第15卷 第1期 焊 接 学 报 Vol.15 No.1
1994 年 3 月 HANJIE XUEBAO March 1994

微机控制热丝 GTA 全位置焊管系统

齐志扬 张兆伍

(上海交通大学)

摘 要 本文介绍了新开发的微机控制热丝钨极氩弧焊(GTA)焊管系统,旨在提高焊接速度及质量以适应生产发展的需要。控制系统利用焊接电弧为传感器,通过软件来实现焊接程序、焊接规范的自动变换、焊接参数的自动控制以及焊缝的自动跟踪和示教跟踪。具有抗干扰性强、精度高、反应快、柔性强及体积小等优点,特别适合于野外现场施工。

关键词 热丝;GTA 焊;全位置焊;焊管系统

0 序 言

在海底管等长距离输送管道的自动焊接系统的开发中,由美国 ARC 公司开发的熔化极氩弧焊(GMA)法,在十几年时间里已焊接了 7200 公里的海底管。然而科学技术的飞跃发展,各种新材料的相继应用,对于海底石油输送管系统提出了许多新的问题,单用 GMA 法已无法适应当前科技发展的需要。各国焊接科技工作者都在探索研究新的焊接方法,开发新的自动焊接系统。ARC 公司于 1983 年率先推出了热丝 GTA 自动焊接系统。

为了适应我国石油工业的发展需要,本文开发了微机控制热丝 GTA 焊管系统。

1 加热焊丝的 GTA 焊接方法

1.1 两种焊接方法的比较

海底管自动焊接系统主要采用二种焊接方法,即 GMA 与 GTA。随着海底管材料的高强度化,对焊接要求更高,GMA 法已无法胜任这种需要,而 GTA 法的适用范围越来越广。但由于其电极载流能力有限,电弧功率受到限制,焊缝熔深浅,焊接速度低,使用受到一定限制。关键在于如何提高 GTA 法效率,于是热丝 GTA 焊应运而生了。

1.2 热丝 GTA 焊方法

热丝 GTA 焊原理如图 1 所示，在普通的 GTA 焊基础上对焊丝进行预热，以提高热输入量增加熔化速度，从而提高焊接速度。图 1 的电源极性的接法可以纠正电弧的“磁偏”并使坡口“预热”，从而进一步提高焊接速度。

图 2 为在相同电流下二种 GTA 方法送丝速度的比较。热丝 GTA 焊大大提高了热输入量，使焊丝熔化速度增加达 20 ～ 50g/min。在相同的电流情况下焊接速度可提高一倍以上，达到 100 ～ 300mm/min。

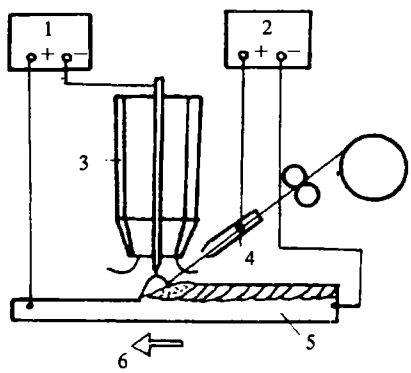

图 1 热丝 GTA 焊原理

Fig.1 Hot－wite GTA principle

1. TIG power source　2. GTA power source
3. Torch　4. Contract tip
5. Workpiece　6. Direction of welding

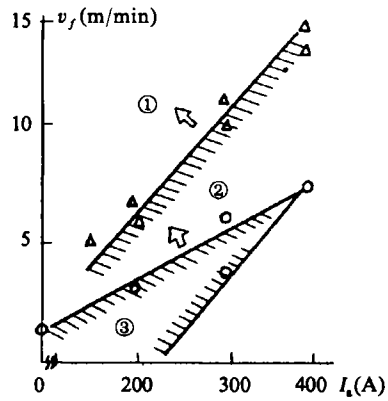

图 2 二种方法送丝速度的比较

Fig.2 Comparison between wire feed rates

① Appear overlap
② Hot－wire suitable zone
③ Cold－wire suitable zone

表 1 为使用二种不同 GTA 焊方法焊接窄间隙试样比较，效率整整提高了一倍。此外热丝 GTA 法还可减少焊缝中的裂纹。可以预料，热丝 GTA 焊方法在海底管，油气输送管，压力容器及堆焊等领域中的应用将会进一步扩大，是一种很有发展前途的焊接方法。

