液压

提高液压机能源利用率

伺服泵的应用不仅提高了液压机的竞争力，更增加了其能源利用率，同时还使其保留了原来极好的灵活性与动态性能。伺服泵带来的另一个益处是简化了液压机的驱动系统。通过复杂的液压机原理图，专业人士能够了解其中的奥秘。

文 | Herbert Rüger

近几年来，电力伺服驱动系统的功率上限被一再突破，频频提高。这是伺服压力机机电系统不断发展带来的结果。其中，最为亮眼的就是没有飞轮的偏心压力机和曲拐压力机。伺服压力机机电系统的发展使得偏心轴的转速可以动态调节，加速和制动时的部分能源可以取自系统并回输给系统，而且其冲压行程也大大增加。但是由于其唯一的传递动力和能源的驱动部件采用了机械连接方式，因此降低了伺服压力机的灵活性。

作为液压机生产厂家，Coburg市的Lasco变形加工技术公司（以下简称Lasco公司）把设计、制造满足下列目标的液压机作为公司的首要任务：有着传统液压机的使用灵活性，达到最高的能源利用率，能够实现很高的行程次数，非常适于在挤压、深冲压和墩粗等传统变形加工工艺中使用。

在液压机的驱动系统设计中，原则上有两种方法：直接驱动和蓄能驱动。当然，两种方法也可以结合使用。在传统的直接驱动方法中异步电动机直接驱动定量泵或者变量液压泵工作，利用不同的液压阀把液压油输送到压力油缸中。根据工作需求，液压机可选择的液压控制阀范围非常广，可以是最简单的开关阀，也可以是复杂的比例阀或伺服阀。对压力机的压力和速度的调节以及液压缸行程位置的设定都是由电气控制系统和与其连接的传感器及控制阀来完成的。

简化液压缸控制系统

传统的利用液压阀控制的液压机有着相对较差的能源利用率。之所以如此是因为：在大流量液压系统中调节控制的液压阀有着很高的压力损失（图1）。另一方面，众所周知的液压缓冲能够把很大一部分力置换掉，而这一部分力的损

