

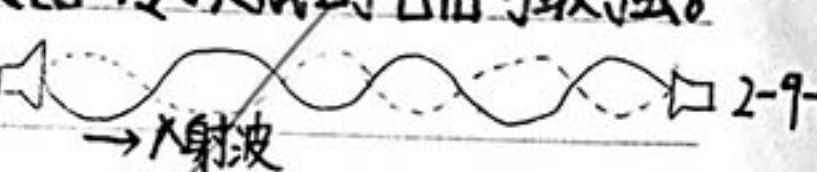
【实验目的】

1. 了解声波的特性, 加深振动合成和波动干涉理论的理解。
2. 学会用相位差法和驻波法测空声波在空气中传播的速度。
3. 学习示波器和信号发生器的使用。

【实验原理】(电学、光学画出原理图)

1. 超声波传播速度: 声波在理想气体中传播可认为绝热过程, 其传播速度为: $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, 式中 M 为气体摩尔质量, R 为摩尔气体常量 ($R = 8.314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$), γ 为气体的比热容比, T 为气体的热力学温度(单位为 K)。在 0°C 时, 声速 $v_0 = 331.45 \text{ m/s}$, 所以在温度为 t 时, 声速为 $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s}$, 声波在不同的介质中传播速度不同, 最简单的方法直接测量声波的振动的频率 f 和波长 λ , 可得 $v = \lambda f$ 。

2. 驻波法测定超声波波长: 由于入射波和反射波相干叠加, 两个换能器之间可形成如图 2-9-1 所示的共振驻波现象, 即波幅达到极大。由纵波的性质可以证明, 振动位移处于波节时, 则声压处于波腹, 即接收器端面振动位移为一波节时, 接收到的声压最大, 经接收器转换成的电信号最强。

发射面到接收面之间的距离 $L: L_n = n \frac{\lambda}{2} (n=1, 2, \dots)$  2-9-1
 $\Delta L = L_{n+1} - L_n = \frac{\lambda}{2}$, 将 λ 值代入 $v = \lambda f$ 就能得到超声波波速。

3. 相位法测定超声波波长

波是振动状态的传播, 也可以说是相位的传播。沿波传播方向上的任何两点, 其振动状态相同, 或者说相位差为 2π 的整数倍, 两点间距离应等于波长 λ 的整数倍, 利用这个原理可测声波波长。

【实验内容】（重点说明）

1. 系统调节: 实验时, 只有信号频率与两个具有相同固有频率的换能器的频率一致时, 同时只有发射端面与接受端面平行时才保证有良好的实验状态。

调节方法: 使移动端和固定端尽量靠近并平行, 将接收端信号输入示波器Y轴。

在信号发生器上调节频率旋钮选择谐振频率(约40kHz), 然后微微调节信号发生器的频率旋钮, 直到示波器上出现波幅最大为止。即为谐振频率。

2. 驻波法测量声速: 调节好超声换能器至最佳工作状态后, 可将移动端在标尺上来回移动, 观察干涉现象, 出现最大振幅波形, 读得位置为 L_1 , 在同方向逐次记相邻最大振幅 L_2 , 同时记下 f , 记8组, 频率可用起始和结束的, $f = \frac{1}{2}(f_1 + f_2)$ 。

3. 相位差法测量声速: 将发射端信号输入示波器X轴, 移动接收端就可以在示波器上看到一、三象限的直线, 从标尺上读得此时的位置读数 L_1 , 测得在示波器上二、四象限的直线位置 L_2 , 记录下 f , 记录8个数据。

【实验器材及注意事项】

1. 实验器材: 声速测定仪、压电陶瓷头、示波器、功率信号发生器。

2. 注意事项: ①要使移动端换能器尽量靠近固定端换能器。

②移动接收端时要沿着同一个方向。

③读数时以旋转圈数读而不以标尺上读, 减少误差。

④穿心螺栓将所有器件紧固成一体, 但不与引出线接触。

【数据处理与结果】通过实验得到了以下数据。

谐振频率	$f = 39.50 \text{ kHz}$		环境温度	$t_f = 18.3^\circ\text{C}, t_{\text{湿}} = 15.9^\circ\text{C}$	
驻波法	接受端位置读数/mm		相位差法	接受端位置读数/mm	
1	L_1	44.325	0	L_1	6.532
2	L_2	48.240	π	L_2	10.962
3	L_3	52.232	2π	L_3	15.140
4	L_4	56.724	3π	L_4	20.229
5	L_5	62.328	4π	L_5	24.638
6	L_6	65.710	5π	L_6	28.918
7	L_7	69.850	6π	L_7	32.826
8	L_8	73.580	7π	L_8	36.275
$\bar{\lambda}$		8.744	$\bar{\lambda}$		8.724
v		345.39	v		344.61

