

新型60MN内高压成形压力机 控制原理及功能调试

高贵麟¹, 王涛¹, 王存明², 洪波林¹, 邵伟彬¹, 李祖光¹

1. 一汽轿车股份有限公司, 长春 130012;

2. 齐齐哈尔二机床(集团)有限公司, 齐齐哈尔 161005

摘要: 为满足内高压成形工艺需求, 研制了最大合模力为60MN的新型结构短行程内高压成形压力机。介绍了新型内高压成形压力机的结构组成、动作原理和主要优点; 根据压力机的特点和功能要求设计了电液伺服控制系统, 对控制原理进行了说明; 探讨了内高压成形压力机各控制轴在功能调试方面的关键技术要点。调试结果表明: 全新研制的60 MN内高压成形压力机满足高效、节能、低成本要求, 短行程缸位置控制精度 $\pm 0.1\text{mm}$, 合模力控制精度 $\pm 300\text{kN}$, 单机节拍13s, 与水系统联机运行最快生产节拍可达23s。研制成果为国内内高压成形设备提供了一种全新方案。

关键词: 新型; 内高压成形压力机; 短行程; 控制原理; 功能调试

Control Principle and Function Commissioning of a New Type 60MN High Pressure Hydro-Forming Press

GAO Guilin¹, WANG Tao¹, WANG Cunming², HONG Bolin¹, TAI Weibin¹, LI Zuguang¹

1. FAW Car Co., Ltd., Changchun 130012, China;

2. Qiqihar No.2 Machine Tool (Group) Co., Ltd., Qiqihar 161005, China

Abstract: In order to satisfy the requirements of high pressure hydro-forming technology, a new type 60MN high pressure hydro-forming press with short stroke were developed. The structure and movement principle and major advantage of the new type high pressure hydro-forming press were introduced; illustrated the control principle of electro-hydraulic servo system which was based on the feature and the requirement of the press; discussed the key technical points of the function commissioning of each control shaft. Result shows that the new type 60MN high pressure hydro-forming press provided higher speed, lower energy and lower cost. The position accuracy of short stroke is $\pm 0.1\text{mm}$, the accuracy of clamping force of die is $\pm 300\text{kN}$, the cycle time of the press is 13s and the maximum producing speed with hydraulic system can reach 23s. This development provided a new scheme for internal high pressure hydro-forming equipment.

Keywords: New type; High pressure hydro-forming press; Short stroke; Control principle; Function commissioning

1 引言

内高压成形是一种以液体为传压介质,利用内高压使管坯变形成为具有三维形状零件的现代塑性加工技术,与传统冲压对焊制造方式相比,制件具有质量轻、加工周期短、刚度和疲劳强度高优点^[1]。内高压成形工艺适用于制造轴线为空间曲线的空心构件,是实现汽车轻量化的关键技术。随着内高压工艺的发展,内高压成形设备也得到了相应的发展。

内高压成形设备是实现内高压成形工艺的基础,其性能的优劣关系到整个内高压成形工艺过程的成败。国际上技术成熟的内高压设备主要由德国舒勒、瑞典AP&T等公司设计制造,但是价格昂贵。而国内对内高压成形设备的研究起步较晚,哈尔滨工业大学、清华大学、燕山大学等科研单位在这方面做了很多工作。其中,哈尔滨工业大学自行研制出国内首台内高压成形机^[2],已经用于汽车结构件的生产中,但是在生产节拍、能源效率上与国外设备仍存在差距。为满足内高压成形工艺高效率、低成本需求以及未来车型大尺寸、高强钢零件生产需求,一汽轿车股份有限公司、哈尔滨工业大学与齐齐哈尔二机床(集团)有限责任公司联合研制了新型大吨位内高压成形设备。该设备由内高压成形水系统和内高压成形压力机两部分组成,水系统用于实现管件充液加压成形,压力机采用了新型短行程缸结构,用于产生合模力。本文重点介绍了该新型内高压成形压力机的结构组成、控制原理以及在功能调试方面的相关技术要点。

2 新型内高压成形压力机结构组成

内高压成形压力机的作用是开闭模具并施加合模力。在成型过程中,合模力要始终大于内压所产生的开模力,通过这种平衡作用不仅保证了上下模具安全可靠闭合,同时避免产生制件飞边缺陷。传统内高压成形压力机由滑块主油缸施加合模力并完成模具提升,主油缸行程较大,采用的是长行程工作方式,存在建压速度慢、系统所需工作油量大的缺点。为克服长行程工作方式的缺点,本课题研制了一种新型结构的短行程液压机,其结构组成如图1(a)所示。新型内高压成形压力机由上横梁、支撑块、锁紧缸、锁紧块、长行程缸、滑块、短行程缸、工作台和底座组成。压力机的合模和开模过程由长行程提升油缸(4000kN)驱动来完成,滑块合模后由锁紧缸、锁紧块和支撑块实现锁模功能,模具加载及卸载由主油缸(60MN)来完成,如图1(b)所示。