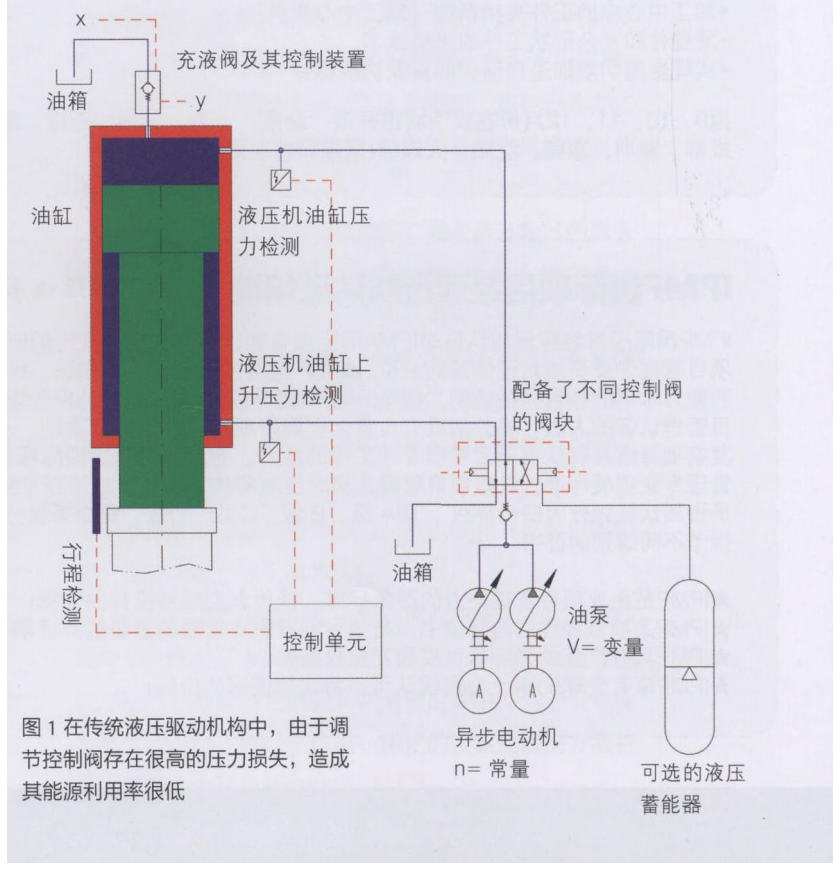

图1 在传统液压驱动机构中，由于调节控制阀存在很高的压力损失，造成其能源利用率很低

失就造成了能源浪费。另外，液压油实际上是可以压缩的。这样，在高压下液压缸就因液压油的压缩而储蓄了一部分弹性能。在压力降低时，油缸会把一部分压缩了的液压油释放到油箱。这种弹性能的释放也带来了能源损失。

伺服泵控制的压力机最大的特点是伺服电动机直接驱动液压泵（原则上与传统的驱动方式相同）。但这里的区别在于伺服电动机的可控制性能。伺服电动机可以准确的控制液压缸转子的转速、位置和液压泵的输出扭矩。这样一来用户就能够通过伺服电动机实现液压缸运动速度、压力和行程的准确控制，省去了液压控制阀和液压调节阀的使用。此时，液压油就成为纯传动元件，可以被称之为“液体齿条”。

在液压缸活塞杆制动时，可压缩的液压油推动伺服电动机成为发电机发电。这样，液压缓冲产生的反作用力经液压泵作用到伺服电动机上；伺服电动机发挥发电机的作用，将这一反作用力转化为电能。

压力机的模具在返回时的空运行中应能按照尽可能高的返回速度运动，以便提高压力机的工作频率。为此，液压机有一个充液阀：向液压缸的无杆腔充填液压油或者从无杆腔输出液压油。传统的液压机中液压缸面积较小的有杆腔与另一个油缸的无杆腔相互连通，而Lasco公司则一反常规，另外连接了一个伺服泵，这就保证了液压缸能够以最快的速度上升或者下降（图2）。油缸有杆腔和无杆腔的面积比可以有更加自由的选择。这也就为冲压力与返回力需求的设计提供了更广阔的空间。

在油缸快速上升和下降行程中，伺服泵也承担了制动功能。当压力机挺杆处在上方位置停止不动时，油缸活塞杆处在可调节位置。向环形有杆腔供油的伺服泵按照油缸的泄漏量准确提供补充油量，以保证活塞杆的停留位置不变。运动质量的势能部分转换为电能，输送到伺服系统的缓冲器中。在之后的冲压行程中，这些能量可以用于伺服泵的加速。

