

波形控制逆变CO₂焊接电源关键控制信号的获取

田松亚, 顾公兵

(河海大学 机电学院, 江苏 常州 213022)

摘要:通过分析波形控制CO₂焊接过程,介绍了焊接电源空载、燃弧、短路等工作状态的判别,电流、电压、 du/dt 、 di/dt 等关键信号的获取方法,为研制波形控制CO₂逆变焊机奠定了基础。

关键词:波形控制;CO₂焊接;逆变电源

中图分类号: TG444.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2003)07-0033-04

Seek key control signals used in CO₂ arc welding power source controlled by current wave form

TIAN Song-ya, GU Gong-bing

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Hehai University, Changzhou 213022, China)

Abstract: By describing the welding course by current wave form control, the methods to identify the open-circuit state, the burning arc state and the short circuit state and how to get the signals of voltage, current, du/dt and di/dt are introduced in this paper, which lay a foundation for research the CO₂ arc welding machine.

Key words: current wave form control; CO₂ arc welding; inverter power source

前言

CO₂气体保护焊具有高效、节能、抗锈低氢、低成本以及便于实现自动化等突出优点,得到广泛应用。但它存在2个缺点:焊接过程飞溅大,焊缝成形差。国内外学者从各方面进行了研究,对焊机本身电气性能进行改进、完善是重要的途径。其中,受到普遍关注的一种简便、有效的方法是直接对焊接设备输出电流波形进行控制,即波形控制法。其要点是在熔滴与熔池接触瞬间以及熔滴脱离焊丝的瞬间,强迫焊机输出小电流,以减少飞溅。图1是波形控制过程中熔滴短路过渡过程和电压、电流波形的变化情况。

1 波形控制过程分析与控制信号的获取

从图1可以看出,波形控制过程是周期性变化的。选取从 t_4-t_{10} 这一段为一个周期,分析波形控制

过程及所需的控制信号。

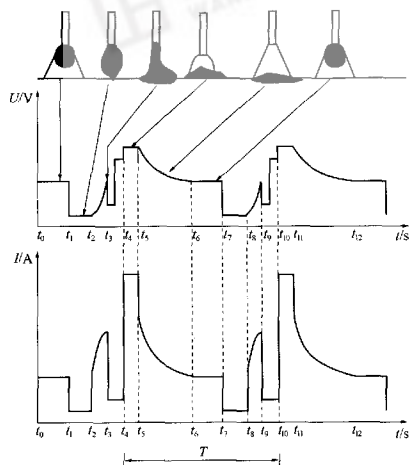


图1 波形控制过程中熔滴过渡过程和电压、电流波形

1.1 空载与短路燃弧状态的判定

收稿日期:2003-03-05

基金项目:河海大学青年基金项目(2001-002)

作者简介:田松亚(1963—),男,江苏如皋人,副教授,硕士,主要从事逆变焊机、等离子切割机的研究和教学工作,发表论文10余篇。

首先要清楚,波形控制过程是焊接进行过程。这一过程是短路状态与燃弧状态交替过程,而不处于空载状态,因此,必须先判定焊机工作状态。焊接电源外特性如图 2 所示。

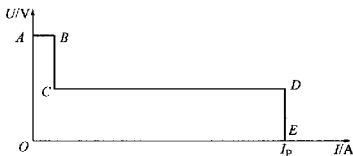


图 2 焊接电源外特性

其中,AB 段表示空载,此时电压最高;CD 段为燃弧段,电压恒定;DE 为短路段,电流恒定。空载与燃弧状态识别电路如图 3 所示。

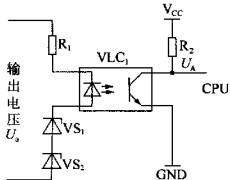


图 3 空载与燃弧判别电路

图中, VLC₁ 为纳秒级快速光耦。焊机输出的空载电压一般为 60~70 V, 当大于稳压管 VS₁、VS₂ 的稳压之和(燃弧阈值电压)时, VLC₁ 立即导通, U_A 输出低电平给 CPU, 通知 CPU 焊机工作于空载状态;反之, U_A 输出高电平给 CPU, 表明焊机工作于燃弧状态, 此时, CPU 控制焊机加大电压负反馈, 进入恒流工作状态。

