

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.009

# 齿轮连杆凸轮组合式栽植机构仿真与试验\*

付鹏洋 胡建平 刘发 严宵月

(江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013)

**摘要:** 针对旱地移栽机打穴栽植需要,设计了一种齿轮连杆凸轮组合式栽植机构,该机构由齿轮机构、连杆机构、槽型凸轮和鸭嘴式打穴栽植器等几部分组成。通过建模软件 Pro/E 建立了该栽植机构的虚拟样机模型,并将虚拟样机模型导入刚体运动仿真软件 ADAMS 中。仿真分析了运动参数  $\lambda$  在小于 1、等于 1 和大于 1 情况下栽植机构前后鸭嘴的运动轨迹,结果表明只有在  $\lambda$  等于 1 时栽植机构的运动才能满足零速投苗运动条件要求,栽植时可以得到较好的植苗状态,验证了参数选择和机构设计的正确性和合理性。以自制全自动蔬菜移栽机为试验样机,新型鸭嘴式栽植机构为研究对象,分别从栽植均匀度、钵苗直立度两个方面进行了试验。试验结果表明:株距误差率仅为 2.22%,钵苗直立度全为优良,表明所设计的鸭嘴式栽植机构能够满足栽植要求。

**关键词:** 移栽机 栽植机构 鸭嘴式栽植器 运动分析 组合式

**中图分类号:** S223.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0052-05

## 引言

钵苗移栽相对于直播方式有很大优点,能够延长作物生长时间,提高作物产量。栽植机构是移栽机的核心部分,移栽时移栽机栽植机构将喂入到栽植器中的钵苗移植到指定位置,具体包括接苗、带苗、打穴、放苗与回程等工序,最后达到钵苗定植成活、不伤苗、保证钵苗成活率的目的。国内目前钵苗移栽机主要有钳夹式移栽机、吊杯式移栽机、挠性圆盘式移栽机和导苗管式移栽机等。

钳夹式栽植器分为链夹式和圆盘夹式两种,栽植器主要由输送链条(或栽植盘)和固定其上的秧夹组成。工作时,一般由人工或取苗装置将钵苗放在转动的钳夹上,钵苗被夹持并随链条(或栽植盘)运动,到达苗沟时,钳夹被一控制导轨打开,钵苗落入苗沟,然后覆土,完成栽植过程。但该栽植器株距调整困难,栽植效率低,栽植频率为 30~40 株/min。

吊杯式栽植器按吊杯与转臂的联接方式不同分为偏心式和单铰接式两种,工作时,人工将钵苗放入旋转到最高位置的吊杯内,当吊杯转到最低位置附近时,在滚轮轨道控制下,吊杯打开,钵苗落入苗沟内,随后被覆土定植。但该栽植器结构较为复杂,作业速度低,否则漏栽率会增加。

挠性圆盘式栽植器主要由两片可以弹性变形的挠性圆盘组成。栽植时,用人工(或输送带)将钵苗对准圆盘的中心放置在圆盘的张开处,镇压轮通过传动机构带动圆盘转动,当圆盘转到聚点位置时,便将钵苗夹紧并带至圆盘间隙较大处,钵苗落入沟中,此时镇压轮及时覆土镇压。但该栽植器株距变化大,栽植深度不稳定,钵苗直立度差。

上述移栽机受栽植器的限制,栽植时都需要与开沟器配合使用,而蔬菜的栽植往往先起垄后移栽或者起垄覆膜移栽,所以,设计能够进行垄上栽植或者是垄上覆膜移栽的栽植机构成为我国移栽机械化需要迫切解决的问题。针对此问题,本文提出一种齿轮连杆凸轮组合式栽植机构<sup>[1-2]</sup>,该机构能控制鸭嘴式栽植器的开合实现打穴栽植,而无需开沟装置。

## 1 栽植机构结构组成和工作原理

栽植机构如图 1 所示,由齿轮机构、行星架、连杆机构、槽型凸轮和鸭嘴式栽植器等部分组成。中心轮是整个机构的主动件。槽型凸轮分为上、下两部分,运动时具有对鸭嘴轨迹进行规划的作用。工作时,中心轮的转动带动行星架转动,行星架带动行星轮 1 和行星轮 2 转动,固连在行星轮 2 轴上的栽

