

## 测量介质中的声速

星期四晚 第6组1号 甘城屹

### 一、实验数据记录

(一) 共振频率的测量结果:

f/kHz	38.02	38.28	39.66	37.86	36.96
$U_{pp}/V$	1.76	0.300	0.080	1.10	0.540

共振频率为  $f=38.02\text{kHz}$

(二) 极值法, 分别增大和减小两换能器的间距, 记录 10 组正弦波振幅出现极大值的位置及相应的峰-峰值电压;

#### 1. 增大距离

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x(mm)$	3.74	8.48	13.30	17.70	22.28	27.02	31.54	36.10	40.70	45.32
$U_{pp}(V)$	5.52	5.04	4.04	3.36	2.88	2.66	2.36	2.16	1.94	1.76

$$\Delta x_1 = x_5 - x_0 = 23.28mm$$

$$\Delta x_2 = x_6 - x_1 = 23.06mm$$

$$\Delta x_3 = x_7 - x_2 = 22.80mm$$

$$\Delta x_4 = x_8 - x_3 = 23.00mm$$

$$\Delta x_5 = x_9 - x_4 = 23.04mm$$

#### 2. 减小距离

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x(mm)$	100.70	96.10	91.58	87.08	82.36	77.86	73.20	68.58	64.02	59.42
$U_{pp}(V)$	0.944	0.968	0.984	1.05	1.06	1.06	1.10	1.17	1.18	1.26

$$\Delta x_1 = x_0 - x_5 = 22.84mm$$

$$\Delta x_2 = x_1 - x_6 = 22.90mm$$

$$\Delta x_3 = x_2 - x_7 = 23.00mm$$

$$\Delta x_4 = x_3 - x_8 = 23.06mm$$

$$\Delta x_5 = x_4 - x_9 = 22.94mm$$

(三) 相位法, 分别增大和减小两换能器的间距, 记录 10 组李萨如图形呈现相同斜率直线状态的位置;

#### 1. 增大距离

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x(mm)$	22.58	31.56	40.72	50.00	59.08	68.26	77.40	86.66	95.78	105.00

#### 2. 减小距离

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x(mm)$	206.10	196.94	187.76	178.70	169.42	160.24	151.18	142.10	132.84	123.74

(四) 温度、相对湿度的测量结果 (由一体式温湿度计读取, 压强以 1 个标准大气压计算);

$\theta(^{\circ}C)$	P(Pa)	H(%)	Ps
25.7	$1.01 \times 10^5$	52	3361.3

## 二、实验数据处理

(一) 处理极值法空气中声速测量的数据，给出声速测量结果、要求评价不确定度并进行误差分析；

### 1.逐差法：

(1) 增大距离：

$$\overline{\Delta x_1} = 23.036 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{2}{5} \overline{\Delta x_1} = 9.2144 \text{ mm}$$

$$v_1 = f \lambda_1 = 350.33 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{\overline{\Delta x_1}} = 0.076 \text{ mm}$$

$$e = 0.02 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\lambda_1} = \sqrt{\sigma_{\overline{\Delta x_1}}^2 + \frac{e^2}{3}} = \sqrt{(0.076)^2 + \frac{0.02^2}{3}} \text{ mm} = 0.08 \text{ mm}$$

$$\sigma_{v_1} = v_1 \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_1}}{\lambda_1}\right)^2} = 2.9 \text{ m/s}$$

$$v_1 = (350.3 \pm 2.9) \text{ m/s}$$

(2) 减小距离：

$$\overline{\Delta x_2} = 22.948 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 = \frac{2}{5} \overline{\Delta x_2} = 9.1792 \text{ mm}$$

$$v_2 = f \lambda_2 = 348.99 \text{ m/s}$$

$$\sigma_{\overline{\Delta x_2}} = 0.038 \text{ mm}$$

$$e = 0.02 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\lambda_2} = \sqrt{\sigma_{\overline{\Delta x_2}}^2 + \frac{e^2}{3}} = \sqrt{(0.038)^2 + \frac{0.02^2}{3}} \text{ mm} = 0.04 \text{ mm}$$

