

南昌大学

物理实验报告



课程名称： 大学物理实验

实验名称： 声速测量

学院： 先进制造学院 专业班级： 智造 221 班

学生姓名： 朱紫华 学号： 5908122030

实验地点： 基础实验大楼 实验时间： 2023 年 月 日

—

一、实验目的：

- 1、学习测量超声波在空气中的传播速度的方法，理解驻波和振动合成理论
- 2、学会用逐差法进行数据处理；
- 3、了解空气中传播速度与气体状态参量的关系；
- 4、了解压电换能器的功能和培养综合使用仪器的能力。

二、实验仪器：

声速测量仪，示波器，信号发生器

三、实验原理：

- 1、声波在空气中的传播速度为：

$$v = \sqrt{\frac{rRT}{\mu}} \quad (1)$$

式中 $r = C_p / C_v$ ， r 称为比热比，即气体定压比热容与定容比热容的比值，

μ 是气体的摩尔质量， T 是绝对温度， $R = 8.31441 J \cdot \text{mol}^{-1} \cdot K^{-1}$ 为普适气体常数。可见，声速与温度、比热比和摩尔质量有关，而后两个因素与气体成分有关。因此，测定声速可以推算出气体的一些参量。利用（1）式的函数关系还可以制成声速温度计。

在正常情况下，干燥空气成分按重量比为氮：氧：氩：二氧化碳=78.084:20.946:0.934:0.033，空气的平均摩尔质量 μ 为： $28.964 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。在标准状态下，干燥空气中的声速为： $v_0 = 331.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

在室温为 $t^\circ\text{C}$ 时，干燥气体声速为

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T}} \quad (2)$$

由于空气实际上并不是干燥的，总含有一些水蒸汽，经过对空气摩尔质量和比热比的修正，在温度为 $t^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 r 的空气中，声速为：

$$v = 331.5 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{T_0}\right) \left(1 + 0.31 \frac{r P_s}{P}\right)} \quad (3)$$

式中 $T_0 = 273.15 \text{ K}$ 。 P_s 为 $t_0^\circ\text{C}$ 时空气的饱和蒸汽压，可从饱和蒸汽压与温度的关系表中查出； P 为大气压，取 $P = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 即可；相对湿度 r 可从干湿温度计上读出。由这些气体参量可以计算出声速。

- 2、测量声速的实验方法：

声速 v 、声源震动频率 f 和波长 λ 之间的关系为：

$$v = f \lambda \quad (4)$$

可见，只要测得声波的频率 f 和波长 λ ，就可求得声速 v 。其中声波频率 f 可通过频率计测得。本实验的主要任务是测量声波波长 λ ，常用的方法有驻波法和相位法。

(1) 相位法

波是振动状态的传播，也可以说是相位的传播。在波的传播方向上的任何两点，如果其振动状态相同或者其相位差为 2π 的整数倍，这两点间的距离应等于波长的整数倍，即：

$$l = n\lambda \quad (n \text{ 为一正整数}) \quad (5)$$

利用这个公式可以精确测量波长。

若超声波发生器发出的声波是平面波，当接受器端面垂直于波的传播方向时，其端面上各点都具有相同的相位。沿传播方向移动接收器时，总可以找到一个位置使得接受到的信号与发射器的激励电信号同相。继续移动接受器，直到找到的信号再一次与发射器的激励电信号同相时，移过的这段距离就等于声波的波长。需要说明的是，在实际操作中，用示波器测定电信号时，由于换能器振动的传递或放大电路的相移，接受器端面处的声波与声源并不同相，总是有一定的相位差。为了判断相位差并测量波长，可以利用双线示波器直接比较发射器的信号和接收器的信号，进而沿声波传播方向移动接收器寻找同相点来测量波长；也可以利用李萨如图形寻找同相或反相时椭圆退化成直线的点。

(2) 驻波法

按照波动理论，发生器发出的平面声波经介质到接收器，若接收面与发射面平行，声波在接收面处就会被垂直反射，于是平面声波在两端面间来回反射并叠加。当接收端面与发射头间的距离恰好等于半波长的整数倍时，叠加后的波就形成驻波。此时相邻两波节（或波腹）间的距离等于半个波长（即 $\lambda/2$ ）。当发生器的激励频率等于驻波系统的固有频率（本实验中压电陶瓷的固有频率）时，会产生驻波共振，波腹处的振幅达到最大值。

声波是一种纵波。由纵波的性质可以证明，驻波波节处的声压最大。当发生共振时，接收端面处为一波节，接收到的声压最大，转换成的电信号也最强。移动接收器到某个共振位置时，如果示波器上出现了最强的信号，继续移动接收器，再次出现最强的信号时，则两次共振位置之间的距离即为 $\lambda/2$ 。

