

一种焊接热输入监控型全数字化 TIG 焊机

丁强, 田永强, 张兰, 张自祥, 李力, 赵智江

(北京时代科技股份有限公司,100085)

摘要: 针对核电厂焊接施工过程中对焊接热输入监控的需求, 研制了一种带焊接热输入监控的全数字化 IGBT 逆变 TIG 焊机。该机采用 TMS320F28335 数字信号处理器和 LPC2388FBD144 单片机的 DSP+ARM 双处理器架构, 实现了焊机主电路控制、人机交互和对外通讯数字化。焊接过程中焊机自动记录焊接电流、电弧电压及焊接时间, 结合手动输入焊缝长度数据, 在焊机上实现了焊接热输入值的自动计算和显示; 焊接热输入数据可保存在焊机本机或 U 盘, 或通过上位机集控系统实现网络传输、监控和保存。试验表明该焊机能够准确记录和监控焊接时的热输入数据, 符合核电厂建设的焊接质量管控要求, 具有广阔的应用前景。

关键词: 热输入; 数字化; TIG

中图分类号:

文献标志码:

文章编号:

Development of Full Digital TIG Welding Machine with the Welding Heat Input Monitoring

DING Qiang, TIAN Yongqiang, ZHANG Lan, ZHANG Zixiang, LI Li, ZHAO Zhijiang

(Beijing Time Technologies Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: Aiming at the demand for welding heat input monitoring in the welding construction site of nuclear power plant, a fully digital IGBT inverter TIG welding machine with the welding heat input monitoring was designed and developed. The welding machine adopts DSP+ARM dual processor with TMS320F28335 digital signal processor and LPC2388FBD144 microcomputer, which realizes digitalization of main circuit control, digitization of human-computer interaction and digitization of external interface. By automatically recording the arc voltage, welding current and welding time during the welding process, the length of the weld is manually inputted, and the data of welding heat input is automatically calculated and displayed on the welding machine. The data of welding heat input can be saved in the local welding machine and the data can be saved to the USB flash disk through the USB interface, or uploaded to the host computer centralized control system for data transmission and monitoring through digital communication interface. The research shows that the welding machine can accurately record and monitor the welding heat input data during welding, and meet the welding quality control requirements of nuclear power plant, which has broad application prospects.

Key words: welding heat input; digitalization; TIG

0 前言

焊接是核电厂建设过程中的关键制造工艺, 焊接质量直接影响了核电厂的安全水平, 各国对核岛焊接设备及焊接工艺都有相关的监管法规^[1]。研究表明^[2], 焊接热输入对焊接接头成形、焊缝组织和接头性能具有重要影响, 监控焊接过程中的热输入可以有效预防焊接缺陷, 控制和追溯焊接质量。

焊机的性能也直接影响焊接质量。数字化焊机具有控制策略灵活、控制精度高、性能稳定等优点, 相比传统模拟焊机具有更好的电弧挺度和工艺效果^[3~5]。随着计算机与通信技术的发展, 近年来逆变焊机在传统电源的基础上向信息化、网络化和智能化方向发展, 研制的焊机热输入监控型全数字化 TIG 逆变焊机实现了焊接制造过程中焊接参数管理, 焊接数据记录、存储和上传, 焊接过程追溯, 为核电厂建造管理提供实时准确的焊接工艺监控和数据分析管理。

1 全数字化 TIG 逆变焊机硬件电路设计

该全数字化 TIG 逆变焊机采用 TMS320F28335 数字信号处理器和 LPC2388 单片机的 DSP+ARM 双处理器控制架构。焊机主电路以 IGBT 开关器件构成的全桥逆变器作为核心，以 DSP 为运算核心负责焊接参数控制，以 ARM 为核心的实时操作系统作为控制核心负责数据传输和人机交互，实现了主电路控制数字化、人机交互数字化以及对外接口通讯数字化。焊机主要技术参数见表 1。

表 1 焊机主要技术参数

额定输入电压 (U_1) (V)	380V \pm 15% 50/60Hz 三相交流	
额定空载电压 (U_0) (V)	76 \pm 5% VRD 24 \pm 5%	
电流 (A)	MMA	10~300A
	TIG	5~300A
负载持续率 (40 $^{\circ}$ C)	300A/22V/35% 180A/27.2V/100%	
重量 (kg)	24kg	

