

班号 自动化5班 学号 190320517 姓名 高旭 教师签字 \_\_\_\_\_

实验日期 10月27日 组号 B4 预习成绩 \_\_\_\_\_ 总成绩 \_\_\_\_\_

### 实验(七) 空气中声速的测量

- 一、实验目的
1. 掌握声速测量的原理和方法
  2. 了解超声波的传播特性
  3. 进一步熟悉示波器等仪器的使用

#### 二、实验原理

空气中传播的声波: 纵波 固体中传播的声波: 纵波 & 横波  
 人耳能听到的声波频率:  $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$  低于  $20\text{ Hz}$ : 次声波  
 高于  $20\text{ kHz}$ : 超声波 超声波广泛应用于医疗、定位、探伤、测距等场合。

驻波法、相位比较法、波形移动法:  $v = \lambda \cdot f$

时差法:  $v = \Delta x / \Delta t$

驻波法原理: 发射波  $y_1 = A_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda})$

反射波  $y_2 = A_2 \cos(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \pi)$

叠加波(驻波)  $y = y_1 + y_2 = (A_1 - A_2) \cos(\frac{2\pi x}{\lambda}) \cos \omega t + (A_1 + A_2) \sin(\frac{2\pi x}{\lambda}) \sin \omega t$

(1)  $A_1 > A_2$  且  $A_1 \approx A_2$ , 振幅主要取决于  $(A_1 + A_2) \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$

(2) 波腹:  $x = (2n+1) \frac{\lambda}{4}$  波节:  $x = \frac{n\lambda}{2}$

(3) 相邻波腹(或波节)的间距等于半波长。

(4) 声压  $p = -\rho_0 v^2 (\frac{\partial y}{\partial x}) = \rho_0 v \omega [(A_1 - A_2) \sin(\frac{2\pi x}{\lambda}) \cos(\omega t) - (A_1 + A_2) \cos(\frac{2\pi x}{\lambda}) \sin(\omega t)]$

相位比较法原理  $\Delta \phi = 2\pi \Delta x / \lambda$  相邻两个斜线位置之差即为半波长

时差法:  $\Delta x / \Delta t$

1. 信号源选择“脉冲波”方式。

2. 调节“脉冲波强度”和“接收增益”, 使信号源显示的时间差值读数稳定( $400\mu\text{s}$ 左右)

3. 以固定长度  $\Delta x$  连续改变  $S_2$  的位置, 记录相应位置  $x_i$  以及对应的时间  $t_i$ , 记录 10 组数据

4. 记录室内温度。

5. 用逐差法处理时间值, 计算声速。

## 三. 数据处理

马主波法:  $\bar{\Delta x} = \frac{\sum_{i=0}^4 (X_{i+5} - X_i)}{25} = \frac{(X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9) - (X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4)}{25}$

$$= \frac{(84.169 + 89.039 + 94.009 + 98.905 + 103.861) - (59.451 + 64.384 + 69.312 + 74.185 + 79.098)}{25}$$

$$= 4.9421 \text{ mm} \quad \bar{\lambda} = 2\bar{\Delta x} = 9.8842 \quad V = \bar{\lambda}f = 350.594 \text{ m/s}$$

$$\therefore t = 23.8^\circ\text{C}, f = 35.471 \text{ kHz}, V = 350.594 \text{ m/s}$$

## 相位比较法

$$\bar{\Delta x} = \frac{\sum_{i=0}^4 (X_{i+5} - X_i)}{25} = \frac{151.965 + 156.308 + 161.899 + 166.011 + 171.408 - (126.091 + 132.480 + 136.281 + 142.241 + 146.438)}{25}$$

$$= 4.9624 \text{ mm} \quad \bar{\lambda} = 2\bar{\Delta x} = 9.9248 \quad V = \bar{\lambda}f = 352.2808 \text{ m/s}$$

$$\therefore t = 23.8^\circ\text{C}, f = 35.495 \text{ kHz}, V = 352.2808 \text{ m/s}$$

## 波形移动法

$$\bar{\Delta x} = \frac{224.889 + 234.655 + 244.451 + 254.289 + 263.901 - 175.75 - 185.631 - 195.621 - 205.549}{25}$$

$$= 9.7760 \quad \bar{\lambda} = \bar{\Delta x} = 9.7760 \quad V = \bar{\lambda}f = 347.1262 \text{ m/s}$$

$$\therefore t = 23.9^\circ\text{C}, f = 35.508 \text{ kHz}, V = 347.1262 \text{ m/s}$$

## 时差法

$$\bar{\Delta t} = \frac{474 + 502 + 534 + 562 + 590 - (322 + 364 + 386 + 412 + 444)}{25} = 29.36 \mu\text{s}$$

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10 \text{ mm}}{29.36 \mu\text{s}} = 340.5995 \text{ m/s} \quad t = 23.8^\circ\text{C}$$

