

# 基于伺服和嵌入式控制技术的高速液压热冲压设备

冯学钊 杨哲 骆中飞

(重庆江东机械有限责任公司 重庆 404020)

**摘要:** 为了实现高速液压热冲压设备对控制系统响应快、精度高、工艺复杂的要求,同时节能降噪,提高设备工作效率,使设备更加适应实际生产需求,本文阐述了将伺服控制技术和嵌入式控制技术相结合在高速液压热冲压设备上的应用,给出了相应的控制架构、控制方法和实际的控制结果,最终实现了高速液压热冲压设备的精确控制,提高了热冲压成型零件的精度和质量,提高了节能降噪的效果。

**关键词:** 伺服控制; 嵌入式控制; 高速液压热冲压; 节能降噪

## 0 引言

随着汽车工业的不断变革和人们对生活品质要求的不断提高,以及全球碳达峰碳中和目标实现的要求,轻量化、安全性和节能环保是汽车行业发展的方向。高速液压热冲压设备主要用于汽车超高强钢或铝零件、一般金属板材的冲压成型,是板材热成型技术的一种具体实现方法,其市场需求在不断增长,高速热冲压设备的整体解决方案是此类零件成型的一个重要研究点。目前,德国舒勒、西门子 APT 等公司提供的整套解决方案仍具有明显技术优势。本文探讨将伺服控制技术和嵌入式控制技术相结合,根据实际成型工艺需求,提出一种针对高速液压热冲压设备的控制方案,并结合公司在实际应用中的总结和分析,具有良好的效果。

## 1 热成型工艺路线及特点

热冲压成型工艺过程一般有直接热成型和间接热成型两种方式,其成型工序基本相同。如图 1 所示,板材先经过开卷落料,通过自动化系统转换到加热炉加热,达到设定加热效果后出炉,接着进入压机快速成型并保压淬火,最后再进行修边打磨等处理;间接热成型是在料片加热前进行了预成型。



图 1 热成型工艺步骤

热成型工艺过程有如下特点:

- (1) 冲压设备需要快速合模,料片温度下降速度快,因此成型速度也必须快;
- (2) 模具合模后保压时间长,不同零件的保压时间

一般在 6 ~ 25s 之间;

(3) 保压淬火时对压力控制稳定性有严格要求,避免零件回弹变形、起皱开裂等影响模具寿命,同时要求压力重复精度高,应保证批量件的性能基本一致;

(4) 冲压设备需要配合模具实现平稳开模,减少回弹,实现对零件和模具的双重保护。

## 2 系统的分类的组成

### 2.1 泵控伺服系统

伺服泵控系统由 PLC 控制器及模拟量模块、伺服驱动器、伺服电机、油泵和油缸等执行机构组成。系统的流量、压力实时反馈给伺服驱动器,构成速度或压力闭环控制,通过改变伺服电机的转速调节泵的流量输出,从而实现液压系统流量的动态给定。这一控制技术已广泛应用,尤其在节能降噪方面优势明显,且自带的压力闭环能够较好的控制动态压力,不足在于对压力瞬间超调无法进行精确控制。

### 2.2 阀控伺服系统

伺服阀控系统由运动控制器、伺服阀、压力或位移传感器、油泵、油缸等执行机构组成。系统的压力、位移传感接入运动控制,控制信号控制伺服阀的开度,构成位移或压力闭环系统,通过改变伺服阀的开口调节流量输出。由于采用运动控制器控制的伺服阀系统的动态响应更优于伺服泵系统,同时在油缸的极低速控制方面具有独特的优势,因此在高精度、高动态响应控制时多采用阀控伺服系统方式来实现。

### 2.3 嵌入式控制技术

嵌入式控制技术是介于 PLC 控制和 PC 控制之间的一种面向特定应用的控制技术,具有实时多任务、运动控制、高速可靠等性能特点。通过搭配各种功能的 I/O 模块和高速实时网络的工业控制嵌入式控制器,其应用

