

空气中声速的测量

钟瑞

2020年8月



目录

01 实验概述

02 实验原理及步骤

- 声速测量原理
- 驻波法
- 相位比较法
- 波形移动法
- 时差法

03 注意事项

实验目的

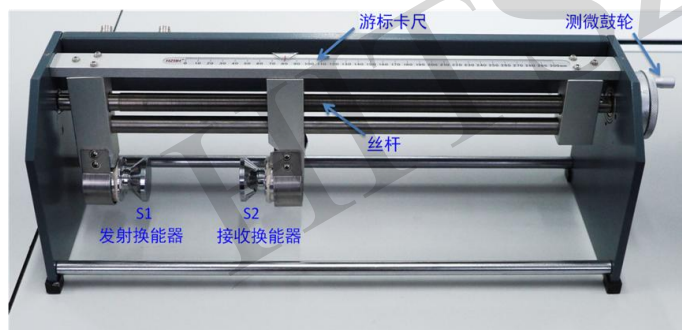
1. 掌握声速测量的原理和方法。
2. 了解超声波的传播特性。
3. 进一步熟悉示波器等仪器的使用。

实验内容

1. 驻波法测声速。
2. 相位比较法测声速。
3. 波形移动法测声速。
4. 时差法测空气和固体介质中的声速。

实验器材

声速测试架（带有超声波换能器），示波器，声速测定仪信号源。



实验原理及步骤

声速测量原理

空气中传播的声波：纵波。

固体中传播的声波：纵波 & 横波。

人耳能听到的声波频率：20Hz ~ 20KHz。

低于20Hz：次声波（如地震波）。

高于20KHz：超声波。

超声波广泛应用于医疗、定位、探伤、测距等场合。

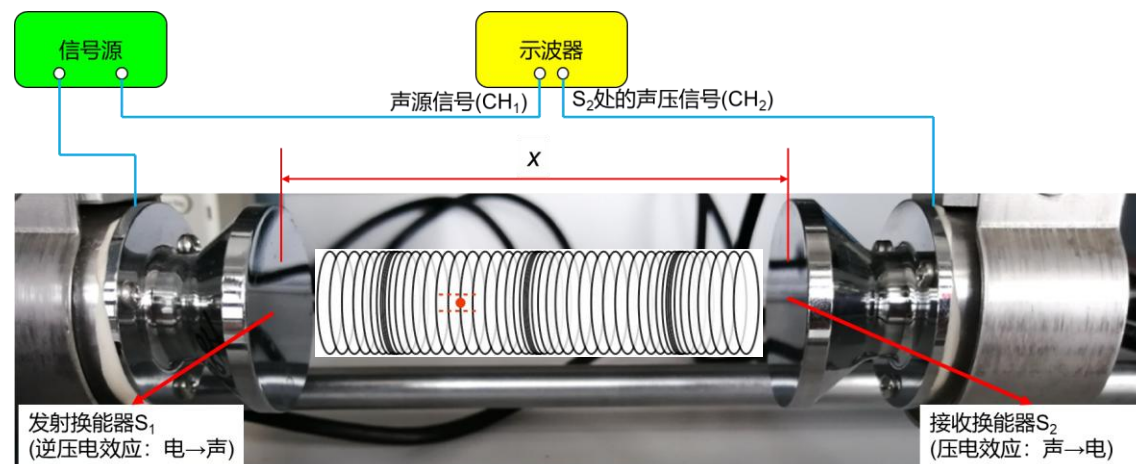
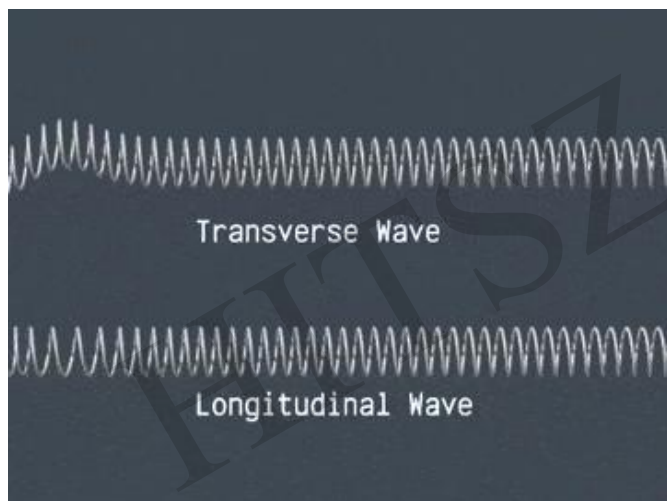
驻波法、相位比较法、波形移动法：