固体中	次数	1	2	3	4	5	6
材质		有机玻璃	有机玻璃	有机玻璃	铝	铝	铝
$l_i(\text{mm})$		2	5	10	2	5	10
$t_i(\mu\text{s})$		17.6	29.6	49.6	14.4	20.0	<del>29.4</del> 29.4
声速 $\frac{l_{i+1} - l_i}{t_{i+1} - t_i} \text{ m/s}$		250	250	NA	535.7143	<del>431.9149</del> 531.9149	NA

驻波法 理论声速  $V_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s}$

$$= 331.45 \sqrt{1 + \frac{23.8}{273.15}} \text{ m/s} = 345.5883 \text{ m/s}$$

计算值  $V = 350.594 \text{ m/s}$  相对误差为  $\frac{350.594 - 345.5883}{350.594} \times 100\%$   
 $= 1.43\%$

相对位比较法 计算值  $V = 352.2808 \text{ m/s}$

相对误差为  $\frac{352.2808 - 345.5883}{352.2808} = 1.9\%$

波形移动法  $V_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{23.9}{273.15}} = 345.6465 \text{ m/s}$

计算值  $V = 347.1262 \text{ m/s}$  相对误差为  $\frac{347.1262 - 345.6465}{347.1262} = 0.43\%$

时差法 相对误差:  $\frac{345.5883 - 340.5995}{340.5995} = 1.46\%$

~~总结~~



## 四. 实验结论及现象分析

在几种测量方法中波形移动法误差相对误差最小约为0.43%，相位比较法误差最大约为1.9%。

固体中的声速测量中，有机玻璃内声速传播比在空气中慢，约为250 m/s。铝块内声速传播比在空气中快约为533 m/s。

## 五. 讨论问题

1. 使用驻波法测量声速时，为什么示波器上显示的是正弦波而不是驻波？

因为驻波是在发射器  $S_1$  与接收器  $S_2$  间形成，接收器  $S_2$  接收到的是一个声压信号，在驻波波节位置，声压信号最强，输入到示波器Y偏转板，经X偏转板扫描，故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  $S_2$  移动距离的片段数据。

因为李萨如图形为椭圆时，椭圆形状，大小不确定，接收器  $S_2$  位置难以确定。只有当李萨如图形为直线时，图形直观唯一，易确定  $S_2$  位置。

3. 分析一下本实验中哪些因素可引起误差。列出3条主要元素并说明原因。

① 读数误差。读取测微鼓轮时存在读数误差。

② 判断条件误差。当用驻波法或相位移动法等测量方法时，判断相位相差  $\pi$  或  $2\pi$  的临界值存在误差。

③ 设备误差。设备由于自身精密度原因也会产生误差。

## 实验现象观察与原始数据记录

驻波法

温度  $t = 23.8^\circ\text{C}$ 频率  $35.47 \text{ kHz}$ 

次数	0	1	2	3	4	5
$X_i(\text{mm})$	59.451	64.384	69.312	74.185	79.098	84.169
	6	7	8	9	<del>10</del>	
$X_i(\text{mm})$	89.039	94.009	98.905	103.861		

相位比较

温度  $t = 23.8^\circ\text{C}$ 频率  $35.495 \text{ kHz}$ 

次数	0	1	2	3	4
$X_i(\text{mm})$	106.199	116.635	126.		
	5	6	7	8	9
$X_i(\text{mm})$	126.091	132.480	136.281	142.241	146.438
	5	6	7	8	9
	151.965	156.308	<del>161.899</del>	166.011	171.408

波形物法

温度  $t = 23.9^\circ\text{C}$ 频率  $35.508 \text{ kHz}$ 

次数	0	1	2	3	4
$X_i(\text{mm})$	175.750	185.631	195.621	205.549	215.235
	5	6	7	8	9
	224.889	234.655	244.451	254.289	263.901

时差法

 $t = 23.8^\circ\text{C}$ 

次数	0	1	2	3	4	5	6	7
$X_i$	100.000 mm	110.000	120.000	130.000	140.000	150.000	160.000	170.000
$t_i$	322 $\mu\text{s}$	364 $\mu\text{s}$	386 $\mu\text{s}$	412 $\mu\text{s}$	444 $\mu\text{s}$	474 $\mu\text{s}$	502 $\mu\text{s}$	534 $\mu\text{s}$
	8	9						
	18.000	19.000						
	562 $\mu\text{s}$	590 $\mu\text{s}$						
			次数	1	2	3	4	5
			材料	有限	有限	有限	有限	有限
			$t(\text{ms})$	2	5	10	2	5
				17.6	29.6	49.6	14.4	20.0

学生	姓名	学号	日期
签字	葛旭	190320517	10.27

教师	姓名
签字	王