

在金属塑性成形行业高质量发展中大显身手的伺服压力机（系列四）

文 | 江苏兴锻智能装备科技有限公司 创始人 副董事长 张清林

伺服压力机对产品高精度的贡献和节能减排原理

金属塑性成形时的速度与产品精度的关系

以前我在多种场合都曾讲到，金属锻压的设备选型和模具的设计环节中，一个合格有经验的工程师都知道，必须要考虑适合金属材料的加工速度或冲压速度的因素，才能设计出匹配的模具来。然而，以前的传统压力机的冲压速度是不能改变的，也就没法奢侈地去考虑速度的问题。当冲压成形的产品精度和品质不佳时，很多操作工人和技术人员本能就认为“这是因为模具不好，所以精度和质量都上不去”。把问题归罪于模具不好，指责模具设计者水平不够是冲压厂最常见的做法。于是技术人员就开始了各种各样的修正，甚至进行部分的设计变更，通过艰辛的努力，有时也可能达到要求的精度和质量。当修改以后的模具生成出符合精度和质量的产品时，就似乎验证了“果然是模具不好”的判断。但是，随之而来的往往是这个模具损伤得很快，给产品造成了很多划痕等，于是问题再一次归结到模具上。

实际上，在金属冲压加工成形过程中，切断速度、落料速度、精冲速度、弯曲速度、拉伸速度、锻造的挤出速度、压痕速度等等这些不同的速度指标至关重要，左右着加工产品的精度和质量。在冲压的拉伸加工时，速度过快会使材料发生裂纹，如果不考虑这个因素，只一味地去对模具的调整和修正，就完全搞错了问题解决的方向，而这样的实例屡见不鲜。

因此以往成形品的精度主要靠压力机操作者的技能，不

同的人用同样的工具制造出来不同精度的产品被普遍认为是理所当然的。所以提高操作人员的技能，减少不同个体的加工偏差，从而提升成形品质的稳定性是企业通行的做法。

我们简单地以曲轴压力机的拉深为例，大家知道曲轴压力机是利用曲轴的偏心部分的回转使滑块上下运动的，图 1 表述了滑块的上下运动随时间变化的曲线。在整个行程中，滑块处在中间附近位置时速度是最快的，向下死点行进的过程是按三角函数的曲线减速，下死点时速度为零。

进行拉深加工时，在产品的拉深深度距离下死点上面较高的位置，即速度还很快的地方开始向下死点行进的过程始终在进行拉深加工，直到拉深加工完成时正好是下死点速度为零。也就是说拉深加工的过程，是在速度由快到慢的速度变化的过程中进行的，被压板按压的边缘部分拉深也是在速度变慢的过程中进行的，同时对速度非常敏感的摩擦系数也在发生着变化，对于皱纹的发生和开裂等也会产生极大的影响。另外、冲头通过凹模的拐角部的速度也是在变化中，凹模拐角部进行的弯曲、弯曲回弹的残留应力也会变化，因而影响到拉深部件的精度。

下面我们再从图 1 中具体分析一下压力机滑块上下运动随时间变化与成形速度的关系：

可以看出图 1 中滑块的运动为实线，速度为虚线，滑块在上死点和下死点的速度为零，行程的中间（曲轴角度 90° ）附近为最大。拉深加工的开始角度为 135° ，这个角度根据拉深深度而变化。一般拉深加工时的材料的极限拉深

