

# 基于三次元智能冲压上下料控制系统的设计与应用

张卫华<sup>1</sup>, 李小泉<sup>2</sup>

1. 苏州青林自动化科技有限公司, 江苏 苏州 215138

2. 中达电通股份有限公司, 上海 201209

**摘 要 :** 冲压设备作为工业基础装备的重要组成部分, 广泛应用电子, 家电, 汽车制造等行业. 传统的人工搬运送料冲压的方式, 效率低, 工人工作强度大, 作业危险系数高. 采用三次元多工位机械手的自动送料系统完美解决传统的诸多缺点. 多工位送料系统是一个类似移动臂的装置, 主要作用是把冲压件从一个工位移到另一个工位. 三次元送料系统合理地规划了三次元送料机械手的运动轨迹曲线, 通过优化其速度和加速度以及加加速度的特征, 提高了三次元送料机械手在运动过程的动态特性; 通过在控制系统采用电子凸轮技术, 使伺服电机的运动能够实现所规划轨迹的点对点的精确定位. 实际生产效率大大提升, 达到快速平稳的30次/min的搬运速率。

**关 键 词 :** 智能冲压; 三次元; 凸轮曲线; 运动控制; 总线通讯

## Design And Application Of a Three-Dimensional Intelligent Stamping Loading And Unloading Control System

Zhang Weihua<sup>1</sup>, Li Xiaoquan<sup>2</sup>

1. Suzhou Qinglin Automation Technology Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215138

2. Zhongda Diantong Co., Ltd., Shanghai 201209

**Abstract :** Stamping equipment, as an important component of industrial infrastructure, is widely used in industries such as electronics, home appliances, and automotive manufacturing. The traditional manual handling, feeding, and stamping method is inefficient, labor-intensive, and highly hazardous. The automatic feeding system using a three-dimensional multi station robotic arm perfectly solves many traditional shortcomings. The multi station feeding system is a device similar to a moving arm, mainly used to move stamping parts from one station to another. The three-dimensional feeding system reasonably plans the motion trajectory curve of the three-dimensional feeding robotic arm. By optimizing its speed, acceleration, and acceleration characteristics, the dynamic characteristics of the three-dimensional feeding robotic arm during the motion process are improved; By adopting electronic cam technology in the control system, the motion of the servo motor can achieve precise point-to-point positioning of the planned trajectory. The actual production efficiency is greatly improved, achieving a fast and stable handling rate of 30 times per minute.

**Key words :** intelligent stamping; three dimensional; cam curve; motion control; bus communication

## 引言

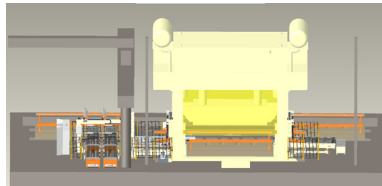
随着电子, 家电, 汽车制造等行业的高速发展, 我国板材加工设备加工工艺均有了长足的进步. 汽车制造中冲压工艺是汽车四大工艺中的一项工艺, 据不完全统计汽车部件的40%是金属板材冲压件, 此可见冲压装备在汽车制造工业中的重要地位. 三次元送料机械手主要用于自动化冲压生产线上, 取代传统手工生产. 传统的冲压送料采用人工上下料, 效率低、精度不高, 劳动强度大, 操作者重复完成同样的动作容易疲惫后疏忽而发生严重工伤事故时有发生. 送料机械手可以实现冲压生产线上工件的上下料和工位间的移送等工作. 冲压装备自动化是今后的发展趋势, 本文研究基于三次元智能多工位机械手控制系统的设计与应用.

## 一、机械结构简介

在数学和物理学中, “三次元”指的是三维空间或三维欧几里得空间, 这是由长度、宽度和高度(即三个维度)构成的空间形式. 而机械控制的三次元搬运, 是如下结构的机械手:

三次元智能多工位机械手上下料系统是大型冲压机械的重要组成部分, 包括悬臂吊、上料小车、拆垛手臂、磁性皮带、三次元机

械手、下料皮带、安全防护等。



> 图1 三次元智能多工位机械手生产线

## 二、控制系统设计

1) 控制系统设计分为：运动控制程序设计、逻辑控制程序设计，安全防护程序设计，人机交换界面设计。

2) 整线控制器：运动控制和逻辑控制采用台达的 AH500 系列控制器。

运动控制设计主要包括伺服轴的参数配置、虚拟主轴和从轴设置、编码器设置、电子凸轮表的设计。运动控制和逻辑控制用台达系列的 AH10EMC 控制器，负责 I / O 信号的采集和输出，整体逻辑运算，运动控制器实现伺服运动功能，使控制系统更加可靠稳定。人机交互采用台达的 DOP-115WS 精致 15 寸触摸屏，人机交互界面友好，操作维护起来简单方便。与压机的数据交换采用总线的通讯方式，速度快，稳定可靠。

