

文章编号:1005-4642(2021)01-0045-05

## 基于虚拟仪器测量动态弹性模量

徐天凡<sup>a</sup>, 向旭杰<sup>a</sup>, 严琪琪<sup>b</sup>, 陈彦<sup>b</sup>

(北京航空航天大学 a. 高等理工学院; b. 物理学院, 北京 100191)

**摘要:**建立了基于计算机声卡硬件以及 LabVIEW 和 Python 软件环境的动态法弹性模量测量装置. 使用 LabVIEW 平台上的虚拟信号发生器和操作系统的 Recorder 音频采集程序替代传统动态法中使用的信号发生器和示波器, 并使用 Python 程序进行音频分析得到试样材料的共振频率, 进而计算得到其弹性模量.

**关键词:**弹性模量; 虚拟仪器; 共振频率; LabVIEW

**中图分类号:** O4-39; O343

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.19655/j.cnki.1005-4642.2021.01.008

弹性模量是描述材料弹性形变难易程度的物理量. 弹性模量越大, 材料越不容易形变. 所以, 弹性模量是选定材料的重要依据, 准确且方便地测定弹性模量在工程上意义重大.

测量弹性模量常用的方法主要有静态法和动态法. 静态法原理简单, 操作方便, 但是和动态法相比准确性较差. 动态法作为国家标准推荐的方法<sup>[1-2]</sup>, 准确度较高. 但传统动态法在测定材料固有频率时, 共振峰较为尖锐, 所以调节信号发生器的输出频率时调节难度较高, 且共振时现象不明显. 针对上述情况, 余观夏<sup>[3]</sup>、陈映纯<sup>[4]</sup>等使用计算机声卡做 A/D 转换, 用 LabVIEW 虚拟仪器平台上的虚拟信号发生器和虚拟示波器替代了传统动态法中的函数信号发生器和示波器<sup>[5]</sup>. 但多数仪器对于最大振幅处对应的共振频率的判断仍然凭借肉眼判断, 具有一定主观性<sup>[6]</sup>; 且频谱扫描需要数小时, 这样长时间的观察对实验者负担较大. 故本文在基于虚拟仪器的动态法测量材料弹性模量时增添了音频处理模块, 利用 Python 程序对获取的振动信号音频进行自动保存并处理, 可快速准确地得到共振频率, 不但从根本上去除了判定最大振幅的主观误差; 而且无需观察频谱扫描全过程, 减轻了实验者的负担.

### 1 测量原理

传统动态法测材料弹性模量的测量原理如图 1 所示. 信号发生器产生渐变频率的正弦电信号, 传输给激励器后转换为机械振动, 激励试样棒做受迫振动. 拾振器再把读取到的试样棒振动信号转化为电信号传递给示波器. 当信号发生器输出的信号频率与试样棒的共振频率相同时, 示波器显示的信号振幅达到最大值, 由此实现试样棒的共振频率测量.

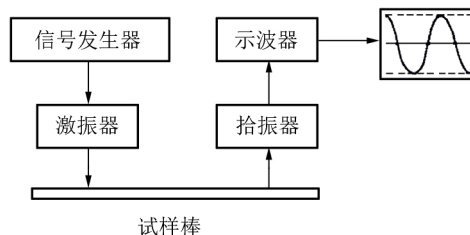


图 1 传统动态法原理图

圆形棒在固有频率下振动时满足<sup>[7]</sup>

$$E = 1.6067 \frac{l^3 m}{d^4} f_{\text{固有}}^2, \quad (1)$$

式中,  $m$  为棒的质量,  $d$  为棒的直径,  $l$  为棒的长度,  $f_{\text{固有}}$  为棒的固有频率. 且固有频率  $f_{\text{固有}}$  和共振频率  $f_{\text{共振}}$  满足

收稿日期: 2020-11-10

基金项目: 2019 年北京高等教育本科教学改革创新项目; 2020 年北京市优质本科课程建设项目(基础物理实验)

作者简介: 徐天凡(1999—), 男, 浙江宁波人, 北京航空航天大学高等理工学院 2017 级本科生.

