

基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术 在无损检测中的应用

李 铁, 刘时风, 李路明

(清华大学 无损检测工程技术中心, 北京 100084)

摘 要: 简单介绍虚拟仪器的概念, 讲述基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术, 并给出了其在无损检测领域中成功应用的具体例子。

关键词: 虚拟仪器; 无损检测; 软件

中图分类号: TG115.28 文献标识码: A 文章编号: 1000-6656(2001)06-0240-03

THE APPLICATION OF LabVIEW-BASED VIRTUAL INSTRUMENT TECHNIQUE TO NONDESTRUCTIVE TESTING

LI Tie LIU Shi-feng LI Lu-ming

(NDT Center of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract The concept of virtual instrument(VI), LabVIEW-based VI technique and practical applications of the technique to nondestructive testing are described.

Keywords: Virtual instrument; Nondestructive testing; Software

1 虚拟仪器的概念

无损检测离不开检测仪器。随着检测要求的提高, 被测信号越来越复杂, 检测过程要求智能化, 操作过程要求傻瓜化, 各种先进信号分析方法被引入了检测仪器。在决定仪器性能高低方面, 软件在很大程度上超过了硬件, 于是出现了虚拟仪器的概念。

虚拟仪器用 NI 公司(National Instruments Corp.)的话就是“软件就是仪器”。它是在通用计算机环境中, 依托功能强大的处理单元和高速的数据总线, 利用 LabVIEW 等虚拟仪器软件平台, 在屏幕上构建与真实仪器类似的可视化软面板, 通过软面板上的虚拟控制件控制底层硬件, 用功能强大的软件来完成信号的采集、(实时或事后)分析、显示和存储, 并给出检测结果。

虚拟仪器与传统仪器的比较见表 1。

2 LabVIEW 和虚拟仪器

为了使虚拟仪器的设计更加方便和易于扩展,

表 1

传统仪器	虚拟仪器
功能由仪器制造商定义并固定	功能由用户定义
硬件是关键	软件是关键
系统封闭, 与其它仪器设备连接受限制	基于计算机的开放系统
价格高, 开发维护费用高	价格低, 软件结构可节省开发和维护费用
技术更新慢(周期 510a)	技术更新快(周期 12a)
图形界面小而呆板, 不友好	友好的中英文图形界面
	仪器通用化和网络化

一些大型的仪器公司和研究机构都推出了相应的软件平台系统, 其中运用较为广泛的是 NI 公司的 LabVIEW 和惠普公司的 HP VEE。

同传统的顺序化编程语言相比, LabVIEW 是图形化的开发调试和运行程序的集成化环境, 是一种编译型图形化编程语言。

2.1 LabVIEW 与图形化编程

LabVIEW 最大的特点就是图形化编程。其程序被叫作“可视化仪器”(VIs), VIs 由三部分组成, 即前

面板(panel)、块状图表(diagram)和图标/连接口(icon)。

前面板用于人机交互,也即控制参数的设定(入口)和输出结果的显示(出口)。程序员可应用各种与真实仪器前面板相当类似的控制端和显示端,如旋钮、开关、按键和图形等来“画”出自己想要的面板,而无需任何编程。

每个前面板有一个对应的块状图表,它定义了入口和出口之间的数据流向,也即是 LabVIEW 程序的执行顺序。编程的主要工作也正在于此,但是由于 LabVIEW 采用图形化编程,使用图标表示功能模块,图标间的连线表示在各功能模块间的数据传递。所以编写程序时,只需从功能模块中选用不同的函数图标,然后再以线条相互连接即可。整个编程运用流程图式的语言来“画”出源代码,使整个程序如同流程图一般简单、直观,避免了传统程序语言线性结构和严格语法的困扰。

图标/连接口以图标来代表在上级虚拟仪器的块状图表中的子虚拟仪器,而连接口终端决定了流入和流出子 VI 的数据流。

图 1 显示的就是一个简单的 LabVIEW 程序。它首先生成两个不同幅值不同相位的正弦信号,并

将其叠加产生一个复杂信号,然后再分析其幅度谱和相位谱。

2.2 LabVIEW 与硬件的接口

LabVIEW 本身提供了超过 40 个制造商的超过 400 个仪器驱动器。如果用户使用的是这些硬件,只需其提供的 DAQ Wizard 功能组合几个数据分析、数据陈述和用户界面子 VI 即可快速、容易地创建自己的虚拟仪器。如果不是,LabVIEW 还提供了通用的硬件接口(包括 IEEE488 (GPIB), RS232/422 和 VXI,以及插入式的 A/D, D/A 和数字式 I/O 板)。任何提供了 Windows 驱动程序(DLL, VXD)的硬件都可在 LabVIEW 下正常工作。

