

## 穴盘苗移栽机自动取喂系统的设计与试验

韩长杰<sup>1,2</sup>, 杨宛章<sup>2</sup>, 张学军<sup>2</sup>, 郭辉<sup>2</sup>, 尹文庆<sup>1\*</sup>

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 新疆农业大学机械交通学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 该文针对新疆地区吊篮式移栽机手工喂入效率低的问题, 设计了穴盘苗移栽自动取喂系统。该系统采用穴盘步进移位机构提供穴盘的横向和纵向移位, 由翻转摆位式取苗机械手进行取苗和穴盘苗的转移, 利用柔性链输送喂入机构对穴盘苗逐个投放, 能够对穴高 45 mm、上边宽 31.75 mm、下边宽 13 mm 的吸塑成型的软穴盘苗进行自动取苗并向两个栽植器投苗。整个系统由 PLC (programmable logic controller) 程序控制, 采用气压驱动, 工作气压 0.5~0.8 MPa, 耗气量 60.65 L/min, 单组取喂系统结构独立, 质量小于 110 kg, 不增加原有移栽机地轮负荷, 即能与新移栽机配套生产, 也能对现有移栽机进行自动化改造。系统中穴盘步进移位机构在柔性链输送喂入机构的侧上方倾斜放置, 使穴盘上表面与水平面的夹角 105°, 缩小了机器水平占用空间。采用苗龄 58 d 的“红安 6 号”辣椒苗进行室内取苗试验, 试验结果显示, 系统取喂苗总可靠率达 98.92%, 平均基质损失质量 9.26%, 取喂速度达 70 株/min, 未见明显伤苗, 能够满足设计要求。

**关键词:** 农业机械, 移栽, 自动化, 穴盘苗, 取苗机械手, PLC 控制

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.08.006

中图分类号: S223.92; TP241.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-08-0051-11

韩长杰, 杨宛章, 张学军, 等. 穴盘苗移栽机自动取喂系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 51-61.

Han Changjie, Yang Wanzhang, Zhang Xuejun, et al. Design and test of automatic feed system for tray seedlings transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(8): 51-61. (in Chinese with English abstract)

### 0 引言

旱地育苗移栽技术具有对气候的补偿作用和使作物生育期提早的综合效应, 还能提高单产<sup>[1]</sup>。日本、美国、意大利等发达国家对育苗移栽技术的研究起步较早, 先后设计出多种自动移栽机, 有针对小面积应用的单行作业机型, 也有多行宽幅作业机型; 有用多个电机直接驱动的形式, 也有纯机械形式, 还有采用机、电、气、液方式相结合的方式; 有穴盘苗移栽机, 也有压缩基质苗自动移栽机<sup>[2-3]</sup>。国外现有自动移栽机多与其作业环境和种植模式相配套而设计, 如日本生产的多为小型、单行、垄上移栽机, 以机械传动为主, 结构较复杂; 欧美国家的自动移栽机以宽幅、多行为主, 其要求作业地

面平整度较高, 配套专用的硬质塑料穴盘, 结合电气和液压进行控制, 以开沟移栽为主, 且整体结构庞大, 造价不菲。国内自动移栽技术发展相对落后, 对旱地穴盘苗全自动移栽机的研究相对较少, 目前的半自动移栽机, 受到人工取苗、喂苗速度的限制, 单行移栽频率小于 40 株/min<sup>[4]</sup>。近些年, 新疆地区移栽作物种植面积不断扩大, 移栽作物种类也不断增多, 而目前新疆地区使用较多的是吊篮式半自动移栽机, 采用人工投苗方式, 移栽机作业效率不高, 急需自动化程度较高的移栽机。

多年实践证明, 吊篮式移栽机是现有新疆膜上打穴移栽的最佳机型, 但由于栽植效率低, 人员配备多, 劳动力价格不断上涨, 其优势未能很好体现。为了有效的提高穴盘苗移栽的效率, 2009-2010年, 课题组以新疆地区使用较多的吊篮式打穴移栽机为配套对象, 分别设计了以电机驱动的移盘机构和基于不完全齿轮与导轨的机械手取苗机构, 由于其加工生产成本较高, 机械传动结构复杂, 取苗准确率低, 无法应用。本文提出设计基于 PLC 控制和气压驱动的穴盘苗移栽自动取喂系统, 由传感器检测运动位置信号并输入给 PLC, 利用 PLC 对自动取喂系统中的各个气缸进行准确控制, 以期能够自动完成从软穴盘中取苗和向栽植器中放苗, 实现穴盘

收稿日期: 2012-08-13 修订日期: 2013-03-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50905153); 江苏省农机三项工程项目 (NJ200832); 新疆农机开发项目 (2011-NJKY-07); 自治区高技术发展研究计划 (201211117)。

作者简介: 韩长杰 (1980-), 男, 河南遂平人, 讲师, 主要从事农业机械设计与智能农业装备的研究。乌鲁木齐 新疆农业大学, 830052。

Email: hcj\_627@163.com

\*通信作者: 尹文庆 (1959-), 男, 湖北洪湖人, 教授, 主要从事农业机械设计及电气控制方面的研究, 南京 南京农业大学, 210031。

Email: yinwq@njau.edu.cn

苗移栽过程中的自动化取喂，同时还能够简化传动结构，降低整机质量，节约生产成本。

### 1 自动取喂系统总体设计

目前，新疆地区采用较多的软穴盘是 128（16 列×8 行）穴，结构如图 1 所示，采用吸塑成型工艺制造，厚度 0.6~1 mm，穴形呈近四棱台形，穴高 45 mm，上边宽 31.75 mm，下边宽 13 mm。

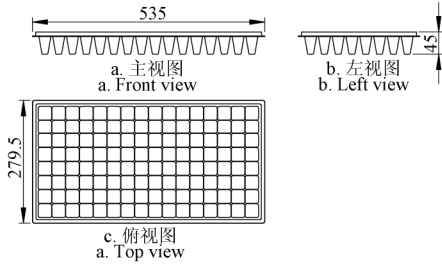
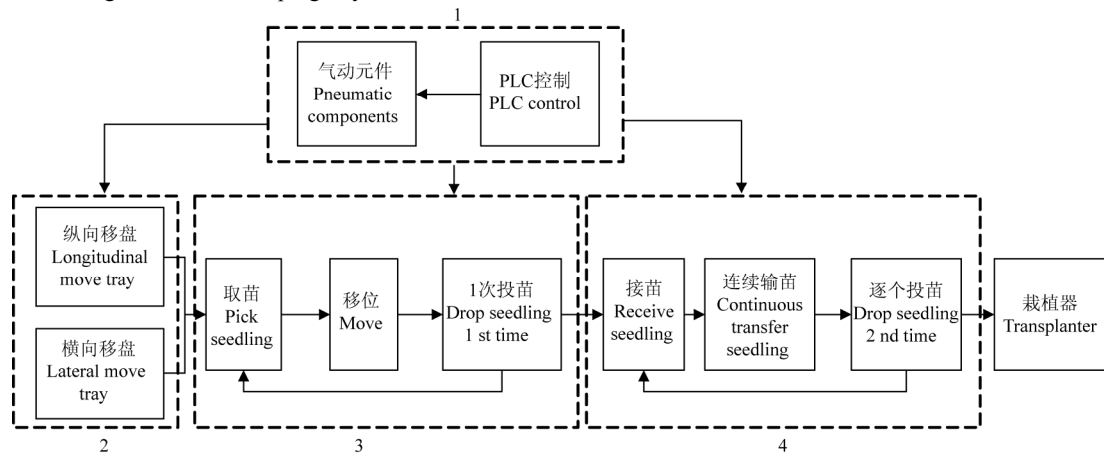


