

基于VB的旋转式分插机构运动干涉判别方法*

李 革 陈孝明 俞高红 朱建平 赵 匀

【摘要】 在分析研究旋转式分插机构运动学模型的基础上,借助VB系统的特点和可视化功能,提出了判别该机构运动干涉的人机交互判别法和基于VB的机构运动干涉快速判别法。前者使得判别过程可视化,以便用户对复杂机构运动进行直观的判别;后者借助VB平台,完全由计算机自动实时判别机构的干涉情况。

关键词: 插秧机 分插机构 旋转式 运动干涉 判别方法

中图分类号: S223.91; TH112 **文献标识码:** A

Distinguishing Method for Motion Interference of Rotary Transplanting Mechanism

Li Ge¹ Chen Xiaoming² Yu Gaohong² Zhu Jianping³ Zhao Yun²

(1. Zhejiang University 2. Zhejiang Sci-Tech University

3. Modern Agricultural Equipment Huzhou Combine Harvester Co., Ltd.)

Abstract

Rotary transplanting mechanism is driven by noncircular gear train, and its structure is complicated, so it is very difficult to distinguish its motion interference through some common mechanism interference method. Based on kinematics model of rotary transplanting mechanism, the methods of distinguishing mechanism motion interference, which are the computer-human interactions and the faster distinguishing methods developed by the use of visual program of VB, are proposed respectively. The first method can make motion interference of mechanism visual, and motion interference can be distinguished visually and conveniently. Through the second method, motion interference can be distinguished automatically by program of VB. The above distinguishing methods provide an important theory platform for optimal design and parameter-design of the rotary transplanting mechanism.

Key words Rice transplanter, Transplanting mechanism, Rotary, Motion interference, Distinguishing method

引言

旋转式分插机构是高速水稻插秧机的核心工作部件,由于该机构的轮系中采用了非圆齿轮的啮合传动,2个栽植臂的运动是轮系的公转和不均匀自

转的合成,机构运动相当复杂,极易因机构设计不合理导致两栽植臂在旋转运动过程中发生首尾相碰现象,影响高速插秧作业的正常进行。传统的运动干涉检测方法显得非常繁琐,目前的机械设计专用软件对机构的运动干涉检测时涉及到复杂的零、部件建

收稿日期:2006-06-01

* 国家科技支撑计划资助项目(项目编号:2006BAD28B01)和浙江省自然科学基金资助项目(项目编号:Z105706)

李 革 浙江大学生物系统工程与食品科学学院 博士生,310029 杭州市

陈孝明 浙江理工大学机械与自动控制学院 硕士生,310018 杭州市

俞高红 浙江理工大学机械与自动控制学院 讲师

朱建平 现代农装湖州联合收割机有限公司 工程师,313000 浙江省湖州市

赵 匀 浙江理工大学机械与自动控制学院 教授 博士生导师 通讯作者

模，不便于零件的参数化设计。本文以椭圆齿轮正齿行星系分插机构为例，借助 VB 系统平台，研究该机构在工作过程中运动干涉的检测方法。

1 旋转式分插机构组成和工作原理

典型的旋转式分插机构是椭圆齿轮正齿行星系分插机构，其机构简图如图 1 所示。它是由 4 个全等正圆齿轮和 3 个全等椭圆齿轮组成，3 个椭圆齿轮的回转中心均在椭圆齿轮的焦点上，且初始相位相同。中心椭圆齿轮 I (太阳轮) 固定不动，工作时齿轮箱 (相当于行星架) 在中心轴的带动下，相当于一个原动件绕太阳轮的回转中心 O_1 转动，由于是 2 个椭圆齿轮 I 和 II 啮合，引起传动比的变化，从而导致对称布置的 2 个行星圆齿轮作往复摆动。通过键和行星轮轴与行星圆齿轮固结的一对栽植臂，一方面随着齿轮箱作圆周运动，另一方面随着行星圆齿轮作往复摆动。在这 2 种运动的合成下，秧爪按要求的角位移和轨迹运动。通过选择合适的结构参数，就可满足插秧所要求的工作轨迹、取秧角和插秧角^[1~4]。

