

一、实验目的与要求

1. 学习掌握用驻波“共振法”、行波“相位法”、测空气中超声波速度。
2. 学习设计用驻波“共振法”、行波“相位法”、“时差法”测量不同介质(如空气、液体、固体)中超声波速度。
3. 了解超声波的产生原理, 观察和研究声波在不同介质(如空气、液体、固体)中的速度与介质状态参数的关系; 培养对声学由声九不同实验仪器综合使用的能力。

二、实验仪器

声速测定仪、压电换能器(示波器, 低频信号发生器, 频率计(信号)屏蔽线。

三、实验原理(用自己语言组织)

1. 声波在空气中的传播速度 $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, 式中 γ 是空气定压比热容和定容比热容之比 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, R 是普适气体常量, M 是空气的摩尔质量, T 是热力学温度。忽略空气中的水蒸气和其他杂质的影响, 在 0℃ 时的声速 $v_0 = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{M}} = 331.45 \text{ m/s}$, 在 t 时的声速 $v_t = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}}$, 由波动理论知 $v = f\lambda$ 只要知道 f 和 λ 即可求出波速。由 SV-DH 声速测定仪按列换能器来测量。入用共振干涉法和相位比较法测量。

2. 共振干涉法测入

由声源发出的平面波沿 x 方向传播, 经前方平面反射后, 入射波和反射波叠加。

合成波为 $y = 2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \sin 2\pi ft$

各点的振幅为 $2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$, 与 t 无关, 与 x 有关。

当 $|\sin 2\pi \frac{x}{\lambda}| = 1$ 各点振幅最大, 称为波腹, 此时 $x = \pm (2n+1) \frac{\lambda}{4}$ $n=0, 1, 2, \dots$

当 $|\sin 2\pi \frac{x}{\lambda}| = 0$ 各点振幅最小, 称为波节, 此时 $x = \pm n \frac{\lambda}{2}$ $n=0, 1, 2, \dots$

相邻两波腹(或波节)之间距离为 $\frac{\lambda}{2}$, 因此只要测得相邻两波腹(或波节)的位置 x_n, x_{n+1} , 则得 $\lambda = 2|x_{n+1} - x_n|$

河北工业大学物理实验中心网址: <http://wlzx.hebut.edu.cn>

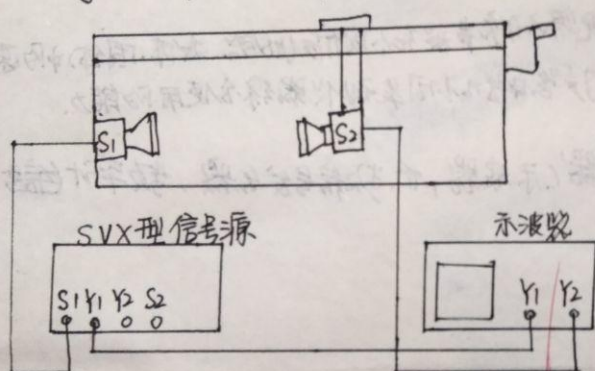
网上选课地址: <http://202.113.124.190>

3. 相位比较法测波长

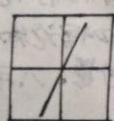
3. 相位比较法测波长

发射换能器 S_1 发出的超声波通过传声介质(空气)到达接收器 S_2 。所以在同一时刻 S_1 处的波和 S_2 处的波有一相位差, 其相位差与发射波的波长 λ , S_1 和 S_2 间距离 L 有如下关系

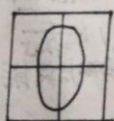
$$\varphi = 2\pi \frac{L}{\lambda}, \quad L \text{ 每改变一个波长, 相位差就改变 } 2\pi.$$



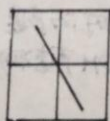
共振干涉法、相位比较法测声速实验装置图



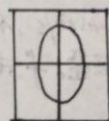
$$\varphi = 0$$



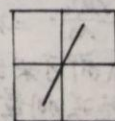
$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$



$$\varphi = \pi$$



$$\varphi = \frac{3\pi}{2}$$



$$\varphi = 2\pi$$

利用如图形与两垂直简谐运动的相位差。

四、实验内容与步骤

1. 共振干涉法测声速

- ① S_1 接信号发生器; S_2 接示波器输入, 调 S_1 与 S_2 的端面相互平行并与移动方向垂直。示波器 VERT MODE 置 CH1 或 ADD, 适当调扫描速率, Y 轴衰减钮及输出电压, 使图形稳定, 大小适中。
- ② 信发发生器按“频率”调 f 大小, “扫描”并显示 f 记录 f
- ③ 从 S_1, S_2 相距 $2 \sim 5 \text{ mm}$ 开始, 由近及远连续移动 S_2 ; 当示波器上正弦信号峰峰值出现极大时, 记录 S_2 位置 L_i , 室温 T 。
- ④ 用逐差法求波长 λ , 计算声速 v 并和理论值比较。

2. 相位比较法测声速

- ① S_1 接信号发生器并连接示波器 X 轴, S_2 接 Y 轴; 令示波器置于“X-Y”垂直扫描模式, 适当调信号发生器 X-Y 衰减钮及输出电压, 使图形大小适中。

