

## 焊接精萃——逆变式焊机技术的发展

# 单片机控制 IGBT 逆变埋弧焊机设计

李鹤岐, 吴荣, 路广

(兰州理工大学 材料科学与工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要** 针对 IGBT 逆变埋弧焊机设计了基于单片机 80C196KC 的控制系统, 介绍了系统软、硬件组成和控制原理。焊接电源采用 PWM 控制技术, 通过电流反馈 PI 控制算法调节电源输出外特性, 送丝及行走小车调速系统采用 MOSFET 型开关电源, 采用电弧电压反馈 PI 算法, 实现了送丝速度的闭环控制。研制的焊机具有参数预置、数字显示、自动引弧收弧等功能。试验结果表明, 样机性能稳定, 工作可靠, 达到了设计的要求。

**关键词** 埋弧焊; 单片机; 逆变电源; 脉宽调制

**中图分类号** :TG434 ;TG445      **文献标识码** :A      **文章编号** :1001-2303(2004)10-0001-05

### Development of SCM control IGBT inverter submerged arc welding

LI He-qi, WU Rong, LU Guang

(College of Materials Science and Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract**: A control system based on SCM 80C196KC is designed for IGBT submerged arc welding inverter. The software and hardware as well as the control principle of the system are introduced in this paper. In the power source a PWM technology is adopted, the current feedback PI algorithm is used to adjust the output volt-ampere characteristic of power source. The MOSFET switch powers are applied in delivering wire and tractor speed control system. The voltage feedback PI algorithm is used to adjust wire-feed speed which is controlled with closed-loop. The developed welder has many advantages such as specification parameters presetting, digital display, and automatic arc ignition and extinguishing. The experimental results show that the welder has stable and reliable performance and meet the requirement of design.

**Key words**: SAW; single chip MC; inverter power source; PWM

## 序言

埋弧自动焊具有生产效率高、焊缝质量好、劳动条件好等优点, 在造船、锅炉、化工容器、桥梁、起重机械以及冶金机械等制造业中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。然而, 目前国内工业生产中埋弧焊设备多为传统机型, 且控制系统仍然采用模拟电路, 电源不仅耗电大、耗材多, 而且送丝电路复杂, 整机性能、功能、易用性都有待提高。逆变焊接电源由于具有节能、体积小和质量轻等优点, 已成为焊接电源的主导产品之一。随着现代电子控制技术和大功率 IGBT 逆变技术的不断成熟, 埋弧自动焊机采用逆变技术和数字控制技术成为其发展的趋势。因此研制微机控制的逆

变埋弧焊机具有很现实的意义。

为此, 针对 IGBT 逆变埋弧焊机, 设计采用以单片机 80C196KC 为核心的微机控制系统, 通过数字算法实现焊接电源输出特性的精确控制, 在焊接过程中自动调节送丝速度和小车行走速度(焊接速度), 过程控制软件控制焊机的引弧、焊接、收弧等, 焊机具有参数预置、数字显示和抗网压波动及过热、过载保护等功能。

## 1 焊接电源主电路

焊接电源主电路如图 1 所示。系统采用 IGBT 全桥逆变拓扑结构, AC-DC-AC-DC 的逆变形式。输入三相交流电首先经整流桥整流、电容滤波后变成平滑的直流电, 再经开关管的交替轮流导通逆变成高频方波交流电, 经高频变压器降压后, 最后由桥式整流和电抗器滤波输出。实现功率的转换, 供给电弧。通

收稿日期: 2004-03-16

**作者简介**: 李鹤岐(1940—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事焊接质量控制研究工作, 发表论文 80 余篇。

过脉宽调制电路调节占空比来控制焊接能量的输出。

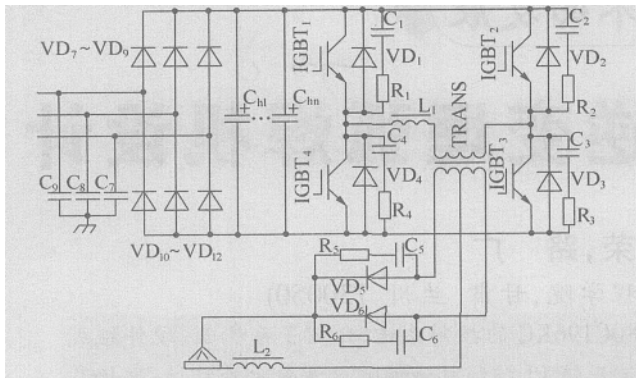


图 1 逆变电源主电路

开关管选取 480 A/1 200 V 的 IGBT 模块,开关频率设计 20 kHz,焊机额定电流 1 000 A,电流调节范围 100~1 000 A,空载电压 90 V。