通讯作者: 严琪琪(1981—), 女, 山东郓城人, 北京航空航天大学物理学院副教授, 硕士, 从事物理实验教学 and 半导体电子学. E-mail: yanqif110@163.com



$$f_{\text{固有}} = f_{\text{共振}} \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2}}, \quad (2)$$

式中  $Q$  为棒的机械品质因数. 在动态法测量弹性模量时,  $Q > 50$ , 计算得出  $f_{\text{固有}}$  和  $f_{\text{共振}}$  相差在 0.005% 之内, 因此可以用  $f_{\text{共振}}$  替代  $f_{\text{固有}}$ , 从而利用共振频率计算出弹性模量.

传统法中由于共振峰较为尖锐, 所以调节信号发生器的输出频率时调节难度较高. 而且判断共振频率时最大振幅需要人主观判定和使用外延法手工绘图<sup>[1-2]</sup>, 这都会给测量结果带来较大的主观误差.

针对传统法测量中出现的这种情况, 将传统法中的信号发生器替换为基于 LabVIEW 的激励信号生成模块, 将示波器替换为基于计算机平台的信号采集模块和音频处理模块. 从而由虚拟仪器自动进行频谱扫描, 处理计算得出试样棒的共振频率及弹性模量, 从而消除判定最大振幅和手工绘图时的主观误差并降低实验难度, 其原理如图 2 所示.

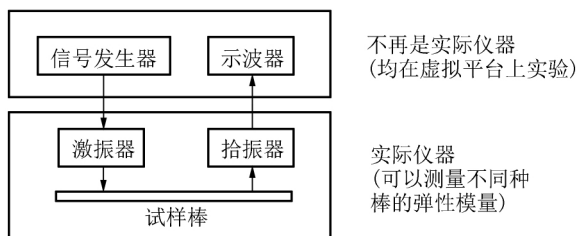


图 2 基于虚拟仪器的动态法原理图

## 2 实验装置搭建

基于虚拟仪器的动态法测量流程如图 3 所示, 由激励信号生成模块产生的激励信号使悬挂于动态弹性模量测量台的细线上的金属棒受迫振动, 再由信号采集模块测量金属棒的振动音频, 并将振动音频文件以 wav 格式导入音频处理模块, 处理得到试样棒的共振频率. 再输入棒的质量、直径和长度, 即可在图形用户交互模块得到该材料的弹性模量.

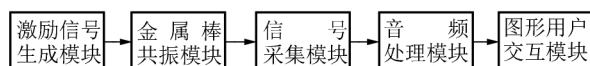


图 3 基于虚拟仪器的动态法测量流程

### 2.1 激励信号生成模块

激励信号生成模块是基于 LabVIEW 平台的虚拟仪器技术实现的. 调用 LabVIEW 函数库提供的信号产生类函数, 实现了虚拟正弦波信号发生器<sup>[5]</sup>, 并通过调用计算机声卡的 D/A 转换模块, 使得 LabVIEW 产生的数字信号顺利转换为模拟信号并且经由线路输出接口 (Line Out) 输出. 另一方面, 将生成模块置于 LabVIEW 的循环体结构中, 固定时间间隔令频率自增, 实现了让信号发生器全自动地输出频率自增的激励信号. 经过测试 0.01, 0.05, 0.10 Hz/s 等不同频率自增速度, 确认 0.10 Hz/s 的自增速度已经足以使试样棒在扫描时达到稳定振动. 激励信号生成模块的前面板和后面板的分别如图 4 和图 5 所示.

