

基于 LabView 虚拟仪器的 CO₂ 焊接 参数采集分析系统

张 勇¹, 徐 忻¹, 蔡 艳¹, 华学明^{1*}, 于乾波²

(1. 上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 200030; 2. 南通三九焊

接设备有限公司, 江苏 南通 226006)

摘 要: 描述了基于 NI 虚拟仪器的焊接参数采集分析系统。作者设计了焊接电流和焊接电压信号采集电路, 并针对焊接过程的不同阶段, 加入时刻标定信号, 方便后续分析, 并在文中详细介绍了系统的软件流程。通过实际焊接试验, 实时采集和显示各个信号波形, 同时系统能够对相应的焊接电流和焊接电压进行统计分析运算, 得到研究所关心的焊接过程特征参数以及对焊接过程主要参数的概率密度分布图。试验表明该系统工作稳定, 采集数据完整可靠。

关键词: LabView; 虚拟仪器; 焊接参数; 焊接过程; 信号采集

中图分类号: TG409 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2003)04-43-05



张 勇

0 序 言

现代焊接生产对焊接质量的要求越来越高, 而要保证焊接质量就必须保证焊接电流电压等关键焊接参数的稳定。这对于焊接研究工作提出了越来越高的要求, 采用先进和便利的仪器设备对焊接过程进行分析也就显得更为重要。也就是说在实际生产过程中, 需要对焊接过程进行实时监控, 对焊接过程参数要实时通信记录, 保证焊接工艺和焊接质量的稳定性; 同时这也是现代化生产车间的一种管理方法, 为生产过程记录了详细而可靠的数据档案。作者采用美国 NI (National instrument, 国家仪器) 公司的虚拟仪器 LabView 构建了一个焊接过程多参数采集分析系统。

1 虚拟仪器简介

虚拟仪器 (Virtual instrument, 简称 VI) 是仪器技术与计算机技术深层次结合的产物, 它是全新概念的仪器, 是对传统仪器概念的重大突破, 它使测量仪器与计算机之间的界限消失。虚拟仪器将传统仪器由硬件实现的数据分析处理与显示功能, 改由功能强大的 PC 计算机及其显示器来完成; 并配置以获取调理信号为主要目的的 I/O 接口设备 (如数据

采集卡 DAQ、GPIB 通用接口总线仪器、VXI 总线仪器模块、串口 RS232/RS485 仪器等); 再编制不同测量功能的软件对采集获得的信号数据进行分析处理及显示。以这种方式构成的虚拟仪器系统实质是计算机仪器系统, 从某种意义上来说“软件就是仪器”。“虚拟”二字包含两方面含义, 第一, 虚拟仪器的面板是虚拟的; 第二, 虚拟仪器测量功能是由软件编程来实现的, 也就是说测量仪器的功能可以根据用户需要自行设计软件来定义或扩展, 不必购买昂贵的专用仪器, 而且虚拟仪器可以与计算机同步发展, 与网络及其它周边设备互联, 这将给用户带来无尽的便利。

LabView (Laboratory virtual instrument engineering workbench, 实验室虚拟仪器工程平台) 是美国 NI 公司推出的一种基于 G 语言 (Graphics language, 图形化编程语言) 的虚拟仪器软件开发工具。LabView 软件工具采用图形化的编程方式, 设计者无需编写任何文本格式的代码, 它提供了丰富的数据采集、分析及存储的库函数, 并且囊括了 DAQ、GPIB、PXI、VXI、RS-232/485 在内的各种仪器通信总线标准的所有功能函数, 软件具有强大的 Internet 功能, 支持常用的网络协议, 方便网络、远程测控仪器的开发^[1]。

2 测试系统硬件构成

测试系统硬件构成原理框图如图 1 所示, 该系

统采用 NI 公司 DAQ PCI-6023E 数据采集卡 (6023E 系列数据采集卡是高精度、多功能的集成板 块,它支持模拟输入、模拟输出、数字信号 I/O、实时 I/O 等多种功能,其采样频率最高可达 200 kHz) 完 成对焊接电流、焊接电压、送丝速度和焊接过程时 刻标定信号等四个信号的采集分析,其中焊接过程 时刻标定信号是由焊机的 DSP (数字信号处理器) 控制 软件经数字 I/O 口输出,直接送给数据采集卡;送 丝速度信号也是由控制软件输出,经过 D/A 转换, 控制送丝机转速;焊接电流以及焊接电压信号的采 集电路如图 2、3 所示。

