

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2022.03.14

低温风洞不锈钢洞体焊接关键参数监测与分析系统

邹大军, 胡洪学, 黄攀宇

中国空气动力研究与发展中心, 四川 绵阳 621000

摘要: 为控制低温风洞不锈钢洞体的焊接质量, 研制了一套焊接关键参数监测与分析系统。以传感器、PLC 控制器以及无线收发模块为基础, 分别构建了系统硬件的感知层、控制层以及设备层, 并设计了电源系统, 开发了上位机与下位机软件, 实现对电流、电压以及焊接线能量等焊接参数的采集、分析及处理。根据实际需要, 制定了数据筛选规则、数据存储与显示规则以及关键参数评估规则、焊接线能量的计算与分析规则, 分别开展系统的软硬件初步调试与现场调试工作。试验表明, 系统运行稳定, 所得参数精度在 2.7% 以内, 可实现对不锈钢洞体焊接关键参数的实时采集与分析。

关键词: 焊接参数; 无线传输; 低温风洞; 监测系统

中图分类号: V211.752 文献标识码: B 文章编号: 1001-2303(2022)03-0099-06

Monitoring and Analysis System for Key Welding Parameters of Stainless Steel in Cryogenic Wind Tunnel

ZOU Dajun, HU Hongxue, HUANG Panyu

China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000, China

Abstract: In order to control the welding quality of stainless steel in cryogenic wind tunnel, a set of welding parameter monitoring and analysis system is developed. Based on the sensors, PLC controller and wireless transceiver module, the sensing layer, control layer and equipment layer of the system hardware are constructed respectively, and the power supply system is designed. The software of upper computer and lower computer is developed, which realize the acquisition, analysis and processing of welding parameters such as current, voltage and welding line energy. According to the actual needs, the data screening rules, data storage and display rules, key parameter evaluation rules and welding line energy calculation and analysis rules are formulated. The system is debugged and optimized. The experiment results show that the system can run stably and the accuracy of the parameters is less than 2.7%, which can realize the real-time acquisition and analysis of the key parameters of stainless-steel wind tunnel.

Keywords: welding parameter; wireless transmission; cryogenic wind tunnel; monitoring system

引用格式: 邹大军, 胡洪学, 黄攀宇. 低温风洞不锈钢洞体焊接关键参数监测与分析系统[J]. 电焊机, 2022, 52(3): 99-104.

Citation: ZOU Dajun, HU Hongxue, HUANG Panyu. Monitoring and Analysis System for Key Welding Parameters of Stainless Steel in Cryogenic Wind Tunnel[J]. Electric Welding Machine, 2022, 52(3): 99-104.

0 前言

焊接电流、焊接线能量等参数对焊缝的成形系数、剪切强度有着直接的影响^[1-2], 对这些参数进行

监测与分析是控制焊接质量、确保焊接质量具备可追溯性的前提条件, 也是电焊机研究领域的重点内容之一。例如, 卢永建^[3]等研发了一套基于 WiFi 技术的焊接参数无线采集与传输系统, 该系统对于单

* 收稿日期: 2021-05-30 修回日期: 2021-07-31

作者简介: 邹大军(1981—), 男, 工程师, 主要从事结构设计, 机电一体化技术的研究。

通信作者: 黄攀宇(1975—), 女, 高级工程师, 主要从事机械加工与制造技术。E-mail: 610784340@qq.com。

台或少量焊机的焊接参数可高频采集,实现实时采集监控功能;李政浩^[4]等开发了一套通过移动网络将钢轨现场焊接参数实时上传至云平台的钢轨现场焊接参数远程采集系统,系统操作方便,时效性强,可以科学评估钢轨现场焊接质量和保障线路焊接施工安全性。

低温风洞需在 110 K 温度下运行,其对材料、焊材^[5]、焊缝及其热影响区的低温冲击韧性的要求高于国内外标准,由此带来了一系列焊接工艺的难点。例如,由于奥氏体不锈钢导热系数小,当热输入过大,焊缝和热影响区高温停留时间过长时,有可能导致大量碳化物析出,影响焊接接头的低温韧性和抗晶间腐蚀性能。因此,在低温风洞的建设过程中采用了新的焊接工艺^[6]。同时,为确保焊接严格按照焊接工艺进行,有必要对焊接过程的关键参数进行在线实时监控。从低温风洞建设和维护的实际需求出发,为控制不锈钢风洞洞体焊接质量,文中基于传感器、无线传输技术,搭建了一套焊接参数测量系统,并开发了一套基于 Web 编程技术的数据管理与分析软件,对低温风洞焊接过程中的焊接电流、焊接线能量等关键参数进行测量与分析。