$$v = \lambda \cdot f$$

时差法：

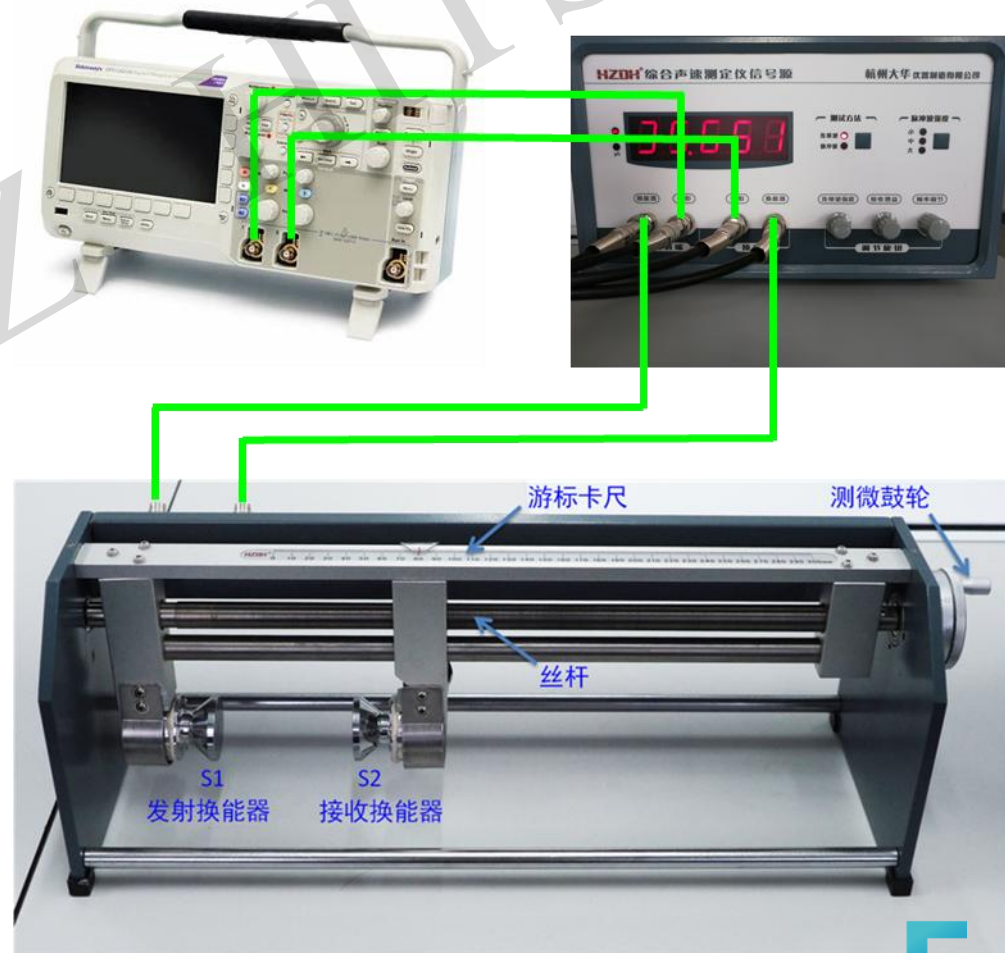
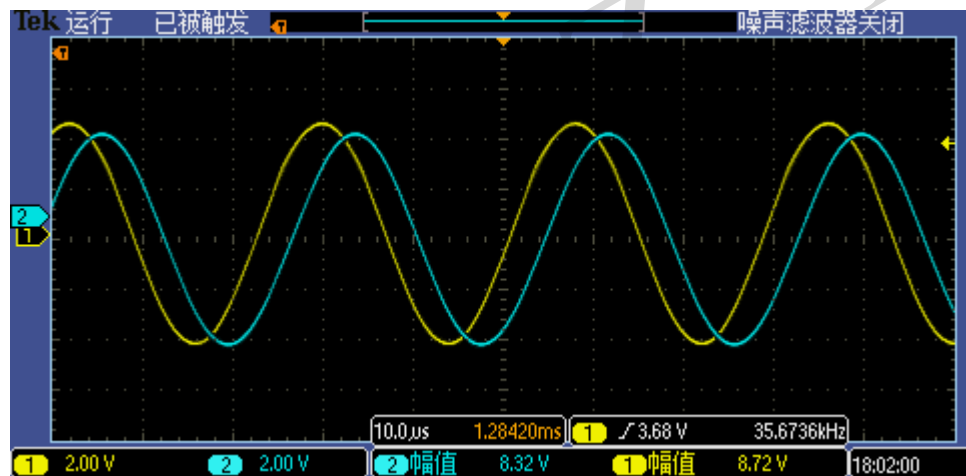
$$v = \Delta x / \Delta t$$

