

1 100 kN 伺服曲柄压力机运动仿真与实验研究

肖 阳¹, 孙友松¹, 史国亮¹, 黎 勉¹, 刘 伟¹, 李绍培², 李新忠²

(1 广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006; 2 广东宏兴机械有限公司, 广东 佛山 528313)

摘要: 以交流永磁同步电机取代普通感应异步电机, 研制开发了 1 100 kN 伺服曲柄压力机, 取消了机械飞轮和离合器, 实现了曲柄压力机的柔性化和智能化控制. 驱动电路中配有大电容, 以储存和释放电能. 介绍了该压力机的传动系统方案和交流伺服驱动控制系统组成, 建立了机电系统的数学模型, 并根据样机参数进行了数值仿真. 实验研究的结果证明了数学模型的正确性. 由于储能电容的作用, 电网电流冲击减少了 60.6%.

关键词: 成形装备; 机械压力机; 交流伺服驱动; 数值仿真

中图分类号: TG315.5

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2009)03-0038-04

曲柄压力机是一种广泛使用的锻压机床, 也是电器机械、电子信息、汽车等制造业最主要的工艺装备之一. 传统的曲柄压力机采用普通交流感应异步电机驱动, 并配有大惯量的机械飞轮, 速度按正弦曲线变化, 不能调节, 运动特性单一, 工艺适用性差. 随着大功率交流伺服电动机、电力电子器件以及交流伺服控制技术和广泛应用, 为在锻压装备领域采用交流伺服驱动提供了可能. 用交流永磁同步电机取代普通异步电机, 并采用计算机控制技术, 开发新型高精度、高性能、高智能化压力机, 大大提高了工作性能、生产率和可靠性; 其特性曲线可随成形工艺不同而任意开发, 以适应不同的加工材料和工艺. 还可以大大减少能耗、降低噪音, 有利于可持续发展^[1].

本文将对 1 100 kN 伺服曲柄压力机传动系统和驱动控制系统进行理论及结构分析, 确定设计及结构方案, 建立机电系统的数学模型; 依此建立基于 Matlab/Simulink 模块的整个伺服曲柄压力机机电系统动态仿真模型, 并根据样机参数进行压力机运动过程的数值模拟; 进行样机运行和冲裁的实验研究.

1 传动系统方案及运动分析

1.1 传动方案

在普通曲柄压力机传动系统设计中, 冲压工作主要是靠飞轮减速释放能量完成, 而伺服压力机没有专门的机械飞轮, 冲压工作主要靠伺服电机的瞬时扭矩来实现.

在设计传动系统时, 适当提高传动比, 可以减少所要求的电动机扭矩, 有利于降低设备造价. 但过大的传动比, 可能增加传动环节, 增加传动噪声. 参考 J21-110 普通 1 100 kN 曲柄压力机的传动方式, 结合伺服压力机的要求, 拟订了 1100 kN 交流伺服压力机传动方案, 如图 1 所示. 通过两级齿轮减速, 永磁交流伺服电机驱动曲轴旋转, 通过曲柄连杆机构, 获得滑块的直线运动. 通过控制伺服电机的转速和扭矩, 使滑块的运动特性曲线可调, 压力可控; 通过滑块上的小型调节电机, 可以调节压力机封闭高度; 通过位移传感器以实现滑块的位移和速度反馈.

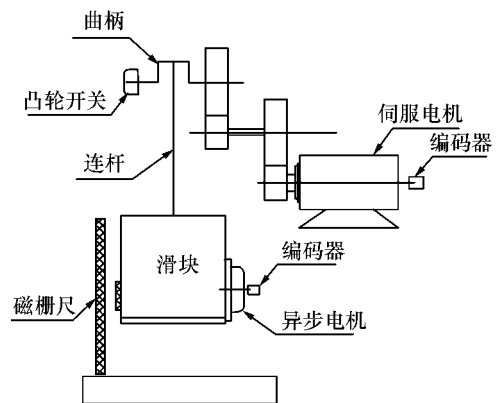


图 1 1 100 kN 伺服曲柄压力机传动方案

1.2 变速驱动曲柄压力机运动分析

图 2 为曲柄滑块机构运动简图.

