

声速测量

【实验目的】

1. 了解超声换能器的工作原理和功能
2. 学习不同方法测定声速的原理和技术
3. 熟悉信号源和示波器的使用

【实验原理】

声波是一种在弹性媒质中传播的机械波。声波在媒质中传播时，声速，声衰减等诸多参量都和媒质的特性与状态有关，通过测量这些声学量可以探知媒质的特性及状态变化。例如，通过测量声速可求出固体的弹性模量；气体、液体的比重、成分等参量。

在同一媒质中，声速基本与频率无关，例如在空气中，频率从 20 赫兹变化到 8 万赫兹，声速变化不到万分之二。由于超声波具有波长短，易于定向发射，不会造成听觉污染等优点，我们通过测量超声波的速度来确定声速。超声波在医学诊断，无损检测，测距等方面都有广泛应用。

声速的测量方法可分为两类：

第一类方法是直接根据关系式 $V=S/t$ ，测出传播距离 S 和所需时间 t 后即可算出声速，称为“时差法”，这是工程应用中常用的方法。

第二类方法是利用波长频率关系式 $V=f\lambda$ ，测量出频率 f 和波长 λ 来计算出声速，测量波长时又可用“共振干涉法”或“相位比较法”。

1. 压电陶瓷换能器

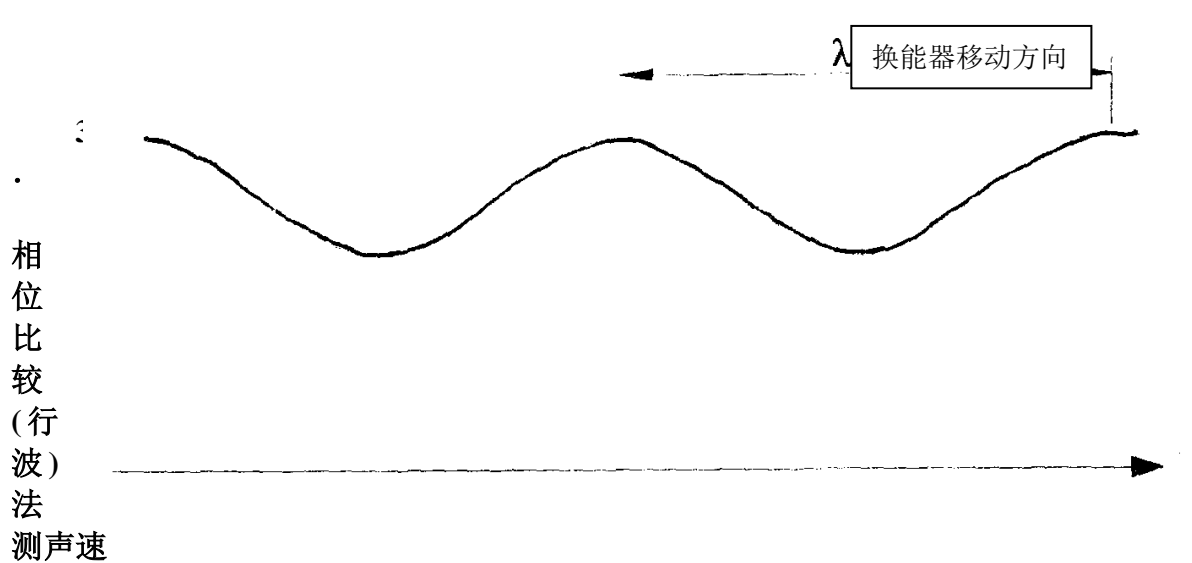
压电材料受到与极化方向一致的应力 F 时，在极化方向上会产生一定的电场 E 它们之间有线性关系 $E=g\cdot F$ 。反之，当在压电材料的极化方向上加电压 E 时，材料的伸缩形变 S 与电压 E 也有线性关系 $S=a\cdot E$ ，比例系数 g 、 a 称为压电常数，它与材料性质有关。本实验采用压电陶瓷超声换能器将实验仪输出的正弦振荡电信号转换成超声振动。压电陶瓷片是换能器的工作物质，它是用多晶体结构的压电材料(如钛酸钡，锆钛酸铅等)在一定的温度下经极化处理制成的。在压电陶瓷片的前后表面粘贴上两块金属组成的夹心型振子，就构成了换能器。由于振子是以纵向长度的伸缩，直接带动头部金属作同样纵向长度伸缩，这样所发射的声波，方向性强，平面性好。每一只换能器都有其固有的谐振频率，换能器只有在其谐振频率，才能有效的发射(或接收)。实验时用一个换能器作为发射器，另一个作为接收器，二换能器的表面互相平行，且谐振频率匹配。

2. 共振干涉(驻波)法测声速

到达接收器的声波，一部分被接收并在接收器电极上有电压输出，一部分被向发射器方向反射。由波的干涉理论可知，两列反向传播的同频率波干涉将形成驻波，驻波中振幅最大的点称为波腹，振幅最小的点称为波节，任何两个相邻波腹(或两个相邻波节)之间的距离都等于半个波长。改变两只换

