
声速的测量

(2016. 3)

实验要求：要求学生熟悉掌握示波器的使用，了解压电陶瓷换能器的工作原理，理解用干涉法和相位法测量空气中的声速的原理并掌握实验方法。

对于有拓展要求的 学生可以展开液体和固体声速测量。

实验报告要求实验数据和结果作出表格，分别用逐差法和作图法处理，进行不确定度 ($P=0.95$) 分析，并进行定性的误差分析，最后回答思考题。



国家级实验教学示范中心

中国科学技术大学物理实验教学中心

中华人民共和国教育部

在弹性介质中，频率从 20Hz 到 20kHz 的振动所激起的机械波称为声波，高于 20kHz，称为超声波，超声波的频率范围在 $2 \times 10^4 \text{Hz} \sim 5 \times 10^8 \text{Hz}$ 之间。超声波的传播速度，就是声波的传播速度。超声波具有波长短，易于定向发射等优点，在超声波段进行声速测量比较方便。

超声波在媒质中的传播速度与媒质的特性及状态等因素有关。因而通过媒质中声速的测定，可以了解媒质的特性或状态变化。例如，测量氯气、蔗糖等气体或溶液的浓度、氯丁橡胶乳液的比重以及输油管中不同油品的分界面等等，这些问题都可以通过测定这些物质中的声速来解决。可见，声速测定在工业生产上具有一定的实用意义。

本实验用压电陶瓷超声换能器来测定超声波在空气中的传播速度，它是非电量电测方法的一个例子。

一、实验目的

1. 了解超声波的产生、发射和接收方法；
2. 用干涉法和相位法测量介质中的声速；
3. 复习用逐差法和作图法进行数据处理，复习示波器的使用，熟悉振动合成。

二、实验原理

频率介于 20Hz~20kHz 的机械波振动在弹性介质中的传播就形成声波，介于 20kHz~500MHz 的称为超声波，超声波的传播速度就是声波的传播速度，而超声波具有波长短，易于定向发射和会聚等优点，声速实验所采用的声波频率一般都在 20kHz~60kHz 之间。在此频率范围内，采用压电陶瓷换能器作为声波的发射器、接收器，效果最佳。

声速是声波在介质中传播的速度。声波在空气中的传播速度

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

式中 γ 是空气定压比热容和定体比热容之比 ($\gamma = \frac{c_p}{c_v}$)， R 是普适气体常量， M 是气体的摩尔质量，

T 是热力学温度。由式 (1) 可见，温度是影响空气中声速的主要因素。如果忽略空气中的水蒸气和其他夹杂物的影响，在 0°C ($T_0 = 273.15 \text{ K}$) 时的声速

$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma RT_0}{M}} = 331.45 \text{ m/s} \quad (2)$$

在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的声速

$$v_t = \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \tag{3}$$

根据波动理论，声波各参量之间的关系有

$$v = \lambda \cdot f \tag{4}$$

其中 v 为波速， λ 为波长， f 为频率。

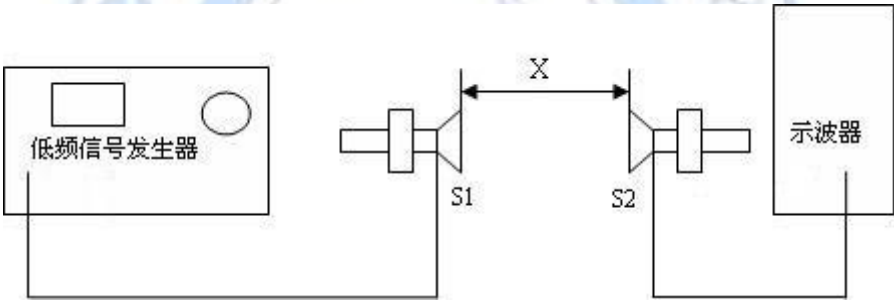


图 1 共振法测量声速实验装置

在实验中, 可以通过测定声波的波长 λ 和频率 f 求声速。声波的频率 f 可以直接从低频信号发生器(信号源)上读出, 而声波的波长 λ 则常用共振干涉法(驻波法) 和相位比较法(行波法) 来测量。

