

第一届决赛(1985-02) 实验试题及参考解答

1. 多用密度秤

【仪器介绍】

这是一台“多用密度秤”，用它可以测定不同性质、不同形状物体的密度。用多用密度秤测定密度的全部仪器附件都按图 1-1 和图 1-2 放置在两个木盒内。图 1-3 是把它装配起来以后的一种工作状态。

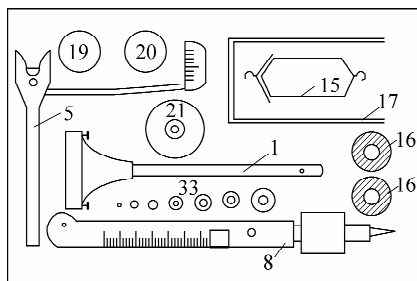


图 1-1

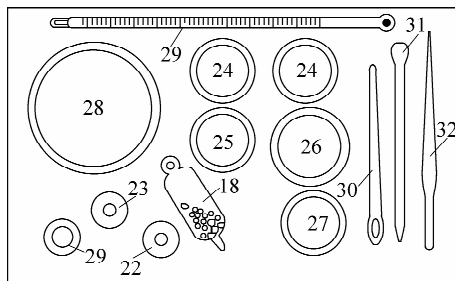


图 1-2

本仪器也可以作为一架不等臂天平使用，用它来称衡物体的质量，其称量是 50 g，感量约为 $n=0.05 \text{ g/div}$ 。

本仪器中有两种标准件：一件是标准砝码(33)，我们暂把它的误差略去不计；一种是标准浮子(18)，它的体积是 10.00 cm^3 ，误差不超过千分之一。

【实验内容】

1. 按图 1-3 装好多用密度秤并调整好，检查其空载时的灵敏度 S_0 ($S_0 = 1/n$) 是否与仪器给定的规格相符。
2. 测定铝柱(22)的质量，并估计其误差。
3. 测定杯中液体的密度。写出测量公式，估计测量结果的误差。

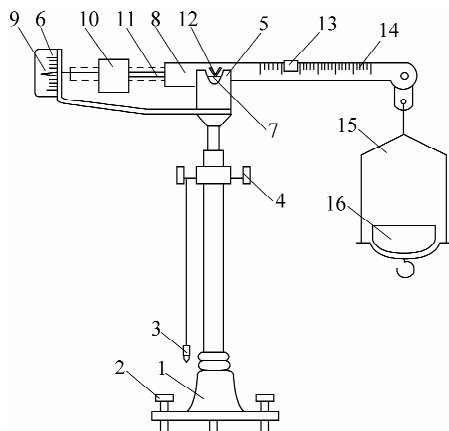


图 1-3

1—底座及柱形支柱 2—水平调整螺丝 3—铅锤 4—固定螺丝 5—带指示标尺的刀垫架 6—指示标尺 7—与支柱垂直的刀垫 8—秤梁 9—指针 10—平衡锤 11—丝杠 12—刀口 13—游码 14—刻度尺 15—秤盘架 16—秤盘两个,供选用 17—玻璃杯 18—标准浮子 19~21—附件(本实验不用) 22—铝柱 23—塑料柱 24~27—样品(本实验不用) 28—玻璃皿 29—温度计 30—小匙 31—移液管 32—镊子 33—标准砝码

【回答问题】

1. 用本仪器及其附件可以测定什么性质的液体的密度? 待测液体的最大密度有没有限制? 请予说明.
2. 上述测定物体质量的实验中,除了标准砝码的误差暂不计以外,根据你实验中的情况,举出可能的测量误差来源.
3. 如果在使用这台仪器的过程中,不慎把游码丢失了,要用铜片补上一个,现有 1.00 mm 厚的铜片,问需用多大面积的一块?(估两位)

【参考解答】

【实验内容】

1. 测定空载灵敏度 S_0 . 方法是将游码在秤梁上移动一定距离,例如相当于加在秤盘里的砝码变化 0.1 g,看指针(9)在指示标尺(6)上变化了多少格. 格数的读数估计一位.
2. 测量结果,铝柱的质量约为 28 g,有效数字四位,根据实际情况估计误差.
3. 测量待测液体密度的公式为:

$$\rho = \frac{m^*}{10.00} \text{ g/cm}^3$$

上式中 m^* 是前面所述的砝码加游码的读数值.

