

《检测与控制技术综合实验》实验讲义

一、实验目的和基本思路

1、本实验课程的必要性

- 1) 在材料科学与加工工程的科学研究和工业生产中，经常使用传感器和计算机数据采集控制设备，利用计算机来采集、处理、和分析数据，控制科学研究和工业生产对象。了解不同传感器和数据采集设备的特性及其可能产生的误差，对于合理的选用传感器和数据采集设备，正确的处理、分析科学实验和工业生产数据，都显得十分重要。
- 2) 电子技术和计算机技术的发展，使得各种传感器和数据采集部件向智能化、模块化方向发展，越来越易于使用，设计计算机测控系统，已经不是自动化专业的专利。相反，由于其它专业人员对测控对象的理解更加深入，在本专业相当多的应用领域更具优势。
- 3) 检测与控制技术具有很强的实践性，只有理论教学很难让学生建立起牢固而明晰的知识主线。

2、实验目的

本实验课程的目的在于，帮助学生建立、掌握计算机测控系统的构成、软件、硬件的设计方法。熟悉常用检测手段与传感器、数字滤波、常用控制算法、常用计算机控制方式。特别着重于对学生能力的培养，包括自学能力、动手能力、组织能力、数据分析能力、运用理论解决实际问题的能力和设计创新能力。

3、基本思路

- 1) 计算机测控系统主要由传感器、输入电路，计算机、输出驱动、执行机构组成。对于计算机检测系统，则只有传感器，输入电路和计算机。权衡学时和实际应用，该实验将重点放在传感器和数据采集部件上，这样在最少的学时下可以使学生得到最大的收获。
- 2) 数据采集部件已经高度模块化，其基本类型和功能大同小异，相对容易掌握。传感器则种类繁多，原理各不相同。同时，在大多数情况下，传感器是计算机检测系统精度和速度的制约瓶颈，理解和掌握常用传感器的原理和特点，应该占有相当的学时。
- 3) 在该实验课程的最后 4 学时，安排了两个综合设计性实验，帮助学生贯穿全局的理解计算机测控系统的组建、软件、硬件的设计方法。
所有实验均由学生亲自动手操作完成。

实验设备简介

一、 CSY-2000D 传感器实验装置简介



1.1. 实验台的组成

CSY-2000 系列传感器与检测技术实验台由主机箱、温度源、转动源、振动源、传感器、

相应的实验模板、数据采集卡及处理软件、实验台桌等组成。

1.2. 主机箱：提供高稳定的 $\pm 15V$ 、 $\pm 5V$ 、 $+5V$ 、 $\pm 2V$ — $\pm 10V$ （步进可调）、 $+2V$ ~ $+24V$ （连续可调）直流稳压电源；音频信号源（音频振荡器） $1KHz$ ~ $10KHz$ （连续可调）；低频信号源（低频振荡器） $1Hz$ ~ $30Hz$ （连续可调）；气压源 0 — $20KPa$ （可调）；温度（转速）智能调节仪；计算机通信口；主机箱面板上装有电压、频率转速、气压、计时器数显表；漏电保护开关等。其中，直流稳压电源、音频振荡器、低频振荡器都具有过载切断保护功能，在排除接线错误后重新开机恢复正常工作。

1.3. 振动源：振动台振动频率 $1Hz$ — $30Hz$ 可调（谐振频率 $9Hz$ 左右）。

转动源：手动控制 0 — 2400 转 / 分；自动控制 300 — 2400 转 / 分。

温度源：常温— $180^{\circ}C$ 。

1.4. 传感器：基本型有电阻应变式传感器、扩散硅压力传感器、差动变压器、电容式位移传感器、霍尔式位移传感器、霍尔式转速传感器、磁电转速传感器、压电式传感器、电涡流传感器、光纤传感器、光电转速传感器（光电断续器）、集成温度(AD590)传感器、K 型热电偶、E 型热电偶、Pt100 铂电阻、Cu50 铜电阻、湿敏传感器、气敏传感器共十八个。

1.5. 实验模板：基本型有应变式、压力、差动变压器、电容式、霍尔式、压电式、电涡流、光纤位移、温度、移相 / 相敏检波 / 低通滤波共十块模板。增强型增加与选配传感器配套的实验模板。

1.6. 数据采集卡及处理软件，另附。

1.7. 实验台：尺寸为 $1600 \times 800 \times 750mm$ ，实验台桌上预留了计算机及示波器安放位置。

2. 电路原理

实验模板电路原理已印刷在模板的面板上，实验接线图参见文中的具体实验内容。

3. 使用方法

3.1. 开机前将电压表显示选择旋钮打到 $2V$ 档；电流表显示选择旋钮打到 $200mA$ 档；步进可调直流稳压电源旋钮打到 $\pm 2V$ 档；其余旋钮都打到中间位置。

3.2. 将 AC 220V 电源线插头插入市电插座中，合上电源开关，数显表显示 0000，表示实验台已接通电源。

3.3. 做每个实验前应先阅读实验指南，每个实验均应在断开电源的状态下按实验线路接好连接线（实验中用到可调直流电源时，应在该电源调到实验值后再接到实验线路中），检查无误后方可接通电源。

3.4. 合上调节仪（温度开关）电源开关，调节仪的 PV 显示测量值；SV 显示设定值。

3.5. 合上气源开关，气泵有声响，说明气泵工作正常。

3.6. 数据采集卡及处理软件使用方法另附说明。

4. 仪器维护及故障排除

4.1. 维护

(1) 防止硬物撞击、划伤实验台面；防止传感器及实验模板跌落地面。

(2) 实验完毕要将传感器、配件、实验模板及连线全部整理好。

4.2. 故障排除

(1) 开机后数显表都无显示，应查 AC 220V 电源有否接通；主机箱侧面 AC 220V 插座中的保险丝是否烧断。如都正常，则更换主机箱中主机电源。

(2) 转动源不工作，则手动输入 $+12V$ 电压，如不工作，更换转动源；如工作正常，应查调节仪设置是否准确；控制输出 V_o 有无电压，如无电压，更换主机箱中的转速控制板。

(3) 振动源不工作，检查主机箱面板上的低频振荡器有无输出，如无输出，更换信号板；

如有输出，更换振动源的振荡线圈。

(4) 温度源不工作，检查温度源电源开关有否打开；温度源的保险丝是否烧断；调节仪设置是否准确。如都正常，则更换温度源。

5. 注意事项

5.1. 在实验前务必仔细阅读实验指南。

5.2. 严禁用酒精、有机溶剂或其它具有腐蚀性溶液擦洗主机箱的面板和实验模板面板。

5.3. 请勿将主机箱的电源、信号源输出端与地（ \perp ）短接，因短接时间长易造成电路故障。

5.4. 请勿将主机箱的 \pm 电源引入实验模板时接错。

5.5. 在更换接线时，应断开电源，只有在确保接线无误后方可接通电源。

5.6. 实验完毕后，请将传感器及实验模板放回原处。

5.7. 如果实验台长期未通电使用，在实验前先通电十分钟预热，再检查按一次漏电保护按钮是否有效。

5.8. 实验接线时，要握住手柄插拔实验线，不能拉扯实验线。

二、PC_Based Control 技术及部件简介

PC_Based Control 技术是融合 PC 技术、信号测量与分析技术、控制技术、通讯技术等各种技术为一体的搞性能检测与控制技术，广泛应用于信号测量、工业过程数据采集与控制、运动控制、通讯控制的各个领域。通过在 PC 机中插入板卡或连接模块，可以方便地组成各种高速度、搞精度的测量与控制系统。在检测与控制领域里，以 PC 机为基本平台各种系统占有越来越多比重。

1、PCI 总线高性能数据采集卡 PCI-1202H

PCI-1202H 是 PCI 总线高性能数据采集卡，它可以在 DOS 和 Windows 环境下实现 40KHz 的连续平滑的数据采集。PCI-1202H 提供 32 通道单端或 16 通道的差分模拟输入。主要功能及技术指标如下：



- PCI 总线
- 32 路单端/16 路差分输入，1K 字 FIFO 缓存器
- 采样速率:40Ks/s
- 3 种触发方式：
后触发（post-trigger）

前触发 (pre-trigger)

中间触发 (middle trigger)

- 16 路数字输入/16 路数字输出
- 提供可编程高增益： 0.5,1,5,10,50,100,500,1000
- 内部/外部触发
- 2 个 12 位独立的可编程数模转换器；每个通道最大数据流量为 2MHz
- 2.7M 字/秒的高速数据传输

2、带 CJC 电路的 37 针 D 型头连接的端子板 DB-1825



- 用于 PCI-1802H 的 37 针电缆连接的螺孔安装端子板
- 32 通道单端，16 通道差分
- 面包板用于断路检测、低通滤波、电流电压转换、电压衰减电路
- 尺寸：114mm X 170mm

3、RS-232 转 RS-485 模块 I-7520



- 输入：RS-232 协议
- 输出：RS-485 协议 (2 线, D+, D-)
- 速率：自动转换波特率, 300~115200 BPS
- 内置"自适应"芯片

