

记忆式焊缝跟踪系统

张甲英

俞建荣 马宏泽 蒋力培

(北京 清华大学)

(北京石油化工学院)

摘要 介绍了新近研制的一种可用于多层焊缝的自动焊接记忆跟踪系统,此系统在焊接第一层焊缝时能实时跟踪焊缝,同时记忆焊缝跟踪数据,此后,系统依据此记忆数据进行各层焊缝的自动跟踪工作。本系统具有新颖的二维焊缝跟踪机构及传感器,其实时跟踪精度及重复跟踪精度都满足了焊接工作的要求。

关键词: 焊缝记忆跟踪 多层焊接 单片机

0 序 言

在焊接自动化的研究发展过程中,焊缝跟踪一直是一项重要的课题。在一些大型石油化工容器的制造过程中,存在着大量的长直焊缝,需要多层焊接。依靠通常的传感器技术,在焊接第一层焊缝时可以满足焊缝跟踪的要求。但在焊接以后其它各层焊缝时,经常需要摆动焊头,因此通常的传感技术难以满足重复跟踪的要求,需要研究新型的跟踪技术。记忆式焊缝跟踪系统正是在这样的背景下开始研究的,本文研究的主要内容是,建立一套可跟踪焊缝,能记忆焊缝中心线进行重复跟踪的微机系统,并配套研制了动作轻便的二维跟踪焊头及实用的焊缝传感器。

1 系统组成

整个系统由单片机及外围电路、I/O接口电路、传感器及信号处理电路、二维跟踪焊头等几个部分所组成,如图 1 所示。各组成部分的结构与功能特点如下:

1.1 单片机及外围电路

本系统采用 8031 单片机,其外围电路主要有程序存储器、数据存储器、A/D 转换、D/A 转换、键盘及显示部分用于人机对话,以及焊接过程中的数据显示等功能。

1.2 I/O 接口电路

本系统的 I/O 接口电路主要有步进电机驱动接口电路与控制信息接口电路。步进电机的驱动接口电路包括光电隔离部分与驱动放大部分,其中驱动放大采用高低压驱动方式,以改善步进电机起动时的矩频特性。控制信息的接口电路主要是光电隔离与波形整形部分,波形整形部分采用滞环比较器,以减小开关输出抖动造成的影响。

1.3 传感器及信号处理电路

1.3.1 传感器结构及原理

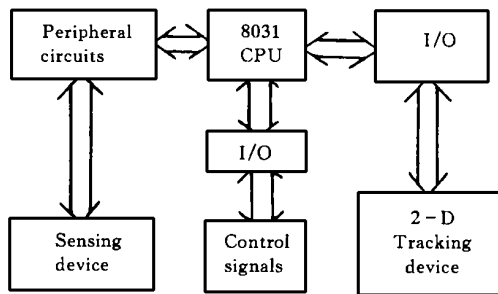


图 1 系统组成框图

Fig. 1 Scheme of tracking system

如图 2 所示,本传感器是由光源?、传光束!、四象限光电池:、反光镜'、环型铰链"、移动触头)等组成。四象限光电池中,一、三象限组成一组,二、四象限组成一组。当传感器移动触头在焊缝中心时,光斑在光电池四象限所产生的光电压相等,两组光电压之差都为零,当焊缝中心线有变化时,光斑相对光电池中心产生偏移,两组光电压的差,分别反映了焊缝中心线高度和水平两方向偏移的大小和方向。

1.3.2 传感器输出信号处理电路

信号处理电路用于对传感器输出的信号进行放大。传感器输出的是光电池上的光电压,为毫伏级信号,两组光电压信号分别经差分放大,送 A/D 进行模/数转换。

焊缝中心线位置信息,经传感器移动触头到放大输出,其响应速度满足一般的焊接要求。经测试,当传感器移动触头产生阶跃时,信号放大部分的输出响应小于 5ms,这样的动态响应速度满足焊接实时跟踪的要求。

1.4 焊头二维跟踪机构

此机构由两套互相垂直的移动滑块组成,每个滑块由丝杠带动,并由分布在丝杠两边的导杆通过直线滚动轴承导向,丝杠由步进电机驱动,可使焊头在高度与水平两个方向移动。由于采用了直线滚动轴承导向,使得移动阻力大大减小,焊头移动灵活方便。

