

声速测量实验

【实验目的】

1. 学习超声波产生和接收原理；
2. 学习用不同的方式测量声波在空气中的传播速度；
3. 分析讨论比较两种测量方式的优劣。

【实验原理】

声波是一种在弹性介质中传播的机械波,它是纵波,其振动方向与传播方向相一致。频率低于 20Hz 的声波称为次声波;频率在 20Hz~20kHz 的声波可以被人听到,称为可闻声波;频率在 20 kHz 以上的声波称为超声波。

超声波在介质中的传播速度与介质的特性及状态等因素有关。因而通过介质中声速的测定,可以了解介质的特性或状态变化。例如,测量氯气、蔗糖等气体或溶液的浓度、氯丁橡胶乳液的比重以及输油管中不同油品的分界面等等,这些问题都可以通过测定这些物质中的声速来解决。可见,声速测定在工业生产上具有一定的实用意义。

在波动过程中波速 v , 波长 λ 和频率 f 之间存在着下列关系 $v = f \cdot \lambda$ 。实验中可通过测定声波的波长 λ 和频率 f 来求得声速 v 。其中声波频率可通过测定声源的振动频率得出,剩下的任务就是测量声波波长,也就是本实验的主要任务。常用的方法有共振干涉法与相位比较法。

1. 共振干涉法

设有一从发射源发出的一定频率的平面声波,经过空气传播,到达接收器,如果接收面与发射面严格平行,入射波即在接收面上垂直反射,入射波与反射波相干涉形成驻波,反射面处为位移的波节。改变接收器与发射源之间的距离 l , 在一系列特定的距离上,媒质中出现稳定的驻波共振现象。此时, l 等于半波长的整数倍,驻波的幅度达到极大;同时,在接收面上的声压波腹也相应地达到极大值。不难看出,在移动接收器的过程中,相邻两次达到共振所对应的接收面之间的距离即为半波长。因此,若保持频率 ν 不变,通过测量相邻两次接收信号达到极大值时接收面之间的距离 $(\lambda/2)$, 就可以用 $v = f\lambda$ 计算声速。

2. 相位比较法

发射波通过传声媒质到达接收器,所以在同一时刻,发射处的波与接收处的波的相位不同,其相位差 φ 可利用示波器的李萨如图形来观察。 φ 和角频率 ω 、传播时间 t 之间有如下关系:

$$\varphi = \omega t \quad (1)$$

同时有, $\omega = 2\pi/T$, $t = \frac{l}{V}$, $\lambda = TV$ (式中T为周期), 代入上式得V

$$\varphi = 2\pi l / \lambda \quad (2)$$

当 $l = n\lambda/2$ ($n=1,2,3,\dots$) 时, 得 $\varphi = n\pi$ 。

由上式可知,若要使相位差 φ 改变 2π ,那么,S1 和 S2 的间距 l 就要相应地改变一个波长 λ 。于是,根据相位差的 2π 变化,便可以测量出波长。由波长和频率值可求出声速。

可以通过示波器来观察相位差。互相垂直的两个谐振动的叠加,能得到李萨如图形。如果两个谐振动的频率相同,则李萨如图形就很简单。随着两个振动的相位差从 0 到 π 变化,图形从斜率为正的直线变为椭圆再变到斜率为负的直线。选择判断比较灵敏的即李萨如图形为直线的位置作为测量的起点。每移动一个波长的距离就会重复出现同样斜率的直线,见图 1。

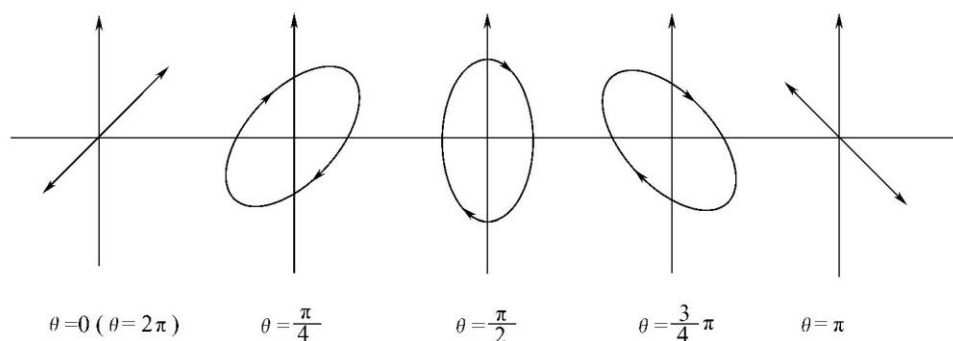


图 1 用李萨如图形观测相位的变化

【实验装置】

实验仪器主要有三部分组成。实验主机, 超声实验平台。其中超声实验装置如图 2 所示: 1) 幅度调节旋钮; 2) 频率调节旋钮; 3) 发射信号输出端口 A; 4) 发射信号输出端口 B; 5) 示波器连接端口 A; 6) 示波器连接端口 B; 7) 超声发生器; 8) 超声接收器; 9) 接收器信号输出口; 10) 锁紧螺丝 A; 11) 微调螺母; 12) 锁紧螺丝 B; 13) 游标卡尺; 14) 主尺; 15) 发射信号输入口。

