

实验一 声速的测量

声波是在弹性媒质中传播的一种机械波，由于其振动方向与传播方向一致，故声波是纵波。振动频率在 20 Hz ~ 20 kHz 的声波可以被人们听到，称为可闻声波；频率超过 20kHz 的声波称为超声波。

对于声波特性的测量（如频率、波速、波长、声压衰减和相位等）是声学应用技术中的一个重要内容，特别是声波波速（简称声速）的测量，在声波定位、探伤、测距等应用中具有重要的意义。

【实验目的】

1. 学会用共振干涉法、相位比较法以及时差法测量介质中的声速；
2. 学会用逐差法进行数据处理；
3. 了解声速与介质参数的关系。

【实验原理】

由于超声波具有波长短，易于定向发射、易被反射等优点。在超声波段进行声速测量的优点还在于超声波的波长短，可以在短距离较精确地测出声速。

超声波的发射和接收一般通过电磁振动与机械振动的相互转换来实现，最常见的方法是利用压电效应和磁致伸缩效应来实现的。本实验采用的是压电陶瓷制成的换能器（探头），这种压电陶瓷可以在机械振动与交流电压之间双向换能。

声波的传播速度与其频率和波长的关系为

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

由（1）式可知，测得声波的频率和波长，就可得到声速。同样，传播速度亦可用

$$v = L / t \quad (2)$$

表示，若测得声波传播所经过的距离 L 和传播时间 t ，也可获得声速。

1. 共振干涉法

实验装置如图 1 所示，图中 S_1 和 S_2 为压电晶体换能器， S_1 作为声波源，它被低频信号发生器输出的交流电信号激励后，由于逆压电效应发生受迫振动，并向空气中定向发出一道近似的平面声波； S_2 为超声波接收器，声波传至它的接收面上时，再被反射。当 S_1 和 S_2 的表面互相平行时，声波就在两个平面间来回反射，当两个平面间距 L 为半波长的整倍数，即

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

时，来回声波的波峰与波峰、波谷与波谷正好重叠，形成驻波。

因为接收器 S_2 的表面振动位移可以忽略，所以对位移来说是波节，对声压来说是波腹。本实验测量的是声压，所以当形成驻波时，接收器的输出会出现明显增大。从示波器上观察到的电压信号幅值也是极大值（参见图 2）。

