

海洋平台桩管自动焊接系统研制

许家忠, 张 宇, 尤 波, 李东洁, 付 伟

(哈尔滨理工大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 为了改善复杂环境下海洋平台桩管焊接施工生产效率低、操作不便等问题, 研制了多点双电源单熔池双丝双弧焊接系统。机械系统由焊接小车行走机构、双焊枪调整机构和 120° 环形对接导轨组成, 基于 PLC 对单丝交流手工气体保护焊机内部时序与行走电机进行实时控制, 详细阐述了该系统的控制要求, 硬件构成, 软件程序设计以及人机交互界面设计, 并完成了桩管环形焊缝的焊接试验及工艺参数选择。实验结果表明, 该系统运行稳定可靠, 桩管对接焊缝成形性良好, 射线检测质量合格, 完全满足了桩管在海洋平台对接现场的施工要求。

关键词: 海上桩管; 焊接工艺; 机械系统设计; 控制系统设计; PLC

DOI: 10.15938/j.jhust.2017.06.013

中图分类号: TP23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2017)06-0067-05

Development of Automatic Welding System for Offshore Platform Pile Pipe

XU Jia-zhong, ZHANG Yu, YOU Bo, LI Dong-jie, FU Wei

(School of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Twin arc welding system for offshore platform pile pipe with multipoint dual power and a single molten pool is put forward in this paper in order to solve the problems of low producing efficiency and operating inconvenience in complex environment. Welding tractor, double welding gun adjusting mechanism and 120 degrees circumferential butt joint guide rail are designed. Monofilament AC manual gas protection welding machine internal timing and motion motor are under real-time control Based on PLC. We elaborate the control requirement of the system, hardware configuration, software design and human-machine interface design, and complete the pile pipe girth welding test and technological parameter selection. The experimental results show that the system is stable and reliable, and the butt weld of the pile pipe is good, and the quality of the radiographic inspection is qualified, which fully meets the requirements of the construction of the pile pipe in the docking site of the offshore platform.

Keywords: offshore platform pile pipe; welding process; mechanical system design; control system design; PLC

收稿日期: 2016-03-04

基金项目: 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2015RAQXJ025); 黑龙江省自然科学基金青年基金(QC2014C054)。

作者简介: 许家忠(1977—), 男, 教授, 博士研究生导师;

张 宇(1990—), 男, 硕士研究生, E-mail: zy479619645@163.com;

尤 波(1962—), 男, 教授, 博士研究生导师。

0 引言

海上桩管焊接是重要的海洋工程连接技术之一^[1-2]。随着海洋油气能源不断地开发,海洋平台建造工作量也逐年增加,从而桩管的海上焊接问题尤为突出。桩管的口径大,管壁厚,焊接质量要求高,且施工条件恶劣^[3-4]。长期以来,我国乃至世界上对海洋平台桩管的连接一直采用焊条电弧焊,焊接效率很低,工人劳动强度大^[5-6]。随着焊机技术发展,目前施工企业主要采用半自动手工气体保护焊设备,受到坡口形式和半自动手工焊本身的技术特点限制^[7],焊接效率和质量也很难再有提高。为了缩短工期,降低建造成本,同时也为了减少海上作业的风险,需要研制出桩管环形焊缝的自动化焊接系统^[8-10]。

早期胜利油田油建一公司已经研制了基于单片机的桩管横焊缝自动焊接装置,X射线探伤一次合格率在95%以上, $\Phi 1\ 600\text{ mm}$ 桩管环缝焊接时间由焊条电弧焊的8~10 h缩短到3 h^[11],因此该装置得到了应用和推广。2006年中国石油集团工程技术研究院研制的专用自动化海洋设备在海南24井平台上导管架上进行工程应用^[12],针对环形桩管环缝不太适用。

本文针对海上桩管环缝焊接,将从提高焊接生产效率和质量角度出发,以焊接小车作为焊接载体,结合工艺控制要求,通过精确控制焊接时序流程、行走电机运动和工艺参数采集等环节,完成了基于PLC和HMI组合的多点双电源单熔池双丝双弧焊接系统设计,经焊接试验分析,验证了该系统的稳定性。

