

## 声速的测量

学号: PB22511902 姓名: 王冬雪

### 实验目的

- 一、测量压电陶瓷换能器的谐振频率；
- 二、用驻波法和相位比较法测量气体、液体中的声速；
- 三、用时差法测量固体中的声速。

### 实验原理

- 一、声波在空气中的传播速度

$$\text{在 } t^{\circ}\text{C} \ (p = 101.3\text{kPa}) \text{ 时干燥的理想空气的声速 } v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \ (\text{m/s})$$

- 二、声速测量的试验方法

- (一) 利用声速与频率、波长的关系测量

根据波动理论  $v = \lambda \cdot f$

声波的频率  $f$  等于声源的电激励信号频率，该频率可由数字频率计测出，或由低频信号发生器上的频率直接给出，而声波的波长  $\lambda$  则常用共振干涉法（驻波假设下）和相位比较法（行波近似下）来测量。

1. 共振干涉法（驻波假设下）法测声速

实验装置原理如图 1， $S_1$ 、 $S_2$  为压电换能器， $S_1$  为声波发射源， $S_2$  为声波接收器。 $S_1$  前进波和  $S_2$  反射波在  $S_1$  和  $S_2$  之间往返反射，形成“驻波”，声场中将会形成稳定的强度分布，在示波器上观察到的是这两个相干波在  $S_2$  处合成振动的情况。由纵波的性质可以证明，当发生共振时， $S_2$  接收到的声压信号最强。连续改变距离  $L$ ，示波器可观察到，声压波幅将在最大值和最小值之间呈周期性变化，相邻两次声压波幅极大值所对应的距离的变化即为半波长，所以有  $n \frac{\lambda}{2} = \Delta L_{n-1}$

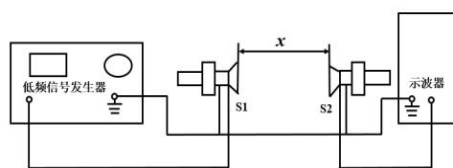


图1 驻波法测量声速实验装置

2. 相位比较法测量声速

通过比较声源处的声压的相位来测定声速，称为相位比较法或行波法。

实验装置接线如图 3 所示。当发射器与接收器之间有相位差，可通过李萨如图形来观察。移动  $S_2$ ，相当于改变了发射波和接收波之间的相位差，示波器上的图形也随  $L$  不断变化。每移动半个波长，就会重复出现斜率符号相反的直线，这样就可以测得波长。

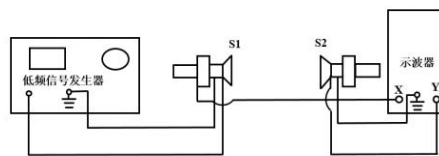


图3 相位比较法测量声速实验装置

- (二) 利用声波传播距离和传播时间计算声速

时差法（脉冲法）

将脉冲电信号加到发射换能器上，声波在媒质中传播，从信号源经过时间  $t$  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媒质中传播的速度

