

DOI: 10.13332/j.cnki.jbfu.2014.04.003

# 基于 ADAMS 的柱塞式环模成型装置的轨迹仿真研究

俞 洋<sup>1</sup> 俞国胜<sup>1</sup> 德雪红<sup>1,2</sup> 袁大龙<sup>1</sup> 陈忠加<sup>1</sup>

(1 北京林业大学工学院 2 内蒙古农业大学机电工程学院)

**摘要:**为降低改进设计过程中反复更改的成本、缩短设计周期,通过 SOLIDWORKS 对柱塞式环模成型装置进行三维建模,并通过 ADAMS 对其进行动态仿真,描绘出柱塞与模孔处关键点的相对轨迹。通过这种方法对柱塞、模孔啮合过程进行分析,证明现行设计下模孔与柱塞不会发生干涉,并给出了避免干涉的柱塞空间范围,使得压辊与环模的啮合处结构设计更为合理可行。

**关键词:**柱塞式环模成型;虚拟建模;轨迹仿真;干涉分析

**中图分类号:**TH113.2    **文献标志码:**A    **文章编号:**1000-1522(2014)04-0147-05

YU Yang<sup>1</sup>; YU Guo-sheng<sup>1</sup>; DE Xue-hong<sup>1,2</sup>; YUAN Da-long<sup>1</sup>; CHEN Zhong-jia<sup>1</sup>. **Trajectory simulation of the internal cylinder meshing forming device based on ADAMS method.** *Journal of Beijing Forestry University* (2014)**36**(4) 147-151 [ Ch,10 ref. ]

1 College of Mechanical Engineering, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;  
2 College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, 010018, P. R. China.

To reduce the design cycle and the cost caused by repeated changes in the process of improving design, the 3D modeling of the plunger ring die forming device was conducted through SOLIDWORKS and was simulated dynamically based on ADAMS. At the same time, the 3D modeling also pictured relative trajectory of the key points on the plunger-die hole. By analyzing the meshing process of plunger and die hole through this method, the fact was proved that the plunger will not interfere with the die hole. Meanwhile, the range of plunger space was given, in which the interference will be avoided, which made this construction design much reasonable and practical.

**Key words** plunger ring die forming; virtual modeling; trajectory simulation; interference analysis

生物质环模冷压成型机,具有高产量、低能耗、高成型品质等优点,越来越受到关注。但其也有许多缺陷,如生产成本低、磨损严重、单位能耗高等。目前大多数此类研究<sup>[1-5]</sup>都是针对上述问题而展开的。柱塞式环模成型装置通过以齿轮啮合正时、柱塞环模式的成型方式,以压辊上的柱塞挤压环模孔内生物质原料而成型的装置进行成型作业,以此降低能耗及压辊和环模之间的磨损,从而解决其他产品所具有的缺点<sup>[6]</sup>。

柱塞式环模成型装置的设计过程中,涉及到柱塞和模孔之间相互啮合、相对运动的分析。若设计不当,环模孔壁与柱塞之间将发生干涉,影响装置的工作,严重时甚至导致整台设备报废。本文从柱塞和模孔之间的相对运动着手,运用 ADAMS 对虚拟样机进行仿真,描绘柱塞、环模上关键点的轨迹。

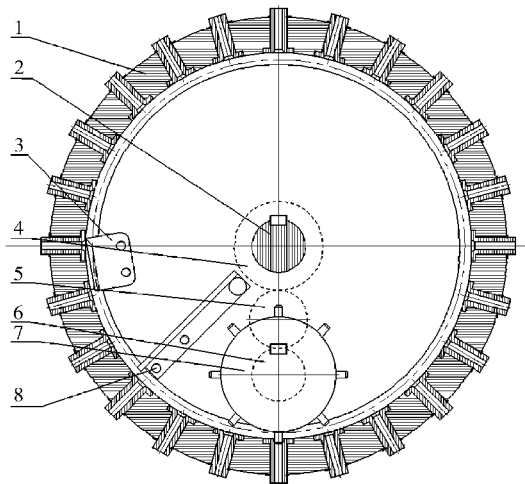
ADAMS ( Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System ) 软件是由美国机械动力公司 ( Mechanical Dynamic Inc, 现已并入美国 MSC 公司 ) 开发的机械系统动态仿真软件。正因为 ADAMS 拥有强大且丰富的动态仿真能力,所以被广泛应用于航空航天、汽车工程、车辆装备、工业机械等领域。