测量装置

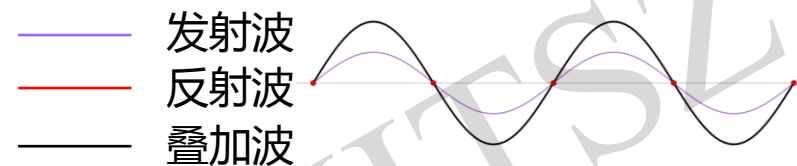
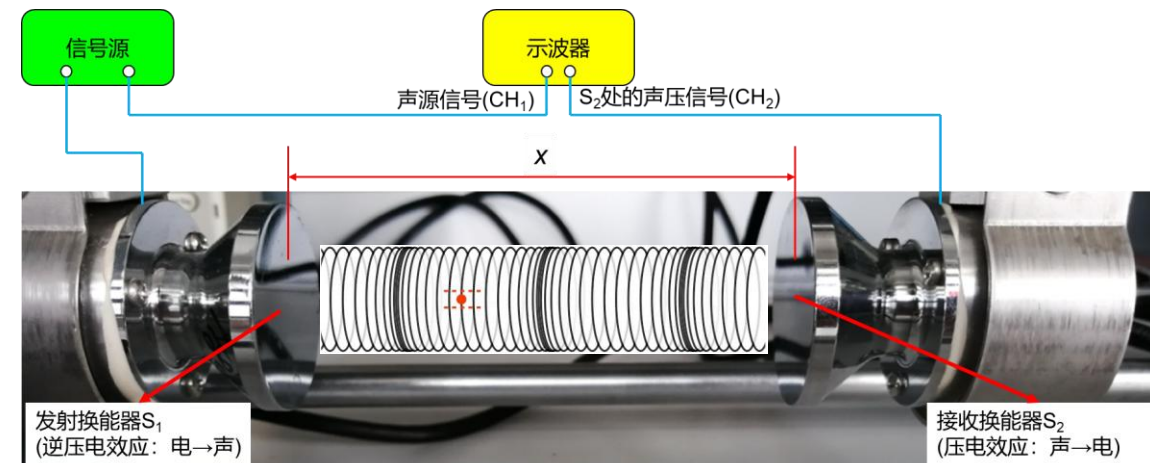


系统连接及共振频率调节

1. 连接设备，打开电源。
2. 选择“连续波”，“频率调节”预设置为 $37 \pm 3\text{KHz}$ 。
3. 改变 S_2 的位置至CH2出现极大值。
4. 调节“连续波强度”和“接收增益”，使两个信号波幅值为数个伏特。
5. 微调“频率调节”，使CH2幅值最大。



驻波法_原理



发射波 $y_1 = A_1 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

反射波 $y_2 = A_2 \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi\right)$

叠加波 (驻波)

$$y = y_1 + y_2 = (A_1 - A_2) \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t) + (A_1 + A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t)$$

(1) $A_1 > A_2$ 且 $A_1 \approx A_2$, 振幅主要取决于 $(A_1 + A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ 。

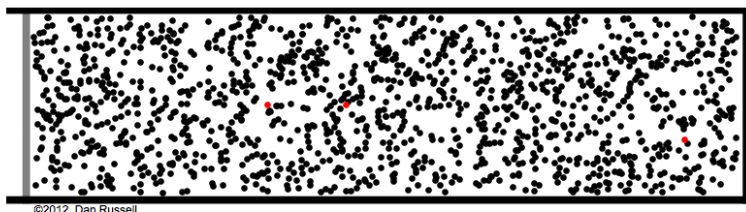
(2) 波腹: $x = (2n+1)\lambda/4$; 波节: $x = n\lambda/2$ 。

(3) 相邻波腹 (或波节) 的间距等于半波长。

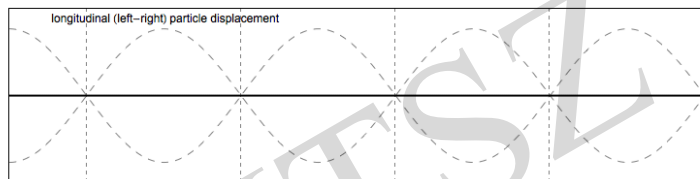
(4) 声压

$$p = -\rho_0 v^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) = \rho_0 \omega v \left[(A_1 - A_2) \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos(\omega t) - (A_1 + A_2) \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin(\omega t) \right]$$

