

文章编号:1003-7837(2005)01-0058-03

# 逆变电源应用中的几个关键因素

黄健敏

(广州有色金属研究院,广东广州 510651)

**摘要:**对影响逆变焊接电源性能及应用的关键因素:功率开关器件、现代磁性材料、电路拓扑结构及逆变焊接电源的电路仿真技术进行了论述,并指出逆变电源代表着焊接电源的发展方向。

**关键词:**逆变电源;开关器件;磁性材料;电路仿真

中图分类号:TN761.2 文献标识码:A

大功率晶体管、场效应管和 IGBT 等器件的出现、集成电路的发展以及磁性材料的进步,为弧焊电源的发展提供了更广阔的空间,其中最引人注目的是逆变弧焊电源。自 1982 年华南理工大学研发场效应管逆变电源以来,我国开始了逆变式焊接电源的研究和应用。逆变式焊接电源的主要特点有(1)效率高,可达 80%~90%<sup>[1]</sup>(2)体积小、重量轻(3)动态响应迅速、焊接性能好及动特性好,有利于实现自动化(4)性能灵活、功能多(5)功率因数高,可达 0.99<sup>[2]</sup>。目前,世界上主要的焊接电源制造厂商都基本完成了逆变焊接电源的商品化,如日本日立公司的 IGBT 逆变焊机已占 MIG/MAG 焊机的 70%,松下公司和 OTC 公司的弧焊逆变电源已占 50%;美国的焊接电源主要制造商的逆变焊机已占 30%<sup>[3]</sup>。目前,国内生产 IGBT 逆变焊接电源的厂家有几十家,其中生产 IGBT 逆变式 CO<sub>2</sub> 焊机的厂家有时代集团、成焊所等十多家<sup>[3]</sup>。

逆变电源的应用首先依赖于大功率电子器件的发展和成熟。电子器件的大功率化、性能的稳定化以及控制性能的优化是逆变电源应用于焊接设备的前提和基础。现代材料科学的进步为制造轻量化的逆变焊接电源提供了巨大的支持。特别是磁性材料的进步,使焊接电源进一步轻量化。电路仿真技术的进步以及仿真软件的成熟,为逆变电源的研究提供了

得力的工具,使逆变电源的研究周期和研究效果进一步缩短和提高。

## 1 影响逆变电源应用的关键因素

### 1.1 功率开关器件

功率开关器件是逆变电源的核心之一,逆变电源的发展和依赖于功率电子器件的发展。功率电子器件的大功率化、高的可靠性和控制性能是逆变电源得以应用的重要条件。现阶段常用的功率开关器件有功率晶体管、功率场效应管和 IGBT。

功率晶体管是一种双极型大功率电力电子器件,导电机理与普通的三极管相同。但其作为功率开关器件,还具有如下特点:一是容量大,可以达到 400A/1200V,1000A/400V;二是工作在开关状态,工作状态由基极电流控制,由于电流动态响应快,控制需要的电流较大,故不易控制。功率晶体管是双极型器件,在关断过程中存在两种载流子的复合,这需要一定的时间来完成,从而限制了逆变电源开关频率的提高。此外,在使用过程中功率晶体管还会出现二次击穿现象,造成功率晶体管的永久损坏。

功率场效应管(MOSFET)是一种常用于开关电源的电力电子器件。它由栅极 G、漏极 D 和源极 S 组成,并且都在芯片的一边,导电沟道平行于芯片表面,是水平导电器件,因此,它的容量一般较小。

MOSFET 中只有一种载流子,它是一种单极型电力电子器件,在关断过程中不存在两种载流子的复合,所以其开关频率很高,达到 500 kHz 以上<sup>[4]</sup>。功率场效应管是电压型控制器件,其输入阻抗较大,所需要的驱动功率较小,控制性能较好。此外,该器件的电流具有负的温度系数,自调节性能好,不易产生局部过热,因而不易发生二次击穿现象。同时,功率场效应管还有热稳定性好和抗干扰能力强的优点。