收稿日期: 2009-04-27

基金项目: 广东省科技攻关项目 (2006B11901004)

作者简介: 肖 阳 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为先进成形装备.

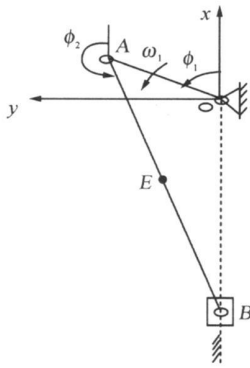


图 2 曲柄滑块机构运动简图

为实现曲柄压力机工艺参数优化,必须对不同的工艺过程采用不同的滑块运动曲线.在工程实际中,可通过两种不同的途径来实现^[2].两种方法均根据曲柄滑块机构的封闭矢量方程(1)求解.

$$r + L_2 = X_B. \quad (1)$$

1) 正向求解法:预先定出应输入曲柄的运动规律,求出滑块的运动特性曲线.

正向求解法相对比较容易,它根据工艺过程的具体要求,预先设定曲柄的角位移 $\varphi_1(t)$ 、角速度 $\omega_1(t)$ 、角加速度 $\varepsilon_1(t)$,通过曲柄滑块机构的运动关系,即可获得滑块的位移 $S(t)$ 、速度 $V_B(t)$ 、加速度 $a_B(t)$.已知 $\varphi_1(t)$ 、 $\omega_1(t)$ 、 $\varepsilon_1(t)$,采用复数矢量法解方程(1)得滑块的位移 $S(t)$ 、速度 $V_B(t)$ 、加速度 $a_B(t)$ 以及连杆 AB 的角位移 $\varphi_2(t)$ 、角速度 $\omega_2(t)$ 、角加速度 $\varepsilon_2(t)$ 如下:

$$\begin{cases} S(t) = r(1 - \cos\varphi_1) - L_2(1 + \cos\varphi_2), \\ V_B(t) = \omega_1 \frac{r \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\cos\varphi_2}, \\ a_B(t) = \frac{r[\varepsilon_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) + \omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)] + L_2 \omega_2^2}{\cos\varphi_2}, \\ \varphi_2(t) = \arcsin\left(-\frac{r \sin\varphi_1}{L_2}\right), \\ \omega_2(t) = -\omega_1 \frac{r \sin\varphi_1}{L_2 \cos\varphi_2}, \\ \varepsilon_2(t) = \frac{r\omega_1^2 \sin\varphi_1 - r\varepsilon_1 \cos\varphi_1 + L_2 \omega_2^2 \sin\varphi_2}{L_2 \cos\varphi_2}. \end{cases} \quad (2)$$

式中: $V_B(t) = -\dot{x}_B(t)$; $a_B(t) = -\ddot{x}_B(t)$.

2) 逆向求解法:已知滑块所需要的运动特性,反推应输入曲柄的运动规律.

逆向求解法根据工艺过程提出的滑块在各位置的速度、加速度要求,求解曲柄在对应位置的角位移、角速度、角加速度.即已知 $S(t)$ 、 $V_B(t)$ 、 $a_B(t)$,

求 $\varphi_1(t)$ 、 $\omega_1(t)$ 、 $\varepsilon_1(t)$ 以及连杆的 $\varphi_2(t)$ 、 $\omega_2(t)$ 、 $\varepsilon_2(t)$. 同样用复数矢量法解方程(1)得到:

$$\begin{cases} \varphi_1(t) = \arccos\left(\frac{r^2 + x_B^2 - L_2^2}{2rx_B}\right), \\ \omega_1(t) = \frac{\dot{x}_B \cos\varphi_2}{r \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}, \\ \varepsilon_1(t) = \frac{r\omega_1^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + L_2 \omega_2^2 + \ddot{x}_B \cos\varphi_2}{r \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}, \\ \varphi_2(t) = \arcsin\left(-\frac{r \sin\varphi_1}{L_2}\right), \\ \omega_2(t) = \frac{\dot{x}_B \cos\varphi_1}{L_2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}, \\ \varepsilon_2(t) = \frac{r\omega_1^2 + L_2 \omega_2^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + \ddot{x}_B \cos\varphi_1}{L_2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}. \end{cases} \quad (3)$$