## 2 控制系统设计

### 2.1 控制系统构成

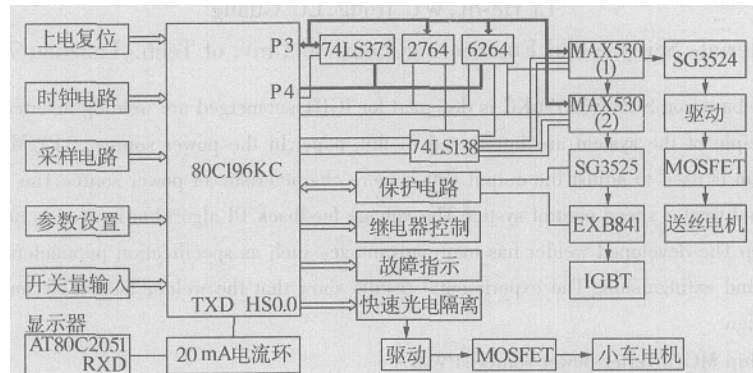


图 2 单片机控制系统原理框图

80C196KC 具有 8 路 10 位 A/D 转换器,信号采样电路使用通道 ACH3、ACH4,采样焊接电流  $I_h$ 、电弧电压  $U_h$ ,参数预置电路使用通道 ACH0~ACH2,用于对给定电流  $I_g$ 、给定电压  $U_g$  和焊接小车速度  $v_g$  的设置和调节。开关量输入电路设置“启动”“停止”“点动送丝”“点动抽丝”4 个操作按钮和焊接小车“前进/后退”“自动/手动”选择开关。继电器电路通过固体继电器控制中间继电器,用于实现主电路的切换和控制送丝和小车电机的正反转,从而切换送丝/抽丝与小车前进/后退。开关量的输入和输出采用光电隔离。MAX530 是 12 位 D/A 转换器,精度达到 12 位,芯片工作电流只需 250  $\mu$ A,转换输出电压范围在 0~4.096 V 之间,用于给脉宽调制芯片 SG3525 和 SG3524 提供模拟电压信号。保护电路实现 IGBT 过电流、过

埋弧自动焊机的控制系统包括:电源外特性控制、送丝和小车拖动控制以及焊接过程的自动控制(其中主要是引弧和熄弧自动控制)。该系统焊机的输出功率和焊机的输出外特性采用脉宽调制(PWM)型调节方式,送丝和小车电机的调速亦采用 PWM 直流调速方式。由单片机系统来实现焊接过程的控制及焊接规范的闭环控制。

### 2.2 单片机控制系统

整个控制系统由单片机控制系统和外围电路组成,系统构成原理图如图 2 所示<sup>[2]</sup>。以 Intel16 位单片机 80C196KC 为核心,扩展了程序存储器 2764 和数据存储器 6264(2764 芯片用于存放程序,6264 芯片用于存放采集的焊接参数),与上电复位电路、时钟电路一起构成单片机最小系统。单片机外部总线为 8 位。组成电路还包括参数预置电路、数据采样电路、开关量输入电路、脉宽调制电路、驱动电路、保护电路以及显示电路等。

热和网压过/欠电压的检测、鉴别和保护。

### 2.3 控制系统工作原理

焊接过程中,单片机不断采样焊接电流和电压,并与预置的给定电流、电压进行比较,根据电流偏差经 PI 运算,输出控制参量,控制参量由 MAX530<sub>(1)</sub> 进行 D/A 转换,转变为电压信号,将其送入脉宽调制器 SG3525,得到 2 组相互反相的脉宽信号,经 EXB841 功率放大驱动,控制主电路 IGBT 开通和关断<sup>[3]</sup>,从而实现对焊接电流的调节,满足焊接外特性的要求,同样,送丝系统也构成闭环控制,单片机根据电压偏差经 PI 运算,输出控制参量,由 MAX530<sub>(2)</sub> 转换为模拟电压并作为芯片 SG3524 的输入控制量,调制出一定占空比的脉冲信号,经驱动放大后控制 MOSFET 的开通和关断,从而使送丝电机得到一定