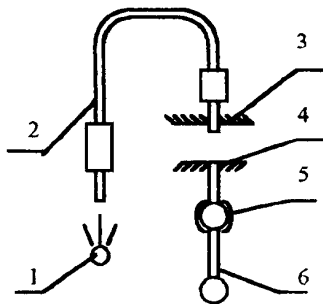


图 2 传感器结构示意图

Fig. 2 Scheme of sensor

2 系统程序设计

2.1 系统程序设计思想

整个系统应有以下功能:判定焊接起始位置并存储信息;在第一层焊接时,实时跟踪焊缝,并记忆存储焊缝中心线信息;在以后的各层焊接中,取出所记忆的焊缝中心线信息,送焊头二维跟踪执行机构,使焊接跟踪误差在允许的范围内。

系统程序设计的主要思路是,系统定距离处理焊缝跟踪数据。即在焊接第一层焊缝时,焊头每移动一定距离产生一次中断,中断程序对焊缝跟踪数据进行处理,其结果控制二维跟踪焊头实时跟踪焊缝,同时存储数据以便重复焊接时使用。焊接第二层及其以后的焊缝时,焊头在同样的距离产生中断,CPU 取出所存储的焊缝跟踪信息,以此控制焊头二维跟踪机构,使其中心线与第一层焊缝中心线重合,这样可以使多层焊接的跟踪及控制问题大大简化。

2.2 程序组成

根据上述设计思想,整个程序应该包括主程序以及以下几个部分:起点定位程序,采样滤波程序,跟踪调节程序及重复跟踪程序,摆动程序等。

2.2.1 主程序功能

主程序先对键盘及显示进行初始化,便于人机对话,对各子程序中用到的存储单元及数据进行初始化。初始化后,调用起点定位程序,对焊接起点进行定位,定位结束后,开始焊接。焊接过程中,主程序循环扫描键盘,对键入的信息及控制信息进行相应处理,而焊缝跟踪数据的处理由中断子程序完成。每一层焊缝焊完后,程序进入等待状态,当焊头回到起始焊接位置时,返回始焊点程序使焊

枪回到焊缝中心线相应位置,输入摆动宽度后,主程序调用摆动程序,开始摆动焊接,并依靠记忆数据跟踪焊缝中心线。

2.2.2 起点定位程序功能

本程序段的功能是确定焊接的起始位置,以便使每层焊缝焊接时都始于同一点。在焊头运行的导向轨道上安装光电开关,此光电信号经 I/O 接口送 8031CPU,程序以此信号判断焊头的始焊位置。始焊位置确定后,本段程序使水平和高度方向步进电机移动步数计数器清零。

2.2.3 采样滤波中断子程序

本程序段的功能是对焊缝中心线位置进行采样,采样采用外中断方式定时进行,并采用中值法滤波程序进行数字滤波,即连续采样 5 次,再对数据进行排队,去掉最大和最小值,取中间 3 个值平均作为一次采样结果。在一次跟踪调整期间,进行若干次这样的采样,把结果累加,累加结果用于实时跟踪数据处理。

2.2.4 跟踪记忆中断子程序

本段程序包含两个方面的内容,一是第一层焊缝焊接时,焊缝跟踪数据的处理,二是后续焊缝焊接时,记忆数据的处理。

程序框图如图 3 所示。首先判断是否第一层焊缝的焊接。在第一层焊缝焊接时,采样滤波程序把焊缝信息数据暂存,当焊头经过一定距离时产生中断,跟踪记忆中断子程序对焊缝数据进行计算处理,用其结果控制焊头二维跟踪执行机构,同时存贮跟踪数据。为了在重复跟踪时减少计算量,可直接把每一次步进电机调整的步数和方向存贮下来。步进电机的步数和方向采用 2 个字节,其中,最高位代表电机的正反转方向,其它 15 位为步数的大小。焊头大约经过 3.33mm 产生一次中断,一次存贮有水平和高度两个方向共 4 个字节。本系统采用 8K 的数据存贮器,共可以存贮 2K 即 2048 个点,即记忆跟踪的焊接距离可以达到 $2048 \times 3.33 = 6802\text{mm}$ 。

