

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.10.009

# 钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构优化与试验\*

陈建能<sup>1</sup> 王英<sup>1</sup> 黄前泽<sup>1</sup> 黄会明<sup>2</sup> 武传宇<sup>1</sup> 张平<sup>3</sup>

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江机电职业技术学院, 杭州 310053;

3. 西子奥的斯电梯有限公司, 杭州 310019)

**摘要:** 提出了一种钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构,建立了栽植嘴的运动学方程,编写了该机构的运动学仿真软件。综合考虑穴口形状、栽植嘴回程轨迹、栽植嘴接苗和植苗姿态、接苗时栽植嘴的相对速度等因素,利用该软件优选得到一组机构参数,进而研制了该植苗机构试验台,对栽植嘴的轨迹和速度等运动学参数进行了测定。将试验结果与运动学分析结果进行对比,验证了运动学模型与分析结果的正确性。与椭圆齿轮行星系植苗机构相比,变形椭圆齿轮行星系植苗机构立苗率高、伤苗率低。

**关键词:** 钵苗移栽机 植苗机构 变形椭圆齿轮行星系 运动学分析 试验

**中图分类号:** S223.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)10-0052-05

## Optimization and Test of Transplanting Mechanism with Planetary Deformed Elliptic Gears for Potted-seedling Transplanter

Chen Jianneng<sup>1</sup> Wang Ying<sup>1</sup> Huang Qianze<sup>1</sup> Huang Huiming<sup>2</sup> Wu Chuanyu<sup>1</sup> Zhang Ping<sup>3</sup>

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

2. Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China

3. Xizi Otis Elevator Co., Ltd., Hangzhou 310019, China)

**Abstract:** The transplanting mechanism with planetary deformed elliptic gears was proposed and the kinematics equations of transplanting tip were established. The kinematics simulation software of this mechanism was compiled. A group of mechanical parameters were optimized and obtained by using this software and comprehensively taking into account the factors of hole shape, return trajectory of transplanting tip, pose of transplanting tip while catching and transplanting seedlings, relative velocity of transplanting tip while catching seedlings and so on. Then the test-bed of this transplanting mechanism was developed to test the kinematics parameters such as trajectory and velocity of the transplanting tip. Through the comparison between test result and kinematics analysis results, the correctness of kinematics model and analysis results were verified. Compared with the transplanting mechanism with planetary elliptic gears, the proposed transplanting mechanism had higher verticality rate of seedling and lower injury rate of seedling.

**Key words:** Potted-seedling transplanter Transplanting mechanism Planetary deformed elliptic gears Kinematics analysis Test

收稿日期: 2012-10-08 修回日期: 2012-10-24

\* 国家自然科学基金资助项目(51275481)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20123318110001)、浙江理工大学机械设计及理论浙江省重中之重学科开放基金资助项目(ZSTUMD2012A002)、浙江理工大学 521 人才培养计划资助项目和浙江理工大学研究生创新基金资助项目(YCX12024)

作者简介: 陈建能, 教授, 博士生导师, 主要从事现代农业装备技术研究, E-mail: jiannengchen@zstu.edu.cn

## 引言

钵苗移栽机植苗机构是将秧苗植入大田的最终机构,是旱田移栽机的核心工作部件。秧苗移栽后的立苗率和伤苗率是评定其性能的重要指标,直接影响秧苗成活率<sup>[1-2]</sup>。有关文献只是分析栽植嘴的轨迹和姿态,均未涉及秧苗的直立和损伤<sup>[3-9]</sup>。由于立苗率和伤苗率不容易直接计算,本文提出通过确保穴口形状、栽植嘴回程轨迹、栽植嘴接苗和植苗姿态、接苗时栽植嘴的相对速度等指标以提高立苗率、降低伤苗率。同时提出变形椭圆齿轮行星系植苗机构,建立分析模型,参数优选时全面考虑上述指标,并对该机构进行试验研究。