测量结果,给定的液体的密度 $\rho > 1 \text{ g/cm}^3$,结果的有效数字四位. 根据实际情况估计

误差.

【回答问题】

1. 本仪器利用玻璃标准浮子,可以测定与玻璃不起化学作用的液体密度.

可测的待测液体的最大密度 $\rho_{\max}$ 取决于标准浮子的质量 m_0 的克数 m_0^* , 即

$$\rho_{\max} = \frac{m_0^*}{10.00} \text{ g/cm}^3$$

2. 主要的误差来源是以下几项:

(1) 当指针处于平衡位置时读数的视差和估读误差.

(2) 由于刀口和刀垫的选材、加工、配合、磨损、调节以及尘埃等引起的,当刀口处于不同位置时读数的不重复性.

(3) 由于游码质量不准,致使游码在秤梁上移动 100 个小分度不等于在秤盘中改变 1 g 砝码,因此,游码的读数就有系统误差.

3. 用所给的米尺测量秤梁的刀口与秤盘的挂钩之间的长度 l_1 和秤梁上 100 个小分度的长度 l_2 ,都读出三位数字,于是游码的质量

$$m_1 = \frac{l_1}{l_2} \times 1.00 \text{ g}$$

实测 $l_1 \approx 11.2 \text{ cm}$, $l_2 \approx 8.00 \text{ cm}$, 可得 $m_1 \approx 1.40 \text{ g}$. 已知铜的密度约为 8.9 g/cm^3 , 于是所用的薄铜片的面积

$$A \approx \frac{m_1}{8.9 \text{ g/cm}^3 \times 0.100 \text{ cm}} \approx 1.57 \text{ cm}^2 \approx 1.6 \text{ cm}^2$$

2. 黑 盒 子

给你一个黑盒子,盒子上面有四个接线柱,编号标明在盒面上,盒内装有三个元件,按一定方式连接.每两个接线柱之间最多只连有一个元件,可能没有,可能短路.盒内的三个元件,可能是电池、电阻、电容、电感或半导体二极管.请你利用所给仪器完成以下实验要求:

1. 确定黑盒子内三个元件的名称,绘出它们的连接图.要求说明所确定的电路图及元件名称是唯一可能的理由.

2. 确定各元件的数值.写出计算公式,简要说明测试方法和条件.

【仪器与用具】

1. 信号发生器:这是一台能提供正弦波形电压的交流电源,其输出信号的频率和电压都可以改变(面板如图 1-4 所示).

使用时,首先打开电源开关(指示灯亮),调节信号输出,输出电压值可由面板上电

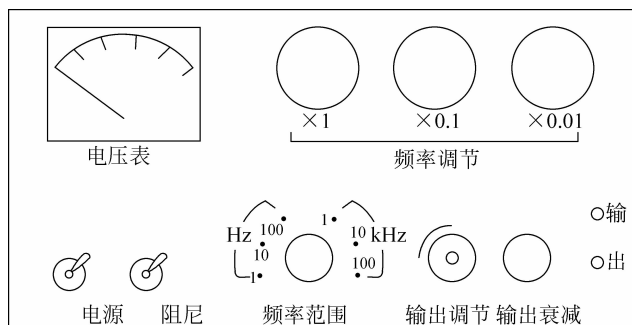


图 1-4

压表读出. 调节“频率范围”及“频率调节”旋钮, 频率读数为: “频率范围”旋钮所指处乘“频率调节”指示数. 如“频率范围”指 1 kHz 与 10 kHz 之间, “频率调节”指 3.21, 则频率为 $1 \text{ kHz} \times 3.21 = 3.21 \text{ kHz}$. 仪器使用完毕, 应将“输出调节”减小至零, 而后切断电源.

