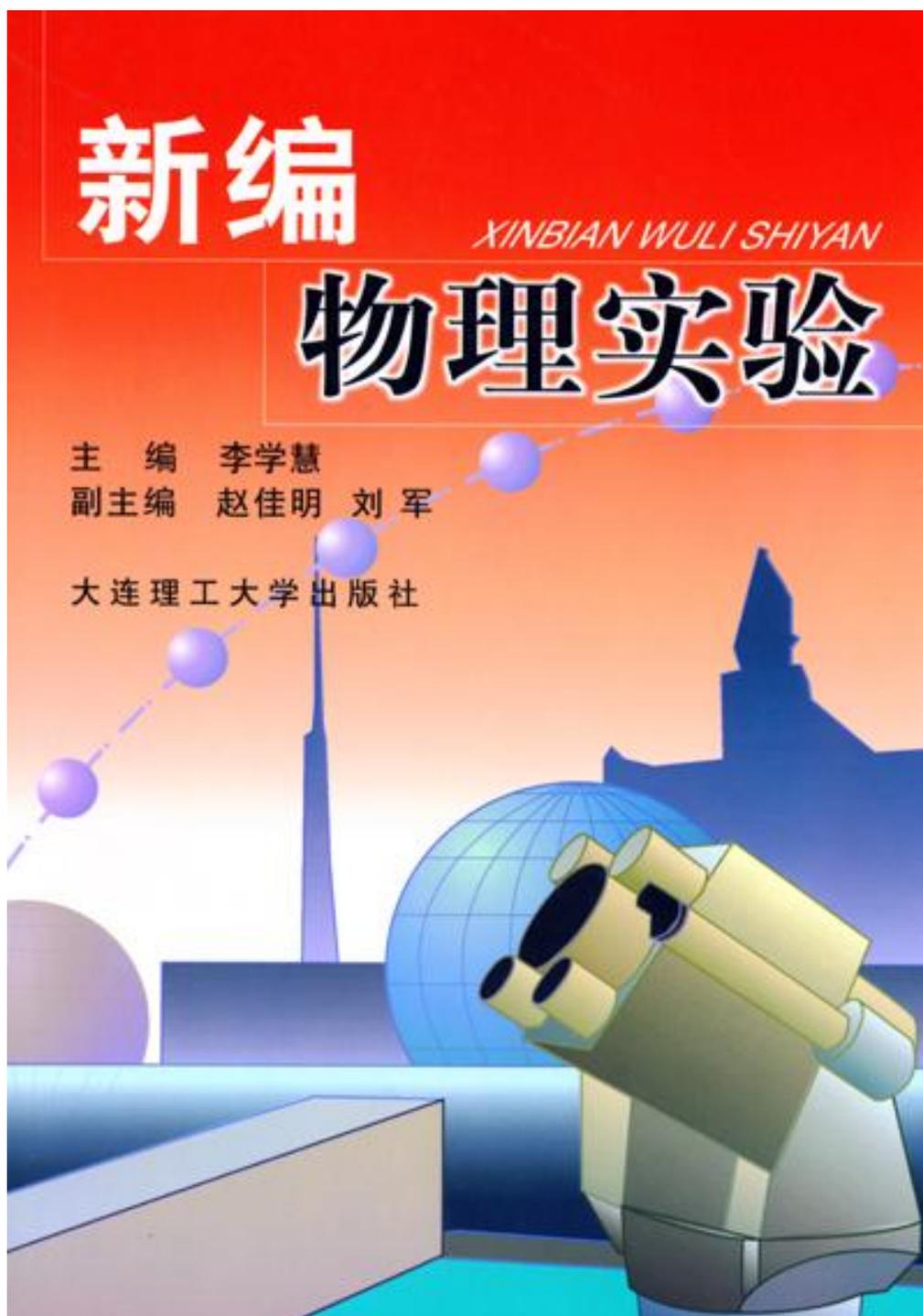


新编物理实验教材封面



出版信息页

图书在版编目(CIP)数据

新编物理实验/李学慧主编. —大连:大连理工大学出版社,1999.9(2002.4重印)

ISBN 7-5611-1681-0

I. 新… II. 李… III. 物理-实验-高等学校-教材
IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 38785 号

大连理工大学出版社出版发行
大连市凌水河 邮政编码 116024
电话:0411-4708842 传真:0411-4701466
E-mail:dutp@mail.dlptt.ln.cn
URL:http://www.dutp.com.cn
大连理工印刷有限公司印刷

开本:787毫米×1092毫米 1/16 字数:437千字 印张:17.5
印数:3051—5600册

1999年9月第1版

2002年4月第2次印刷

责任编辑:刘杰

责任校对:文青

封面设计:孙宝福

版式设计:习文

定价:26.00元

目录

目 录	
序	
前 言	
第一章 物理实验的预备知识	1
1.1 物理实验课程的地位和作用	1
1.2 物理实验课程的教学目的和任务	1
1.3 物理实验教学活动的三个阶段和四个环节	2
1.4 读数和记录	3
1.5 电学实验的预备知识	4
1.6 光学实验的预备知识	6
第二章 物理实验数据的处理方法	9
2.1 引言	9
2.2 几个基本概念	10
2.3 直接测量的数据处理	12
2.4 间接测量的数据处理	18
2.5 双变量测量的数据处理	22
2.6 有效数字及其运算	27
2.7 袖珍计算器的使用	29
第三章 预备性实验	33
实验一 长度与体积的测量	33
实验二 密度的测量	37
实验三 惠斯通电桥	41
实验四 用牛顿环法测平凸透镜的曲率半径	45
实验五 单摆	50
实验六 复摆	53
实验七 可逆摆	54
实验八 透镜焦距的测量	57
实验九 落球法测量液体粘滞系数	61
实验十 混合法测量比热容	64

第四章 基础性实验	67
实验十一 金属杨氏弹性模量的测量	67
实验十二 热电阻和热敏电阻温度特性的测量	71
实验十三 水的表面张力系数的测量	73
实验十四 用模拟法测绘静电场	76
实验十五 金属线胀系数的测量	79
实验十六 用板式电位差计测电池的电动势和内阻	82
实验十七 三线摆测转动惯量	85
实验十八 分光计的调节和使用	88
实验十九 迈克尔逊干涉仪测钠光波长	96
实验二十 用自由落体仪测定重力加速度	99
实验二十一 简谐振动的研究	102
实验二十二 水的汽化热的测量	106
实验二十三 不良导体导热系数的测量	108
实验二十四 验证牛顿第二定律	110
实验二十五 热电偶的定标与测温	113
实验二十六 冲击法测量磁感应强度	117
实验二十七 示波器的使用	121
实验二十八 电子束线的偏转	127
实验二十九 电子束线的聚焦	132
实验三十 灵敏电流计的研究	137
实验三十一 声速的测量	141
实验三十二 冲击法测磁化曲线	144
实验三十三 <i>RCL</i> 串联电路暂态过程的研究	147
实验三十四 <i>RCL</i> 串联电路稳态特性的研究	153
实验三十五 用双臂电桥测低电阻	160
实验三十六 用霍尔效应测量磁场	165
实验三十七 电表的改装和校正	171
实验三十八 透镜组基点的测定	175
实验三十九 单缝衍射相对光强的分布	178
实验四十 液体折射率的测量	181
实验四十一 平行光管的调节和使用	183
实验四十二 用光电效应测量普朗克常量	188
实验四十三 偏振光的研究	191
第五章 选做实验的基本知识	198
5.1 选做实验阶段的教学安排	198

5.2 物理实验课程论文的写作要求	199
5.3 实验设计技术基础	201
第六章 选做实验	208
实验四十四 万用表的设计和组装	208
实验四十五 伏安法测电阻的误差分析与仪表选择	213
实验四十六 测温电桥的电路设计、安装与使用	216
实验四十七 硅光电池的线性响应	220
实验四十八 示波法观测磁滞回线	222
实验四十九 声光效应和声光调制	225
实验五十 用冲击法测量高电阻	229
实验五十一 用冲击法测量电容	230
实验五十二 薄膜厚度的测量	232
实验五十三 电冰箱制冷系数的测量	233
实验五十四 感应法测磁场分布	236
实验五十五 全息照相	240
实验五十六 直流控制电路输出特性的研究	244
实验五十七 磁流体表面密度随外磁场变化规律的实验研究	248
实验五十八 磁流体密封泄放压与外磁场变化关系的研究	249
实验五十九 传感器的应用研究——电子秤	250
实验六十 电饭锅温度控制电路的设计和组装	253
附 表	256
附表 1 长度的测量	256
附表 2 质量的测量	258
附表 3 时间和频率的测量	259
附表 4 温度的测量	259
附表 5 SI 国际单位制简介	261
表 5.1 SI 基本单位	261
表 5.2 SI 辅助单位	261
表 5.3 用 SI 基本单位表示的一部分 SI 导出单位	261
表 5.4 用 SI 辅助单位表示的一部分 SI 导出单位	262
表 5.5 SI 词头	262
表 5.6 用专门名称表示的一部分 SI 导出单位	262
表 5.7 具有专门名称的 SI 导出单位	263
表 5.8 国家选定的非国际单位制单位	264
附表 6 常用基本物理常量	264
附表 7 常用物理数据	265

表 7.1	20℃时一些物质的密度	265
表 7.2	水在不同温度时的密度	265
表 7.3	不同纬度海平面上的重力加速度	266
表 7.4	20℃时某些金属的杨氏弹性模量	266
表 7.5	某些物质中的声速	266
表 7.6	某些液体的粘滞系数	267
表 7.7	某些物质的比热容	267
表 7.8	水的沸点(℃)随压力 p (bar)的变化	268
表 7.9	在 20℃时与空气接触的液体表面张力	268
表 7.10	不同温度下与空气接触的水的表面张力	268
表 7.11	固体的导热系数	268
表 7.12	固体的线胀系数	269
表 7.13	金属和合金的电阻率及其温度系数	270
表 7.14	一些液体的折射率	270
表 7.15	一些晶体及光学玻璃的折射率	270

在实验数据时才会心中有数。

实验二 密度的测量

密度是物质的基本属性之一,工业上常通过测定物体的密度而进行成分分析和纯度鉴定等。

欲测物体的密度 ρ ,只需称量该物体的质量 m 和测定其体积 V ,再由 $\rho = \frac{m}{V}$ 进行计算。物体质量 m 可用天平称量,而对一般固体,很难加工成理想的几何形状,因而用几何尺寸法测体积时,误差很难控制。本实验介绍了常用的测量固体与液体密度的方法——流体静力称衡法。要求学生掌握天平的正确使用方法;学习用交换法消除系统误差;进一步熟练间接测量的不确定度的计算方法。

【实验原理】

1. 测不规则物体的密度

设物体在空气中的重量为 $W_1 = m_1 g$ (m_1 为物体的质量),若它全部浸入水中的视重为 $W_2 = m_2 g$ (m_2 为物体在水中的表现质量),则物体所受浮力为实重与视重之差:

$$F = (m_1 - m_2)g = \rho_0 V g \quad (1)$$

式中, ρ_0 为水的密度,不同温度下水的密度可查表得知。由此可得物体的体积:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_0} \quad (2)$$

将(2)式代入 $\rho = \frac{m_1}{V}$,得物体密度 ρ :

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_0 \quad (3)$$

若待测物体的密度小于液体的密度,则可采用在待测物体下拴挂重物的方法进行测量。所拴挂重物的大小,以拴挂后待测物体能浸没于液体中为准。如图1所示,先使待测物、重物分别处于液面的上、下,即只将重物浸没液体中,此时称衡,相应的砝码质量为 m_1 ;再将待测物连同重物全部浸入液体中进行称衡,如图2所示,相应的砝码质量为 m_2 ,则物体在液体中所受的浮力为

$$F = (m_1 - m_2)g = \rho_0 V g$$

物体的密度为

$$\rho' = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_0 \quad (4)$$

其中, m_1 为待测物在空气中的质量。避开不易直接测量的体积 V ,将其转换为只需测量较易测准的质量称衡问题,是流体静力称衡法的优点。

一般在实验时,液体常用水, ρ_0 即水的密度。不同温度下水的密度值详见本书的附录。

为减小或消除可能存在的天平不等臂系统误差,宜采用交换法(也称复称法)测量。

2. 测液体的密度

用静力称衡法测液体的密度,要借助于不溶于水并且和被测液体不发生化学反应的物

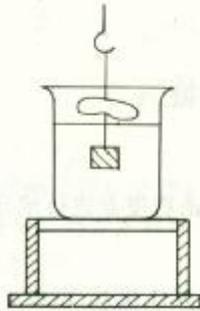


图 1 测 m_4 示意图

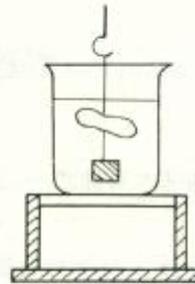


图 2 测 m_5 示意图

体(一般用玻璃块等)。

设物体的质量为 m_a , 将其悬吊在被测液体中的称衡值为 m_b ; 悬吊在水中称衡值为 m_c 。则依阿基米德定律有:

$$\text{液体中} \quad V\rho_x g = (m_a - m_b)g$$

$$\text{水中} \quad V\rho_0 g = (m_a - m_c)g$$

式中, V 为物体的体积; ρ_x 为待测液体的密度; ρ_0 为水的密度。由此二式消去 V , 得

$$\rho_x = \frac{m_a - m_b}{m_a - m_c} \rho_0 \quad (5)$$

若以式(3)中 m_1, m_2 分别代替式(5)中 m_a 和 m_c , 则式(5)变为

$$\rho_x = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_2} \rho_0 \quad (6)$$

【仪器装置】

一等工业天平, 烧杯, 温度计, 蒸馏水。

待测物体: 不规则有机物块(或金属块); 不规则蜡块; 待测液体。

【实验任务】

1. 测量不规则物体的密度 ρ

- (1) 采用交换法测量物体在空气中的表观质量 m_1 ;
- (2) 称出物体浸没于水中的表观质量 m_2 (采用交换法亦可);
- (3) 测读水温, 查表记录该温度下水的密度 ρ_0 ; 计算 ρ 。

2. 测定蜡块的密度 ρ'

- (1) 采用交换法测出蜡块在空气中的表观质量 m_3 ;
- (2) 按图 1, 将蜡块吊在空气中, 使重物浸没水中, 测出 m_4 ;
- (3) 按图 2, 将蜡块和重物都浸没在水中, 测出 m_5 ;
- (4) 测出水温, 由表中查出 ρ_0 , 计算 ρ' 。

3. 测液体的密度 ρ_x

- (1) 采用交换法测出物体在空气中的表观质量 m_a (同 m_1);
- (2) 将物体悬吊、浸没在水中, 测出 m_c (同 m_2);
- (3) 将物体浸没在待测液体中, 测出 m_b ;

(4)测出水温,由表中查出 ρ_0 ;

(5)计算 ρ_x 。

【数据记录表格】

天平型号: _____, 称量: _____, 分度值: _____

水温: _____, 查表知水的密度 $\rho_0 =$ _____

表 1 空气中待测不规则物体质量的砝码示值 (单位 g)