收稿日期:2014-06-26 修回日期:2014-08-20

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAD08B03)、江苏省科技支撑计划资助项目(BE2012381)和江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8号)

作者简介:付鹏洋,硕士生,主要从事移栽机构设计及仿真研究,E-mail:fupengyang88@126.com

通讯作者:胡建平,教授,博士生导师,主要从事农业机械设计及理论研究,E-mail:hujp@ujs.edu.cn

植臂作平动；槽型凸轮随行星架绕中心轮中心转动，同时，定时推动连杆 2 作来回间歇移动，鸭嘴通过栽植臂固定于连杆 2 上，随连杆 2 旋转并作开合运动，实现栽植器打穴、栽植，完成植苗动作<sup>[3]</sup>。

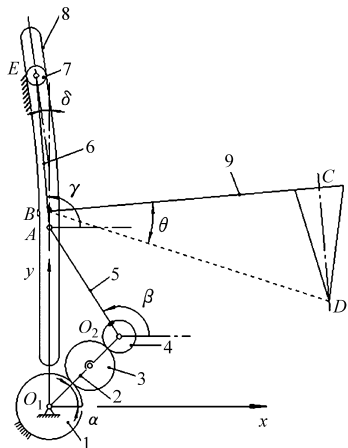


图 1 栽植机构结构简图

Fig. 1 Structural chart of planting mechanism

1. 中心轮 2. 行星架 3. 行星轮 1 4. 行星轮 2 5. 连杆 1  
6. 连杆 2 7. 滚子 8. 槽型凸轮 9. 栽植臂

如图 2 所示，鸭嘴式栽植器由前鸭嘴和后鸭嘴组成，后鸭嘴高于前鸭嘴，可以更好地保证接苗。

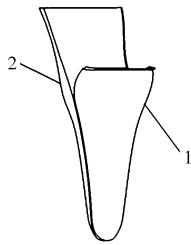


图 2 鸭嘴式栽植器结构图

Fig. 2 Structure of duck mouth transplanter

1. 前鸭嘴 2. 后鸭嘴

## 2 栽植机构虚拟样机的建立及鸭嘴式栽植器运动轨迹仿真分析

根据栽植机构的设计参数，在 Pro/E 中建立栽植机构的三维零件模型与装配模型，把建立的三维模型导入到动力学仿真软件 ADAMS 中，建立驱动机构的虚拟样机模型<sup>[4]</sup>，如图 3 所示。

为了保证栽植钵苗的直立度，要求在投苗瞬间栽植器的速度为零。当栽植机构运动轨迹为摆线或者是余摆线时，理论上通过控制落苗的位置都能得到垂直落苗的要求，即钵苗离开栽植器瞬间的水平速度为零。本文所设计的栽植机构是一种打穴栽植器，对于打穴栽植的栽植器通常要求栽植运动轨迹为摆线，通过控制栽植器的开合度，在栽植过程中避免挂带苗的产生。同时，相对于余摆线栽植轨迹，摆线轨迹在栽植相同的株距时可以减少栽植器在土内

