

声速的测量

(2022. 3)

实验要求：

1. 实验预习

必须在来上课前完成预习思考题，否则没有预习成绩。

2. 实验操作

(1) 讲课结束前禁止打开、调节实验仪器；实验开始前了解注意事项，爱护实验设备，轻拿轻放，注意人身安全及实验仪器安全；

(3) 维护课堂秩序，实验室内禁止喧哗、吃食物、穿拖鞋；

(4) 如实记录实验数据，编造、篡改实验数据一经发现判零分。

(5) 实验数据经指导老师签字，完成出门测思考题，并整理好实验设备后方可离开。

3. 实验数据

本实验要求当堂独立完成实验并提交数据，课后撰写一份完整的实验报告（含思考题 3 题）。要求掌握用多种方法测量声速的原理和实验方法，并在报告中按要求给出结果。

4. 数据经老师签字后完成出门测思考题（题目在实验室内扫描二维码完成）。

中华人民共和国教育部

声音是人类最早研究的现象之一，从 17 世纪伽利略研究单弦振动与发出声音的关系并提出频率的概念，到 18-19 世纪克拉尼和泊松对板和膜振动的研究，这一过程也贯穿着数学史的发展进步。20 世纪，由于电子学的发展，使得电声换能器和电子仪器设备可以产生接受各种频率、各种波形和各种强度的声音，使得声学研究又发展出建筑环境声学、电声学、超声学、语言声学、水声学等众多分支。而声音的传播问题很早就受到了人们的重视——声波是一种能够在所有物质中（除真空外）传播的纵波。人耳能感知频率从 20 Hz 到 20 kHz 的纵波振动，称为可闻声波；频率高于 20 kHz，称为超声波。超声波的传播速度，就是声波的传播速度。超声波具有波长短，易于定向发射等优点，因此在超声波段进行声速测量比较方便。除此之外，在水下通讯、生物工程、超声波诊断、牙科和碎石诊疗等工业、农业、军事、医疗等方面具有非常多的应用。在生活中，人们最熟悉的超声波应用莫过于利用多普勒效应的 B 超诊断。

超声波在媒质中的传播速度与媒质的特性及状态等因素有关。因而通过媒质中声速的测定，可以了解媒质的特性或状态变化，如声波定位、探伤、测距、测流体流速、测量弹性模量、测量气体或溶液的浓度、比重以及输油管中不同油品的分界面等等，在无损检测、探伤、流体测速、定位等声学检测中声速的测量尤为重要。本实验用压电陶瓷超声换能器来测定超声波在气体、液体和固体中的传播速度，它是非电量电测量方法的一个例子。

待研究问题

- 一、测量压电陶瓷换能器的谐振频率；
- 二、用驻波法和相位比较法测量气体、液体中的声速；
- 三、用时差法测量固体中的声速。

实验原理

一、声波在空气中的传播速度

在理想气体中的传播速度

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

式中 γ 是气体的定压比热容和定容比热容之比 ($\gamma = \frac{c_p}{c_v}$)， R 是普适气体常量， M 是气体的摩尔质量， T 是热力学温度。由式 (1) 可见，气体的温度和性质是影响空气中声速的主要因素。如果

忽略空气中的水蒸气和其他夹杂物的影响，在 0°C ($T_0=273.15\text{ K}$, $p=101.3\text{kPa}$) 时干燥的理想空气的声速

$$v_0 = \sqrt{\frac{\gamma RT_0}{M}} = 331.45\text{ m/s} \quad (2)$$

在摄氏温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的声速

$$v_t = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \quad (3)$$

若同时考虑空气中水蒸气的影响，校准后声速公式为

$$v_t = 331.45 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{273.15}\right) \left(1 + \frac{0.3192 p_w}{p}\right)} \text{ m/s} \quad (4)$$

式中 p_w 为水蒸气的分压强， p 为大气压强。而 $p_w = p_s H$ ，其中 p_s 为测量温度下空气中水蒸气的饱和蒸气压（可以从饱和蒸气压和温度的关系表中查出）， H 为相对湿度，可以从干湿温度计上读出。

二、声速测量的实验方法

（一）利用声速与频率、波长的关系测量

根据波动理论，声波各参量之间的关系有

$$v = \lambda \cdot f \quad (5)$$

其中 v 为波速， λ 为波长， f 为频率。

在实验中,可以通过测定声波的波长 λ 和频率 f 求声速。声波的频率 f 等于声源的电激励信号频率，该频率可由数字频率计测出，或由低频信号发生器上的频率直接给出，而声波的波长 λ 则常用共振干涉法（驻波假设下）和相位比较法（行波近似下）来测量。

