

声速光速测量

共振干涉法测声速

如图1-1，S1、S2都是压电换能器，两者相互平行。由信号发生器输出的频率*f*的正弦电信号激励超声波发射器S1发射出沿x方向传播的近似平面超声波，经接收器S2反射后在两端面间来回传播并叠加而形成驻波（严格地说还有行波的成份）

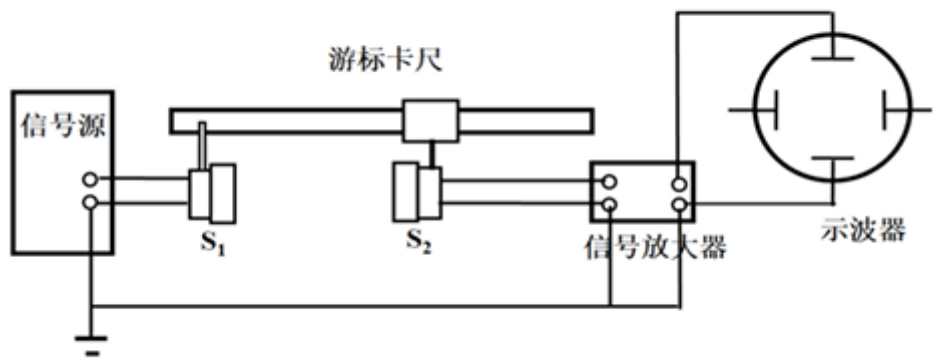


图1-1 共振干涉法测声速

若将接收到的超声波声压信号转换成电信号再输入示波器，当发射频率固定时，移动S2改变两者的相对距离就能在一系列特定的距离（声波半波长的整数倍）上建立驻波共振态，从示波器上可以观察到信号振幅周期性地呈现最大值，相邻最大值之间换能器S2移动的距离Δ*l*为半波长，则：

$$v = f\lambda = 2f\Delta l$$

实际测量中为了提高测量精度，可以连续多次测量并用逐差法处理数据。

. 相位比较法测声速

观察到两个相互垂直的同频率简谐振动合成的李萨如图形。改变S1S2间的距离时位相差发生变化，图形特性随之变化。每当位相差变化满足

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = (2\pi l_2 - 2\pi l_1) / \lambda = 2\pi, \text{ 即 } \Delta l = l_2 - l_1 = \lambda \tag{1-4}$$

相同的李萨如图形就会重复出现（如图 1-2 所示）。由此可以测定 λ，算出声速。

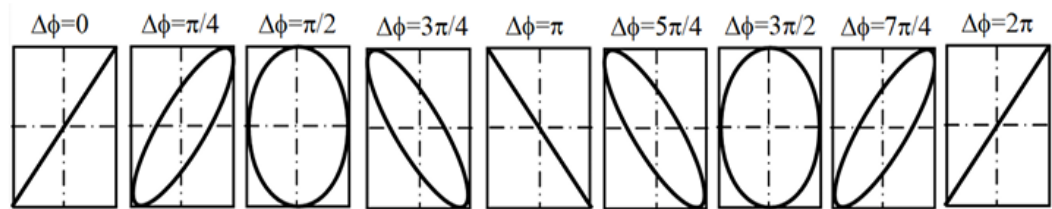


图 1-2 李萨如图

2. 时差法测声速

意思就是说 我们找到上面这几个图的一个样式，然后我们移动波形，直到这个波形再次出现，那么那个移动的长度就是λ

实验内容

调节谐振频率

目的：使得超声波频率与换能器固有频率一致，此时电声、声电转换效率最高，测试仪器处于最佳工作状态。调节方法如下：

(1) 信号源设置【连续波】方式，信号源【发射波形】接示波器 CH1，信号源【发射 S1】接声速测试仪【发射】，声速测试仪【接收】接示波器CH2。

(2) 示波器通道切换为 CH1：调节示波器（水平轴、垂直轴）清楚观察到正弦波信号；调节信号源【发射强度】，使示波器波形电压峰峰值Vpp大于1V（此为换能器的工作电压范围）。

(3) 示波器通道切换为 CH2：调节示波器（水平轴、垂直轴）清楚观察到正弦波信号；调节信号源频率（结合粗调细调，调节范围34 KHz -40KHz），观察电压幅度变化（若幅度过大波形超过屏幕，逆时针调大垂直轴分度值），在某频率点处（因不同换能器或介质而异）电压幅度最大，此频率即是压电换能器最佳工作频率f空气，测量中保持该频率不变。

共振法

保持换能器S1和S2 初始间距3-5cm。选择某个振幅最大值作为测量起点，游标卡尺读出位置，保持同方向缓慢移动S2，逐一记下各振幅最大的位置，连续12组数据

相位比较法

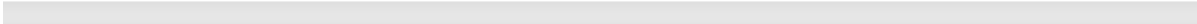
相位比较法测量水中的声速 接线不变。向储液槽注入水至“液面线”处，但不要超过液面线，测试仪小心放入储液槽中。按前面实验内容1的方法，确定水中换能器的最佳工作频率f水。

示波器通道切换为【X-Y】模式：调节示波器，出现李萨如图形。移动换能器S2观察图形变化。保持换能器S1和S2初始间距3-5cm。选择图形为斜直线时的位置作为测量起点，保持同方向缓慢移动S2，记下斜率负、正变化的直线出现的位置，连续12组数据。