收稿日期: 2013-12-06    修回日期: 2013-12-29  
基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD30B0205)。  
第一作者: 俞洋。主要研究方向: 机械设计及理论。Email: 985028509@qq.com    地址:100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学工学院。  
责任作者: 俞国胜,教授,博士生导师。主要研究方向: 林业与园林机械。Email: sgyzh@bjfu.edu.cn    地址:同上。  
本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

目前该软件已经被全世界各行各业的数百家主要制造商采用<sup>[7-8]</sup>。

## 1 柱塞式环模成型装置的工作原理

动力从主轴传入,经环模齿轮带动环模旋转,同时环模齿轮带动惰轮齿轮轴,进而将动力传递给压辊齿轮轴,带动压辊旋转。环模与柱塞之间做类齿轮啮合运动,如图1所示。



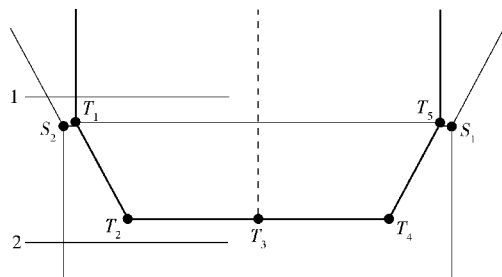
1. 环模;2. 主轴;3. 刮刀;4. 环模齿轮;5. 惰轮齿轮轴;6. 压辊齿轮轴;7. 压辊;8. 挡料板。

图1 环模成型机的结构图

Fig.1 Structure of ring die molding machine

在环模盖上有进料孔,经粉碎机粉碎的生物质细碎颗粒进入环模;经过较长时间的旋转运动,物料便于于搭接、包络,渐渐堆积在成型孔中;由于堆积的物料会越来越多,进而对嵌套内壁挤压,出现摩擦力,当摩擦力达到一定程度后,物料就会成型<sup>[9-10]</sup>。松散的物料在啮合区前进入到成型锥孔中,压辊在与环模每次啮合时都将新进入成型锥孔的松散物料压入直孔内。物料克服摩擦力前进,在挤压力的作用下成型。

柱塞、环模上各关键点的创建如图2所示。



1. 压辊柱塞;2. 环模模孔。

图2 关键点位置

Fig.2 Position of key points

以环模中心点为原点建立坐标系(图3)。

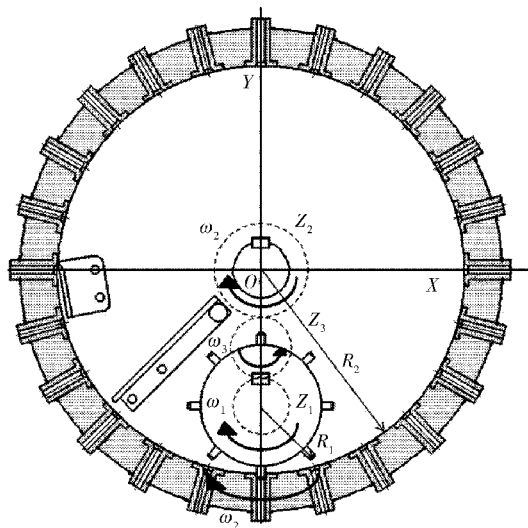


图3 坐标系及标注示意图

Fig.3 Coordinate system and the label

又已知:压辊半径为 $R_1$ ,角速度为 $\omega_1$ ,压辊齿轮 $z_1=24$ ;环模半径为 $R_2$ ,角速度为 $\omega_2$ ,环模齿轮 $z_2=72$ ;惰轮角速度为 $\omega_3$ ,惰轮齿轮 $z_3=24$ ;有

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_3} \frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{z_3}{z_1} \frac{z_2}{z_3} = 3 \quad (1)$$