$$\sigma_{v_2} = v_2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_2}}{\lambda_2}\right)^2} = 1.5 \text{ m/s}$$

$$v_2 = (349.0 \pm 1.5) \text{ m/s}$$

### 2.最小二乘法：

(1) 增大距离

以序号为自变量  $n$ ,  $x$  为因变量进行拟合： $x = b_1 n + a_1$

代入数据得： $b_1 = 4.60618 \text{ mm}$ ,  $r_1 = 0.99998$

$$\lambda_1 = 2b_1 = 9.21236mm$$

$$v_1 = f\lambda_1 = 350.2539m/s$$

$$\sigma_{b_1} = b_1 \sqrt{\frac{\frac{1}{r_1^2} - 1}{10 - 2}} = 0.0326mm$$

$$\sigma_{\lambda_1} = 2\sigma_{b_1} = 0.0652mm$$

$$\sigma_f = \frac{e_f}{\sqrt{3}} = \frac{0.01kHz}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{v_1} = v_1 \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_1}}{\lambda_1}\right)^2} = 2.5m/s$$

$$v_1 = (350.3 \pm 2.5)m/s$$

(2) 减小距离:

以序号为自变量  $n$ ,  $x$  为因变量进行拟合:  $x = b_2n + a_2$

代入数据得:  $b_2 = -4.58921mm$ ,  $r_2 = -0.999994$

$$\lambda_2 = -2b_2 = 9.17842mm$$

$$v_2 = f\lambda_2 = 348.9635m/s$$

$$\sigma_{b_2} = -b_2 \sqrt{\frac{\frac{1}{r_2^2} - 1}{10 - 2}} = 0.00562mm$$

$$\sigma_{\lambda_1} = 2\sigma_{b_1} = 0.0112mm$$

$$\sigma_f = \frac{e_f}{\sqrt{3}} = \frac{0.01kHz}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{v_2} = v_2 \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_2}}{\lambda_2}\right)^2} = 0.4m/s$$

$$v_2 = (349.0 \pm 0.4)m/s$$

(二) 用最小二乘法处理相位法空气中声速测量的数据, 给出声速测量结果、要求评价不确定度并进行误差分析;

1. 增大距离:

以序号为自变量  $n$ ,  $x$  为因变量进行拟合:  $x = b_3n + a_3$

代入数据得:  $b_3 = 9.16606mm$ ,  $r_3 = 0.999998$

$$\lambda_3 = b_3 = 9.16606mm$$

$$v_3 = f\lambda_3 = 348.4936m/s$$

$$\sigma_{b_3} = b_3 \sqrt{\frac{\frac{1}{r_3^2} - 1}{10 - 2}} = 0.0065mm$$

$$\sigma_{\lambda_3} = \sigma_{b_3} = 0.0065mm$$

$$\sigma_f = \frac{e_f}{\sqrt{3}} = \frac{0.01kHz}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{v_3} = v_3 \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_3}}{\lambda_3}\right)^2} = 0.25m/s$$

$$v_3 = (348.49 \pm 0.25)m/s$$

2.减小距离:

以序号为自变量  $n$ ,  $x$  为因变量进行拟合:  $x = b_4 n + a_4$

代入数据得:  $b_4 = -9.15139mm$ ,  $r_4 = -0.999998$

$$\lambda_4 = -b_4 = 9.15139mm$$

$$v_4 = f\lambda_4 = 347.9358m/s$$

$$\sigma_{b_4} = b_4 \sqrt{\frac{\frac{1}{r_4^2} - 1}{10 - 2}} = 0.0065mm$$

$$\sigma_{\lambda_4} = \sigma_{b_4} = 0.0458mm$$

$$\sigma_f = \frac{e_f}{\sqrt{3}} = \frac{0.01kHz}{\sqrt{3}} = 5.77 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{v_4} = v_4 \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\lambda_4}}{\lambda_4}\right)^2} = 0.25m/s$$

