

激光切割焦点位置的微机控制^①

杨放琼

(中南工业大学机械系, 长沙 410083)

摘要 综合应用激光技术, 现代控制理论及微机技术, 以 MCS-51型单片机为控制中枢的 Z 轴随动系统及相应数据处理控制软件, 建立了一种适合激光切割的机电光一体化的激光焦点位置自动控制系统, 为激光加工的广泛应用打下基础。

关键词 单片机 PID 控制 激光切割 聚焦点

激光切割是激光应用技术的一个重要方向, 由于激光的高亮度、高方向性及高单色性, 使激光成为功率密度极高的光源, 其聚焦点能产生上万度的高温。因此, 用于切割加工时, 切割速度快、切缝小、质量好。

激光切割是一种非接触式加工, 激光头喷嘴端面与工件表面留有间隙 h_0 , 没有机械反力, 轻便灵活。要保证聚焦点始终落在工件上, 实质就是应使 h_0 恒定不变(见图1)。由于大多数钢制工件表面均有扭曲或起伏现象, 且在切割过程中, 本来十分平整的钢板由于受热也会出现弯曲不平, 特别是在空间壳体切割时, 采用示教编程, 示教各点由人工设定, 不可能精确, 间隙 h_0 将会出现较大变化。因此, 只有确保间隙 h_0 不变, 才能达到最佳切割, 其基本原理是当激光头喷嘴沿工件表面切线方向相对运动时, 用传感元件测出喷嘴与工件表面的法向距离 h_0 , 根据 h_0 检测值自动调节激光头喷嘴位置。由数控系统按照事先输入的、与工件预定加工外形相应的曲线加工时, 激光焦点自动控制系统就依所测定的 h_0 对激光头位置及时予以校正。这种系统也称 Z 轴随动 Z 工浮系统。

1 系统总体方案设计

Z 轴控制系统一般由检测元件、信号处理

图1 激光切割示意图

及控制环节和伺服机构组成, 其技术关键是要设计出能在恶劣条件下工作的传感元件, 能高速测量处理信号、具有信号输出控制装置和运行稳定可靠的伺服机构。激光头喷嘴端部工作环境恶劣, 受约束的条件很多, 给传感器设计制造带来困难。例如喷嘴高速运动时, 要防止喷嘴撞上工件及提升过快造成工件未切断的现象; 要求 Z 浮响应速度和动态品质良好, 在爬不同坡度或加工速度不同时, Z 浮提升速度要跟随变化, 这些给 Z 浮系统研制带来复杂和难度。

根据国家重点攻关项目“多坐标数控激光切割机”要求, 该系统技术指标为:

- (1) 喷嘴到工件表面间隙 1-3 mm;
- (2) 测量范围 ± 0.5 mm;

① 收稿日期: 1995-04-22, 修回日期: 1995-07-23 杨放琼, 女, 30岁, 讲师(硕士)

- (3) 控制精度 $\pm 0.2\text{ mm}$;
- (4) 测量误差 $< 5\%$;
- (5) 切割速度 $3\sim 8\text{ m/min}$;
- (6) 具有独立的操作控制系统。

基于上述考虑, 系统采用电容传感器作为检测元件, 单片微机作为控制中枢的控制系统。系统框图如图2。

2 系统硬件设计

系统硬件构成见图3。

电容传感器和喷嘴采用一体化的结构(图4)。由于需要根据工件材料、切割速度等因素, 随时定量调节喷嘴到工件的距离, 所以每次加工前须设定一个初始间隙 h_0 和对应的初始电容值。

变换电路采用调频式。外接振荡器将电容量 C 转换为频率量 f 。数字混频的目的, 一是减小振荡器频率变化对零漂的影响, 二是降低中心频率。外振输出的振荡频率约为 4 MHz 左右, CPU 采样周期为 5 ms , 若频率太高, 计数器将产生溢出。

CPU 系统采用 MCS-51 型 8031 单片微机, 它包括 128 个字节 RAM, 4 个 8 位并行口, 一个全双 I 串行口, 二个十六位定时器, 及一个功能较强的中央处理器。

由于 8031 内部无程序存贮器, 需外部扩展 EPROM, 用于存放常数及用户控制程序。扩展外部 RAM 作为数据缓冲器, 存贮从外部采集到的频率信号。采用 8155 可编程并行 I/O 扩展接口, 其中 PA 口作为程序控制环分时步进