平均值的电枢电压,通过调节送丝速度保持电弧电压的稳定。小车电机直接采用开环控制,根据给定焊接速度,由 80C196KC 的 HSO.0 口产生一定占空比的 PWM 信号,经光电隔离、信号放大后驱动 MOSFET 开通和关断,调节小车电机的行走速度。

### 2.4 送丝和小车调速电路

在焊机中,送丝电动机的调速一般都采用晶闸管电动机(SCR-M)调速系统。但因 SCR 控制周期长、调节频率低,造成系统的响应速度慢;当电网电压在较大范围内波动时,补偿能力差,且电机损耗和发热较大,从而影响了送丝的稳定性,造成焊接规范和焊接质量的波动<sup>[4]</sup>。SCR-M 系统的非线性形也较差。

在此设计的送丝系统为脉宽调制(PWM)型调速系统,送丝电机采用直流伺服电机,如图 3 所示。PWM 芯片 SG3524、MOSFET 开关管和整流桥等组

成高频开关电源,给电枢绕组供电;励磁绕组由整流桥整流后供电。PWM 电路以 SG3524 为核心构成,其 2 脚为输入端,输入量为单片机系统输出的电压信号  $U_k$ ,11、14 脚为输出端,两脚并联使输出脉冲频率增加 1 倍。4 脚输入电流检测信号,过电流时关断 PWM 输出,电机停转。为了改善开关性能,提高栅极电容的充放电速度,在 SG3524 的输出级加上互补射极跟随器作为 MOSFET 的驱动电路。MOSFET 开关频率由 SG3524 的 6、7 脚外接的电阻和电容确定,系统设计为 50 kHz,保证了很高的系统响应速度。另外,对埋弧焊而言,送丝机需要有抽丝、送丝动作,为此在电动机电枢绕组前加有继电器电路,通过单片机控制继电器  $K_1$  的交替吸合,改变加在电机上电压的极性,即可实现正转和反转。此系统是一种可逆调速系统<sup>[5]</sup>。

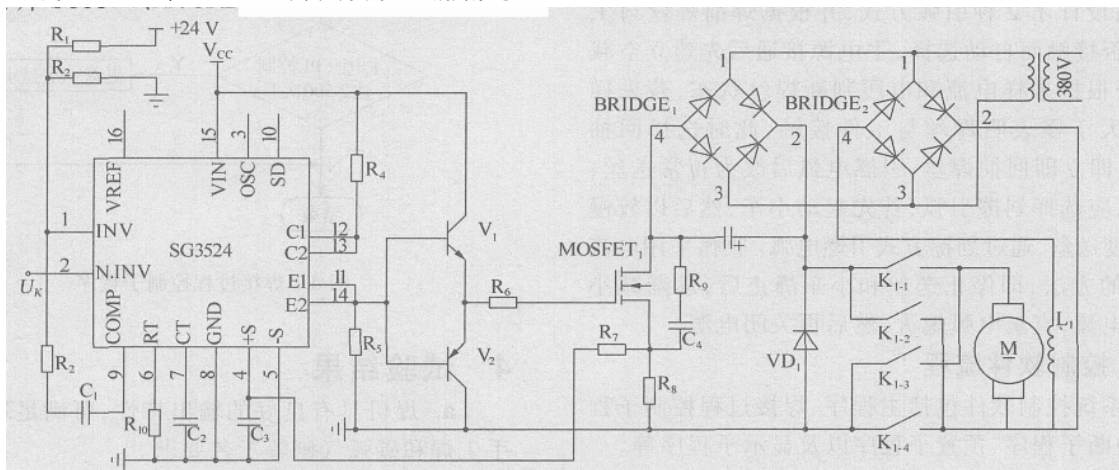


图 3 送丝调速系统

小车电机的调速电路与此电路相类似,不同之处在于 PWM 信号直接由 80C196KC 的 HSO.0 输出,焊接速度的大小由预置电路预先向单片机给定,也可以在焊接过程中动态调节。