1 系统总体方案

系统总体方案如图 1 所示,主要由硬件与软件两部分构成,其中硬件主要包括感知层、控制层、设备层以及电源,软件包括上位机操作界面程序和下位机采集程序。系统运行时,感知层获得相关数据并将这些数据传入至控制层中存储,控制层将获得的数据通过无线发射模块传输至设备层中;在设备层中,通过软件实现数据显示、存储以及分析等功能。

2 系统硬件及软件设计

2.1 硬件设计

(1) 感知层设计。

系统的感知层主要实现数据的采集功能,主要包括温湿度传感器、电流传感器以及电压传感器。传感器的输出信号需要经过变送器进行标定,以满

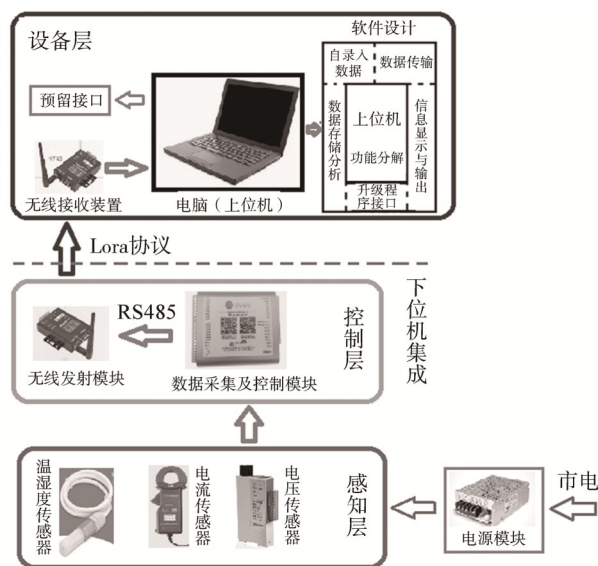


图 1 监测系统总体方案

Fig. 1 Overall scheme of monitoring system

足后续控制层通信的需求,所得信号经过 AD 模块进入控制器。其具体构成如图 2 所示。

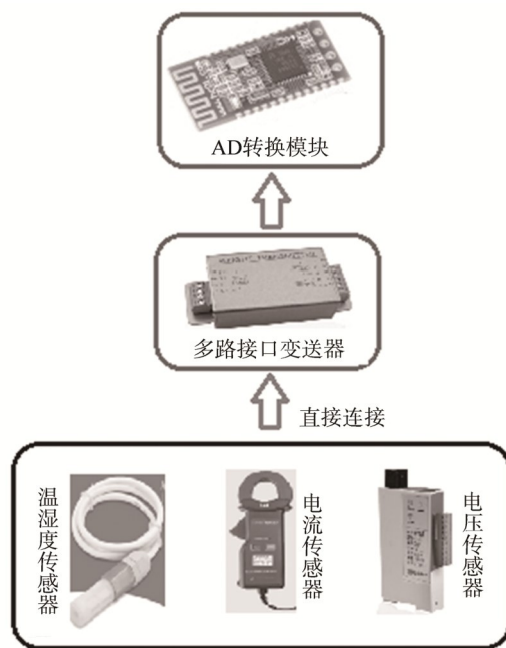


图 2 硬件感知层

Fig. 2 Hardware perception layer

(2) 控制层设计。

控制层主控器件的选取决定整个监控系统的稳定性、容错性和抗干扰性。本系统选用集成度较好的 PLC 作为主控器件(型号:FX3U-32MT),它在工业领域应用较为广泛且稳定性好。PLC 接收由

感知层采集到的电流、电压以及温湿度数据,并存储于相应的设定地址,根据数据传送协议,这些数据将由与PLC连接的无线发射模块按照设定的传送速率传送给上位机,根据系统需要,无线接收距离设定为最大500 m。硬件控制层具体构成及设计路线如图3所示。

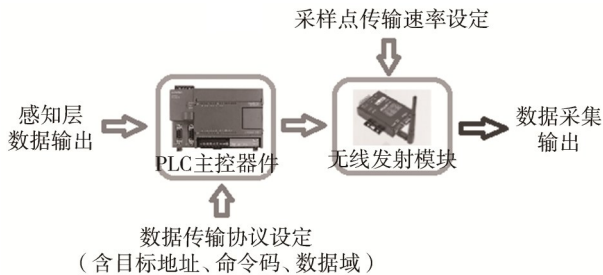


图3 硬件控制层

Fig. 3 Hardware control layer

(3)设备层设计。

硬件的设备层主要由上位机及与其相连的无线接收模块构成,如图4所示。无线接收模块负责接收由控制层发送来的数据;通过相应的软件,上位机主要完成的内容包括:数据显示及分析、焊接信息录入以及数据后处理等。