即

$$\omega_2 = \frac{1}{3} \omega_1 \quad (2)$$

又设环模上的点 $S_2(x_1, y_1)$ 的初始坐标(相对于全球坐标)为 $(x_{01}, y_{01})$ ,其轨迹方程可以描述为:

$$x_1 = x_{01} - R_1 \sin \omega_1 t \quad (3)$$

$$y_1 = y_{01} - R_1 (1 - \cos \omega_1 t) \quad (4)$$

压辊上的点 $T_1(x_2, y_2)$ 的初始坐标(相对于全球坐标)为 $(x_{02}, y_{02})$ ,其轨迹方程可以描述为:

$$x_2 = x_{02} - R_2 \sin \omega_2 t \quad (5)$$

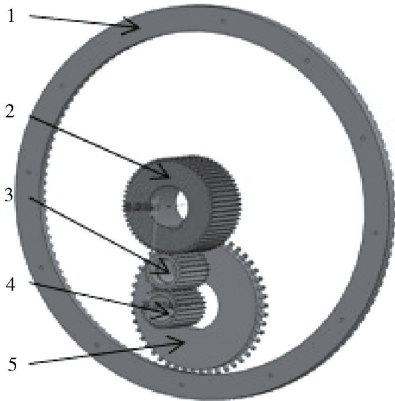
$$y_2 = y_{02} - R_1 (1 - \cos \omega_2 t) \quad (6)$$

联立式(2)~(6),需证明该方程组 $t$ 无解,即在同一时间点内模孔与柱塞关键点不会占据同样的空间位置,方可证明点 $S_2$ 与 $T_1$ 不会发生干涉。这就是说,要证明压辊与环模不干涉,需证明:由 $S_2$ 与 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 位置方程组成的方程组,以及由 $S_1$ 与 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 位置方程组成的方程组均无 $t$ 解。这种数学方法既不直观,又大幅增加干涉分析的工作量。但是如果运用拥有强大动态仿真能力的ADAMS,可以很轻易的描绘这些关键点的轨迹,使分析更加直观、简便。

## 2 三维模型创建及导入

尽管ADAMS/view提供了丰富的建模工具,包括几何原属、布尔运算及模型修饰等工具,但其建模过程并不是很容易。相比之下SOLIDWORKS提供

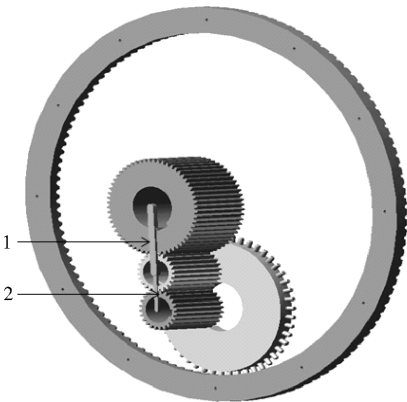
了更为简便、实用的建模平台；所以，采用 SOLIDWORKS 进行建模并装配如图 4 所示。



1. 环模;2. 环模齿轮;3. 惰轮;4. 压辊齿轮;5. 压辊。  
图 4 环模成型机的结构装配图  
Fig.4 Assembly structure of the ring die molding machine

在 ADAMS 中每次导入 1 个 part,软件均自动将其视为 1 个零件,所以可以将图 4 的零件视为 3 组分别压制保存为 x\_t 格式。这 3 组分别是:主轴齿轮以及环模(PART\_2),压辊齿轮、压辊及压辊上的柱塞(PART\_3),惰轮(PART\_4)。由于在 SOLIDWORKS 中将其装配,故导入后软件自动保留各个零件相对于全球坐标的位置,这将大大简化工作难度。

装配数据导入到 ADAMS 中后,在主轴齿轮中心与惰轮中心、惰轮中心与压辊齿轮中心分别创建 2 根系杆,命名为 PART\_5、PART\_6,如图 5 所示。



1. 系杆 PART\_5;2. 系杆 PART\_6。  
图 5 导入 ADAMS 的效果图  
Fig.5 Rendering diagram of the model imported into ADAMS

### 3 施加约束与运动仿真

1) 分别在各个齿轮中心处与系杆创建旋转副:  
●JOINT\_A: PART\_2 与 PART\_5 之间的旋转副;

●JOINT\_B: PART\_4 与 PART\_5 之间的旋转副;

●JOINT\_C: PART\_4 与 PART\_6 之间的旋转副;

●JOINT\_D: PART\_3 与 PART\_6 之间的旋转副。

2) 在系杆与 ground 之间创建固连副:

●JOINT\_FIX1: PART\_5 与 ground 之间的固连副;

●JOINT\_FIX2: PART\_6 与 ground 之间的固连副。

3) 分别在 2 个齿轮啮合处创建齿轮副:

首先创建公共速度标记点:

●MARKER\_tv1: 在 PART\_5 上,位于两齿轮啮合处,该点 Z 轴与齿轮旋转方向重合;