相位法测光速

设沿传播方向上两点 A 和 B 的位置坐标分别为 x_1 和 x_2 ，则两点间调制波位相差满足：

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda_t} (x_2 - x_1) \tag{2-2}$$



只要测量 A 和 B 两点之间的距离及相应的位相差，就可求得调制波的波长 λ_t ，从而在已知调制波频率 f_t 的前提下，可得光速：

$$c = f_t \lambda_t \tag{2-3}$$

本实验采用的调制波频率为 150MHz，远小于可见光频率（约 10^{14} Hz），调制波波长 λ_t （ 10^0 m 数量级）比可见光波长大得多，实验中更容易测量，且具有较高的精度。

差频法测位相差

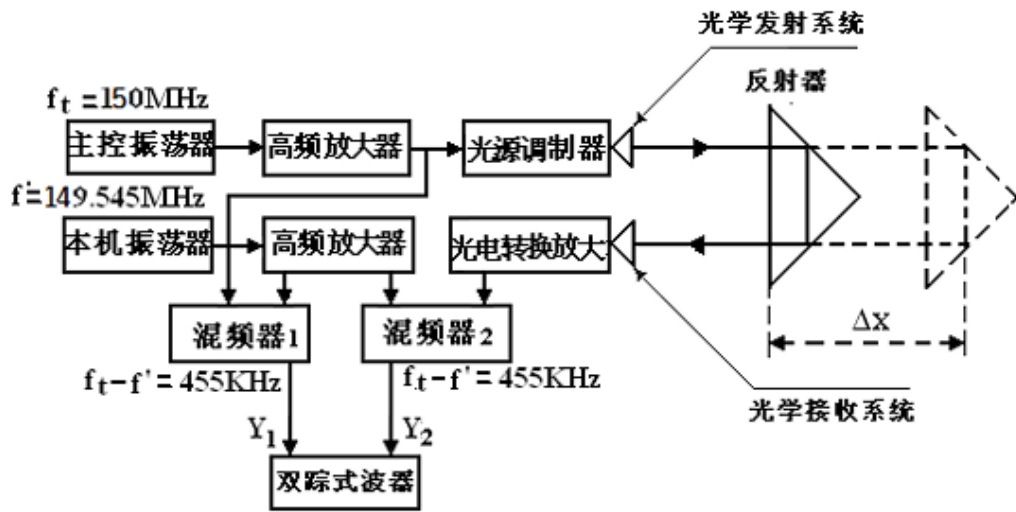


图 2-1 光速测量仪工作原理图

。当反射器移动 Δx ，则被测信号的光程改变 $2\Delta x$ ，由公式（2-2）可得：基准信号和被测信号的位相差改变：

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda_t} \cdot 2\Delta x \tag{2-4}$$

当反射器移动 Δx 时，示波器上可观察到被测信号波形移动。通过示波器读出被测信号在水平时间轴移动距离 Δt ，就可求得反射器移动 Δx 引起的基准信号和被测信号的位相改变：

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta t}{T} 2\pi \tag{2-5}$$

其中 T 为被测信号周期（ $T = 1/455\text{KHz}$ ），也可在示波器上测得。由此可得调制波波长为：

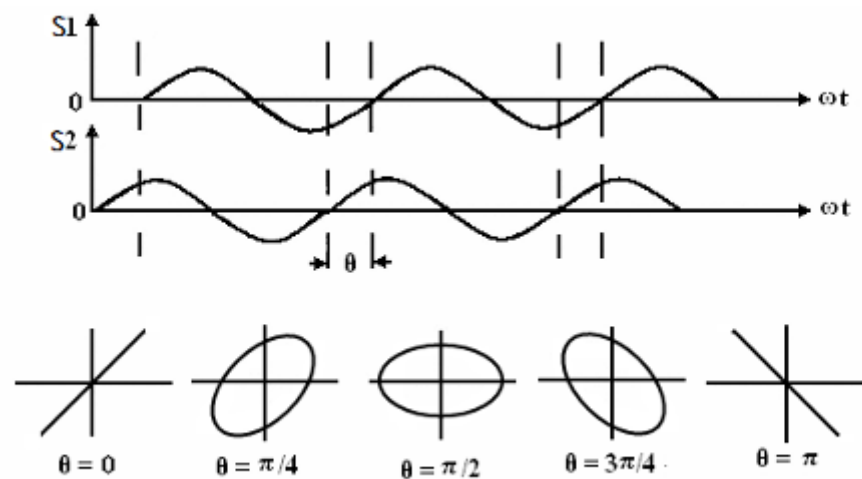
$$\lambda_t = \frac{T}{\Delta t} 2\Delta x \tag{2-6}$$

得到调制波波长 λ_t ，又知调制波频率（150MHz），即可得到光速。若调制波为除了正弦波的其他波形（例如方波），也可以通过改变反射镜的位置，用方波测量相位差，计算出调制波的波长。

（2）测量CH1（或CH2）正弦波周期 T （水平偏转因子设为 $0.5\mu\text{s}/\text{DIV}$ ，示波器水平微调旋钮顺时针旋到底，即处于校准状态），通过周期测量可得到差频后的频率，其值与455kHz应该大约一致。

（3）移动反射镜滑块，观察CH2（测相信号）的相位变化。通过下面方法进行测量CH2波形水平移动距离 Δt 随反射镜移动 Δx 的变化：选择波形中某参考点，移动反射镜滑块，使得这参考点在水平时间轴移动2-5个整数方格（水平偏转因子设为 $0.2\mu\text{s}/\text{DIV}$ ）。即： $\Delta t = \text{移动方格数} \times 0.2\mu\text{s}/\text{DIV}$ 。反射镜滑块移动的距离 Δx 可从导轨上标尺读出。

