A-PDF Split DEMO : Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

PCI-9846 高速数字化仪在电火花放电特性测试中的应用*

葛惠民,陈基伟,李美珍,蔡炯炯
(浙江机电职业技术学院 电气电子工程分院,浙江 杭州 310053)

摘要:针对电火花放电间隙状态变化特性的检测与分析等问题,利用凌华 PCI-9846 四通道高速数字化仪建立了测量系统,讨论了电火花加工放电间隙放电特性测量方案,测量了不同加工状态下放电间隙两端的电压波形和电流波形,分析了空载、正常火花放电、过渡电弧放电和短路等不同加工状态下的电压波形特征及其特征参数。研究结果表明,正常火花放电、过渡电弧放电和短路等不同加工状态下间隙电压的阈值范围不同,且与加工电流有关;在设计伺服控制器时,应根据电源电压、加工电流、工件材料等来动态修正电压阈值。

关键词:PCI-9846 高速数字化仪;电火花线切割加工;放电特性测试
中图分类号:TP274⁺.2;TH89 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-4551(2012)11-1251-04

Application of high-speed digitizer of PCI-9846 in electrical discharge characteristic measurement

GE Hui-min, CHEN Ji-wei, LI Mei-zhen, CAI Jiong-jiong
(College of Electrical and Electronic Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract: Aiming at the electrical discharging characteristic with discharging gap, a measurement system was firstly constructed by using the 4-CH high speed digitizer of ADLINK PCI-9846. Then the method for measuring the electrical discharging characteristic with discharging gap was discussed, and the voltage waveforms and current waveforms between the two ends of the gap were measured. After the analysis of voltage waveforms and current waveforms, their characteristics for the machining states of zero load, normal electrical discharge, transient arc discharge, and short circuit were all acquired. The results indicate that the range of threshold voltage in the different machining states is different and associated with the current, then the range of threshold voltage must be corrected dynamically by the supply voltage, discharging current and workpiece material, which provides effective data for servo controller optimization.

Key words: high-speed digitizer of PCI-9846; wire cut electrical discharge machining(WEDM); electrical discharge characteristic measurement

0 引 言

加工放电间隙是电火花放电加工的关键工艺要素之一,直接影响机床加工的效率、加工稳定性以及工件表面光洁度等指标。通过对加工间隙两端放电电压波形、电流波形的检测与分析,可以了解在加工过程中电火花放电间隙状态的变化,并作为伺服控制的依据。因此,通过研究放电间隙状态与间隙电压、间隙电流之间的关系,将有助于建立放电模型,从而改进伺服控制的控制策略。

收稿日期:2012-06-01
基金项目:浙江省级重点科技创新团队资助项目(2011R09008-06);浙江省重点科技创新团队计划资助项目(2009R50008);浙江机电职业技术学院孵化基金资助项目(0411030203)
作者简介:葛惠民(1965-),男,浙江东阳人,教授,高级工程师,主要从事数控技术、智能控制技术等方面的研究. E-mail:ghm999@163.com

在放电间隙特性方面，伍俊等[1]应用极差分析法和方差分析法定量研究了高速走丝电火花线切割加工中放电间隙电压量的变化特性与加工中峰值电流、工件厚度及切割方向之间的关系，研究表明，放电间隙的电压随峰值电流增大而增大；贾志新等[2-4]分析了不同短路峰值电流的条件下，间隙电压、电流随时间的发展过程及其伏安特性，认为放电间隙的伏安特性曲线是非线性的，且只与放电间隙状态有关。

