

# 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

教学班级: 王红梅老师班 号

## 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 $\lambda$ 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。

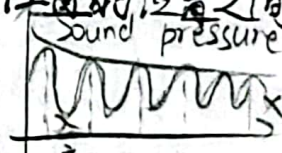
波长的测量方法常见的有共振干涉和相位比较法两种。

### 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 $\lambda$ 。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 $\lambda$ 。由于斜线(相差为 $0^\circ$ 或 $180^\circ$ 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。



$\Delta\varphi=0$   
联系方式:



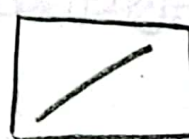
$\Delta\varphi=\frac{\pi}{2}$



$\Delta\varphi=\pi$



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



指导教师签字:  $\Delta\varphi=2\pi$



# 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Y<sub>2</sub>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Y<sub>1</sub>(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  $\lambda$ 。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共振频率。

(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: \_\_\_\_\_

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

序号: 120.52		王红梅	
时间: 124.95		年	月 日
129.38		上午	下午 晚上

### 2. 相位比较法

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

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_

北京理工大学良乡校区管理处监制 电话: 81382088

# 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  $37.610 \text{ kHz}$

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  $19.1^\circ\text{C}$

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

### 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	$\lambda_1$	9.14
$X_2$	15.21	$X_{17}$	83.56	$X_{17}-X_2$	68.35	$\lambda_2$	9.11
$X_3$	19.90	$X_{18}$	88.06	$X_{18}-X_3$	68.16	$\lambda_3$	9.09
$X_4$	24.53	$X_{19}$	92.55	$X_{19}-X_4$	68.02	$\lambda_4$	9.07
$X_5$	29.16	$X_{20}$	97.09	$X_{20}-X_5$	67.93	$\lambda_5$	9.06
$X_6$	33.37	$X_{21}$	101.62	$X_{21}-X_6$	68.25	$\lambda_6$	9.10
$X_7$	37.85	$X_{22}$	106.41	$X_{22}-X_7$	68.56	$\lambda_7$	9.14
$X_8$	42.35	$X_{23}$	111.19	$X_{23}-X_8$	68.84	$\lambda_8$	9.18
$X_9$	46.85	$X_{24}$	115.86	$X_{24}-X_9$	69.01	$\lambda_9$	9.20
$X_{10}$	51.33	$X_{25}$	120.52	$X_{25}-X_{10}$	69.19	$\lambda_{10}$	9.23
$X_{11}$	55.80	$X_{26}$	124.95	$X_{26}-X_{11}$	69.15	$\lambda_{11}$	9.22
$X_{12}$	60.43	$X_{27}$	129.38	$X_{27}-X_{12}$	68.95	$\lambda_{12}$	9.19
$X_{13}$	65.05	$X_{28}$	133.93	$X_{28}-X_{13}$	68.88	$\lambda_{13}$	9.18
$X_{14}$	69.78	$X_{29}$	138.47	$X_{29}-X_{14}$	68.69	$\lambda_{14}$	9.16
$X_{15}$	74.51	$X_{30}$	142.96	$X_{30}-X_{15}$	68.45	$\lambda_{15}$	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	$\lambda_1$	9.08
$X_2$	17.36	$X_{17}$	86.41	$X_{17}-X_2$	69.05	$\lambda_2$	9.21
$X_3$	22.00	$X_{18}$	90.32	$X_{18}-X_3$	68.32	$\lambda_3$	9.11
$X_4$	26.66	$X_{19}$	95.16	$X_{19}-X_4$	68.50	$\lambda_4$	9.13
$X_5$	31.91	$X_{20}$	100.18	$X_{20}-X_5$	68.27	$\lambda_5$	9.10
$X_6$	36.08	$X_{21}$	104.08	$X_{21}-X_6$	68.00	$\lambda_6$	9.07
$X_7$	40.41	$X_{22}$	109.52	$X_{22}-X_7$	69.11	$\lambda_7$	9.21
$X_8$	45.03	$X_{23}$	113.98	$X_{23}-X_8$	68.95	$\lambda_8$	9.19
$X_9$	49.95	$X_{24}$	118.51	$X_{24}-X_9$	68.56	$\lambda_9$	9.14
$X_{10}$	54.42	$X_{25}$	123.05	$X_{25}-X_{10}$	68.63	$\lambda_{10}$	9.15
$X_{11}$	58.73	$X_{26}$	127.39	$X_{26}-X_{11}$	68.66	$\lambda_{11}$	9.15
$X_{12}$	63.47	$X_{27}$	132.20	$X_{27}-X_{12}$	68.73	$\lambda_{12}$	9.16
$X_{13}$	68.42	$X_{28}$	136.95	$X_{28}-X_{13}$	68.53	$\lambda_{13}$	9.14
$X_{14}$	73.01	$X_{29}$	141.08	$X_{29}-X_{14}$	68.07	$\lambda_{14}$	9.08
$X_{15}$	77.53	$X_{30}$	145.33	$X_{30}-X_{15}$	67.80	$\lambda_{15}$	9.04

联系方式: \_\_\_\_\_ 其中  $\lambda_i = \frac{1}{15} (X_{i+15} - X_i) \times 2, i=1, 2, 3, \dots, 15$  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  $\lambda$  的不确定度

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

3)  $\lambda$  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: \_\_\_\_\_