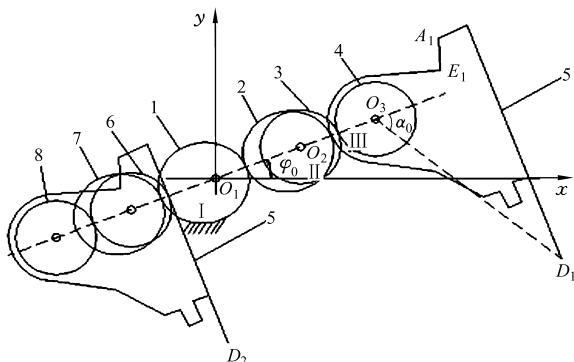


图 1 旋转式分插机构运动简图

Fig.1 Kinematic sketch of rotary transplanting mechanism

- 1. 中心椭圆齿轮 2、7. 中间椭圆齿轮 3、6. 中间圆齿轮
- 4、8. 行星圆齿轮 5. 秧针

图 1 中， φ_0 是行星架齿轮轴心连线与 x 轴夹角； α_0 是齿轮 III 轴心和秧爪连线与行星架齿轮轴心连线的夹角，并定义逆时针转动时 $\alpha_0 > 0$ ，顺时针转动时 $\alpha_0 < 0$ 。

2 旋转式分插机构运动学模型的建立

旋转式分插机构的传动系统是由正齿圆柱齿轮和非圆齿轮组成的行星轮系构成，其机构在运行过程中发生的运动干涉主要受非圆齿轮结构参数的影响。

2.1 椭圆齿轮啮合特性

图 2 为 2 对全等椭圆齿轮从初始安装位置转过一定角度后的啮合关系图。椭圆齿轮转动中心为椭圆的焦点， O_1 和 O_2 分别为椭圆齿轮 I、II 的转动中

心， O'_1 为椭圆齿轮 I 的另一焦点。以 $O_1O'_1$ 为行星架运动的始边，用极坐标方程表示椭圆齿轮 I、II 啮合位置，当 $\varphi < 0, r_2 = 2a - r_1$ 时，则有^[5]

$$r_1 = bk / [1 - \sqrt{1 - k^2} \cos(\pi + \varphi)] \quad (1)$$

其中

$$k = b/a$$

式中

a ——椭圆齿轮的长轴半径

b ——椭圆齿轮的短轴半径

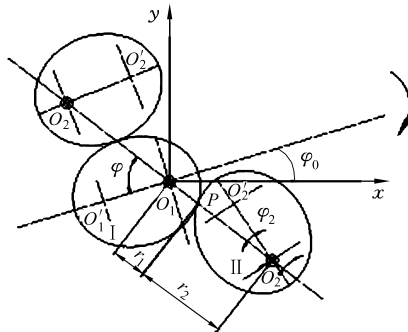


图 2 行星架转过一角度后的位置示意图

Fig.2 Planetary carrier position of rotating a certain angle

以 $O_2O'_2$ 为行星架 O_1O_3 的始边，行星架相对长轴转过 φ_2 ($\varphi_2 > 0$)，则有

$$r_2 = bk / (1 - \sqrt{1 - k^2} \cos \varphi_2) \quad (2)$$

其中

$$\cos \varphi_2 = (1 - bk/r_2) / \sqrt{1 - k^2}$$

2.2 机构运动干涉点的轨迹方程

旋转式分插机构发生运动干涉是由于两栽植臂在旋转工作过程中一个栽植臂的秧针尖部 D_2 与另一个栽植臂的尾部 A_1E_1 相碰。根据椭圆齿轮的啮合特性分析和机构的运动关系，可以建立引起机构运动干涉的栽植臂的秧针尖部 D_2 与另一个栽植臂的尾部 2 点 A_1, E_1 的运动轨迹方程^[6]

