

班级 土木一班 学号 190410102 姓名 方尧 教师签字

实验日期 6.28 组号 C1 预习成绩 总成绩

实验（四） 空气中声速测量

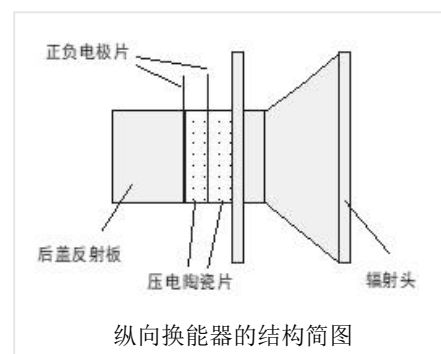
一. 实验目的

1. 用极值法（驻波法）、相位比较法、波形移动法和时差法测量声速；
2. 观察声波的反射、吸收、衍（绕）射等现象；
3. 进一步熟悉示波器等仪器的使用。

二. 实验原理

1. 超声波与压电陶瓷换能器

频率 20Hz~20kHz 的机械振动在弹性介质中传播形成声波，高于 20kHz 称为超声波，超声波的传播速度就是声波的传播速度，超声波具有波长短，易于定向发射等优点。声速实验所采用的声波频率一般都在 20~60kHz 之间，在此频率范围，采用压电陶瓷换能器作为声波的发射器、接收器效果最佳。本实验采用纵向换能器。



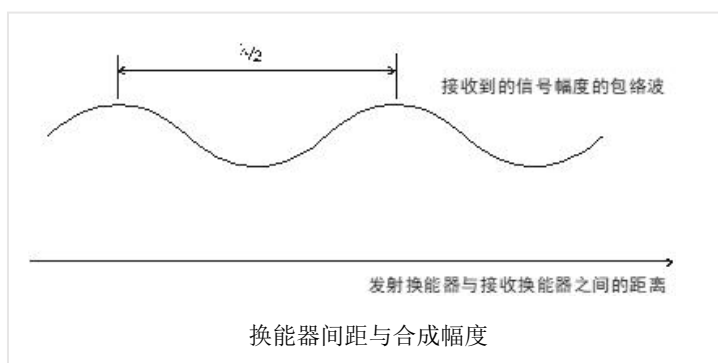
2. 共振干涉法（驻波法）测量声速

假设在无限声场中，仅有一个点声源 S1（发射换能器）和一个接收平面（接收换能器 S2）。当点声源发出声波后，在此声场中只有一个反射面（即接收换能器平面），并且只产生一次反射。该条件下，发射波为 $y_1 = A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ ，反射波为 $y_2 = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi\right)$ ，其中 A 为声波振幅， $\omega = 2\pi f$ 。入射波与反射波叠加的结果为 $y = y_1 + y_2 = A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda}\right) - A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) = -2A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin \omega t$

根据声学理论，声压 p 为： $p = -\rho_0 v^2 \frac{\partial y}{\partial x}$ 因此接收换能器表面声压为 $p = 2A\rho_0 \omega v \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \omega t$

式中 ρ_0 为空气的静态密度。

压电效应将接收到的声压转换成电信号。将它输入示波器，我们就可看到一组由声压信号产生的正弦波形。我们在示波器上观察到的实际上是这两个相干波合成后在声波接收器 S2 处的振动情况。移动 S2 位置（即改变 S1 和 S2 之间的距离），从示波器显示上会发现，当 S2 在某位置时振幅有最大值。根据波的干涉理论可以知道：任何两相邻的振幅最大值的位置之间（或两相邻的振幅最小值的位置之间）的距离均为 $\lambda/2$ 。为了测量声波的波长，可以在一边观察示波器上声压振幅值的同时，缓慢的改变 S1 和 S2 之间的距离。示波器上就可以看到声振动幅值不断地由最大变到最小再变到最大，两相邻的振幅最大之间的距离为 $\lambda/2$ ，S2 移动过的距离亦为 $\lambda/2$ 。超声换能器 S2 至 S1 之间的距离的改变可通过转动鼓轮来实现，而超声波的频率又可由声速测试仪信号源频率显示窗口直接读出。

