

# 厚壁管全位置焊接可变增益 PID 弧长调节器的设计

刘立君<sup>1</sup>, 韩永道<sup>2</sup>, 逯云龙<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨理工大学 工业技术学院, 哈尔滨 150076; 2. 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150080)

**摘要:** 在厚壁管窄间隙全位置 TIG 焊中, 弧长是影响焊接质量最敏感的焊接参数之一。由于钨极的烧损、前道焊缝的成形、熔池变化、焊件几何形状及全位置空间变化时重力引起弧长调节的阻力不断变化等因素的影响, 没有弧长调节功能, 不可能维持电弧长度的恒定。特别是全位置焊接时, 重力对弧长影响非常突出, 必须采取特殊的控制方法克服其不良影响, 因此作者设计了基于单片机控制的弧压传感可变增益 PID 控制器, 并针对不同的弧压偏差范围采用快速控制、分离积分和附加不敏感区来改善其控制品质, 在实际产品焊接中取得了较好的控制效果。

**关键词:** 可变增益 PID 控制器; 厚壁管窄间隙全位置焊接; 弧长调节; 单片机控制

中图分类号: TG434.5 文献标识码: A 文章编号: 0253—360X(2001)02—59—03



刘立君

## 0 序 言

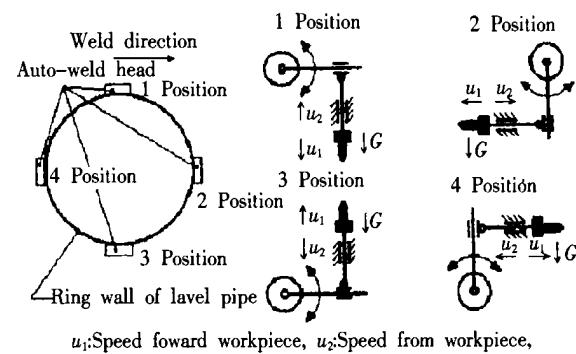
厚壁管窄间隙全位置 TIG 焊弧长调节一般可以分为弧光传感、电磁传感和弧压传感。应用弧光传感是通过测量弧光的整体光强来测量弧长, 与给定值相比, 差值经过一定的算法输出信号控制弧长; 电磁传感是根据弧长变化引起电磁变化, 再将电磁信号转化成电信号控制弧长<sup>[1]</sup>。以上两种弧长调节控制器辅助装置复杂, 在生产应用中受到限制。采用弧压传感控制电弧长度的技术较为成熟<sup>[2]</sup>, 而且制造成本低, 同时通过控制弧压控制弧长符合焊接操作者的传统习惯, 所以目前大多自动焊接操作机都采用弧压传感控制弧长, 通过计算机控制和先进的控制算法可实现焊枪运行平稳, 控制精度较高, 完全能够满足焊接生产要求。全位置 TIG 焊在焊接过程中, 由于钨极的烧损、前道焊缝的成形、熔池变化、焊件几何形状及全位置空间变化等因素的影响, 只有采用弧长调节功能, 才能维持电弧长度的恒定。弧长过短, 则电极和工件容易短路而损坏电极, 也使电极金属落进熔池造成夹钨; 弧长过长, 电弧的有效加热面积增大, 使熔深减小、熔宽增加从而影响焊缝成形。使用脉动添丝时<sup>[3]</sup>, 弧长调节的重要性就更为突出。

## 1 全位置焊接重力作用下弧长调节器受力分析

弧长调节是由摆杆带动焊枪沿无间隙导轨往复运动实现的。如图 1 所示, 在全位置焊接过程中的一些空间位置上, 重力成为弧长调节中的阻力, 特别在 1 号位置和 3 号位置, 重力产生的阻力最大。弧长调节摆杆长  $l=80 \text{ mm}$ , 取 1 号、3 号位置焊炬重力  $G=30 \text{ N}$ , 则该处的重力阻力矩为