图 1 穴盘结构

Fig.1 Structure of plug tray

为了与新疆地区广泛使用的吊篮式移栽机相配套，要求所设计的自动取喂系统能够独立制作并方便安装于现有移栽机，其驱动独立于现有移栽机传动系统，不增加现有传动系统的负荷；此外，新疆地区吊篮式移栽机作业时是一膜双行，要求设计的自动取喂系统结构紧凑，不易过宽。

针对穴盘苗移栽的特点，仿照人工辅助取喂苗的动作，自动取喂系统的各动作功能分解如图 2 所示，根据系统所要完成的动作，系统主要由穴盘步进移位机构、翻转摆位式取苗机械手、柔性链输送喂入机构及相应的驱动控制系统构成，即采用 1 次取出多株苗的取苗机械手，将放置到位的穴盘内多株穴盘苗同时取出，然后翻转摆位至 1 次投苗位，适时将穴盘苗转移给柔性链输送喂入机构，最后由柔性链输送喂入机构按照规则逐个将穴盘苗通过导苗装置喂入栽植器中。



1. 驱动控制系统 Driving and control system 2. 穴盘步进移位机构 Tray stepper and shift mechanism 3. 翻转摆位式取苗机械手 Turning and position shift type manipulator 4. 柔性链输送喂入机构 Flexible chain transfer feeding mechanism

图 2 自动取喂系统原理框图

Fig.2 Automatic feed system schematic diagram

设计的穴盘苗移栽自动取喂系统结构如图 3 所示，性能参数如表 1 所示，整个系统中各运动件均采用气压驱动，由 PLC 对各气缸动作顺序进行控制。

穴盘苗移栽自动取喂系统是用于配套现有二行移栽机，也能与新移栽机同时生产，单组取喂系统质量小于 110 kg，通过在移栽机上方增设水平横梁，将自动取喂系统支架上的安装接口与水平横梁联结，并在移栽机三点悬挂中部安装空气压缩机，由动力输出轴驱动空气压缩机，压缩空气经过辅助气源处理装置处理后，即可作为系统的动力，自动取喂系统结构自成体系，其运行不增加原移栽机地轮负荷。

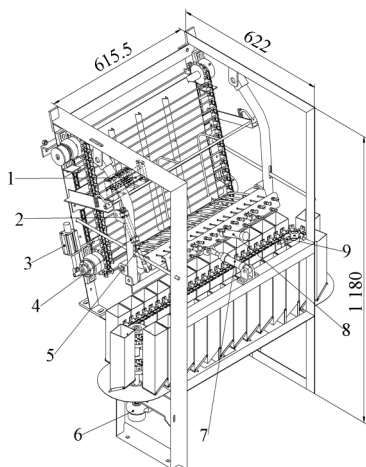
### 2 关键机构设计

#### 2.1 穴盘步进移位机构

由于穴盘相邻 2 穴间距较小（31.75 mm），穴

盘苗生长时会产生部分枝叶交错，为使取出后的穴盘苗互不影响，将机械手设计为在固定位置取出相互间隔的穴盘苗，以使相邻穴盘苗交错的枝叶分开。机构中穴盘步进移位气缸（SDAJ32X60-40）作往复直线运动，通过摇杆-棘轮驱动主动轴作间歇转动，主动轴带动链条横连杆移动，使穴盘实现纵向步进移位；从动轴端部设有摩擦轮，产生一定的摩擦力，防止穴盘在自身重力作用下下滑；穴盘左右移位气缸（TN25X40）安装在托板下侧，驱动托板水平横向移位，气缸行程（40 mm）大于苗穴间距 31.75 mm，便于托板位置调整和弥补运动间隙；在托板的正上方的压盘杆，用于保持穴盘与托板贴紧，防止机器震动时穴盘掉落。穴盘放置在穴盘托板与压盘杆之间，穴盘 V 型间隙卡在链条横连杆上，穴盘可随链条横连杆在穴盘托板上纵向移动

(每步 31.75 mm)，也可随托板沿链条横连杆横向往复移位 (31.75 mm)。穴盘步进移位机构结构图如图 4 所示。



1. 穴盘左右移位气缸 Plug tray shift cylinder 2. 翻转气缸回位传感器 Turning cylinder sensor at retract position 3. 穴盘步进移位气缸 Tray stepper cylinder 4. 翻转气缸伸出传感器 Turning cylinder sensor at extend position 5. 机械手翻转气缸 Manipulator turning cylinder 6. 摆动马达 Reverse motor 7. 机械手摆位气缸 Manipulator position shift cylinder 8. 扎取放苗气缸 Seedling pick and drop cylinder 9. 苗筒记数传感器 Seedling tube count sensor

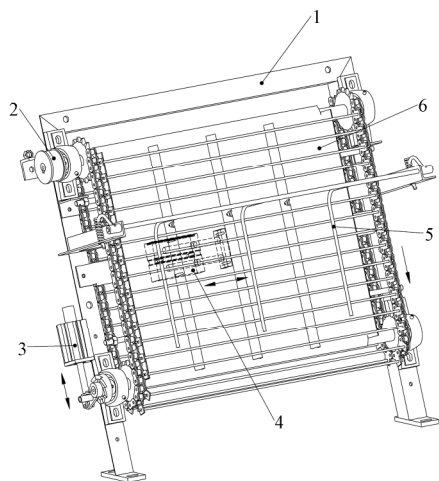
图 3 穴盘苗自动取喂系统结构图

Fig.3 Structure diagram of plug tray seedlings automatic feed system

表 1 自动取喂系统设计目标参数

Table 1 Design goal parameter of automatic feed system

驱动气压 Drive air pressure /MPa	栽植器数 Number of transplanter device	最小取喂 速度 Minimum speed picking and dropping /(株·min <sup>-1</sup> )	最小准确 率 Minimum accuracy of picking and dropping%	最大基质 损失率 Maximum loss rate of nursery substrate%
0.5~0.8	2	64	96	15



1. 骨架 Frame 2. 摩擦轮 Friction wheel 3. 穴盘步进移位气缸 Plug tray stepper cylinder 4. 穴盘左右移位气缸 Plug tray shift cylinder 5. 压盘杆 Keep tray stabilizer bar 6. 穴盘托板 Plug tray plate

注：→表示移动方向。

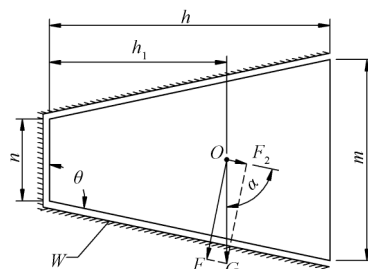
Note: → is moving direction.

