

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.09.009

# 基于 ADAMS 的三角连杆机构压力机仿真分析\*

贾 先<sup>1,2</sup>, 谭栓斌<sup>1</sup>, 范淑琴<sup>2</sup>

(1. 西安思源学院 工学院, 陕西 西安 710038; 2. 西安交通大学 机械工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:**针对传统的曲柄压力机不能满足低速高效的问题,对传统的曲柄压力机的压力不易控制、工艺适应性差、工件易产生裂纹等方面进行了归纳,提出了一种三角连杆机构压力机。推导出三角连杆式压力机的运动学方程,利用 ADAMS 软件建立了三角连杆机构压力机模型,采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法,对其进行了运动学和动力学仿真。研究表明,与曲柄滑块机构相比,所设计的三角连杆机构在公称压力行程内滑块的最大速度下降了 42.4%,最大加速度下降了 21.3%,急回特性为 1.9,在公称压力行程内的各个惯性力都比较小,故很好地满足了压力机的工作要求。

**关键词:**三角连杆机构;机械压力机;仿真;ADAMS

中图分类号:TH122; TG315

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)09-1080-04

## Simulation and analysis of the triangle-link press based on ADAMS

JIA Xian<sup>1,2</sup>, TAN Shuan-bin<sup>1</sup>, FAN Shu-qin<sup>2</sup>

(1. School of Engineering, Xi'an Siyuan University, Xi'an 710038, China;

2. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Aiming at solving the problem that traditional slider-crank press could not meet the requirement of low speed and high efficiency, the characteristic of the traditional slider-crank press was analyzed that the pressure was not easy to control, the technology adaptability was poor, the workpiece was easy to create crack and so on. So the Triangle-Link press was investigated in this thesis and the kinematics equation of the Triangle-Link press was derived. The ADAMS software was used to establish a Triangle-Link mechanism press model, the method of Lagrange equation was used in multi-rigid body system dynamics theory and the kinematics and dynamics simulation was made. The results indicate that the maximum speed of the slider of Triangle-Link decreases 42.4 percent and the maximum acceleration 21.3 percent in comparison with those of slider-crank, quick return characteristics of Triangle-Link is 1.9. The inertial forces of the Triangle-Link press is less on condition of super high speed, so it meets the requirements of super high press. Each inertial force is relatively small in nominal pressure stroke, so it is quite good to meet the work requirements of the press.

**Key words:** triangle-link; mechanical press; simulation; ADAMS

## 0 引 言

2015 年我国汽车产量为 2 450.33 万辆,比上年增长 3.3%。汽车行业中大量结构件和覆盖件的生产依赖锻压技术。而在锻压工业中,机械压力机因其结构可靠、生产效率高、操作简便而得到广泛应用<sup>[1]</sup>。

传统的曲柄压力机具有结构简单、功率消耗小、制造成本低等优点<sup>[2]</sup>,被广泛应用于板材的冲压加工;但其滑块运动特性固定,压力不易控制,尤其是滑块运动特性固定不变,对工艺的适应性差<sup>[3]</sup>。为了提高生产率,必须增加压力机的滑块(冲头)单位时间内的行程次数,但滑块的运动速度同时应满足冲压工艺的要求。在工件的塑性变形区,滑块具有较低的工作速度,

收稿日期:2016-05-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51305333);陕西省教育厅科研计划资助项目(12JK1069);西安思源学院科研重点资助项目(XASY-B1604)

作者简介:贾先(1971-),女,陕西蓝田人,讲师,主要从事机械传动及其动态特性方面的研究。E-mail:490589190@qq.com

可防止工件产生裂纹<sup>[4]</sup>,低速成形要求压力机工作时,在上模接触金属坯料前应降低速度,使上模与金属坯料的接触速度降低<sup>[5]</sup>。为了满足低速成形要求,提高生产率,开发新型传动机构并应用到普通电动机驱动的压力机中<sup>[6]</sup>,本研究提出了使用三角连杆机构压力机,相对于曲柄滑块机构,应用肘杆机构使之适合工艺要求方面有很大的选择范围<sup>[7]</sup>。

