

计算机技术在建筑材料动态弹性模量测量上的应用

李艳宁,王忠顺,赵倩云,王永洪,傅 星,胡小唐

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室,天津 300072)

摘 要:为保证建筑物的质量,在工程中必须对建筑材料质量进行检测。共振法无损检测是一种在混凝土等建筑材料特性检测中广泛使用的技术。介绍了一种利用计算机技术对建筑材料弹性模量进行测量的无损检测新方法,它利用成熟的计算机软硬件以及功能强大的 Visual Basic 软件开发系统,能方便快捷地测量建筑材料的动态弹性模量,结果稳定可靠,界面可视性强,系统简单。该技术已经成功应用在作者所开发的动弹仪产品中。

关键词:无损检测;建筑材料;弹性模量;共振频率

中图分类号:TG115.28

文献标识码:A

文章编号:1000-6656(2007)03-0125-03

Application of Computer Technology on Young's Modulus Measurement of Building Materials

LI Yan-ning, WANG Zhong-shun, ZHAO Qian-yun, WANG Yong-hong, FU Xing, HU Xiao-tang

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: For the assurance of the quality of buildings, it is necessary to test the quality of building materials. Nondestructive testing is a kind of measuring technology commonly used on the testing of the quality of building materials. A new nondestructive testing method in the measuring of the Young's Modulus of building materials is introduced. It utilizes the mature computer software and hardware and the powerful Visual Basic software development system, so it is very convenient and quick to measure the dynamic Young's Modulus of building materials. It has the advantage of stabilized and reliable result, excellent interface and an extraordinary simple system. The technology has been successfully applied on the product developed by the author.

Keywords: Nondestructive testing; Building material; Young's modulus; Resonance frequency

建筑材料质量的好坏对建筑物的质量起着决定性的作用。为保证设计和建筑质量,国内外的道路、桥梁、水坝和钢筋混凝土建筑,都需要进行质量检测。动态弹性模量是其最主要的检测指标之一。混凝土的弹性模量是频率的单值函数,可以用共振频率表示。如果试件没有任何缺陷,共振频率是试件密度的单一函数。该试件如果有缺陷和裂缝,则可能存在多个峰值频率。

对结构混凝土的检测方法很多,主要分为破损检测和无损检测,而用于现场检测的多为无损检测。

无损检测有许多方法,如回弹法、超声脉冲法、综合法、共振法和瞬态激振法(敲击法)等^[1],笔者在研究中采用的是共振法。

当前应用共振法的国产测试仪器存在可靠性差、操作复杂、分辨率低和携带不方便等缺点。利用计算机成熟的硬件与软件研发出来的测量仪器在可靠性、稳定性和准确度上较具优势,并且其界面可视性和可读性强,测量快速可靠、操作简单,具有存储功能,实用效果很好。

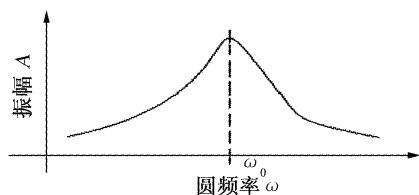
1 共振法测量原理

共振法是用一振幅基本恒定、频率可调的周期性外力作用于待测试件,使其产生受迫振动,其频率响应曲线(图1)峰值所对应的频率即为试件的共振

收稿日期:2005-08-31

基金项目:国家自然科学基金项目(50305025);天津市自然科学基金项目(F204008)

作者简介:李艳宁(1968—),男,副教授,硕士生导师。

图1 A- ω 频率响应曲线

频率,该频率值取决于试件材料的弹性性质,而频率响应曲线的尖锐程度则取决于粘塑性性质。

从图1可以看到,振幅A最大时对应的频率可近似看作待测试件的固有圆频率 ω_0 。

直观表征混凝土特性的是动态弹性模量 E_d 而不是固有频率 ω_0 ,所以要寻求这两者之间的数学关系,该关系随着杆状试件所受激振力的方向和位置不同而不同。振动方式基本上有纵向振动、横向振动、扭转振动和复合振动等几种。作为测量仪器,只需采用其中一种激振方式。横向振动由于比纵向振动容易激振,又比扭转振动数学模型简单,成为当前动弹仪常用的激振方式,该研究也采用这种方式。根据力学理论,物质的动态弹性模量 E_d 与其固有频率 ω_0 的关系如下

$$E_d = \left(\frac{2\pi L^2 f_h}{rk^2} \right)^2 \rho T$$

式中 L ——试件长度;

f_h ——试件横向振动的共振频率;

r ——试件横截面的回转半径;

k ——振型常数;

ρ ——试件密度;

T ——形状因子,取决于试件的泊松比、尺寸、形状及振型。

2 测试系统构建

测试系统构建的关键在于固有频率的获取,根据以上分析,测试系统主要应包括如下部分:

(1) 扫频激振系统 产生可变频率但幅度恒定的激振力,实现扫频功能。

(2) 振动接收系统 接收试件的振动信号,并将振动信号转化为电信号。

(3) 数据采集与处理系统 将接收系统接收到的幅度和频率信息进行傅里叶变换^[2],找出共振点,该点频率即为试件的固有频率。

(4) 显示系统 将结果进行显示,包括显示共振频率、动态弹性模量及李萨如图形。

3 计算机技术在系统构建中的作用

3.1 激励系统和数据采集系统

激励系统的功能就是产生频率可变但幅度恒定的激振力,实现频率的扫描。USB-7333B接口卡含有A/D和D/A芯片,可以通过Visual Basic程序调用API函数来控制D/A接口发出频率可变而幅度恒定的正弦信号,以产生激振力,同时也可以通过USB-7333B的A/D接口将采集的数据放入内存。图2为原理框图。