$$T_g = G \times l = 30 \times 0.08 = 2.4 \text{ Nm} \quad (1)$$

此阻力矩经 500 倍减速器作用到电动机输出轴上, 约为 0.005 Nm, 即使再加上几倍于重力的阻力矩, 亦远远小于该电动机的额定输出力矩。



$u_1$ : Speed forward workpiece,  $u_2$ : Speed from workpiece,  
 $G$ : Gravity

图 1 不同空间位置重力对弧长调节的影响

Fig. 1 Effect of gravity on arc length adjustment at different space positions

## 2 弧长调节可变增益 PID 控制器的设计

在电弧长度与弧压之间的线性关系基础上, 可以用线性数字 PID 控制来实现弧长的自动调节。

数据采集、判断和控制均由计算机完成。弧长控制应力求超调量小, 而调节时间短, 因而采用 PID 调节。连续 PID 控制器的理想方程为

$$u(t)=K_p[e(t)+\frac{1}{T_I} \int_0^t e(t)dt+T_D \times \frac{de(t)}{dt}] , \quad (2)$$

式中:  $e(t)$  为控制器输入信号;  $u(t)$  为控制器输出信号;  $K_p$  为控制器放大系数;  $T_I$  为控制器积分时间常数;  $T_D$  为控制器微分时间常数。

随着计算机技术的发展, PID 控制规律已能用微机简单的实现, 形成所谓数字 PID 控制方法。用矩形积分代替连续积分的基本数字 PID 方程如下

$$\left\{ e(k)+\frac{T_S}{T_I} \times \sum_{i=0}^k e(i)+\frac{T_D[e(k)-e(k-1)]}{T_S} \right\} . \quad (3)$$

式(3)化为增量式 PID 算式, 得

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k)-u(k-1)= \\ K_p \{ [e(k)-e(k-1)]+\frac{T_S}{T_I} e(k)+\frac{T_D}{T_S} \times & \\ [e(k)-2e(k-1)+e(k-2)] \} . \end{aligned} \quad (4)$$

通过微机编程实现以上算式, 即能实现 PID 控制功能。工程实践中所应用的 PID 参数整定方法很多, 作者用扩充临界比例度法整定出 PID 参数的初值, 即采用纯比例控制, 逐渐增加放大系数, 直至系统出现等幅振荡(见图 2), 记录此时的放大系数  $K_{cr}$  和振荡周期  $T_{cr}$ , 按表 1 计算 PID 参数。在不同的空间位置由于重力的影响, 相同的输入功率下其转速是不一样的, 所以不同的焊接位置的最佳 PID 参数是不相同的。作者先避开重力的影响, 在 2 号位焊枪处于水平运动位置进行 PID 参数的初步整定。试验在 12Cr1MoV 钢钢管表面进行, 管壁厚 35 mm, 管径  $\phi 400$  mm, 焊接规范为: 焊接电压  $U=10$  V; 焊接电流  $I=60$  A; 氩气流量  $q_v=6.5$  L/min。

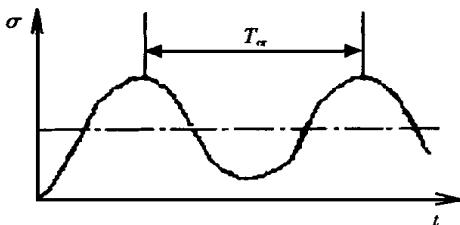


图 2 系统的临界振荡过程

Fig. 2 Systemic critical surge process

测得  $T_{cr}=0.205$  s,  $K_{cr}=4.5$ , 按控制度  $Q=1.5$ , 选取采样周期  $T_S=0.018$  s, 将表 1 中各值代入式(4)中, 得

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= \\ K_p[3.43e(k)-5.44e(k-1)+2.22e(k-2)] & . \end{aligned} \quad (5)$$

表 1 扩充临界比例度法 PID 参数计算公式

Table 1 Extend critical scale proportion  
PID parameter calculating

Control limit	Adjust rule	$T_S/T_{cr}$	$K_p/K_{cr}$	$T_I/T_{cr}$	$T_D/T_{cr}$
1.50	PID	0.09	0.34	0.43	0.20