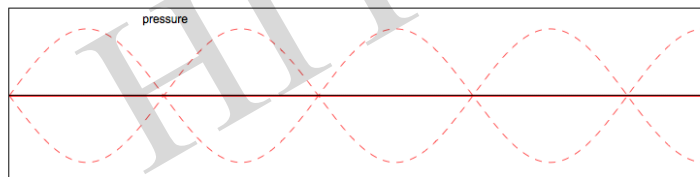
声波



质点位移



声压



驻波法_测量

- 转动测微鼓轮，连续记录CH2幅值达到极大值时S₂的位置x_i，记录 10 组数据。
- 记录声波频率及室内温度。
- 用逐差法处理数据，计算声速。

注意：

- 测量过程中测微鼓轮只能往一个方向转动。
- 两个超声波换能器间距要大于10mm。

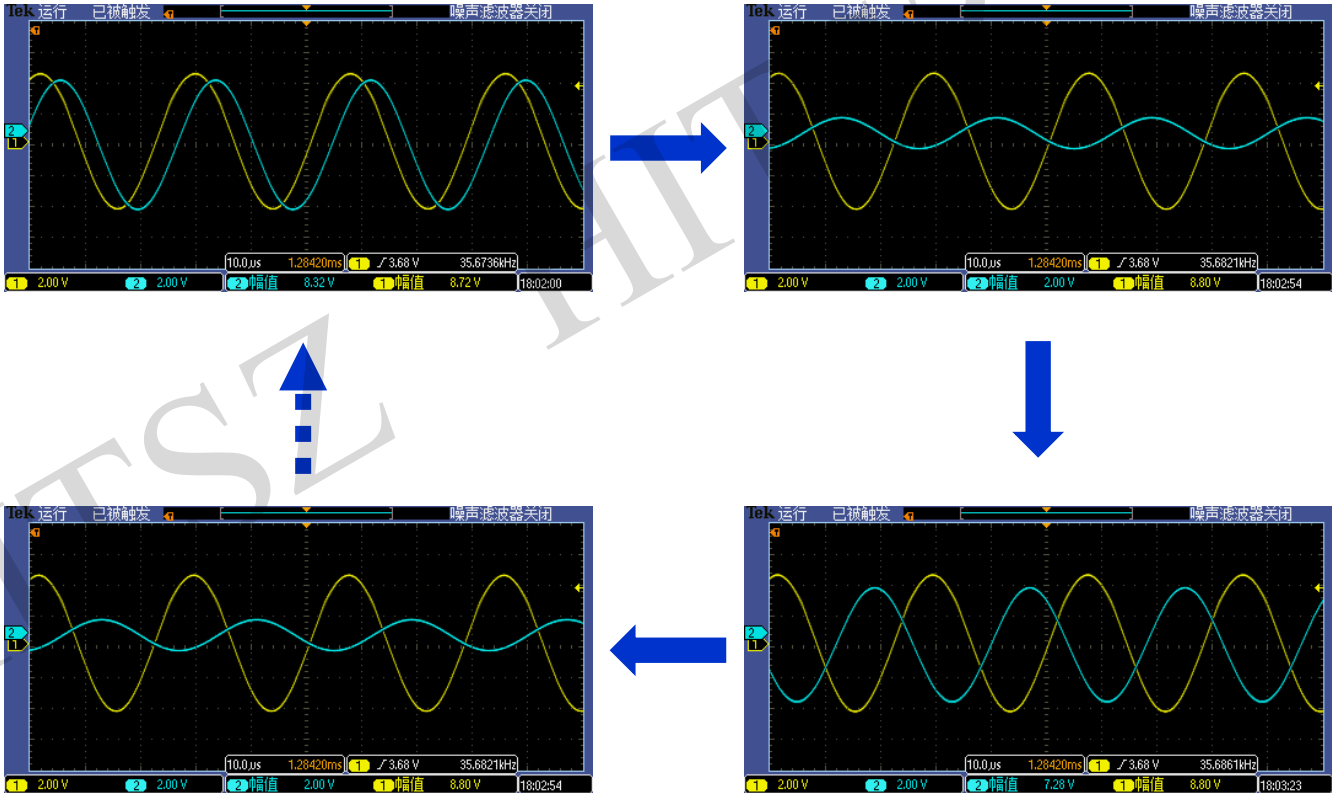
$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25}$$

$$\bar{\lambda} = 2\overline{\Delta x}$$

$$v = \bar{\lambda} f$$

温度 t=____℃，频率 f=____KHz

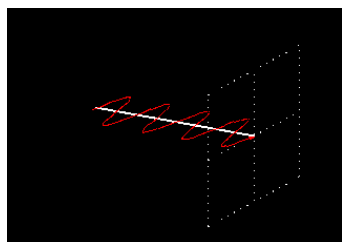
次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x _i (mm)										



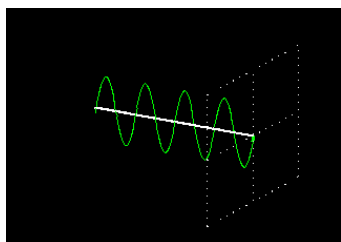


相位比较法_原理

X方向波形(CH1)