2. MF-20 型多用电表. 使用时注意以下几点:

(1) 测直流量时, 把测试笔接在“直流”接线柱上; 测交流量时, 把测试笔接在“交流”接线柱上.

(2) 面板上有两个旋钮转换开关. 其中一个旋钮开关指示被测量的种类, 如直流电压 V , 直流电阻 Ω , 直流电流 mA , 交流电压 V 等; 而另一个旋钮开关, 则是根据被测物理量的大小选择不同的量程.

(3) 用完本表, 应将电表的旋钮开关拨至直流电压最高挡.

3. 导线若干根.

参考解答

本试题考虑到参加竞赛的是中学生, 黑盒子里元件不可过多, 连接方式的判断不宜过难, 因此只放了三个元件. 这样, 学生在实验中做出判断比较容易一些.

学生在看题以后, 应该首先根据题意进行分析. 盒子内只有三个元件, 而且可能的元件只有电池、电阻、电容、电感或半导体二极管五种, 因此, 至少有两种元件是不存在的. 学生可根据这五种元件的性质, 利用所给仪器, 确定这些元件是否存在. 在定出盒内可能的三种元件后, 再仔细确定它们唯一可能的位置和数值.

下面我们提供一种可能的实验步骤及理由, 供参考.

1. 首先应当确定有无电池. 它不仅容易判断, 还因为如果有电池存在而没有找出其确切位置, 就不能用多用电表的电阻挡去测各接线柱间电阻, 否则就可能烧毁多用电表, 这是绝对不允许的.

用多用电表直流电压挡测量时,由于不知可能存在的电池的电动势值,应选用较高电压挡去逐点测量黑盒子上每两个接线柱间的电压,测量结果指针没有偏转.再改用直流电压最低挡进行测量,指针仍然没有偏转,这说明黑盒子内没有电池.

2. 其次应该判断有无二极管.因为二极管正、反向电阻不同,比较容易判断.所以,应当用多用电表的电阻挡测两个接线柱间电阻,并将测试表笔互换位置,测出所有接线柱间的正、反向电阻值,若两值相差较大,说明有二极管存在.

在用多用电表电阻挡实测每两个接线柱间的正、反向电阻时,测量结果都相同,这说明黑盒子内没有二极管.因此只剩下有电阻、电容和电感的可能性.

3. 确定黑盒子内有几个电容.黑盒子上四个接线柱间连有三个元件,如果三个都是电容,则对于直流电来说,任意两个接线柱间都是断路.用多用电表的电阻挡($\times 100$ 或 $\times 1\text{ k}$)检测时,测不出阻值,只可能看见充放电现象,即看见指针有一偏转后又回到 ∞ ,相当于断路.如果有两个电容,必有一个且只有一个电阻(电感),那么除了能观察到充放电现象,还可以测出在某一对接线柱间的电阻值不为 ∞ ,而且只有一对.如果有一个电容,那么一定有两个电阻(电感),就应当能观察到充放电现象并能在两对或两对以上接线柱间测出不为 ∞ 的电阻值.如果没有电容,就观察不到充放电现象.

根据上述分析进行测试.在测试过程中观察到充放电现象,并且在四个接线柱间测出三个不为 ∞ 的电阻值,实测结果如表 1-1 所示.

表 1-1 接线柱间直流电阻测试结果

接线柱号码	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
有无放电现象	无	有	无	有	无	有
接线柱间电阻符号	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{23}	R_{24}	R_{34}
测出电阻值/ Ω	183	∞	200	∞	17	∞

表 1-1 中黑盒子上接线柱号码排列顺序如图 1-5 所示.由表中测量结果可以确定盒内有一个电容,其余两个元件为电阻或电感.

