

内高压成形机液压控制系统的研究

齐二机床集团有限（责任）公司 （黑龙江齐齐哈尔 161005） 王春明 李立丰

减轻重量、节约材料是现代先进制造技术发展的趋势之一。实现轻量化的主要途径之一就是在结构上采用“以空代实”的变截面等强构件，它既可减轻质量又可充分利用材料的强度和刚度。管件液压成形正是适应这种需求开发出来的一种制造空心轻体构件的先进制造技术。

工艺和设备是相辅相成的，设备是工艺的基础，工艺是设备的继续和功能的体验，没有好的设备作为基础，再好的工艺、再好的技术也难以实现。本文在研究目前国内内高压成形机的基础上，设计了可以实现6 000t合模力的新型压力机，如图1所示。

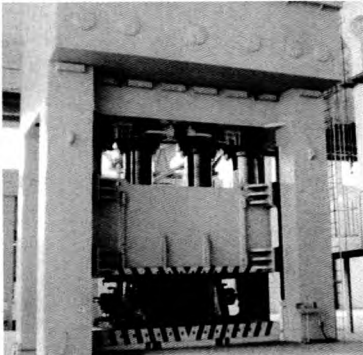


图1 内高压成形机

压力机是短行程四柱结构，由于框架和床身的刚性设计，压力机床身和模具变形都被降到最小。能量消耗低以及工作周期短也是这种设计的优点，压力机的液压系统安置在压力机顶端来减小所需要的地面空间。

压力机框架采用4立柱结构设计，分4个部分制造。通过拉杆按将近1.5倍公称压力进行预紧。底座、立柱和上机头等部分是焊接结构。这样设计的优点有：①四个立柱之间有空间，可以进行操作和模具更换。②为了达到最小的拉伸立柱采用高强度设计。③压力机框架部分是单向的（消除应力）。④工作平台可以方便地进入和保养。

短行程内高压成形压力机的典型工作过程是滑块下行，进行预成形以及闭合模具。然后滑块锁紧装置移动到“锁紧位置”把滑块机械锁紧到压力机框架上部。接着短行程缸液压缸从下工作台提供合模压力，压力释放，滑块锁紧装置打开，滑块到起始位置。压力机可实现4 000kN的预成形力和60 000kN的合模压力。压力机主要参数如表1所示。

表1 压力机主要技术参数

内高压成形压力机滑块	参数
滑块预成形力/kN	400
回程力/kN	750
行程长度/mm	1000
闭合速度/mm·s ⁻¹	600
最大力时的最大工作速度/mm·s ⁻¹	60
最大回程速度/mm·s ⁻¹	500
短行程缸	
压力/kN	6000
行程长度/mm	20
闭合速度/mm·s ⁻¹	6
回程速度/mm·s ⁻¹	5
滑块锁紧	
行程/mm	200
最大速度/mm·s ⁻¹	280

1. 液压控制系统的组成及工作过程

根据管材内高压成形设备的组成，成形过程中，液压控制系统主要用来驱动模具合模、滑块锁紧、短行程缸、模具提升的实现。同样的，液压系统也包括了主泵站系统、滑块液压缸控制系统、锁紧液压缸控制系统、压机短行程缸控制系统、冷却和先导控制系统。

(1) 压机主泵 主泵站为压力机液压系统供高压油。它是“低能耗系统”，带压力控制柱塞泵，液压系统原理如图2所示。泵站安装在压力机框架上，主泵和主电动机安装在油箱外部，易于保养和

维修。高压过滤器使用在集管块伺服阀的高压管路上, 伺服阀用于成形机控制功能, 主要技术参数如表2所示。

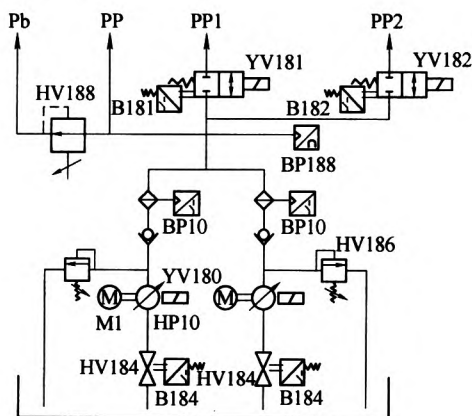


图2 内高压成形机

表2 泵站主要技术参数

项目	数据
主液压柱塞泵/L·min ⁻¹	2 × 360
主电动机功率/kW	2 × 160
蓄能器系统工作压力/MPa	27 ~ 30
压力机和模具工作压力/MPa	25
油过滤等级, 高压油/μm	6
油过滤等级, 油箱过滤系统/μm	10
最高冷却水温度/℃	20
冷却水消耗量/L·min ⁻¹	200
最低冷却水压力/MPa	0.3