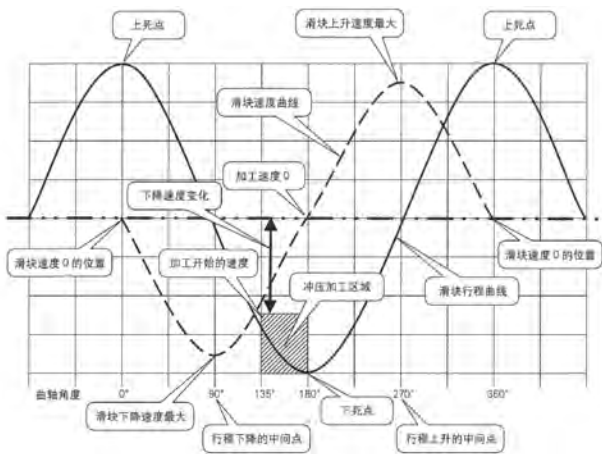


图 1 滑块上下运动随时间变化的曲线

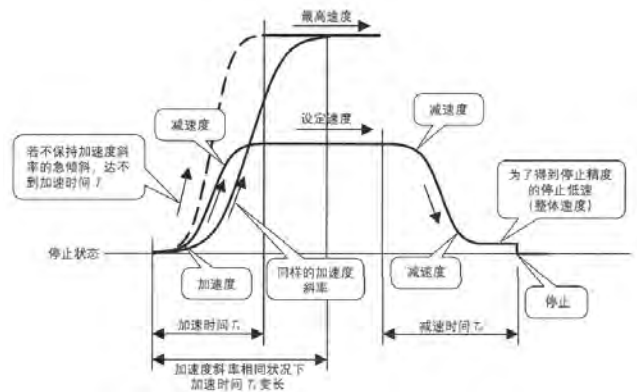


图 2 伺服压力机速度控制的基本模式

速度是 300mm/s，如果让开始拉深时的速度在这个速度之下，拉深开裂等问题就会少一些。因此要求压力机具有能够根据拉深产品来改变速度的机能，虽然连杆式压力机、可变速的压力机相继出现，但是选择范围很小，仍然不能满足生产的需求。而伺服压力机则是通过数控技术可以任意设定最合适的拉深速度，不但扩大了冲压加工的范围，也使伺服成形技术真正地得到了更广泛的应用。

由此可以看出，实际上冲压加工的速度在很大程度上是影响产品精度、品质的原因，因此我们有必要考虑产品的精度与加工速度的关系。即被加工金属材料的加工速度，也就是金属材料的变形速度左右着冲压加工产品精度和质量的好坏。以前认为冲压加工的速度是不能改变的，可以改变的只有压力机每分钟行程数的人占有相当大的比例，这也是当时技术限制无奈的现实。

但是，在伺服压力机诞生之后，由于可以进行人为精确地控制冲压机械的加工速度，也就意味着以上的金属成形速度就可以在一定的范围内，随时得以运用自如地改变了。事实上由于选择了最合适的加工速度，冲压产品的精度和品质得到了很大的改善，而且模具的磨损也减少了。不仅如此，冲压加工时的噪声降低了 5 ~ 10dB，整个冲压工厂的噪声得到了大幅度降低。因为噪声的根源是冲压加工时发生的振动，使用了伺服压力机后减少了振动，从而降低了噪声。

总之，伺服压力机是能够提高冲压产品精度和品质，降低冲压工厂的振动噪声，延长模具寿命、延长模具维修间隔，

从而达到降低模具成本等效果的高质量冲压机械，这是不争的事实。

我们再进一步来看如图 2 所示，加速度曲线是一定的，减速度曲线和停止精度等都是在调整整体速度改善后，根据设定速度使加速度曲线保持不变。因此，与压力机操作盘的设定速度方法不同，达到设定速度的时间是不一样的。即实际加速时间和理论时间会根据速度的变化而变化。伺服压力机的运转模式有曲轴式运转、多连杆式运转，由于运转方式的不同，压力机每分钟的冲压次数也随之而变。

伺服压力机可以提前设定几种典型的运转模式，有震动模式、自由往返模式和挤压模式等。不同的压力机的加速和减速理论曲线也会不同，又由于惯量 GD^2 等多种变动因素，有的压力机只能实现部分功能，但是这些压力机都在市场上流通着，所以在选择伺服压力机时，一定不要局限于传统的固定概念，要充分认识到伺服压力机的运转特性是根据伺服电机和控制软件的不同而不同。

总的来说，伺服压力机的工作原理就是通过伺服电机的精确控制，结合高精度的传动装置和实时监测系统，实现对精度的精确控制和在线质量管理。这种设备具有节能、环保、安全、低噪、使用和维护成本低等优点，是传统压力机的一种升级换代产品。