① 驻波法: 利用逐差法求 $\bar{\lambda}$: $\frac{1}{2}\bar{\lambda} = \frac{(L_5 + L_6 + L_7 + L_8) - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)}{16}$
 代入数据, 则 $\frac{1}{2}\bar{\lambda} = \frac{(73.580 + 69.850 + 65.710 + 62.328) - (56.724 + 52.232 + 48.24 + 44.325)}{16}$
 $= 4.372 \text{ mm} \therefore \bar{\lambda} = 8.744 \text{ mm} \therefore \text{可得 } v = \bar{\lambda}f = 345.39 \text{ m/s}$

② 相位差法: 同理可利用逐差法求 $\bar{\lambda}$: 代入数据 则 $\frac{1}{2}\bar{\lambda} = 4.362 \text{ mm}$
 $\bar{\lambda} = 8.724 \text{ mm} \therefore v = \bar{\lambda}f = 344.61 \text{ m/s}$

③ 理论声速: $v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t/^\circ\text{C}}{273.15}} \text{ m/s} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{18.3}{273.15}} \text{ m/s} = 342.37 \text{ m/s}$

④ 相对误差: 驻波法: 相对误差 = $\frac{|v_t - v|}{v_t} \times 100\% = 0.88\%$
 相位差法: 相对误差 = $\frac{|v_t - v|}{v_t} \times 100\% = 0.65\%$

【误差分析】

由实验数据的处理结果已得知在驻波法测量实验时,本次操作结果造成的相对误差为 0.88%,在相位差法测量时,本次操作结果造成的相对误差为 0.65%,经分析,本次实验的误差来源主要有以下几点。

- ① 读数误差:在两种测量声速的方法中,都需要读取刻度盘上的数据,并且需要估读,如此便会造成读数误差,对实验产生影响。
- ② 驻波法的最大振幅判断以及相差法是否成为直线都具有主观性,对视力有要求。
- ③ 系统误差:在实验过程中,频率 f 在不断变化,只是围绕 39.50 kHz 附近波动,并且示波器中的图像也在波动,难以精确判断,这样也会产生误差。

【实验心得及思考题】

1. 实验心得:①在实验开始前,要将移动端换能器尽可能靠近固定端换能器。

②移动时,移动端换能器要朝一个固定方向移动,不能来回移动。

③读数时以旋转圈数和测微螺旋读数,不从游标尺上读,减小机械误差。

2. 思考题:①同频率两相互垂直的振动合成中,当相位差为 2π 的整数倍时,李萨如图形为 1,3 象限的直线,当相位差为 π 的奇数倍是二,四象限的直线。试证明。

答:李萨如图形的解析式为 $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ 设 $\varphi_1 = n \cdot 2\pi$ (n 为 4, 6, ...)

$\varphi_2 = n\pi$ ($n=1, 3, 5, \dots$) \therefore 当 $\varphi = \varphi_1$ 时 $x = A \sin(\omega t + \varphi_1)$, $y = A \sin(\omega t + \varphi_2)$

$\therefore y = x$, 即为过 1, 3 象限的直线; 当 $\Delta\varphi = \Delta\varphi_2$ 时 $x = A \sin(\omega t + \varphi)$,

$y = A \sin(\omega t + \varphi')$ $\therefore y = -x$, 即为过二, 四象限的直线。

②实验前为什么要调整测试系统的谐振频率?

答:在谐振频率下,才能使能量转换高效,信号幅度大,误差小。

③如果超声波发生器的频率 $f = 4200 \text{ kHz}$, 不确定度 $U_f = 10 \text{ Hz}$, 测入时引起波长不确定度为 $U_\lambda = 0.030 \text{ mm}$, $\bar{\lambda} = 8.560 \text{ mm}$, 则声速相对不确定度 U_v/v 可达多少?

答: $\frac{U_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}}\right)^2 + \left(\frac{U_f}{f}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.030}{8.560}\right)^2 + \left(\frac{10}{4200 \times 10^3}\right)^2} = 3.514 \times 10^{-3}$

【数据记录及草表】

谐振频率	$f = 139.5 \text{ kHz}$		环境温度	$t_f = 18.3^\circ\text{C}, t_{\text{湿}} = 15.9^\circ\text{C}$	
驻波法	接收端位置读数/mm		相位差法	接收端位置读数/mm	
1	L_1	44.325	0	L_1	6.532 mm
2	L_2	48.240	π	L_2	10.962
3	L_3	52.232	2π	L_3	15.140
4	L_4	56.724	3π	L_4	20.229
5	L_5	62.328	4π	L_5	24.638
6	L_6	65.710	5π	L_6	28.918
7	L_7	69.850	6π	L_7	32.826
8	L_8	73.580	7π	L_8	36.275
$\bar{\lambda}$			$\bar{\lambda}$		
V			V		

教师签字:

11.6