1 系统总体方案设计

多点双电源单熔池双丝双弧焊接系统包括3套焊接小车,每套焊接小车系统由2台焊接电源、2台送丝机、PLC控制系统和其他辅助机构组成,焊接系统结构示意图如图1所示。

主从站采用Modbus总线通讯协议,主站通过以太网通讯完成人机交互。为更好地提高焊接效率,3台焊接小车分别安装在环形导轨的三分之一处。焊接开始时,3台焊接小车先进行原点归零,然后沿着环形焊缝顺时针方向进行焊接,在到达预设焊接位置后停止焊接。控制系统根据焊接小车行走

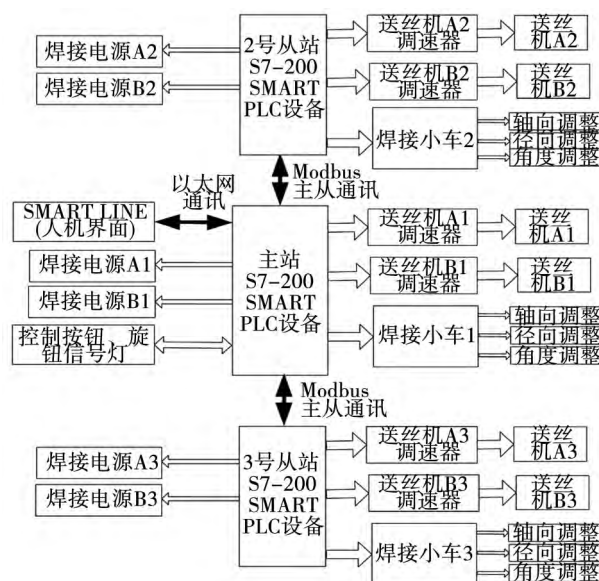


图1 焊接系统结构示意图

一圈的距离参数计算出小车之间的相对位置,保证3台焊接小车正常工作时不存在干涉。焊接小车以焊枪启动为准,停止运行以焊枪停止为准。每台焊接小车独立完成三分之一管道的打底焊、填充焊、盖面焊等焊接工序。

2 机械系统设计

机械系统包括焊接小车行走机构、焊枪位置及角度调整机构和轨道机构三部分。

焊车行走系统的平稳性和可靠性是影响焊缝成形和内在质量的重要因素^[13]。为了便于装卸和使用,采用分段式环形轨道设计,通过扳手和卡扣连接而成圆形导轨。圆形导轨的两侧为环形导向轨,与环形导向轨中间的传动轨构成复合导向轨道,导轨内部设有轨道锁紧装置,以实现与固定桩管上的链条固定支撑块卡紧,导轨外部设有齿条用于实现与行走机构的齿轮传动。焊接小车通过锁紧装置装卡在焊接铝导轨的V形导轨上,并通过离合装置使驱动齿轮与导轨齿轮啮合。行走机构采用单驱动齿轮咬合方式,主要包括行走齿轮、减速器和驱动电机,驱动部分包括行走和导向机构,共同完成焊接小车沿导轨外侧做周向运动。焊枪的轴向和径向调整机构采用滚珠丝杆、梯形滑块的传动方式;角度调节机构采用窝心轮调节,共同调整焊缝不同位置的焊丝与管壁的间距及角度。焊接小车在焊接过程中的工作情况如图2所示。

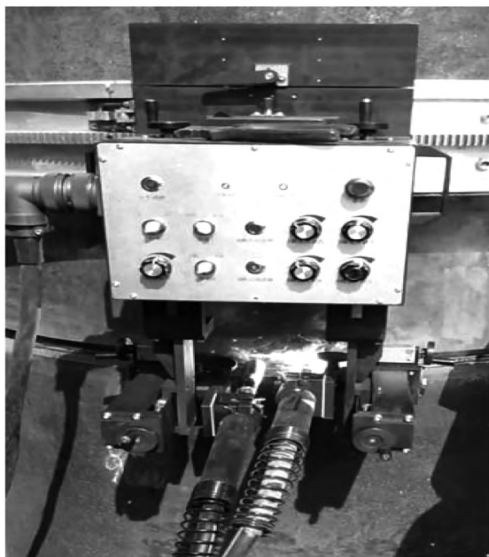


图2 焊接小车实体照片

3 控制系统设计

基于 PLC 的独立双丝双弧焊接系统通过软硬件结合的方式去实现功能,以便于系统开发和设备功能扩展。焊接控制系统通过最大 100 kHz 脉冲输出,用于控制焊接速度和焊接时序。