图 4 穴盘步进移位机构

Fig.4 Structure diagram of plug tray stepper and shift mechanism

### 2.1.1 穴盘步进移位机构倾斜角度确定

当穴盘放置到自动取喂系统上时，穴盘下底面与穴盘步进移位机构的骨架平行。为减少自动取喂系统水平方向宽度，将穴盘步进移位机构倾斜放置 (当竖直放置时穴盘苗易从锥形苗穴中掉落，且穴盘在未移入压盘杆下时容易倾覆)；为使穴盘苗不掉落，根据穴盘苗在苗穴内的受力情况确定穴盘下底面与水平面之间的夹角，即穴盘步进移位机构的骨架与水平面之间的夹角。穴盘苗基质在苗穴中的受力情况如图 5 所示。



注： $m$  为基质上边宽，mm； $n$  为基质下边宽，mm； $G$  为基质的重力，N； $F_1$  为基质重力在穴盘壁垂直方向的分力，N； $F_2$  为基质重力沿穴盘壁平行方向的分力，N； $h$  为基质高度，mm； $h_1$  为基质质心到下底面的距离，mm； $\theta$  为下底面与侧面夹角， $(^\circ)$ ； $\alpha$  为重力与重力在穴盘壁滑动方向的夹角， $(^\circ)$ ； $O$  为基质质心； $W$  为穴盘壁。下同。

Note:  $m$  is nursery substrate top width, mm;  $n$  is nursery substrate bottom width, mm;  $G$  is gravity of nursery substrate, N;  $F_1$  is component force of nursery substrate gravity in the tray wall vertical direction, N;  $F_2$  is component force of nursery substrate gravity in the tray wall parallel direction, N;  $h$  is nursery substrate height, mm;  $h_1$  is the distance of gravitational center to nursery substrate bottom, mm;  $\theta$  is the angle of the tray wall and bottom,  $(^\circ)$ ;  $\alpha$  is the angle of gravity and tray wall sliding direction component force,  $(^\circ)$ ;  $O$  is gravitational center;  $W$  is nursery substrate wall. The same below.

图 5 基质在穴盘内受力图

Fig.5 Force diagram of nursery substrate in the tray

由受力分析可知

$$F_2 = G \times \cos \alpha \quad (1)$$

$$(180^\circ - \theta \leq \alpha \leq 180^\circ)$$

由于基质重力  $G > 0$ ，基质在苗穴内受力存在以下情形：当  $180^\circ - \theta \leq \alpha < 90^\circ$  时，即穴盘下底面与水平面之间夹角小于  $\theta$ ，此时， $F_2 > 0$ ，穴盘苗基质有向苗穴大口方向滑动掉落趋势；当  $\alpha = 90^\circ$  时，即穴盘下底面与水平面之间夹角等于  $\theta$ ，此时， $F_2 = 0$ ，穴盘苗基质静止、无滑动趋势；当  $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$  时，即穴盘下底面与水平面之间夹角大于  $\theta$ ，此时  $F_2 < 0$ ，穴盘苗基质有向苗穴下底面滑动的趋势，此时穴盘苗不易掉落。

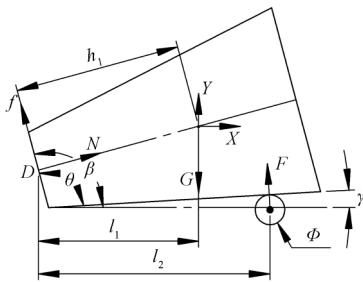
由于基质充满整个苗穴，基质大小与苗穴一致。通过测量苗穴结构可知基质结构，在图 5 中，基质上边宽  $m = 31.75$  mm，下边宽  $n = 13$  mm，高度  $h = 45$  mm，由几何关系分析有

$$\theta = 180^\circ - \tan^{-1} \left[ h / \left( \frac{m-n}{2} \right) \right] \quad (2)$$

将  $h$ 、 $m$ 、 $n$  带入式 (2) 计算得  $\theta=101.77^\circ$ ，即当穴盘步进移位机构骨架与水平面夹角大于  $101.77^\circ$  时，基质不会因自重掉落，考虑到基质外带有苗和自动取喂系统运行过程中有震动，将穴盘步进移位机构骨架与水平面夹角取为  $105^\circ$ 。

2.1.2 链条横连杆支撑位置确定

在穴盘苗未从穴盘中取出前，穴盘苗基质与穴盘紧密贴合，认为每个苗穴质心与基质质心重合。根据图 5 中测得的基质结构计算可知，穴盘基质质心位置在距下底面  $h_1=28.44\text{ mm}$  处的截面几何中心，穴盘放置在步进移位机构上的受力如图 6 所示。



注:  $f$  为穴盘托板与穴盘间的摩擦力,  $N$ ;  $F$  为链条横连杆对穴盘的支持力,  $N$ ;  $N$  为穴盘托板对穴盘的支持力,  $N$ ;  $l_1$  为重力方向与 D 点的距离,  $\text{mm}$ ;  $l_2$  为支持力方向与 D 点的距离,  $\text{mm}$ ;  $\phi$  为链条横连杆直径,  $5\text{ mm}$ ;  $\beta$  为穴盘底面与水平面夹角,  $105^\circ$ ;  $\gamma$  为苗穴侧面与水平面夹角,  $3.23^\circ$ ;  $x$ 、 $y$  为坐标轴。  
Note:  $f$  is friction between plug tray plate and tray,  $N$ ;  $F$  is the support force between chain link beam and plug tray,  $N$ ;  $N$  is the force of plug tray plate support plug tray,  $N$ ;  $l_1$  is the distance of point D to gravitational center,  $\text{mm}$ ;  $l_2$  is the distance of point D to support force direction,  $\text{mm}$ ;  $\phi$  is the diameter of chain links beam,  $5\text{mm}$ ;  $\beta$  is the angle of tray bottom and horizontal plane,  $105^\circ$ ;  $\gamma$  is the angle of wall and horizontal plane,  $3.23^\circ$ ;  $x$  and  $y$  are axes.

图 6 穴盘受力图

Fig.6 Force diagram of tray

若穴盘放置在步进移位机构上不倾覆，穴盘受力须满足

$$\sum F_y = 0$$

$$F \cos \gamma + f \cos(\beta - 90^\circ) + N \cos(180^\circ - \beta) - G = 0 \quad (3)$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-F \sin \gamma - f \sin(\beta - 90^\circ) + N \sin(180^\circ - \beta) - G = 0 \quad (4)$$

$$\sum M_o = 0 \quad Fl_2 \cos \gamma - Gl_1 = 0 \quad (5)$$

$$l_1 = h_1 \cos(\gamma + \theta - 90^\circ) \quad (6)$$

将  $\beta=105^\circ$ ,  $\gamma=3.23^\circ$ ,  $\theta=101.77^\circ$  带入可得

$$\frac{F}{F + 0.97f + 0.26N} = \frac{l_1}{l_2} \quad (7)$$

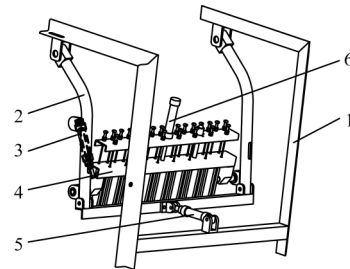
$$l_1 = 27.47\text{ mm} \quad (8)$$

由 (7) 式可知  $\frac{l_1}{l_2} \leq 1$ ，即  $l_2 \geq 27.47\text{ mm}$ ，为防止机器振动引起穴盘倾覆，应将  $l_2$  尽可能取大，考