与传统内高压成形压力机相比,本课题所研制的新型结构短行程压力

机具有以下优点:(1)短行程主缸行程小(25mm),容积减少,系统功率降低;(2)受压缩的液体容积小,可快速建立合模力,效率高。

新型60MN短行程内高压成形压力机在以相同速度建立合模力的条件下,所需液压系统流量仅为长行程压力机的1/40,实现了节能及降低运行成本的目的。

3 控制原理

3.1 控制系统组成及原理

新型内高压成形压力机采用电液伺服控制系统,通过自主开发控制程序,实现了多轴伺服控制与全自动化的内高压成形过程控制。控制系统组成如图2所示。

压力机采用了独立的控制系统,包括PLC控制器、伺服控制器、人机界面、电控柜以及网络通讯接口。压力机与内高压水系统采用DP/DP耦合器通讯方式交互数据,压力机接收内高压水系统的控制命令,内高压水系统读取压力机信息。使用DP/DP耦合器优点如下:(1)硬件隔离:DP/DP耦合器具有双电源供电接口和双DP通讯接

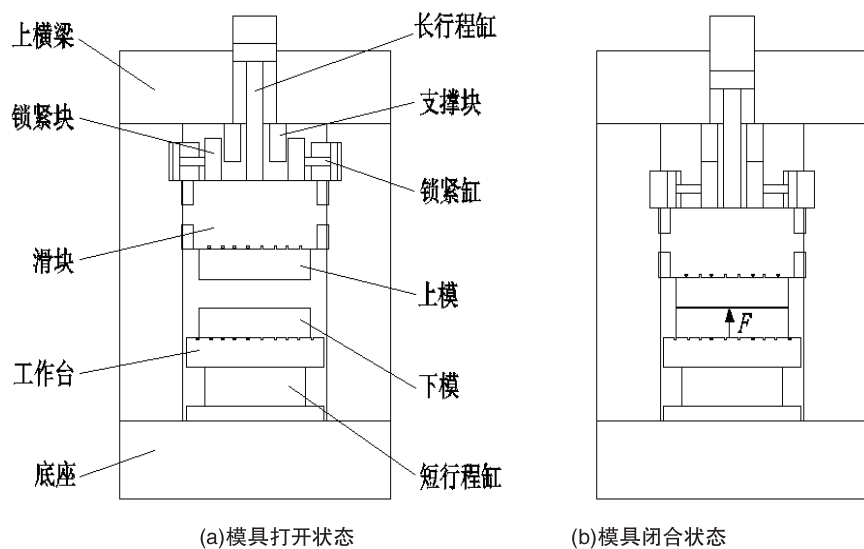


图1 60MN内高压成形压力机结构组成

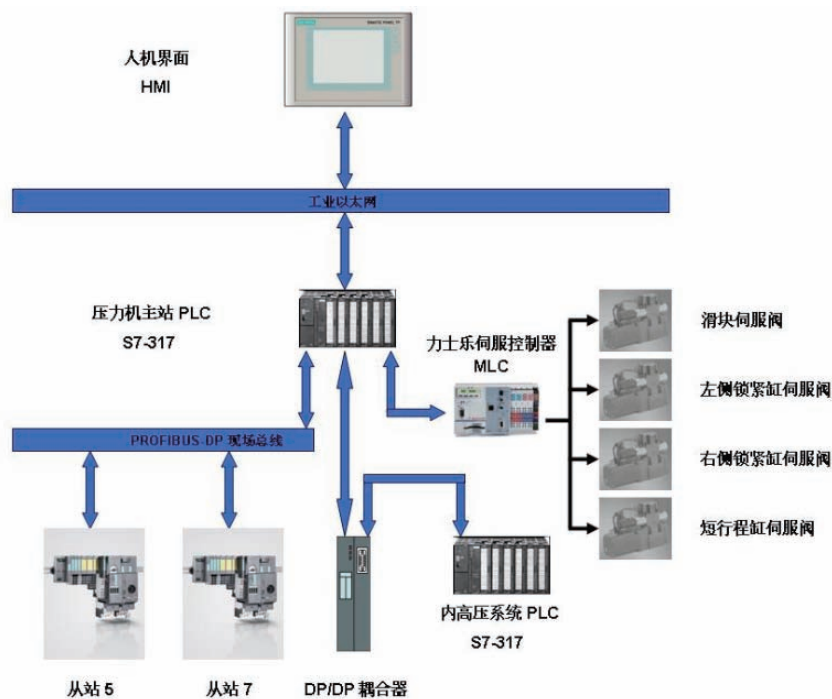


图2 控制系统组成

口，内高压水系统和压力机可以使用各自的电源接口和DP接口，将DP/DP耦合器接入各自的通讯网络。两个网络电气隔离，一个网络发生故障不影响另一个网络的运行，提高了系统的可靠性。(2) 软件组态隔离：使用DP/DP耦合器后，内高压水系统和压力机的程序可以集成到各自项目中，方便整个项目PLC程序的编制、调试，压力机程序的修改不影响内高压水系统侧PLC程序内容，提高了系统的适用性。

新型内高压成形压力机通过滑块油缸、左锁紧缸、右锁紧缸和短行程缸系统实现工艺动作，各系统的运动位置、速度以及工艺力不仅要满足压力机本身动作要求，同时还要与水系统内压成形工艺过程相匹配，因此压力机的控制系统应具有控制精度高、响应速度快、可靠性高的特点。为满足以上要求，整个控制系统采用了电液伺服控制技术，通过高频响比例伺服阀驱动油缸运动，采用力士乐伺服控

