

第10卷 第2期
1989年6月

焊接学报
HANJIE XUEBAO

Vol.10 No.2
June 1989

开关式场效应管弧焊电源的研究

黄石生教授 范雪红硕士研究生 伍月华副教授
邝明察研究生 王志强讲师

(华南理工大学)

摘要

本文主要介绍新型的开关式场效应管弧焊电源的工作原理。通过采用电流负反馈获得恒流外特性，并提出了一种新颖的低压引弧电路。利用所研制的开关式场效应管弧焊电源进行引弧试验和工艺试验，结果表明，此电源具有良好的引弧性能和工艺性能，是一种发展前景较远大的电子弧焊电源。

主题词 zhī 直流弧焊电源 chang 场效应晶体管 kāi 开关

0 序言

科学技术的飞速发展已经使电焊机的研究跨入了电子时代。电焊机技术的飞跃性进步主要表现在对弧焊电源的控制上。近年来，随着电子技术的发展，新型大功率电子元件的出现，电子设备集成电路化，对弧焊电源的控制已由原来的机械控制或电磁控制发展到愈来愈多地采用全电子化的控制^[1, 2]。

除了六十年代出现的晶闸管式弧焊电源外，国外在七十年代就已经研制出了晶体管弧焊电源和矩形波交流弧焊电源，并有产品问世。八十年代中期的第十一届国际焊接与切割博览会上，就已有高效小巧的场效应管弧焊逆变器产品展出，在我国近十年来也先后出现了晶体管式弧焊电源和场效应管式弧焊逆变器产品，但开关式场效应管弧焊电源尚无人问津。本文主要讨论利用大功率场效应管作为开关元件研制出的一台25A开关式场效应管弧焊电源。该电源具有许多突出的优点，如效率高，可靠工作频率范围宽，便于采用微机控制等，在实际工作中具有很大的应用价值。

1 晶体管和场效应管的性能比较

利用场效应管代替晶体管作大功率电子开关具有许多独特的优点，为了便于说明，

把大功率场效应管和晶体管的主要性能指标列于表 1。

表 1 晶体管(双极型)和场效应管性能指标比较

参数	输入电阻Ω	控制类型	功率放大	接通时间	关断时间	
晶体管	$10^3 \sim 10^5$	电流控制	100~2000	50~500ns	500~2000ns	
场效应管	10^9	电压控制	静态	1~100ns	10~500ns	
积聚时间	频率极限	通道电阻	过载能力	热态稳定性	并联电路	控制讯号
1~5μs —	<100MHz 千兆赫芝	0.3Ω 0.03~3Ω	不好 好	不理想、需附加电路 好、不需附加电路	只能用特种布线 没有限制	0.7~1.5V 0.1~10A 5~10V Max·100mA (当发生器电阻为5Ω)

由表可见，场效应管不仅在开关时间短，频率极限高，过载能力强和热态稳定性高等方面比晶体管好得多，而且更值得焊接工作者关注的是，场效应管在增大功率的并联电路中没有什么特殊要求。也就是说，比较容易实现“以小拼大”，解决焊接工作需用较大焊接电流的问题。另外，由于它的功率放大倍数特别大，采用电压控制，控制功率极小，这样在大幅度增大功率情况下也可以不必改变控制电路，不需要加大控制功率；其次，由于场效应管本身的耐冲击电流大，可靠工作范围宽，不存在二次击穿问题，因而用它来作大功率电子开关所研制出的弧焊电源工作性能也肯定更好^[3, 4]。

2 开关式场效应管弧焊电源的工作原理

三相380V的交流网路电压经变压器降压，整流器整流和滤波之后得到50V的直流恒定电压E之后，再经过开关管T和储能滤波装置输出，见图1。利用图2示意对负载(R_f)如何得到连续的能量供应的原理进行说明。