- 在 1 个 RS-485 网络中无中继器,最多接 256 个模块
- 在 1 个 RS-485 网络中用中继器,最多接 2048 个模块
- 隔离电压: 3000VDC 隔离在 RS-232 边
- 要求使用中继器: 大于 4,000 英尺距离或多于 256 个模块

4、8 通道模拟量输入模块 I-7018



- 类型: mV, V, mA (接 125 Ω 外电阻)
- 热电偶: 类型 J, K, T, E, R, S, B, N, C
- 分辨率: 16-bit
- 通道: 8 路差动或 6 路差动+2 路单端 (跳线选择)
- 采样速率: 10 次/秒
- 精度: $\pm 0.1\%$

5、2 通道模拟量输出模块 I-7022



- 光电隔离: 3750 Vrms
- 通道: 2
- 通道间隔离

- 输出类型: mA, V
- 输出范围: 0 ~ 20mA, 4 ~ 20mA, 0~ 10V
- 分辨率: 12-bit
- 精度: $\pm 0.1\%$ 满量程
- 可编程输出转换斜率:
0.125 ~ 1024 mA/秒
0.0625 ~ 512 V/秒

6、4 通道继电器输出/4 通道数字量输入模块 I-7060



- 4 通道共源极隔离
- 数字量输入:
逻辑电平 0: 最大+1V
逻辑电平 1: +3.5~ 30V
- 输入阻抗: $3K\Omega$, 0.5W
- D/I 可用于计数器
继电器输出
- 通道: 4
- 2 路“A”型继电器
单刀单掷 (常开)
- 2 路“C”型继电器
单刀双掷
- 干接点
- 触点容量:
AC: 125V @0.6A; 250V @0.3A
DC: 30V @2A; 110V @0.6A

实验一 应变片实验

I 单臂电桥性能实验

一、实验目的：了解金属箔式应变片的应变效应，单臂电桥工作原理和性能。

二、基本原理：电阻丝在外力作用下发生机械变形时，其电阻值发生变化，这就是电阻应变效应，描述电阻应变效应的关系式为： $\Delta R / R = K \varepsilon$ 式中： $\Delta R / R$ 为电阻丝电阻相对变化， K 为应变灵敏系数， $\varepsilon = \Delta L / L$ 为电阻丝长度相对变化。金属箔式应变片就是通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件，通过它转换被测部位受力状态变化。电桥的作用完成电阻到电压的比例变化，电桥的输出电压反映了相应的受力状态。对单臂电桥输出电压 $U_{o1} = EK \varepsilon / 4$ 。

三、需用器件与单元：主机箱（±4V、±15V、电压表）、应变式传感器实验模板、托盘、砝码、4½ 位数显万用表（自备）。

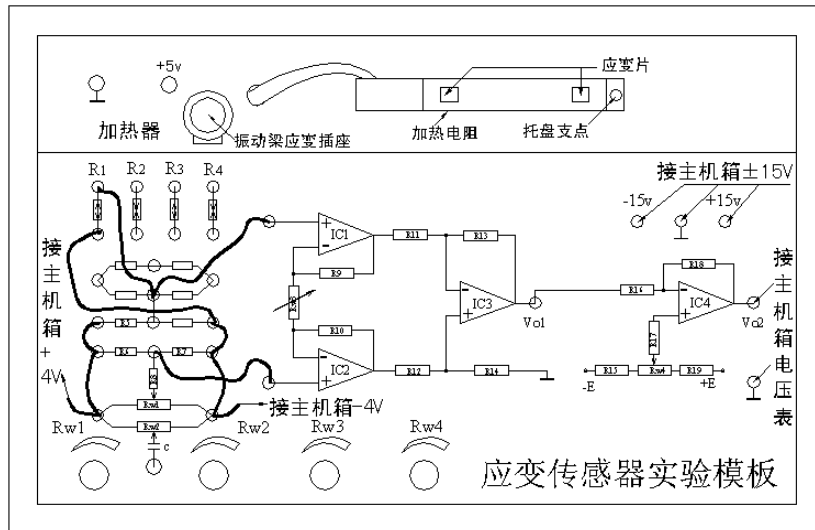


图 1 应变片单臂电桥性能实验安装、接线示意图

四、实验步骤：

应变传感器实验模板说明：

实验模板中的 R1、R2、R3、R4 为应变片，没有文字标记的 5 个电阻符号下面是空的，其中 4 个组成电桥模型是为实验者组成电桥方便而设，图中的粗黑曲线表示连接线。

1、根据图 1（应变式传感器（电子秤传感器）已装于应变传感器模板上。传感器中 4 片应变片和加热电阻已连接在实验模板左上方的 R1、R2、R3、R4 和加热器上。传感器左下角应变片为 R1；右下角为 R2；右上角为 R3；左上角为 R4。当传感器托盘支点受压时，R1、R3 阻值增加，R2、R4 阻值减小，可用四位半数显万用进行测量判别。常态时应变片阻值为 350 Ω，加热丝电阻值为 50 Ω 左右。）安装接线。

2、放大器输出调零：将图 1 实验模板上放大器的两输入端口引线暂时脱开，再用导线将两输入端短接 ($V_i = 0$)；调节放大器的增益电位器 R_{w3} 大约到中间位置(先逆时针旋

到底，再顺时针旋转 2 圈)；将主机箱电压表的量程切换开关打到 2V 档，合上主机箱电源开关；调节实验模板放大器的调零电位器 R_{W4} ，使电压表显示为零。

3、应变片单臂电桥实验：拆去放大器输入端口的短接线，将暂时脱开的引线复原(见图 1 接线图)。调节实验模板上的桥路平衡电位器 R_{W1} ，使主机箱电压表显示为零；在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到 200g (或 500 g) 砝码加完。记下实验结果填入表 1 画出实验曲线。

表 1

重量 (g)										
电压 (mv)										

4、根据表 1 计算系统灵敏度 $S = \Delta U / \Delta W$ (ΔU 输出电压变化量, ΔW 重量变化量) 和非线性误差 δ ,

$\delta = \Delta m / Y_{FS} \times 100\%$ 式中 Δm 为输出值 (多次测量时为平均值) 与拟合直线的最大偏差; Y_{FS} 满量程输出平均值, 此处为 200g (或 500g)。实验完毕, 关闭电源。

五、思考题:

单臂电桥时, 作为桥臂电阻应变片应选用: (1) 正 (受拉) 应变片 (2) 负 (受压) 应变片 (3) 正、负应变片均可以。

II 半桥性能实验

一、实验目的: 比较半桥与单臂电桥的不同性能、了解其特点。

二、基本原理: 不同受力方向的两只应变片接入电桥作为邻边, 电桥输出灵敏度提高, 非线性得到改善。当应变片阻值和应变值相同时, 其桥路输出电压 $U_{02} = EK \varepsilon / 2$ 。

三、需用器件与单元: 主机箱、应变式传感器实验模板、托盘、砝码。

四、实验步骤:

1、将托盘安装到应变传感器的托盘支点上。将实验模板差动放大器调零: 用导线将实验模板上的 $\pm 15V$ 、 \perp 插口与主机箱电源 $\pm 15V$ 、 \perp 分别相连, 再将实验模板中的放大器的两输入口短接 ($V_i = 0$); 调节放大器的增益电位器 R_{W3} 大约到中间位置 (先逆时针旋到底, 再顺时针旋转 2 圈); 将主机箱电压表的量程切换开关打到 2V 档, 合上主机箱电源开关; 调节实验模板放大器的调零电位器 R_{W4} , 使电压表显示为零。