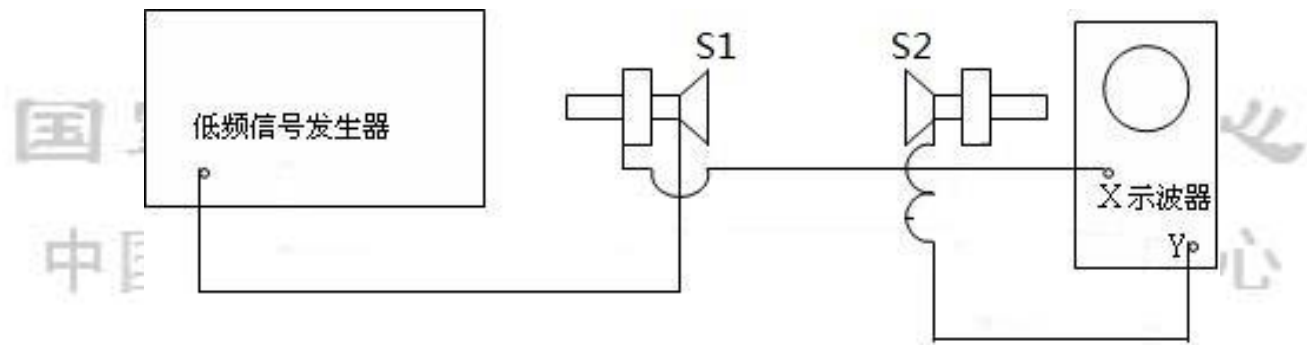


图 2 相位比较法测量声速实验装置

1. 共振干涉(驻波)法测声速

由声源 S_1 发出的声波(频率为 f)，经介质(空气)传播到 S_2 ， S_2 在接收声波信号的同时反射部分声波信号。如果接收面(S_2)与发射面(S_1)严格平行，入射波即在接收面上垂直反射，入射波与反射波叠加。这两列波有相同的振动方向、相同的振幅 A ，相同的频率 f 和波长 λ ，在 x 轴上以相反的方向传播。它们的波动方程分别是：

$$y_1 = A \cos 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (5)$$

$$y_2 = A \cos 2\pi \left(ft + \frac{x}{\lambda} + \pi \right) \quad (6)$$

叠加后合成波为

$$\begin{aligned} y = y_1 + y_2 &= A \cos 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) + A \cos 2\pi \left(ft + \frac{x}{\lambda} + \pi \right) \\ &= 2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \sin 2\pi ft \end{aligned} \quad (7)$$

两波合成后介质中各点都在作同频率的简谐振动，各点的振幅为 $2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$ ，与时间 t 无关，是位置 x 的正弦函数。对应于的 $\left| \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \right| = 1$ 的各点振幅最大，称为波腹，对应于的 $\left| \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \right| = 0$ 的各点振幅最小，称为波节。任意两相邻波腹(波节)之间的距离为 $\lambda/2$ 。这样入射波与反射波相干涉形成驻波。改变接收器与发射源之间的距离 L ，在一系列特定的距离上，媒质中出现稳定的驻波共振现象。反射面处是位移的波节，声压的波腹。此时 L 等于半波长的整数倍，驻波的幅度达到极大；同时，在接收面上的声压波腹也相应地达到极大值。通过压电转换，产生的电信号的电压值也最大（示波器显示波形的幅值最大）。因此，若保持频率不变，通过测量相邻两次接收信号达到极大值时接收面之间的距离 ΔL ，即可得到该波的波长 ($\lambda = 2\Delta x$)，并用 $v = \lambda \cdot f$ 计算出声速。

2. 相位比较法

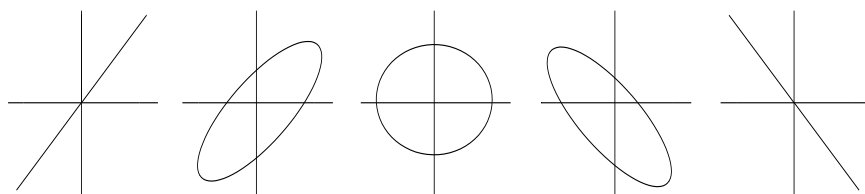
实验装置接线如图 2 所示，置示波器功能于 X-Y 方式。当 S1 发出的平面超声波通过媒质到达接收器 S2，合成振动方程为：

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (8)$$

在发射波和接收波之间产生相位差：

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda} \quad (9)$$

见图 3，随着振动的相位差从 $0 \sim \pi$ 的变化，李萨如图形从斜率为正的直线变为椭圆，再变到斜率为负的直线。因此，每移动半个波长，就会重复出现斜率符号相反的直线，测得了波长 λ 和频率 f ，根据式 $v = \lambda \cdot f$ 即可计算出声音传播的速度。改变 S1 和 S2 之间的距离 L ，相当于改变了发射波和接收波之间的相位差，荧光屏上的图形也随 L 不断变化。显然，当 S1、S2 之间距离改变半个波长 $\Delta L = \lambda/2$ ，则 $\Delta\varphi = \pi$ 。



(a) $\Delta\varphi=0$ (b) $\Delta\varphi=\frac{\pi}{4}$ (c) $\Delta\varphi=\frac{\pi}{2}$ (d) $\Delta\varphi=\frac{3\pi}{4}$ (e) $\Delta\varphi=\pi$