可以设定不同的速度曲线

当液压机的上模与工件接触

▲反馈服务编码M4791

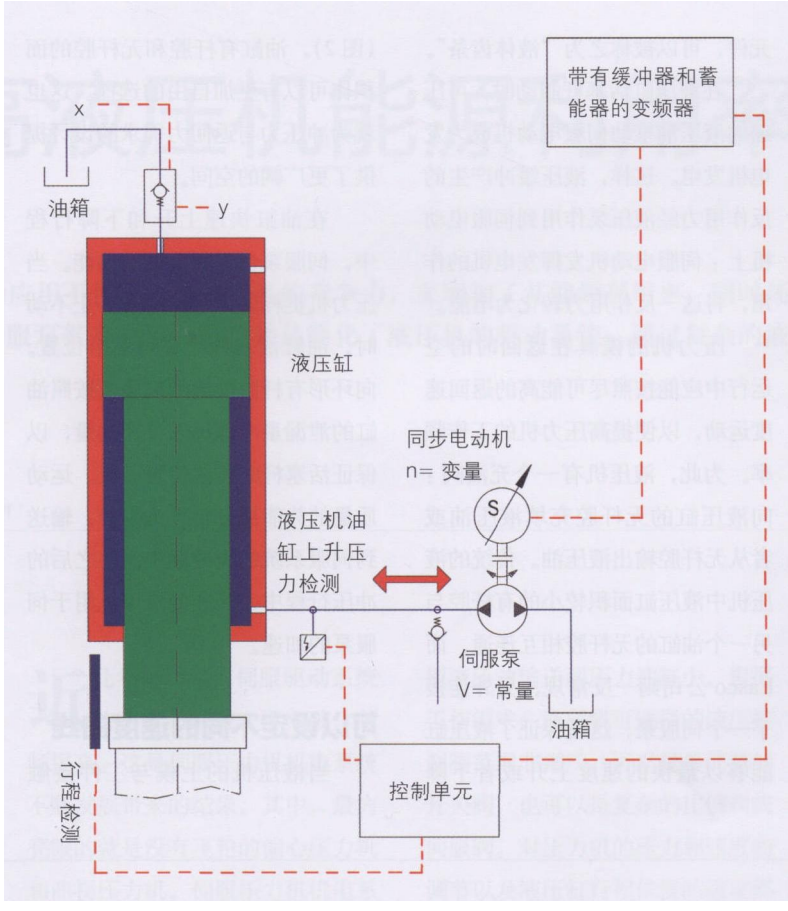

图 2 为了提高液压机柱塞及油缸活塞杆在空行程的返回速度，油缸下腔附加了一个伺服泵

时，即开始了挤压或冲压过程。充液阀关闭，伺服泵开始向液压缸充填高压的液压油。液压机挺杆沿冲压方向运动到预定的调节位置。设定速度由伺服泵的转速决定。而冲压力则可通过伺服泵的扭矩进行控制；因为液压机挺杆的实际位置是可以在挺杆处直接检测到的。可以为液压机设定特定的速度曲线，以便得到特殊变形加工所需的动态特性。液压机挺杆的上升和下降也理所当然的能够利用“手轮”来调节。

典型的变形加工过程都有其固定的冲压力曲线（图 3）。例如挤压和深冲压变形加工时的冲压力明显比较稳定，有着“常量”的特性。而顶锻时的压力曲线则相反：压力曲线的末端有明显的峰值突起。在整形和模压淬火时，压力机的行程很短，存在针式的峰值。在达到设定的液压力之后一般都有一定的压力保持时间，特别是在模压淬火工艺中，其工艺过程就是此类压力曲线的典范。对于这些典型的液压机工作过程，伺服泵液压技术提供了专门的解决方案。

液压缓冲的主要功能是吸收反作用力，避免液压缸把这些反作用力作用到液压机的主驱动装置上。而液压机的压力曲线往往与液压缸的行程有关。在多点缓冲技术中多个缓冲油缸共同安装在一块缓冲板上。在一般传统液压机中，缓冲力和反作用力都意味着损失的能量。而伺服泵液压机恰恰能够很好的利用这些“丢失了的能量”。伺服泵液压机利用专门的伺服电动机进行制动，让液压油来抵抗电动机的扭矩而流回油箱。

液压机挺杆驱动机构驱动着泵和伺服电动机运动。设定的电动机扭矩确定了泵和伺服电动机运动的力。变动的液压力曲线也就非常容易实现了。由伺服电动机转化的电能被保存在整个伺服系统的缓冲器中。因此，主驱动系统所需的一部分能源是来自缓冲装置的。

省下的液压油用于挺杆加速

液压机压力的减小部分补偿了主驱动系统所需的液压油油量。液压机使用的典型矿物油在压力为 2.50 MPa 时的延伸率大约为 2.5%。一般情况下，在液压缸活塞杆伸出时压力下降。因此，要补充到液压缸中的液压油油量较大。通过紧凑的液压系统、泵与液压缸之间的管道人们尝试把油量降至最小程度。