$$v_4 = (347.93 \pm 0.25)m/s$$

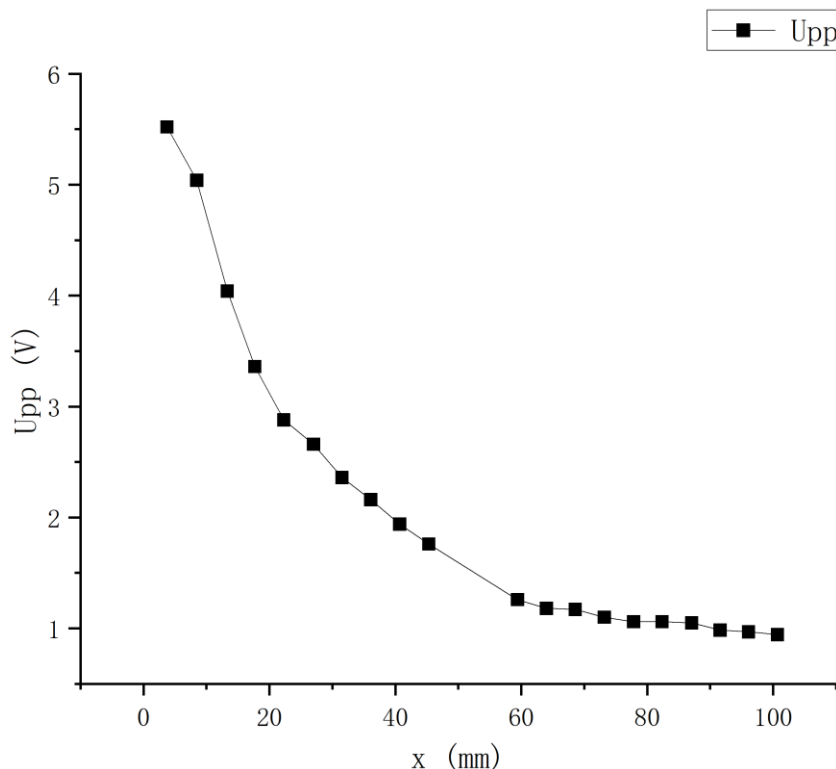
(三) 给出利用气体参量测定空气中声速的测量结果, 根据有效数字运算传递规则确定测量结果的有效数字位数;

$$v_5 = 331.45 \sqrt{\left(1 + \frac{\theta}{T}\right)} \sqrt{\left(1 + \frac{0.3192p_w}{p}\right)} =$$

$$331.45 \sqrt{\left(1 + \frac{25.7}{273.15}\right)} \sqrt{\left(1 + \frac{0.3192 \times 52\% \times 3361.3}{1.01 \times 10^5}\right)} = 348m/s$$

温度及湿度对结果有影响, 不确定度量级大概是 1m/s

(四) 作峰-峰值电压随距离的变化图, 分析总结声波能量随传播距离的衰减规律;



可根据极值法中增大距离和减小距离两组实验得到的二十组数据作出如上所示的 $U_{pp} \sim x$ 图像。

由图可知：声波能量随传播距离的增大而减小，且距离越大，减小的速率越小。

### 三、实验讨论

#### （一）对误差评价方法的讨论

逐差法和最小二乘法都能定量地得到不确定度值，但是逐差法处理后数据组数减半，不确定度更大。逐差法适用于变化量的处理，而最小二乘法需要找到自变量和因变量。而通过仪器最小分度评价不确定度虽然无法得到准确的不确定度，但是简单便捷。

#### （二）对驻波法和行波法的比较

现象：从实验结果的不确定度分析，由于行波法不确定度更小，所以相对准确；同时与由气体参量得到的声速结果比较，行波法得到的结果更为接近，说服力更强。

原因：驻波法需要在不回转转轮的情况下找到接受信号峰一峰值是极大值的位置，不容易把握，操作难度大，引入较大误差。而行波法只需要停留在李萨如图形是相同斜率直线的位置记录数据，图形直观易把握，偏差小。