表 1 二种方法的焊接试样比较

Table 1 Test specimen comparison

Cold－wire		Layer	1	2	3	4	5	6
		Welding current (A)	300	350	350	350	300	330
		Welding speed (mm/min)	100	100	100	100	100	100
		Wire feed rate (m/min)	1.5	2	2	2	2	2.7
Hot－wire		Layer	1	2	3	4	5	
		Welding current (A)	300	350	350	310	310	
		Welding speed (mm/min)	200	200	200	200	200	
		Wire feed rate (m/min)	3	4	4	4	4	

2 微机控制热丝GTA焊管系统

2.1 热丝GTA焊管系统自动控制原理

整个控制系统分为两个部分，即弧压自动控制及焊缝自动跟踪系统。其原理方框图如图3所示。电弧弧长自动控制器(AVC)是将电弧电压信号与参考值比较后输出，误差信号经处理后由驱动器放大并驱动Y轴电机，使焊炬上下移动以保持电弧弧长恒定。焊缝自动跟踪系统是通过X轴电机以焊道中心为轴线驱动焊炬，沿坡口左右来回摆动。如图4所示焊炬偏向左边，当以一定幅值W左右移动时，因AVC系统动作，焊炬将上下移动。在左右两个移动过程中分别对Y积分，则两侧的面积 $S_{左}$ 小于 $S_{右}$，差值 $\Delta S = S_{左} - S_{右}$ 经微机处理后将修正焊炬中心，使之回到中心位置。

根据焊接工艺特殊要求，在进行第一道打底焊时不需摆动焊炬，此外，在最后一道封口焊时不存在坡口，这样上述以电弧电压为传感器的焊缝跟踪无法进行。必须进行示教跟踪控制。

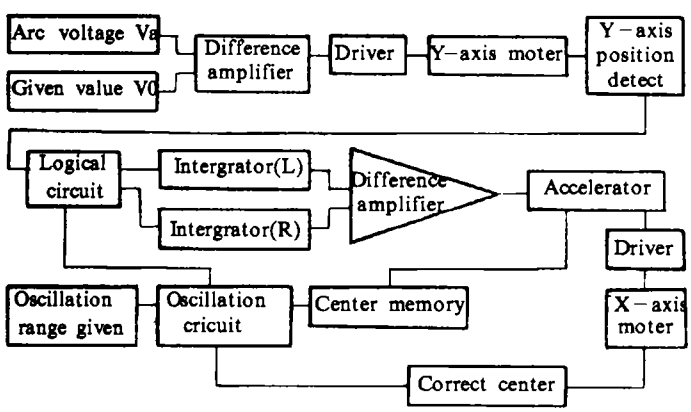

图3　控制系统原理框图

Fig.3 Control system principle flow chart

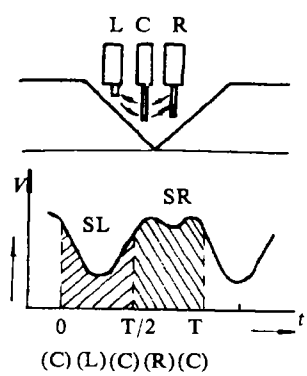

图4　焊缝跟踪原理

Fig.4 Seam tracking principle

2.2 微机控制热丝GTA焊管系统

整个系统如图5所示，由3个部分组成：a)控制装置，b)焊接及加热电源，c)焊接机头。其中控制装置包括：

(1)操作盒

操作盒通过一根5m长电缆与控制箱相联，操作工可以在工件旁方便地操作。盒上有自动/手动摇把，跟踪及两端停止选择开关、急停、复位按钮、XZY轴方向电机操纵按钮，送丝按钮及各种参数(9种)设定按钮，用户可以在焊接过程中方便地调节各种焊接参数。

(2) 控制箱

由电源、电机驱动器及微机控制系统组成。微机系统采用标准总线(STD-Z80)系统，它由标准总线(Mot Rer Board)以及若干插件模板组成。

在焊接领域里，由于其特殊的工作环境(例如高频引弧装置)实时过程控制系统的实施难度大，如何防止噪声的干扰是解决微机实时控制的一个关键问题。在本系统的接口及软件设计过程中充分考虑了如何有效地防止干扰与排除干扰问题。

(3)开发系统键盘和显示

根据微型计算机开发过程中，"软"与"硬"紧密相结合的特点，本文使用日本 ADTEK 公司的 IOS7400 开发系统。

开发系统对于微机控制系统的开发是一种理想的工具，但考虑到控制系统的用户不可能都拥有一台开发系统，因此又设计了一监控程序，制作了键盘显示器，28 个按键和 6 位显示器具有返回监控，存储器，输入输出口以及寄存器检查，修改断点位置，单步执行等功能。用户可方便地检查调试目标程序以及诊断硬件故障。在焊接试验阶段操作工可把焊道，钟点焊接参数输入内存。