砝码示数	$m_{左}$	$m_{右}$	平均值
待测物			
有机物体			
蜡 块			

表 2 流体静力称衡法测固体置于液体中的表现质量 (单位 g)

数据	测量次数				最佳值
	1	2	3	4	
测量内容					
m_1					
m_2					
m_3					
m_4					

【附录】 天平

天平是称衡物体质量的精密仪器,如图 3 所示。天平具有稳定性、灵敏性、正确性和示值

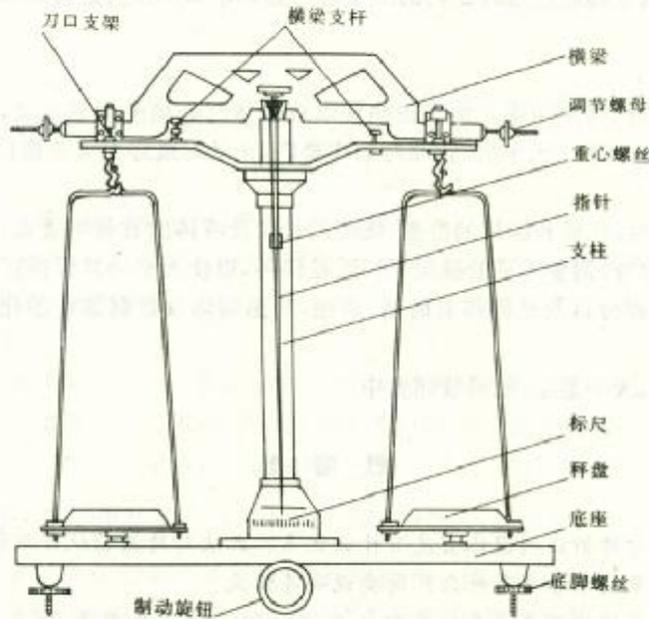


图 3 天平结构示意图

不变性四种性能。稳定性是指天平在其平衡状态被扰动后,经过若干次摆动仍能回复到原来的平衡位置。天平指针第 i 次摆动幅值 A_i 与下一次摆幅值 A_{i+1} 之比称为衰减比。

灵敏性是指天平察觉两称盘所放物体质量之差的能力,通常用灵敏度 $S = \frac{\Delta n}{\Delta m}$ 表示, Δn 是指针偏转分格数, Δm 是一称盘上所加的微小质量。灵敏度的倒数是感量 $E = \frac{\Delta m}{\Delta n}$ 。

正确性是指天平的等臂性。示值不变性是指在不改变天平工作状态的情况下,多次开启天平时其平衡位置的重复性。

使用天平前的调整:

1. 调水平 调天平的底脚螺丝,观察铅锤或圆气泡水准器,将天平立柱调成铅直。
2. 调零点 空载时支起天平,通过横梁两端的调节螺母,进行零点调节。但是对比较灵敏的天平,很难使指针停在标尺中点处,所以一般要求观察指针的停点和标尺中点相差不超过 0.5 格。

常用的称量方法:

一般称量方法有直接称量法(单称法)和交换称量法(复称法)。

(1)直接称量法的公式为

$$m = m_1 - \frac{a - a_0}{S}$$

式中, m_1 是砝码的质量; S 是荷载灵敏度; a 是停点; a_0 是空载时的停点。

(2)交换称量法的公式为

$$m = \frac{m_{左} + m_{右}}{2} - \frac{a_{左} - a_{右}}{2S}$$

式中, $m_{左}$, $a_{左}$ 分别是物放左盘时砝码的质量和停点; $m_{右}$, $a_{右}$ 分别是物放右盘时砝码的质量和停点。

【注意事项】

1. 天平称衡时,每次用镊子加减砝码或取放物体时必须使天平止动,只是在判断天平是否平衡时才启动天平。天平启、止动时动作要轻,止动时最好在 天平指针接近标尺中间刻度时进行。
2. 浸没物体时,托板和烧杯的位置、细线的长度及液体的数量均适宜。
3. 称衡后,检查、调整天平的横梁、吊耳、砝码等,以使天平始终保持正常状态。
4. 天平的各部分以及砝码都要防锈、防蚀,高温物体及带腐蚀性的化学药品不得直接放在秤盘内称衡。
5. 操作完毕,天平复原,砝码放回盒中。

思考题

1. 用流体静力称衡法测固体密度有什么优点? 此法对待测物试件有什么要求?
2. 天平的主要技术参数是什么? 简要说明其意义。
3. 有人把天平的使用要点总结为四句话:“称量、分度值先看清,柱直、梁平、‘游码’零,物左、码右、制动勤,仪器用毕收拾净”。请给出解释。
4. 在使用物理天平测量前,应进行哪些调节,如何消除天平不等臂误差?

5. 若待测物体的密度比水的密度小,则测其密度时应测哪些物理量?
6. 测 m_2 时,待测物体置于水中的位置如何选择?
7. 只有在_____时,才能将天平启动,否则必须将天平止动。

实验三 惠斯通电桥

电桥电路在电学中是一种很基本的电路,利用电桥平衡原理构成的电测仪器,不仅可以测电阻,也可以测电容、电感,并可通过这些量的测量间接测量非电学量,例如温度、压力等,因此电桥电路在自动化仪表和自动控制中有着广泛的应用。本实验的基本要求是自组直流电桥,并用自组电桥及 QJ23 型箱式电桥测量中值电阻。

【实验原理】

图 1 所示为电桥电路(原理图),它是由四个桥臂电阻和一个检流计组成,其中 R_1, R_2 是已知标准电阻,称为“比率臂”; R_x 是可变标准电阻(电阻箱),称为“比较臂”; R_s 是被测电阻,称为“测量臂”; B, D 间接检流计。接通电路后,检流计一般不示零,说明 B, D 两点电位不相等,通过调节 R_1, R_2 和 R_x ,使检流计中无电流通过($I_G=0$),此时电桥达到平衡,由图可见,电桥平衡的条件是 B, D 两点电位相等。即

$$I_1 R_1 = I_2 R_2, \quad I_s R_s = I_x R_x,$$

又 $I_1 = I_2, \quad I_s = I_x,$

所以有
$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_s} \quad (1)$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_s \quad (2)$$

式(1)称电桥平衡条件,即相邻两臂电阻之比相等。

令 $C=R_1/R_2$,称为“倍率”,则式(1)可写为 $R_x=CR_s$ 。因此当电桥调平衡后,只要读出 C 和 R_s 值,待测电阻 R_x 便可得到。

2. 电桥灵敏度

式(2)是在电桥平衡的条件下推导出来的。而电桥是否平衡,是由检流计的有无偏转来判断的。检流计的灵敏度总是有限的,例如实验室常用的 AC5 型指针式检流计,其指针偏转一格对应电流为 10^{-6} A 左右,当通过它的电流小于 10^{-7} A 时,指针的偏转小于 0.1 格,观测者就很难觉察出来。假如电桥在 $\frac{R_1}{R_2}=1$ 时调到平衡,根据式(2)得到 $R_x=R_s$,此时若把 R_s 改变一微小量 ΔR_s ,电桥就应当失去平衡,检流计中应有一微小电流 I_s' 通过,当 $I_s' < 10^{-7}$ A 时,观察不到检流计指针的偏转,人们认为电桥仍是平衡的,因而又得到

$$R_x = R_s + \Delta R_s,$$

ΔR_s 就是由于检流计灵敏度有限而给直流电桥测电阻时带来的测量误差。显而易见,检

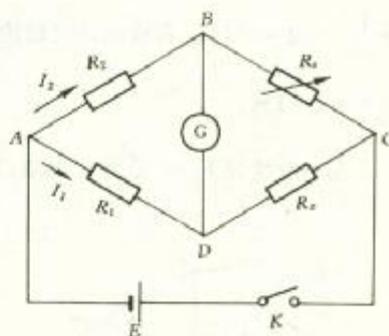


图 1 电桥原理图

【数据处理示例】

选一组数据如表 2:

表 2

未知电阻标称值(Ω)	比率臂 $\frac{R_1}{R_2}$ 值	比较臂 $R_x(\Omega)$	灵敏度 $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x/R_x}$	待测电阻 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_x(\Omega)$
470	$\frac{100}{100} = 1$	4.686×10^2	$S = \frac{4}{10/4.686 \times 10^2}$	4.686×10^2

相对不确定度

$$\frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_x}{R_x}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2}$$

本装置

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_2}{R_2} \approx 2\%, \quad \frac{\Delta R_x}{R_x} = 0.1\%$$

代入得

$$\frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{(2 \times 10^{-2})^2 + (2 \times 10^{-2})^2 + (1 \times 10^{-3})^2 + \left(\frac{0.2}{1874.4}\right)^2}$$

$$= \sqrt{8 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-6} + 1.2 \times 10^{-8}}$$

$$\approx 2.8 \times 10^{-2}$$

$$U_{R_x} = 2.8 \times 10^{-2} \times R_x = 2.8 \times 10^{-2} \times 4.686 \times 10^2$$

$$\approx 13.1 = 1 \times 10$$

$$R_x = R_x(\text{示值}) \pm U_{R_x} = 4.686 \times 10^2 \pm 0.1 \times 10^2$$

$$R_x = (4.7 \pm 0.1) \times 10^2(\Omega)$$

思考题

1. 电桥平衡的条件是什么?
2. 怎样判断电桥是否平衡?
3. 怎样利用电桥平衡条件测未知电阻?
4. 正确联接线路,通电之前可调器件应放何位置?

实验四 用牛顿环法测平凸透镜的曲率半径

将一块大曲率半径的平凸透镜放在平板玻璃上以形成劈形空气薄膜,当平行光入射时,引起等厚干涉条纹是一组明暗相间的同心圆环。这一现象是牛顿首先发现的,故称牛顿环。在光学冷加工车间经常利用牛顿环快速检验工件(透镜)表面的曲率是否合格,并能做出判断,指示应如何进一步研磨。

【实验目的】

1. 学习用牛顿环法测量球面曲率半径的原理和方法;
2. 学会使用读数显微镜和钠光灯。

【实验原理】

1. 等厚干涉

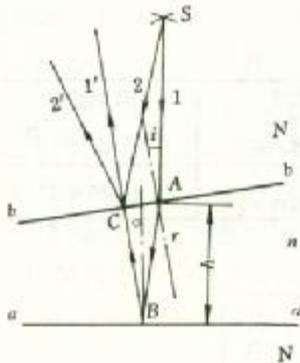


图1 等厚干涉的光路示意图

如图1所示,由面光源S上某一原子发出的某种波长为 λ 的光线1和2投射到 bb 面上(bb 面两边介质的折射率分别为 N 和 n)。其中一条(光线1)经 aa 表面反射后和另一条(光线2)相遇于 bb 表面附近的C点,因而在C点产生干涉。在C点处就可以观察到干涉条纹。

如果 aa 和 bb 表面之间是很薄的空气层(折射率 $n=1$)，而且夹角很小,光线又近乎垂直地入射到 bb 表面,则C点在 bb 表面上,光线11'和22'的光程差是

$$\delta = 2h + \frac{1}{2}\lambda \quad (1)$$

光程差只与厚度 h 有关。式中 $\lambda/2$ 是因为光线由光疏介质射到光密介质且在 aa 界面反射时有一相位突变引起的附加程差。

产生第 m 级(m 为一整数)暗条纹的条件是

产生第 m 级暗条纹的条件是

$$2h + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

即

$$h = \frac{1}{2}m\lambda \quad (2)$$

产生第 m 级亮条纹的条件是

$$2h + \frac{\lambda}{2} = 2m \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

即

$$h = \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

因此,在空气层厚度相同处产生同一级干涉条纹,厚度不同处产生不同级的干涉条纹,如图2所示。图中(a)表示上下两个表面的平面性很好,因而产生规则的干涉直条纹;(b)表示两个表面的平面性很差,产生了很不规则的干涉花纹。这些都叫做等厚干涉条纹。

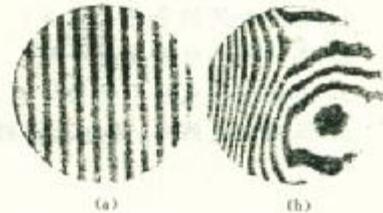


图2 等厚干涉条纹

2. 牛顿环法测一平凸透镜的曲率半径

(1)将待测凸透镜的球面 AOB 放在平面 CD 的上面,如图3所示,则形成一个从中心 O 向四周逐渐增厚的空气层。

如果单色光源上某一点发出的光线近乎垂直地入射,则其中一部分光线经 AOB 表面反射,另一部分经 CD 表面反射,形成两束相干光。这两束反射光线将在 AOB 表面上某一 T 点相遇,从而在 T 点产生干涉。由于 AOB 表面是球面,整个干涉条纹是明暗相间的圆环,称为牛顿环,如图4所示。

如果 AOB 表面与 CD 在 O 点紧密接触,则在 O 点 $h=0$ ($\delta=\lambda/2$),牛顿环的中心是一暗斑,如图4(a);如果在 O 点非紧密接触,则 $h \neq 0$,牛顿环的中心就不一定是暗斑,也可能是一亮斑(即 $\delta=m\lambda$,其中 $m=1, 2, 3, \dots$),如图4(b)。

(2)从图3可以看出,直角三角形 PTQ 和 TOQ 是相似的。如果 T 点正好位于半径为 r_m 的圆环上,则

$$r_m^2 = (2R - h)h \quad (4)$$

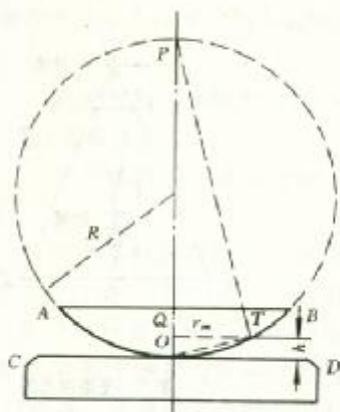


图3 产生牛顿环的光路示意图

当 $R \gg h$ 时,可略去二级小量,得

$$r_m^2 = 2Rh \quad (5)$$

如果该圆环是第 m 级暗环,则由式(2)得知 $h = m\lambda/2$,代入式(5)得

$$r_m^2 = Rm\lambda \quad (6)$$

由式(6)可知,如果已知单色光的波长 λ ,又能测出各暗环的半径 r_m ,就可以算出曲率半径 R 。反之,如果已知 R ,测出 r_m 后,原则上就可以算出单色光的波长 λ 。

式(6)是在式(1)和(4)的基础上导出的,为了使式(1)和(4)成立, T 点应在 AOB 圆弧上,也就是干涉条纹产生在 AOB 表面上。为此在实验装置中应使光线近乎垂直地入射(如图5),此外还要求 AOB 表面和 CD 表面一个是球面而另一个是平面。

由于牛顿环的级数 m 和环的中心都无法确定,因而要利用式(6)来测定 R 实际上是不可能的。在实际测量中,常常将式(6)变成如下的形式:

$$R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m - n)\lambda} \quad (7)$$

