

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.Supp.017

# 基于 ADAMS 的高速插秧机三插臂分插机构运动仿真

季顺中<sup>1</sup> 李双<sup>2</sup> 陈树人<sup>2</sup> 卞遂清<sup>1</sup> 尹建军<sup>2</sup> 杨根林<sup>1</sup>

(1. 江苏云马农机制造有限公司, 大丰 224112;

2. 江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

**【摘要】** 针对现有分插机构提高转速后, 增加作业效率而导致取秧针针尖速度过快, 取苗时触碰秧苗后造成伤秧率较高, 影响水稻的成活、生长问题, 设计了一种新型高速分插机构——椭圆齿轮行星系三插臂。增加一个栽插臂后可以在不降低插秧机插秧效率的情况下减小转速, 降低秧针尖的速度, 减小伤苗率, 通过理论推导建立了秧针运动数学模型, 通过 SolidWorks 进行了三插臂的三维建模, 利用 ADAMS 对其运动学进行了仿真分析, 分析表明, 相同作业效率下, 秧针尖速度降低 30%。

**关键词:** 水稻插秧机 分插机构 运动分析 仿真

**中图分类号:** S223.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)S0-0082-04

## Kinematical Simulation of Three Separating Planting Bars of High-performance Rice Transplanter Based on ADAMS

Ji Shunzhong<sup>1</sup> Li Shuang<sup>2</sup> Chen Shuren<sup>2</sup> Bian Suiqing<sup>1</sup> Yin Jianjun<sup>2</sup> Yang Genlin<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Yunma Agricultural Machinery Co., Ltd., Dafeng 224112, China 2. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education &amp; Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

### Abstract

The results of the recent separating-planting mechanism were first taken into consideration. This mechanism increased its rotational speed to improve its operational efficiency; yet by increasing the velocity of the needle of the separating-planting bar, it increased the seeding injury rates at the same time. As a result, a newly designed mechanism, as well as studies on its affect on the survival and growth of rice, was introduced. The new type of separating-planting mechanism had three separating planting bars with an elliptic plant gear system of high-performance rice transplanters. Adding an additional separating planting bar kept the high operational efficiency of the rice transplanter while slowing the rotational speed to decrease seeding injury rate. Its kinematic model was established on the basis of transmission analyses of planetary elliptic gears systems; 3-D models were established by SolidWorks and the kinematics simulation was analyzed by ADAMS. Under the condition of the same operating efficiency, the speed decreased by 30%.

**Key words** Rice transplanter, Transplanting mechanism, Kinematics analysis, Simulation

### 引言

目前高速插秧机的性能已经达到了一个相当高的水平, 现在主要围绕着如何提高生产率和作业可

靠性以及降低农业生产成本展开研究, 现有分插机构为了提高作业效率而增加其旋转速度和前进速度, 造成秧针尖速度过快, 伤秧率较高, 影响水稻成活率和生长。为此设计一种三插臂高速分插机构,

收稿日期: 2010-07-01 修回日期: 2010-07-16

作者简介: 季顺中, 高级工程师, 主要从事种植机械研究, E-mail: ychongchang@alibaba.com.cn

通讯作者: 陈树人, 教授, 主要从事精确农业技术研究, E-mail: srchen@ujs.edu.cn

该机构具有 3 组均布的栽插臂,可在不降低作业效率的情况下降低秧针尖的线速度,从而降低伤苗率。

### 1 结构与工作原理

三插臂分插机构结构如图 1 所示,在一个回转壳体里面(相当于行星轮系机构的行星架)安装 3 个全等的行星椭圆齿轮、3 个全等的惰轮、1 个中心椭圆齿轮,3 组呈 120°的栽植臂分别与 3 个行星轮轴固连。其中行星轮、惰轮和中心轮是全等的,椭圆齿轮的回转中心轴均支撑在壳体上,工作时中心椭圆齿轮固定,而壳体(相当于行星架)作为原动件绕中心椭圆齿轮的回转中心转动,从而使 3 组栽插臂得到所要求的轨迹和动作。

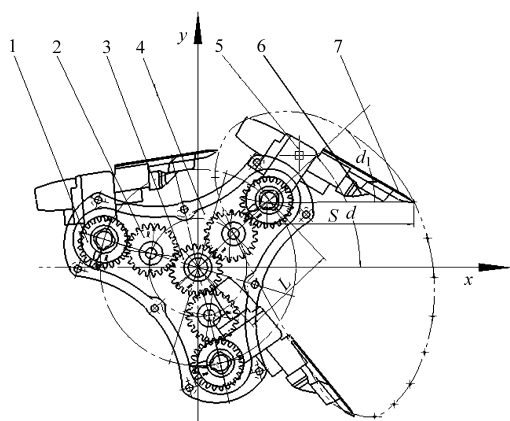


图 1 三插臂分插机构示意图

Fig.1 Schematic drawing of three separating planting mechanism with elliptic gear system