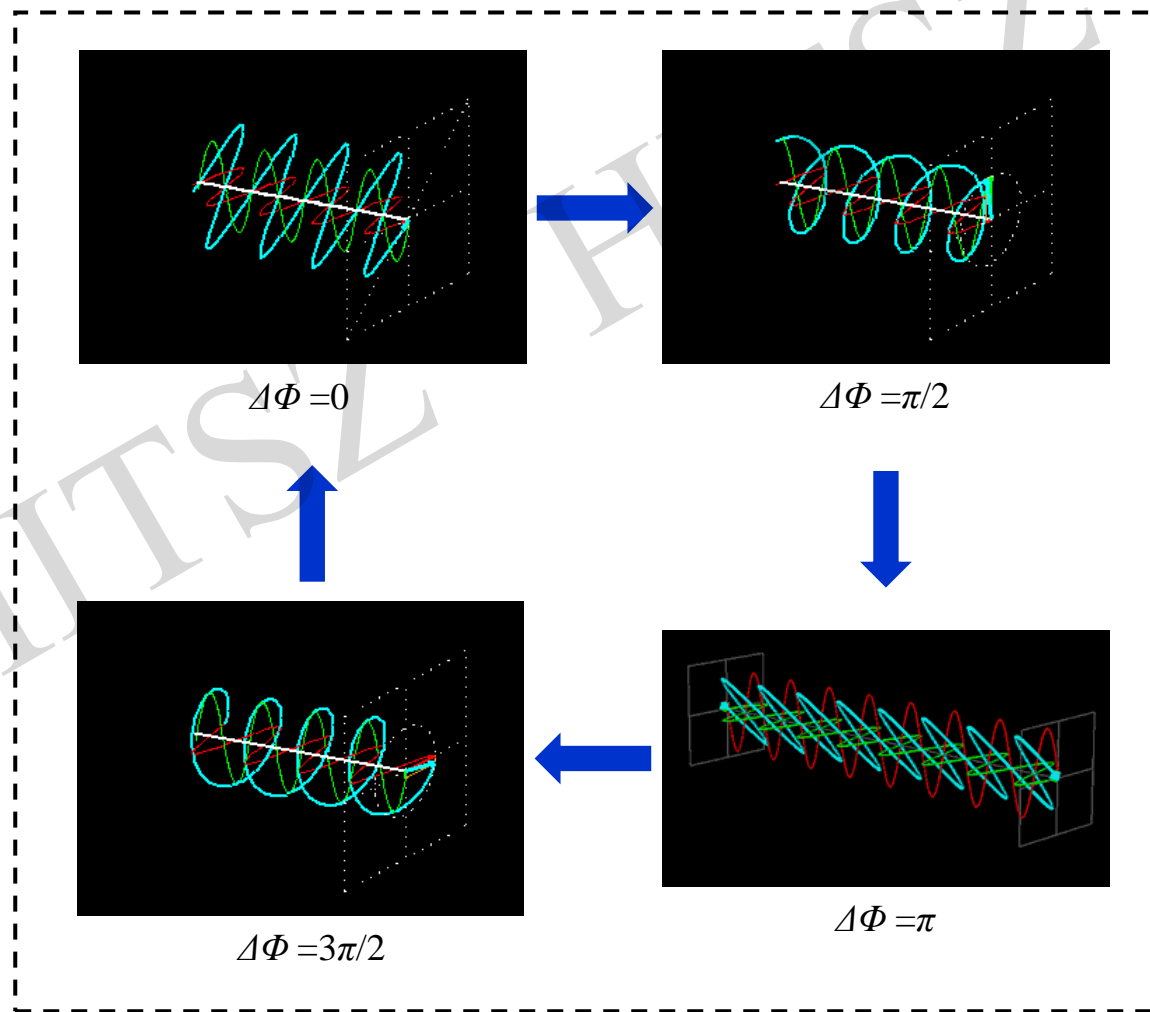
Y方向波形(CH2)



+

=

1. 示波器工作于X-Y模式，得到李萨如图形。
2. 李萨如图形形状与二者相位差相关。
3. 相位差与 S_1 - S_2 间距相关： $\Delta\Phi = 2\pi \cdot \Delta x / \lambda$ 。
4. 相邻两个斜线的位置之差即为半波长。



相位比较法_测量

1. 打开示波器X-Y显示，调出李萨如图形。
2. 转动测微鼓轮，连续记录出现斜线时S₂的位置x_i，记录 10 组数据。
3. 记录声波频率及室内温度。
4. 用逐差法处理数据，计算声速。

