

# 新型晶体管电源的研制

## ——低压引弧机理的探讨

俞尚知副教授 朱连生讲师 李焰助教  
吴毅雄助教 赵颖助理工程师

(上海交通大学)

### 摘要

本文在分析了 GTAW 晶体管电源的工作条件后,首先提出了研制低空载电压晶体管电源的技术经济意义;并从理论上探讨了低压非接触引弧的机理,为研制新型晶体管电源提供了理论依据。其次通过对焊接回路系统的数学分析,求得了采用反馈环节对稳定引弧过程的影响关系,进行了电路系统的合理设计。最后列举了新型晶体管电源的技术参数,并阐述了它的焊接性能。在生产性考核中表明其低空载引弧极端可靠。

### 一、序言

晶体管电源是六十年代发展七十年代正式投入工业应用的第四代弧焊电源。晶体管的频响特性远比一般的电气器件好得多,因此晶体管弧焊电源的动态特性要比一般弧焊电源优越,加上晶体管具有优良的控制特性,故适用于焊接规范的精确控制和焊接质量的自适应控制,并可作为研究焊接电弧的重要手段。

由于晶体管电源具有上述其他弧焊电源无法比拟的优点,国外竞相对其进行研究。美国、日本、西德、苏联等都有了相应的产品<sup>[1,2]</sup>。我国对此也进行了大量的研究,但是迄今尚未达到商品化,主要问题是价格太高,阻碍了推广使用。

我国研制的晶体管弧焊电源,为满足 GTAW 非接触引弧的需要,往往采用加辅助电源(其空载电压达 80V 以上)<sup>[3~5]</sup>,或提高主电源的空载电压达 40V 以上,以保证能用高频振荡器顺利引弧<sup>[6]</sup>, GTAW 的电弧电压很低,一般为 8~15V,这样晶体管弧焊电源的电压,大部分由串联的调整晶体管组来承担。选定的晶体管极限功耗  $P_{ew} = U_{ce} \cdot I_c$  为一常值,因此  $U_{ce}$  值增大后,势必使每个晶体管所允许的工作电流  $I_c$  降低。这样

为获得额定所需的电流，就要增多所需晶体管的个数，且使用效率大大降低。假如能降低晶体管弧焊电源的电压而能保持在非接触引弧时的良好引弧性能，就可大大减少串联调整晶体管组所需晶体管的只数和提高使用效率。这样既可降低晶体管电源的能耗，降低其价格，而且减少了晶体管的数量后，使电源出故障的概率也大大减少\*。所以研制新型的低空载晶体管弧焊电源具有重大的技术经济意义。

## 二、低压引弧

通过对 GTAW 非接触高频引弧过程的大量研究发现，只要弧焊电源的空载电压大于电弧电压与调整晶体管组最小工作电压以及取样电阻，线路压降之和后，完全有可能采用低空载电压弧焊电源，借助高频振荡器进行非接触引弧，其技术关键就在于要改善弧焊电源的动特性及其稳定性。

采用高频振荡器引弧的 GTAW 焊接回路可简化，见图 1。引弧时，在正向脉冲作用下，由于电源内阻很小，可看成脉冲放电，其特性曲线可由  $U_a = a + bI + \frac{c + dI}{I_a}$  ( $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ —电弧特性常数， $I$ —电弧长度) 来表示，因此电弧空间呈现强烈的负阻特性，当高频振荡器的正向脉冲（其极性与电源极性相同）到来时，弧焊电源与电弧空间组成的焊接回路的系统方框图如图 2 所示。 $H(S)$  是  $U_o - U_a$  这部分电路的传递函数， $F(S)$  是反馈函数。当弧长不变，由于  $I_a$  的微扰动引起的弧压变化为  $\Delta U_a = -\frac{c + dI}{I_a^2} \Delta I_a$ ，