## 1 钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构

钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构简图如图 1 所示<sup>[10]</sup>,变形椭圆太阳齿轮固定不动,链轮轴带动行星架匀速转动,通过变形椭圆太阳齿轮和中间变形椭圆齿轮、中间变形椭圆齿轮和行星变形椭圆齿轮的两级传动,实现行星轮轴(栽植嘴固结在行星轮轴上)相对行星架作反方向周期性非匀速摆动,形成栽植嘴的静轨迹和动轨迹。栽植嘴的张闭则是靠滚子、端面凸轮和弹簧的配合实现。当栽植嘴转到最高位置(图 1a 位置)时完全闭合并接苗,转到最低位置时完全张开并挖出穴口植苗,植苗机构旋转一周植苗 2 次。

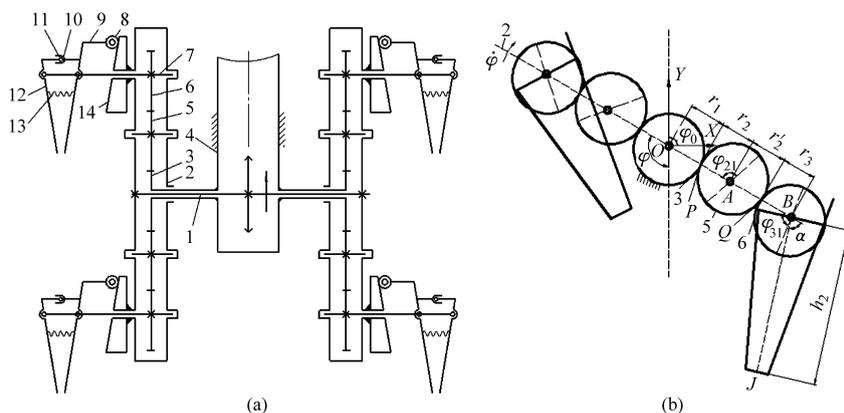


图 1 钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构示意图

Fig. 1 Sketch of transplanting mechanism with planetary deformed elliptic gears for potted-seedling transplanter

(a) 正面 (b) 侧面

1. 链轮轴 2. 行星架 3. 变形椭圆太阳齿轮 4. 链轮箱 5. 中间变形椭圆齿轮 6. 行星变形椭圆齿轮 7. 行星轮轴 8. 滚子 9. 内半栽植嘴 10. 凹槽 11. 销子 12. 外半栽植嘴 13. 弹簧 14. 端面凸轮

## 2 运动学模型

如图 1b 所示,在 XOY 坐标系中建立植苗机构运动学分析模型,推导栽植嘴的(角)位移、(角)速

度和(角)加速度方程(由于植苗机构是对称的,故只分析单边,另一边相差 180°),相关参数说明列于表 1 中。

表 1 相关参数说明

Tab. 1 Explanation of related parameters

符号	意义	符号	意义
$a/\text{mm}$	椭圆的长半轴	$e$	椭圆的偏心率
$m_1$	变形系数	$m_2$	变形系数
$\varphi/(\text{°})$	某一时刻行星架转过的角位移( $<0$ )	$\dot{\varphi}/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$	行星架的角速度(匀速)
$\varphi_0/(\text{°})$	行星架(即齿轮盒)的初始安装角( $>0$ )	$\alpha_0/(\text{°})$	栽植嘴与行星变形椭圆齿轮长轴的初始夹角( $>0$ )
$r_1/\text{mm}$	太阳轮轴心到与中间变形椭圆齿轮啮合点 P 的距离	$r_2/\text{mm}$	中间轮轴心到与变形椭圆太阳齿轮啮合点 P 的距离
$r_2'/\text{mm}$	中间轮轴心到与行星变形椭圆齿轮啮合点 Q 的距离	$r_3/\text{mm}$	行星轮轴心到与中间变形椭圆齿轮啮合点 Q 的距离
$\varphi_{21}/(\text{°})$	行星架相对中间变形椭圆齿轮的角位移( $>0$ )	$\varphi_{31}/(\text{°})$	行星架相对行星变形椭圆齿轮的角位移( $<0$ )
$h_2/\text{mm}$	行星轮轴心到栽植嘴插植点 J 的距离	$h_3/\text{mm}$	穴口深度
$H/\text{mm}$	株距	$n/r\cdot\text{min}^{-1}$	转速