1. 共振干涉法（驻波假设下）法测声速

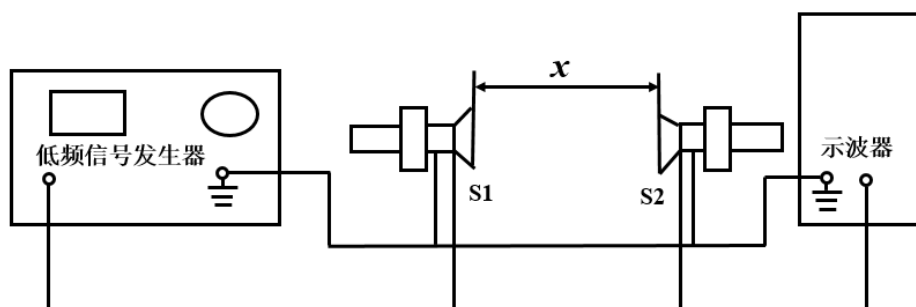


图1 驻波法测量声速实验装置

实验装置原理如图1，S1、S2为压电换能器，S1为声波发射源，S2为声波接收器，当S2的

接收表面直径较大时，将会反射部分和声源同频率的声波。入射波和反射波振动方向与频率相同而发生相干叠加，当 S1 和 S2 相互平行时且接收器位置固定时，S1 前进波和 S2 反射波在 S1 和 S2 之间往返反射，相互干涉叠加，发生共振，形成“驻波”，声场中将会形成稳定的强度分布，在示波器上观察到的是这两个相干波在 S2 处合成振动的情况。

在驻波场中，空气质点位移的图像是不能直接观察到的。而声压却可以通过仪器加以观测。所谓声压就是空气中由于声扰动而引起的超出静态大气压强的那部分压强，它通常用 p 表示。根据声学理论，在声场中空气质点位移为波腹的地方，声压最小；而空气质点位移为波节的地方，声压最大。由纵波的性质可以证明，当发生共振时，接收器 S2 反射端面位置近似为振幅的“波节”（如图 2（a），即声压的“波腹”，即此处位移为 0，接收到的声压信号最强。连续改变距离 L ，示波器可观察到，声压波幅将在最大值和最小值之间呈周期性变化，如图 2 所示。当 S1、S2 之间的距离变化量 ΔL 为半波长 $\lambda/2$ 的整数倍 n 时， $\Delta L = n \cdot \lambda/2$ ，出现稳定的驻波共振现象，声压最大，相邻两次声压波幅极大值所对应的距离的变化即为半波长，所以有

$$n \frac{\lambda}{2} = \Delta L_{n-1} = |L_{n+1} - L_1|, \quad \lambda_i = \Delta L_{i+2} = |L_{i+2} - L_i| \quad (6)$$

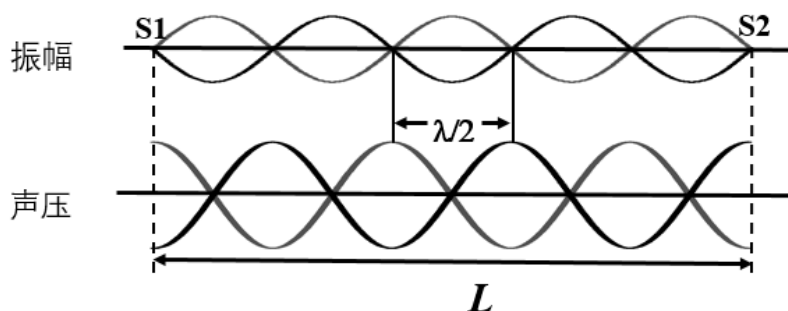


图 2 振幅、声压的变化与 L 之间的关系

2. 相位比较法测量声速

实际上，在发射器（声源处）和接收器（刚性平面处）之间存在的是驻波与行波的叠加。由于接收器的反射面不是理想的刚性平面，它对入射声波能量有吸收以及空气对声波的吸收作用，声波振幅将随传播距离而衰减。所以，还可以通过比较声源处的声压的相位来测定声速。这称为相位比较法或行波法。

波是振动状态的传播，它不仅传播振幅，也进行相位的传播，沿传播方向上的任意两点，如果其振动状态相同，则这两点同位相，或者说其位相差为 2π 的整数倍，这两点间的距离即为波长的整数倍。

实验装置接线如图 3 所示，置示波器功能于 X-Y 方式。当 S1 发出的平面超声波通过媒质到达接收器 S2，发射端 S1 接示波器的 Y 输入端，接收器 S2 接至示波器的 X 输入端。当发

射器与接收器之间有相位差，可通过李萨如图形来观察。移动 S2，改变 S1 和 S2 之间的距离 L ，相当于改变了发射波和接收波之间的相位差，示波器上的图形也随 L 不断变化。显然，当 S1、S2 之间距离改变半个波长 $\Delta L = \lambda / 2$ ，则 $\Delta \varphi = \pi$ ，每当相位差改变 2π 时，示波器上的李萨如图形相应变化一个周期。见图 4，随着振动的相位差从 $0 \sim \pi$ 的变化，李萨如图形从斜率为正的直线变为椭圆，再变到斜率为负的直线。因此，每移动半个波长，就会重复出现斜率符号相反的