考虑到  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  皆为电弧的常数，则： $\Delta U_a = -\frac{K}{I_a^2} \Delta I_a$ ，

$$\therefore F(S) = -\frac{K}{I_a^2}$$

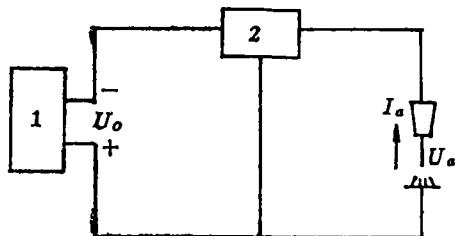


图 1 GTAW 焊接回路

1—弧焊电源 2—高频振荡器  
 $U_o$ —电源电压  $U_a$ —电弧电压  $I_a$ —焊接电流

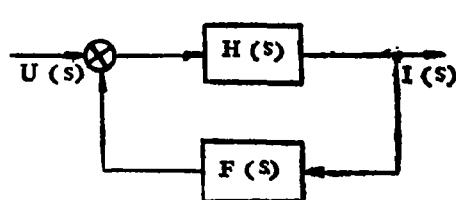


图 2 理想系统方框图

\* 由于调整晶体管组引起的电源损坏概率为  $[1 - (1 - P)^n]$ ，（其中  $P$  为一个晶体管的损坏概率， $n$  为晶体管的总数）所以  $n$  增加，因为  $(1 - P) < 1$ ，则  $(1 - n)^n$  减小， $[1 - (1 - P)^n]$  增大。

因为  $K$  为正, 所以是一正反馈系统。这样在高频振荡器正向脉冲作用下的弧光放电电流可达到很大的数值。当随之而来的反向脉冲作用时, 考虑到整流电源的反向电阻值很大, 其焊接回路可简化如图 3 所示。显然, 在反向脉冲的作用下, 已建立的弧光放电电流将减小。一旦出现零值或反向时, 就可能导致高频引弧失败。为了获得可靠的非接触高频引弧, 要求建立的弧光放电电流在反向脉冲作用时不降到零值。

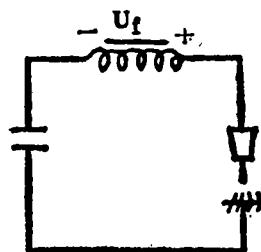


图 3 反向作用的线路  
 $U_f$ —反向高频电压

### 1. 磁放大器硅整流电源的非接触引弧

以 ZXG-30 为例, 其等效线路与高频引弧线路构成的焊接回路如图 4 所示。

为便于分析, 把电弧等效为电阻  $R_a$ , 当高频振荡器极性与焊接电源极性同向时, 考虑到  $C$  的容抗相对于电源的阻抗要大得多, 故图 4 简化为图 5, 其系统方框图如图 6。

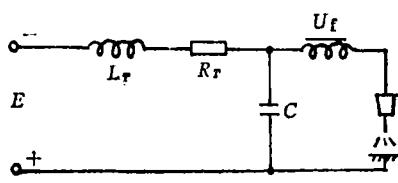


图 4 磁放大器电源等效回路

$L_T$ —等效电感  $R_T$ —等效电阻  
 $U_f$ —高频电压  $C$ —旁路电容

$$\text{设 } U = E + U_f$$

$$\therefore \frac{1(S)}{U(S)} = \frac{1}{L_T S + R_T + R_a}$$

$$= \frac{\frac{1}{L_T}}{S + \frac{R_T + R_a}{L_T}}$$

$$i(t) = \frac{U}{R_T + R_a} \left( 1 - e^{-\frac{R_T + R_a}{L_T} t} \right)$$

当开始高频引弧时, 由于  $i(t)$  很小,  $|R_a|$  很大, 因为  $R_a$  是负值, 所以  $\frac{R_T + R_a}{L_T} < 0$ ,

这样焊接回路是个不稳定系统, 即  $i(t)$  是随着时间而发散的。随着  $i(t)$  的增加,  $|R_a|$  逐渐减小。当  $(R_T + R_a) > 0$  时, 系统由不稳定转为稳定。

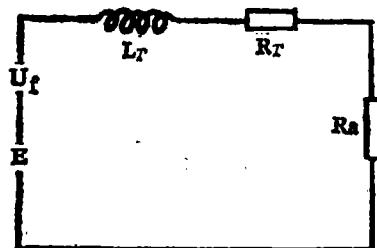


图 5 简化后磁放大器电源等效回路

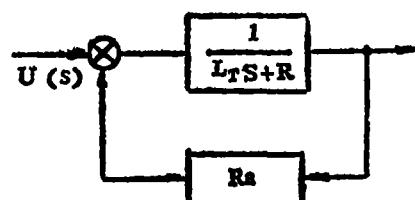


图 6 简化后磁放大器系统方框图

显然, 要使高频引弧迅速有效, 务必使高频脉冲正向作用时, 系统的发散速度快,

使  $i(t)$  的上升速度大, 这就要求回路的  $R_T$ 、 $L_T$  都小。但磁放大器电源的感抗值比较大, 电流上升速度转慢, 因此在高频正向脉冲作用时, 电流不易上升到较大数值。提高电源电压  $E$ , 即增大了  $U$  值, 就可使  $i(t)$  在较短的时间内达到较大的值, 虽有助于高频非接触引弧, 但却增大了电源的容量, 违背了节能、节材的原则, 因此磁放大器式弧焊电源都借助并联辅助电源以改善其引弧性能, 这时焊接回路可简化为图 7。