伺服压力机与传统的变频压力机相比较的优势

伺服压力机由于简化了机械传动构造，具有高效性，高精度和高柔性，可以任意设定和改变加工过程中的速度，可

以实现位置，速度的闭环控制，获得任意的滑块运动特性，无论是在板材的冲压上，还是在锻造成形上，伺服压力机与传统压力机相比的优势归纳如下：

- (1)大大提高了成形品的拉深精度。
- (2)减少了加工成品的皱褶、破损等缺陷。
- (3)减少了对模具的损伤，也就减少了模具的保养及修理次数，从而提高了模具的寿命。
- (4)用传统压力机不能做到的板材锻造，用伺服压力机可以实现了。
- (5)加工中的振动和噪音大幅度降低，改善了以往冲压工厂恶劣的工作环境。
- (6)降低了电力损耗、节省了能源消耗，提高了经济效益。
- (7)没有了传统压力机的离合制动器的磨损问题，节省了这方面检验和修理所需要的人力、物力和财力。
- (8)要得到品质优良的拉深成形零件，就需要对缓冲装置的压力以及顶销进行很细微、精确的调节，而伺服压力机可以使这些调节变得十分简单便捷。
- (9)传统压力机在每一次换模后都需要进行微调，费时费力。使用了伺服控制的压力机可以在换模后立刻生产出合格的产品。
- (10)试模或模具更换后，模具调整时使用的“寸动运转”

需要较高的操作技能，而伺服压力机做模具调整时可以做到每一次 0.01mm 的微动操作，使模具的调整操作变得简单方便。

(11)传统压力机的曲轴频繁地改变运转方向是比较困难的，伺服压力机可以简单地实现微动的正反变化。除此以外还有一些其他的效果。

如表 1、表 2 所示，列举了伺服压力机的特征以及与传统压力机的对比。在这里拿来与伺服压力机进行比较的是指有飞轮结构的机械式变频压力机，由于两者在驱动方式上的差异，使得伺服压力机的优良特征特别明显。

从表 1 和表 2 中可以看出伺服压力机有很多优势，在冲压生产中能够达到最好的效果。但是并不是说伺服压力机是万能的，还需要压力机的使用者详细了解压力机的特性，使其性能得到最好的发挥。

客户对使用伺服压力机一个典型实例的具体分析

在此我们举一个很典型的实例，就足以说明伺服压力机对于提高产品的精度和效率有多么明显的作用。

在 2014 年初时，我司就相继接到了美国菲特尔·莫古和奥地利的米巴公司发来的研发需求，他们都生产汽车发动机的各种轴瓦。这些轴瓦是由钢 + 铝或钢 + 铜这样的复合材料制成的，精度要求非常高，特别是真圆度、内圆的贴合

表 1 冲压机械的驱动方式和构造特征比较

项目	伺服压力机	飞轮结构的变频压力机
驱动源	AC 伺服电机（回转速度可变）	三相感应电机（回转速度固定）
冲压加工中能量的储备	通用压力机由工厂电源供电。深拉深和大型冷锻等需要很大加工能量的压力机需要增设另外的蓄电电容。通过电容的设置可以产生再生能源来积蓄能量。另外也有用电机速度的变更达到储蓄电能的方式。	利用飞轮的回转惯性蓄积能量。冲压加工时，使用了相应能量的同时，其感应电机一直处于工作状态。
电机的运转电力	伺服电机只有在压力机运转时才做回转运动，不会有空转，有效地节省了能源。而压力机停止时，伺服电机只需要很少的制动电流即可。伺服压力机比飞轮结构压力机节约 30% 以上的电力。	压力机停止使用时，如果没有停止电机，电机仍然会带动飞轮空转。这种情况下的空转消耗造成了很大的浪费。
驱动系统	伺服电机→驱动轴→小齿轮和主齿轮→曲轴	感应电机→飞轮→离合器（或湿式摩擦片）→小齿轮和主齿轮→曲轴 特别是摩擦离合制动器的空转会消耗很多的电能。冬天由于油温较低，几乎接近额定电流的 50%。
微速寸动运转 超微速运转 瞬间的正转、 反转交互运转	在进行模具安装调试时利用旋转手柄操作，伺服电机可以实现滑块 0.01mm 的上、下微动。瞬间的正、反转操作都可以。但是要注意这种操作不能进行加工和试模。	只有利用离合器的寸动运转方式。瞬间的正转、反转交互运转不能进行。