油箱有一个单独的附加油过滤回路, 用来过滤油箱中的液压油, 是一个肾形的回路。在这个回路中还包括用于液压油冷却的板式换热器。通常液压油冷却都是通过水冷。

(2) 压力机短行程缸控制系统 压力机床身上安装有双动短行程液压缸, 这种设计与传统压力机比较显著地降低了工作时液压油的使用量。所有的缸采用厚壁材料并且采用低摩擦密封, 为了提高使用寿命, 活塞是经过硬化处理, 精磨并且抛光的。液压缸的行程为20mm。

成形机短行程缸SSC系统主要控制工作台的运动, 并形成最大合模压力, 系统原理图如图3所示, 电磁阀动作顺序如表3所示。在成形过程中, 根据工艺要求, 合模压力还要跟随内高压成形力的大小, 因此控制系统采用一个主柱塞缸和四个活塞缸组成, 采用高频响应伺服阀控制。柱塞缸和活塞缸在向上运动时, 主要提供合模压力, 回程时, 由四个活塞缸带动柱塞缸运动。

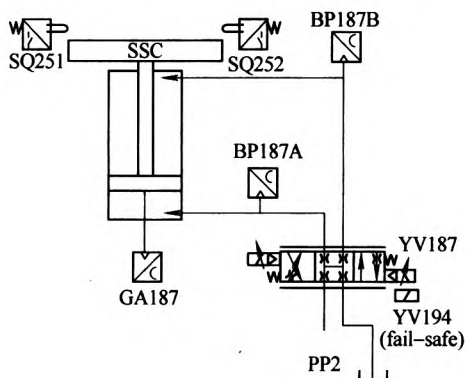


图3 短行程缸控制原理

表3 电磁阀顺序表

阀	YV187	YV194
SSC 停止		
SSC 合模(+)	0 ~ 10V	×
SSC 回程(-)	-10 ~ 0V	×

采用动态容腔理论和积分分离的PID控制算法, 可以时时控制合模压力, 并且达到很大精度。简化的系统原理如图4所示。

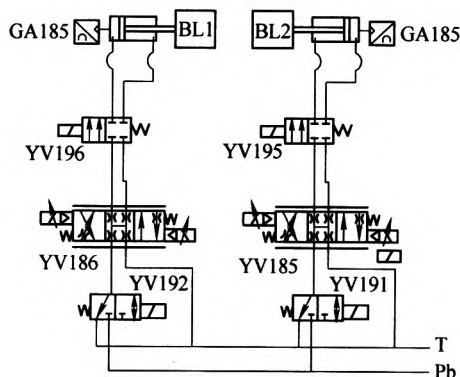


图4 滑块锁紧控制原理

系统中工作台位移可以有GA187位移传感器测量, 系统压力由BP187A和BP187B测量, 为了安全, 工作台设置了硬限位SQ251和SQ252。

(3) 滑块锁紧控制系统 为了安全, 滑块使用一个滑块锁紧装置, 在最上面的位置时可将滑块机械式锁紧。

在进行内高压成形时, 为了在滑块下死点位置锁紧滑块, 采用通过伺服缸控制的机械挡块。这些挡块把压力从压力机床身传送到框架。

压力机滑块锁紧采用伺服阀定位, 采用同步控制策略可以达到很高定位精度。各电磁阀得电顺序如表4所示。

(4) 冷却、先导和模具提升控制 本系统功能主要是模具轨道提升、滑块液压缸的液控单向阀、

表4 电磁阀顺序表

阀	YV185	YV186	YV191
BL 停止			
BL 出(+)	0~10V	0~10V	×
BL 回(-)	-10~0V	-10~0V	×
阀	YV192	YV195	YV196
BL 停止			
BL 出(+)	×	×	×
BL 回(-)	×	×	×