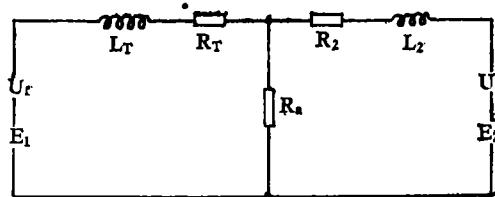


图 7 带辅助电源的磁放大器电源的等效回路

当高频脉冲正向作用时, 电流:

$$i(t) = \frac{U_1}{R_T + R_a} \left( 1 - e^{-\frac{R_T + R_a}{L_T} t} \right) + \frac{U_2}{R_2 + R_a} \left( 1 - e^{-\frac{R_2 + R_a}{L_2} t} \right)$$

由于辅助电源回路中的  $L_2$  很小, 所以  $\frac{U_2}{R_2 + R_a} \left( 1 - e^{-\frac{R_2 + R_a}{L_2} t} \right)$  的值增长得非常快, 只要参数设计合理, 就可以保证高频引弧的极端有效。图 8、9 (图版29) 分别为无辅助电源、辅助电源空载电压88V、稳定焊接电流15A时的引弧阶段焊接电流、电压波形图。

## 2. 晶体管电源的非接触引弧

恒流晶体管弧焊电源与电弧组成的焊接回路如图10所示。其等效电路类同于图4, 但  $L_T$  远较硅整流电源为小。它的数值由主变压器的漏感所决定。变压器一经做成后就无法改变, 因此当高频脉冲正向作用时, 要加快电流发散速度, 就要设法减小  $R_T$  值。

由二极管伏安特性 (图11) 可知: 当工作电流很小时, 二极管的交流电阻很大。当引弧时, 起始电流很小, 所以  $R_a$  很大。要减小等效电路的  $R$  值, 就必须设法减小二极管的动态电阻  $R_a$ 。由三极管的输出特性 (图12) 可知: 其动态特性分三个区间, 在放大区和截止区的电阻都非常大, 而在饱和区则电阻很小。所以减少三极管的动态电阻, 就能达到减小  $R_T$  的目的。图 13、14 (图版29) 分别为电阻负载时晶体管电源和磁放大器电源产生的电流递增波形, 显然, 晶体管电源在高频脉冲正向作用下的电流发散速度要比磁放大器电源大得多。

当高频负向脉冲到来时, 则将引起电弧电流的减小。由于晶体管的动态响应很快, 有必要引入强烈的负反馈来维持电流不变, 因此设计的电路要保证引弧电流达到一定值后就转成负反馈工作。假定采用比例反馈环节,  $K_2$  为其反馈系数, 设定电源的前向传

递系数为  $K_1$ ，则此时系统的方框图如图15所示，其输出应为：

$$C(s) = \frac{K_1}{1+K_1K_2} R(s) + \frac{1}{1+K_1K_2} N(s) \quad [N(s) \text{ 为干扰输入}]$$