式中, d_m 和 d_n 分别为第 m 级和第 n 级暗环的直径。从式(7)可知,只要数出所测各环的环数差 $m - n$,而无须确定各环的级数。而且不难证明,直径的平方差等于弦的平方差,因此就可以不必确定圆环的中心。从而避免了在实验过程中所遇到的级数及圆环中心无法确定的困难,这也是实验工作中值得留意的。

又由于在接触点处玻璃有弹性形变,因此在中心附近的圆环将发生移位,故宜利用远离中心的圆环进行测量。

【实验仪器】

测量显微镜(读数显微镜),牛顿环仪,钠光灯。

1. 读数显微镜

读数显微镜如图6所示,其光路原理如图7所示。

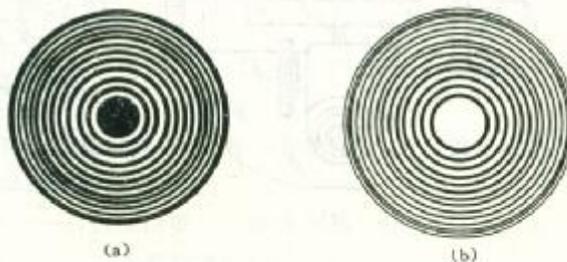


图4 牛顿环

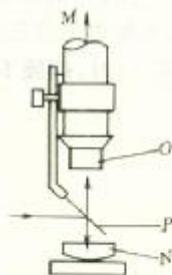


图5 使光线近乎垂直地入射的实验装置
O—显微镜物镜;
P—半反镜;
N—牛顿环仪

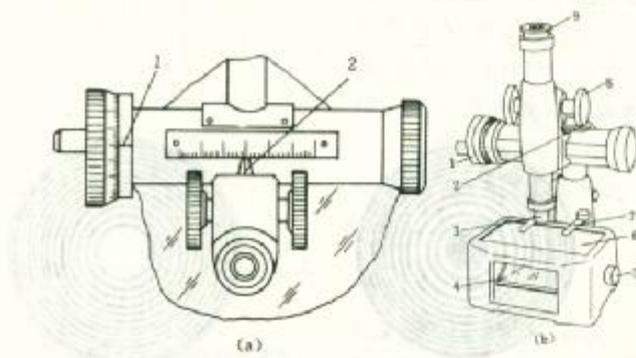


图 6 读数显微镜

- 1. 测微鼓轮; 2. 标尺; 3. 物镜; 4. 反光镜; 5. 反光镜转动手轮;
- 6. 台面玻璃; 7. 弹簧压片; 8. 调焦手轮; 9. 目镜

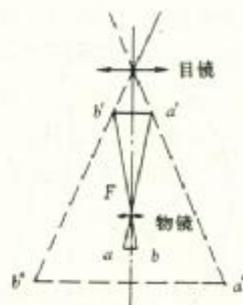


图 7 光路原理图

读数显微镜是由显微镜和测微螺旋装置两部分组成。显微镜的作用是将被测物体放大并瞄准,测微螺旋的作用是测读任意两点间的距离。读数显微镜的特点是既能达到较高的测量精度(由测微螺旋的精度决定),又有较宽的测量范围(由显微镜筒的移动范围决定),并能实现无接触测量。

转动测微螺旋,瞄准被测物上一点,记下 a_1 ,继续移动镜筒,瞄准另一点,记下 a_2 ,则被测物两点间的距离为 $a_2 - a_1$ 。

2. 牛顿环仪

牛顿环仪是由待测平凸透镜 L 和磨光的平玻璃板 P 叠合装在金属框架 F 中构成(见图 8),框架边上有三个螺旋 H ,用以调节 L 和 P 之间的接触,以改变干涉环纹的形状和位置,调节 H 时,螺旋不可旋得过紧,以免接触压力过大引起透镜弹性形变,甚至损坏透镜。

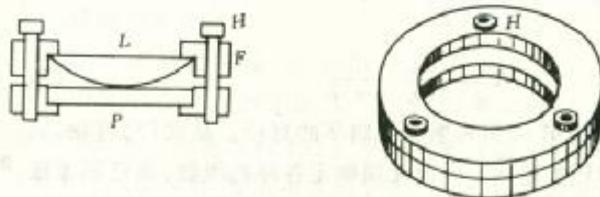


图 8

【实验任务】

测定一块平凸透镜的曲率半径 R 。

1. 调整及定性观察

(1)转动鼓轮,先将显微镜镜筒移至标尺中间位置,然后把牛顿环仪放在显微镜平台上,用眼睛从不同方位观察,尽量使显微镜镜筒的中心轴通过牛顿环仪的中心(或圆心);调节半反射镜 P ,使钠黄光一部分由 P 反射进入牛顿环仪(P 约与水平成 45° 角)。

(2)调节显微镜目镜看清叉丝,然后从侧面观察,用调焦手轮使物镜下降至半反射镜 P ,

接近牛顿环仪,但不能触到它;再用调焦手轮使物镜逐渐上升,从目镜观察,对干涉圆环调焦,使看到的一部分环纹尽可能清晰,并使叉丝和圆环像之间无视差。测量时,显微镜的叉丝应调节成其中一根叉丝与显微镜的移动方向垂直,移测时始终保持这根叉丝与各干涉环相切。

2. 定量测量。相继测出各环直径,再用逐差法处理数据。

【注意事项】

1. 调节镜筒的工作距离时,只允许从下往上调,不允许从上往下调,以免压碎被测物体。

2. 应避免螺旋空程引入的误差。在整个测量过程中,只要一开读数,以后鼓轮只能沿一个方向转动,不许倒转。一但有倒转,全部数据即应作废。

3. 由于计算 R 时只需要知道环数差 $m-n$,因此以哪一个环作为第一环可以任选,但一经选定,在整个测量过程中就不能再改变了。注意不要数错条纹数。

【数据记录表格及数据处理】

(1) 数据记录表格(见表 1)

牛顿环编号: _____

表 1

环序数 m	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0
项目								
X_m (mm)	24.400	24.290	24.200	24.116	24.030	23.930	23.856	23.750
$X_{m'}$ (mm)	29.870	29.972	30.056	30.152	30.242	30.328	30.408	30.502
d_m (mm)	5.470	5.682	5.856	6.036	6.212	6.398	6.522	6.752
d_m^2 (mm ²)	29.921	32.285	34.292	36.433	38.589	40.934	42.929	45.590

(2) 数据处理

将 $n=26.0\sim 29.0$ 分为一组, $m=30.0\sim 33.0$ 分为二组

逐 4 相减,则

$$b_1 = \frac{d_{30}^2 - d_{26}^2}{m - n} = \frac{38.589 - 29.921}{30.0 - 26.0} \approx 2.17$$

同理

$$b_2 \approx 2.16, b_3 \approx 2.16, b_4 \approx 2.29$$

则

$$\bar{b} = \frac{1}{4} \sum b_i = \frac{2.17 + 2.16 + 2.16 + 2.29}{4} \approx 2.2$$

$$R = \frac{\bar{b}}{4\lambda} = \frac{2.2}{4 \times 5893 \times 10^{-7}} \approx 9.3 \times 10^2 (\text{mm}) \approx 0.93 (\text{m})$$

思考题

1. 什么叫牛顿环? 怎样才能使显微镜视场中既快又清晰地看到牛顿环?
2. 本实验中测量所用计算公式是什么? 为什么不是 $r_m^2 = Rm\lambda$ 呢?
3. 为免于碰伤半反射镜、物镜和牛顿环仪,显微镜在调焦时,镜筒只能从 _____ 往 _____ 调节。
4. 实验中为什么要测多组数据和用逐差法处理所测数据。
5. 牛顿环的中心在什么情况下是暗的,在什么情况下是亮的?

实验十 混合法测量比热容

• 64 •

新编物理实验

$$\approx \frac{29.00}{19.12 \times 6.4 \times \left(1 + \frac{4.87}{49.07}\right) \times 10^{-4}} \approx 21.56$$

同理
则

$$\eta_2 \approx 22.04, \eta_3 \approx 21.99, \eta_4 \approx 22.44, \eta_5 \approx 23.02$$

$$\bar{\eta} = 22.21(\text{P})$$

2. 做 v_T-D 图, 并顺势外延, 从图上求出当 $D \rightarrow \infty$ 时的 v_T , 代入式(2)计算 η 。

当 $D \rightarrow \infty$ 时, $v_T = 6.7 \text{ mm/s}$, 由(2)式, 得

$$\eta = \frac{(m - \rho V)g}{6\pi r v_T} = \frac{29.00}{6 \times 3.14 \times 1.02 \times 6.6 \times 10^{-2}} = 22.52(\text{P})$$

3. 将以上两种方法计算待测液的粘滞系数与实验室提供的蓖麻油粘滞系数(对应测量时液体的温度, 如 $T = 12.8^\circ\text{C}$ 时)相比较, 找出产生误差的主要因素是哪些。

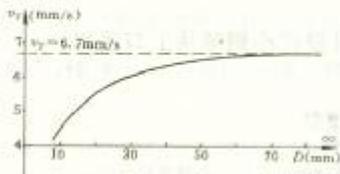


图3 v_T-D 图

因素是哪些。

思考题

1. 本实验哪些物理量是实验室已经提供的? 哪些是需要你去测量的? 如何测量?
2. 待测液体的液面是否可以与圆筒的上刻度线取齐? 为什么?
3. 本实验为何要记录液温?
4. 是否可使小球沿筒壁附近下落? 为什么(可以试一试)?
5. 求 v_T 时可否做 v_T-d/D 图, 当 $d/D \rightarrow 0$ 时求出 v_T 并与 v_T-D 图比较。

实验十 混合法测量比热容

量热学是以热力学第一定律为理论基础的, 量热学所研究的范围就是如何计量物质系统借温度变化、相变、化学反应等所吸收和放出的热量。量热学的实验方法有混合法、稳流法、冷却法、潜热法、电热法等, 本实验采用混合法测金属样品的比热容。

【实验原理】

将温度不同的物体混合后, 如果由这些物体组成的系统没有与外界交换热量, 最后系统将达到稳定的平衡温度。在此过程中, 高温物体放出的热量等于低温物体所吸收的热量, 这就是热平衡原理。根据这一原理可用混合法测量金属的比热容。

为了做好实验, 需有一个隔热良好的量热器。本实验用的量热器如图 1 所示, 它由外筒和内筒组成, 内筒放置在绝热架



图 1

上,与外筒隔开,外筒用绝热盖盖住,盖上开两个小孔,可放入温度计和搅拌器(连有绝缘柄)。由于内筒与外筒间充有不良导体的空气,它们间传导的热量很小;又由于外筒装有绝热盖,对流的热量也很小,内筒的外壁和外筒的内外壁都抛光,以减少热辐射。这样的量热器可被看做近似符合热平衡原理的实验系统。

实验时,将待测金属样品置于加热器中加热至温度 θ_1 ,并迅速将它投入量热器的水(温度为 θ_2)中,最后达到平衡温度 θ 。设待测样品的质量为 m ,比热容为 c ,则其放出的热量为

$$Q_1 = mc(\theta_1 - \theta) \quad (1)$$

设量热器内筒的质量为 m_1 ,比热容为 c_1 ;水的质量为 m_2 ,比热容为 c_2 ,则量热器和水吸收的热量为

$$Q_2 = (m_1c_1 + m_2c_2)(\theta - \theta_2) \quad (2)$$

根据热平衡原理, $Q_1=Q_2$ 。由式(1)和(2)可得待测样品的比热容为

$$c = \frac{(m_1c_1 + m_2c_2)(\theta - \theta_2)}{m(\theta_1 - \theta)} \quad (3)$$

以上讨论并没有考虑系统热量的散失,但实际上只要有温差存在,总会发生系统与外界热交换现象。本实验中热量散失主要有以下三部分:一是加热后的被测样品在投入量热器过程中散失的热量;二是量热器外部若附着水分,会因水分蒸发损失一定的热量;三是在混合过程中量热器与外部的热交换。因此,必须考虑防止热量散失以及对热量散失进行修正。对于第一部分散失的热量,一般不易测准和修正,所以应尽量缩短投放的时间;对于第二部分,只要用干布揩干量热器的外筒壁即可;对于第三部分散失的热量,可以用“反向补偿法”来消除,使量热器和水的初始温度 θ_2 低于环境温度 θ_0 ,混合后的末温度 θ 高于 θ_0 ,并使 $(\theta_0 - \theta_2)$ 和 $(\theta - \theta_0)$ 大致相等,这样,量热器从系统外吸收的热量与散失的热量近似相等而相互抵消。估算方法见思考题 4。

【仪器装置】

量热器,加热器,温度计,物理天平,待测金属块。

【实验任务】

1. 用天平测出量热器内筒和搅拌器的质量 m_1 。
2. 在量热器内筒放入适量冷水(约为内筒容积的 2/3),称出其质量 m_1' ,则水的质量为 $m_2 = m_1' - m_1$ 。
3. 称出待测金属块的质量 m ,用细线拴住金属块,将其放在加热锅中加热至沸点 θ_1 。
4. 测出冷水的温度 θ_2 ,然后迅速地将金属块取出,放到量热器内筒中央的搅拌器中间,盖上量热器外筒盖,立即轻轻地搅拌,观察温度计,直到温度稳定不变时,记录此时的温度 θ 。已知内筒及搅拌器的比热容为 $c = 0.092$ 卡/克·度。
5. 将测量数据填入自拟的表格中。计算待测样品的比热容及其百分误差。

【注意事项】

1. 温度计容易碰碎,在揭开和盖上绝热盖时,都要先把温度计妥善放好。
2. 实验过程中,把待测样品迅速放入量热器和进行搅拌时,不要使水溅出。
3. 实验时应揩干量热器的筒壁。

思考题

1. 用混合法测量比热容的理论根据是什么?

2. 为了符合热平衡原理, 实验中应注意哪几点?
3. 本实验中哪些是已知量? 哪些是可测量?
4. 估算一下, 如何做到 $(\theta_0 - \theta_2) \approx (\theta - \theta_0)$ 。 θ_0 为环境温度, θ_2 为水及量热器内筒的系统初温, θ 为混合温度。如 $m_0 = 190$ 克, $m_1 = 177$ 克, $c_0 = 1.00$ 卡/克·度, $c_1 = 0.094$ 卡/克·度, $m = 350$ 克, c 估计为 0.092 卡/克·度。假设 $\theta_0 = 22^\circ\text{C}$, $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$, 则水的初温大约为 17°C , 你是怎样估算的?