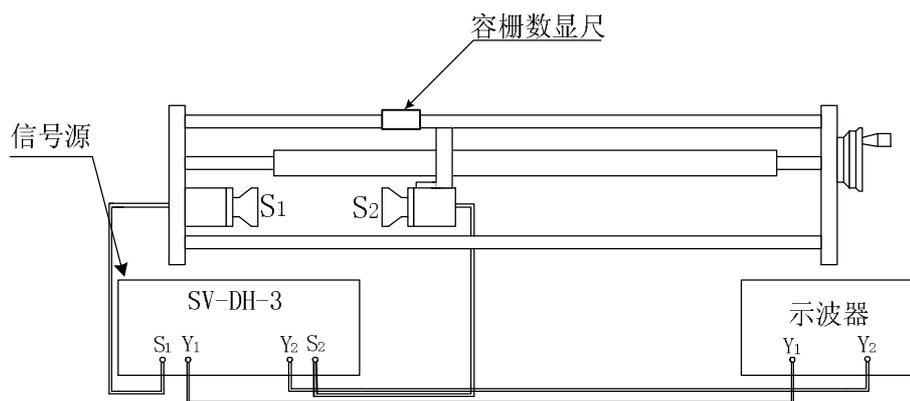


图 1 实验装置图

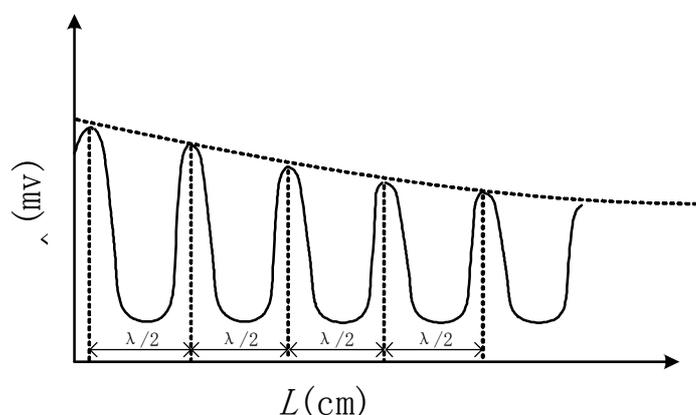


图 2 接受器表面声压随距离的变化

图中各极大值之间的距离均为 $\lambda/2$ ，由于散射和其他损耗，各极大值幅值随距离增大而逐渐减小。我们只要测出各极大值对应的接收器 S_2 的位置，就可测出波长。由信号源读出超声波的频率值后，即可由公式 (1) 求得声速。

2. 相位比较法

波是振动状态的传播，也可以说是位相的传播。沿波传播方向的任何两点同相位时，这两点间的距离就是波长的整数倍。利用这个原理，可以精确地测量波长。实验装置如图 1 所示，沿波的传播方向移动接收器 S_2 总可以找到一点，使接收到的信号与发射器的位相相同；继续移动接收器 S_2 ，接收到的信号再次与发射器的位相相同时，移过的距离等于声波的波长。

同样也可以利用李萨如图形判来断相位差。实验中输入示波器的是来自同一信号源的

信号，它们的频率严格一致，所以李萨如图是椭圆，椭圆的倾斜与两信号间的位相差有关，当两个信号间的位相差为 0 或 π 时，椭圆变成倾斜的直线。

3. 时差法

用时差法测量声速的实验装置仍采用上述仪器。由信号源提供一个脉冲信号经 S_1 发出一个脉冲波，经过一段距离的传播后，该脉冲信号被 S_2 接受，再将该信号返回信号源，经信号源内部线路分析、比较处理后输出脉冲信号在 S_1 、 S_2 之间的传播时间 t ，传播距离 L 可以从游标卡尺上读出，采用公式 (2) 即可计算出声速。

4. 逐差法处理数据

对上述数据的处理，按理可采用两相邻极大值所对应的位置相减得到 $\lambda/2$ ，但这样则在计算平均值时有

$$\frac{\bar{\lambda}}{2} = [(L_1 - L_0) + (L_2 - L_1) + \cdots + (L_n - L_{n-1})] / n = [L_n - L_0] / n \quad (4)$$

实际上只有 L_{20} 和 L_0 两个数据起作用，这两个数据如有误差，将严重影响结果的准确性，而其他的数据没有利用，失去了在大量数据中求平均以减小误差的作用。

由误差理论可知，多次测量的算术平均值为最近真值。为避免上述情况，一般在连续测量等间隔数据时，常把数据分成两组，逐次求差再算平均值，这样得到的结果就保持了多次测量的优点。但应注意，只有在连续测量的自变量为等间隔变化，相应两个因变量之差均匀的情况下，才可用逐差法处理数据。

在本实验中，若用游标卡尺测出 $2n$ 个极大值的位置，并依次算出每经过 n 个 $\lambda/2$ 的距离为

$$n \frac{\bar{\lambda}}{2} = \left[\sum_{i=1}^n (L_{(n+i)} - L_i) \right] / n \quad (5)$$

这样就很容易计算出 $\bar{\lambda}$ 。若测不到 20 个极大值，则可少测几个（一定是偶数），用类似方法计算即可。

【实验内容】

1. 共振干涉法测量空气中的声速

(1) 熟悉信号源面板上的各项功能以及示波器的使用方法。按图 1 接好线路，并将两换能器 S_1 、 S_2 之间的距离调至 1 cm 左右。

(2) 打开信号源与示波器的电源，将信号源面板上的“测试方法”确定为连续波；“传播介质”确定为空气。然后调节“发射强度”（从示波器上观察电压峰-峰值为 10 V），调节“信号频率”观察频率调整时接受波的电压幅度变化。在某一频率点处（34.5 ~ 37.5 kHz 中间）电压幅度最大，此频率即为换能器 S_1 、 S_2 相匹配频率点，记下该频率值。

(3) 转动 S_2 的移动螺柄，逐步增加 L ，观察示波器上 S_2 电压的输出变化，当电压达到极大值时，记下 S_2 的位置 L_1 。

(4) 继续增加 L , 达到下一个极大值点, 记下 L_2 , 需测 20 个点 (至少 12 个点).