虑到穴盘上侧边缘的有筋，将  $l_2$  取为  $40\text{ mm}$ 。

2.2 翻转摆位式取苗机械手

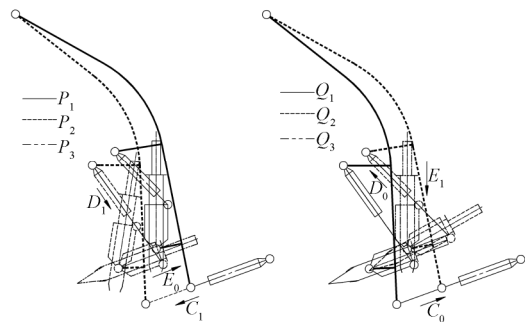
翻转摆位式取苗机械手如图 7 所示，取苗机械手包含 8 组取苗爪，每组取苗爪包含 3 根在导管里滑动的柔性滑针，柔性滑针选用直径  $3\text{ mm}$  ( $7 \times 7$ ) 的不锈钢丝，滑针尖端  $8\text{ mm}$  使用铜焊固结并磨尖，滑针尾部固定在动横梁上，扎苗放苗气缸 (MAL20X50) 驱动动横梁沿导杆移动，滑针运动行程与扎苗放苗气缸行程相同；机械手翻转气缸 (MAL20X60-S) 和摆位气缸 (MAL20X75) 控制机械手在取苗位和投苗位的姿态变换，机械手翻转气缸控制摆臂与机械手的相对角度，机械手摆位气缸控制机械手与支撑架的相对位置；当摆位气缸和翻转气缸均伸出时，机械手处在取苗位，当摆位气缸和翻转气缸均收回时，机械手处在 1 次投苗位。翻转摆位式取苗机械手的工作原理如图 8。



1. 支撑架 Frame 2. 摆臂 Swing arms 3. 机械手翻转气缸 Manipulator turning cylinder 4. 取苗机械手 Pick seedlings manipulator 5. 机械手摆位气缸 Manipulator position shift cylinder 6. 扎苗放苗气缸 Seedlings pick and drop cylinder

图 7 翻转摆位式取苗机械手结构图

Fig.7 Structure diagram of turnover- displacement-style seedlings manipulator



a. 取苗行程 a. Picking seedling sequences b. 返回行程 b. Return sequences

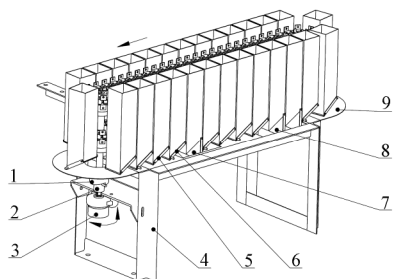
注:  $\rightarrow$  为气缸杆移动方向;  $C_1$  为摆位气缸杆伸出;  $D_1$  为翻转气缸杆伸出;  $E_0$  为机械手取苗;  $C_0$  为摆位气缸杆收回;  $D_0$  为翻转气缸杆收回;  $E_1$  为机械手投苗;  $P_1-P_3$  为取苗行程各构件位置次序;  $Q_1-Q_3$  返回行程各构件位置次序。  
Note:  $\rightarrow$  is cylinder rod moving direction;  $C_1$  is position shift cylinder rod extend;  $D_1$  is turning cylinder rod extend;  $E_0$  is manipulator pick seedlings;  $C_0$  is position shift cylinder rod return;  $D_0$  is turning cylinder rod return;  $E_1$  is manipulator drop seedlings;  $P_1-P_3$  are picking seedling sequences and positions;  $Q_1-Q_3$  are return sequences and positions.

图 8 翻转摆位式取苗机械手工作原理图

Fig.8 Kinematic diagram of turning and position shift type seedling manipulator

### 2.3 柔性链输送喂入机构

柔性链输送喂入机构主要由固定在柔性链(10A)上的苗筒与摆动马达构成,其结构如图 9 所示。摆动马达(DSR-25-180-P)通过棘轮机构驱动柔性链上的苗筒运动,即摆动马达作往复摆动(180°),苗筒随柔性链作间歇移动,每步移动 2 个苗筒的距离(127 mm);苗筒共 28 个,其中 14 个相互间隔苗筒的活门外侧安装有支撑杆,比其余 14 个活门宽 8 mm。



1. 棘轮 Ratchet 2. 棘爪 Pawl 3. 摆动马达 Reverse motor 4. 支架 Frame 5. 无支撑杆活门 Unsustain shutter 6. 带支撑杆活门 Sustain shutter 7. 窄落苗口 Narrow window for dropping seedlings 8. 宽落苗口 Wide window for dropping seedlings 9. 活门托板 Shutter pallet。  
注: →为柔性链移动方向。

Note: → is moving direction of flexible chain.

图 9 柔性链输送喂入机构结构图

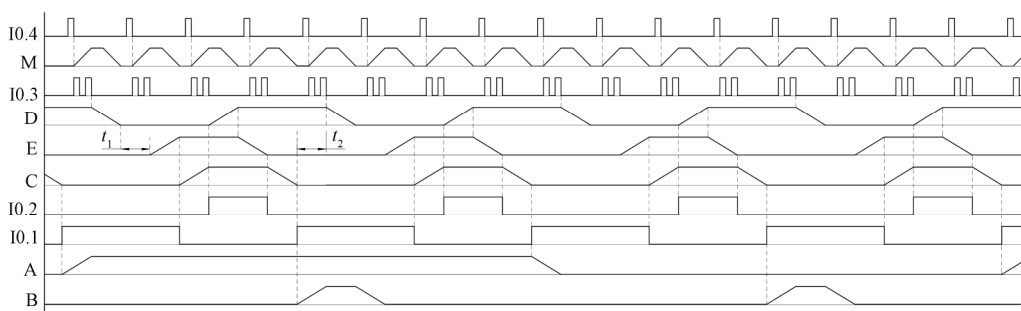
Fig.9 Structure diagram of flexible chain transportation feeding mechanism

图 9 中左排苗筒的上方为 1 次投苗位,机械手在苗筒静止时(摆动马达回程运动时)将穴盘苗投入苗筒,苗筒随柔性链转动到右侧进行 2 次投苗,苗筒在 2 次投苗时将经过活门托板上的宽、窄 2 种落苗口,当苗筒先经过窄落苗口时,仅窄活门打开落苗,经过宽落苗口时,所有活门均打开,此时剩余苗筒中穴盘苗落下。

### 3 驱动控制及工作原理

#### 3.1 自动取喂系统工作原理及时序

移栽机整机工作时,系统中各自由度的运动是由 PLC 控制的气动元件驱动,各运动件均以压缩空气为动力源,系统自成体系;固定在栽植器上的吊篮传感器 I0.4 检测通过其正前方的吊篮,由于 2 行移栽机栽植器之间是 1:1 的定传动比,故 I0.4 每检测到一次信号,即有 2 个吊篮通过,此时 DT5 动作,摆动马达转动 180°,柔性链输送喂入机构移动 2 个苗筒的距离,对应的苗筒活门打开,穴盘苗在导苗装置的引导下落入对应的栽植器吊篮;翻转摆位式取苗机械手取苗过程独立于柔性链输送喂入机构进行,且每个取苗工作循环所用的时间小于 4 次(8 株)落苗时间总长,保留一定的投苗等待时间用于稳苗;当机械手摆位气缸伸出且机械手翻转至取苗位时,扎苗放苗气缸驱动柔性滑针伸出,机械手进行取苗,随后机械手摆位气缸返回,穴盘苗被取出并随机械手移动到 1 次投苗位,机械手翻转气缸驱动机械手回位至穴盘苗竖直状态等待投苗,并在 I0.3 计录苗筒数至 8 后,苗筒间歇运动停止时扎苗放苗气缸带动柔性滑针收回,机械手投苗;穴盘步进移位机构受穴盘步进移位气缸和穴盘左右移位气缸的交替驱动作“几”字形间歇移动,且每次移动是在机械手移动到投苗位置一侧时进行,避免取苗机械手与穴盘苗发生运动干涉;穴盘苗移栽自动取喂系统的电磁阀及气缸动作顺序如图 10 所示,其中 I0.1 和 I0.2 用于在编程过程中与 PLC 内部继电器串联,保证翻转摆位机械手到位后再进行取苗或放苗操作;自动取喂系统中气缸的运行速度由安装在气缸两端的节流阀控制,使气缸往返运行速度适中、无冲击现象。



