



# 声速测量

姓名：刘元彻 学号：PB21020505 班级：21 级物理学院 1 班 日期：2022 年 6 月 6 日

## 1 实验目的

压电陶瓷超声换能器来测定超声波在气体、液体和固体中的传播速度，理解并学会运用压电效应（正逆效应）

学会利用驻波的性质进行声速测量；理解利用利萨如图的性质进行声速测量的原理，并进行有关操作

## 2 实验原理

### 2.1 驻波法测量

声波在介质（空气、液体）中传播，带动介质发生振动；当振动区间的长度是半波长的整数倍时，可以形成稳定的驻波；压电传感器可以测量某个场点的振幅，当压电传感器处在驻波波腹位置时，可测得振幅极大值；由此可以测出半波长  $\lambda/2$

信号源同时给出信号的频率  $f$ ，利用波动关系  $v = \lambda f$  可计算声速大小。

### 2.2 相位比较法测量

当信号发生器的信号经过介质传播被重新接收后，与直接输出的信号间会产生相位差  $\Delta\varphi$ 。将两信号分别接入示波器的两个输入通道 CH1 和 CH2，在 CH2 上可观测到利萨如图形。当利萨如图从直线演化为斜率相反的直线时，信号接收器即经过了半个波长的距离。由此可测出半波长  $\lambda/2$ ；

信号源同时给出信号的频率  $f$ ，利用波动关系  $v = \lambda f$  可计算声速大小。

### 2.3 时差法测量

声速测量仪允许加载固体介质。信号源发出脉冲波，测量仪会给出脉冲波通过介质所需的时间  $\Delta t$ ；利用游标卡尺可测出固体介质（固体棒）的长度  $L$ ，利用速度的定义式  $v = L/\Delta t$  可计算固体介质中声速大小

## 3 实验器材

SV5 型声速测量仪（如图所示，主要部件包括信号源和声速测试仪（含水槽）、双踪示波器、非金属（不同长度的有机玻璃棒）、金属（不同长度的黄铜棒）、游标卡尺等

## 4 实验步骤

1. 正确连接示波器到声速测量仪和示波器。固定传感器探头位置，调节信号源频率直至示波器上观察到振幅达到最大值。记录下此时信号源的频率  $f$  作为谐振频率。



图 1: SV5 型声速测量仪

2. 维持谐振频率，首先连接驻波法测量的电路。
3. 当两探头相距大于等于 5cm 时，单方向转动鼓轮移动可动探头；观察示波器波形变化，记录下振幅达到极值时声速测量仪上游标对应的位置  $x_i$ 。共记录 12 组。
4. 将水槽中盛水至液面线，连接相位比较法测量的电路。
5. 当两探头相距大于等于 5cm 时，单方向转动鼓轮移动可动探头；观察示波器上利萨如图图形变化，记录下利萨如图呈现直线时声速测量仪上游标对应的位置  $x_i$ 。共记录 8 组。
6. 将信号源模式改为固体，发出脉冲波；连接时差法测量的电路。
7. 待测固体固定在声速测量仪上，读出时差  $\Delta t$ ；取下固体，并使用游标卡尺测量固体棒的长度  $L$
8. 在全波整流电路中，输出端接入  $1\mu\text{F}$  的电容进行滤波，用示波器观测并记录输出端波形
9. 整理器材，结束实验，对以上测量的数据进行处理和误差分析。

## 5 实验数据

### 5.1 气体和液体中声速测量

表 1: 空气中声速测量（驻波法）实验数据

| 半波长个数 (个) | 游标读数 $x(\text{cm})$ |
|-----------|---------------------|
| 1         | 21.972              |
| 2         | 21.504              |
| 3         | 21.030              |
| 4         | 20.550              |
| 5         | 20.082              |
| 6         | 19.622              |
| 7         | 19.130              |
| 8         | 18.650              |
| 9         | 18.174              |
| 10        | 17.716              |
| 11        | 17.232              |
| 12        | 16.770              |

表 2: 水中声速测量（相位比较法）实验数据

| 半波长个数 (个) | 游标读数 $x(\text{cm})$ |
|-----------|---------------------|
| 1         | 25.958              |
| 2         | 23.744              |
| 3         | 21.568              |
| 4         | 19.502              |
| 5         | 17.518              |
| 6         | 15.304              |
| 7         | 13.288              |
| 8         | 11.236              |



## 5.2 固体中声速测量

表 3: 黄铜棒中测量的数据

| 金属棒长度 (cm) | 传播用时 $\Delta t(\mu s)$ |
|------------|------------------------|
| 24.572     | 99                     |
| 20.628     | 87                     |
| 16.624     | 75                     |

表 4: 有机玻璃棒中测量的数据

| 有机玻璃棒长度 (cm) | 传播用时 $\Delta t(\mu s)$ |
|--------------|------------------------|
| 25.846       | 155                    |
| 24.648       | 145                    |
| 21.814       | 133                    |

