

北京邮电大学

物理实验报告

实验名称: 声速的测定

学院: 信息与通信工程学院

班级: 2018211128

姓名: 吴辉强

学号: 2018213487

任课教师: 王鑫老师

实验日期: 2019.12.13

成绩: 90

北京邮电大学 物理实验中心 印制

实验目的

1. 学会用不同的方法测定空气中的声速;
2. 掌握数字式信号发生器、示波器等的使用方法;
3. 学会用逐差法处理测量结果,并对结果的不确定度进行分析。

实验仪器名称 [型号、主要参数]

声速测量仪、信号发生器、示波器

实验原理和操作步骤 [基本物理思想、设计原理、主要公式及其意义、电路图或光路图等;操作步骤]

实验原理:

频率在 $20 \sim 20000\text{Hz}$ 的声振动在弹性媒质中所激起的纵波称声波。声波是一种机械波。频率超过 20000Hz 的声波称为超声波。

对声波的测量是声学技术应用的重要内容,尤其是对声速的测量,在声波探伤、定伤、测距、显示等方面都有重要意义。最简单、最有效的方法之一是利用声速 v , 振动频率 f 和波长 λ 之间的基本关系,即

$$v = f\lambda \quad \text{①}$$

测出声振动频率 f 和声波波长 λ , 就可算出声波波速 v 。

本实验采用声速测量仪,由结构相同的对超声压电陶瓷换能器分别作超声波发射器与超声波接收器。由发射器发出的超声波,经接收器反射后,将在两端面间来回反射并且叠加。叠加的波具有驻波加行波的特征。实验中常利用示波器观察超声波的振幅和相位,用振幅法和相位法测定波长,由示波器直接读出频率 f 。

1. 测量方法:

1) 谐振频率。当换能器系统的工作频率等于谐振频率时,换能器处于谐振状态,发射器发出的超声波功率最大,是最佳

工作状态。调节谐振频率是顺利完成实验的重要一环。

12) 共振法(振幅法)

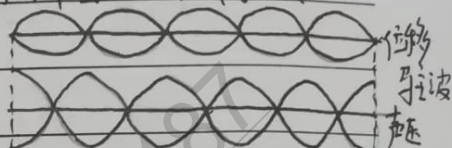
当一个振动系统受到另一系统周期性的激励,若激励频率与振动系统的固有频率相同,振动系统将获得最多的激励能量,此现象称为共振。由发射器发出的声波近似于平面波。如前所述的

两列波方向相同、振幅相同、沿相反方向传播,相干叠加形成驻波。

$$y_1 = A \cos(\omega t - kx) \quad ② \quad y_2 = A \cos(\omega t + kx) \quad ③$$

$$y = y_1 + y_2 = 2A \cos kx \cos \omega t \quad ④$$

$|\cos kx| = 1$ 即 $kx = \pm n\pi$ ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 振幅最大。则出现共振后继续移动接收器,两次共振位置之间的距离为 $\frac{\lambda}{2}$ 。



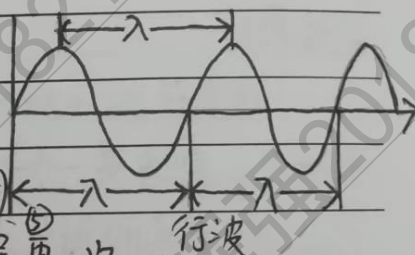
13) 相位法

沿传播方向上的任何两点,其振动方向状态相

同时,两点距离应等于波长 λ 的整数倍: $|x_2 - x_1| = n\lambda$ (n 为整数)

由此公式可测波长。移动接收器,直到接收信号再一次

和发射的信号相同时,移过的这段距离为波长 λ 。



14) 李萨如图形法

信号发射器: $x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ ⑤ 接收换能器: $y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$... ⑦

接入示波器 X、Y. $\left(\frac{x}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{A_2}\right)^2 - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$ ⑧

$\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$ 满足某些特定条件,示波器屏幕上会出现特定图形。如当 $A_1 = A_2$, $\Delta\varphi = 2n\pi$ 为斜率为 1 的直线。我们找到所有圆退化为相同斜率直线的点,由 ⑤ 可得 λ 。

2. 声速在空气中的传播速度与频率无关,只取决于空气本身的性质。

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad ⑨ \quad \gamma: \text{绝热系数}, R: \text{摩尔气体常数}, M: \text{空气分子的}$$

摩尔质量, T : 绝对温度。用此,由声速可推算气体的一些参量。 $v = 331.45 \sqrt{\frac{273.15 + t}{273.15}}$

实验步骤:

1. 测量室温下压电陶瓷换能器的谐振频率;