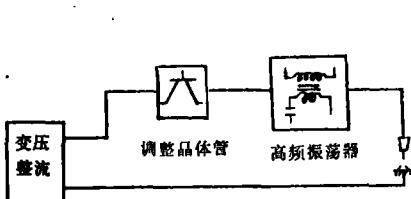


图10 晶体管电源焊接回路

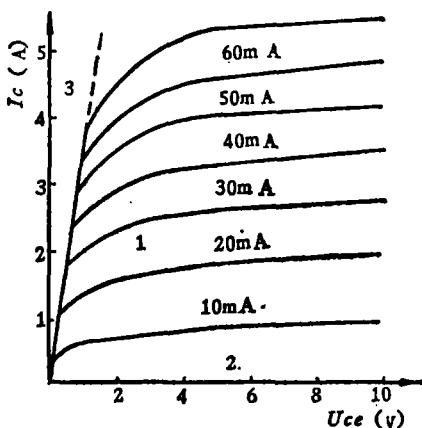


图12 三极管输出特性

①—放大区 ②—截止区 ③—饱和区

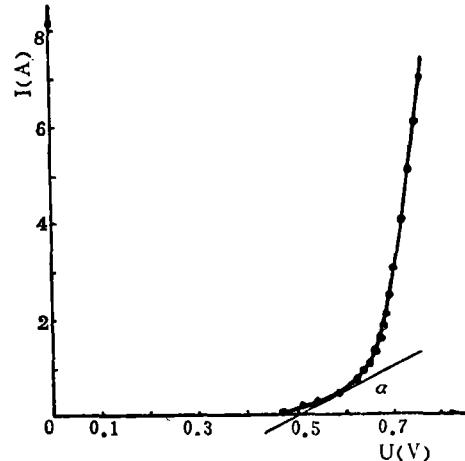


图11 二极管伏安特性

$$R_d = \operatorname{ctg} \alpha$$

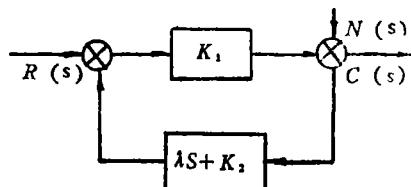


图15 具有比例反馈环节的系统方框图

令  $C_1(s) = \frac{K_1}{1+K_1K_2} R(s)$ ，即为控制信号对输出的影响； $C_2(s) = \frac{1}{1+K_1K_2} N(s)$ ，即为干扰信号对输出的影响。

即为干扰信号对输出的影响。为便于讨论，当反向脉冲到来时，根据增量原理，将焊接电流  $I_1$  看作 0。反向脉冲可由两个单位阶跃函数组成，即： $n(t) = -[U(t) - U(t-\tau)]$ ， $\tau$  为脉冲宽度，“-”表示负向脉冲，则扰动对输出的影响为：

$$C_2(t) = \frac{1}{1+K_1K_2} n(t) = -\frac{1}{1+K_1K_2} [U(t) - U(t-\tau)]$$

由此可见，在负反馈的作用下，干扰（高频反向脉冲）造成的输出虽仍为一负脉冲，但其幅值已降为原来的  $\frac{1}{1+K_1K_2}$ 。

当采用比例-微分负反馈时（其系统方框图如图16所示），则干扰信号  $N(s)$  对输出信号  $C(s)$  的传递函数为  $\frac{1}{1+K_1(\lambda \cdot s + K_2)} = \frac{1}{\lambda K_1 s + K_1 K_2 + 1}$

与上同理，设定反向脉冲  $n(t) = -[U(t) - U(t-\tau)]$ ，

$$\text{则: } C_2(t) = \begin{cases} -\frac{1}{1+K_1K_2} \left[ 1 - e^{-\frac{1+K_1K_2}{K_1} t} \right] & 0 < t < \tau \\ \frac{1}{1+K_1K_2} e^{-\frac{1+K_1K_2}{K_1} t} [1 - e^{-\frac{K_1K_2+1}{K_1} \tau}] & t > \tau \end{cases}$$

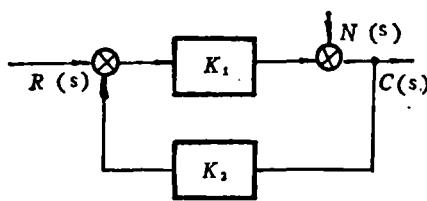


图16 具有比例-微分反馈环节的系统方框图

由于  $\tau$  很小, 所以  $t > \tau$  后的影响可略去, 则在  $0 < t < \tau$  的时域内, 由于采用比例—微分环节, 反向脉冲对输入的影响要比比例反馈系统小得多。

图17 (图版30) 是晶体管电源空载电压为26V时的高频非接触引弧的电流波形图。由于引燃电弧后未自动切断高频振荡器的电源, 因此高频脉冲耦合到控制电路中后, 引起电弧电流的回零现象。图18 (图版30) 为具有高频自动切断功能的电弧电流波形图。

### 三、系统组成

根据低空载引弧的要求, 研制的晶体管弧焊电源的电气系统方框图如图19所示。

三相四线工频输入, 经变压器与整流器后, 输出26V的直流空载电压。控制器根据脉冲发生器输出脉冲信号的“有”、“无”控制调整晶体管组, 得以输出恒流或脉冲方波电流, 并控制高频振荡器, 使焊接电弧引燃后自动切断, 以避免高频干扰和提高钨极使用寿命。

