

实验报告

②3

课程名称:

实验名称:

声速测量实验

实验日期:

2023 年 11 月 7 日 上午

班 级:

特立2222

教学班级:

王红梅老师班

号

120221173

姓 名:

陈奕林

一、实验目的

学习利用共振法,相位法测量超声波在空气中的传播速度。

二、实验仪器

超声波声速测量仪,信号发生器,双踪示波器。

三、实验原理

超声波在弹性介质中(如空气中)以纵波式传播,其传播速度 u 与频率 f 及波长 λ 之间的关系为 $u=f\lambda$ 。

本实验中,使用压电陶瓷超声换能器实现超声的产生和测量。超声波波长为毫米量级,定向性能好,且可以近似认为平面波。

波长的测量方法常见的有共振干涉法和相位比较法两种。

1. 共振干涉(驻波)法

发射器发射出的平面超声波,入射到接收器的平面上反射,在发射器与接收器之间入射波与反射波叠加形成驻波。由纵波的性质可以证明,当空气中形成驻波共振时,接收器端面位于振动波节处接收到的声压最大,转换成的电信号也最强,此时发射器与接收器之间的距离应为半波长的整数倍。同时,在示波器上应观察到最强的接收信号,相邻两次出现强信号的位置之间的距离为 $\frac{\lambda}{2}$,如右图所示。

2. 相位比较法(行波)

在波的传播方向上,两个相邻的振动状态完全相同的位置之间的距离为一个波长 λ 。通过观察下图所示的李萨如图形(两个相互垂直的简谐运动合成所得),判定同相点位置,或反相点位置,从而测得超声波的波长 λ 。由于斜线(相差为 0° 或 180° 的两束同频率正弦波所形成的李萨如图形)位置比较容易确定,因此,这种方法比共振法更为准确。



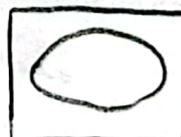
$\Delta\varphi=0$



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



$\Delta\varphi=\pi$



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



$\Delta\varphi=2\pi$

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

四. 实验内容与步骤

1. 仪器介绍

(1) 超声波声速测定仪由支架、游标尺及两只超声压电换能器组成。它们的相对位置的变化可以由游标尺直接读出, 一只发射超声波, 另一只接收超声波。

(2) 两只换能器的输入和输出插口, 均为红色接信号, 黑色接地(仪器外壳)。将发射换能器的输入端连接到函数信号输出(OUTPUT)的T型BNC输出端, 而使接收换能器的输出连接到二踪示波器的Y(Y)输入端。示波器的工作方式选择波段开关置于Y₂档, T/div、V/div选择波段开关分别置于合适位置, 例如20μs和20mV档。

(3) 调节函数信号发生器的发射频率, 当示波器有接收信号显示后, 仔细调整信号发生器的输出信号频率, 使发射换能器处于谐振状态, 此时示波器显示的接收信号的幅度最大, 即为超声频率。

2. 共振干涉法测波长

在换能器系统共振的条件下, 从靠近发射换能器处, 使能接收换能器由近及远的移动。当示波器上出现较大的振幅信号时, 利用游标尺上的细调机构, 找到并记录下产生最大共振信号的位置, 逐点记下各振幅最大时的位置读数 X_1, X_2, \dots, X_{20} 。然后利用逐差法处理数据, 得超声波的平均波长值入。
$$\lambda_{\text{共}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} (X_{i+10} - X_i)}{10 \times 2}$$

3. 相位比较法测波长

(1) 把函数信号发生器输出(OUTPUT)的T型接头的另一BNC输端连接到双踪示波器的Y₁(X)输入, 使信号源输出的正弦波直接加到示波器X轴输入端, 接收换能器输出接线位置不变。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

(2) 在共振频率条件下, 再将接收换能器平面端面调整到稍稍偏离垂直方向, 以利于示波器观察合成图像。

(3) 用示波器观察李萨如图形, 使接收器由近及远移动, 逐点记录当李萨如图形由椭圆转化为向右(或左)的斜线时的接收器位置 x_1, x_2, \dots, x_{10} , 用逐差法求出超声波长的平均值入。注意: 要求每个相邻测点的相差为

$$\lambda_{\text{相}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \frac{(x_{10+i} - x_i) / 10}{10} \times 2$$

