基础物理实验

——测量介质中的声速实验报告

赵雅鹏　　2100011762

化学与分子工程学院

2022 年 10 月 14 日

1 共振频率的测量结果

$$f_0 = 40.000\text{kHz}$$

2 极值法

测量序数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正向测量距离/mm	44.062	48.432	52.942	57.462	62.732	66.091	70.419	74.739	79.088	83.349
正向测量峰-峰值电压/V	7.76	7.12	6.32	5.28	4.88	4.16	3.70	3.88	3.84	3.84
反向测量距离/mm	96.125	91.808	87.700	82.979	79.513	74.141	69.958	66.461	61.310	56.940
反向测量峰-峰值电压/V	3.20	3.44	3.52	3.76	3.84	3.84	4.00	3.92	4.72	5.04

逐差法计算(由于没有告知示波器允差，故在此忽略示波器允差，实际上使用的示波器精度非常高，估计测量距离的仪器和螺旋测微器允差类似，实际上也足够小可以忽略，故次估算合理)

正向测量: $\dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{(x_{10}+x_9+x_8+x_7+x_6)-(x_5+x_4+x_3+x_2+x_1)}{5^2} = 4.322\text{mm}$； $v = \dfrac{\lambda}{2}\times 2f_0 = 345.8\text{m/s}$

$$\text{随机误差: } \sigma_\lambda = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}[\textstyle\sum_{i=0}^{5}(\delta_i-\bar{\delta})^2]} = 0.041\text{mm}(\text{PS:}\delta_i = x_{i+5}+x_i, \bar{\delta} = \textstyle\sum_{i=0}^{5}\delta_i)$$

$$\text{系统误差：} e_1 = 0.004\text{mm}$$

$$\therefore \sigma_\lambda = \sqrt{(\sigma_\lambda)^2+e_1^2} = 0.041\text{mm} \Rightarrow \lambda = 4.32\text{mm} \qquad \text{相对不确定度} = \frac{0.041}{4.32} = 0.9\%$$

$$\therefore \sigma_v = v\frac{\sigma_\lambda}{\lambda} = 3.3\text{m}\cdot s^{-1}$$

$$v = \lambda\cdot f = 346\text{m/s}$$

反向测量: $\dfrac{\lambda}{2} = \dfrac{(x_5+x_4+x_3+x_2+x_1)-(x_{10}+x_9+x_8+x_7+x_6)}{5^2} = 4.373\text{mm}$； $v = \dfrac{\lambda}{2}\times 2f_0 = 349.8\text{m/s}$

$$\text{随机误差: } \sigma_\lambda = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}[\textstyle\sum_{i=0}^{5}(\delta_i-\bar{\delta})^2]} = 0.034\text{mm}(\text{PS:}\delta_i = x_{i+5}+x_i, \bar{\delta} = \textstyle\sum_{i=0}^{5}\delta_i)$$

$$\text{系统误差：} e_1 = 0.004\text{mm}$$

$$\therefore \sigma_\lambda = \sqrt{(\sigma_\lambda)^2+e_1^2} = 0.034\text{mm} \Rightarrow \lambda = 4.37\text{mm} \qquad \text{相对不确定度} = \frac{0.037}{4.37} = 0.8\%$$

$$\therefore \sigma_v = v\frac{\sigma_\lambda}{\lambda} = 2.7\text{m}\cdot s^{-1}$$

$$v = \lambda\cdot f = 350\text{m/s}$$

$$\therefore v = \frac{345.8+349.8}{2} = 348(\text{m/s})$$

3 相位法

测量序数x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正向测量距离y/mm	26.019	30.632	35.141	39.480	43.929	48.292	52.620	57.022	61.361	65.773
反向测量距离y/mm	74.100	69.668	65.348	61.220	56.790	52.531	48.128	43.710	39.308	34.913

最小二乘法计算(由于没有告知示波器允差，故在计算不确定度时忽略示波器允差，实际上使用的示波器精度非常高，估计测量距离的仪器和螺旋测微器允差类似，实际上也足够小可以忽略，故次估算合理)

