

新能源汽车电机定子引线焊接 智能监控系统

王丹¹, 陈志豪²

(1. 广东科技学院 机电工程学院, 广东 东莞 523083;

2. 工巧智能科技(佛山市)有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要:针对逆变交流电阻焊设备在焊接新能源汽车电机定子时,存在的焊接精度不稳定、焊接后产品一致性差等问题,设计一种智能化焊接监控系统。该系统以西门子PLC为控制核心,包括硬件监控电路和控制软件。系统采用基于端子厚度为主、焊接时间为辅的方案提高焊接精度和一致性;采用基于MODBUS总线与焊接电源通讯,智能记录焊接数据。实测结果证明了该系统可提高焊接精度与焊接一致性,并实现了电机焊接的可追溯性,提高了生产车间的智能化程度。

关键词:焊接;PLC控制器;端子厚度;总线通讯;信息化

中图分类号:TP23 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd19983

Intelligent Monitoring System of Motor Stator Lead Welding for New Energy Automobile

WANG Dan¹, CHEN Zhihao²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Science & Technology,

Dongguan 523083, Guangdong, China; 2. Gongqiao Smart Technology (Foshan) Co., Ltd.,

Foshan 528000, Guangdong, China)

Abstract: There are problems such as unstable welding precision and poor product consistency for the inverter AC resistance welding equipment to weld the new energy vehicle motor stator. In order to solve those problems, an intelligent welding monitoring system was designed. The system used Siemens PLC as the control core, including hardware monitoring circuits and control software. It adopted the scheme based on the terminal thickness and the welding time as the supplement to improve the welding precision and consistency. The MODBUS bus was used to communicate with the welding power source to intelligently record the welding data. The measured results show that the system can improve the welding precision and welding consistency, and realize the traceability of the motor welding which improves the intelligence of the production workshop.

Key words: welding; PLC controller; terminal thickness; bus communication; informatization

电机是新能源汽车的核心部件^[1],电机中定子引线的焊接要求是精度高、强度高、一致性高,常用的焊接设备是逆变交流电阻焊设备^[2-3]。电阻焊在焊接强度上能达到很好的要求,但是实际使用中还存在如下问题:电极在焊接时随着时间的增加,温度会变化,初始时电极温度较低,随着焊接次数的增加,电极的温度会越来越高,而该温度对焊接质量有不确定性影响,导致电机定子

焊接质量不一致^[4-6];随着企业生产智能化水平的提高^[7],越来越多的企业需要对电机的焊接数据进行追溯,一旦某台电机发生故障,可以追溯到生产制造时的焊接情况,以便进行调研与分析^[8-9];同时,为了完善焊接工艺,需要根据焊接参数进行大数据分析。

针对以上问题,本文设计了一套智能监控系统,包括硬件电路和软件算法2部分。

基金项目:广西高校中青年教师基础能力提升项目(2017KY0635);广东科技学院校级一般项目(GKY-2019KYYB-6)

作者简介:王丹(1987—),女,硕士研究生,Email:wangdanhbyc@163.com

1 总体设计

新能源汽车电机定子引线焊接的主要原理为:三相或单相交流输入后经过焊接电源整流、滤波,然后逆变成脉宽可调(PWM)的脉冲波形,并按照频率切换方向,焊接电源输出PWM波形到焊接变压器降压后到焊机头的铜板、电极进行放电。本文主要研究与设计的是如图1所示的监测控制器,具体包括软件和电气设计。

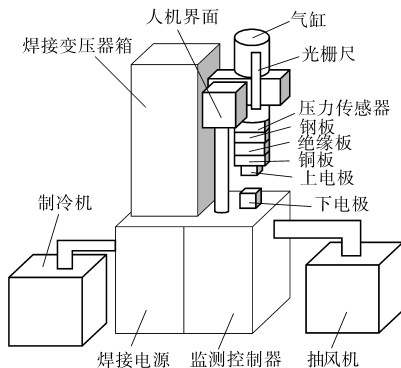


图1 电阻焊接设备硬件简图

Fig.1 Diagram of resistance-welding equipment

焊接过程如下:

1)将需要焊接的引线铜端子放置在设备的上电极和下电极之间;

2)在人机界面上按下启动按钮,气缸带动下电极下压;

3)启动焊接,电阻焊接电源按照设置的参数进行放电;

4)焊接监测控制器在线进行检测与控制,当达到系统给定的参数时停止焊接电源的放电,延时后,气缸上抬。

监测控制器主要用来监控焊接过程中焊接电流、焊接时上下电极压力、焊接时间、焊接位移等参数,采用的策略是以焊接位移为主、焊接时间为辅的方案,确保焊接精度和一致性达到要求。图2为在电极压力4 000 N,电流8 000 A,焊接时间为187.5 ms时的热膨胀变形的理论分析结果,虚线表示变形前的轮廓,实线表示变形后的轮廓。点焊时,工件温度增加,接头处会产生体积变形。研究表明,点焊时热膨胀的位移与熔核尺寸有对应关系,熔核尺寸可用来衡量焊接质量,因此可将工件热膨胀的位移作为焊接质量的监控标准。同时在垂直方向有上、下电极的压力,最终两电极在热膨胀和电极压力作用下形成了相对位移^[10]。

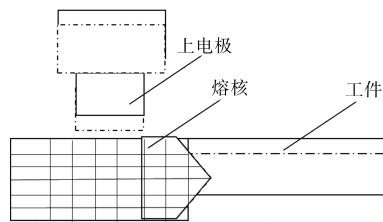


图2 电焊热膨胀过程示意图

Fig.2 Schematic plan of thermal expansion in spot welding

2 监测系统电气与软件设计

2.1 软件总体组成

控制系统软件设计采用西门子TIA编程软件,模块化的编程思路^[11],分为主程序Main、各功能子块FB和各函数子块FC。主要的子模块有:自动焊接、扫码枪处理、光栅尺处理、I/O输出、HMI、焊接数据日志记录、日志文件等。监控系统主程序调用部分主要子模块的框图如图3所示。图4所示为自动焊接过程的程序流程图。

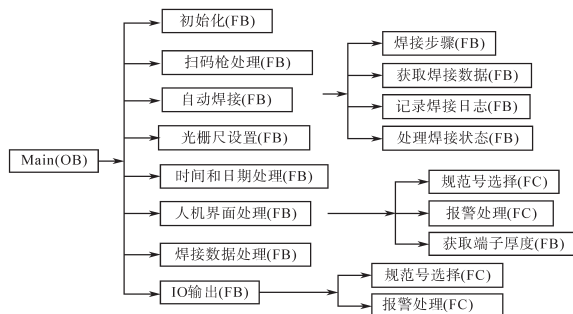


图3 监控系统软件结构框图

Fig.3 Software block diagram of monitoring system

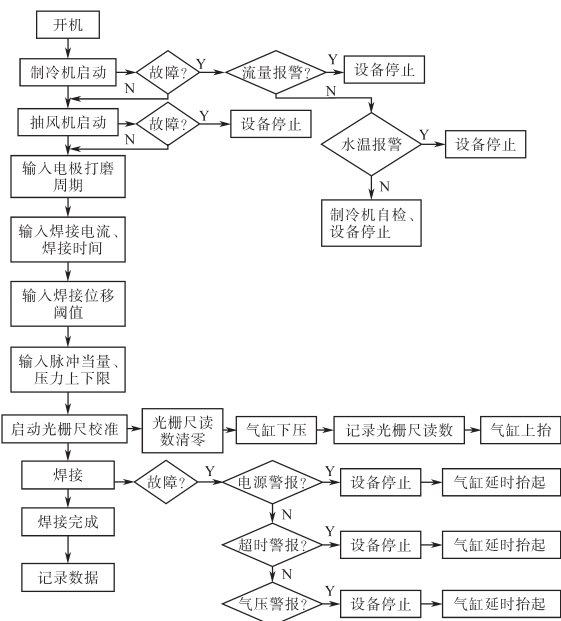


图4 自动焊接程序流程图

Fig.4 Program flow chart of automatic welding

对于大电流,高温焊接设备为了确保系统安全和工作稳定性,有如下措施:

1)焊接电源采用中频逆变电阻焊设备,保证焊接时输出为低压大电流信号,同时系统带有开路保护功能,当控制器检测到开路时,设备停止焊接。

2)软件中设置有焊接极限时间,当焊接过程中,达到焊接极限时间,立马停止设备。

3)当焊接完成后,为了避免上、下电机之间形成电弧,需要先停止焊接电流,然后让气缸延时抬起。

4)为了避免引线端子未放置在上、下电极之间而电极放电造成事故,在程序中设置了焊接初始距离检测,当检测到初始距离为0时,系统报警提示且无法启动焊接设备。

2.2 电气总体设计

焊接监测控制器由3部分构成:西门子CPU,通讯模块RS232,RS485和信号板SB1222;检测部分包括光栅尺、数显表和扫码枪等传感器等;人机交互部分为西门子触摸屏KTP700。如图5所示,焊接电源控制器和数显表通过RS485与PLC控制器通信,光栅尺通过数字量输入端口与西门子1215C通信,扫码枪通过RS232与PLC通信,触摸屏采用TCP_IP协议与PLC通信。

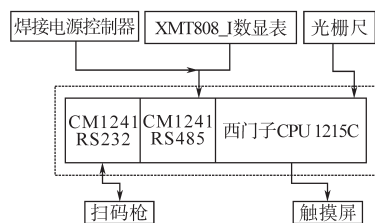


图5 监控系统电气框图

Fig.5 Electrical diagram of monitoring system

2.3 子模块设计

2.3.1 焊接位移监控

位移采用SINO的KA序列光栅尺检测,通过PLC控制算法实现位移控制。脉冲当量 A 为 $5\mu\text{m}$,NPN型输出,为 A,B,Z 三相的单端信号。由于焊接电源工作时电流会达到 10 kA 以上,对光栅尺采集的信号有很大干扰,在程序中增加了滤波算法。

图6为位移监控原理图,实时计算定子引线端子厚度 l 为

$$l = (S_2 - S_1) \times A \quad (1)$$

式中: l 的单位为 mm ; S_2 为初始状态下上、下电极接触时光栅尺脉冲数,存在掉电保持数据区; S_1 为焊接过程中上、下电极之间的脉冲,由PLC高速捕捉记录。

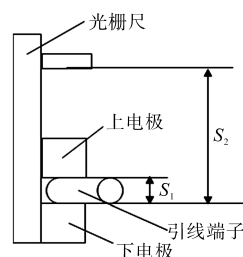


图6 位移监控原理图

Fig.6 Schematic diagram of displacement monitoring

2.3.2 焊接压力监控

监控焊接过程中的压力监控主要是:判断电极是否接触,为光栅尺校准做数据支撑,为后续焊接工艺改进提供数据支持。当焊接控制采用压力优先策略时,需要对焊接过程中的压力实时监控,以便根据压力值控制焊接电源。