为了和国际通用性控制系统接轨，增强控制系统的可靠性，安全防护用西门子的安全 PLC-1511F，安全等级达到 PLe 使得整线安全得到保障。

由于对系统安全性要求高，控制精度要求高，速度快，在压机曲轴上时时取得压机滑块位置数据以控制三次元机械手安全完成送料工作。出于安全性考虑又增加一个内密控 1024 线的绝对值编码器与跟踪编码器进行与压机角度时时核对以防止由于机械故障原因导致跟踪编码器失步时保护机械手和模具压力机的干涉安全。与压机通讯时时取得压机自身角度数据，与三次元本身 2 个编码器进行压机角度的时时核对，做到多重保护。

## 三、系统描述

### (一) 系统构成

1) 悬臂吊：悬臂吊确保把料垛安全稳定的吊人到台车的工作台上。

2) 上料小车：由 2 台小车组成，交替送料到拆垛手拆料的位置，保障整线在切换料垛时候也能不停机，确保连续生产。

3) 拆垛手臂：移送伺服轴 1 个，升降伺服轴 1 个

4) 磁性皮带：皮带升降伺服轴 2 个，皮带夹紧伺服轴 4 个，皮带伸缩伺服轴 4 个，皮带定位伺服轴 12 个，皮带移送伺服轴 4 个。根据不同的模具调整皮带姿势和定位产品。确保产品在磁性皮带上稳定传输到三次元机械手的第一工位。

5) 三次元机械手：

X 移送伺服轴：4 个伺服马达控制，同步控制横杆移送产品。

Y 夹紧伺服轴：4 个伺服马达控制，同步控制横杆夹紧打开产品。

Z 升降伺服轴：4 个伺服马达控制，同步控制横杆升降产品。

跟踪压机系统：曲轴安装西门子的单圈绝对值编码器时时采集的压机角度送给运动控制系统确保跟踪精度。

6) 下料皮带：2 个伺服控制皮带的伸缩和升降，根据不同模具调整不同的姿势。

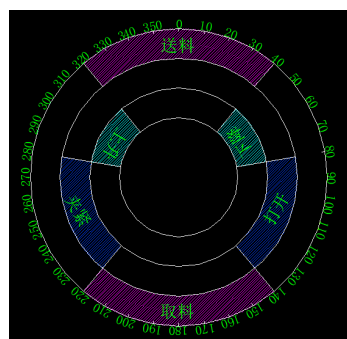
7) 安全防护：生产线四周用安全围栏围住，需要维修调试有安全门设计，安全门门锁是电磁锁，并有安全锁紧信号，所有安

全信号都是安全 PLC 处理，确保安全生产。

### (二) 检测系统

检测系统包括了绝对值伺服安全防护系统；移送轴有取料位置，原点，送料位置检知，当机械手运行到该位置时进行与实际位置的核对确保设备安全运行。检知损坏的情况下设备检测到也报警停机。夹紧轴打开位置有实际位置核对编码器检测夹紧打开的实际位置，当手臂夹紧打开时进行与实际位置实时核对确保设备安全运行。手臂夹抓检知：当夹紧产品后检知检测到有料，移送过程中如果产品掉下则报警停机以保护模具安全。检知损坏的情况下设备检测到也报警停机，确保产品移送准确。双片检测系统：拆垛手上安装罗兰的双片检测探头，当检测到双片时，报警停机，确保送入到模具的料片是 1 片。当双片检测器损坏时系统也报警停机确保无双片进入模具。