图 3 合成振动

3. 时差法

以上两种方法测量声速，是用示波器观察波峰和波谷，或者观察两个波的相位差，原理是正确的，但存在读数误差。较精确测量声速的方法是采用声波时差法，时差法在工程中得到了广泛的应用。它是将脉冲调制的电信号加到发射换能器上，声波在介质中传播，经过时间 t 后，到达距离为 L 处的接收换能器，那么可以用以下公式求出声波在介质中传播的速度。速度 $v = L/t$ 。

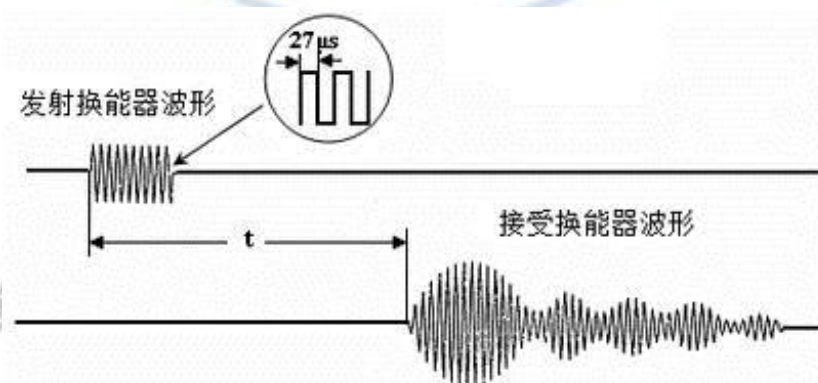


图 4 用时差法测量声速的波形图

三、实验仪器

SVX-5 型声速测试仪信号源、SV-DH 系列声速测试仪、双踪示波器等。

压电陶瓷换能器是由压电陶瓷片和轻重两种金属组成。压电陶瓷片是由一种多晶结构的压电材料（如石英、锆钛酸铅陶瓷等），在一定温度下经极化处理制成的。它具有压电效应，即受到与极化方向一致的应力 T 时，在极化方向上产生一定的电场强度 E 且具有线性关系： $E = g \cdot T$ ，即力→电，称为**正压电效应**；当与极化方向一致的外加电压 U 加在压电材料上时，材料的伸缩形变 S 与 U 之间有简单的线性关系：

$$S = d \cdot U \quad (10)$$

即电→力，称为**逆压电效应**。其中 g 为比例系数， d 为压电常数，与材料的性质有关。由于 E 与 T ， s 与 U 之间有简单的线性关系，因此我们就可以将正弦交流电信号变成压电材料纵向的长度伸缩，使压电陶瓷片成为超声波的波源。即压电换能器可以把电能转换为声能作为超声波发生器，反过来也可以使声压变化转化为电压变化，即用压电陶瓷片作为声频信号接收器。因此，压电换能器可以把电能转换为声能作为声波发生器，也可把声能转换为电能作为声波接收器之用。

压电陶瓷换能器根据它的工作方式，可分为纵向(振动)换能器、径向(振动)换能器及弯曲振动换能器。图 5 所示为纵向换能器的结构简图。

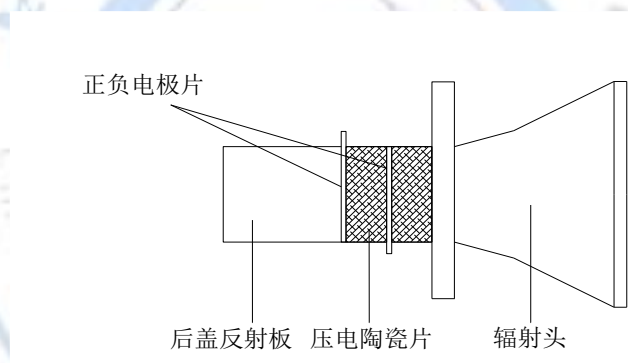


图 5 纵向换能器的结构

四、实验内容

1. 调整仪器时系统处于最佳工作状态

- 1) 调节 S1、S2 使两端面平行。
- 2) 测量谐振频率 f 。

只有当换能器 S1 和 S2 发射面与接收面保持平行时才有较好的接收效果；为了得到较清晰的接收波形，应将外加的驱动信号频率调节到发射换能器 S1 谐振频率点 f 处，才能较好地进行声能与电能的相互转换，提高测量精度，以得到较好的实验效果。

在 S1 和 S2 之间保持一定间距的情况下，观察接收波的电压幅度变化，在某一频率点处（34.5kHz ~ 39.5kHz 之间，因不同的换能器或介质而异）电压幅度最大，此频率即是压电换能器 S1、S2 相匹配频率点，记录此频率 f 。改变 S1 和 S2 面的间距，测量 f_i 5 次，取平均值作为 f 。