$$v = L/t$$

## 实验仪器

SV5 型声速测量仪（信号源、声速测量仪）、示波器、有机玻璃棒、黄铜棒、游标卡尺。

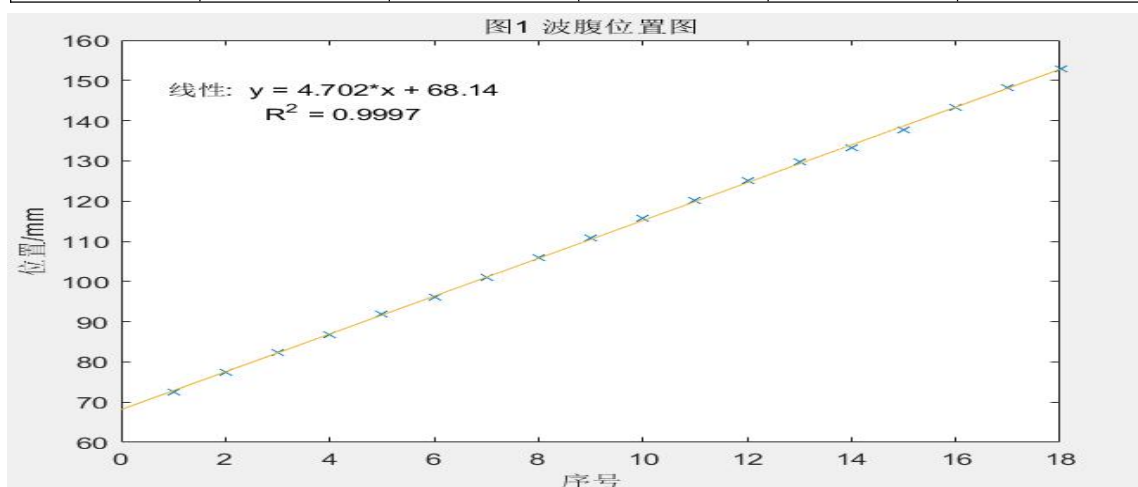
## 测量记录与分析、讨论

### 数据处理

（一）共振干涉法（驻波法）测量空气中的波长和声速

谐振频率  $f = 36.863\text{kHz}$ ，室温  $t = 25.6^\circ\text{C}$ 。

表 1 位置/mm					
72.40	77.36	82.40	86.80	91.78	96.00
101.10	106.00	110.80	115.80	120.12	125.10
129.68	133.20	137.80	143.30	148.10	152.80



由图 1,  $L = L_0 + n \frac{\lambda}{2} = (4.702n + 68.14)\text{mm}$

故,

$$\lambda = 2 \times 4.702\text{mm} = 9.404\text{mm}$$

$$u_{\lambda} = 2u_{\frac{\lambda}{2}} = 2t_{0.95}S_{\frac{\lambda}{2}} = t_{0.95} \frac{\lambda}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{R^2} - 1\right)} / (n - 2) = 0.08\text{mm}$$

即,  $\lambda = (9.40 \pm 0.08)\text{mm}$

那么,

$$v = \lambda \cdot f = 346.679\text{m/s}, \quad u_v = u_{\lambda} \cdot f = 2.9\text{m/s}$$

得,

$$v = (346.7 \pm 2.9)\text{m/s}$$

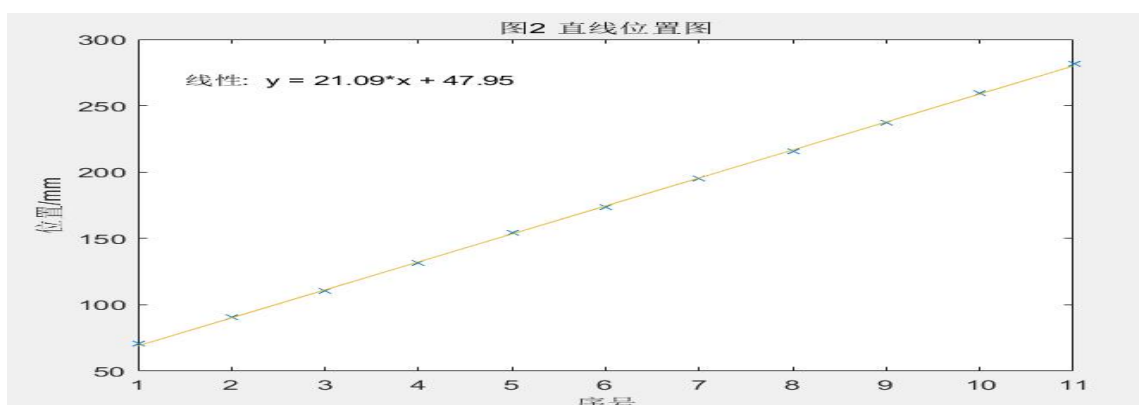
理论值

$$v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{25.6}{273.15}}\text{m/s} = 346.6\text{m/s}$$

两者比较，测量值略大一些。

## (二) 相位比较法测量水中的波长和声速

表 2 位置/mm					
70.50	90.44	110.20	131.66	154.28	173.50
195.30	215.50	237.32	259.30	281.40	