② 测波长

五、数据记录 (数据表格自拟)

- ③ 移动 S_2 , 当屏上出现第一条斜直线时, 记下 S_2 的位置 L_1 ; 继续移 S_2 , 可看到 $L_1 = L_0, L_1$ 处 $\dots L_n$ 间距相同的相应位置。依次记录 S_2 位置 $L_1, L_2 \dots L_n$, 记录室温 T 。
- ④ 用逐差法求波长 λ , 计算声速 v , 并和理论值比较。



共振干涉法测波长

谐振频率 $f = 35.595 \text{ kHz}$

$t = 21.0^\circ\text{C}$

i	1	2	3	4	5	6
$L_i (\text{mm})$	4.83	9.72	14.56	19.45	24.34	29.15
$i+6$	7	8	9	10	11	12
$L_{i+6} (\text{mm})$	34.04	38.97	43.80	48.70	53.51	58.45
$L_{i+6} - L_i (\text{mm})$	29.21	29.25	29.24	29.25	29.17	29.30
$\Delta L_i (\text{mm})$	29.24					
$\bar{\Delta L} = 2\Delta L (\text{mm})$	9.75					

$$v = f \bar{\lambda} = 35.595 \text{ kHz} \times 9.75 \text{ mm} = 347.05 \text{ m/s}$$

相位比较法测波长

谐振频率 $f = 35.595 \text{ KHz}$

$t = 21.0^\circ\text{C}$

i	1	2	3	4	5	6
$L_i (\text{mm})$	4.80	9.65	14.52	19.36	24.26	29.16
$i+6$	7	8	9	10	11	12
$L_{i+6} (\text{mm})$	33.85	38.69	43.45	48.25	53.16	58.02
$(L_{i+6} - L_i) (\text{mm})$	29.05	29.04	28.93	28.89	28.90	28.86
$\Delta L_i (\text{mm})$	28.95					
$\bar{\Delta L} = 2\Delta L (\text{mm})$	9.65					

$$v = f\bar{\Delta L} = 35.595 \text{ KHz} \times 9.65 \text{ mm} = 343.49 \text{ m/s}$$

六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

$$\Delta L_A = \sqrt{\frac{\sum (\Delta L_i - \bar{\Delta L})^2}{n(n-1)}}$$

$$= 1.11 \times \sqrt{\frac{(29.05-28.95)^2 + (29.04-28.95)^2 + (28.93-28.95)^2 + (28.89-28.95)^2 + (28.90-28.95)^2 + (28.86-28.95)^2}{6 \times (6-1)}}$$

$$= 0.036 \text{ mm}$$

$$\Delta L_B = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ mm}$$

$$\Delta L = \sqrt{\Delta L_A^2 + \Delta L_B^2} = \sqrt{0.036^2 + 0.006^2} = 0.036 \text{ mm}$$

$$\Delta \lambda = 2 \Delta L = 2 \times 0.036 = 0.072 \text{ mm}$$

$$\Delta v = f \Delta \lambda = 35.595 \text{ KHz} \times 0.072 \text{ mm} = 2.56 \text{ m/s}$$

$$E_v = \frac{\Delta v}{v} \times 100\% = \frac{2.56}{347.05} \times 100\% = 0.7\%$$

$$\therefore \begin{cases} v = (347 \pm 3) \text{ m/s} \\ E_v = 0.7\% \end{cases}$$

理论值 $V_t = 331.5 + 0.6t = 331.5 + 0.6 \times 21.0 = 344.1 \text{ m/s}$

$$V_t = V_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} = 331.5 \times \sqrt{1 + \frac{21.0}{273.15}}$$

$$= 344.0 \text{ m/s}$$

$$E' = \frac{V - V_t}{V_t} \times 100\% = \frac{347.05 - 344.0}{344.0} \times 100\% = 0.9\%$$

七、实验分析

1. 接触不良可能导致形成不稳定的波形
2. 波的高度不足越亮越好,可能会导致波形太宽而读数不准,光点也不能太紧,更不能让光点长时间停留在荧光屏的一点上
3. 信号发生器、示波器预热后才能正常工作.
4. 测信号电压时,一定要将电压衰减旋钮的微调顺时针旋转(校正位置)
测信号周期时,一定要将扫描速度旋钮的微调顺时针(校正位置)

思考题与思维拓展:

1. ① 打开电源后,示波器屏幕上既无光点也无扫描线,可能的原因是什么?应怎么调?
① 示波器坏了,换一台仪器.
② 光点亮度太暗,调节亮度旋钮.
③ 有信号加在示波器的信号输入端且信号幅度较大超出当前档位的量程,使得光点超出屏幕的范围.
将电压档旋钮顺时针拨个较高的档位或将信号源移除.
④ 水平或垂直位置旋钮调整过度,使得光点超出屏幕范围.
调节水平和垂直方向的旋钮到中间位置附近.
2. 示波器上的正弦波形不断向右跑,是什么原因.
扫描频率偏高.