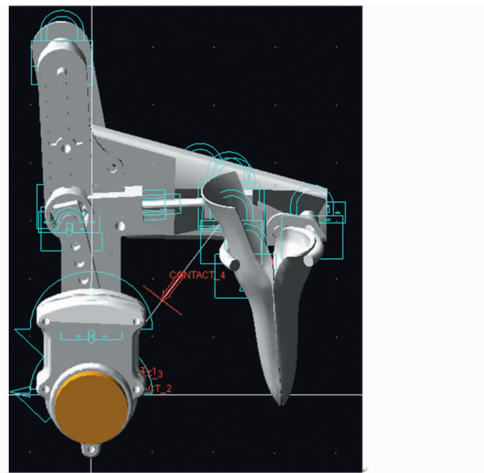


图 3 栽植机构虚拟样机模型

Fig. 3 Virtual prototype model of planting mechanism

的行走路径，减小栽植器和土之间的作用力<sup>[5-7]</sup>。

定义  $V_t$  为机器前进速度， $R$  为栽植器的转动半径， $\omega$  为栽植器的转动角速度， $\lambda$  为引入的运动参数，计算式为  $\lambda = \frac{R\omega}{V_t}$ 。图 4~6 是齿轮连杆凸轮栽植机构在考虑栽植器开合情况下，运动参数  $\lambda < 1$ 、 $\lambda = 1$ 、 $\lambda > 1$  时的仿真栽植轨迹。从图中可以看出，随着  $\lambda$  逐渐变小栽植器前鸭嘴的动轨迹环扣越来越小，即栽植过程中栽植器前鸭嘴的避苗空间变得

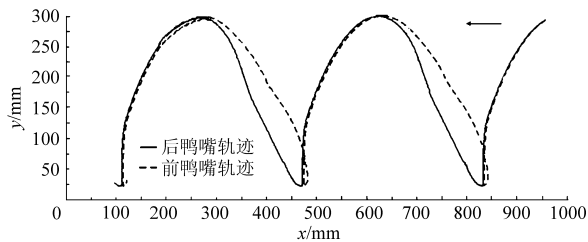


图 4 运动参数  $\lambda < 1$  时栽植机构前后鸭嘴的栽植轨迹

Fig. 4 Trajectories of two duck mouth when  $\lambda < 1$

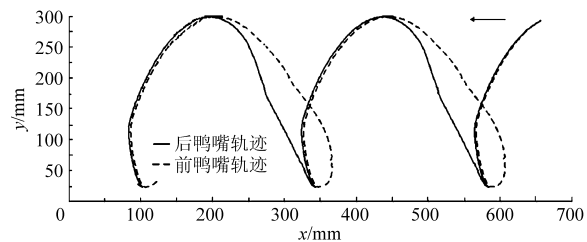


图 5 运动参数  $\lambda > 1$  时栽植机构前后鸭嘴的栽植轨迹

Fig. 5 Trajectories of two duck mouth when  $\lambda > 1$

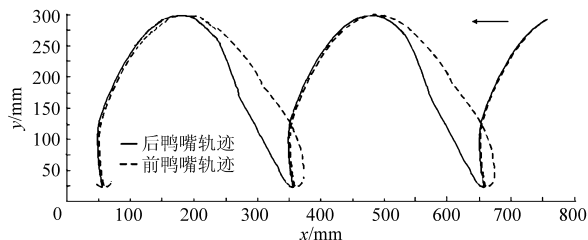


图 6 运动参数  $\lambda = 1$  时栽植机构前后鸭嘴的栽植轨迹

Fig. 6 Trajectories of two duck mouth when  $\lambda = 1$

越来越小,栽植过程中栽植器前鸭嘴将对钵苗产生挂带作用,影响钵苗的直立度,如图4所示,当 $\lambda < 1$ 时,前鸭嘴的避苗空间是最小的;从图中同样可以看出,随着 $\lambda$ 逐渐变大栽植器后鸭嘴在栽植过程中的避苗空间越来越小,栽植过程中栽植器后鸭嘴将对钵苗产生挂带作用,影响钵苗的直立度,如图5所示,当 $\lambda > 1$ 时,后鸭嘴的避苗空间最小。当 $\lambda = 1$ 时,如图6所示,栽植器前后鸭嘴在栽植过程中有足够的空间避苗,由于有充裕的避苗空间,栽植器前后



图7 样机试验

Fig.7 Experiment of prototype

### 3.1 试验装置及试验条件

试验中选取了洋马全自动蔬菜移栽机作为该栽植机构的机架并提供动力,栽植机构在该移栽机驱动下完成植苗任务。采用株高为100 mm的黄瓜苗作为试验秧苗。试验时按运动参数 $\lambda = 1$ 确定机器前进速度为0.5 m/s、株距为250 mm。在土壤含水率为5.6%~8.1%的试验土槽内进行,每次试验选取5组,每组10棵<sup>[11-12]</sup>。

