

伺服压力机加工运动的控制

张得礼^{1,2}, 胡育文²

(1.南京埃斯顿数字技术有限公司,江苏 南京 211006;

2.南京航空航天大学,江苏 南京 211106)

摘要: 分析了S曲线加减速的动力学特性并提出其快速计算方法。根据电动伺服压力机的加工运动特点,控制系统应用S曲线加减速;提出了运动段速度的前向和后向的提前预分析处理方法和一种离散化速度衔接方法。这些方法使加工运动能满足系统的加速和减速的要求,实现段间高速的速度过渡。这些算法简单、有效,已在最新开发的伺服压力机上得到应用。在高速加工时机床运行平稳、噪声低。

关键词: 机床技术;S型曲线加减速;加工运动;伺服压力机

中图分类号: TG315.5 **文献标识码:** B

1 引言

由于电动伺服压力机具有普通机械压力机和油

压机不可比拟的优势,因而该项技术一出现就受到国内外学者和生产厂家的广泛关注。电动伺服压力机无离合器、制动器,结构简单,维护方便;能够在不改变机械结构条件下,通过控制程序的改变得到所需的工作行程和冲压工艺运动,可满足不同加工材

基金项目:江苏省博士后科研计划资助(0902116C)

收稿日期:2010-09-07

作者简介:张得礼(1973-),男,博士后,从事CAD/CAM/CNC技术研究

的目标。

(4)由于双点压力机滑块结构复杂,同时需要考虑加工、装配工艺等因素,利用改变滑块结构实现滑块轻量化的效果有限,可以考虑使用轻质合金制造滑块。

【参考文献】

- [1] 何德誉.曲柄压力机[M].北京:机械工业出版社,1987.
- [2] 林道盛.锻压机械及其有限元计算[M].北京:北京工业大学出版社,2003.
- [3] 詹俊勇,黄建民.JH21-63型压力机机身的有限元分析与结构测试[J].锻压装备与制造技术,2010,45(2):61-63.
- [4] 李作有.曲柄压力机译文集[M].北京:机械工业出版社,1990.
- [5] 何正嘉,李兵,陈雪峰.ANSYS Workbench设计、仿真与优化[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [6] 王苏号,贾方,王兴松.基于Optistruct的伺服压力机机身拓扑优化[J].锻压装备与制造技术,2007,42(6):34-36.
- [7] 詹俊勇,高建和.正交实验与多元线性回归方法在开式压力机机身优化设计中的应用[J].机械工程师,2009,(11):23-25.
- [8] 许本文,焦群英.极限振动与模态分析基础[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [9] 叶亮,高建和,田万英,詹俊勇.激光切割机横梁的模态特性分析[J].扬州大学学报:自然科学版,2009,(2):75-78.
- [10] 詹俊勇,黄建民.SolidWorks导入实现ANSYS参数化建模[J].金属加工(冷加工),2010,(4):71-72.

The Finite Element Analysis and Optimization of Slider in Double-point Press

ZHAN Junyong¹, HUANG Jianmin¹, ZHANG Jinyi²

(1.Jiangsu Yangli Group, Precision Press Institute, Yangzhou 225127, Jiangsu China;

2.Jiangsu Yangli Group, Heavy Machine Institute, Yangzhou 225009, Jiangsu China)

Abstract: By analysis of structural characteristics and work modes of the slider on the double-point press, based on the finite element calculations, the results have been analyzed. The topology optimization has been executed on the slider. By comparing the original slider with the optimized one, the optimized program has been verified.

Keywords: Double-point Press; Slider; Finite element; Topology Optimization

料和产品冲压工艺要求^[12]。如果数控系统只对用户输入的运动轨迹进行单段处理,即每个运行段都有零速度—加速—匀速—减速—零速过程,这势必影响加工效率;同时频繁的加减速也会加剧机床的磨损,影响使用寿命。本文根据用户输入的运动轨迹的位移、速度和加速度在加工前进行多个加工段间运动的平滑过渡,避免了系统频繁地加减速。段内的速度分配采用S形曲线。S型曲线加减速的动力学特性更好,系统运行更平滑,有利于减小机床的瞬时冲击和噪声,改善工作环境,并且降低了对伺服系统瞬态响应的要求。