- 1. 行星椭圆齿轮 2. 惰轮 3. 中心椭圆齿轮 4. 行星架 5. 栽插臂壳体 6. 推秧杆 7. 秧爪分离针

### 2 运动学模型

设计的分插机构有 3 组均布的栽植臂,取其中一个臂来分析其运动特性。

(1) 秧爪针尖位移方程<sup>[5]</sup>

建立图 2 所示的直角坐标系  $xOy$ , 则行星轮轴心的坐标方程为

$$\begin{cases} x_{o_3} = L \cos (\phi_0 + \phi) \\ y_{o_3} = L \sin (\phi_0 + \phi) \end{cases} \quad (1)$$

秧针尖的相对坐标方程为

$$\begin{cases} x = x_{o_2} + S \cos (\phi_0 + \alpha_0 + \phi + \beta_3) \\ y = y_{o_2} + S \sin (\phi_0 + \alpha_0 + \phi + \beta_3) \end{cases} \quad (2)$$

秧针尖的绝对坐标方程

$$\begin{cases} x' = x + v_m \phi / \dot{\phi} \\ y' = y \end{cases} \quad (3)$$

- 式中  $\phi_0$ ——行星架初始角位移
- $\phi$ ——某一时刻行星架转过的角位移,本文中为负值
- $\alpha_0$ ——行星架中心连线与行星轮轴心  $O_3$  和秧针尖点连线的初始夹角
- $\beta_3$ ——行星轮 3 相对行星架的角位移
- $v_m$ ——插秧机前进速度

(2) 秧针尖的速度方程

对位移方程求导可获得各构件的(角)速度、(角)加速度。

秧爪尖的速度方程为

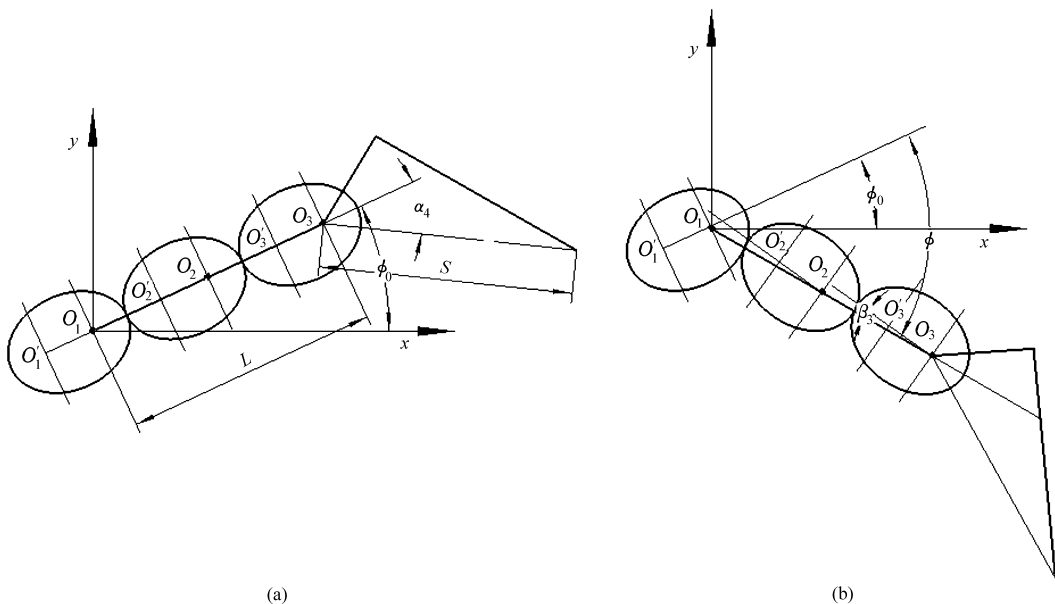


图 2 椭圆齿轮行星轮系转角关系

Fig.2 Relationship between angle among elliptic gears in planetary train

- (a) 起始位置 (b) 行星架转过一定角度后的位置

$$\begin{cases} \dot{x} = -L \dot{\phi} \sin(\phi_0 + \phi) - \\ \quad S(\dot{\phi} + \dot{\beta}_3) \sin(\phi_0 + \alpha_0 + \phi + \beta_3) \\ \dot{y} = L \dot{\phi} \cos(\phi_0 + \phi) + \\ \quad S(\dot{\phi} + \dot{\beta}_3) \cos(\phi_0 + \alpha_0 + \phi + \beta_3) \end{cases} \quad (4)$$

