

# 基于 LabVIEW 的海底沉积物超声检测系统信号处理

吕妙莉, 王 英, 王 宁, 卢校山

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 基于虚拟仪器的信号处理程序直观、易懂,有利于专业测试人员掌握,代表了未来仪器技术的发展方向。采用虚拟仪器硬件平台和 LabVIEW 软件开发平台,为小尺度沉积物声学测试系统的信号处理编写了开放的信号分析与数据处理软件。由虚拟仪器硬件平台采集卡完成超声信号的采集工作,编程读取信号初至,并设计和改进了判读方法,利用虚拟仪器 LabVIEW 编程实现原始信号滤波、相关分析、频谱分析等信号处理功能,使沉积物声学特性的测量和计算成为一体,提高了效率,使声信号信息的提取更为直观、准确。

**关键词:** 沉积物超声检测; 虚拟仪器; 相关分析; 频谱分析

**中图分类号:** TH766 **文献标识码:** A

## 0 引 言

虚拟仪器是一种可以按照仪器需求将高性能模块化硬件和高效灵活的软件结合起来完成各种自动化测试和测量的系统<sup>[1]</sup>。目前,在这一领域内,使用最广泛的计算机开发软件平台是美国 NI 公司的 LabVIEW,它是一种标准图形化编程软件<sup>[2]</sup>,使用图形语言代替传统语言,编程界面形象直观;它提供的各种图形控制元件代替传统仪器的操作面板;内置的各种函数,几乎可以完成经典的测试信号处理的全部功能<sup>[3]</sup>。

海底底质声学特性<sup>[4]</sup>一直是海洋地质调查、海洋渔业、潜艇、水雷、水下通讯等领域研究的重要内容。海底物理实验室测试系统是模拟原位进行实验室测试的系统,其原理是为无扰动取样的样品还原海底的温度、压力等真实环境,即对已经取到的沉积物样品按其所在海域和水深,实施温度和压力控制模拟原位测试时的海底环境,在该环境下利用声学测试系统得到相应环境下沉积物样品的声学特性。本文所述工作就是该声学测试系统的一部分,完成该系统采集得到的声学信号的数据处理软件开发,

针对小尺度模型的声学信号去噪处理,尽量减小尺度测量的边缘效应和声干扰噪声信号。该测量系统采用虚拟仪器硬件平台和 LabVIEW 软件开发平台,为小尺度沉积物声学测试系统的信号处理编写了信号分析与数据处理软件,使沉积物声学特性的测量和计算成为一体,提高了效率,使声信号信息的提取更为直观、准确。因为 LabVIEW 是一种直观的图形编程语言,专业测量人员易于使用,假以时日甚至可以自己做些必要的修改,因此程序编写成开放式,易于专业人员的后续改进。

## 1 小尺度沉积物声学测试系统及测量原理

### 1.1 小尺度沉积物声学测试平台介绍

小尺度沉积物声学测试系统由温压可控舱、压力控制器、温度控制器和虚拟仪器平台组成。温压可控舱由舱盖、活动加压柱塞、超声波换能器等零件组成。换能器安装在舱盖及活动加压柱塞的孔内,沉积物通过安装在舱盖上的沉积物托架固定。手动泵压力就是柱塞施加在沉积物上的压力。通过压力控制器控制舱内压力,温度控制器保持温度恒定。如图 1 所示。

收稿日期: 2012-05-16

基金项目: 国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项资助(JT0802);海洋公益性行业科研专项经费项目(200805005);浙江省自然科学基金项目(Y1080690)

作者简介: 吕妙莉(1988-),女,浙江缙云人,硕士研究生,主要从事超声波测试技术及虚拟仪器的研究。

通讯作者: 王英, E-mail: wangying@zstu.edu.cn

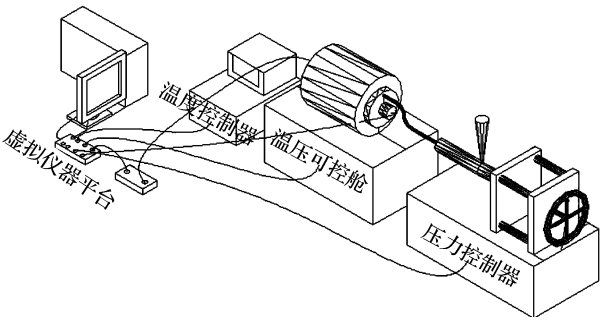


图1 小尺度沉积物声学测试系统

1.2 声速测量原理

按沉积物样品所在海域环境,实施温度和压力控制模拟原位测试时的海底环境。虚拟仪器平台控制发射超声波信号<sup>[5]</sup>,声信号经过沉积物样品后由匹配的换能器接收,信号经由超声信号调理设备后被虚拟仪器硬件信号采集平台获得,之后通过 LabVIEW 编程获得、成图。图 2 为经过沉积物样品的超声直达波信号,在图上可以判断出超声信号在样品中的旅行时间,经下式<sup>[6]</sup>计算得到该样品在此环境下的声速。