2. 用振幅法、行波比较法和李萨如图法分别测量超声波的波长。

16

实验数据处理与讨论 [实验数据计算、不确定度公式推导与计算、结果表示与讨论等]

$$1. v_t = 331.45 \sqrt{\frac{273.15 + 19.9}{273.15}} = 343.31 \text{ m/s}$$

2. 测声速

(1) 振幅法

i	1	2	3	4	5	6
$x_i (\text{mm})$	51.28	55.10	59.82	64.52	69.16	73.90
$x_{6+i} (\text{mm})$	78.50	83.16	88.08	92.58	97.26	102.00
$\Delta x_i = x_{6+i} - x_i (\text{mm})$	27.22	28.06	28.26	28.06	28.10	28.10
Δx_i 平均值 (mm)	27.97					

$$\text{声速 } v_1 = \lambda_1 f = \frac{1}{3} \Delta \bar{x}_i \cdot f = \frac{1}{3} \times 27.97 \times 10^{-3} \text{ m} \times 37432.2 \text{ Hz} = 348.99 \text{ m/s}$$

(2) 行波比较法

i	1	2	3	4	5	6
$x_i (\text{mm})$	52.30	59.82	69.10	78.44	87.86	97.16
$x_{6+i} (\text{mm})$	106.46	115.78	125.10	134.32	143.62	153.02
$\Delta x_i = x_{6+i} - x_i (\text{mm})$	54.16	55.96	56.00	55.88	55.76	55.86
Δx_i 平均值 (mm)	55.60					

$$\text{声速 } v_2 = \lambda_2 f = \frac{1}{6} \Delta \bar{x}_i f = \frac{1}{6} \times 55.60 \times 10^{-3} \text{ m} \times 37432.2 \text{ Hz} = 346.87 \text{ m/s}$$

(3) 李萨如图法

i	1	2	3	4	5	6
$x_i (\text{mm})$	60.32	69.12	78.40	87.78	97.14	106.42
$x_{6+i} (\text{mm})$	115.68	124.92	134.20	143.42	152.76	162.02
$\Delta x_i = x_{6+i} - x_i (\text{mm})$	55.36	55.80	55.80	55.64	55.62	55.60
Δx_i 平均值 (mm)	55.64					

$$\text{声速 } v_3 = \lambda_3 f = \frac{1}{6} \Delta \bar{x}_i f = \frac{1}{6} \times 55.64 \times 10^{-3} \text{ m} \times 37432.2 \text{ Hz} = 347.12 \text{ m/s}$$

3. 振幅法的不确定度

$$\text{标准偏差 } S(\Delta x) = \sqrt{\frac{1}{5} \sum [(x_i - \bar{x})^2] - 27.97^2} = \sqrt{\frac{0.25^2 + 0.09^2 + 0.29^2 + 0.13^2 + 0.13^2}{5}} = 0.37(\text{mm})$$

$$\text{不确定度 } u(\Delta x) = \sqrt{S^2(\Delta x) + (\Delta x)^2} = 0.37(\text{mm})$$

$$\Delta x \text{ 最佳值 } \left\{ \begin{aligned} \Delta x &= \bar{\Delta x} \pm u(\Delta x) = 27.97 \pm 0.37 \text{ mm} \\ u_r &= \frac{u(\Delta x)}{\bar{\Delta x}} = \frac{0.37}{27.97} \times 100\% = 1.32\% \end{aligned} \right.$$

$$v = \frac{1}{3} \Delta x \cdot f \quad \text{频率最佳值 } f = 37432.2 \text{ Hz (单次测量)}$$

$$u(v) = \frac{1}{3} u(\Delta x) \cdot f = \frac{1}{3} \times 0.37 \times 10^{-3} \times 37432.2 = \frac{5}{6} (\text{m/s})$$

$$\text{实验结论: } \left\{ \begin{aligned} v &= v \pm u(v) = (349 \pm 5) \text{ m/s} \\ u_r &= \frac{u(v)}{v} = \frac{5}{349} \times 100\% = 1.43\% \end{aligned} \right.$$

$$4 \quad \text{由 } v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} \Rightarrow \gamma = \frac{v^2 \cdot M}{R T} = \frac{348.99^2 \times 28.964 \times 10^{-3}}{8.3145 \times (273.15 + 19.9)} = 1.448$$