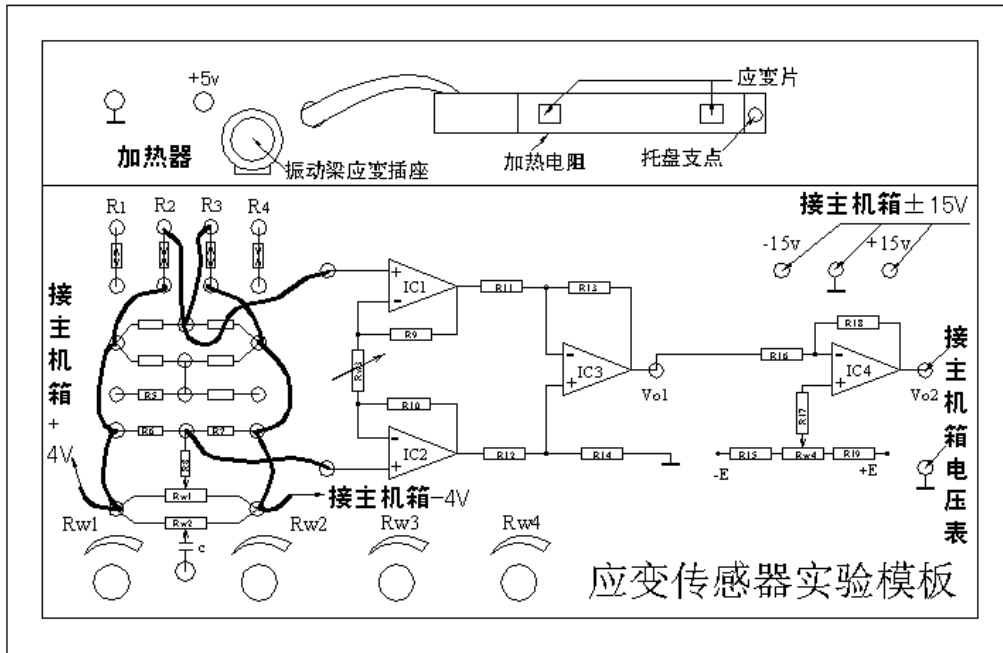


图 2 应变式传感器半桥接线图

2、拆去放大器输入端口的短接线，根据图 2 接线。注意 R_2 应和 R_3 受力状态相反，即将传感器中两片受力相反（一片受拉、一片受压）的电阻应变片作为电桥的相邻边。调节实验模板上的桥路平衡电位器 R_{w1} ，使主机箱电压表显示为零；在应变传感器的托盘上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，直到 200g（或 500 g）砝码加完。记下实验数据填入表 2 画出实验曲线，计算灵敏度 $S_2=U / W$ ，非线性误差 δ 。实验完毕，关闭电源。

表 2

重量										
电压										

三、思考题：

- 1、半桥测量时两片不同受力状态的电阻应变片接入电桥时，应放在：（1）对边（2）邻边。
- 2、桥路（差动电桥）测量时存在非线性误差，是因为：（1）电桥测量原理上存在非线性（2）应变片应变效应是非线性的（3）调零值不是真正为零。

III 全桥性能实验

一、实验目的：了解全桥测量电路的优点。

二、基本原理：全桥测量电路中，将受力方向相同的两应变片接入电桥对边，相反的应变片接入电桥邻边。当应变片初始阻值： $R_1=R_2=R_3=R_4$ ，其变化值 $\Delta R_1=\Delta R_2=\Delta R_3=\Delta R_4$ 时，其桥路输出电压 $U_{03}=KE \varepsilon$ 。其输出灵敏度比半桥又提高了一倍，非线性误差和温度误差均得到改善。

三、需用器件和单元：同实验二。

四、实验步骤：

1、将托盘安装到应变传感器的托盘支点上。将实验模板差动放大器调零：用导线将实验模板上的 $\pm 15\text{v}$ 、 \perp 插口与主机箱电源 $\pm 15\text{v}$ 、 \perp 分别相连，再将实验模板中的放大器的两输入口短接($V_i=0$)；调节放大器的增益电位器 R_{w3} 大约到中间位置(先逆时针旋到底，再顺时针旋转2圈)；将主机箱电压表的量程切换开关打到2V档，合上主机箱电源开关；调节实验模板放大器的调零电位器 R_{w4} ，使电压表显示为零。

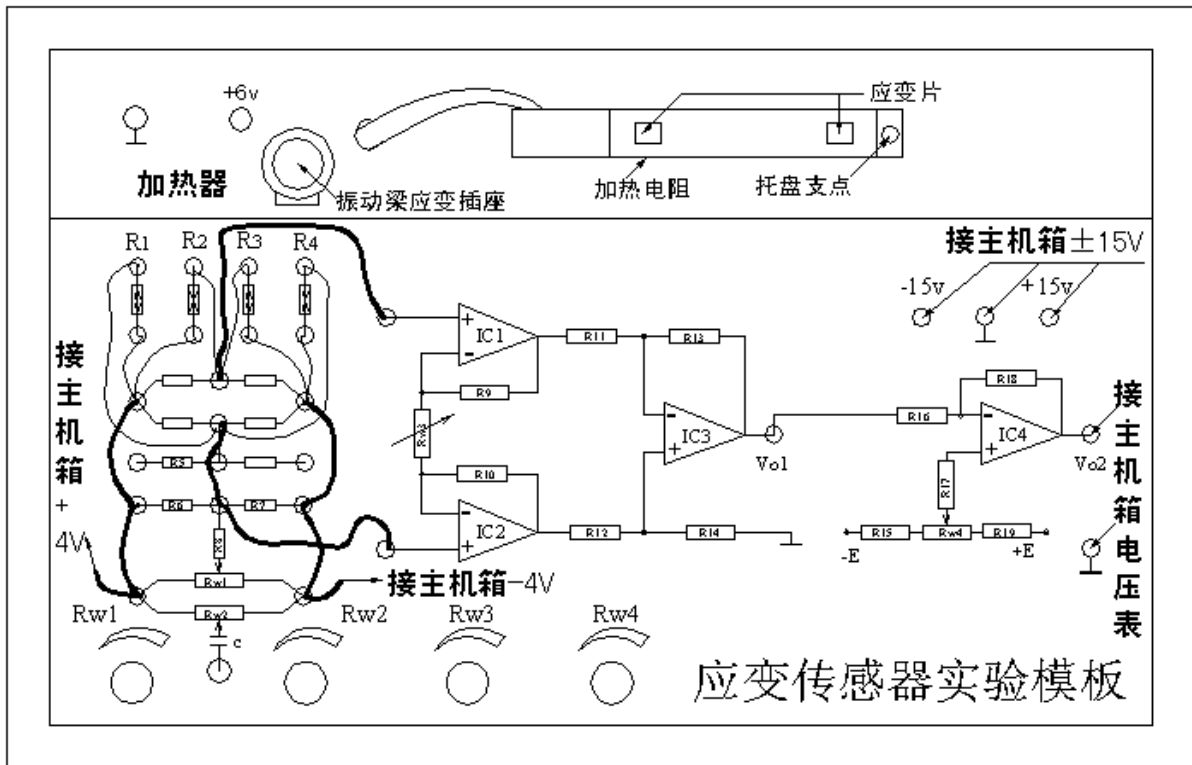


图 3—1 全桥性能实验接线图

2、拆去放大器输入端口的短接线，根据图 3—1 接线。实验方法与实验二相同，将实验数据填入表 3 画出实验曲线；进行灵敏度和非线性误差计算。实验完毕，关闭电源。

表 3

重量										
电压										

五、思考题：

1、测量中，当两组对边（ R_1 、 R_3 为对边）电阻值 R 相同时，即 $R_1=R_3$ ， $R_2=R_4$ ，而 $R_1 \neq R_2$ 时，是否可以组成全桥：（1）可以（2）不可以。

2 某工程技术人员在进行材料拉力测试时在棒材上贴了两组应变片，如图 3—2，如何利用这四片应变片组成电桥，是否需要外加电阻。

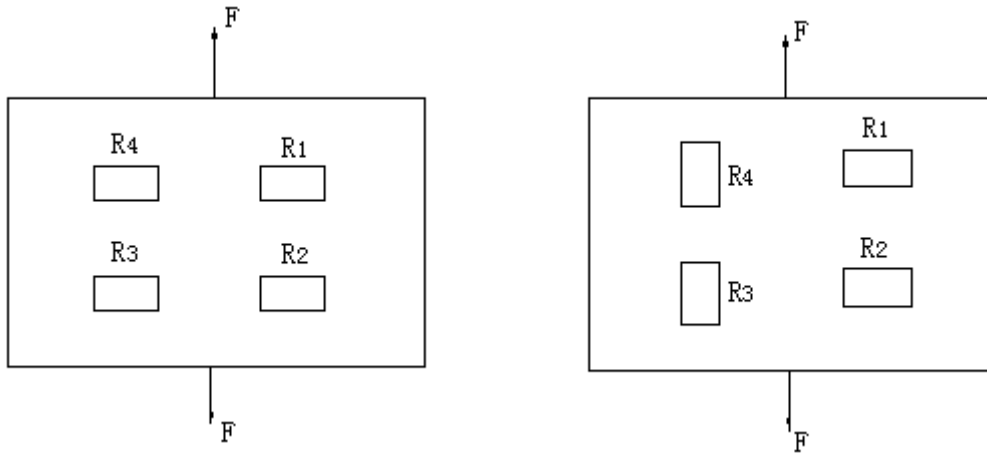


图 3—2 应变式传感器受拉时传感器圆周面展开图

实验二 温度测量实验

I 温度源的温度控制调节实验

一、实验目的：了解温度控制的基本原理及熟悉温度源的温度调节过程。

二、基本原理：当温度源的温度发生变化时温度源中的 Pt100 热电阻(温度传感器)的阻值发生变化，将电阻变化量作为温度的反馈信号输给智能调节仪，经智能调节仪的电阻——电压转换后与温度设定值比较再进行数字PID运算输出可控硅触发信号(加热)或继电器触发信号(冷却)，使温度源的温度趋近温度设定值。温度控制原理框图如图 27—1 所示。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 温度传感器。