式中: $x_B(t) = r - L_2 - S(t)$; $\dot{x}_B(t)$ 和 $\ddot{x}_B(t)$ 由 $x_B(t)$ 经数值微分获得.

2 交流伺服驱动控制系统组成

2.1 永磁交流伺服电机

考虑到永磁同步电机具有体积小、出力大、响应快、无需励磁等优点,本项目选择了永磁同步电机.如前所述,伺服压力机没有专门的机械飞轮,电机容量选择与普通压力机有很大不同.电机转子以及运动部件折合到电机轴的总等效转动惯量较普通压力机小很多,压制力不是靠飞轮减速,而主要靠电机的瞬时扭矩产生,最大转矩是选择电机的首要因素.根据最大工作负荷、传动比并综合考虑电机过载倍数等因素设计或选择电机.

与国内某伺服电机生产厂家合作,开发了具有大的过载倍数并适于周期尖峰负荷的曲柄压力机专用伺服电机,如图 3 所示.该驱动电机主要参数为:额定功率 37 kW,额定转矩 400 N·m,过载倍数 4.需要指出的是,尽管该电机额定功率远大于普通曲柄压力机 JH21-110 的驱动电机,但其实际电能消耗不到后者的一半.

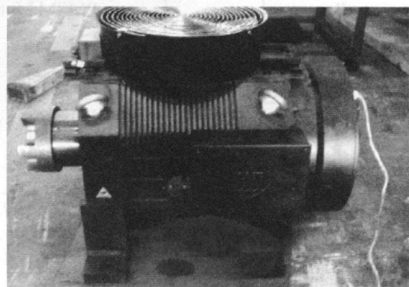


图 3 压力机的交流伺服电机

2.2 交流伺服驱动控制器

永磁交流伺服电机的驱动控制系统是一个包含电流(转矩)环、速度环和位置环的三闭环运动控制系统,对于伺服电机的控制将直接影响到伺服曲柄压力机的性能.与国内某控制器厂家合作,开发了适用于曲柄压力机工况的交流伺服驱动器,如图 4 所示,该驱动器能够很好地满足伺服曲柄压力机周期性大变负荷的工作要求.



图 4 压力机的交流伺服驱动控制器

2.3 电机驱动控制系统组成

电机驱动控制系统包括:交流伺服驱动器、外接电容储能系统、伺服电机本体、速度位置传感器(旋转编码器).

交流伺服驱动器接收 PLC 的控制信号,完成控制系统对电机点动、制动、正反转运动控制等功能.电机在变速、换向时采用电磁制动,作为发电机运行,而工作瞬间则需要很大的瞬时电流.安装了一个大容量电容,作为“电子飞轮”,存储制动时的电能并在冲压工作时释放,以减少能量消耗并减少工作瞬间电机大电流对电网的冲击^[3].

3 系统仿真

3.1 仿真模型

根据建立的传动系统和驱动系统的数学模型,建立了基于 Matlab/Simulink 模块的整个伺服曲柄压力机机电系统动态仿真模型^[46],如图 5~ 图 7 所示.