#### （三）频率、距离、声压对声速数值的影响

##### 1. 频率

##### （1）实验数据及对应计算

1)  $f' = 39.15 \text{ kHz}$  时，信号强度约为共振时 50%

##### ①驻波法：

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$x(mm)$	8.44	13.12	17.62	22.26	26.74	31.52	36.00	40.64	45.22	49.76
$U_{pp}(V)$	3.16	2.48	2.08	1.84	1.76	1.64	1.38	1.24	1.14	0.976

$$5 \times \frac{\lambda'_1}{2} = \frac{(x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9) - (x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{5}$$

$$v'_1 = f\lambda'_1 = 349.66m/s$$

②行波法:

序号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x(mm)$	31.56	40.32	49.70	58.72	67.76	76.80	85.66	94.72	103.78	112.88

$$5 \times \lambda'_2 = \frac{(x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9) - (x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{5}$$

$$v'_1 = f\lambda'_1 = 343.37m/s$$

2)  $f'' = 38.20kHz$  时, 信号强度约为共振时 25%

①驻波法:

序号	0	1	2	3	4	5	6	7
$x(mm)$	13.20	17.58	22.20	26.76	31.48	36.00	40.60	45.18
$U_{pp}(V)$	1.90	1.54	1.38	1.34	1.20	1.12	1.00	0.90

$$4 \times \frac{\lambda''_1}{2} = \frac{(x_4 + x_5 + x_6 + x_7) - (x_0 + x_1 + x_2 + x_3)}{4}$$

$$v''_1 = f\lambda''_1 = 349.40m/s$$

②行波法:

序号	0	1	2	3	4	5	6	7
$x(mm)$	31.10	40.18	49.22	58.40	67.30	76.28	85.28	94.42

$$4 \times \lambda''_2 = \frac{(x_4 + x_5 + x_6 + x_7) - (x_0 + x_1 + x_2 + x_3)}{4}$$

$$v''_1 = f\lambda''_1 = 343.08m/s$$

3)  $f''' = 38.51kHz$  时, 信号强度约为共振时 10%

①驻波法:

序号	0	1	2	3	4	5	6	7
$x(mm)$	3.66	8.40	12.84	17.42	22.00	26.56	31.10	36.76
$U_{pp}(mV)$	920	872	704	552	512	504	496	416

$$4 \times \frac{\lambda'''_1}{2} = \frac{(x_4 + x_5 + x_6 + x_7) - (x_0 + x_1 + x_2 + x_3)}{4}$$

$$v'''_1 = f\lambda'''_1 = 349.40m/s$$

②行波法:

序号	0	1	2	3	4	5
$x(mm)$	30.52	39.52	48.64	57.76	66.10	75.10

$$3 \times \lambda'''_2 = \frac{(x_3 + x_4 + x_5) - (x_0 + x_1 + x_2)}{3}$$

$$v'''_2 = f\lambda'''_2 = 343.08m/s$$

(2) 讨论

1) 驻波法: 信号发生器频率在三个非换能器共振频率下的测量结果和共振频率下的测量结果较为接近, 同时实验时发现声压波峰也比较容易确定, 这种方法下频率对波长测量结果准确性影响不大。

2) 行波法: 信号发生器频率在三个非换能器共振频率下的测量结果和共振频率

下的测量结果相差比较大，且信号强度越弱，相差越大。实验时发现信号强度越弱，李萨如图形出现斜率相同直线的位置越难确定，存在换能器移动较大范围，都似乎时直线图形的情况。分析可知，行波法是通过比较信号源和接受得到的信号所成李萨如图形实现的，在非共振频率下，接受到的信号弱，与原信号数量级相差较大，在示波器中拉伸比例相差较大，出现难以判断图形是否为直线的情况。

## 2. 距离

换能器距离本身不会影响声速的大小，但是距离过远时，可能造成接收到的信号弱，更容易受到干扰信号的影响，增大误差。

## 3. 声压

声压本身也不会影响声速的数值，但是声压反映了振幅，如果声压过小，观察到的的幅度小，同时也容易受到外界信号干扰，影响波长测量的准确性。