基于 DSP+ARM 双处理器控制的 TIG 逆变焊机总体原理框图如图 1 所示。焊机采用成熟可靠的全桥逆变技术，开关频率 20kHz。焊机由主电路、控制电路和人机交互三大模块组成，各模块协调一致且各自成为独立系统，方便产品升级和维护。配合北京时代科技股份有限公司开发的焊接生产现场管理系统 (TWPM) 可实现焊接过程控制、焊机远程操作和焊接数据管理^[6]。

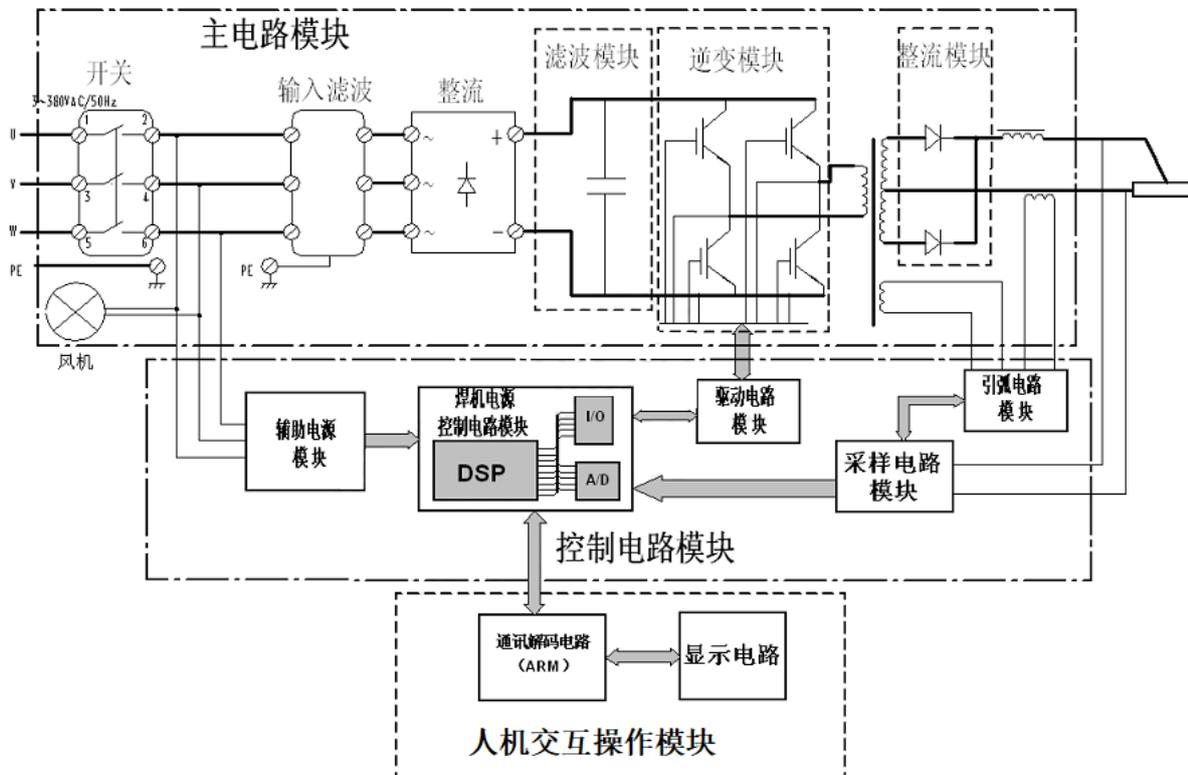


图 1 总体原理框图

1.1 主电路及控制

主电路模块原理为：输入的三相 380V 电压经滤波器、三相整流桥、电容储能滤波、IGBT 逆变、高频变压器降压及二次整流后输出，提供焊接所需能量。

控制电路模块的核心是：TMS320F28335 数字信号处理器，采用高频逆变开关电源（辅助电源模块）为整个控制电路提供直流低压电源，设计了主电路控制模块（DSP）、IGBT 驱动电路模块、采样电路模块及引弧电路模块。

焊机的控制原理是：焊接参数由液晶面板输入，经 ARM 传送给主控电路模块（DSP），由 DSP 对电流、电压反馈信号进行 A/D 转换，由 DSP 的 PID 控制算法对给定值和转换结果进行比对得到控制误差，再通过外设寄存器产生相应的 PWM 波形控制 IGBT 的开通和关断，最终获得焊接所需的陡降恒流外特性。由于数字化控制减少了模拟分立器件的使用，避免了器件参数受温湿度、电场等因素影响的漂移变化，提高了控制精度。数字化焊机的动特性、稳定性、控制精度等均较模拟焊机都有了很大的提升。

