

文章编号: 1673-3851 (2014) 05-0496-06

基于 PXI 和 LabVIEW 的含气沉积物声学测试系统设计

卢校山¹, 王英¹, 王强², 卢群²

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018; 2. 浙江省地矿勘察院, 杭州 310013)

摘要: 针对含气沉积物取样品在测试时难以保持原位状态的情况,设计了一套含气沉积物模拟及测试实验平台,采用 PXI 总线及 LabVIEW 技术设计了多参数测量及数据处理软硬件系统。系统主要包括选择 PXI 模块构建硬件系统,设计了与之匹配的超声波发射和接收电路,基于 LabVIEW 软件进行超声、温度、压力及位移数据的采集,对声学参数声速进行信号处理计算后显示计算结果。通过对现有沉积物样品进行声速测试对比实验,表明本测试系统与 RS-ST01C 非金属超声波测试仪声速测试结果一致,说明测试系统超声测量部分是可靠的。本测试系统的优势在于具有更好的扩展性和开放性。

关键词: PXI; 声学测试; 含气沉积物; LabVIEW

中图分类号: TH766 **文献标志码:** A

0 引言

浅层气在杭州湾、长三角、珠三角等区域广泛存在,主要为生物成因气,由河流携带有机质入海沉积,有机质在生物化学作用下产生气体,气体存储在孔隙较大的砂层中,砂层上覆小孔隙的盖层即可形成气体、砂、孔隙水三态稳定含气沉积物。含气沉积物通常具有分散分布、规模小、分布形状复杂、内部各要素之间动态平衡脆弱等特点。在含浅层气区域施工时常会引发工程事故^[1-2],同时浅层气的释放也对环境造成了污染,因此实施浅层气无损探测具有重要意义,然而目前还没有高精度的无损探测方法及设备投入勘察使用。

含气沉积物样品与其原位状态大不相同,因为取样过程必定造成气体逃逸,所以对样品的测试结果很难反应其原位特征。为此笔者设计了一套含气沉积物模拟及测试实验平台,试图模拟不同沉积物组分和气体含量,结合虚拟仪器技术开发了一套测试系统。虚拟仪器技术是 NI 公司提出的一种仪器设计理念。利用高性能的模块化硬件,结合高效灵

活的软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。本文采用 PXI 硬件平台,超声波发射接收电路,温度、压力、位移传感器等设备搭建了整体硬件结构,使用图形化编程语言 LabVIEW 作为软件开发平台,通过界面操作实现超声波的发射和接收以及温度、压力、位移数据的采集和显示,构建了声学测试系统^[3-4]。本系统可通过 LabVIEW 编程对采集到的信号做进一步分析、处理等^[5-7],具有很好扩展性与较高的性价比。

1 含气沉积物实验平台的设计

通过对杭州湾含气沉积物的总体了解,发现气体的成分主要为甲烷,占 90% 以上,其余为氮气、二氧化碳及少量一氧化碳,原位压力值在 0.04~0.39 MPa 之间。设计含气沉积物实验平台的主体部分压力容器的耐压为 10 MPa,拟向沉积物中充入甲烷、氮气和二氧化碳 3 种气体。设计了如图 1 所示的含气沉积物气体填充控制和压力监测平台。

含气沉积物实验平台由放置沉积物的压力容器、加气增压装置和抽真空装置三部分组成。抽真

收稿日期: 2014-02-21

基金项目: 浙江省科技计划项目(111329A4E12340)

作者简介: 卢校山(1988-),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要从事超声波测试技术及虚拟仪器研究。

