

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

伺服压力机可编程控制所带来的无限成形模式

江苏兴锻智能科技有限公司从2011年9月18日成立起，就瞄准当时国际上锻压设备行业最先进的技术领域，与北京超同步公司团队共同致力于国产伺服压力机的研发和制作。在2012年3月，兴锻首先推出了第一台国产伺服压力机，并在当年的深圳国际机械展会上亮相。这台110吨伺服压力机ZXSH2-1100完全实现了国产化，是国内第一次与国际同轨，采用了低速大扭矩直驱永磁同步电机。一直被卡脖子的伺服电机、驱动和操作系统是双方共同开发的。

在近一年的时间里，兴锻对这台设备加载连续实验和不同运动模式的调试，不断改进、完善和优化，积累了许多宝贵的数据和经验，为后续的国产化量产奠定了坚实的基础。

同时，笔者凭借在海外著名压力机设备商积累的工作经验和技能，开始了致力于国产伺服压力机的研发和行业推广：2012年开始在中国锻业协会的专业期刊《锻造与冲压》连载了18期文章《伺服冲床的构造及使用全析》；在日本《锻造技术》杂志上发表《中国冲压行业在向伺服冲压技术发起挑战》；多次在全国大型学术会议和商业论坛上发表专题讲座：“国内外伺服压力机械发展历程启示录”、“伺服压力机与冷温热精锻加工的现状与发展”、“关于汽车零部件及高强度钢板的伺服冲压加工”等等；在笔者的《金属冲压工艺与装备使用案例宝典》一书中，重点叙述和介绍了伺服压力机的主要特点，优势性能以及应用范围等，在行业内取得较大影响，受到了专业人士的好评。

因此，兴锻也率先成为国家伺服压力机行业标准的起草单位。在2017年，中国首次举办的第十九届国际金属板材成形会议（19TH ICOSPA CONGRESS）的大会上，笔者代表国内唯一的锻压装备厂家，做了“中国伺服冲压技术CHINA SERVO STAMPING TECHNOLOGY”的专题报告，也受到了国内外专家的好评称赞。

而且，兴锻每年参加不同的展会，把新推出的伺服压力机展示出来，并带模具进行现场实际加工演示，与广大的客户进行深度交流。在这一系列的推广过程中，行业人士和众多客户也都基本了解到了国产化伺服压力机的优势。下图一是兴锻最近几年连续推向市场的部分系列伺服压力机。

简而言之，机械伺服压力机是应用了由伺服电机对速度、位置和扭矩三种矢量进行闭环控制的原理，驱动曲轴或者肘节式、多连杆式转动结构，带动滑块上下相应地做出多种多样的运动模式，正由于这些随意多样性的运转模式，使得滑块可实现无限不同的向下加压的可能性，可在下死点实现类似油压机一样的停顿保压功能；可实现正逆往返运动等的加压方式等。

低速大扭矩伺服电机、大功率伺服驱动器和伺服操作系统是伺服压力机的核心组成部分，它们各自具有不同的作用和特点，共同构成了伺服压力机的高精度、高速度和高效率的运动控制系统。其中三者的特点和功能如下：

（1）低速大扭矩伺服电机是伺服压力机的关键部件，它能够输出大扭矩和高速度，实现高精度和高速度的冲压和



ZXSN1-1600



ZXSN1-4000

ZXSN1

兴锻伺服肘节式单点精密压力机



ZXSN2-5000



ZXSN2-6000

ZXSN2

兴锻伺服肘节式双点精密压力机



ZXSFN-4000



ZXSFN-6500



ZXSFN-12500



ZXSFN-16000

ZXSFN

兴锻伺服肘节式冷温精锻压力机

图 1 兴锻目前投入市场的伺服肘节式压力机机型

成形加工。低速大扭矩伺服电机通常采用永磁交流同步电机。

(2) 大功率伺服驱动器是伺服压力机的控制部件，它能够在大功率的电力驱动和高精度的运动控制，实现伺服电机的快速、精确的运动控制。大功率伺服驱动器通常采用数字信号处理器（DSP）和现场总线技术。

