

普通物理实验

(上册)

李学慧 主编

大连大学

内 容 提 要

本书共分为五章,第一章是数据处理方法;第二章是物理实验常用的仪器和量具;第三章、第四章、第五章是实验项目,编入了力学、热学、电磁学、光学共 28 个实验项目。

本书可作为高等工科院校的物理实验教材,也可供电视大学、函授大学、职工大学、夜大学的有关专业选用。

普通物理实验

(上册)

李学慧主编 唐福深主审

大连铁道学院印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12 字数:276 千字

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—850 册

辽连出临图字[1998]第 114 号

目 录

第一章 物理实验数据处理方法简介

§ 1—0 引言.....	1
§ 1—1 几个基本概念.....	5
§ 1—2 直接测量的数据处理.....	7
§ 1—3 间接测量的数据处理	10
§ 1—4 双变量测量的数据处理	14

第二章 物理实验常用仪器和量具

✓ § 2—1 游标卡尺	21
§ 2—2 外径千分尺	23
✓ § 2—3 秒表	25
§ 2—3—1 机械秒表.....	25
§ 2—3—2 电子秒表.....	25
§ 2—4 数字毫秒计	25
✓ § 2—5 天平	27
△ § 2—6—1 滑线变阻器.....	30
§ 2—6—2 电位器.....	32
△ § 2—6—3 旋扭式电阻箱.....	32
§ 2—7 电表	33
△ § 2—7—1 直流检流计.....	34
§ 2—7—2 直流电压表.....	35
§ 2—7—3 直流电流表.....	35
• § 2—8 标准电池	37
§ 2—9 标准电阻(单值标准电阻)	38
§ 2—10 标准电容器.....	40
§ 2—11 标准电感器.....	40
§ 2—12 直流单臂电桥(惠斯通电桥).....	40
§ 2—13 直流双臂电桥(QJ—44 型直流双臂电桥)	41
§ 2—14 直流电位差计.....	43
§ 2—14—1 UJ36 型直流电位差计.....	44
§ 2—14—2 UJ31 型直流电位差计.....	47

§ 2—15 示波器.....	48
§ 2—15—1 SB—05 示波器.....	50
§ 2—15—2 VP—5220A 示波器.....	51
§ 2—16 低频信号发生器.....	53
§ 2—16—1 XD—2 型低频信号发生器.....	54
§ 2—16—2 XD1B 型低频信号发生器.....	56
§ 2—16—3 XJ1630 型函数信号发生器.....	58
§ 2—16—4 NF1630A 函数信号发生器.....	59
§ 2—17 晶体管毫伏表.....	60
§ 2—18 测微目镜.....	61
§ 2—19 读数显微镜.....	64
§ 2—20 钠光灯.....	66
§ 2—21 汞灯.....	66
§ 2—22 激光器.....	66

第三章 预备性实验

实验一 长度与体积的测量.....	67
实验二 物体密度的测量.....	70
(13) 实验三 三线摆测转动惯量.....	74
实验四 用牛顿环测定平凸透镜曲率半径.....	79

第四章 基础性实验

实验五 惠斯通电桥测电阻.....	84
十六 实验六 不良导体导热系数的测量.....	89
实验七 霍耳效应.....	92
实验八 静电场描绘.....	96*
实验九 用板式电位差计测量电池的电动势和内阻.....	100
实验十 示波器的使用.....	104
实验十一 分光计的调节和使用.....	108
实验十二 迈克尔逊干涉仪的调节和使用.....	114