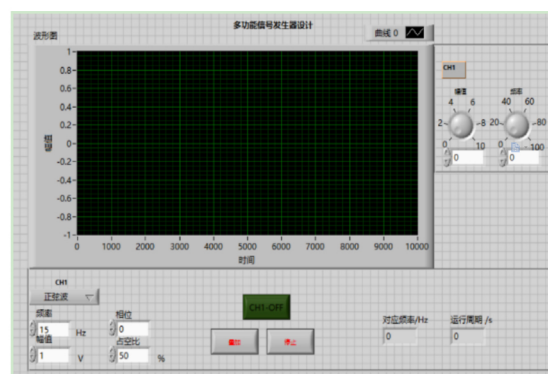


图 4 信号采集模块的前面板

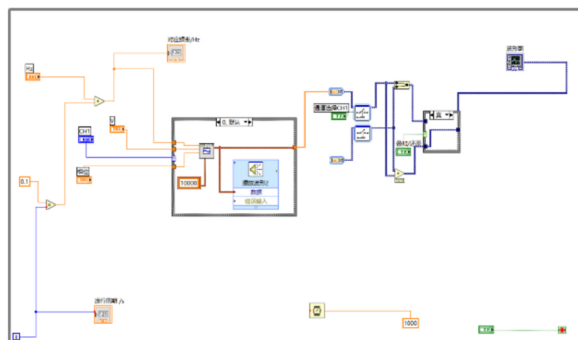


图 5 信号采集模块的后面板

### 2.2 金属棒共振模块

将待测金属棒用 2 根细线悬挂, 一根连接在激励器上, 激励器接收激励信号生成模块的电信号产生机械振动, 从而激励待测棒进行受迫振动; 另一根连接在拾振器上, 拾振器接收棒的受迫振动信号, 转化为模拟电信号传递给信号采集模块.

### 2.3 信号采集模块

将共振模块的拾振器接收到的模拟信号输入到计算机的 MACRO-IN 输入口中,使用 Windows 系统内置的 Recorder 应用程序,经由声卡的 A/D 模块转换为数字信号,并将数字信号以 wav 音频文件形式保存<sup>[8-9]</sup>.

### 2.4 音频处理模块

基于 Python 的函数库 matplotlib、scipy 和 wave,实现了提取音频信息的相应 Python 程序<sup>[6]</sup>. 具体操作步骤为:

- 1) 导入音频处理库 wave;
- 2) 加载音频文件;
- 3) 通过 wave 库函数解析音频信息;
- 4) 为将音频的振幅随时间的变化离散化,对每 0.1 s 内的采样点的振幅取平均值,得到每 0.1 s 的振幅;
- 5) 若某采样点的振幅和前 0.1 s 采样点的振幅相比,差值超过阈值,则说明此采样点极可能出现了振幅异常变化,应予以剔除(而前 1 个采样点的正确性又由更前 1 个采样点保证). 又由于频率变化的连续性,在 0.1 s 这样短时间内频率变化很小(计算得出频率变化  $f < 0.05$  Hz),故完全可将其值设为和前 1 个采样点相同. 这样就实现了降噪效果;

6) 计算出振幅最大的时间点和此时的频率.

经过以上 6 步之后,可以从 wav 音频文件中得到振幅与频率的振动特性图像.

其中步骤 5) 的降噪是整个代码过程的核心优化步骤,降噪步骤的存在与否很大程度上直接影响最终理论结果的得出. 以铜棒的悬挂点位于 0.187 01 处(悬挂点与棒端点距离/棒长  $N = 0.187 01$ )的情况为例,图 6 和图 7 分别给出了降噪步骤前后的效果对比图.