三角连杆机构由5个活动构件组成,其独立设计变量共有8个,每个设计变量的变化都会使滑块的运动规律不同,滑块的运动特性变化可能性大,运用解析法获得其精确运动特性难度较大。ADAMS软件是美国MDI公司开发的造型和分析软件,其求解器采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法,对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析<sup>[8-9]</sup>。

本研究利用ADAMS软件建立三角连杆机构的多体动力学模型,仿真得出滑块位移、速度、加速度和压力机惯性力曲线。

## 1 三角连杆机构的运动学分析

压力机原理图如图1所示,其中,曲柄压力机原理图如图1(a)所示,三角连杆压力机原理图如图1(b)所示。

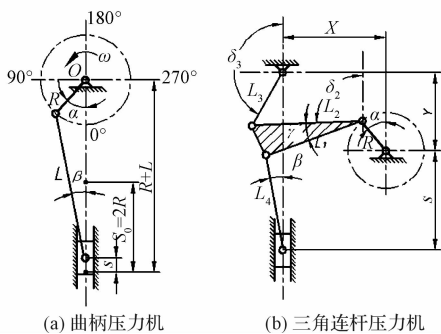


图1 压力机原理图

从图1中看出三角连杆压力机与曲柄压力机相比增加了三角连杆和上肘杆两个构件。其中曲柄OA、三角连杆的AB杆和上肘杆BC组成曲柄摇杆机构,利用连杆上任意点的运动规律的多样性,当主动曲柄OA匀速转动时,带动连杆AB即三角连杆ABD做复杂的平面运动;连杆滑块机构中将三角连杆ABD的另一边AD作为的连杆和下肘杆DE带动滑块上下运动来实现冲压。该机构可以通过合理调整R、L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>、γ、X和Y,改变滑块的运动规律,使其更适合冷挤压工艺。

## 2 滑块的位移、速度、加速度方程

假设曲柄OA以ω的角速度匀速转动,整个机构以

曲柄转角α为运动参数,运用解析法进行平面机构运动分析,可推导出三角连杆式压力机的运动学方程。

(1) 滑块位移方程为:

$$s = R\cos\alpha + L_1\cos(\delta_2 + \gamma) - L_4\cos\beta \quad (1)$$

(2) 滑块速度方程为:

$$v = -\omega R\sin\alpha - L_1\omega_2\sin(\delta_2 + \gamma) + \omega_4 L_4\sin\beta \quad (2)$$

式中:

$$\begin{cases} \omega_2 = -\omega \frac{R\sin(\alpha - \delta_3)}{L_2\sin(\delta_2 - \delta_3)} \\ \omega_3 = \omega \frac{R\sin(\alpha - \delta_2)}{L_3\sin(\delta_3 - \delta_2)} \\ \omega_4 = \frac{\omega R\cos\alpha + L_1\omega_2\cos(\delta_2 + \gamma)}{L_4\cos\beta} \end{cases} \quad (3)$$

(3) 滑块加速度方程为:

$$a_s = a_{px} + a_4 L_4 \sin\beta + \omega_4^2 L_4 \cos\beta \quad (4)$$

式中:

设:

$$\begin{cases} v_{px} = -\omega_1 R\sin\alpha - L_1\omega_2\sin(\delta_2 + \beta) \\ v_{py} = \omega_1 R\cos\alpha + L_1\omega_2\cos(\delta_2 + \beta) \\ a_{px} = -R(a_1\sin\alpha + \omega_1^2\cos\alpha) - \\ L_1[a_2\sin(\delta_2 + \beta) + \omega_2^2\cos(\delta_2 + \beta)] \\ a_{py} = R(a_1\cos\alpha - \omega_1^2\sin\alpha) + \\ L_1[a_2\cos(\delta_2 + \beta) - \omega_2^2\sin(\delta_2 + \beta)] \end{cases} \quad (5)$$

