浙江理工大学学报，第 28 卷，第 3 期，2011 年 5 月
Journal of Zhejiang Sci-Tech University
Vol. 28, No. 3, May 2011

文章编号：1673-3851 (2011) 03-0389-05

ADAMS 二次开发技术在分插机构设计中的应用

孙　良，赵　匀，张玮炜
（浙江理工大学机械与自动控制学院，杭州 310018）

摘　要：针对插秧机分插机构参数优化中目标函数之间的模糊性、非线性、强耦合性的特点，以及样机模型从其它 CAD 软件导入后存在结构优化困难的问题，利用 ADAMS/View 的二次开发技术对混合齿旋转后插式分插机构进行参数化设计，开发人机交互式的对话框，并利用该对话框进行机构的参数优化和运动仿真，获得满足插秧要求的结构参数。

关键词：分插机构；ADAMS/View；二次开发；仿真分析
中图分类号：TP391.9；S223.91　　**文献标识码**：A

0　引　言

分插机构是插秧机工作时从秧箱上取下秧苗并插入泥中的一个机械手，获得满足插秧要求的秧针轨迹是一个多目标的优化问题，目标之间具有模糊性、非线性和强耦合性[1]。本课题组已对分插机构做了大量的研究[2-6]，为分插机构快速优化和设计提供了重要手段。俞高红等[5]开发的人机交互参数优化软件是一种基于 VB 平台的机构分析辅助设计软件，可以对分插机构工作平面内的运动参数进行优化，但无法解决垂直工作平面上的参数优化问题，并且这类机构仿真的可视性较低，对设计人员的设计经验要求较高。ADAMS 是可视性强的机械系统动力学仿真软件，尤其是其友善的命令流式开发语言，为分插机构的三维实体优化程序的开发提供了有力支撑[8-9]。

本文利用 ADAMS/View 的二次开发技术，设计基于三维实体模型的人机交互式优化程序，可以实现混合齿旋转后插式分插机构在工作平面以及垂直于工作平面方向上的机构参数优化。

1　机构原理

混合齿旋转后插式分插机构的工作简图如图 1 所示，其传动部分由两个全等的圆齿轮 3、4 和两个全等的椭圆齿轮 1、2 组成，两个椭圆齿轮都是以焦点为回转中心，椭圆齿轮 2 和圆齿轮 3 固接于中间轴上，中心椭圆齿轮（太阳轮）1 固定不动。工作时行星架（齿轮箱）在中心轴的带动下，绕着回转中心 O 转动，两个椭圆齿轮 1、2 的啮合，引起传动比的非线性变化，从而引起行星轮 4 相对于行星架作非匀速转动。栽植臂 5 一方面随着行星架作圆周运动，相当于牵连运动，另一方面与行星圆齿轮一起相对行星架作反方向非匀速转动，相当于相对运动，通过机构参数的优化秧针尖点 D 就可得到满足插秧要求的插秧轨迹。

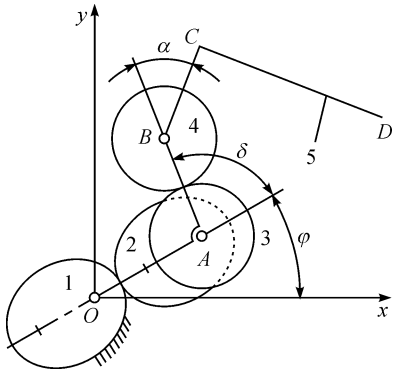

图 1　分插机构简图

收稿日期：2010－09－30
基金项目：国家自然科学基金（50875244）；浙江省自然科学基金（Y107361）；现代农业装备与实施产业创新团队（2009R5001）
作者简介：孙　良（1981－），男，浙江绍兴人，助教，主要从事机械设计及理论研究。
通讯作者：赵　匀，电子邮箱：zhaoyun@zstu.edu.cn

2 分插机构建模

机构参数化建模是进行机构参数优化的关键，ADAMS 虽然提供了实体几何库，却只能实现简单实体的构建，而利用软件数据接口从其它 CAD 软件(如：Pro/E，UG)导入的模型数据文件无法进行实体零件内的参数修改，难以实现机构参数的优化[8]，针对这一问题，需要建立基于 ADAMS/View 的分插机构参数化模型。