第五章 选作实验

实验十三 用劈尖干涉测细丝直径.....	118
----------------------	-----

实验十四	薄透镜焦距的测量.....	120
实验十五	水的表面张力系数的测量.....	124
实验十六	金属线胀系数的测量.....	129
实验十七	简谐振动的研究.....	132
实验十八	单缝衍射的光强分布.....	139
实验十九	双棱镜测钠光波长.....	142
实验二十	冲击法测定螺线管磁场.....	144
实验二十一	冲击法测电容.....	150
实验二十二	伸长法测定杨氏弹性模量.....	153
实验二十三	双臂电桥测低电阻.....	159
实验二十四	衍射光栅.....	163
实验二十五	伏安法测电阻.....	166
实验二十六	测温电桥的设计、安装与使用	170
实验二十七	电表改装.....	175
实验二十八	磁场描绘.....	181

实验二十六 测温电桥的设计、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切的关系,在工农业生产、科学研究、医疗卫生和人们的日常生活中都离不开对温度的测量。

测温方法可分为接触测温法和非接触测温法。接触测温法就是测温敏感元件与被测物体直接接触的方法,水银温度计、电阻温度计、噪声温度计、石英频率温度计、热电偶等都是直接接触测温的仪器。非接触测温法是测温敏感元件不与被测物体直接接触的方法,目视光学高温计、光电高温计、光谱高温计、比色温度计、热像仪等都是非接触测温的仪器。

测温电桥的感温元件是热敏电阻,它把温度信号变成电信号,从而实现了非电量的(电测法)测量。值得提出的是,电量测量是现代测量技术中最简便的测量技术,不仅测量装置简单、造价低、灵敏度高,而且容易实现自动测量和自动控制,是测量技术的一个重要发展趋势。本实验要求实验者根据热敏电阻的温度特性来设计和安装一台指针式测温电桥。

实验目的

1. 了解负温度系数热敏电阻的温度特性及其测温原理。
2. 学习非平衡电桥的工作原理
3. 学习测温电桥的设计方法和安装调试技术。

原理提示

1. 负温度系数热敏电阻的温度特性

热敏电阻按其温度特性可分为正温度系数型、负温度系数型及开关型三大类。其中负温度系数热敏电阻器是以锰、钴、镍、铜和铝等金属氧化物为主要原料,采用陶瓷工艺制成。这些金属氧化物都具有半导体性质,温度低时,载流子数目少,因此阻值高;温度升高时,载子数目急剧增加,因此阻值急剧下降,如图1所示,其方程可表示为

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (1)$$

其中A、B是与材料有关的常数。由(1)式看出,只要测出阻值 R_T 的变化就能推测出温度 T 的变化。

2. 非平衡电桥

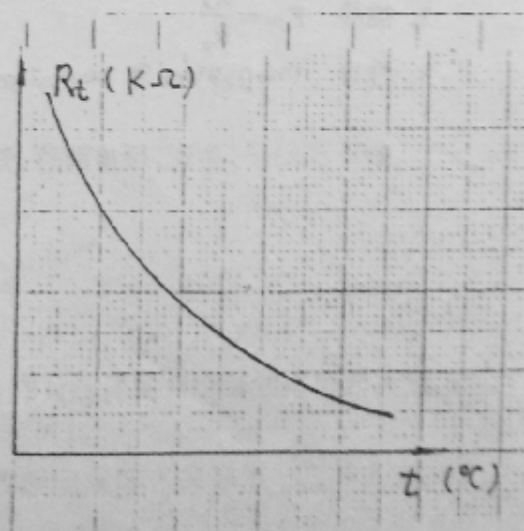


图1 负温度系数热敏电阻温度特性

非平衡电桥电路如图2所示,当 $R_1=R_2$ (对称电桥)及 $R_1=R_3$ 时,电桥平衡, G 指零。如果 R_1 的阻值发生变化,则电桥的平衡条件被破坏, G 中就有电流通过,指针发生偏转,偏转越大,说明 R_1 变化也越大。

