

PEO 型精密超声声速仪

吴贵玉 陆玲珍 钟德元 张国柱

(中国科学技术大学)

1982 年 8 月 23 日收到

本文介绍用脉冲回波重合法^[1]精密测量超声声速的仪器。超声脉冲发射、接收、以及显示部分组装成整机,使操作方便,性能稳定可靠。主控信号使用特制的步进为 0.1Hz、频率稳定度为 $10^{-9}/s$ 的 PZS-1 型频率综合仪,更提高了测量精度。

一、前言

利用超声脉冲回波技术来测量固体或液体材料中超声波传播时间(或声速),已成为一种最常用的方法,其中脉冲回波叠加法和脉冲回波重合法,已成为实验室中测量材料的声速和弹性常数的标准方法^[2-5]。这些方法的特点是,有较高的测量精度,测量精度可达 $1/100f^{[6]}$,其中 f 为超声频率,例如用 20MHz 的超声波进行测量时,精度可达 0.5ns,若测量传播时间为 10 μs 时误差小于 5×10^{-5} 。所以能够测出材料由于受外界各种因素引起的声速微小变化量(例如高温、低温、高压、电磁场等……)。

二、测量原理及方法

图 1 是仪器方框图,图 2 是工作过程主要

波形图,其工作原理简述如下。

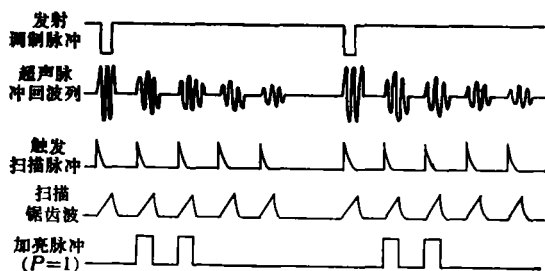


图 2 工作过程主要波形图

频率综合仪的输出信号加到分频器输入端,经分频器分频后,通过延迟触发电路去触发发射脉冲发生器,产生幅度为 80V 左右的射频脉冲,此脉冲加到压电换能器上。工作频率为 5、10、15、20 或 30MHz 的换能器产生的超声脉冲送入到试样,其回波仍由该换能器接收,经前置放大器和 Y 主放大器放大后,在示波管上显示出一个脉冲回波列。分频器的输出还经由另一延迟电路接至加亮电路,产生一对宽度相

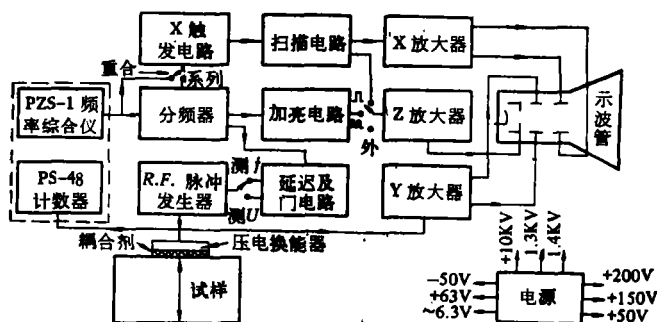


图 1 仪器方框图

同、间距可变的矩形脉冲，经 Z 放大器放大后，加到示波管的栅极，使所需的一对回波加亮而显现，其它回波则消隐，调节加亮的延迟时间和加亮间距，可选择不同的脉冲对。

测量时，先使示波管工作在内触发和正常加亮状态，此时示波管上应显示一系列按指数衰减的脉冲回波列，然后，使加亮状态转到选择加亮，调节加亮延迟、间距和宽度，使所需一对脉冲得到加亮。再将 X 触发状态转为外触发，调节频率综合仪的输出频率，使主控信号的周期等于一对回波的间距，在示波管上观察到所选回波对的重合（见图 3）。此时，频率综合仪上