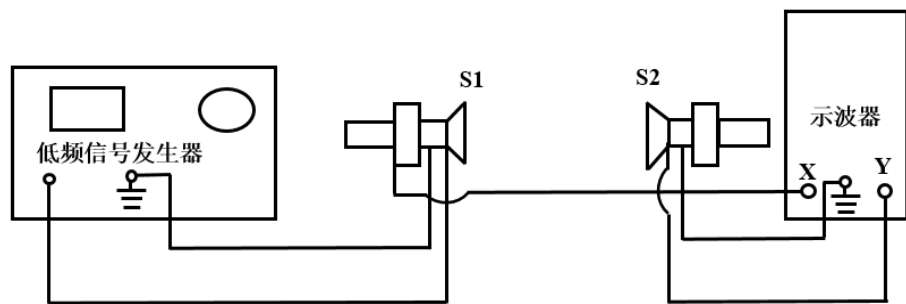


图 3 相位比较法测量声速实验装置

直线，这样就可以测得波长 λ ，根据式 $v = \lambda \cdot f$ 即可计算出声音传播的速度。

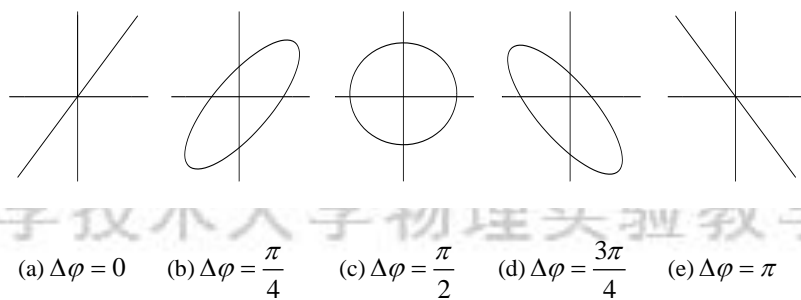


图 4 李萨如图形与两垂直运动的相位差

对于多数空气声速测量装置，发射器频率一定时移动接收器位置，既能看到接收器与发射器信号等相位现象周期性地出现，也能看到接收器声压极大值信号周期性地出现。前者的位移平均周期为 λ ，后者为 $\lambda/2$ 。依次测量出一系列等相点或振幅极值点的位置 l_j （对应序号为 j ），求出以下直线方程的斜率 b_i ，即可求出波长 λ ，进而求出声速

$$l_j = b_0 + b_1 j \tag{7}$$

（二）利用声波传播距离和传播时间计算声速

时差法（脉冲法）

以上两种方法测量声速，是用示波器观察波峰和波谷，或者观察两个波的相位差，原理是正确的，但是读数位置不易确定。较精确测量声速是用声波时差法。时差法在工程中有广泛的应用。如图 4，它是将脉冲调制的电信号加到发射换能器上，声波在媒质中传播，从信号源经过时间 t 后，到达距离为 L 处的接收换能器，那么可以用以下公式求出声波在媒质中传播的速度

$$v = L / t \tag{8}$$

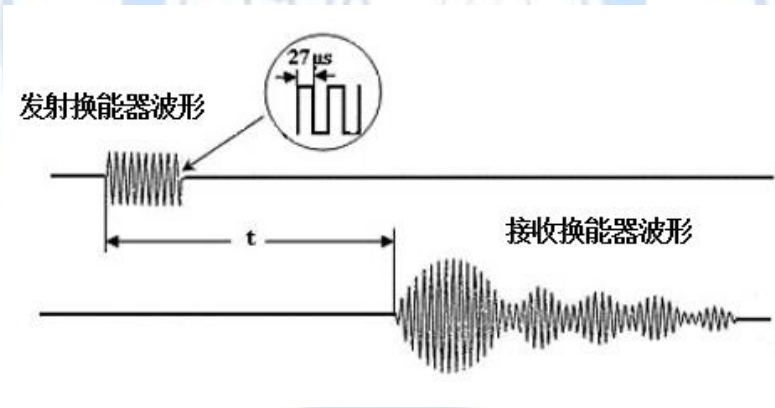


图 4 用时差法测量声速的波形图

实验装置

实验所用仪器为 SV5 型声速测量仪（如图 5 所示，主要部件包括信号源和声速测试仪（含水槽））、双踪示波器、非金属（有机玻璃棒）、金属（黄铜棒）、游标卡尺等。



图 5 SV5 型声速测量仪

压电陶瓷换能器

声速测试仪上的压电陶瓷换能器，分别为发射换能器和接收换能器，是由压电陶瓷片和轻重两种金属组成，其中发射换能器作为声源发出超声波。压电陶瓷片是由一种多晶结构的压电材料（如石英、锆钛酸铅陶瓷等），在一定温度下经极化处理制成的。它具有压电效应，即受到与极化方向一致的应力 T 时，在极化方向上产生一定的电场强度 E 且具有线性关系： $E = g \cdot T$ ，即力→电，