(3) 伺服操作系统是伺服压力机的软件控制部件，它能够实现对伺服电机和伺服驱动器的控制和管理，提供友好的人机界面和多种运动控制模式。伺服操作系统通常采用嵌入式操作系统或者实时操作系统。

总而言之，伺服压力机利用伺服电机取代传统储存能量的飞轮，可编程控制就是一种高度灵活和可定制的操作系统，它以伺服控制的方法对驱动器发出指令，达成速度、行程曲线等加工参数的可调性，能根据不同的加工情况加以调整，设定合适的轨迹曲线，来通过大功率伺服驱动器来使得伺服

电机实现无限的运动成形模式。

伺服压力机的操作系统是用于控制伺服压力机运动控制 and 数据处理的软件系统。其操作系统通常具有实时性、稳定性、可靠性和高效性等特点，能够满足伺服压力机高精度、高速度和高效率的加工要求。

一般来说伺服压力机的操作系统通常包括以下功能：

(1) 运动控制：能够控制伺服压力机的伺服电机运动，实现高精度和高速度的冲压和成形加工。运动控制通常包括位置控制、速度控制和加速度控制等功能。

(2) 数据处理：能够处理伺服压力机的传感器数据和控制参数，实现数据的实时处理和实时控制。数据处理通常包括数据采集、数据处理和数据传输等功能。

(3) 人机界面：能够提供友好的人机界面，实现操作人员对伺服压力机的控制和监视。人机界面通常包括图形界



图2 普通压力机传动机构



图3 伺服压力机传动机构

面、文本界面和触摸屏界面等。

(4) 网络通信：能够实现伺服压力机与其他设备和系统的网络通信，实现数据的交换和共享。网络通信通常包括以太网、现场总线和无线通信等功能。

常见的操作系统又分为嵌入式操作系统（Linux、VxWorks），和实时操作系统（RTOS）。伺服压力机编程控制所使用的编程软件通常采用的是PLC编程软件，使用的是PLC编程语言。PLC编程语言是一种基于逻辑和顺序控制的编程语言，具有简单易学、易用的特点，能够实现伺服压力机的运动控制、逻辑控制、数据处理和通信等功能。常见的PLC编程软件有西门子的Step 7、三菱的GX Developer、欧姆龙的CX-One等。具体使用哪种编程软件和编程语言，需要根据伺服压力机所使用的PLC品牌和型号来确定。

具体来说，伺服压力机嵌入式操作系统与实时操作系统都是专门为伺服压力机设计的软件系统，用于控制伺服压力机的运动控制和数据处理。两者在功能上有很多相似之处，但也存在一些区别。以下是伺服压力机嵌入式操作系统与实时操作系统的比较：

(1) 实时性：实时操作系统的主要特点是可以保证在有限的时间内完成任务，从而满足伺服压力机高精度、高速度和高效率的加工要求。实时操作系统的实时性较强，能够

确保在规定时间内完成任务，而嵌入式操作系统可能对实时性要求较低。

(2) 主要功能：两者差别不大，但实时操作系统可能更加注重实时性和高效性。

(3) 硬件平台：嵌入式操作系统通常对硬件平台的要求较低，可以运行在各种嵌入式硬件平台上；而实时操作系统可能对硬件平台的要求较高，需要具备一定的计算能力和存储空间。

(4) 开发难度：实时操作系统的开发难度相对较高，需要具备一定的专业知识和经验；而嵌入式操作系统的开发难度相对较低，易于上手。

因此各设备厂家具体使用哪种操作系统，需要根据伺服压力机的具体需求和硬件平台来确定。业界使用嵌入式的操作系统比较多一些。

传统的变频机械压力机大多以曲轴、肘节等连杆机构为主，其原理是将电机驱动的旋转运动经由内部的齿轮等机械机构转换成上下往复的直线运动，但是其冲压曲线却无法进行灵活调整，压力机也就只能做单一的运行模式。