2. 驻波法（共振干涉法）测波长和声速

- 1) 移动 S2，观察波的干涉现象。
- 2) 记录 12 个相邻的波腹的位置。
- 3) 用逐差法处理数据，计算波长和声速，并计算不确定度 ($P=0.95$)。

3. 相位比较法测量波长和声速

- 1) 移动 S2，观察李萨如图形；
- 2) 将 S2 从 S1 附件慢慢移开，依次测出李萨如图形为直线时 S2 的位置，共 12 个值。

3) 用作图法处理数据, 计算波长和声速。

4) 记下室温 t , 计算理论值, 与测量值比较。

4. 水中声速的测量 (仪器及使用参见后面的“选作内容”)

五、思考题

- 1、固定两换能器的距离改变频率, 以求声速, 是否可行?
- 2、声速测量中共振干涉法、相位法、时差法有何异同?
- 3、各种气体中的声速是否相同, 为什么?



国家级实验教学示范中心

中国科学技术大学物理实验教学中心

中华人民共和国教育部

选作内容 液体及固体介质的声速测量

【实验仪器】

实验仪器采用杭州精科仪器有限公司生产的 SV5 声速测量组合仪及SV5 声速测定专用信号源各一台。其外形结构见图6。



图 6. SV5 型声速测量组合仪实物图

组合仪主要由储液槽、传动机构、数显标尺、两副压电换能器等组成。储液槽中的压电换能器供测量空气及液体声速用，另一副换能器供测量固体声速用。作为发射超声波用的换能器 S_1 固定在储液槽的左边，另一只接收超声波用的接收换能器 S_2 装在可移动滑块上。上下两只换能器的相对位移通过传动机构同步行进，并由数显表头显示位移的距离。 S_1 发射换能器超声波的正弦电压信号由SV5声速测定专用信号源供给，换能器 S_2 把接收到的超声波声压转换成电压信号，用示波器观察；时差法测量时则还要接到专用信号源进行时间测量，测得的时间值具有保持功能。

另外备有 300mm 游标卡尺一把，用于测量固体棒的长度。

【实验内容】

一、声速测量系统的连接：

声速测量时，专用信号源、测试仪、示波器之间，连接方法见图7。

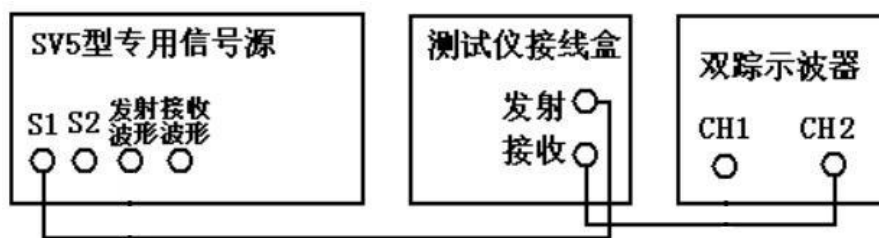


图7 调节谐振频率连接图

二、谐振频率的调节

根据测量要求初步调节好示波器。将专用信号源输出的正弦信号频率调节到换能器的谐振频率，以使换能器发射出较强的超声波，能较好地进行声能与电能的相互转换，以得到较好的实验效果，方法如下：

1. 将专用信号源的“发射波形”端接至示波器，调节示波器，能清楚地观察到同步的正弦波信号；
2. 专用信号源的上“发射强度”旋钮，使其输出电压在20VP-P左右，然后将换能器的接收信号接至示波器，调整信号频率(25kHz ~ 45kHz)，观察接收波的电压幅度变化，在某一频率点处(34.5kHz ~ 39.5kHz之间，因不同的换能器或介质而异)电压幅度最大，此频率即是压电换能器 S1、S2 相匹配频率点，记录此频率 f_i 。

三、用相位法测量液体中的声速的步骤：

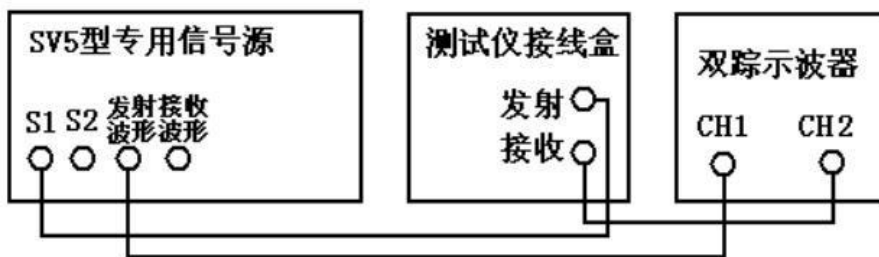


图8 相位法测量连接图

按照图8的方式连接将测试方法设置到连续波方式。当使用液体为介质测试声速时，向储液槽注入液体，直至液面线处，但不要超过液面线。**注意：在注入液体时，不能将液体淋在数显表头上，然后将金属测试架回储液槽。**专用信号源上“声速传播介质”置于“液体”位置，换能器的连接线接至测试架上的“空气•液体”专用插座上，即可进行测试。