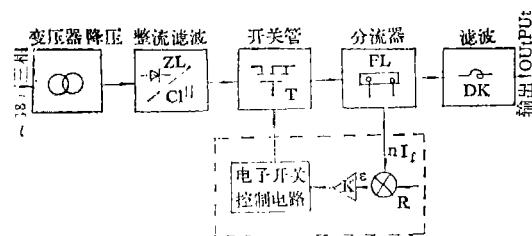


图1 开关式场效该管弧焊电源原理框图

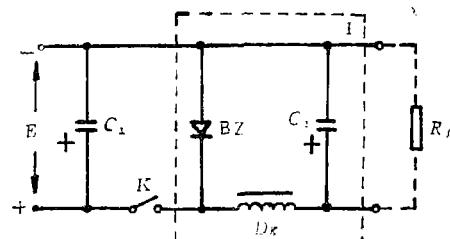


图2 电源原理示意图

把开关管T用开关K来表示。从电子开关控制电路得到一定频率的脉冲信号，开关场效应管即以同样的频率重复地接通和断开。当场效应管处于饱和导通状态，即相当于开关K接通时，恒定电源E通过场效应管和滤波电路施加到输出端负载（电弧）上，此时场效应管的饱和压降很低，在整个场效应管“开通”期间，电源E始终向负载提供能量（此时电抗器DK和C₂储存能量）；通过电抗器DK和电容器C₂的滤波作用，使电弧负载得到连续而稳定的电流和电压，以便进行焊接。

本电源采用电流负反馈来获得恒流的电源外特性，其外特性曲线见图3。由图可见，这种外特性曲线与目前常用的电源外特性曲线有很大不同。通常，外特性曲线当负载电流 I_f 为零时的空载电压为最高值（ $\geq 45V$ ），而这里的外特性曲线当负载电流 I_f 为零时的空载电压只有10多伏，甚至低于10V，比电弧电压 U_f 还要低，这是由于测量外特性的空载电压是采用了低压引弧电路之后的空载电压值，因而小于20V。本电源的主要技术参数如下：