秧爪尖的绝对速度方程为

$$\begin{cases} \dot{x}' = x + \dot{v}_m \\ \dot{y}' = \dot{y} \end{cases} \quad (5)$$

### 3 三维建模与虚拟装配

在 SolidWorks 中建立三插臂装配体模型。由于是椭圆齿轮传动,三插臂的初始装配位姿有严格的要求,否则仿真时会干涉而造成仿真失败或仿真结果与实际情况差别很大,利用 SolidWorks 的装配体干涉检查功能,可以检查装配体的干涉情况,简化的装配体三维模型如图 3 所示。建好装配体模型后将其保存为 parasolid 格式,再打开 ADAMS 浏览到由 SolidWorks 生成的 parasolid 文件,再给输入文件重新命名,完成文件的导入,导入的模型通过添加约束和驱动后如图 4 所示。

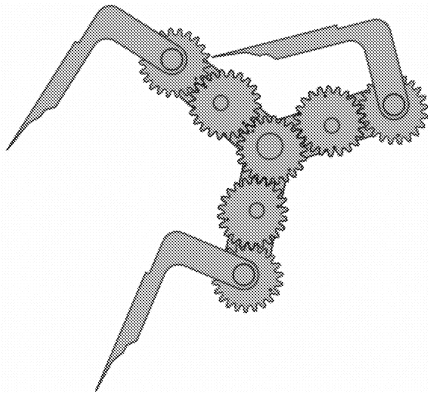
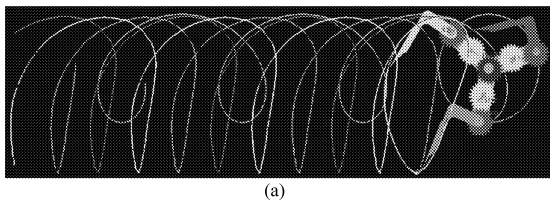


图 3 三栽植臂装配体三维简化模型

Fig. 3 3-D model of separating mechanism

### 4 三插臂仿真

根据设计的三插臂分插机构,利用 ADAMS 仿真分插机构自转秧爪尖的轨迹和动态轨迹,在 ADAMS 中分插机构驱动部分包括 2 个动力源,一个



(a)

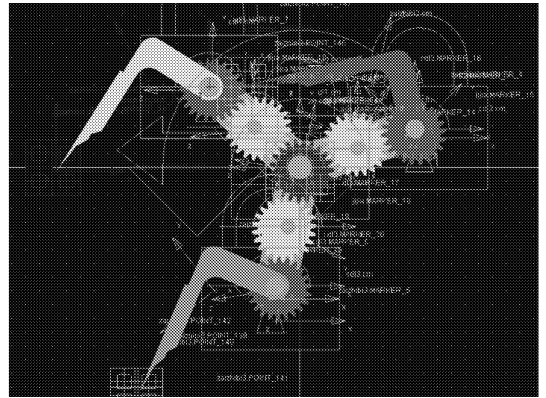


图 4 在 ADAMS 中添加约束与驱动模型

Fig. 4 Model with constraints and driver in ADAMS

是使分插机构产生回转运动的旋转动力,一个是插秧机前进的平移动力。按照设计的株距仿真,其旋转驱动参数为:2.83 r/s,平移驱动的函数为  $680 * (\text{step}(\text{time}, 0, 0, 0.3, 0) + \text{step}(\text{time}, 0.3, 0, 0.4, 1))$ 。

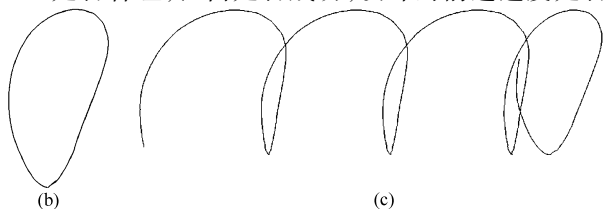
step 函数是一个阶跃函数,意思是:首先分插机构原地旋转至 0.3 s 后插秧机开始前进,在 0.4 s 后前进速度达到 0.68 m/s。也就是在 0.3 s 前得到分插机构秧爪尖的自转轨迹,0.3 s 后得到秧爪尖的动态轨迹。

仿真参数如下:转速为 2.83 r/s;前进速度为 0.68 m/s;静摩擦因数为 0.1;动摩擦因数为 0.08;仿真类型为 kinematic。

### 5 仿真结果分析

三插臂分插机构仿真的目的是验证 3 个栽植臂的秧爪尖轨迹是否满足理论设计轨迹,同时验证 3 个栽植臂的轨迹是否重合,只有 3 个栽植臂的秧爪尖轨迹重合才可以准确的完成插秧取秧的动作。在仿真结束后跟踪了秧爪尖点的轨迹,如图 5b 所示,可以看出插秧机静止时分插机构自转状态下的秧爪尖运动轨迹是重合的。