注:  $t_1$  为落苗时间, s;  $t_2$  为 1 次投苗等待时间, s; I0.1 为翻转气缸回位传感器; I0.2 为翻转气缸伸出传感器; I0.3 为苗筒计数传感器; I0.4 为栽植器吊篮传感器; A 穴盘左右移位气缸; B 为穴盘步进移位气缸; C 为机械手翻转气缸; D 为扎取放苗气缸; E 为机械手摆位气缸; M 为摆动马达, 下同。  
Note:  $t_1$  is seedling drop time, s;  $t_2$  is the 1<sup>st</sup> drop seedling waiting time, s; I0.1 is turning cylinder sensor at retract position; I0.2 is turning cylinder sensor at extend position; I0.3 is seedling tube count sensor; I0.4 Sensor for detect transplanter nacelle; A is plug tray shift cylinder; B is plug tray stepper cylinder; C is manipulator turning cylinder; D is seedling pick and drop cylinder; E is manipulator position shift cylinder; M is reverse motor. The same below.

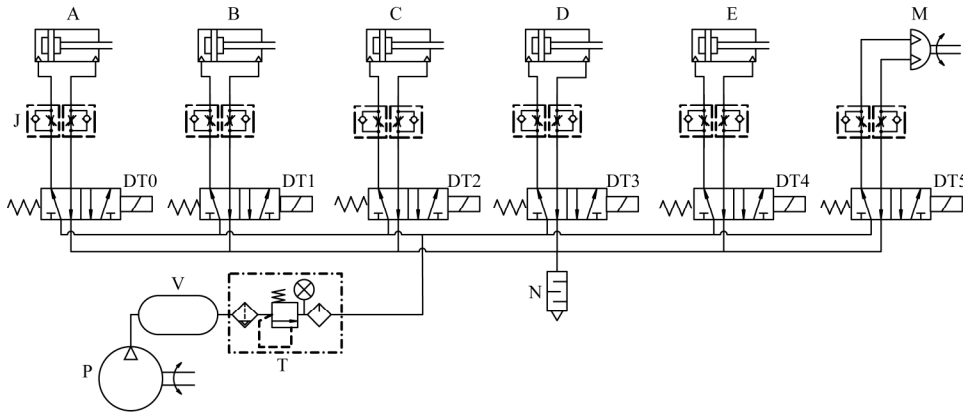
图 10 传感器与气缸时序图

Fig.10 Operation timing chart of the sensor and air cylinder

### 3.2 自动取喂系统的驱动

自动取喂系统中包含的气动执行元件有机械手翻转气缸 C、扎取放苗气缸 D、机械手摆位气缸 E、穴盘

步进移位气缸 B、穴盘左右移位气缸 A、摆动马达 M，各气动执行元件均由二位五口电磁阀控制，并分别由节流阀进行调节速度，气压驱动原理图如图 11 所示。



注：J 为节流阀；DT1~DT5 为二位五口电磁阀（4V210-08 DC24V）；N 为消声器；V 为储气罐；T 为气源调节装置；P 为气泵。

Note: J is throttle valve; DT1~DT5 are 2/5-way solenoid valve (4V210-08 DC24V); N is muffler; V is air reservoir; T is adjustment device for compressed air; P is pump.

图 11 气压驱动系统原理图

Fig.11 Schematic diagram of compressor air driving system

### 3.3 自动取喂系统的控制

按照自动取喂系统的工作流程，为 PLC（西门子 S7-200）连接输入和输出控制信号，如图 12 所示，I0.0 为压力开关（PMN10A）与手动启动开关串联输入信号，当气压达到预设值且按下启动按钮后程序开始执行；I0.1 和 I0.2 为检测机械手翻转气

缸 2 个关键位置的磁性开关（D-A93），用于判断机械手是否翻转到位；I0.3 和 I0.4 采用常开式接近开关（E2E-X3D），I0.3 用于苗筒数量记数，I0.4 用于检测移栽机栽植器吊篮运动信号；输出端分别连接控制各气动执行元件的电磁阀。PLC 输入输出分配如表 2。

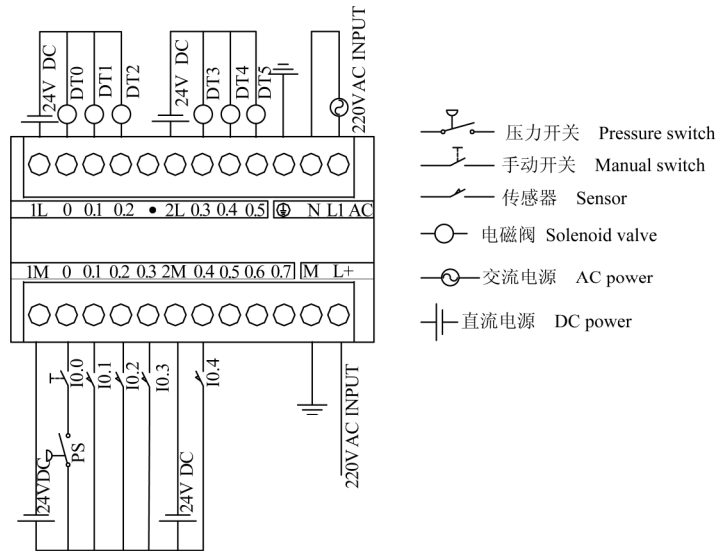


图 12 PLC 控制系统图

Fig.12 PLC control system diagram

### 3.4 耗气量计算

根据所选用的气动元件参数，计算系统最大空气体积流量<sup>[10]</sup>，并依据流量选择合适的空气压缩机。

$$Q_{\text{平均}} = 0.00157ND^2S \frac{p+0.1}{0.1} \quad (1)$$

式中， $Q_{\text{平均}}$ 为气缸所需的空气体积流量，L/min； $N$ 为气缸每分钟平均往复次数； $D$ 为气缸缸径，cm； $S$ 为气缸行程，cm； $p$ 为气缸工作压力，MPa。

穴盘苗移栽自动取喂系统耗气量计算如表 3 所示。

表 2 控制系统 I/O 分配表

Table 2 Control system I/O distribution list

输入端 Input	信号来源 Source of Signal	输出端 Output	控制对象 Control object
10.0	程序启动开关 Program start switch	Q0.0	DT0 穴盘左右移位气缸(A) DT0 Plug tray shift cylinder (A)
10.1	翻转气缸回位传感器 Turning cylinder sensor at retract position	Q0.1	DT1 穴盘步进移位气缸(B) DT1 Plug tray stepper cylinder (B)
10.2	翻转气缸伸出传感器 Turning cylinder sensor at extend position	Q0.2	DT2 机械手翻转气缸(C) DT2 Manipulator turning cylinder (C)
10.3	苗筒计数传感器 Seedling tube count sensor	Q0.3	DT3 扎取放苗气缸(D) DT3 Seedling pick and drop cylinder (D)
10.4	栽植器吊篮传感器 Sensor for detect transplanter nacelle	Q0.4	DT4 机械手摆位气缸(E) DT4 Manipulator position shift cylinder (E)
		Q0.5	DT5 摆动马达(M) DT5 Reverse motor (M)

注：10.0~10.4 为 PLC 输入端；Q0.0~Q0.5 为 PLC 输出端

Note: 10.0~10.4 are PLC input port; Q0.0~Q0.5 are PLC output port.