网路电压：三相380V

输出空载电压： $10V \leq U_0 \leq 50V$

焊接工作电压： $U_f \geq 10V$

焊接工作电流： $I_f \leq 25A$ （直流输出）

效率：73%

结构尺寸： $500 \times 340 \times 410mm$

整机毛重：约45kg

适用范围：可用作TIG焊等，可焊接0.5mm以下的薄板。

电源整机外观图见图4。

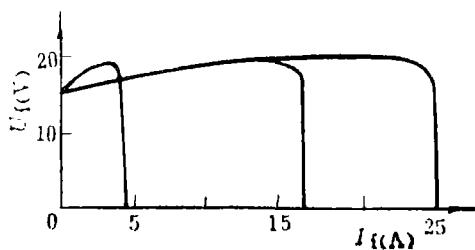


图3 电源外特性

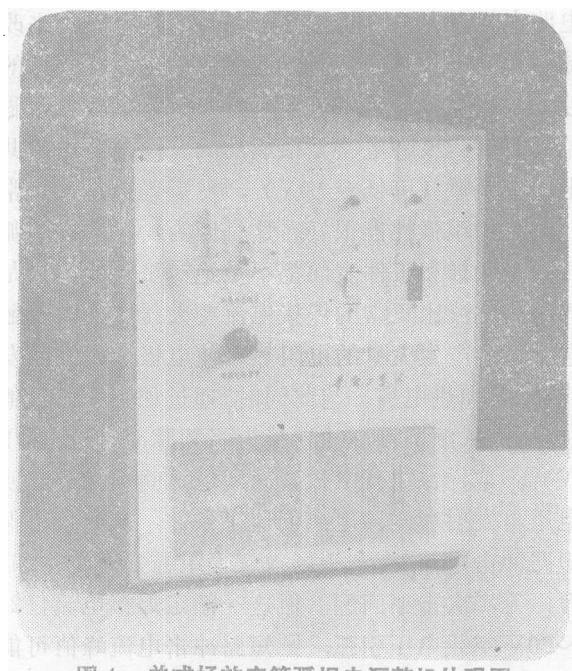


图4 开关式场效应管弧焊电源整机外观图

3 低压引弧电路和电源的引弧性能

短路接触引弧的最大弱点是引弧时，短路电流的冲击值太高，对回路中的元件产生严重危害。鉴于此，首先从引弧应具备的条件入手，若能减小引弧时的空载电压值就可大大减小短路电流的冲击值，从而有效地保护元件。本电源采用一种新颖的低压引弧电子电路，以实现低空载电压下的接触引弧，如图5所示，其中第Ⅰ部分为用低频脉冲信号来控制电子开关，控制电路所产生的高频脉冲信号，其低频脉冲信号的频率和占空比均可调。通过改变低频脉冲信号的频率和占空比来改变电子开关控制电路输出的脉冲控制信号存在的时间，进而改变开关场效应管在引弧前的开关工作时间，从而降低电源在引弧前的空载电压，有效地限制短路接触引弧时短路电流的冲击值。而在引弧之后，由于电流负反馈 U_F 的作用，又使得低频信号对高频信号不产生影响，从而使电子开关控制电路输出正常的高频脉冲信号来控制场效应管工作。

第Ⅱ部分是利用一个正反馈系统，通过改变电子开关控制电路中A点电位，再借助V/W转换电路，来改变电子开关控制电路输出的脉冲信号的脉冲占空比，从而达到改变电源输出空载电压的目的。此系统可保证低压引弧后电流迅速增加到焊接所需电流值，进入正常的焊接过程之中。

引弧性能试验的结果表明，该种电路是很成功的。两部分电路共同作用的结果使此电源能在较低的空载电压下引弧（可低至10V），然后迅速进入正常的工作状态之中，引弧过程很容易建立，电源的引弧性能很好。这是因为：尽管在引弧前起始的空载电压较低，但在接触短路时由于电极和工件表面都不是绝对平整的，只是在少数突出点上接触，通过这些接触点的短路电流比正常的焊接电流要大得多，而接触点的面积又小，因此，电流密度也极大。这就可能产生大量的电阻热，使电极金属表面发热、熔化，甚至蒸发、汽化，引起强烈的热发射和热电离。与此同时，通过如图5所示的电流反馈和转换电路，把引弧前空载电压降低的低频调制脉冲转换为高频脉冲，输出电压平均值迅速升高，可达数十伏（小于50V）。这样在拉开电极瞬间，电弧间隙很小，使其电场强度达到很大值，为产生强烈的电子自发射和碰撞电离创造了条件，从而仍可保证电弧顺利引燃。低压引弧还可以减少短路冲击电流，有利于场效应管组的安全工作和减少管子数目。尽管这种管子耐冲击电流大，无二次击穿问题。但这一额定焊接电流仅25A又是脉宽调节的弧焊电源，若采用50~60V空载电压引弧，则短路冲击电流峰值可能会大大超过其允许的耐冲击电流值，需要限制或适当增加管子数目。图6为空载电压22V和10V下的引弧

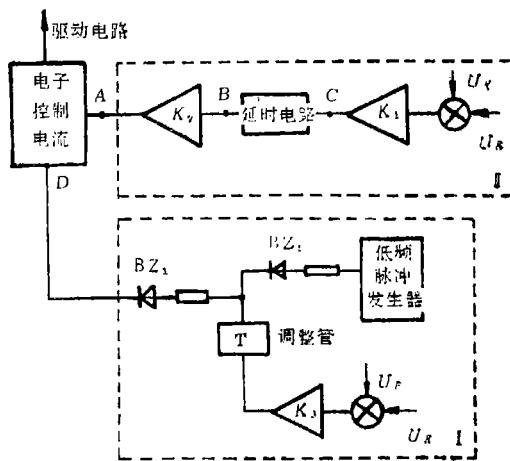


图5 低压引弧电路原理图

过程波形图，由图可见在低至10V的空载电压下，电源仍能在很短的时间内($\ll 0.05$ s)迅速建立引弧过程，使短路电流的冲击值大大降低，从而很好地保护了管子，保证了电源的可靠工作。

