

# 实验报告

徐亦昶 PB20000156

2021 年 4 月 30 日

## 1 实验题目

声速的测量

## 2 实验目的

1. 测量压电陶瓷换能器的谐振频率
2. 用驻波法和相位比较法测量气体、液体中的声速
3. 用时差法测量固体中的声速

## 3 实验原理

声音在理想气体中的传播速度

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

在 0 摄氏度、1 个大气压下， $v_0 = 331.45m/s$ 。

在摄氏温度  $t^{\circ}C$  时的声速

$$v_t = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}}$$

声速测量有如下几种方法：

### 3.1 利用声速与频率、波长的关系测量

设  $v$  为声速， $\lambda$  为波长， $f$  为频率，则它们有如下关系：

$$v = \lambda \cdot f$$

在实验中, 声波的频率  $f$  等于数字频率计测得的电激励信号频率, 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。

### 3.1.1 共振干涉法 (驻波假设下) 测声速

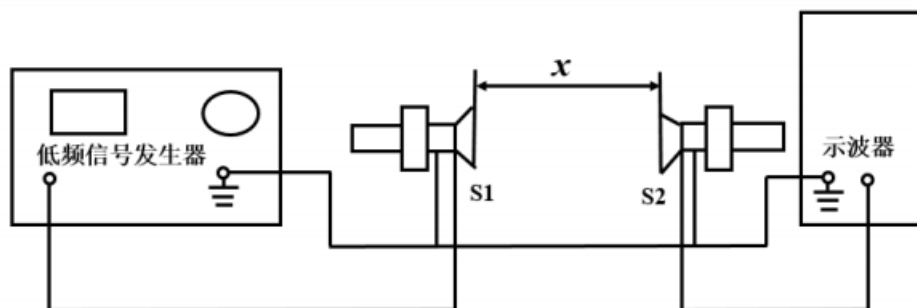


图 1: 共振干涉法测量声速

如图,  $S1$  和  $S2$  分别为发射端和接受端,  $S2$  会将  $S1$  发送来的波反射, 并使两个波干涉叠加。示波器中显示的是叠加波在  $S2$  处的声压。移动  $S2$ , 示波器中显示的波幅会发生周期性变化。不难发现  $S2$  实际上是在驻波上横向移动。一般地, 当  $S1$  和  $S2$  的距离为半波长的整数倍时, 声压的波幅最大, 因此有关系式

$$n \frac{\lambda}{2} = |L_{n+1} - L_1|$$

连续改变距离  $L$ , 并在每次声压波幅达到最大时测量相应的  $L$ , 即可算出  $\lambda$ 。

### 3.1.2 相位比较法测量声速

本方法是将  $S1$  发送的波和  $S2$  接受的波分别当作平面直角坐标系中的  $x$  和  $y$ , 从而形成李萨如图形。假设开始李萨如图形是一条过一、三象限的直线, 那么当  $S1$  和  $S2$  的距离改变半个波长时, 李萨如图形会变成过二、四象限的直线, 再改变半个波长的距离, 图形又会变为过一、三象限的直线。依次类推, 多做几组实验, 设第  $j$  组实验中  $S1$  和  $S2$  的距离是  $L_j$ , 拟合  $L_j = \frac{\lambda}{2}j + b$  即可求出  $\lambda$ 。

## 3.2 利用声波传播距离和传播时间计算声速

本实验, 要用到相距  $L$  的压电陶瓷换能器, 其中一个利用逆压电效应把电能转换成发射出去的波, 另一个利用正压电效应把接收到的波转换成电能。利用  $v = \frac{L}{t}$  即可求出波速。