2 S形曲线加减速及其等效计算

2.1 S形曲线加减速的动力学特性

数控机床伺服电机驱动力 F 、加工力 F_c 和进给加速度有如下的关系:

$$F - F_c \approx ma$$

式中: m ——各轴运动部件质量。

上式两边对时间 t 求导可得:

$$\frac{d(F - F_c)}{dt} \approx m \frac{da}{dt} = mj$$

式中: j ——加加速度。

如图1所示,S形曲线的速度 $v(t)$ 、加速度 $a(t)$ 都是时间 t 的连续函数,其加加速度 $j(t)$ 是阶跃函数,但幅值 j 是有限值,机床受力是按 mj 逐渐递增的,没有受力的突变。因此,机床受到的冲击小,运动平滑,噪声低,同时机床运动产生的磨损小,提高了马达和机械系统的使用寿命。

2.2 S形曲线加减速的快速计算^[13]

由于S形曲线加减速规律采用降速与升速段对称的曲线来实现升降速控制,如图1(a)所示,在加、减速区,其平均加速度大小都为直线 MD 的斜率的绝对值,这表明梯形和S形曲线加减速在加速、匀速和减速区所用的时间和所走的距离是一样的,只是在加速和减速区内,不同的采样时间对应着不同的速度值。因此,对于S形曲线加减速可用等效的梯形加减速来进行段与段间的速度调节(第3节的速度前向和后向分析处理)、段内的加减速区计算等。

设系统的最大加速度为 A_{\max} ,加加速度为 J ,最大进给速度为 V_{\max} ,则等效梯形加速度 a_e 要满足:

$$V_{\max}/a_e \geq 2A_{\max}/J$$

$$a_e \leq \frac{JV_{\max}}{2A_{\max}}$$

否则,实际的最大加速度超过系统最大加速度 A_{\max} ,这是不允许的。

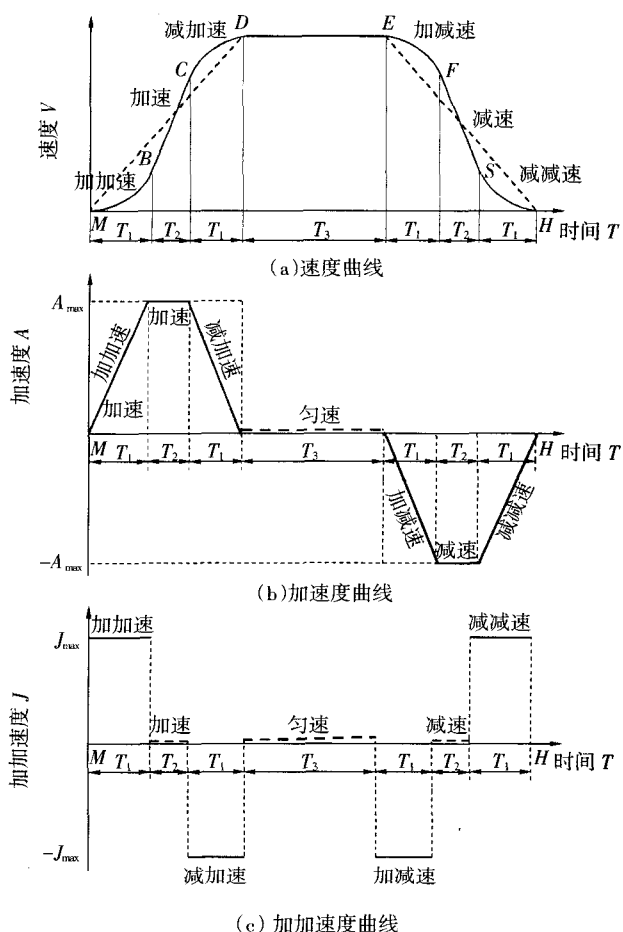


图1 S形曲线型加减速的运动描述

设系统从 $V=0$ 加速到最大速度 V_{\max} 所需的时间为:

$$T = V_{\max}/a_e$$

加加速区所需的时间:

$$T_1 = A_{\max}/J$$

则加速区所需的时间:

$$T_2 = T - 2T_1$$

具体某个速度区间的加减速仍按下文的计算公式计算。在整个加速过程中速度有:

$$a(t) = \begin{cases} Jt & \text{若 } 0 \leq t \leq T_1 \text{ 时} \\ JT_1 & \text{若 } T_1 < t \leq T - T_1 \text{ 时} \\ J(T-t) & \text{若 } T - T_1 < t \leq T \text{ 时} \end{cases}$$

对加速度 $a(t)$ 积分可得速度 $v(t)$:

$$v(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}Jt^2 & \text{若 } 0 \leq t \leq T_1 \text{ 时} \\ \frac{1}{2}JT_1^2 + A_{\max}(t - T_1) & \text{若 } T_1 < t \leq T - T_1 \text{ 时} \\ A_{\max}(t - T_1) - \frac{1}{2}J(t - T + 2T_1)(t - T_1) & \text{若 } T - T_1 < t \leq T \text{ 时} \end{cases}$$