此外，本电源还采用了RC吸收网路及压敏电阻等对开关管进行过压保护，采用电子线路(切断控制信号)和继电器(切割三相交流电的输入)进行过流保护，效果很好。

4 电源效率和工艺试验

电源的效率是焊机的一个主要技术指标，表2列出了不同负载电流下电源的效率和功率因数。图7为电源的效率和功率因数随负载变化的曲线。从中可见，在较小负载电流 I_f (≤ 25 A)条件下，随着负载电流 I_f 的增加，该弧焊电源的效率和功率因数 $\cos\varphi$ 都有所增加，而且这种趋势将继续保持下去，但是在负载电流增加到一定数值之后，由于电子开关的开通与关断过程的损耗以及其它部分电能损耗的增加而使效率有所降低，即效率变化曲线存在着最高点(图7因负载电流范围还不够，尚未达到最高点)。

表2 不同负载电流下的电源效率、功率因数

I_f (A)	11	15	18	22	27
η	58%	64%	68%	70.6%	73.5%
$\cos\varphi$	0.68	0.73	0.75	0.76	0.79

最后进行了施焊工艺试验结果表明，焊缝成型很美观，当电弧弧长由2.5mm增至12mm时，电流波形变动仍然很小，而且无飘弧现象等，即电弧燃烧很稳定。

图8为焊缝外观图，其焊接工艺参数为：焊接电流 $I_f=23$ A；焊接电压 $U_f=10$ V；气体流量 $Q=3.0$ L/min；板厚 $d=0.5$ mm，焊接速度 $v=200$ mm/s。

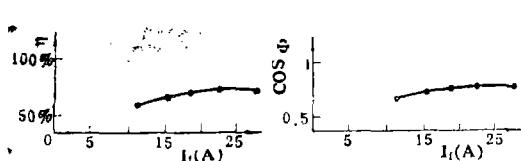


图7 电源效率和功率因数随负载变化曲线

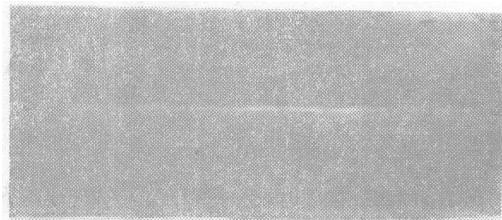


图8 焊缝外观图

5 结 论

1. 开关式场效应管弧焊电源通过采用场效应管来代替晶体管作为弧焊电源的快速开关元件，使它与晶闸管、双极型晶体管弧焊电源比较，具有许多优越的性能，如采

用电压控制，控制容易，控制功率极小，便于使用微机控制等。

2. 由于采用一种新颖的的低压引弧电子电路，既能抑制短路接触引弧时短路电流的冲击值，有效地保护场效应管，又能提高场效应管的利用率。试验结果表明，所采用的低压引弧电路工作可靠，且当空载电压低至10V时，仍能顺利地引弧。在引弧时减少钨极烧损和对工件的污染，同时也避免了高频高压电对工作环境的影响。

3. 工艺试验结果表明，开关式场效应管弧焊电源具有很好的引弧性能，而且电弧燃烧稳定，焊缝成型美观，很适合薄板的自动TIG焊。与晶体管弧焊电源相比，本电源具有控制方便、效率高等优点，在电子工业中已愈来愈多地采用场效应管来代替晶体管的使用。不难预测，开关式场效应管弧焊电源将成为发展前景较远大的电子弧焊电源之一。

(1988年12月10日收到)

参 考 文 献

- 1 冈田明之. 溶接学会誌. 1978, 47 (5) :246~251
- 2 黄石生. 焊接学报. 1987, 8 (4) :220~226
- 3 赵家瑞. 开关式晶体管弧焊电源的研制. 1981.
- 4 黄石生, D.Rehfeldt. 焊接学报. 1983, 4 (2) :72~78

DEVELOPMENT OF SWITCHED MOSFET ARC WELDING POWER SOURCE

*Professor Huang Shisheng, Postgraduate Fan Xuehong, Associate Professor Wu Yuchua,
Postgradauate Kuang Mingcha, Lecturer Wang Zhiqiang*

(South China University of Technology)

Abstract

The paper mainly deals with the basic principles of the switched MOSFET arc welding power source. The feedback of current is used to obtain the constant current characteristics. A new low voltage arc-ignition circuit has been put forward. The satisfactory tests of arc-ignition and good properties of welding process may prove this switched MOSFET arc welding power source to be an electronic power source with broad prospects.

Key words DC arc welding power source MOSFET Switched