

激光切割机X、Y轴位置半闭环微机控制系统的研究与设计

吴 俊 廷

摘要: 介绍了激光切割机数控系统中的 x 、 y 轴位置半闭环微机控制系统。在建立控制系统数学模型的基础上,采用离散分析法对系统进行了研究,并且利用计算机仿真,分析了系统特性对控制精度的影响。

一、引 言

激光切割是将激光聚焦成很小的光斑,使其具有较高的功率密度,用这样一束光做为“刀具”去汽化和熔化被加工材料达到切割的目的。它具有切缝窄、热影响区小、加工速度快、无接触加工、不变形、光源稳定,便于自动控制等特点。在国外激光加工的数控技术已达到相当高的水平,而我国在这方面与国外先进水平相比还有一定的差距。激光切割机是一个机械、光、电、水、气的综合体。所内研制的激光切割机为500W三坐标的激光加工机,其数控系统的主要技术指标为:

1. x 、 y 轴行程 1500mm × 1000mm
2. 位置精度 $\pm 0.05/300$ mm
3. 重复定位精度 ± 0.01 mm
4. 最大切割速度 8m/min
5. 快速返回速度 10m/min

二、系统的硬件结构

切割机数控系统采用了面向PC总线的多CPU分级分布式硬件结构,它具有很强的软硬支持和很好的实时性。其重要组成部分位置控制系统包括 x 、 y 轴两套独立的系统。为保证切割机的高精度加工,要求位控系统具有稳定性好、响应快和定位精度高。经过实验,确定了以8031单片机作为位置控制器,以光栅编码器为位置检测元件,PWM—D为驱动执行装置,工作台的坐标轴为控制对象的半闭环伺服系统。系统的框图如图1所示。

位置控制采用采样数据技术,用8031CPU的定时/计数器实现坐标移动值的计算,每个采样周期内,位置控制器完成指令位置与实际位置的位置偏移量的计算,通过校正,得到速度指令值,再由D/A转换成直流电压,通过放大器,控制电机。位置偏移量反映了实际位置总是滞后于指令位置,用它作为速度控制量,控制电机的旋转,使实际位置总是跟随指令位置的变化而变化。所以当指令位置以一定速度变化时,实际位置也以此速度变化,在指令

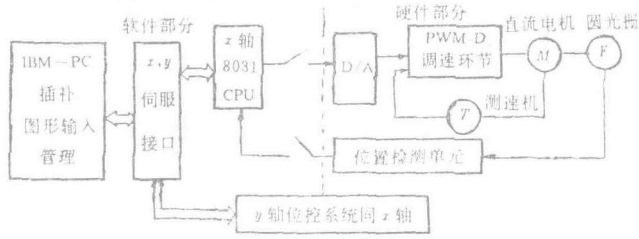


图 1 x、y轴位置半闭环结构框图

位置停止变化时，实际位置等于指令位置。这样位置控制装置既控制了速度又控制了位置。

三、系统的软件设计

系统中采用了多中断方式的软件结构。轨迹插补和位置伺服分别为8ms和4ms的实时中断，即每一次插补的进给量由两次4ms的位置伺服中断分别实现。

1. 系统采样周期的选择：从输入信号和被控对象的动态特性两方面考虑。为使采样信号能正确反映输入信号的变化规律，根据采样定理，采样频率应大于输入信号的最高频率的二倍，而在工程实践中证明，为保证 CNC 采样控制系统的稳定性，采样频率应至少大于系统带宽的 7 倍。本系统根据执行机构的特性、位控系统的性能及微机系统分时操作时间分配等因素的考虑，取位控采样周期为 4ms、插补中断周期为 8ms。即插补一次进行两次位置控制。

2. 位置偏移量的计算：理论上，位置偏移量 = 指令位置 - 实际位置。实际的算法是按采样周期的增量方式计算。如图 2 所示，第 i 周期时位置偏差可按下式计算：

$$E_i = E_{i-1} - \Delta D_{A_i} + \Delta D_{O_{i-1}}$$

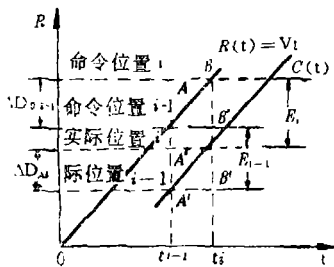


图 2

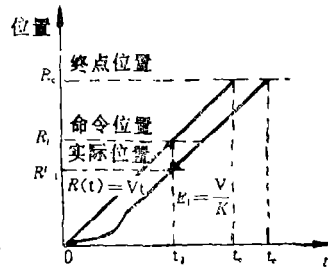


图 3

式中：

E_i —— 第 i 次采样时刻计算得到的位置偏移量；

E_{i-1} —— 第 $i-1$ 次采样时刻所算得的位置偏移量；

ΔD_{A_i} —— 第 i 次采样时刻所采得的实际位置增量值；

$\Delta D_{O_{i-1}}$ —— 第 i 次采样时刻所采得的位置命令增量。(在第 $i-1$ 次采样计算中算得)

3. 进给速度指令的计算：CNC 采样系统是一个一阶无静差系统，如图 3，它对于典

型的外作用（例如直线插补）——匀速斜坡输入 $R(t) = vt$ 的稳态误差为一常量 E_0 $E = vK$ ，所以， $v = KE_0$ 式中： v 为位置输入量的变化速度； K 为位置环增益。 K 的调节是由软件和硬件实现的。