称为正压电效应；当与极化方向一致的外加电压 U 加在压电材料上时，材料的伸缩形变 S 与 U 之间有简单的线性关系：

$$S = d \cdot U \tag{9}$$

即电→力，称为逆压电效应。其中 g 为比例系数， d 为压电常数，与材料的性质有关。由于 E 与 T ， S 与 U 之间有简单的线性关系，因此我们就可以将正弦交流电信号变成压电材料纵向的长度伸缩，使压电陶瓷片成为超声波的波源。即压电换能器可以把电能转换为声能作为超声波发生器，反过来也可以使声压变化转化为电压变化，即用压电陶瓷片作为声频信号接收器。这样，压电换能器可以把电能转换为声能作为声波发生器，也可把声能转换为电能作为声波接收器之用。

压电陶瓷换能器根据它的工作方式，可分为纵向(振动)换能器、径向(振动)换能器及弯曲振动换能器。图 6 所示为纵向换能器的结构简图。

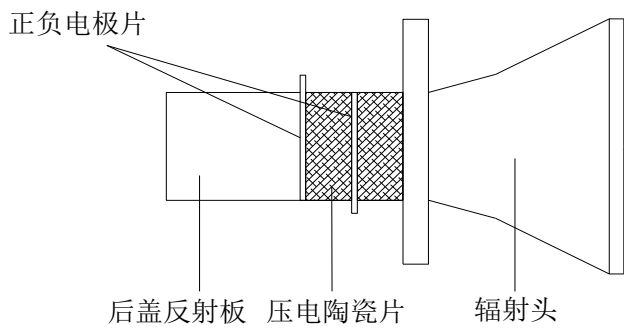


图 6 纵向换能器的结构

实验要求

一、基础实验：调整仪器时系统处于最佳工作状态

（一）按照图 7 接好线，S1 接信号发生器，S2 接示波器 Y 轴，调节 S1、S2 使两端面相互平行，且与移动方向相垂直。

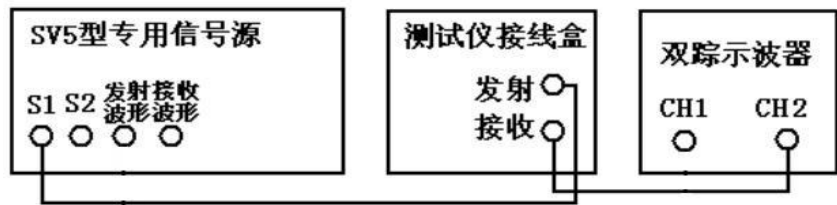


图 7 谐振频率和共振干涉法测量连线图

（二）测量谐振频率 f （谐振频率范围 $f = 34 \sim 38 \text{ kHz}$ ）。

只有当换能器发射面 S1 和接收面 S2 保持平行时才有较好的接收效果；为了得到较清晰的接收波形，需要将外加的驱动信号频率调节到发射换能器 S1 谐振频率点 f 处，才能较好地进行声能与电能的相互转换，以提高测量精度，得到较好的实验效果。

在 S1 和 S2 之间保持一定间距的情况下，观察接收波的电压幅度变化，调节正弦信号频率，当在某一频率点处电压幅度最大时，此频率即为压电换能器 S1、S2 的相匹配频率点，记下该谐振频率 f 。

（三）共振干涉法（驻波法）测量空气中的波长和声速

当 S1 和 S2 相距 5 cm 以上时，转动鼓轮移动 S2，观察波的干涉现象，当示波器上出现振幅最大信号时，记下 S2 的位置 L_0 。由近而远或由远而近改变接收器 S2 的位置，均可以观察到正弦波形发生周期性的变化，逐个记下振幅最大的波腹的位置共 12 个位置点，并用最小二乘法处理数据，计算波长和声速及其不确定度（ $P=0.95$ ）。

（四）记下室温 t ，计算理论值 v_t ，与测量值比较。

二、提升实验：相位比较法测量水中的波长和声速

在储液槽中装入水至刻度线，将换能器置于储液槽中，按照图 8 接好实验装置，S1 接信号发生器，并连接示波器 X 轴，S2 接示波器 Y 轴，令示波器置于“X-Y”垂直振动合成模式，此时可以看到示波器上出现椭圆或斜直线的李萨如图形。当 S1 和 S2 相距 5 cm 以上时，转动鼓轮移动 S2，观察图形，依次测出李萨如图形斜率正、负变化的直线出现时 S2 的位置 L_i ，共记录 8 个位置值。用作图法处理数据，计算水中的波长和声速，不需要计算不确定度。