## 4 实验内容

### 4.1 共振干涉法（驻波法）测声速

1. 将信号源的 S1 和双踪示波器的 CH2 分别连到测试仪接受和的发送端和接收端。
2. 对示波器的分辨率、时间跨度等进行调整，知道上面显示出较为清晰的波。
3. 在 S1 和 S2 的距离不变的条件下，调节信号源的频率（初始值设为 34 38Hz 比较好），使得示波器上显示的振幅最大。
4. 在 S1 和 S2 相距 5cm 以上时，转动鼓轮移动 S2，直到示波器上波幅达到最大，记录此时 S1 和 S2 的距离。注意不能反向转动鼓轮。
5. 继续移动 S2，当示波器上波幅最大时记录 S1 和 S2 的距离，依次连续记录 12 组数据。
6. 利用最小二乘法求出半波长，并求出波速。

### 4.2 相位比较法测量水中的波长和声速

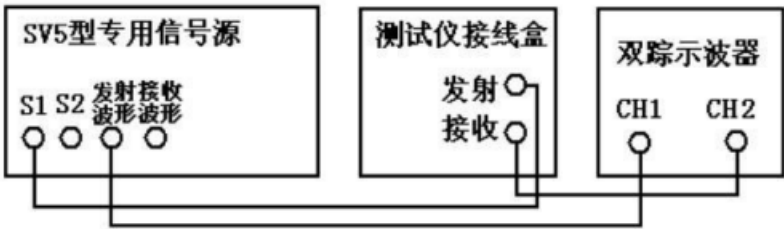


图 2: 相位法测量连线图

1. 如上图接线，并将示波器调至“X-Y”垂直振动合成模式，这时可观察到示波器上出现李萨如图形。
2. 当 S1 和 S2 相距 5cm 以上时，转动鼓轮移动 S2，使示波器上呈现直线。
3. 移动鼓轮，依次测出李萨如图形斜率正、负变化的直线出现时 S2 的位置  $L_i$ ，共记录 8 个位置值。
4. 用作图法处理数据，求出半波长，进而得到波长和波速。

### 4.3 用时差法测量有机玻璃棒和黄铜棒中的声速

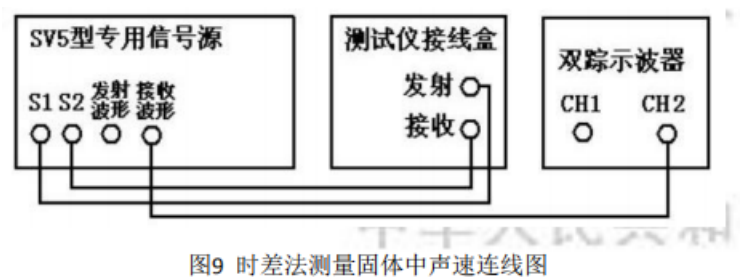


图 3: 时差法测量固体中声速连线图

1. 如上图连线，并将测试仪接线盒调至“固体”模式。
2. 选一根固体棒，使其两端连接到换能发射器上，并保证固体棒的两端面与两换能器的平面可靠、紧密接触。
3. 把发射换能器尾部的连接插头插入接线盒的插座中。
4. 记录信号源的时间读数，并测量固体棒的长度。
5. 计算声波在该固体棒中传播的速度。
6. 换另一根固体棒继续测量。

5 数据记录

实验室室温：25.0°C 前两个实验中，f=37.04kHz

表 1: 共振干涉法（驻波假设下）测声速

位置点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S1、S2 距离 (cm)	15.53	15.08	14.60	14.13	13.65	13.17	12.70	12.24	11.77	11.32	10.85	10.36