表 2 驱动方法和滑块运转模式比较

项目	伺服压力机	飞轮结构压力机
压力机的启动和停止	由伺服电机实行启动和停止。 注：虽然伺服电机带有制动装置，但它不是用来停止压力机的，而是为了防止滑块因自重下落的。在改变了 SPM 后，上死点的位置不会发生改变。	由摩擦离合器启动。 由摩擦制动器停止。 注：在改变了 SPM 后，上死点的位置会发生轻微改变。
滑块的运转模式	可以预先输入多种标准模式，而且还可以在标准模式之外任意地输入不同数据，使得加工方式更加灵活。 (1)通常的曲轴运转模式 (2)任意的连杆运转模式 (3)在下死点附近进行短行程的反复运转模式（可以增加每分钟的行程数）。 (4)在下死点附近低速进行落料加工的运转模式，以减轻加工噪音（降低 SPM）。 (5)在下死点附近加压停止的运转模式（在进行精度要求高的弯曲加工和压痕加工时使用）。 (6)容易实现与送料装置的连动（因为压力机本身是使用 CNC 控制系统的）。 (7)可以通过试冲找到最合适的运转模式。	不能任意设定滑块的运转模式。
落料加工时瞬间释能的控制	可以减缓滑块下降时上、下模的冲击降低噪音，减少模具的损耗，以及模具维修费用。大大减轻落料冲压时常见的过冲瞬间失能冲击现象。可以实现高速下落，低速冲裁不断地往复变化冲压速度。这样既可以提高压力机机架的刚性，同时提高高级进模的冲压速度。	连杆式压力机可以适当降低一点加工速度，而曲轴式压力机很难。

面的贴合度的要求很严格（详见图 3 的产品和贴合面要求所示）。

然而，这种复合材料的反弹性很强，用一般传统的机械压力机很难确保产品的精度，无奈就选用油压机的低效生产方式，但是远远满足不了产能的需求。这时，我们就直接推荐了伺服肘接式压力机，利用好伺服压力机在下死点的保压功能，配合他们的模具工艺开发，结果一炮打响，既满足了产品的精度，提高了贴合度，又利用保压后滑块快速返程的

功能，大大地提高了加工效率，不仅适用于带料的级进模生产方式，又适用于定尺寸的板材送料加工。该解决方案至今已经活跃在客户现场近十年了，效果非常明显，从此也就为兴锻伺服品牌打造了一个很好的品牌口碑，我们也就同时亮出了替代进口，为客户创造价值的响亮口号！

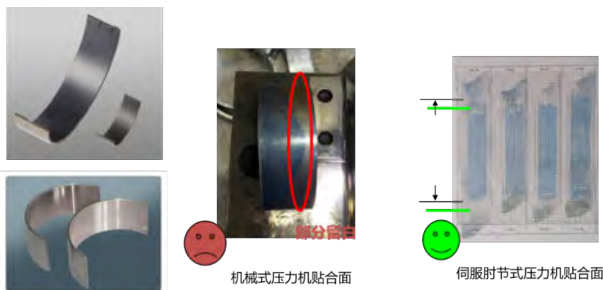


图 3 轴瓦产品与不同的装备成形的贴合面比较



图 4 客户现场使用的兴锻伺服压力机

当时客户在生产了一段时间验证后所出具的对比表（详见图 5）被我在全国的几场大型讲座中做了有针对性和有说服力的详细介绍，引起了行业的巨大反响。业内加深了对国产伺服压力机的认识，也坚定了我们推广国产伺服压力机的信心。