### 2.1 建立(角)位移方程

行星架相对中间变形椭圆齿轮的角位移  $\varphi_{21}$  和

行星架相对行星变形椭圆齿轮的角位移  $\varphi_{31}$  可由下式求得<sup>[11-12]</sup>

$$\varphi_{21} = \begin{cases} \frac{2}{m_1} \arctan \left( \frac{1+e}{1-e} \tan \frac{-m_1 \varphi}{2} \right) & \left( 0 \geq \varphi \geq -\frac{\pi}{m_1} \right) \\ 2\pi - \frac{2}{m_2} \arctan \left( \frac{1+e}{1-e} \tan \frac{m_2(2\pi + \varphi)}{2} \right) & \left( -\frac{\pi}{m_1} > \varphi \geq -2\pi \right) \end{cases} \quad (1)$$

$$\varphi_{31} = \begin{cases} -\frac{2}{m_1} \arctan \left( \frac{1-e}{1+e} \tan \frac{m_1(\varphi_{21} + \pi)}{2} \right) & \left( 0 < \varphi_{21} + \pi \leq \frac{\pi}{m_1} \right) \\ \frac{2}{m_2} \arctan \left( \frac{1-e}{1+e} \tan \frac{m_2(2\pi - (\varphi_{21} + \pi))}{2} \right) - 2\pi & \left( \frac{\pi}{m_1} < \varphi_{21} + \pi \leq 2\pi \right) \\ -\frac{2}{m_1} \arctan \left( \frac{1-e}{1+e} \tan \frac{m_1(\varphi_{21} - \pi)}{2} \right) & \left( 0 \leq \varphi_{21} - \pi \leq \frac{\pi}{m_1} \right) \\ \frac{2}{m_2} \arctan \left( \frac{1-e}{1+e} \tan \frac{m_2(2\pi - (\varphi_{21} - \pi))}{2} \right) - 2\pi & \left( \frac{\pi}{m_1} < \varphi_{21} - \pi < 2\pi \right) \end{cases} \quad (2)$$

其中,为保证变形椭圆两段节曲线封闭, $m_1$ 和 $m_2$ 应满足

$$2\pi - \frac{\pi}{m_1} = \frac{\pi}{m_2} \quad (3)$$

变形椭圆的节曲线方程为

$$r_1 = \begin{cases} \frac{a(1-e^2)}{1-\operatorname{ecos}(-m_1\varphi)} & \left( 0 \geq \varphi \geq -\frac{\pi}{m_1} \right) \\ \frac{a(1-e^2)}{1-\operatorname{ecos}(m_2(2\pi + \varphi))} & \left( -\frac{\pi}{m_1} > \varphi \geq -2\pi \right) \end{cases} \quad (4)$$

$$r_2 = 2a - r_1 \quad (5)$$

$$r_3 = \begin{cases} \frac{a(1-e^2)}{1-\operatorname{ecos}(m_1\varphi_{31})} & \left( 0 \leq \varphi_{31} < \frac{\pi}{m_1} \right) \\ \frac{a(1-e^2)}{1-\operatorname{ecos}(m_2(2\pi - \varphi_{31}))} & \left( \frac{\pi}{m_1} \leq \varphi_{31} \leq 2\pi \right) \end{cases} \quad (6)$$

$$r_2' = 2a - r_3 \quad (7)$$

令 $\varphi_1 = \varphi_0 + \varphi$ ,则行星轮轴心 $B$ 位移为

$$\begin{cases} x_B = 4a \cos \varphi_1 \\ y_B = 4a \sin \varphi_1 \end{cases} \quad (8)$$

栽植嘴插植点 $J$ 位移为

$$\begin{cases} x_J = x_B + h_2 \cos \varphi_J \\ y_J = y_B + h_2 \sin \varphi_J \end{cases} \quad (9)$$

其中 $\varphi_J = \varphi_0 + \varphi - \varphi_{31} - \alpha_0$  (10)