3 多加工段运动速度的自适应预处理

受到机床自身机械特性的约束,机床的最大允许运行加速度和最大运行速度是有限的,因此,要对用户设定的速度进行分析和处理,使其满足加减速要求。对于伺服压力机来说,用户输入的运行轨迹段是有限的。因此,在加工运行前可一次性读入运行轨迹,并对其速度进行分析和处理。对于运行段用户输入的轨迹参数有:目标位置、起始段初速度、加速度、匀速度、减速度、延时时间。系统首先根据用户的输入,自动设置每一段的起始和结束速度:

(1)对于运动方向反向的相邻两段,第一段的终点速度和第二段的起始速度都设为零;

(2)对于有延时时间设置的段,该段终点速度和相邻的下一段的起始速度都设为零;

(3)对于连续向上或向下且延时时间为零的运行段终点速度设为下一段的运行速度,下一段的起点速度设为下一段的运行速度。

起始和结束速度设置完后,再根据加速度对速度进行前向分析处理,根据减速度对速度进行后向分析处理。通过两次分析处理后,运行速度既能满足加速又能满足减速的要求。

3.1 速度的前向分析

对于加工段,段结束速度 V_{end} 大于段起始速度 V_{start} ,则该段存在加速区。若该段的运动距离 S 较小,则该段实际速度加不到 V_{end} ,这时必须调整 V_{end} ,否则段结束实际速度小于设定速度,会出现和下一段过度时速度跳动。调整过程如下。

当 $V_{start} < V_{end}$; 且 $V_{start}^2 + 2aS < V_{end}^2$, 则有:

$$V_{end} = \sqrt{V_{start}^2 + 2aS}$$

当 V_{end} 改变时,则要把下一段的 V_{start} 作相应的变化,即:

下一段的 V_{start} = 本段的 V_{end}

因为下一段的初始速度发生变化,则下一段也必须调整,因此,调整从起始段一直要向前分析到最后一个加工段才结束。

3.2 速度的后向分析

对于加工段其起始速度 V_{start} 大于其结束速度 V_{end} ,则该段存在减速区,若该段的运动距离 S 较小,则该段实际速度降不到 V_{end} ,这时必须调整 V_{start} ,否则实际段结束速度超过设定速度,也会出现和上一段衔接时的速度跳动。调整过程如下。

当 $V_{end} < V_{start}$; 且 $V_{end}^2 + 2aS < V_{start}^2$, 则有:

当 V_{end} 改变时,则要把上一段的 V_{start} 作相应的变化,即:

上一段的 V_{end} = 本段的 V_{start}

因为上一段的初始速度发生变化,则上一段也

必须调整,因此,调整从最后一段一直要向后分析到起始段才结束。

4 离散化速度衔接

所谓离散化速度衔接^[4],是指由于数控系统的插补周期是固定的值,对于一个加工段,系统只能走出整数倍个插补周期来,而运行速度的计算模型对时间是连续的。因此,在连续模型下计算出来的加工时间可能不是插补周期的整数倍,这就需要调整连续时域的计算结果,让机床在整数个插补周期内走完一段。离散化速度衔接对单段速度处理来说影响不是很大,但当多段连续高速插补时,处理不好,会在衔接处造成运行速度波动较大,影响加工质量。

在离散时域,运行速度必须满足下面两个条件:

(1)相邻的运行速度变化量在规定范围内,即任何相邻 T 之间的离散速度变化量不能超过 aT 。否则会引起加速度过大,系统无法响应,影响加工质量。

(2)加工每个路径段所用的时间,都必须是整数个插补周期。

设系统加速度为 a ,第 i 段长为 S_i ,起点速度为 V_i ,终点速度为 V_{i+1} ,走完这一段所用的时间为 T_i ,平均速度为 V_m ,插补周期是 T , M 是 T_i/T 的四舍五入得到的最大整数值, x 为 T_i/T 与 M 的差, $-0.5 < x < 0.5$ 若只走 M 个插补周期,而剩下的 x 不走就直接走下一段,这样位置误差比较大,若走 $M+1$ 步,则第 $M+1$ 步的实际速度太小,满足不了条件(2);郭新贵^[5]、许海峰^[6]把剩余距离 $B_i B$ 根据 $V = B_i B/T$ 插入到插补过程中的与该速度相等的某一个插补周期内走完,但这必须要满足 $V_i \leq V \leq V_{i+1}$,且 M 较大。

因为插补点的坐标计算公式为:

$$X = X_1 + (X_2 - X_1)S/S_i$$

式中: X_1 ——起点坐标;