### (三) 工作状态描述



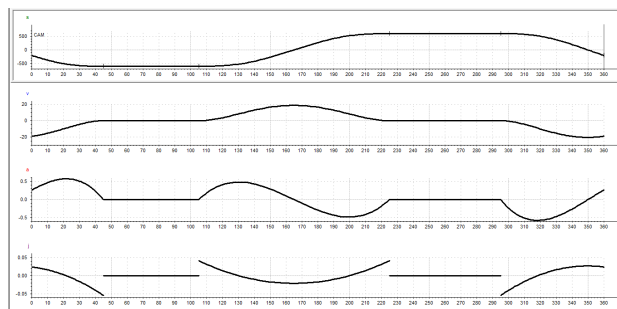
> 图3 工作状态图

压机运行到取料位置时机械手跟踪压机同步运行，按照上述图片的相应角度三次元时时跟随压机运行搬运产品。

### (四) 系统稳定措施

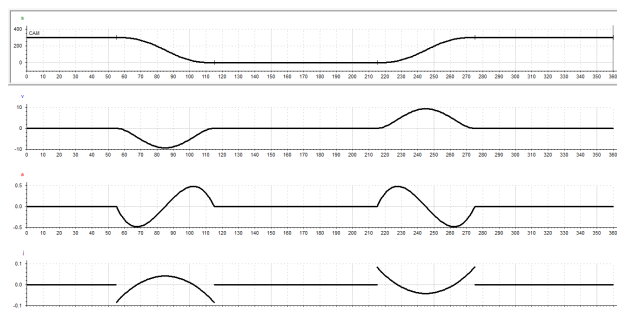
伺服控制采用电子凸轮方式确保跟踪的时时性和稳定性。

#### 1) X 方向凸轮曲线



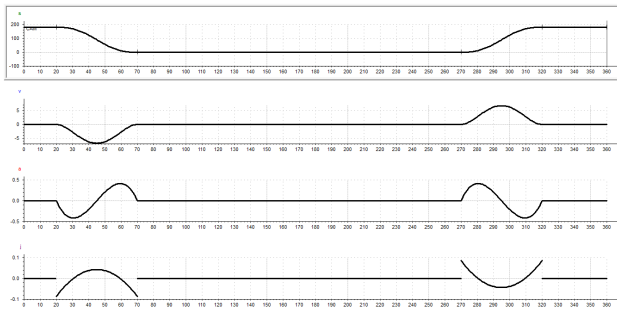
> 图4 X方向凸轮曲线

#### 2) Y 方向凸轮曲线



> 图5 Y方向凸轮曲线

### 3) Z 方向凸轮曲线



图六 Z 方向凸轮曲线

### (五) 控制精度

1. 系统伺服电机编码器采用 24 位多圈绝对值编码器，电机旋转一圈 16,777,216 个脉冲
2. 机械端安装直线编码器确保全闭环控制。使得送料精度得以保证。如图 7 所示。