焊接压力监控电路图如图7所示,分为2部分,一部分为智能仪表与压力传感器通讯,另一部分为压力仪表与控制器PLC进行通信。

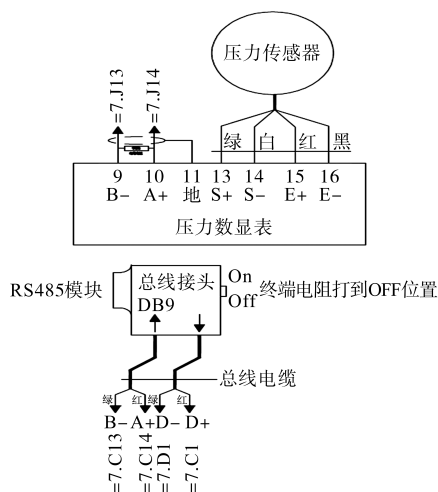


图7 压力监控电气原理图

Fig.7 Electrical schematic of pressure monitoring

2.4 人机界面设计

人机界面主要包括自动、参数设置、报警记录、数据记录等模块。图8所示为自动模式运行时的人机界面,主要用来监控焊接时的参数。设备自动运行之前,需要首先进入参数设置模式进行相关参数设置,参数设置人机界面如图9所示,

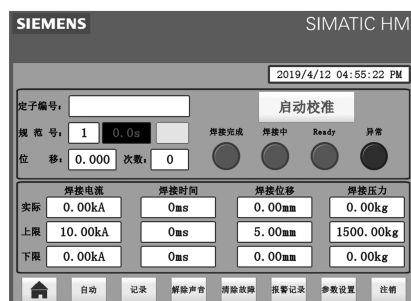


图8 自动焊接人机界面

Fig.8 Man-machine interface of automatic welding



图9 参数设置人机界面

Fig.9 Man-machine interface of parameter setting

参数设置主要包括电机打磨次数、总焊接次数、焊接相关参数、报警配置参数、光栅尺校准、手动调试参数等。

3 实验结果分析

按照ISO15613标准规定,定子引线焊接属于电阻焊,试件的试验尽可能按照ISO15614序列标准规定进行,根据企业具体生产需求,对焊接试件进行以下5项试验测试^[13]:100%外观检查;100%导通率测试;破坏性试验;电参数检查(电机定子铁心焊接工艺研究);焊接厚度检测。在前3项测试结构都合格的前提下,进行后2项测试。本监控系统中电参数检测选用电机三相电阻不平衡度作为监控指标,要求小于1%。焊接厚度检测选用引线端子误差均值作为监控指标,要求小于0.1 mm。

设试件 i 的3组绕组的焊接头电阻 R_{i1}, R_{i2}, R_{i3} 平均值为

$$R_i = (R_{i1} + R_{i2} + R_{i3})/3 \quad (2)$$

则三组绕组电阻不平衡度为

$$\Delta R_i = [R_i(\max, \min) - R_i]/R_i \times 100\% \quad (3)$$

式中: $R_i(\max, \min)$ 为电阻中最大或最小的数值。设试件 i 的3组端子厚度为: L_{i1}, L_{i2}, L_{i3} ,理论值为 L_i ,3组数据误差分别为测量值减去理论值,用参

数 $\Delta L_{i1}, \Delta L_{i2}, \Delta L_{i3}$ 表示。则误差平均值为

$$\Delta L = (\Delta L_{i1} + \Delta L_{i2} + \Delta L_{i3})/3 \quad (4)$$

现场测试,累计测试500组试件,均符合要求。鉴于篇幅,现列出1~10号试件的测试对比结果,如表1所示。1~10号试件型号为线径0.95 mm,45股的漆包线。采用CS2512型智能直流低电阻测试仪测试,测量范围1 $\mu\Omega \sim 2 \text{ M}\Omega$ 。基本精度 $\pm 0.05\%$,测量条件为 $23 \pm 5^\circ\text{C}$,温度每增加 10°C ,会增加一个基本误差。电阻焊电源控制器焊接电流设置为7.7 kA,智能监控仪中焊接时间上限为10 s,端子厚度标准为3.3 mm。采用2种不同控制方案在相同材料的试件、相同温度下测试。方案I以端子厚度为主控制对象,焊接时间为辅助控制对象。方案II不采用智能监测控制器,采用通用的方案,以焊接时间为主控制变量,焊接电流恒定。