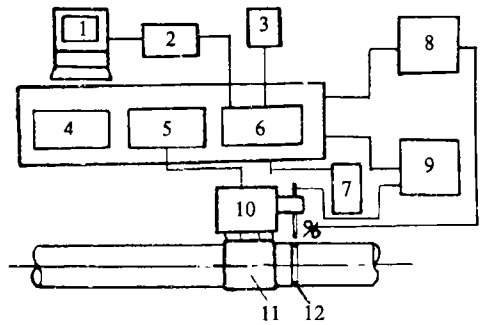

图 5 微机控制热丝 GTA 焊管系统示意图

Fig.5 Computer control hot-wire GTA tube welding system sketch

1. Computer 2. ICE
3. Key/Led 4. Power source
5. Driver 6. Control system
7. Operating box
8. Hot-wire power source
9. GTA power source
10. Welding-hand 11. Slideway 12. groove

3 微机控制系统软件

3.1 弧长自动控制

控制系统框图如图 6 所示。

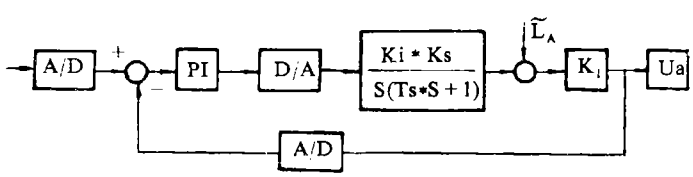

图 6 控制系统框图

Fig.6 Control system sketch

3.1.1 系统的稳定性

系统开环脉冲传递函数 $G(Z)=Z[G(S)]$

令系统增益 $K=Ki\cdot K_l\cdot Ks$

Ki—放大器放大系数

K_l—弧压－弧长系数

Ks—伺服机构系数

闭环特征方程为:

$$F(Z)=1+G(Z)=Z^2+[K(1-e^{-T/Ts})-(1+e^{-T/Ts})]Z+e^{T/Ts}=0$$

式中　Ts—伺服机构时间常数

T—脉冲时间　设 $T=1$ms

$$G(Z)=\frac{K(1-e^{-T/Ts})Z}{(Z-1)(Z-e^{-T/Ts})}$$

系统保持稳定的条件为:　$K<\dfrac{2(1+e^{-T/Ts})}{1-e^{-T/Ts}}$

由此可按不同的 Ts 值求得不同采样周期下保证系统稳定的 K 值。

3.1.2 系统的稳态误差

闭环系统的误差脉冲传递函数为:

$$\Phi_e(Z)=\frac{E(Z)}{R(Z)}=\frac{1}{1+G(Z)}=\frac{(Z-1)(Z-e^{-T/Ts})}{(Z-1)(Z-e^{-T/Ts})+K(1-e^{T/Ts})Z}$$

则误差级数为:

$$e(nT)=\mathrm{Cor}(nT)+C1\dot{r}(nT)+C2/21\ddot{r}(nT)$$

从上式可求出当 $r(t)=1(t)$(单位阶跃函数)时,系统在采样瞬时的稳态误差为零。当 $r(t)=t$(斜坡函数)系统稳态误差为:

$$e(nT)=C1=TP^*(0)=T\ \frac{1-e^{-T/Ts}}{K(1-e^{T/Ts})}=T/K$$

在满足系统稳定情况下,减小采样周期或增大系统某些环节的放大倍数可以减少系统对于斜坡输入信号下的静态误差。

3.1.3 系统的动态性能

在研究采样系统特性时与线性连续系统一样可以利用根轨迹法。

当 $Ts=7.22$ms,采样周期为 4ms 时,系统的开环传递函数为:

$$G(Z)=\frac{0.425KZ}{(Z-1)(Z-0.5746)}$$

开环系统有两个极点 $P_1=1$, $P_2=0.5746$ 和一个零点 $Z_1=0$,分离点 $d=\pm0.758$ 作出系统根轨迹如图 7 所示。

图 8 为系统的阶跃响应图,K 值分别为 0.18、0.3、0.5 和 1.65。

当 $K=0.3(\xi=0.7)$ 阻尼比较合适,但它不能保证有最快的响应。然而针对该系统此响应时间已能满足控制需要。由图可见,若允许误差带取终值的 5% 的话,调整时间为 0.026s;若取终值2% 的话,调整时间为 0.043s。

