

软开关逆变器在 CO₂ 波控电源中的应用研究

蒋晓明¹, 李远波², 黄石生¹, 何永¹

(1.华南理工大学, 广东 广州 510640; 2.广东工业大学, 广东 广州 510090)

摘要:将新型软开关电路拓扑和逆变技术引入 CO₂ 弧焊电源, 保证电源在全范围内实现软开关, 使开关管在零电压下开通和关断, 开关损耗、开关应力及电磁干扰等得到明显改善, 电源逆变频率高、效率高、稳定性好、动特性好。并以此为硬件平台, 将波形控制技术引入 CO₂ 短路过渡各阶段的焊接电流控制, 以软件编程的方式对各阶段焊接电流波形进行精细控制, 有效地改善了 CO₂ 短路过渡的飞溅大和成形差的问题。

关键词:波控; 软开关; 逆变器; 动特性; 短路过渡

中图分类号: TG434.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2006)04-0056-04

Soft-switching inverter in CO₂ waveform controlled welding machine

JIANG Xiao-ming¹, LI Yuan-bo², HUANG Shi-sheng¹, He Yong¹

(1.South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2.Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: Through introducing a novel soft-switch topology and inverter technique into CO₂ arc welding machine, the power supply can realize soft-switch within the whole range, and switch on and off under zero voltage. The switching loss, switching stress, EMI etc. are improved greatly. The welding machine has the characteristics of high invert frequency, high efficiency, good stability and dynamic property. On the bases of this hardware, the waveform control technique is introduced into controlling the welding current. Through the software programming, the welding current waveform in different stages can be controlled subtly. In this way, the spatter and shape problem of CO₂ short-circuit transfer are improved efficiently.

Key words: waveform control; soft-switching; inverter; dynamic property; short-circuiting transfer

0 前言

CO₂ 弧焊是 20 世纪 50 年代初期发展起来的一种高效率、低成本的焊接技术, 且具有适用范围广、抗锈能力强、便于监控、利于实现焊接过程机械化和自动化等特点, 在造船、汽车、机车、石化等领域得到了广泛应用。然而, CO₂ 弧焊的飞溅问题一直以来都困扰着它的发展, 也成为该焊接方法进一步推广应用的瓶颈。

为了在 CO₂ 弧焊飞溅控制方面寻求突破, 长期以来焊接界研究和技术人员做了大量研究工作, 对 CO₂ 飞溅形成机理的认识也不断深入, 普遍认为不仅短路电流上升速度 di/dt 影响飞溅, 同时焊接过程

中的短路峰值电流过大现象、电弧重燃现象、熄弧现象、瞬时短路现象、断弧现象、跳弧现象以及短路时间的分布情况等都会引起飞溅问题^[1]。而所有上述现象最终都体现在弧焊电源的电流波形变化上, 这也为我们通过对电源的设计改进解决 CO₂ 飞溅问题提供了科学依据, 即通过对电源电流波形进行精确控制, 从而达到对熔滴过渡能量和过渡形式的控制, 并最终实现小飞溅甚至无飞溅的焊接效果。

要实现对电源波形的精细控制, 就必须对电源动特性和控制性能提出更高的要求, 而逆变电源的出现可以较好地满足上述要求。此外, 软开关技术的引入使开关管在零电压或零电流条件下开通和关断, 开关应力小、电磁干扰低和开关损耗进一步降低。在传统硬开关逆变电源的体积小、质量轻、效率高、动特性好等优点的基础上, 进一步改善了硬开

收稿日期: 2005-06-07; 修回日期: 2005-10-22

作者简介: 蒋晓明(1973—), 男, 湖南邵阳人, 在读博士, 主要从事数字化控制电路的研究工作。

关电源开关应力大、电磁干扰强等缺点。

在此将先进的软开关技术和逆变技术进行完美结合,引入到 CO₂ 弧焊电源系统,同时通过微机控制,以软件编程的方式对电流波形进行精确控制,试验表明此应用提高了 CO₂ 焊接系统稳定性、达到减少飞溅和改善焊缝成形的效果。

1 短路过渡的波形控制方法

CO₂ 短路过渡是一个燃弧、颈缩、短路到重燃的往复过程,期间焊接电流随所处阶段不同而剧烈变化,主要可分为短路和燃弧 2 个阶段。为探求 CO₂ 短路过渡飞溅与焊接电流各阶段之间的关系,国内外科研工作者对电流波形进行了深入研究,认为对短路阶段的控制主要为控制飞溅,而对燃弧阶段的控制主要为改善焊缝成形。即:在短路阶段,通过对短路电流上升率 di/dt 和短路峰值 I_{max} 的控制,既保证颈缩的顺利进行,又可保证在金属桥爆断时有较小的短路电流来减少飞溅;在燃弧阶段,通过增加燃弧期间的输入能量,保证焊丝的熔化促使熔滴的形成、增加熔深并改善焊缝成形^[2]。