则:

$$\begin{cases} a_2 = \frac{L_3\omega_3^2 - Ra_1\sin(\alpha - \delta_3)}{L_2\sin(\delta_2 - \delta_3)} - \\ \frac{R\omega^2\cos(\alpha - \delta_3) + L_2\omega_2^2\cos(\delta_2 - \delta_3)}{L_2\sin(\delta_2 - \delta_3)} \\ a_3 = \frac{L_2\omega_2^2 + Ra_1\sin(\alpha - \delta_2)}{L_3\sin(\delta_3 - \delta_2)} + \\ \frac{R\omega^2\cos(\alpha - \delta_2) - L_3\omega_3^2\cos(\delta_3 - \delta_2)}{L_3\sin(\delta_3 - \delta_2)} \\ a_4 = \frac{(a_{px}\cos\beta + \omega_4\sin\beta v_{px})}{(L_4\cos\beta^2)} \end{cases} \quad (6)$$

## 3 基于ADAMS的三角连杆机构滑块运动特性仿真验证与分析

本研究以滑块行程为40 mm、公称压力行程(压力机进行冲压工作即滑块向下运动的最后阶段)为4 mm,滑块行程次数为200次/min为约束条件,确定一曲柄压力机的结构尺寸为:R=20 mm,L=200 mm,在ADAMS中建立曲柄压力机的多体动力学模型。滑块运动曲线如图2所示。

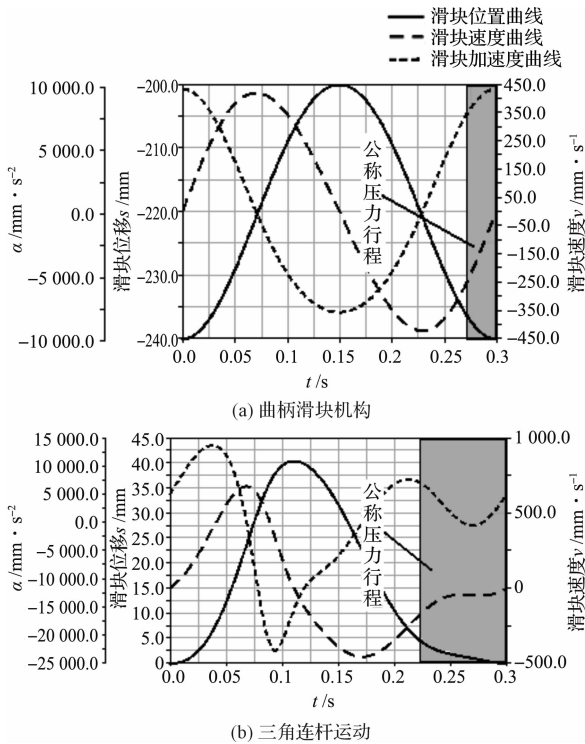


图 2 滑块运动曲线

1 个完整冲压过程中滑块位置、速度、加速度曲线如图 2(a) 所示。

由图 2(a) 可以看出,曲柄压力机的位移、速度、加速度曲线是三条相位不同的正弦曲线,在公称压力行程内,滑块最大速度为 261.7 mm/s,最大加速度值为 9 650.3 mm/s<sup>2</sup>;速度和加速度曲线无明显平台存在,模具要以较大的速度接触材料,成形时的振动较大,产品易产生裂纹;机构无急回特性。

本研究在相同条件下,确定三角连杆压力机的结构尺寸为: $R = 29$  mm,  $L_1 = 181$  mm,  $L_2 = 201$  mm,  $L_3 = 107$  mm,  $L_4 = 71$  mm,  $\gamma = 30^\circ$ ,  $X = 206$  mm,  $Y = 180$  mm。本研究在 ADAMS 中建立三角连杆压力机的多体动力学模型,经过仿真得出 1 个完整冲压过程中滑块位移、速度、加速度曲线如图 2(b) 所示。

由图 2(b) 可以看出,在相同的驱动条件下,三角肘杆机构具有较好的速度优势<sup>[10]</sup>,在公称压力行程内,滑块最大速度为 150.8 mm/s,最大加速度值为 6 629 mm/s<sup>2</sup>;速度曲线在 0 附近和加速度曲线 0 附近有明显的平台存在,压力机滑块在其向下运动过程中,先快速下滑到公称压力行程附近,而在公称压力行程内,滑块几乎是恒速下行,并且保持低速,模具能够以较小的速度接触材料,成形时的振动不大,压力持续时间适中,产品成形的质量优良<sup>[10]</sup>;机构有明显的急回特性。