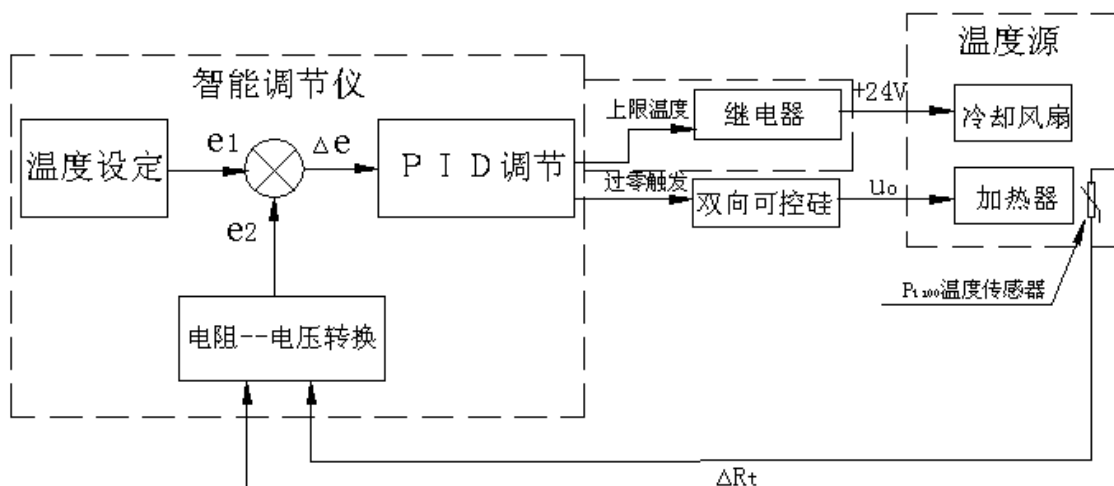


图 27—1 温度控制原理框图

四、实验步骤：

温度源简介：温度源是一个小铁箱子，内部装有加热器和冷却风扇；加热器上有二个测温孔，加热器的电源引线与外壳插座(外壳背面装有保险丝座和加热电源插座)相连；冷却风扇电源为+24 v DC，它的电源引线与其外壳正面实验插孔相连。温度源外壳正面装有电源开关、指示灯和冷却风扇电源+24 v DC 插孔；顶面有二个温度传感器的引入孔，它们与内部加热器的测温孔相对，其中一个为控制加热器加热的传感器 Pt100 的插孔，另一个是温度实验传感器的插孔；背面有保险丝座和加热器电源插座。使用时将电源开关打开(O 为关，-为开)。温度源设计温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 。

1、调节仪的简介及调节仪的面板按键说明参阅附件 1。

2、设置调节仪温度控制参数：合上主机箱上的电源开关；再合上主机箱上的调节仪电源开关，仪表上电后，仪表的上显示窗口(PV)显示随机数；下显示窗口(SV)显示控制给定值或交替闪烁显示控制给定值和“orAL”。按 SET 键并保持约 3 秒钟，即进入参数设置状态。在参数设置状态下按 SET 键，仪表将依次显示各参数，例如上限报警值 HIAL、参数锁 Loc 等等，对于配置好并锁上参数锁的仪表，用▼、▲、◀ (A/M) 等键可修改参数值。按◀ (A/M) 键并保持不放，可返回显示上一参数。先按◀ (A/M) 键不放接着再按 SET 键可退出设置参数状态。如果没有按键操作，约 30 秒钟后会自动退出设置参数状态。如果参数被锁上，则只能显示被 EP 参数定义的参数(可由用户定义的，工作现场经常需要使用的参数及程序)，而无法看到其它的参数。不过，至少能看到 Loc 参数显示出来。

具体设置温度控制参数方法步骤如下：

(1)、按 SET 键并保持约 3 秒钟，仪表进入参数设置状态；PV 窗显示 HIAL(上限)，用▼、▲、◀ 键可修改参数值，使 SV 窗显示实验温度(>室温)，如 50。

(2)、再按 SET 键，PV 窗显示 LoAL(下限)，用▼、▲、◀ 键可修改参数值，使 SV 窗显示(1)所设置的温度值 50。

(3)、再按 SET 键, PV 窗显示 dHAL(正偏差报警) , 长按▲键, 使 SV 窗显示 9999(消除报警功能)后
释放▲键。

(4)、再按 SET 键, PV 窗显示 dLAL(负偏差报警) , 长按▲键, 使 SV 窗显示 9999(消除报警功能)后
释放▲键。

(5)、再按 SET 键, PV 窗显示 dF(回差、死区、滞环) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 0.1。

(6)、再按 SET 键, PV 窗显示 CtrL(控制方式) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。

(7)、再按 SET 键, PV 窗显示 M50(保持参数) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 300。

(8)、再按 SET 键, PV 窗显示 P(速率参数) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 350。

(9)、再按 SET 键, PV 窗显示 t(滞后时间) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 153。

(10)、再按 SET 键, PV 窗显示 Ct1(输出周期) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。

(11)、再按 SET 键, PV 窗显示 Sn(输入规格) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 21。

(12)、再按 SET 键, PV 窗显示 dIP(小数点位置) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。

(13)、再按 SET 键, PV 窗显示 dIL , 不按键, SV 窗显示默认值。

(14)、再按 SET 键, PV 窗显示 dIH, 不按键, SV 窗显示默认值。

(15)、再按 SET 键, PV 窗显示 CJC(热电偶冷端补偿温度) , 不按键, SV 窗显示默认冷端补偿温度值。

(16)、再按 SET 键, PV 窗显示 SC(主输入平移修正) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 00。

(17)、再按 SET 键, PV 窗显示 oP1(输出方式) , 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 2。

(18)、再按 SET 键, PV 窗显示 oPL(输出下限) , 长按▼键, 使 SV 窗显示 0 后释放▼键。

(19)、再按 SET 键, PV 窗显示 oPH(输出上限) , 长按▲键, 使 SV 窗显示 100 释放▲键(用▼、▲、◀键修改参数值为 100)。

(20)、再按 SET 键, PV 窗显示 CF(系统功能选择) , 用▼、▲、◀键修改参数值,

使 SV 窗显示 2。

(21)、再按 SET 键, PV 窗显示 bAud(通讯波特率 / 报警定义), 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 17。

(22)、再按 SET 键, PV 窗显示 Addr(通讯地址 / 打印时间), 不按键, SV 窗显示默认值。

(23)、再按 SET 键, PV 窗显示 dL(输入数字滤波), 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 1。

(24)、再按 SET 键, PV 窗显示 run(运行状态及上电信号处理), 用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 2。

(25)、再按 SET 键, PV 窗显示 Loc(参数修改级别), 不按键, SV 窗显示默认值 808。如果, SV 窗不显示 808, 则用▼、▲、◀键修改参数值, 使 SV 窗显示 808。

(26)、再按 SET 键, PV 窗显示 EP1(现场参数定义), 不按键, SV 窗显示默认值。

(27)–(33)、与(26)相同, 重复按 SET 键七次。到此, 调节仪的控制参数设置完成。

3、关闭主机箱总电源开关, 按图 27–2 示意接线; 将主机箱上的转速调节旋钮(2–24V)顺时针转到底(24V), 将温度源电源开关打开(O 为关, -为开)。

4、检查接线无误后, 合上主机箱总电源和调节仪电源, 将调节仪的控制方式(控制对象)开关按到内(温度)位置;

5、用▼、▲、◀键修改温度设定值, 使 SV 窗显示 50.0。调节仪经过几次振荡调节(要等待较长时间), 温度源会自动动态平衡在 50.0℃(调节仪的 PV 显示窗在 50.0 左右波动)。

6、按 SET 键并保持约 3 秒钟, 仪表进入参数设置状态; PV 窗显示 HIAL(上限), 用▼、▲、◀键修改实验温度值, 使 SV 窗显示实验温度 60(在原有的实验温度值增加 10℃)。

7、再按 SET 键, PV 窗显示 LoAL(下限), 用▼、▲、◀键修改实验温度值, 使 SV 窗显示(6)所设置的温度值 60。

8、先按◀(A/M)键不放接着再按 SET 键退出设置参数状态(或不按任何键, 等待约 30 秒钟后会自动退出设置参数状态); 再用▼、▲、◀键修改实验温度设定值, 使 SV 窗显示实验温度 60.0(在原有的实验增加 10℃)。调节仪进入正常显示自动调节控制状态, 最终温度源会在设定温度值上达到动态平衡。