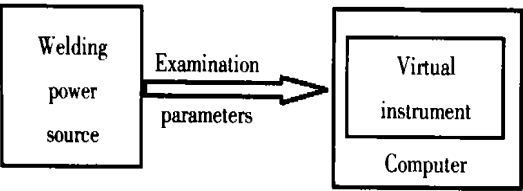


图 1 测试系统硬件构成原理框图

Fig. 1 Theory diagram of testing system's hardware

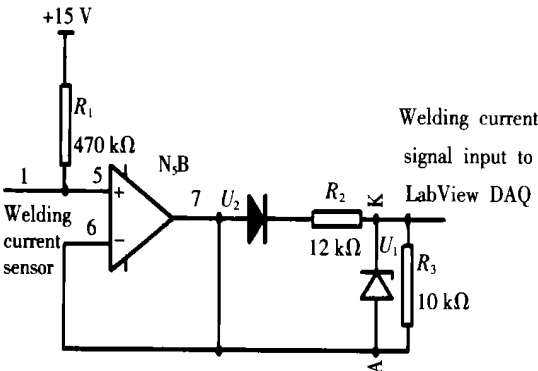


图 2 焊接电流信号采集电路

Fig. 2 Collection circuit of welding current

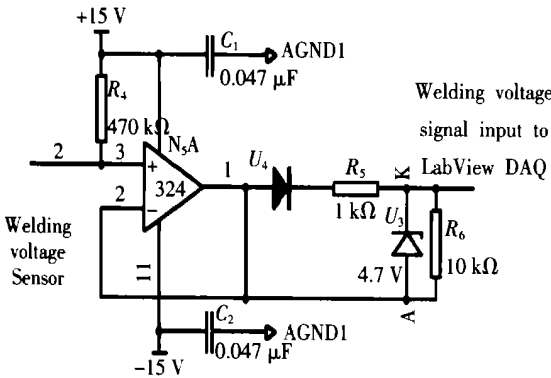


图 3 焊接电压信号采集电路

Fig. 3 Collection circuit of welding voltage

焊接电流和焊接电压信号均由装在焊机内部的 霍尔电流和电压传感器变换得到,经过采集电路的 调理得到虚拟仪器检测系统要求的适应信号。

焊接过程时刻标定信号代表焊接过程不同时刻,即按照焊接过程从焊枪开关合上信号、引弧过程中的短路信号、引弧成功信号、焊枪开关断开信号以及最后的焊接结束信号。这几个信号是从焊机的 DSP 控制软件中编入一段时间(时间长短由检测系统的采样频率决定)的脉冲输出程序,从焊机电路控制板上的某一 I/O 口直接接到 LabView 虚拟仪器测试信号输入口,从而实现对焊接过程不同时刻的标定,有利于详细的焊接参数分析。

3 LabView 采集分析系统软件构架及 分析理论

程序的总体设计思想如图 4 所示,系统程序由 前面板窗口以及后流程窗口(隐藏)两部分组成。前 面板窗口包括数据采集显示和用户操作命令两个子 模块组成,完成 DAQ 数据采集卡的采集各采集参 数的设置、实时信号和采集波形的显示和响应用 户操作等功能;后流程窗口是对前面板窗口功能的图 形化语言解释,包括各种分析测量模块及其所需要 的各种函数模块(包括统计函数运算单元、数组函数 运算单元、逻辑运算单元等等)和相应的程序分支、 循环、跳转模块。前面板窗口和后流程窗口共同组 成整个采集分析系统的软件平台。