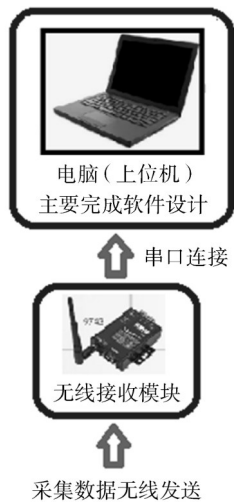


图4 硬件设备层

Fig. 4 Hardware device layer

整个系统中的电压源均由外部220 V供电,内部采用电源模块($\pm 5\text{ V}$, $\pm 12\text{ V}$, $\pm 24\text{ V}$)将其变换为所需电压。此外,感知层与控制层均置于设备箱之内以减少环境对系统的影响。

2.2 软件设计

系统软件设计主要包括上位机与下位机程序。

其中,下位机程序主要实现对数据采集和向上位机传输数据的功能,其程序设计流程如图5所示。该程序主要对管脚、传输数据类型、传输速率以及采集频率进行了定义,并制定了数据发送的规则。



图5 下位机程序流程

Fig. 5 Program flow chart of lower computer

上位机主要根据系统要求,实现用户数据的输入、显示以及统计等,其设计流程如图6所示。

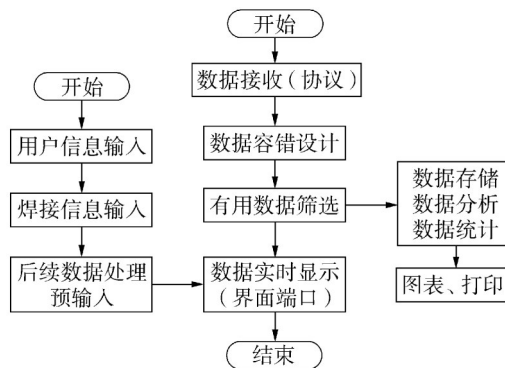


图6 上位机程序流程

Fig. 6 Program flow chart of upper computer

上位机程序基于Web技术开发完成,使用十分方便,可以根据不同的设备自动进行内容同步,管理十分简单,移植性强,同时网页可以自动侦测设备屏幕的大小,对网站的内容和布局进行灵活调整,使网站在任何设备上都有良好的显示效果。由图6可知,在系统运行之前,需首先输入用户信息、焊接信息等以建立一个工程。在系统运行后,根据相应的数据接收协议,程序首先会通过一定的容错功能对接收到的下位机数据进行筛选,然后一方面将数据

用于显示,一方面对数据进行存储、分析和统计。

由于周边环境的影响,系统接收到的数据中会出现一些明显不合理的数据,比如电流高达 1 000 A,温度降至 -30°C ,这一现象经后期数据的分析、处理与显示造成了很大的困难。为解决这一问题,在上位机程序中进行了容错设计,根据焊接工艺以及现场实际的温湿度情况,设定了数据的筛选规则(例如电流 $>500\text{ A}$ 为不合理数据),将这些明显存在问题的数据进行了初步的筛选。

由于焊接不是一个长时间持续的过程,若系统一直进行数据采集将产生大量的无用数据,导致后期数据分析工作量大增,严重影响系统运行的效率与稳定性;与正常焊接时相比,起弧时电流较大,这将对后期电流的合理性评估造成影响;此外,数据采集频率也是系统的一个重要指标,频率太高,所采样的数据量将增加,会对后期的数据处理造成困难,频率太低,无法确保采集数据的完整性,影响对焊接关键参数的评估。为此,在上位机程序中设定了数据存储与显示规则,要求采集电流大于 30 A 且稳定运行 1 s 后程序才开始存储与显示数据,同时,根据实际需求,将采样频率设置为 $1\text{ 次}/0.5\text{ s}$,实现了对无用数据的筛选,确保了数据量的合理性,很好地提升了数据的处理效率。

对于采集到的焊接关键参数,根据焊接工艺规则,系统制定了评估准则,并以此为依据评估这些焊接关键参数,对于超出合理范围的数据,系统将自动进行识别与报警并留下记录,为后续焊接方法