●MARKER\_tv2: 在 PART\_6 上,位于两齿轮啮合处,该点 Z 轴与齿轮旋转方向重合。

然后创建齿轮副:

●GEAR\_1, 其 JOINT NAME 为 JOINT\_A、JOINT\_B,公共速度标记点为 MARKER\_tv1;

●GEAR\_2,其 JOINT NAME 为 JOINT\_C、JOINT\_D,公共速度标记点为 MARKER\_tv2。

4) 施加驱动: 在 JOINT\_D 上施加一旋转驱动 MOTION\_1,速度为 30 (°)/min,如图 6 所示。

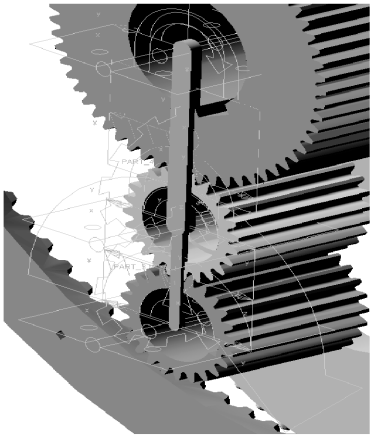


图 6 创建约束的效果图  
Fig.6 Diagram of constrain creation

5) 仿真运动: 在 ADAMS 中完成对虚拟样机的施加约束和运动后,便可对其进行仿真。使用交互式仿真控制,分别设置仿真类型为 Default,仿真时间为 24 s,仿真步长为 1 200。

### 4 柱塞、模孔相对路径描绘

#### 4.1 柱塞轨迹模拟

首先在压辊柱塞上创建 5 个轨迹点(图 7),分别位于柱塞最外围。

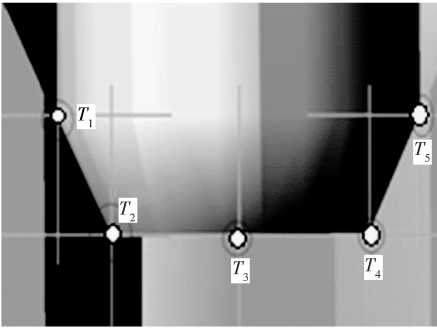


图 7 柱塞轨迹点的效果图

Fig. 7 Diagram of piston trajectory points creation

在仿真运动过后,运用软件菜单栏中 Review 下的 Create Trace Spline 工具生成这 5 个点在 PART\_2 上的运动轨迹,效果如图 8 所示。