## 2.2 建立(角)速度方程

对式(8)求导得行星轮轴心 $B$ 速度

$$\begin{cases} \dot{x}_B = -4a \dot{\varphi} \sin \varphi_1 \\ \dot{y}_B = 4a \dot{\varphi} \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (11)$$

由反转法可得 $-\frac{\dot{\varphi}_{21}}{\dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}} = -\frac{r_1}{r_2}$ ,又 $\dot{\varphi}_0 = 0$ (变形椭圆太阳齿轮固定),则行星架相对中间变形椭圆齿

轮的角速度为

$$\dot{\varphi}_{21} = -\frac{r_1}{r_2} \dot{\varphi} = \frac{r_1}{r_1 - 2a} \dot{\varphi} \quad (12)$$

同理,行星架相对行星变形椭圆齿轮的角速度

为

$$\dot{\varphi}_{31} = \frac{r_2' \dot{\varphi}_{21}}{r_2' - 2a} \quad (13)$$

令 $\dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi} - \dot{\varphi}_{31}$ ,对式(9)求导得栽植嘴插植点 $J$ 速度为

$$\begin{cases} \dot{x}_J = \dot{x}_B - h_2 \dot{\varphi}_3 \sin \varphi_J \\ \dot{y}_J = \dot{y}_B + h_2 \dot{\varphi}_3 \cos \varphi_J \end{cases} \quad (14)$$

## 2.3 建立(角)加速度方程

式(11)对时间求导得行星轮轴心 $B$ 加速度

$$\begin{cases} \ddot{x}_B = -4a \dot{\varphi}^2 \cos \varphi_1 \\ \ddot{y}_B = -4a \dot{\varphi}^2 \sin \varphi_1 \end{cases} \quad (15)$$

式(12)对时间求导得中间变形椭圆齿轮的角加速度

$$\ddot{\varphi}_{21} = -\frac{2a \dot{\varphi} \dot{r}_1}{(2a - r_1)^2} \quad (16)$$

其中

$$\dot{r}_1 = \begin{cases} \frac{ae(1-e^2)m_1 \dot{\varphi} \sin(-m_1\varphi)}{[1-\operatorname{ecos}(-m_1\varphi)]^2} & \left( 0 \geq \varphi \geq -\frac{\pi}{m_1} \right) \\ \frac{-ae(1-e^2)m_2 \dot{\varphi} \sin(m_2(2\pi + \varphi))}{[1-\operatorname{ecos}(m_2(2\pi + \varphi))]^2} & \left( -\frac{\pi}{m_1} > \varphi \geq -2\pi \right) \end{cases}$$

式(13)对时间求导得行星变形椭圆齿轮的角加速度

$$\ddot{\varphi}_{31} = \frac{r_2'^2 (\ddot{\varphi}_{21} - \dot{\varphi}_{21}) - (2a - r_2') \dot{\varphi}_{21} \dot{r}_2'}{(2a - r_2')^2} \quad (17)$$

其中

$$\dot{r}_2' = \begin{cases} \frac{ae(1-e^2)m_1 \dot{\varphi}_{31} \sin(m_1\varphi_{31})}{[1-\operatorname{ecos}(m_1\varphi_{31})]^2} & \left( 0 \leq \varphi_{31} < \frac{\pi}{m_1} \right) \\ \frac{-ae(1-e^2)m_2 \dot{\varphi}_{31} \sin(m_2(2\pi - \varphi_{31}))}{[1-\operatorname{ecos}(m_2(2\pi - \varphi_{31}))]^2} & \left( \frac{\pi}{m_1} \leq \varphi_{31} \leq 2\pi \right) \end{cases}$$

式(14)对时间求导得栽植嘴插植点 $J$ 加速度

$$\begin{cases} \ddot{x}_J = \ddot{x}_B + h_2 \ddot{\varphi}_{31} \sin \varphi_J - h_2 \dot{\varphi}_3^2 \cos \varphi_J \\ \ddot{y}_J = \ddot{y}_B - h_2 \ddot{\varphi}_{31} \cos \varphi_J - h_2 \dot{\varphi}_3^2 \sin \varphi_J \end{cases} \quad (18)$$

