

# 基于单片机全位置自动焊接装置的研制

张爱华, 王彦庆

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 焊接装置以 C8051F020 单片机为核心控制芯片, 通过对数字直流伺服系统、PI 控制器和驱动接口设计以及对电流、电压传感器、角度传感器的反馈信息的检测与处理, 实现了对电机的控制, 完成了各种焊接要求。焊接速度的平稳恒定是焊接质量的保障, 利用单片机对 PWM 波脉宽的调制和增量式 PI 控制器对电机转速的调节, 实验表明, 该方法可以实现焊接速度的精确控制。

**关键词:** C8051F020; PI 控制器; 电机调速

**中图分类号:** TG409

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1004-0366(2010)04-0114-05

## Design of All-Position Automatic Welding Systems Based on SCM

ZHANG Ai-hua, WANG Yan-qing

(Institute of Electrical and Informational Engineering, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** C8051F020SCM as the core control chip of welding equipment has realized the control of the motor and completed all kinds of welding requirements through digitized servo system, PI controller and drive interface. It has also examined and processed the feedback information of circuit sensor, voltage sensor, angular transducer. The stable and invariable nature of welding speed is an insurance of welding quality. SCM is used to adapt PWM pulse width and the incremental PI controller is used to adapt the rolling speed of the motor. Experiments have shown that this method has achieved the precise control of welding speed.

**Key words:** C8051F020; PI regulator; speed adaptation of the motor

随着管道工业的不断发展, 管道焊接的工作量日益增大, 对焊接质量、焊接效率和焊接成本的控制要求逐步提高, 传统的手工焊接已经逐渐不能适应管道焊接的要求, 开发一种成本低廉、控制灵活、操作方便的管道全位置自动焊接装置成为一种需求<sup>[1]</sup>。

管道全位置自动焊接就是在被焊接管道固定的情况下, 焊接小车带动焊枪和控制箱环绕管壁运动, 实现自动焊接<sup>[2]</sup>。

目前, 我国的全位置焊接设备比较少, 大多数焊接装备都是进口的, 而进口装备庞大而且复杂, 造价、售价比较高, 对管道的直径要求比较多, 很多进口装备都需要现场编程, 设备操作难度比较高, 维修费用昂贵<sup>[3]</sup>。因此, 研制一种质量轻、成本低、功能强

的全位置自动焊接机是十分必要的。

### 1 全位置焊接装置的构成

全位置自动焊接系统包括 3 个部分: 机械系统、焊接电源、控制系统。整体系统配置如图 1 所示。其中, 焊接小车、伺服装置、送丝机等构成焊接的机头组件, 小车拖板经过机电一体化设计采用铰链式分体结构以完成自动行走, 并为焊接摆动以及焊接姿态调整机构提供支持。焊接轨道是连接整个焊接系统和被焊接管道的桥梁, 由导轨板和磁性座组成, 安装于管道外侧; 机头组件与焊接电源共同成为控制系统的执行部分; 控制箱对焊接的过程实施控制作用; PC 机为控制箱提供预置参数; 焊接电流、电压和

收稿日期: 2010-04-09

位置传感器为其提供反馈信息.管内对口器为管段定位组装和根焊背衬提供支持,详见图 1.