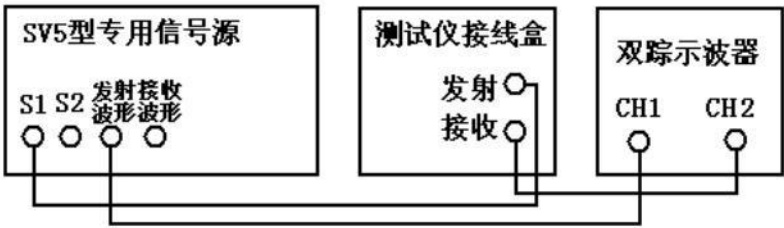


图 8 相位法测量连线图

三、进阶实验：设计实验——用时差法测量有机玻璃棒和黄铜棒中的声速

（一）按照图 9 接好实验装置，将专用信号源上的“测试方法”调至“脉冲波”的位置，“声速传播媒质”按测试材质的不同，调至“非金属”或“金属”的位置。

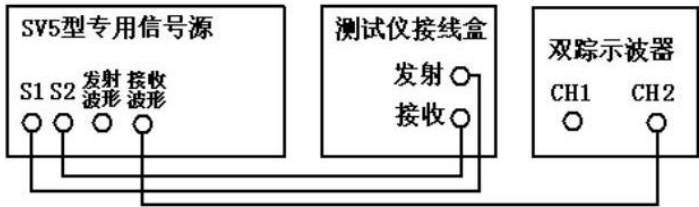


图 9 时差法测量固体中声速连线图

（二） 本实验提供多种长度的有机玻璃测试棒和黄铜测试棒。先将发射换能器尾部的连接插头拔出，将待测的测试棒一端面的小螺柱旋入接收换能器的中心螺孔内，再将另一端面的小螺柱也旋入能旋转的发射换能器上，使固体棒的两端面与两换能器的平面可靠、紧密接触，旋紧时，应用力均

匀，不可以用力过猛，以免损坏螺纹，拧紧程度要求两只换能器端面与被测棒两端紧密接触即可。调换测试棒时，要先拔出发射换能器尾部的连接插头，然后旋出发射换能器的一端，再旋出接收换能器的一端。

（三）把发射换能器尾部的连接插头插入接线盒的插座中，即可开始测量。

（四）记录信号源的时间读数，单位为 μs ，此时显示的时间为从信号源发出脉冲信号到接收端接收所用的时间。测试棒的长度可用游标卡尺测量得到并记录长度 L 。

（五）自行设计实验分别测量出声波在有机玻璃棒和黄铜棒中传播的速度。

四、高阶实验：超声悬浮实验（原理及操作内容见附录）。

思考题

一、定性分析共振法测量时，声压振幅极大值随距离变长而减小的原因。

二、声速测量中驻波法、相位法、时差法有何异同？

三、各种气体中的声速是否相同，为什么？

参考文献

[1] 谢行恕，康士秀，霍剑青. 大学物理实验第二册—第二版 [M]. 北京：高等教育出版社，2005.

[2] 吕斯骅，段家祗. 基础物理实验[M]. 北京：北京大学出版社，2002.

[3] 张志东，魏怀鹏，展永. 大学物理实验—5版[M]. 北京：科学出版社，2014.

[4] 朱鹤年. 基础物理实验讲义—4版[M]. 北京：科学出版社，2011.

国家级实验教学示范中心

中国科学技术大学物理实验教学中心

中华人民共和国教育部

（附录）超声悬浮实验

在空气中传播的声波，是经典物理学长期研究的对象，并由此揭示了一般纵波的各种振荡、波动、传输特征，为日后其它各种波的研究和各领域的应用打了扎实的理论基础。

而作为声波的研究的对象之一；声悬浮的应用，也为诸如金属无接触悬浮熔炼，晶体悬浮生长开辟了新的技术手段。

对于声波特性的测量（如频率、波速、波长、声压衰减和相位等）是声学应用技术中的一个重要内容，特别是声波波速（简称声速）的测量，在声波定位、探伤、测距等应用中具有重要的意义。

【实验目的】

- 1、观察声悬浮物理现象；
- 2、学会运用声悬浮现象测量声速。

【实验原理】

一般地讲，弹性介质中的纵波都被称为声波。频率在 $20\sim 20000\text{Hz}$ 之间的声波，能引起人的听觉，称为可闻声波，也简称声波。频率低于 20Hz 的叫做次声波，高于 20000Hz 的叫做超声波。

介质中有声波传播时的压力与无声波时的静压力之间有一差额，这一差额称为声压。声波是疏密波，在稀疏区域，实际压力小于原来的静压力，声压为负值；在稠密区域，实际压力大于原来的静压力，声压为正值。以 p 表示声压，则有

$$p = -p_m \sin(\omega t - kx) \quad (1)$$

其中， $\omega = 2\pi/T$ ，为声波的角频率； $k = 2\pi/\lambda$ ，为声波的角波数；而声压振幅

$$p_m = \rho u A \omega \quad (2)$$

其中 ρ 为介质密度， u 为声波波速（简称声速）， A 为声波振幅， ω 为声波角频率。由（2）式可知，声压的大小由 4 个物理量来决定。因为声速的大小仅由声波传播时所经过的介质来决定，所以在传播介质一定的情况下，声压的大小主要取决于声波的振幅和频率。

声强就是声波的强度，即为

$$I = \frac{1}{2} \rho u A^2 \omega^2 = \frac{1}{2} \frac{p_m^2}{\rho u} \quad (3)$$