IGBT 是一种复合型半导体器件,具备功率晶

体管和功率场效应管两者的优点,它的特点是速度快、输入阻抗高、容易控制、通态电压低、耐压性好和电流容量大,是一种很有前景的开关器件。三种常用器件的特性列于表 1。由表 1 可见,IGBT 是一种频率高、容量大及可控性能好的功率电子器件,能满足逆变焊接电源的电流大、控制性能高的要求。对逆变焊接电源来说,IGBT 是一种很有前景的电力电子器件。

表 1 三种常用器件的特性比较<sup>[5]</sup>

Table 1 Performance comparison for three common devices

器件	开关频率	电流容量	可控性	驱动方式	饱和压降	安全工作区	其它
功率晶体管	中	大	难	电流型	极低	小	有二次击穿现象
MOSFET	高	小	易	电压型	高	大	无二次击穿现象
IGBT	高	大	易	电压型	低	大	有擎柱电流现象

## 1.2 现代磁性材料

新材料尤其是磁性功能材料的发展与应用促进了逆变焊接电源的进一步小型化,使其结构更加紧凑、动特性更好、更加节能和低耗。根据逆变焊接电源的原理,应该选择饱和磁感应强度和电阻率较大,并且带材厚度小的磁性材料。同时,采用绝缘强度高的材料可以进一步减小体积,提高逆变电源的效率。常用的磁性材料有硅钢、铁氧体和非晶态合金等。硅钢(硅合金)是一种铁芯磁性材料,具有较高的饱和磁感应强度,但因其电阻率较小,高频损耗较大,一般工作在 0.5~5 kHz,所以不适用于逆变电源。

铁氧体是铁和其他金属元素的复合氧化物,它的电阻率极高,一般为  $10 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ ,因此具有非常小的高频损耗、较小的集肤效应和涡流损耗。但是铁氧体的磁通密度不高,仅相当于硅钢的  $1/4 \sim 1/5$ ,并且随着温度的升高,饱和磁通有下降的趋势,且下降速度较快。铁氧体的居里点较低,仅为  $120^\circ\text{C}$ ,而硅钢的居里点一般大于  $500^\circ\text{C}$ ,与硅钢相比其温度性能较差。另外,铁氧体较脆,这给产品制造带来了一定的困难。

非晶态合金是近年来发展起来的新材料,在微观结构上具有“短程有序,长程无序”,是一种“玻璃态”金属。用于逆变焊接电源的非晶态合金一般是铁基非晶态合金,它具有较高的饱和磁感应强度、高的电阻率,小的矫顽磁力,其晶化温度一般为  $300 \sim 500^\circ\text{C}$ <sup>[6]</sup>。温度上升时,饱和磁感应强度有一定下降。

三种常用磁性材料的性能列于表 2。从表 2 可知,非晶态合金具有电阻率高和饱和磁感应强度高的特点,是高频逆变焊接电源理想的磁性材料。

表 2 三种常用磁性材料的性能对比<sup>[6]</sup>

Table 2 Performance comparison for three common magnetic materials

	饱和磁感应强度/T	居里点/ $^\circ\text{C}$	电阻率/ $(\Omega \cdot \text{cm})$
硅钢	2	740	470
铁氧体	0.4	120	$10^7$
非晶态合金	1.6	370	1250

## 1.3 逆变焊接电源的电源拓扑电路

电力电子技术、控制技术和微电子技术的发展,促进了逆变理论和应用研究的深化,促进了逆变电源向高性能发展,主要表现在电源拓扑技术的进步。主要应用的拓扑结构有双单端、半桥和全桥。三种电路的电流变化方式均为 DC-AC-DC。主要器件为开关器件、变压器和整流器。

表 3 三种主电路的性能比较

Table 3 Performance comparison for three main circuits

	双单端	半桥	全桥
开关管电压	$2V_s$	$V_s$	$V_s$
开关管电流	I	$2I$	I
变压器上的电压	$V_s$	$0.5V_s$	$V_s$
开关管数量	1	2	4
输出功率	小	中	大

通过比较(表 3)知道,双单端电路比较简单,控制简便,但输出功率较小。全桥电路使用的开关管较多,所需要的控制电路也比较复杂,但其输出功率较大,比较适合于软开关电路,适合逆变电源的高频

