

传感器超前检测式焊缝自动跟踪系统的控制模型

蒋力培

张甲英

马宏泽

(北京石油化工学院)

(装甲兵工程学院)

(北京石油化工学院)

摘 要 本文就传感器超前检测式焊缝自动跟踪系统进行了深入的理论分析与仿真研究。在分析该系统跟踪过程运动关系的基础上,建立了系统的闭环控制关系图,并提出了其系统数学离散控制结构简化图。由此设计出的数字控制器可大幅度简化此系统的微机控制程序。数字仿真试验结果表明,此简化后的数字控制器性能优良,在对阶跃、斜坡、折线等偏差情况下的系统响应都能在 2~3 拍内达到准确跟踪。

关键词: 超前检测 自动跟踪 系统控制模型

0 序 言

在附加传感器式的焊缝自动跟踪系统中,由于焊接电弧的高温特性,传感器的检测点不能与焊接点靠得太近,因而传感器的检测点与焊接点有一固定的距离,即传感器输出的数据是焊接点前方某一距离处坡口中心偏离的数值。在这种传感器检测点超前焊接点的跟踪方式中,通常可有两种方案实现焊缝的自动跟踪。

(1)传感器与焊炬分别由两套执行机构驱动,即对传感器进行实时调整,然后延迟固定的时间(由检测点与焊接点的间距及焊接速度决定)让焊炬执行机构做完全相同的随动。此方案需要两套执行机构,结构较复杂。

(2)在坡口中心与导轨间的距离变化不太大的情况下,把传感器本体与焊炬跟踪执行机构固定连接在一起,这样只需要一个跟踪执行机构。此种方案结构简单,但控制程序较为复杂。

第二种方案减小了爬行机构的负重和体积,便于在实际中应用。下面介绍这种跟踪系统的工作原理和自动控制系统结构分析。

1 超前检测式焊缝跟踪过程分析

焊缝跟踪过程示意如图 1 所示,其中 O 为焊接起始点, X 为过焊接起始点的一条直线,如果没有焊炬调整机构,则焊炬会沿着 X 运动,它表示焊炬沿导轨行走的长度, t 为相应的焊车行走时间。纵坐标 R 为坡口相对轨道的偏差量, Y 为焊炬的调节量。实线 $R(t)$ 为坡口中心的偏差量曲线,可视作跟踪系统的输入量。虚线 $Y(t)$ 为焊炬的跟踪调节曲线,可视作系统执行机构的输出量,即

$$Y(t) = \int_0^t S(t) dt \quad (1)$$

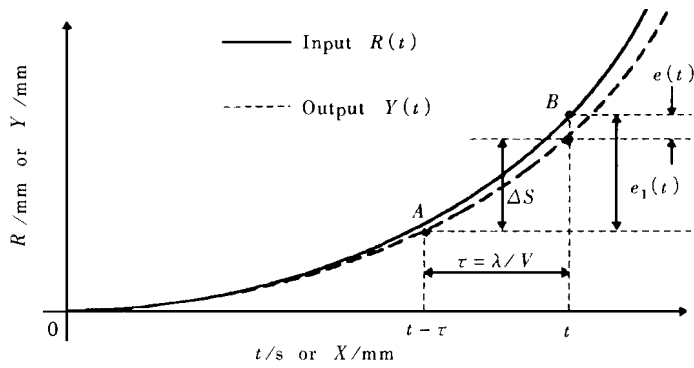


图 1 超前检测式焊缝跟踪过程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of movement process of tracking system

其中, $S(t)$ 为执行机构跟踪的输出量(即步进电机带动焊炬的调节量)。设焊炬位置在 A 点时, 传感器检测点位置在 B 处, 二者间距为 $\lambda(\text{mm})$ 。由于传感器主体与焊炬调整机构固定连接, 并随移动滑块一起运动, 那么传感器实际检测出的数据是传感器移动触头所在点(即检测点 B)坡口中心相对于焊炬所在点(即焊接点 A)位置的偏移量。由图可见, 传感器在焊缝坡口 B 点的偏移量 $e_1(t)$ 实际上是 $R(t)$ 曲线上 B 点相对于 $Y(t)$ 上 A 点的偏差量, 即:

$$e_1(t) = R(t) - Y(t - \tau) = R(t) - \int_0^{t-\tau} S(t)dt \tag{2}$$

假设焊接速度(爬行机构行走速度)为 $V(\text{mm/s})$, 则焊接点 A 滞后检测点 B 时间为 $\tau = \lambda/V(\text{s})$ 。再设 $\Delta S(\tau)$ 是焊炬从 $t - \tau$ 时刻到 t 时刻的调节量, 即:

$$\Delta S(\tau) = \int_{t-\tau}^t S(t)dt \tag{3}$$

则焊炬行走 τ 时间后与坡口中心的实际误差应为:

$$e(t) = e_1(t) - \Delta S(\tau) = e_1(t) - \int_{t-\tau}^t S(t)dt \tag{4}$$

即此时微机系统应以 $e(t)$ 送入数字控制器计算控制量, 控制执行机构调整焊炬。上述关系式可用图 2 表示。图中 $D(t)$ 为数字控制器传递函数, $U(t)$ 为控制器的输出量, $G(t)$ 为执行机构传递函数, $S(t)$ 为执行机构的输出量。

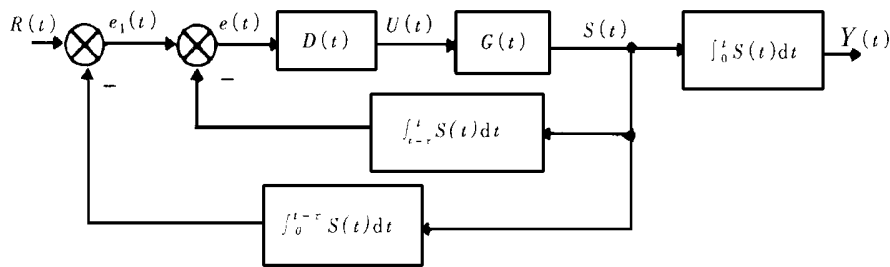


图 2 跟踪系统运动关系

Fig. 2 Movement relation diagram of the tracking system

2 自动跟踪系统

设跟踪传感器的放大系数为 F ，系统输入的模拟量为 $W(t)$ 时， $R(t) = F \circ W(t)$ ，由式 (2) 有：

$$e_1(t) = R(t) - \int_0^{t-\tau} S(t)dt = F[W(t) - \int_0^{t-\tau} S(t)dt / F] \tag{5}$$

根据上述关系，并将时域内表示的关系进行拉普拉斯变换，可得如图 3 所示的跟踪系统结构简图。

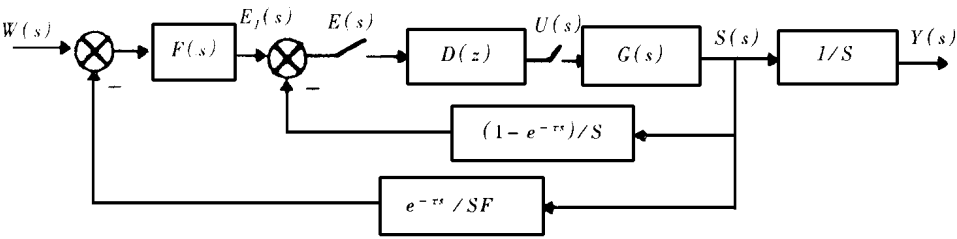


图 3 跟踪系统结构简图

Fig. 3 Structure diagram of tracking system

当取传感器的放大系数 F 为 1 时，由于 $\int_0^{t-\tau} S(t)dt + \int_{t-\tau}^t S(t)dt = \int_0^t S(t)dt = Y(t)$ ，则图 3 可进一步简化为图 4 的频域结构关系。

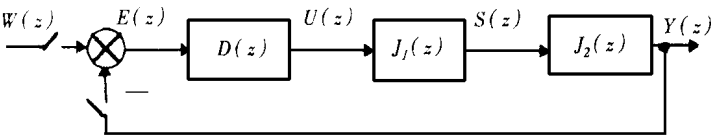


图 4 跟踪系统离散控制结构简化图

Fig. 4 Dispersed control schematic diagram of tracking system

其中： $W(z)$ 为系统输入的 Z 函数， $Y(z)$ 是系统输出的 Z 函数；

$E(z)$ 表示误差，且有 $E(z) = W(z) - Y(z)$ ；

$U(z)$ 是数字控制器的输出；

$D(z)$ 是数字控制器；

$S(z)$ 是执行机构的输出（步进电机带动焊炬的移动量）；

$J_1(z) = Z\{G(s)\}$ ：是执行机构的传递函数；

$J_2(z) = Z\{1/S\}$ ：是对执行机构输出积分（输出相对于导轨的函数）的 Z 变换；

图 4 的实际意义在于：如果使传感器的放大系数为 1，则系统相当于一个单位反馈系统，此时，可直接按照执行机构的传递函数去设计控制软件的数字控制器 $D(z)$ ，这就可大大简化控制算法及控制程序的设计。