由图 2,  $L = L_0 + n \frac{\lambda}{2} = (21.09n + 47.95)mm$

故,

$$\lambda = 2 \times 21.09mm = 42.18mm$$

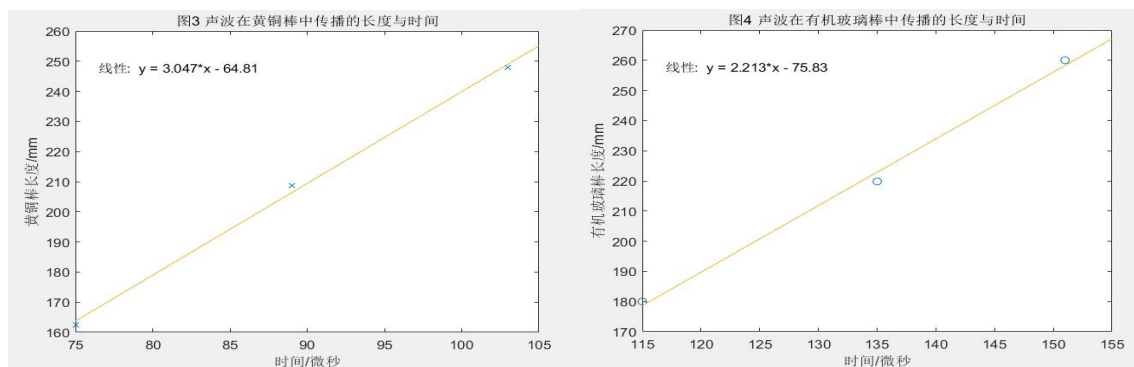
那么,

$$v = \lambda \cdot f = 1554.9m/s$$

## (三) 用时差法测量有机玻璃棒和黄铜棒中的声速

表 3 有机玻璃棒和黄铜棒中的声波传播长度与时间

种类	长度/mm	时间/微秒
黄铜棒	247.86	103
	208.76	89
	162.54	75
有机玻璃棒	180.00	115
	219.82	135
	260.00	151



由图三,

$$v_{\text{黄铜棒}} = 3047 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{有机玻璃棒}} = 2213 \text{ m/s}$$

## 误差分析

在(一)(二)中,  $\frac{|v_t - v_{\text{空气}}|}{v_t} \times 100\% = 0.013\%$ , 且常温下水中声速传播速度约为 1500m/s, 误差较小。两个声速测量值略大可能是因为对示波器显示的振幅最大处或李萨如图形为直线处判断不够精确。

## 思考题

一、定性分析共振法测量时, 声压振幅极大值随距离变长而减小的原因。

声波在实际介质(实验中为干燥空气)中传播时, 由于扩散、吸收和散射等原因, 能量逐渐被空气吸收, 会随着离开声源的距离增加而逐渐减弱。振幅的大小表示波动能量的大小, 声波在传播过程中的能量损失就通过声压振幅的极大值减小表现出来。

二、声速测量中驻波法、相位法、时差法有何异同?

(一) 不同:

(1) 波源不同: 驻波法、相位法使用的是连续波, 而时差法使用的是脉冲波。

(2) 测量原理或物理量不同: 驻波法利用声压振幅最大值出现的周期性, 相位法利用李萨如图形变化的周期性来测定波长, 根据波动理论获得声速, 时差法则测量路程与时间, 通过运动学方程求解。

(3) 实验仪器不同: 时差法并没有如驻波法和相位法一样使用示波器。

(二) 相同:

(1) 波源: 驻波法、相位法使用的是连续波。

(2) 测量原理: 驻波法、相位法均是利用发射波和返回波形成驻波, 测出波长后乘以谐振频率来计算波速。

(3) 实验仪器: 驻波法、相位法都要用示波器, 三种方法都要用游标卡尺和 SV5 型声速测量仪。

三、各种气体中的声速是否相同, 为什么?

不同气体中的声速一般不同, 通过理想气体中声速的计算式

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

可知, 理想气体中声速与气体的比热容比、摩尔质量有关, 这是由气体的性质决定的。其次, 由于温度对声速也有影响, 对相同化学构成的气体, 在温度不同的情况下, 其中声速也会不相同。