根据桥路的基尔霍夫方程

$$\begin{cases} I_1 R_1 + I_g R_g - I_2 R_2 = 0 \\ (I_1 - I_g) R_2 - (I_2 + I_g) R_t - I_g R_g = 0 \\ I_2 R_3 + (I_2 + I_g) R_t = U_{cd} \\ R_1 = R_2 \end{cases} \quad \text{解出}$$

$$I_g = \frac{(R_3 - R_t) U_{cd}}{2(R_g R_3 + R_3 R_t + R_1 R_g) + R_1 (R_3 + R_t)} \quad (2)$$

由(2)看出,在 R_1 (R_2)、 R_3 、 R_g 及 U_{cd} 恒定条件下, I_g 的大小唯一地由 R_t 值来决定,因而有可能根据 G 偏转的大小来直接指示温度的高低。

3. 测温电桥的实验电路

如图3所示,测温电桥电路与图2相比有三点不同:

(1)增加一个发光二极管 LED, 做为电源指示;

(2)检流计 G 换成微安表头;

(3)最重要的改动是在 bd 支路中增加一个“校准”支路,当 K_2 扳至“校”时,测温电桥处于“校准”状态,当 K_2 扳至“测”时,测温电桥处于“测量”状态。

4. 电路参数的设计与计算

图3电路中需要设计或计算的参数有四个,下面分别介绍:

(1) U_{cd}

不可过高,否则流过 R_1 的电流过大,会使 R_1 产生自热现象而造成对环境温度的干扰; U_{cd} 也不可过低,否则微安表不能正常工作。根据本实验所用 R_1 的额定工作电流及微安表的量程,建议 U_{cd} 取 1.3V。

(2) R_3

R_3 值的大小与测温电桥的下限温度 t_1 有关。当环境温度为 t_1 时, R_1 值为 R_d 时,微安表应指零。对于对称电桥($R_1 = R_2$)来说, R_3 必须等于 R_d 。

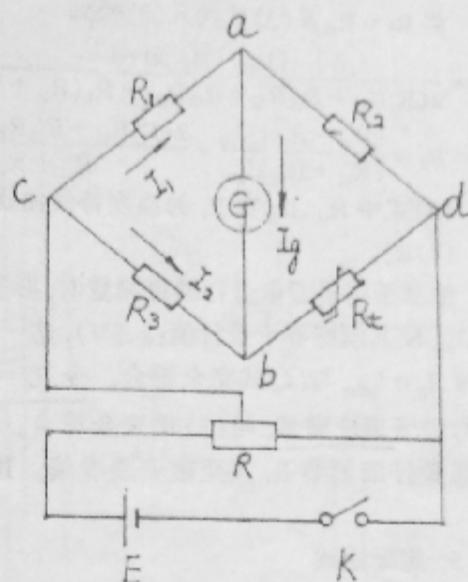


图2 非平衡电桥

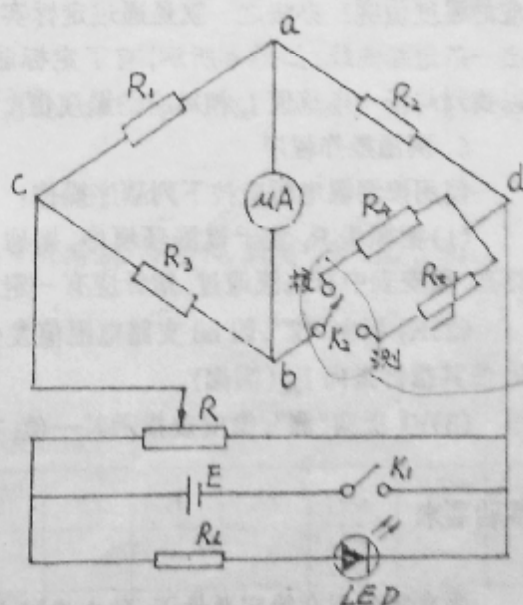


图3 测温电桥的实验电路图

(3) $R_1(R_2)$

如果测温电桥的上限温度为 $t_2^\circ\text{C}$, 则有

$$\begin{cases} R_1 = R_2 \\ I_g = I_{gm} \text{ (桥路 } G \text{ 的满偏电流)} \end{cases} \quad (3)$$