在第二层及后续焊缝的焊接时,系统依靠记忆的数据自动跟踪焊缝,中断子程序在同一点上取出所存的跟踪数据,返回主程序,由主程序中的摆动程序进行数据处理。

步进电机的步频,分别由定时器 0 和定时器 1 定时中断产生,每中断一次,步进电机走一步,本次跟踪调节步数计数器减 1,水平和高度方向移动步数计数器相应加 1。

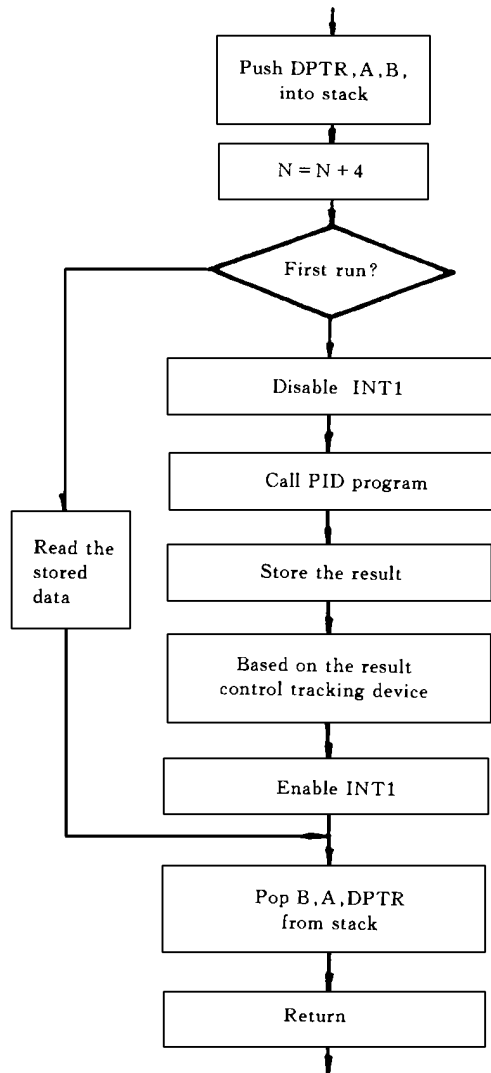


图 3 跟踪记忆中断子程序框图

Fig. 3 Flow diagram of tracking and memorizing interrupt subroutine

或减 1,当本次需要调整的步数走完,禁止定时器 0 和 1 中断,步进电机停止转动。

2.2.5 返回始焊点程序功能

本段程序的功能是在焊接小车回到起始焊接位置后,使焊枪复位。每层焊缝焊完后,焊头通过焊接小车返回,并依靠导向轨道上的光电开关控制焊接小车回到始焊位置。此时,将上述水平和高度方向移动步数计数器内容求反,控制二维跟踪焊头的运动,就可使焊枪回到始焊点。

3 系统跟踪精度分析

3.1 系统实时跟踪精度

实际焊接要求焊缝水平方向跟踪精度在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内,高度方向在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。由于是采取定距离跟踪调整的办法,即每走 3.33mm 使电机调整一次,这样要求在 3.33mm 以内,焊缝中心线与导向轨道之间的误差不能超过 0.5mm ,高度偏差不超过 1mm ,即焊缝中心线与导向轨道的夹角应在 $\pm 9^\circ$ 之内,否则焊头在还未移动到 3.33mm 时,产生的误差就已经超过了所允许的误差范围,但由于每次调整时允许一定的超调,上述角度还可适当放宽些。在程序中人为规定,若测得的误差水平方向小于 0.15mm ,高度方向小于 0.3mm ,则不予调整,以免电机起动太频繁。因此采取了带死区的控制算法,即:

$$U(t) = \begin{cases} Kp \times E(t) + \int E(t) dt / Ti + dE(t) / dt \times Kd, & \text{当 } |E(t)| > a \\ 0, & \text{当 } |E(t)| \leq a \end{cases}$$

经过数字化,可采用下式

$$U(k) = \begin{cases} Kp \times E(k) + Ki \times Ei(k) + Kd \times [E(k) - E(k-1)], & \text{当 } |E(k)| > a \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } |E(k)| \leq a \text{ 时} \end{cases}$$

其中: $Ei(k)$ 是第 K 次调节期间中心线误差的积分项 (可用每次调节期间误差的平均代替)