$T_S/T_{cr}$ —sampling period / oscillation period

$T_I/T_{cr}$ —controller integral time constant / oscillation period

$T_D/T_{cr}$ —controller differential time constant / oscillation period

$K_p/K_{cr}$ —controller enlarge modulus / oscillation enlarge modulus

按  $K_p/K_{cr}=0.34$ , 取  $K_p$  初值 1.53。考虑全位置焊过程中, 弧长调节的首要问题是防止钨极与工件短路, 所以调节过程中, 焊枪远离工件的调节速度要快, 而靠近工件的调节超调要小, 所以在两个方向弧长调节中采用不同的放大系数  $K_p$ , 靠近工件调节过程的放大系数适当小一些。同时考虑, 本机全位置焊过程中不同焊接位置的最佳 PID 参数是不相同的。因此, 作者采用根据实时的调节情况适当改变 PID 控制器放大系数的方法, 其基本原理是, 如果调节中发现调节速度过慢, 即往该方向调节困难, 则增加该方向的控制器放大系数  $K_p$ ; 相反则减小。为改善系统的控制品质, 作者在上述可变增益 PID 调节上做了一些改进, 这里主要考虑三方面的情况并采取相应措施。

## 2.1 采用快速控制

快速控制即在偏差很大的情况下, 用开关控制的方式快速调节, 使系统迅速减小偏差。本控制系统设计当弧压偏差大于 1.5 V 时, 采用快速调节, 即

$$|e(k)| \begin{cases} > 1.5 \text{ V}, & \text{快速调节;} \\ \leqslant 1.5 \text{ V}, & \text{PID 控制。} \end{cases} \quad (6)$$

## 2.2 采用积分分离的 PID 控制

偏差较大时, 在积分项的作用下, 将引起系统过量的超调和不停的振荡。为此, 可采用积分分离对策。本系统设计当偏差大于 0.6 V 时, 取消积分作用

$$|e(k)| \begin{cases} > 0.6 \text{ V}, & \text{取消积分作用;} \\ \leqslant 0.6 \text{ V}, & \text{引入积分作用。} \end{cases} \quad (7)$$

式(5)取消积分项后为

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= \\ K_p[2.43e(k)-5.44e(k-1)+2.22e(k-2)] & . \end{aligned} \quad (8)$$

## 2.3 采用带不灵敏区的 PID 控制

为避免调节频繁而引起系统振荡, 采用带不灵敏区的 PID 控制, 偏差在一定范围内不调, 即

$$\Delta u(k) = \begin{cases} \Delta u(k), |e(k)| > B; \\ 0, |e(k)| \leqslant B. \end{cases} \quad (9)$$

TIG 焊过程中, 即使电流恒定, 弧长稳定, 电弧电压也要受到一些因素的干扰(如熔池的振荡、阳极

斑点的漂移等),会在一定范围内波动,确定一定范围的不灵敏区,可防止焊枪频繁调节和误调。只是不灵敏区不能过大,过大使系统反应迟缓,静态误差偏大;太小又难以达到预期的目的。作者在考虑弧长偏差的最大容忍度基础上,经多次焊接尝试,将不灵敏区定为 $|\Delta u| \leq 0.2$  V。编程实现弧长控制,软

件流程图见图3。上述弧长控制在不同位置的调节情况基本相同,弧压偏离不敏感区(采样偏差大于6个字)能及时地调节回来。与整定PID相同的规范,钨极不摆,焊速100 mm/min,焊接电压10 V(数字量333),人为干扰电弧,在弧长自动调节下采集弧压,典型过程如图4所示。