2.3 LabVIEW 的分析功能

LabVIEW 自身包含超过 170 种分析功能,包括信号发生/仿真、数字信号处理、数字滤波器、时间-频率合并分析以及脉冲/入口探测等。

此外,用户还可自己编写 C 和 Matlab 代码实现用户特定的功能,然后直接嵌入 VI 中(分别对应于 CIN 和 Matlab Script),当作一子 VI 来运行。

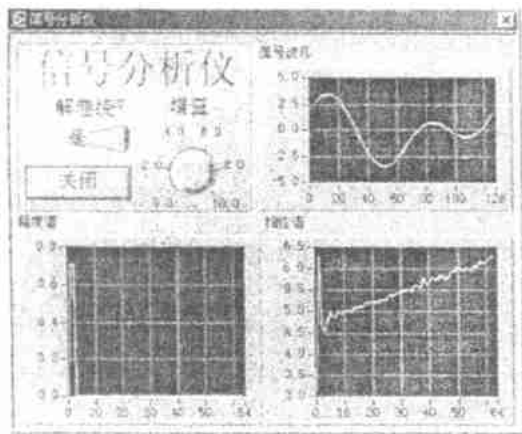
3 基于 LabVIEW 的虚拟仪器在无损检测中的应用

从 1997 年开始,我们实验室就开始尝试将 LabVIEW 引入无损检测数字化仪器,经过几年的努力,在运用 LabVIEW 进行主动发射信号、被动采集信号、和下位单片机通讯并组成网络化、先进分析方法的 C 语言和 Matlab 语言编制嵌入等方面都取得了较好的成果,并已成功地运用到实际检测当中。

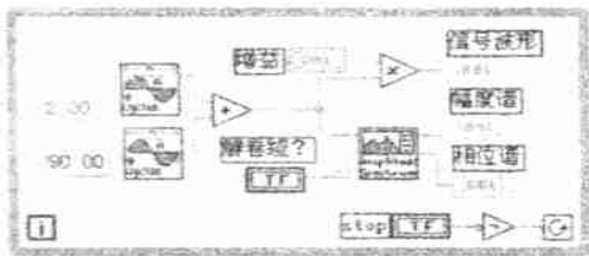
3.1 管道泄漏声发射检测定位系统

近年来,由于质量问题、管龄增长以及不可避免的腐蚀和磨损等自然或人为损坏等原因造成管道的泄漏而引发的运输、城市供水和供气等管道系统的事故不断发生。因而研究灵敏而可靠的泄漏检测方法,以求及时发现问题,进行抢修处理,从而减少事故带来的损失,已经显得越来越重要。

我们采用了声发射技术来组建我们的管道泄漏检测系统。该系统的总体结构如图 2 所示。两个声



(a) 前面板



(b) 块状图表

图 1 基于 LabVIEW 的虚拟仪器的简单例子

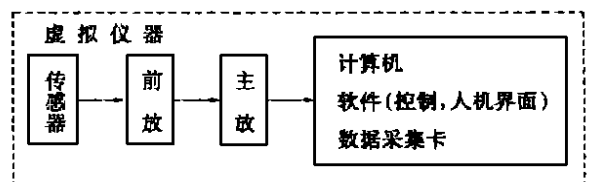


图 2 虚拟仪器总体结构框图

发射传感器在不同的位置(最大间距可达百米)分别采集由泄漏激励出的在管壁中传播的声发射信号, 经由前置放大器放大后, 通过同轴电缆长距离传输至主放大器, 再接入 PCI 总线高速采集卡; 仪器软件采用 LabVIEW 的 DLL 库接口功能实现对采集卡的控制并采集信号; 利用 LabVIEW 提供的信号分析功能判别泄漏, 并利用 CIN 节点功能将用 C 语言编写的能量定位算法嵌入 VI, 确定泄漏点的位置。图 3 是仪器前面板, 上方为定位结果, 下方为两个通道的采样信号波形(图中测试泄漏点在距 2 号探头 10% 探头间距的位置)。