制器IndraMotion MLC实现4个液压伺服轴控制。油缸位置、速度和上下腔压力由传感器采集并反馈至伺服控制器。PLC为上位机，对伺服驱动器输出控制目标值。控制系统可实现各伺服轴油缸位置、速度和力的闭环控制。

压力机各轴伺服阀与油缸的液压控制原理如图3所示。其中，图3(a)为短行程缸系统油缸布置及伺服阀控制原理图。短行程缸系统控制工作台的运动，完成合模力的加载与卸载，因此油缸系统应具有双动功能。根据最大合模力(60MN)以及台面尺寸(3000mm×2000mm)要求，短行程缸系统采用一个主柱塞缸和四个辅助活塞缸组成。柱塞缸和活塞缸向上运动时，提供合模力，卸载回程时，由四个活塞缸带动柱塞缸向下运动。主柱塞缸和四个辅助活塞缸由一个伺服阀驱动，保证运动的同步性。图3(b)为滑块油缸系统，考虑压力机具有预成形加压能力以及滑块抗偏载能力，滑

块采用双油缸结构。油缸上腔由伺服阀直接驱动，油缸下腔经2个安全阀、1个背压阀与伺服阀节流口串联控制，安全阀由换向阀3YV1和3YV2连锁控制，保证滑块在静止状态下不下沉，背压阀由换向阀3YV3控制，用于平衡滑块重量。图3(c)为滑块锁紧缸系统原理图，锁紧缸主要用于驱动锁紧块的精确到位，在滑块合模时实现锁模功能，锁紧油缸采用伺服阀直接驱动。工作中为防止锁紧块窜动，油缸两侧回路设置了液压锁装置，分别由5YV3、5YV4(左缸)和5YV7、5YV8(右缸)控制。

图4是内高压成形压力机控制系统人机界面，充分考虑了工艺动作和设备运行状态监测需求，包括了各油缸位置、力、上下腔压力值、比例伺服阀工作状态、液压泵站压力与油温等参数。工艺过程参数在人机界面可编程存储，可以满足多品种柔性化生产。

3.2 工作方式

压力机为了满足与内高压水系统联机运行和单机调试需要，设计了本地和联机两种工作方式。

3.2.1 本地工作方式

本地工作方式下包括手动和自动工作模式。本地手动模式下，压力机可以完成多种形式的运动，用户通过人机界面操作选择需要的命令，系统按照用户要求实现各种控制指令。本地自动模式下，主要用来测试压力机系统的自动工作是否能够达到要求，只在系统开发初期及使用过程中单独排除压力机故障时应用。