场景已越来越多。本文所述采用的是德国倍福的 CX 系列嵌入式控制器，采用 WinCE 运行系统，具有实时多任务功能，具有 NC、NCI 等运动控制功能模块，具有高速实时以太网 EtherCAT 接口，具有 STL 等高级语言编程功能，具有 C++、MATLAB 协同接口等。

### 3 设备应用的实现

系统采用泵控伺服单元作为液压动力源，采用伺服阀控单元作为高精度定位、压力控制的核心，电控采用带运控控制功能的嵌入式系统，协同控制达到既定目标。

#### 3.1 伺服控制方案

本研究的液压系统采用了伺服泵和伺服阀相结合的方式，前者具有节能降噪、动态响应好的优点，同时降低了整机装机功率；后者在建压控制、保压淬火阶段具有良好的高精度动态控制效果。方案组成如下所述：

快速成型冲压需要很大的流量，采用由多个油泵并联联合流的工作方式，油泵分别都由电液伺服电机系统驱动。压机在压制成型、回程阶段等需要大量动力油的时候电机驱动油泵全速运转，同时在压制成型过程压力较低时，伺服电机可以超速运转驱动油泵提供所需的流量，有效降低整机功率配置；压机在保压淬火阶段、原位等待阶段电机低速或者停止运转，由于保压时间和等待时间比较长的时候，具有明显的节能效果，同时降低了噪音改善了现场工作环境；压机在开模阶段，对于有氮气弹簧的模具，可以在控制开模速度的同时兼顾开模力的控制，其工作原理是如图二的具体体现，即在转速指令给定的条件下进行压力闭环控制，这种保护性开模控制既保证了工件的质量同时对模具也起到了保护作用，降低修模频次，提高模具使用寿命。

在主油路上，采用大通径的比例插装阀，比例插装阀具有和其他伺服阀同样的快速响应性能特点，油液通过比例插装阀进入主缸，从而驱动主缸运动。主缸的位移、压力传感器分别接入嵌入式运动控制系统，运动控制器通过运动控制算法，分别可实现位置闭环控制和压力闭环控制，同时两种闭环模式可以通过程序进行无缝柔性切换，最后控制器将控制信号传送给模拟量输出模块，从而控制比例插装阀的开度，实现主缸的高精度定位控制或压力控制目标。

#### 3.2 嵌入式控制方案

嵌入式控制系统采用倍福整

套解决方案。如图 2 所示，控制器是整个控制的核心，采用先进的 CP 系列控制器，其运算频率高达 1.4GHz，和主流的 PC 运算速度相当。其硬件结构设计如下：

(1) 以 CP 嵌入式控制器为核心，采用高速实时以太网 EtherCAT 网络通讯，搭载连接 EtherCAT 通讯方式的远程从站模块，所有的传感器、控制信号全部接入从站模块，通过背板总线将数字量输入输出信号、模拟量输入输出信号、特殊功能模块信号传输给 EtherCAT 总线模块，总线模块通过 EtherCAT 网络电缆与控制器进行实时通讯，其中压力传感器采用模拟量信号方式，接入从站单元的模拟量输入模块，位移传感器采用 SSI 信号方式，接入从站单元的 SSI 输入模块，伺服阀采用模拟量控制信号方式，由控制器运算结果传输给模拟量输出模块通道进行控制。

(2) 配有人机界面触摸屏，具备设备的位移和压力实时显示、参数设置管理、I/O 信号状态监控、产品数据管理、故障排除、报警提示等功能，提高人机协同性。

(3) 伺服油泵驱动器采用通讯方式，分别作为系统的一个 EtherCAT 从站，通过 EtherCAT 网络电缆与嵌入式控制器进行实时通讯，可以进行驱动器的开放式控制，驱动器的使能、流量指令、压力指令全部通过通讯给定；可以监控驱动器的工作状态，极大提高系统的智能控制能力。