电机驱动端口, PB 口各功能见附表。

在系统在线跟踪控制过程中, 为节约程序运行时间, 采用硬件环分电路驱动步进电机动作。该电路由一个计数器及一片 EPROM 组成。计数器的循环计数为可编程 EPROM 提供一个循环变化的地址, 当计数器计数值变化时, 就对应了 EPROM 不同的地址单元, 根据控制相数的需要, 预先在 EPROM 的不同单元依次写入所需要的数值, 这个数据可以控制步进电机每一相的通断。这样每计一次数, 就选通 EPROM 的一个地址单元, 对应步进电机便走一步。

3 系统软件设计

在设计控制系统中, 须考虑两种状态:

(1) 注销状态: 系统不工作, Z 浮处于中间位置(中位);

(2) 自动状态: 系统在线跟踪控制状态。

自动控制主程序流程图见图5, 跟踪控制程序块是整个软件的核心部分, 其中包括采样、输入信号预处理(滤波、线性化等), PID 运算等子程序。由于采用 MCS-51 汇编语言编制, 难度高、工作量较大。

附表 8155 PB 各位功能

PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
			灯	报警4	报警3	报警2	报警1
							软分 / 硬分

报警1—设定值(初始间隙)基准异常; 报警2—系统自检故障;

报警3—激光头位置上限; 报警4—激光头位置下限;

软分—软件环分; 硬分—硬件环分

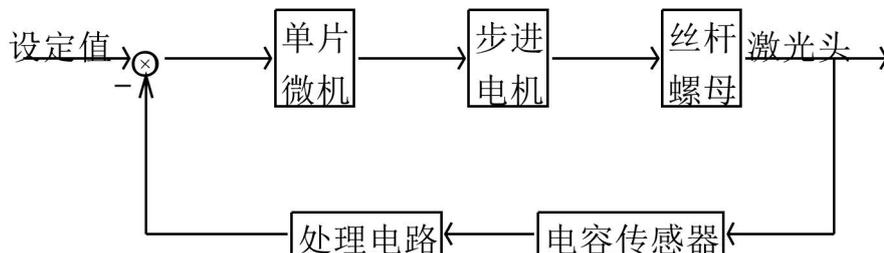


图2 系统控制框图

图3 系统硬件构成

滤波子程序采用滑动平均值法进行数字滤波，将外部扩展 RAM 作为测量数据缓冲器，构成先进先出的循环队列。里面数据固定为八个三字节浮点数，每进行一次采样，把结果放入队尾，扔掉队首一个数据，然后将队列中数据进行算术平均，即每进行一次采样，均可得到一个新的算术平均结果。

在编程时，主要通过调整队尾指针实现先进先出的循环队列。初始时，队列地址 7E00H ~ 7E17H 内容为零，指针(5FH)内容为零，指向7E00H；插入一个数据后，指针加一，指向7E03H，直到放满八个数据，(5FH)内容为7，指向7E17H，当下一个采样值插入时，则地址指针重新调整为零，指向7E00H，以后每插入一个数据，依次重复上述步骤。

线性化处理所涉及的主要是电容传感器本身的非线性误差，从广义上讲，电容传感器的高温损耗、电感效应、边缘效应、泄漏电容及分布电容等寄生电容的影响、零漂等因素，都可以看成影响线性度的原因。以前，为了减少传感器非线性，通常采用机械或电的模拟补偿方法解决，针对不同的原因，要采用不同方法，而这些补偿方法效果并不理想，且对有些误差补偿极为困难，甚至不可能。由于微机的出现，将使复杂的问题简单化。

利用软件实现线性化处理有两种方法：曲

图4 激光头结构

采样子程序为一中断服务子程序，采样周期5 ms，由定时器 T_0 控制，CPU 响应中断转入中断服务，将计数值转化为三字节浮点数，放入外部扩展 RAM 数据缓冲器中。

必须指出，中断程序不能改变任何主程序所使用的变量或硬件寄存器，否则程序可能不能正确地继续执行。服务程序所使用的或改变的变量必须压入堆栈保存起来，而且返回前必须恢复以前的值；究竟哪些变量需进栈保护，应根据现场情况定。有些中断服务程序中，由于还要调用其它通用子程序，栈的内容还要有所增加，这点往往容易忽略。故子程序中所用到的其它资源都必须保护起来，否则极易出错。