以上实验内容中，已经确定谐振频率  $f = 36874\text{Hz}$ 。

实验室给定温度  $t = 24.2^\circ\text{C}$ ，利用公式计算空气中理论声速

$$v_s = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 345.82\text{m/s}$$

## 6 数据处理与分析

### 6.1 驻波法

空气中声速测量数据拟合图

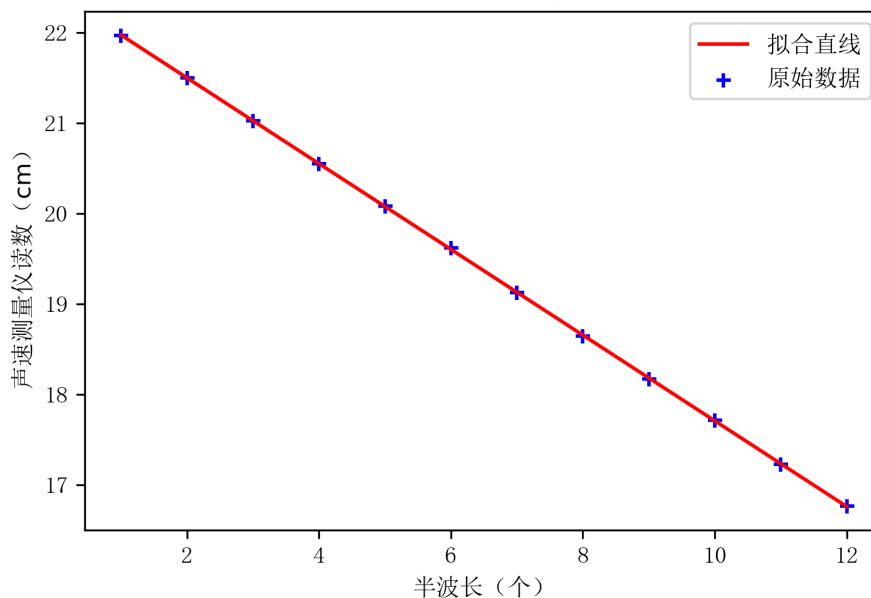


图 2: 气体中声速测量的最小二乘拟合图

拟合直线斜率  $m = -0.4739\text{ cm}$ ，截距  $b = 22.45\text{ cm}$



线性拟合相关系数:

$$r = \frac{\overline{nL} - \bar{n} \cdot \bar{L}}{\sqrt{(\overline{n^2} - \bar{n}^2)(\overline{L^2} - \bar{L}^2)}} = -0.99999095$$

斜率的标准差:

$$s_m = |m| \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{r^2} - 1\right) / (n - 2)} = 0.00063757 \text{ cm}$$

根据波长和斜率的关系, 可得波长:

$$\bar{\lambda} = 2|m| = 0.9478 \text{ cm } P = 0.95$$

波长的展伸不确定度为  $U = 2U_m = 0.0012751 \text{ cm } P = 0.95$

谐振频率的不确定度为  $\Delta_{B,f} = 0.001 \text{ kHz}$

声速为

$$v = \bar{\lambda}f = 349.49 \text{ m/s } (P = 0.95)$$

利用声速的不确定度合成公式:

$$\frac{U_v}{\bar{v}} = \bar{v} \sqrt{\left(\frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2} = 0.4702 \text{ m/s}$$

所以最终声速的测量结果表为:

$$v = \bar{v} + U_v = (349.49 \pm 0.4702) \text{ m/s } P = 0.95$$

实验室给定的温度下, 声速的理论值为:  $v_t = 345.82 \text{ m/s}$ 。相对误差  $\delta = 1.0619\%$

## 6.2 相位法

(最小二乘拟合图见下一页) 由于不要求误差分析, 所以直接读出斜率  $m = -2.096 \text{ cm}$   
波长即为

$$\bar{\lambda} = 2|m| = 4.1931 \text{ cm } P = 0.95$$

于是声速测量结果即为  $v = \lambda f = 1546.2 \text{ m/s}$

## 6.3 时差法

金属棒, 斜率  $m = 0.33117 \text{ cm}/\mu\text{s}$ , 于是得金属中声速为  $v = 3311.7 \text{ m/s}$

有机玻璃棒, 斜率  $m = 0.18502 \text{ cm}/\mu\text{s}$ , 于是得有机玻璃中声速为  $v = 1850.2 \text{ m/s}$