注意：

1. 测量过程中测微鼓轮只能往一个方向转动。
2. 两个超声波换能器间距要大于10mm。

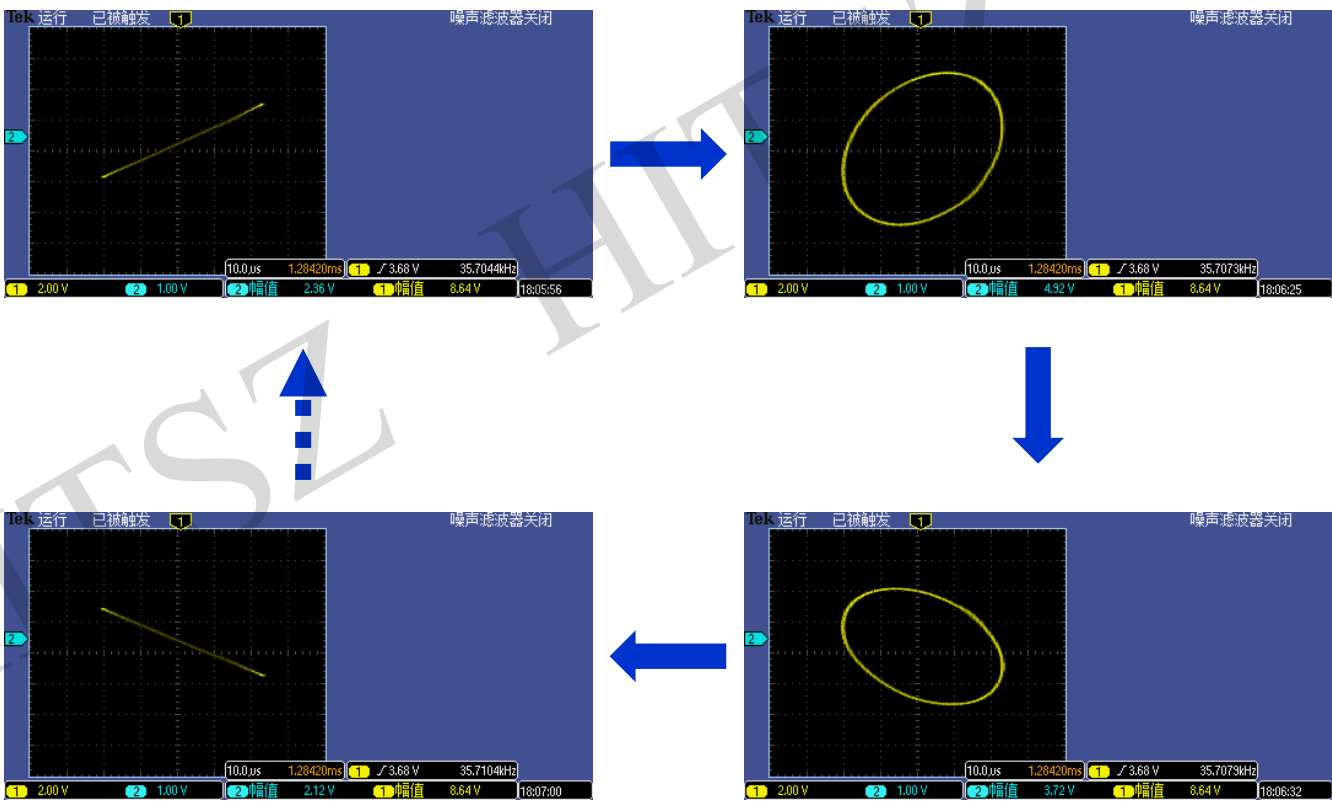
$$\Delta x = \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25}$$

$$\bar{\lambda} = 2\overline{\Delta x}$$

$$v = \bar{\lambda} f$$

温度 t=____℃，频率 f=____KHz

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x _i (mm)										



波形移动法

1. 关闭示波器X-Y显示，调出CH1和CH2波形。
2. 转动测微鼓轮，连续记录两波形波峰位置重合时接收器S₂的位置 x_i ，记录 10 组数据。
3. 记录声波频率及室内温度。
4. 用逐差法处理数据，计算声速。