李萨如图



接收信号与发射信号形成李萨如图

接线与内容1一样。示波器选择X-Y工作模式。移动反射镜滑块，观察李萨如图形的变化。当合成图像为直线时，记录反射镜滑块在导轨中的位置 x_1 ；继续移动反射镜滑块，当合成图像同样为直线但斜率相反时，记录反射镜滑块在导轨中的位置 x_2 。即：两束光距离改变 $2\Delta x$ ($\Delta x = x_2 - x_1$) 时，相位差改变了 π ，此时 $2\Delta x$ 即为半个波长。若由于行程不够，观察不到2条直线斜率的交替变化，可测量合成图像由直线变为椭圆过程中滑块移动的距离（即1/4个周期，此时 $4\Delta x$ 即为半个波长）。

太阳能电池（离网型系统）

并网运行是将太阳能发电输送到大电网中，由电网统一调配，输送给用户。此时太阳能电站输出的电能必需与电网电能同频率、同相位，并满足电网安全运行的诸多要求。大型太阳能电站大都采用并网运行方式。

离网运行是太阳能系统与用户组成独立的供电网络。由于光照的时间性，为解决无光照时的供电，必需配有储能装置，或能与其它电源切换、互补。中小型太阳能电站大多采用离网运行方式。本实验相当于离网型应用系统

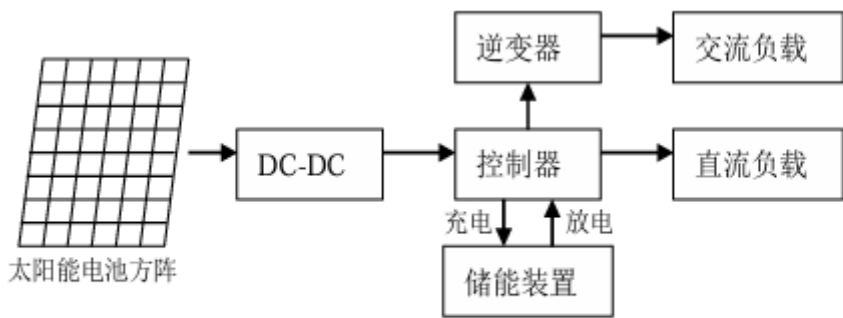


图1 太阳能光伏电源系统

DCDC是变压器。输出功率小于负载功率，储能给控制器输送能量 反之则反

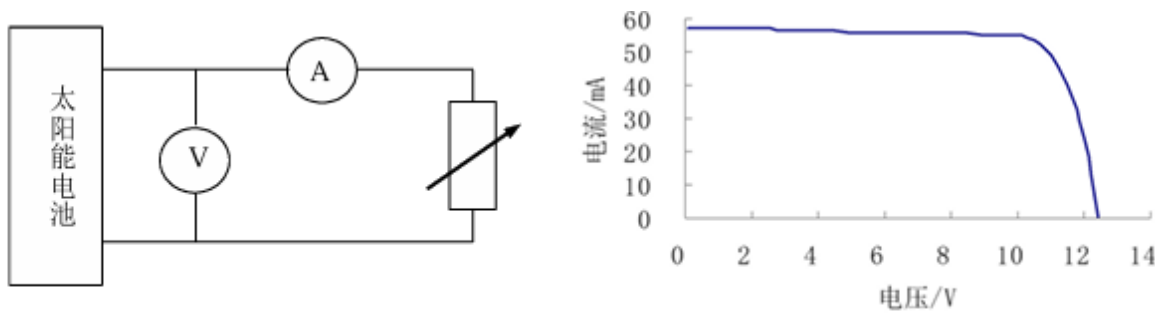


图3 （左）太阳能电池输出伏安特性接线图；（右）太阳能电池伏安特性曲线

失配和遮挡的影响

失配：由于每片电池电性能不一致，使得串、并联后的输出总功率小于各个单体电池输出功率之和，

太阳能电池并联连接时，总输出电流为各并联电池支路电流之和。在有失配或遮挡时，只要最差支路的开路电压高于组件的工作电压，则输出电流仍为各支路电流之和。

太阳能电池串联连接时，串联支路输出电流由输出最小的电池决定。在有失配或遮挡时，会使该支路输出电流降低；同时，失配或被遮挡部分将消耗其它部分产生的能量，这样局部的温度就会很高，产生热斑

适不适用dc/dc

并调节DC-DC使输入电压等于太阳能电池最大功率点对应的输出电压，即可实现在太阳能电池的最大功率输出下的恒功率充电。理论上，采用最大功率输出下的恒功率充电，太阳能电池一直保持最大输出，充电效率应该最高

目前系统中由于太阳能电池输出功率不大，而DC-DC本身有一定功耗，致使两种方式充电效率（以从同一低电压充至额定电压所需时间衡量）差别不大

直接带负载

太阳能电池输出电压与直流负载工作电压一致时，可以将太阳能电池直接连接负载。

加dc/dc

太阳能电池输出电压与直流负载工作电压不一致时，太阳能电池输出需经DC-DC转换成负载电压，再连接负载。本实验比较太阳能电池输出电压与直流负载工作电压不一致时，加不加DC-DC对负载获得功率的影响，说明若不加DC-DC，负载无法正常工作。

