

超声声速测量



声波	光波	
纵波/横波	横波	类型 (横波/纵波)
有介质	无介质	传播要求 (有介质/无介质)
依赖于介质	依赖于介质	速度

超声波？次声波？

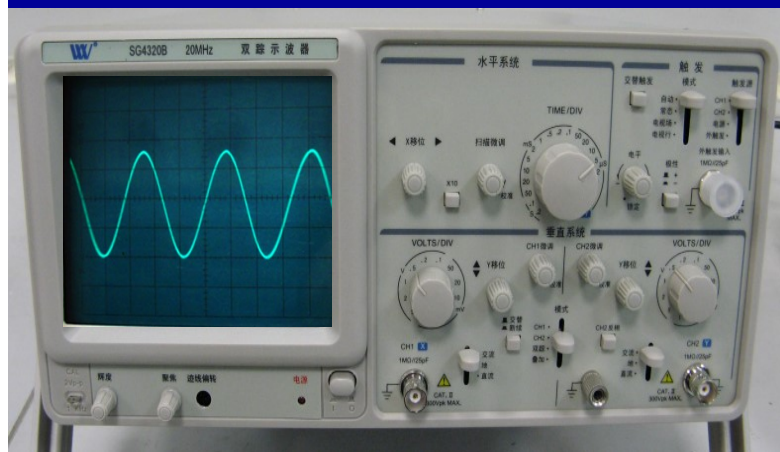
人耳能听到的声波频率：20Hz~20KHz

- **次声波**：振动频率在20Hz以下的声波
- **超声波**：振动频率在20KHz以上的声波

◆实验目的

- 了解超声换能器的工作原理和功能
- 掌握用共振干涉法和相位比较法测量声速的原理
- 学会数据分析和处理的基本方法

示波器



◆实验仪器

游标卡尺

传动机构

信号发生器



声速测试仪

换能器



注：超声换能器的初始间距：**2cm(空气)**；**3cm(水)**。
实验系统的最佳发射和接收状态的频率范围：**34.5kHz ~ 39.5kHz**。

◆ 实验原理

原理1：根据**波长、频率、声速**三者之间的关系。若已知频率，测量出波长，即可得到声速。

$$v = f \lambda$$

原理2：根据声波**传播的距离、传播的时间、声速**三者之间的关系。若给出传播时间，测量出传播距离，即可得到声速。

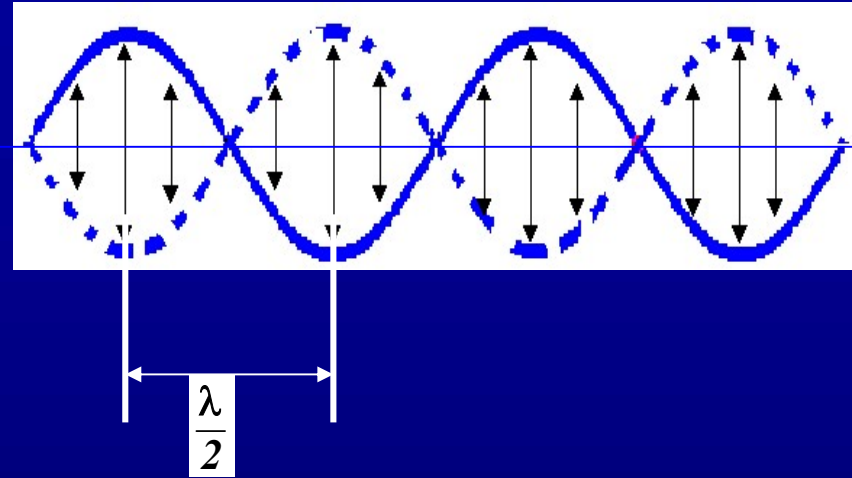
$$v = \frac{L}{t}$$

实验方法：共振干涉法



S₁发射

S₂反射



波束1

$$F_1 = A \cdot \cos(\omega t - 2\pi \cdot X / \lambda)$$

波束2

$$F_2 = A \cdot \cos(\omega t + 2\pi \cdot X / \lambda)$$

波束3 (1、2合成)