3.1 焊接控制要求

将焊接时序主要分为 3 个阶段:

1) 引弧阶段。正常焊接前要进行必要的准备阶段。通过焊枪位置及角度机构调节焊丝与焊道之间的距离,保证 CO_2 气路通畅。为了保证双丝能够全部同时起弧,均采用慢送丝方式进行起弧,实现起弧点焊缝的成形和质量的控制。

2) 焊接阶段。焊接系统按照事先设定完整的焊接参数稳定焊接,且在焊接时电流电压参数是可以实时调节的。双丝焊接回路是彼此相互独立的,观测焊丝熔化后的飞溅情况,通过调节旋钮来完成最佳焊缝成形。

3) 熄弧阶段。焊接结束时,基于焊接电源内部设置有自动收弧功能,为了保证双丝熄弧均不粘丝,同时通过 PLC 程序对焊接时序中实施控制,设置停丝延时后停电源有,效地避免了焊丝与熔池短路,降低了回烧时间。

3.2 系统硬件构成

系统以 PLC 和模拟量输入/输出模块为核心,焊接电流和电压信号经过直流电流/电压变送器转换,输出 0~5 V 标准电压信号,输入到模拟量输入模块,经过 PLC 的数据运算处理,利用控制系统判

断焊接时序所处的工作阶段和状态^[4-13],输出相应的开关量信号,并同时输出模拟量信号控制送丝直流电机运行,PLC 发送脉冲信号控制行走步进电机运行。控制系统框图如图 3 所示。

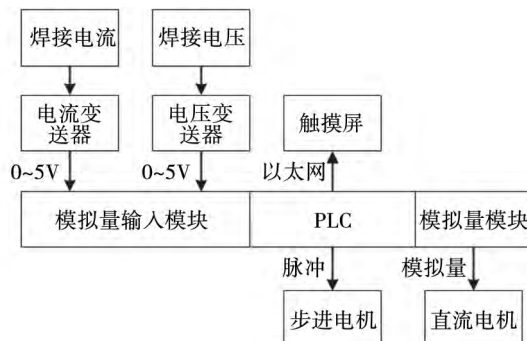


图3 控制系统框图

基于唐山松下 CO_2 保护焊机进行设备控制,焊机设有外控端子,PLC 通过继电器常开触点控制焊接启停,PLC 输出模拟量控制焊机预置电压;焊丝末端电弧电压通过反馈线给焊机,使电弧电压得到补偿。

3.3 PLC 程序开发

根据焊接工艺控制要求,使用 STEP 7 - MicroWIN SMART 编程软件结合硬件输入输出信号,按照焊接时序设计主程序流程图,如图 4 所示。

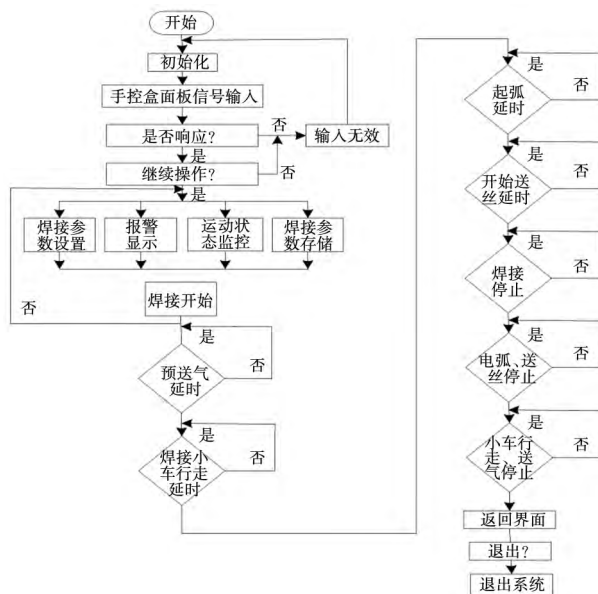


图4 PLC 主程序流程图

PLC 程序采用主程序调用子程序方式运行主函数,主要包括 4 个子程序: 工艺流程、数据处理、电机轴运动和通讯。工艺流程包括预送气、小车启动、慢送丝、焊接启动、停止送丝、小车停止、停止送气和焊接停止 8 个环节,各个环节之间可以设置最佳延迟