在电火花加工状态的识别方法方面，主要有平均电压法、平均电流法、加工电压峰值法、放电延时法、脉冲电压采样分类法、脉冲电流采样分类法、放电电流或电压带滤波分类法等，其中以平均电压法、加工电压峰值法最为常见。平均电压法基本思路是：对取样的间隙电压进行峰值检波、滤波处理，转化为直流电压信号，再经 V/F 变换转化为频率伺服信号，控制步进电机进给运动。其主要缺点是：由于线路电阻等因素的存在，取样电压与放电间隙的电压不完全一致，其误差随着电流的增大而增大，从而导致伺服跟踪不稳定，特别是在加工较厚工件时尤为突出。通过采用电压/电流双采样法，可改进上述平均电压法的缺点。

在伺服控制方面，李盛强等[5-7]把模糊控制技术用于电加工的伺服控制，从而改善了伺服控制性能。但首先要解决加工状态的数字检测，一般是采用阈值电压比较法，即设定短路阈值电压区间、正常火花放电阈值电压区间和开路阈值电压区间，以阈值电压作为比较器的参考电压，取样电压经过比较器输出开路脉冲、短路脉冲和正常火花放电脉冲，然后计算一定时间间隔内的正常放电波形的比例，并以此为伺服跟踪控制的依据。但是，要达到较好的控制效果，需要根据电源电压、放电电流对阈值电压值进行动态修正。

本研究探讨 PCI－9846 高速数字化仪在电火花放电特性测试中的应用。

1 放电特性检测的的基本原理

1.1 检测信号种类及其检测方法

为了准备判断加工状态，需要实时检测 4 路信号：间隙 AB 之间电压 u_1、间隙放电电流 i、上丝架电流 i_1、下丝架电流 i_2，被测信号和测试点位置如图 1 所示。间隙 AB 之间电压 u_1 不能直接测量，需通过测量取样点 PN 之间的电压 u_2 间接得到，R_1、R_2 为上下部分电极丝电阻。

间隙电压 u_1 的测量公式如下：

$$u_1 = u_2 - R \cdot i \tag{1}$$

其中：

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

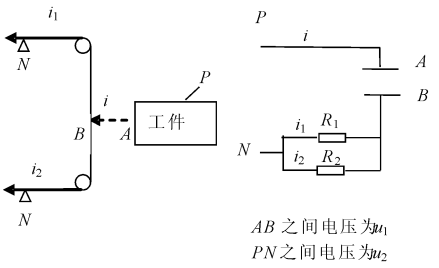

图 1 被测信号和测试点位置

式中：u_1—经过钼丝电阻压降补偿后的放电间隙之间的电压，与取样电压 u_2、电流 i，回路电阻 R 有关。

放电间隙的阻抗是反映间隙状态的一个重要的物理量。根据欧姆定律，间隙的阻抗为：

$$r = \frac{u_1}{i} = \frac{u_2 - Ri}{i} = \frac{u_2}{i} - R \tag{2}$$

式(2)中，钼丝回路电阻 R 将随着放电点位置的变化而变化。

本研究通过检测放电点位置的变化，可知是否存在集中放电现象。由图 1 可知，放电点 B 把钼丝分为两段，假设流过放电点上段的电流为 i_1，流过放电点下段的电流为 i_2，则有：

$$\lambda = \frac{l_1}{l_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{i_2}{i_1} \tag{3}$$

根据比值 λ，可得到放电点 B 点的位置。

1.2 信号检测和处理的难点及其解决思路

根据上述分析，检测电路需要同时测量 3 路模拟电压或电流信号。为了得到放电波形，测试系统每个通道的采样频率要大于 10 MHz。

(1)4 个被测模拟信号需要同步采样。为了计算动态阻抗，要求同时测量放电间隙两端的电压 u_2 和电流 i。上线架电流 i_1 和下线架电流 i_2 也要求同步采样。一般的数据采集卡是异步采样，PCI-9846 高速数字化仪具有 4 个模拟量测量通道，且是同步采样，每个通道配有一个高线性度的 16 位 A/D 转换器，信号带宽高达 20 MHz，可以满足上述要求。