## 4 基于 ADAMS 的超高速三角连杆压力机惯性力仿真实验验证与分析

压力机冲压次数(每分钟滑块行程次数,spm)在 1 000 spm 以上的为超高速压力机。目前,市场对超高速压力机的需求越来越大<sup>[12-13]</sup>。随着压力机向着高速度和高精度的方向发展,高速压力机主动部分在运动时产生的巨大惯性力对压力机的各个性能将产生很大的影响。例如惯性力将作用在支承轴、滑块导轨以及车间地面,使机器在基础上不稳<sup>[14]</sup>;对机身产生很大的不平衡力及扭矩,使压力机机身产生很大的振动和噪声,严重降低产品加工精度,降低压力机使用寿命,使生产条件恶化。因此,研究高速压力机主动部分在运动时产生的巨大惯性力具有重要的现实意义。

三角连杆式压力机机构示意图如图 3 所示。

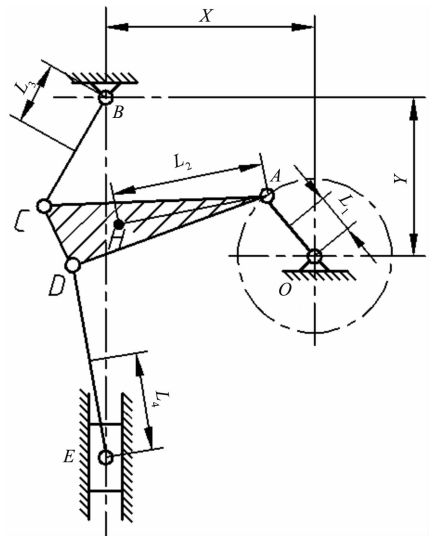


图 3 三角连杆式压力机机构示意图

本研究在 ADAMS 中建立三角连杆机构的实体模型,主要参数有:

滑块行程次数为 1 500 次/min,  $L_{OA} = 29$  mm,  $L_{AC} = 181$  mm,  $L_{BC} = 201$  mm,  $L_{AD} = 107$  mm,  $L_{DE} = 71$  mm,  $X = 206$  mm,  $Y = 180$  mm,  $\angle CAD = 30^\circ$ ;

各机件的质量: $m_{OA} = 0.24$  kg,  $m_{ACD} = 1.82$  kg,  $m_{BC} = 0.505$  kg,  $m_{DE} = 0.238$  kg,  $m_{滑块} = 2.58$  kg;

各机件质心相对于转动中心的距离: $L_1 = 26.77$  mm,  $L_2 = 123.2$  mm ( $\angle CAH = 14.89^\circ$ ),  $L_3 = 53.5$  mm,  $L_4 = 36.87$  mm。

本研究在一个周期(0.04 s)内进行 ADAMS 仿真,三角连杆机构的各个惯性力曲线如图 4 所示。

从图 4 中可以看出在一个周期内,各个惯性力达

的最大值发生在滑块在回程快达到最高点的附近。压力机是在公称压力行程内进行冲压的,这时各个惯性力都比较小,对机身产生的不平衡力及扭矩较小,使压力机机身产生的振动和噪声较小,对整个冲压的产品加工精度影响比较小。