主回路各个先导阀组的控制油和泵站油的冷却，如图5所示。

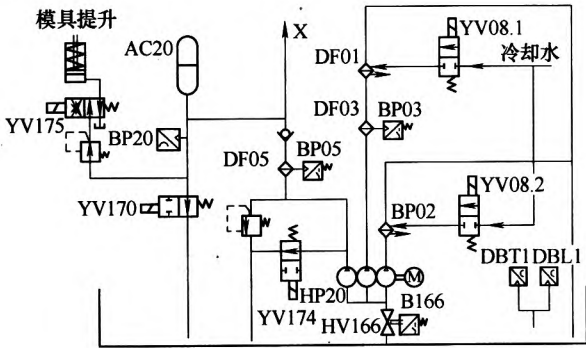


图5 先导、冷却和模具提升原理

为了达到最优配置，系统采用Parker的三联泵组，型号为：T67DDBS-045-045-B04，电动机功率15kW。电磁阀的顺序表如表5和表6所示。

表5 冷却电磁阀顺序

阀	YV08.1	YV08.2
冷却关		
冷却1	×	
冷却2		×

表6 先导回路电磁阀顺序

阀	YV170	YV174
电动机气动		
先导压力	×	×

(5) 滑块液压缸控制系统 压力机滑块采用焊接设计，而且导向系统可以减少由于偏离中心载荷带来的倾斜。滑块缸采用厚壁材料并且采用低摩擦密封。为了提高寿命，活塞是经过硬化处理、精磨并且抛光的。如图6所示。

框架间滑块采用8面菱形导向，保证滑块与框架间有16个点的接触导向。导向块位于滑块和压力机床身的角落，坚固并且淬硬，安装在框架立柱上。使得滑块与框架成为一个紧密的整体，框架在内高压成形工艺过程中能够尽可能地吸收偏心载荷。导向系统可调整，并且为自润滑。

上模安装在滑块上，由合模缸带动实现合模和

开模，控制方式为手动和自动。滑块油缸控制电磁阀顺序如表7所示。发送合模指令后，YV17、YV19、YV190、YV193、伺服阀YV184通电，有杆腔液压油经安全阀、单向顺序阀、伺服阀流回油箱。此时回油阻力很小，合模缸带动滑块、上模在它们自重的作用下快速下行，快速下行造成无杆腔形成一定的真空度，油液通过液控单向阀进入无杆腔补油。当上模快速下行到将要与下模接触时，压动行程开关SQ140，它发信号指令YV190断电，YV172、YV183得电，顺序阀在有杆腔形成被压，由于回油阻力加大，高压油经伺服阀和YV183进入滑块缸的无杆腔，推动活塞慢速下行，直至完成无冲击合模，并形成预合模压力，通过BP184A检测。

开模时首先通过YV189对滑块缸进行泄压，伺服阀换向，油液直接进入滑块缸的有杆腔，这时YV172失电，先导油打开液控单向阀阀芯，滑块缸无杆腔油液直接通过液控单向阀回泵站。

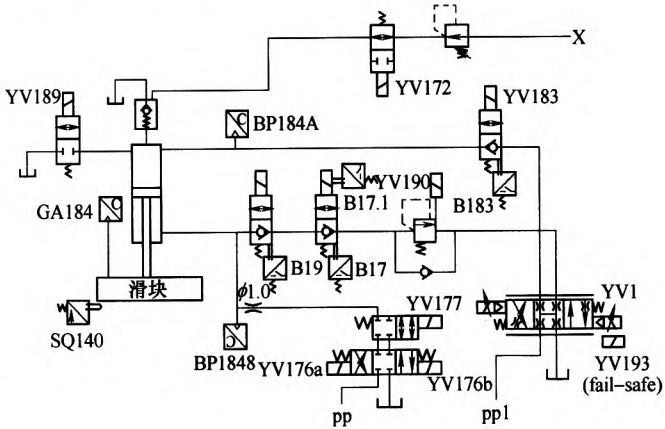


图6 滑块油缸控制原理

表7 滑块油缸控制电磁阀顺序

滑块 阀	自动				手动	
	合模	加压	开模	调整	升	降
YV17	×	×				
YV19	×	×				
YV172		×				
YV176a				×		×
YV176b					×	
YV177				×	×	×
YV183		×				
YV184	0~10V	0~10V	-10~0V	-10~10V		
YV190	×					
YV193	×	×	×	×		