(2)信号数据处理。为了得到间隙之间的放电特性，需要对采集数据进行处理。一般的数据采集卡只提供 SDK 函数和 OCX 控件。PCI-9846 高速数字化仪带有 DAQPilot 驱动软件，可快速完成数据采集任务。

2 放电特性测试方案设计

2.1 系统设计方案

测试系统主要由计算机、PCI-9846 高速数字化仪、降压电路和电流传感器组成，系统框图如图 2 所示。

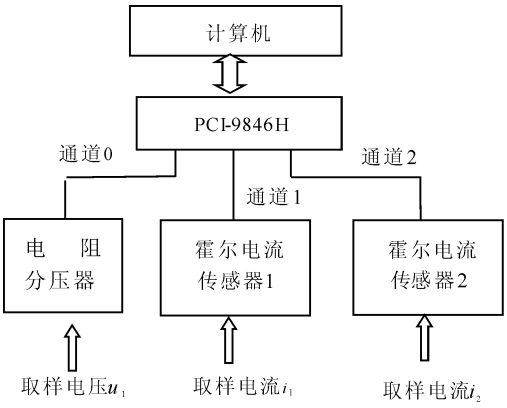

图 2　测试系统框图

被测脉冲电源电压峰值小于 100 V,脉冲宽度为 4 μs ~ 64 μs,电阻分压器采用 20∶1分压器,并加 5 V 稳压管嵌位。被测电流短路峰值为 10 A ~ 50 A,脉冲宽度 4 μs ~ 64 μs,电流传感器采用 LEM LA-55P 霍尔电流传感器,该传感器最大测量电流为 50 A,动态反应时间小于 1 μs,输出接口为电流型。

数据采集软件处理:本研究采用凌华 DAQPilot 采集电压和电流两路波形,并以 scaled data 格式保存波形数据,然后由专门的波形分析处理软件 DADISP 处理。

(1)建立测量任务。该方案中,采样模式选择模拟量输入-连续波形采样,设备类型选择 PCI-9846H,通道选择 AI0 和 AI1,其中通道 0 为间隙电压采样输入,输入电压范围为 ±5 V,输入接口阻抗为高阻抗;通道 1 为放电电流采样输入,电压范围为 ±1 V,输入接口阻抗为高阻抗。

采样时序设置:选择采样速率为 40 M,内部时钟源;触发模式选择 NONE。数据文件为二进制格式。

(2)开始测量并保存测量数据。开始测量并存储测量数据:开始测量,按"STOP"键和"FINISH"键停止测量并保存为 1. dat 文件。

2.2　离线波形数据分析。

本研究运行 DADISP,以外部数据文件方式打开测量数据文件 1. dat,并选择 Number of series 为 2,即输入 2 个通道数据。

读入数据到 *W*1 窗口,即通道 0 在 *W*1 窗口(即电压 u_2 波形),通道 1 在 *W*3 窗口(电流 *i* 波形)。*W*2 窗口 = *W*1-*R* × *W*3(即电压 u_1 波形),*W*4 窗口 = *W*1 · *W*2(即瞬时功率波形)。放电电压、电流、功率波形图如图 3 所示。