的改进以及焊接质量问题的追溯提供了可靠的依据。

当一个工程完成后,系统将自动生成整个焊接过程关键参数的图表,从中可对整个焊接过程进行评估,实现了对整个焊接过程关键参数的监控。

特别是焊缝的焊接线能量对焊缝的低温冲击功有着直接的影响^[7]。为此,通过所获得的数据(电流、电压),结合现场焊接速度(由现场统计后直接输入),在上位机程序中实现了对焊接线能量的计算与评估,确保了焊接线能量始终处于合理范围内,进而实现了对焊缝低温冲击功的监控。

3 系统调试及结果

3.1 初步调试

项目系统调试分两步进行,第一步初步调试在实验室进行,分别对软硬件进行了调试与测量。

硬件调试主要包括电流传感器、电压传感器以及温湿度传感器稳定性测试等内容。以电压传感器调试为例,测试时先将直流电压输出器转换成能够被 PLC 识别的 $0\sim 10\text{ V}$ 模拟量量程范围,测试输入电压分别为 15 V 和 20 V 。经过调试后,系统输出结果分别约为 3 V 和 4 V ,输出信号稳定,但存在 5 倍的逆变系数,在后期处理时,需要乘以这个逆变系数。

同时,在实验室对软件各个采集界面进行了逐项调试。调试完成后的数据实时显示界面(电流、电压和温湿度)如图 7 所示。系统软件可稳定实时地



图 7 数据实时显示界面

Fig. 7 Interface of real-time data display

显示所接收到的数据。此外,在实验室还完成了数据库设计、通讯设计以及界面优化等软件调试内容。

3.2 现场调试

现场调试前,首先进行了电流传感器、电压传感器的布置等工作。现场调试主要是对系统要求的功能进行一一验证。首先测试系统的精度以及稳定性,测试内容及结果如表 1 所示。

表 1 现场测试内容及结果
Table 1 Contents and results of field test

序号	检测项目	实际值 ^①	测量值 ^②	误差/%
1	焊接电流/A	140	136.79	2.2
2	焊接电压/V	27	27.4	1.4
3	焊接环境湿度/%	78	80.12	2.7
4	焊接环境温度/℃	14.5	14.69	1.3
5	连续运行时间/h	72	—	—

注:①焊机读数;②十次测量结果平均值,测试距离 320 m。

由表 1 可知,系统焊接电流、焊接电压、焊接环境湿度以及焊接环境温度的偏差分别为 2.2%、1.4%、2.7% 以及 1.3%,可实现对焊接参数的有效监测。此外,现场调试结果表明系统可稳定运行 72 h 以上,具有良好的可靠性与稳定性。

以某焊缝为对象,系统实测输出结果如图 8 所示。由图 8 可知,系统可实现对焊接电流、焊接电压等焊接关键参数进行显示、监测与记录;同时,根据输入的参数,系统还能对焊接有效时间、焊接线能量、焊接效率等参数进行分析。

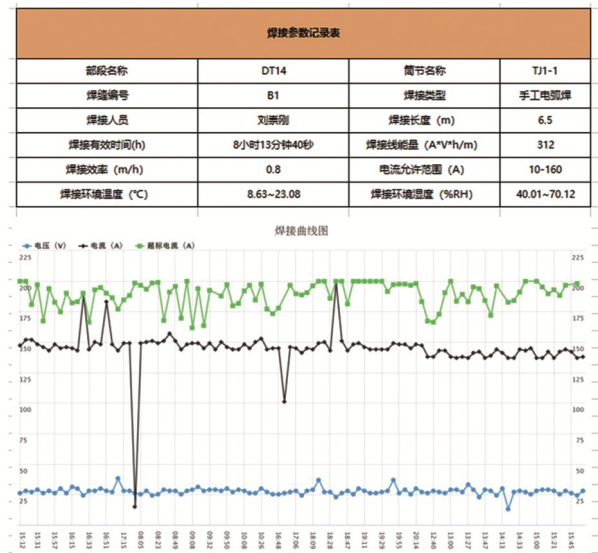


图 8 系统输出结果
Fig. 8 System output

4 结论

文中研制了一套焊接关键参数监测与分析系统,基于无线传输、传感器等技术开展了系统的硬件设计,基于 Web 技术实现了系统软件的设计,同时在实验室完成了系统的初步调试工作。现场测试表明,在规定的距离内,所得焊接参数精度可控制在 2.7% 以内,系统运行稳定。该采集系统的设计为低温风洞不锈钢焊接参数的监控与分析提供了一种有效的方法。

参考文献:

[1] 李国伟,梁亚红,陈芙蓉,等. 高强铝合金 PVPPAW 焊接参数优化与性能分析[J]. 焊接学报,2019,40(10): 86-92.
LI Guowei, LIANG Yahong, CHEN Furong, et al. Welding parameters optimization and mechanical properties analysis of PVPPA welded high-strength aluminum alloy[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2019, 40(10): 86-92.