时间,来满足不同的焊接位置需求。

数据处理先将采集的电压和电流真实值转换为 0 ~ 10 V 模拟量值,再经过数值转换关系变为 10 ~ 48 V 和 0 ~ 400 A 的标准焊机参数,并显示在触摸屏上。电机轴运动利用编程软件中的“运动控制向导”功能,在子例程中直接调用 `AXISx_CTRL` 子例程供轴初始化和 `AXISx_CTRL` 子例程命令轴转到指定位置。在库中调用 Modbus RTU Master 与 Modbus RTU Slave 实现 PLC 主从站的通讯,部分通讯程序如图 5 所示。

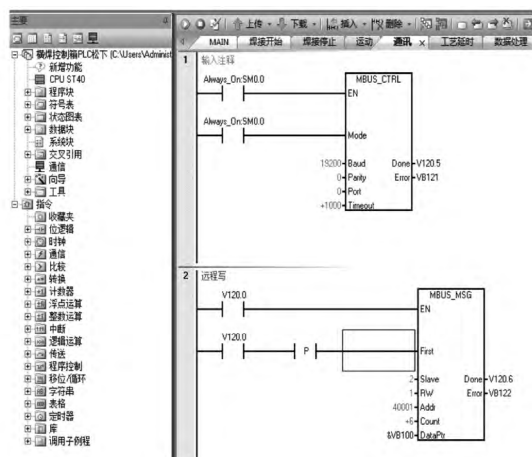


图5 MODBUS 通讯程序

3.4 触摸屏界面设计

系统界面由 SIEMENS 公司的组态软件 WINCC 设计,主要负责焊接参数的预先设置和实时显示。根据焊工的操作习惯和焊机本身特点,将界面分为焊接小车参数显示和运动控制两大板块,界面如图 6 所示。焊接电压和送丝速度(焊接电流)是焊机的预制参数显示;真实电压和电流在焊接过程中波动性可以直接反映出稳定性。

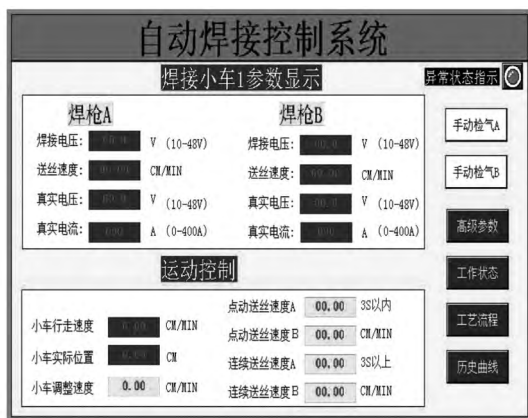


图6 触摸屏组态界面图

在运动参数中,小车行走速度和速度实时显示数据,小车调整速度作用是方便手动调整小车在环

形焊道上的位置,连续送丝速度设置是改变焊接过程电流大小的;点动送丝速度设置作用是调整焊丝到焊道距离,提高了焊接开始的引弧成功率。触摸屏采用双焊接回路对比方式设计,界面简单清晰,易于焊工操作。

4 焊接试验

焊接工艺是实现高质高效焊缝的关键。桩管材料为碳钢,壁厚为 38 mm,坡口形式为单边 30°V 型,坡口组对间距为 0 ~ 2 mm,采用 1.2 mm 的实心焊丝,以表 1 所示的焊接工艺参数顺利完成了一道直径 1 829 mm 的焊口,用时仅 2 h 10 min,大幅度降低了劳动强度。用射线探伤方式对焊缝质量检测,结果如表 2 所示。