2. 目前国内滑块缸控制系统

图7为目前国内小型内高压成形设备的滑块控制系统。上模固定在压力机滑块上，由合模缸14带动实现模具的开模和合模。发送合模指令后，电磁铁1DT、10DT、13DT及14DT通电，泵1和泵2的液压油经电磁换向阀10、单向阀11进入合模缸无杆腔，推动缸14活塞向下运动，由于10DT已通电，控制油通过二位四通电磁阀21已将液控单向阀16反向导通。有杆腔的油液通过阀1622及10流回油箱。此时回程阻力很小，缸14带动滑块、上模在它们自重的作用下快速下行。快速下行造成无杆腔形成一定的真空度，使缸14顶部充液油箱的油，通过充液阀13向无杆腔补油。当上模快速下行到将要与下模接触时，压动行程开关，它发信号指令10DT及14DT断电，阀21切断控制油，阀16反向封死，缸14有杆腔的油在阀15的设定压力下，通过阀1522及10回油箱。由于回程阻力加大，且泵2已被14DT控制卸荷，缸14带动上模在仅有泵1供油下慢速下行，直至完成无冲击合模。

合模后，缸14无杆腔的油压迅速升高，达到电接点压力表DY1的高压节点设定值时，11DT通电，使蓄能器12与无杆腔接通，它们的压力达到要求的合模压力后，延时数秒，1DT断电，缸14无杆腔的油液被单向阀11封死，系统进入合模保压状态。此时，蓄能器12补充无杆腔各泄漏点的漏油，保证合模压力在一个工件的生产过程中，仅有微小的下降。意外情况下，若合模压力低至压力表DY1

低压接点的设定压力时，该接点发信，控制台上相应的指示灯亮。

开模时，为了减小冲击，系统采取了预卸压措施。卸压指令发出后，12DT通电，11DT断电，缸14无杆腔的油液通过节流阀17、液控单向阀18卸压，卸压速率靠调节阀17的开度控制。

无杆腔压力卸到要求值时，2DT通电，泵1提供的液压油经阀10及16进入缸14的有杆腔及充液阀13的液控腔。缸14带动上模缓慢开启，无杆腔的油液经充液阀13流回充油箱。延时数秒后，14DT通电，泵2投入工作，上模快速回程。达到要求的开模高度时，压动行程开关，指令1DT断电，开模结束。顺序阀15在此起平衡阀作用，其设定压力以稍稍超过用来平衡缸14活塞、滑块及上模等重量的压力为宜。低压溢流阀20用来限制缸14回程被缸底限位时有杆腔中的压力，防止前缸盖受损。

3. 本系统和国内目前内高压成形设备系统比较

目前国内主要内高压成形设备液压系统是在现有拉深用液压机结构基础上进行改进，技术成熟、可靠，缺点是模具提升闭合使用主液压缸，行程较长，模具开闭时间长，在合模期间内需要大流量泵和蓄能器维持压力，浪费大，成本高。

短行程合模液压机合模系统由提升液压缸（小液压缸），机械垫块与液压垫组成，结构紧凑，成本低，模具提升闭合由小液压缸完成，时间短，液压垫（大液压缸）仅在合模阶段提供压力，合模压力高，可达到合模压力6 000t。

国内目前内高压成形部分，推制系统冲头控制采用分流集流阀，控制精度低，主泵采用定量泵，装机功率大。

本系统控制系统主要采用伺服阀，采用恒压变量泵，可实时进行调节。采用先进的同步控制算法，PID算法等先进的控制策略，控制精度高。

4. 结语

本文主要概述了内高压成形主机设备，主机的运行要求，液压控制系统组成和工作原理，通过和国内目前内高压成形机的比较，所设计液压系统具有国内先进性。MW

(收稿日期：20120114)

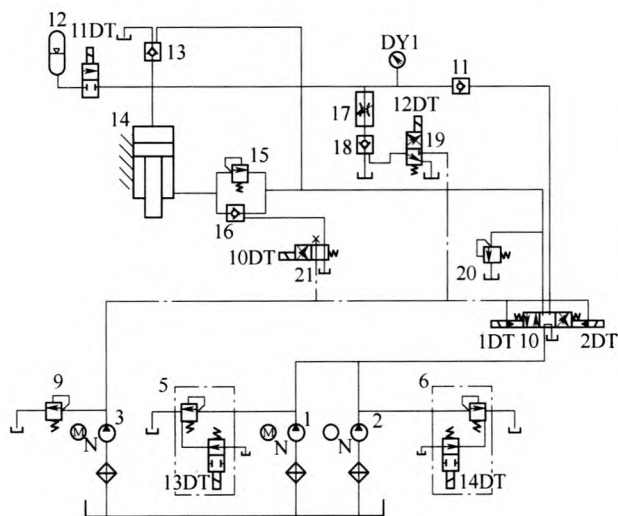


图7 内高压成形滑块控制系统