计算声速的不确定度时, 应考虑仪器的误差, 本实验用的声速测量仪卡尺, 其允许误差限为 0.02 mm, 信号发生器输的频率允许误差限为 0.2 kHz。

注意:

(1) 实验时应首先确定压电换能器的谐振频率。

(2) 实验中, 应随时调节示波器的 $Y_2(Y)$ 轴灵敏度步进旋钮, 以提高测量灵敏度。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: 1120221133 姓 名: 陈奕村

原始数据

频率 f : 37.610 kHz 室温 t : 19.1 °C

声速理论值 V : $V = V_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0}} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{19.1}{273.15}} = 342.84 \text{ m/s}$

1. 驻波法

波节	位置 (mm)	波节	位置 (mm)
X ₁	10.52	X ₁₆	79.04
X ₂	15.21	X ₁₇	83.86
X ₃	19.40	X ₁₈	88.06
X ₄	24.53	X ₁₉	92.55
X ₅	29.16	X ₂₀	97.09
X ₆	33.37	X ₂₁	101.62
X ₇	37.85	X ₂₂	106.41
X ₈	42.35	X ₂₃	111.14
X ₉	46.85	X ₂₄	115.86
X ₁₀	51.33	X ₂₅	120.52
X ₁₁	55.80	X ₂₆	124.95
X ₁₂	60.43	X ₂₇	129.38
X ₁₃	65.05	X ₂₈	133.93
X ₁₄	69.78	X ₂₉	138.47
X ₁₅	74.51	X ₃₀	142.96

学 号: 120.52		王 红 梅	
时 间: 12.95		年	月 日
上 午		下午	晚上

2. 相位比较法

X ₁	13.87	X ₁₆	81.99
X ₂	17.36	X ₁₇	86.41
X ₃	22.00	X ₁₈	90.32
X ₄	26.66	X ₁₉	95.16
X ₅	31.91	X ₂₀	100.18
X ₆	36.08	X ₂₁	104.08
X ₇	40.41	X ₂₂	109.52
X ₈	45.03	X ₂₃	113.98
X ₉	49.95	X ₂₄	118.51
X ₁₀	54.42	X ₂₅	123.05
X ₁₁	58.73	X ₂₆	127.39
X ₁₂	63.47	X ₂₇	132.20
X ₁₃	68.42	X ₂₈	136.95
X ₁₄	73.01	X ₂₉	141.08
X ₁₅	77.53		

联系方式: 58.73

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

数据处理

1. 测量超声波的固有频率、测量室温、计算声速理论值

① 测量超声波发生器

"波形"选择正弦波,调节信号源的输出频率,同时仔细观察示波器上接收器输出信号波形大小,寻找接收器输出信号最大时的信号源频率,该频率就是超声波的固有频率。

实验中测得的固有频率为 37.610 kHz

声速测量仪的允许误差极限为 $\Delta_{\text{ins}} = 0.2 \text{ kHz}$

$$\therefore u(f) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{0.2 \text{ kHz}}{2} = 0.1 \text{ kHz} \quad f = 37.6(0.1) \text{ kHz}$$

② 测量室温并计算声速理论值

实验测得室温为 19.1°C

$$\text{声速理论值 } V = 16 \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{19.1}{273.15}} = 342.84 \text{ m/s}$$