表 3 耗气量计算

Table 3 Air consumption calculation

气缸名称 Name of cylinder	气缸型号 Type of cylinder	往复次数 $N/(\text{次} \cdot \text{min}^{-1})$	直径 $D/\text{cm}$	行程 $S/\text{cm}$	工作压 力 $p/\text{Mpa}$	耗气量 $Q_{\text{平均}}$ $/(L \cdot \text{min}^{-1})$
穴盘左右移位气缸 Plug tray shift cylinder (A)	TN25X40	4.375	2.5	4	0.6	2.40
穴盘步进移位气缸 Plug tray stepper cylinder (B)	SDAJ32X60-40	4.375	3.2	6	0.6	2.95
机械手翻转气缸 Manipulator turning cylinder (C)	MAL20X60-S	8.75	2	6	0.6	2.31
扎苗放苗气缸 Seedling pick and drop cylinder (D)	MAL20X50	8.75	2	5	0.6	1.92
机械手摆位气缸 Manipulator position shift cylinder (E)	MAL20X75	8.75	2	7.5	0.6	2.88
摆动马达 Reverse motor (M)	DSR-25-180-P	35	2.5	20	0.6	48.08
总计 Sum						60.56

由表中计算可知耗气总量为 60.56 L/min，为保证气源压力稳定，单组穴盘苗移栽自动取喂系统在配套移栽机使用和试验时选择容积流量 100 L/min 气泵提供压缩空气。

## 4 穴盘苗移栽自动取喂系统试验

### 4.1 试验材料及装置

试验在新疆农业大学农牧机械实验室进行，采用新疆农二师 21 团 6 连育苗大棚所育的“红安 6 号”辣椒苗，育苗时间为 2011 年 2 月 25 日至 4 月 25 日，苗龄为 58 d，穴盘苗平均高度 163.06 mm；穴盘苗基质由草炭、蛭石、珍珠岩按照体积比 1:1:1 配得(基质含水率 24.61%~31.57%)；将穴盘苗移栽自动取喂系统第二轮样机独立安装在试验平台上进行试验，压缩空气由实验室内气泵 (ZBM-0.1/8 型) 提供，储气罐压力保持在 0.5~0.8 MPa 之间；为使常开式接近开关 I0.4 获得类同于栽植器的运动信号，自制由电机驱动的旋转衔铁，通过变频器 (台达 VFD015M43B，精度 0.1 Hz) 控制电机转速，模仿栽植器运动过程中吊篮间歇通过检测位置的状态和速度。

### 4.2 试验设置及评价指标

试验主要考察自动取喂系统的取喂苗速度和对适宜移栽期穴盘苗取喂苗的影响，测定穴盘苗取喂苗过程时的基质损失情况，并检验取苗、1 次投苗、输送分苗各主要功能环节的可靠性。

#### 4.2.1 取喂苗速度试验

自动取喂系统的取喂速度直接受控于栽植器运动速度，即栽植器吊篮通过传感器 I0.4 的频率，然而，当栽植器运动速度过高时，自动取喂系统会出现机械手翻转过程甩苗、气缸未运行至目标位置便开始下一动作、气缸运行时冲击较大等现象，从而直接影响自动取喂质量和准确率。为检测自动取喂系统的取喂速度，调整 PLC 程序中的落苗时间  $t_1$  至 0.65s (留足落苗时间)，通过变频器调整电机驱动的衔铁旋转速度至 35 次/min，自动取喂系统能够按要求完成取喂苗的各动作，无甩苗和 1 次投苗漏投现象 (I0.3 记录苗筒数至 8 时，机械手未返回到 1 次投苗位)，此时，测得穴盘苗移栽自动取喂速度达到 70 株/min。

#### 4.2.2 取苗基质损失率试验

由于机械手采用的是 3 根柔性滑针扎取基质进行取苗，机械部件不直接接触穴盘苗植株，对穴盘

苗茎叶无伤害（穴盘苗生长于苗穴侧壁除外），主要考察机械手取苗和系统输送转移过程中造成的基质损失情况。试验采用将随机选取的 16 株穴盘苗标记序号，并称质量，然后将穴盘苗放回穴盘中，进行取放后再次称穴盘苗质量，通过对比取喂前与取喂后的穴盘苗质量差，判断系统自动取苗对基质的作用影响。试验结果如表 4，由表 4 可知，取苗最小基质损失率为 2.41%，最大基质损失率为 13.55%，平均取苗基质损失率 9.26%，通过对试验过程分析可知，是由于部分穴盘苗根系不够发达，

基质松散，机械手在对穴盘苗取苗时便有部分基质损失，在随后的 1 次投苗和输送过程中由于穴盘苗落苗冲击和苗筒间歇振动，使根系不发达穴盘苗基质掉落的结果。

#### 4.2.3 取苗各环节准确率试验

对自动取喂系统进行连续取苗准确率试验，任选 8 盘穴盘苗分别进行取苗试验，记录每盘穴盘苗初始株数、机械手成功取苗株数、1 次投苗准确落入苗筒的株数、苗筒输苗成功（无卡滞、无夹苗）株数，试验结果如表 5 所示。

表 4 取苗基质损失率试验结果

Table 4 Automatic feeding system substrate loss rate test results

穴盘苗序号 Series of plug tray seedling	穴盘苗高度 Height of seedling/mm	取前质量 Weight before picking/g	取、输后质量 Weight after picking and transfer/g	基质损失率 Loss ratio of nursery substrate/%
1	165	14.1	13.76	2.41
2	162	14.16	12.29	13.21
3	168	13.88	12.08	12.97
4	161	16.02	14.73	8.05
5	157	12.68	11.61	8.44
6	160	14.04	12.35	12.04
7	165	13.97	12.17	12.88
8	164	14.28	13.38	6.30
9	166	13.41	11.73	12.53
10	163	14.06	12.58	10.53
11	158	13.71	13.27	3.21
12	165	13.7	12.34	9.93
13	160	14.24	12.31	13.55
14	165	14.28	13.76	3.64
15	167	11.19	10.07	10.01
16	163	14.13	12.87	8.92
平均 Average loss ratio				9.26

表 5 取苗可靠性试验结果

Table 5 Automatic feeding system reliability test results

穴盘号 Series of tray	穴盘苗数 Number of seedling/株	机械手取出数 Picked by manipulator/株	取出准确率 Accuracy of picking/%	1 次投苗入筒 The 1 <sup>st</sup> drop in seedling tube/株	1 次投苗准确率 Accuracy of the 1 <sup>st</sup> drop/%	苗筒输苗数 Transfer by seedling tube/株	输苗准确率 Accuracy of transfer/%	准确率 Accuracy/%
1	128	126	98.44	126	100.00	126	100.00	98.44
2	128	128	100.00	127	99.22	127	100.00	99.22
3	126	125	99.21	125	100.00	125	100.00	99.21
4	128	126	98.44	126	100.00	126	100.00	98.44
5	127	127	100.00	127	100.00	127	100.00	100
6	127	126	99.21	126	100.00	126	100.00	99.21
7	128	126	98.44	126	100.00	126	100.00	98.44
8	127	126	99.21	125	99.21	125	100.00	98.43
平均准确率 Average accuracy			99.12		99.80		100.00	98.92