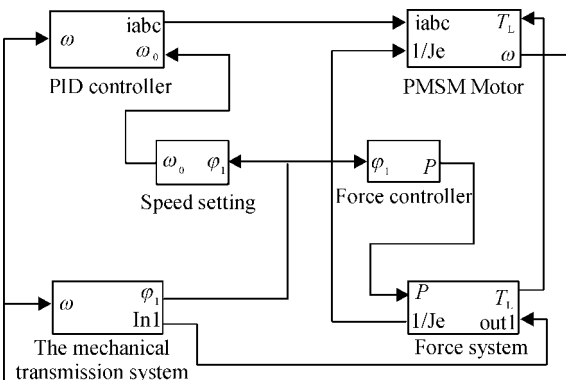


图 5 伺服曲柄压力机机电系统动态仿真模型

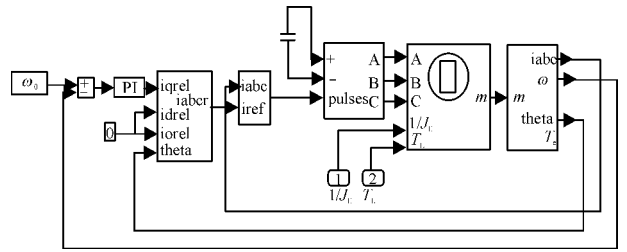


图 6 永磁同步电机仿真模型

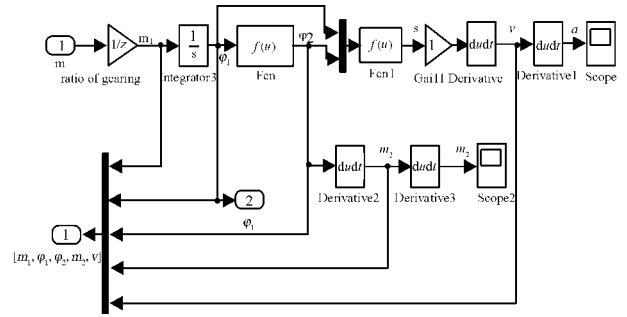


图 7 机械传动系统仿真模型

根据所建立的仿真模型,对系统进行了数值仿真,仿真内容分别为电机恒速冲载电流实验、负载变速冲载实验.

3.2 恒速冲载过程电机电流

如图 8 所示,其工况相当于普通曲柄压力机工作,电机恒速旋转,转速 71 rad/s 负载 880 kN.图 8 中可以看出,冲载时电机峰值电流为 97.8A,而电网峰值电流仅为 38.5A,其余 59.3A 为电容器所提供,也就是说,由于储能电容的作用,电网电流冲击减少了 60.6%.

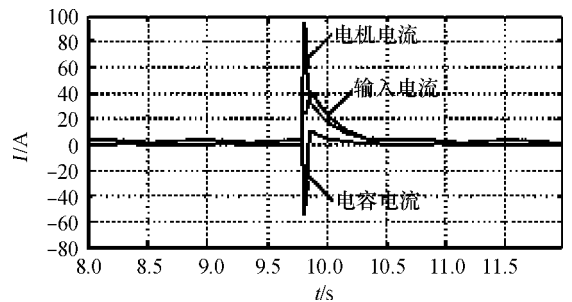


图 8 恒速冲载电机电流、输入电流及电容电流

3.3 变速连续冲载仿真曲线

为提高工作效率和冲压质量,延长模具寿命,伺服压力机可以在空行程和回程时提高速度,而在工作行程时降低速度,称之为“快-慢-快”模式.图 9 即为此模式的仿真曲线.从速度曲线可以看到,工作行程中凸模接触工件的瞬间,由于负载的作用,滑块速度将有所降低,出现瞬时下降,但在短时间内即可回到正常速度.

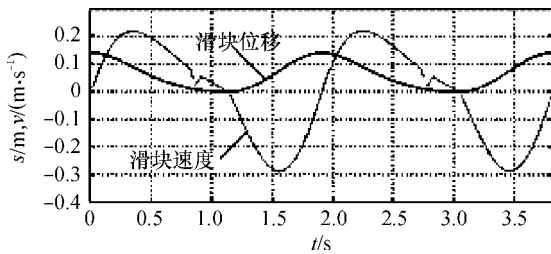


图 9 变速冲裁滑块位移、速度曲线

4 实验研究

在压力机上安装了模具,进行冲裁试验,冲裁力 1 100 kN,板厚 5 毫米,按照“快-慢-快”模式冲裁,用四踪数字存储示波器记录相应曲线。

图 10 所示为伺服压力机冲裁单次工作试验曲线,分别记录了母线电压、电容电流和滑块位移的变化,并与电容电流的仿真曲线进行了对比。从曲线中可知电容放电时刻与冲裁时间相对应,起到了增加电机力矩以克服尖峰负载作用。实验结果与仿真结果很好地吻合。