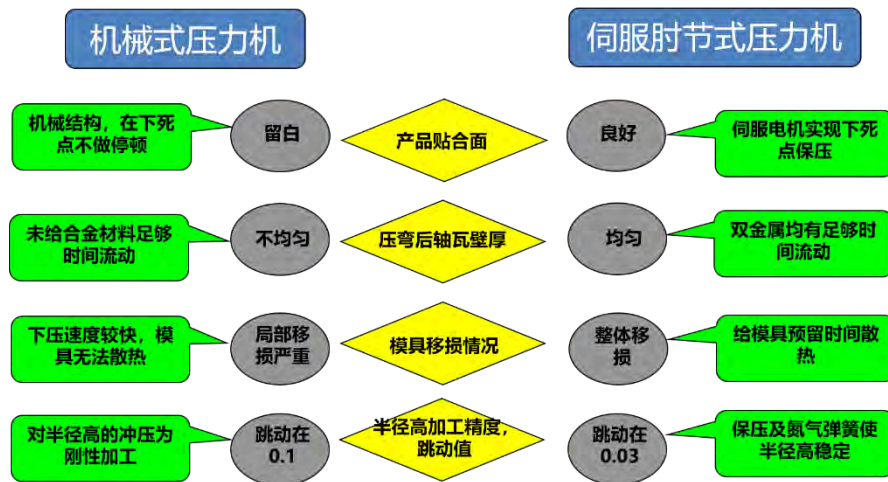


图 5 伺服压力机与传统的机械压力机对轴瓦成形的效果对比

伺服压力机的节能减排效果的分析

在前面表 1 中，我们也归纳到了伺服压力机的节能减排的优势，一般来说主要是对具体加工过程中的回馈电流实施储存和释放进行具体策划和有效利用，再加上伺服电机没有空转现象的优点，其节能减排的效果是非常可观的。这些年来，客户对使用真正的低速大扭矩直驱的伺服压力机得到的普遍结果，都验证了伺服压力机比飞轮结构传统的压力机至少要节约 30% 以上的电力。因此欧美和日本的用户在选用压力机时，首先是要选择伺服压力机，这早已经成为行业的一种基本常识。

其具体理由可以分析如下：

(1) 普通压力机配置有机飞轮，空行程时由飞轮储能，有负载时再将能量释放。而伺服电机只有在压力机运转时才做回转运动，不会有空转，与传统压力机的电机在不做工时照常带着飞轮照样在转动的情况相比的话，明显会有效地节省了这部分能源。

(2) 在压力机停止时，伺服电机只需要很少的制动电流即可，而传统的压力机则需要很大电流。

(3) 伺服压力机在匀速或者加速时，伺服电机作为电动机将电网电能转换成机械能驱动压力机匀速或者加速运行，当压力机减速或者制动时，则变成发电机，将机械能转换成再生电能反馈到储能装置里以供下次使用。也就是说，在压力机工作交替进行时会产生回馈电流，一般都会采取大量的电容装置将这部分电流储存起来，等到下一个动作加压

时，它会优先地释放出这部分回馈电流，不足的部分由电网的电流迅速补充上来，因此这部分节电效果也非常明显。

值得注意的是，这里需要对再生电源进行可控的有效管理才行，如果不对再生电源进行管理，会对电网产生冲击，恶化电网供电环境。一般来说对于母线电压要维持在 600V 以上，确保对电网不会产生任何冲击。至于有关必须配置的电容容量，要视具体的功率和扭矩的大小来测算确定。

在我国推进伺服压力机的过程中，我们有时候也会听到对伺服压力机节电效果往往是持怀疑态度，甚至持否定态度。那这种状况是如何产生的呢？

首先，大部分客人往往是从几个实际现象中看到的直观实情，就简单地下了结论，比如说，伺服压力机与外界主电源的电缆要比传统的压力机粗一些，伺服电机的功率比变频电机的功率要大一些，这是基本事实无可非议。但是很遗憾，不可忽视的是，伺服压力机不做工时其电机是不运转的，而且伺服压力机对回馈电流的储存和有效利用这些显著节电效果并没有得到综合因素给考虑进去，大有一叶障目，不见泰山的真实比喻。