声悬浮是利用高强度声波产生的声压来平衡重力，从而实现物体悬浮的一种技术。由于驻波产生的声压远大于行波，所以声悬浮实验普遍采用驻波。

一个最简单的驻波系统可由一个声发射端和一个声反射端构成，即形成一个谐振腔。发射端到反射端的距离 L 是可调的，以满足驻波条件。如果将声场近似看作平面驻波，则驻波条件为

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (4)$$

发射面和反射面是声压的两个波腹，声压波节位于 $\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$ 处。在声压波节处，声辐射力具有回复力的特性，即一旦样品有所偏离，就会被拉回原位置，所以声压波节就是样品的稳定悬浮位置。因此可以悬浮的样品数应为 n 个，且两个样品之间的距离为 $\lambda/2$ 。通常，选择声波的传播方向与重力方向平行，以克服物体的重力。较重的物体，其悬浮位置会偏向声压波节的稍下方。

以悬浮一个半径为 r 的小球为例，若平面驻波的声压为

$$p = p_m \cos(kx) \sin(\omega t) \quad (5)$$

则它在上球上产生的声辐射力为

$$F = \frac{5}{6} \frac{\pi p_m^2}{\rho \omega^2} \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right)^3 \sin(2kh) \quad (6)$$

其中， h 为小球相对于某一声压波节的位置。可见，驻波产生的声辐射力在空间以半波长为周期变化。

声悬浮需要很高的声强条件，因此在声悬浮实验中普遍采用高频率的超声波。

本实验除了能定性的观察声悬浮现象，还能利用声悬浮现象定量的测量声速。

因为声速的大小仅由声波传播时所经过的介质决定，所以在测量声速时，我们通常选择具有波长短、易于定向发射和易被反射等优点的超声波来测定。

声速的测量方法可分为两类。第一类是根据

$$u = L/t \quad (7)$$

测量出声波的传播距离 L 和传播时间 t ，可算出声速 u ，称为时差法。第二类是利用

$$u = \lambda \cdot f \quad (8)$$

测量出声波的频率 f 和波长 λ ，然后可算出声速 u ，此法利用了波的特性来测量。

利用声悬浮现象测量声速：调节反射面到换能器发射面的距离，使形成谐振腔，将多个泡沫小球置于相邻的波节处，则多个物体被悬浮并两两相邻。两相邻小球间的间距应为半波长 $\lambda/2$ ，通过数显尺测量小球间距，由此也可测出声波的波长。

【实验仪器】

实验仪器由超声信号源和超声悬浮测试架组成。

(1) 超声信号源：超声波信号发生器，为超声换能器提供工作信号。

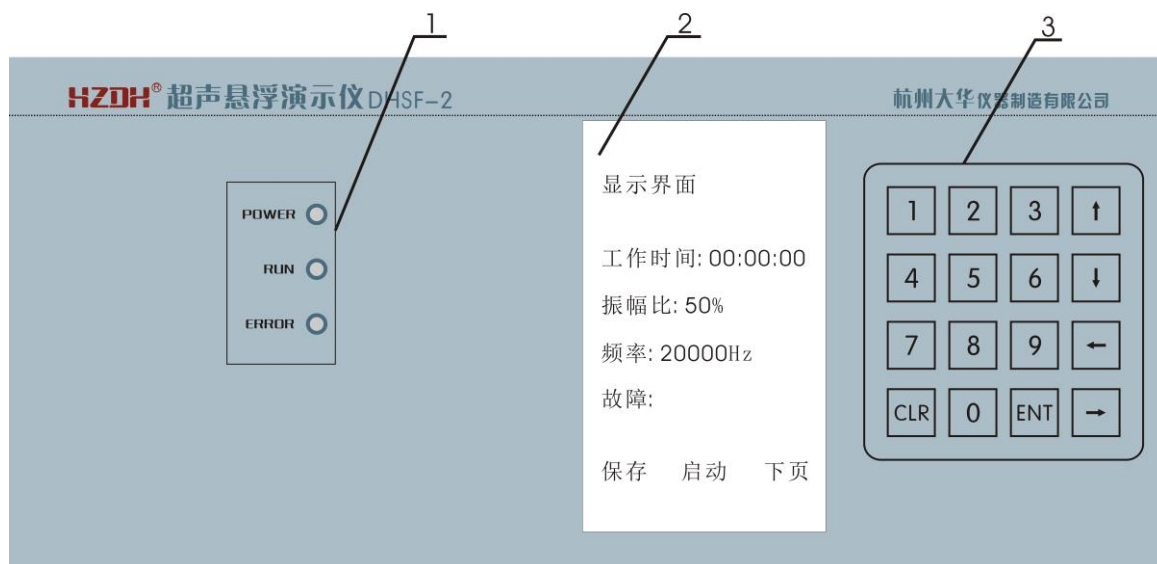


图 1-1 超声信号源（前面板）

1、 工作状态指示灯

POWER: 电源指示灯；

RUN: 超声信号源启动输出，正常运行指示；

ERROR: 指示超声信号源或超声换能器出现故障。

2、 显示界面

工作时间: 设定超声信号源启动后的运行时间，默认 00:00:00（时分秒），此时工作时间未设定，启动输出后，超声波信号将持续输出直至用户暂停输出；若工作时间设定后，启动输出，超声波信号持续输出到设定时间后自动关闭输出；