$$V_P = \frac{L}{(t - t_1 - t_0)} \tag{1}$$

式中  $V_P$  为声速,  $L$  为样品长度,  $t$  测量所得的声波穿透时间,  $t_1$  为系统延时,  $t_0$  为声时修正值。

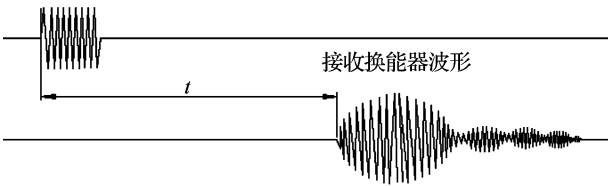


图2 首波时间说明图

2 自动判读

脉冲发射和接收采用同步测量技术,同步测量下的所有通道不仅是在同一时刻开始,而且他们的采样率和更新率都相同,在技术上通常共用同一个时钟信号并在同一时刻开始。所以只要将接收到信号的時刻减去发射信号的時刻就是超声波旅行时间。

原位测试系统中 8 个声学水听器沿着重力取样管等距排列,由于各个水听器的排列位置的不同,导致发射和接收的距离不同,所以接收信号的起跳时间都是不同的,为了便于信号的后续分析与处理,要将 8 个信号的起跳时间调整一致。因为在读取首波时间时已经找到了起跳时间点,所以只要在该时刻加一个计数器,记录所需的时间,再定义一个延时,

延迟的时间就是信号发射之前的时间。经过延时后,已经截掉了前面的噪声信号,波形显示的就是接收到的有用信号。所有的信号分析处理将在这个基础上实现。

传统的方法是采用经验法来读取首波时间。经验法没有一套固定的方法和步骤,具有很大的人为性,要考虑的因素很多,用起来比较花时间,而且误差大、不可靠,刚接触的人员要花一定的时间和精力才能摸索到。所以作者在前人的基础上改进了自动判读。自动判读程序流程图如图 3 所示,LabVIEW 程序框图如图 4 所示。

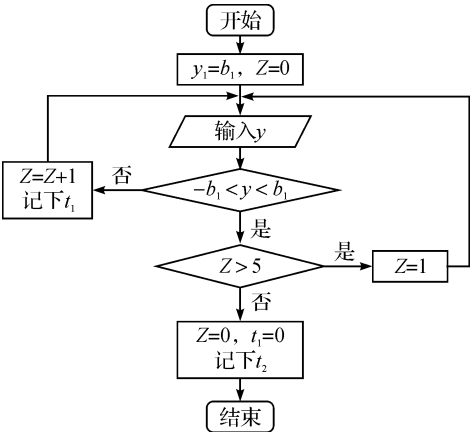


图3 流程图

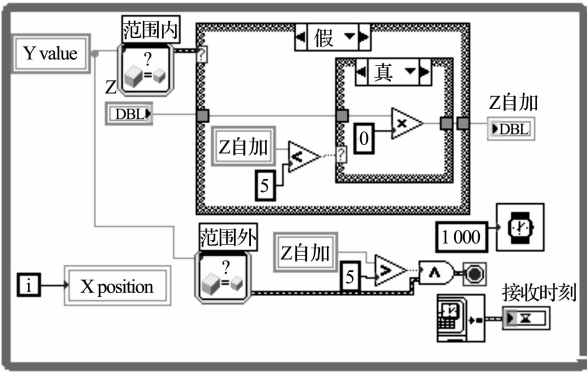


图4 首波时间程序框图

流程图中的  $y$  为输入信号的幅值,  $z$  为一个中间存储单元,信号的发射时刻记为  $t_1$ 。根据经验先设定一个阈值  $b_1$ ,噪声信号都是落在这个阈值范围内。检测输入信号的幅值是否是噪声,若信号落在这个阈值范围内,则第一层条件判断为真,说明是噪声信号;若超出这个阈值,则说明接收到的可能是有效信号,继续判断下一个  $y$  值。若下一个  $y$  值还是超出阈值  $b_1$ ,则继续判断。判断多个  $y$  值之后,若  $y$

