

声速的测量

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。

根据声波各参量之间的关系可知 $v = \lambda \cdot f$ ，其中 v 为波速， λ 为波长， f 为频率。

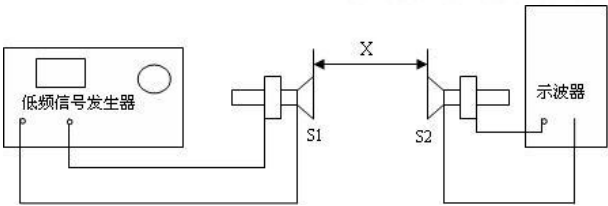


图 1 共振法测量声速实验装置

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 则常用相位比较法(行波法)和共振干涉法(驻波法)来测量。

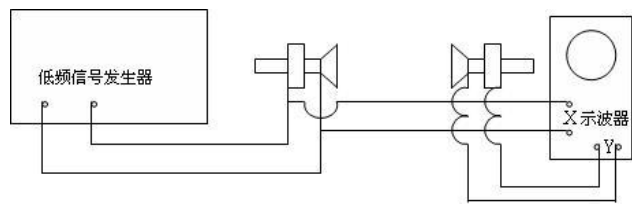


图2 相位比较法测量声速实验装置

1. 共振干涉(驻波)法测声速

由声源 S1 发出的声波(频率为 f),经介质(空气)传播到 S2, S2 在接收声波信号的同时反射部分声波信号。如果接收面(S2)与发射面(S1)严格平行,入射波即在接收面上垂直反射,入射波与反射波相干涉形成驻波。反射面处是位移的波节,声压的波腹。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,空气中出现稳定的驻波共振现象。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 λ ($\lambda = 2\Delta x$),并用 $v = \lambda \cdot f$ 计算出声速。

2. 相位比较法

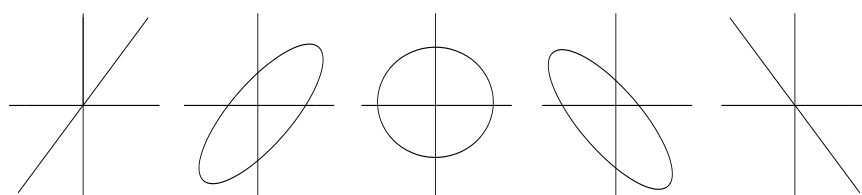
实验装置接线如图 2 所示,置示波器功能于 X-Y 方式。当 S1 发出的平面超声波通过媒质到达接收器 S2,合成振动方程为:

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

在发射波和接收波之间产生相位差:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}$$

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

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：

$$S = d \cdot U$$

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 4 所示为纵向换能器的结构简图。

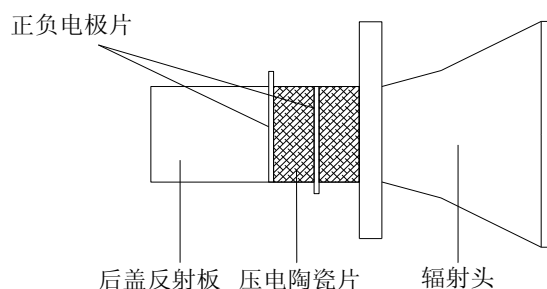


图 4 纵向换能器的结构

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) 调节谐振频率。

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。

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。

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) 用逐差法处理数据，计算波长和声速，并计算不确定度。
- 4) 记下室温 t ，计算理论值，与测量值比较。

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、各种气体中的声速是否相同，为什么？