### 3 运动学仿真与分析软件

根据建立的运动学模型,采用 Visual Basic 6.0 编写了钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构运动学仿真与优化软件,如图 2 所示。通过人机对话,在数据输入框中输入一组参数,然后单击轨迹运动分析菜单中的相对运动模拟或绝对运动模拟,对机构进行运动模拟和栽植嘴轨迹姿态、速度及加速度分析。通过调整各参数值,包括椭圆齿轮长半轴、椭圆齿轮偏心率、椭圆齿轮变形系数、行星架初始安装角、栽植嘴与行星变形椭圆齿轮长轴的初始夹角、行星架转速和株距等,优选出一组满意的机构参数,使其对应的穴口形状、栽植嘴回程轨迹、栽植嘴接苗和植苗姿态、接苗时栽植嘴的相对速度等作业性能满足高立苗率和低伤苗率对栽植嘴运动特性的要求,并具有较小的速度和加速度。

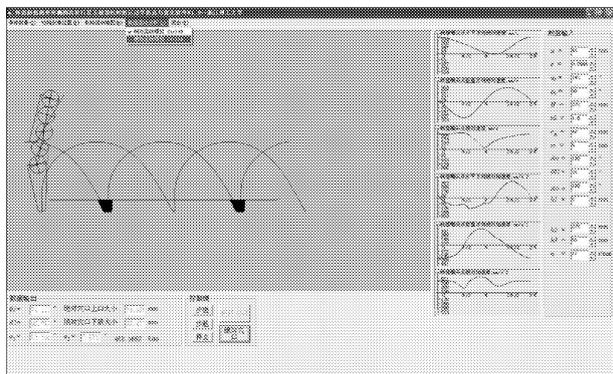


图 2 运动学仿真与优化软件界面

Fig. 2 Interface of kinematics simulation and optimization software

### 4 参数优选实例分析

钵苗的损伤主要是由于接苗时钵苗与栽植嘴的碰撞,本文采取减小接苗时栽植嘴与钵苗接触时的相对速度(通过栽植嘴插植点水平方向相对速度体现)和接苗时栽植嘴与水平轴成一角度(使钵苗相对栽植嘴缓慢下滑)2种措施减小钵苗与栽植嘴的碰撞。

高立苗率由植苗时栽植嘴姿态和穴口形状实现,本文采取植苗时栽植嘴姿态尽量竖直、与移栽机前进方向一致的穴口壁面尽量与垄面垂直和穴口底部水平(这样秧苗在覆土镇压轮的作用下会靠到与垄面垂直的壁面)3种措施来提高立苗率;同时还保证植苗后栽植嘴开始退出穴口至钵苗高度过程中动轨迹不前倾,以免回带和损伤钵苗。

根据编写的运动学仿真与分析软件,取株距为

330 mm,栽植效率为 160 株/min(即转速  $n$  为 80 r/min),通过软件人机对话功能,分析变形椭圆齿轮行星系植苗机构各参数对接苗时栽植嘴与水平轴的倾角、栽植嘴插植点水平方向相对速度、植苗时栽植嘴姿态、植苗后栽植嘴开始退出穴口至钵苗高度过程中动轨迹形状及穴口形状的影响,优选得到一组参数为: $a = 42 \text{ mm}$ 、 $e = 0.0948$ 、 $m_1 = 1.6$ 、 $\alpha_0 = 190^\circ$ 、 $\varphi_0 = 90^\circ$ 、 $h_2 = 235 \text{ mm}$ 、 $h_3 = 60 \text{ mm}$ 。这组参数对应的钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构运动轨迹如图 3 所示,轨迹高度为 347 mm。插植点  $J$  的速度和加速度如图 4 所示,当行星架转角为  $134^\circ \sim 180^\circ$  时,速度逐渐减小,直至植苗时刻(行星架转角为  $180^\circ$  时)达到最小值,减小植苗时钵苗的碰撞损伤;植苗后,速度逐渐增大,提高移栽效率。