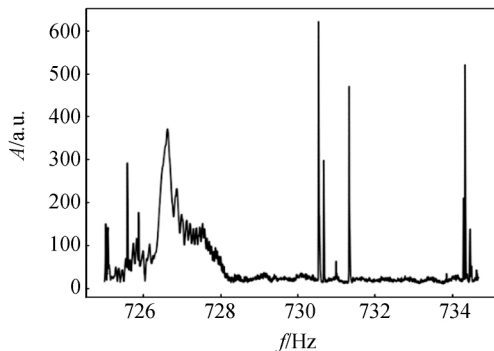


图 6 降噪前振幅-频率图像

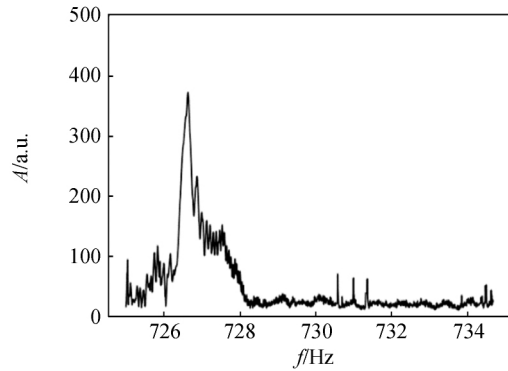


图 7 降噪后振幅-频率图像

可明显看出,在降噪前(图 6),在 730 ~ 735 Hz 之间存在多处尖锐噪声,导致程序可能误判为此频率时振幅最大. 在降噪之后(图 7),尖锐的噪声被滤去,可清晰得出 727 Hz 附近为振幅最大的频率. 程序降噪处理得到的结果和观察得出的结果相近,但是其分析得到的最大振幅频率的精度更高、更可靠.

### 2.5 图形用户交互模块

为方便数据处理,进一步搭建了图形化用户界面. 如图 8 所示,界面的交互功能为用户输入金属棒的 3 个外形参量——长度、质量、直径,内置程序算法利用 3 个输入量和已经从音频分析模块中获取到的共振频率值,计算得到该金属棒对应的弹性模量.



图 8 图形用户交互模块展示

## 3 实验结果

采用传统动态法和基于虚拟仪器的动态法对铁、黄铜和铝合金共 3 种材料的弹性模量进行了测量. 以下的数据处理以黄铜棒为例.

首先分别使用螺旋测微器、电子天平、刻度尺

测量了黄铜棒的直径  $D=9.976$  mm、质量  $m=134.13$  g 和长度  $l=20.50$  cm.

再分别使用 2 种方法测量黄铜棒在不同悬挂点位置下的共振频率,结果如表 1 和图 9 所示.

表 1 黄铜棒在不同悬挂点位置下的共振频率

N	f/Hz	
	传统法	虚拟法
0.036 5	728.3	728.8
0.099 0	727.3	728.0
0.124 0	727.3	727.5
0.156 0	727.2	727.1
0.187 0	726.3	726.9
0.249 0	726.7	727.3

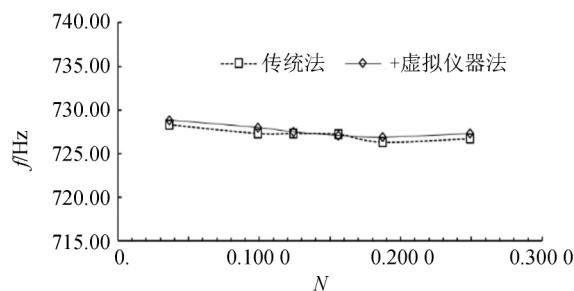


图 9 黄铜棒共振频率随悬挂节点位置变化趋势

2 种测量方法测得的频率相差范围在 0.7 Hz 以内,从而可见基于虚拟仪器的动态法准确度与传统动态法非常接近.

3 种试样棒的实验结果如表 2 所示.

表 2 黄铜棒、铁棒、铝合金棒的实验结果

试样	f/Hz		E/(10 <sup>10</sup> Pa)		$e_r$	$E_{理论}/(10^{10}$ Pa)
	传统法	虚拟法	传统法	虚拟法		
黄铜棒	726.3	726.9	9.889	9.905	0.16%	9.70
铁棒	1 083.3	1 084.9	19.790	19.850	0.29%	20.0
铝合金棒	1 086.6	1 087.4	6.721	6.731	0.15%	6.90

#### 4 结束语

本文通过对传统动态法测量弹性模量的过程繁琐、主观判断误差大等问题的改进,实现了信号发生器和示波器的虚拟化,并利用 Python 程序对振动信号音频进行自动处理得到共振频率,搭建了弹性模量全自动测量系统.实验结果表明:利用计算机的声卡作为信号的 A/D 转换和 D/A 转换,再利用 Python 的音频处理功能,可以实现弹性模量的自动化测量.虚拟仪器不仅测量结果精度高,而且操作难度远低于传统动态法,且可以消除判断共振频率的主观性.随着计算机的广泛普及,虚拟仪器在实验教学和工程测量中都会有更加广阔的应用前景.