焊接过程分析部分主要处理采样的 CO₂ 焊接 过程中的焊接电流和焊接电压信号。这部分主要有 三步工作要做,第一步为利用程序采集所需信号,计 算并描绘焊接电压和焊接电流的信号的变化率曲 线;第二步为根据短路过渡特征计算出短路时间、燃 弧时间、短路过渡频率、峰值电流、燃弧功率、短路 功率、燃弧占比并以数组形式分别储存;第三步工作 为根据第二步中计算所得数据的概率分布图及平均 值、标准差等统计量来基本预测焊接质量。

因为通过数据采集卡所采集到的焊接电流和焊 接电压都是一些离散的数字量,所以其变化率是利 用数值方法处理,如下列公式所示,即

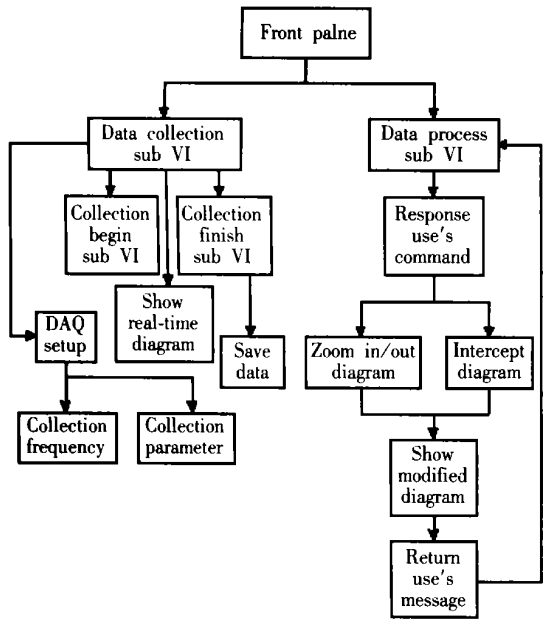
$$G(h) \approx \frac{f(a+h) - f(a-h)}{2h}, \tag{1}$$

式中: a 为采集得到的焊接电流值或者焊接电压值 中的任意一点。

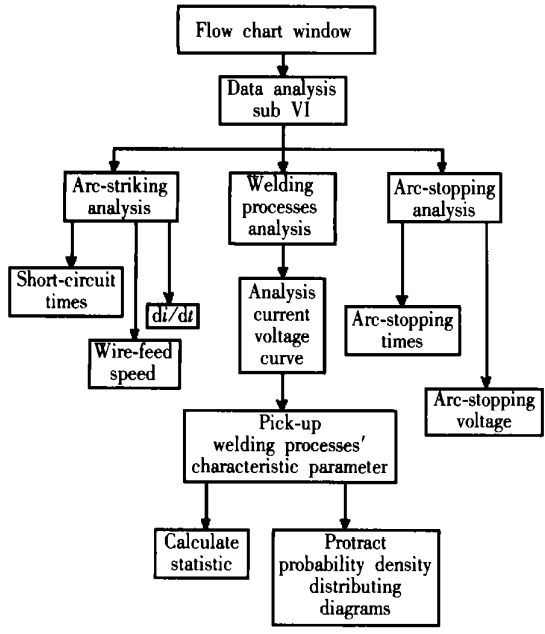
将 $f(a+h)$ 在 $x = a$ 处做泰勒展开并代入 式(1)得

$$G(h) = f'(a) + \frac{h^2}{3!} f'''(a) + \frac{h^4}{5!} f^{(5)}(a) + \dots \tag{2}$$

由此得知,步长越小,计算精度越高。但考虑到舍入



(a) Front panel diagram



(b) Flow chart diagram

图 4 软件平台总体设计框图
Fig. 4 Collectivity design diagram of system's software platform

误差,当 h 越小时,因 $f(a+h)$ 和 $f(a-h)$ 很接近,直接相减会造成有效数字的损失,因此,将步长取为 dt ,则任何一点 m ($m=0,1,2,3,\dots$) 的导数值,即变化率可以表示为

$$du[m] = \frac{u[m+1] - u[m-1]}{2dt} \quad (3)$$

如上述算法,就可以将焊接电流、焊接电压在数组 n 范围内描绘出各自的变化率曲线^[4]。

另外,在实际的焊接环境中,不可避免地有很多

干扰波的存在,即使加入滤波程序,也不能完全消除。因此,传统的求极值出现时间再相减来得出过渡周期的方法并不能完全真实地反映焊接过程。系统中,尝试用设定阈值的方法来界定燃弧或短路时间。每一次短路过渡燃弧或短路开始时间由下式所确定。