能器间的距离，同时用示波器监测接收器上的输出电压幅度变化，可观察到电压幅度随距离周期性的变化。记录下相邻两次出现最大电压数值时游标尺的读数。两读数之差的绝对值应等于声波波长的二分之一。已知声波频率并测出波长，即可计算声速。实际测量中为提高测量精度，可连续多次测量并用逐差法处理数据。

接收到的波形



当发射器与接收器之间距离为 L 时，在发射器驱动正弦信号与接收器接收到的正弦信号之间将有相位差 $\Phi = 2\pi L / \lambda = 2\pi n + \Delta\Phi$ 。

若将发射器驱动正弦信号与接收器接收到的正弦信号分别接到示波器的 X 及 Y 输入端，则相互垂直的同频率正弦波干涉，其合成轨迹称为李萨如图，如图 1 所示。

当接收器和发射器的距离变化等于一个波长时，则发射与接收信号之间的相位差也正好变化一个周期(即 $\Delta\Phi = 2\pi$)，相同的图形就会出现。反之，当准确观测相位差变化一个周期时接收器移动的距离，即可得出其对应声波的波长 λ ，再根据声波的频率，即可求出声波的传播速度。

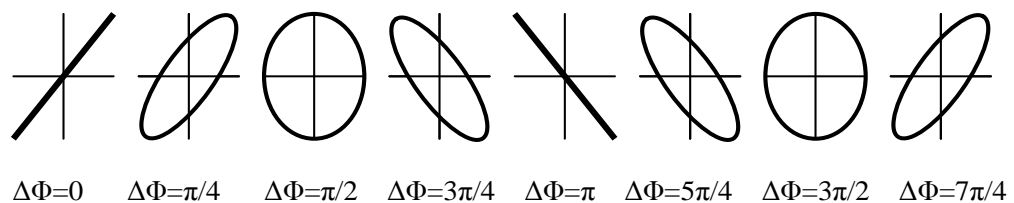


图 1 相位差不同时的李萨如图

4. 时差法测量声速

若以脉冲调制正弦信号输入到发射器，使其发出脉冲声波，经时间 t 后到达距离 L 处的接收器。接收器接收到脉冲信号后，能量逐渐积累，振幅逐渐加大，脉冲信号过后，接收器作衰减振荡，如图 2 所示。 t 可由测量仪自动测量，也可从示波器上读出。实验者测出 L 后，即可由 $V = L / t$ 计算声速。

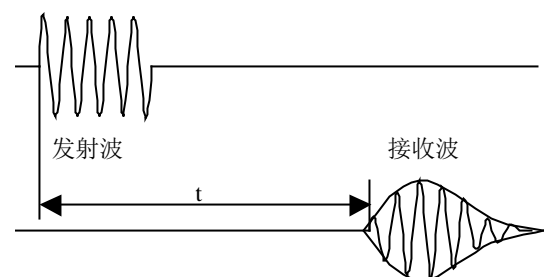


图 2 时差的测量

【实验内容】

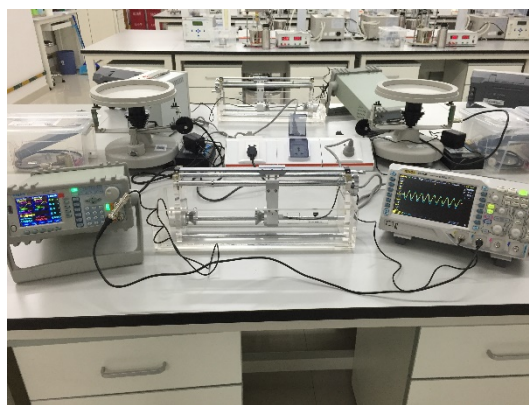


图 3 仪器连接方法

- (1) 熟悉信号源和示波器的使用方法,按图 3 中的方法连接好定子和动子。
- (2) 超声换能器工作状态的调节方法如下:在仪器预热 15 分钟并正常工作以后,首先自行约定超声换能器之间的距离变化范围,再变化范围内随意设定超声换能器之间的距离,然后调节声速测定仪信号源输出电压(2V_{pp} 左右),调整信号频率(在 30--40kHz),观察频率调整时接收波形的电压幅度变化,在某一频率点处电压幅度最大,这时稳定信号频率,再改变超声换能器之间的距离,改变距离的同时观察接收波形的电压幅度变化,记录接收波形电压幅度的最大值和频率值;再次改变超声换能器间的距离到适当选择位置,重复上述频率测定工作,共测多次,在多次测试数据中取接收波形电压幅度最大的信号频率作为压电陶瓷换能器系统的最佳工作频率点。
- (3) 用共振干涉法测量空气中的声速:转动移动手柄,逐步增大 L ,观察示波器上电压的输出变化,当电压达到最大值时,记下位置 L_1 ;继续增加 L ,达到下一个极大值点,记下 L_2 ,需测 10 个点。
- (4) 用相位法测量空气中的声速:利用李萨如图形比较发射信号和接受信号之间的相位差。移动手柄,依次记录李萨如图形为第一象限内直线和第二象限直线时的 L 值。此变化对应于声波的相位改变了 π ,即对应接收器改变了半个波长的距离。

【思考题】

1. 示波器在本实验中起到什么作用?如果没有示波器,又能用其他什么仪器来替代并同样测出声速?