通信作者: 王英, E-mail: wangying@zstu.edu.cn

空装置用于抽去沉积物中的空气;加气增加装置用于给沉积物加气,可以获得不同压力大小含不同气体的含气沉积物。

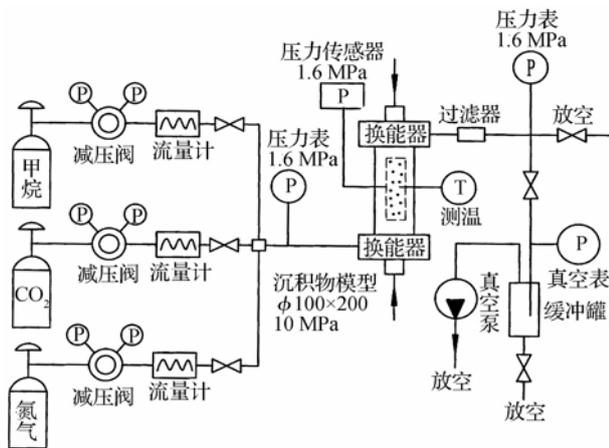


图 1 含气沉积物气体填充控制和压力监测平台

放置沉积物的压力容器是含气沉积物测试平台的被测主体,如图 2 所示,是一底面直径为 100 mm,高为 200 mm 的圆柱体,内壁吸声设计,用以吸收未在纵波传播方向上的杂散波,提高抗干扰性。压力容器上部顶板设计成可以移动以保证超声探头和被测沉积物样品严密耦合,最大移动距离 60 mm,利用位移挡板安放位移传感器;超声换能器安

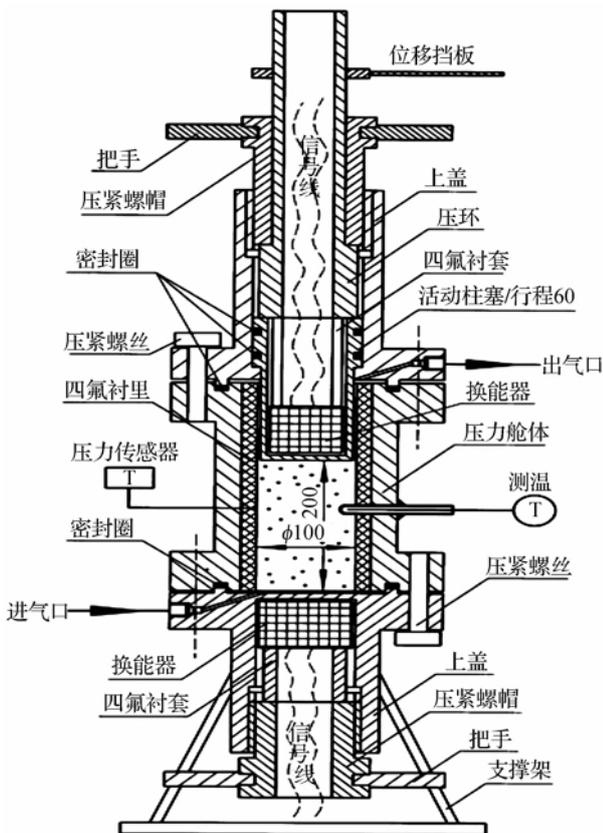


图 2 含气沉积物测试模型主舱

置于沉积物两端;温度、压力传感器的传输线引出口开在容器下方的 1/3 处,内部安放位置不影响声波传播;容器的进气口在最下方,出气口在上方,进气和出气气压均有压力传感器监测。

2 测试系统的硬件设计

PXI(PCI eXtensions for Instrument)是 PCI 在仪器领域的扩展,PXI 将 PCI 总线技术发展成适合于试验、测量与数据采集场合应用的机械、电气和软件规范,从而形成了新的虚拟仪器体系结构。通过选择 PXI 模块化仪器,即可构建一个低成本、高性能及灵活性的测试系统。