表 2: 相位比较法测量声速

位置点	1	2	3	4	5	6	7	8
L(cm)	22.70	21.56	18.25	16.02	14.02	12.21	10.30	8.76

表 3: 时差法测量有机玻璃棒和黄铜棒中的声速

<div>物理量</div> <div>材质</div>	L(cm)	t( $\mu s$ )
黄铜棒	24.63	219
有机玻璃	17.98	116

6 数据计算

6.1 共振干涉法（驻波假设下）测声速

利用最小二乘法求得回归直线如图：

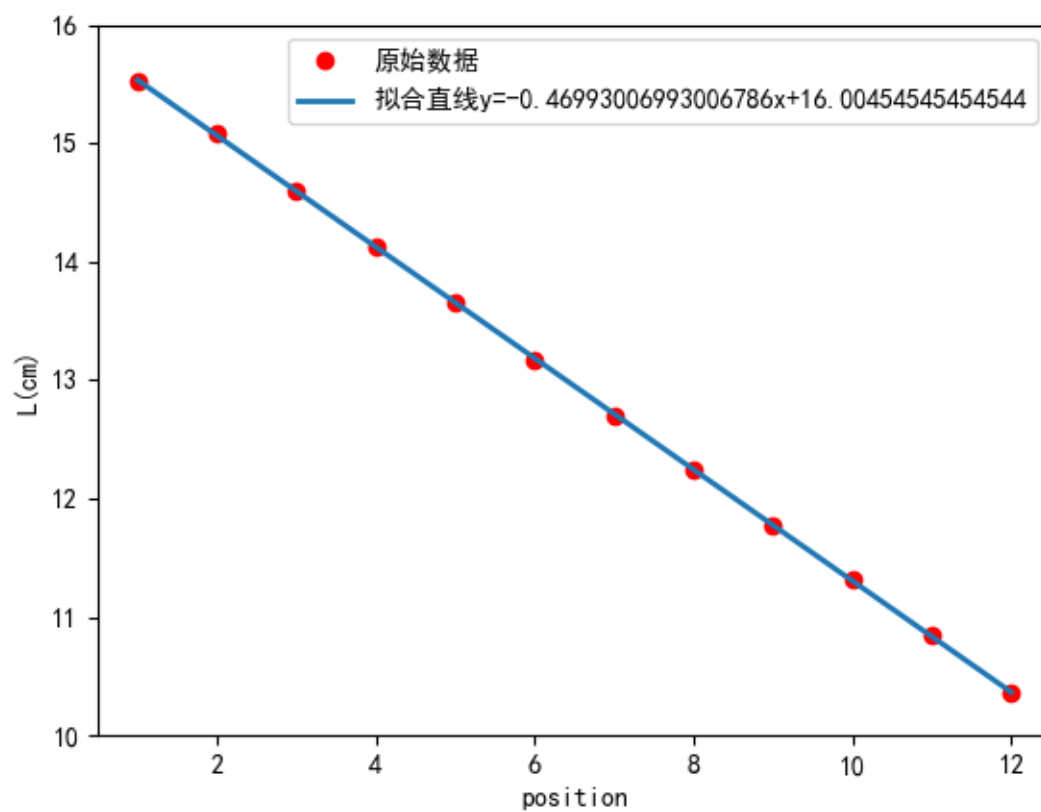


图 4: 共振干涉法回归直线

$$r = -0.99998$$

先不考虑误差，可以求得  $\lambda = 0.94\text{cm}$ ，因此  $v = 348.176\text{m/s}$ 。

理论值  $v_t = 346.286\text{m/s}$ 。

## 6.2 相位比较法测量声速

仍然用作图法。

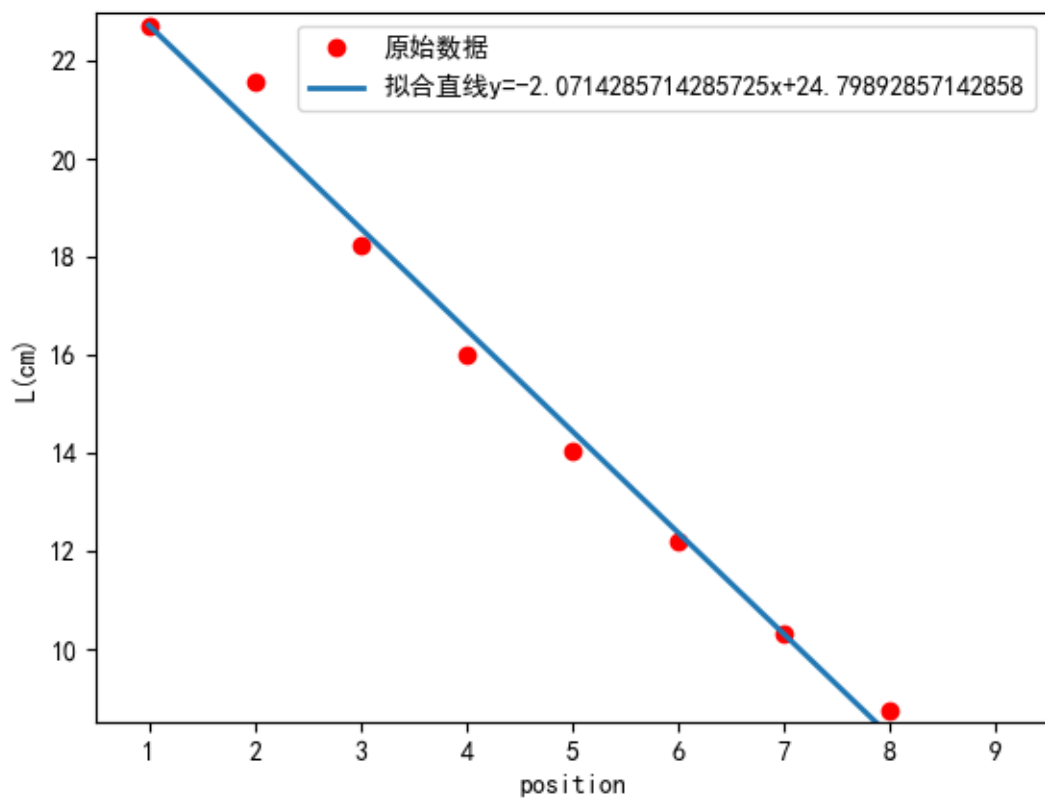


图 5: LED 的光强与电流关系（已扣除背景光强）

$$r = -0.99542$$

可以求得  $\lambda = 4.14\text{cm}$ ，因此  $v = 1533.456\text{m/s}$ 。

### 6.3 时差法测声速

黄铜棒:  $v = \frac{0.2463\text{m}}{219\mu\text{s}} = 1124.66\text{m/s}$

玻璃棒:  $v = \frac{0.1798\text{m}}{116\mu\text{s}} = 1550.00\text{m/s}$

## 7 不确定度分析

仅对第一个实验分析。