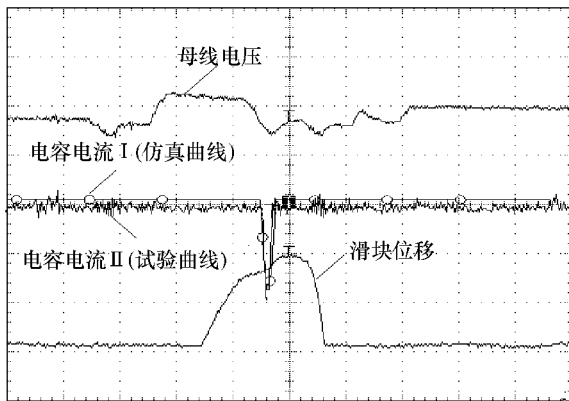


图 10 冲裁曲线对比

5 结论

1) 伺服曲柄压力机采用了交流永磁同步伺服电机代替普通异步感应电机,并采用计算机控制技术,可以实现滑块特性曲线随成形工艺不同而任意变化,实现了机械压力机的柔性化、智能化。

2) 伺服曲柄压力机取消了机械飞轮,依靠电机瞬时大扭矩克服周期性尖端大负荷,因此需要增大电机容量。采用适当的机械传动比和增加电机过载能力,可减少电机容量的增加幅值,控制制造成本。

3) 电容器可以起到“电子飞轮”储存和释放电能的作用,在实验条件下,可减少冲裁时电网瞬时峰值电流的 60.6%。

4) 数值仿真和实验结果很好地吻合,从而为伺服压力机的设计和进一步研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 孙友松,周先辉,黎勉,等. 交流伺服压力机及其关键技术[J]. 锻压技术, 2008, 33(4): 1-8
- [2] 魏良模,孙友松,朱新榕. 变速驱动曲柄压力机运动分析[J]. 锻压装备与制造技术, 2004, 42(3): 32-34
- [3] 梁秀玲,王鸿贵,李优新,等. 基于变速驱动曲柄压力机储能电容参数分析与计算[J]. 机电工程技术, 2005, 34(5): 24-26
- [4] 魏航. 伺服驱动曲柄压力机电系统动态分析及实验研究[D]. 广州: 广东工业大学工学硕士学位论文, 2005, 5
- [5] 李颖,朱伯立,张威. Simulink 动态系统建模与仿真基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004
- [6] 林海,李宏,林洋,等. 永磁同步电机矢量控制系统仿真与建模研究[J]. 微电机, 2006, 39(8): 43-45

Kinetic Simulation and Experimental Research on 1 100 kN Crank Press Driven by AC Servo Motor

Xiao Yang¹, Sun You-song¹, Shi Guo-liang¹, Li Mian¹, Liu Wei¹, Li Shao-peí², Li Xin-zhong²

(1. Faculty of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

2. Guangdong Hongxing Machinery Co. Ltd, Foshan 528313, China)

Abstract The common asynchronous inductive motor replaced by AC servo motor; an 1100 kN AC servo crank press was developed. The flywheel and clutch eliminated, the flexible and intelligent control of the new AC press was realized. A big capacitor was used in the circuit in order to save and release electric energy. Transmission and driving-control systems of the press are introduced. The mathematic model of the electromechanical system is established and the numerical simulation is conducted. The experimental results prove the correctness of the model. With the capacitor, the electric shock on the net is reduced by 60.6%.

Key words Forming equipment; mechanical press; AC servo motor; numerical simulation