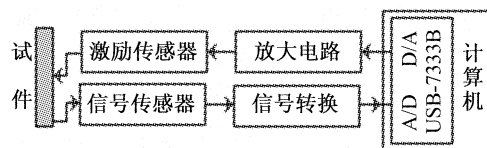


图2 原理框图

计算机通过USB-7333B与相关电路对试件进行激励,试件的振动信号通过信号传感器(接收探头)转换为电信号,再通过USB-7333B A/D插口转化为数字信号存储到计算机的内存。试验证明,用该方法进行信号输出和数据采集效果非常理想。

3.2 数据分析、处理与显示

采用Visual Basic 6.0软件开发环境^[3],以实现如下功能:

(1) 发出激励信号 控制USB-7333B的D/A部分,发出正弦扫频信号。

(2) 数据采集 控制USB-7333B的A/D部分,进行信号采集。

(3) 处理数据 将采集进来的信号进行傅里叶变换,取出共振点频率,并且根据共振点频率算出动态弹性模量。

(4) 显示结果 显示共振频率、动态弹性模量、接收频谱及李萨如图形。

4 试验与结果

试验采用天津大学精密仪器与光电子工程学院研发的用计算机测控的动弹仪进行。

试验方法采用横向激励方式,发射探头放在中间,用来激励试件振动,接收探头放在离试件自由端大约5 mm和30 mm处(位置并不要求准确)。

为保证试验的全面性,采用两个试件在两个位置都进行试验,每个位置取10组数据。试件1和2的尺寸分别为513 mm×100 mm×100 mm和400 mm×100 mm×100 mm,质量分别为12.6和10 kg,共

表 1 试验数据

测量 次数	试件 1 在位置 1		试件 1 在位置 2		试件 2 在位置 1		试件 2 在位置 2	
	共振频率/Hz	动弹模量/GPa	共振频率/Hz	动弹模量/GPa	共振频率/Hz	动弹模量/GPa	共振频率/Hz	动弹模量/GPa
1	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1744.4	25.561	1744.8	25.571
2	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1744.4	25.561	1744.4	25.561
3	1365.1	41.739	1364.7	41.719	1744.4	25.561	1744.4	25.561
4	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1744.4	25.561	1744.4	25.561
5	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1744.4	25.561	1746.1	25.612
6	1364.7	41.719	1365.1	41.739	1744.4	25.561	1744.4	25.561
7	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1744.4	25.561	1744.4	25.561
8	1365.1	41.739	1367.1	41.865	1744.4	25.561	1746.5	25.622
9	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1744.8	25.571	1744.4	25.561
10	1365.1	41.739	1365.1	41.739	1745.1	25.581	1744.4	25.561

振频率标定值分别为 1 365.0 和 1 745.0 Hz, 弹性模量标定值分别为 41.73 和 25.58 GPa。得到的试验数据见表 1, 接收频谱见图 3。



图 3 测量图谱

5 结果分析与结论

从图 3 和表 2 可知, 试验数据具有如下特点:

(1) 显示方式直观明显, 从接收频谱图可见, 共振点附近的幅度变化很大, 具有显著的峰值。

(2) 结果稳定可靠、精度高、重复性好, 同一试件在同一位置测量出来的 10 组数据变化很小, 结果理想。

(3) 测量位置要求不高, 同一试件在两个位置测得的数据基本相同。

该方法既具有十分直观的扫频特性曲线, 又有可视性与可读性的李萨如图示, 这是不同于其它动弹仪之处。

由以上结果及分析可知, 将计算机技术应用于测量建筑材料动态弹性模量是可行的, 与市场上采用电子元器件的动弹仪相比, 该方法具有以下优点:

(1) 结果准确, 稳定可靠。计算机的硬件成熟、稳定, 软件系统处理能力强大, 保证了整个系统的稳定, 不易出现电子元件损坏或电路短路等故障。

(2) 界面友好、直观性强、操作简单、自动化程度高。Visual Basic 软件提供的友好界面非常适合于普通操作者的使用, 一般点击一个按钮就可以完成整个操作, 得到结果。

(3) 可根据需要存储、浏览和打印数据。

(4) 系统简单, 携带方便。整个系统只需要一台笔记本电脑, 两个测量探头, 而功率放大器可以集成到电源适配器里面, 也可以安装到普通台式计算机使用。

(5) 仪器用途多样, 使用灵活。可以对混凝土、金属、炭素和非金属材料进行测量。不测量时可以作为普通计算机使用。

参考文献:

- [1] 吴慧敏. 结构混凝土现场检测技术——混凝土无损检测[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1998.
- [2] 丁玉美, 高西全. 数字信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [3] John Clark Craig, Jeff Webb. Microsoft Visual Basic 6.0 程序开发环境[M]. 北京: 北京大学出版社, 2000.

《无损检测》杂志欢迎广大作者网上远程投稿

尊敬的作者:

为了适应当今期刊网络化、数字化的发展趋势, 保证文章报道时效性、缩短稿件处理周期, 我刊经过长期的筹划与准备, 初步建立了远程在线投稿和审稿系统。该系统的建立, 可以方便作者进行远程在线投稿、查询稿件的处理进度、与编辑部进行实时沟通; 审稿专家可以进行在线审稿。

目前该系统已正式运行, 欢迎大家登录“材料与测试网站”(http://www.mat-test.com)进行网上投稿。您在使用过程中如发现该系统有不完善的地方, 希望您及时与本刊编辑部联系, 以便更好地为您服务, 联系信箱为: ndt@mat-test.com。感谢您的支持与配合!

《无损检测》编辑部