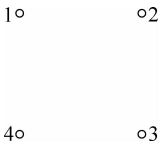


图 1-5

4. 对以上测量结果进行分析,确定电阻(电感)的确切位置.根据表 1-1 中 1-2,1-4 和 2-4 以及测出的接线柱间的电阻值(R_{12} , R_{14} 和 R_{24}),可作如下分析:

- (1) 没有短路, 因为没有—个电阻值为零.
- (2) 在 1、2、4 接线柱间没有观察到充放电现象, 说明这三个接线柱间没有电容.
- (3) 在这三个接线柱间都能测出不为 ∞ 的电阻值, 说明上述两个电阻(电感)元件都在它们之间, 否则只能在一对(或没有)接线柱间测出不为 ∞ 的电阻值.
- (4) 再根据 $R_{14} = R_{12} + R_{24}$ 可以看出两个电阻(电感)分别位于 1、2 间和 2、4 间, 如图 1-6 所示.

5. 对表 1-1 中测量结果进一步分析, 以确定电容的确切位置. 根据在三对接线柱间观察到有充放电现象, 它们的位置是 1-3 间, 2-3 间和 4-3 间, 且前面分析已确定只有一个电容, 可以断定这一个电容的一端连在接线柱“3”上, 但另一端还不能确定在哪个接线柱上, 因此有如图 1-7 所示的三类连接方式的可能性(每类图中电阻处都可能认为是电感). 为了进一步确定电容的位置, 下面需接入交流电.

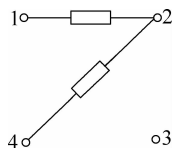


图 1-6

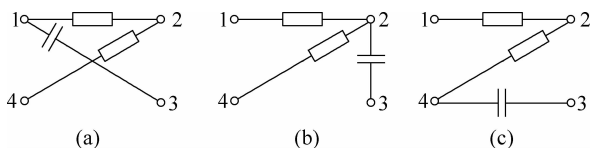


图 1-7

将信号发生器输出电压加在 3-4 两端, 用多用电表交流电压挡检测 1-2 端, 只有(a)类电路的 1-2 端间有电压, 其余两类的 1-2 端间均无电压. 所以, 如果在 1-2 端间测出有电压, 即可肯定属于(a)类电路, 电容位于 1-3 间. 如果 1-2 端间没有电压, 必属于(b)、(c)两类电路. 此时用多用表交流电压挡测 2-4 端间的电压, 若有则属于(b)类, 电容在 2-3 端间; 若无则属(c)类, 电容在 3-4 端间. 根据以上分析进行实验, 测试结果是在 1-2 端间有电压, 因此确定电容位于 1-3 端间.

6. 根据电阻元件和电感元件的性质判断 1-2 间和 2-4 间是电阻还是电感. 电感元件和电阻元件的差别在于通过交流电时, 电阻元件的阻值应与交流电频率无关, 而电感元件的阻抗随交流电频率改变, 据此采取下列办法进行判断.

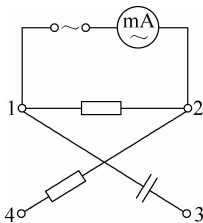


图 1-8

将信号发生器,多用表交流电流挡和 1-2 端相串联,如图 1-8 所示. 保持信号发生器输出电压值不变,改变其频率,通过多用表交流电流挡观察此串联电路中电流是否随频率变化. 若随频率变化,则 1-2 端间是电感元件;若不随频率变化,则 1-2 端间是电阻元件. 同理,可以判断 2-4 端间是电阻元件还是电感元件. 观察结果见表 1-2.

表 1-2 观察结果

接入串联电路中接线柱号码	1-2	2-4
电流是否随频率变化	不变	变

由观察结果说明 1-2 端间是电阻元件,2-4 端间是电感元件. 所以黑盒子内三个元件是一个电阻、一个电感和一个电容,连接如图 1-9 所示.

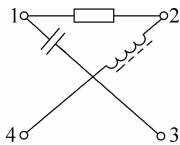


图 1-9

7. 确定电感及电容的值.