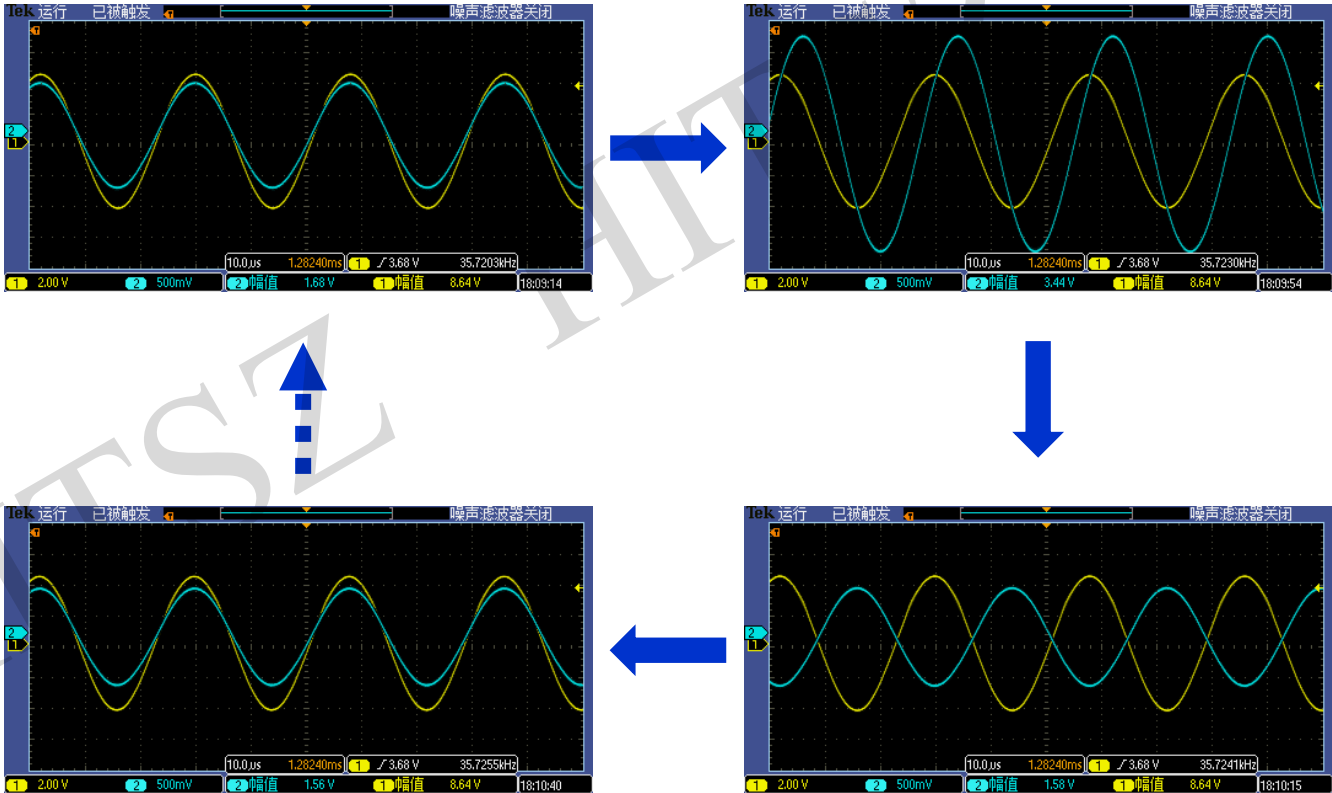
注意：

1. 测量过程中测微鼓轮只能往一个方向转动。
2. 两个超声波换能器间距要大于10mm。

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25}$$

$$\bar{\lambda} = \overline{\Delta x}$$

$$v = \bar{\lambda} f$$

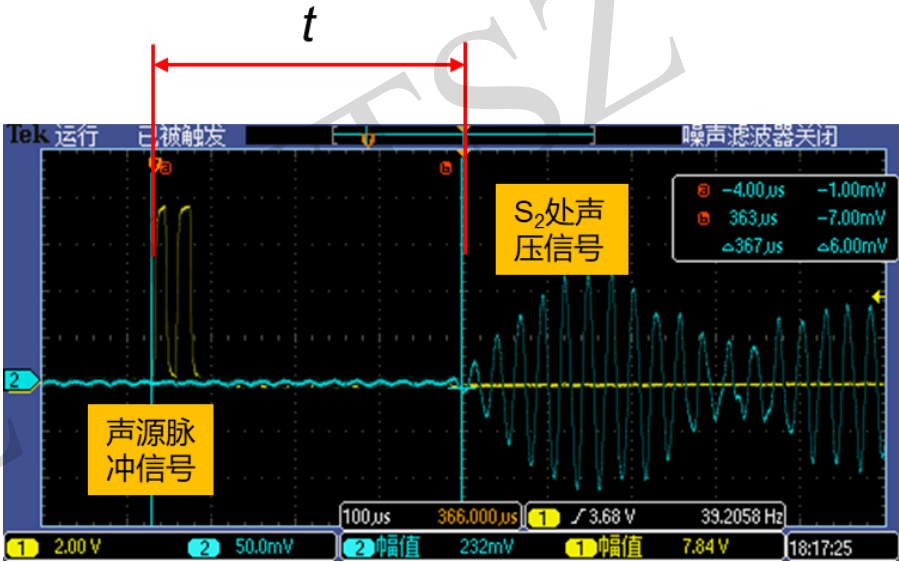


温度 $t = \text{____}^{\circ}\text{C}$, 频率 $f = \text{____}\text{KHz}$

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i (mm)										

时差法测空气中的声速

1. 信号源选择“脉冲波”方式。
2. 调节“脉冲波强度”和“接收增益”，使信号源显示的时间差值读数稳定（以400μs左右为宜）。
3. 以固定长度Δx连续改变S₂的位置，记录相应位置x_i及对应的时间值t_i，记录 10 组数据。
4. 记录室内温度。
5. 用逐差法处理时间值，计算声速。



注意：

1. 测量过程中测微鼓轮只能往一个方向转动。
2. 两个超声波换能器间距要大于50mm。

温度t=____℃

$$\overline{\Delta t} = \frac{\sum_{i=0}^4 (t_{i+5} - t_i)}{25}$$

$$v = \Delta x / \overline{\Delta t}$$

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x _i (mm)										
t _i (μs)										

时差法测固体中的声速

1.