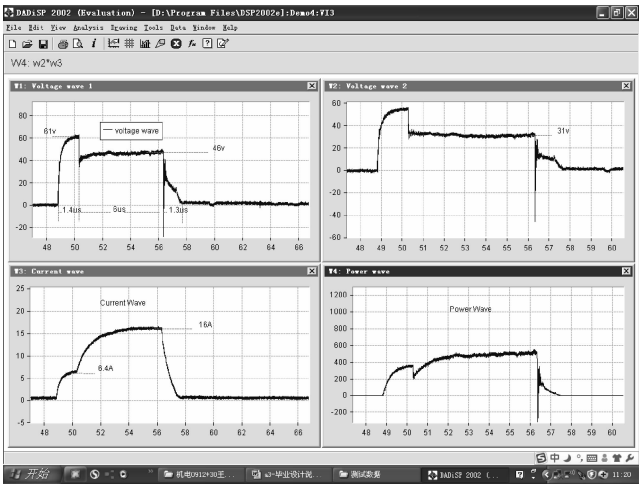

图 3　放电电压、电流、功率波形图

3　测试结果分析

本研究测试了测量放电间隙的电压波形和电流波形,以期得到一些加工状态的信息和放电间隙的特征。

3.1　不同加工状态下的间隙电压波形特征

不同加工状态下的间隙电压波形如图 4 所示。波形①为正常电火花放电波形,所占比例越高,加工效率也越高,其特征是有放电击穿延时,且电压波形上叠加了高频分量;波形②为空载电压波形,这种波形没有加工效果;波形③为不稳定电弧放电电压波形,通过伺服控制可转化为正常电火花加工波形;短路波形电压幅值较低,也无加工作用,应尽量减少短路波比例。

空载电压较高,一般与电源电压相近;短路电压较低,取决于加工电流和放电回路电阻,如钼丝电阻、送电块接触电阻、工件材料电阻等;正常电火花放电电压介于空载电压与短路电压之间。

对于正常电火花放电,放电间隙击穿后,电压迅速下降到维持电压,维持电压约为 30 V 左右,电压大小与电极材料、工件材料等有关。

3.2　正常火花放电电压波形动态特征

一个正常电火花放电电压波形的动态特征如图 5 所示。笔者利用 DADISP 的数据光标功能测得:空载脉冲电压 55 V(补偿前 61 V),脉冲宽度约 8 μs,击穿延时 1. 4 μs,放电维持时间约 6 μs,稳定后维持在30 V(补偿前 46 V)左右,峰值电流 16 A。

整个放电过程可分为 6 个阶段:击穿延时、击穿、火花放电、放电结束、间隙消电离、放电恢复。

(1)击穿延时(A-B)。间隙接近开路状态,直流电压在极短的时间内加于间隙两端,在放电间隙中形成一个电场。当电场强度达到一定程度时,导致阴极电

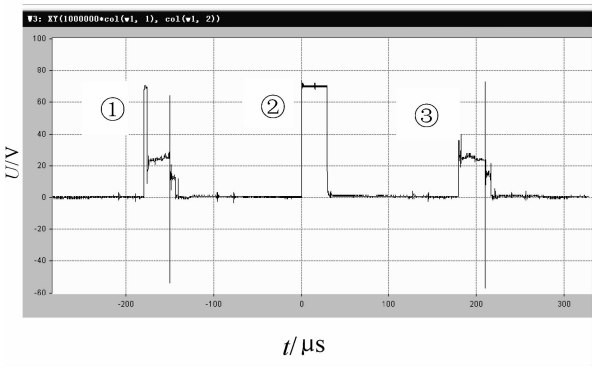

图 4 不同加工状态下的间隙电压波形

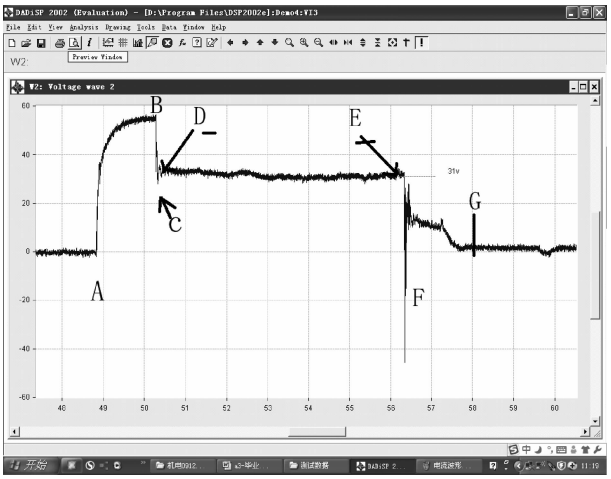

图 5 正常电火花放电电压波形特征参数测量(补偿后)