测试系统的硬件由 PXI 机箱、控制器和若干 PXI 模块组成,测试系统硬件框图如图 3 所示。

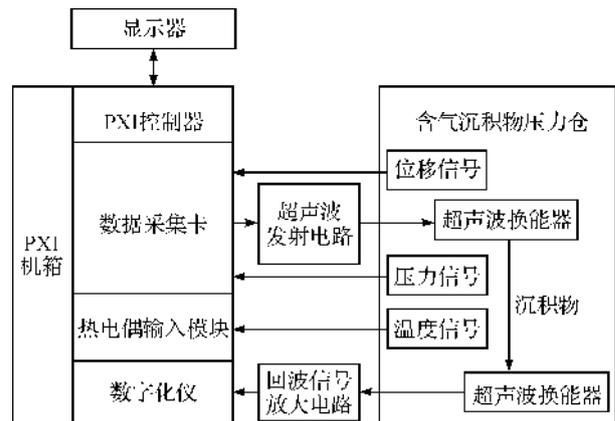


图 3 测试系统硬件框图

机箱选用 NI 公司的 8 插槽 PXIe-1062Q 机箱,控制器选用 NI 公司的 PXIe-8135 控制器,数据采集模块选用 NI 公司的 PXIe-6341,具有 16 路模拟输入,16 位分辨率,500 KS/s 的采样率;2 路模拟输出,16 位分辨率,900 KS/s 的采样率;24 条数字 IO 线;4 路 32 位计数器/定时器。数字化仪选用 NI 公司的 PXIe-5105。

PXIe-6341 数据采集卡与 SCB-68 屏蔽式 I/O 接线盒相连,通过接线盒中的螺栓端子实现 I/O 连接;PXIe-4353 热电偶输入模块与 TB-4353 接线盒相连;PXI-5105 数字化仪通过 SMB 接口实现信号的输入。

温度传感器采用 WRNT-13 探头式 K 型热电偶;压力变送器采用 QLPT-01,选择量程为 0~10 MPa;位移变送器采用 NS-WY04,行程为 100 mm。温度传感器引线连接至 TB-4353 接线盒,压力、位移变送器引线连接至 SCB-68 接线盒。

2.1 超声波发射电路的设计

在超声波换能器两端加上 100 V 以上的瞬时高

压脉冲即可发出超声波。发射高压脉冲通常是用预先充电到高压的电容突然放电来产生,该方案需要为电路提供 100 V 以上的直流电压,存在严重的安全隐患,本文设计了一种新型发射电路,5 V 低压供电,利用储能电感瞬间放电产生高压脉冲^[8],如图 4 所示。

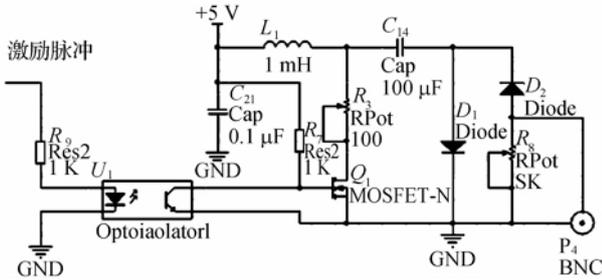


图 4 超声波发射电路

该超声波发射电路采用脉冲激励方式,激励脉冲通过与 PXIe-6341 数据采集卡相连的 SCB-68 接线盒引出,高电平为 5 V,低电平为 0 V。电路主要器件功能如下: U_1 为高速光耦 6N137,用于隔离数据采集卡和发射电路,场效应管 Q_1 为开关元件,电感 L_1 储能形成触发脉冲。当激励脉冲为低电平时, U_1 不导通, Q_1 的栅极为高电平, Q_1 导通, Q_1 相当于一个小电阻,与电阻 R_3 ,电感 L_1 串联,和低压电源一起构成回路, L_1 中的电流快速上升进行储能。当激励脉冲为高电平时, U_1 导通, Q_1 的栅极置低, Q_1 迅速关断, L_1 、 C_{14} 、 R_8 组成谐振电路快速放电,在电阻 R_8 上形成高压脉冲,可达 100 V 以上, D_1 、 D_2 起单向开关作用。

