

# 微处理机-高速采样系统在波速 精确测量中的应用

唐晓明 傅祖强 陈颢

(国家地震局地球物理研究所)

## 摘 要

本文介绍一种用微处理机-高速采样系统准确测量波速的方法。波速测量的精度取决于走时的确定。但目前大都采用 SYC-II 型波速仪,并靠眼睛判读其示波器上光标的位置来得到走时,由此产生的走时读数误差往往超过 0.2 微秒。应用本文介绍的系统,这一误差可以大大减少。在测量过程中,走时被一瞬态记录仪用 20 兆赫兹的最高采样速率(对应的最大读数误差为 0.05 微秒)记录下来,然后经过一数字接口将数据输入微处理机,由其自动判读波的初动,并立即给出波的走时和速度。

分析表明,对实验室通常采用的样品尺度,该系统的波速测量误差在 0.7% 以内,波速测量的精度因而得到很大程度的提高。

## 一、引言

岩石中弹性波速度的测量是一种常规的实验。研究不同条件下波速的变化,可以用来确定岩石的力学性质,探索岩石物理性质、应力状态等的变化信息<sup>[1]</sup>,这对于岩体工程和地震预报无疑具有十分重要的意义。但是,岩石中波速测量的精度是十分重要的问题,国际岩石力学协会对此还专门推荐了测量波速的常规方法<sup>[2]</sup>。目前在实验室中大都采用 SYC-II 型波速仪测量波速,按该仪器的性能,走时的读数误差为 0.2 微秒。但由于读数系由眼睛判读示波器上光标的位置而得,如果操作稍有不慎,再加上初动模糊等其它因素的影响,读数的误差往往超过 0.2 微秒。因此,对实验室样品的尺度,波速测量的误差可达 5%,因而波速测量的精度很差。有一种回波干涉法测波速,精度较高,但要求被测样品的尺度和晶粒都很小,对稍大一点的岩样便不适用了。这里介绍一种与计算机连接的高速采样系统,用它来测量波速,精度比仅用波速仪至少提高 4 倍以上。

## 二、测量系统及原理

测量用的微处理机-高速采样系统由以下设备和仪器组成(图 1)。

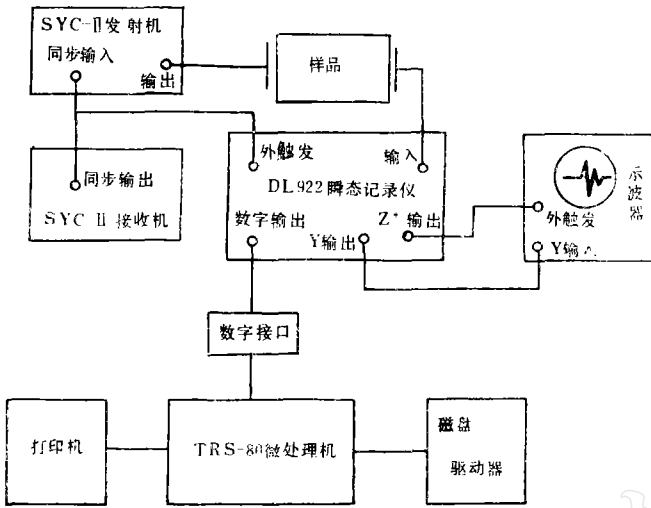


图 1 微处理机-高速采样设备测量波速方框图

Fig. 1 Block diagram of velocity determination by means of the microcomputer-high speed data acquisition system.

测量原理是： SYNC-II 型岩石声波参数测量仪的接收机输出 1.5 伏、宽度为 0.02 毫秒的脉冲，经过三通接头分别输入 SYNC-II 发射机的同步输入和 DL922 瞬态记录仪的外触发线路，由记录仪的  $Z^+$  输出将此信号分出一部分输入示波器的外触发。这时，SYNC-II 发射机、瞬态记录仪和示波器处于同步状态。记录仪被触发后开始以每秒 20 兆的采样速率扫描记录；SYNC-II 发射机接到同步信号后也立即发出电压约为 180 伏，宽度为 1 微秒可调的脉冲去激发位于岩样一端的发射换能器，发射换能器产生弹性波穿过岩样后，被另一端的接收换能器接收，然后再输入瞬态记录仪。从发射机开始发射 1 微秒脉冲到波形到达记录仪这一过程被瞬态记录仪完整地记录下来，这一图象在示波器上得到直观地显示。如何将该过程准确无误地回放出来，是测量弹性波走时的关键。如果用 X-Y 记录仪回放，则由于回放速率和走纸速度不匀的限制，不能最大限度地利用高速采样的优点。我们采用数字回放，用一数字接口，将 DL922 采集的数据直接送入 TRS-80 微处理机，由一控制程序自动处理，在程序中设置一计数器，每从记录仪中接受一个数据，计数器的值便增加 1。从扫描开始到波形到来之前，记录的数据值都是零。一旦波形到达，数据值便不

为零，由程序指令立即将计数器的当前值取出，并开始把波形的数据用磁盘驱动器存入软盘，供进一步作谱分析用。

设从记录仪扫描开始到波形出现所经时间为  $T'$  (图 2)，则  $T' = \text{计数器值} \times \text{采样间隔}$ 。若用 20 兆的采样率，则采样间隔

$$\Delta t = 0.05 \text{ 微秒。}$$

设波在样品中的走时为  $T$ ，波在换能器中的走时及系统的延迟总记为  $T_0$ ，显然  $T' =$

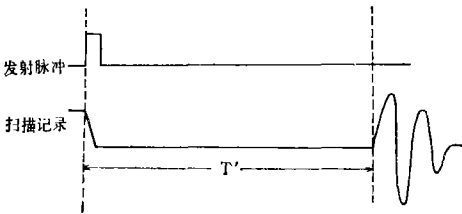


图 2 确定走时的示意图

Fig. 2 A sketch showing the method of travel-time determination.