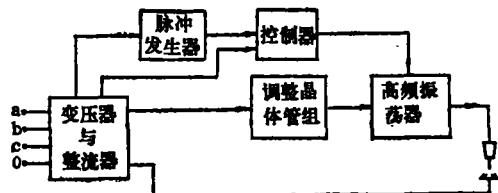


图19 电气系统方框图

### 四、技术参数与焊接试验

研制成功的低空载晶体管弧焊电源见图20 (图版30), 经测试得到的外特性曲线及主要技术参数见图21及下表。

#### 低空载晶体管电源外特性

空载电压 (V)	额定电流 (A)	额定暂载率 (%)	电流调节范围 (A)	脉冲频率 (Hz)	占空比	脉冲电流幅值 (A)
26	30	60	6~30	0.8~10	0.4~0.8	0~24

研制成功的低空载晶体管电源安装在SBZ-30超薄板一机双工位钨极氩弧焊机上, 对不锈钢保温瓶壳体进行焊接, 六千余只0.3mm壳体的焊接实践表明, 低空载电压非

接触引弧极端可靠，电弧稳定，电流波动小于0.5A，焊接速度达到76cm/min，合格率达96%以上。

研制的低空载晶体管电源已于1984年7月通过技术鉴定，并投入小批量生产。

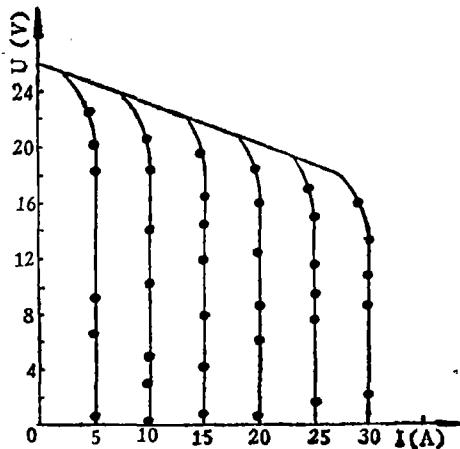


图21 低空载晶体管电源外特性曲线

## 五、结 论

1. 新型晶体管弧焊电源的研制成功，从理论和实践上证明了低空载高频GTAW非接触引弧的可靠性。

2. 研制的晶体管电源，与相同额定电流的弧焊电源相比，具有节材、节能的优点。

3. 新型晶体管弧焊电源用于GTAW焊接，引弧可靠，电弧稳定，电流波动小于0.5A。

4. 能提供恒流和方波焊接电流，特别适用于超薄板的自动氩弧焊，也可用于手工氩弧焊。

(1985年3月21日收到修改稿)

研制工作得到了泰兴城东电器厂的支持，并试制了样机，特此致谢。

## 参 考 文 献

- (1) Birchfield J.R.: 《Welding Design & Fabrication》, 56(1983), №6, P39.
- (2) Эсибян Э.М: 《Автоматическая сварка》, (1975), №.2, P54.
- (3) 董文军等: 《小直径TIG全位置自动焊晶体管电源》, (1979)。

- (4) 上海电焊机厂: 《50A大功率三极管脉冲氩弧焊电源》, (1979)。
- (5) 丁凤姣等: 《JHD-05-Z型晶体管式高频脉冲钨极气体保护焊电源及其应用》, (1979)。
- (6) 刘成武等: 《开关型晶体管钨极脉冲氩弧焊机的研究》, (1982)。
- (7) 江剑平等: 《阴极电子学与气体放电》, 国防工业出版社, (1980)。

THE DEVELOPMENT OF A NEW TRANSISTOR POWER  
SOURCE—EXPLORING THE MECHANISM OF ARC-IGNITION  
WITH LOW OPEN CIRCUIT VOLTAGE

*Associate Professor Yu Shangzhi, Lecturer Zhu Liansheng,  
Assistant Li Yan, Assistant Wu Yixiong, Assistant Engineer Zhao Ying  
(Shanghai Jiao Tong University)*

**Abstract**

This paper puts forward the technical and economic significance of developing a low open circuit voltage transistor power source after analysing the GTA welding condition when using transistor power sources. The mechanism of no-toucharc-ignition with low open circuit voltage power source has been explored in order to find a theoretical basis for developing the new power source. By mathematical analysis of the welding circuit system, the authors investigated the influence of feedback units upon the process of arc stabilizing in the arc igniting period, thus making the optimal design of the circuit system for the welding power source possible. The paper gives also the technical parameters of the designed power source. The arc ignition has been proved to be very reliable in welding production.