### 2.5 显示电路<sup>[6]</sup>

显示器和操作键安装在小车的控制盒上,通过电缆线与主机连接。为了减少电缆芯数,设计了基于 AT89C2051 单片机的数字显示器,80C196KC 与 AT89C2051 间进行 2 线串联异步通信,传递显示数据。通信接口采用 20 mA 电流环,光电隔离,以提高抗干扰能力。用 7 个共阳极数码管构成显示器,2 位显示电压,3 位显示电流,2 位显示焊接速度。扫描驱动显示方式。空载时显示预置焊接电压、电流和速度,焊接过程中显示实际焊接电压、电流和速度。

## 3 软件系统<sup>[6,7]</sup>

### 3.1 电源外特性调节

采用电流反馈的 PI 算法进行外特性的控制,通过对电流  $I_k$  的调节,可获得各种斜率的下降型输出外特性。应用时应选择合适的外特性曲线斜率,在保证过程稳定性的前提下,尽可能减小焊接电流波动。通过给定电流  $I_g$ 、给定电压  $U_g$  和选定的斜率  $\mu$  构成的斜线方程来确定目标电流,进行 PI 控制,即可获得恒斜率的下降外特性。采用增量式算法的位置输出形式,表达式为

$$P(i) = P(i-1) + K_p [E(i) - E(i-1)] + K_i \frac{T}{T_i} E(i),$$

$$E(i) = I_h(i) - I(i),$$

$$I(i) = \frac{1}{\mu} [U_h(i) - U_g] + I_g,$$

焊接精英——逆变式焊机技术的发展

式中  $K_p$ 、 $T_i$ 、 $T$  分别为比例系数、积分时间和采样周期  $I_d(i)$  为当前外特性曲线确定的当前目标焊接电流。 $E(i)$ 、 $E(i-1)$  分别为第  $i$  次和第  $i-1$  次电流采样值与目标值的偏差。 $P(i)$ 、 $P(i-1)$  分别为第  $i$  次和第  $i-1$  次 PI 调节器的调节量, 作为 MAX530<sub>(1)</sub> 的控制参量。

### 3.2 送丝和焊接速度调节

送丝速度调节采用电弧电压反馈的 PI 控制算法, 其偏差为给定电压  $U_g$  与当前焊接电压  $U_h$  之差。PI 调节的输出作为 MAX530<sub>(2)</sub> 的控制参量, 通过控制送丝电机的电枢电压调节送丝速度, 保持焊接电压的稳定。焊接速度的调节采用开环控制, 通过调节焊接速度给定, 即可改变小车的行走速度。

### 3.3 引弧与收弧控制

埋弧焊的引弧方式有 2 种回抽或划擦引弧。为此, 设计了 2 种引弧方式, 并根据焊前焊丝与工件是否接触而自动选择。主电源接通后先建立空载电压, 根据采样电流和电压判断焊丝状态, 若采样电流大于零表明焊丝与工件接触, 此时选择回抽引弧, 即立即回抽焊丝, 引燃电弧后改为正常送丝; 否则, 应选择划擦引弧, 首先起动小车, 然后以较慢的速度送丝, 通过划擦方式引燃电弧。收弧采用电流衰减的方法, 即停止送丝和小车静止后, 逐渐减小焊接电流, 直至电弧熄灭, 然后再关闭电源。

### 3.4 控制软件流程

系统控制软件包括主程序、焊接过程控制子程序、中断子程序、预置子程序以及显示子程序等。

主程序流程为: 接通电源, 系统上电复位后首先初始化, 再判断是否有“送丝”或“抽丝”键按下, 若“送丝”键按下, 则执行点动送丝; 若“抽丝”键按下, 则执行点动抽丝, 以此调整焊丝与工件的距离。单片机读取预置的焊接参数(电流、电压、速度), 经 A/D 转换后存入内存, 并显示其数值。在此状态下, 循环执行以上步骤, 等待焊接“开始”键的按下。“开始”键按下后, 系统软起动建立空载电压, 并根据焊丝与工件是否接触, 自动选择回抽引弧或划擦引弧, 当判断电弧引燃后, 进入焊接过程控制子程序。单片机实时采样焊接电流和电压, 根据计算的电流、电压偏差循环进行电源外特性 PI 控制和送丝速度的 PI 控制, 并周期调整焊接速度以及更新焊接参数显示。当“停止”键按下后, 执行焊接收弧程序, 完成焊接全过程。焊接过程控制子程序流程如图 4 所示。