1.2 焊接电流大小和电弧等离子体扩展段时间长短的检测

图 1 中, t_4 时刻表示熔滴脱离焊丝, 完成短路过渡, 电弧重新建立; $t_4 \sim t_5$ 段为电弧等离子体扩展段。此时 CPU 使电弧增大电流, 该电流使电弧等离子体扩展。此时, 焊丝端部残留的熔化金属迅速回缩, 大电流电弧喷射力作用使熔池形成凹坑, 增大了电弧长度, 减少了焊丝过早与熔池短路接触。同时焊丝迅速熔化, 焊缝增宽。在此阶段电流的大小以及保持时间很重要。此电流高达 350~450 A, 使电弧等离子体扩展, 导致工件产生高阴极斑点热, 确保熔池良好的湿润性和熔透性。那么如何测定焊接电流是否达到此值使电路进入恒流状态呢? 一种方法是用电流

互感器从中频变压器的一次侧获取电流信号 U_1 , 如图 4a 所示; 另一种方法是采用霍尔电流传感器或其模块 LEM 从输出电流获取信号 U_1 , 如图 4b 所示。

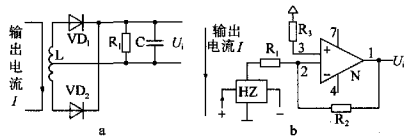


图 4 电流信号获取电路

当 U_1 达到某一值即表明焊接电流达到燃弧电流值, CPU 接到信号后, 加大电流负反馈, 使电路进入恒流工作状态。

电弧等离子体扩展电流保持时间(图 1 中 $t_4 \sim t_5$ 段)取决于焊丝干伸长。由于要保持稳定的无飞溅过渡, 必须使每次过渡的熔滴大小均匀一致。干伸长产生的电阻热会引起熔化焊丝的能量变化, 也就引起每次熔滴大小的变化。实验证明, 只有焊丝端部熔球的平均直径为焊丝的 1.2 倍时, 过渡特性就好, 飞溅小, 电弧稳定。熔球过小, 熔滴难于过渡; 过大, 熔滴难成球状而成滴珠, 形成液柱导致早期短路, 形成大颗粒飞溅。因此, 控制电弧等离子体扩展电流的保持时间要根据干伸长变化进行调整, 通过自适应电路来实现。其原理是: 测量短路期间(图 1 $t_7 \sim t_{10}$ 段)干伸长电压, 其值与焊丝干伸长长度成正比。短路时没有电弧, 没有等离子弧电压, 干伸长电压近似输出电压, 对于干伸长电压进行连续采样, 取平均值(由 CPU 完成采样和求平均值)。电压采样电路如图 5 所示。

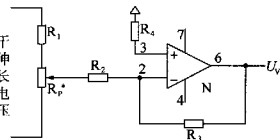


图 5 电压采样电路

在等离子体扩展阶段, 对该平均值进行积分, 得到了一个以时间作为函数的线性直线, 该直线在电弧等离子体扩展段开始时, 总是以零为起点。当直线上电压值与给定的“热”参数比较相等时, 电弧等离子体扩展段结束, 这样就控制了每次熔滴过渡时的大小一致性。电弧等离子体扩展时间控制电路如图 6 所示。