金属热学

$$C_2 = C_1 \frac{M_1 (\Delta\theta/\Delta t)_1}{M_2 (\Delta\theta/\Delta t)_2} \quad (1-5)$$

使两样品的温度下降范围 $\Delta\theta$ 相同，(5)式可进一步简化为：

$$C_2 = C_1 \frac{M_1 (\Delta t)_2}{M_2 (\Delta t)_1} \quad (1-6)$$

M1和M2是质量

实验步骤

1. 开启主机加热器电源，预热20分钟左右

2. 强制对流冷却的环境下测量铝、铁样品在100℃时的比热容：

- (1) 开启风扇电源，打开样品室上盖，将标准铜样品套在封装有 PT100 铂电阻的不锈钢圆柱上，手动旋上样品底部的螺纹（不必旋得很紧），盖回样品室上盖；
- (2) 滑杆推到底使样品进入加热器，观察 PT100 铂电阻的阻值。当铂电阻温度超过 115℃时，拉出滑杆，此时风扇对样品进行强制对流冷却（强制对流冷却时，不要使其他热源靠近进风口，并保持进、出风口的畅通）。**参数设置中，设置自动计时。**主菜单，光标移到【开始计时】，按下确定，当温度降低到 105℃时自动计时，当温度降低到 95℃时自动停止，记录所需时间 Δt ，**重复测量 5 次。**注：因热传导产生的延后性，铂电阻所测得的温度会上升一端时间后才开始下降。
- (3) **样品温度降至 45℃以下（小心烫伤），**更换为金属铝、铁样品，测量样品的 Δt 。

3.自然冷却的环境下测量铝、铁样品在100℃时的比热容 关闭风扇电源，用实验过程3中所述同样的方法测量并计算铝、铁样品的比热容，并与实验过程3所测得的结果作比较（更换样品时可用风扇冷却）。

实验2：流体换热法测量金属的导热系数

，则在相同时间内，通过圆柱体各横截面的热量应该相等，达到稳定导热状态。在 t 时间内，沿圆柱体各截面流过的热量 Q 满足：

$$Q = \lambda S t \frac{T_A - T_B}{l} \quad (2-1)$$

式中 S 为圆柱体横截面积， T_A 、 T_B 为截面 AA'、BB' 处的温度， l 为截面间距离， λ 即为材料的导热系数。

稳定导热状态下， t 时间内流出的冷却水质量为 m ，温度由流入的 T_C 升高到 T_D ，则被水带走的热量为：

$$Q = mc(T_D - T_C) \quad (2-2)$$

式中 c 为水的比热容。

将式 (1) 以及 $S = \pi d^2/4$ (d 为圆柱体直径) 代入式 (2) 便可求出：

$$\lambda = \frac{4mc(T_D - T_C)}{\pi d^2 t (T_A - T_B)} \quad (2-3)$$

实验细节

1.通过主机箱上“温度控制”的两个按键设置样品热端加热温度（70oC），开始对样品一端进行加热。

2.打开流水管道上的各个水阀（**水阀把手方向与水管方向平行**为开启），注射器向最上方的水箱内注入冷水，直至中间水箱蓄水，并开始从中心管道下漏时，可认为中间水箱的水位基本恒定。调节水阀（只打开很小角度），使得单位时间内有适量的稳定流速的水流过样品冷却端（不宜过快）

排除气泡：先关闭阀门，拆下软管，打开阀门冲出气泡，关闭阀门插入

抽出杂质：和上面一样，用注射器抽出杂志

如图4盛水器搁置在方形水槽一角，接出水口流出的热水，同时按下主机箱上“开始/停止”键，测量**100s**时间内三角型盛水器盛水后的质量 m_2 ，得出100s流出的水质量 $\square m$ ，再次记录ABCD四点温度值。

核磁共振

通过量未知原子核的共振频率 ν_N 便可求出待测原子核 γ 值（通常用 $\gamma/2\pi$ 值表征）或 g 因子；

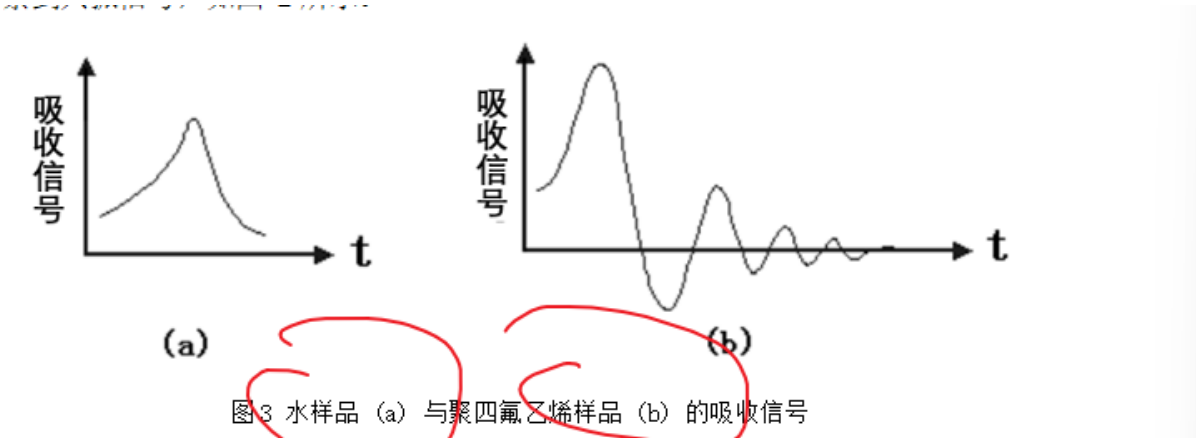
$$\frac{\gamma}{2\pi} = \frac{\nu_N}{B} \quad (7)$$

$$g = (\mu_N / h)^{-1} \nu_N / B \quad (8)$$

其中 $\mu_N/h = 7.6225914\text{MHz/T}$ 。 g 因子的公认值：H 核 $g_H=5.5857$ ，F 核 $g_F=5.2567$ 。