由表 5 试验结果可知，自动取喂系统取苗总准确率达 98.92%，其中柔性链输送喂入机构的穴盘苗输送喂入准确率达 100%，穴盘苗未见有在苗筒中卡滞不落现象，机械手取苗准确率达 99.12%，机械手 1 次投苗准确率 99.8%。

## 5 讨论

穴盘苗移栽自动取喂系统试验是在实验室内

进行的，机器是在固定状态下测试，实验室内气温 12℃~25℃，无明显灰尘，而在新疆的移栽季节（4 月~5 月），早晨和傍晚气温较低（6℃），还常会有风沙影响，作业环境较为恶劣，这些将会影响气动元件的工作效率和可靠性；此外由于土地不够平整，自动取喂系统会随移栽机振动，取苗、1 次投苗的准确率将会受到影响，故还需在随后的整机应用研究中解决防尘和振动影响等问题。



## 6 结 论

1) 设计了针对软穴盘苗移栽的自动取喂系统,该取喂系统创新设计了能够进行穴盘步进移位的机构和防止软穴盘脱落的压盘杆,利用翻转摆位取苗机械手进行取苗,系统结构独立于移栽机栽植系统,自成体系,不增加原有移栽机的地轮负荷;单组取喂系统质量小于 110 kg,即能与新移栽机配套生产,也能对现有移栽机进行自动化改造。

2) 以苗龄 58 d 的“红安 6 号”辣椒苗进行室内取苗试验,穴盘苗平均高度 163.06 mm,基质为草炭、蛭石、珍珠岩按照体积比 1:1:1 混合制得,基质含水率 24.61%~31.57%,气压 0.5~0.8MPa;自动取喂系统能够按照设计要求完成动作,测得穴盘苗移栽自动取喂速度达到 70 株/min,自动取喂系统取苗总可靠率达 98.92%,平均取苗基质损失率 9.26%。

### [参 考 文 献]

- [1] 陈建能,王伯鸿,任根勇,等. 蔬菜移栽机放苗机构运动学模型建立与参数分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 48—53.  
Chen Jianneng, Wang Bohong, Ren Genyong, et al. Kinematics Modeling and Parameters Analysis of Seven-linkage Vegetable Seedling Transplanting Mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 48—53. (in Chinese with English abstract)
- [2] 蒋焕煜,施经挥,任焯,等. 机器视觉在幼苗自动移钵作业中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 127—131.  
Jiang Huanyu, Shi Jinghui, Ren Ye, et al. Application of machine vision on automatic seedling transplanting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(5): 127—131. (in Chinese with English abstract)
- [3] 陈达,周丽萍,杨学军,等. 移栽机自动分钵式栽植器机构分析与运动仿真[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 54—57, 69.  
Cheng Da, Zhou Liping, Yang Xuejun, et al. Mechanism analysis and motion simulation of planting apparatus with automatic distributing bowl mechanism for transplanter[J]. Transactions of the chinese society of agricultural machinery, 2011, 42(8): 54—57, 69. (in Chinese with English abstract)
- [4] 胡敏娟,尹文庆,胡飞,等. 穴盘苗自动取苗试验系统的研制[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(3): 122—126.  
Hu Minjuan, Yin Wenqing, Hu Fei, et al. Development of test system for automatic pick-up plug seedlings[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(3): 122—126. (in Chinese with English abstract)
- [5] 孙国祥,汪小岳,何国敏,等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 48—53.  
Sun Guoxiang, Wang Xiaochan, He Guomin, et al. Design of the end-effector for plug seedlings transplanter and analysis on virtual prototype[J]. Transactions of the chinese society of agricultural machinery, 2010, 41(10): 48—53. (in Chinese with English abstract)
- [6] 金诚谦,吴崇友,袁文胜. 链夹式移栽机栽植作业质量影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 196—198.
- [7] 孙裕晶,马成林,周德义. 组合振动导苗筒式移栽机研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 141—142.
- [8] 马瑞峻,区颖刚,赵祚喜,等. 水稻钵苗机械手取秧有序移栽机的改进[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 113—116.  
Ma Ruijun, Ou Yinggang, Zhao Zuoxi, et al. Development of the order throwing maching for rice seedlings sprouted in the cell-tray[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(1): 113—116. (in Chinese with English abstract)
- [9] 马旭,马成林,孙玉晶,等. 空气整根钵苗移栽器送秧及投苗机构的研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(S1): 52—56.  
Ma Xu, Ma Chenglin, Sun Yujing, et al. The study of feeding and dropping seedling mechanism on air pruning tray seedling growing transplanting unit[J]. Transactions of the chinese society of agricultural machinery, 1996, 27(S1): 52—56. (in Chinese with English abstract)
- [10] 成大成. 机械设计手册单行本-气压传动[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [11] 南京农业大学. 翻转式气动取苗装置[P]. 中国: CN202127604U, 2012-2-1.
- [12] 农二师茂林工贸有限责任公司. 一种全自动取喂钵苗移栽机[P]. 中国: CN102224775A, 2012-3-7.
- [13] 冯康健,韩长杰,万建林. 一种与秧苗移栽机配套的秧苗喂入装置[P]. 中国: CN201167475, 2008-12-24.
- [14] 韩长杰,万建林. 穴盘苗移栽自动取喂装置[P]. 中国: CN201491493U, 2010-6-2.
- [15] 南京农业大学. 旱地穴盘苗移栽机末端执行器[P]. 中国: CN201444755U, 2010-5-5.
- [16] 南京农业大学. 一种旱地穴盘苗自动取苗机构[P]. 中国: CN201444754U, 2010-5-5.
- [17] 陈建能,王伯鸿,张翔,等. 多杆式零速度钵苗移栽机植苗机构运动学模型与参数分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 7—12.  
Chen Jianneng, Wang Bohong, Zhang Xiang, et al. Kinematics modeling and characteristic analysis of multi-linkage transplanting mechanism of pot seeding transplanter with zero speed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(9): 7—12. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张祖立,王君玲,张为政,等. 悬杯式蔬菜移栽机的运动分析与性能试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11):