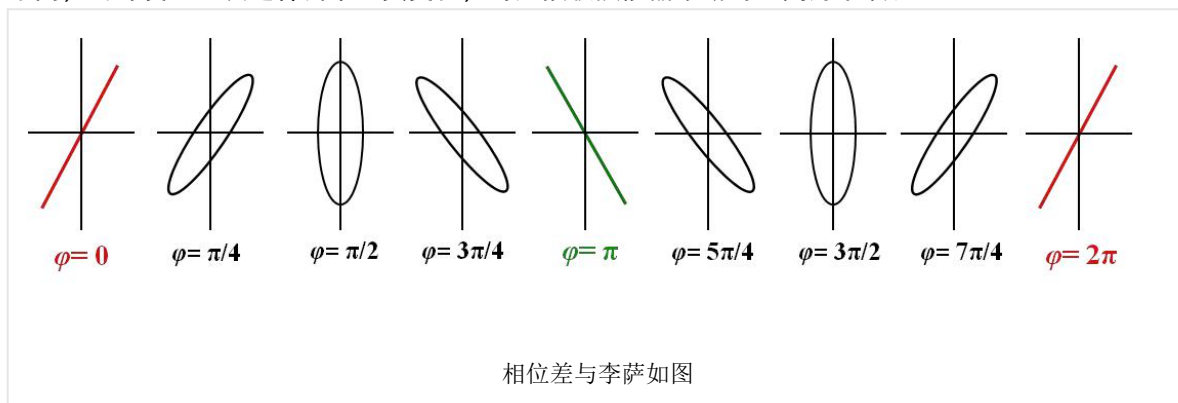


3. 相位法测量原理

由前述可知入射波与反射波叠加,形成波束 $y = -2A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin \omega t$, 相对于发射波束 $y_1 = A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

来说, 在经过 Δx 距离后, 接收到的余弦波与原来位置处的相位差为 $\varphi = \frac{2\pi \Delta x}{\lambda}$ 。因此可以通过

示波器, 用李萨如图法观察测出声波的波长。将发射端和接收端信号分别输入到示波器 CH1 和 CH2 通道, 将示波器的工作模式设置为 X-Y 模式, 移动接收换能器, 改变两换能器之间的距离, 相位差 φ 发生变化, 李萨如图形也随之变化。当相位差为 0 或 π 时, 图形为直线, 只是斜率正负不同, 而每发生一次这种斜率正负变化, 对应接收换能器移动的距离为半波长。



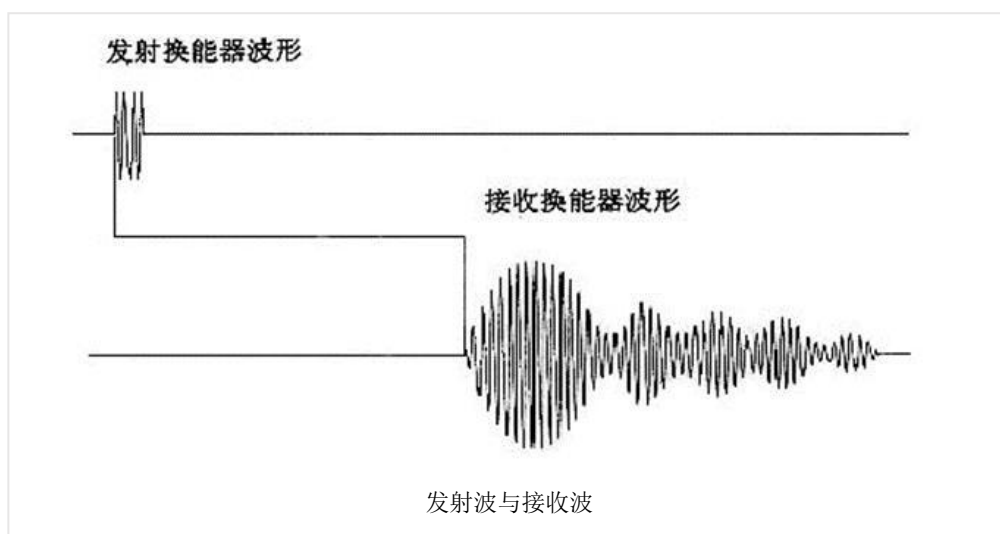
4. 波形移动法

在示波器上将 CH1 和 CH2 的波形同时显示出来, 然后移动接收换能器, 会发现 CH1 上的波形固定不动, CH2 的波形跟着移动。在某个瞬间, 两个波形会发生重叠 (相位上), 接着移动接收换能器, 波形会再次重叠, 两次重叠对应的接收换能器移动的间距为一个波长。