四、系统的特性分析

位置控制系统的简化框图如图 4 所示。

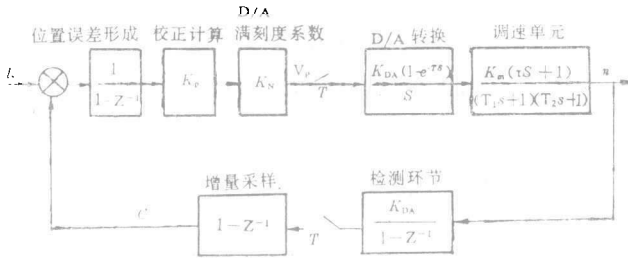


图 4 位置控制系统框图

将模拟部分离散化，得到系统的开环传递函数为：

$$G(Z) \frac{C(Z)}{R(Z)} = \frac{KZ(AZ - B)}{(Z - 1)(Z - C)(Z - D)}$$

式中：

$$K = K_p \cdot K_n \cdot K_{D/A} \cdot K_m \cdot K_{AD}$$

$$A = 1 - \frac{T_1 - \tau}{T_1 - T_2} e^{-\frac{T}{T_1}} - \frac{\tau - T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{T}{T_2}}$$

$$B = \frac{T_1 - \tau}{T_1 - T_2} e^{-\frac{T}{T_2}} + \frac{\tau - T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{T}{T_1}} - e^{-\frac{T}{T_1}} - e^{-\frac{T}{T_2}}$$

$$C = e^{-\frac{T}{T_1}}$$

$$D = e^{-\frac{T}{T_2}} \quad (T \text{ 为采样周期})$$

系统的特征方程为：

$$1 + G(Z) = 0$$

$$\text{即： } Z^3 + (KA - C - D - 1)Z^2 + (CD + C + D - KB)Z - CD = 0$$

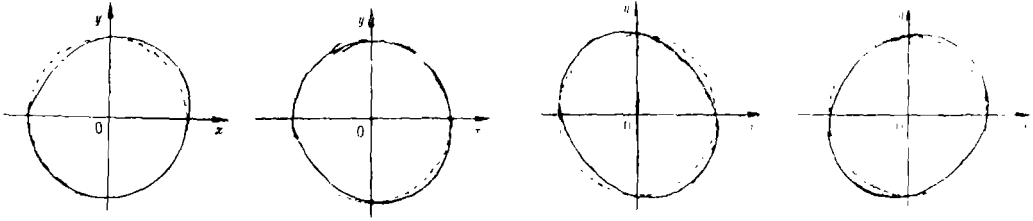
根据劳斯稳定性准则，在 $K_n = 0.2$ ， $T = 4\text{ms}$ 时，分析计算得增益常数 $K_p < 4.5$ 时，系统稳定。说明 K_p 对稳定性有较大的影响，因此， K_p 的选择要使系统具有一定的稳定储备。

五、系统的仿真分析

切割机有 $+x$ 、 $-x$ 和 $+y$ 、 $-y$ 共四个方向，要使各个方向的稳态偏差系数始终相等是很困难的。实质上，切割出的图形误差主要由这些系数不相等造成的。本文利用 Turbo

Basic 语言编制了仿真程序，对系统的稳态和动态特性进行了计算机仿真，有如下结论：

1. 在稳态偏差系数各向相同时，对直线和圆弧插补在匀速率及变速率的情况下，影响均不大。
2. 在稳态偏差系数各向不同时，将使直线产生偏移，圆弧半径以 2 倍的输入频率随时



逆圆： $K_{uy}(+/-) = K_{ux}(+) > K_{ux}(-)$

顺圆： $K_{uy}(+/-) > K_{uz}(+/-)$

顺圆： $K_{uy}(+/-) = K_{uv}(+) > K_{ux}(-)$

逆圆： $K_{uz}(+/-) > K_{uv}(+/-)$

图 5 速度偏差系数不等所引起的圆畸变 (K_v 为速度放大系数)

间作周期性变化。因此，使图形产生畸变，如图 5 所示。在系统中，通过软件的校正调节和参数选择，要保证速度放大系数具有一致性。

3. 由于输入作用的突变，瞬态特性对控制精度有很大的影响。通过在程序设计中采用自动加 / 减速处理，转接速度处理等，可降低其影响，提高系统的稳定性。

六、结 束 语

1. 精密机床的位控系统是数控系统的重要组成部分，它要求系统具有稳定性好，定位精度高，经济合理等特点。在系统的设计中应综合各项指标，使系统具有无超调、响应快， x 、 y 轴特性一致。
2. 调速系统的性能对控制精度的影响很大，特别是低速性能。改善其调速系统性能是提高控制精度的有效措施。
3. 采用离散分析及仿真计算的方法，能有效地研究采样位控系统。

参 考 文 献

[1] 彭炎午主编：《计算机数控 (CNC) 系统》，西北工业大学出版社，1988年 5 月
 [2] 陈伯时主编：《自动控制系统》，机械工业出版社，1981年 9 月
 [3] 符曦、金仁全编：《自动控制工程》机械工业出版社，1987年 3 月
 [4] 熊光楞主编：《控制系统数字仿真》清华大学出版社，1984年 7 月

Research and Design of X, Y Axis and Position Semi-loop-locked Computer Control System in Laser Cutter

Wu Junting

Abstract

X, Y axis and position semi-loop-locked computer control system in numeric control system of laser cutter is introduced. On the basic of established mathematical model of control system, it adopts analysis of variance to research system's work and analyses the effects of system property upon the control accuracy with computer simulation.