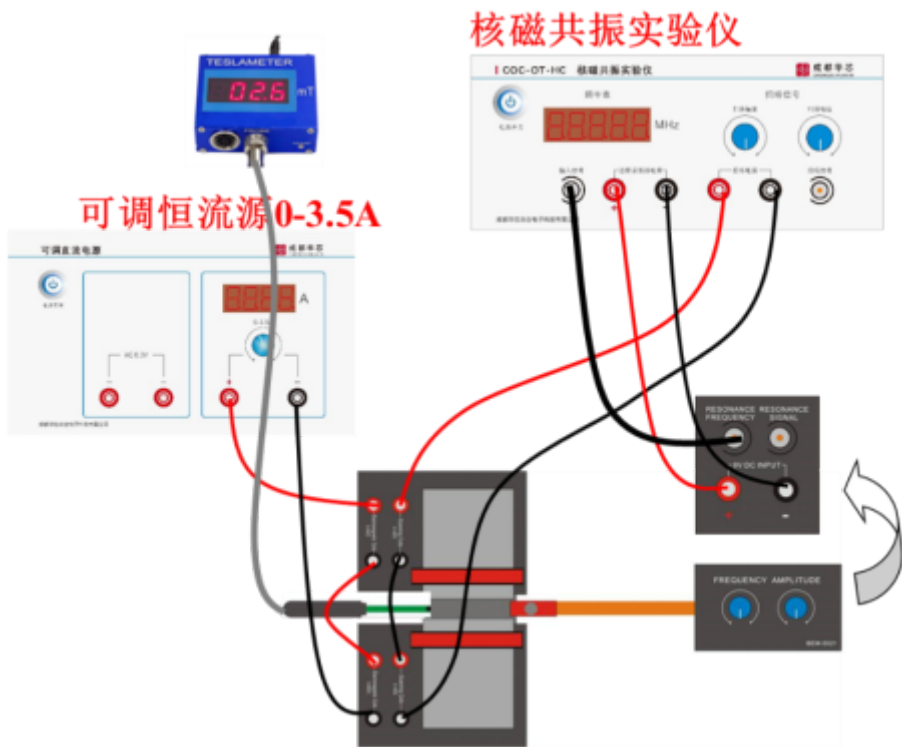
实验采用的方法，即固定射场的频率，连续改变磁场的大小，这种方法称为扫场方法。

另外一种方法是固定B，改变频率



只要 $2\pi\nu/\gamma$ 落在 $B_0 - B' \sim B_0 + B'$ 范围内就能观察到共振信号，但这时 $2\pi\nu/\gamma$ 未必正好等于 B_0 ，从图上可以看出，此时各个共振信号发生的时间间隔并不相等，共振信号在示波器上的排列不均匀。只有当 $2\pi\nu/\gamma = B_0$ 时，它们才均匀排列

当 $2\pi\nu/\gamma = B_0 - B'$ 或 $2\pi\nu/\gamma = B_0 + B'$ 时，在示波器上也能观察到均匀排列的共振信号，但它们的时间间隔是20 ms，只有当共振信号均匀排列而且间隔为10ms时才有 $2\pi\nu/\gamma = B_0$



1. 按图 7 连接导线。。
2. 小心地将掺有硫酸铜的水样品放入探测线圈中，并轻轻地推动导轨上的拖板，使探测线圈和样品大致置于磁场的中心。**注意：由于玻璃元件，放置样品需小心。**
3. 打开所有设备电源开关。调节恒流源 0-3.5A 励磁电流输出为 0A。调节核磁共振实验仪的扫场幅度调节旋钮“AMPLITUDE”到较大幅度（一般为总输出的 1/3 圈，即转小半圈左右）。调节探测器单元的幅度调节旋钮“AMPLITUDE”到最右边（即顺时针旋到底）。
4. 按示波器“**AUTO**”按钮，此时应该可以在示波器上看到一个类似正弦波的图形。如波

6 / 12

形不稳定，可以按示波器右侧“**TRIGGER**”区“**MENU**”按钮，在屏幕右侧弹出菜单中设置触发模式为 **AC**（市电触发）。建议设置通道 CH1 的电压增益为 100mV，设置时间增益为 5ms，示波器设置 **Acquire->获取方式->高分辨率**

5. 调节探测器单元的频率调节旋钮“**FREQUENCY**”到较小的数值（例如 10.0MHz，频率显示在实验仪的频率表中）。
6. 慢慢地调节恒流电源 0-3.5A 的旋钮（即增加电磁铁线圈的励磁电流，加大磁场强度），直到在示波器上原来正弦波的基础上看到振荡波形（共振信号，图 8），若共振信号太大或太小，可以调节示波器电压增益旋钮。
7. 慢慢的调节扫场电源幅度调节旋钮“**AMPLITUDE**”，使共振信号幅度最大（若信号移位或者消失，可以微调励磁电流旋钮（0-3.5A）使其再出现）。
8. 慢慢的移动导轨上的拖板和升降调节架，即改变样品在磁场中的位置，找到共振信号最大的位置，对于水样品，应尽可能使尾波中振荡的次数最多。（若信号移位或者消失，可以微调励磁电流旋钮便可使其出现）。
9. 微调励磁电流（0-3.5A）大小，使共振信号在横轴方向均匀分布（即几个信号在示波器 x 轴方向上等间距，即 $T_1 = T_2$ ），如图 8。
10. 换上聚四氟乙烯样品，重复上述步骤。