#### 参考文献:

- [1] 首钢冶金研究所. GB/T 2105-91, 金属材料弹性模量切变模量及泊松比测量方法(动力学法)[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [2] 冶金工业信息标准研究院标准化研究所,中国标准出

版社第二编辑室. 金属材料物理试验方法标准汇编(上)[S]. 2 版. 北京:中国标准出版社,2002: 27-43.

- [3] 余观夏,王军,阮锡根. 基于声卡和 LabVIEW 测量金属的动态杨氏模量[J]. 物理实验, 2007,27(8): 6-9.
- [4] 陈映纯,吴先球. 基于虚拟仪器的杨氏模量实验中共振频率的测量[J]. 物理实验, 2012,32(5): 40-41,45.
- [5] 马海瑞,田树森,周爱军. 基于声卡的 LabVIEW 虚拟信号发生器设计[J]. 国外电子测量技术, 2005, 24(4): 27-29.
- [6] 王国栋. 基于声卡和 MATLAB 的数据采集系统在杨氏弹性模量测量中的应用[C]//第三届全国高等学校物理实验教学研讨会, 2004:264-267.
- [7] 丁慎训,傅敏学,丁小冬,等. 用动力学法测杨氏模量实验及其实验装置的研制[J]. 大学物理,1999, 18(7):25-27.
- [8] 李朝荣,徐平,唐芳,等. 基础物理实验(修订版)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [9] 潘人培,赵平华. 悬丝耦合弯曲共振法测定金属材料杨氏模量[J]. 物理实验,2000,20(9):5-9.

## Dynamic method for measuring elasticity modulus based on virtual instrument

XU Tian-fan<sup>a</sup>, XIANG Xu-jie<sup>a</sup>, YAN Qi-qi<sup>b</sup>, CHEN Yan<sup>b</sup>

(a. Shen Yuan Honors College; b. School of Physics, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Based on sound card hardware, LabVIEW and Python software environments, the dynamic method for measuring elasticity modulus was established. The virtual signal generator on LabVIEW platform and the Recorder audio acquisition program of the operating system were applied to replace the signal generator and oscilloscope adopted in traditional dynamic method, and a Python program was utilized to analyze the audio frequency to get the resonance frequency of the sample material, and then to calculate its elasticity modulus.

**Key words:** elasticity modulus; virtual instrument; resonant frequency; LabVIEW

[责任编辑:郭 伟]

(上接 44 页)

[13] 刘建军,章宝华. 流体力学[M]. 北京:北京大学出版社,2006:72-77.

变化[J]. 物理实验,2018,38(10):21-23.

[14] 王小怀. 利用光杠杆测量流体压强及流速的微小

[15] 宋小鹏,何秀锦,古小敏,等. 基于 WebGL 的流体力学仿真实验[J]. 物理实验,2020,40(8):36-39.

## Force and movement analysis on the phenomenon of ball picked up by funnel

XU Ying-te<sup>a</sup>, WNAG Xin-hua<sup>b</sup>, LI Ke-yi<sup>a</sup>, ZHAO Rui-feng<sup>a</sup>

(a. Cuiying Honors College; b. National Demonstration Center for Experimental Physics Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** With the help of the similarity law of fluid and the Buckingham Pi theory (dimensional analysis), the phenomenon of ball picked up by funnel was reproduced, the influence of main factors (the initial flux, the half top angle of the funnel and the radius of the pipe) were determined, and the dimensionless variables were constructed. New methods were applied in the experiments to explore and measure the force on the suspended ball, and to analyze the relation between movement and time when the ball was moving. The COMSOL Multiphysics was used to do numerical simulation, and the phenomenons were analyzed and explained based on the Bernoulli effect. Practical and phenomenological results were given on how the factors influence the phenomenon.

**Key words:** fluid; Bernoulli effect; similarity law; Pi theory; COMSOL

[责任编辑:郭 伟]