

实验 2-8 声速的测定

2-8-1 驻波法测声速

【实验目的】

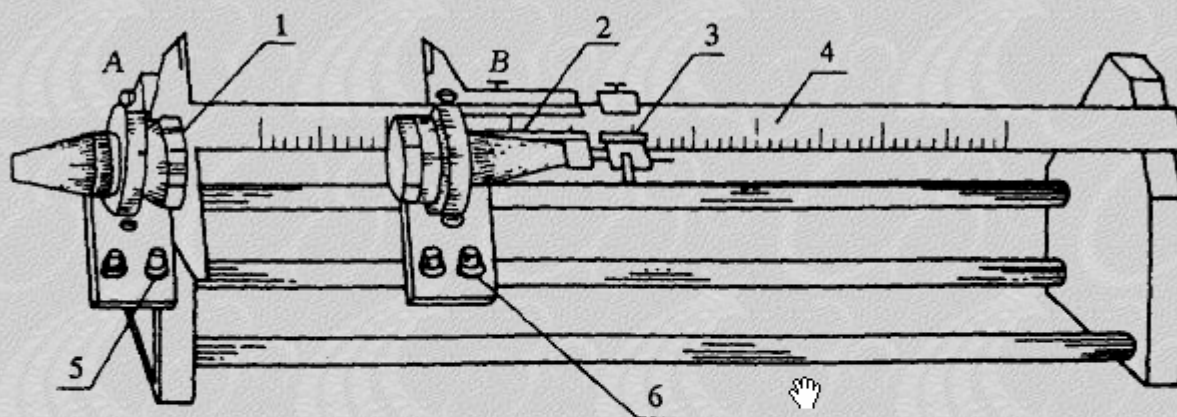
1. 用驻波法测定空气中的声速。
2. 学会用逐差法处理实验数据。

【仪器用具】

声波驻波仪、低频信号发生器、数字频率计、毫伏表、屏蔽导线。

【仪器描述】

声波驻波仪是由压电换能系统 A 和 B、游标尺、固定支架等部件组成的。仪器装置如图 2-8-1 所示。压电换能系统是将声波(机械振动)和电信号相互转换的装置,它的主要部件是压电换能片。当输给一个电信号时,系统便按电信号的频率做机械振动,从而推动空气分子振动产生平面声波。当系统受到机械振动后,又会将机械振动转换为电信号。



- | | | |
|------------|------------|-----------|
| 1. 平面声波发生器 | 2. 声波信号接收器 | 3. 游标尺附尺 |
| 4. 游标尺主尺 | 5. 信号输入插孔 | 6. 信号输出插孔 |

图 2-8-1

压电换能系统 A 作为平面声波发生器,电信号由低频信号发生器供给,电信号的频率读数由数字频率计读出;压电换能系统 B 作为声波信号的接收器和反射面固定于游标尺的附尺上,转换的电信号由毫伏表指示。为了在两系统中的 1 和 2 端面间形成驻波,两端面必须严格平行。

【实验原理】

振动状态在弹性介质中的传播就形成波。波在介质中的传播速度 v 完全由介质的物理性质决定。声波是一种在弹性媒质中传播的机械波,它和振源的频率 f 、波长 λ 有如下关系:

$$v = f\lambda \quad (2-8-1)$$

声波在空气中传播的速度可用(2-8-1)式进行测量。本实验是用驻波法。首先要在空气中形成驻波。

一列行波以某一频率在介质中沿一直线传播时,若遇到障碍,就在其界面以相同的频率、相同的振幅、相同的振动方向、沿同一直线反射回去,叠加而成驻波。驻波某些点的振动始终加强,其振幅是两列行波的振幅之和,这些点称为波腹;而另一些点的合振幅为零,这些点称为波节。相邻两波节或两波腹间的距离就是半个波长。

波在发生反射的界面处是形成波节还是波腹,与两种介质的密度有关。如果波的反射是从较密的介质反射到较疏的介质,则在反射处形成波节,反之形成波腹。要在空气中形成驻波,可按图 2-8-2 所示的基本装置进行。在图 2-8-2 中,设 1 为压电换能系统平面波发生器,2 为反射界面和接收器,1、2 两系统的端面相向且严格平行,当 1、2 两端面间的距离 $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 时,系统 1 所发生的平面波向系统 2 传播,且在 2 的端面发生反射,于是,声波在系统 1、2 两端面间形成驻波,反射面 2 处是声压的波腹。若端面间的距离 $L \neq n \cdot \frac{\lambda}{2}$, 则不能形成