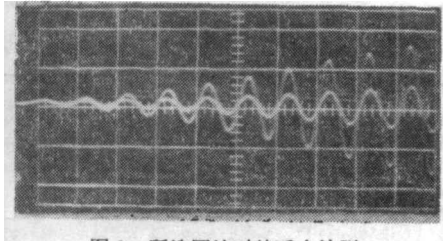


图 3 所选回波对的重合波形。

显示的频率就是所需的测量数据。调节发射延迟，可使波形移至屏幕中央。为提高测量精度，可多测几组数据求其平均值。若增加 f 至 mf ($m = 1, 2, 3, \dots$) 此时仍可实现重合。

分频器采用 10 块 D 型触发器组成 $2^{10} = 1024$ 分频器，经由转换开关可选取 $1/2, 1/4, 1/8, 1/16, \dots, 1/1024$ 分频输出，可以配合不同衰减或不同厚度的试样。适当选取分频比，使试样中不会由于存在二个以上脉冲列而产生叠加，又尽可能增加显示波形的亮度。延迟触发器和加亮电路采用集成电路，最后输出一对双脉冲，加至 Z 放大器，Z 放大器还可选用 X 轴送来的加亮脉冲，使扫线正常加亮，或选用外加亮输入信号，作时标用。

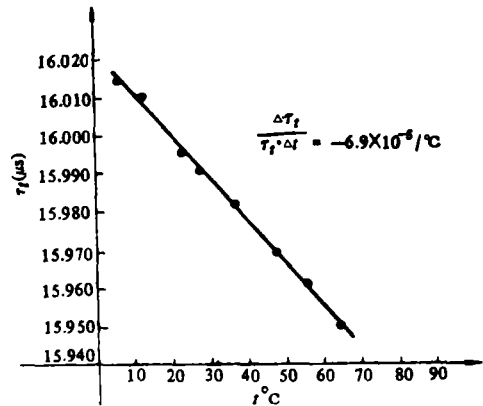
射频脉冲发生器由闸流管和 LC 延迟网络组成窄脉冲发生器，和双三极管推挽式振荡电路组成。脉冲发生器产生宽度约 $2\mu s$ 、幅度约 100V 的脉冲，驱动双三极管振荡电路，产生所需频率的射频脉冲，调节可变电容可使振荡频率与所用换能器相配。此外射频脉冲发生器电路中附有射频频率测试电路，由转换开关控制，

供精确测量发射频率。当需测频率时，它可使射频脉冲发生器工作在连续振荡状态，输出射频正弦讯号，由 PS-48 计数器精确测量发射频率。

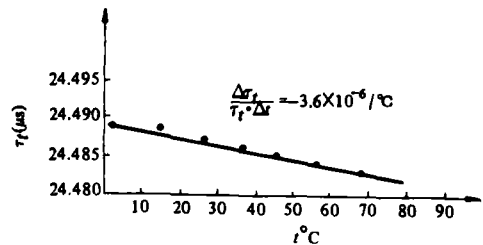
为提高测量精度，研制了与 PEO 型声速仪配套的 PZS-1 型频率综合仪。本仪器中 X 触发电路、扫描电路，X 放大器，Y 放大器、Z 放大器均为一般示波器中常用电路，其工作原理从略。

三、测试实例和误差分析

在该仪器上对石英晶体 ($1.995 \times 2.499 \times 3.011 \text{ cm}^3$) 的三个轴向进行了超声纵波传播时间 τ 的测量，并计算出相应的声速，测量数据列入表一中。测量时采用直径为 10mm、谐振频率为 20.4343MHz 的石英片作换能器，换能器



(a) BL-2 的横波声时与温度关系，



(b) E-01 的横波声时与温度关系。

图 4 E-01 的声时与温度关系

与试样间用硅油耦合（纵波）。对 E-01 等延迟玻璃和 BL-2 熔石英的声时温度系数进行了测试，测试结果如图 4 所示。

表1 超声纵波沿石英晶体各晶轴的传播时间

晶 轴	X	Y	Z
传播时间 $\tau(\mu s)$	6.89304	8.27278	9.48572
标准偏差 $\sigma(\mu s)$	± 0.00013	± 0.00017	± 0.00045
耦合层修正后 $\tau_s(\mu s)$	6.89279	8.27251	9.48568
样品长度 $l(cm)$	1.995	2.499	3.011