燃弧开始点 m :

$$(u_{(m)}' \leq u_{01}) \cap (i_{(m)} \geq i_{01}) = 1, \\ (u_{(m-1)}' \leq u_{01}) \cap (i_{(m-1)} \geq i_{01}) = 0,$$

式中:等号右的 1、0 为逻辑值; u_{01} , i_{01} 为门限值; $U_{(m)}'$ 为焊接电压在 m 点处一阶微分值。

短路开始点 n :

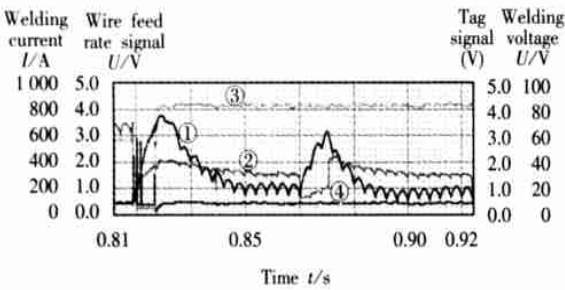
$$(|u_{(n)}'| \leq u_{02}) \cap (i_{(n)} \leq i_{02}) = 1, \\ (|u_{(n-1)}'| \leq u_{02}) \cap (i_{(n-1)} \leq i_{02}) = 0,$$

式中:等号右的 1、0 为逻辑值; u_{02} , i_{02} 为门限值; $U_{(n)}'$ 为焊接电压在 n 点处一阶微分值。

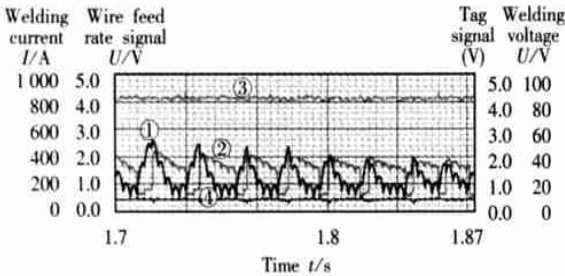
将两组数据对应相减取绝对值即得燃弧时间数组和短路时间数组^[3]。

试验采用南通三九焊接设备有限公司 NBMD—500 焊机(该焊机采用数字信号处理器 DSP 控制),直径 $\phi 1.2\text{ mm}$ 实心焊丝进行 CO₂ 短路过渡焊接,实时采集信号显示如图 5 所示。试验条件如下:焊接电压 23 V,焊接电流 200 A,保护气体 100% CO₂,气体流量 15 L/min,焊丝直径 $\phi 1.2\text{ mm}$,焊丝型号 ER70S—6,试板为低碳钢,试样大小 400 mm×200 mm×10 mm,导电嘴与工件间距离 15 mm,焊接速度 350 mm/min。

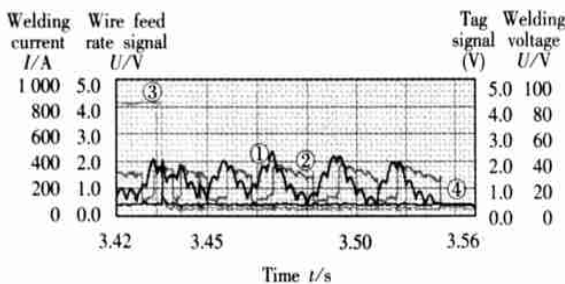
图 5 中,①、②、③、④ 四根线分别表示焊接电流、焊接电压、送丝速度、焊接过程时刻标定四种信号。由于数据采集卡同步采集的特点,从图中可以直观地看出它们的对应关系。图中的时间轴按照焊接过程顺序标定;纵轴有四个坐标,分别为焊接电流、送丝速度、标定信号和焊接电压。其中标定信号是数字量(0/5 V 高低电平表示);送丝速度信号由于是焊机的控制软件输出的数字量经过 D/A 转换而得到的,故该信号是从焊机的控制电路板上直接送到采集卡;另外两组信号(焊接电流、焊接电压)均为从相应的信号采集电路得到信号转换而成。在引弧阶段,开始时处于高空载电压,慢送丝状态;接触短路,电流开始上升;检测系统检测到焊丝与工件短路三次,在这段时间内送丝速度降为零,即不送丝,然后当焊机控制程序检测到此时的电弧电压落入设定的范围中一定时间后认为引弧成功,发出引弧成功的标定信号,同时,送丝速度变为焊接操作者