$$\begin{cases} x_{D_2} = L \cos(\varphi_0 + \varphi + \pi) + S \cos(\alpha_0 + \varphi_0 + \varphi_3 + \varphi + \pi) \\ y_{D_2} = L \sin(\varphi_0 + \varphi + \pi) + S \sin(\alpha_0 + \varphi_0 + \varphi_3 + \varphi + \pi) \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$L = 2R + 2a$$

$$\begin{cases} x_{A_1} = L \cos(\varphi_0 + \varphi + \pi) + L_{O_3A_1} \cos(\varphi_0 + \alpha_0 + \varphi_{A_1} + \varphi_3 + \varphi) \\ y_{A_1} = L \sin(\varphi_0 + \varphi + \pi) + L_{O_3A_1} \sin(\varphi_0 + \alpha_0 + \varphi_{A_1} + \varphi_3 + \varphi) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} x_{E_1} = L \cos(\varphi_0 + \varphi + \pi) + L_{O_3E_1} \cos(\varphi_0 + \alpha_0 + \varphi_{E_1} + \varphi_3 + \varphi) \\ y_{E_1} = L \sin(\varphi_0 + \varphi + \pi) + L_{O_3E_1} \sin(\varphi_0 + \alpha_0 + \varphi_{E_1} + \varphi_3 + \varphi) \end{cases} \quad (5)$$

式中 R ——圆齿轮的半径

- S ——齿轮Ⅲ轴心和秧爪尖的距离
 φ_3 ——齿轮Ⅲ相对行星架的转角
 φ_{A_1} ——连线 D_1O_3 与 O_3A_1 之间的夹角
 φ_{E_1} ——连线 D_1O_3 与 O_3E_1 之间的夹角

3 机构运动干涉判别方法

由于旋转式分插机构采用的是非圆齿轮行星轮系,运动较复杂,因此一般机构运动干涉判别方法不适用于该机构。根据椭圆齿轮的啮合特性和已建立的干涉点运动轨迹方程,本文研究了针对该机构运动干涉判别的2种方法。

3.1 人机交互判别法

构建良好的人机交互系统可使复杂机构模型柔软化,实现数值与非数值的一体化。同时,创建一个合适的人机接口,使整个判别过程可视化,以便对复杂模型的运动进行直观的认识判断^[7~8]。根据该机构运动分析所建立的数学模型,在VB6.0上编写了人机交互运动干涉判别分析软件。该软件的输入参数包括 $a, k, \alpha_0, \varphi_0, S, R$,它能够根据机构输入参数的变化实时地计算并显示两栽植臂的运动位置。

利用该软件即可进行人机交互。用户根据经验输入一组参数,由计算机实时计算结果并显示轨迹和进行运动模拟。根据这些结果,用户凭借直觉思维即可判断两栽植臂在运动过程中是否发生了运动干涉现象,其程序流程如图3所示。

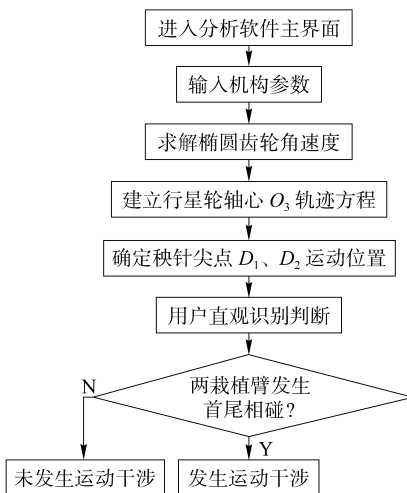


图3 人机交互流程图

Fig. 3 Flow chart of human-computer interaction

根据计算机模拟机构运动的工作原理,人机交互利用了计算机快速计算和人的直接视觉思维,能够克服常用的复杂约束优化问题求解方法的缺陷。但是利用该软件进行机构运动干涉判别时,难以达到所需精度要求。