为了形象地理解对伺服压力机的编程控制，我们首先了解一下的传统凸轮机构，在传动系统的设计中，一旦涉及到改变运动轨迹我们通常就会想到“凸轮机构”。凸轮机构是一种圆柱形或平板状的机构，主要是根据主动件曲线外形或

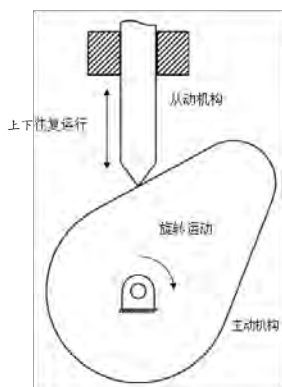


图4 凸轮机构

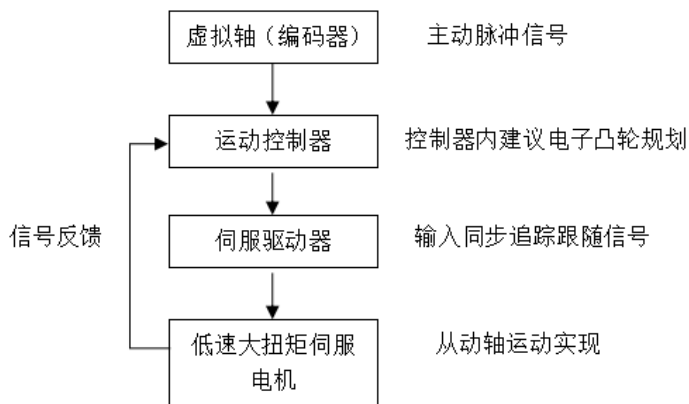


图5 伺服曲线规划架构

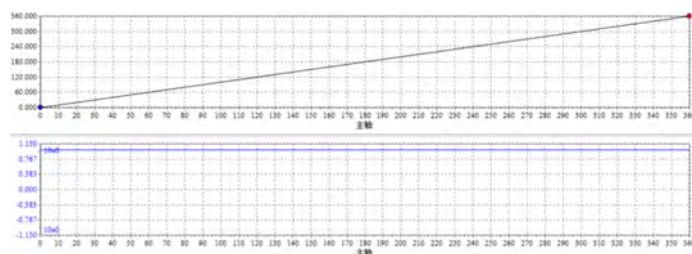


图6 虚拟轴的规划

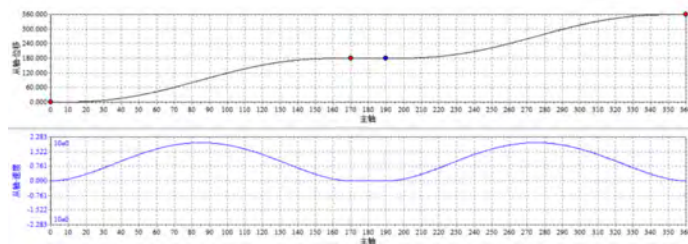


图7 滑块运动曲线

者曲线凹槽和从动机构接触使其能够完成周期性不等速或不连续的往复运动，只要设计参数合理就能够达到预期的运行。如图所示：

可看出其结构简单，但是有以下缺点：

- (1) 长时间运转容易磨损，精度下降。
- (2) 无法进行大负荷运转。
- (3) 轨迹单一，不同曲线需要制作不同的凸轮。

伺服压力机使用机械凸轮来控制曲线显然是不合理的，在这里就引进了一个电子凸轮的概念：就是由伺服电机或者虚拟轴为主体，搭配从轴伺服电机跟随，并且根据使用者需求的输出动作及运动特性产生对应的从动曲线，因为其没有实际的凸轮但却有主动轴和从动轴的概念所以被称之为电子