(1) 电容值的确定. 将信号发生器输出电压加在图 1-9 的 2-3 两端,电阻 R_{12} 、电容和电源构成一个闭合电路. 用多用表交流电压挡分别测出电阻及电容上的电压 U_R 和 U_C , R_{12} 阻值已经测出,所以回路中电流为 U_R/R_{12} . 由公式 $U_C/(U_R/R_{12}) = Z_C$ 可以求出电容元件的阻抗 Z_C ,而 $Z_C = 1/(2\pi fC)$,式中 f 可由信号发生器面板上读出,所以电容值 C 可通过下式求出:

$$C = U_R / (2\pi f U_C R_{12})$$

(2) 电感值的确定. 与测量电容方法类似,所不同的是将信号发生器输出电压加在图 1-9 的 1-4 两端,使电感 L 、电阻 R_{12} 和电源构成一闭合电路. 用多用表交流电压挡分别测得电阻及电感上电压 U_R 和 U_L ,又因为 R_{12} 阻值已测得, f 为信号发生器输出频率,若不计电感的直流电阻的影响,则可由下式求出电感值,即

$$L = U_L R_{12} / (2\pi f U_R)$$

需要指出,实验中所用的电感的直流电阻约为 $20\ \Omega$,实际上不能忽略,但对此项带来的误差不作要求. 其次,实验中使用的电感含有铁芯,所以电感值与频率有关,故本题只求学生的测量方法及计算公式正确,对测量结果只需在学生所选用的测量频率下计算正确即可.

表 1-3 和表 1-4 中给出了一组测量数据,供参考.

表 1-3 电容值测试结果

f/Hz	R_{12}/Ω	U_R/V	U_C/V	$C/\mu\text{F}$
1.00×10^3	183	0.750	0.630	1.03

表 1-4 电感值测试结果

f/Hz	R_{12}/Ω	U_R/V	U_L/V	L/mH
1.00×10^4	183	0.720	0.606	2.45

在考查学生掌握理论与实验的能力方面,黑盒子实验是一种很好的命题方式.它能考查学生是否具有较好的理论水平同时又具有较高的实验技能;是否能理论与实验相结合去分析、判断较复杂的问题;是否具有较强的独立思考和灵活处理问题的能力.

从本题的参考解答可以看出,要成功地解答这种问题所需要的分析、推理、判断与进一步检验的能力很能反映考生的理论与实验素养.例如,用多用电表电阻挡在接线柱间进行测试,可根据有无充放电判断是否有电容器,把具体测试结果列出表 1-1 则可由它做出多个结论,引出进一步的分析与测试检验.又例如要能够区分电阻与电感元件就必须从理论上了解这种电学元件的性能才能想到要利用信号发生器去探测.又例如在推理过程中必须能列举各种可能性,并用实验去检验以做出排除某些可能性的判断.这些都要求考生在日常学习中认真掌握原理概念,随时结合实际想到如何去应用.此外,当遇到不甚熟悉的问题时,要想出解决的办法常常要靠回到基本概念上去考虑问题.例如,在确定电容的值时,从基本概念上知道,在串联电路上电流在各元件中是相同的,因此把交变电压加在接线柱 2 与 3 上,再测出 U_R 和 U_C 就有 $U_R = R_{12}I$ 与 $U_C = Z_C I$,再根据 $Z_C = 1/(2\pi fC)$ 就可解出 C 来.确定电感的值的方法也相似.

第二届决赛(1986-04)

实验试题及参考解答

1. 粘滞系数的测量

半径为 r 的小球在广阔的流体中以速度 v 缓慢运动时,它所受到的阻力(称为粘滞阻力) F 的表示式为

$$F = 6\pi\eta rv \quad (1)$$

式中 η 为表示流体粘滞性(流体的内摩擦)大小的粘滞系数,其值与流体的性质及温度有关.在国际单位制中, η 的单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (或 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). (1)式称为斯托克斯定律,利用此定律可以测定流体的粘滞系数.

令小球在流体中下落,随着下落速度 v 的增大,它所受到的粘滞阻力也增大.当作用于小球的重力与浮力和粘滞阻力相平衡时,小球以匀速下落,此时有

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g + 6\pi\eta rv \quad (2)$$

式中 ρ 和 ρ' 分别为小球和流体的密度, g 为重力加速度,由(2)式可得

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho')gr^2}{9v} \quad (3)$$

如果 ρ 、 ρ' 和 g 已知,则只要测出小球的半径 r 和匀速下落的速度 v ,就可由(3)式算出流体的粘滞系数.