将 $R_3 = R_{t1}$ 及(3)式代入(2)得到

$$I_{gm} = \frac{(R_{t1} - R_2) U_{cd}}{2(R_g R_{t1} + R_{t1} R_2 + R_2 R_g) + R_1(R_{t1} + R_2)} \quad (4)$$

$$\text{解出 } R_1 = \frac{(R_{t1} - R_2) U_{cd}}{(R_{t1} + R_2) I_{gm}} - \frac{2(R_g R_{t1} + R_{t1} R_2 + R_2 R_g)}{R_{t1} + R_2} \quad (5)$$

(5)式中 R_{t1} 、 R_2 在 R_t 的温度特性曲线上查出, I_{gm} 和 R_g 由实验室给出。

(4) R_4

给测温电桥通电进行温度测量时, 必须首先将 K_2 扳至“校”, 目的是为了校准工作电压 U_{cd} , 使其刚好等于设计值(1.3V), 这一操作程序的目的是为了校准刻度值, 使 $R_{t1} = R_2$ 时, $I_g = I_{gm}$, 与(4)式完全符合。令 $R_4 = R_2$ 就相当于把 R_t 置于温度为 $t_2^\circ\text{C}$ 的环境中, 此时, 微安表应满偏, 与(3)式完全符合。如果微安表未能满偏, 则说明 U_{cd} 与设计值不符, 需要仔细调节 R , 直至微安表满偏。这一步完成后, 才能将 K_2 扳至“测”进入测量状态。

5. 定标曲线

将电路中各元件按上述设计值安装完成后, 就可以进行温度测量了。但微安表指示值是电流值而不是温度值。怎样才能通过微安表的偏转来读出相应的温度值呢? 办法之一就是通过定标实验来描绘出一条定标曲线, 如图4所示, 有了定标曲线, 就可以找到与任一电流值 I_g 相对应的温度值 t_i 。

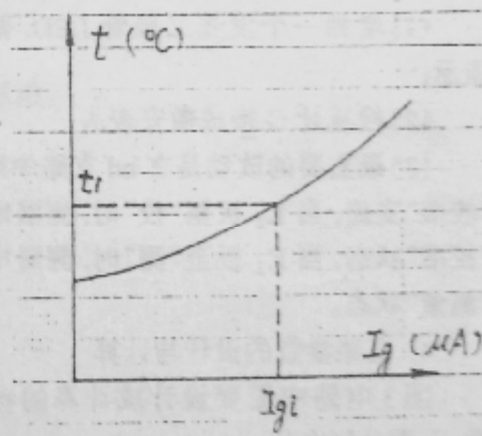


图4 定标曲线

6. 测温操作程序

使用该测温电桥应按下列顺序操作:

(1) 把探头 R_t 置于被测环境中, 接通 K_1 , 指示灯亮, 微安表中有电流通过, 指针应有一定的偏转。

(2) K_2 扳向“校”, 因 bd 支路电阻值发生变化, 所以指针的偏转量也将发生变化, 调节 R , 使其指针指向 I_{gm} (满偏)。

(3) K_2 扳向“测”, 微安表指示某一值, 查定标曲线, 找到对应的温度值。

实验要求

要求实验者在给定条件下, 独立设计参数、安装和调试, 组装成一台测温电桥。然后用它和另外一标准温度计进行对比测量, 并对测量误差做出初步的分析。

实验室提供的条件

(1) 测温电桥安装板, 如图 5 所示。板上安装一块 $160\mu\text{A}$ 的电流表, 5 个电位器、17 个接线柱、按键开关 K_1 、单刀双掷开关 K_2 、发光二极管 LED、限流电阻 R_L 及导线。由实线画出的连线已经焊好, 由虚线画出的连线由实验者自己连接。

