$)；* 表示显著 ($P < 0.05$)。

0.000 4 < 0.01,说明此回归方程为极显著。由于失拟项 $P = 0.377 8 > 0.05$,说明失拟项不显著,所以该拟合可以用于取苗成功率的预测。苗龄对成功率的影响为极显著,苗坨含水率和爪针限位孔中心距为显著,影响由大到小为:苗龄、爪针限位孔中心距、苗坨含水率。苗坨含水率和爪针限位孔中心距的交互

作用对成功率的影响显著 ($P < 0.05$),去除不显著项,得出简化后回归方程为

$$Y = 93.21 - 2.36X_1 + 3.91X_2 + 2.37X_3 - 2.75X_1X_3 - 3.58X_1^2 - 4.28X_2^2 - 6.58X_3^2 \quad (10)$$

3.5 优化分析及试验验证

以移栽成功率为试验优化目标,使用 Design-Expert 软件进行优化分析。将 Y 的上限设为 100%,下限设为 80%, X_1 、 X_2 、 X_3 3 个因素的上下限均设为 1.525、-1.525。可得当苗坨含水率为 32.6%、苗龄为 46 d、爪针限位孔中心距为 16.7 mm 时,成功率为 94.2%。

对优化结果进行验证性试验,利用双排移栽机械手联动式高速移栽装置重复进行 3 组试验,每组抓取 10 次(100 株),得到成功率分别为 95%、94%、95%,平均值为 94.7%,与预测值 94.2% 相比相差很小,表明试验分析得出的结果与实际工作效果相符合。且 3 次取苗用时分别为 58.2、60.5、61.3 s,栽植效率可达到 6 000 株/h。

分析试验过程中的失败案例,可知主要以苗坨未能成功取出为主,其原因是苗坨部分破碎,导致爪针无法抓取。而引起钵体破碎的原因可能是根系发育不良所致,为提高取苗成功率也可在移栽前对穴盘苗进行松脱处理。

4 结论

(1)根据实际生产需要,设计了一套双排移栽机械手联动式高速移栽装置。通过对取苗过程进行受力分析,设计了一种两针式移栽机械手;通过分析移栽机械手的水平运动状态,设计了一种柔性连接装置,并通过仿真确定柔性缓冲带的最优工作参数;最后利用 PLC 完成该装置的控制系统设计,实现对穴苗盘的快速准确移栽。

(2)选取 200 穴规格的欧石竹为试验对象,进行单因素试验和多因素正交试验,以穴盘苗苗坨含水率、苗龄、爪针限位孔中心距为试验因素,探究双排移栽机械手联动式高速移栽装置移栽成功率的最优工作参数。试验结果表明,当穴盘苗苗坨含水率为 32.6%、苗龄为 46 d、爪针限位孔中心距为 16.7 mm 时,双排移栽机械手联动式高速移栽装置成功率为 94.7%。试验结果与优化结果基本一致,该装置满足设计需求。

参 考 文 献

[1] 齐博. 中国花卉产业国际竞争力研究[D]. 北京:中国农业科学院,2015.
QI Bo. Study on international competitiveness of Chinese flower industry[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences,2015. (in Chinese)
[2] 赵匀,刘星,薛向磊,等. 茄子钵苗全自动移栽机构优化设计与试验[J]. 农业机械学报,2018,49(5):152 - 160.