(提示: 根据 $\theta_0 - \theta_2 = \theta - \theta_0$, $\theta = 2\theta_0 - \theta_2$ 代入式(3)中求 θ_2)

实验十五 金属线胀系数的测量

- 取下坐标纸,用光滑曲线连接各等位线,个别偏离正常值过大的点可舍去。
- 利用目测定出一个“最佳”(即主观认为合适)的“圆心”位置,求出各“圆”的半径平均值,即将该“圆”的测量点与目测“圆心”连起来,测量长度求得平均值 r_m 填入表中。
- 画出电力线(不少于 8 条,各方位都要有),使电力线由“圆心”出发向外发散(标出箭头方向),并且与电位线正交。

【数据记录表格】

$a=7.50\text{mm}$ $b=75.0\text{mm}$ $U_s=6.00\text{V}$

表 1

测试点电位 U_r (V)	5.00	4.00	3.00	2.00	1.50
实验测半径 r_m (mm)					
理论计算半径 r_t (mm)					
$\Delta r = r_m - r_t $ (mm)					
$\frac{\Delta r}{r_t} \times 100\%$					

注: * $r_t = b \left(\frac{b}{a} \right)^{-U_r/U_s} = 75.0 \times \left(\frac{75.0}{7.50} \right)^{-U_r/6.00} = 75.0 \times 10^{-U_r/6.00}$

思 考 题

- 用模拟法测量静电场的条件是什么?
- 本实验采用_____场模拟_____。理论依据是什么?
- 等位线和电力线之间有何关系?从描绘的电力线你能知道模拟的静电场哪个区域的电场强度较强?哪儿较弱?方向如何?
- 从实验结果看,是否表明电极和导电纸接触良好?如果有某些地方接触不好,会出现什么情况?
- 从实验结果看,导电纸的电导率是否均匀?如果某一区域的电导率较高,对等位线的形状有什么影响?

实验十五 金属线胀系数的测量

绝大多数物体都具有“热胀冷缩”的特性,这是由于物体内部分子热运动加剧或减弱造成的。

材料的线胀系数是材料受热膨胀时,在一维方向上的伸长。线胀系数是选用材料的一项重要指标,是材料工程、热力工程和自动控制技术中的一个重要技术参数。

【实验目的】

- 学会一种测定金属线胀系数的方法。
- 掌握和巩固光杠杆测量微小长度变化原理及调节技术。
- 学会用最小二乘法处理数据。

【实验仪器】

固体线胀系数测定仪(金属棒,温度计,光杠杆,望远镜,标尺及支架,加热器);游标卡尺及钢卷尺。

【实验原理】

设金属棒在温度 t_0 °C 时的长度为 L_0 , 当温度上升到 t °C 时, 其长度 L_t 可由下式表示:

$$L_t = L_0[1 + \alpha(t - t_0)] \quad (1)$$

式中, α 称为线胀系数。如将式(1)改写成

$$\alpha = \frac{L_t - L_0}{L_0(t - t_0)} = \frac{\delta L}{L_0(t - t_0)} \quad (2)$$

则可以看出线胀系数 α 的含义是物体温度升高一度时的相对伸长量。一般 α 随温度有微小的变化, 但在温度变化范围不太大时, 可把它当做常量。

由式(2)可以看出, 测量线胀系数的关键是准确测量长度的微小变化 δL 。我们先粗估一下 δL 的大小。若 $L_0 \approx 250\text{mm}$, 温度变化 $t - t_0 \approx 100^\circ\text{C}$, 金属的线胀系数 α 数量级为 $10^{-5} (\text{C}^{-1})$, 则可估算出 $\delta L \approx 0.25\text{mm}$ 。对于这么微小的伸长量, 用普通量具如钢尺和游标卡尺是测不准的, 可采用千分表(分度值为 0.001mm)、读数显微镜、光杠杆放大法、光学干涉法等。

本实验采用光杠杆放大法, 整个实验装置由线膨胀仪和光杠杆系统组成, 如图 1 所示。

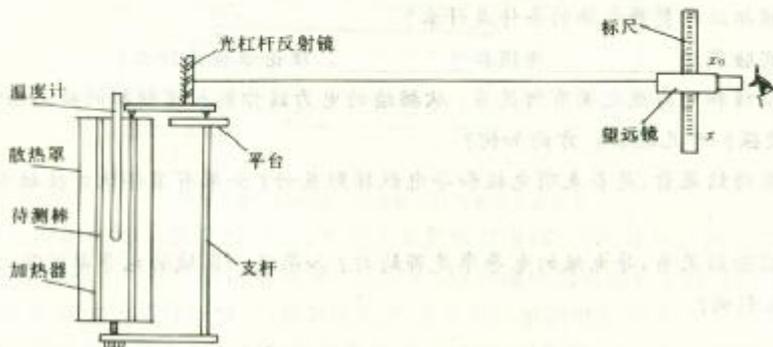


图 1 测定材料线胀系数的实验装置

光杠杆放大原理参见实验十一, 当望远镜中标尺像由 x_0 变为 x 时, 则待测杆的伸长量为

$$\delta L = \frac{b(x - x_0)}{2D} \quad (3)$$

其中, b 为光杠杆常数, 即光杠杆两前足连线至后足的距离; D 为光杠杆镜面至标尺间的距离; x_0 为温度 t_0 时望远镜中标尺读数; x 为温度 t 时望远镜中标尺读数(所谓标尺读数是指与望远镜叉丝准线相重合的标尺刻度)。将式(3)代入式(2), 得

$$\alpha = \frac{b(x - x_0)}{2DL_0(t - t_0)} \quad (4)$$

本实验就是通过测量式(4)右端各量, 从而计算出金属棒的线胀系数。

【实验步骤】

1. 用钢卷尺测金属棒在室温下长度 L_0 , 用游标卡尺测光杠杆常数 b 。

2. 仪器调整(详细方法可参见实验十一)。在距光杠杆镜前约 100cm 处放置望远镜及标尺。调节望远镜,其主要步骤如下:(1)调节目镜看清叉丝;(2)从望远镜上沿准星看平面镜,并移动望远镜及标尺,使在平面镜中看到标尺的像;(3)缓缓地变动平面镜法线方向或望远镜的光轴方向,使眼睛观察像的方位逐渐与望远镜的光轴一致;这时再从望远镜内观察,调节镜筒长度(即改变物镜和目镜间的距离),使标尺成像清晰且像与叉丝间无视差。

3. 记录数据:从望远镜中读出标尺读数 x_0 ,然后用钢尺准确测出 D ,测出室温 t_0 ,将线胀仪电源接通,开始加热到 110°C ,记下标尺读数 x ,然后关闭电源,开始冷却,并每隔 10°C 左右记一次温度及标尺读数 x ,直至 40°C 。

4. 用最小二乘法求出 α 。

【数据处理示例】

$b=7.908\text{cm}$ $L_0=50.00\text{cm}$ $D=138.70\text{cm}$ $\alpha_0=1.71\times 10^{-5}(\text{C}^{-1})$

次数 项目	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$t(^\circ\text{C})$	15.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	110.0
$x(\text{cm})$	5.40	3.80	3.45	3.18	2.85	2.60	2.30	2.00	1.69
$t-t_0$		25.0	35.0	45.0	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0
$ x-x_0 $		1.60	1.95	2.22	2.55	2.80	3.10	3.40	3.71

令 $X=t-t_0, Y=|x-x_0|$, 由最小二乘法, 函数 $Y=kX$, 则

$$k = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\overline{X^2} - \bar{X}^2}$$

其中

$$\bar{X} = 60.0(\text{C}), \bar{Y} = 2.67(\text{cm})$$

$$\overline{XY} = 160(\text{cm} \cdot \text{C})$$

$$\bar{X} \cdot \bar{Y} = 176(\text{C} \cdot \text{cm})$$

$$\overline{X^2} = 3.60 \times 10^3(\text{C}^2)$$

$$\alpha = \frac{k \cdot b}{2DL_0} = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\overline{X^2} - \bar{X}^2} \cdot \frac{b}{2DL_0} = 1.65 \times 10^{-5}(\text{C}^{-1})$$

$$E = \frac{|\alpha - \alpha_0|}{\alpha_0} \times 100\% = 1.85\%$$

【注意事项】

1. 线胀系数测定装置的金属筒不要固定紧, 否则金属筒受热膨胀将引起整个仪器变形, 产生较大的误差。

2. 测量过程中, 要注意保持光杠杆及望远镜位置的稳定。

3. 温度读数及伸长量读数需同步进行。

思考题

1. 熟悉式(4)右端各量的物理意义和测试方法。

2. 复习光杠杆的原理和光学系统的调试方法。

3. 本实验产生误差的原因及消除。

4. 请自己设计一个测量 δL 的方法。

实验十九 迈克尔逊干涉仪测的钠光波长

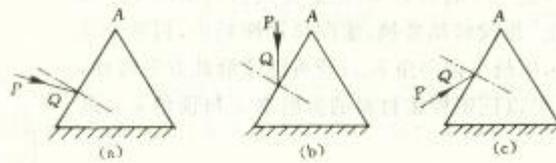


图 13 光线 PQ 以不同的方位入射在三棱镜上

9. 为什么分光计要用两个游标读数?

10. 试根据光路图分析,为什么望远镜光轴与平面镜法线平行时,在目镜内应看到“十”形反射像将与“十”形叉丝的上方交点相重合?

实验十九 迈克尔逊干涉仪测钠光波长

迈克尔逊干涉仪是一种用分振幅法产生双光束干涉的精密仪器。由美国物理学家迈克尔逊在 1881 年提出。迈克尔逊最早是为了研究光速问题而精心设计的,与薄膜干涉相比,此仪器的特点是光源、两个反射面、接收器四者在空间完全分开,便于在光路中安插其它器件。它的设计精巧,用途广泛,不少其它干涉仪是由此派生出来的。可以说迈克尔逊干涉仪是许多近代干涉仪的原型,迈克尔逊因发明干涉仪及光速的测量而获得 1907 年诺贝尔物理学奖。

本实验要求学会调节迈克尔逊干涉仪,利用等倾条纹的变化测钠光波长。

【实验原理】

1. 仪器结构要点

实验室中最常用的迈克尔逊干涉仪,其光路图和实物图如图 1 和图 3 所示。从光源 S 发出的光束射到分光板 P_1 上, P_1 的前后两个面严格平行,后表面镀有铝或银的半反射膜,光束被半反射膜分为两束,图中(1)表示反射的一束,(2)表示透射的一束。因为 P_1 和平面镜 M_1 和 M_2 均成 45° ,所以两光束分别垂直入射 M_1, M_2 。两光束经反射后再在 E 处相遇,形成干涉条纹, P_2 为补偿板,其材料和厚度与 P_1 相同,作用是补偿光束(2)的光程,使光束(2)和光束(1)在玻璃中的光程相等。

反射镜 M_2 是固定的, M_1 可在精密导轨上前后移动以改变两束光之间的光程差, M_1 的移动采用了蜗杆传动系统,其最小读数为 10^{-4}mm ,可估计到 10^{-5}mm 。镜 M_2 的背面有三个螺丝,用以调节 M_2 平面的倾度,镜 M_2 的下端还附有两个方向互相垂直的两个微动螺丝,用以精确地调节镜 M_2 的倾度。 M_1 背面的三个螺钉出厂时已调好,绝对不允许再去动它们!

2. 扩展光源照明产生的干涉图(见图 2)

(1)当 M_1 和 M_2' 严格平行时,所得的干涉为等倾干涉,所有倾角为 i 的入射光束,由 M_1 和 M_2 反射光线的光程差 Δ 为

$$\Delta = AB + BC - AD, AB = BC = d/\cos i, AD = AC \cdot \sin i = 2d \operatorname{tg} i \sin i$$

所以
$$\Delta = 2d \cos i \quad (1)$$

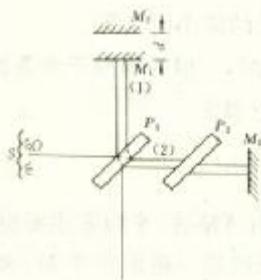


图 1

式中, i 为光线在 M_1 镜面的入射角; d 为空气薄膜的厚度, 它们将处于同一级等倾干涉条纹, 是一组同心圆, 并定位于无限远。若在图 1 中的 E 处, 放一会聚透镜, 在其焦平面上(或用眼在 E 处正对 P_1 观察)便可观察到一组明暗相间的同心圆纹, 这些条纹的特点是:

①干涉条纹级次的中心为最高, 在干涉条纹中心, 因 $i=0$, 如果不计反射光线之间的相位突变, 由圆纹中心出现亮点的条件

$$\Delta = 2d = k\lambda \quad (2)$$

得圆心处干涉条纹的级次

$$K = \frac{2d}{\lambda} \quad (3)$$

当 M_1 和 M_2' 的间距 d 逐渐增大时, 对于任一级干涉条纹, 例如第 K 级, 必定以减少其 $\cos i_k$ 的值来满足 $2d\cos i_k = K\lambda = \text{常量}$ 的要求, 故该干涉条纹向 i_k 变大 ($\cos i_k$ 变小), 这时观察者将看到条纹好像从中心向外“涌出”; 且每当间距 d 增加 $\lambda/2$ 时, 就有一个条纹涌出。反之, 当 d 由大逐渐变小时最靠近中心的条纹将一个地“陷入”中心, 且每陷入一个条纹, d 的改变亦为 $\lambda/2$ 。

因此, 只要数出涌出或陷入的条纹数, 即可得到平面镜 M_1 以波长 λ 为单位而移动的距离, 显然若有 ΔK 个条纹从中心涌出时, 则表明 M_1 相对于 M_2 远离了

$$\Delta d = \Delta K \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

反之, 若有 ΔK 个条纹陷入时, 则表明 M_1 和 M_2 移近了同样的距离。根据式(4), 如果已知光波的波长 λ 便可由条纹变动的数目, 计算 M_1 移动的距离, 这就是长度的干涉计量原理; 反之, 已知 M_1 移动的距离和干涉条纹变动的数目, 便可确定光波的波长。

②干涉条纹的分布是中心宽边缘窄。

对于相邻的 K 级和 $K-1$ 级干涉纹, 有

$$2d\cos i_k = K\lambda, \quad 2d\cos i_{k-1} = (K-1)\lambda$$

将两式相减, 当 i 较小时, 并利用 $\cos i = 1 - \frac{i^2}{2}$, 可得相邻条纹的角宽度 Δi_k 为

$$\Delta i_k = i_k - i_{k-1} \approx \lambda/2di_k \quad (5)$$

上式表明: ① d 一定时, 视场里干涉条纹的分布是中心较宽 (i_k 小, Δi_k 大), 边缘较窄 (i_k 大,

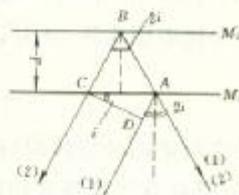


图 2

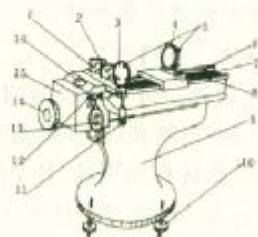


图 3 迈氏干涉仪的外形

- 1. 分光板 G_1 ; 2. 补偿板 G_2 ; 3. 固定反射镜 M_2 ; 4. 移动反射镜 M_1 ; 5. 螺丝; 6. 拖板;
- 7. 精密丝杠; 8. 导轨; 9. 底座; 10. 仪器水平调节螺丝; 11. 垂直拉簧螺丝; 12. 水平拉簧螺丝; 13. 微调手轮; 14. 粗调手轮;
- 15. 传动系统; 16. 读数窗