$E(k)$ 是第 K 次调节时测得的最后一次中心线误差值

$E(k-1)$ 是 $E(k)$ 的前一次中心线误差值

Kp, Ki, Kd 分别是比例、积分、微分系数

$U(k)$ 代表第 K 次调节时步进电机转动的方向和步数

水平方向控制时, $a=2$, 代表实际误差为 0.15mm , 高度方向控制时, $a=4$, 代表实际高度误差为 0.30mm

由此可直接计算出水平和高度方向步进电机调整时所需的转动方向和转动步数。控制二维跟踪焊头做相应的调整。

跟踪精度还与传感器的精度有关,用于本系统的传感器,触头活动范围大,可达 11mm ,在触头左右各移动 2.5mm 的范围内,输出线性度较好,在线性范围内,传感器精度可达 0.07mm ,满足焊接跟踪的实际要求。

3.2 系统重复跟踪精度

第一层焊缝焊完后,系统进入记忆跟踪状态,即要靠微机系统所记忆的数据来实现焊头重复跟踪,此后每隔一定距离微机从存储器中取出跟踪数据,控制焊头二维跟踪执行机构,使其调节过程与第一层焊缝焊接时相同。对其重复跟踪精度的要求是:不用传感器时也能够使焊枪移动中心线与原焊缝坡口中心线偏差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。影响重复跟踪精度的因素主要有:①、起点定位是否准确,只有在所有焊缝与第一层焊缝在同一起点开始焊接时,才能保证一定的重复跟踪精度;②、数据

取出的时机是否合适,即后续焊缝焊接时所取出的数据是否是第一层焊缝焊接时在同一点上所存贮的数据

对于第一影响因素可利用软件记忆和硬件电路实现,使其起点重合误差在允许的范围内,对于第二个问题,为了使后续各层焊缝焊接时所取数据与第一层焊缝焊接时所存数据的时机相同,减小焊接速度等因素的影响,我们采取了定距离存取数据的办法,因此可保证存取数据在相同的位置上。

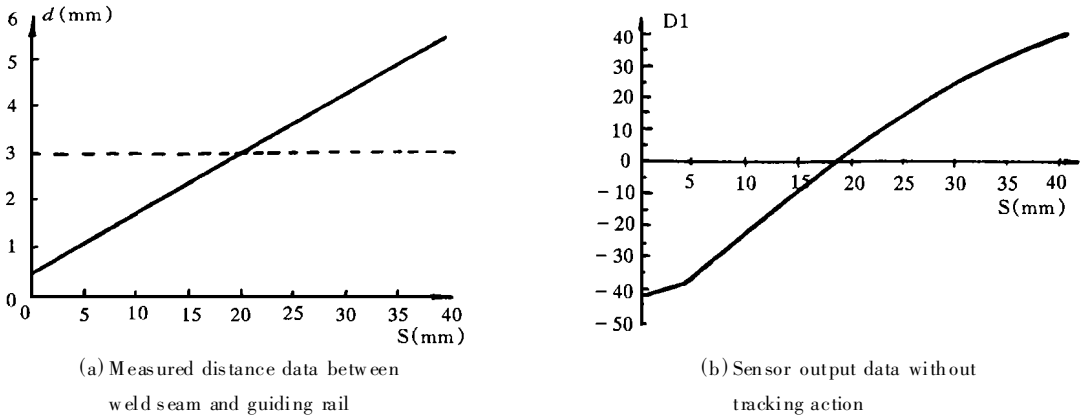


图 4 采样系统试验曲线

Fig. 4 Experimental data of tracking sensor

4 试验结果分析

本系统在工件上进行了模拟跟踪试验,系统的跟踪机构安装在焊接小车上沿直线导轨运行,运行速度为 $240\text{mm}/\text{min}$,焊缝中心线与导轨间的水平夹角为 7° 。试验的主要目的是验证采样系统采样值与焊缝中心线的实际形状曲线的线性关系及本系统的跟踪精度是否满足设计要求。

图 4 是采样系统的试验曲线,其中图 4a 是实际的焊缝中心线与导轨间距的实测值 d ,横坐标表示焊头沿导轨运行的距离 S ,图 4b 是采样系统的输出曲线 $D1(S)$,横坐标 S 意义同 A 图,纵坐标表示微机系统对焊缝中心线位置的采样值 $D1$,A 图中虚线位置相对于 B 图中采样值为 0 的位置。从 B 图中可看出采样曲线 $D1(S)$ 是一条直线,它与焊缝中心线的实际形状相符合并具有线性关系,能比较真实地反映实际焊缝的情况。