$T_0 + T$ ，其中  $T_0$  系由不同长度的铝柱用上述方法求出走时后作图标定得出。于是波速为：

$$V = \frac{L}{T' - T_0},$$

其中  $L$  为样品长度。

由 TRS-80 微处理机还可立即将每次测量的走时和波速由打印机或萤光屏上给出，可以十分及时地观测实验过程中波速的变化，做到了波速资料的实时处理。

三、波速测量的精度分析

$P$  波走时的精度取决于初动的判读。设记录的数值从零到初动刚能被分辨的第一个值的跃升时间为  $\tau$ ，则实际测得的  $T'$  和  $T_0$  分别为  $T' + \tau'$  和  $T_0 + \tau_0$ ，即走时为  $T = T' - T_0 + (\tau' - \tau_0)$ ，这里的  $T'$  和  $T_0$  都是精确值，误差出现在判读值  $\tau'$  和  $\tau_0$  中，人工判读不准时， $\tau$  或大于零或小于零不定，由误差传递，这时的走时误差为  $|\Delta T| = |\Delta \tau'| + |\Delta \tau_0|$ 。采用计算机自动判读后，每一次测量都有  $\tau > 0$ ，故  $\tau'$  与  $\tau_0$  相减时是相互抵消的，且  $\tau'$  与  $\tau_0$  的差别最多只有一采样间隔。因此，走时误差为  $|\Delta T| = |\Delta(\tau' - \tau_0)| = 0.05$  微秒，这比在波速仪上用肉眼判读精度至少提高 4 倍以上。

综上所述，两种判读方式测量得的波速的均方误差分别为：

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau'}{T' - T_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tau_0}{T' - T_0}\right)^2} \quad (\text{人工判读})$$

和

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\tau' - \tau_0)}{T' - T_0}\right)^2} \quad (\text{计算机判读})$$

用游标卡尺测量  $L$  的误差为 0.02 毫米。根据实验室常采用的两种岩石样品的尺度对以上两种情况分别求出波速测量误差如下表：

表 1 两种方法波速测量误差比较  
Table 1 A comparison of the errors of the two velocity determination methods

样品尺度 Sample scale	波 速 均 方 差 Mean square error of velocity	
	用波速仪人工判读 Manual picking with the velocimeter	计算机判读 Picking with the computer
$L = 50\text{mm}$	$\frac{\Delta V}{V} = 3.4\%^*$	$\frac{\Delta V}{V} = 0.7\%$
$L = 100\text{mm}$	$\frac{\Delta V}{V} = 1.7\%^*$	$\frac{\Delta V}{V} = 0.4\%$

\* 这是按波速仪给出的标准误差  $\Delta \tau = 0.2$  微秒计算的。实际上，由于读数不准， $\frac{\Delta V}{V}$  可达 5%。

这样，用本文提出的方法测得表 1 中两种尺度的铝样的波速分别为 6.40 公里/秒和 6.38 公里/秒，相对误差仅为 0.3%。

## 四、结 束 语

用微处理机-高速采样系统测量弹性波的速度,较大地提高了测量精度。只要发射源的强度适当,用该系统可以准确测量较大尺度范围内的波速。需要说明的是,该系统的关键在于瞬态记录仪的高速采样率和波形振幅的分辨率,这两种性能越好,波速测量的精度就越高。

本文说明,采用先进技术,特别是计算机技术,是今后科研工作开展的一个重要方向。

## 参 考 文 献

- [1] 赖德伦,张来风,刘晓红,陈 颢,三轴压力下(围压 1.3 千巴)岩石弹性波速的测量,国际地震预报讨论论文选,地震出版社,134—138,1981.
- [2] Rummel, F., and W. L. Van Heerden, Suggested methods for determining sound velocity, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.* **15**, 55—58, 1978.

## AN APPLICATION OF THE MICROCOMPUTER-HIGH SPEED DATA ACQUISITION SYSTEM TO THE ACCURATE MEASUREMENT OF WAVE VELOCITY

TANG XIAOMING FU ZUQIANG CHEN YONG

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

### Abstract

A method is introduced in this paper for precisely determining wave velocity by means of a microcomputer-high speed data acquisition system. The accuracy of the wave velocity measurement is controlled by the travel-time determination. But this is currently done with a SYC-II velocimeter by determining the position of a light scaler on its oscilloscope, resulting in a reading error well beyond  $0.2\ \mu\text{s}$ . With the use of the system presented in this paper, this error can be greatly reduced. In the measurement, the travel-time is recorded by a transient recorder with the highest sampling speed of 20 MHz (corresponding to a maximum reading error of  $0.05\ \mu\text{s}$ ), and the data are transferred via a digital interface into a microcomputer which automatically determines the first wave arrival and immediately gives the results of travel-time as well as velocity.

For the sample scales commonly adopted in the laboratory, the error in the velocity measurement by this method is within 0.7%. Thus the accuracy of velocity measurement is improved to a considerable extent.