(a) Signal of arc-striking period



(b) Signal of welding process

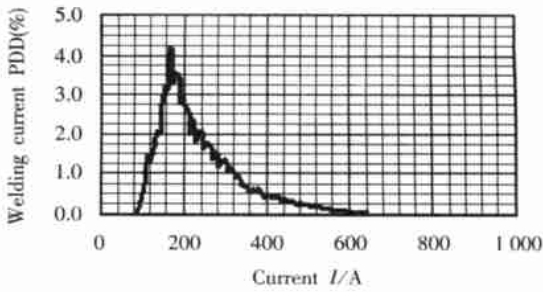


(c) Signal of arc-stopping signal

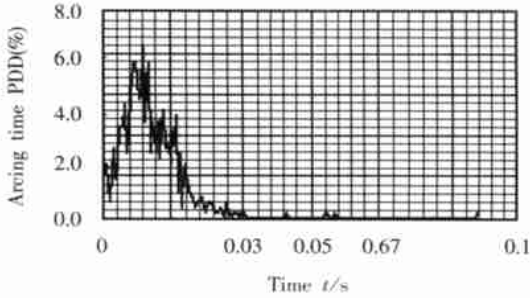
图 5 实时采集信号显示
Fig. 5 Real-time collected signal

的设定值,开始进入焊接过程。在收弧阶段,焊枪开关断开,此时从检测系统中可以看到焊枪的标定信号和送丝速度信号,熔滴继续过渡数次后,焊接结束。这样,通过该检测系统能够实时地观察焊接过程各个阶段的信号,根据电流电压的波形分析不同时刻发生的情况;同时也可判断焊机控制程序的运行是否正确,是否符合实际的焊接工艺。

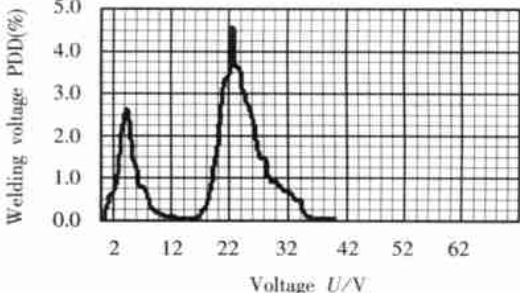
图 6 是通过系统的数据分析模块运算的焊接过程各主要参数概率密度分布图。从图中可以比较清楚地看到在焊接过程中,对于试验所采用的焊接规范参数而言,从焊接电流和焊接电压的 PDD (概率密度分布)图中发现,该规范参数的概率密度分布最大,这更加证明了这一公认的“经典规范参数”。对于在焊接电压 PDD 图中出现的两个波峰,分别表示短路状态和燃弧状态;而在燃弧时间 PDD 图和短路时间 PDD 图中出现的波峰则表示在这一焊接规范参数和采用的焊接条件下,相对稳定的短路过渡焊接过程中的燃弧时间和短路过渡时间。



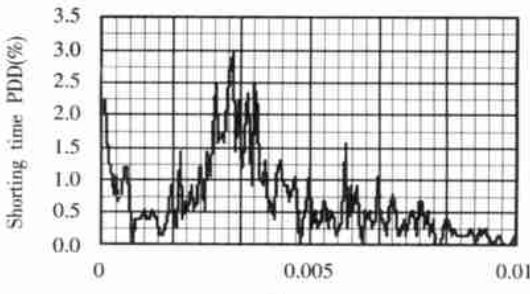
(a)



(b)



(c)



(d)

图 6 主要参数概率密度分布图
Fig. 6 Pimary parameters' probability density distributing diagrams