2.1 机构基本参数

混合齿旋转后插式分插机构的基本参数如图 1 所示：初始安装角 φ 是分插机构装配时太阳轮 1 和中间轮 2 的转动中心连线与参考坐标 x 轴的夹角(即行星架 OA 与 x 轴的夹角)；偏置角 δ 是行星架 AB 与行星架 OA 延长线的夹角；栽植臂转角 α 是栽植臂与行星架 AB 之间的夹角；椭圆齿轮的长半轴设为 a，椭圆齿轮的长短轴之比设为 k，中间圆齿轮 1 和行星圆齿轮 2 半径设为 r；齿轮模数为 m；秧针长度 S 是行星轮转动中心和秧针尖点 D 之间的距离；设定行星轴长度为 L；分插机构中心轴转速 n 是分插机构相对其机架的转动速度；株距 H 是指插秧机工作时在插秧机前进方向分插机构所插秧苗的间距。根据文献[4]中关于步行式插秧机分插机构的安装尺寸要求，初步设定机构初始参数如表 1 所示。

表 1 分插机构参数初始值

φ/(°)	δ/(°)	α/(°)	a/mm	k	r/mm	m/mm	S/mm	L/mm	n/(r/min)	H/mm
20	50	35	15.60	0.976	16	3	160	40	180	160

2.2 参数化模型

为了实现可行的参数化设计首先对分插机构作如下处理：简化分插机构栽植臂，用参数化的圆柱体表示栽植臂及秧针尖点 D 的位置；用齿轮节圆柱代替齿轮模型；简化行星架(即齿轮箱体)连接特征以及各齿轮轴结构特征。而后在 ADAMS 的图形界面中，在 Z 坐标等于 0 的平面上确定各个齿轮转动中心坐标点，如图 1 所示。设定转动中心 O 为原点，则中间齿轮转动中心 A 相对原点坐标为：

$$\begin{cases} x_A = 2a\cos\varphi \\ y_A = 2a\sin\varphi \end{cases} \tag{1}$$

行星轴转动中心 B 的坐标为：

$$\begin{cases} x_B = 2a\cos\varphi + 2r\cos(\delta+\varphi) \\ y_B = 2a\sin\varphi + 2r\sin(\delta+\varphi) \end{cases} \tag{2}$$

因为栽植臂已经模具化生产，故 BC 的距离设为定值 57 mm。

则栽植臂上 C 点坐标为：

$$\begin{cases} x_C = 2a\cos\varphi + 2r\cos(\delta+\varphi) + 57\cos(\delta+\varphi-\alpha) \\ y_C = 2a\sin\varphi + 2r\sin(\delta+\varphi) + 57\sin(\delta+\varphi-\alpha) \end{cases} \tag{3}$$

则秧针尖点 D 的坐标为：

$$\begin{cases} x_D = 2a\cos\varphi + 2r\cos(\delta+\varphi) + 57\cos(\delta+\varphi-\alpha) + \sqrt{S^2-57^2}\cos(\delta+\varphi-\alpha-\pi/2) \\ y_D = 2a\sin\varphi + 2r\sin(\delta+\varphi) + 57\sin(\delta+\varphi-\alpha) + \sqrt{S^2-57^2}\sin(\delta+\varphi-\alpha-\pi/2) \end{cases} \tag{4}$$

根据式(1)～式(4)，在相应位置点构建参数局部坐标系，当参数发生变化时这些点上的局部坐标都将产生相应的变化。

分插机构齿轮箱如图 2 所示，轮廓内壁 6 个关键点 e,f,g,h,i,j 的参数化，这 6 个点是箱体内壁直线段与圆弧线段的切点。设定齿轮齿顶与箱体内壁保留 2 mm 间隙，根据机构传动齿轮几何尺寸可以得到：$R_1=R_2=a+c+1.25m+2$，$R_3=r+1.25m+2$。

其中 a,c 分别为椭圆齿轮长半轴和半焦距，m 为齿轮模数。

已知 B 点坐标，可求得角 θ_1 和 OB 距离，利用 R_1,R_2,R_3 可以方便地得到 θ_2,θ_3，从而可定 $e,f,g,h,i,j6$ 点坐标。

$\overset{\frown}{ef}$，$\overset{\frown}{gh}$，$\overset{\frown}{ij}$ 由多义线将离散的等半径坐标点光滑连接而成，内轮廓偏移

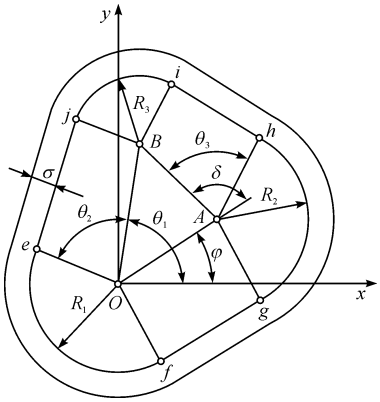

图 2 传动箱简化图

σ 为最大外轮廓。离散坐标点有如下循环命令流实现。

```
var create var=tmp_t  real=1
var set var=include_angle real=(eval("∠eOf 或者∠gAh 或者∠iBj"))
var set var=delta_angle real=(eval(include_angle/"num"))
while condition=(tmp_t<"num")
    marker create marker=.(eval(db_default(.system_defaults, &"model"))).gear_box.(eval("
marker_"//rtoi(tmp_t)))
    location=(eval("x_i")),(eval("y_i")),(eval("z_i"))
    orientation=0.0, 0.0, 0.0
    var modify var=tmp_t real=(eval(tmp_t+1))
end
var del var=tmp_t
```