3 数字控制器的设计

根据图 4, 则整个系统的闭环传递函数

$$M(z) = \frac{D(z)J_1(z)J_2(z)}{1 + D(z)J_1(z)J_2(z)} \tag{6}$$

数字控制器

$$D(z) = \frac{1}{J_1(z)J_2(z)} \times \frac{M(z)}{1 - M(z)} \tag{7}$$

可以针对不同要求的系统闭环传递函数 $M(z)$ 来设计相应数字控制器 $D(z)$, 如按输入斜坡信号的最少拍系统设计控制器时, 系统闭环传递函数为:

$$M(z) = 2z^{-1} - z^{-2} \tag{8}$$

由图 4 可知

$$J_2(z) = Z\left\{\frac{1}{s}\right\} = \frac{1}{1 - z^{-1}} \tag{9}$$

则数字控制器

$$D(z) = \frac{1}{J_1(z)J_2(z)} \times \frac{M(z)}{1 - M(z)} = \frac{1}{J_1(z)} \frac{1}{1 - z^{-1}} \times \frac{2z^{-1} - z^{-2}}{1 - 2z^{-1} - z^{-2}} = \frac{2z^{-1} - z^{-2}}{(1 - z^{-1})J_1(z)} \tag{10}$$

由式(10)可知, 此数字控制器与执行机构的传递函数有关, 而且不包含误差项的超前项, 在物理上是可实现的。

对于具有惯性环节特性的执行机构, 即:

$$J_1(z) = \frac{(1 - a)z^{-1}}{1 - az^{-1}} \tag{11}$$

则数字控制器

$$D(z) = \frac{(1 - az^{-1})(2 - z^{-1})}{(1 - a)(1 - z^{-1})} \tag{12}$$

4 数字仿真试验

按照式(12)建立的最少拍数字控制器模型, 用 C 语言建立了相应的仿真程序, 进行了数字仿真研究。程序通过人机对话进行初始化后(程序的初始化赋值为: 在起始处输出 $Y(0)=0$, 调节量 $S(i)=0$, $0 \leq i \leq N$, 调节点序号 $i=0$), 就可根据输入函数 $W(i)$ (即焊缝的坡口中心线轨迹函数)计算出相应的焊炬实时跟踪调节量 $S(i)$ 与输出结果 $Y(i)$ 。

程序的输入函数 $W(i)$ 采用了常见的斜线、折线等情况, 其输入函数如下所示:

(1) 阶跃信号
le

$$W(i) = \begin{cases} 0, & \text{当 } i \leq 0 \\ 1, & \text{当 } i > 0 \end{cases}$$

(2) 斜坡信号

$$W(i) = \begin{cases} 0, & \text{当 } i \leq 0 \\ Ki, & \text{当 } i > 0 \end{cases}$$

(3) 折线信号

$$W(i) = \begin{cases} 0, & \text{当 } i \leq 0 \\ K_1 i, & \text{当 } 0 < i \leq l \\ K_2 i + (K_1 - K_2)i, & \text{当 } i > l \end{cases}$$

采用按斜坡输入设计的最少拍数字控制器进行数字仿真试验时, 跟踪系统对阶跃、斜坡、折线信号的响应情况分别如图 5 中(a)、(b)、(c)所表示。图中横坐标表示对焊炬调整时的调节点序号,

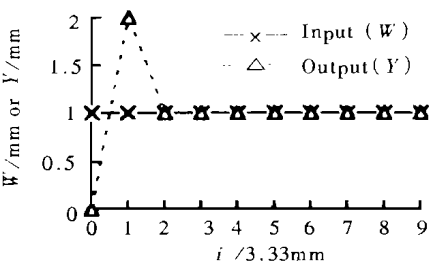
两调节点间距为 3.33mm, 即每 3.33mm 调整一次焊炬, 纵坐标表示输入或输出信号的幅度, 实线表示输入 $W(i)$ 曲线, 虚线表示输出 $Y(i)$ 曲线 (以下诸图的含义均同, 不再赘述)。从图中可看出, 对于阶跃信号或斜坡信号最大误差发生在 $i=1$ 时, 从 $i=2$ 开始, 系统准确跟踪输入。对于阶跃信号系统在 $i=1$ 时有 100% 的超调量, 对于斜坡信号当斜率大于 0.15mm/mm 时, $i=1$ 时误差大于 0.5mm。对于折线输入, 最大误差发生在折线拐弯处, 当拐弯处斜率差大于 0.15mm/mm 时, 误差将超过 0.5mm。