2.2 回波信号放大电路的设计

超声回波电压信号为微弱电压信号,一般为毫伏级,部分信号为几十微伏,必须对超声回波电压进行可变增益放大,将信号放大到 ± 10 V 范围内,以满足数字化仪模拟电压输入范围。单片 AD603 芯片只有 40 dB 的增益范围,几十微伏的信号经过 40 dB 增益放大后还是很微弱,不适合采集,因此采用两片 AD603 级联实现 0~80 dB 增益范围,放大后的信号通过 SMB 接口接入数字化仪实现信号采集。AD603 是一款可变增益、低噪声运算放大器,主要由前级无源宽带衰减器(0~42.14 dB),固定增益放大器和增益控制梯形网络三部分构成,可以实现 25 mV/dB 的线性增益控制。AD603 通过引脚不同连接能实现三种增益范围的选择,即 -11~31 dB(带宽 90 MHz)、0~40 dB(30 MHz 带宽)和 10~50 dB(9 MHz 带宽)^[9],AD603 连接电路如图 5 所示。

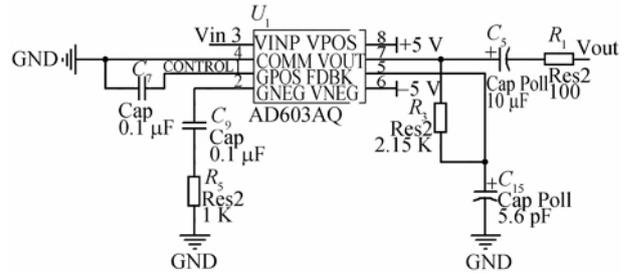


图 5 程控放大电路

两级电路完全相同,图 5 只显示了一级,以此进行说明。 V_{in} 是超声回波信号输入脚,CONTROL 为增益控制电压输入端, V_{out} 端与 FDBK 端通过一个 2.15 k Ω 的电阻连接,FDBK 端通过一个 5.6 pF 的极性电容接地,此接法可实现 AD603 芯片增益为 0~40 dB(30 MHz 带宽)。增益控制电压由 PXIe-6341 的 AO1 口输出, ± 0.5 V 的增益控制电压可以实现 0~40 dB 增益的线性控制,为了消除前级漂移直流电压的影响,前后级之间采用了 RC 交流耦合的方式,两级级联即可实现 0~80 dB 增益范围。

3 测试系统的软件设计

测试系统软件开发平台采用 NI 公司的图形化编程语言 LabVIEW,LabVIEW 与 Visual C++、Visual Basic 等文本类编程语言不同,它用图标、连线和框图代替传统的文本程序代码,采用数据流的方法来描述程序的执行,其界面风格与传统仪器类似^[10]。

结合测试系统功能要求,采用模块化编程思想,软件系统主要包括参数设置及信号输出模块、数据采集模块、数据处理模块和界面显示及数据存储模块。LabVIEW 功能框图如图 6 所示。

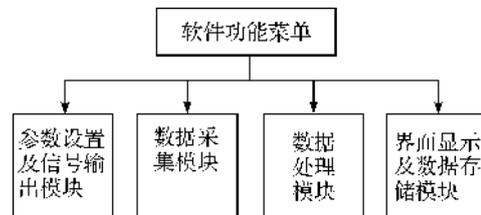


图 6 LabVIEW 功能框图

3.1 参数设置及信号输出模块

利用数据采集模块 PXIe-6341 内置计数器输出脉冲,可以选择哪个计数器来输出脉冲。本文选择的是 ctr0,可以设置输出脉冲的占空比、频率和脉冲个数。输出一个激励脉冲,通过超声波发射电路后可产生一个高压脉冲激发超声波换能器发出超声