该命令段中通过建立临时变量 tmp_t 作为离散圆弧坐标点的名称标识码,include_angle 表示圆弧所指圆心角,等于$\angle eOf$、$\angle gAh$ 或者$\angle iBj$,num 表示圆弧段内离散点数,x_i、y_i、z_i 表示点的坐标值。

根据铝合金压铸模加工要求,可设定齿轮箱体壁厚为 3 mm,齿轮侧面与箱体间隙设为 1.5 mm,齿轮厚度为 9 mm,可以确定齿轮箱体在 Z 轴方向的尺寸。

2.3　约束设定

机构简化后构件间的约束关系如表 2 所示。

表 2　构件约束关系

构件	约束
行星架与机架	转动副
椭圆齿轮 1 与机架	固定副
椭圆齿轮 2 与行星架	转动副
椭圆齿轮 1 与椭圆齿轮 2	耦合副
圆齿轮 1 与椭圆齿轮 2	固定副
圆齿轮 1 与圆齿轮 2	耦合副
载植臂与圆齿轮 2	固定副

添加约束过程中关键是实现分插机构齿轮箱中两个椭圆齿轮的非匀速传动,椭圆齿轮传动比为:

$$i_{12}=\frac{2a^2+2ac\cos\varphi_1-b^2}{b^2}$$

其中,φ_1 是椭圆齿轮 1 的角位移。

设分插机构的平均工作转速 n 为 180 r/min,根据上述分插机构的工作原理,添加行星架(即齿轮箱)的角速度为 $\omega=n/60\times 360°$,则设定椭圆齿轮 2 的角速度

$$\omega=(-n/60\times 360°)/((2a^2+2accos((n/60)360°\times t)-b^2)/b^2)$$

其中,t 为 ADAMS 的仿真时间(设定为 1 s)。

3　交换式对话框设计与实例

为了方便分插机构的分析和参数优化,根据上述分插机构模型参数化方式和约束类型,设计如图 3 所示的菜单进入交互式对话框,包括:混合齿旋转后插式分插机构设计(ellipse and circle gear mechanism);椭圆齿轮设计(ellipse gear build);机构运动学分析(kinematic analysis)和机构实时信息(mechanism information)。

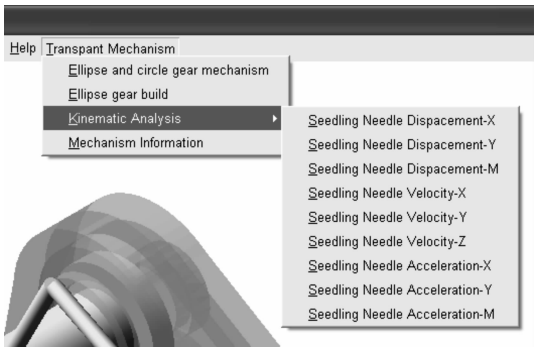

图 3　交互式菜单

图 4　机构设计对话框

混合齿旋转后插式分插机构设计对话框如图 4 所示,输入或修改对话框中的主要机构参数可以自动生成相应参数下的机构简化模型、秧门和地面位置,并通过添加约束实现约束加载和仿真步长设置,进行机构的相对和绝对运动仿真,利用该对话框进行人机交互式的机构参数优

化;椭圆齿轮设计利用设计对话框(如图 5)对优化后的椭圆齿轮参数进行修正,并根据齿条范成原理生成椭圆齿轮实体模型(如图 6)用于粉末冶金齿轮加工;机构运动学分析用于输出相应参数下机构秧针尖点的位移、速度和加速度曲线进行数据分析;机构实时信息(如图 7 所示)是在用人机交互方式优化机构参数时,显示相应的设计信息,判断参数优化是否合理。

图 5 椭圆齿轮设计对话框

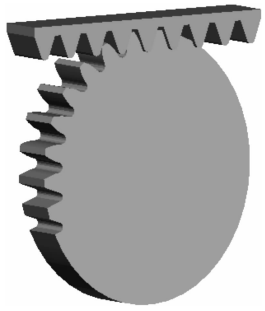

图 6 椭圆齿轮加工过程

图 7 实时信息对话框

根据步行式插秧机分插机构的插秧过程中取苗量为 9～20 mm;动轨迹插秧穴口应小于 30 mm;取秧和推秧差角为 60～65°;栽植臂不与秧门发生干涉等要求[4]。以分插机构平均转速 n 为 180 r/min,秧苗株距为 160 mm 的工作条件,通过人机交互方式进行优化,得出优化参数如表 3 所示。