5. 时差法测量原理

连续波经脉冲调制后由发射换能器发射至被测介质中, 声波在介质中传播, 如图 5 所示, 经过 t 时间后, 到达 L 距离处的接收换能器。由运动定律可知, 声波在介质中传播的速度可由以下公式求出: 。如果移动接收换能器, 改变两换能器之间的距离, 相应的接收时间也随之

变化, 可以利用距离与时间的变化量计算出当前介质下的声波传播速度 $v = \frac{\Delta L}{\Delta t}$ 。



三. 数据处理

温度 $t=25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；频率 $f=35649\text{ Hz}$

$$\text{声速理论值 } v_0 = 331.45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \cdot \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 346.5762\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

将数据导入 Excel 表中，计算可得：

$$\text{极值法（驻波法）测空气中声速：} \frac{1}{2} \bar{\lambda}_1 = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=0}^4 (L_{i+5} - L_i) = 4.9148\text{ mm}$$

$$\text{波速 } v_1 = \frac{\bar{\lambda}_1}{T} = \bar{\lambda}_1 \cdot f = 350.4154\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; E_1 = \frac{|v_1 - v_0|}{v_0} = 1.1078\%$$

$$\text{相位比较法测空气中声速：} \frac{1}{2} \bar{\lambda}_2 = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=0}^4 (l_{i+5} - l_i) = 4.89808\text{ m}$$

$$\text{波速 } v_2 = \frac{\bar{\lambda}_2}{T} = \bar{\lambda}_2 \cdot f = 350.4154\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; E_2 = \frac{|v_2 - v_0|}{v_0} = 0.7638\% ;$$

$$\text{波形移动法测空气中声速：} \bar{\lambda}_3 = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=0}^4 (l_{i+5} - l_i) = 9.8096\text{ mm}$$

$$\text{波速 } v_3 = \frac{\bar{\lambda}_3}{T} = \bar{\lambda}_3 \cdot f = 349.7024\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}; E_3 = \frac{|v_3 - v_0|}{v_0} = 0.9020\%$$

$$\text{时差法：} v_i = \frac{l_i - l_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} (i = 1, 2, 3, \dots, 9), \text{ 得到 } v_i \text{ 如下表所示 } (i = 1, 2, 3, \dots, 9) (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$$

v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9
93.12	1,100.00	239.48	515.00	238.46	385.33	304.32	345.31	380.00

$$\text{故 } v_{\text{时差}} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 v_i = 400.11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

测量固体声速：

$$\text{铝：} v_{\text{铝}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_1 - l_0}{t_1 - t_0} + \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} \right) = 2678.5714\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\text{有机玻璃：} v_{\text{有机玻璃}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l_1 - l_0}{t_1 - t_0} + \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} \right) = 2361.1111\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

四. 实验结论及现象分析

极值法(驻波法): 波速 $v_1=350.4154\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $E_1=1.1078\%$

相位比较法: 波速 $v_2=350.4154\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $E_2=0.7638\%$

波形移动法: 波速 $v_3=349.7024\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $E_3=0.9020\%$

原理和操作上的优缺点:

驻波法: 改变压电装置的距离来寻找峰值的位置, 达到峰值的两个时刻对应的刻度差即为半波长; 优点是可以较为清晰的得到较为准确的数据测量值; 缺点是受螺距影响较大且有回程差, 越过峰值不能反向旋转螺距, 会造成较大误差。

相位比较法: 较为直观的找到峰值位置, 更为准确, 因为由椭圆等一系列图形变直线较为准确, 且直线是较为容易观察准确的, 故误差较小。

波形移动法: 缺点是观察波形时存在误差, 观察波形是否重合是误差的主要来源, 由于观察存在误差, 不能确定精确的峰值重合位置, 导致了误差的出现。但简单, 易于操作。

时差法测得空气声速 $v_{\text{时差}} = 400.11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