化<sup>[7]</sup>。半桥电路有很强的抗不平衡能力,控制电路也比全桥电路简单。

一般根据所需电源的容量选择电路结构,小容量的选用双单端电路,中等容量的选用半桥电路,大容量的选用全桥电路。随着功率器件的发展、开关管性能的提高和控制技术的发展,逆变焊接电源的主电路结构越来越多地采用全桥电路结构,以适应焊接设备向大容量、高性能及轻量化的方向发展。

#### 1.4 电路仿真技术

发展仿真技术在逆变焊接电源设计中的应用具有重大意义,它可缩短研究设计的周期,降低设计成本<sup>[8]</sup>。常用的焊接电源的仿真方法一般有两种:一种是建立各元件的模型,然后把它们连起来进行仿真;另一种是把逆变焊接电源作为整体进行仿真。可以根据逆变焊接电源的特点,通过建立非线性系统模型,得到各种动态过程的直接描述,并进行仿真,为研究逆变电源输出电流的动态过程提供有效的手段<sup>[9]</sup>。常用的仿真软件有两种:一种是侧重于电路的仿真器如 PSPICE;另一种是侧重于方程求解的仿真器如 MATLAB。

ICAP/4 是由美国 Intusoft 公司开发的一套以 PSPICE 为基础的软件<sup>[10]</sup>。ICAP/4 系统的使用者不需要强记 PSPICE 的指令语法,只需依照交谈模式输入资料或选择项目,即可完成电路仿真与分析。执行仿真后将系统切换回 Spice Net 窗口,直接在电路图上显示测试波形,亦可修改元件值或温度值,并立即显示参数修改后的测试波形。还可将元件值或温度值设定为一组连续变动的数值,再把所有对应变动值的波形显示出来。

## 2 结 论

(1) 逆变焊接电源是一种高效、节能的焊接电源,代表了焊接电源的发展方向,但是,其本身非常复杂,涉及的学科较多,不仅与电源的控制性能有

关,还与焊接的工艺性能有很大关系。

(2) 设计逆变焊接电源应考虑开关管和磁性材料的合理选取及合理选择主电路模式,并根据需要设计电源的外特性和动特性,合理选择电路的仿真软件,以缩短电源的设计周期和降低焊接电源的开发成本。

#### 参考文献:

- [1] Pollock H. Series-parallel Load resonant converter for controlled-current arc welding power Supply[J]. IEEE Proceedings of Electric Power Applications, 1996, 143(3): 211-218.
- [2] 黄石生. 逆变理论及弧焊逆变器[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [3] 黄石生. 电子控制的弧焊电源[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [4] 史平君. 电源元器件分册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1999.
- [5] Hua G C, Lee F C. Soft-switching techniques in PWM converter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1995, 42(6): 595-603.
- [6] Farv S. Improving the reliability of inverter-based welding machines[J]. Welding Journal, 1997, 76(2): 51-52.
- [7] 刘嘉, 卢振洋, 殷树言, 等. 电焊机的数字化[J]. 焊接学报, 2002, 23(1): 88-92.
- [8] Garabandie D, Cho J, Baek J W, et al. Primary saturable conductor for high power zero-voltage switching DC-DC converter with IGBT's[J]. IEEE Proceeding of APEC, 1997, 15(2): 944-947.
- [9] 宋天虎, 李敏贤. 先进制造技术的发展与焊接技术的未来[A]. 第八次全国焊接会议论文集第一册[C]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 1-17.
- [10] Chao G, Dan A, Kim E S. An improved full bridge zero-voltage-switched PWM converter using a saturable inductor[J]. IEEE Transactions on Power Electron, 1993, 8(4): 530-534.

## Several key factors for inverter power source

HUANG Jian-min

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

**Abstract:** Several key factors, which has influence on the performance and application of inverter welding power supply, including devices of power supply, modern magnetic materials, topological structure and the circuit simulation of the inverter welding powers have been described in this paper. It is also pointed out that the inverter power source represents the trend of welding power supply.

**Key words:** inverter power source; switching devices; magnetic materials; circuit simulation

万方数据