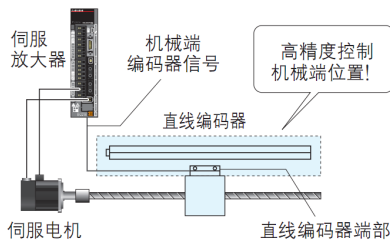


图 7 全闭环控制

3. 机械共振的抑制：应用频率范围 10Hz~4500Hz，可以同时使用 5 个滤波器使得设备抗震性能得提高。如图 8,9 所示。

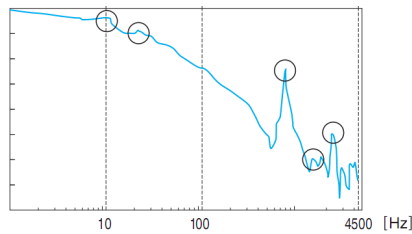


图 8 共振点的选取

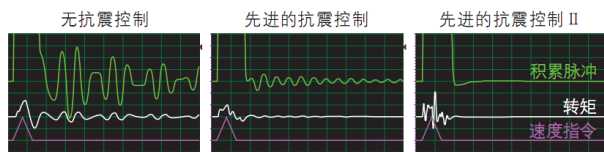


图 9 抑制共振的效果比较

4. 压机震动造成模具合模时震动，针对这个采取编码器滤波方式抑制。如图 10,11 所示。

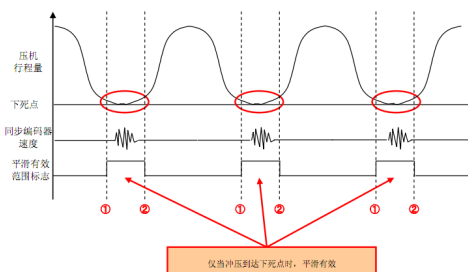


图 10 震动点的选取

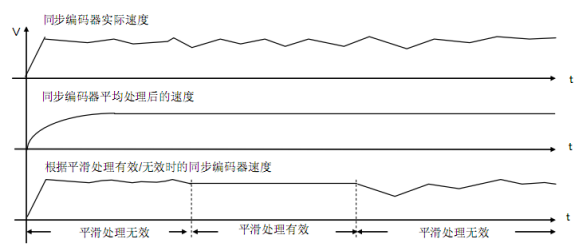


图 11 平滑处理效果

## 四、程序设计

程序设计包括系统组态，网络组态，伺服组态配置；人机界面设计及主体程序设计。

### 代码截取

```
4715 FB_Y3V4_pos_act_err_real(
4716   pos_shu :=   st_y3.actPosition
4717   ,pos_cong :=   st_y4.actPosition
4718   ,err_range :=   1.0
4719   ,err_range :=   -1.0
4720   ,pos_err_choose := NOT w_err_switch_real AND (st_CUT.inch OR st_CUT.cycle OR st_CUT.auto)
4721   ,pos_err_lim =>   USEB_ERR[0].2 //qiy实际误差过大报警
4722 );
4723 FB_Y1V3_pos_act_err_real(
4724   pos_shu :=   st_y1.actPosition
4725   ,pos_cong :=   st_y3.actPosition
4726 );
4727
4728 //判断同步上有没有
4729 IF NOT st_W_syn
4730 THEN
4731   OR (st_encoder_01.extrapolatedData.position-st_W_syn.combination < -5.0)
4732   OR (st_encoder_01.extrapolatedData.position-st_W_syn.combination > 5.0)
4733 THEN
4734   USEB_ERR[0].1; //同步失败报警
4735 END_IF;
4736 IF st_W_syn.combination > REAL_TO_SREAL(st_at_x[0][n1_no].ch_id +10) AND st_W_syn
4737 THEN
4738   'W_syn_coupling' := TRUE;
4739   auto_state:=000;
4740 END_IF;
4741
4742 //同步角度判断-----x轴离同步，再同步模式循环开始-----
4743 IF st_W_syn.combination > REAL_TO_SREAL(st_at_x[0][n1_no].x_dwl_jy4 +10)
4744 AND st_x1_dwl_p AND st_x2_dwl_p AND st_y1_dwl_p
4745 THEN
4746   auto_state:=000;
4747 END_IF;
4748 IF st_W_syn.combination > REAL_TO_SREAL(st_at_x[0][n1_no].x_dwl_jy4 +10)
4749 AND NOT st_y1_dwl_p
4750 THEN
4751   USEB_ERR[0].1; //同步失败报警
4752 END_IF;
4753
4754 //同步角速度判断-----
4755 enableMOVESIST :=
4756   _enableMOVESIST(
4757     followingOutput := VE_FUNCTIONGROUP_OPERATION
4758     ,direction := POSITIVE
4759     ,acceleration := ABSOLUTE
4760     ,deceleration := ABSOLUTE
4761     ,controlMode := CYCLIC
4762     ,ctrl := Cam_1
4763     ,synchronousMode := IMMEDIATELY
4764     ,synchronousReference := USER_DEFAULT
4765     ,synchronousReference := RELATIVE_VELOCITY_TO_TIME
4766     ,synchronousType := USER_DEFAULT
4767     ,synchronousLength := 0.0
4768     ,synchronousLimitType := USER_DEFAULT
4769     ,synchronousLimit := 0.0
4770     ,synchronousLimitType := USER_DEFAULT
4771     ,synchronousLimit := 0.0
4772 );
```

## 五、结束语

三次元多工位送料机械手的控制系统和工作原理设计了一套高速安全的运动控制系统。针对三次元送料轨迹进行了分析和优化，采用电子凸轮技术实现了伺服电机的同步控制。由于冲压行业属于高危行业，在安全方面加入更多的安全保护措施。该控制系统控制方式灵活，安全可靠，可以针对不同的工况进行调整，同时对机械机构的改动较小，符合现代化生产对柔性制造的控制要求。

### 参考文献：

- [1] 《伺服系统应用技术手册》——台达电子工业股份有限公司
- [2] 谭浩强. C 程序设计 [M]. 北京：清华大学出版社，2005.
- [3] 王小科等. C# 开发宝典 [M]. 北京：机械工业出版社，2012.
- [4] 姜建芳. 西门子 S7-300/400 PLC 工程应用技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2012.
- [5] 李正军. 现场总线与工业以太网及其应用技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2012.9
- [6] 王丽丽. CoDeSys 平台下嵌入式系统软 PLC 的研究 [D]. 北京：北京工业大学，2007.
- [7] 喻塞花. 基于 Windows 的软 PLC 系统开发 [D]. 南京：南京航空航天大学，2011.
- [8] 吴爱国，李长滨. 工业以太网协议 [D]. 武侯：计算机应用，2003.23.11.
- [9] 廖常初. PID 参数的意义与整定方法 [D]. 重庆：自动化应用，2010.05.27.
- [10] 马立新，康存锋. CoDeSys V3 基础编程入门 [G]. 德国 3S 软件有限公司.
- [11] CoDeSys V3.5 在线帮助 [G]. 德国 3S 软件有限公司.