值还是落在阈值范围之外,则此信号为有效信号,第一个  $y$  值落在阈值外这个时间点定为信号接收时刻,记为  $t_2$ ;若在这几次判断中,有  $y$  值落在阈值范围内,则接收到的是强噪声信号,予以清除。 $t_2-t_1$  就是旅行时间  $t$ ,即为超声信号经过沉积物样品的时间。精度可达到示波器精度,甚至更高。

3 相关分析和频域分析

相关分析是研究现象之间是否存在某种依存关系,并对具体有依存关系的现象探讨其相关方向以及相关程度,是研究随机变量之间的相关关系的一种统计方法。由于相关变量之间不存在确定性关系,因此,在生产实践和科学实验所记录的这些变量数据中,存在着不同程度的差异。

3.1 自相关

自相关函数反映信号自身取值随自变量时间前后变化的相似性,通过自相关谱可以找出被噪声干扰的信号中的周期成分。

假设有 8 路输入信号  $x_i(t)(i=0,1,2\cdots7)$ ,经数据采集模块采样后得  $x_i(n)$ ,相应的输入序列为:

$$X=[x_0(n)x_1(n)x_2(n)x_3(n)x_4(n)x_5(n)x_6(n)x_7(n)]^T$$

信号自相关后的图形见图 5 所示。实验表明,自相关图里的周期与信号发射的频率能对应起来。

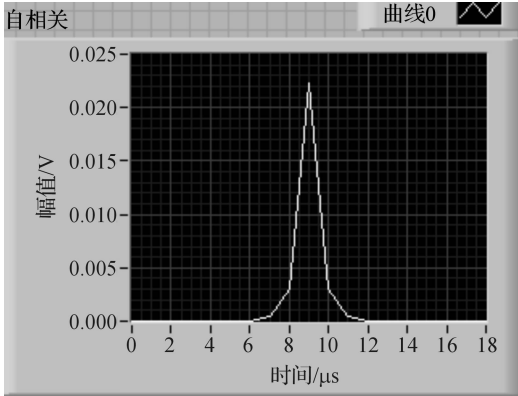


图 5 自相关图

3.2 互相关

互相关函数则描述了两个信号之间的相关情况或取值依赖关系。通过互相关函数谱,可以看出两个信号之间的相似程度和在哪个频率点上最为相似。总共有 8 路信号,两两组合共有 28 对两两不相关的信号,所以共有 28 组互相关波形图。采用条件选择,在前面板上选择两路相关信号,读取彼此的互相关波形图。通过控制多路信号的同步发射,保证传感器接收到的信号一致,信号之间进行互相关运算,具有平均效应,可以减小尺度样品测量接收传感

器产生的边界效应。

信号互相关后的图形见图 6 所示。两个接收换能器接收到的信号为同一个声源发出,在波形特征上具有一定的相关性。实验证明,各个通道接收到的信号具有很好的相关性。若不相关,可以直接得出异常数据的存在。

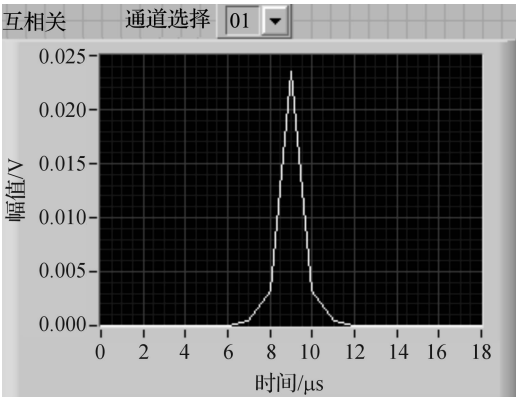


图 6 互相关图

3.3 频谱分析

在一定的温度和压力下,得到的功率谱、自功率谱和互功率谱为测量沉积物样品的相关指标提供了依据。频谱分析程序框图如图 7 所示,对接收信号进行 FFT 变换后,得出的功率谱如图 8 所示。

