

新型逆变 CO₂ 焊机的控制原理与特点

黄鹏飞¹, 殷树言¹, 段红海², 李力²

(1. 北京工业大学 机电学院, 北京 100022; 2. 时代集团公司, 北京 100027)

摘要: 依据 CO₂ 焊接工艺的特点, 设计了一种电子电抗器控制的逆变弧焊电源。当短路发生后, 电流先保持在一较低值, 然后以斜率可以调节的双折线规律上升。在燃弧阶段, 调节控制回路参数, 控制燃弧电流的变化速度, 保证充足的燃弧能量。设计了专门的引弧和收弧电路。试验表明, 该焊机具有飞溅小, 成形好, 去球效果好, 容易引弧等优点。

关键词: 电子电抗器; 短路过渡; CO₂ 气体保护电弧焊

中图分类号: TG403 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2003)03-31-04



黄鹏飞

0 序 言

CO₂ 焊是一种高效节能的焊接方法, 在各国得到广泛的应用。目前日本等发达国家 CO₂ 焊接的比例达 70% 以上。但是, CO₂ 焊也存在一些缺点, 如飞溅大, 成形差等^[1]。传统可控硅焊机控制方式单一, 工作频率低, 响应速度慢, 难以解决上述问题。

20 世纪 90 年代发展和成熟的逆变技术, 使电源具有良好的动态响应性能, 为改善 CO₂ 焊的工艺性提供了良好的条件, 成为 CO₂ 焊接技术的发展方向。国际上逆变 CO₂ 焊机的研究主要有两种, 一种如美国林肯公司的表面张力过度法 (STT), 该类研究的主要目的是减小飞溅。但 STT 法的适用电流一般小于 160 A。另一种如芬兰肯比公司的逆变 CO₂ 焊机。该类焊机的主要特点是燃弧能量高, 焊缝成形好。但该机对短路电流的控制不够精确, 飞溅较大。最近日本公司研制了单片机控制的逆变 CO₂ 焊机, 但价格昂贵。

作者采用 IGBT 逆变技术, 研制了一台波形控制的逆变 CO₂ 电源。该机针对短路过渡时的不同阶段分别予以控制, 短路时电流以双折线规律上升, 而燃弧时, 采用电子电抗器控制。该机不仅具有体积小, 重量轻, 效率高等特点, 而且在工艺参数的全范围内具有良好的工艺性能。

1 逆变 CO₂ 焊机系统结构

该系统采用双闭环控制系统, 其系统结构如图 1 所示。图 1 中 I_f 为反馈电流; u_f 为馈电压; I_g 为给定电流; u_g 为给定电压; u_o 为实际电压。内环为电流反馈闭环控制, 反馈信号由电流霍尔传感器得到。外环为电压反馈闭环控制, 电压反馈信号由电压反馈霍尔传感器获得。波形控制电路对电压反馈和电压给定信号进行计算, 其输出值作为内环电流反馈环的参考信号, 用于控制电流波形的变化规律。

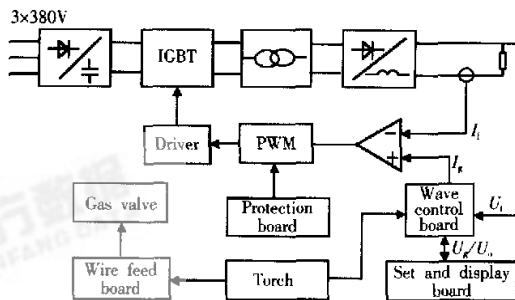


图 1 双闭环控制 IGBT 逆变 CO₂ 焊机结构框图

Fig. 1 Schematic diagram of double loop IGBT inverter arc welding power source

主电路结构为 IGBT 全桥逆变电路, 工作频率约为 18 ~ 20 kHz。具有过流、过热和欠压保护电路。

作者设计了系列逆变 CO₂ 焊机, 具体参数如表 1 所示。

2 逆变 CO₂ 焊机控制方案

逆变电源的工作周期为数十微秒, 而 CO₂ 短路过渡的周期一般为数毫秒, 在一个过渡周期内, 逆变

表 1 逆变 CO₂ 焊接电源基本参数表Table 1 Specification of inverter CO₂ arc welding power source

Model	Power supply U_p/V	Current range I/A	Voltage range V	Duty ration (%)	Open circuit voltage U/V	Efficiency $\eta(\%)$
NBC-250		50~250	14~29		55	83
NBC-350	$3 \times 380 \pm 15\%$	60~350	15~34	60	65	83
NBC-500		70~500	15~44		75	83