$$F_3 = 2A \cdot \cos(2\pi \cdot X / \lambda) \cos \omega t$$

$X = \lambda / 2$ 的整数倍

$X = \lambda / 4$ 的奇数倍

波腹——振幅极大

波节——振幅极小

相邻波腹间距

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2}$$

实验方法：相位比较法

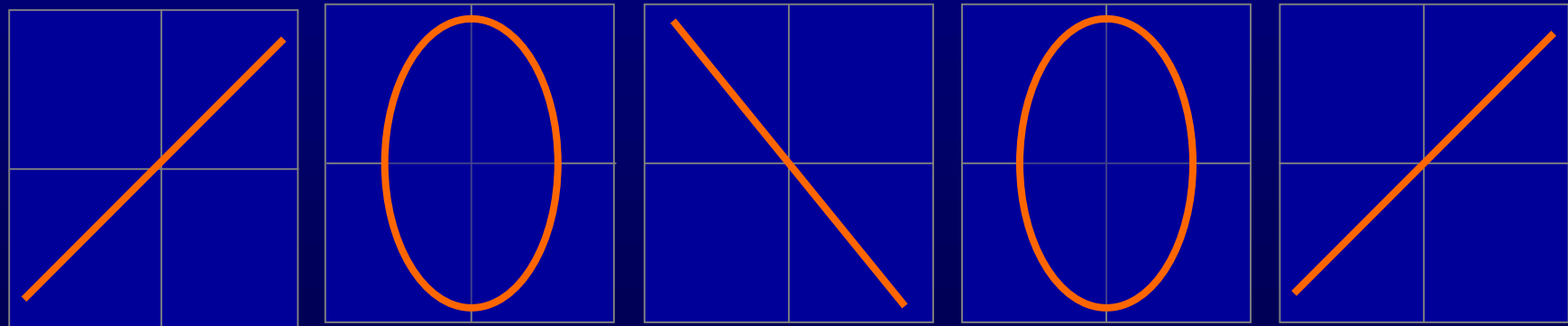


$$F_x = F_{x0} \cdot \cos(\omega t)$$

$$F_y = F_{y0} \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

$$\varphi = 2\pi \frac{L}{\lambda} \quad \Delta\varphi = \pi \Leftrightarrow \Delta L = \frac{\lambda}{2}$$

李萨如图



$$\varphi = 0 \quad \varphi = \pi/2 \quad \varphi = \pi \quad \varphi = 3\pi/2 \quad \varphi = 2\pi$$

结论：每当示波器屏上出现斜率为负、正变化的直线时，S₂就移动了 $\lambda/2$ 的距离。

三、时差法

用时差法测量声速的实验装置仍采用上述仪器。由信号源提供一个脉冲信号经 S_1 发出一个脉冲波，经过一段距离 L 的传播后，该脉冲信号被 S_2 接收，再将该信号返回信号源，经信号源内部线路分析、比较处理后输出脉冲信号在 S_1 、 S_2 之间的传播时间 t ，传播距离 L 可以从游标卡尺上读出。

则声波在介质中传播的速度为：

$$v = L/t = \Delta L_i / \Delta t_i$$

其中： L — S_1 和 S_2 的间距；

t —脉冲波的传播时间；

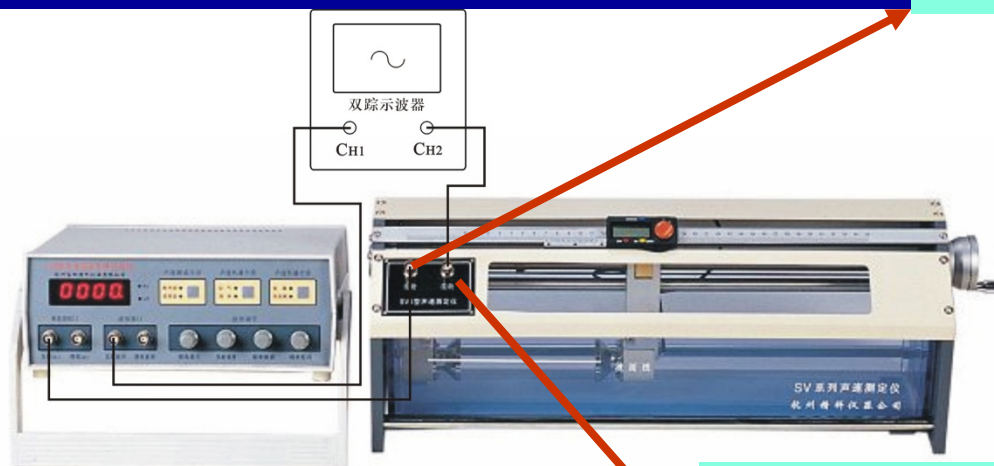
ΔL_i — S_1 和 S_2 的间距差；

Δt_i —脉冲波的传播时间差。

◆ 实验内容

1. 谐振频率的调节 (必做)