3.2 基于 Visual Basic 的运动干涉快速判别法

旋转式分插机构发生运动干涉,是由于两栽植臂在工作旋转过程中左侧栽植臂的秧针 C_2D_2 尖部 D_2 与右侧栽植臂的尾部 A_1E_1 产生了碰撞现象,如图4所示。根据所建立的运动模型和该机构运动干涉特点,借助于VB软件平台,不仅可以对机构进行运动仿真,而且在整个运动过程中完全由计算机自动实时判别两栽植臂所处的相互运动位置关系,无需人的介入即可判定该机构是否在旋转工作过程中发生了运动干涉现象。如果发生了运动干涉,则由计算机自动提示,并计算出干涉点的位置和具体的干涉量。

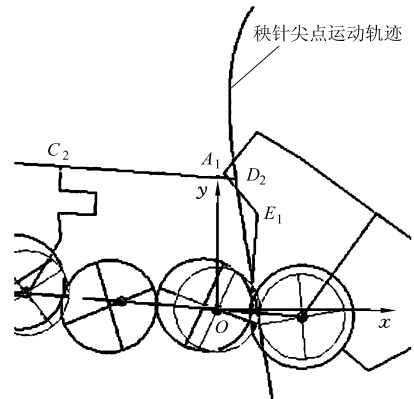


图4 运动干涉位置图

Fig. 4 Position of motive interference

3.2.1 栽植臂尾部三角形法

由图4可知,旋转式分插机构即将发生运动干涉时,其右侧栽植臂尾部末点 A_1 和左侧秧针尖部 D_2 要同时符合以下2个条件: $x_{A_1} \leq x_{D_2}$; 在 $\Delta A_1C_2D_2$ 中, $\angle C_2A_1D_2 > 90^\circ$ 。

因此,判断旋转式分插机构在工作过程中是否发生了运动干涉,等价于判别两栽植臂的相互运动位置关系是否符合以上2个条件。根据栽植臂运动轨迹特性可以得出,当2个条件都成立时,在下一个运动时刻(时刻间隔长短由Timer/Interval属性设定),机构发生运动干涉,计算机自动提示并停止运行,同时给出相应机构运动干涉量,以便人机交互操作时的观察^[9]。判别程序流程图如图5所示。其中, θ 为 $\angle C_2A_1D_2$ 的角度。

3.2.2 秧针尖点距离法

由旋转式分插机构运动特性可知,当左侧秧针尖点 D_2 与右侧栽植臂尾部 A_1E_1 之间的垂直运动间隙 $d = \frac{|Ax_{D_2} + By_{D_2} + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \rightarrow 0$ 且 $x_{A_1} < x_{D_2} \leq x_{E_1}$ 成立时,该机构即将随之发生运动干涉。其中, $A = y_{E_1} - y_{A_1}$, $C = (x_{E_1} - x_{A_1})y_{A_1} - (y_{E_1} - y_{A_1})x_{A_1}$, $B =$