电源可以针对短路和燃弧过程分别予以控制,从而有效的减小飞溅。

2.1 短路电流波形控制

CO₂ 焊接过程中,熔滴和熔池都在高速的振荡,短路过渡过程是一种随机性很强的过程。如果在短路初期,电流上升太快,将可能在熔滴与熔池接触处发生金属小桥的爆断,此时熔滴被猛烈的推开,产生大滴飞溅^[2]。该机在短路发生后,能抑制电流上升速度,使其保持在该电流值一定时间,然后再迅速上升。一般短路电流上升的延时为 0.3 ms 左右。采用这种控制方式,可以有效地抑制瞬时短路造成的飞溅。

此外,在短路后期也会产生飞溅。熔滴在熔池的表面铺展开后,短路电流会迅速上升,在电磁收缩力和表面张力的作用下,液滴将在熔滴与焊丝接触处产生颈缩,短路后期,短路小桥半径越来越小,而电流不断增大,则电流密度迅速上升,从而使小桥发生过热爆断,会产生飞溅。峰值电流越大,产生飞溅也越多。所以在短路后期,应当使电流以一较低的速度上升,即短路波形以双折线规律上升。此时短路电流峰值较小,飞溅也很少。为了适应不同的工作条件,短路电流的上升速度是可以调节的。通过反馈控制电路的作用,实现铁磁电感控制电流上升速度作用,即为短路阶段的电子电抗器控制。

需要指出的是,短路后期小桥爆断产生的飞溅一般颗粒很小,易于清理。而短路初期小桥爆断产生的多为大颗粒飞溅。所以抑制短路初期电流的上

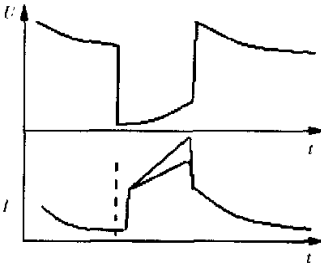


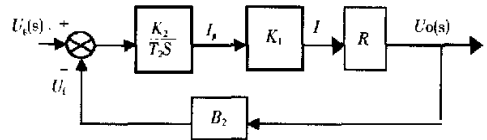
图 2 短路电流滞后双折线上升

Fig. 2 Short circuit current arise with double slope

升具有更重要的意义。图 2 所示为短路电流波形上升规律。

2.2 燃弧电流波形控制

一般来说,如果焊缝表面的鱼鳞纹细密,焊缝余高较小,熔深大,趾部焊缝与工作表面的夹角较小,则焊缝成型好。这就要求焊接过程中熔滴过渡均匀,且燃弧能量充分,母材加热良好。燃弧阶段,逆变电源的控制框图如图 3 所示。

图 3 IGBT 逆变 CO₂ 焊机的控制结构框图Fig. 3 Block diagram of control circuit of IGBT inverter CO₂ arc welding power source

根据上面框图可得:

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{\frac{1}{B_2}}{\frac{T_2}{K_1 K_2 B_2 R} s + 1} = \frac{K'}{T' s + 1} \quad (1)$$

式中: B_2 为电压反馈放大倍数; T_2 为积分环节的时间常数; K_2 为外环放大倍数; K_1 为电流环放大倍数; R 为电弧等效阻抗; s 为算符; $K' = \frac{1}{B_2}$;

$$T' = \frac{T_2}{K_1 K_2 B_2 R}。$$

式(1)表明,该系统为惯性环节,改变时间常数,就可以改变电流的变化速度,其作用就如同调整输出回路串联铁磁电感,此即为燃弧阶段的电子电抗器控制。为了改善焊缝成形,一般希望尽可能提高燃弧和短路能量的比值。本机通过调整燃弧电子电抗器控制电流的下降速度,提高能量,所以燃弧与短路能量比很高,成型较好。如图 4 所示为该焊机的工作电流电压波形。

2.3 引弧控制

在引弧时,希望电弧建立在焊丝和母材之间,而

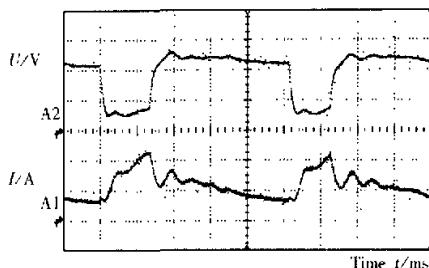


图4 IGBT 逆变CO₂焊机工作电流电压波形
Fig.4 Waveform of inverter CO₂ arc welding

power source

(U:10 V/div, I:100 A/div, t:2 ms/div)