当然我们也不排除我国一些压力机厂家在初期开发伺服压力机时，仅仅从成本的角度出发，不仅是用市场上的标准伺服马达，高速、小扭矩而且不直驱，更为不可思议的是，并不配置电容储能，而是选用了电阻箱的方式，让回馈电流就白白地浪费掉了。

该客户当初选择伺服压力机的主要原因是因为：传统压

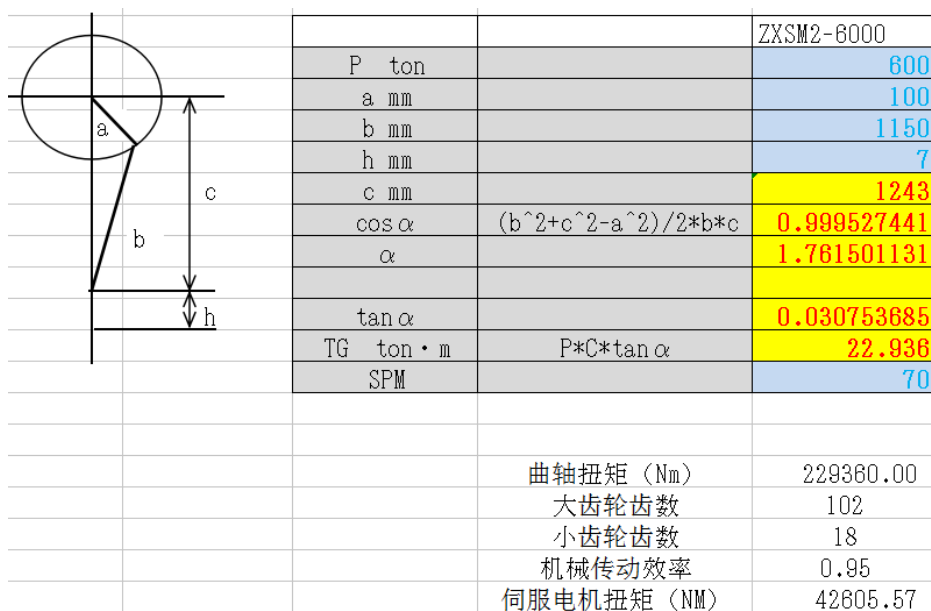


图6 对客户产品选用伺服压力机的实际计算结果

力机在生产中无法满足高速生产，想要使用伺服压力机中的钟摆模式来提高生产效率。客户在了解到我们兴锻之前就已经有了一个初步的设备选型，是国内其他一家伺服压力机生产厂家提供的方案，使用的是两个高转速、小扭矩的伺服电机配合，利用减速机构来达到伺服的滑块运动曲线。因此，客户反映他们引进这款伺服压力机后，远远没有达到当初的目的，精度并不高，而且利用钟摆方式加工时，由于有减速机构造成的齿轮换向噪音非常大，尤其是这台伺服压力机根本就不节能。

后来，我们应客户的邀请，去现场进行了详细的诊断，发现那个压力机厂家选用的两个伺服电机总扭矩才不到 10000Nm，远远低于我们经过严谨计算出来的 42800Nm，如图6所示。

图7是我们两家不同模式的处理回馈电流的对比情况，可以看出两者成本固然悬殊较大，但是客户好不容易投资的设备，却达不到基本的要求，不能不说本末倒置，非常遗憾，而且这件事严重地影响到了对伺服压力机的形象，在客户中造成了非常严重的影响，这就是活生生的典型案例。

因此，当我们判断伺服压力机的好坏时，一定要全面考虑和综合判断，伺服压力机对产品高精度贡献和节能减排的认知是不容置疑的，而且选择伺服压力机时，其性价比一定

是一个非常重要的判断条件。

作为伺服压力机设备厂家，就要有义务地帮助客户去如何正确地选择最适合的伺服压力机，这一点在后面会做详细的介绍。MFC



图7 两种不同地处理回馈电流的方式