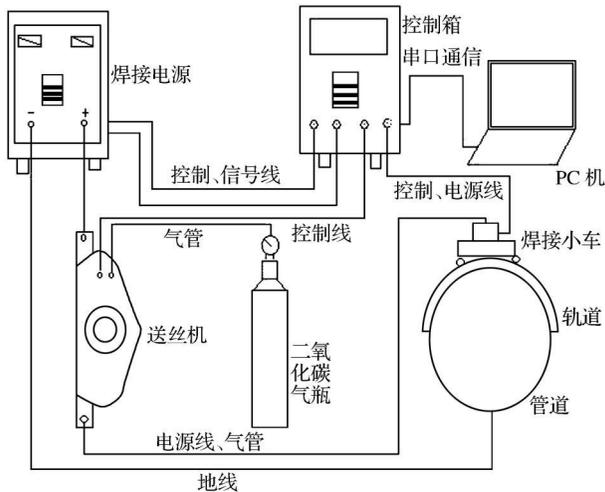


图 1 自动焊接装备构成

焊接系统工作时,首先将导轨沿平行于焊缝方向铺设,靠其上的磁铁将导轨吸附在钢板上,将车体安装在轨道上,同时使车上的链轮与导轨齿轮相结合.通过车体,控制箱,送丝机和焊接电源相互连接,将焊枪装到夹具上,再通过焊枪位置调整机构定好焊枪与焊缝之间的距离、角度.焊接前,先选定好规范参数(电弧电流、电压)、摆动参数(摆动幅度、摆动频率、断点停歇时间)、车体行走参数(行走方向、速度),调定保护气体的供气量,准备好以后,便可实施焊接工作.

## 2 机械系统

机械系统是全位置自动焊接装置的执行机构,主要由焊接小车和专用的焊接轨道构成.

### 2.1 焊接小车

焊接小车的主要部分包括小车拖板、焊枪调节机构、焊接摆动器和电缆支架.小车拖板根据实际情况采用单板式整体结构或者铰链式分体结构,系统设计最终采用铰链式分体结构完成自动行走,并未焊接姿态调整机构和焊接摆动提供支持.小车拖板上有 2 个卡在轨道板上的主驱动轮和一个导向轮.焊接摆动器其设置在小车前端,控制焊枪的摆动和改善焊缝的成型.焊枪调节机构由专用调节机构和手动调节机构组成,实现任意位置的焊枪调节.电缆支架用于控制电缆和焊接电缆的支撑.

### 2.2 轨道系统

轨道系统由导轨板和磁性座组成.导轨板采用标准的铝合金导轨板,具有可塑性,可根据工件表面

的情况,随时改变导轨板的形状.导轨板通过磁性座固定在工件的表面上.爬行小车沿着轨道前进,导向轮上的凹槽嵌在导轨上,从而保证了小车行走方向和行走的稳定.

## 3 控制系统

管道全位置自动焊接装置的控制系统包括硬件控制系统.硬件系统的设计主要有 D/A 接口的设计、焊接电源接口的设计、PWM 驱动接口的设计以及串行通讯的设计.软件系统的设计主要包括主程序、电机转速检测、A/D 中断处理等.

### 3.1 控制系统结构

装置使用二氧化碳气体保护电弧焊接方法,运用的工艺是全位置、多层的焊接工艺.

在焊接的过程中,焊接小车的行走速度和焊枪的左右摆动频率是 2 个主要的参数,将管道沿着垂直方向分为 2 段,定出焊接的节点.利用实验确定 0、30、60、90、120、150、180 处的电弧电压、焊接电流、小车行走速度和焊枪的左右摆动频率等参数,然后通过参数拟合,从而实现  $0\sim 180^\circ$  的自动焊接.控制系统结构如图 2 所示.

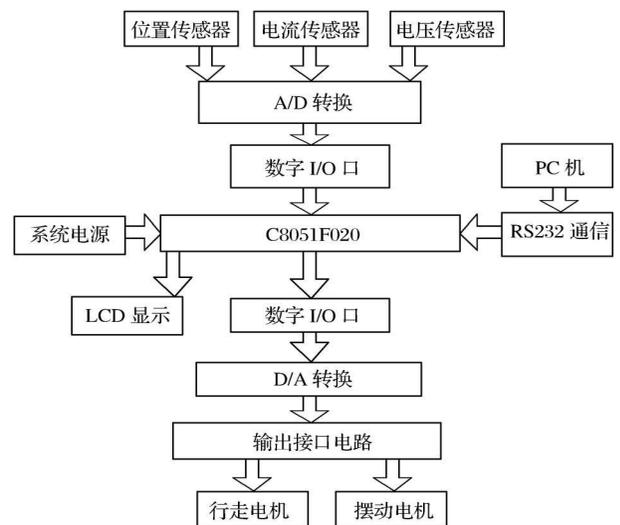


图 2 控制系统结构

控制系统的主要功能如下:

- (1) 通过单片机控制直流伺服电机.
- (2) 焊接的速度控制、焊接的位置测定、焊接的状态反馈.
- (3) 完成各种焊接模式的程序和参数切换.能够对反馈的信息进行实时处理.