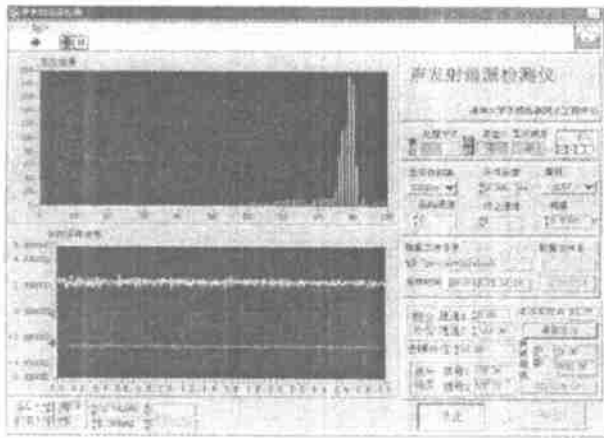


图 3 声发射泄漏检测仪前面板

我们与北京某工厂合作, 建立了一个带弯头的长达百多米的局部地理管道系统, 在不同压力、不同距离、不同介质、不同泄漏量的情况下对系统性能进行了现场试验, 取得了较好的效果。对于管道压力为 $2-10\text{kg/cm}^2$ 的小泄漏孔($\phi 1$ 和 2mm)流体(气体和水)泄漏, 在测试探头远离泄漏点(约 80m)时, 也能识别出泄漏, 识别正确率在 80% 以上。对于单点泄漏, 定位精度可达两探头间距的 $5\% \sim 7\%$ 。

3.2 声-超声复合材料检测系统

声-超声技术是一种新兴的动态无损检测技术, 其主要原理是通过分析采集到的通过材料内部有缺陷、有损伤或失效部位的调制声信号, 来提供有关材料内部缺陷和性能的信息。

本系统采用 ISA 总线的 PRC35 脉冲发射卡作为主动发射超声脉冲信号设备, 采用 LabVIEW 的 DLL 库接口功能进行脉冲发射频率及发射能量等参数的控制; 采用 PCI 总线结构的信号高速数据采集卡作为采样设备, 同样采用 LabVIEW 的 DLL 库接口功能实现采用参数的控制; 采用 Matlab 编写信号分析算法并利用 LabVIEW 的 Matlab Script 功能将算法嵌入

VI, 形成统一的整体。

利用本系统, 我们成功地检测了由合作单位提供的蜂窝结构复合材料和新型 32 层碳纤维增强复合板中的脱胶、分层、胶层疏松和气孔等缺陷, 得出了缺陷信号的特征参数。图 4 为该系统的前面板。

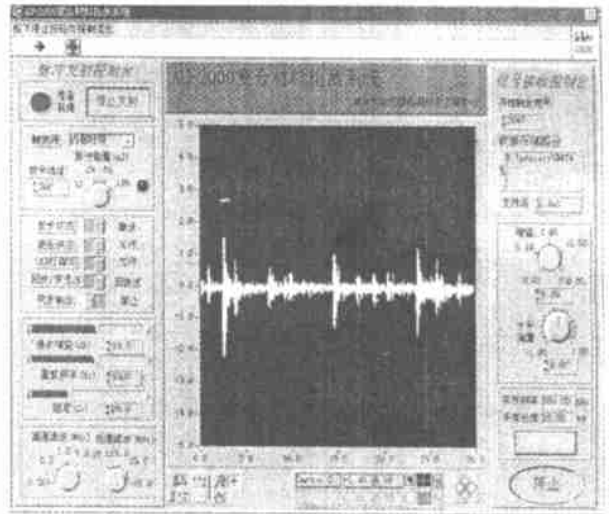


图 4 声-超声复合材料检测系统前面板

3.3 三峡船闸监测系统

该系统是针对三峡永久船闸坝体稳定性监测的工程需要而研制的专用声发射监测系统, 实现了三峡永久船闸坝体内部活动状况的长时间连续监测。

系统下位机采用 8051 系列单片机采集信号, 上位机采用 LabVIEW 的 Instruments I/O 功能实现 RS-485 总线通信模式的集散控制网络化结构。一台上位机可同时控制位于不同地点(最远相距几百米)的 810 台下位机, 实现了多通道远程实时采集、高速传输声发射波形信号。

4 总结

LabVIEW 的图形化编程使得基于其上的虚拟仪器具有设计开发直观简单、逼真界面易学易用、硬件支持结构开放、分析方法功能强大等特点, 它是检测仪器发展的一种趋势, 在无损检测领域中得到了较好的运用, 并将得到更好的运用。

参考文献:

- [1] 陈隆道, 周 箭, 许 昌. 虚拟仪器——测试技术的新领域[J]. 科技通报, 1999, (1): 24-29.
- [2] 崔 建. 管道泄漏声发射检测方法 & 检测系统的研究[D]. 北京: 清华大学, 2000.