波,这里设置的频率指的是这种激发的周期,脉冲个数代表激发的次数。当按下发射按钮时,输出配置好的脉冲。脉冲输出程序框图如图 7 所示。

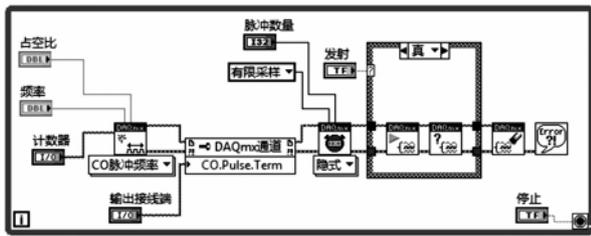


图 7 输出脉冲程序框图

放大电路的增益控制电压由 AO1 口输出,通过 DAQ 助手配置其为模拟电压输出,生成模式为 1 采样,最大最小值±5 V,当输出为 0.5 V 时,即可实现放大电路的最大增益 80 dB。

3.2 信号采集模块

超声回波信号采用 NI 公司的 PXIe-5105 数字化仪接收,配置触发方式为数字触发,触发信号输入端口为 PF11,计数器输出脉冲作为触发源,保证超声波发射时接收程序同时开始接收数据,PXI 系统提供了业内最低延迟,使采集到的回波信号具有较高的时间准确性。超声信号采集程序框图如图 8 所示。

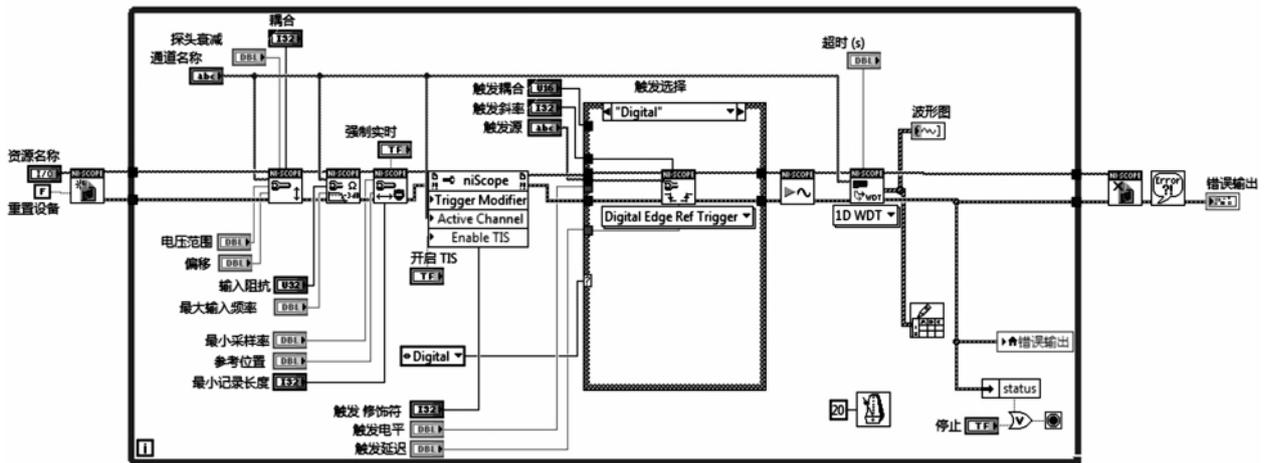


图 8 超声信号采集程序框图

温度数据通过 K 型热电偶接入 PXIe-4353 热电偶采集模块实现采集。压力和位移数据通过将压力、位移变送器引线接入 PXIe-6341 的 AI 口实现采集,在程序框图中通过配置 DAQ 助手实现温度、压力、位移数据的采集。

3.3 数据处理分析模块

数据处理是通过滤波、降噪等手段,得到我们想要的有用信号,数据分析是通过数学运算分析信号,使我们对信号有进一步的认识。LabVIEW 中内置了大量的数据处理和分析 VI,选用滤波器 VI 对信号进行带通滤波,频谱测量 VI 对信号进行频谱分析。