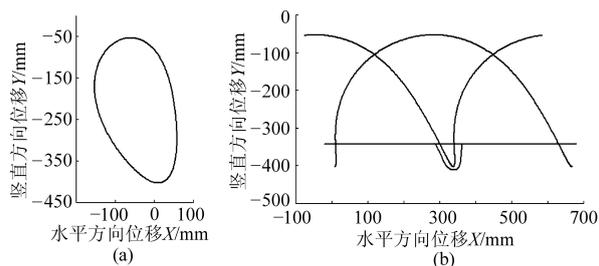


图 3 插植点  $J$  运动轨迹

Fig. 3 Sketch of motion trace of point  $J$

(a) 静轨迹 (b) 动轨迹

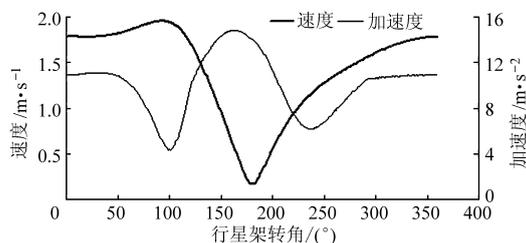


图 4 插植点  $J$  速度和加速度曲线

Fig. 4 Sketch of velocity and acceleration curve of point  $J$

为了和椭圆齿轮行星系植苗机构进行比较,取上述相同株距、栽植效率及轨迹高度,绘出椭圆齿轮行星系植苗机构的插植点运动轨迹,如图 5 所示。2种植苗机构的动轨迹、穴口形状、速度及加速度如

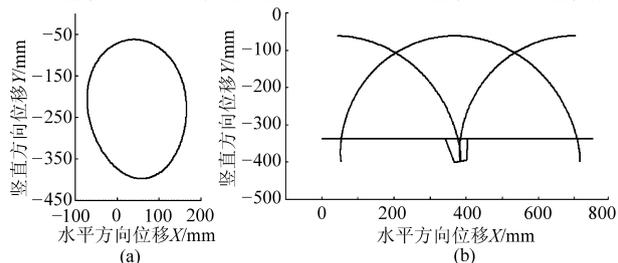


图 5 椭圆齿轮行星系植苗机构插植点  $J$  运动轨迹

Fig. 5 Sketch of motion trace of point  $J$  of transplanting mechanism with planetary elliptic gears

(a) 静轨迹 (b) 动轨迹

表2所示。可见,变形椭圆齿轮行星系植苗机构在栽植嘴动轨迹、穴口形状、速度及加速度均有不同程度的改善,更适合高立苗率和低伤苗率的要求。

表2 2种植苗机构的动轨迹、穴口形状、速度及加速度

Tab.2 Motion trace, hole shape, velocity and acceleration of two kinds of transplanting mechanisms

参数	植苗机构	
	变形椭圆 齿轮行星系	椭圆齿轮 行星系
接苗时栽植嘴倾角/(°)	71	102
植苗时栽植嘴倾角/(°)	92	102
植苗后动轨迹前倾性	不前倾的高度 为109 mm	前倾
穴口大小/mm	73	62
穴口底部	几乎水平	较为倾斜
穴口右壁面与垄面的垂直度	几乎垂直	几乎垂直
接苗时栽植嘴插植点水平方向相对速度/ $m \cdot s^{-1}$	0.89	1.03
速度最大值/ $m \cdot s^{-1}$	1.95	2.12
加速度最大值/ $m \cdot s^{-2}$	14.82	16.26

## 5 试验

为了对变形椭圆齿轮行星系植苗机构的运动学特性进一步深入研究,根据第4节的最佳参数研制了该植苗机构的试验台。试验时,在植苗机构插植点 $J$ 处粘帖一张亮颜色反光纸作为标记点,用强光照试验台,然后启动并调节电动机使行星架转速达到 $80 \text{ r/min}$ ,利用高速摄像机录制植苗机构运动视频(需保证视频录制结果中标记点清晰可见),再结合Blaster's MAS图像分析软件,跟踪拾取标记点,对植苗机构插植点 $J$ 的轨迹和速度等运动学参数进行测定。