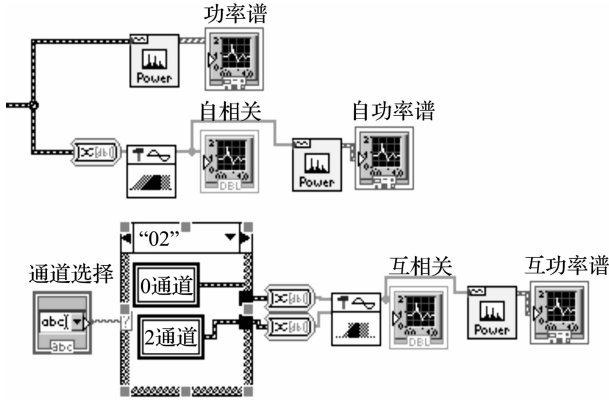


图 7 频谱分析程序框图

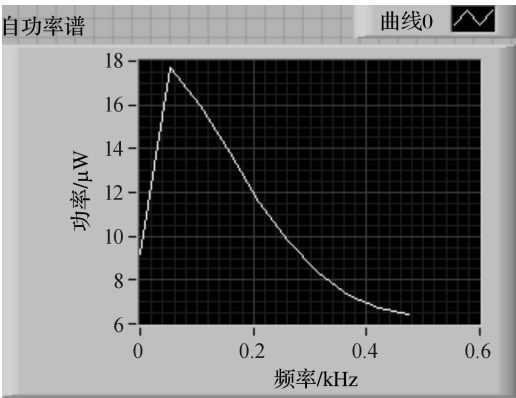


图 8 功率谱/kHz

3.4 前面板

前面板的内容包括以下 4 个部分,如图 9 所示。

a) 信号发射设置部分:波形个数设置、波形选择、发射频率设置、发射幅值设置。

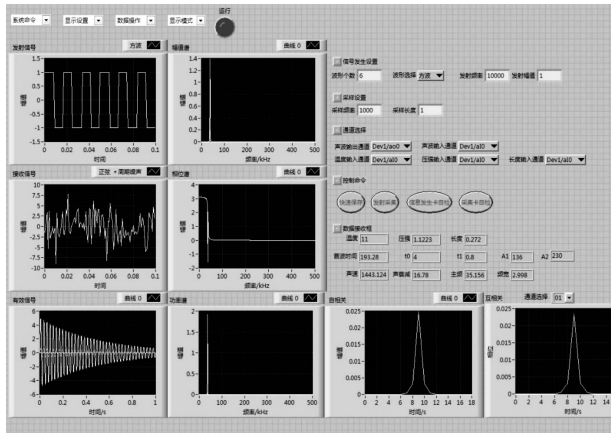


图 9 前面板

表 1 功率谱的幅值随温度的变化

	2℃	3℃	4℃	5℃	6℃	7℃	8℃	9℃	
35.156 kHz	78.0534	87.6595	90.6664	90.8001	91.6793	93.1586	89.6848	87.2864	
37.109 kHz	83.5802	——	——	——	——	——	——	——	
39.063 kHz	17.445	65.2396	61.3186	60.5994	59.0724	56.1204	51.6613	48.7833	
	10℃	11℃	12℃	13℃	14℃	15℃	16℃	17℃	18℃
88.8076	89.5983	46.8932	46.0898	83.2811	80.1886	73.4083	71.2905	69.061	
——	——	77.6591	77.1143	64.7842	62.7789	58.4319	57.5025	56.4856	
47.3225	45.1445	——	——	38.9042	36.9632	34.7429	——	——	
	19℃	20℃	21℃	22℃	23℃	24℃	25℃	26℃	
64.8501	61.1542	59.0021	54.1118	33.2792	31.0793	28.4313	22.5828		
54.4182	53.3134	52.7716	51.3416	38.9289	35.7961	33.8265	31.458		
——	——	——	31.9975	26.0725	26.2015	26.2169	——		

表 2 主频频宽随温度的变化

	2℃	3℃	4℃	5℃	6℃	7℃	8℃	9℃
35.156 kHz	——	4.839	3.901	3.647	3.124	2.754	2.887	3.034
37.109 kHz	5.112	——	——	——	——	——	——	——
10℃	11℃	12℃	13℃	14℃	15℃	16℃	17℃	18℃
3.007	2.998	——	——	3.078	3.095	3.109	3.222	3.274
——	——	2.473	2.414	——	——	——	——	——
19℃	20℃	21℃	22℃	23℃	24℃	25℃	26℃	
3.424	3.627	3.783	4.169	——	——	——	——	
——	——	——	——	4.137	4.501	4.605	4.282	