子发射;在阴极电子和液体介质中的带电粒子的共同作用下,使得间隙被击穿。

(2)间隙击穿(B-C-D)。在间隙被击穿时,间隙电流由零迅速增加,间隙电压迅速下降,波形表现为较大的振荡。这段时间是间隙放电由击穿向稳态工作维持阶段过渡。

(3)火花放电维持(D-E)。放电过程的大部分时间都处于这一阶段。此时电压、电流均在某一值附近以一定的幅度波动,直至外加方波电压的一个脉冲结束。

(4)放电结束阶段(E-F)。此时由于外加电源电压为零,间隙电流迅速下降至零,并反向增加变为负值。

(5)间隙消电离阶段(F-G)。反向间隙电流使得间隙因迅速消电离而恢复绝缘性能。G 点电压常为负值,负电压会加快电极的损耗,一般电源驱动电路都在输出端反并接快恢复二极管以加快消电离速度。

(6)放电恢复的最后阶段(G-A)。在这段时间内,两个电极上积累的电荷缓慢释放掉,间隙完全恢复绝缘状态。

4 结束语

本研究研制的 PCI-9846 数字化仪能够满足电火花放电特性的测量要求。测量及分析结果显示,正常火花放电、过渡电弧放电和短路等不同加工状态下的电压阈值范围是不同的,且与加工电流有关。因此,采用基于平均电压法的伺服控制时,必须根据加工电流对伺服控制电压进行修正,否则,加工厚工件时会因跟踪过快而断丝或加工薄工件时因跟踪太慢而降低加工效率;除了钼丝电阻压降,高电阻率的工件材料上的压降也会影响伺服控制,如采用基于电压阈值比较的伺服控制,也必须根据电流大小动态修正电压阈值。

本研究对单个正常电火花放电电压波形的进一步分析表明,正常火花放电与过渡电弧放电的区别主要在于是否有稳定的击穿延时。因此,可以通过检测击穿延时时间以判断是否处于过渡电弧放电状态,以便及时调整伺服控制策略,消除不稳定因素,保证加工稳定性。

在整个放电周期内,加工间隙内的能量分布及其迁移状况将直接影响加工效率和钼丝的损耗率,本研究对脉冲电源的设计有参考作用,然而有关极性效应的作用机理尚有待深入研究[8-10]。

参考文献(References):

[1] 伍 俊,李明辉. 电火花线切割加工中放电间隙电压变化特性[J]. 航空精密制造技术,2000,36(4):9-13.

[2] 贾志新,宋悦铭,谢志文. 电火花线切割加工中放电间隙伏安特性的研究[J]. 电加工与模具,2003(6):16-18.

[3] 佟 浩,李 勇,胡满红. 微小间隙火花放电的伺服控制特性实验研究[J]. 电加工与模具,2010(4):21-24.

[4] 陆永华,赵东标,云乃彰,等. 基于电流信号的电解加工间隙在线检测试验研究[J]. 中国机械工程,2008,19(24):2999-3002.

[5] 李盛强,周亚军,张 毅. 自适应模糊控制器在电加工间隙控制中的应用[J]. 机电工程,2008,25(1):96-98.

[6] 申 燕,张桂香. 一种电火花加工模糊间隙控制方法研究[J]. 制造技术与机床,2009(11):17-19.

[7] 林海波,许 琦. 微细电火花加工间隙控制方法[J]. 轻工机械,2010,28(1):70-72.

[8] 乔伟华,荣国秀,李洪洲. 超高精度电火花线切割机新技术[J]. 制造技术与机床,2005(7):44-46.

[9] 赵万生,康小明,吴 杰. 特种加工技术最新研究进展[J]. 电加工与模具,2011(s1):14-26.

[10] 马 伟. 电火花线切割加工电极丝损耗机理与实验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学机电工程学院,2010.

[编辑:张 翔]