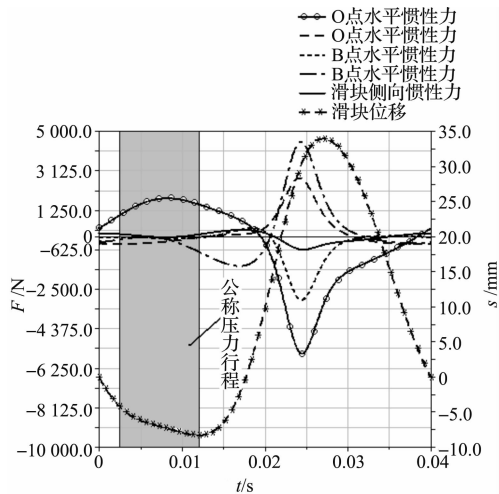


图4 三角连杆机构惯性力曲线

所以从三角连杆机构在运动中所产生的惯性力对产品质量的影响上来看,三角连杆机构可以用在超高速压力机上。

## 5 结束语

本研究采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法对三角连杆机构进行了仿真,得到以下结论。

(1)所设计的三角连杆机构在公称压力行程4 mm内,滑块的最大速度比相同条件下曲柄压力机下降42.4%,最大速度降低,保证滑块工作行程速度低而均匀,可以提高工件的质量,使机器工作稳定;滑块的最大加速度比相同条件下曲柄压力机下降21.3%,最大加速度降低,冲压时机身产生的冲击振动减小、噪音降低,机床和模具的寿命提高。

(2)所设计的三角连杆机构的急回特性为1.9,在满足相同板料合理拉延速度需要时,可增加滑块行程每分钟次数,提高生产效率。

(3)在超高速条件下,所设计的三角连杆机构在公称压力行程内进行冲压时,各个惯性力都比较小,对

机身产生的不平衡力及扭矩较小,使压力机机身产生的振动和噪声较小,对整个冲压的产品加工精度影响比较小,适宜用在超高速机械压力机上。

## 参考文献(References):

- [1] 邵中魁,赵升吨,刘辰,等.机械压力机行程调节方式合理性探讨[J].锻压装备与制造技术,2012,47(4):8-13.
- [2] 王猛,马继斌,项余建,等.SDP-110型伺服压力机控制系统的开发研究[J].锻压装备与制造技术,2011,46(2):50-53.
- [3] 何德誉.曲柄压力机[M].北京:机械工业出版社,1981.
- [4] 杨春峰,张盛,李云鹏,等.机械压力机六连杆机构优化设计[J].大连理工大学学报,2013,53(1):64-70.
- [5] 谢嘉,赵升吨,梁锦涛,等.压力机杆系优化求解的变量循序组合响应面法[J].西安交通大学学报,2012,46(5):57-62.
- [6] 乃舜峰,章争荣,孙友松,等.伺服压力机三角肘杆传动机构的优化设计[J].现代制造工程,2014(3):1-4.
- [7] 钟玉那.三角肘杆伺服压力机的尺寸优化与控制方法研究[D].天津:河北工业大学机械工程学院,2012.
- [8] 于珊珊,贺磊,郭前建,等.基于ADAMS软件的机械压力机工作机构优化设计[J].机械设计,2013,30(2):24-27.
- [9] 徐国宝,马金凤,王延年,等.基于ADAMS的跌落式装箱机的力学仿真研究[J].包装食品机械,2016(1):44-47.
- [10] 莫健华,张正斌,吕言,等.三角肘杆式伺服压力机传动机构的仿真与优化[J].锻压装备与制造技术,2011,46(1):21-25.
- [11] 孟强伟.三角连杆-肘杆式伺服压力机的建模仿真[D].武汉:华中科技大学材料科学与工程学院,2013.
- [12] 白剑宇.超高速压力机惯性力平衡优化与仿真研究[D].杭州:浙江工业大学计算机科学与技术学院,2011.
- [13] 封高歌,吴建民,闫栋.立式盘类转子动平衡机箱体有限元分析[J].轻工机械,2015,33(1):95-97.
- [14] 胡战胜,欧汝康,欧建业,等.高速压力机对称动平衡机构设计与实例分析[J].锻压装备与制造技术,2015,50(2):30-32.

[编辑:李辉]

## 本文引用格式:

贾先,谭栓斌,范淑琴.基于ADAMS的三角连杆机构压力机仿真分析[J].机电工程,2016,33(9):1080-1083.

Jia Xian, Tan Shuan-bin, Fan Shu-qin. Simulation and analysis of the triangle-link press based on ADAMS[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(9):1080-1083.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>