由图 10 可知,总体趋势是主频幅值随着温度的升高而下降,温度越高,下降越明显。说明温度会影响海底沉积物超声信号能量的衰减。由图 10 可知三个主频的幅值变化趋势是一致的,可见同一样品的超声信号的频率成分变化规律具有相似的温度响应性。低温时的主频为 35.156 kHz,次主频为 39.063 kHz(除了 2℃和 12℃、13℃)随着温度的升

b) 采样设置部分:采样频率设置和采样长度设置;声波信号模拟输出通道、声波信号模拟输入通道、温度模拟输入通道、压强模拟输入通道、长度模拟输入通道。

c) 控制命令:快速保存、发射采集、信息发生卡自检、采集卡自检。

d) 数据接收框:温度、压强、长度;首播时间  $t_0$ 、 $t_1$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ ;声速、声衰减、主频、频宽。

4 海底沉积物结果分析

在常温常压下,沉积物样品的长度为 272 mm,调节温度从 2~26℃逐渐升高。表 1 为信号经 FFT 变换后的功率谱幅值随温度的变化。图 10 为沉积物样品随着温度的变化主频发生变化的趋势。表 2 为主频频宽随温度的变化。图 11 为沉积物样品随着温度的变化主频频宽发生变化的趋势。

高,主频发生漂移,2~8℃之间衰减缓慢,8~26℃衰减迅速,在 23℃时,主频变为 37.109 kHz,次主频为 35.156 kHz 和 39.063 kHz,波动较大,出现多个频率,由此可见沉积物样品在温度过高和过低时出现了频率分散现象,原因可能是沉积物样品内部结构状态发生了变化,2℃时沉积物样品可能含有固态冰晶和液态水,23℃以上沉积物样品内部可能由于水

分的流动造成了结构坍塌。期间 12~13℃ 时存在异常数据,经分析发现,12~13℃ 时存在扰动现象。

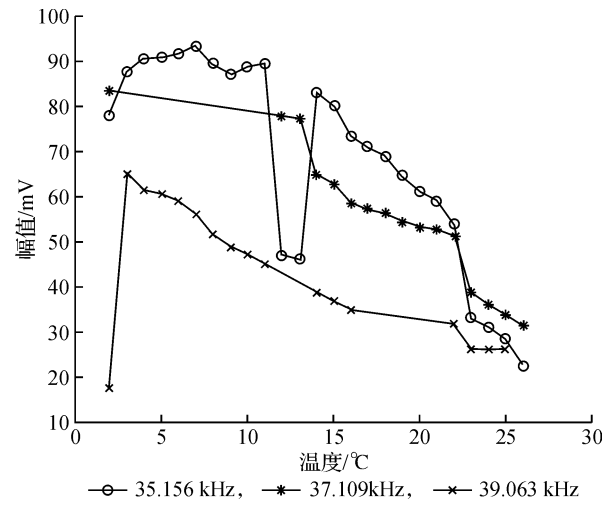


图 10 主频幅值随温度变化的趋势

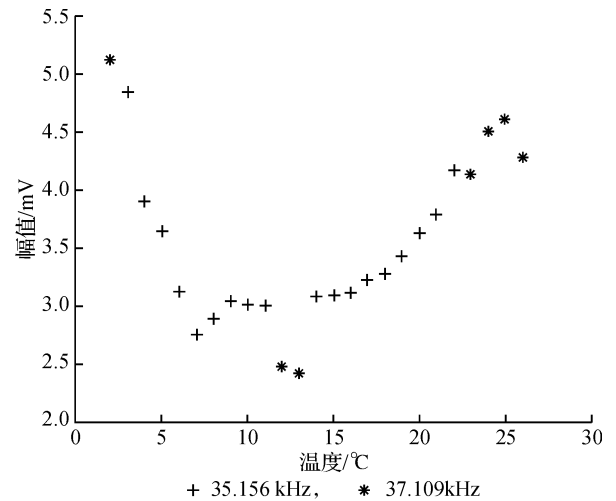


图 11 主频频宽随温度变化的趋势

分析图 11 频宽曲线图,是由 35.156 kHz 和 37.109 kHz 两个主频的频宽值,频宽数据较为零散,无明显规律,可能由于次主频的影响,它出现在主频附近的区间,使主频频宽的读取存在较大的干扰,次主频与主频叠加,使频宽增大。仔细观察发现主频频宽的变化趋势与主频幅值变化趋势有一定关系,在 2℃ 时,主频幅值和次主频幅值较为接近,在 22℃ 以后,主频幅值和次主频幅值也较为接近,使得频宽的读取存在较大干扰,两主频的叠加使得频宽值骤然增加,而频率分散现象是由温度过高或过低导致沉积物样品内部结构发生了改变。频宽曲线的