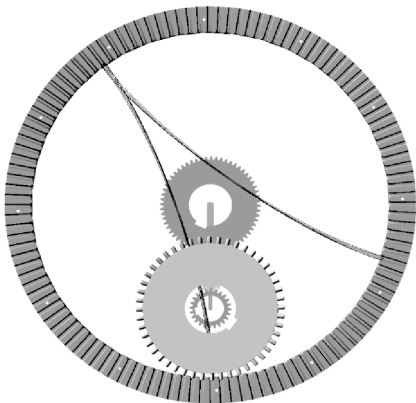


图 8 柱塞轨迹的模拟图

Fig. 8 Diagram of piston trajectory simulation

将在模孔处的轨迹放大(图 9),可见轨迹与环模实体明显没有交集。说明压辊上的柱塞设计合理,在运行时不会与环模发生干涉。

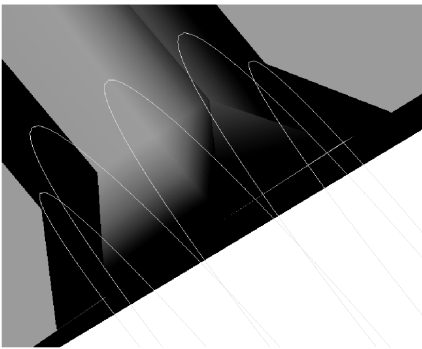


图 9 模孔处的轨迹图

Fig. 9 Diagram of piston key points trajectory at the die hole

4.2 模孔轨迹模拟

在环模倒孔处创建 2 个轨迹点(图 10)。

在仿真运动过后,运用软件菜单栏中 Review 下的 Create Trace Spline 工具生成这 2 个点的运动轨迹,效果如图 11 所示。

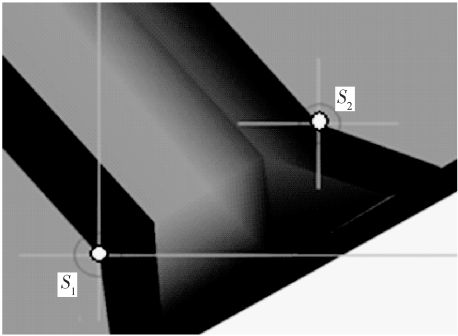


图 10 模孔轨迹点的效果图

Fig. 10 Diagram of die hole trajectory points creation

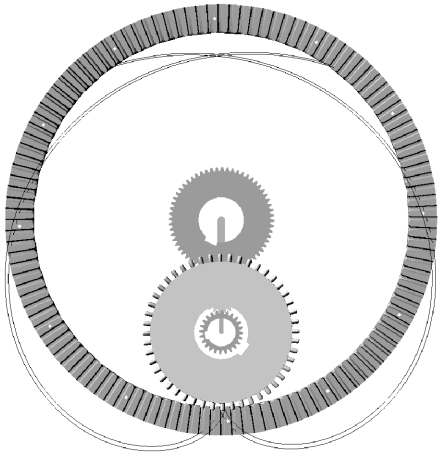


图 11 模孔轨迹的模拟图

Fig. 11 Diagram of die hole trajectory simulation

将柱塞处的轨迹图放大(图 12),2 线条分别为  $S_1$ 、 $S_2$  在 PART\_3 上的轨迹,线条相交的内侧为不会发生干涉的范围,即柱塞如在这个范围内则不会与环模发生干涉。

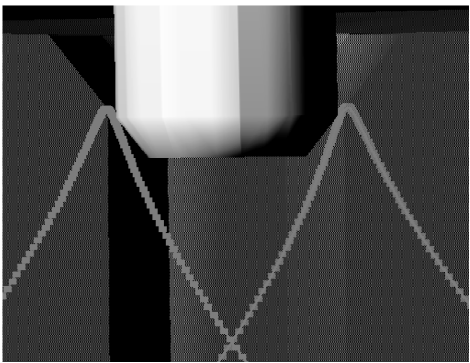


图 12 柱塞处的轨迹图

Fig. 12 Diagram of die hole key points trajectory at the piston

通过以上仿真运动与轨迹描绘,我们可以知道,现行的柱塞、模孔设计在运动过程中不会发生干涉现象。然而在对柱塞、环模进行优化设计时,需参照图 12 中的 2 条相交线,模孔实体需在线条外侧,而柱塞实体需在其内侧。

## 5 结论与讨论

- 1) 现行环模与柱塞在相对运动时并没有发生干涉。
- 2) 存在不会发生干涉的柱塞空间范围,模孔实体应在线条外侧,柱塞实体需在其内侧。
- 3) 在今后的优化设计中,可以参考本文方法,保证设备在运行时不会发生干涉,使设计更为合理、可行。

### 参 考 文 献

[ 1 ] DAI L. The development and prospective of bioenergy technology in China[J]. Biomass and Bioenergy,1998,15(2): 181-186.

[ 2 ] 俞国胜,侯孟. 生物质成型燃料加工装备发展现状及趋势[J] 林业机械与木工设备,2009,37(2):4-8.

[ 3 ] 方旭明,沈桂宇. 环模式制粒机的环模与压辊非常规磨损的分析及其解决措施[J]. 饲料工业,1996,17(9):11-14.

[ 4 ] 吴劲峰. 制粒环模磨损失效机理研究及优化设计[D]. 兰州:兰州理工大学,2008:2-10.

[ 5 ] 王敏. 延长制粒机压模使用寿命的方法[J]. 江西饲料,2004,33:18-19.

[ 6 ] 德雪红,俞国胜,翟晓敏,等. 内啮合式生物质环模成型模具的关键技术[J]. 北京林业大学学报,2013,35(5):1-5.

[ 7 ] 郑建荣. ADAMS:虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京:机械工业出版社,2002:1-3.

[ 8 ] 郭卫东. 虚拟样机技术与 ADAMS 应用实例教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009:4-8,51-66.

[ 9 ] 宋晓文. 生物质常温对辊式成型机成型参数的研究[D]. 北京:北京林业大学,2012:9-12.

[10] MASON M, DUMBLETON F J. Roduction of compact biomass fuel: WO, 2003087276 A1[P]. 2003-10-23.

(责任编辑 李文军)