二、测量掺有硫酸铜的水样品（ ^1H 核）和聚四氟乙烯（ ^{19}F 核）样品的 g 因子

1. 将水样品放入探测线圈中，重复前面步骤，找到最佳共振信号。
2. 读出核磁共振实验仪表上频率计的显示频率 ν ，把他们记录在表 1 中。
3. 取出样品，旋开特斯拉计探头的保护套，在无磁场处调零。将探头固定在电磁铁顶部的支架上，测量探测线圈内的磁场 B_0 ，测量 B_0 时需调节探头与磁场方向垂直（找到读数最大处）。
4. 增加频率 ν （每次增加 0.3MHz），重复上面测试过程。在表 1 中记录下相应磁场强度 B_0 和共振频率 ν 。
5. 更换聚四氟乙烯样品，测量多组数据记录在表 2 中。

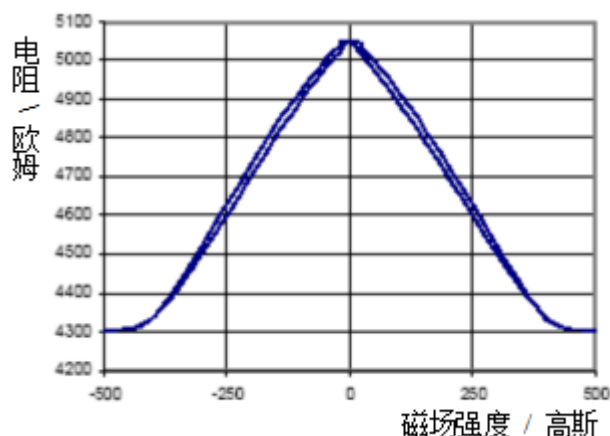
7 / 12

巨磁电阻

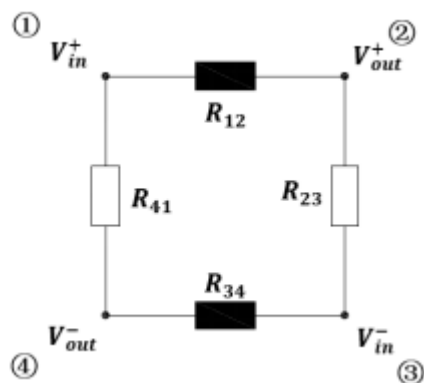
根据导电的微观机理，电子在导电时并不是沿电场直线前进，而是不断和晶格中的原子产生碰撞（又称散射），每次散射后电子都会改变运动方向，总的运动是电场对电子的定向加速与这种无规则散射运动的叠加

在图1左所示的多层膜GMR结构中，无外磁场时，上下两层磁性材料是反平行（反铁磁）耦合的。施加足够强的外磁场后，两层铁磁膜的方向都与外磁场方向一致，外磁场使两层铁磁膜从反平行耦合变成了平行耦合。电流的方向在多数应用中是平行于膜面的。

随着外磁场的增大，电阻逐渐减小，其间有一段线性区域。当外磁场已使两铁磁膜完全平行耦合后，继续加大磁场，电阻不再减小，进入磁饱和区域。在整个磁场变化过程中，磁阻变化率 $\Delta R/R$ 达百分之十几，加反向磁场时磁阻特性是对称的。注意到图3右中的曲线有两条，分别对应增大磁场和减小磁场时的磁阻特性，这是因为铁磁材料都具有磁滞特性



如果4个GMR电阻对磁场的响应完全同步，就不会有信号输出。因此将处在电桥对角位置的两个电阻覆盖一层高导磁率的材料如坡莫合金，以屏蔽外磁场对它们的影响；而另外的一对对角电阻阻值随外磁场改变。同时设计有磁通聚集器，它的高导磁率将磁力线聚集在非屏蔽电阻所在的空间，进一步提高了传感器的磁灵敏度。



在图 2 电桥电路中，如无外磁场时 4 个 GMR 电阻的阻值均为 R ，非屏蔽电阻在外磁场作用下电阻减小 ΔR ，输出电压为：

$$U_{out} = U_{in} \Delta R / (2R - \Delta R) \quad (1)$$

由理论分析可知，通有电流 I 的无限长直导线，与导线距离为 r 的一点的磁感应强度为：

$$B = \mu_0 I / 2\pi r = 2I \times 10^{-7} / r \quad (2)$$

五、螺线管

通电螺线管（图 8）均匀绕制有漆包铜线，用于提供实验所需磁场，根据其尺寸，该实验中默认螺线管中央为均匀磁场，磁场强度 B 大小为：

$$B = \mu_0 NI / L \tag{4}$$

其中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ ，为空气磁导率， I 为输入电流， N 为线

电流测量适配器（图 7 右）用于测试电回路中的电流，适配器输入电流和输出电压关系为

$$U_{out} = 10 \times RI_{int} \tag{3}$$

GMR磁传感器的磁电转换特性测量

记录不同励磁电流下（-200mA~200mA）磁传感器的输出电压（负电流可通过切换电源正负极连接方式实现）。再单调递减励磁电流（200mA~200mA），记录相应输出电压。**注意输出电压与励磁电流不是全程线性关系，所以不能均匀选取数据点**