1.2 人机交互

焊机将数字技术与液晶显示相结合，设计了人性化的人机交互，操作人员可以通过液晶屏操作界面，直观地了解焊机参数和工作状态，方便地设置焊接工艺参数，直流氩弧焊操作界面如图 2 所示。人机交互操作系统框图如图 3 所示。

人机交互操作系统的 MCU 采用了功能强大的 ARM 处理器 LPC2388，实现了丰富的通讯接口和人机交互，其中 USB 接口、内 CAN 接口、外 CAN 接口和 485 接口用于与其它设备或系统的数字通信，存储器 FLASH 用于保存焊接数据，LED 指示、液晶屏、蜂鸣器、矩阵键盘和编码器为用户提供操作和显示。

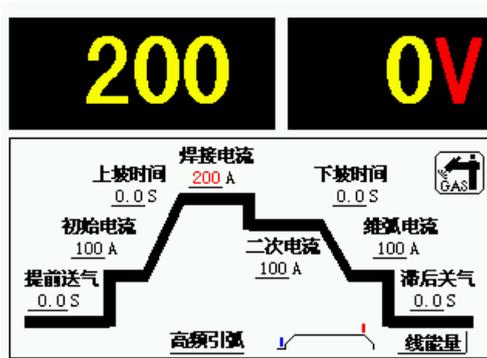


图 2 直流氩弧焊操作界面

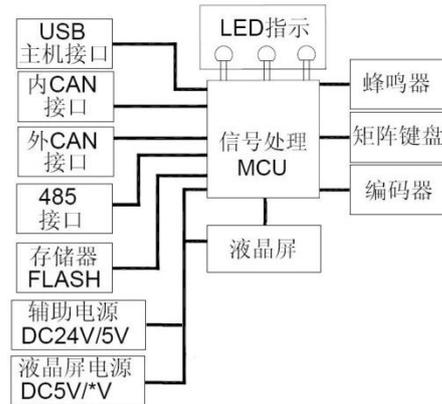


图 3 人机交互操作系统框图

1.3 对外通讯接口

为了实现焊接数据的交互，焊机设计了 USB 和 CAN 通讯接口，制定了焊接信息交互协议，实现了焊机和上位机之间的信息交互。由于 U 盘具有接口标准统一、支持热插拔、传输速度快、携带方便等特点，本焊机设计了一个 USB 接口，可通过 U 盘进行焊机固件升级，或通过 U 盘将焊机本机存储的数据导入上位机 TWPM 系统进行存储和分析。

本焊机还设计了两个 CAN 通信接口，分别为内 CAN 接口和外 CAN 接口。通过内 CAN 接口可以扩展 I/O 接口和 RS-485 接口，支持 Modbus-RTU 协议，可以方便的与 PLC 或机器人通信，与自动化焊接系统集成。通过外 CAN 接口可以扩展无线集控盒，可以方便的与时代 TWPM 系统连接，实时控制焊机、采集焊接过程数据。

2 焊接热输入监控

2.1 焊接热输入监控

焊机焊接热输入界面如图 4 所示，界面由状态栏和参数栏两部分组成。状态栏显示实时焊接电流和焊

接电压。参数栏由线能量参数和功能按钮组成，主要用于线能量参数设置和显示。参数栏左框中的参数包括焊接时间、焊接速度、平均电压、平均电流、线能量，均由焊机自动统计和计算，只能显示，不能调节。右框中的参数包括时间、图纸号、焊缝号、焊工号、下限值、上限值、焊缝长度及热（效率）系数，各参数可输入、可修改。右框中还有“开始/结束”（线能量计算）、“返回”（退出线能量界面/返回上一层操作界面）、“优盘”（将数据存入U盘）、“清空”（清空焊机本机数据）四个功能按钮。

为了验证焊接热输入的功能，采用某电建公司评定的P92钢大口径管道焊接工艺，选取部分焊层进行了焊接实验验证，焊接工艺参数见表2^[8]。

试样规格： $\Phi 273 \times 150 \times 24$ ；焊接位置：5G（水平固定/向上）；坡口形式：单边V型；焊材：Thermanit MTS 616；焊接方法：GTAW+SMAW；氩气保护：背面保护流量10~15L/min，拖罩保护流量6~10L/min；焊后热处理：无。焊接试验结果如表3所示。

对比表1、2数据可知，1-1、2-1、4-1这三层焊道的焊接速度均超出了工艺卡规定上限，这三层焊道的线能量计算值也均低于工艺卡规定下限，数据表明这三层焊道焊接时可适当提高电流或者适当降低焊接速度使焊接线能量符合工艺卡规定。