2. 用相位法测量空气中的声速

(1) 利用李萨如图形比较发射信号与接收信号间的相位差. 移动接收器, 依次记下图形为斜直线时游标尺上的读数, 连续两次观察到倾角相同的斜直线对应于相位的改变了 2π , 即对应接收器改变了一个波长的距离.

(2) 测量出现同方向斜线的连续 10 个点的位置, 用逐差法处理数据.

3. 用时差法测量空气中的声速

实验中超声波的发射是个单脉冲, 可确定精确的发射时点. 但在接收端由于被接收到的单脉冲激发出余震的缘故, 单脉冲引起的是衰减震荡, 其余震可以在两个探头间产生共振, 对接收时点的测定产生了干扰. 故测量中必须避免将探头停在共振的位置上. 是否出现共振可通过示波器看出.

(1) 将面板上“测试方法”确定脉冲波, “传播介质”确定为空气 (S_1 和 S_2 间距约大于 10 cm).

(2) 调节“接收增益”, 在接收增益尽量小的前提下做到时间读数约在 400 微秒且读数稳定.

(3) 纪录此时的距离值 L_1 和显示时间 t_1 . 移动 S_2 到另一点 (L_2) 并调节接收增益, 保持信号幅度不变, 记录 L_2 和 t_2 .

(4) 重复 (3), 约测量 6~7 点, 记录下各次的 L_i 、 T_i , 可用下式计算 $v = (L_i - L_1) / (t_i - t_1)$.

4. 用时差法测量液体中的声速

(1) 选用加水的测量仪器.

(2) 将面板上“传播介质”确定为液体.

(3) 调节“接收增益”, 在接收增益尽量小的前提下做到时间读数约在 100 微秒且读数稳定.

(4) 重复实验内容 3 中的 (3) 和 (4).

【实验仪器】

信号源、压电换能器 (安装在大游标卡尺上)、示波器、温度计.

【注意事项】

1. 测量时应调节螺杆使 S_2 移动, 请避免空回误差.
2. 当使用液体为介质测声速时, 应避免液体接触到其他金属件和容栅数显尺上, 以免损坏仪器.
3. 使用时, 应避免信号源的信号输出端短路.
4. 用时差法测量时, S_1 和 S_2 之间的距离要约大于 10 cm 开始测量.

【预习题】

1. 实验时怎样找到换能器的谐振频率?
2. 什么是逐差法? 它的优点是什么? 在什么情况下使用?

【思考题】

1. 为什么换能器要在谐振频率条件下进行声速测定?

2. 要让声波在两个换能器之间产生共振必须满足哪些条件?
3. 试举三个超声波应用的例子, 它们都是利用了超声波的哪些特性?
- *4. 在时差法测量中, 为何共振或接收增益过大会影响声速仪对接收时点的判断?

【附录】

声速是声波在介质中传播的速度, 其中声波在空气中的传播比较重要, 空气可以作为理想气体处理, 声波在空气中的传播速度

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}} \quad (6)$$

式中 γ 是空气定压比热容和定容比热容比 ($\gamma = C_p / C_v$); R 是气体普适常数; M 是气体分子量; T 是绝对温度.

由式 (7) 可见, 温度是影响空气中声速的主要因素. 如果忽略空气中水蒸气及其他夹杂物的影响, 在 $0\text{ }^\circ\text{C}$ ($T_0 = 273.15\text{ K}$) 时的声速

$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T_0}{M}} = 331.45\text{ m/s} \quad (7)$$

在 $t\text{ }^\circ\text{C}$ 时的声速

$$v_t = v_0 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{273.15}\right)} \quad (8)$$