四、实验内容

1. 用驻波法测声速：

(1) 按图 1 连接电路，将信号发生器的输出端与声速仪的输入端 S_2 相连，将声速仪的输入端 S_1 与示波器的 Y 端（或通道 CH_1 ）相连使 S_1 ，让 S_1 和 S_2 靠近并留有适当的空隙，使两端面平行且与游标尺正交。

(2) 根据实验室给出的压电陶瓷换能器的振动频率 f ，将信号发生器的输出频率调至 f 附近，缓慢移动 S_2 ，当在示波器上看到正弦波首次出现振幅较大

处，固定 S_2 ，再仔细微调信号发生器的输出频率，使荧光屏上图形振幅达到最大，读出共振频率 f 。

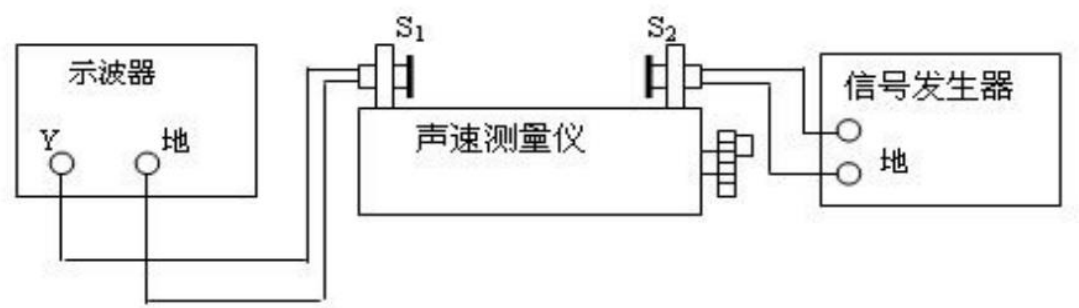


图 1 驻波法测声速实验装置图

(3) 在共振条件下，将 S_2 移近 S_1 ，再缓慢移开 S_2 ，当示波器上出现振幅最大时，记下 S_2 的位置 x_0 。

(4) 由近及远移动 S_2 ，逐次记下各振幅最大时 S_2 的位置，连续测 20 个数据 $x_1, x_2, x_3 \cdots x_{20}$ 。

(5) 用逐差法算出声波波长的平均值。

2. 用相位法测声速

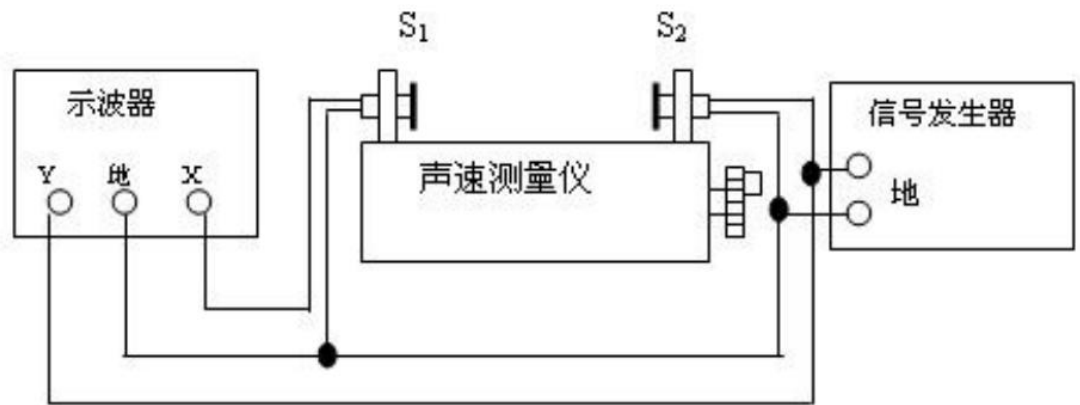


图 2 相位法测声速实验装置图

- (1) 按图 2 连接电路。
- (2) 将示波器“秒/格”旋钮旋至 X-Y 档，信号发生器接示波器 CH_2 通道，利用李萨如图形观察发射波与接收波的位相差，找出同相点。
- (3) 在共振条件下，使 S_2 靠近 S_1 ，然后慢慢移开 S_2 ，当示波器上出现 45° 倾斜线时，微调游标卡尺的微调螺丝，使图形稳定，记下 S_2 的位置 x'_0 。
- (4) 继续缓慢移开 S_2 ，依次记下 20 个示波器上李萨如图形为直线时游标卡尺的读数 $x'_1, x'_2, \dots, x'_{20}$ 。
- (5) 用逐差法算出声波波长的平均值。

【数据处理】

| 次数 n | 驻波法 (mm) | $l_{n+1} - l_n$ (mm) | λ (mm) | 相位法 (mm) | $l_{n+1} - l_n$ (mm) | λ (mm) |
|------|-------------|-------------------------|-------------------|-------------|-------------------------|----------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 19 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 平均值 | | | | | | |

五、 误差分析

六、 实验小结与思考

七、 附上原始数据