正向测量: $\bar{y} = \dfrac{\sum_{i=0}^{10} y_i}{10} = 46.0269(mm)$; $\bar{x} = \dfrac{\sum_{i=0}^{10} x_i}{10} = 5.5$

$$\overline{xy} = \frac{1}{10}\textstyle\sum_{i=0}^{10} x_i y_i = 289.4518 \qquad \bar{x^2} = \frac{1}{10}\textstyle\sum_{i=0}^{10} x_i^2 = 38.5$$

$$\lambda = \frac{\overline{xy}-\bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2}-(\bar{x})^2} = \frac{289.4518-46.0269\times 5.5}{38.5-5.5^2} = 4.400\text{（mm）}$$

$$v = \lambda f_0 = 352.0\text{m/s}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{10}(x_i-\bar{x})\cdot(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10}(x_i-\bar{x})^2\cdot\sum_{i=1}^{10}(y_i-\bar{y})^2}} = 0.9999746$$

$$随机误差: \sigma_\lambda = \lambda\sqrt{\frac{\frac{1}{r^2}-1}{n-2}} = 0.011\text{mm}$$

$$系统误差：e_1 = 0.004\text{mm}$$

$$\therefore \sigma_\lambda = \sqrt{(\sigma_\lambda)^2 + e_1^2} = 0.011\text{mm} \Rightarrow \lambda = 4.40\text{mm} \qquad 相对不确定度=\frac{0.011}{4.400} = 0.3\%$$

$$\therefore \sigma_v = v\frac{\sigma_\lambda}{\lambda} = 1.1\text{m}\cdot s^{-1}$$

$$v = \lambda \cdot f = 352\text{m/s}$$

反向测量: $\bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^{10} y_i}{10} = 54.5716(mm);\qquad \bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{10} x_i}{10} = 5.5$

$$\overline{xy} = \frac{1}{10}\sum_{i=0}^{10} x_i y_i = 264.52974 \qquad \bar{x^2} = \frac{1}{10}\sum_{i=0}^{10} x_i^2 = 38.5$$

$$-\lambda = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} = \frac{264.5274 - 55.5716 \times 5.5}{38.5 - 5.5^2} = -4.344\text{（mm）}$$

$$v = \lambda \cdot f_0 = 348\text{m/s}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{10}(x_i - \bar{x})\cdot(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10}(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{10}(y_i - \bar{y})^2}} = 0.999976$$

$$随机误差: \sigma_\lambda = \lambda\sqrt{\frac{\frac{1}{r^2}-1}{n-2}} = 0.011\text{mm}$$

$$系统误差：e_1 = 0.004\text{mm}$$

$$\therefore \sigma_\lambda = \sqrt{(\sigma_\lambda)^2 + e_1^2} = 0.011\text{m}m \Rightarrow \lambda = 4.34\text{mm}; \qquad 相对不确定度：\frac{0.011}{4.34} = 0.3\%$$

$$\therefore \sigma_v = v\frac{\sigma_\lambda}{\lambda} = 1.1\text{m}\cdot s^{-1}$$

$$v = \lambda \cdot f = 352\text{m/s}$$

$$\therefore v = \frac{352.0 + 347.6}{2} = 350\text{m/s}$$

4 气体参量法

温度 θ	相对湿度	水的饱和蒸汽压 p_s	水的分压p_w	大气压p
23.0°C	45	2809.1Pa	62.424	766.0mmHg

声速($T_0 = 273.15$°C):

$$v = 331.45 \times \sqrt{(1+\frac{\theta}{T_0})(1+\frac{0.3192p_w}{p})} = 345\text{m/s}$$

5 水中声速的测量（频率1.8000MHz）

测量序数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正向测量距离/cm	1.7842	1.8682	1.9517	2.0350	2.1172	2.1978	2.2856	2.3690	2.4520	2.5348
反向测量距离/cm	3.0262	2.9421	2.8591	2.7767	2.6955	2.6144	2.5315	2.4468	2.3638	2.2812

逐差法计算

正向测量: $\frac{\lambda}{2} = \frac{(x_{10}+x_9+x_8+x_7+x_6)-(x_5+x_4+x_3+x_2+x_1)}{5^2} = 0.08332\text{cm}$

$$v = \frac{\lambda}{2} \times 2f_0 = 1.500 \times 10^3\text{m/s}$$

反向测量: $\frac{\lambda}{2} = \frac{(x_5+x_4+x_3+x_2+x_1)-(x_{10}+x_9+x_8+x_7+x_6)}{5^2} = 0.08248\text{cm}$

$$v = \frac{\lambda}{2} \times 2f_0 = 1.485 \times 10^3\text{m/s}$$

$$\therefore v = \frac{1.500 \times 10^3 + 1.485 \times 10^3}{2} = 1.492 \times 10^3\text{m/s}$$