(4) 通过 LCD 显示当前的焊接状态.

因为系统要处理的焊接参数数据比较多,数据

量比较大,要保证实时性以及准确控制,需要有较高的采集频率,因此采用 Silicon Labs 公司推出的 C8051F020 单片机.该单片机在相同的时钟下,单周期运行指令速度是原来 C8051F020 的 12 倍,整个指令集平均速度为原来的 9.5 倍,采用交叉开关网络以及硬件方式实现 I/O 口的灵活配置<sup>[4]</sup>,从数据处理量和输入输出接口要求来看,能够完成系统的功能.

电流传感器选用北京世特美测控有限公司生产的 SD1T\_C4V6 传感器,该传感器属于盘式安装,额定输入电流 50~500 A;电压传感器选用的是北京世特美测控有限公司生产的 SA1T\_V25V6 传感器,额定出入电压 10~50 V;位置传感器选用深圳市华夏磁电子技术开发有限公司的 AME-B002 角度传感器,测量范围 0~360°,没有检测死区.

### 3.2 数据转换电路

(1) A/D 接口电路 A/D 转换的目的是将出入的模拟量转化成与其成比例的数字量<sup>[5]</sup>.焊接系统实现 A/D 转换功能有 2 部分:片内 A/D 转换器和片外的采样接口电路.控制 A/D 转换过程的是 A/rD 命令寄存器 AD\_COMMAND,操作者通过对 AD\_COMMAND 的设定来选择是写入 AD\_COMMAND 的方式来立即启动 A/D 转换还是等待来自 EPA 的触发信号来启动 A/D 转换.转换结果存在结果寄存器 AD\_RESULT.系统对采样周期要求比较严格,因此采用 EPA 的触发信号启动方式.电压信号经过电压跟随、光电隔离、温度调 0、RC 滤波,最后经过电压跟随,将信号传入片内的 A/D 转换器.

(2) D/A 接口电路 D/A 接口电路的功能是将数字量转化成同比的模拟量<sup>[6]</sup>.D/A 接口电路分为 2 部分:模数转换部分和输出接口部分.转换电路如图 3 所示.

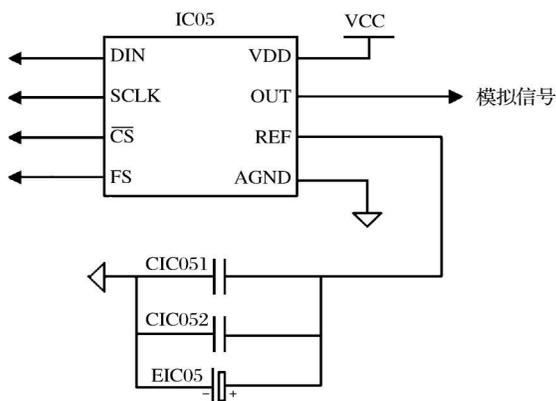


图 3 D/A 转换电路

因为 MCU 提供的是数字信号量,所以需要采用专用的 D/A 转换芯片进行转换,每路一片.系统采用 TexasInstrument 公司生产的 TLV5636 芯片.单片机输出的信号经过信号放大、电压跟随、光电隔离、电压跟随、温度调 0、RC 滤波,实现对焊接电源的控制.

## 4 焊接速度调节

电机的转速比焊接中的要求更高,同时,焊接速度要求可以调节,这就要求我们必须对控制电机进行调速<sup>[7]</sup>.

### 4.1 数字 PI 调节

微机数字控制系统中,采样频率足够高,则可以按模拟系统设计的方法设计调节器,再进行离散化,得到数字 PI 控制器算法.

在模拟调节系统中,PI 控制算法为

$$u(k) = K_p \left[ e(k) + \frac{T}{T_1} \sum_{j=1}^k e(j) \right] \frac{K_p T}{T_1}, \quad (1)$$

其中  $u(k)$  为调节器的输出信号; $e(k)$  为偏差信号,它是输出量与给定量之差; $K_p$  为比例系数; $T_1$  为积分的时间常数.进行离散化后,可得

$$u(k) = K_p e(k) + K_1 \sum_{j=1}^k e(j), \quad (2)$$

其中  $K_1 = \frac{K_p T}{T_1}$ .