高速摄像试验得到的植苗机构插植点 $J$ 的静轨迹如图6所示,轨迹高度为 $341 \text{ mm}$ ,与图3a所示的理论静轨迹形状基本一致,而轨迹高度减小了 $6 \text{ mm}$ 。导致误差的主要原因是变形椭圆齿轮加工误差(有间隙)、摄像头与植苗机构不垂直和试验台震动;轨迹曲线不光顺的原因是标记点拾取有误差和试验台震动;轨迹坐标位置不一致是由于原点位置的设定不一致造成的,图6的原点位置设置在摄像机视觉范围的左下角,而图3a的原点位置设置在植苗机构变形椭圆太阳齿轮的转动中心。

试验得到的植苗机构插植点 $J$ 水平方向和竖直方向相对速度曲线如图7a所示,细线和粗线分别对

应拟合后的水平方向相对速度和竖直方向相对速度,水平坐标为帧数序号, $3 \sim 193$ 帧为一个循环,对应行星架转角的 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。可见,图7a所示试验曲线与图7b所示理论曲线的形状及峰值基本一致,但波动明显,主要原因是标记点拾取误差导致的静轨迹曲线不光顺。由高速摄像试验结果可见,试验结果和理论分析吻合。

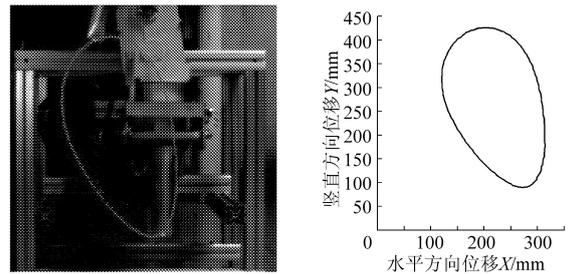


图6 插植点 $J$ 静轨迹试验分析结果

Fig.6 Test analysis result of motion trace of point  $J$

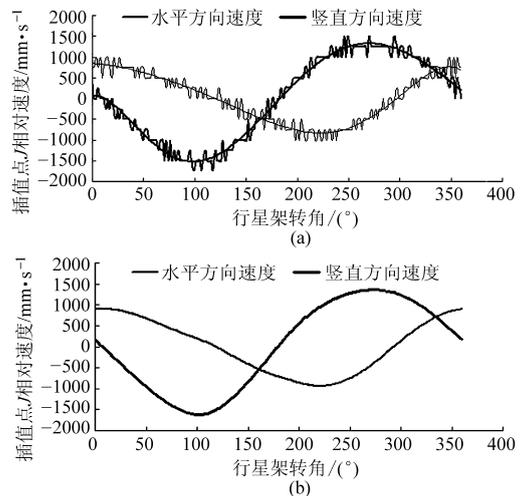


图7 插植点 $J$ 水平方向和竖直方向相对速度

Fig.7 Relative velocity of point  $J$  on horizontal and vertical direction

(a) 试验结果 (b) 理论分析

## 6 结论

(1) 建立了钵苗移栽机变形椭圆齿轮行星系植苗机构的运动学模型,并编写了运动学仿真与分析软件,优选出一组较优的机构参数: $a = 42 \text{ mm}$ 、 $e = 0.0948$ 、 $m_1 = 1.6$ 、 $\alpha_0 = 190^\circ$ 、 $\varphi_0 = 90^\circ$ 、 $H = 330 \text{ mm}$ 、 $h_2 = 235 \text{ mm}$ 、 $h_3 = 60 \text{ mm}$ 。据此研制了该机构试验台,试验结果和理论分析吻合。

(2) 变形椭圆齿轮行星系植苗机构与椭圆齿轮行星系植苗机构相比,在栽植嘴动轨迹、穴口形状、速度及加速度均有不同程度的改善,更适合高立苗率和低伤苗率的植苗要求。

(下转第92页)