- 21—25.
- Zhang Zuli, Wang Junling, Zhang Weizheng, et al. Kinematic analysis and performance experiment of cantilever cup vegetable transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(11): 21—25. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王文明, 窦卫国, 王春光, 等. 2ZT-2型甜菜移栽机栽植系统的参数分析[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 69—73.
- Wang Wenmin, Dou Weiguo, Wang Chunguang, et al. Parameter analysis of the planting process of 2ZT-2 Beet transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 69—73. (in Chinese with English abstract)
- [20] 俞高红, 张玮炜, 孙良, 等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星轮系在后插旋转式分插机构中的应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 100—105.
- Yu Gaohong, Zhang Weiwei, Sun Liang, et al. Application of planetary gear train with eccentric gears and non-circular gear in backward rotary transplanting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 100—105. (in Chinese with English abstract)
- [21] 赵匀, 黄巨明, 张国凤, 等. 变形椭圆齿轮分插机构运动分析与优化[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 48—52, 61.
- Zhao Yun, Huang Juming, Zhang Guofeng, et al. Kinematic analysis and optimization of transplanting mechanism with deformable elliptic gears transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 48—52, 61. (in Chinese with English abstract)
- [22] 俞高红, 刘炳华, 赵匀, 等. 椭圆齿轮行星轮系蔬菜钵苗自动移栽机构运动机理分析[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 53—57.
- Yu Gaohong, Liu Binghua, Zhao Yun, et al. Kinematic principle analysis of transplanting mechanism with planetary elliptic gears in automatic vegetable transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 53—57. (in Chinese with English abstract)
- [23] 万霖, 汪春, 车刚. 小型蔬菜移栽机的改进设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 117—122.
- Wan Lin, Wang Chun, Che Gang. Improved design and experiments of small-size vegetable transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(6): 117—122. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李革, 李辉, 杨爱茜, 等. 傅立叶曲线非圆齿轮系分插机构运动学分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 126—131.
- Li Ge, Li Hui, Yang Aiqian, et al. Kinematic analysis on Fourier curve non-circular gears transplanting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 126—131. (in Chinese with English abstract)
- [25] 陈建能, 赵匀, 俞高红, 等. 椭圆齿轮行星系分插机构推秧装置的动力学模型的建立及验证[J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 71—76.
- Chen Jianneng, Zhao Yun, Yu Gaohong, et al. Establishment and verification of dynamics model of seedling-pushing device in transplanting mechanism with planetary elliptic gears[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(5): 71—76. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张诗, 田素博, 邱立春, 等. 穴盘苗自动移栽机械手的结构与仿真[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(3): 437—439.
- Zhang Shi, Tian Subo, Qiu Lichun, et al. Structure design and simulation on manipulator of transplanting potted tray seedlings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(3): 437—439. (in Chinese with English abstract)
- [27] 封俊, 秦贵, 宋卫堂, 等. 移栽机的吊杯运动分析与设计准则[J]. 农业机械学报, 2002, 33(5): 48—50.
- Feng Jun, Qin Gui, Song Weitang, et al. The kinematic analysis and design criteria of the dibble-type transplanters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002, 33(5): 48—50. (in Chinese with English abstract)
- [28] 张丽华, 邱立春, 田素博. 穴盘苗自动移栽机的研究进展[J]. 农业科技与装备, 2009(5): 28—31.
- Zhang Lihua, Qiu Lichun. Progress in the research of manipulator of transplanting potted tray seedlings[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2009(5): 28—31. (in Chinese with English abstract)
- [29] 陈建能, 黄前泽, 王英, 等. 钵苗移栽机椭圆齿轮行星系植苗机构运动学建模与分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 6—12.
- Chen Jianneng, Huang Qianze, Wang Ying, et al. Kinematics modeling and analysis of transplanting mechanism with planetary elliptic gears for pot seedling transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 6—12. (in Chinese with English abstract)
- [30] 崔巍, 赵亮, 宋建农, 等. 吊杯式移栽机栽植器运动学分析与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 42(S1): 35—38+34.
- Cui Wei, Zhao Liang, Song Jiannong, et al. Kinematic analysis and experiment of dibble-type planting devices[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 42(S1): 35—38+34. (in Chinese with English abstract)
- [31] 崔巍, 刘双喜, 高丽娟, 等. 2ZFS-1A型多功能烟草移栽机的研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(S2): 36—41.

Cui Wei, Liu Shuangxi, Gao Lijuan, Wang Rui, et al. Development of 2ZFS-1A multifunctional tobacco transplanting machine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(S2): 36—41. (in Chinese with English abstract)

[32] 徐洪广, 赵匀, 张允慧, 等. 水稻钵苗移栽机变性卵形齿轮分秧机构的运动机理分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 9—15.

2012, 28(11): 9—15.

Xu Hongguang, Zhao Yun, Zhang Yunhui, et al. Analysis on kinematic principle for seedling-picking machinery of rice transplanter with deformed oval gears[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(11): 9—15. (in Chinese with English abstract)

## Design and test of automatic feed system for tray seedlings transplanter

Han Changjie<sup>1,2</sup>, Yang Wanzhang<sup>2</sup>, Zhang Xuejun<sup>2</sup>, Guo Hui<sup>2</sup>, Yin Wenqing<sup>1\*</sup>

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China; 2. Mechanical and Traffic College, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The nacelle-type semi-automatic transplanter is the best available technology to punch holes in the plastic film and has been used extensively in Xinjiang, China, but the nacelle-type transplanter had very low efficiency. It had the frequency of less than 40 pieces /min for each transplanting device. The automatic feed system was designed for a nacelle-type transplanter to improve the efficiency of the feeding system of the transplanter, matching with the tray which is widely used in Xinjiang province. It has 128 (16 rows×8 lines) plugs and is made by the vacuum form process. The thickness is 0.6-1 mm, the hole depth is 45 mm, the top width is 31.75mm and the bottom width is 13mm. The tray carrying the seedlings can be moved transversally and longitudinally by the step-displacement unit (SDU) in the feed system. In order to reduce the automatic feed system width of the horizontal direction, and keep plug seedlings from dropping from the plug tray, the machine was slanted at an angle horizontally with the SDU beams at 105°. The seedlings were taken and moved by a turning and position shift style seedlings manipulator (TPSM). The seedlings were dropped in the tube of the flexible chain conveyor feeding mechanism (FCCFM) by the manipulator at the right time. Then the seedlings were transported and put in the nacelle of two different transplanting devices by the FCCFM. The FCCFM was set at the bottom of the feed system. The SDU was set on the top and side of FCCFM, and the TPSM was set on the top of the FCCFM. The seedling transfer was done by the TPSM, which picks up the seedling on the tray side and drops the seedlings on the other side. When the seedling tube is standing still, the manipulator puts the plug seedlings into the seedling tube. With the seedlings tube driven by the flexible chain and rotating to the right side, the seedling tube will go through two types of drop windows -- one is wide, and the other is narrow. When the seedlings tube first goes through the narrow drop seedlings window, only the narrow shutter of the seedling tube is opened and drops seedlings. When the seedlings tube goes through the wide drop seedlings window, all the shutters open, and only the wide shutter seedling tube drops seedlings. The feed system is controlled by PLC, and driven by pneumatic force. The average total air consumption of the pneumatic components is 60.56L/min. The structure of this automatic feed system is independent and does not increase the load on the wheels of the transplanting machine. Its mass is less than 110kg and the cost is also affordable. It can be attached to a new transplanting machine or it can be used with an existing transplanting machine. The “Hong'an #6” pepper seedlings were used to test the automatic feed system, and seedlings were raised from February 25, 2011 to April 25, 2011. At a seedling age of 58d, the average height of the seedlings was 163.06mm; nursery substrates were made of peat, vermiculite and perlite, in accordance with the volume ratio 1:1:1. Compressed air is provided by the laboratory air pump (ZBM-0.1/8), and the air tank pressure was maintained at 0.5 ~ 0.8MPa. The results showed that the seedling feeding speed was increased up to 70pieces/min, the reliability of the system was 98.92%, and the average mass loss of the seedling substrate was 9.26%.

**Key words:** agricultural machinery, transplants, automation, plug seedlings, take seedling manipulator, PLC control