$K$  次采样如式(2)所示,那么  $K-1$  次采样值为

$$u(k-1) = K_p e(k-1) + K_1 \sum_{j=1}^{k-1} e(j). \quad (3)$$

式(3)减去式(2)可以得出 PI 增量式控制算法为

$$u(k) = u(k-1) + a e(k) - b e(k-1), \quad (4)$$

其中  $a = K_p \left( 1 + \frac{T}{T_1} \right)$ ,  $b = K_p$ .

数字 PI 调节的控制流程如图 4 所示.

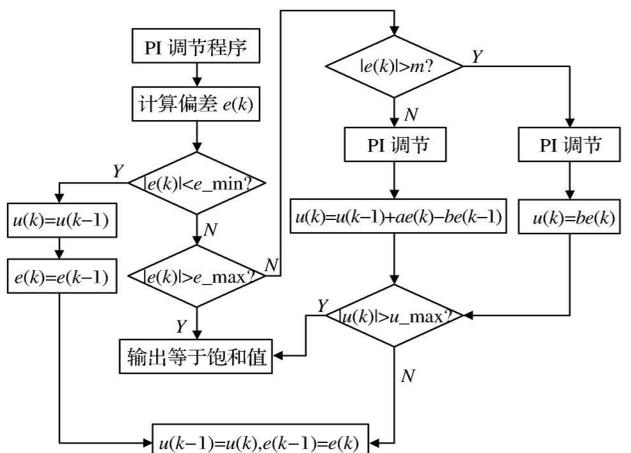


图 4 增量式 PI 控制调节程序流程

设定数字 PI 控制器参数  $a=2.3, b=2.1$ , 可以得出仿真曲线如图 5 所示.

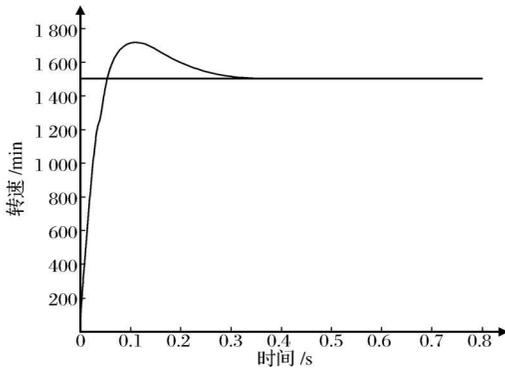


图 5 数字 PI 调节器空载仿真曲线

由图 5 可知,设计出的 PI 调节器超调比较小,调节时间比较短,可以满足焊接速度调节的要求.

### 4.2 PWM 的输出

C8051F020 通过内部的捕捉/比较寄存器发生 PWM 波,它的 PCA 具有增强定时器的功能,而且与标准的定时器/计数器相比较,所需要的 CPU 干预更少<sup>[8]</sup>.PCA 包括一个专用的 16 位定时/计数器和 5 个 16 位的捕捉/比较模块,每个模块都有自己的 I/O 线,每个模块可以被独立编程.

16 位 PWM 方式的占空比由公式(1)得出

$$\text{占空比} = \frac{65\ 536 - \text{PCA}0\text{CP}_n}{65\ 536} \quad (5)$$

比较部分开始前,要对 PWM 进行初始化,该部分的初始化流程如下:

```
#include <c8051f020.h>
#define PWM_START 0x4000 //定义 PWM 高电平时间的起始值
Sbit PWM_OUT = P^0;
void PCA_ISR(void); //PCA 中断服务程序
void SysClkInit(void); //配置系统时钟
void SystemInit(void); //系统配置
void PortInit(void); //端口配置
Unsigned PWM = PWM_START; //使波形为高电平的 PCA 周期
void SystemInit(void)
{
    WDTCN = 0xDE; //关闭看门狗
    WDTCN = 0xAD;
}
void PortInit(void)
{
    //交叉开关配置
    XBR0 = 0x10;
```

```
XBR1 = 0x00;
XBR2 = 0x40;
//p0 口分配状况
//p0.0 = CEX0
//p0.1 = CEX0
}
void PCA_ISR(void)
{
    PCA0CN = 0x40; //允许 PCA 计数器
    PCA0MD = 0x02; //禁止 CF 中断
    PCA0CPL0 = (0xff & PWM) //初始化 PCA 比较值
    EIE1 |= 0x08; //允许 PCA 中断
    .....
}
```

### 4.3 PWM 站空比的调节

对程序进行修改,重新设定 PCA0CPL1 和 PCA0CPH1 的值,可以调节 PWM 波形的占空比.从而改变电机的转速.对 PCA0CPL1 和 PCA0CPH1 的值的调节和占空比的对应关系如表 1 所示.