9、以后(温度在大于等于室温 10℃, 小于等于 160℃范围内), 每次改变温度实验值都必须重复 6、7、8 实验步骤进行实验。

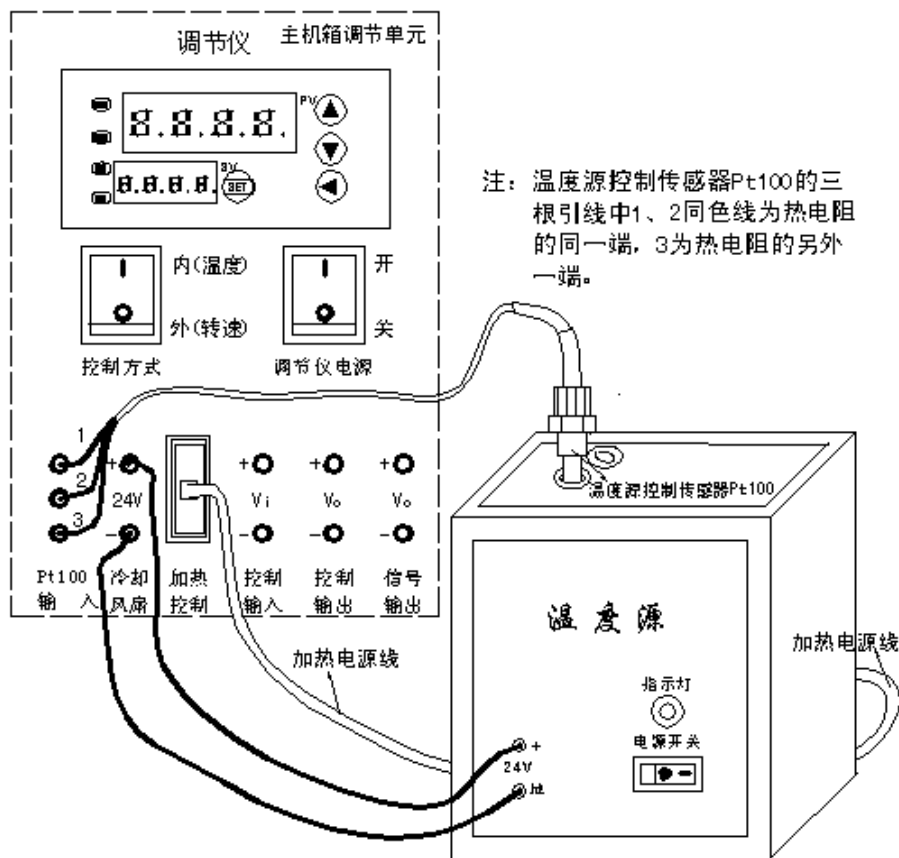


图 27—2 温度源的温度控制实验接线示意图

10、调节仪控制参数的自整定(AT)实验：设置某个实验温度值后(重复 6、7、8 步骤设置温度值)，在仪表正常显示状态下，按◀ (A/M) 键并保持约 2 秒钟，仪表 AT 指示灯点亮(前提 Ctrl=1，否则无法从面板启动执行自整定功能)，表明仪表已进入自整定状态(自整定时，仪表执行位式调节，约 3 次振荡后，仪表内部微处理器根据位式控制产生的振荡，分析其周期、幅度及波型来自动计算出 M50、P、t 等控制参数)。等待自整定结束(等待较长时间，AT 指示灯熄灭)并温度源温度已达到平衡时，按 SET 键并保持约 3 秒钟，仪表进入参数设置状态；按 SET 键查阅控制参数 M50、P、t 的值(温度实验时设置控制参数即 M50、P、t 值的依据)与以前设置的经验控制参数值 M50、P、t 有否大的变化。实验结束，关闭所有电源。

五、思考题：

按 SET 键并保持约 3 秒钟，即进入参数设置状态，只大范围改变控制参数 M50 或 P 或 t 的其中之一设置值(注：其它任何参数的设置值不要改动)，进行温度控制调节，观察 PV 窗测量值的变化过程，看能否达到控制平衡及控制误差大小。这说明了什么问题？

II Pt100 铂电阻测温特性实验 A

一、实验目的：了解铂热电阻的特性与应用。

二、基本原理：利用导体电阻随温度变化的特性，可以制成热电阻，要求其材料电阻温度系数大，稳定性好，电阻率高，电阻与温度之间最好有线性关系。常用的热电阻有铂电阻(650℃以内)和铜电阻(150℃以内)。铂电阻是将 0.05~0.07mm 的铂丝绕在线圈骨架上封装在玻璃或陶瓷管等保护管内构成。在 0—650℃以内，它的电阻 R_t 与温度 t 的关系为： $R_t=R_0(1+At+Bt^2)$ ，式中： R_0 系温度为 0℃时的电阻值(本实验的铂电阻 $R_0=100\Omega$)。 $A=3.9684\times 10^{-3}/\text{℃}$ ， $B=-5.847\times 10^{-7}/\text{℃}^2$ 。铂电阻一般是三线制，其中一端接一根引线另一端接二根引线，主要为远距离测量消除引线电阻对桥臂的影响(近距离可用二线制，导线电阻忽略不计。)。实际测量时将铂电阻随温度变化的阻值通过电桥转换成电压的变化量输出，再经放大器放大后直接用电压表显示。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(二支)、温度传感器实验模板、万用表(自备)。

温度传感器实验模板简介：图 28A 中的温度传感器实验模板是由三运放组成的差动放大电路、调零电路、a b 传感器符号、传感器信号转换电路(电桥)及放大器工作电源引入插孔构成；其中 R_{w2} 为放大器的增益电位器， R_{w3} 为放大器电平移动电位器；a b 传感器符号接热电偶(K 热电偶或 E 热电偶)，双圈符号接 AD590 集成温度传感器， R_t 接热电阻(Pt100 铂电阻或 Cu50 铜电阻)。具体接线参照具体实验。

四、实验步骤

1、用万用表欧姆档测出 Pt100 三根线中其中短接的二根线(同种颜色的线)设为 1、2，另一根设为 3，并测出它在室温时的大致电阻值。

2、在主机箱总电源、调节仪电源都关闭的状态下，再根据图 28A 示意图接线，温度传感器实验模板中 a、b (R_t) 两端接传感器，这样传感器(R_t)与 R_3 、 R_1 、 R_{w1} 、 R_4 组成直流电桥，是一种单臂电桥工作形式。

III Pt100 铂电阻测温特性实验

一、实验目的：了解铂热电阻的特性与应用。

二、基本原理：利用导体电阻随温度变化的特性，可以制成热电阻，要求其材料电阻温度系数大，稳定性好，电阻率高，电阻与温度之间最好有线性关系。常用的热电阻有铂电阻(650℃以内)和铜电阻(150℃以内)。铂电阻是将 0.05~0.07mm 的铂丝绕在线圈骨架上封装在玻璃或陶瓷管等保护管内构成。在 0—650℃以内，它的电阻 R_t 与温度 t 的关系为： $R_t=R_0(1+At+Bt^2)$ ，式中： R_0 系温度为 0℃时的电阻值(本实验的铂电阻 $R_0=100\Omega$)。 $A=3.9684\times 10^{-3}/\text{℃}$ ， $B=-5.847\times 10^{-7}/\text{℃}^2$ 。铂电阻一般是三线制，其中一端接一根引线另一端接二根引线，主要为远距离测量消除引线电阻对桥臂的影响(近距

离可用二线制，导线电阻忽略不计。)。实际测量时将铂电阻随温度变化的阻值通过电桥转换成电压的变化量输出，再经放大器放大后直接用电压表显示。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(二支)、温度传感器实验模板、万用表(自备)。

温度传感器实验模板简介：图 28B 中的温度传感器实验模板是由三运放组成的差动放大电路、调零电路、a b 传感器符号、传感器信号转换电路(电桥)及放大器工作电源引入插孔构成；其中 R_{w2} 为放大器的增益电位器， R_{w3} 为放大器电平移动电位器；a b 传感器符号接热电偶(K 热电偶或 E 热电偶)，双圈符号接 AD590 集成温度传感器， R_t 接热电阻(Pt100 铂电阻或 Cu50 铜电阻)。具体接线参照具体实验。

四、实验步骤

1、用万用表欧姆档测出 Pt100 三根线中其中短接的二根线(同种颜色的线)设为 1、2，另一根设为 3，并测出它在室温时的大致电阻值。

2、在主机箱总电源、调节仪电源都关闭的状态下，再根据图 28B 示意图接线，温度传感器实验模板中 a、b (R_t) 两端接传感器，这样传感器(R_t)与 R_3 、 R_1 、 R_{w1} 、 R_4 组成直流电桥，是一种单臂电桥工作形式。

3、放大器调零：将图 28B 中的温度传感器实验模板的放大器的两输入端引线(一根传感器引线、另一根桥路输出即 R_{w1} 活动触点输出)暂时不要引入，而用导线直接将放大器的两输入端相连(短接)；将主机箱上的电压表量程(显示选择)切换开关打到 2V 档，合上主机箱电源开关，调节温度传感器实验模板中的 R_{w2} (逆时针转到底)增益电位器，使放大器增益最小；再调节 R_{w3} (调零电位器)使主机箱的电压表显示为 0。