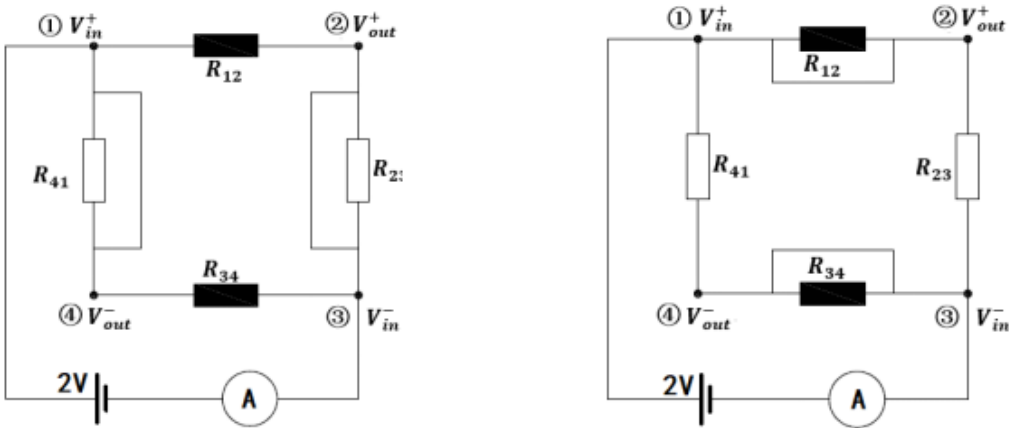


图 12 R_{12} 和 R_{34} 的磁阻特性测试电路（左）和 R_{23} 和 R_{41} 的磁阻特性测试电路（右）

1. 按图12 (左) 将磁传感器扩展板连接到电路（14短路，23短路）中，其中2V恒压由实验电源B通道（0.75V，0.10mA）提供，电流表代表与多功能物理测试仪连接的电流测量适配器。电路接好后请检查一下，不要接到其他通道，否则容易烧毁芯片。
2. 首先按照励磁电流单调递增的方式，记录螺线管不同励磁电流（-200mA~200mA）下的输出电流。取20个以上数据点，取点方式同上。然后按照励磁电流单调递减（200mA~200mA）的方式，记录螺线管不同励磁电流下的输出电流。取20个以上数据点，取点方式同上。

波尔共振

$$\omega_0^2 = k/J, \quad 2\beta = b/J, \quad m = M_0/J$$

$$\theta_2 = \frac{m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \quad (6)$$

$$\varphi = \arctan \frac{-2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (7)$$

由 (6) 式和 (7) 式可以看出，在稳定状态时振幅和相位差保持恒定，振幅 θ_2 与相位差 φ 的数值取决于 β 、 ω_0 、 m 和 ω ，而与振动的起始状态无关。当驱动力的圆频率 ω 与系统的固有圆频率 ω_0 相同时，相位差为 -90° 。

由于受到阻尼力的作用，受迫振动的相位总是滞后于驱动力的相位，即 (7) 式中的 φ 应为负值，而反正切函数的取值范围为 $(-90^\circ, 90^\circ)$ ，当由 (7) 式计算得出的角度数值为正时，应减去 180° 将其换算成负值。

由 (6) 式，将 θ_2 对 ω 求极值可得出共振时的圆频率和振幅 ω_r 、 θ_r 为：

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad (8)$$

$$\theta_r = \frac{m}{2\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \quad (9)$$

将 (8) 式代入 (7) 式，得到共振时的相位差为

$$\varphi_r = \arctan \frac{-\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}{\beta} \quad (10)$$

$$\theta_2 \approx \frac{m}{2\omega_0\sqrt{(\omega_0 - \omega)^2 + \beta^2}} \quad (11)$$

由上式可见，当 $|\omega_0 - \omega| = \beta$ 时，振幅降为峰值的 $1/\sqrt{2}$ ，根据幅频特性曲线的相应点可确定 β 的值。

一、实验原理

开始实验时，需要对角度传感器进行校正。

关闭电机开关，使摆轮处于静止状态。手动调节驱动轮，使其刻线指零，此时摆轮指针也应当基本指零，点击“零点校正”按钮

手动使摆轮转动 90° （正反均可），点击“范围校正”，完成校正。

将采样率调至 100 Hz 或更高，将驱动轮位置调为 0° 。软件界面中单击“连接”按钮。将摆轮拨至一定角度（推荐 145° 左右）振幅应缓慢衰减。等到摆轮的振幅在 120° 左右时，单击“开始记录”按钮，20 秒左右后，停止记录，在菜单栏中选择导出数据，保存数据文件。同样方法测量摆轮振幅在 100° 、 80° 左右时的自由振动周期。

由公式： $\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+n}} = \ln \frac{\theta_1 e^{-\beta t}}{\theta_1 e^{-\beta(t+nT)}} = n\beta \bar{T}$ ，可求出 β 值。

式中 n 为阻尼振动的周期次数， θ_i 为第 i 次振动时的振幅， \bar{T} 为阻尼振动周期的平均值。

当 $n=5$ 时， $\beta = \frac{1}{5\bar{T}} \ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$