基于上述有关 CO₂ 短路过渡机理与焊接电流波形间关系的分析,在此借鉴了华南理工大学焊接研究所在波控法方面的研究成果,采用了如图 1 所示的控制波形。

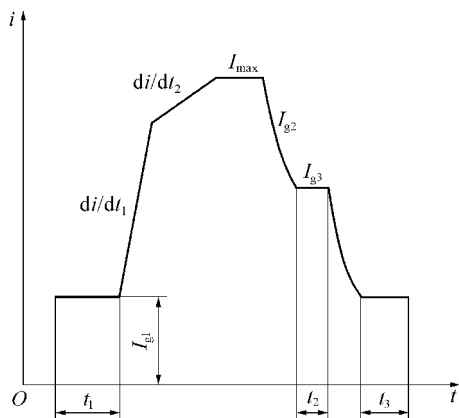


图 1 波形控制参数示意图

2 软开关逆变 CO₂ 波控电源

逆变弧焊电源的主电路由逆变主电路、PWM 控制电路、CO₂ 单片机控制系统、送丝电路和送气系统等组成。其中 IGBT 逆变主电路提供整个系统焊接时所需的能量,三相工频交流电经整流、输入滤波,变为直流电后,经过功率变换器的逆变、隔离、降压

和 高 频 整 流,再 经 输 出 滤 波 后 得 到 满 足 CO₂ 焊 接 系 统 工 艺 需 要 的 输 出 外 特 性。其 系 统 结 构 如 图 2 所 示。

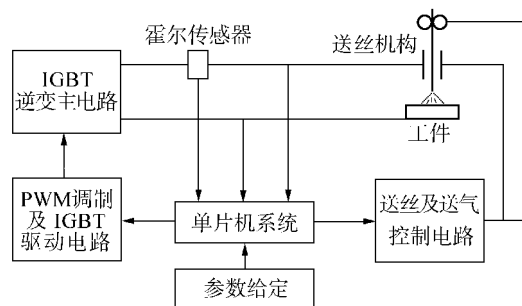


图 2 CO₂ 软开关逆变电源焊接系统组成

3 逆变主电路方案

逆变主电路主要有 3 种基本形式:单端电路、半桥逆变和全桥逆变。单端电路的优点是工作可靠,但变压器的磁通只工作在第一象限,磁芯利用率低。半桥电路的磁通虽然工作在一、三象限,也没有偏磁现象,但变压器的电压只是输入电压的一半,使输出功率受到限制。对于大功率的功率变换来说,最合适的还是全桥电路,虽然全桥电路有直通和偏磁的问题,但随着技术的进步和成熟,这些问题已基本解决^[3]。在综合考虑各电路特点和电源功率要求,最后确定采用全桥逆变主电路形式,如图 3 所示。

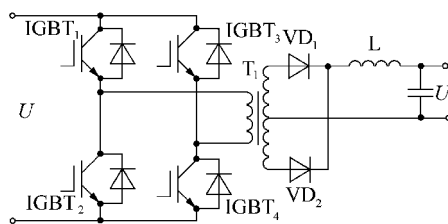


图 3 全桥逆变主电路

4 软开关电路拓扑

传统 CO₂ 逆变电源主要采用硬开关方式的全桥逆变结构。为了克服硬开关的一系列问题,对软开关电路拓扑进行研究,藉以提出适合 CO₂ 工艺需求的电路拓扑。FB-ZVS-PWM 变换器综合了谐振软开关技术和 PWM 技术的优点。在功率开关器件开关过程中实现谐振换相,保证较低的开关损耗;而在开关管开通之后,采用 PWM 调制的方法提供方波电压和电流。降低了开关损耗,大大提高了电路可靠性,但存在占空比损失、软开关范围较窄、附加环路电流的导通损耗、二次侧寄生振荡等不足之处。基本全桥移相软开关电路如图 4 所示。