- Shang Shuqi, Li Guoying, Yang Ranbing, et al. Development of 4HQL-2 type whole-feed peanut combine [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 125 ~ 129. (in Chinese)
- 7 胡志超, 彭宝良, 尹文庆, 等. 4LH-2型半喂入自走式花生联合收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 148 ~ 153. Hu Zhichao, Peng Baoliang, Yin Wenqing, et al. Design of 4LH-2 type half-feed and self-propelled peanut combine [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 148 ~ 153. (in Chinese)
- 8 徐春光, 高德兴. 4HB-2A型花生联合收获机的研发应用[J]. 农业科技推广, 2011(11): 53 ~ 54.
- 9 丁保江, 唐殿明, 付华良, 等. 小型背负式花生联合收获机的设计研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2005(3): 30 ~ 32. Ding Baojiang, Tang Dianming, Fu Hualiang, et al. Design and research on small-sized backpack peanut combine harvester [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2005(3): 30 ~ 32. (in Chinese)
- 10 陈书法, 李耀明, 孙星钊. 花生联合收获机挖掘装置的设计研究[J]. 中国农机化, 2005, 26(1): 47 ~ 49. Chen Shufa, Li Yaoming, Sun Xingzhao. Research design on digging parts of peanut combine harvester [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2005, 26(1): 47 ~ 49. (in Chinese)
- 11 王洪君, 闵令强, 黄保申, 等. 4HD-1型花生联合收获机[J]. 农业机械, 2005(6): 71.
- 12 中国农业大学. 农业机械学: 下册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- 13 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- 14 耿端阳. 卧式双滚筒花生摘果装置的设计[J]. 农机化研究, 2008, 30(1): 98 ~ 101. Geng Duanyang. Design and study on the horizontal double rollers peanut stripper [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(1): 98 ~ 101. (in Chinese)
- 15 王晓燕. 半喂入式花生摘果机试验台的设计与试验研究[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2006. Wang Xiaoyan. Device and experiment research on half feeding type peanut stripping tester [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 16 DB37/T 316—2002 农业机械作业质量——花生机械收获[S]. 2002.

(上接第 56 页)

#### 参 考 文 献

- 1 封俊, 顾世康, 曾爱军, 等. 导苗管式栽植机的试验研究(Ⅱ)栽植机的性能评价指标与检测方法[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 73 ~ 77. Feng Jun, Gu Shikang, Zeng Aijun, et al. Study on transplanter with chute and seedling aid springs (part Ⅱ) judging-targets system for transplanters [J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(2): 73 ~ 77. (in Chinese)
- 2 张波屏. 现代种植机械工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 275 ~ 285.
- 3 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.
- 4 胡军, 封俊, 曾爱军. 大葱移栽机的设计与试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18(2): 42 ~ 45. Hu Jun, Feng Jun, Zeng Aijun. Design and experimental research of scallion transplanter [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2006, 18(2): 42 ~ 45. (in Chinese)
- 5 孙荣国, 李成华, 张伟. 挠性夹盘式移栽机移栽过程中钵苗运动分析[J]. 农机化研究, 2006, 28(2): 45 ~ 47. Sun Rongguo, Li Chenghua, Zhang Wei. Seedling kinematical analysis of soft disc-type transplanter [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006, 28(2): 45 ~ 47. (in Chinese)
- 6 耿端阳, 董锋, 汪遵元. 2ZG-2型钵苗移栽机栽直率研究[J]. 现代化农业, 1999(8): 28 ~ 29.
- 7 顾世康, 封俊, 曾爱军, 等. 导苗管式栽植机的试验研究(Ⅲ)导苗管式栽植机的改进设计与试验[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 123 ~ 128. Gu Shikang, Feng Jun, Zeng Aijun, et al. Study on transplanter with chute and seedling aid springs (part Ⅲ) improvement and performance of transplanter with chute [J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(3): 123 ~ 128. (in Chinese)
- 8 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 Wenming, 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)
- 9 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 CSAE, 2012, 28(5): 6 ~ 12. (in Chinese)
- 10 陈建能, 黄前泽, 赵雄, 等. 一种钵苗移栽机旋转式移栽装置: 中国, ZL 201020238733. 6[P]. 2011-05-18.
- 11 李福生. 非圆齿轮[M]. 北京: 机械工业出版社, 1977: 116 ~ 134.
- 12 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)