振幅比: 设定超声波信号输出强度 0%~100%（建议设定在 35%~80%）；

频率: 换能器工作频率，开机默认显示 20000Hz；启动输出后，超声信号源将根据匹配的换能器自动追频，动态显示实时工作频率，确保换能器工作在最佳输出状态；

故障: 当超声信号源或超声换能器出现故障，此处显示故障代码：01 负载太重，04 电压太高，06 追频失败；

保存: 振幅比参数设定好，按保存后，可以存储设定的振幅比参数，下次开机自动显示储存的振幅比；

启动: 开启或暂停超声波信号输出，开启后，“启动”显示切换为“暂停”；

下页: 功能界面翻页，共两个显示页面；

显示界面

工作时间: 00:00:00

振幅比: 50%

频率: 20000Hz

故障:

保存 启动 下页

图 1-2 显示界面 1

请输入密码:

0000

下页

图 1-3 显示界面 2

请输入密码： 仪器内部参数设定准入密码，不开放给用户。

3、控制键盘

↑ ↓ ← →：上下左右控制键，切换到显示界面中某一功能或参数设定；

CLR：清除设定的某一参数；

ENT：确认键，对选中的某一功能进行确认。

0-9：数字按键，设定参数。

4、超声信号源后面板功能说明

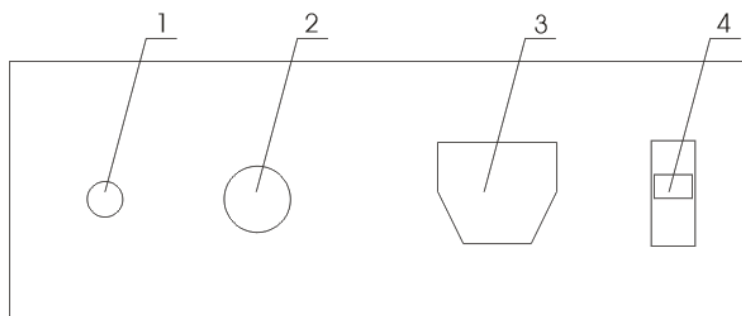


图 1-4 超声信号源（后面板）

- 1、 散热风扇电源：需用专用连接线与超声悬浮测试架连接；
- 2、 超声信号输出插座：需用专用 2 芯线与超声悬浮测试架连接；
- 3、 电源插座：AC220V 交流电源输入；
- 4、 空气开关：超声信号源总电源开关。

(2) 超声悬浮测试架：

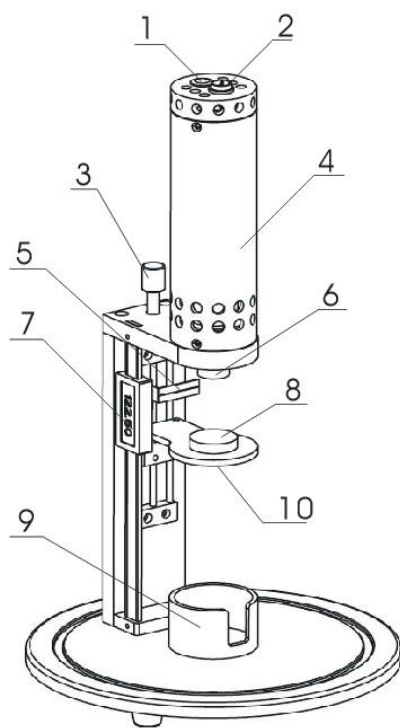


图 2 超声悬浮测试架

- 1、 风扇电源输入插座：风扇电源，用于换能器工作散热；
- 2、 超声信号输入插座：为换能器提供工作电源；
- 3、 丝杆旋钮：用于调节载物台的竖直位置；
- 4、 换能器罩壳：内部放置超声换能器和风扇；
- 5、 测量镜尺：测量悬浮小球时，保证小球、小球镜尺中的像以及刻线三者对齐；
- 6、 超声换能器发射头：此发射头端面发射超声波信号；
- 7、 数显游标尺：用于测量悬浮小球间距，游标尺上固定有测量镜尺；
- 8、 聚声座：凹面反射器，实现声波的聚集反射；
- 9、 防水罩：开展水滴悬浮实验时，将防水罩置于载物台上，将聚声座放置于防水罩内即可；
- 10、 载物台：用于放置聚声座或防水罩。

【实验内容】

1、 声悬浮现象演示

(1) 悬浮泡沫小球：将超声信号源后面板信号输出和风扇电源输出分别与声悬浮测试架对应插座连接起来；调节声悬浮测试架上的丝杆旋钮，使超声换能器发射面距离下端的聚声座（凹面反射器）为 7cm 左右；打开超声信号源后面板空气开关，开启电源；设定好换能器的振幅比，开启超声输出；微调丝杆旋钮使谐振腔工作在谐振状态（用镊子可将泡沫小球轻松放入驻波波节处，并能稳定悬浮），依次在间距 $\lambda/2$ 处的地方放置 6-8 只或更多小球。（超声换能器工作频率约为 28KHz，对应 $\lambda/2$ 为 6mm 左右）