在基本全桥移相软开关电路中,超前臂换相时,

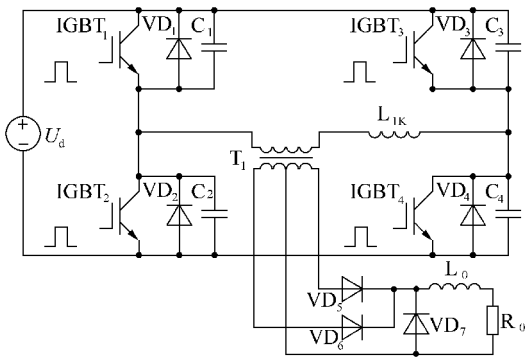


图 4 基本全桥移相软开关电路

功率变压器正处于有源状态,即功率输出状态,输出电感和变压器的漏感以及激磁电感都参与了换相过程,总的电感储能很高,可以充分保证超前臂的零电压开关。而滞后臂难于实现零压开关的根本原因是当滞后桥臂换相时,功率变压器正处于无源状态,即续电流状态,输出电感和激磁电感都不能参与滞后臂的谐振换相。激磁电感参与全桥变换器谐振换相的充要条件是器件换相期间变压器处于能量输出状态或纯电感状态^[4]。因而,对这种软开关电路改进的关键是在滞后桥臂换相时使变压器由续电流状态转化为纯电感状态,从而起用激磁电感参与滞后桥臂的串联谐振。最简单的办法就是采用磁开关。所谓磁开关,就是由伏秒数决定阻抗、在趋近零电流时饱和的非线性电感。采用磁开关起用激磁电感实现软开关的主电路原理图如图 5 所示。

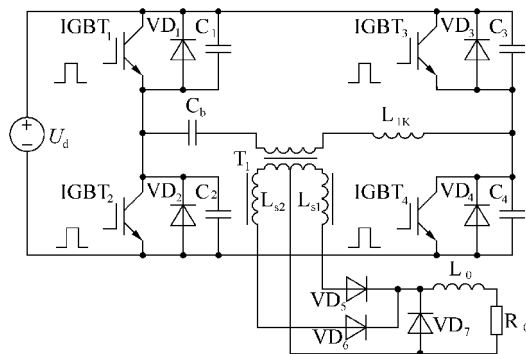


图 5 新型软开关电路原理图

5 软开关逆变 CO₂ 波控电源试验

5.1 软开关电路试验

采用计算机控制的数字实时示波器并配合相应的波形分析软件,实现了对大量原始数据的可靠、准确收集和快速分析。实验采用自动数据采集与分析系统,由数字示波器、接口电路和工业控制计算机以及波形分析软件 5 部分构成。

5.1 超前臂软开关换相过程分析

图 6 为超前桥臂开关管空载状态下实测电压波形和驱动波形。由图可见,在驱动脉冲信号 U_{ge} 上升到门槛电压之前,开关管的集射极电压 U_{ce} 已经降低到零值,而在驱动脉冲信号降低到零点之后,IGBT 的集射极电压 U_{ce} 才从零值上升;驱动信号在到达 -5 V 关断电压时,开关管电压仍为 0 V 。因此,超前桥臂在空载情况下可以实现零电压开通和关断。

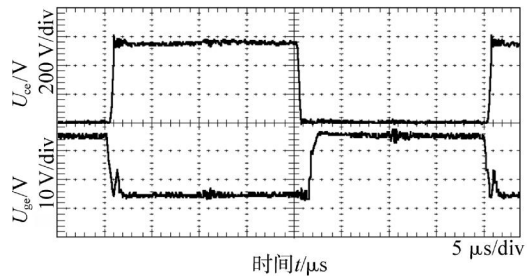


图 6 超前桥臂开关管空载下的软开关

由此可知,逆变电源超前桥臂具有全范围软开关能力。

5.2 滞后臂软开关换相过程分析

图 7 为滞后桥臂功率开关管在空载条件下的软开关波形。移相控制软开关全桥逆变电源滞后桥臂的软开关范围比较窄,在轻载的情况下(约 10%)很容易失去软开关状态,在空载情况下,仅只有漏感能量参与滞后桥臂的换相过程,开关状况最为恶劣。由图 7 可以看出,滞后桥臂是软开关状态。

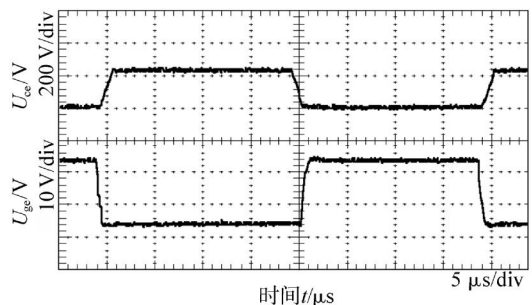


图 7 滞后臂开关管 A 空载下的软开关

由此可以断定滞后桥臂开关管具有全范围软开关能力。

5.2 工艺试验研究

在对自行设计的软开关逆变式 CO₂ 波控电源进行完电路试验后,我们进行了工艺试验验证,试验条件及焊缝照片如图 8 所示(试验条件:保护气体 $\varphi(\text{CO}_2)=20\%$, 2 mm 低碳钢板,焊接速度 1.0 m/min,焊丝 $\varphi 1.2$)。