S₁接口



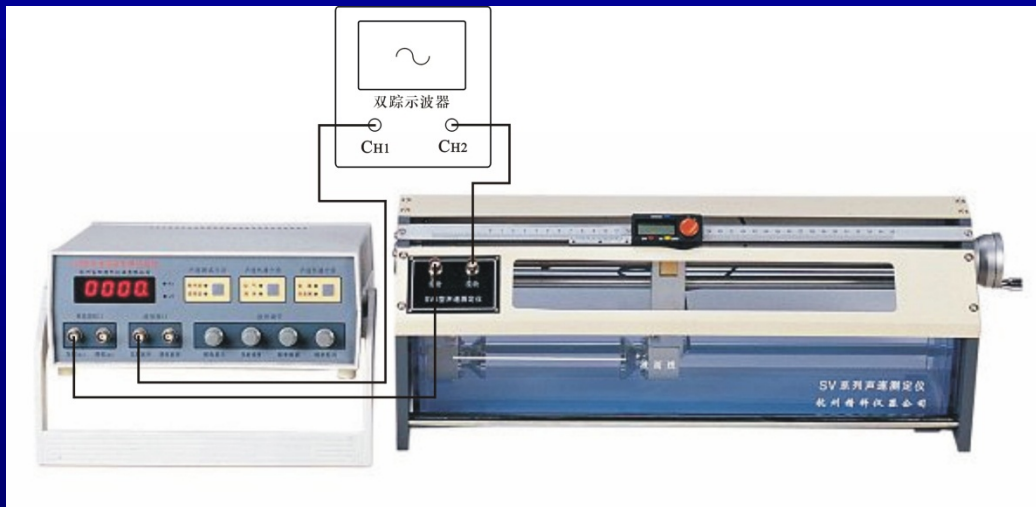
信号源设置“连续波”方式
S₁接口接信号源“发射”
信号源“发射波形”接CH1
S₂接口接示波器CH2

S₂接口

- 检查线路，正确连线。
- 调节信号源上的“发射强度”旋钮，使其输出电压峰峰值 (V_{p-p}) 在1-2V左右(示波器模式置CH1)。改变频率使接收信号振幅达到最大(示波器模式置CH2)(34.5kHz~39.5kHz)。
- 改变S₁、S₂ 距离，使示波器屏上正弦波振幅达到最大，再次调节正弦信号频率使之最大。记录此频率 f_0 ，测量中保持该频率不变。