4 结 论

采用不同焊接规范时,以上建立的基于 Lab View 虚拟仪器的焊接参数高速实时采集分析系统都能够真实有效反映 CO₂ 短路过渡过程。其焊接电流、电压采集数据,以及计算所得的短路时间、燃弧时间、短路过渡频率等各参数误差小;运用所得数据

[下转第 50 页]

表 1 平板脉冲 GTAW 背面熔宽仿真值误差的对比

Table 1 Comparing emulation error of backside bead width in plate pulse GTAW

Error index	10 ~ 30 impulse		31 ~ 60 impulse		61 ~ 90 impulse	
	Sverage	Maxium error	Sverage	Maxium error	Sverage	Maxium error
	W_s/mm	W_m/mm	W_s/mm	W_m/mm	W_s/mm	W_m/mm
Conventional FC	0.15	0.36	0.21	0.45	0.14	0.41
FNNC basic on GA	0.08	0.16	0.14	0.29	0.11	0.27

4 结 论

- (1) 基于遗传算法的模糊神经网络控制器优化了控制参数和控制推理规则, 减少了系统超调量和系统误差, 提高了控制的鲁棒性, 具有比较强的抗干扰性。提高了控制器控制性能。
- (2) GTAW 的质量控制采用模糊神经网络控制技术, 避免了非线性多变量复杂系统建立数学模型的困难, 可直接用专家经验知识来控制。
- (3) 这种控制器具有一定的通用性, 还可以用于其它的焊接方法的质量控制中。

参考文献:

[1] 吴 林, 陈善本. 智能化焊接技术[M] . 北京: 国防工业出版社, 2000.

[2] 万德钧, 陈熙源, 程启明, 等. 基于遗传算法的模糊神经网络智

能控制器及其应用[J] . 系统工程与电子技术, 1992, 21(8): 48 ~ 52.

[3] 戚志东, 朱伟兴, 毛务本, 等. 一种基于 GA 的模糊神经网络控制器设计及应用[J] . 江苏大学学报(自然科学版), 2002, 23(1): 91 ~ 94.

[4] 刘 伟, 雷玉成. 神经网络在铝合金穿孔型等离子弧立焊中的应用[J] . 江苏大学学报(自然科学版), 2002, 23(4): 68 ~ 71.

[5] Parson T. Genetic-based new fuzzy reasoning model with application to fuzzy control[J] . IEEE Trans. on SMC, 1994, 24(1): 39 ~ 45.

[6] Alen Varsek . Genetic algorithms in controller design and tuning [J] . IEEE Transom SMC, 1993, 23(5): 1330 ~ 1338.

[7] 王耀南. 基于遗传算法的模糊神经网络控制[A] . 中国控制与决策年会论文集[C] . 沈阳: 东北大学出版社, 1996.

作者简介: 雷玉成, 男, 1962 年 11 月出生, 工学硕士, 教授。主要从事焊接工艺及设备、焊接过程控制及模拟、先进连接技术等方面的研究与开发, 发表论文 30 余篇。

Email: yckei@ujjs.edu.cn

[上接第 46 页]

的概率分布图及平均值、标准差等统计量来预测焊接过程质量。设计的系统由于其支持软件 Lab View 拥有丰富的库函数因而具备很强的扩展性, 对进一步研究或者产业应用都有很大的应用价值。

参考文献:

[1] 刘君华, 贾惠芹, 丁 晖, 等. 虚拟仪器图形化编程语言 Lab

View 教程[M] . 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001. 1 ~ 4.

[2] 李铸国, 田成昆, 吴毅雄. 计算机控制的 CO₂ 短路过渡过程分析和检测[J] . 电焊机, 2000, (10): 11 ~ 13.

[3] 蔡 燕. CO₂ 焊接短路过渡过程质量评估系统的研究[D] . 上海: 上海交通大学, 2001.

作者简介: 张 勇, 男, 1979 年 5 月出生, 博士研究生。主要从事焊接电源、焊接自动化及焊接过程信息的数字处理方面的研究, 发表论文 5 篇。

Email: zhangyong79@sohu.com