凸轮。

伺服压力机的滑块运动是周期性的，即从0 ~ 360度循环运动，所以在控制方案中引入虚拟轴的概念（即在运动控制中通过算法建立一个虚拟假轴，该轴根据不同的SPM进行0 ~ 360度不同速度的匀速旋转）。最后通过电子凸轮的挂入，将低速大扭矩电机和虚拟轴进行关联，并且开放出电子凸轮的参数，通过可视化界面让操作人员进行可视化编程。

我们再来分析一下具体的伺服压力机电子凸轮的应用架构：

下图是电子凸轮的规划案例。

- 1、虚拟轴的规划：分别显示的是角度和速度。
- 2、图7是对应保压模式下滑块的运动曲线。

以下是伺服压力机常用模式的画面设定，通过通俗、易懂的画面让客户真切感受到伺服压力机的价值。



图 8 兴锻伺服压力机曲线编辑界面



图 9 曲轴模式



- 连杆&多连杆模式
- 点位设定要素
- ① 速度 (SPM)。
- ② 位置 (高度 & 角度)。
- ③ 根据曲线生成运动轨迹计算出当前工艺下压机运行 SPM 实际值。

图 10 连杆 & 多连杆模式



- 震荡模式
- 点位设定要素
- ① 速度 (SPM)。
- ② 位置 (高度 & 角度)。
- ③ 下降距离和上升距离
- ④ 震荡次数
- ⑤ 根据曲线生成运动轨迹计算出当前工艺下压机运行 SPM 实际值。

图 11 震荡模式



- 保压模式
- 点位设定要素
- ① 速度 (SPM)。
- ② 位置 (高度 & 角度)。
- ③ 保压时间(最小时间 0.1s)
- ④ 根据曲线生成运动轨迹计算出当前工艺下压机运行 SPM 实际值。

图 12 保压模式



- 钟摆&钟摆保压模式
- 点位设定要素
- ① 速度 (SPM)。
- ② 位置 (高度 & 角度)。
- ③ 保压时间(最小时间 0.1s)
- ④ 保压时间设置为 0 即进行钟摆运动

图 13 钟摆 & 钟摆保压模式



- 定制化需求
- 控制系统中为了满足客户不同的需求提供定制化曲线设计,以满足客户对不同工艺生产的需求。

图 14 定制化需求曲线编辑界面

下图是传统肘节式伺服压力机（行程 200mm）运动曲线。如图所示：

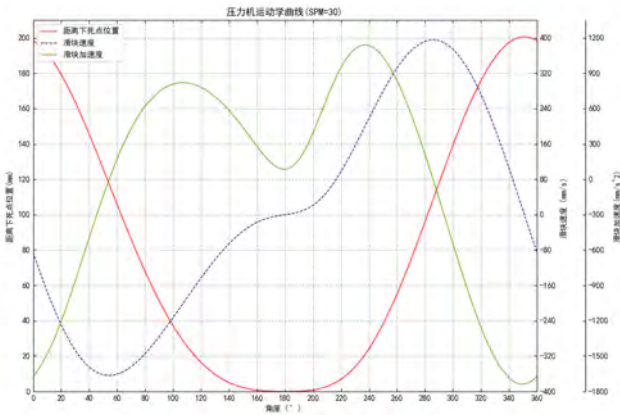


图 15 传统肘节式伺服压力机运动曲线

缺点：

- (1) 运动曲线恒定 无法改变。
- (2) 保压时间不可控，SPM 越高保压时间越短。
- (3) 生产效率恒定，无法延伸。
- (4) 压力机感知能力不足，智能化无法深度应用。

肘节式伺服压力机可以很好地弥补以上四点。

肘节式伺服压力机采用肘节和伺服功能的完美叠加很好地解决上述问题，并且由于伺服电机本身的感知能力，通过转速曲线、扭矩曲线、电流曲线的分析，能够及时地发现模具是否异常，下死点精度是否稳定，如果在配合光栅（磁栅）的应用，就能很好地控制压力机的下死点精度，让智能化成为可能。