不是在焊丝和导电嘴之间。在串联回路里,电阻大的部分获取更多的能量。焊丝和母材之间的接触电阻,随焊丝对母材的压力增大而急剧减小。所以希望引弧初期电流有足够大的上升速度。为了保证引弧可靠,在引弧初期施加一个电流脉冲,在脉冲能量的作用下,电弧会迅速建立,而且脉冲能量保证焊丝端头形成足够多的熔化金属,为熔滴过渡做好准备。如图5所示为引弧电流电压波形。引弧电流的上升速度达600 A/ms。

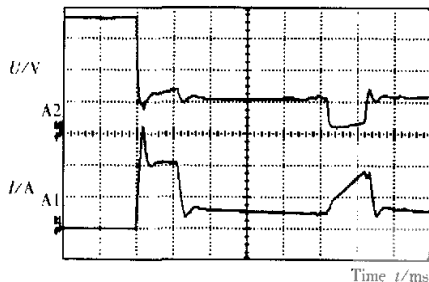
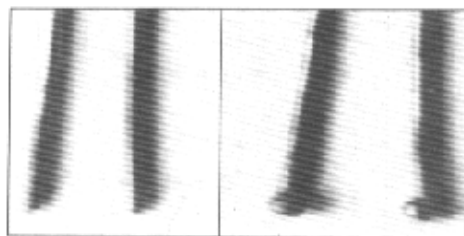


图5 逆变CO₂焊机引弧电流波形

Fig.5 Ignition waveform of inverter
CO₂ arc welding machine

(U:20 V/div, I:200 A/div, t:5 ms/div)

在焊接过程结束时,只有当送丝完全停止后才停止供电,这样就不会发生粘丝现象,但是,焊丝返烧后会在焊丝端头聚成一个小球,下次引弧时,必然会发生猛烈的爆破,并产生大量飞溅。所以,在收弧时应当使最后一个熔滴顺利过渡后再切断电源。本机在焊接过程结束时,切换到去球工作模式,此时电源输出一低电压,弧长很短,如果焊丝端头出现小球,则会很快发生短路,所以焊接过程结束后,焊丝端头不会有很大的小球。需要指出的是,在正常焊接时,是不可能在此时的低压下稳定工作的,但此时送丝速度越来越慢,只要匹配合理,就可以实现去球的效果。图6为收弧效果对比。



(a) With ball control (b) Without ball control

图6 不同控制方式时的焊丝端头形状

Fig.6 Comparison between wire terminal

with different control method

3 其它辅助电路

为了保证焊机的稳定工作,设计了如下三种保护方式。

3.1 过流保护电路

逆变电源的核心元件IGBT的可靠工作是焊机可靠工作的核心问题。IGBT的驱动采用富士公司的集成驱动模块EXB841,当IGBT上流过的电流超过安全电流时,EXB841会发出一个过流信号,该信号的持续时间超过一定值时,保护信号将会被锁定。同时关断PWM芯片并发出警报信号。只有故障解除后才可以重新工作。

3.2 过热保护电路

如果焊机持续工作时间过长或者冷却系统出现故障时,焊机会自动停止工作。但温度降至正常范围时可恢复工作状态。

3.3 欠压保护电路

当电网电压过低时,系统会自动停止工作,并保持锁定状态。网压恢复后需重新开机,恢复正常工作状态。

4 逆变CO₂焊机工艺试验

4.1 飞溅率对比试验

文献[3]指出,常规可控硅焊机在250A焊接时,飞溅率达7%左右,大滴飞溅粘附在母材上,很难清除。而该机在相同规范焊接时,基本上没有大滴飞溅,飞溅率可降至3%左右,焊缝成型美观。

按照GB/8118-95的要求,做飞溅率测试试验,所得数据如图7所示。

4.2 焊接熔敷系数对比试验

试验条件如下。

焊丝:集宁景泰Φ1.2焊丝;母材:Q235钢;焊

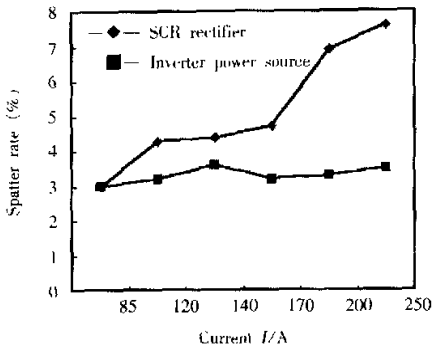


图 7 两种焊机的飞溅率对比

Fig. 7 Comparison between spatter rate with different power source

接速度:0.5 m/min;保护气体:CO₂;保护气体流量:15 L/min;导电嘴至母材距离:15 mm;测速表:PRV-1000.