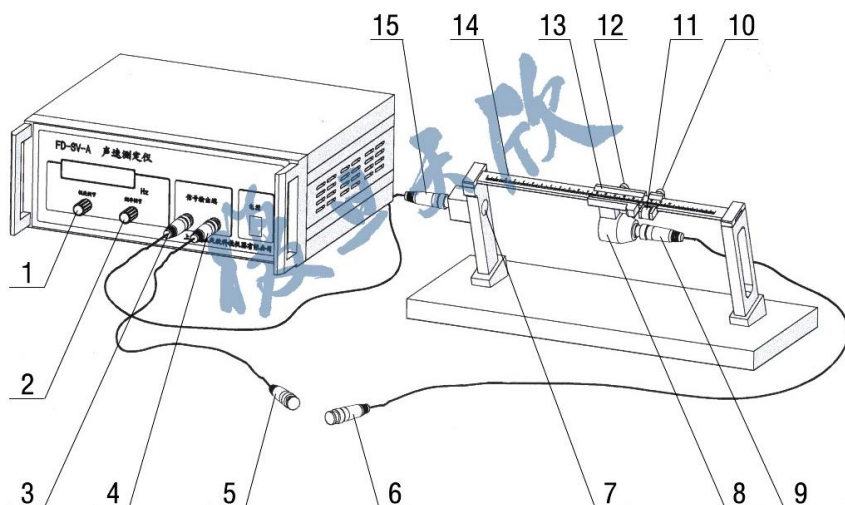


图 2 超声实验装置

【实验内容与步骤】

1. 调整测试系统的谐振频率

如图 2 所示，连接信号线，图中未连接的两端，分别连接示波器的 CH1 和 CH2 端口。正弦波的频率取 40KHz，按下示波器的 CH1, CH2 键，使的指示灯亮，调节 S2，使 S1 和 S2 间的距离尽可能近（约 0-1cm），细调频率，使示波器上的接收信号（蓝色曲线）的电压幅度最大，此时频率即为与压电换能器 S1、S2 相匹配的谐振频率，记录该频率 f_1 。然后，改变 S1 和 S2 间的距离，将两个换能器分开稍大些距离（约 6-7cm），重新用上述方法调整频率，再次使示波器上的电压幅度最大，记录此时谐振频率 f_2 。最后细调频率，使接收器输出信号（蓝色曲线）与信号发生器信号（黄色曲线）波峰和波谷处于相同位置，此时两信号具有相同相位，记录此时谐振频率 f_3 。取三次频率的平均值 \bar{f} 为超声波的谐振频率。

2. 在谐振频率处用共振法测量波长

通过缓慢且稳定的移动游标卡尺，改变换能器 S1 到 S2 的间距，同时监测示波器的接收信号，记下第 1, 2, 3, ..., 10 个出现正弦波电压幅度最大的特定位置 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{10}$ 。利用游标卡尺的刻度准确地确定这些 l_i 值。注意测试过程中保持换能器 S1 和 S2 表面相互平行，游标卡尺应该连续向一个方向移动。用逐差法求出波长的平均值 $\bar{\lambda} = \frac{2}{25} \sum_{i=1}^5 |l_{i+5} - l_i|$ 。

3. 相位比较法测波长

(1) 将示波器主板上“Acquire”键按下，按下显示屏下方“XY”键和右侧“开启 XY”键，屏幕上将出现

李萨如图形。

(2) 移动游标卡尺位置,观测显示屏上的李萨如图形为一特定角度的斜线(某一特定相位点)时,记录下此时 S_2 的距离 l_1 。向同一方向移动换能器 S_2 接收面,使示波器上观察的波形又回到前述的特定角度斜线位置(同相点),记录下此时 S_2 接收面的距离 l_2 。依上方法,连续向同一方向转动距离调节手轮,对出现的每一同相点,分别记录下相应的位置 l_3, l_4, \dots, l_{10} , 即 10 个同相点的位置。用逐差法求出波长的平均值 $\bar{\lambda} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^5 |l_{i+5} - l_i|$ 。

【数据处理】

1. 实验结果与理论值比较

记录室温温度 $t(^{\circ}\text{C})$,在室温 t 下,干燥空气中声速的理论值为

$$V_{\text{理}} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ m/s} \quad (3)$$

2. 计算声速的实验测量值

利用上述两种方法测量的波长值,由公式 $\bar{v} = \bar{f} \cdot \bar{\lambda}$ 分别求出声速的测量值,并分别用绝对误差报告两种测量方法的实验结果。计算公式为

$$v = \bar{v} \pm \Delta v, \quad \Delta v = |\bar{v} - v_{\text{理}}|$$

【注意事项】

1. 由于超声信号比较强,在搭建实验室时,因注意每台仪器的间隔距离,防止相互干扰;
2. 游标卡尺请缓慢平稳操作,不宜迅速移动,防止磨损过快。

【思考题】

1. 简述共振干涉法、相位比较法测声速的原理和方法,画出实验电路图。
2. 实验前为什么要先调整测试系统的谐振频率,怎样调整谐振频率?
3. 共振干涉法、相位比较法测声速的方法对示波器的使用有何不同?在示波器屏上看到李萨如图形,应如何调节示波器?
4. 用逐差法处理数据的优点是什么?
5. 在声速测量实验中为什么要在换能器谐振状态下测定空气中的声速?为什么换能器的发射面和接收面要保持平行?