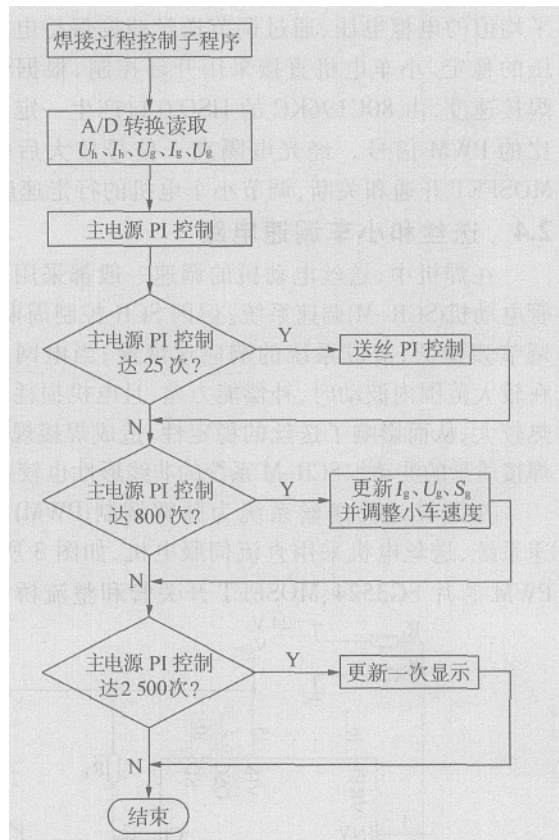


图 4 焊接过程控制子程序

## 4 试验结果

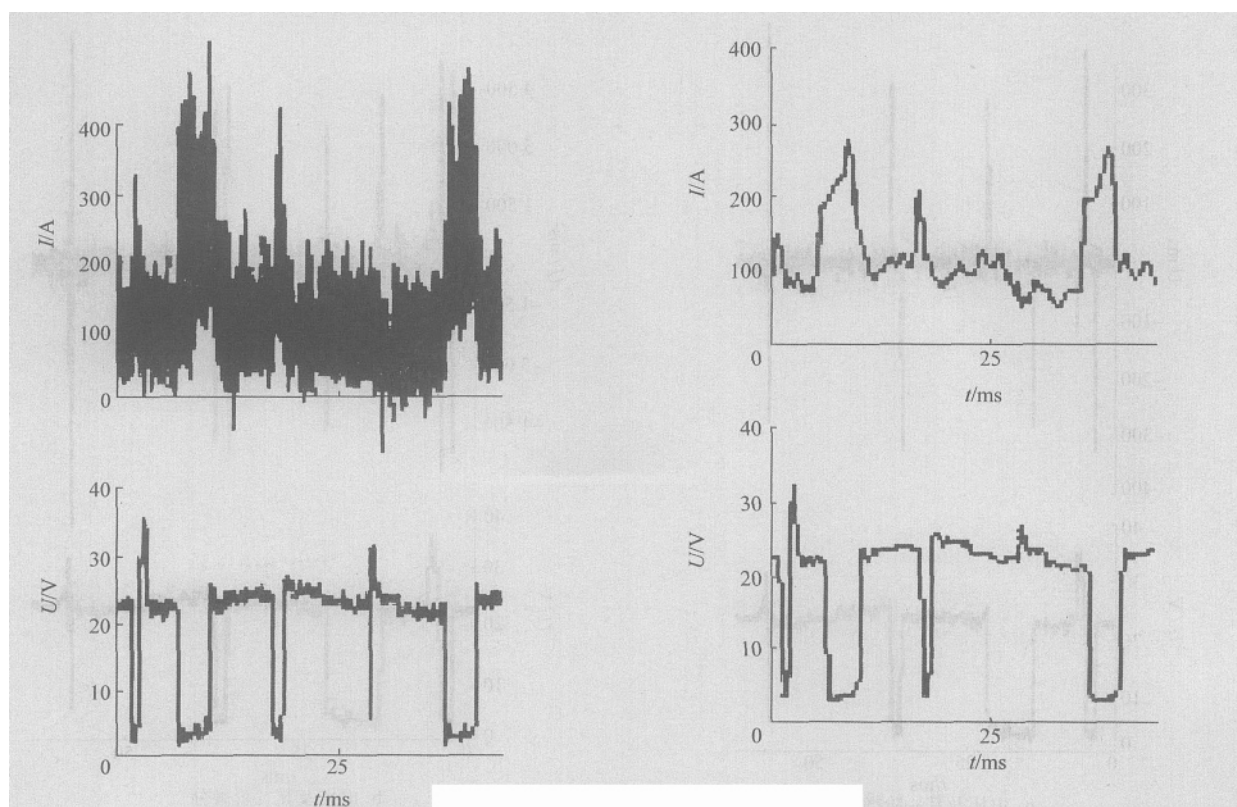
- a. 焊机具有良好的输出特性, 可满足埋弧焊、手工焊和碳弧气刨等工艺要求。
- b. 采用弧压反馈的变速送丝调节方式进行自动引弧和收弧的埋弧焊, 电弧稳定, 焊接质量好。
- c. 焊接过程规范参数稳定, 电压和电流在 1 s 内波动不大于  $\pm 0.25$  V 和 1 A。
- d. 焊接电流调节范围宽, 以直径为 4.0 mm H08 焊丝低碳钢板进行堆焊, 电流调节 250~750 A 均可稳定焊接。