固体声速: $v_{\text{铝}}=2678.5714\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{\text{有机玻璃}}=2361.1111\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

五. 讨论问题

问题一:

因为发射器 S_1 发出发射波在 S_2 处反射, 产生半波损失, 空气扰动产生声压, 故换能器表面声压的振幅为正弦曲线, 压电效应将声压信号转化为电信号, 并非原来的相干波形成的驻波信号。相当于观察的是相干波在 S_2 处的振动情况。

问题二:

椭圆较直线更不利于观察, 直线本身就存在误差, 换做椭圆, 观察到正椭圆的情形相对于肉眼较为更难观察, 误差也较大。

问题三:

1. 回程差引起的误差: 在采用驻波法时, 在寻找极大值位置需要判断是否有减小趋势时, 一旦减小回调就会引起回程差。
2. 人眼观测的误差: 肉眼在读数以及观测时候的误差。
3. 判断极大值或特殊位置的误差: 在这些实验中, 都是凭借肉眼观察是否达到临界状态, 这对于人眼来说是个极大挑战, 也会造成较大误差。

实验现象观察与原始数据记录

极值法(驻波法)测空气中声速; 温度 $t = 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 频率 $f = 35649\text{ Hz}$ 。

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_i (m)	112.400	107.575	102.685	97.700	92.790	87.920	82.960	78.000	73.110	68.290

相位比较法测空气中声速; 温度 $t = 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 频率 $f = 35649\text{ Hz}$ 。

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_i (m)	82.700	87.620	92.415	97.358	102.360	107.280	112.200	116.860	121.845	126.720

波形移动法测空气中声速; 温度 $t = 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 频率 $f = 35649\text{ Hz}$ 。

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L_i (mm)	117.120	126.680	136.420	146.335	155.880	165.895	175.525	185.600	195.110	205.545

时差法测空气中声速; 温度 $t = 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_i (m)	146.810	149.790	154.190	161.135	166.800	173.000	178.780	185.475	191.000	198.600
t_i (μs)	537	569	573	602	613	639	654	676	692	712

时差法测固体介质中声速; 铝 温度 $t = 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

次数	0	1	2
l_i (mm)	50	70	80
t_i (μs)	44	51	55

时差法测固体介质中声速; 有机玻璃 温度 $t = 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

次数	0	1	2
l_i (mm)	50	70	80
t_i (μs)	58	67	71

学生	姓名	学号	日期
签字	方尧	190410102	6.28

教师	姓名
签字	

大学物理实验报告

哈尔滨工业大学(深圳)

实验现象观察与原始数据记录

25.5 35.649

表 4-1 模值法(驻波法)测空气中声速: 温度 $t = ^\circ\text{C}$, 频率 $f = \text{Hz}$

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

107 102 97 92 87 82 78 73 68
 +40.0 +57.5 +68.5 70.0 79.0 92.0 96.0 00 10.0 29.0

表 4-2 相位比较法测空气中声速: 温度 $t = ^\circ\text{C}$, 频率 $f = \text{Hz}$

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_i (mm)	82.70	87.60	92.45	97.35	102.20	107.20	112.20	116.80	121.85	126.720

表 4-3 波形移动法测空气中声速: 温度 $t = ^\circ\text{C}$, 频率 $f = \text{Hz}$

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_i (mm)	117	126.180	136.400	146.335	155.880	165.895	175.525	185.610	195.110	205.545

(mm)

$$\lambda = 2\Delta L = \text{(mm)}$$

$$v = \lambda f = \text{(m/s)}$$

$$E = \frac{v - v_0}{v_0} \% =$$

2. 时差法计算空气中和固体介质中的声速

表 4-4 时差法测空气中声速: 温度 $t = ^\circ\text{C}$

次数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_i (mm)	146.810	147.790	154.190	161.335	166.800	173.000	178.780	185.475	191.000	198.600
t_i	537	569	573	602	613	639	654	676	692	712

表 4-5 时差法测固体介质中声速: 温度 $t = ^\circ\text{C}$

次	0	1	2
l_i (mm)	50	70	80
t_i	44	71	55

铝

有机

50 70 80

58 67 71

学生	姓名	学号	日期
签字			

教师	姓名
签字	王松