实际测量到的两个回波之间的真实时间间隔 τ 可表达如下^[3]

$$\tau = p\delta - p\gamma/360Xf + n/f$$

式中 δ 为回波脉冲传播一周的真实时间, p 为回波脉冲传播次数, 即回波序数, γ 为回波在试样、耦合层、换能器界面反射产生的相角, n 为整数、可正、可负, $n=0$ 表示正确重合, f 为射频频率。

下面对测量误差进行分析。

1. 测试过程中因判断重合错误产生的误差: 正确重合时 $n=0$, 若判断错误, 将引入的误差为 n/f 。避免此误差, 可在换能器共振频率 f_R 和 $0.9f_R$ 上各进行一次测量, 再根据文献^[3]中叙述的方法判断正确的重合。

2. 耦合层引起的误差: 由于耦合层具有一定的厚度, 当超声波在试样、耦合层、换能器界面反射一次所引起的相位变化为 γ , 相应的时间延迟为 $\gamma/360 \times f_R$, 此值应从实测数据中减

去。(见表1)

四、结 论

本仪器将脉冲回波重合法测声速的所需部份设备组装成整机, 并用高稳定度的频率综合仪作主控信号, 消除了主控信号本身漂移所产生的测量误差, 提高了读数精度和分辨微小变化的能力, 在测材料声速随温度或压力有微小变化时具有优越性。

测量时所用的石英晶体由上海硅酸盐所红星厂生产加工, E-01 样品由上海新沪玻璃厂生产, BL-2 熔石英由北京 605 厂生产

参 考 文 献

- [1] E. P. Papadakis, *Rev. Sci. Instr.*, **47** (1976), 806.
- [2] J. Williams and J. Lamb, *J. A. S. A.* **30** (1958), 308—313
- [3] H. J. McSkimin, *J. A. S. A.*, **33** (1961), 12—16.
- [4] J. E. May, Jr, *IRE. Nat. Conv. Rec.* **6** Pt2, 1958, 134.
- [5] E. P. Papadakis, *J. Appl. Phys.* **35** (1964), 1474—1482.
- [6] E. P. Papadakis, *J. A. S. A.* **52** (1972), 843—846.

第一届西太平洋地区声学会议论文简介

第一届西太平洋地区声学会议于1982年9月1—3日在新加坡举行, 在大会宣读的论文共48篇, 并出版了论文集, 其中声学测量10篇: 包括吸声、隔声、噪声和音质的测试方法。有三篇论文集中介绍声强测试技术, 利用这种方法可以在多个噪声源的场所, 确定某一噪声源所辐射的功率, 以及在实验室或现场作隔声测量。有一篇论文是论述在室内采用恒定声功率源测量声压级的分布, 利用这种测量方法, 比较容易判断各个厅堂的响度特性, 通过理论计算还可粗略估计厅堂的扩散程度。建筑声学11篇: 音质的文章侧重讨论舞台反射罩的设置、大厅的可调混响装置、模型试验与实物对比和多功能厅堂的音质要求等。隔声方面介绍了两种中频隔声达70dB以上的构造实例。声学

应用声学

实验室方面文章介绍了尺寸为 $9.5 \times 8 \times 7m$ 和 $5.4 \times 3.8 \times 4.6m$ 两个消声室的设计和建成后实测情况。厅堂扩声文章主要讨论扬声器的布置方式对声象的影响, 以及用100个小型电容传声器组成2m长线列传声器的应用情况。噪声控制27篇: 有几篇文章专门讨论障板对噪声衰减的计算方法。有两篇文章介绍利用模型试验研究室外噪声的传播特性, 通过试验可对交通噪声分布情况进行预测。还有一些文章是介绍噪声允许标准的制定, 以及噪声对听觉和人们身体健康的影响等。

下一届会议计划1985年在日本举行。

(叶恒健)