对表 2 数据按逐差法处理，可求出不同阻尼电流下的 β 值。

粘滞系数

当流体内各部分之间有相对运动时，接触面之间存在内摩擦力，阻碍流体的相对运动，这种性质称为流体的粘滞性，流体的内摩擦力称为粘滞力。粘滞力的大小与接触面面积以及接触面处的速度梯度成正比，== 比例系数 η 称为粘滞系数（或粘度） ==

$$\eta = 18v_0(1+2.4d/D)(1+3Re/16) / (1+3Re/16)$$

由于 $3Re/16$ 是远小于 1 的数，将 $1/(1+3Re/16)$ 按幂级数展开后近似为 $1-3Re/16$ ，(7) 式又可表示为：

$$\eta_1 = \eta - \frac{3}{16}v_0 d \rho_0 \quad (8)$$

质量为 m ，直径为 d 的小球在密度为 ρ_0 的粘滞液体中作下落运动，所受的重力 G 、浮力 f 和粘滞力 F 作用如图 1 所示。

v_0 是收尾速度

- 1、将样品盒放置在底座上毛玻片上方，使之正对显微镜物镜，再将样品小球放入样品盒中间

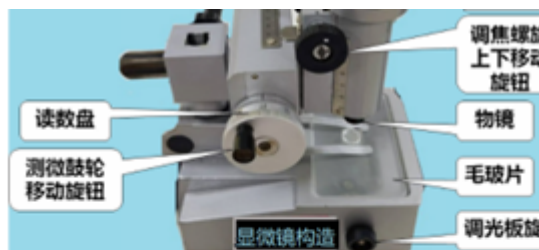


图 5 显微镜图

- 2、调节目镜：边观察视野中十字叉丝

边旋转目镜镜片（勿用手接触镜片），直至十字叉丝调清晰。如叉丝倾斜，可松开目镜与镜架连接的螺丝，旋转镜筒，调好后再锁紧螺丝。

- 3、调节物镜：先粗调后细调

粗调：可以样品盒边沿作为参照物，移动样品盒，先在视野中观察到样品盒边沿，再通过调节调焦螺旋来上下调节物镜，直至视野变清晰

细调：边观察视野，边挪动样品盒，直至观察到小球，进一步调节物镜，直至图像变清晰

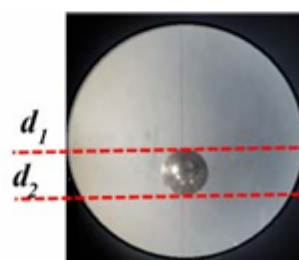


图 6 小球成像图

4

- 4、测量：旋转微测鼓轮移动旋钮，使十字叉丝中的横线与小球相切（如图 6 所示），分别从读数标尺及读数盘读取数据，得到最后读数。



1、借助气泡仪，通过调节变温粘滞系数实验仪的底座螺钉使样品管铅直

2、检查 PID 仪器后面的水管是否与变温粘滞系数实验仪接通、是否连接正确。

注意：样品管上端（即“出水孔”）接 PID 的“进水孔”，下端（即“进水孔”）接 PID 的“出水孔”，不得反接（如图 5）。

3、检查 PID 仪器前面的水位，如低于最低水位，利用漏斗将水箱水加到适当值，不得高于最高水位。检查样品管中蓖麻油，如液位线读数 $>5\text{cm}$ （如图 8），报告老师添加。

4、用挖油勺从样品盒中取一个小球，擦净后从 5 个不同的方位用显微镜分别测定十字叉丝与小球直径相切的 d_1 及 d_2 （见图

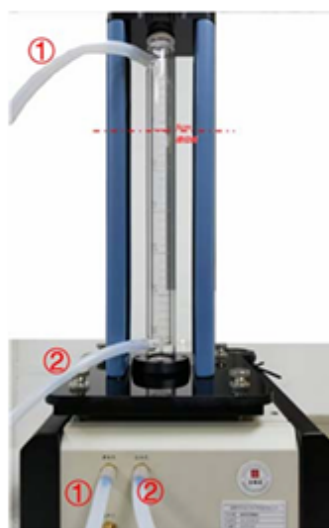


图 8 水管连接图

6)。但是，每个方位测量时，微测鼓轮只能沿一个方向旋转，分别测出 d_1 及 d_2 ，**避免出现空程差**。利用 5 个直径 d ，最后得到平均值，记入参考表 1 中。

5、设计实验的目标温度 T 及下降距离 L （**不低于 15cm** ），其中**目标温度选为 5 的倍数**，**初始温度不低于室内温度**，**最高温度不高于 60°C** ，每个目标温度间隔 5°C ，并记入表 2。

6、设定 PID 参数，使用方法见实验仪器。设置项目编号和目标温度后，进入实验界面，按下“启控/停止”键，待屏幕显示“可以开始实验”后，即可进行实验。

5

7、测定目标温度下小球在液体中的下落速度。

用挖油勺盛住小球沿样品管中心轻轻放入液体，要保证小球一直沿样品管中轴线下落，且测量过程中，尽量避免对液体的扰动。

下落一小段距离达到平衡后（**如何判断？**），用停表测量小球落经一段距离 L 的时间 t ，共重复 5 次，测量结果记入表 2，并计算小球速度。

注意：要求用同一小球做实验，第 2~5 次实验中，可以利用磁铁将小球吸到样品管 $h=0$ 处后，用挖油勺取出再重复上述实验。

8、改变目标温度（每个温度间隔为 5°C ），重复步骤 5），将 6 组测量结果记入参考表 2 中。

