

### 三. 数据处理

#### 1. 空气中声速的理论值

$t = 23.9^{\circ}C$ , 声速的理论值为:

$$v_0 = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 345.6(m/s)$$

#### 2. 逐差法计算空气中的声速

1. 极值法 (驻波法)  $t = 24.0^{\circ}C, f = 37.020kHz$

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25} = 4.707(mm)$$

$$\overline{\lambda} = 2\overline{\Delta x} = 9.414(mm)$$

$$\overline{v}_1 = \overline{\lambda}f = 348.7(m/s)$$

$$U_1 = S_{\overline{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\frac{x_{i+5}-x_i}{5} - \overline{\Delta x})^2}{n(n-1)}} = 0.015(mm)$$

$$U = \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial x})^2 U_1^2} = 1.1(m/s)$$

$$v_1 = \overline{v}_1 \pm U = 348.7 \pm 1.1(m/s)$$

$$E = \frac{U}{\overline{v}} = 0.322\%$$

$$P = 68.3\%$$

$$E' = \frac{v_1 - v_0}{v_0} \times 100\% = 0.904\%$$

2. 相位比较法  $t = 23.9^{\circ}C, f = 37.043kHz$

$$\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25} = 4.737(mm)$$

$$\overline{\lambda} = 2\overline{\Delta x} = 9.473(mm)$$

$$\overline{v}_2 = \overline{\lambda}f = 351.0(m/s)$$

$$U_1 = S_{\overline{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\frac{x_{i+5}-x_i}{5} - \overline{\Delta x})^2}{n(n-1)}} = 0.006(mm)$$

$$U = \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial x})^2 U_1^2} = 0.5(m/s)$$

$$v_2 = \overline{v}_2 \pm U = 351.0 \pm 0.5(m/s)$$

$$E = \frac{U}{\overline{v}} = 0.136\%$$

$$P = 68.3\%$$

$$E' = \frac{v_2 - v_0}{v_0} \times 100\% = 1.550\%$$

3. 波形移动法  $t = 23.9^{\circ}C, f = 37.048kHz$

$$\begin{aligned}\overline{\Delta x} &= \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25} = 9.490(mm) \\ \bar{\lambda} &= \overline{\Delta x} = 9.490(mm) \\ \bar{v}_3 &= \bar{\lambda} f = 351.6(m/s) \\ U_1 = S_{\bar{x}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\frac{x_{i+5}-x_i}{5} - \overline{\Delta x})^2}{n(n-1)}} = 0.063(mm) \\ U &= \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial x})^2 U_1^2} = 2.3(m/s) \\ v_3 &= \bar{v}_3 \pm U = 351.6 \pm 2.3(m/s) \\ E &= \frac{U}{\bar{v}} = 0.667\% \\ P &= 68.3\% \\ E' &= \frac{v_3 - v_0}{v_0} \times 100\% = 1.733\%\end{aligned}$$

### 3. 时差法计算空气中和固体介质中的声速

1. 空气  $t = 23.7^\circ C$

$$\begin{aligned}\overline{\Delta x} &= \frac{\sum_{i=0}^4 (x_{i+5} - x_i)}{25} = 9.998(mm) \\ \overline{\Delta t} &= \frac{\sum_{i=0}^4 (t_{i+5} - t_i)}{25} = 29.56(\mu s) \\ \bar{v} &= \frac{\overline{\Delta x}}{\overline{\Delta t}} = 338.2(m/s) \\ U_1 = S_{\bar{x}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\frac{x_{i+5}-x_i}{5} - \overline{\Delta x})^2}{n(n-1)}} = 0.006(mm) \\ U_2 = S_{\bar{t}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\frac{t_{i+5}-t_i}{5} - \overline{\Delta t})^2}{n(n-1)}} = 0.097(\mu s) \\ U &= \sqrt{(\frac{\partial f}{\partial x})^2 U_1^2 + (\frac{\partial f}{\partial t})^2 U_2^2} = 3.6(m/s) \\ v &= \bar{v} \pm U = 338.2 \pm 3.6(m/s) \\ E &= \frac{U}{\bar{v}} = 1.36\% \\ P &= 68.3\% \\ E' &= \frac{v_1 - v_0}{v_0} \times 100\% = 2.136\%\end{aligned}$$

2. 固体  $t = 24.0^\circ C$

有机玻璃中的声速为

$$\begin{aligned}\bar{v}_1 &= \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} = 2272.7(m/s) \\ \bar{v}'_1 &= \frac{l_3 - l_2}{t_3 - t_2} = 2403.9(m/s) \\ v_1 &= \frac{\bar{v}_1 + \bar{v}'_1}{2} = 2338.3(m/s)\end{aligned}$$

在铝中的声速为

$$\bar{v}_2 = \frac{l_5 - l_4}{t_5 - t_4} = 5000.0(m/s)$$

$$\bar{v}'_2 = \frac{l_6 - l_5}{t_6 - t_5} = 4386.0(m/s)$$

$$v_2 = \frac{\bar{v}_2 + \bar{v}'_2}{2} = 4693.0(m/s)$$

#### 四. 实验结论及现象分析

1. 四种方法所测的空气中的声速都在335m/s~352m/s，与理论值345.6m/s偏差较小。
2. 驻波法、相位法和波形移动法只能分析正弦波。相位法只需记录李萨如图型呈直线时的数据，人为判断产生的误差较小，波形移动法只需要判断接收波的波峰是否与发射波的波峰对齐，因此产生的误差与相位法相似。但是驻波法需要人为判断接收的波是否达到最大的振幅，含有的主观因素较大，因此产生的误差较大。
3. 驻波法、相位法和波形移动法都大于理论声速，原因可能时在发射换能器与接收换能器之间有可能不是严格的驻波场、空气不是理想气体，空气中存在水蒸气等。
4. 时差法测得的空气中声速于理论值误差较大，但时差法可以测量的不局限于正弦波。时差法还可以测量固体中的声速等。
5. 实验所测得的有机玻璃和铝中的声速远大于空气中的声速，且铝中的声速也远大于有机玻璃中的声速。原因是声波在固体中传播的速度远大于气体。

1.驻波法测声速时，为什么示波器上观察到的是正弦波而不是驻波？

答：实验时发射换能器与接收换能器之间可近似看成驻波。但是示波器测量的是某一点的波形，显示的波形横轴为时间t。所以当测量的点确定时，因此在示波器上观察到的是正弦波。

2.用相位比较法测量波长时，为什么用直线而不用椭圆作为 S2 移动距离的片段数据？

答：在使用相位比较法时，当李萨如图形为直线人为观察更为直观，相较于椭圆，数据测量时产生的误差更小。

3.分析一下本实验中哪些因素可以引起测量误差。列出 3 条主要因素并说明原因。

答：

1) 在发射换能器与接收换能器之间有可能不是严格的驻波场。实验中因为A1、A2近似相等，故可近似认为发射换能器与接收换能器之间为驻波。但实际测量时不能排除干扰。

2) 示波器上判断测量的位置不准确引入人为的和仪器的误差。实验中驻波法需要判断

波形极大值的位置、相位法需要判断李萨如图形是否为条直线、波形移动法需要判断接收波的波峰是否与发射波的波峰重合，三组实验都存在人为判断的环节，因此在判断测量位置时存在主观因素导致的误差。其中驻波法的需要主观判断极值，误差远大于相位法和波形移动法。

3) 调节超声波的谐振频率时出现误差。声速测量仪中的固有频率，会随着环境温度的升高而降低。因此在实验过程中，由仪器发热导致频率发生变化，产生误差。