图4 焊接热输入界面



图5 TWPM线能量分析

表1 焊接工艺参数表

焊层 (道)	焊接 方法	焊 材		焊接电流		电弧电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	线能量 (kJ/cm)
		型(牌)号	直径(mm)	极性	范围(A)			
1-1	GTAW	MTS-616	$\Phi 2.4$	正接	105~115	11~12	33~35	19.8~25.1
2-1	GTAW	MTS-616	$\Phi 2.4$	正接	125~130	12~13	38~40	22.5~26.7
3-1	SMAW	MTS-616	$\Phi 2.5$	反接	75~80	22~23	58~63	15.7~19.0
4-1	SMAW	MTS-616	$\Phi 2.5$	反接	78~83	23~24	58~63	17.1~20.6
5-1	SMAW	MTS-616	$\Phi 3.2$	反接	105~120	22~25	58~61	22.7~31.0

单层单道焊缝尺寸：宽度 $\leq 25\text{mm}$ ，每道焊缝增高 $\leq 2.5\text{mm}$ 。

表2 焊接试验数据

焊层 (道)	焊接 方法	焊接电流(A)	电弧电压(V)	焊接速度(mm/min)	线能量(kJ/cm)
		焊机显示	焊机显示	焊机显示	焊机计算值
1-1	GTAW	110.0	11.2	38	19.45
2-1	GTAW	125.0	12.8	42	22.03
3-1	SMAW	80.2	22.5	68	15.92

4-1	SMAW	80.5	22.8	65	16.94
5-1	SMAW	110.1	24.4	64	25.19

2.2 上位机在线监控及数据管理

焊机可选配北京时代科技股份公司的 TWPM（时代焊接生产现场）管理系统，通过 CAN-BUS 有线组网模式或通用的无线 Wi-Fi 组网模式实现焊机与客户终端/服务器之间的数据交互，以及 PC 机与焊机之间的通信互联。可通过 PC 机软件远程控制焊机工艺参数设置，实时监控焊接参数，实现焊接工艺分析和工时统计等数据分析及存储功能，同时可通过 PC 机管理焊工及焊接设备信息。

实际应用中，TWPM 管理系统可以远程控制或锁定焊机操作面板，限定焊机操作面板电流参数的调节范围，强制操作者在焊接工艺要求范围内进行焊接，确保焊接工艺得到贯彻实施，从而保证焊接热输入。

在 TWPM 管理系统中，系统还提供了焊接热输入（线能量）分析统计功能，如图 5 所示。在历史数据分析界面点击“线能量分析”按钮，在历史记录中双击要进行线能量分析的记录，即可查询指定时间段的焊接各焊层的平均电流、平均电压、焊接时间等实际焊接数据，结果可另存为 excel 文件。自动化的操作完全可替代人工记录，提高了数据记录效率及数据准确性。

3 结论

(1) 基于 DSP+ARM 双处理器控制的全数字化 TIG 逆变焊机实现了主电路控制数字化、人机交互数字化以及对外通讯数字化；

(2) 焊接工艺实验表明焊机能够实现焊接热输入监控、计算、显示和保存；

(3) 通过有线或无线数据互联，可拓展实现焊接热输入的远程控制管理、数据存储和分析；

(4) 焊接过程中的热输入数据记录、监控并上传，对核电厂建设的焊接质量管控具有重要意义和广阔应用前景。

参考文献：

- [1] 王恒, 石立波. 中、美两国核岛机械设备焊接监管要求的研究[J]. 压力容器, 2015, 32(2):64-68.
- [2] 张文钺. 焊接冶金学：基本原理[M]. 北京：机械工业出版社, 2004.
- [3] 聂大涛, 何建萍, 王付鑫, 等. 数字化弧焊电源的现状与分析[J]. 电焊机, 2014, 44(6):21-25.
- [4] 宋天虎. 焊接的数字化[J]. 电焊机, 2012, 42(6):1-3
- [5] 熊振兴, 黄石生. 现代数字化弧焊电源的发展[J]. 电焊机, 2010, 40(4):7-10.
- [6] 张兰, 苗则层, 李力. 数字化焊接设备生产现场集中控制管理系统[C]. 中国工程建设焊接协会全国焊接工程创优活动经验交流会论文集. 2011.
- [7] 王轶, 周焯斌. 全数字化逆变焊机程序控制功能的开发和应用[C]. 中国电机工程学会电力建设专委会 2007 学术年会论文集, 2007: 248-253.