表 1 捕捉寄存器值与占空比对应关系

PCA0CPH1	PCA0CPL1	占空比
80H	00H	1/2
C0H	00H	1/4
E0H	00H	1/8

通过对 PCA0CPL1 和 PCA0CPH1 的值的设定,可以得出不同的占空比,从而对电机的转速实现调节,进而控制焊接速度.

系统中,2 个电机分别控制小车行走和电机摆动,因此需要产生 2 路 PWM 波,对 2 路 PWM 占空比分别进行调节,可以实现对 2 个电机转速的控制.PCA0CPH1=80H, PCA0CPL1=00H 时,占空比为 1/2, PWM 波形如图 6 所示.

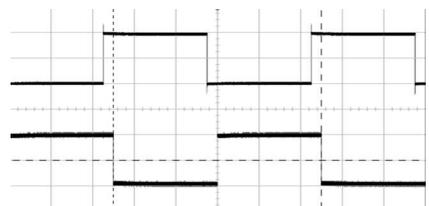


图 6 占空比为 1/2 时的 PWM 波形

PCA0CPH1=C0H, PCA0CPL1=00H 时,占空比为 1/4, PWM 波形如图 7 所示.

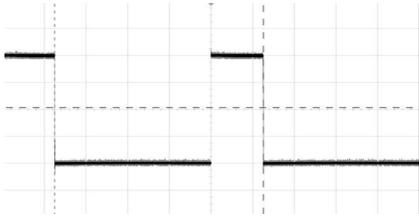


图7 占空比为1/4时的PWM波形

## 5 结语

随着管道工业的发展,管道的需求长度日益增加,从而引起管道焊接工作量的增大,同时对管道的焊接质量要求不断提高.我们设计的管道全位置直流焊接系统操作简单、对焊工的技术水平要求不高;可以实时改变焊接参数,从而使得焊接过程更为简单方便;实时显示焊接过程中电压、电流和转速,使操作工实时了解焊接状态;而且该系统整体比较小、造价低廉、效率高,具有广阔的应用前景.

### 作者简介:

张爱华 (1964-)女,河北省永年人,2005年获西安交通大学工学博士学位,现任兰州理工大学教授,博士生导师,主要研究方向为生物医学信号检测与处理.

### 参考文献:

- [1] 唐德渝,冯标,张建护.长输管道全位置自动焊接设备的研制[J].石油工程建设,2002,28(4):37-40.
- [2] 隋永莉,王福柱,李广民,等.长输管道建设中焊接设备的应用现状与发展趋势[J].电焊机,2006,12(36):1-3.
- [3] 葛玉华,霍立兴,张玉凤.焊接工艺管理中的专家系统[J].电焊机,2004,34(11):6-8.
- [4] 张涛,桂卫华,王随平.模块化数字逆变焊接系统的研究[J].电气自动化,2007,29(3):37-39.
- [5] Ishikawa Nobuyuki, Endo Shigeru, Kondo Joe. High Performance UOE Line Pipes[J]. JFE Technical Report, 2006, 12(1):20-26.
- [6] 陈炯.自动焊接设备在全位置焊中的应用[J].电焊机,2004,34(7):5-7.
- [7] 李晓,李亮玉,王天琪,等.一种基于DSP控制的管道逆变焊接电源[J].焊接技术,2009,38(3):34-36.
- [8] 万光毅,孙九安,蔡建平,等.单片机实验、实践与应用设计—基于C8051F系列[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006:86-90.
- [9] 尤志春,李鹤岐.基于DSP-MCU数字化焊接电源系统的设计[J].甘肃科学学报,2005,17(2):100-104.