Δi_s 小);② i_s 一定时, d 越小, Δi_s 越大,即条纹随着薄膜厚度 d 的减小而变宽。

(2)当 M_1 和 M_2' 有一很小的夹角 α ,且当入射角 i 也较小时,一般为等厚干涉条纹,定位于空气薄膜表面附近,此时,由 M_1 和 M_2' 反射光线的光程差近似为

$$\Delta = 2d\cos i = 2d\left(1 - \frac{i^2}{2}\right) = 2d - di^2$$

①在两镜面的交线附近处,因厚度 i 和 d 较小, di^2 的影响可略去,光程差主要由膜厚 d 决定,因而在空气膜厚度相同的地方光程差均相同,即干涉条纹是一组平行于 M_1 和 M_2' 交线的等间隔的直线条纹。

②在离 M_1 和 M_2' 的交线较远处,因 di^2 影响增大,干涉条纹变成弧形,且条纹弯曲的方向是背向两镜面的交线。

【实验内容】

1. 迈克尔逊干涉仪的调节

(1)点亮钠光灯 S ,照亮毛玻璃屏,形成均匀的扩展光源,在屏上加一十字叉丝。

(2)旋转粗动手轮,使 M_1 和 M_2 到 P_1 镀膜面的距离大致相等,沿 EP_1 方向观察,将看到由 M_1 和 M_2 所反射的十字叉丝的双影。

(3)仔细调节 M_2 背后的三个螺丝,改变 M_2 的相对方位,直至双影在水平方向和铅直方向均完全重合,这时可观察到干涉条纹。

(4)细致缓慢地调节 M_2 下方的两个微调螺丝使干涉条纹成圆形,并且圆纹中心仅随观察者的眼睛左右上下的移动而移动,但不发生条纹的“涌出”或“陷入”现象。

2. 测定钠光波长

(1)旋转粗动手轮,使 M_1 移动,观察条纹的变化,从条纹的“涌出”或“陷入”,判断 d 的变化,并观察 d 的取值与条纹粗细、疏密的关系。

(2)当视场中出现清晰的、对比度较好的干涉圆环时,再慢慢地转动微调手轮,直至视场中心条纹向外一个一个地涌出(或者向内陷入中心)时,记录 M_1 镜的初始位置 d_0 ,继续转动转盘,每涌出 50 个条纹,记录 M_1 镜的位置 d_i 。直至涌出 350 个条纹即记录 8 组数据为止。

(3)根据(4)式用逐差法计算波长。

【数据记录表格】

K	0	50	100	150	200	250	300	350
d								

【注意事项】

1. 调节反射镜的螺丝时,一定要轻。
2. 测量时要注意消除仪器的空程误差。

思考题

1. 达到什么要求时等倾干涉条纹才算调整好?
2. 迈克尔逊干涉仪的工作原理是怎样的? 应该怎样调节和使用?
3. 调节钠光的干涉条纹时,如已确使十字叉丝的双影重合,但条纹并未出现,试分析可能的原因。

实验二十七 示波器的使用

表 3

x (cm)	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
d_m (cm)	左															
	右															
	平均															

【注意事项】

1. 连接电路后,须经指导教师检查认可后才能接通电源,电流计引线千万不可接到电源回路中。
2. 为了减小测量误差,实验仪器安排要尽量使螺线管、标准互感器、滑线变阻器之间远离些,以免相互感应;电流换向开关的切换速度要快。

思 考 题

1. 冲击电流计有哪三种运动状态?选用哪一种状态最合适,为什么?
2. 测冲击电流计的最大偏角时,为什么要分别测出 d_A 和 d_B ,然后取平均值?
3. 为什么在测量 C_p 与 B 时,标准互感器的次级线圈与探测线圈始终要和冲击电流计串联在一起?能否分别与冲击电流计相连进行测量?为什么?
4. 为什么测量螺线管内磁场分布时不能改变 R 和 R' 值?

实验二十七 示波器的使用

示波器是一种常用的电子测量仪器,它可以把原来肉眼看不见的电过程,变换成可见的图像。利用示波器不仅可以观察电信号的波形,也可以测量周期、频率、电压、电流、位相、功率等多种电参量。配合各种传感器,可以测量压力、温度、磁场、声、光等非电量。随着科学技术的发展,示波器的品种越来越多,性能日益提高,已经广泛地应用到物理学、生物学、化学、数学、医学等各种学科领域和电子工程、钢铁冶炼、计算技术、雷达导航、自动控制、航天技术、宇宙飞行等各种工程技术之中。本实验要求学生学会使用示波器来观察波形,测量输入信号的电压和频率。

【结构与原理】

通用示波器一般由示波管、Y 放大器、X 放大器、触发同步电路、扫描发生器与直流电源六部分组成,如图 1 所示。

1. 示波管

示波管一般由电子枪、偏转系统和荧光屏组成,如图 2 所示。电子枪由灯丝、阴极、栅极、第一阳极、第二阳极组成,其作用是产生聚焦电子束;偏转系统由两对互相垂直的偏转板组成,其作用是使电子束随外加电信号偏转;荧光屏的内表面涂有一层荧光物质,在高速电子束轰击后,荧光物质发出可见光,通常有绿、白、蓝、橙、淡绿、橙黄等颜色,用来显示外加信号的图形。亮点辉度下降到原始值的 10% 所延续的时间称为余辉时间。 $1\mu\text{s}\sim 10\mu\text{s}$ 为短余辉,

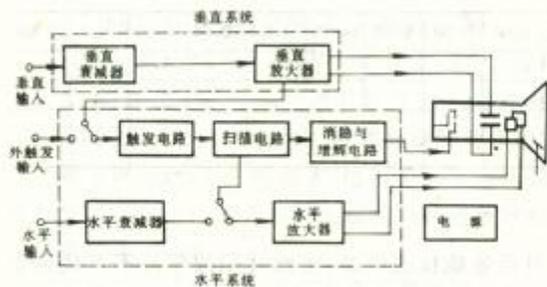


图1 示波器的电路框图

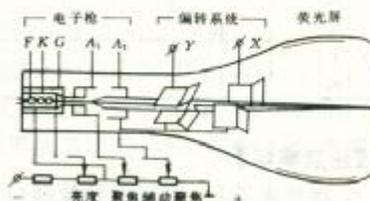


图2 示波管的结构简图

$10\mu\text{s}\sim 1\text{ms}$ 为中短余辉, $1\text{ms}\sim 0.1\text{s}$ 为中余辉, $0.1\text{s}\sim 1\text{s}$ 为长余辉。

2. Y 放大器

将被测信号放大后,加在垂直偏转板上,控制电子束垂直方向的偏转幅度。

3. X 放大器

将 X 轴输入信号放大后,加在水平偏转板上,控制电子束水平方向的偏转幅度。

4. 扫描发生器

产生锯齿波扫描电压,经 X 放大器后,加到水平偏转板上,使其按线性规律沿水平方向展开。

5. 触发同步电路

利用被测信号或外接同步信号实现扫描电压与信号电压同步。

6. 直流电源

为示波器各部件提供工作电源。

任何电信号的波形,实质上就是它的瞬时值与时间的函数图形。当被测信号经 Y 放大器放大后加到垂直偏转板上,电子束垂直偏转距离正比于信号的瞬时值。用扫描电压加到水平偏转板上,可使电子束水平偏转距离正比于时间。当电子束同时受到垂直和水平两个偏转系统的共同作用,使电子束的轨迹在荧光屏上显示出输入信号随时间变化的波形,如图 3。

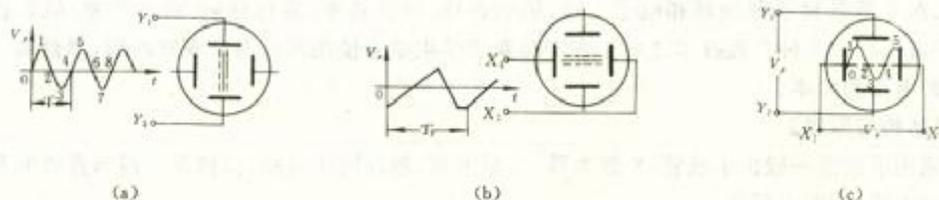


图3 显示波形的原理

【仪器装置】

1. VP-5220A 示波器

面板介绍(见图 4)。

- (1)电源开关; (2)开关指示; (3)辉度控制; (4)聚焦控制
- (5)基线调整; (7)CH₁/X 输入; (8)CH₁ 输入耦合选择开关

(9) CH₁V/D1V 衰减开关,观测时将微调旋钮(11)顺时针旋到底(校准位置)

(10) CH₁ 位移调整; (11) CH₁ 微调; (12) CH₂/Y 输入; (13) CH₂ 输入耦合选择开关

(14) CH₂V/D1V 衰减开关,观测时将微调旋钮(16)顺时针旋到底(校准位置)

(15) CH₂ 位移及极性转换;调整通道 2 扫描线位移,当旋钮拉出时,CH₂ 信号极性变反

(16) CH₂ 微调

(17) 垂直方式选择开关

CH₁: 显示 CH₁ 通道信号; CH₂: 显示 CH₂ 通道信号

CHOP: 振荡器给出重复频率信号控制垂直开关电路,使在慢扫描时能便利观测两个通道的信号

ALT: CH₁, CH₂ 通道信号交替显示,这种方式适用快扫描

ADD: CH₁, CH₂ 输入信号波形以单踪代数和显示,当 CH₂ 旋钮(15)拉出时,则以两信号的代数差显示

(18) TIME/DIV: 水平时基开关

(19) 水平位移×10 扩展: 调整基线水平方向移动,当旋钮拉出扫描扩展 10 倍

(20) VARIABLE: 顺时针旋尽为校准位置,逆时针旋转,扫速在 TIME/DIV 开关各档间连续变化

(21) 扫描方式开关

AUTO(自动); NORM(常态)

X-Y: X 信号由 CH₁ 通道输入; Y 信号由 CH₂ 通道输入(工作在这种方式时,垂直方式选择开关应在 CH₂ 方式)

(22) 触发源选择开关

INT: 用 CH₁ 或 CH₂ 信号作为触发源; LINE: 用电网频率信号作为触发源

EXT: 从外触发输入端子输入信号作为触发源

(23) 内触发源选择开关

当触发源选择开关(22)置于“INT”时,可选择以下信号作为触发信号:

NORM: 屏幕上所显示的信号用做触发信号

CH₁: CH₁ 信号作为触发源; CH₂: CH₂ 信号作为触发源

(24) 触发耦合开关

(25) LEVEL: 调节触发信号波形上的起始电平,使信号稳定触发

FIX: 旋钮旋到 FIX 位置,触发电平被固定在最佳电平位置为全自动触发,这个旋钮置于 IN+ 触发极性为正,拉出触发极性为负

(26) 外触发输入端: 输入外触发信号

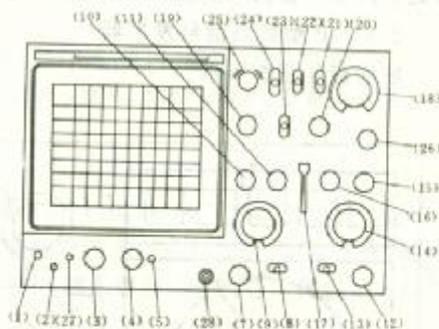


图 4 面板介绍

(27)校准:该端输出校准信号,该信号为方波,频率为 1kHz,幅度约为 0.3V。

(28)地端

使用时应注意:①为使测量准确,须在开机预热 15 分钟后工作;②测试时注意手不要太接近示波管屏幕前,以免造成被测波形失真。

2. XD1B 型低频信号发生器

前面板如图 5 所示。

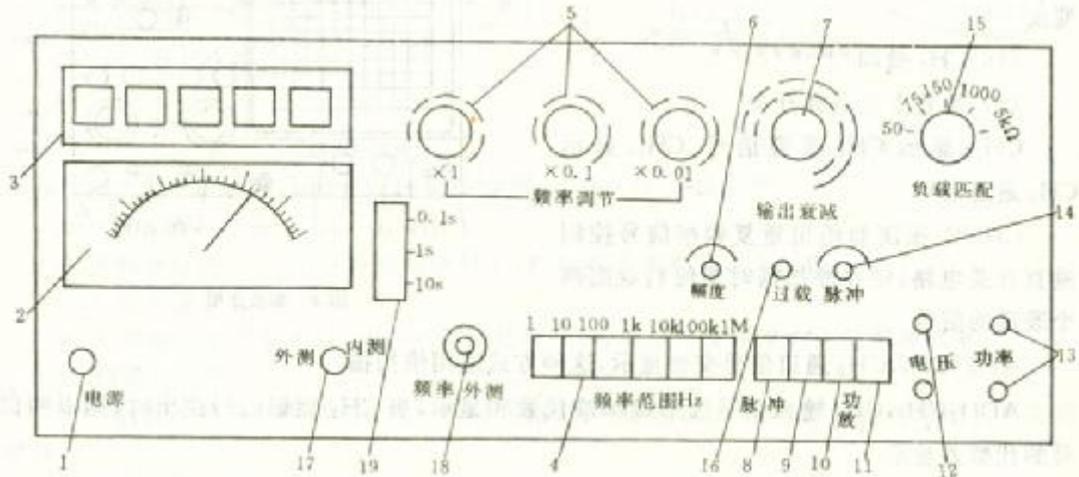


图 5 XD1B 低频信号发生器前面板示意图

1. 电源开关;2. 电压表表头;3. 五位数字显示屏;4. 频率范围按键选择开关;5. 十进制频率调节旋钮;6. 输出幅度调节电位器;7. 输出步进衰减开关;8. 正弦与脉冲波形选择;9. 脉冲输出时正脉冲与负脉冲选择;10. 功率输出控制,按下有输出,抬起无输出;11. 功率输出内负载接入控制,按下接入,抬起断开;12. 电压输出端钮;13. 功率输出端钮;14. 正、负脉冲占空比调节;15. 负载匹配选择开关;16. 过载指示;17. 频率计“内测”“外测”选择;18. 频率计外测输入插口;19. 频率计闸门时间选择开关

3. NF1630A 函数信号发生器

面板如图 6 所示。

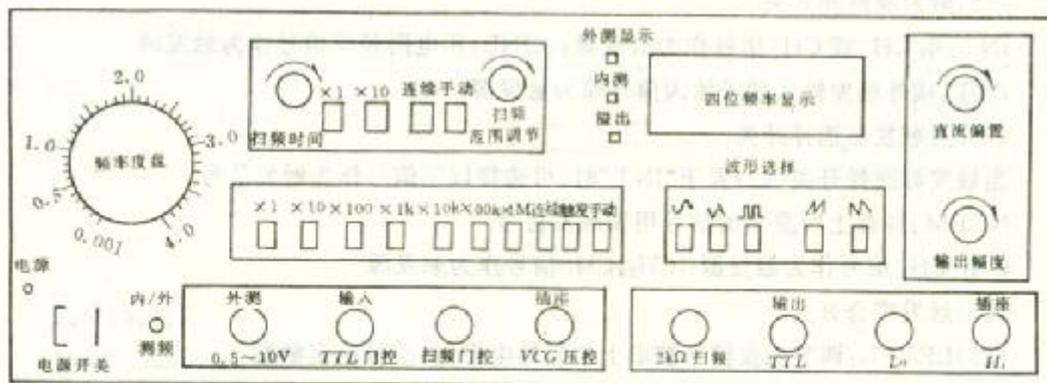


图 6 NF1630A 面板示意图

技术指标:

1. 频率范围:0.004Hz~4MHz,共分七个频段。

×1档:0.004Hz~4Hz; ×10档:0.04Hz~40Hz; ×100档:0.4Hz~400Hz

×1k档:4Hz~4kHz; ×10k档:40Hz~40kHz; ×100k档:400Hz~400kHz;

×1M档:400Hz~4MHz

2. 输出波形:正弦波、三角波、方波、正倒锯齿波、脉冲波、TTL脉冲、直流电平。

3. 输出幅度:HI端子:空载0~20V_{p-p},50Ω负载0~10V_{p-p};LO端子:空载0~2V_{p-p},50Ω负载0~1V_{p-p}。

【实验任务及操作步骤】

在了解有关示波器基本知识的基础上再进行操作,开启电源,将“扫描、选择钮”置于一扫描频率档,将辉度钮置于中间位置,稍预热后,应能看到光点或扫描线,如看不到,调垂直(“↑”)位移钮和水平(“←”)位移钮。如仍看不到,适当调大辉度、再调,总可找到光点或扫描线。把拉开的扫描线置于屏中间,调节聚焦钮。

1. 观察Y轴输入信号的波形

将低频信号发生器输出信号引入示波器Y轴,将“扫描选择”钮扳至适当的频率档。例如Y轴输入信号频率为 f_x ,若我们拟在屏上观察四个完整周期的信号波形,则应使扫描频率 $f_s = \frac{f_x}{4}$,拟观察两个完整周期的图形,则 $f_s = \frac{f_x}{2}$ 。操作时可借助“扫描选择”和“扫描微调”来满足 $f_s = kf_x$ 。

(1)观察正弦波形,根据以上原理,调节有关旋钮,使之得到一个周期、两个周期、三个周期的波形,并在报告中画出所观察到的图形。

(2)观察半波和全波整流电压波形,如图7(a)、(b),并画出所观察到的图形。

2. 电压测量

根据光点的偏转量与偏转电压成正比这一关系来测量电压,测量前需要进行校准(一般示波器的下方都标有校准电压)。用示波器测量电压的方法有两种:

(1)直接测量法:把测量通道的“微调”旋钮置于“校准”位置,即VP-5220A型示波器面板上(16)旋钮顺时针方向旋到底,则灵敏度 h 所指刻度值就被校准。然后把被测电压输入测量通道Y轴,即面板上(12)。测读电压波形的峰-峰高度 D ,则被测电压的峰-峰值是

$$V_{p-p} = h(\text{V/cm}) \times D(\text{cm}) \quad (1)$$

(2)比较测量法:将峰-峰电压为 V_0 的标准信号输入Y轴,读出波形的峰-峰高度 D_0 ,然后在不改变Y轴灵敏度的条件下将被测信号 V_x 输入Y轴,读出其对应高度 D ,则 V_x 的峰-峰电压是

$$V_{p-p} = \frac{D}{D_0} V_0 \quad (2)$$

根据上述原理,测量全波整流前交流电压的峰值和整流后脉动电压的峰值,见表1。

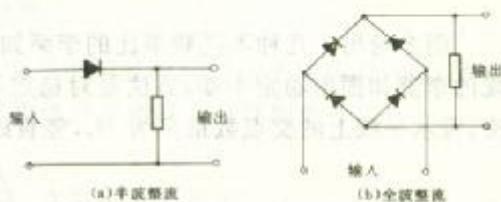


图7 整流电路

表 1

项目 \ 次数	脉动电压峰值 (伏)	正弦电压峰值 (伏)	脉动电压峰值 正弦电压峰值
1			
2			
3			
平均			

3. 频率测量

将示波器两对偏转板,分别加上正弦电压,屏上光点的运动轨迹是两个正弦振动的垂直合成,其图形的形状大小取决于它们的频率、相位和振幅之间的关系,如果它们的频率之比是简单的整数比时,必将得到一个稳定的图形,叫李萨如图形,如图 8 所示。

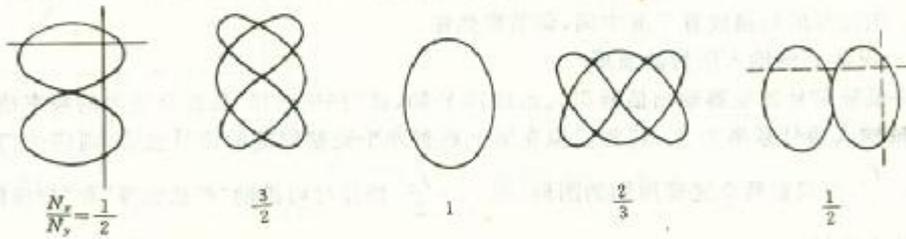


图 8 李萨如图形

图 8 给出了几种不同频率比的李萨如图形。判断两个电压信号频率比的条件是屏上出现的李萨如图形稳定不动,方法是对稳定不动的图形分别做水平直线和竖直直线与图形相交,设水平线上的交点数最多为 N_x ,竖直线上的交点数最多为 N_y ,则

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_x}{N_y} \quad (3)$$

图 8 中的第一个图形, $N_x=2, N_y=4$, Y 轴上的信号频率 f_y 与 X 轴上的信号频率 f_x 之比为 $\frac{2}{4}$ (即 $\frac{1}{2}$),若 f_x 已知,则 f_y 可求。

根据上述原理,校准低频信号发生器的输出频率指示值。

将频率 $f_0=100\text{Hz}$ (或 50Hz)的正弦信号作为已知频率信号,输入到 CH_1 (X 轴),将被测频率输入到 CH_2 (Y 轴),合成为李萨如图形,改变被测信号输出频率,使屏上依次出现如图 8 所示的图形,按式(3)分别计算出每一被测信号频率的客观值 f_y ,再与指示值 f_y' 比较,修正值是 $C=f_y-f_y'$,并填入表 2。 $f_x=100\text{Hz}$ 输至 X 轴, f_y 输至 Y 轴。

表 2

交点比 $\frac{N_x}{N_y}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{1}$
图 形					
f_y (计算值)					
f_y' (示值)					
C(修正值)					

(8)

思考题

1. 示波管的构造和原理是什么?
2. 开启电源后, 荧光屏上什么也没出现, 怎样操作才能找到扫描基线?
3. 示波器为什么能把看不见的变化电压显示成看得见的图形? 简单叙述其原理?
4. 获得李萨如图形的条件是什么?
5. 示波器能否测直流电压? 如果能测, 则应如何进行?
6. 如果被观测的图形不稳定, 调节哪些旋钮能使波形稳定?

实验二十八 电子束线的偏转

静电场和稳恒磁场的基本理论及带电粒子在电场和磁场中的运动规律, 已在现代科学技术中得到广泛的运用。例如电子射线在电磁场中产生偏转和聚焦的规律, 已在示波器、显像管、扫描电子显微镜、加速器等仪器设备中广泛应用。通过本实验研究带电粒子在电场和磁场中偏转的规律, 了解电子束线管的结构和原理。

【实验原理】

示波器中用来显示电信号波形的示波管和电视机里显示图像的显像管都属于电子束线管, 尽管它们的型号和结构不全相同, 但都有产生电子束的系统和对电子加速的系统, 还有聚焦、偏转和强度控制等系统。本实验仅讨论电子束线的偏转特性及其测量方法。

1. 电子束在电场中的偏转

假定由阴极发射出的电子其平均初速近似为零, 在阳极电压作用下, 沿 z 方向做加速运动, 则其最后速度 v_z 可根据功能原理求出来, 即

$$eV_2 = \frac{1}{2}mv_z^2$$

移项后得到

$$v_z^2 = \frac{2eV_2}{m} \quad (1)$$

式中, V_2 为加速阳极相对于阴极的电势; e/m 为电子的荷质比。如果在垂直于 z 轴的 y 方向上设置一个匀强电场, 那么以 v_z 速度飞行的电子将在 y 方向上发生偏转, 如图 1 所示。若偏转电场由一个平行板电容器构成, 板间距离为 d , 极间电势差为 V , 则电子在电容器中所受到的偏转力为

$$F_y = eE = \frac{eV}{d} \quad (2)$$

根据牛顿定律, 有

$$F_y = m\ddot{y} = \frac{eV}{d}$$

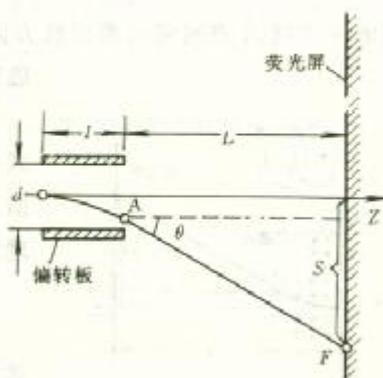


图 1 电场偏转

实验四十五 伏安法测电阻的误差分析与仪表选择

(1) 参照电路图 2, 将各元件正确安插到实验板上, 联好电路。

(2) 检验你所设计、组装的直流电流、直流电压、交流电压各档, 每档检验 2~3 点, 以台面提供的直流电源、交流电源、滑线电阻和商品万用表及导线, 自己设计其检验电路。

(3) 检验欧姆档调零电阻 R_T 的效果, R_x 用电阻箱代替, 测出欧姆档的定标曲线, 即测出表头指针偏转格 n 与外电阻 R_x (已知) 的关系, 做出 $I-R_x$ 图线, 检查中心电阻欧姆是否符合要求。

(4) 评价你的工作。

思考题

1. 欧姆表中心阻值如何确定? 要减小或增大中心阻值应如何解决?
2. 表头内阻如何去测?
3. 交流电压档的电路中, 能否将二极管 D_1 省去?
4. 用万用表 50mA 档去测直流 50V 电压将会产生什么后果? 为什么?
5. 用欧姆表能否测量电源的内阻或灵敏电流计的内阻? 为什么?
6. 能否用直流电压档去测量电容器充电后两极间的电压? 为什么?
7. 能否用万用表检查一回路中电阻值? 怎样做?
8. 能否用万用表检查一回路中电流值? 怎样做?

实验四十五 伏安法测电阻的误差分析与仪表选择

伏安法测电阻, 实际上就是利用伏特表和安培表来测电阻。优点是设备简单、成本低、容易实现, 但误差较大。伏安法测电阻的误差主要包括方法误差和仪器误差。前者属于定值系统误差, 可以修正; 后者属未定系统误差, 可以估算。本实验要求学生用伏安法测量两只电阻, 并要求 $\frac{U}{R} < 2\%$ 。

【实验原理】

根据电流表在电路中的位置, 有外接法和内接法, 如图 1 所示。

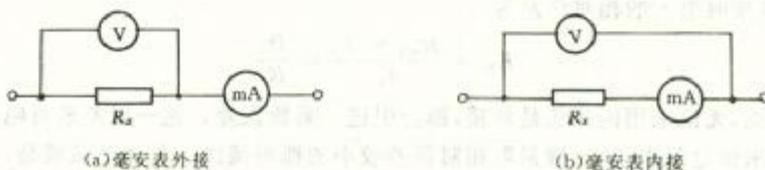


图 1 电表接线方法

若通过 R_x 上的电流为 I_x , 加在 R_x 两端的电压为 V_x , 则有

$$R_x = \frac{V_x}{I_x} \quad (1)$$

但是,无论采用外接法还是内接法,电表都不可能同时给出 V_x 和 I_x 的值,从而造成了接线方法的误差。

采用外接法时,如图 1(a),电压表的示值 V 就是 V_x ,但电流表的示值 I 却不是 I_x ,而是 I_x 与 I_V 之和,即 $I = I_x + I_V$ 。

$$\text{故 } I_x = I - I_V = I - \frac{V}{R_V} \quad (2)$$

由外接法引入的方法误差

$$\Delta I = I - I_x = \frac{V}{R_V}$$

为了消除这项误差,应将(2)式代入(1)式,得到

$$R_x = \frac{V}{I - \frac{V}{R_V}} \quad (3)$$

(3)式即为外接法的修正公式。

因此外接时, V 和 I 之比 $\left(\frac{V}{I}\right)$ 是 R_x 与 R_V 的并联电阻值“ $R_{x\#}$ ”,而不是 R_x ,即

$$R_{x\#} = \frac{R_x \cdot R_V}{R_x + R_V} = \frac{V}{I} \quad (4)$$

所以,外接时引入的相对误差为

$$E_{\#} = \frac{R_{x\#} - R_x}{R_x} = -\frac{R_x}{R_x + R_V} \quad (5)$$

采用内接法时,如图 1(b),电流表的示值 I 就是 I_x ,但电压表的示值 V 却不是 V_x ,而是 V_x 与 V_A 之和,即 $V = V_x + V_A$,所以

$$V_x = V - V_A = V - IR_A \quad (6)$$

由内接法引入的方法误差 $\Delta V = V - V_x = IR_A$, R_A 是电流表的内阻。为了消除这项误差,应将(6)式代入(1)式,得到

$$R_x = \frac{V}{I} - R_A \quad (7)$$

(7)式即为内接法的修正公式。

因此内接时, V 和 I 之比 $\left(\frac{V}{I}\right)$, 是 R_x 与 R_A 串联的阻值“ $R_{x\#}$ ”,而不是 R_x ,即

$$R_{x\#} = R_x + R_A = \frac{V}{I}$$

所以,内接时引入的相对误差为

$$E_{\#} = \frac{R_{x\#} - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x} \quad (8)$$

由此可见,无论采用内接还是外接,都会引进一系统误差。这一误差来自电表内阻的影响。对某一未知电阻来说,一般采取相对误差较小的那种接法。具体来说就是:

1. 当 $R_x \ll R_V$ 时,采用外接法时误差较小;
2. 当 $R_x \gg R_A$ 时,采用内接法时误差较小。

电阻的测量不确定度,由电压和电流这两项的测量不确定度综合而成。而电压和电流的不确定度各包含两项分量:一项由方法误差造成,另一项由仪器误差造成。当使用了修正公

式时,前者被消除,后者应予估算。

$$\text{电压不确定度 } u_V = \Delta V = V_m a_V \% \quad (9)$$

$$\text{电流不确定度 } u_I = \Delta I = I_m a_I \% \quad (10)$$

式中, $\Delta V, \Delta I$ 为电压表、电流表的最大允许误差; V_m, I_m 为电压表、电流表的量程; a_V, a_I 为电压表、电流表的准确度等级。

由 $R = \frac{V}{I}$, 不确定度传播公式为

$$\frac{U}{R} = \sqrt{\left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2} \quad (11)$$

根据 $\frac{U}{R} < 2\%$ 的要求, 并将式(9)(10)代入式(11), 再设 $a_V = a_I = 1.0$, 可按不确定度均分原则, 计算得

$$V > \frac{\sqrt{2} \times 1\%}{2\%} V_m \approx \frac{3}{4} \times V_m \quad (12)$$

$$I > \frac{\sqrt{2} \times 1\%}{2\%} I_m \approx \frac{3}{4} \times I_m \quad (13)$$