表1 双丝 CO₂ 气体保护焊接工艺参数

板厚 /mm	垂直倾角 /°	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 v/cm
38	25	246	34.8	102
38	20	214	32.6	102

表2 X 射线探伤检测结果

编号	缺陷性质	缺陷尺寸	评定级别
A1-1	圆形气孔	1 mm	I 级
A1-2	圆形气孔	1 mm	I 级
A2-1			I 级
A2-2	圆形气孔	2 mm	II 级
A3-1			I 级
A3-2	内凹		I 级
A4-1	圆形气孔	1 mm	I 级
A4-2			I 级

如图 7 所示,焊缝成型美观,工艺性能良好,无焊瘤和咬边,熔宽均匀,熔深一致,焊接接头机械性能满足 AWS D1.1 最新版要求,焊缝的焊接质量完全满足生产要求。



图7 桩管焊接试验结果

5 结 论

本文为了提高海洋平台桩管对接的生产效率和焊接质量,通过设计开发和应用实例,得出以下结论:

1) 该系统能够适应不同口径的桩管对接,以机械结构代替人工焊接方式,降低了工人的劳动强度。

2) 该系统应用 PLC 完成了半自动焊机焊接时序和步进电机的控制,增强了焊接过程的自动化程度。同时设计了人机界面,实现了焊接工艺和运动参数的采集、显示和存储功能。界面简单易懂、维护方便,不需操作人员有较高的技术水平即可操作。

3) 实验应用表明,焊接小车运行平稳,焊缝的焊接质量满足生产要求,体现了系统的稳定性和可靠性,具有较好的应用价值。

参 考 文 献:

- [1] 焦向东,周灿丰,陈家庆,等. 21 世纪海洋工程连接技术的挑战与对策 [J]. 焊接,2007(5):23-27.
- [2] 焦向东,周灿丰. 海洋石油工程自动焊技术的现状与展望 [J]. 焊接,2015(12):6-11+69.
- [3] 唐德渝,冯标,李春润,等. 导管架桩管自动焊控制技术研究 [J]. 电焊机,2008,38(5):6-9.
- [4] 张建护,唐德渝,冯标,等. 海洋平台导管架桩管自动焊工艺及应用 [J]. 石油工程建设,2011,37(3):21-24.
- [5] 冯标,唐德渝,李春润,等. 海洋平台桩管自动焊技术研究 [J]. 石油工程建设,2007,33(5):46-50.
- [6] 李春润,牛虎理,龙斌,等. 海洋平台桩管预制对接自动焊技术应用研究 [J]. 石油工程建设,2008,34(5):57-59.
- [7] 李铜,钱莉,王文杰. 管道焊接技术 [J]. 电焊机,2007,37(12):32-35.
- [8] 蒋伟波. 我国工业焊接技术的现状及发展前景分析 [J]. 科技创新与应用,2014(4):84.
- [9] 雷毅,张林. 海洋桩管环缝双机头自动焊微机控制技术 [J]. 制造业自动化,2004,26(11):70-73.
- [10] TANG Deyu, FENG Biao, CHUN Run, et al. Research on Technology of Automatic Welding Machine and Procedure for Pile Pipes of Offshore Jacket Platform [J]. Engineering Science, 2010, 8(2):24-30.
- [11] 于云凤,刘鸿升,张玉成. 海上桩管环缝自动焊接技术 [J]. 石油工程建设,2000,26(3):33-37.
- [12] 冯标. 我国首例海洋平台桩管现场自动焊接在海南 24 井顺利实施 [J]. 石油工程建设,2006(5):27-27.
- [13] 张田利,唐德渝,冯标. 大型储罐双丝埋弧横焊设备的研制 [J]. 电焊机,2011,41(10):9-14.
- [14] 李军,任婷. 管-板焊机的 PLC 自动控制系统研制 [J]. 焊接技术,2011,40(11):42-45.
- [15] 张毅,赵勇强,张锋,等. 三菱 PLC-FX1N 在管道自动焊接设备中的应用 [J]. 焊接技术,2014,(11):51-53.

(编辑: 温泽宇)