◆ 实验内容

2. 用共振干涉法测量空气中的声速（必做）

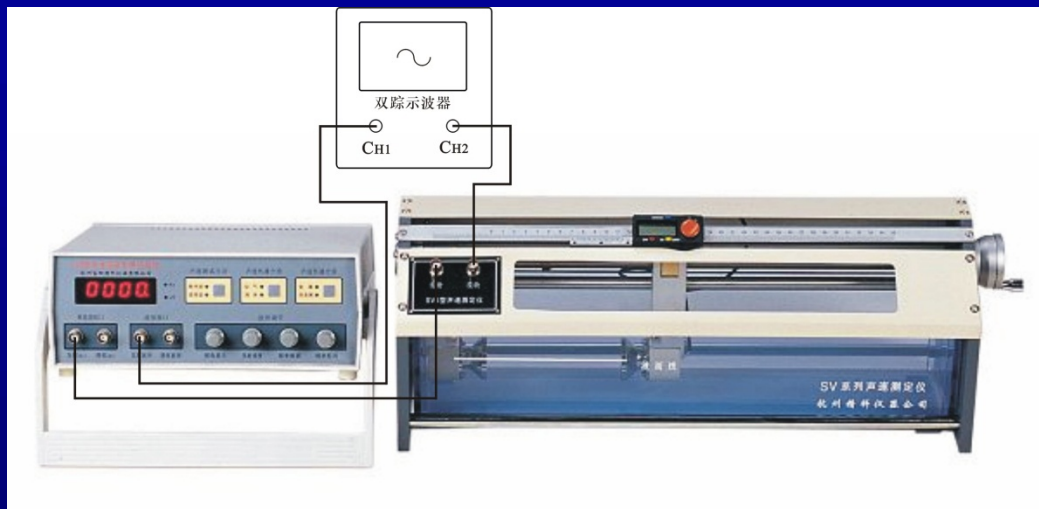


信号源设置“连续波”方式
 S_1 接口接信号源“发射”
信号源“发射波形”接CH1
 S_2 接口接示波器CH2

- 逐一记录相邻波腹位置值！
(缓慢远移接收器 S_2 ，每当接收信号最大时，记录一次接收换能器的位置, 示波器模式置CH2)
- 要求测量12组数据！
- 记录温度。

◆ 实验内容

3. 用相位比较法测量水中的声速（必做）



信号源设置“连续波”方式
 S_1 接口接信号源“发射”
信号源“发射波形”接CH1
 S_2 接口接示波器CH2

- 逐一记录示波器屏上斜率为负、正的直线出现时 S_2 的对应位置 (缓慢远移接收换能器 S_2 ，每当图形由椭圆变为直线时, 包括正、负斜率两种情况, 记录一次接收换能器位置, 示波器选择 X-Y 方式)
- 要求测量12组数据。

◆ 数据处理（表格） (共振法和相位法测量声速)

$$v = f \cdot \lambda = f \cdot 2 \cdot \Delta L$$

实验内容2:

1. 逐差法处理数据
2. 计算空气中的声速 $v_{\text{空气}}$
3. 记录测量时的室温 t
4. 计算空气中声速理论值 $v_{\text{理}}$
比较 $v_{\text{空气}}$ 和 $v_{\text{理}}$ ，计算

$$\Delta v = |v_{\text{理}} - v_{\text{空气}}| \text{ 和 } \frac{\Delta v}{v_{\text{理}}} \times 100\%$$

$$v_{\text{空气(理)}} = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.16}}$$

实验内容3:

1. 逐差法处理数据
2. 计算水中的声速 $v_{\text{水}}$
3. 计算 $v_{\text{水}}$ 的不确定度
(给出过程和完整结果表达)

结果分析 相关思考

◆ 实验报告

- 实验目的、原理、仪器、内容等内容.....
- 实验原理的表述应清楚、完整、精炼。(40%)
- 实验数据处理包括：(60%)