另外界面显示采用波形图控件来实现,数据存储采用写入测量文件 VI 来实现。

4 对含气沉积物样品的测试实验

4.1 试验样品

试验样品是国家海洋局第二海洋研究所提供的从浙江德清县下渚湖获取的含气沉积物样品(长度为 203 mm)。采用直接对样品进行测试的方法,以

验证本声学测试系统超声测量部分可靠性。

4.2 对比试验和测试结果分析

试验一:采用 RS-ST01C 非金属超声波测试仪进行测试。

a) 安装标称值为 40 kHz 的换能器,上电调试仪器,给两个超声换能器端面均匀涂抹耦合剂,贴合在一起测出系统零声时,即系统声时误差的修正值,所有测得的声时值都要减去这个值(由仪器自动完成)。

b) 将发射接收换能器分别放置于含气沉积物样品的两端,并且与样品端面耦合良好,保持发射换能器和接收换能器的中心近似在一条直线上,通过 RS-ST01C 进行发射和采集超声波,采到理想的超声波波形后,停止采样,仪器自动判读出首波的位置和声速。测试的结果如图 9 所示。

c) 从图 9 中读出声时为 191.4 μs,波速为 1.061 km/s。

试验二:使用本文设计的虚拟仪器声学测试系统测试样品。

a) 首先安装标称值为 40 kHz 换能器于含气沉积物两端,并且耦合良好。运行程序,并在发射信号

前面板设置脉冲个数为1,频率为1 kHz,这个频率是换能器被激发的频率,占空比为0.01,脉宽为10 μs 。通过调节占空比可以调节激发脉冲的脉宽,从而调节输出功率大小。

b) 点击发射按钮,发射预先设置好的超声波激励脉冲,调节输出增益控制电压的大小,观察接收到的波形,理想时,停止程序,测试结果如图10所示。

c) 直接从用户界面读出数据:温度 21 $^{\circ}\text{C}$,压力 0.1 MPa,首波时间为 192 μs ,声速为 1.057 km/s。

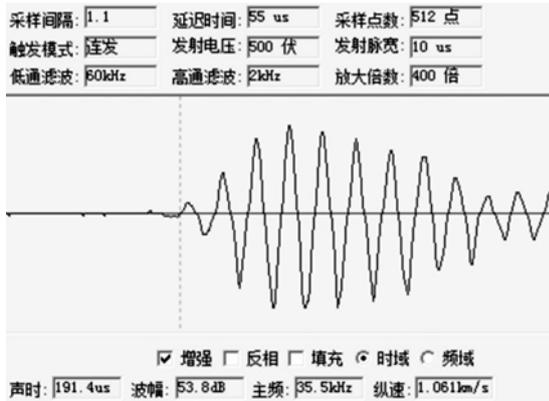


图9 RS-ST01C测试结果

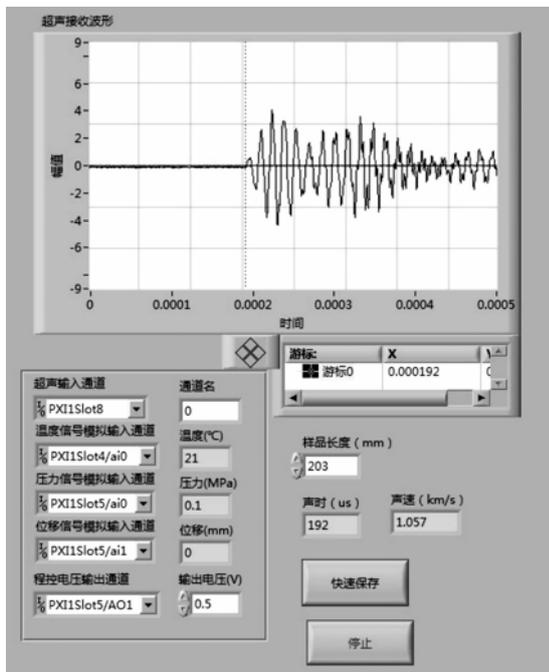


图10 虚拟仪器测试界面

4.3 测试结果分析

试验一采用的RS-ST01C非金属超声波测试仪由厂家在标准环境调试合格后出厂,声时误差为 $\pm 0.1 \mu\text{s}$,可进行可靠的声速测量。采用RS-ST01C测得的声时为191.4 μs 。