(下转第 248 页)

标,以表 2 中 R1R6 试样的超声声速数据为横坐标进行线性回归分析,线性相关系数 $r = -0.96$, 超声声速与平均晶粒尺寸线性相关,采用最小二乘法进行直线拟合,其直线方程为

$$G = -588.41V + 3461 \quad (1)$$

式中 G ——试样的平均晶粒尺寸, μm

V ——试样的超声声速, km/s

R1R6 试样的平均晶粒尺寸和超声声速的关系曲线如图 3 所示。图中,带数据点的曲线为实际测试数据点的连线,而直线为线性回归曲线。

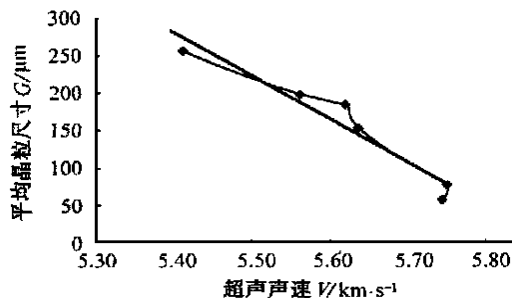


图 3 奥氏体不锈钢试样的超声纵波声速与平均晶粒尺寸的关系曲线

对待测试样 T1T3,其物理金相实际测量的晶粒尺寸值与通过对参考试样 R1R6 的线性回归分析值表达式(1)计算所得的晶粒尺寸值见表 4。

表 4 待测试样晶粒尺寸

试样编号	超声测量声速值/ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	式(1)计算的晶粒尺寸/ μm	金相法测量的晶粒尺寸/ μm
T1	5.615	157.02	205.64
T2	5.550	195.32	210.54
T3	5.745	80.58	59.86

2.2 数据误差分析

2.2.1 超声声速的测量误差分析

超声声速的测量误差由超声波检测仪对超声波在奥氏体钢试件中的传播时间的测量精度及试样的尺寸测量精度决定。由于仪器的时间测量精度为 1ns ,而试样的尺寸测量精度为 0.01mm ,对纵波声

速为 56km/s 的材料,由如下误差传递关系式可计算出声速测量的误差

$$\sigma_V = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial d}\right)^2 \sigma_d^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)^2 \sigma_t^2} \quad (2)$$

经计算,误差为 $\pm 0.71.0\text{m/s}$ 。

2.2.2 平均晶粒尺寸测量的误差分析

采用截距法对其晶粒分布进行统计学测量,试样的平均晶粒尺寸值为三个有代表性的视场平均值,每一试样晶粒尺寸测量的平均值、标准偏差、最大值和最小值如表 3 所示。

3 结论及说明

(1) 奥氏体不锈钢的平均晶粒尺寸与超声声速值呈线性关系,且平均晶粒尺寸越大,超声声速值越小;通过测量不同热处理状态奥氏体不锈钢试样的声速值,建立超声声速与平均晶粒尺寸的关系,可评价试样的晶粒尺寸值。

(2) 本文的超声声速与平均晶粒尺寸的线性回归关系表达式(1)仅适用于特定的材料。

(3) 由于超声声速测量方法确定的晶粒尺寸是对整个试样检测部位(即超声声束通过部分)的整体行为,而物理金相法测量的平均晶粒尺寸是对某一检测面的统计测量结果。因此,由于测试原理存在差异,将导致测试结果的差异。但作为一种无损测试方法,可对实际工件材料的晶粒尺寸作出评价。

参考文献:

- [1] Palanichamy P, Joseph A, Jayakumar T, et al. Ultrasonic velocity measurements for estimation of grain size in austenitic stainless steel [J]. NDT & E International, 1995, 28(3): 179-185.
- [2] 美国无损检测学会编《美国无损检测手册》译审委员会译. 美国无损检测手册·超声卷[M]. 上海: 世界图书出版公司, 1996.
- [3] 北京市技术交流站编. 超声波探伤原理及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.

(上接第 242 页)

- [3] 王 勇. 声-超声复合材料系统的研究[D]. 北京: 清华大学, 2000.
- [4] Jamal Rahman. Graphic object-oriented programming with LabVIEW[J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research (Section A), 1994, 352(1-2): 438

- 441.

- [5] Heimrichs G, Rogen H. Using LabVIEW for the digital signal processing systems simulation of the ultra slow extraction at COSY[J]. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research (Section A), 1994, 352(1-2): 449-454.