4、关闭主机箱电源开关，将实验模板中放大器的输入端引线按图 28B 连接，检查接线无误后，合上主机箱电源开关。

5、将主机箱上的转速调节旋钮(2—24V)顺时针转到底(24V)，合上温度源电源开关和调节仪电源开关，将调节仪控制方式(控制对象)开关按到内(温度)位置；在常温基础上，可按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 增加温度并且小于 160°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七，重复 6、7、8、9 步骤)，待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 28B。

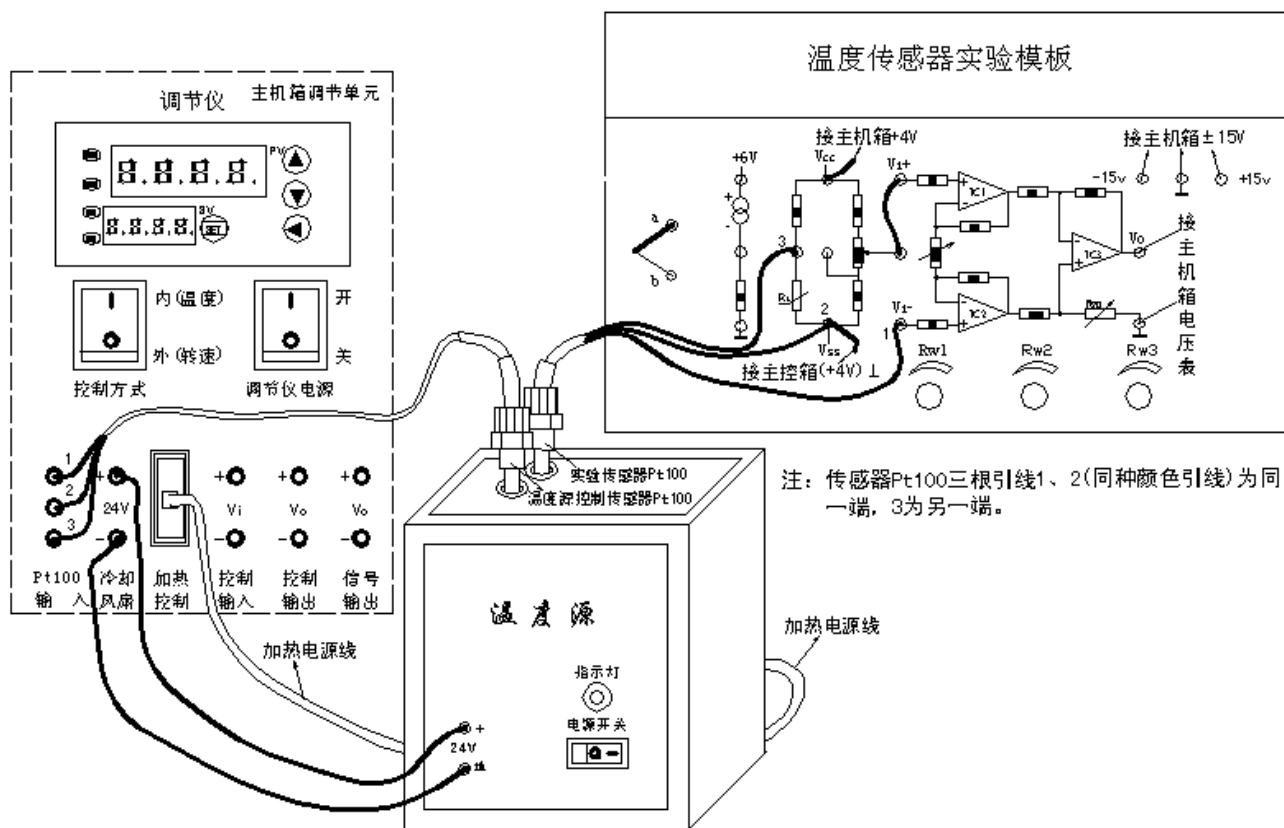


图 28B Pt100 铂电阻测温特性实验接线示意图

表 28B 铂电阻温度实验数据

t(°C)										
V(mv)										

6、根据表 28B 数据值画出实验曲线并计算其非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

IV 铜热电阻测温特性实验

一、实验目的：了解铜电阻测温原理与应用。

二、基本原理：铜电阻测温原理与铂电阻一样，利用导体电阻随温度变化的特性。常用铜电阻 Cu50 在 $-50 \sim +150^{\circ}\text{C}$ 以内，电阻 R_t 与温度 t 的关系为： $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ 式中： R_0 系温度为 0°C 时的电阻值(Cu50 在 0°C 时的电阻值为 $R_0 = 50\Omega$)。 α 是电阻温度系数， $\alpha = 4.25 \sim 4.28 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$ 。铜电阻是用直径为 0.1mm 的绝缘铜丝绕在绝缘骨架上，再用树脂保护。铜电阻的优点是线性好、价格低、 α 值大，但易氧化，氧化后线性度变差。所以铜电阻检测较低的温。铜电阻与铂电阻测温接线方法相同，一般也是三线制。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度控制传感器)、Cu50 热电阻(实验传感器)、温度传感器实验模板、万用表(自备)。

四、实验步骤：

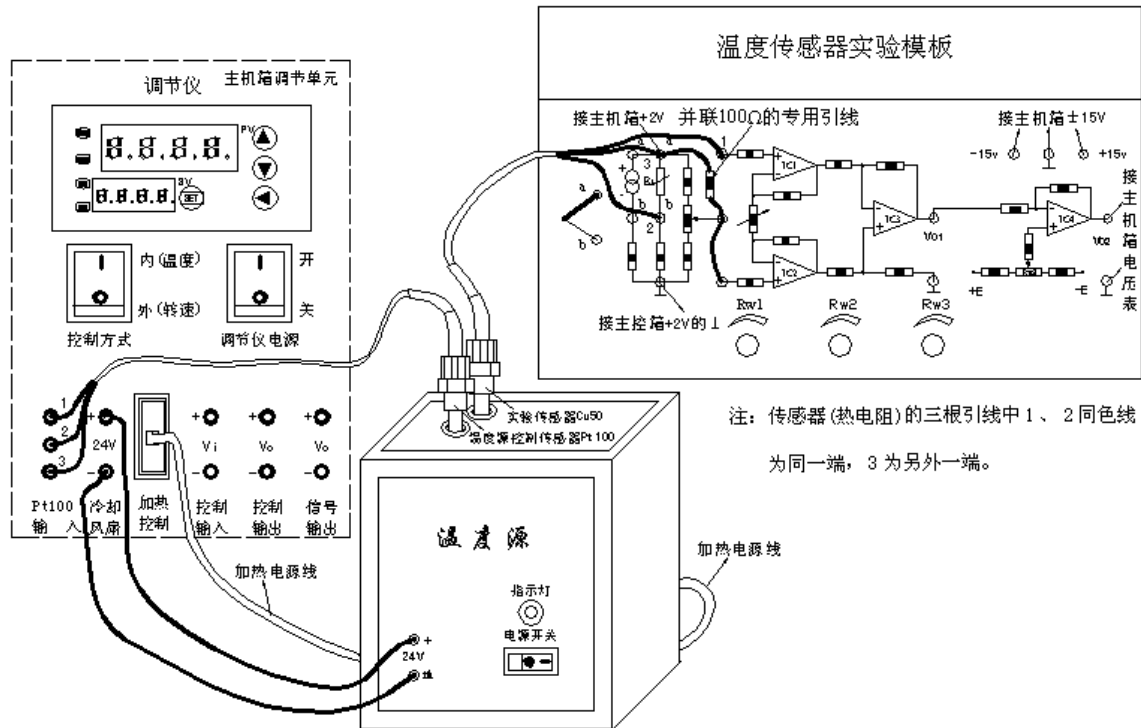


图 29A Cu50 铜电阻测温特性实验接线示意图

将实验 III 中实验温度传感器 Pt100 铂电阻换成 Cu50 铜电阻，在温度传感器实验模板的桥路电阻 R3 两端并联一根 100 Ω 的专用连线，实验温度范围为室温~120℃。

具体实验接线按图 29A，实验方法和步骤与实验 II 完全相同。实验结束，关闭所有电源。

V 铜热电阻测温特性实验

一、实验目的：了解铜电阻测温原理与应用。

二、基本原理：铜电阻测温原理与铂电阻一样，利用导体电阻随温度变化的特性。常用铜电阻 Cu50 在 -50~+150℃ 以内，电阻 R_t 与温度 t 的关系为： $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ 式中： R_0 系温度为 0℃ 时的电阻值(Cu50 在 0℃ 时的电阻值为 $R_0 = 50\Omega$)。 α 是电阻温度系数， $\alpha = 4.25 \sim 4.28 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ 。铜电阻是用直径为 0.1mm 的绝缘铜丝绕在绝缘骨架上，再用树脂保护。铜电阻的优点是线性好、价格低、 α 值大，但易氧化，氧化后线性度变差。所以铜电阻检测较低的温。铜电阻与铂电阻测温接线方法相同，一般也是三线制。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度控制传感器)、Cu50 热电阻(实验传感器)、温度传感器实验模板、万用表(自备)。