(4) 系统配备工程 MES 系统接口和远程运维功能，通过一个 4G 通讯的数据采集器，接入系统的工业交换机，可实现系统的远程维护，极大的提高了维护的及时性，同时可在大数据云平台对需要监控的数据进行云存储及分析，比如能耗数据、产量数据、工件成型数据等，为实现智能制造、定制化制造提供数据和平台支撑。

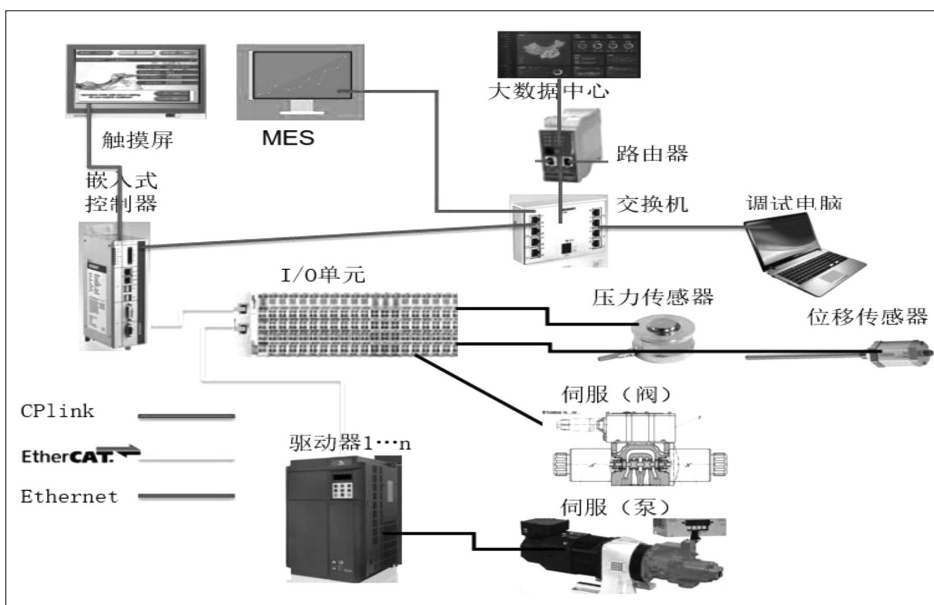


图 2 电控系统拓扑图

### 3.3 软件控制方案

CP 嵌入式控制器的编程环境采用 TwinCAT 3 语言环境, 基于 Windows CE 操作系统, 具有高度开放性和强大的功能化模块处理能力, 具有 (IL,ST,FBD,LD,SFC) 等多种编程语言, 都遵循 IEC61131-3 标准。本项目利用该开发环境根据设备控制的特定需求, 对 TwinCAT 3 的模块进行适应性选择和开发处理, 量身开发了一套软件控制系统。

软件架构由系统模块、顺序控制模块、功能模块、I/O 映射模块、数据处理模块、报警模块等组成。系统模块主要包括: 各任务核的启动设置、库文件的选择、系统驱动模块设置和系统初始化; 顺序控制模块是设备的各个动作的具体程序控制实现, 采用梯形图 LD 编程方式, 控制链路简洁清晰; 功能模块主要包括两方面的内容: 一是模拟量信号和 SSI 信号的处理单元, 本项目具有压力传感器、比例阀控制等较多的模拟量处理任务, 软件中以模拟量信号通道为单元编写成功能块的形式进行处理, 二是运动控制 NC 控制处理单元, 用于在设备位置定位控制和精确压力控制的实现; I/O 映射模块包括所有输入输出模块的信号处理, 以及和 HMI 通讯、数据交换的通讯实现; 数据处理模块包括设备工艺参数的选择、零件成型数据的实时存储等实现; 报警模块实时显示当前设备报警状态和具体的报警消除办法, 以及历史报警信息的存储及分析。