5. 结果讨论

本实验所得实验值比理论值偏大, 原始数据波动较大。

三种测量方法中行波比较法和李萨如图法比振幅法更接近理论值。

回答问题与实验总结

1. 不是。调节信号的频率是指将信号发生器的频率与压电陶瓷固有频率一致，使陶瓷发生共振，从而发射器发出的超声波功率最大，以使接收端接收到最大能量。而移动接收换能器的位置使发射器和接收器之间的机械波来回反射形成驻波，从而使振幅最大，故两者不同。
2. 选 CH1，使发射器的正弦曲线的位置固定不变。
3. (1) 属实。改变信号源频率，使波形振幅出现最大。
(2) 属实。调大信号发生器的输出电压至合适值。
(3) 属实。调节 VOLTS/DIV，直至波形出现。
4. (1) 若 VOLTS/DIV 已达最大分度，则不可行，若未到，则可行。
(2) 可行。
(3) 不可行，若调节信号发生器频率，则会导致其与换能器不再共振。
5. 不可行。改变频率测声速，接收端波形同时受“频率是否共振”和“是否形成驻波”两个因素影响，实验将无法进行。
6. 可以。

实验总结：通过这次实验，学会了三种方法测声速的原理及操作，对逐差法等数据处理方法掌握得更加牢固，尤其应注意不确定度的计算取值规则，在实验中观察图像时，还应注意触发源所选择的通道。

任课教师指导意见

实验 3.2 声速的测定

姓名 吴辉强 班级 201821128 教师 王鑫老师 实验时间 2019.12.13 实验组号 9

一、预习要点

1. 声速测量的基本原理，以及实验中使用的测量方法；
2. 压电陶瓷换能器产生超声波的原理；
3. 声音的传播速度与哪些物理参量有关？不同条件下声音传播的速度是如何变化的？试以声音在极地和赤道传播速度的大小，以及声音在水、空气和钢铁中传播速度的大小为例来说明。

二、实验注意事项

1. 实验时应由近及远地改变接收换能器的位置；
2. 信号发生器的幅度选择为 20Vp-p。

三、实验内容

1. 测量室温下压电陶瓷换能器的谐振频率；
2. 用振幅法、行波比较法和李萨如图法分别测量超声波的波长。

四、数据表格

1. 室温 $t =$ 19.9°C。

2. 测量压电陶瓷换能器的谐振频率：

调节接收换能器的位置，使两换能器接收平面的间距为 2 厘米左右，在 40kHz 左右调节信号发生器的频率，使接收换能器的输出信号达到极大，此时换能器工作在谐振状态，记录此时的频率，即谐振频率。

由示波器直接读出 $f =$ 37.4322 kHz，信号发生器显示 $f =$ 37.43200 kHz。

3. 振幅法：超声接收端接入示波器的 CH1 通道，示波器触发源选择 CH1。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x(\text{mm})$	51.28	55.10	59.82	64.52	69.16	73.90	78.50	83.16	88.08	92.58	97.26	102.00

4. 行波比较法：超声发射端接入示波器的 CH2 通道，示波器触发源选择 CH2。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x(\text{mm})$	52.30	59.82	69.10	78.44	87.86	97.16	106.46	115.78	125.10	134.32	143.62	153.02

5. 李萨如图法

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x(\text{mm})$	60.32	69.12	78.40	87.78	97.14	106.42	115.68	124.92	134.20	143.42	152.76	162.02

教师签字 王鑫

五、数据处理要求

1. 利用下式计算声速, $v_t = 331.45 \sqrt{\frac{273.15+t}{273.15}}$;
2. 列表用逐差法分别计算振幅法、行波比较法和李萨如图法测量的声速, 并将计算结果与实验值进行比较;
3. 计算声速的不确定度 (忽略所有仪器误差);
从振幅法、行波比较法和李萨如图法中任选一个, 写出其不确定度的推导和计算过程, 并写出结果表达;
4. 利用上一步选定的实验数据推算空气的比热比 (绝热系数) γ : (理论值 1.402)
5. 对实验结果进行讨论。

六、思考题

1. 调整信号的频率和移动接收换能器的位置 (振幅法) 都是为了使接收换能器的输出达到极大, 并且都被称为共振, 它们是一回事吗?
2. 行波比较法测量声速实验中, 将超声发射端的信号输入到 CH1 通道, 超声接收端的信号输入到 CH2 通道, 此时, 示波器的触发源应如何选择?
3. 在振幅法中, 示波器上看不到接收换能器的输出波形, 但连线无误, 仪器和导线 (电缆) 无故障, 以下三种分析是否合理? 如原因属实, 应当如何处理?
 - (1) 信号源的频率偏离换能器共振频率太远;
 - (2) 激励发送器的信号幅度太小;
 - (3) VOLTS/DIV 选择不当。
4. 振幅法中, 如果极大值振幅超过荧光屏显示范围, 有人认为以下三种调节方法可使信号不超出范围, 你认为可行吗?
 - (1) 改变示波器 VOLTS/DIV 旋钮的档位;
 - (2) 调节信号发生器的输出幅度;
 - (3) 调节信号发生器的频率。
5. 实验中, 能否固定发射器与接收器之间的距离, 利用改变频率测声速?
6. 利用目前的仪器设备可以实现对移动距离的测量吗?