在分插机构自转轨迹满足插秧机分插机构要求后,并不意味着该机构就能够进行高质量的栽秧,还要研究其动态轨迹即具有前进速度后秧爪的轨迹,该轨迹可以检查秧爪的让苗高度,秧爪的动作曲线是否合理,让苗是否成功,设计的前进速度是否合理



(b)

(c)

图 5 秧爪尖的动轨迹

Fig. 5 Dynamic and static track of separating planting mechanism

(a) ADAMS 中秧爪尖的轨迹 (b) 3 组栽植臂爪尖的自转轨迹 (c) 分插机构秧爪尖的动轨迹

等,在仿真了具有设计前进速度的分插机构后,跟踪了各栽植臂秧针轨迹,通过 ADAMS 的后处理功能得到秧针轨迹图,如图 6 所示。从轨迹图中看出秧针轨迹最大高度约 260 mm,让苗高度约为 150 mm,基本满足了南北方水稻的栽植要求。在此仿真参数下秧针尖合成绝对速度最大为 2.8 m/s,减小 30%,如图 7 所示。

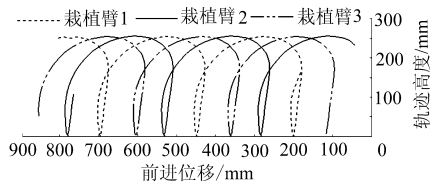


图 6 栽植臂秧针尖端轨迹

Fig. 6 Dynamic track of the three needlepoint of separating planting bar

## 6 结论

(1) 在理论设计阶段完成后利用三维建模技术建立零件实体,再通过虚拟装配技术和 CAE 技术验证理论设计的可靠性,缩短了设计周期和一次设计

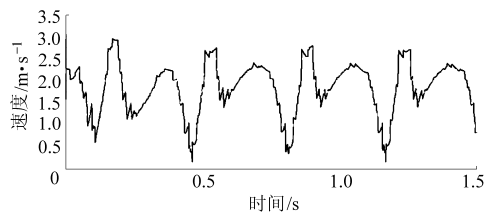


图 7 秧针尖合成绝对速度变化曲线

Fig. 7 Velocity curves of needlepoint of separating planting bar

的成功率。

(2) 通过 ADAMS 软件分析了该分插机构的自转轨迹和动态轨迹,得出该分插机构的秧针尖轨迹最大高度约为 260 mm,秧针尖让苗高度约为 150 mm,秧针尖的合成绝对速度最大为 2.8 m/s,减小 30%。

(3) 该机的设计转速为 170 r/min,每转栽植 3 次,则栽植速度为 510 次/min,证明设计的三栽植臂分插机构在不降低作业效率的情况下,减小了分插机构转速,降低了秧针尖的速度,减少了三栽植臂分插机构伤秧的可能性。

## 参 考 文 献

- 俞高红,钱孟波,赵匀,等. 偏心齿轮-非圆齿轮行星系分插机构运动机理分析[J]. 农业机械学报,2009,40(3):81~84.  
Yu Gaohong, Qian Mengbo, Zhao Yun, et al. Analysis of kinematic principle of transplanting mechanism with eccentric gears and non-circular gears[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 81~84. (in Chinese)
- 和丽,许纪倩,周娜,等. 非圆齿轮行星轮系分插机构运动分析[J]. 农业机械学报,2007,38(12):74~77.  
He Li, Xu Jiqian, Zhou Na, et al. Kinematics analysis of transplanting mechanism with non-circular planetary gears[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 74~77. (in Chinese)
- 尹建军,赵匀,张际先. 高速插秧机差速分插机构的工作原理及其 CAD/CAM[J]. 农业工程学报,2003,19(3):90~94.  
Yin Jianjun, Zhao Yun, Zhang Jixian. Working principle and CAD/CAE of the separating-planting mechanism with differential elliptic gear system of high-performance rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3): 90~94. (in Chinese)
- Ying Yibin, Zhao Yun. Research on dynamic simulation of separating-planting mechanism of rice transplanter[J]. AMA, 1997, 28(3): 15~19.
- 赵匀. 机构数值分析与综合[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- 李革,赵匀,俞高红. 椭圆齿轮行星系分插机构的机理分析与计算机优化[J]. 农业工程学报,2000,16(4):78~81.  
Li Ge, Zhao Yun, Yu Gaohong. Theoretical analysis and parameters optimizing of separating-planting mechanism with planetary elliptic gears[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 78~81. (in Chinese)
- Thomas Edathiparambil Vareed. Development of a mechanism for transplanting riceseeding[J]. Mechanism and Machine Theory, 2002, 37(4): 395~410.