四、用时差法测量空气介质的声速

测量空气声速时,将专用信号源上“声速传播介质”置于“空气”位置,发射换能器（带有转轴）用紧定螺钉固定，然后将话筒插头插入接线盒中的插座中。

将测试方法设置到脉冲波方式。将S1和S2之间的距离调到一定距离（ $\geq 50\text{mm}$ ）。开启数显表头电源，并置0，再调节接收增益，使示波器上显示的接收波信号幅度在 $300 \sim 400\text{mV}$ 左右（峰-峰值），以使计时器工作在最佳状态。然后记录此时的距离值和显示的时间值 L_{i-1} 、 t_{i-1} (时间由声速测试仪信号源时间显示窗口直接读出)；移动 S2，记录下这时的距离值和显示的时间值 L_i 、 t_i 。则声速 $V = (L_i - L_{i-1}) / (t_i - t_{i-1})$ 。

需要说明的是，由于声波的衰减，移动换能器使测量距离变大（这时时间也变大）时，如果测量时间值出现跳变，则应顺时针方向微调“接收放大”旋钮，以补偿信号的衰减；反之测量距离变小时，如果测量时间值出现跳变，则应逆时针方向微调“接收放大”旋钮，以使计时器能正确计时。

五、用时差法测量固体介质的声速（只适合用时差法测量）

测量非金属（有机玻璃棒）、金属（黄铜棒）固体介质时，可如图9按步骤进行实验（示波器可不接）：

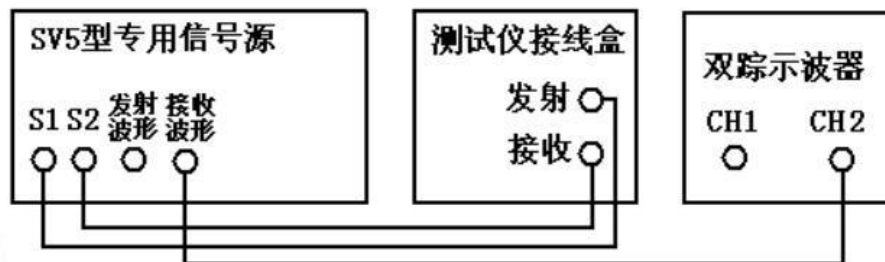


图9 时差法测量连接图

1. 将专用信号源上的“测试方法”置于“脉冲波”位置，“声速传播介质”按测试材质的不同，置于“非金属”或“金属”位置。
2. 先拔出发射换能器尾部的连接插头，再将待测的测试棒的一端面小螺柱旋入接收换能器中心螺孔内，再将另一端面的小螺柱旋入能旋转的发射换能器上，使固体棒的两端面与两换能器的平面可靠、紧密接触，注意：旋紧时，应用力均匀，不要用力过猛，以免损坏螺纹，拧紧程度要求两只换能器端面与被测棒两端紧密接触即可。调换测试棒时，应先拔出发射换能器尾部的连接插头，然后旋出发射换能器的一端，再旋出接收换能器的一端。
3. 把发射换能器尾部的连接插头插入接线盒的插座中，按图9接线，即可开始测量。
4. 记录信号源的时间读数，单位为 μs 。测试棒的长度可用游标卡尺测量得到并记录。