使用 origin 可以得到斜率的标准差为  $9.532 \times 10^{-4}$ ，因此波长的标准差  $S_\lambda = 1.9064 \times 10^{-3} \text{cm}$ 。所以  $\lambda$  的 A 类不确定度  $u_A = \frac{S_\lambda}{\sqrt{n}} = 5.503 \times 10^{-4} \text{cm}$ 。当置信概率  $P=0.95$  时，t 因子  $t_{0.95} = 2.26$ 。游标卡尺最大允差 0.05mm，估计误差可忽略不计（比仪器误差小得多）。因此  $\Delta_B = 5 \times 10^{-3} \text{cm}$ 。由于所用仪器符合正态分布，所以  $C=3$ ，且  $t_P = 1.96$ ，所以 B 类不确定度  $u_B = \frac{\Delta_B}{C} = 1.67 \times 10^{-3}$ 。

所以合成不确定度  $U_{0.95} = \sqrt{(t_{0.95} \cdot u_A)^2 + (t_P \cdot u_B)^2} = 0.01 \text{cm}$  因此  $v$  的不确定度为  $0.01 \times 37040 \div 100 = 3.704 \text{m/s}$ 。

因此  $v = (348.176 \pm 3.704) \text{m/s}$ ，理论值恰好落在这个范围内。

## 8 思考

1. 声音在传播的过程中会不断衰减，所以随着距离的增加，声压振幅极大值会减小。
2. 不同点在于驻波法、相位法通过测量波长来确定波速，而时差法通过速度公式直接计算波速，且前两种方法测量波长的方式不同，一个是通过驻波，另一个是直接通过相位变化。相同点在于它们都是通过声波的物理性质来间接测量波速，且前两种方法都是通过波长和频计算波速。
3. 不相同，因为不同介质杨氏模量不同。