单调性与主频幅值的单调性呈相反趋势,主频幅值随温度升高而下降,频宽却增加,作为表征半功率点的频宽同样反映了超声信号的能量  $\int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df$ 。

主频的漂移使频率幅值变化速度不同,频漂的产生同样使频宽发生了跳变。由曲线可知,4~22℃ 之间的数据规律性较好,排除了少数客观非确定因素的影响,测试系统不稳定、沉积物内部结构变化、耦合状态突变等,主频以 35.156 kHz 为主,主频幅值随着温度的升高而减小,频宽下降后出现极小值后又上升。

## 5 结束语

采用 LabVIEW 为温压控制沉积样品虚拟仪器声学测试系统所做的信号处理,增加了相关分析、频谱分析、自动判读等功能。自动判读的增加,能够较为准确、有效地自动读取首波时间,避免了人为性。特别是针对频域的分析使信号从时域跨越到频域的全方位分析,实现了信号功率谱等传统谱分析,环境的变化引起了主频等频率参数的变化,得出相应的关系,提高了分析处理能力;不仅降低了仪器的成本,提高了测试效率,而且大大提高了系统设计与修改的灵活性。

信号处理中其他因素的对沉积物频谱的影响是一个有待继续研究的问题。相关分析中许多规律性现象需要从物质结构方面去研究。

## 参考文献:

- [1] 徐晓东,郑对元,肖武. LabVIEW 8.5 常用功能与编程实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [2] 陈锡辉等. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2007:110-210.
- [3] National Instruments Corporation. The Measurement and Automation Catalog[Z]. User Manual, 1996.
- [4] 唐永禄. 南海三海区海底沉积物物理性质及声学特性[J]. 海洋科技,1991,10(1):81-91.
- [5] Lester W, Schmer Jr, Sung-Jin Song. Models and Measurements[M]. New York: Ultrasonic Nondestructive Evaluation, 2007:11-14.
- [6] 阚光明,刘保华,韩国忠. 原位测量技术在黄海沉积声学调查中的应用[J]. 海洋学报,2010,32(3):88-94.

# Signal Processing of Sediment Ultrasonic Inspection System Based on LabVIEW

Lǚ Miao-li, WANG Ying, WANG Ning, LU Xiao-shan

(School of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The signal-processing program based on the virtual instrument is intuitive and lucid. It represents the direction of future virtual instrument development and is easy for professional testing personnel to master. The virtual instrument hardware platform and LabVIEW software platform are used to program the signal processing and data handing for the small-scale sediment acoustic testing system. Ultrasound signals are collected using the Data Acquisition Card, and then the initial value, design, and development of the method of reading are programmed. The original signal filter, correlation analysis, frequency analysis, and so on, are completed, the sediments of sound velocity characteristics measuring and calculating are integrated, and efficiency is raised.

**Key words:** sediment acoustic testing; virtual instrument; correlation analysis; frequency domain analysis

(责任编辑: 朱松英)

(上接第 826 页)

# The Two-step Dipping Process of HMLS PET Cords

LOU Qiao-hang<sup>a</sup>, HAN Jian<sup>a,b</sup>, DING Xin-bo<sup>a</sup>, XU Guo-ping<sup>a</sup>, YU Bin<sup>a</sup>

(Zhejiang Sci-Tech University a. School of Materials and Textiles, b. The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In this paper, the best pre-dipping time is found to be 120 s and the best RFL dipping time is 180 s based on the analysis of the relationship between dipping time and H-extraction force. Then, the two-step process for dipping PET cords is studied via the orthogonal test. The influence of technological parameters on the final adhesive performance is listed in descending order as follows: deblocking temperature>heat setting temperature>heat setting time>deblocking time> $w$  (epoxy);  $w$  (water) (mass ratio). Meanwhile, variance analysis demonstrated that the deblocking temperature, heat setting temperature, and heat setting time had remarkable effects on adhesive properties. SEM images show that the glue adhered firmly to the surface of the PET after the two-step treatment, and the fracture during H-extraction can be attributed to typical cohesive failure.

**Key words:** HMLS PET cords; two-step process for dipping; adhesion; orthogonal test

(责任编辑: 张祖尧)