-
5. 用以上方法调换第二长度及第三长度被测棒，重新测量并记录数据。
 6. 用逐差法处理数据，根据不同被测棒的长度差和测得的时间差计算出被测棒的声速。



国家级实验教学示范中心
中国科学技术大学物理实验教学中心

中华人民共和国教育部

附录：示波器的使用说明（见下页）



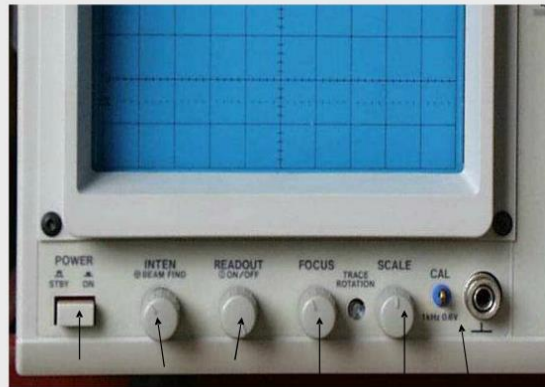
国家级实验教学示范中心

中国科学技术大学物理实验教学中心

中华人民共和国教育部

SS-7802 示波器使用介绍

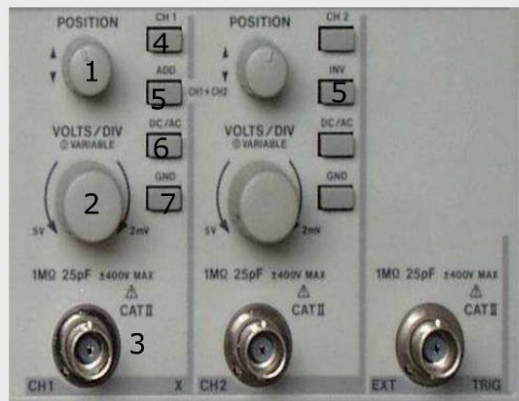
各功能区域



- 1 电源开关
- 2 亮度调节
- 3 读数
- 4 聚焦
- 5 光迹旋转
- 6 校正信号

垂直轴

- 1 位移
- 2 电压灵敏度
- 3 输入CH1
- 4 显示CH1
- 5 加/减显示
- 6 耦合方式 AC/DC
- 7 接地



水平轴

- 1 水平位移
- 2 位移细调
- 3 扫描扩展
- 4 扫描速率
- 5 交替/断续



触发部分

- 1 触发指示灯
- 2 触发电平
- 3 极性
- 4 触发源
- 5 耦合方式



水平显示



A常规使用

X-Y时CH1作X轴使用

扫描方式

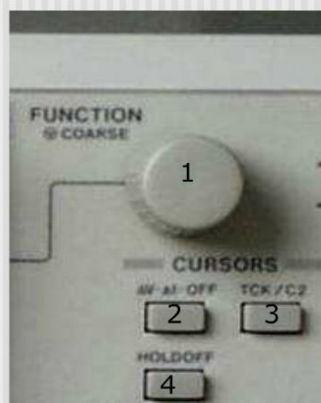


自动

常态

单次

功能部件



- 1 使光标上下左右移动
- 2 光标测电压或时间
- 3 选光标1或2,1和2.
- 4 释抑调整.



1. 电子示波器基本原理

电子示波器的主要组成部分：阴极射线示波管，扫描、触发系统，放大系统，电源系统。

A. 示波管：示波管是用于显示被测信号波形的器件，由电子枪、偏转板、荧光屏三个部分组成。荧光屏显示被测信号的波形；电子枪发射电子束，并通过一定的电场分布控制到达荧光屏上的电子数量、电子束的形状和尺寸；偏转板上加电压时，其电场使电子束沿水平、垂直方向发生偏移。

B. 电压放大系统：使电压较低的被测信号在荧光屏上获得明显的偏移，而对被测信号进行电压放大。

C. 扫描：在水平偏转板上加上一个电压与时间成正比的信号，使电子束在垂直方向运动的同时沿水平方向匀速移动，将垂直方向的运动在水平方向“展开”，此过程即为扫描过程。此时的 $u_x(t)$ 称为扫描电压。

D. 同步：水平偏板上的线性锯齿波扫描电压 $u_X(t)$ 与垂直偏板上的被观察信号 $u_Y(t)$ 周期达到整数倍时，每次锯齿波的扫描起点准确地落在被观测信号的同相位点，扫描信号与被观测信号达到了同步，称为扫描同步。

2. SS-7802 示波器的结构、功能与使用方法

A. 示波器的屏幕显示信息与读出方法

SS-7802 示波器是一种读出型示波器，不但具有普通示波器的各种测量功能，还增加了数字测量与显示等功能，把示波测量时的工作状态、工作参数乃至被测量的读出值，用各种字符显示在屏幕上