图 5 是模拟跟踪的试验曲线,图 5a 是模拟跟踪时水平方向的输出曲线 $d_2(S)$,横坐标表示焊头沿导轨运行的距离 S ,纵坐标表示焊枪与导轨之间的距离 d_2 ,图中虚线表示焊缝中心线与导轨间距离的实测值。图 5b 是跟踪时相应的微机系统对焊缝中心线水平位置的采样值 D_2 (跟踪时的实际偏差 $= D_2 \times 0.07\text{mm}$),从图中可看出,其最大值不超过 4,即其实际误差不超过 0.28mm ,满足跟踪误差小于 0.5mm 的要求。图 5c 是依靠微机系统的记忆能进行的重复跟踪试验曲线 $d_3(S)$,其坐标意义同图 5a,从图 5c 中可看出,依靠微机系统的记忆所进行的重复跟踪其精度也满足实际焊接的要求。

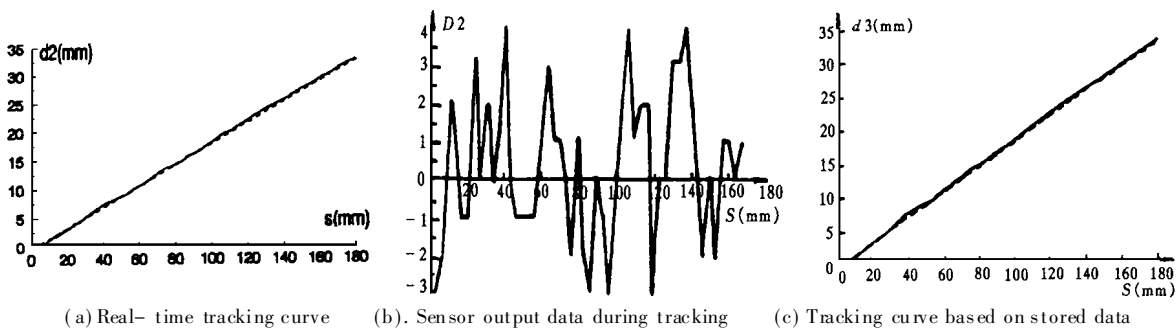


图 5 跟踪曲线

Fig. 5 experimental data of seam tracking

5 结 论

该方法采用四象限光电管的接触式传感器,简单可靠,使用方便,可满足长直多层焊接的需要。

利用上述接触式传感器和微机的记忆功能,可实现跟踪、示教、再现于一体的跟踪系统,简化了多层焊接的焊缝跟踪系统,跟踪精度与重复跟踪精度可以满足一般焊接的要求。如加上自动分配每层焊道程序,还可进行多层多道焊接。

(1996-05-23收到初稿,1996-11-29收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 王加友等.示教/再现技术在弧焊跟踪控制中的应用.焊接,1995(2): 8~11
- 2 李亮玉等.微机组合式红外跟踪系统的研究.焊接,1993(9): 9~13
- 3 赵家瑞等.焊接自动控制基础.北京:机械工业出版社,1990
- 4 GALLOWAY J. G. et al. Computer-Aided Orbital Welding Reaches a New Level of Performance. Weld. J. 1993(2): 23~28

Weld Seam Tracking System Based on Data Memory of Chip Computer

Zhang Jiaying

(Tsinghua University, Beijing)

Yu Jianrong, Ma Hongze, Jiang Lipai

(Beijing Institute of Petro-chemical Technology)

Abstract In this paper, a new seam tracking system based on data memory of chip computer is introduced. The system is mainly used for multi-pass and multi-layer welding. In the first welding run, the system not only tracks the weld seam, but also stores the seam tracking data in the chip computer. After the first run, the system tracks the seam depending on the data stored in the chip computer. The accuracy of seam tracking is satisfactory for welding in the both cases. A new kind of two-dimensions tracking mechanical device and a new seam tracking sensor are used in this system.

Key words seam tracking based on data memory, multilayer welding, chip computer