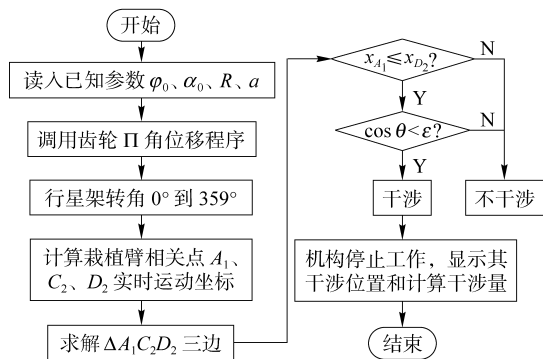


图 5 栽植臂尾部三角形法流程图

Fig. 5 Flow chart of calculating triangle-method

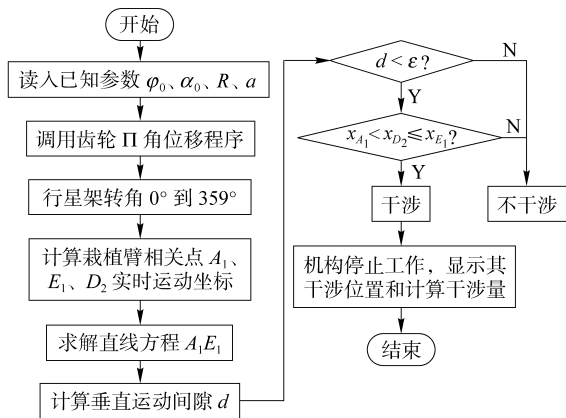


图 6 秧针尖点距离法流程图

Fig. 6 Flow chart for calculating displacement between needle-point and another transplanting-arm

$x_{A_1} - x_{E_1}$ 。

因此,当旋转式分插机构在旋转工作时,计算机只需实时计算 d 并时刻比较 x_{D_2} 与 x_{A_1} 和 x_{E_1} 之间的关系就可判断该机构在运行过程中是否发生了运动干涉。上述距离判别法的独特之处在于:选取判别条件上, d 不能等于零,而只能趋于零。这种特性是由 VB 系统自身特点决定的。该机构运动仿真能够得以实现,完全建立在定时器 Timer 上。其仿真具体原理如下:随着 Timer 功能的开启,每过 interval 所设定的时刻间隔,系统都会根据两栽植臂相应各点的实时坐标,利用 VB 中 Point 功能,依次画点并连线,从而确定这个时刻两栽植臂的具体运动位置。因此,它是一个以 interval 的设定值为时刻间隔,不连续的机构运动过程。其判别程序流程图如图 6 所示。其中 ϵ 的取值涉及到秧针的刚度、栽植臂的制造误差和整个分插机构的安装精度,其具体数值依据实

际情况来设定。

4 结论

(1) 人机交互判别法可以根据输入参数快速确定并显示两栽植臂的实时运动位置。通过人的视觉观察即可判断旋转式分插机构是否在运动过程中发生了干涉现象。由于在判别过程中,仅仅依靠人的视觉来进行判断,所以此判别法判别精度不高,而且整个判别过程比较费时。

(2) 在 VB 平台上,栽植臂尾部三角形法和秧针尖点距离法都能对旋转式分插机构在旋转运行过程中是否发生运动干涉做出快速正确的判断。两者的算法不同,整个判别过程均由计算机自动完成。

参 考 文 献

- 1 李革,俞高红. 椭圆齿轮行星系分插机构的机理分析和计算机优化[J]. 农业工程学报,2000,16(4):78~81.
- 2 李革,刘丽敏,赵匀,等. 旋转式分插机构动力学试验台的研制[J]. 农机化研究,2005(4):134~136.
- 3 陈建能,赵匀. 高速插秧机椭圆齿轮行星系分插机构的参数优化[J]. 农业机械学报,2003,34(5):46~49.
- 4 俞高红,赵凤芹,武传宇,等. 正齿行星轮分插机构的运动特性分析[J]. 农业机械学报,2004,35(6):55~57,51.
- 5 吴序堂,王贵海. 非圆齿轮及非匀速比传动[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 6 郑文纬,吴克坚. 机械原理[M]. 7 版. 北京:高等教育出版社,1997.
- 7 Alan Dix, Jamct Finlay, Abowd G D, et al. 人机交互[M]. 蔡利栋,方思行,周继鹏,等,译. 北京:电子工业出版社,2003.
- 8 郭青山,汪元辉. 人机工程设计[M]. 天津:天津大学出版社,1994.
- 9 李子川,孟学多,何利力. Visual Basic 程序设计教程[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2001.
- 10 陈建能,赵匀,李革,等. 椭圆齿轮行星系分插机构动力学特性的试验[J]. 农业机械学报,2006,37(1):40~42,46.