四、实验步骤：

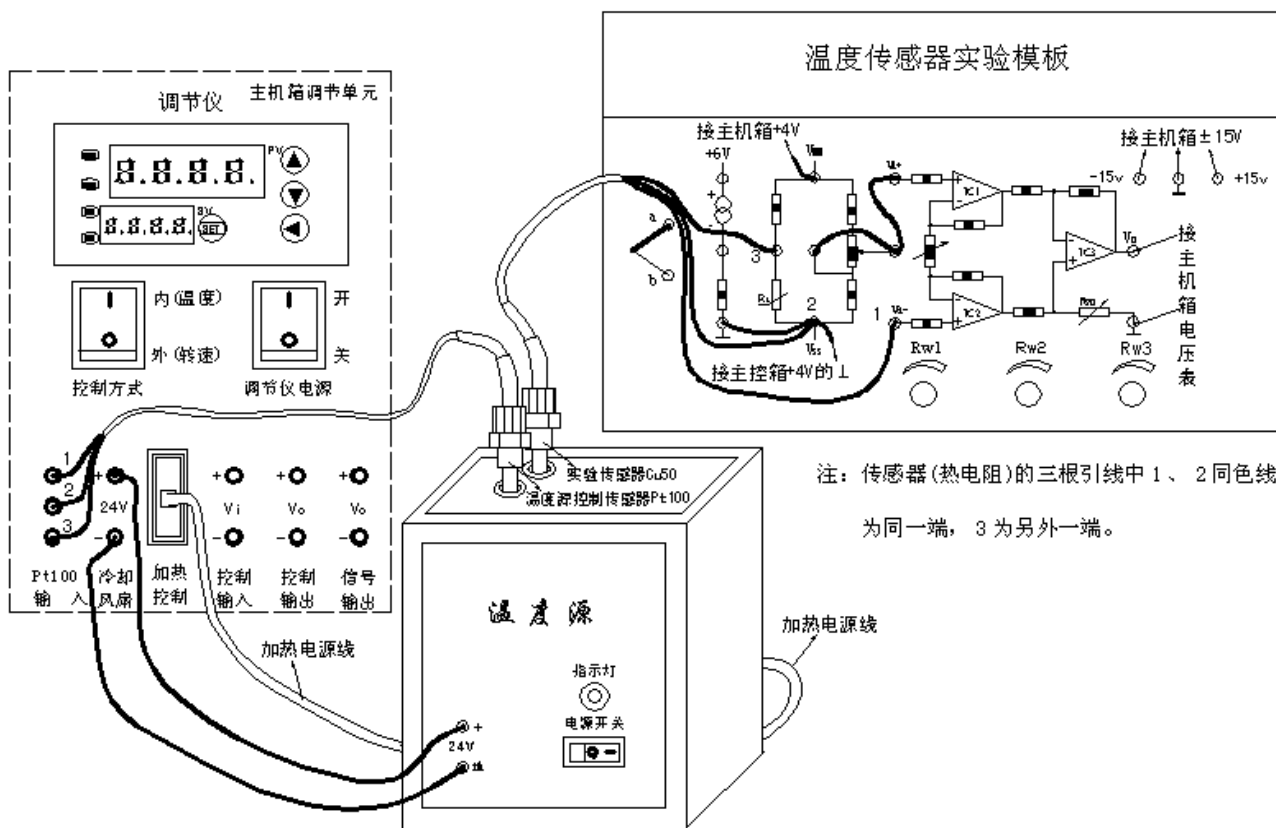


图 29B Cu50 铜电阻测温特性实验接线示意图

将实验 III 中实验温度传感器 Pt100 铂电阻换成 Cu50 铜电阻，并按图 29B 接线，实验温度范围为室温~120℃。实验方法和步骤与实验二十八 B 完全相同。实验结束，关闭所有电源。

VI K 热电偶测温性能实验

一、实验目的：了解热电偶测温原理及方法和应用。

二、基本原理：热电偶测量温度的基本原理是热电效应。将 A 和 B 二种不同的导体首尾相连组成闭合回路，如果二连接点温度(T, T₀)不同，则在回路中就会产生热电动势，形成热电流，这就是热电效应。热电偶就是将 A 和 B 二种不同的金属材料一端焊接而成。A 和 B 称为热电极，焊接的一端是接触热场的 T 端称为工作端或测量端，也称热端；未焊接的一端(接引线)处在温度 T₀ 称为自由端或参考端，也称冷端。T 与 T₀ 的温差愈大，热电偶的输出电动势愈大；温差为 0 时，热电偶的输出电动势为 0；因此，可以用测热电动势大小衡量温度的大小。国际上，将热电偶的 A、B 热电极材料不同分成若干分度号，如常用的 K(镍铬-镍硅或镍铝)、E(镍铬-康铜)、T(铜-康铜)等等，并且有相应的分

度(见附录)表即参考端温度为 0 °C 时的测量端温度与热电动势的对应关系表; 可以通过测量热电偶输出的热电动势值再查分度表得到相应的温度值。

三、需用器件与单元: 主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度源温度控制传感器)、K 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板、应变传感器实验模板(代 mV 发生器)。

四、实验步骤:

热电偶使用说明: 热电偶由 A、B 热电极材料及直径(偶丝直径)决定其测温范围, 如 K (镍铬-镍硅或镍铝)热电偶, 偶丝直径 3.2mm 时测温范围 0 ~1200°C, 本实验用的 K 热电偶偶丝直径为 0.5mm, 测温范围 0 ~800°C; E (镍铬-康铜), 偶丝直径 3.2mm 时测温范围-200~+750°C, 实验用的 E 热电偶偶丝直径为 0.5mm, 测温范围-200~+350°C。由于温度源温度<200°C, 所以, 所有热电偶实际测温范围<200°C。

从热电偶的测温原理可知, 热电偶测量的是测量端与参考端之间的温度差, 必须保证参考端温度为 0 °C 时才能正确测量测量端的温度, 否则存在着参考端所处环境温度值误差。

热电偶的分度表(见附录)是定义在热电偶的参考端(冷端)为 0 °C 时热电偶输出的热电动势与热电偶测量端(热端)温度值的对应关系。热电偶测温时要对参考端(冷端)进行修正(补偿), 计算公式: $E(t,t_0)=E(t,t_0') + E(t_0', t_0)$

式中: $E(t,t_0)$ —热电偶测量端温度为 t , 参考端温度为 $t_0=0$ °C 时的热电势值;

$E(t,t_0')$ —热电偶测量温度 t , 参考端温度为 t_0' 不等于 0 °C 时的热电势值;

$E(t_0', t_0)$ —热电偶测量端温度为 t_0' , 参考端温度为 $t_0=0$ °C 时的热电势值。

例: 用一支分度号为 K (镍铬-镍硅)热电偶测量温度源的温度, 工作时的参考端温度(室温) $t_0' = 20$ °C, 而测得热电偶输出的热电势(经过放大器放大的信号, 假设放大器的增益 $k = 10$)32.7mV, 则 $E(t,t_0') = 32.7\text{mV}/10 = 3.27\text{mV}$, 那么热电偶测得温度源的温度是多少呢?

解: 由附录 K 热电偶分度表查得:

$$E(t_0', t_0) = E(20, 0) = 0.798\text{mV}$$

已测得 $E(t,t_0') = 32.7\text{mV}/10 = 3.27\text{mV}$

故 $E(t,t_0) = E(t,t_0') + E(t_0', t_0) = 3.27\text{mV} + 0.798\text{mV} = 4.068\text{mV}$