### 3.2 评价标准

试验中选取株距误差率作为栽植均匀度评价标准,以钵苗的倒伏、合格和优良3种状态作为钵苗直立度的评价标准。钵苗直立度是指钵苗栽植后的直立状态,用秧苗茎秆与地面的夹角 $\alpha$ 来评价,对于试验用黄瓜苗, $\alpha \leq 30^\circ$ 为倒伏, $30^\circ < \alpha < 70^\circ$ 为合格, $\alpha \geq 70^\circ$ 视为优良。株距误差率<sup>[13-15]</sup>计算公式为

$$R_d = \left(1 - \frac{|d_e - d_d|}{d_d}\right) \times 100\%$$

式中  $R_d$ ——株距误差率  $d_e$ ——株距试验值  
 $d_d$ ——株距设计值

### 3.3 试验结果

表1和表2分别为栽植机构钵苗株距和直立度的试验结果统计。由表可知,株距的平均误差率仅为2.22%,栽植直立度全为优良,该新型栽植机构能够满足栽植要求。通过对试验结果统计分析,该栽植机构在试验速度下的栽植频率能达到50~60株/min,国内市场现有的移栽机的栽植频率大多为30~45株/min,表明该栽植机构可以明显提高生

鸭嘴在栽植过程中可以较好地防止钵苗被挂带,从而保持较好的钵苗栽植状态。仿真结果表明在运动参数 $\lambda = 1$ 条件下设计的齿轮连杆凸轮栽植机构满足栽植要求<sup>[8-10]</sup>。

## 3 试验

为了验证栽植机构理论设计的正确性,试制了样机,并进行了田间试验。如图7所示。

表1 栽植机构钵苗株距试验结果

Tab.1 Seedling distance statistics

组别	株距试验值/mm	株距设计值/mm	误差/mm	株距误差率/%
1	252.1	250	2.1	0.84
2	249.9	250	-0.1	0.04
3	249.8	250	-0.2	0.08
4	249.1	250	-0.9	0.36
5	239.8	250	-10.2	9.80
平均值	248.1	250	-9.3	2.22

表2 栽植机构钵苗直立度试验结果

Tab.2 Seedling perpendicularity results statistics

组别	倒伏数 ( $\alpha \leq 30^\circ$ )/株	合格数 ( $30^\circ < \alpha < 70^\circ$ )/株	优良数 ( $\alpha \geq 70^\circ$ )/株
1	0	0	10
2	0	0	10
3	0	0	10
4	0	0	10
5	0	0	10
平均值	0	0	10

产效率。

## 4 结论

(1) 设计了一种由齿轮机构、连杆机构、槽型凸轮和栽植器等部分组成的鸭嘴式栽植机构,介绍了其结构组成和工作原理。

(2) 通过Pro/E建模软件建立了该栽植机构的虚拟样机模型,并将虚拟样机模型导入运动学与动

力学仿真软件 ADAMS 中,按照栽植机构零速投苗运动条件,仿真分析运动参数  $\lambda$  在  $\lambda < 1$ 、 $\lambda = 1$ 、 $\lambda > 1$  时栽植机构 2 个鸭嘴的运动轨迹,结果表明在  $\lambda = 1$  时可以得到较好的植苗状态,验证了参数选择和机构设计的合理性。

(3) 对栽植机构进行了试验,试验中分别选取

了株距误差率作为栽植均匀度评价标准,钵苗的倒伏、合格和优良作为钵苗直立度评价标准。对实际栽植的株距与设计株距进行比较可得株距的平均误差率仅为 2.22%,栽植直立度全为优良。经试验验证,所设计的栽植机构能够满足栽植要求,且提高了生产效率。