B. SS-7802 示波器的面板结构图如图 3 所示，面板上各键钮的功能及操作方法见表 1。

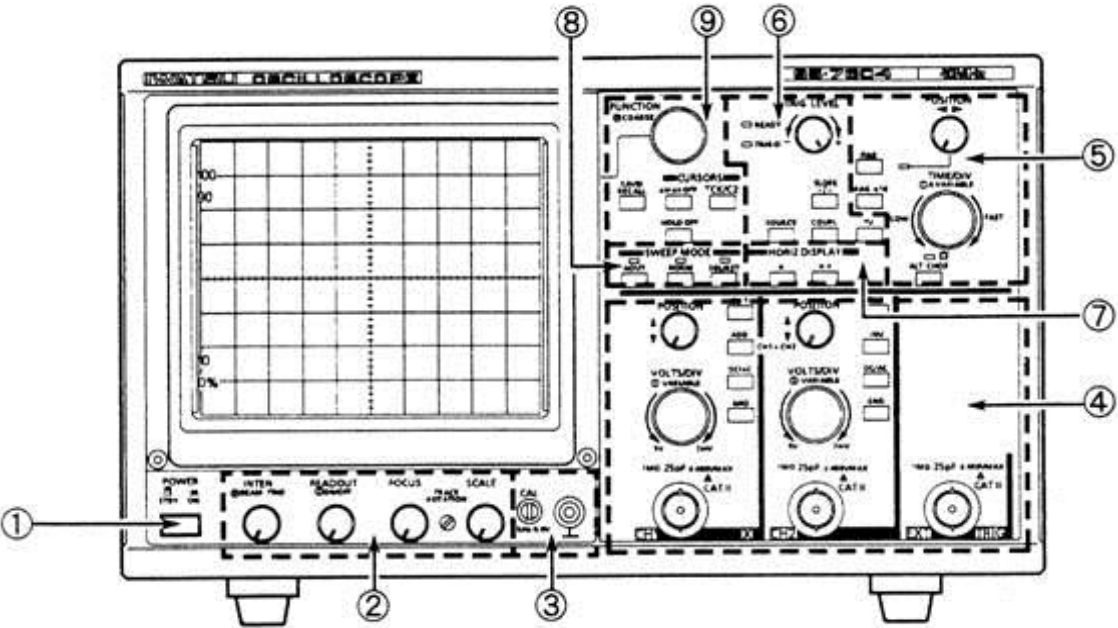


图 3、SS-7802 示波器面板结构图

表 1. SS-7802 示波器面板键钮的功能及操作方法

键钮部位	英文名称	中文名称	操作方法	功能
①	POWER	电源	按下	接通 220V 市电，再按时断开
② 屏幕调整部分	INTEN	辉度	旋转 按	顺时针旋转时增亮（适中为宜） 按住时，可做寻迹操作，松开时取消寻迹状态
	READOUT	读出	旋转 按	顺时针旋转时字符增亮（适中为宜） 每按一次，读出字符，在显示与不显示间切换
	FOCUS	聚焦	旋转	调整扫迹、字符的清晰度
	SCALE	标尺	旋转	调整屏幕上标尺网格辉度
	TRACE ROTATION	扫迹旋转	用改锥旋转	使扫迹水平
③	CAL	校正信号	连线	输出 1kHz, 0.6V 方波校正信号
	⊥	地端	连线	用于接地测量

键钮部位	英文名称	中文名称	操作方法	功能
④ 垂直部	CH1, CH2	输入端	连线	接 Y1/Y2 输入信号
	▲POSITION▼	垂直位移	旋转	调节扫迹的垂直位置
	CH1, CH2	通道	按	按 CH1、CH2，选择该通道示波，屏幕下方显示

分				该通道数 1: 或 2: ; 再按该键, 取消该通道示波
	VOLT/DIV	偏转因数	旋转	每转一下响一声, 其值在 5V~2mV/cm(分 11 档: 5/2/1V/cm, 500/200/100/50/20/10/5/2 mV/cm) 递减或递增, 并在屏幕下方显示当时偏转因数值
	VARIABLE	可调	按	按该钮设置偏转因数可调, 此时, 在屏幕偏转因数值前显示未校正符号 “>”; 再按该钮, 取消可调
	DC/AC	直耦/交耦	按	直耦时, 在屏幕偏转因数值后显示 V; 交耦(经电容耦合)时显示 , 每按一次, 在直耦、交耦间转换
	GND	接地	按	按, 该通道输入接地, 在屏幕偏转因数值后显示 ⊥ 符号; 再按该键, 取消接地
	ADD	相加	按	按, 设置相加, 扫迹显示 Y_1+Y_2 波形, 在屏幕通道数 2: 前显示+号, 即+2: ; 再按该键, 取消相加
	INV	反相	按	按, Y_2 波形反相, 在通道数 2: 后显示 ↓ 号, 若此时设置 ADD, 扫迹显示 Y_1-Y_2 波形; 再按该键, 取消反相
⑤ 水平部分	◀POSITION▶ FINE	水平位移 位移细调	旋转 按	调节扫迹的水平位置 按该键, 设置水平位移细调, 此时, 旋转水平位移钮可作水平位移细调; 再按该键, 取消水平位移细调
	TIME/DIV	厘米扫描 时间	旋转 按	每转一下响一声, 其值在 500 ms~200 ns/cm (分 20 档: 500/200/100/50/20/10/5/2/1ms/cm, 500/200/100/50/20/10 /5/2/1μs/cm, 500/200 ns/cm) 递减或递增, 并在屏幕左下方显示当时厘米扫描时间值 按该钮设置厘米扫描时间可调, 此时, 屏幕显示未校正符号 “>”; 再按该钮, 取消厘米扫描时间可调
	MAG×10	扫描放大	按	按, 波形向左右放大 10 倍, 在屏幕右下方显示 MAG, 再按该键, 取消扫描放大
	ALT CHOP	交替 切 换	按	多通道显示时, 按该键选择 ALT (交替扫描, 适宜高频多通道显示) 或 CHOP (以 555kHz 切换显示, 适宜低频多道显示)