试验表明,该软开关逆变式 CO₂ 波控电源稳定

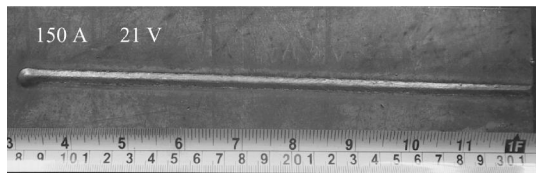


图 8 CO₂ 短路过渡焊接焊缝外面照片

性好,焊接过程电弧稳定、飞溅小、焊缝成形好,具有较好的工艺性能。

6 结论

(1)通过将新型软开关电路拓扑引入 CO₂ 弧焊电源,使开关管在零电压下开通和关断,开关损耗、开关应力及电磁干扰得到明显改善,软开关电路试验表明该设计可以保证电源在全范围实现软开关。

(2)通过软开关技术与逆变技术的完美结合,为 CO₂ 弧焊电源性能的改善提供了一个有效途径,也为解决 CO₂ 气体保护焊飞溅问题提供了一个良好

的硬件平台,该研究对于 CO₂ 弧焊电源的改进具有现实指导意义。

(3)通过软开关和波控技术相结合,使开关管工作在较高的逆变频率,并通过微机控制,以软件编程的方式对 CO₂ 短路过渡各阶段的电流进行精细控制,试验表明电源动特性好、稳定性好、工艺性能良好,有效地改善了 CO₂ 短路过渡的飞溅大和成形差的问题。

参考文献:

- [1] 张晓囡.CO₂ 弧焊电源动特性评定新方法的研究[D].广州:华南理工大学机械工程学院,1999:40-49.
- [2] 曾敏.机器人波控 CO₂ 高速焊模糊控制的研究[D].广州:华南理工大学机械工程学院,2001:38-42.
- [3] 黄石生.电子控制的弧焊电源[M].北京:机械工业出版社,1991:108-113.
- [4] 余文松.新型大功率软开关弧焊逆变器的研究[D].广州:华南理工大学机械工程学院,2000.

Page 40 在设计的电路中,继电器 J₁ 失电状态是向下送丝的状态,系统在停焊电源打开的情况下,处于向上抽丝状态,在引弧瞬间焊丝处于抽丝状态,这种设计正好避免了继电器的频繁吸合。因此,继电器的使用寿命大大提高,减少了焊缝中间补头现象的发生,提高了焊接质量和使用效率。

电弧电压和给定电压通过比较,其结果输送到

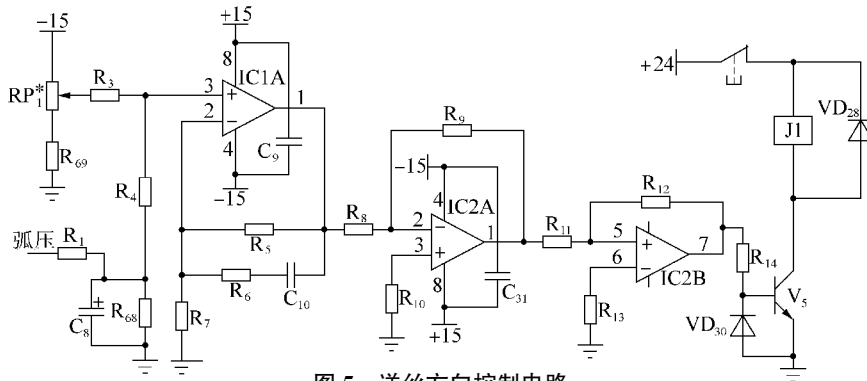


图 5 送丝方向控制电路
Fig.5 control circuit of wire feed direction

试”状态时,J₁ 为通路,此时按送丝“向下”按钮就有触发信号触发送丝主电路。同时串联在 J₁ 主电路的“向下”按钮常闭点就会断开,J₁ 不吸合,焊丝向下。而按动送丝“向上”按钮时,不仅有触发信号,且 J₁ 还会吸合,焊丝向上。

将“调试-焊接”转换开关拨到“焊接”档位时,焊丝的上下方向就只有 V₅ 来控制了。

放大器 IC1A(LM358)的 3 脚,经 IC1A 放大后,输送到比较器 IC2A(LM358)的 2 脚,IC2A 的 1 脚输出信号在经放大器 IC2A 的 5 脚输入,放大后作为三极管的基极电压,三极管 V₅ 的通断控制继电器 J₁ 的失电或吸合,从而来控制送丝的正反方向,送丝方向控制电路如图 5 所示。

K₃ 为“调试-焊接”转换开关,将开关拨到“调

5 结论

应用此电路的埋弧焊机小巧灵活,角平焊两用,能完全满足开坡口或不开坡口的对接焊、搭焊、角焊等。因此特别适用于锅炉、造船、压力容器、工业建筑、化工机械等行业的大件钢结构的焊接,有较好的实用性能。