驻波。

所以当 1、2 两端面间形成驻波时,2 的端面是波节,声压最大。未形成驻波时,2 端面处声压较小,故可从 2 端面处声压的变化来判断驻波是否形成。

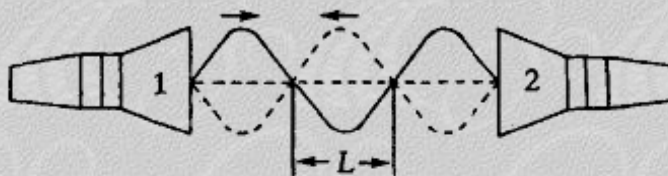


图 2-8-2

当系统 1、2 两端面间的距离为 L_1 时,有

$$L_1 = n \frac{\lambda}{2} \quad (2-8-2)$$

系统 1、2 端面间形成驻波,2 端面处的声压最大。改变 L_1 的距离,2 端面处的声压减小,直到系统 1、2 端面间的距离改变到 L_2 时,有

$$L_2 = (n+1) \frac{\lambda}{2} \quad (2-8-3)$$

2 端面处的声压又达到最大,从(2-8-2)、(2-8-3)式可得

$$\lambda = 2|L_2 - L_1| \quad (2-8-4)$$

由上可知,在实验中精确地测出 L_1 和 L_2 ,即可得到确定的波长 λ ,从而由(2-8-1)式计算出声速 v 。

声波在弹性介质中传播的速度不仅由介质的物理性质决定,而且还与温度有密切关系。声波在理想气体中的传播速度为:

$$v = \sqrt{\frac{T\gamma R}{\mu}} \quad (2-8-5)$$

式中： R 为气体常数($R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)； μ 为相对分子质量； $\gamma = c_p/c_v$ 是气体定压比热容与定容比热容之比； T 是绝对温度。由此可见，影响声速的主要因素是温度，显然有

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{T \frac{\gamma R}{\mu}} \\ &= \sqrt{(273.15 + t) \frac{\gamma R}{\mu}} \\ &= \sqrt{273.15 \frac{\gamma R}{\mu}} \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \\ &= v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \end{aligned} \quad (2-8-6)$$

式中： $v_0 = 331.45 \text{ m/s}$ ，它是 0°C 时的声速； t 是摄氏温度。

由(2-8-6)式可计算出 t 等于任一温度时，声波在理想气体中的传播速度。

【实验步骤】

1. 仪器接线柱连接。用屏蔽导线将压电换能系统 A 的输入接线柱与低频信号发生器的输出接线柱连接，用屏蔽导线将压电换能系统 B 的输出接线柱与毫伏表的输入接线柱连接，再将低频信号发生器的输出端与数字频率计的输入端相连。

2. 接通仪器电源，使仪器预热 15 分钟左右，并置好仪器的各旋钮。

低频信号发生器各旋钮的放置：“输出阻抗”置于 600 档；“内部负载”开关扳向“通”一边；“电压量程”置于 75 V 档；调节“输出调节”，使电压表指示在 30V 处；“频率倍数”置于“ $\times 1000$ ”档；“频率微调”对正零点；“分贝衰减”均置于零位；毫伏表的量程开关先置于 3 V 档，然后根据情况随时调节。

3. 移动游标尺，将压电系统 A 和 B 接近但不要接触，将低频信号发生器的频率刻度从频率刻度的低端到高端极缓慢地旋转，并观察毫伏表的指示，当指示数值达到最大时，从频率计上记下频率读数，在实验中保持不变。

做这一步的目的在于找到一个适当频率，在此频率下换能器有较高发射和接收效率，便于测量。这个频率通常为 25 000~38 000 Hz。

4. 极缓慢地调节游标尺的附尺，使压电换能系统 B 缓慢地离开压电换能系统 A，同时仔细观察毫伏表上的读数，每当出现一个较大的指示数时便紧固游标尺 3 上的螺钉，随后旋转 3 下面的螺母进行微调，使毫伏表的读数达到最大值，此时从游标尺上读出两系统间的距离，做好记录，共测 16 个数据。

5. 记录室温。

6. 关断仪器电源，整理好仪器和用具。

7. 用逐差法处理实验数据。

8. 实验数据表格如下：

$f =$ _____ Hz $t =$ _____ °C

1~4	5~8	9~12	13~16

$$\text{相对误差: } E_v = \frac{|v_{\text{实}} - v_{\text{理}}|}{v_{\text{理}}}$$

【注意事项】

1. 测量 L 时必须轻而缓慢地调节,手勿压游标尺,以免主尺弯曲而引起误差。
2. 注意信号源不要短路,以防烧坏仪器。
3. 放置各仪器的旋钮时不能用力过猛。

【思考题】

1. 在本实验装置中驻波是怎样形成的?
2. 为什么在测 L 时不测量波腹间的距离而要测波节间的距离?

【习题】

1. 根据测量数据计算声速及其相对误差。
2. 本实验装置可用做温度计吗? 如果 L 的测量精度为 0.002 mm, 在频率不变的情况下, 能测到的最小温度变化是多少?