2. 共振干涉法(驻波法)测波长

① 数据获取

单向转动手轮,将接收器靠近发射器,观察示波器找到接收信号最大的位置,记下 x_1 。

使接收器慢慢地远离发射器,记下再次获得振幅最大的位置 $x_2, x_3, x_4, \dots, x_{30}$

实验数据见下页表格

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

共振干涉法 (驻波法)							
波节	位置 (mm)	波节	位置 (mm)	波节差	位置差 (mm)	波长	波长 (mm)
X_1	10.52	X_{16}	79.04	$X_{16}-X_1$	68.52	λ_1	9.14
X_2	15.21	X_{17}	83.56	$X_{17}-X_2$	68.35	λ_2	9.11
X_3	19.90	X_{18}	88.06	$X_{18}-X_3$	68.16	λ_3	9.09
X_4	24.53	X_{19}	92.55	$X_{19}-X_4$	68.02	λ_4	9.07
X_5	29.16	X_{20}	97.09	$X_{20}-X_5$	67.93	λ_5	9.06
X_6	33.37	X_{21}	101.62	$X_{21}-X_6$	68.25	λ_6	9.10
X_7	37.85	X_{22}	106.41	$X_{22}-X_7$	68.56	λ_7	9.14
X_8	42.35	X_{23}	111.19	$X_{23}-X_8$	68.84	λ_8	9.18
X_9	46.85	X_{24}	115.86	$X_{24}-X_9$	69.01	λ_9	9.20
X_{10}	51.33	X_{25}	120.52	$X_{25}-X_{10}$	69.19	λ_{10}	9.23
X_{11}	55.80	X_{26}	124.95	$X_{26}-X_{11}$	69.15	λ_{11}	9.22
X_{12}	60.43	X_{27}	129.38	$X_{27}-X_{12}$	68.95	λ_{12}	9.19
X_{13}	65.05	X_{28}	133.93	$X_{28}-X_{13}$	68.88	λ_{13}	9.18
X_{14}	69.78	X_{29}	138.47	$X_{29}-X_{14}$	68.69	λ_{14}	9.16
X_{15}	74.51	X_{30}	142.96	$X_{30}-X_{15}$	68.45	λ_{15}	9.13

其中 $\lambda_i = \frac{(X_{i+15} - X_i)}{15} \times 2 \quad i=1, 2, 3, \dots, 15$

② 数据处理

(1) 用逐差法计算波长

$$\lambda = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \frac{(X_{i+15} - X_i)}{15} \times 2 = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \lambda_i = 9.146 \text{ mm}$$

(2) 计算入的不确定度

1) 入的A类不确定度: $U_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{15(15-1)}} = 0.0139 \text{ mm}$

2) 入的B类不确定度: $U_B = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{K} = \frac{0.02}{2} = 0.01 \text{ mm}$

3) 入的合成标准不确定度: $U(\lambda) = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.017 \text{ mm}$

\therefore 入的测量值为 $9.147(0.017) \text{ mm}$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

(3) 计算声速

1) 声速 $V = f \cdot \lambda = 343.9272 \text{ m/s}$

2) 声速 V 的不确定度

$$u(V) = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial f}\right)^2 u(f)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \lambda}\right)^2 u(\lambda)^2} = \sqrt{\lambda^2 u(f)^2 + f^2 u(\lambda)^2} = 1.185 \text{ m/s} \quad (1.1)$$

$$\therefore V = 343.9 (1.1) \text{ m/s}$$

3. 相位比较法(行波法)测波长

① 调整示波器为 $X-Y$ 模式, 从 S_2 较靠近 S 处开始, 移动接收器, 找到第一个 $\Delta\varphi=0$ 的李萨如图形, 记下该位置 X_1 , 继续移动接收器, 找到下一个 $\Delta\varphi=\pi$ 的李萨如图形, 记下该位置 $X_2, X_3 \dots X_{30}$.

实验数据如下表:

相位比较法(行波法)							
波节	位置(mm)	波节	位置(mm)	波节差	位置差(mm)	波长	波长(mm)
X_1	13.87	X_{16}	81.99	$X_{16}-X_1$	68.12	λ_1	9.08
X_2	17.36	X_{17}	86.41	$X_{17}-X_2$	69.05	λ_2	9.21
X_3	22.00	X_{18}	90.32	$X_{18}-X_3$	68.32	λ_3	9.11
X_4	26.66	X_{19}	95.16	$X_{19}-X_4$	68.50	λ_4	9.13
X_5	31.91	X_{20}	100.18	$X_{20}-X_5$	68.27	λ_5	9.10
X_6	36.08	X_{21}	104.08	$X_{21}-X_6$	68.00	λ_6	9.07
X_7	40.41	X_{22}	109.52	$X_{22}-X_7$	69.11	λ_7	9.21
X_8	45.03	X_{23}	113.98	$X_{23}-X_8$	68.95	λ_8	9.19
X_9	49.95	X_{24}	118.51	$X_{24}-X_9$	68.56	λ_9	9.14
X_{10}	54.42	X_{25}	123.05	$X_{25}-X_{10}$	68.63	λ_{10}	9.15
X_{11}	58.73	X_{26}	127.39	$X_{26}-X_{11}$	68.66	λ_{11}	9.15
X_{12}	63.47	X_{27}	132.20	$X_{27}-X_{12}$	68.73	λ_{12}	9.16
X_{13}	68.42	X_{28}	136.95	$X_{28}-X_{13}$	68.53	λ_{13}	9.14
X_{14}	73.01	X_{29}	141.08	$X_{29}-X_{14}$	68.07	λ_{14}	9.08
X_{15}	77.53	X_{30}	145.33	$X_{30}-X_{15}$	67.80	λ_{15}	9.04

联系方式: _____ 其中 $\lambda_i = \frac{1}{15} (X_{i+15} - X_i) \times 2, i=1, 2, \dots, 15$ 指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

② 数据处理

(1) 用逐差法计算平均波长

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \frac{1}{15} (X_{i+15} - X_i) \times 2 = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \lambda_i = 9.1306 \text{ mm}$$

(2) 计算 λ 的不确定度

1) λ 的 A 类不确定度: $U_A(\lambda) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{15(15-1)}} = 0.0134 \text{ mm}$

2) λ 的 B 类不确定度: $U_B(\lambda) = \frac{\Delta \text{ins}}{K} = \frac{0.02}{2} = 0.01 \text{ mm}$

3) λ 的合成标准不确定度 $U(\lambda) = \sqrt{U_A^2(\lambda) + U_B^2(\lambda)} = 0.01672 \text{ mm}$ (0.017)

$\therefore \lambda$ 的测量值为 $9.131 (0.017) \text{ mm}$

(3) 计算声速

1) 声速 $V = f\bar{\lambda} = 343.3256 \text{ m/s}$

2) 声速 V 的不确定度

$$U(V) = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial f}\right)^2 U(f)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \lambda}\right)^2 U(\lambda)^2} = \sqrt{\lambda^2 U(f)^2 + f^2 U(\lambda)^2} = 1.1092 \text{ m/s}$$

$\therefore V = 343.3 (1.1) \text{ m/s}$

4. 测量值与理论值的对比分析

用驻波法和行波法测得声速分别为 $V_1 = 343.9 \text{ m/s}$, $V_2 = 343.3 \text{ m/s}$

用室温计算出的声速理论值 $V = 342.84 \text{ m/s}$

驻波法相对误差 $E_1 = \frac{|V_1 - V|}{V} \times 100\% = 0.31\%$

行波法相对误差 $E_2 = \frac{|V_2 - V|}{V} \times 100\% = 0.13\%$

相对误差 E_1 , E_2 均较小, 测量比较准确

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: _____ 实验名称: _____ 实验日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
班 级: _____ 教学班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

思考题

1. 为什么要在系统共振下测定声波的波长

答: 因为当驻波偏离共振状态时, 驻波的形状不稳定, 且振幅较小, 不易于测量。当系统处于共振状态时, 驻波波腹处振幅最大且稳定, 易于测量和观察, 相邻两个最大值之间的距离即为波长的一半, 便于计算, 减小误差。

2. 本实验产生误差的主要原因是什么?

答: ① 发射器与接收器之间不是严格的驻波场。

② 仪器标尺的读数存在误差, 固有频率的测量存在误差。

③ 由于视觉观察, 在示波器上观察到最大振幅的位置存在误差

④ 观察李萨如图形时, 无法保证每次测量时都是严格的直线。

联系方式: _____

指导教师签字: _____