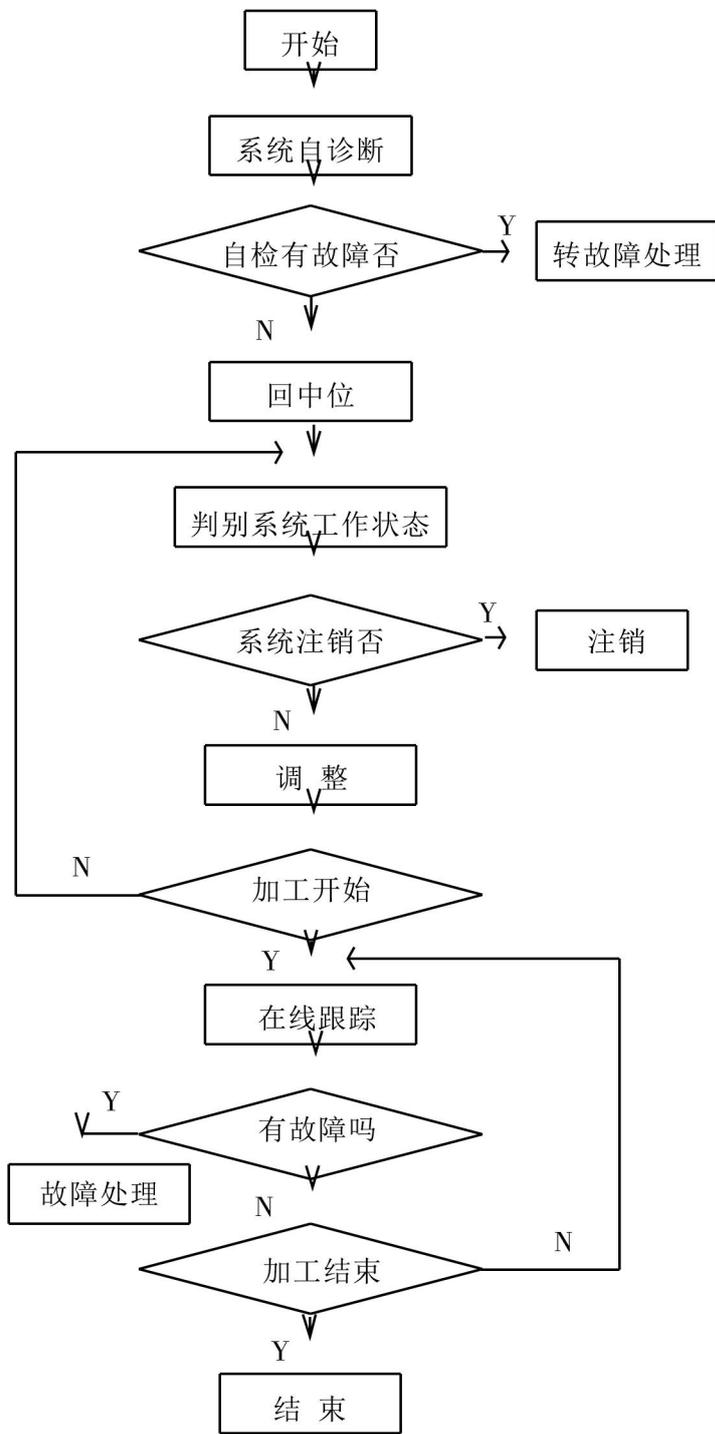


图5 主程流程图

线拟合法和查表法, 对于实时控制场合, 曲线拟合法计算时间较长, 采用查表法较好, 具体方法如下:

- (1) 通过大量实验, 得出不同情况下间隙 h 对应的采样频率 f ;
- (2) 由计算机离线求出 $f(h) - h$ 拟合曲线;
- (3) 离线求出分段信号 f_i 对应的间隙 h_i , 从而得到一张表明输入信号与被测量值关系的表格, 存入单片机 ROM 内;