测量并记录固体棒的长度 l_i 。
2.

按右图组装，记录对应的时间值 t_i 。
3.

采用不同材质（铝和有机玻璃）、不同长度组合，
测量不同固体材料中的声速。
4.

记录室内温度。

注意：

1.

每种材料至少测量三种不同长度组合。
2.

所有接触面都要均匀涂抹耦合剂。

温度 $t=$ ____ $^{\circ}\text{C}$

次数	1	2	3	4	5	6
材质						
$l_i(\text{mm})$						
$t_i(\mu\text{s})$						
声速 $(l_{i+1}-l_i)/(t_{i+1}-t_i)$ (m/s)						



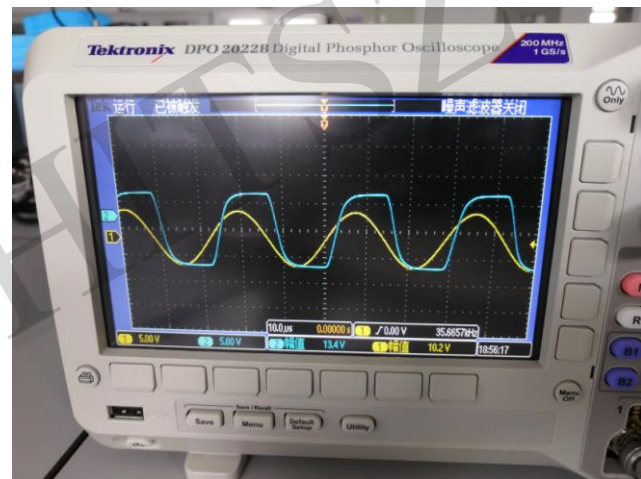
将驻波法、相位比较法、波形移动法、时差法测得的空气中的声速与理论值进行比较，计算相对误差。

t °C时，干燥空气中声速的理论值为

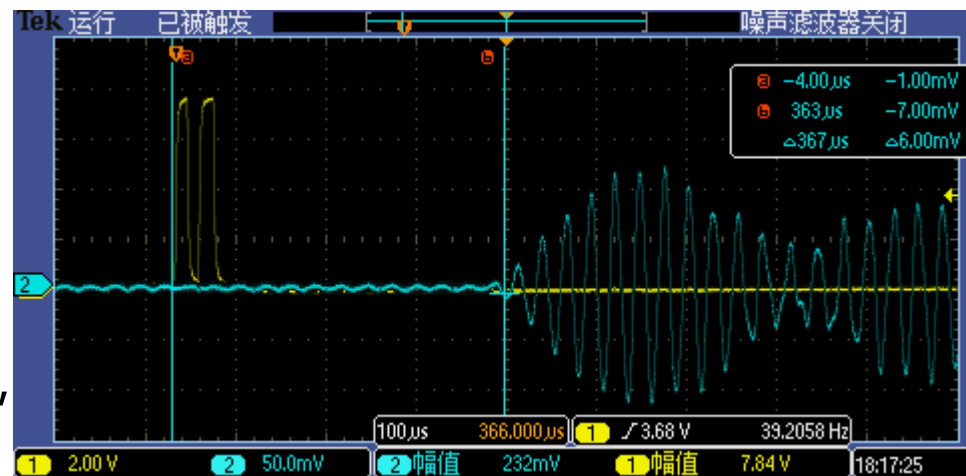
$$v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \quad (\text{m/s})$$

注意事项

1. 为得到较好的实验效果，应当使两个超声换能器产生**谐振**。
2. 实验中两个换能器**不能相碰**。
3. 测量时朝**一个方向**转动测微鼓轮，以避免回程误差。
4. S_2 位置的测量必须**连续进行**，不可跳跃式测量，以便于采用逐差法处理数据。
5. 接收**增益**选择要合适，太小会导致波形毛刺较厉害，太大会导致波形失真。
6. 信号线与仪器接口要**连接稳固**。
7. 采用脉冲波测量声速时，需调节接收增益使时间值读数稳定，也可采用示波器的光标测量时间值。



接收增益太大导致的CH2波形失真



采用示波器的光标测量时间差

谢谢