试验二采用本文设计的声学测试系统测量,测

得的声时为192 μs ,与RS-ST01C测得的声时相差0.6 μs ,两者测试结果十分接近,说明本文设计的声学测试系统测得的声速结果是可靠的。

5 结论

在无法获得准确含气沉积物样品的情况下,通过在实验室建立含气沉积物测试平台,可以对模拟的含气沉积物进行测试研究。利用虚拟仪器技术设计了含气沉积物声学测试系统,采用PXI硬件平台,设计了超声波低压发射电路,该发射电路具有体积小、低压供电、更加安全等特点,设计了两级AD603级联信号放大电路,经过放大电路后的信号满足数字化仪 $\pm 10 \text{ V}$ 的输入范围要求。通过LabVIEW图形化编程语言开发了软件,通过界面操作实现激励脉冲的输出,超声波信号的接收和温度、压力、位移数据的采集。设计了对比试验,测试结果表明本测试系统测得的声时与RS-ST01C测得的声时相近,验证了本测试系统超声测量部分的可靠性。由于含气沉积物的复杂性,本测试系统采用PXI硬件平台和LabVIEW开发,软硬件扩展性好,为后续实验及进一步研究打下了基础。

参考文献:

- [1] 陈宇良. 浅层气对工程的影响[J]. 水运工程, 2007(6): 25-29.
- [2] 朱瑶宏, 黄燕庆, 曾洪贤, 等. 杭州湾大桥南岸工程地质特征与浅层气分布[J]. 岩土力学, 2002, 23(S1): 215-219.
- [3] 闫纪红, 杨伟成. 基于PXI和LabVIEW的双板卡远程数据采集系统设计[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(7): 80-82.
- [4] 陈树学, 刘莹. LabVIEW宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [5] 林莉, 李喜孟. 超声波频谱分析技术及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [6] Lester W, Schmer J, Song S J. Models and Measurements[M]. New York: Ultrasonic Nondestructive Evaluation, 2007.
- [7] 郭前岗, 薛杏, 周西峰. 基于LabWindows/CVI超声缺陷信号频谱分析的设计[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(7): 211-218.
- [8] 孙凌逸, 高钦和, 蔡伟, 等. 低压电源驱动的超声波发射接收电路设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010(10): 77-79.
- [9] 陈涛. 基于ARM的超声波检测系统研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2008.

[10] 阮奇楨. 我和 LabVIEW[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.

Design of Acoustic Testing System for Gas-Containing Sediment Based on PXI and LabVIEW

LU Xiao-shan¹, WANG Ying¹, WANG Qiang², LU Qun²

(1. School of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Mineral Exploration Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China)

Abstract: Aiming at the problem that gas-containing sediment sample is difficult to maintain in-situ state during the test, a platform for gas-containing sediment simulation and testing experiments is designed. LabVIEW and PXI bus are used to design multi-parameter measurement and data processing soft and hardware system. PXI module is selected to construct hardware system. Circuits for transmitting and receiving ultrasonic waves are designed. Ultrasound, temperature, pressure and displacement data are collected on the basis of LabVIEW software. After signal processing and calculation of acoustic parameters and sound velocity, the results are shown. Contrast experiments of sound velocity testing of existing sediment samples indicate the testing system has consistent testing results with RS-ST01C nonmetal ultrasonic tester. This shows ultrasonic measurement section of the testing system is reliable. The advantage of this testing system is that it has better expansibility and openness.

Key words: PXI; acoustic testing; gas-containing sediment; LabVIEW

(责任编辑: 陈和榜)