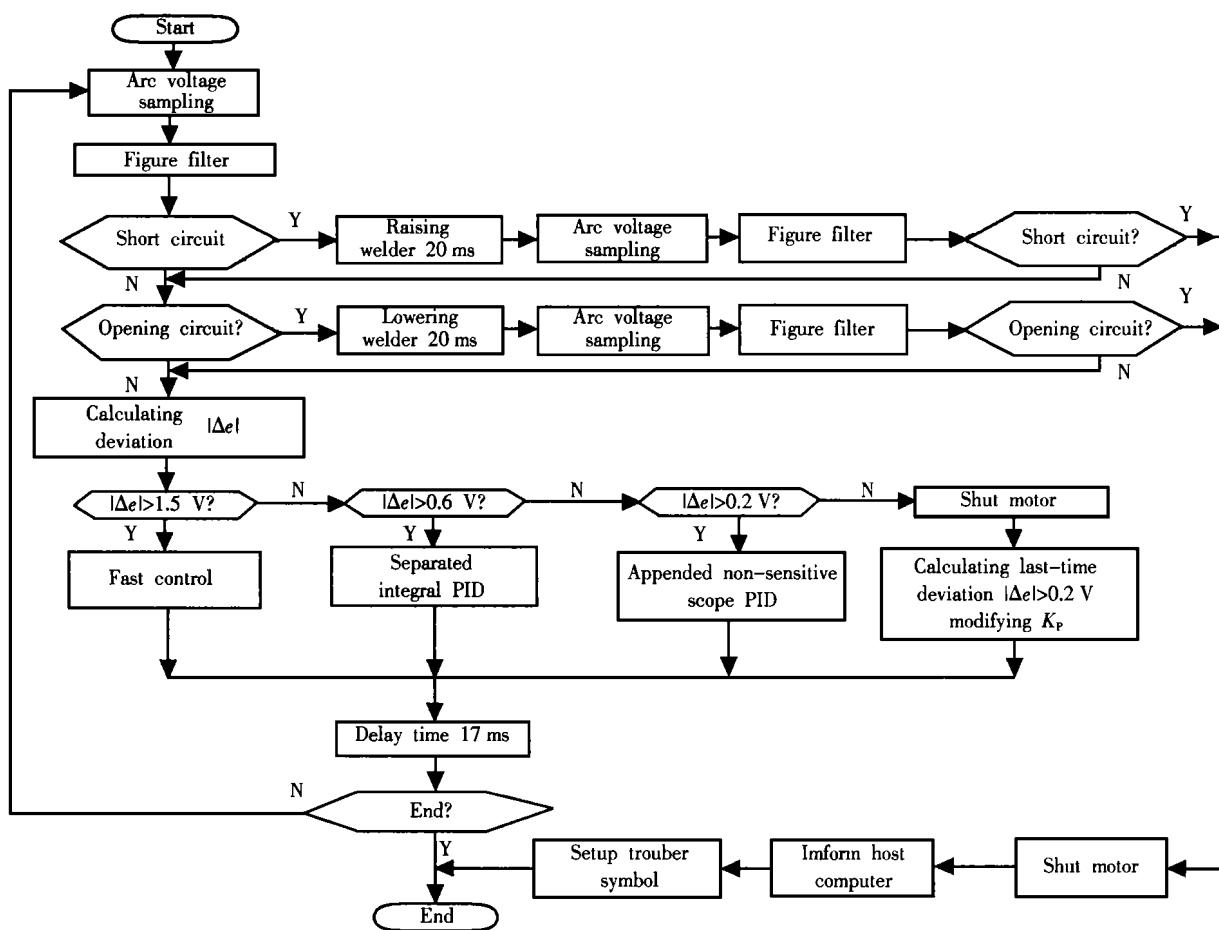


图3 弧长调节程序流程图

Fig. 3 Flow chart of arc length adjustment program

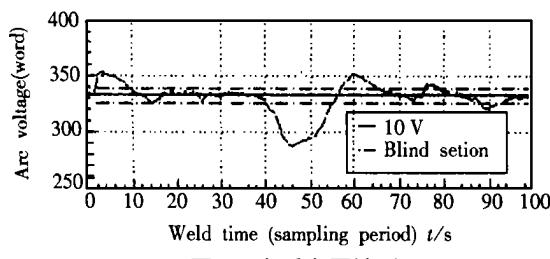


图4 电弧电压波形

Fig. 4 Waveform of arc voltage

### 3 结 论

由于全位置焊接过程中,重力等因素的影响,弧长调节的阻力是不断变化的,因而作者设计了可变增益PID控制器,并针对不同的偏差范围采用快速控制、分离积分和设定不敏感区改善其控制品质,取得了较好的控制效果,电弧电压的调节精度达到了

编程设定值的±1%或0.1 V中的最大值,满足实际管道全位置焊接工艺要求。

### 参考文献:

- [1] 徐绪炯.国外全位置自动TIG管焊机中的一种新型弧长自动控制系统[J].电焊机,1997,(1): 45~47.
- [2] 王伟,朱六妹,胡芳.单片微机模糊控制焊接电弧的研究[J].电焊机,1997,(1): 1~3.
- [3] Vikulik. Orbital arc welding pipelines[J]. Welding International, 1993, 7(11): 901~904.

**作者简介:** 刘立君,男,1968年3月出生,硕士研究生,副教授。研究方向为焊接设备自动控制,参加研究“QWZH管道全位置焊接操作机”在2000年5月通过省科委鉴定,在此项研究中负责全套计算机软件研制工作。已发表论文9篇。

(编辑:董卫国)