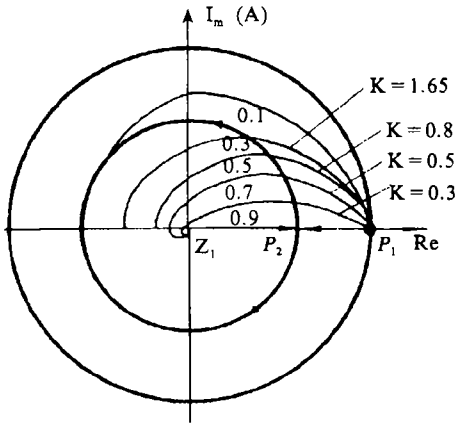

图 7 系统的根轨迹图

Fig.7 Roots of system locus sketch

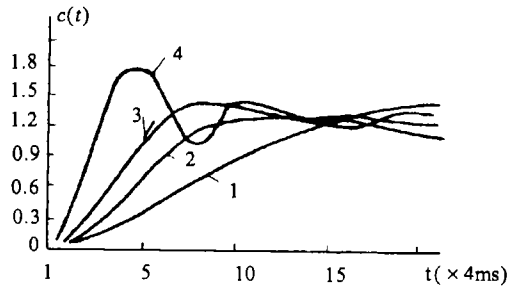

图 8 系统阶跃响应图

Fig.8 Step response of system sketch

1. $k=0.18$, $\xi=0.9$ 2. $k=0.3$, $\xi=0.7$
3. $k=0.5$, $\xi=0.5$ 4. $k=1.65$, $\xi=0.3$

在本系统中 K_i, K_l, K_s 都已确定(常数),只要在数字运算中(软件)适当选择放大倍数,就可以使整个系统的 K 值为 0.3。系统对于斜坡输入的稳态误差为:

$$T/K=0.004/0.3=0.013$$

3.2 焊缝跟踪

本焊缝跟踪系统采用硬软相结合的方法。由硬件组成积分器,微机仅仅在适当时间发生取样信号。开关积分器读取左右积分值,通过比较,数据处理后以控制焊炬跟踪焊缝。程序框图如图 9 所示。

本机在 ϕ500×6 管子上试焊表明,整个系统操作灵活、方便,自动控制及抗干扰性能都获得满意的结果。

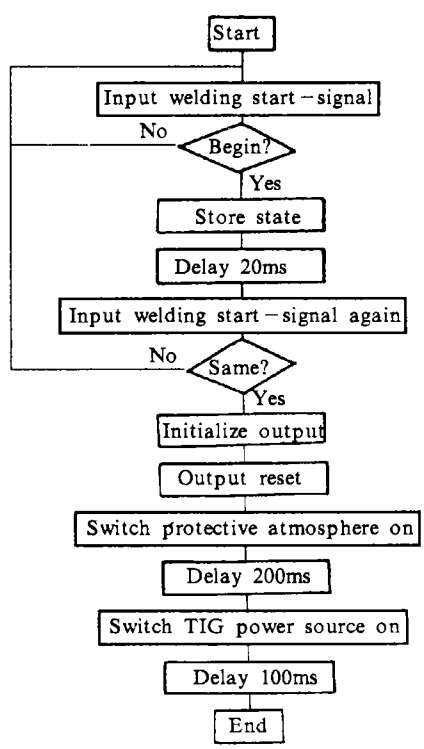

图 9 程序框图

Fig.9 Program flow chart

4 结 论

(1) 热丝 GTA 焊不但保持了原来 GTA 的优点,还有效地提高了焊接的热输入量,使焊接速度比传统的 GTA 焊提高了一倍以上。

(2) 以电弧为传感器的焊接参数自动控制,焊缝自动跟踪控制系统。结构简单、精度高、响应快。弧长控制精度为 0.1mm,响应时间 0.026s。系统的阶跃稳态误差为 0,斜坡稳态误差为 0.013s,跟踪精度达 0.12mm。

(3) 焊接现场实际焊接试验良好,焊缝整齐均

匀，微机控制系统(STD－Z80标准总线系统)工作可靠，操作灵活方便，抗干扰性能好，整个系统体积小、重量轻、柔性强，特别适用于管线的现场焊接。

(1993 年 10 月 30 日收到修改稿)

Computer controlling hot－wire GTA all－position tube welding system

Qi Zhiyang, Zhang Zhaowu

(Shanghai Jiaotong University)

Abstract In this paper, a computer controlling hot－wire TIG(GTA) tube welding system is presented to raise the welding speed and quality, which fits the needs of the development of production. In this system, arc is taken as sensor, and automatic adjusting of welding sequence and welding parameters, automatic tracking and demonstrating tracking of weld are realized through the software. This system has following advantages: powerful anti－interference, high precision, quick response, good flexibility and small size, etc. It is fits of field operation, specially.

Key words hot－wire; GTA; all－position welding; tube welding system