当挤压过程结束后，被压缩的液压油要从液压缸中排放出来，以便能够打开使压力模具快速运动时

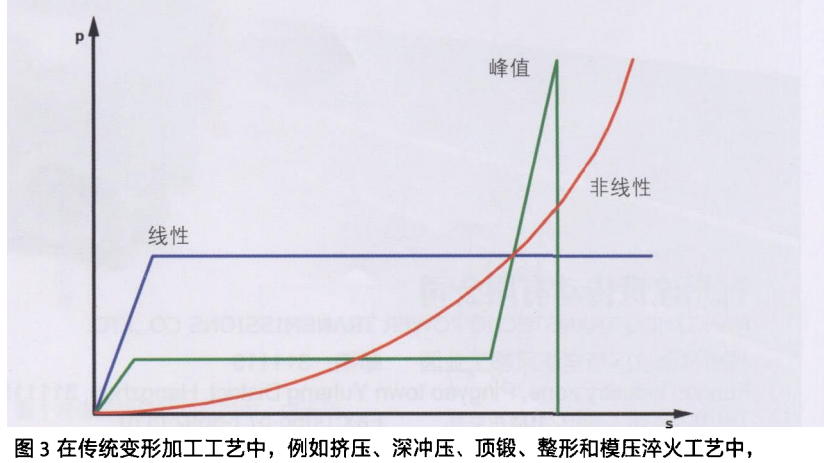

图 3 在传统变形加工工艺中，例如挤压、深冲压、顶锻、整形和模压淬火工艺中，伺服泵压力机的压力曲线

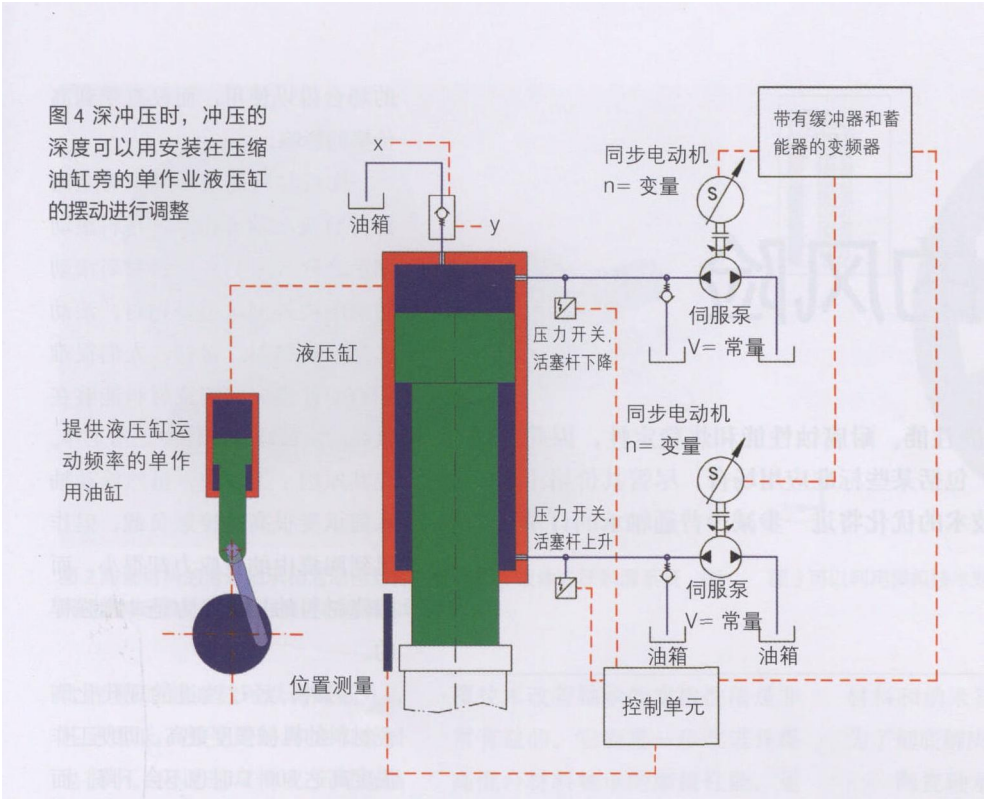

图 4 深冲压时，冲压的深度可以用安装在压缩油缸旁的单作业液压缸的摆动进行调整

所需的充液阀。在液压阀控制的压力机中，压缩了的液压油一般都流回油箱。此时的压缩能量（弹性能）转换为热量，白白损失掉了。而在伺服泵控制的液压机中情况则大为不同：伺服泵控制着压力卸荷，强制伺服泵转子按照相反的方向旋转，使伺服电动机成为发电机。这样就把液压油的压缩能量转换为电能，用于液压缸的加速运动。

利用伺服驱动轴控制充液阀

伺服液压机充液阀在液压机的工作过程中意义重大。因此建议：利用伺服驱动轴驱动这一伺服阀。这样做，一方面可以得到很短的反应时间和很高的阀动态性能，另一方面也避免了到达终点时的硬到位。利用伺服驱动轴控制伺服阀还能够按照理想的方式将伺服阀阀芯的运动集成到液压机的行程运动中，与压力曲线保持匹配。

对于典型的挤压和深冲压工艺过程，建议液压机伺服泵按照定量泵的状态进行工作，输送恒定、常量的液压油。通过伺服泵转速的调节使模具的运动与冲压工艺的各个工作点相互匹配，从而可以改变冲压速度。伺服电动机的输出扭矩必须足够大，以便液压泵能够输出液压机工作时所需的最大压力。

在整形工艺中，在模压淬火以及变形加工等液压力不断增加的工艺过程中，伺服泵按照变量泵的模式工作是非常有优势的。它能够保证在压力升高时所需的电动机力矩恒定或者减小。同时，液压缸活塞杆的运动速度也可以减慢。而它的主要优点是减少了电气系统的安装功率。在压力保持阶段伺服泵所提供的仅仅是系统泄漏的油量。