式(12)和(13)分别表示电压表和电流表的读数范围, 应大于满偏值的 $\frac{3}{4}$ 。

【仪器装置】

稳压电源、滑线变阻器、不同量程的直流电流表、不同量程的直流电压表、待测电阻、开关、导线等。

【实验步骤与提示】

1. 按图 2 接线。
2. 把被测电阻接入电路, 合理的选择量程, 开始时应使滑线变阻器输出电压最小。
3. 对待测电阻粗测一下大致阻值, 再根据实验前记录的有关参数 ($I_{\max} = ? R_A = ? V_{\max} = ? R_V = ? a_V = ? a_I = ?$) 确定采取何种接法。

【数据处理】

记录数据, 完成表 1。

表 1

次数	1	2	3	4	5
项目					
V(伏)					
I(毫安)					
$\frac{V}{I} = R_x'$ (欧)					
修正 R_x (欧)					
$\frac{U}{R}$ (%)					

【数据处理示例】

根据待测电阻的标准值 $R_x = 47$ 欧姆, 选择:

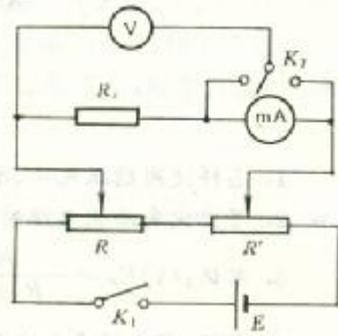


图 2 伏安法测电阻

(1) 电压表量程: $V_{\max} = 0.2(\text{V})$, 内阻 $R_V = 224(\Omega)$, $a = 1$;

(2) 电流表量程: $I_{\max} = 5(\text{mA})$, 内阻 $R_A = 58.8(\Omega)$, $a = 1$;

(3) 接法: 因为 $\frac{R_x}{R_x + R_V} < \frac{R_A}{R_x}$, 采用外接法;

(4) $\frac{U}{R} < 2\%$, 电压表在 $0.15 \sim 0.2(\text{V})$ 之间测读; 电流表在 $3.8 \sim 5(\text{mA})$ 之间测读。

从数据中任选一组计算不确定度:

$$V = 0.15 \text{ 伏}, \Delta V = 0.2 \times 1\% = 0.002 \text{ 伏}$$

$$I = 3.93 \text{ mA}, \Delta I = 5 \times 1\% = 0.05 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} \frac{U}{R} &= \sqrt{\left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.002}{0.15}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{3.93}\right)^2} = 0.012 = 1.2\% \end{aligned}$$

思考题

1. 怎样使用稳压电源、滑线变阻器?

2. 写出伏安法测电阻的修正公式, 系统误差是否完全被消除?

3. 求证: (1) $E_R = -\frac{R_x}{R_x + R_V}$; (2) $E_R = \frac{R_A}{R_x}$.

4. 求证: 若电流表和电压表的准确度均为 $a = 1.0$, 为了使 $\frac{U}{R} \leq 2\%$, 则两表的指针必须大于满偏的 $\frac{3}{4}$ 。

5. 上题中, 若电压表为 $a_V = 1.0$ 级, 而电流表为 $a_I = 0.5$ 级, 为了使 $\frac{U}{R} \leq 1.5\%$, 则两表的读数范围各应如何规定?

提示: 当 $a_V = a_I$ 时, 可按误差均分原则, 使 $\frac{u_V}{V} = \frac{u_I}{I}$, 代入(11)式, 得 $V > \frac{3}{4} V_m, I > \frac{3}{4} I_m$ 。

当 $a_V \neq a_I$ 时, 一般不采用误差均分原则, 各表所占误差份额可作适当调整, 可使等级低的电表所占误差份额大一些。例如在实验要求 $\frac{U}{R} \leq 1.5\%$, $a_V = 1.0, a_I = 0.5$, 误差份额可这样分配: 使 $\left(\frac{u_V}{V}\right)^2 = 4\left(\frac{u_I}{I}\right)^2$, 代入(11)式得

$$\frac{U}{R} = \sqrt{5\left(\frac{u_I}{I}\right)^2} = \sqrt{\frac{5}{4}\left(\frac{u_V}{V}\right)^2} \leq 1.5\%$$

从而解出 V 和 I 的取值范围。

实验四十六 测温电桥的电路设计、安装与使用

温度是国际单位制(SI)中 7 个基本物理量之一, 它与人类生存和社会发展有着十分密

实验五十五 全息照相

• 240 •

新编物理实验

表 1

测量情况 被测点编号	分 别 测 量					叠 加 计 算 结 果		综 合 测 量	
	圆线圈 I 通电			圆线圈 II 通电		I 和 II 合成		I 和 II 串接	
	U_{max} (mV)	B_1 (T)	θ (°)	U_{max} (mV)	θ (°)	U_{max} (mV)	θ (°)	U_{max} (mV)	θ (°)
0									
1									
⋮									
11									
轴外 M 点									

(1) 表格中 θ 指磁场方向与圆线圈对称轴线方向的夹角, 记录 θ 角时应标明角度的正方向。测量磁场方向时, M 点必须测, 其它点只要测 3~4 个有代表性的点即可。

(2) 对单个圆线圈轴上各点的磁场分布, 应画出 $B-x$ 曲线, 并比较实验值与由(7)式算得的理论值二者之间是否一致。

(3) 从轴外点 M 的测量数据出发, 验证矢量叠加原理, 报告中要有该点处 B 的矢量合成图和 B 的大小、方向计算过程。

2. 测量亥姆霍兹线圈磁场情况, 数据表格自拟。根据这些测量结果, 对其磁场均匀情况作简单的说明。

3. 记下圆线圈平面内 Q 点的磁感应强度的大小和方向, 比较 O, Q 两点中哪一点的 B 值大, 并定性说明其理由。

思 考 题

1. 电磁感应法测磁场的原理是什么? 本实验测磁感应强度的计算公式是什么?
2. 用探测线圈测磁场时, 探测线圈输出电压的极大值可确定磁场的_____, 其极小值时探测线圈的方位可用来判断磁场的_____。
3. 亥姆霍兹线圈是怎么组成的? 其基本条件是什么? 它的磁场特点是什么?
4. 如果亥姆霍兹线圈的两个圆线圈通以相反的电流, 其磁场分布又将如何?
5. 如果用交流毫安表代替交流毫伏表, 已知探测线圈的电阻 R_p 和毫安表内阻 R_A , 则应该用什么样的公式来替代(3)式测量磁场?

实验五十五 全息照相

全息照相的基本原理是以波的干涉和衍射为基础的。它的物理思想早在 1948 年就由盖伯(D·Gabor)首先创立, 但由于缺乏相干性好的光源, 因而几乎没有引起人们的注意。直到 1960 年激光器问世后, 才使全息照相技术得到迅速发展, 成为科学技术上一个崭新的领域。全息照相在干涉计量、无损检测、信息存贮与处理、遥感技术、生物医学和国防科研中获得了

极其广泛的应用。通过本实验了解光学全息照相的基本原理和它的主要特点,学习静态全息照相的拍摄方法和有关技术,掌握全息照相再现物像的性质和观察方法。

【实验原理】

1. 全息照相与全息照相技术

照相是将物体上各点发出或反射的光记录在感光材料上。由光的波动理论知道,光波是电磁波。一列单色波可表示为

$$x = A \cos \left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$$

式中, A 为振幅; ω 为圆频率; λ 为波长; φ 为波源的初相值。

一个实际物体发射或反射的光波比较复杂,但是一般可以看成是由许多不同频率的单色光波的叠加:

$$x = \sum_{i=1}^n A_i \cos \left(\omega_i t + \varphi_i - \frac{2\pi x}{\lambda_i} \right)$$

因此,任何一定频率的光波都包含着振幅 A 和位相 $\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi x}{\lambda} \right)$ 两大信息。光在传播过程中,借助于它们的频率、振幅和位相来区别物体的颜色(频率)、明暗(振幅平方)和远近(位相)。

普通照相是通过成像系统(照相机镜头)使物体成像在感光材料上,材料上的感光强度只与物体表面光强分布有关,所以它只记录了光波的振幅信息,无法记录物体光波的位相差别。因此,普通照相记录的只能是物体的一个二维平面像,失去了立体感。

全息照相不仅记录了物体发出或反射的光波的振幅信息,而且把光波的位相信息也记录下来,它记录了光波的全部信息,并且在一定条件下,能将所记录的全部信息完全再现出来,因而再现的物像是一个逼真的三维立体像。

全息照相包含两个过程:第一,把物体光波的全部信息记录在全息干板上,称为记录过程;第二,照明已感光的全息干板,使其再现原物体的光波,称为再现过程。

2. 全息照相的基本过程——记录和再现

(1) 全息照相记录过程的原理——光的干涉。

怎样才能把物光的全部信息同时记录下来呢?由物理光学可知,利用干涉的方法,以干涉条纹的形式就可以记录物光的全部信息。

图1是记录过程中所使用的光路。相干性极好的 He-Ne 激光器发出激光束,通过分束镜 M 分成两束。其中一束光经反射镜 M_1 反射,再由扩束镜 L_1 将光束扩大后均匀地照射到被摄物体 D 上,经物体表面反射后再照射到全息干板 H 上,这束光为物光;另一束光经反射镜 M_2 反射, L_2 扩束后,直接均匀地照射到 H 上,这束光为参考光。这两束光在胶片 H 上叠加干涉,出现了许多复杂的干涉图样,被胶片 H 记录下来,再经过摄影、定影等处理,成了一张有干涉条纹的“全息照片”(或称全息图)。干涉图样的形状反

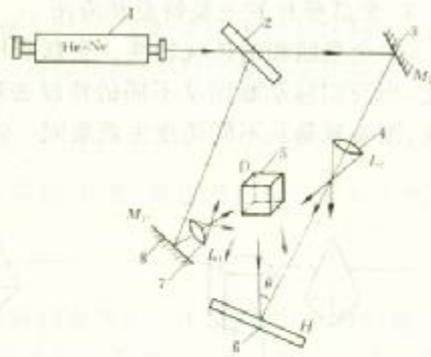


图1

1. 激光器;2. 分束镜;3,8. 反射镜;4,7. 扩束镜;
5. 被摄物;6. 感光胶片

映了物光和参考光间的位相关系,干涉条纹明暗对比程度反映了光的强度关系,干涉条纹的疏密则反映了物光和参考光的夹角。

(2)全息照相再现过程的原理——光的衍射

我们知道,人之所以能看到物体,是因为从物体发出或反射的光波被人的眼睛所接收。所以如果要想从全息干板的“照片”上看原来物体的像,直接观察“照片”是看不到的,因为它记录的是干涉条纹。如果要看到原来物体的像,则必须使“照片”能再现原来物体发出的光波,这个过程就被称为全息照片的再现过程,这一过程是利用光栅衍射原理。

再现过程的光路如图 2 所示。一束从特定方向或与原来参考光方向相同的激光束照明全息照片。“照片”上每一组干涉条纹相当于一个复杂的光栅,它使再现光发生衍射。我们沿衍射方向透过“照片”朝原来被摄物的方位观察时,就可以看到一个完全逼真的三维立体图像。为讨论方便起见,取全息照片某一小区域 ab 为例,同时把再现光看成是一束平行光,且垂直照射于“照片”上,如图 3 所示。按光栅衍射原理,再现光将发生衍射,其+1 级衍射光是发散光,与物体在原来位置时发出的光波完全一样,将形成一个虚像,就和原物放在那一样,称为真像;-1 级衍射光是会聚光,将形成一个共轭实像,称为虚像。

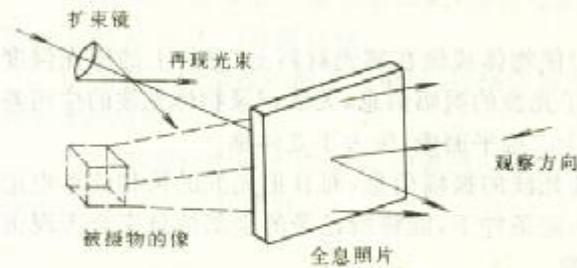


图 2

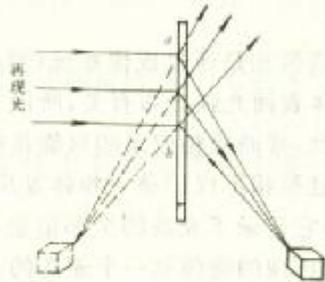


图 3

3. 全息照相的主要特点和应用

(1)全息照相的体视特性。全息照片再现的被摄物体是一幅完全逼真的三维立体图像。因此,当我们移动眼睛从不同的角度去观察时,就好像面对原物体一样,可看到原被遮住的侧面,图 4 就是从不同角度去观察同一张全息照片时的全面的视差特性。

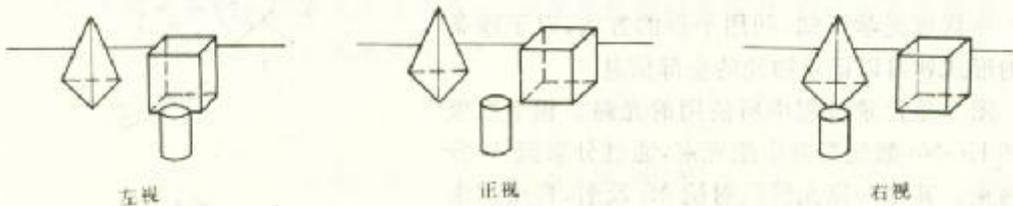


图 4

(2)全息照相的可分割性。全息照片上的任一小区域都分别记录了从同一物点发出的不同倾角的物光信息。因此通过全息照片的任一碎片,仍能再现出完整的图像。

(3)全息照片的多重记录性。在一次全息照相拍摄曝光后,只要稍微改变全息干板的方位,如转过一定角度,或改变参考光的入射方向,就可在同一张干板上进行第二次、第三次的

重叠记录。再现时,只要适当转动全息照片即可获得各自独立互不干涉的图像。

由于全息照相技术具有上述的特点,所以在各个领域已得到较广泛的应用。如利用全息照相的体视特性,可作三维显示、立体广告、立体电影、立体电视等,利用全息照相的可分割性和多重记录特性,可作信息存贮、全息干涉计量、振动频谱分析、无损检测和测量位移、应力、应变等。

为了拍摄合乎要求的全息照片,对拍摄系统有一定的技术要求。

(1)对于全息照相的光学系统,要求有特别高的机械稳定性。如果物光和参考光的光程稍有不规则的变化,就会使干涉图像模糊不清。即使像地面振动而引起工作台面的振动、光学元件及物体夹得不牢固而引起的抖动、强烈声波振动而引起空气密度的变化等,都会引起干涉条纹的不规则漂移而使图像模糊。因此拍摄系统必须安装在具有防振装置的平台,系统中光学元件和各种支架都要用磁钢牢固地吸在钢板上。在曝光过程中,不要走动,不要高声说话,以保证干涉条纹无漂移。

(2)要有好的相干光源。一般实验中常采用 He-Ne 激光器作为光源。同时物光和参考光的光程差要符合相干条件。一般常使两者光程大致相等。

(3)物光和参考光的光强比要合适。一般以 1:4 到 1:10 为宜;两者间的夹角小于 45° ,因为夹角越大,干涉条纹间距越小,条纹越密,对感光材料分辨率的要求也越高。