(2) 两节 1 号电池 (或直流稳压电源)

(3) 负温度系数热敏电阻 R_t 及其温度特性曲线。

(4) 标准电阻箱一台和两只等值电阻。

(5) 指针式检流计一台

(6) 体温计和水银温度计

实验步骤与提示

1. 按 5 式计算出 $R_1(R_2)$ 并把它们调节到设计值。

提示: 利用两只等值电阻、一台标准电阻箱组成惠斯通电桥的三个桥臂, 第 4 个桥臂 (测量臂) 由 $R_1(R_2)$ 担任。

2. 调 R_3 , 使得 $R_3 = R_{d1}$

提示: 按图 3 把 R_t 撤下, 接入标准电阻箱 R_0 , K_2 扳至“测”。令 $R_0 = R_{d1}$, 再调 R_3 , 当电桥平衡时, $R_3 = R_{d1}$ 。

3. 调 R_4 , 使得 $R_4 = R_{d2}$

提示: R_3 调好后, 令 $R_0 = R_{d2}$, 调 R 使微安表满偏, 再将 K_2 扳至“校”, 调节 R_4 。

注意: 当微安表指向何处时 $R_4 = R_{d2}$?

4. 定标实验

按下表数据描绘定标曲线。

定标实验数据表

$t(^{\circ}\text{C})$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
$R_t(\text{K}\Omega)$											
$I_g(\mu\text{A})$											

提示: 表中第 2 行数据通过查特性曲线得到。表中第 3 行数据通过实验得到。用 R_0 代替 R_t , R_t 在各种温度下的阻值 R_0 都可以实现。

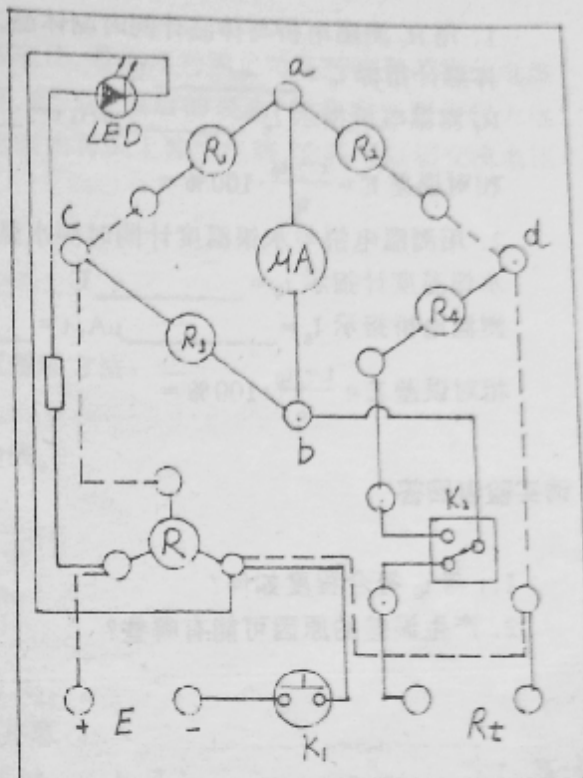


图 5 测温电桥配线图

对比测量

定性分析 } 定量分析

1. 用 R_t 测温电桥与体温计同时测体温。

远距离测量 = 引线

体温计指示 $t_0 =$ _____ °C

R_t 测温电桥指示 $I_g =$ _____ μA , $t =$ _____ °C

相对误差 $E = \frac{t - t_0}{t_0} \cdot 100\% =$

非电量 → 电量

2. 用测温电桥与水银温度计同时测水温。

水银温度计指示 $t_0 =$ _____ °C

测温电桥指示 $I_g =$ _____ μA , $t =$ _____ °C

相对误差 $E = \frac{t - t_0}{t_0} \cdot 100\% =$

请实验者回答

1. t 与 t_0 符合程度如何?

2. 产生误差的原因可能有哪些?