表1 1~10号试件焊接数据

Tab.1 welding data of NO 1~10 test piece

编号	方案 I		方案 II	
	端子厚度误差 均值/mm	不平衡 度/%	端子厚度误差 均值/mm	不平衡 度/%
1	0.052	0.3	0.845	1.1
2	0.064	0.5	0.353	1.2
3	0.055	0.3	0.255	1.4
4	0.043	0.4	0.401	1.4
5	0.072	0.5	0.485	1.5
6	0.036	0.3	0.533	1.2
7	0.040	0.4	0.631	1.9
8	0.042	0.5	0.290	1.3
9	0.057	0.4	0.381	1.2
10	0.056	0.3	0.390	1.2

通过分析表1可知:

1)采用方案I比方案II,端子电阻不平衡度小一个数量级,焊接精度提高;

2)采用方案I比方案II,端子厚度误差减少了1个数量级,焊接一致性提高;

3)方案I中,端子厚度误差均值小于0.1 mm,电阻不平衡度小于1%,均符合设计需求。

智能监控系统设计完成后,在客户现场的电阻焊机设备上进行了1个月的调试实验,并在完成了焊接质量检测后正常投入运行。

4 结论

本文设计的新能源汽车电机定子引线焊接智能监控系统,解决了通用的逆变交流电阻焊设备在现代智能车间焊接生产过程中存在的问题:

1)通过采用以端子厚度为主控制对象、焊接时间为辅控制对象的控制方案解决了焊接精度

和生产一致性的问题。通过测试,焊接精度和一致性均提高了一个数量级。

2)通过扫码枪,配置日志文件记录焊接数据,配置以太网接口模块等方式,预留给信息化系统软件采集数据,具备定时上传焊接数据的功能,解决了智能生产信息化系统生产管理的需求。

在下一阶段,本研究将监控系统的人机界面和焊接电源控制器的人机界面整合,通过总线通讯的方式,将焊接控制器的焊接参数采集,集中在监控系统HMI中进行显示与控制。

参考文献

- [1] 王泽鹏,唱通,白正军.激光焊接技术在新能源汽车电机制造领域的应用及发展[J].金属加工(热加工),2015(4):33-34.
- [2] 曹彪,陈志宏,谭伟峰,等.精密逆变电阻点焊电源 DSP 控制系统[J].电焊机,2006,36(6):41-44.
- [3] 甘文军,王敏,孔谅.逆变电阻焊的工业应用及研究进展[J].电焊机,2010,40(5):101-105.
- [4] Johnson K I, Needham J C. New Design of Resistance Spot Welding Machine for Quality Control[J]. Welding Journal, 1972, 51(3): 122-131.
- [5] Dickinson D W, Franklin J E, Stanya A. Characterization of Spot Welding Behavior by Dynamic Electrical Parameter Monitoring[J]. Welding Journal, 1980, 59(6): 170-176.
- [6] Cho H S, Chun D W. A Microprocessor-based Electrode Movement Controller for Spot Weld Quality Assurance[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1985, 32(3): 234-238.
- [7] 王元良,李达,曾明华.焊接发展的几个新方向——新材料、新能源和信息化制造[J].现代焊接,2016(6):5-12.
- [8] 刘金龙,李江,李海泉.基于焊接制造协同管理的信息化平台[J].金属加工(热加工),2016(16):23-26.
- [9] 车英芳.智能化焊接技术与工程的探讨[J].时代汽车,2018(5):93-94.
- [10] 林彬.电阻焊热膨胀电极位移质量监控方法的研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2007.
- [11] 张庆孟,何鞍晓,史家顺.智能往复密封件摩擦力检测装置的研制[J].机电工程,2017,34(6):577-581.
- [12] 王小宇,孙新安,侯志坚,等.RS485通讯在电动清扫车控制系统中的应用[J].电气传动,2018,48(7):82-86.
- [13] 马开峰. ISO15614-1《焊接工艺试验》与 JB/T4708《压力容器焊接工艺评定》标准比较与讨论[J].科技信息,2012(23):126-127,153

收稿日期:2019-03-01

修改稿日期:2020-05-06