从图 5 中可看出, 系统对于常见信号的响应在第二拍至第三拍即可准确跟踪输入, 能够满足一般焊接条件下自动跟踪。

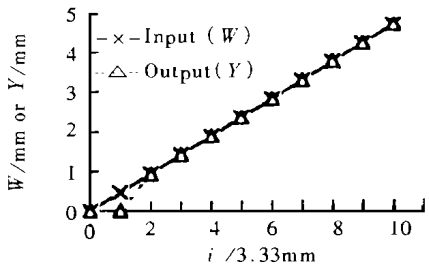
从以上系统结构简图可知, 系统数字控制器不仅与系统跟踪执行机构的特性有关, 同时还与系统所要求的闭环传递函数有关。采用该系统结构简图, 可使系统程序设计变得简单容易。

5 结 论

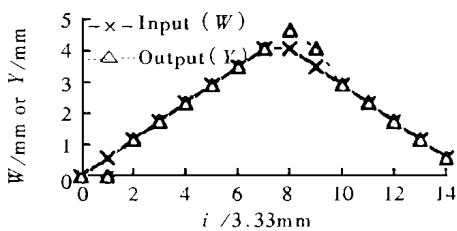
采用传感器本体与焊炬固定连接在一起用一个执行机构的超前检测的焊缝跟踪系统, 可以简化系统机构, 减轻系统重量和体积, 便于在实践中应用。此系统的控制过程可简化成一个单位反馈系统来直接按照执行机构的传递函数设计数字控制器, 从而简化控制系统程序的设计。



(a)Response of jump signal



(b)Response of slope line signal



(c)Response of folded line signal

图 5 仿真试验曲线

Fig. 5 Simulation curves

(1998-01-29 收到初稿, 1998-06-10 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 费跃农. 电弧传感器基础理论及其焊缝跟踪系统的研究.[博士学位论文], 北京: 清华大学机械系, 1990.
- 2 蒋嗣荣等. 计算机控制技术. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.
- 3 夏德铃. 反馈控制理论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1984.

Control Model of Seam Tracking System with Leading Sensor

Jiang Lipai

(Beijing Institute of Petrol— chemical Technology)

Zhang Jiaying

(The Institute of Armored Vehicle Engineering)

Ma Hongze

(Beijing Institute of Petrol— chemical Technology)

Abstract Theoretical analysis and digital simulation of weld tracking system with a leading sensor are stated in this paper. Based on the analyzing of movement process of the tracking system, a loop control structure diagram of the system and its simplified digital dispersed control diagram are presented, which makes the microcomputer control program of the tracking system much simple. The results of simulation tests show that the above digital controller has good behavior and can respond to a variety of input signal exactly, such as a jump, a slope and a folded line signal, in 2~3 steps.

Key words leading sensor, weld seam tracing, system's controlling model

作者简介 蒋力培,男,教授,1942年6月出生,籍贯浙江奉化。1964年毕业于西安交通大学。1980~1983年为首批赴美访问学者,在OSU等大学进修。1985年在吉林工业大学晋升为教授,先后任焊接教研室主任、金属材料工程系主任。现任北京石油化工学院教授、装备技术研究所所长。

专业特长: 焊接工艺与设备、机电一体化。

主要贡献: 负责完成国家“六·五”科技攻关项目《微计算机控制可控硅整流焊机的研究及应用》,研究成果达到国际水平。

负责完成国家“七·五”科技攻关项目《电脑型焊接电源的研究与开发》,研究的电脑型CO₂焊机等4项成果均达到国际先进水平,获国家“七·五”科技攻关重大成果荣誉证书。

主持完成中国石化总公司科技项目《翅片管自动弧焊工艺与设备研究》,研究成果《翅片管自动弧焊设备》为国内首创。

1987年获吉林省优秀教师称号,1984年起获政府特殊津贴奖励,1983年以来合计发表论文40余篇。