[2] 吉华,邓运来,徐红勇,等. 焊接线能量对 5182-O/HC260YD+Z 异种材料 CMT 搭接接头组织与性能的影响[J]. 金属学报,2019,559(3): 376-388.
JI Hua, DENG Yunlai, XU Hongyong, et al. The Influence of Welding Line Energy on the Microstructure and Property of CMT Overlap Joint of 5182-O and HC260YD+Z[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2019, 559(3): 376-388.

[3] 卢永建,张曦,吕其兵. 基于 WiFi 技术的焊接参数无线采集与传输系统[J]. 电焊机,2019,49(7): 51-56.
LU Yongjian, ZHANG Xi, LV Qibing. Welding parameter wireless acquisition and transmission system based on WiFi technology [J]. Electric Welding Machine, 2019, 49(7): 51-56.

[4] 李正浩,戴虹,周世恒. 钢轨现场焊接参数远程采集系统[J]. 电焊机,2017,47(11): 60-63.
LI Zhenghao, DAI Hong, ZHOU Shiheng. Remote acquisition system for field rail welding parameters [J]. Electric Welding Machine, 2017, 47(11): 60-63.

[5] 郭东民,雒建斌,方岱宁,等. 大型风洞设计建设中的关键科学问题[J]. 中国科学基金,2015(5): 420-427.
GUO Dongmin, LUO Jianbing, FANG Daining, et al. Key scientific issues on the design and construction of large wind tunnels: summary of the 185th NFSC Sh-

- uangqing Forum[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2015(05): 420-427.
- [6] 闵晓峰, 吴梦先, 莫芝林, 等. 308L 类不锈钢焊材熔敷金属-196 °C 冲击韧性研究[J]. 电焊机, 2020, 50(11): 135-138.
- MIN Xiaofeng, WU Mengxian, MO Zhilin, et al. Research on impact toughness at -196°C of de-posited metal of 308L type stainless steel welding material[J]. Electric Welding Machine, 2020, 50(11): 135-138.
- [7] 郑周, 银润榜, 罗永飞. 低温环境下使用的 S30408 不锈钢焊接工艺研究[J]. 化工设计通讯, 2021, 45(5): 105-113.
- ZHENG Zhou, YIN Runbang, LUO Yongfei. Research on Welding Technology of S30408 Stainless Steel Used in Low Temperature Environment[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2021, 45(5): 105-113.
- [8] 张玉华. 基于 web 编程的智能无线点餐系统的设计与实现[D]. 四川: 电子科技大学, 2013.
- ZHANG Yuhua. Design and implementation of an intelligent wireless ordering system based on web programming [D]. Sichuan: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [9] 王卫兵, 高俊山. 可编程序控制器原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [10] 廖达雄, 黄知龙, 陈振华, 等. 大型低温高雷诺数风洞及其关键技术综述[J]. 实验流体力学, 2014, 28(2): 1-6.
- LIAO Daxiong, HUANG Zhilong, CHEN Zhenhua, et al. Review on large-scale cryogenic wind tunnel and key technologies [J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2014, 28(2): 1-6.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>

52

- 力有限元分析[J]. 焊接, 2000(12): 11-15.
- Zhang Yufeng, Huo Lixing, Dong Junhui. Finite element analysis of welding residual stress of low carbon steel pipe[J]. Welding, 2000(12): 11-15.
- [7] 王富耻, 张朝晖. ANSYS10.0 有限元分析理论及工程应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 271-272.
- Wang Fu Min, Zhang Chao Hui. ANSYS 10.0 finite element analysis theory and engineering application [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2006: 271-272.
- [8] 高耀东, 何雪. 基于 ANSYS 单元生死技术的焊接模拟[J]. 热处理技术与装备, 2010, 31(1): 51-54.
- Gao Yaodong, He Xue. Welding simulation based on ANSYS element birth and death technology [J]. Heat treatment technology and equipment, 2010, 31(1): 51-54.
- [9] 石奕平, 周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- Shi Yiping, Zhou Yurong. Detailed explanation of ABAQUS finite element analysis [M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [10] 赵波, 张红, 杨玮玮, 等. 基于 SYSWELD 的多丝埋弧直缝焊管三维热过程数值模拟研究[J]. 焊管, 2012(3): 41-46.
- Zhao Bo, Zhang Hong, Yang Wei, et al Numerical simulation of three-dimensional thermal process of multi wire submerged arc longitudinal welded pipe based on SYSWELD [J] Welded pipe, 2012(3): 41-46.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>