(4) 单片机根据采到的频率信号 f 查表, 得出被测量值 h 后, 线性化目的便得以实现。

4 PID 参数的最优调节

在本系统中, 根据最优控制原理, 按线性二次性能指标整定 PID 参数, 实现 PID 参数的最优调节。

设性能指标函数为:

$$J = X^T(N)SX(N) + \sum_{i=0}^N [X^T(i)QX(i) + U^T(i)RU(i)] \quad (1)$$

式中 U 为控制量; S, Q 为加权矩阵; R 为加权系数

系统状态方程为:

$$X(k+1) = AX(k) + BU(k) \quad (2)$$

式中 $X(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ x_3(k)]^T$; x_1, x_2, x_3 分别表示偏差, 偏差微分, 偏差积分

利用动态规则, 可得

$$u(i) = -L(i)X(i) \quad (3)$$

$$L(i) = (R + R^T P(i+1)B)^{-1} B^T P \times P(i+1)A \quad (4)$$

$$P(i) = (Q + L^T(i)RL(i) + A - BL(i))^T \cdot P(i+1) \cdot (A - BL(i)) \quad (5)$$

$$P(N) = S \quad (6)$$

$$i = 0, 1, \dots, N$$

由式(3)得

$$U(i) = -L(i)X(i) = -[l_1(i)x_1(i) + l_2(i)x_2(i) + l_3(i)x_3(i)] \quad (7)$$

则 $l_k(i)$ ($k = 1 \sim 3$) 分别为比例、微分、积分增益, $N \rightarrow \infty$ 时, $P(i) \rightarrow P$ (常阵), $L(i) \rightarrow L$ (常阵), 从而得到稳定状态时 PID 最佳调节参数 $[l_1 \ l_2 \ l_3]$ 。

由以上可归纳出整定参数步骤:

- (1) $N \rightarrow \infty, P(N) = S$
- (2) $M(j) = P(j+1) - P(j+1)B [B^T P(0)B + R]^{-1} B^T P(0)$
- (3) $P(j) = A^T M(j)A + Q$

(4) $|P(j) - P(j + 1)| < \epsilon$ 时, 记下 $N = j, P(j)$ 计算出 $L, L = (R + B^T P B)^{-1} B^T P A$

在本系统中, 状态方程 $A、B$ 系数矩阵经推得为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{2T - T^2}{2} & 0 \\ 0 & \frac{2 - 2T - T^2}{2} \cdot k & 0 \\ T & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{3T^2 - T^3}{6 \cdot k^{-1}} & \frac{6T - 3T^2 + T^3}{6k^{-1}} & 0 \end{bmatrix}^T$$

其中 T 为采样周期, k 为系统参数

取 $Q = \text{diag}[1, 1, 10^{-4}]$, $S = [0]_{3 \times 3}$, $R = 0.5$, 得: $L = [4.051 \quad 0 \quad 0.1429]^T$

图 6 为计算机输出的系统仿真曲线, 被控

制量间隙给定为一阶梯状曲线:

$$r(t) = \begin{cases} 2.5 \text{ mm} & 0 < t \leq 30 \text{ ms} \\ 3.0 \text{ mm} & t > 30 \text{ ms} \end{cases}$$

$u(t)$ 为控制量, $y(t)$ 为系统输出, 可以看出, 系统响应快、基本上无超调, 还消除了稳态误差。

5 结束语

本文论述了以 MCS-51 型单片微机为控制中枢的 Z 轴随动系统, 以及相应的数据处理及控制软件。经现场调试, 其动、静态精度均达到较高要求, 该系统的初步研制成功, 对推广激光加工技术有良好的促进作用, 为国内激光加工机的实用化打下了基础。

参考文献

- 1 孙育才. MSC-51 系列单片机原理及应用. 南京: 东南大学出版社, 1989.
- 2 程道喜等. 传感器的信号处理及接口, 北京: 科学出版社, 1989.
- 3 Pauke F. ISA Transaction, 1988, 27(2): 41- 43.
- 4 Sasaki Tai. IEEE Trans Instrument and Measurement, 1985, 1(4): 29- 31.

图 6 计算机输出的系统仿真曲线

MICROCOMPUTER CONTROL OF FOCUS POSITION FOR LASER CUTTING

Yang Fangqiong

Department of Mechanical Engineering,

Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACT By combing the laser technology with modern control theory and microcomputer technology, and by means of the z-axial follow-up system using a MCS-51 type single-chip microcomputer as backbone controller and the corresponding data-processing control software, a kind of adaptive control system suitable for laser cutting was designed. This control system lays a theoretic foundation for the wide use of laser processing.

Key words single-chip microcomputer PID control laser cutting focus position (编辑 吴家泉)