X_2 ——终点坐标;

S ——当前插补周期走过的总距离;

S_i ——当前加工段的总距离。

所以,可以用计算出来的走完第 M 个插补周期的总距离 S' 来替换式中的 S ,进行整个插补过程的计算。这样,当走完第 M 个插补周期后有:

$$S = S', X = X_2,$$

这既保证了条件(1),又保证了条件(2)。

5 实验验证

加工运行段共 6 段,各段参数见表 1,从图 2 和图 3 可看出,位置曲线和速度曲线光滑,说明加工运动速度过渡平滑。从图 4 可以看出,上一段结束时,

表 1 加工段参数

段序号	目标位置/m	速度/mm/s	加速度/m/s ²	减速度/m/s ²
1	100	160	9.8	9.8
2	200	120	9.8	9.8
3	300	20	9.8	9.8
4	200	80	9.8	9.8
5	100	40	9.8	9.8
6	0	80	9.8	9.8

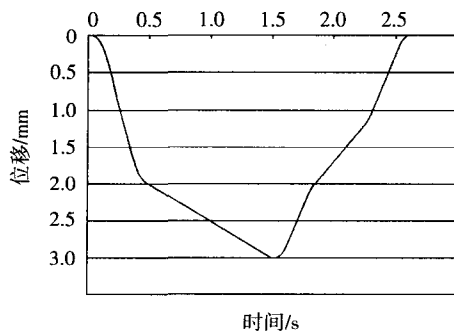


图 2 位置曲线

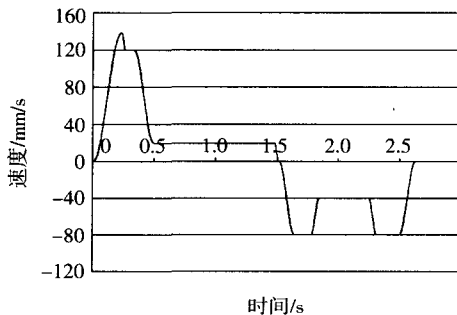


图 3 速度曲线

加工速度自动减速/加速到下一段的运动速度,确保了速度和位置的关系。

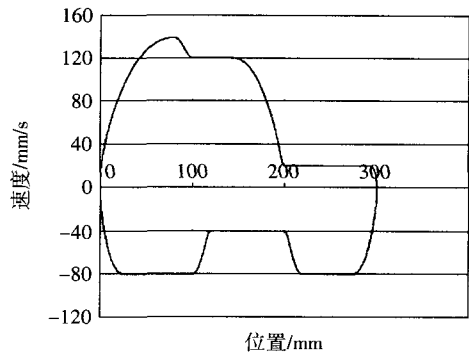


图 4 速度—位置曲线

6 结论

伺服压力机加工运动轨迹规划直接关系到加工质量、加工效率和加工噪声。本文根据伺服压力机加工运动的特性,提出的轨迹规划算法,能够自适应地将用户输入的运动轨迹进行平滑,减小机床的冲击,实现快速、平滑的加工运动。

【参考文献】

- [1] 莫健华,郑加坤,等.伺服压力机的发展现状及其应用.锻压装备与制造技术,2007,42(5):19-22.
- [2] 王玉山. 伺服压力机发展状况. 锻压装备与制造技术,2010,45(1):29-31.
- [3] 张得礼,周来水.数控加工运动的平滑处理,航空学报,2006,27(1).
- [4] 王宇晗,肖凌剑,曾水生,等.小线段高速加工速度衔接数学模型.上海交通大学学报,2004,38(6).
- [5] 郭新贵,李从心,阮雪榆,等.采用线性加减速伺服系统的快速准确定位方法.机械工程学报,2003,39(7).
- [6] 许海峰,王宇晗,李宇昊,等.小线段高速加工的速度模型与实现.机械工程师,2005,(4).

Research on the Motion Control of Servo Press

ZHANG Deli^{1,2}, HU Yuwen²

(1.Estun Digital Technology Co., Ltd., Nanjing 211006, Jiangsu China;

2.Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211006, Jiangsu China)

Abstract: The kinetic character has been calculated and a rapid computing method of S-curve velocity profile has been proposed in the text. As per the movement characteristics of electric servo press, S-curve velocity profile has been used to produce acceleration and deceleration. A pre-process algorithm of backward & forward velocity and a method of velocity smoothing in the scattered domain have been proposed. The algorithms are effective which have been already applied in newly developed electric servo press. The high-speed movement of servo press is smooth with little noise.

Keywords: Servo press; CNC; Smoothing velocity; S-curve velocity increase and decrease