在焊接时设定相同送丝速度,设定相同的焊机电压,得到数据如表 2 所示。

表 2 两种焊机熔敷系数对比试验结果

Table 2 Comparison between deposition rate with different power source

Wire feed	$v/(r \cdot \text{min}^{-1})$	15.8	30	45	60	75
speed	$v/(m \cdot \text{min}^{-1})$	1.99	3.77	5.66	7.54	9.42
Model	Current I/A	70	140	170	200	240
KR2-500	Voltage U/V	18	21	22	24	25
	Current I/A	75	140	170	210	230
Our welder	Voltage U/V	18	21	22	24	25
	Wire feed	$v/(r \cdot \text{min}^{-1})$	90	105	120	135
speed	$v/(m \cdot \text{min}^{-1})$	11.31	13.19	15.08	16.96	
Model	Current I/A	280	300	320	360	
KR2-500	Voltage U/V	28	29	32	36	
	Current I/A	260	305	320	370	
Our welder	Voltage U/V	28	29	32	36	

4.3 试验数据分析

焊接飞溅率对比试验可以看出,逆变电源的飞溅率在小电流下和传统晶闸管焊机基本相同,而在大电流下则明显小于晶闸管焊机。这是由于在小电流下,晶闸管焊机的飞溅也很小,而在大电流下,晶闸管焊机的瞬时短路较多,所以飞溅很大。而逆变焊机可以有效的抑制瞬时短路,所以飞溅率明显降低。

从熔敷系数的角度对比两种焊机,可以发现两者的差别较小。在晶闸管整流焊机中,采用铁磁电感调节焊机的动态特性,电感在短路时储存能量,在燃弧时释放。而在逆变焊机里,采用电子电抗器调节焊机的动态输出特性,短路时抑制电流的上升速度,燃弧时使电流缓慢下降,虽然逆变电源里的输出滤波电感很小,但是电源可以直接从电网获取能量,提供给电弧,所以从熔敷系数的角度分析,两者有完全相同的效果。但是,如果考虑到逆变电源的效率达 83%,远高于传统晶闸管整流焊机,则逆变电源的高效节能具有很重要的经济意义。

目前该焊机已经投入大批量生产,并在三峡工程等国家重点项目中得到了广泛的应用。

5 结 论

(1) 依据 CO₂ 焊接工艺的特点,设计了一种电子电抗器控制的逆变弧焊电源。当短路发生后,电流先保持在一较低值,然后以斜率可以调节的双折线规律上升。试验表明,在大电流工作条件下,这种控制方式可以有效的减小飞溅。

(2) 在燃弧阶段,调节控制回路参数,控制燃弧电流的变化速度,保证充足的燃弧能量。采用该种方式,焊接熔敷效率和传统晶闸管整流焊机基本相同。

(3) 设计了专门的引弧和收弧电路。焊后基本没有小球,引弧柔顺。

参考文献:

- [1] Lancaster J F. The Physics of welding [M]. London: Pergamon Press Ltd, 1984.
- [2] 殷树言,张九海. 气体保护焊工艺 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1989.
- [3] 殷树言,张九海,姜伟雄,等. 从不同的控制方式中探索短路过渡 CO₂ 焊接的飞溅问题 [J]. 焊接学报, 1986, 7(4): 187 ~ 194.

作者简介: 黄鹏飞,男,1971 年出生,讲师。1996 年于北京工业大学获得工学硕士学位,1998 年起攻读在职博士学位。主要从事高效熔化极气体保护焊方面的研究,开发低飞溅 IGBT 逆变 CO₂ 焊机、熔化极脉冲氩弧焊机,由北京时代集团公司,电机工业(马来西亚)有限公司等多家投入批量生产,发表论文 10 余篇。

Email: huangpf2000@sohu.com