同理进行不确定度的计算后可知 $v = 1.49 \times 10^3$m/s

6 分析与讨论

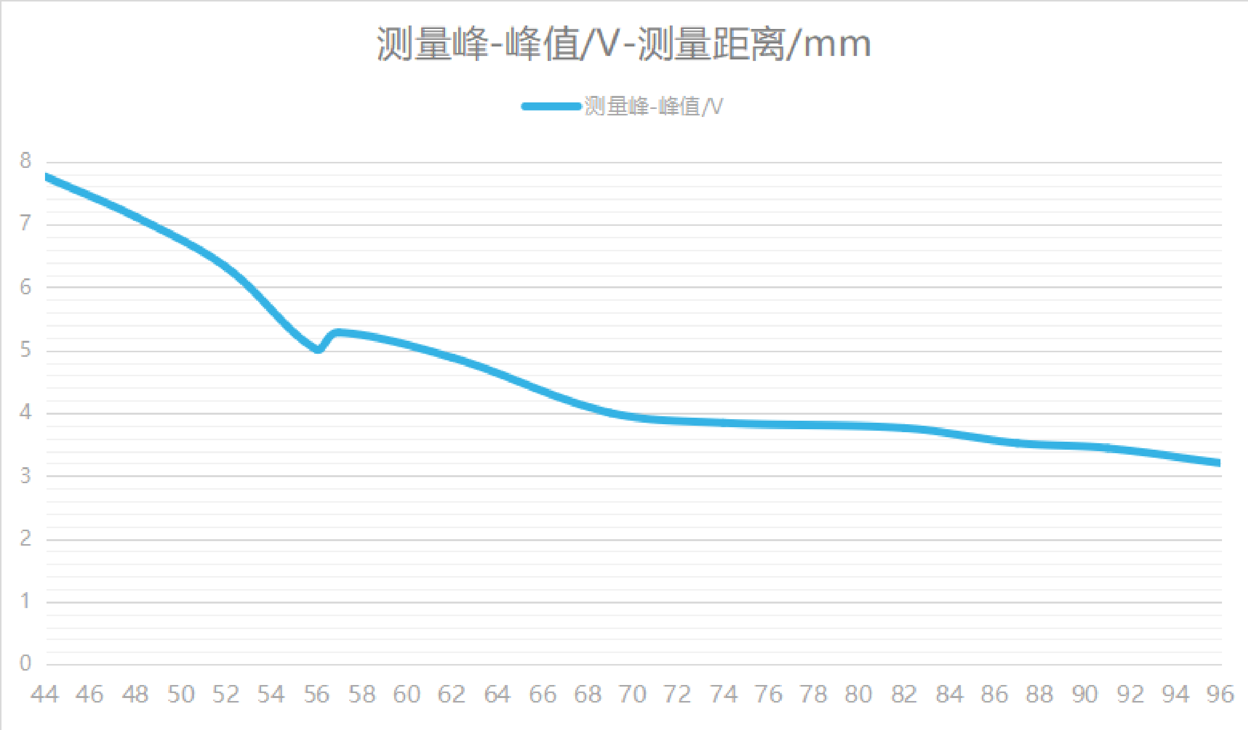

图 1: 峰-峰值电压随距离衰减图

由图知，声波能量随传播距离衰减规律：峰-峰值电压随距离增大而衰减，且距离越大，衰减得越慢。

7 收获与感想

本次实验最大的感想就是，做物理实验除了做实验外，分析数据也很不容易，分析计算数据和计算不确定度，都是一项需要认真细致，有耐心的耗时工程。

本次实验发现，连接示波器、信号源以及测量仪器的数据线如果摆放很乱，会影响信号，导致示波器上面显示的信号不稳定，故需要摆放整齐。

以及使用LaTeX制作实验报告，可以将电脑带入实验室记录数据提升效率，既在实验记录本上记录数据，同时也计入LaTeX可以提升学习效率。

示波器上的正弦波和李萨如图形周期性变化，李萨如图形可以找到成为线形的情况，相比正弦波达到极值进行观察更容易，故相位法测量更为方便，精度更高。