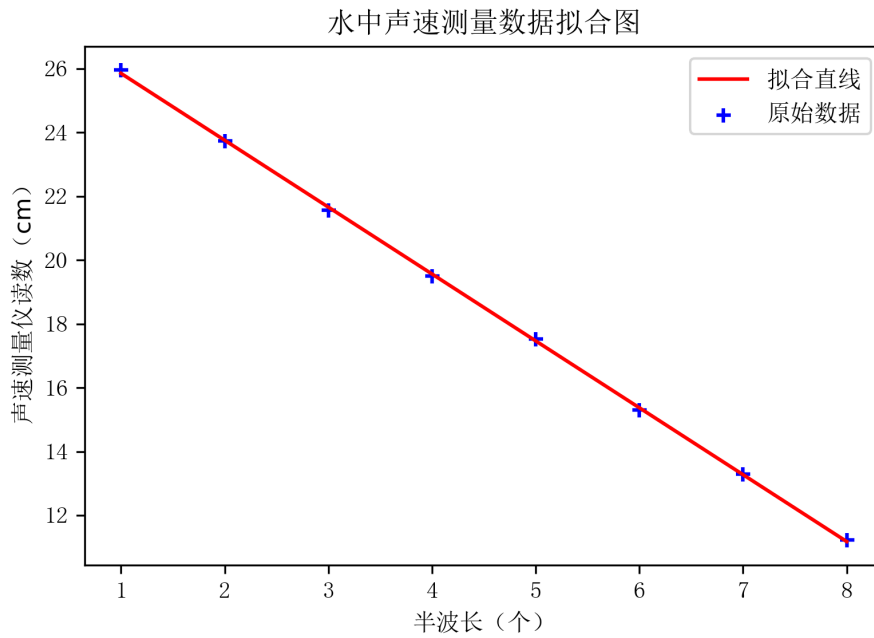


图 3: 水中声速测量的最小二乘拟合图

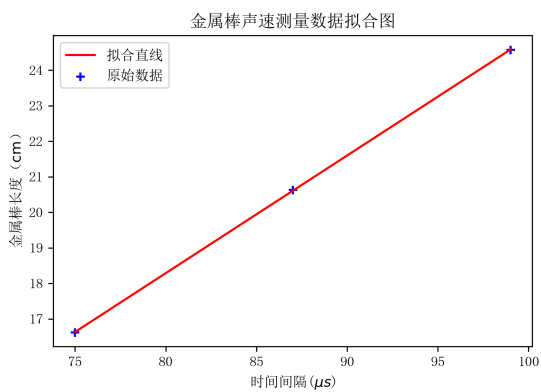


图 4: 金属棒声速测量的最小二乘拟合图

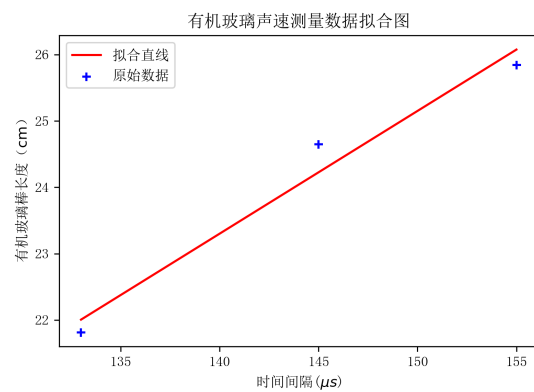


图 5: 有机玻璃棒声速测量的最小二乘拟合图



## 7 讨论与思考题

### 7.1 讨论

声速测量的误差：在空气声速测量中，计算理论声速所使用的公式没有考虑水蒸气修正；考虑到实验室空气不可能是完全干燥的，所以声速的理论值应该稍大；所以实际测量的误差应该更小。实验是成功的。

### 7.2 思考题

#### 7.2.1 振幅峰值的衰减

声波在传播过程中的减弱现象与传播距离、声波频率和界面等因素有关。声波在介质（如空气，液体，固体）中传播时会因为被介质吸收、横向扩散而产生能量损耗；

实验中所用声波频率很高，力学知识表明，高频声波更容易被介质影响，其能量耗散也较大，因此在实验过程中即可观察到明显的振幅变化。

#### 7.2.2 测量方法异同比较

不同点：

- 原理不同：驻波法利用驻波测量半波长，相位法利用相位差的两个波形成利萨如图测量半波长，二者都利用  $v = \lambda f$  计算声速；而时差法直接利用  $v = L/\Delta t$  的定义式计算；
- 波源不同：驻波法和相位法都依靠谐振频率  $f$  下的连续波，而时差法不需要调整频率，利用脉冲波；
- 仪器不同：只有时差法不需要使用示波器；
- 测量标定方式不同：驻波法是通过观察声压振幅达到最大值，相位法是通过观察李萨如图形的周期性变化，时差法是直接观察信号发生器上的时间显示。

相同点：都利用压电陶瓷的正/逆压电效应进行实验

#### 7.2.3 不同气体中声速

考虑将声速的经验公式完全展开：

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT_0}{M}} \sqrt{\left(1 + \frac{t}{273.15}\right) \left(1 + \frac{0.3192 p_w}{p}\right)} \text{m/s}$$

其中， $\gamma$  是气体的绝热指数， $M$  是气体的摩尔质量， $p_w$  是气体中水蒸气分压， $p$  是大气压强。这公式表明，不同气体，绝热指数可能不同，气体摩尔质量很可能不同，所以通常情况下，同温同压不同气体中的声速不同。

此外，不同气体还有可能含有水蒸气，含水蒸气量不同也会影响声速。