通过软件的模拟可以预测出肘节伺服压力机的运动曲线，如下图所示：

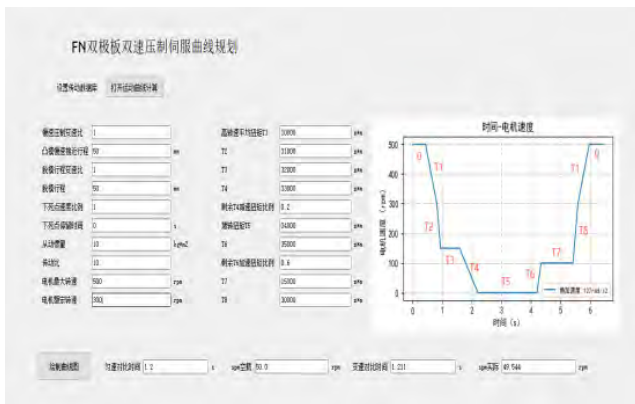


图 16 肘节式压力机运动曲线模拟预测

(1) 通过伺服的叠加，同样的 SPM 下，伺服压力机可以进行保压时间的叠加，并且生产效率无降低。

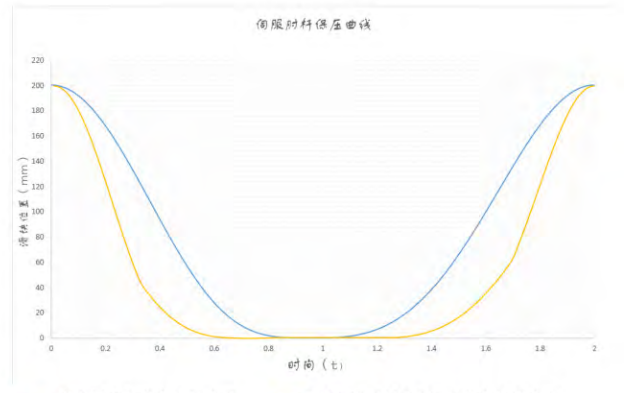


图 17 曲线对比

(2) 同样的生产工艺下，肘节伺服压力机具有提升生产效率的优势。

如图所示，通过对非下死点区域曲线的规划，有效地提升了压力机的生产效率。运动周期由原来 2S 提升到 1.2S，效率提升 40%。

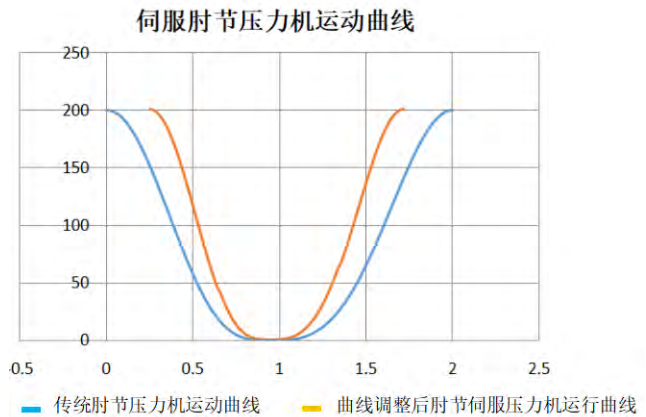


图 18 伺服肘节式压力机运动曲线

由此可见，肘节式压力机若采用伺服驱动系统后，可以利用伺服控制系统的特点，对单一的已定型的肘节运转模式实施人为的自由叠加，可快可慢，实现无限不同的运转模式。而且这个效果是在原来肘节模式的基础上表现出来的，伺服电机的选型就可以小许多，大大地降低了压力机的成本，具有提高生产效率、降低能耗、提高加工精度、增强设备稳定性和实现智能化生产等许多叠加效果。MFC