图 3 泡沫球悬浮效果图

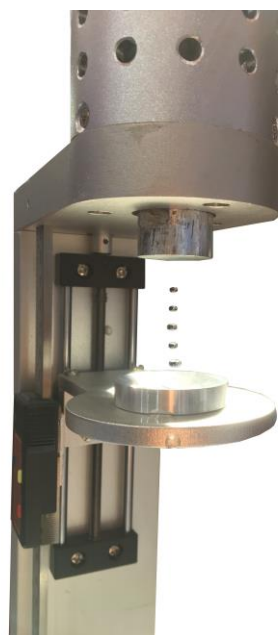


图 4 水滴悬浮效果图

(2) 悬浮小水滴：将超声信号源后面板信号输出和风扇电源输出分别与声悬浮测试架对应插座连接起来；调节声悬浮测试架上的丝杆旋钮，使超声换能器发射面距离下端的聚声座（凹面反射器）为 4cm 左右；打开超声信号源后面板空气开关，开启电源；设定好换能器的振幅比后，开启超声输出；用注射器挤出小水滴（且水滴不脱离针头），上下缓慢移动注射器针头位置和微调丝杆旋钮使谐振腔工作在谐振状态以寻找 $\lambda/2$ 波节处，直到水滴被悬浮并脱离针头；在距离水滴 $\lambda/2$ 处放入另一水滴。

(3) 悬浮金属球：学生自行尝试悬浮小直径焊锡球、铝球或钢珠。（材料自备）

2、用声悬浮测量空气中的声速

将超声信号源后面板信号输出和风扇电源输出分别与声悬浮测试架对应插座连接起来；调节声悬浮测试架上的丝杆旋钮，使超声换能器发射面距离下端的聚声座（凹面反射器）为 8cm 左右；打开超声信号源后面板空气开关，开启电源；设定好换能器的振幅比后，开启超声输出；微调丝杆旋钮使谐振腔工作在谐振状态（用镊子可将泡沫小球轻松放入驻波波节处，并能稳定悬浮），依次在间距 $\lambda/2$ 处的地方放置 8 只或更多小球。

用带镜尺的数显尺测量 n 个小球之间的间距 $S = (n-1)\lambda/2$ ，求出波长 λ ，根据超声信号源显示的超声频率 f ，即可求出声速 $u = \lambda \cdot f$ 。

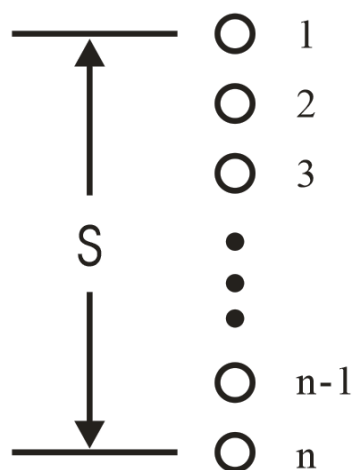


图 5 小球间距测量示意图

【注意事项】

- 1、启动电源前需确保超声换能器和超声信号源连接正常，超声信号源输出为高压信号，严禁带电插拔换能器连接线或用手触摸输出插座内芯!!!
- 2、启动超声信号源前，确保超声悬浮测试架散热风扇工作正常（大功率超声换能器空气中能量不易传递出去，自身发热较大，需确保散热状况良好）。
- 3、超声波换能器发射头工作过程中温度较高，禁止触碰，以免烫伤!!!
- 4、出现声悬浮现象后，应反复微调丝杠旋钮，以便使悬浮物在尽可能小的波源强度下悬浮起来。
- 5、丝杠旋钮调节到极限位置后，需反向调节，避免损坏丝杠螺纹。

【思维扩展】

声悬浮不只是一个有趣的物理现象，由于没有明显的机械支撑，几乎对客体没有附加效应，从而为材料制备和科学研究提供了一种崭新的技术，在材料科学、流体力学、生物医学和航空领域等有非常广阔的应用前景。

采用声悬浮方法，可以使材料的熔化和凝固在无容器环境下进行，从而消除容器壁对材料的不利影响。例如，在声悬浮条件下，可以使水冷却到零下二十多度还不结冰，从而获得深过冷状态的冰。采用声悬浮方法，还可以实现晶体悬浮生长。声悬浮状态的液滴完全在自由表面的约束下运动，是流体力学研究的一个重要领域。利用声悬浮技术，可以对液体表面张力、粘度和比热等物理量进行非接触测量，不仅提高了精度，还可获得液体在亚稳态的物理性质。在太空微重力环境中，还可以用声悬浮对样品进行定位。美国宇航局在航天飞机中熔炼了高纯度的固体材料。声悬浮技术在生物医学领域也有一定应用。例如，可以使培养液中的细胞或微生物在固定区域浓集，以提高检测效率。