现要求用此法测定蓖麻油的粘滞系数,但实验不是在广阔的流体中进行,而是在一内径较小的、盛满蓖麻油的圆柱形长管中进行,为此特提供 4 种不同半径的小球,以便通过对 4 种小球测得的结果进行数据处理后,求得更准确的 η 值.

【仪器与用具】

4 种不同半径的小圆球(每种各有 2 粒,粒 A 与粒 B,共 8 粒);另备有半径较大的小球 3 粒,供试验用,不用于正式测量.

盛满蓖麻油的柱形玻璃管,管上有两刻线,两刻线间距离 $l = \underline{\hspace{2cm}}$. (在此段距离内,小球做匀速运动.)

秒表,千分尺,附有底脚螺旋的三足支架,重锤线,夹具等.

可供利用的数据:

小球的密度 $\rho=7.90 \text{ g/cm}^3$, 蓖麻油的密度 $\rho'=0.950 \text{ g/cm}^3$,

重力加速度 $g=979.4 \text{ cm/s}^2$, 室温 $T=\text{_____}^\circ\text{C}$.

参考解答

1. 由于(3)式在广阔流体的条件下成立,而实验中盛流体的容器仅为约 25 mm 内径的圆截面柱形长管,所以实验时必须先调节圆管使之竖直,且使小球沿管中心轴下降.如此,对一定直径的小球而言,管壁的影响才能恒定.

2. 我们分别用直径 d 不同的 4 种小球做实验.从测量结果知道,对不同的 d 值,由(3)式算得的 η 值不同(d 越小, η 也越小).此为容器壁对不同直径小球所施加的影响不同的缘故,而小球的 d 值越小,器壁影响应该越小.因此可推测,当 d 相对于盛油管的内直径 D 来说,其值非常小时,用(3)式算出的 η 才是正确的数值.进一步可作 $\eta-d$ (或 $\eta-r$) 坐标图,以了解 η 随 d 变化的规律.而发现 η 与 d 符合直线关系,于是外推到 $d=0$ 的情况,即求取直线在 η 轴截距 η_0 ,这就是所要求的粘滞系数值.

3. 应对 8 粒小球(每种 2 粒)进行测量(指测小球直径和下落时间).[若有的学生只测量了 1 粒小球,监考教师不应作任何暗示.]

$$4. (3) \text{式应写为: } \eta = \frac{2(\rho - \rho')g}{9} \cdot \frac{r^2}{v} = k \frac{r^2}{v}$$

如以 $\frac{l}{t} = v$ (t 为小球下落时间)和 $d=2r$ 代入,则有

$$\eta = \frac{(\rho - \rho')g}{18l} \cdot d^2 t = k' d^2 t$$

5. 数据及数据处理举例: 参见表 2-1. 数据表上方记录共用数据,但整体称为数据表.

表 2-1 数据表

$l=38.00 \text{ cm}$, $\rho=7.90 \text{ g/cm}^3$, $\rho'=0.950 \text{ g/cm}^3$, $g=979.4 \text{ cm/s}^2$, $T=\text{_____}^\circ\text{C}$

$k=1\,513 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$, $k'=9.95 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-2}$

小球直径 d/cm	下落时间 t/s			$(r^2/v)/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$	$d^2 t/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$	$\eta/\text{Pa} \cdot \text{s}$
	粒 A	粒 B	平均值			
1.173×10^{-1}	55.73	55.66	55.68	0.005 04	0.766	7.62×10^{-1}
1.558×10^{-1}	33.12	33.06	33.09	0.005 29	0.803	7.99×10^{-1}
1.977×10^{-1}	21.50	21.53	21.52	0.005 53	0.841	8.37×10^{-1}
2.362×10^{-1}	15.78	15.76	15.77	0.005 79	0.880	8.76×10^{-1}