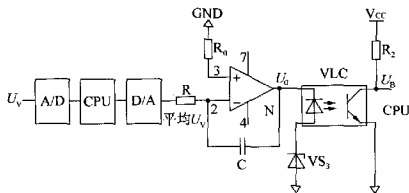


图 6 电弧等离子体扩展时间控制电路

图中, VS_3 的稳压值即为“热”参数, U_0 向 CPU 发出扩展结束信号。

因为 $U_0 = U_c = 0$ (“虚地”), 所以

$$i_R = U_0/R, u_C = -u_0.$$

式中 u_C 为电容电压。

$$i_C = C \cdot du_C/dt = -C \cdot du_0/dt,$$

因为 $i_R = i_C$ (“虚断”), 所以

$$\bar{U}_0/R = -C \cdot du_0/dt.$$

$$u_0 = -\frac{\bar{U}_0}{RC} \int_0^t dt = -\frac{\bar{U}_0}{RC} t,$$

如果选取适当的 R, C 值, 使得 $RC=1$, 则有

$$u_0 = -\bar{U}_0 t.$$

可见, 积分输出电压 u_0 与时间 t 和采样电压平均值 U_v 成正比。

当 u_0 大于或等于 VS_3 上的稳压值时, 光耦 VLC 导通, U_0 输出低电平, 通知 CPU 等离子体扩展段结束。

短路期间不同的能量积累, 而“热”参数不变, 则等离子体扩展时间 t 随之不同, 从而实现自适应控制的目的。

1.3 基值电流的检测

当电弧等离子体扩展段结束时, CPU 控制大电流以等比级数减少到基值电流(如图 1 中 $t_5 \sim t_6$ 段)。此阶段大电流必须逐渐衰减, 以抑制熔池搅拌。基值电流是电弧和熔池短路前的电流, 在 50~100 A 之间, 其大小取决于焊丝材料、直径以及送丝速度。此阶段有 2 个功能: 一是给电弧提供足够能量以补偿辐射损失, 从而保持焊丝末端熔滴的流动性, 维持电弧稳定燃烧; 二是对工件加热。实验证明, 此电流不能太大, 超过 120 A, 就会产生飞溅。该电流反馈信号可用图 4 所示方法获取。CPU 读取 U_1 后, 与预先设定值比较, 识别基值电流。当焊接电流达到基值电流后, CPU 控制焊机进入恒流状态, 即图 1 中 $t_6 \sim t_7$ 段。

1.4 短路状态的判定

万方数据

在基值电流下, 焊丝末端部熔滴在表面张力作用下形成近似球状, 最终导致熔球与熔池短路接触, 如图 1 中 t_7 时刻。短路时, 电压探测器(如图 7 所示)提供短路信号 U_C 给 CPU, 此时 CPU 控制基值电流在 0.75~1 ms 时间内减小到 \dot{I}_0 A。表面张力开始吸引熔滴从焊丝向熔池过渡, 形成小桥。0.75~1 ms 时间由 CPU 定时完成。图 7 中, VS_4 稳压值即是短路电压阈值。短路前, 电弧电压使 VLC₂ 导通, U_C 为低电平。只有短路时, 由于焊机输出电压很低, VLC₂ 关断, U_C 高电平作为中断信号送给 CPU, CPU 执行短路初期波形控制程序, 延时后, 电流呈指数曲线上升。

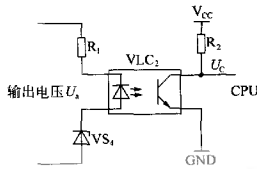


图 7 燃弧与短路判别电路

1.5 小桥断开时刻的判定

电流上升加大, 电磁力与电流的平方随之上升, 加速小桥截面缩小, 形成颈缩, 如图 1 中 $t_8 \sim t_9$ 段所示。在电磁力和表面张力作用下, 导电截面不断缩小, 其电阻值不断升高, 电阻变化率 dR/dt 可通过电压变化率 dU/dt 测量出来。这是因为短路期间, 输出电压为:

$$U = iR = i(R_1 + R_2),$$

式中 R_1 为干伸长电阻, 近似常量; R_2 为液桥电阻, 它随液桥的颈缩、温度的升高和电流的增大而增大; i 为液桥电流, 也是输出电流, 在颈缩期间, 呈指数曲线快速上升。

液桥断开时刻的确定可以通过 dR_2/dt 值达到某一特定值来确定(因为它与液桥截面变化率成正比), 但 dR_2/dt 难于测量。由于,

$$du/dt = i \partial R_2 / \partial t + (R_1 + R_2) \partial i / \partial t,$$

颈缩期间, 电流呈指数曲线上, $\partial i / \partial t > 0$, 同时, 颈缩的加剧和温度的升高, 也导致 $\partial R_2 / \partial t$ 迅速变大。此时, du/dt 也随之加速变大。而 du/dt 在电路上易于实现, 用 du/dt 近似替代 $\partial R_2 / \partial t$ 描述颈缩状态是可行的。当 dU/dt 达到或超过某一特定值时, 检测电路发出信号, 表明小桥将要断开, 输出电流在数微秒内降到 50 A 左右。 dU/dt 值可由图 8 所示电路获取。