【装置仪器】

全息实验台(包括激光源及各种镜头支架、载物台、干板架等部件和固定这些部件所用的磁钢)、全息干板、暗室器材和药品等。

【实验内容与步骤】

1. 漫反射全息照片的拍摄

(1)光路的调整。按图 1 光路放置各元、器件,并作如下调整:①使各元件等高;②使参考光均匀照亮干板架上白纸屏,使入射光均匀照明被摄物体,而其漫反射光能照射到白纸屏上,调节两束光的夹角约为 30° ;③使物光和参考光的光程大致相等。

(2)曝光。①根据物光和参考光的总光强确定曝光时间(实验室提供参考时间);②关闭所有光源,在全暗条件下轻轻地将干板装在干板架上稍等片刻;③打开激光光源进行自动定时曝光,然后关闭激光光源,取下胶片仍用黑纸包好。

2. 全息照片的冲洗

在照相暗室中,按暗室操作技术规范进行显影、停显、定影、水洗及冷风干燥等工作。在白炽灯下观看时,若有干涉条纹,说明拍摄冲洗成功。

3. 全息照片再现像的观察

按图 2 光路观察再现的虚像。观察时,注意比较再现虚像的大小、位置与原物的情况,体会全息照相的体视性。再通过小孔观察再现虚像,并改变小孔覆盖在全息照片上的位置,体会全息照相的可分割性。详细记录观察结果。

【注意事项】

1. 所有光学元件不能用手摸、揩,必要时用专用擦镜纸轻轻揩擦。
2. 不要用眼睛直接对准激光束观察。
3. 遵守暗室操作规程。

思考题

1. 全息照相与普通照相有哪些不同? 全息照片的主要特点是什么?
2. 绘出拍摄全息照片的基本光路, 说明拍摄时的技术要求。
3. 如何获得全息照片再现像?
4. 对再现像观察过程中遇到的问题和看到的现象进行分析讨论。

实验五十六 直流控制电路输出特性的研究

实验电路一般可分为: 电源、控制电路和测量电路三部分。对控制电路的有关特性、参数、性能、特点和连接方法的了解, 是很重要的。至于测量电路是事先根据实验方法确定好的, 例如要用比较法校准安培表, 先要选好一块标准表, 使其和待校表串联, 这就是测量电路。当测量电路确定后, 便可以把它抽象地等效一个负载, 以 R 表示, 然后根据负载所要求的电压值 U 和电流值 I 的调节范围来确定电源 E 。一般电学实验对电源要求并不苛求, 只要选择电源电动势 E 略大于工作电压 U , 电源的额定电流略大于工作电流 I 即可。

当负载和电源确定后, 就需要安排控制电路, 使负载能获得所需要的各个不同的电压和电流值。一般来说, 不同的控制电路中电压和电流的变化, 应选用不同规格的滑线变阻器(或电位器)来控制, 滑线变阻器的规格主要有全电阻值及额定电流两项指标。控制电路有制流和分压两种基本接法, 这两种接法的性能指标可用调节范围、线性程度和细调程度来表征, 这三者的综合就是直流控制电路的输出特性。

【实验目的】

1. 掌握制流与分压两种电路的连接方法、性能和特点。
2. 测绘制流电路和分压电路的特性曲线
3. 根据负载对输出特性的要求, 合理选择滑线变阻器的规格。

【仪器装置】

直流稳压电源、直流电流表、直流电压表、旋转式电阻箱、不同规格的滑线变阻器、开关、导线等。

【实验原理】

1. 制流电路

(1) 调节范围。其电路如图 1 所示, E 为直流电源, R_0 为滑线变阻器, mA 为毫安表, R 为负载(电阻箱), K 为电源开关。移动滑动端 C 的位置可以连续改变 AC 之间的电阻值 R_{AC} , 从而改变整个电路的电流

$$I = \frac{E}{R + R_{AC}}$$

当 C 滑至 A 点, $R_{AC} = 0$ 时, 则

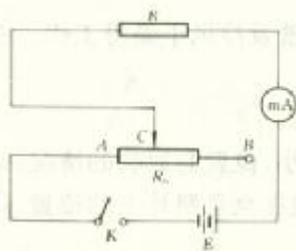


图 1 制流电路图

实验五十九 传感器的应用研究——电子秤

• 250 •

新编物理实验

化,将腔与盖更紧密吸合,从而可以承受更大的气体压力。当容器内的气压超过密封腔所控制的承受压力时,密封盖便瞬间打开,释放一部分气体,这个压力叫泄放压。泄放压的大小与磁化电流有关,本实验主要是研究泄放压与磁化电流的关系。磁化电流由毫安表读出,容器压力由压力表读出。观测者距压力表大约保持2米的距离,为了看清表针的位置,可以借助望远镜来读数。

【实验要求】

1. 测量不同磁化电流时的泄放压。
2. 根据数据做出曲线并进行分析和总结。

【操作步骤及注意事项】

1. 实验前的准备工作
 - (1) 开关 K 搬向退磁端,退磁电流初始值应大于充磁电流。
 - (2) 注入少许磁流体,要避免针尖划伤密封面。
 - (3) 找准位置,合上密封盖。
 - (4) 调整望远镜,使压力表指针清晰。
 - (5) 开关 K 搬向充磁端,按照拟定的数据表,调整到第1个数据点的电流值。
2. 缓慢开启压力源,此时压力表指针缓慢上升,用望远镜密切注视泄放时刻对应的压力表读数。压力一旦泄放,立即关闭气源阀门。
3. 重复1. 中(1)(2)(3)(4)等步骤。
4. 换向开关搬向充磁端,调整到第2个数据点的电流值。
5. 重复2.,测读此时的泄放压。
6. 按照上述步骤,完成你的全部实验数据(最高压力控制在1MPa,实验全过程不少于3次)。

【数据表格与数据处理】

表 1 实验数据记录表

$I(\text{mA})$	20	30	40	50	55	60	65	70	75	80
$\Delta n(\text{格数})$										
$P(\text{MPa})$										

1. 用坐标纸做出 $p-I$ 曲线,并总结分析。
2. 谈谈体会、感想(包括新的设想、展望、建议)。

实验五十九 传感器的应用研究——电子秤

在生产、科技和日常生活中,我们遇到各种物理量、化学量和生物量,这些量大致可分为电量和非电量。计算机的出现,对电量的测量已不成问题。然而占大多数的非电量(如热、光、力、气、湿、磁、声、色、射线、味、视、思维、离子等等)如何转化为电量,在计算机高度发展的今天,显得更加重要。传感器能使这种转化成为现实。

传感器是利用某种效益将被测量(通常为非电学量)变换成易于测量的量(通常为电学量)的器件,它们处于测量装置的输入端。如果把微机比喻为人的“大脑”,而传感器则为“五

官”。犹如人有耳目,要求耳聪目明。现代化技术系统少不了传感器,这就需要我们努力学习、研究和开发各种高质量的传感器。传感器的种类繁多,应用极其广泛,电子秤中应用了几种最基本的传感器。

【实验目的】

1. 初步了解金属箔式应变片传感器的工作原理并掌握其使用方法。
2. 知道传感器在电子秤中所起的作用。

【实验原理】

电子秤是将力学量通过传感器转变成电量并进行放大、最后通过数字显示出来的装置。

1. 金属箔式应变片传感器

(1) 金属箔式应变片的结构

箔式电阻应变片是利用金属箔(康铜箔和镍铬箔等),通过光刻、腐蚀等技术制成一种很薄的金属箔敏感栅,如图1所示。金属箔的厚度通常在0.003~0.01mm之间,



图1 箔式电阻应变片结构

它的基片和覆盖片多为胶质膜,基片厚度在0.03~0.05mm之间。

基片是将纸基用酚醛树脂、聚脂树脂等胶液浸透,硬处理后再用。金属丝一般用0.02~0.05mm直径的镍铬合金丝。

(2) 应变电阻效应

箔式应变片的工作原理基本和金属丝式应变片相同,下面以金属丝式应变片为例来说明。

设有一根长为 l 、截面积为 S 、电阻为 ρ 的金属丝,其电阻 R 为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

由“材料力学”和实验研究结果知道

$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

即金属丝电阻的相对变化与金属丝的伸长或缩短之间存在比例关系,比例系数 K_s 称为金属丝的应变灵敏系数,其物理意义为单位应变引起的电阻相对变化。 K_s 由两部分组成:一部分仅由金属丝的几何尺寸变化引起,另一部分为电阻率随应变而引起的变化,它除与金属丝的几何尺寸变化有关外,还与金属本身的特性有关。

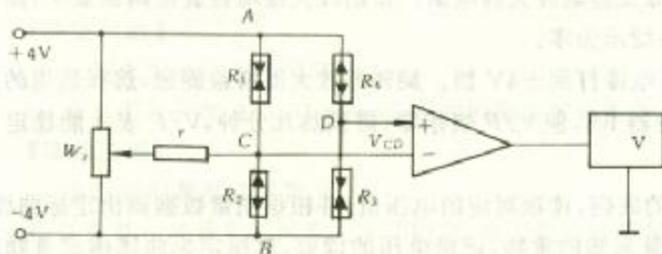


图2

2. 应变电桥测量电路

原理

金属箔式应变片的测量电路多采用交流电全桥(配交流放大器),其原理和直流电桥相似,直流电桥比较简单,其原理图如图2所示。由 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 四片应变片组成全桥电路,将

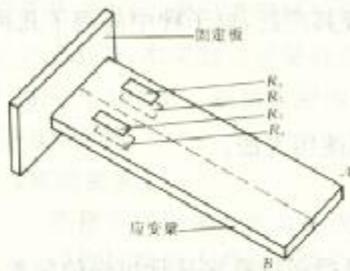


图 3

(R_1, R_3)和(R_2, R_4)分别粘贴在应变梁的上下面,如图 3 所示。当应变梁 AB 端不受力时,通过 R 及 W_1 调平衡网络,使 $V_{CD}=0$,电桥处于平衡(见图 2)。当应变梁 AB 端受到向上(或向下)方向的力时,应变梁发生形变,并使桥路中一对臂如 R_1, R_3 受拉,两片电阻增加;而另一对臂受压,两片电阻减少,电桥失去平衡,在电桥输出端得到一个与外力成正比的电信号 V_{CD} ,通过差动放大器放大后,接上直流数字毫伏表即可显示直流电压值。

若用交流全桥,电路图如图 4 所示。 C, D 端输出的交流电信号通过差动放大器放大后输入相敏检波器,经

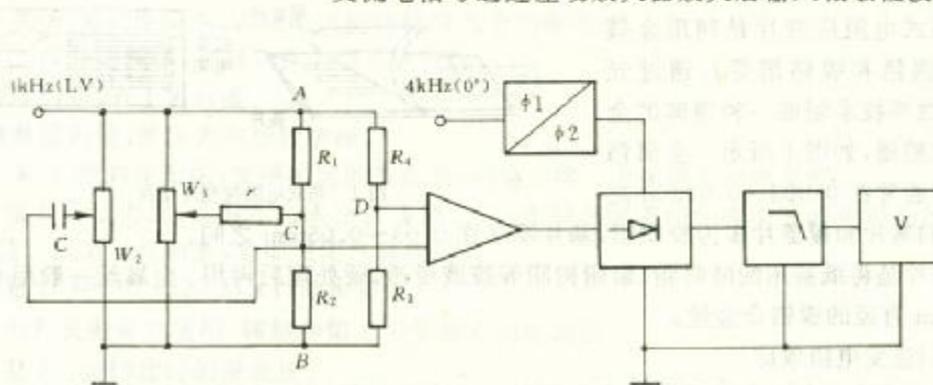


图 4

移相器的调节,可从相敏检波器的输出端得到合适的脉冲半波,再通过低通滤波器后成为直流电信号,即可用直流毫伏表测量。

【仪器装置】

1. 应变梁:应变梁采用双平行梁结构,用不锈钢材料制成。
 2. 应变片:箔式标称阻值:350Ω,指标为:梁位移 5mm 之内线性误差≤5%。
- 粘贴位置:应变梁上下面各两片处于受力状态。

【实验任务】

1. 接成直流全桥,对应变片传感器定标并称重。

(1)将差动放大器调零,方法是用导线将正负输入端与地端连接起来,然后将输出端接到电压表的输入插口,接通总电源及差动放大器电源。差动放大器增益旋钮调到最大,调整差动放大器上的调零旋钮使表头指示为零。

(2)按图 2 接线,将直流稳压电源打到±4V 档。旋转差放大器增益旋钮,选择适当的放大增益。然后调整电桥平衡电位器 W_1 ,使 V/F 表指零(需预热几分钟, V/F 表才能稳定下来, V/F 表打到 V ,取±4V 档)。

(3)在位移台上加不同重量的砝码,读取对应的电压值,并根据测量数据画出定标曲线。

(4)在位移台上加上一个重量未知的重物,记录电压的读数,对照定标曲线确定重物的重量。

2. 接成交流全桥进行定标及称重。

- (1)按上述方法将差动放大器调零。
- (2)按图 4 接线(R_1, R_2, R_3 和 R_4 的接法与图 2 相同),电桥激励必须从音频振荡器 L_V 插口输出,频率调至 4kHz。
- (3)调整移相器,使输出最大。
- (4)调整电位器 W_1, W_2 ,使 V/F 表指零。
- (5)定标及称重与直流全桥(3)(4)方法相同。

【注意事项】

1. 为保证安全、消除静电,电源必须有与大地连通的地线。
2. 选插式接线应尽量避免拉扯,以防折断。
3. 注意不要将从各电源、信号发生器引出的线对地(机壳)短路。
4. 梁的振幅不要过大,以免引起损坏。
5. 各处理电路虽有短路保护,但仍应避免长时间短路。
6. 0.9~10kHz 信号发生器接低阻负载(小于 100 Ω)时,必须从 L_V 接口引出。
7. 在实验过程中如有发现电压表发生过载,应将量程扩大。
8. 直流稳压电源不能打得过大,以免损坏应变片或造成严重自热效应。
9. 接全桥时请注意区别各应变片的工作状态与方向,不能接错。接好线后,经教师检查通过才能通电。
10. 砝码应尽量放在位移台正中间。
11. 在悬臂梁系统的自由部分不得有与外部相摩擦的情况。

思 考 题

1. 应变电阻式传感器在电子秤中起什么作用?
2. 金属箔式应变片传感器的工作原理是什么?
3. 如何对金属箔式应变片传感器定标。
4. 参考仪器说明书中的实验四、五、十三、十九、二十三、二十九和有关参考书,你认为将本实验设计的电子秤方案投入实际应用,哪些部分需要改进?

实验六十 电饭锅温度控制电路的设计和组装

【实验目的】

1. 了解电饭锅的工作原理。
2. 设计温度控制在 65 $^{\circ}\text{C}$ ~105 $^{\circ}\text{C}$ 左右的温度控制电路。

【实验原理】

1. 电饭锅控制电路的要求

电饭锅是用来做米饭的常用家用电器,为了能恰好将米饭做熟,并且能在无人控制时使米饭保温,在设计电饭锅时应达到下面的要求。

(1)煮饭功能