- ZHAO Yun, LIU Xing, XUE Xianglei, et al. Optimal design and experiment of fully-automated potted eggplant seedling transplanting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 152 – 160. (in Chinese)
- [3] 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. Current situation and prospect of transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(8): 44 – 53. (in Chinese)
- [4] 薛党勤, 侯书林, 张佳喜. 我国旱地移栽机械的研究进展与发展趋势[J]. 中国农机化报, 2013, 34(5): 8 – 11.
XUE Dangqin, HOU Shulin, ZHANG Jiaxi. Development trend and research progress of nonirrigated farmland transplanting in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(5): 8 – 11 (in Chinese)
- [5] 刘成良, 林洪振, 李彦明, 等. 农业装备智能控制技术研究现状与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(1): 1 – 18.
LIU Chengliang, LIN Hongzhen, LI Yanming, et al. Analysis on status and development trend of intelligent control technology for agricultural equipment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(1): 1 – 18. (in Chinese)
- [6] 周莹, 孙磊. 蔬菜穴盘苗移栽机发展现状分析[J]. 南方农机, 2016, 47(10): 16, 19.
ZHOU Ying, SUN Lei. Analysis of development status of vegetable pot seedling transplanter[J]. Southern Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 16, 19. (in Chinese)
- [7] 中国工业和信息化部. JB/T10291—2013 旱地栽植机械行业标准[S]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [8] 李昊军, 滕燕. 多级真空发生器的抽气性能研究[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(6): 229 – 232, 238.
LI Haojun, TENG Yan. Research on pumping performance of multistage vacuum generator[J]. Machinery Manufacturing & Automation, 2016, 45(6): 229 – 232, 238. (in Chinese)
- [9] 冯天翔, 高国华. 盆花移栽手爪创新设计[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 143 – 147, 154.
FENG Tianxiang, GAO Guohua. Innovative design of potted flower transplant manipulator in greenhouse[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(2): 143 – 147, 154. (in Chinese)
- [10] 高国华, 吕威, 张硕. 新型组培苗移栽手爪的设计[J]. 中国农机化, 2012, 33(2): 92 – 95, 109.
GAO Guohua, LÜ Wei, ZHANG Shuo. Design of new hand claws for tissue culture seedling transplanting[J]. China Agricultural Mechanization, 2012, 33(2): 92 – 95, 109. (in Chinese)
- [11] 韩长杰, 肖立强, 徐阳, 等. 辣椒穴盘苗自动移栽机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2021, 37(13): 20 – 29.
HAN Changjie, XIAO Liqiang, XU Yang, et al. Design and experiment of the automatic transplanter for chili plug seedlings[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(13): 20 – 29. (in Chinese)
- [12] 刘洋, 毛罕平, 韩绿化, 等. 基于 Micro – CT 的黄瓜苗坨夹取破损检测及取苗参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 27 – 34.
LIU Yang, MAO Hanping, HAN Lühua, et al. Detection and parameter optimization of cucumber seedling clamp damage based on Micro – CT[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(12): 27 – 34. (in Chinese)
- [13] KUTZ L J, MILES G E, HAMMER P A, et al. Robotic transplanting of bedding plants[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1987, 30(3): 586 – 590.
- [14] TING K C, GIACOMELLI G A, SHEN S J, et al. Robot workcell for transplating of seedlings part II end effector development[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1991, 33(3): 1013 – 1018.
- [15] 辜松, 杨艳丽, 张跃峰. 荷兰温室盆花自动化生产装备系统的发展现状[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 1 – 8.
GU Song, YANG Yanli, ZHANG Yuefeng. Development status of automated equipment systems for greenhouse potted flowers production in Netherlands[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(19): 1 – 8. (in Chinese)
- [16] 范云翔, 杨子万, ADELOLA K A, 等. 温室全自动移栽机的研究开发[J]. 农业工程学报, 1996, 12(2): 111 – 115.
FAN Yunxiang, YANG Ziwan, ADELOLA K A, et al. Development of automatic transplanter in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 1996, 12(2): 111 – 115. (in Chinese)
- [17] 郁玉峰, 马履中, 华希俊. 并联移栽机器人视觉的研究[J]. 农机化研究, 2007, 29(9): 33 – 35.
YU Yufeng, MA Lüzhong, HUA Xijun. Research on vision of parallel transplanting robot[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(9): 33 – 35. (in Chinese)
- [18] 张丽华, 邱立春, 田素博, 等. 指针夹紧式穴盘苗移栽爪设计[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(2): 235 – 237.
ZHANG Lihua, QIU Lichun, TIAN Subo, et al. Design of a needle clamping claw for plug seedling transplanting[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2010, 41(2): 235 – 237. (in Chinese)
- [19] 冯青春, 马伟, 王秀, 等. 温室智能装备系列之三十六花卉钵苗智能移栽末端执行器设计[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2012, 32(5): 44 – 46.
FENG Qingchun, MA Wei, WANG Xiu, et al. Design of end-effector for intelligent transplanting of flower pot seedling in greenhouse intelligent equipment series[J]. Agricultural Engineering Technology, 2012, 32(5): 44 – 46. (in Chinese)
- [20] 韩绿化, 毛罕平, 胡建平, 等. 温室穴盘苗自动移栽机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 59 – 67.
HAN Lühua, MAO Hanping, HU Jianping, et al. Design and test of automatic transplanter for greenhouse plug seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 59 – 67. (in Chinese)