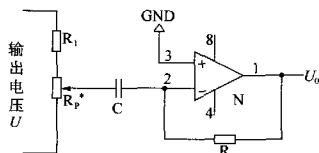


图8 液桥断开时刻控制电路

图中, $U_i = U_o = 0$ (“虚地”),

$$u_i = u_c, u_R = u_c,$$

式中 u_c 为电容 C 上电压。

电容上电流为:

$$i_c = C \cdot du_c/dt = C \cdot du_i/dt,$$

电阻上电流为:

$$i_R = -u_o/R, i_c = i_R \text{ (“虚断”)},$$

所以:

$$C \cdot du_i/dt = -u_o/R,$$

u_i 与输出电压 U 成正比, $u_i = \alpha U$, 代入上式,

有 $C \cdot \alpha \cdot dU/dt = -U_o/R$, 所以:

$$dU/dt = -K \cdot u_o,$$

式中 $K = 1/(\alpha RC)$ 。

这说明 U_o 的值与输出电压 du/dt 成正比。

需特别说明的是, 电流下降过程必须发生在小桥断开之前, 即图1中 t_0 时刻。然后在数微秒内降到 50 A, 避免了短路飞溅的产生。

1.6 电弧等离子体扩展时刻的判定

在图1中 $t_9 \sim t_{10}$ 段内, 熔滴小桥在小电流下断开。此时, 短路结束, 进入燃弧状态, 电压立即升高, CPU 通过检测图7所示电路 U_c 的状态, 判定电弧等离子体扩展时刻的到来。当 U_c 为低电平时, 表明短路结束, 进入燃弧状态。

2 di/dt 值的获取

短路电流增长率 di/dt 和短路峰值电流 I_m 是影响电源特性的2个主要指标。一般情况下, I_m 可以通过 di/dt 进行调整, 因此, 对电源的 di/dt 要求较高。当 di/dt 较小时, I_m 小, 焊接飞溅也小。但是, 当 di/dt 过小时, 焊丝上的熔滴与熔池接触后, 短路电流仍然很小, 所以电磁收缩力不足以使短路小桥断开, 焊丝插入熔池造成固体短路, 使得焊丝成段爆断, 电弧熄灭。此外, 还会增加短路时间, 降低燃弧与短路能量比, 使得焊缝凸起而恶化; 当 di/dt 过大时, 熔滴刚与熔池接触就形成颈缩, 在强烈的电磁收缩

力作用下, 熔滴弹回, 伴随小桥处的液体金属的电爆炸, 产生很大的飞溅, 即短路飞溅。由此可见, di/dt 的选取必须适当, 合适的 di/dt 值可以获得最佳的短路频率。

传统的焊机都采用大电感控制 di/dt 值, 但由于 di/dt 受焊丝直径、焊接电流等的变化影响很大, 故控制效果不够理想。逆变焊机若也用大电感, 其响应速度快的特点将受损。为此, 逆变焊机中的电感小 (只有晶闸管整流焊机电感的 1/10~1/5), 只考虑滤波的作用。另外设置电子电抗器实现对波形的控制, 可以十分方便地根据需要对电子电抗器进行均匀调节, 使之达到最佳配合。电子电抗器式波形控制原理图如图9所示。

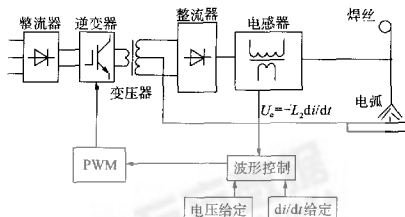


图9 电子电抗器式波形控制原理图

它是从直流电抗器 DCL 的二次侧线圈采样, 得到电压信号 $U_c = -L_2 \cdot di/dt$ 。将该信号反馈到控制回路与电压给定 di/dt 的给定值相比较后, 控制焊机的输出, 使得电流波形更合适, 短路峰值电流 I_m 较小, 波形均匀, 飞溅小, 焊接过程稳定。

3 结论

控制信号的获取是实现波形控制的关键问题之一。在此通过对波形控制过程的分析, 详细地介绍了空载、燃弧、短路等工作状态的判别以及电流、电压、 du/dt 、 di/dt 等关键信号的获取方法, 为研制波形控制逆变式 CO_2 焊机奠定基础。

参考文献:

- [1] 赵家瑞. 逆变焊接与切割电源[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [2] 殷树春. CO_2 焊接设备原理与调试[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 耿传勇. 微机控制 SiT 逆变焊机的研制[J]. 焊接学报, 1998, 19(4): 12-14.