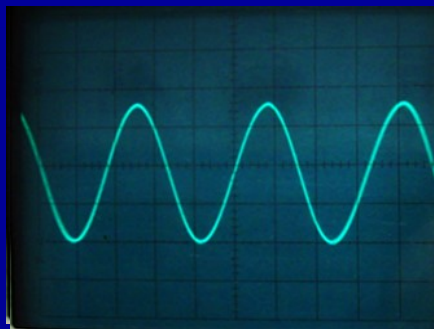
数据整理和处理；结果表达与分析讨论；思考题等。

- 规范的列表与完整公式表达。
- 实验结果表达规范、准确、清晰、易懂。
- 误差分析和不确定度的计算。
- 实验分析、讨论、思考题和实验总结。

实验做完后**1周内**交至实验室门外相应柜子的格子内。

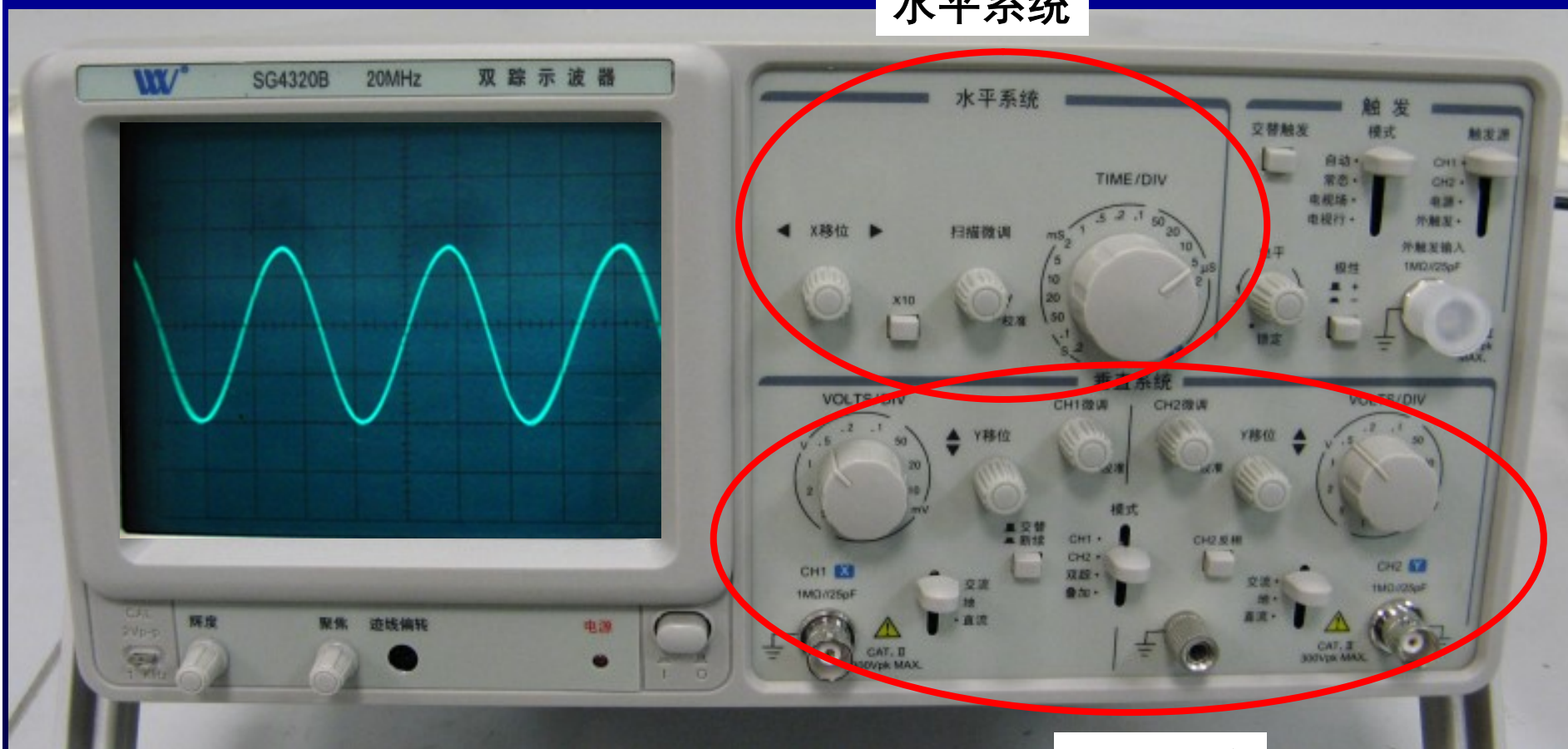
◆实验仪器简要说明





◆示波器简要说明

水平系统



垂直系统

◆ 注意事项

- 严格注意实验安全。动作要轻柔。
- 两换能器严禁触碰，初始间隔：~2cm(空气)；~3cm(水)。
- 严禁淋湿数显表头，用完置“OFF”。
- 测量时，“调节鼓轮”向同一方向转动。
- 实验完毕，收拾仪器，严禁将声速测试仪浸泡在水中。
- 设计表格，钢笔记录，修改备注。
- 请1-4号同学做清洁。

实验记录表格示例(1)

记录谐振频率 f_0

注：系统的最佳频率：34500Hz ~ 39500Hz。

共振法、相位法实验记录表格示例

注：共振法的初始位置——波腹！
实验中，频率不变！

测量次数	1	2	3	4	5	6
空气中共振法(mm)						
水中相位法(mm)						
测量次数	7	8	9	10	11	12
空气中共振法(mm)						
水中相位法(mm)						

室温：t = °C

实验记录表格示例(2)

$$v = f \cdot \lambda = f \cdot 2 \cdot \overline{\Delta L}$$

逐差法处理数据表格示例(单位: mm)

	ΔL_1	ΔL_2	ΔL_3	ΔL_4	ΔL_5	ΔL_6	$\overline{\Delta L}$
空气							
水							

时差法实验记录表格示例

测量次数	1	2	3	4	5	6
$L(\text{mm})$	0.00	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00
$t(\mu\text{s})$						
测量次数	7	8	9	10	11	12
$L(\text{mm})$	120.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00
$t(\mu\text{s})$						

注: 要求等间隔移动 S_2 , 移动间隔 = 20.00mm。作图法或逐差法, 误差分析!