3.2.2 联机工作方式

联机工作方式下，压力机受水系统侧控制，压力机控制系统为从站，内高压水系统控制系统为主站。联机

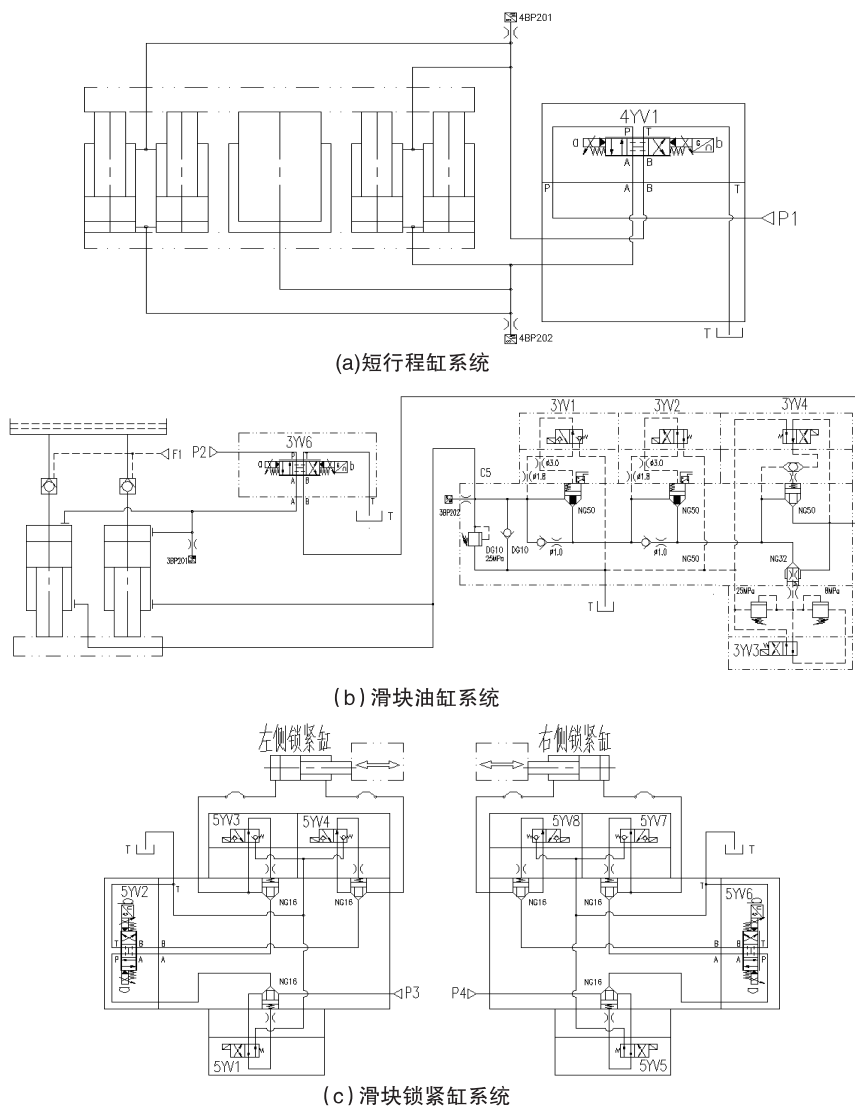


图3 伺服阀与油缸的控制原理图



图4 压力机控制系统人机界面

手动模式，主要用来调试成形件的工艺。联机自动模式，可以按照工艺曲线连续加工工件，实现内高压成形工艺过程。

4 功能调试

4.1 短行程缸系统功能调试

短行程缸系统用于产生合模力，为保持合理的模具接触压力，降低模具弹性变形，提高制件成形精度，本课题所研制的内高压成形压力机具有可变合模力功能。在短行程缸系统的功能调试中不仅要实现合模加载力，而且要实现合模加载力的实时跟随变化。

为保证短行程压力机的功能需求，调试中需要注意以下几点问题：

4.1.1 可变合模力跟随响应时间

可变合模力控制要求合模力随内压变化，根据内高压成形过程的内压变化施加相应的合模力，使总合模力中平衡内压反力的部分随内压的增大而增加，将模具受到的力控制在较低的水平。由于内压是实时变化的，因此要求合模力也要实时跟随变化，整个系统要满足合模力跟随速度，否则将影响整个工艺过程的生产节拍时间。调试中采用正弦曲线对联机状态下的合模力进行了跟随响应时间测试，响应时间最大滞后190ms，可以满足系统要求。

4.1.2 可变合模力联机工艺过程控制方案

采用PLC通讯的方式实现数据的传输，由内高压成形水系统根据内压数值给出合模力目标值，由压力机控制系统直接控制合模力。压力机和水系统可变合模力交互控制工艺过程如表2所示。

4.2 滑块及锁紧缸系统功能调试

滑块油缸系统主要考虑两点要求：(1) 滑块重量由下腔回路背压阀

(下转第38页)