## 5 结论

该研究采用微机控制的逆变埋弧焊机具有许多优点, 应是埋弧焊机发展的主要方向之一。

a. 基于 80C196KC 单片机的控制系统能够满足逆变埋弧自动焊电源与过程控制的要求, 提高了焊机的综合性能及自动化程度。

b. 控制系统采用 PWM 控制技术, 通过电流反馈数字 PI 控制算法实现了焊接电源



a 电流、电压原始波形

b 滤波后的电流、电压波形

$I=100\text{ A}$  ;  $U=19.5\text{ V}$  ;  $d=1.2\text{ mm}$  ;  $L=15\text{ mm}$  ;  $v=35\text{ cm/min}$  ;  $Q=16\text{ L/min}$ 。

图 9 原始波形和滤波波形对比

试和分析软件,该软件能完成数据采集、处理和动态显示,具有界面友好、操作简单、实时性强等特点,适合于  $\text{CO}_2$  逆变电源和其他弧焊电源瞬态特性的检测与分析。

电弧电压的统计分析、电压的一阶及二阶微分模块为短路、缩颈和燃弧 3 个特殊状态的判别提供了较好的信号源,为  $\text{CO}_2$  焊短路过渡实时控制准备了良好的先期条件。

#### 参考文献:

- [1] 殷树言.  $\text{CO}_2$  焊接设备原理与调试[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [2] 张勇,徐忻.基于 Labview 虚拟仪器的  $\text{CO}_2$  焊接参数采集分析系统[J].焊接学报,2003,24(8):43-50.
- [3] 朱六妹,肖孝菊,王伟,等.  $\text{CO}_2$  焊熔滴过渡特征的分析 and 研究[J].电焊机,2000,30(1):18-21.
- [4] 李恒,杨立军.  $\text{CO}_2$  气体保护焊短路过渡过程与电参数的关系[J].天津大学学报,2001,34(3):360-363.

Page 4 ← 输出特性的精确控制,通过弧压反馈 PI 算法调节送丝速度,实现了送丝系统的闭环控制。

c. 送丝和小车行走调速系统采用 MOSFET 高频开关调速电路,具有优良的动、静态品质,结构简单,运行可靠。

#### 参考文献:

- [1] 姜焕中.电弧焊及电渣焊[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [2] 李鹤岐,郝伟,徐德进.微机控制脉冲 MIG 焊机的研制[J].甘肃工业大学学报,2002,28(2):42-43.
- [3] Guichao Hua, Fred C lee, Milan M Jovanovic. Improved

full bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter using a saturable inductor[J].IEEE Trans. Power Electron., 1993, 8(4):530-534.

- [4] 骆德阳,宋彬,方培泉.开关型送丝电源的研制[J].电焊机,1997,27(2):9-11.
- [5] 陈伯时.电力拖动自动控制系统[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [6] 马跃洲,孙志军.单片机控制磁放大器式埋弧自动焊机[J].电焊机,1998,28(1):33-35.
- [7] 马跃洲,梁卫东.数字控制的埋弧自动焊机的研制[J].电焊机,2002,32(8):11-15.