表 3 分插机构优化参数

φ/(°)	δ/(°)	α/(°)	a/mm	k	r/mm	m/mm	S/mm	L/mm	n/(r/min)	H/mm
28	114	79	19.40	0.958	20	2	175	75	180	160

优化插秧轨迹如图 8 所示。图 8 中 1 为机构秧门,2 为取秧静轨迹,3 为机构动轨迹,4 为动轨迹插秧穴口,6 为静轨迹插秧穴口,5 为插秧地面。在表 3 的机构参数下,该分插机构在插秧时的最大取苗量为 18 mm,静轨迹穴口为8 mm,动轨迹穴口为 27 mm,推秧角为 61.5°,取秧角为 0.92°,差角为 60.58°,满足步行式水稻插秧机工作要求。

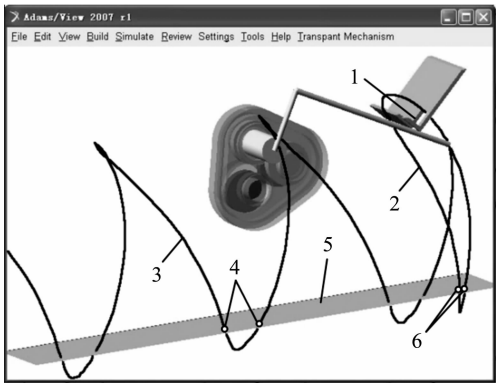

图 8 分插机构优化轨迹

4 结 论

a)通过机构简化,成功建立了分插机构的参数化实体模型。

b)对运动 ADAMS 宏命令进行了二次开发,设计了分插机构的人机交互式优化对话框,并实现了机构的优化。

c)混合齿旋转后插式分插机构三维模型的参数优化和椭圆齿轮实体范成加工的实现,为宽窄行插秧机分插机构空间插秧轨迹的优化和研制提供技术支持。

参考文献:

[1] 赵 匀. 农业机械分析与综合[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
[2] 俞高红, 陈建能, 赵凤芹, 等. 正齿行星轮分插机构的动力学分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(4): 51-55.
[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. 圆柱齿椭圆齿行星轮系分插机构的动力学建模、动态仿真与复优化方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
[5] 俞高红, 孙 良, 赵 匀. 混合齿行星系分插机构的人际交互参数优化[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 47-50.
[6] 俞高红, 谢仁华, 赵 匀. 椭圆齿轮传动后插旋转式分插机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 45-48.
[7] 武传宇, 金玉珍, 贺磊盈. 基于包络特征的非圆齿轮齿廓计算方法研究[J]. 中国机械工程, 2008, 15(8): 1796-1799.
[8] 邢俊文, 陶永忠. MSC. ADAMS/View 高级培训教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
[9] 陈立平, 张清云. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

Applications of Secondary Development of ADAMS in the Design of Transplanting Mechanism

SUN Liang, *ZHAO Yun*, *ZHANG Wei-wei*

(School of Mechinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A simulation and analysis module for transplanting mechanism with planetary spur gears and ellipse gears is designed through secondary development of ADAMS to solve the problems of fuzzy, nonlinear and strong coupling among the object functions in the parameter optimization of transplanter mechanism which are unable to optimize the virtual prototype in ADAMS while the solid model is transformed from other CAD software. Parametric model, optimization and simulation are achieved by human-computer conversation and appropriate machine parameters for transplanting rice seedling. A module for design noncircular gear is also developed. All the work is made to realize the fast design of transplanting mechanism.

Key words: transplanting mechanism; ADAMS; secondary development; macro command

(责任编辑: 杨元兆)

(上接第 383 页)

Mechanical Analysis and Numerical Simulation of Lined Pipe in Hydro-cracking Air Cooler

OU Guo-fu, *HUANG Jun-hui*, *LI Jian-min*

(Lab of Multiphase Flow Deposition & Erosion, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The structure of lined pipe in hydro-cracking reactor effluent air cooler (REAC) is analyzed. The mechanical analysis of lined pipe is made and the governing equations are established for stress analysis by using the elastic-plastic mechanics method. The stress field of 316L stainless steel lined pipe is studied and the numerical simulation results are in consistent with theoretical analysis method. The thermal stress during running condition and the extreme operating load of lined pipe with different materials are obtained. The bonding strength is proposed to assess the quality of lined pipe. The actual produced stainless steel lined pipe is qualified after a series of inspections. It is shown that the lined pipe efficiently extend the running period of air cooler in engineering application.

Key words: lined pipe; hydro-cracking air cooler; mechanics analysis; bonding strength

(责任编辑: 杨元兆)