提高液压机的缓冲性能

在深冲压工艺中，利用挺杆的高频振动可以明显提高液压机的缓冲性能。高频振动的频率范围在 10 ~ 50 Hz；振幅在十分之一至几毫米之间。

安装在液压缸旁、发挥高频振动的单作用油缸是由伺服电动机驱动的（图 4）。此时单作用油缸的振动频率和振幅与液压油的输送流量有关。若用曲柄机构取代刚性连杆机构，则可调节振幅。类似的液压驱动系统已经在热变形加工的成型锻造和自由锻造设备中采用了。

CNC 控制下的协调运动

在伺服泵驱动的液压机中应优先选用性能强大的多轴控制系统。所有的运动都具有 CNC 数字控制的特性。因此，西门子公司的 Simotion 数控系统就是对各个轴运动进行协调控制的最佳选择。利用这样的控制系统，深冲压时的冲压行程次数可以达到最少 40 次 /min。在热变形加工中液压成型锻已经实现了 200 次 /min 的锻造速度，而且设备的体积也明显小于传统液压阀控制的设备。

但在此系统中必须有一定数量的开关控制阀，以保证安全技术规范的规定和要求。这些开关控制阀的功能仅限于开与关的控制。所有调节参数都以数字信息的形式保存和记录。这样，在设备供货出厂后恢复初始配置的工作也大大简化，而且也有可能执行测试程序，对所有泵磨损泄漏的情况进行检测和监控。液压机的电力设备也可作为“欧姆式用电器”连接到电网上，省去了无功功率需求：只有在需要液压油流动时驱动电动机才工作。

Lasco 公司称，这种伺服泵驱动的伺服液压机有着很强的输出竞争力。这一液压驱动系统将会得到进一步的发展、完善和简化。随着电气伺服电动机功率上限的不断提高，这种由伺服泵直接驱动的液压机功率也将进一步提高，进入大功率液压机市场。目前在大型曲轴的热变形加工领域中，已经有一个功率达 6000 kW 的工程项目了。MM