### 参 考 文 献

- 1 王君玲,高玉芝,李成华. 旱地钵苗移栽机械化生产的现状及发展趋势[J]. 农业机械化与电气化,2003(5):5-6.
- 2 武广伟,宋建农,彭旭. 我国蔬菜育苗移栽机械化的现状与发展方向[C]//中国农业机械学会农业机械化分会 2006 年学术年会论文集,2006:186-190.
- 3 Liu Fa, Hu Jianping, Huang Yingsa, et al. Design and simulation analysis of transplanter's planting mechanism [C] // The 4th IFIP International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture and the 4th Symposium on Development of Rural Information, 2010:456-463.
- 4 刘发. 蔬菜钵苗移栽机栽植机构设计[D]. 镇江:江苏大学,2011.  
Liu Fa. The design of vegetable seedling transplanter's planting mechanism [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2011. (in Chinese)
- 5 封俊,秦贵,宋卫堂,刘亚佳. 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. 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)
- 6 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)
- 7 陈达,周丽萍,杨学军. 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):54-58.  
Chen Da, Zhou Liping, Yang Xuejun. Mechanism analysis and motion simulation of planting apparatus with automatic distributing bowl mechanism for transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8):54-58. (in Chinese)
- 8 何岳平,陈青春,何瑞银,等. 大蒜栽植机栽植系统优化设计与运动分析[J]. 农业机械学报,2011,42(2):88-94.  
He Yueping, Chen Qingchun, He Ruiyin, et al. Optimal design and kinematic analysis for planting system of garlic planting machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2):88-94. (in Chinese)
- 9 金鑫,李树君,杨学军,等. 膜上移栽钵苗栽植机构运动分析与参数优化[J]. 农业机械学报,2012,43(10):29-34.  
Jin Xin, Li Shujun, Yang Xuejun, et al. Motion analysis and parameter optimization for pot seedling planting mechanism based on up-film transplanting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(10):29-34. (in Chinese)
- 10 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- 11 胡军,曾爱军,封俊. 大葱移栽机的设计与实验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(2):42-45.  
Hu Jun, Zeng Aijun, Feng Jun. Design and experimental research of scallion transplanter [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2006, 18(2):42-45. (in Chinese)
- 12 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,2012,43(10):35-38.  
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, 43(10):35-38. (in Chinese)
- 13 封俊,顾世康,曾爱军,等. 导管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. Experimental study of the guide tube and seedling planting machine (II) planting machine performance evaluation index and test methods [J]. Transactions of the CSAE, 1998, 14(2):73-77. (in Chinese)
- 14 李其响,孔卓. 分土靴式栽植器的实验与分析[J]. 农业机械学报,2007,38(8):70-73.  
Li Qiyun, Kong Zhuo. Experiment and analysis of the planting apparatus by soil boots [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8):70-73. (in Chinese)
- 15 龚永坚,刘丽敏,俞高红,等. 水稻插秧机后插式分插机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报,2005,36(9):41-43.  
Gong Yongjian, Liu Limin, Yu Gaohong, et al. Study on rearward separate-planting mechanism of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(9):41-43. (in Chinese)

# Simulation Analysis and Experiment for Gear-linkage-cam Combination Planting Mechanism

Fu Pengyang Hu Jianping Liu Fa Yan Xiaoyue

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education,  
Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** To meet the dry land punch planting needs, a gear-linkage-cam combination planting mechanism which is composed of planetary gear, planetary carrier, connecting rod, groove cam and plant apparatus was designed. Through the modeling software Pro/E, the virtual prototype model of the plant mechanism was established and it was imported into the rigid kinematics simulation software ADAMS. Simulating the trajectories of the two duck-billed when the motion parameter  $\lambda$  in different conditions as  $\lambda < 1$ ,  $\lambda = 1$  and  $\lambda > 1$ , the results showed that only when  $\lambda = 1$  the motion of plant mechanism could meet the zero velocity for seedling motion requirements and get better seeding status, testing the correctness and rationality of the parameter selection and mechanism design. Taking the self-made automatic vegetable transplanter as experimental prototype and planting mechanism as the research object, the experiment has carried out in two aspects: the planting uniformity and the upright degree of pot seedling. Experiments showed that seedling distance error rate was only 2.22% and seedling perpendicularity was good, proved that the designed planting mechanism could meet the planting requirements.

**Key words:** Transplanter Transplanting mechanism Duck mouth planting apparatus Motion analysis  
Combination