键 钮 部 位	英文名称	中文名称	操作方法	功能
⑥ 触 发	SOURCE	触发源	每按一次, 该选	选择触发信号, 每按一次以 CH1, CH2, LINE (市电频率), EXT (外触发), VERT (选小序号通道信号做触发源) 顺序, 循环改选, 其

部分			触发源	字符显示在屏幕左上方“厘米扫描时间”后
	SLOPE	触发斜率	按	选择触发沿，上升沿+，下降沿-；显示在屏幕左上方“触发源”后
	COUPL	触发耦合	按	每按一次，以 AC，DC，HF-R（衰减高频噪声），LF-R（衰减低频噪声）序改变耦合方式；其字符显示在屏幕左上方“触发斜率”后
	TRIG LEVEL	触发电平	旋转	调节，实现触发扫描同步，此时，触发指示灯（TRIG'D）亮，波形稳定；其电平值及极性显示在屏幕左上方“触发耦合”后
略：READY：单次触发指示灯，TV：视频触发方式				

键钮部位	英文名称	中文名称	操作方法	功能
⑦ 水平显示	A	扫描显示	按	按该键，设置扫描显示方式，其字符显示在屏幕左上角
	X-Y	X-Y 显示	按	按该键，设置 X-Y 显示方式，（X 轴：CH1 信号，Y 轴：其他信号），用来观测 X-Y 函数图形；按 A 键，返回扫描显示
⑧ 扫描方式	AUTO	自动	按	若触发不成功时，自激扫描，适宜 50Hz 以上信号观测
	NORM	常态	按	若无适当的触发信号时，不扫描；若触发源为 CH1 或 CH2 且其输入置 GND 时，将自激扫描，适宜各种频率信号观测
略：SGL/RST（单次扫描）				

键 钮 部 位	英文名称	中文名称	操作方法	功能
⑨ 功 能 部 分	$\Delta V - \Delta t - OFF$ F	电压-时间关闭	按	选择测量对象： ΔV 为电压量测， Δt 为时间量测，OFF 为不显示光标；两光标间 ΔV 值或 Δt 值，显示在屏幕左下方
	TCK/C2	光标设置	按	按该键设置可移动光标，每次一次，以光标 1、光标 2、跟踪 (TCK) 次序循环设置，被设置光标左或上端有可移动标记
	FUNCTION	功能调节	旋转 按	用它可将光标移至测量位置：每转一下，光标移动一步 (=分度值 $\times 0.01$)；每按一次，光标跳跃 25 步，连接连跳
	HOLD OFF	释抑	按	按下该键选择释抑，旋转 FUNCTION 可调整释抑时间

C. SS-7802 示波器的基本操作

(1) 开机前预置：将“辉度”、“读出”、“聚焦”、“标尺”旋钮置中等程度，将“水平位移”、“垂直位移”、“触发电平”旋钮置中间位置。

(2) 调出清晰的扫迹、字符：开启电源，将扫描方式置为“自动”，水平显示置为“A”30 秒后在屏幕中间位置显示扫迹，调节“辉度”来调整扫迹辉度适中，调节“读出”来调整字符辉度适中，通过反复调节“聚焦”、“辉度”、“读出”来调整扫迹、字符的清晰度。

(3) 调出稳定波形：在 CH1、CH2 输入端连接被观测信号，按下“CH1”或“CH2”选择显示通道，按下“触发源”选择触发信号，旋转“偏转因数”、“厘米扫描时间”使波形幅度、宽度适中，旋转“触发电平”使触发同步。

(4) 读屏幕：在示波测量时，在屏幕上显示了测量时的工作状态、工作参数乃至被测量的读数值。

(5) 读出示波测量：测电压、测时间[间隔]（或频率、相位差）、观察 X-Y 函数图形参见光标测量。

3. SS-7802 示波器的光标测量

A. 测电压：

(1) 按“ $\Delta V - \Delta t - OFF$ ”，设置 ΔV ；

(2) 按“TCK/C2”，分别设置待移动光标 1 或 2；旋转（细调）或按（粗调）“FUNCTION”，将 V 光标 1 移至低电位点、将 V 光标 2 移至高电位点；

(3) 读出其差值 $\Delta V = V_2 - V_1$ 。

B. 测时间[间隔]：

(1) 按“ $\Delta V - \Delta t - OFF$ ”，设置 Δt ；

(2) 按“TCK/C2”，分别设置待移动光标 1 或 2；旋转（细调）或按（粗调）“FUNCTION”，将 H 光标 1 移至左测量点、将 H 光标 2 移至右测量点；

(3) 读出其差值 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

C. 测频率：

(1) 测出周期信号相邻两个同相位点时间间隔 Δt ；

(2) Δt 的倒数显示在屏幕上，即 $f = 1/\Delta t$ 。