高精度位置定位和压力控制的核心是 NC 运动控制功能单元的二次开发和应用。在位置定位闭环控制时, 我们采用分辨率 0.001mm 的位移传感器反馈, NC 运动控制轴采用标准的 encoder and Drive 轴, 类型为带前馈的 PID 控制器, 设定好运行速度和目标位置, 通过 MC\_MOVE 相关指令的执行完成定位控制过程; 在压力闭环控制时, 采用压力传感器作为闭环的反馈量, NC 运动控制轴采用和位置定位闭环控制相同的轴类型, 设定好升压速度和目标压力, 由 MC\_MOVE 相关指令完成压力控制过程。

### 4 达到的效果

经过实际应用和测试, 本设计方案下的设备达到如下效果:

(1) 在工件保压时间 12 ~ 15s 时, 同比之前的异步电机驱动油泵方案, 有效降低能耗 20% 左右, 降低噪声 5 ~ 10dB, 大大改善了工作环境;

(2) 结合在快速压制阶段压力较低的工艺特点, 利

用伺服电机较高的超载能力, 降低了装机功率, 同传统配置相比降低约 15% ;

(3) 通过基于 NC 运动控制方式调节伺服泵和伺服阀的工作过程, 有效降低了系统运行过程的冲击、震动, 提高了设备运行的稳定性和寿命, 尤其是达到了位置控制精度  $\pm 0.2\text{mm}$  且重复定位精度好、压力控制精度  $\pm 0.1\text{MPa}$  且超调小和动态稳定性好的效果 (图 3), 蓝色曲线代表位移曲线, 绿色代表压力曲线, 红色代表速度曲线;

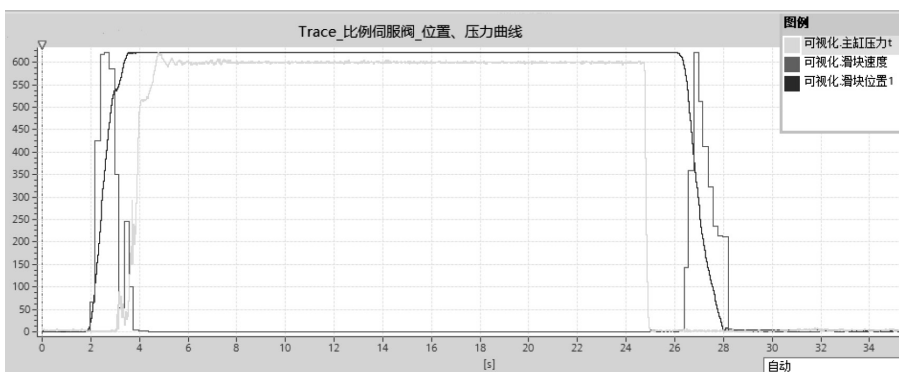


图 3 实际位移、压力控制曲线

(4) 液压控制系统更加紧凑、美观。

### 5 结语

针对高速液压热冲压设备的发展需求, 本文对基于伺服控制技术和嵌入式控制技术相结合在此设备上的应用进行研究和试制, 获得相关的实际数据和技术经验。结果表明, 该伺服控制系统具有明显的节能降噪效果, 与嵌入式控制系统搭配, 实现了设备位置定位、高精度动态压力控制的既定目标, 能够完成了对目标零件的连续生产。该研究为高速液压热冲压设备的设计及控制提供了一定的经验支持, 具有广泛的应用价值和推广意义。

### 参考文献:

- [1] 何俊, 夏斌. 基于数字伺服控制原理实验系统 [J]. 实验技术与管理, 2014, 31 (9): 91-94.
- [2] 张春华, 李迪, 赖乙宗. 基于 Windows CE.NET 的嵌入式液压机控制系统研制 [J]. 制造技术与机床, 2006 (11): 55-58.
- [3] 陈利君. TwinCATNC 实用指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [4] 王世魁. 变强度热冲压件成型关键技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

作者简介: 冯学钊 (1986-), 男, 汉族, 重庆巫山人, 本科, 工程师, 研究方向: 液压电气自动化控制系统。