热电偶测量温度源的温度可以从分度表中查出, 与 4.068mV 所对应的温度是 100°C。

1、在主机箱总电源、调节仪电源、温度源电源关闭的状态下, 按图 30A 示意图接线。

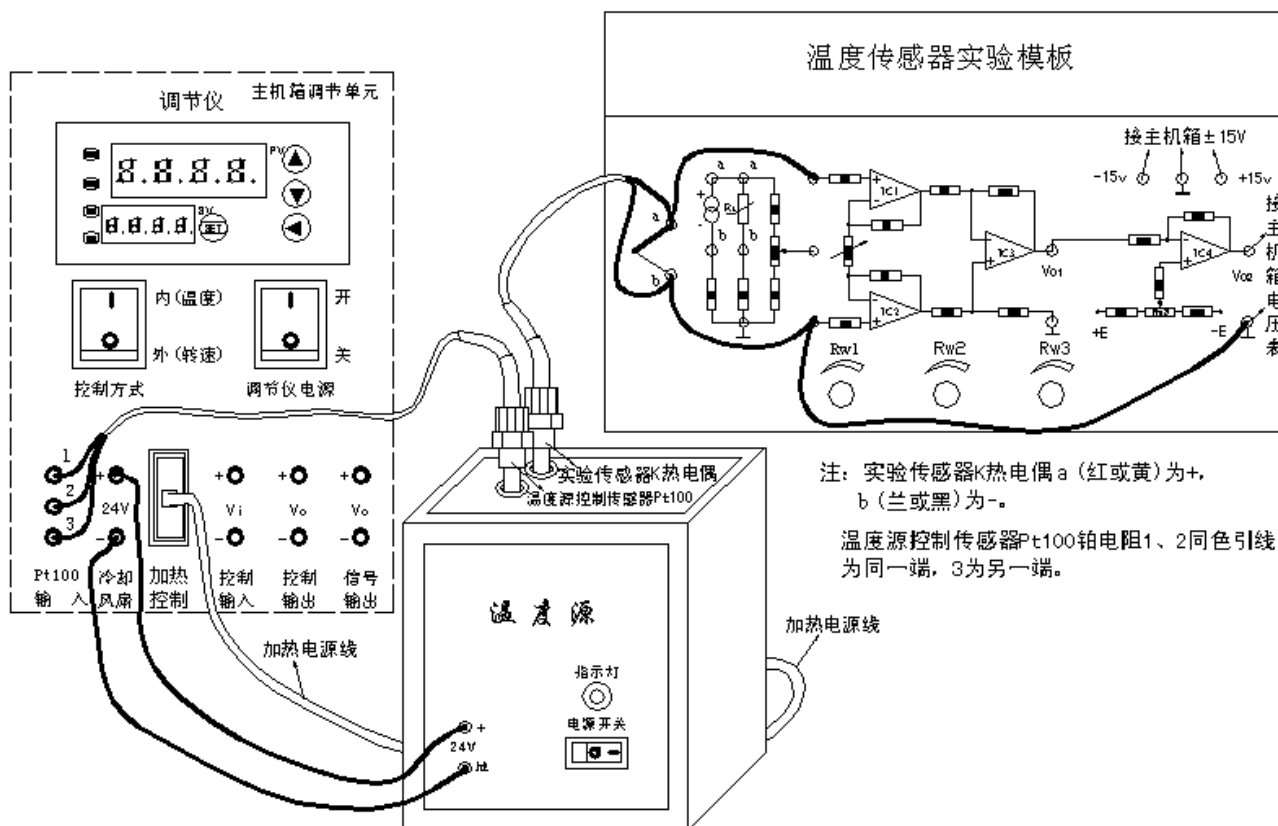


图 30A K 热电偶温度特性实验接线示意图

2、调节温度传感器实验模板放大器的增益 $K=30$ 倍：在图 30A 中温度传感器实验模板上的放大器的二输入端引线暂时不要接入。拿出应变传感器实验模板(实验一的模板)，将应变传感器实验模板上的放大器输入端相连(短接)，应变传感器实验模板上的 $\pm 15V$ 电源插孔与主机箱的 $\pm 15V$ 电源相应连接，合上主机箱电源开关(调节仪电源和温度源电源关闭)后调节应变传感器实验模板上的电位器 R_{w4} (调零电位器)使放大器输出一个较大的 mV 信号，如 $20mV$ (可用电压表 $2V$ 档测量)，再将这个 $20mV$ 信号(V_i)输给图 30A 中温度传感器实验模板的放大器输入端(单端输入：上端接 mV ，下端接 \perp)；用电压表($2V$ 档)监测温度传感器实验模板中的 V_{o1} ，调节温度传感器实验模板中的 R_{w2} 增益电位器，使放大器输出 $V_{o1}=600mV$ ，则放大器的增益 $K = V_{o1} / V_i = 600/20 = 30$ 倍。注意：增益 K 调节好后，千万不要触碰 R_{w2} 增益电位器。

3、关闭主机箱电源，拆去应变传感器实验模板，恢复图 30A 接线。

4、测量热电偶冷端温度并进行冷端温度补偿：在温度源电源开关关闭(O 为关， $-$ 为开)状态下，合上主机箱和调节仪电源开关并将调节仪控制方式(控制对象)开关按到内(温度)位置，记录调节仪 PV 窗的显示值(实验时的室温)即为热电偶冷端温度 t_0' (工作时的参考端温度)；根据热电偶冷端温度 t_0' 查附录 K 热电偶分度表得到 $E(t_0', t_0)$ ，再根据 $E(t_0', t_0)$ 进行冷端温度补偿-----调节温度传感器实验模板中的 R_{w3} (电平移动)使 $V_{o2} = E(t_0', t_0) * K = E(t_0', t_0) * 30$ (用电压表 $2V$ 档监测温度传感器实验模板中的 V_{o2})。

5、将主机箱上的转速调节旋钮($2-24V$)顺时针转到底($24V$)，合上温度源电源开关，

在室温基础上，可按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 增加温度并且小于 160°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七，重复 6、7、8、9 步骤)，待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 30A。

表 30A K 热电偶热电势(经过放大器放大后的热电势)与温度数据

t ($^{\circ}\text{C}$)										
V (mv)										

6、根据表 30A 数据画出实验曲线并计算非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

注：实验数据 $V(\text{mv})/k(\text{增益})=E(t, t_0)$ 。

VII K 热电偶测温性能实验

一、实验目的：了解热电偶测温原理及方法和应用。

二、基本原理：热电偶测量温度的基本原理是热电效应。将 A 和 B 二种不同的导体首尾相连组成闭合回路，如果二连接点温度(T, T_0)不同，则在回路中就会产生热电动势，形成热电流，这就是热电效应。热电偶就是将 A 和 B 二种不同的金属材料一端焊接而成。A 和 B 称为热电极，焊接的一端是接触热场的 T 端称为工作端或测量端，也称热端；未焊接的一端(接引线)处在温度 T_0 称为自由端或参考端，也称冷端。T 与 T_0 的温差愈大，热电偶的输出电动势愈大；温差为 0 时，热电偶的输出电动势为 0；因此，可以用测热电动势大小衡量温度的大小。国际上，将热电偶的 A、B 热电极材料不同分成若干分度号，如常用的 K (镍铬-镍硅或镍铝)、E (镍铬-康铜)、T (铜-康铜)等等，并且有相应的分度(见附录)表即参考端温度为 0°C 时的测量端温度与热电动势的对应关系表；可以通过测量热电偶输出的热电动势值再查分度表得到相应的温度值。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度源温度控制传感器)、K 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板、应变传感器实验模板(代 mV 发生器)。

四、实验步骤：

热电偶使用说明：热电偶由 A、B 热电极材料及直径(偶丝直径)决定其测温范围，如 K (镍铬-镍硅或镍铝)热电偶，偶丝直径 3.2mm 时测温范围 $0 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，本实验用的 K 热电偶偶丝直径为 0.5mm，测温范围 $0 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ；E (镍铬-康铜)，偶丝直径 3.2mm 时测温范围 $-200 \sim +750^{\circ}\text{C}$ ，实验用的 E 热电偶偶丝直径为 0.5mm，测温范围 $-200 \sim +350^{\circ}\text{C}$ 。由于温度源温度 $< 200^{\circ}\text{C}$ ，所以，所有热电偶实际测温范围 $< 200^{\circ}\text{C}$ 。

从热电偶的测温原理可知，热电偶测量的是测量端与参考端之间的温度差，必须保证参考端温度为 0°C 时才能正确测量测量端的温度，否则存在着参考端所处环境温度值误差。

热电偶的分度表(见附录)是定义在热电偶的参考端(冷端)为 0°C 时热电偶输出的热电动势与热电偶测量端(热端)温度值的对应关系。热电偶测温时要对参考端(冷端)进行修正

(补偿), 计算公式: $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0)$

式中: $E(t, t_0)$ —热电偶测量端温度为 t , 参考端温度为 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ 时的热电势值;

$E(t, t_0')$ —热电偶测量温度 t , 参考端温度为 t_0' 不等于 0°C 时的热电势值;

$E(t_0', t_0)$ —热电偶测量端温度为 t_0' , 参考端温度为 $t_0 = 0^\circ\text{C}$ 时的热电势值。

例: 用一支分度号为 K (镍铬-镍硅) 热电偶测量温度源的温度, 工作时的参考端温度 (室温) $t_0' = 20^\circ\text{C}$, 而测得热电偶输出的热电势 (经过放大器放大的信号, 假设放大器的增益 $k = 10$) 32.7mV , 则 $E(t, t_0') = 32.7\text{mV} / 10 = 3.27\text{mV}$, 那么热电偶测得温度源的温度是多少呢?

解: 由附录 K 热电偶分度表查得:

$$E(t_0', t_0) = E(20, 0) = 0.798\text{mV}$$

已测得 $E(t, t_0') = 32.7\text{mV} / 10 = 3.27\text{mV}$

故 $E(t, t_0) = E(t, t_0') + E(t_0', t_0) = 3.27\text{mV} + 0.798\text{mV} = 4.068\text{mV}$

热电偶测量温度源的温度可以从分度表中查出, 与 4.068mV 所对应的温度是 100°C 。

1、在主机箱总电源、调节仪电源、温度源电源关闭的状态下, 按图 30B 示意图接线。

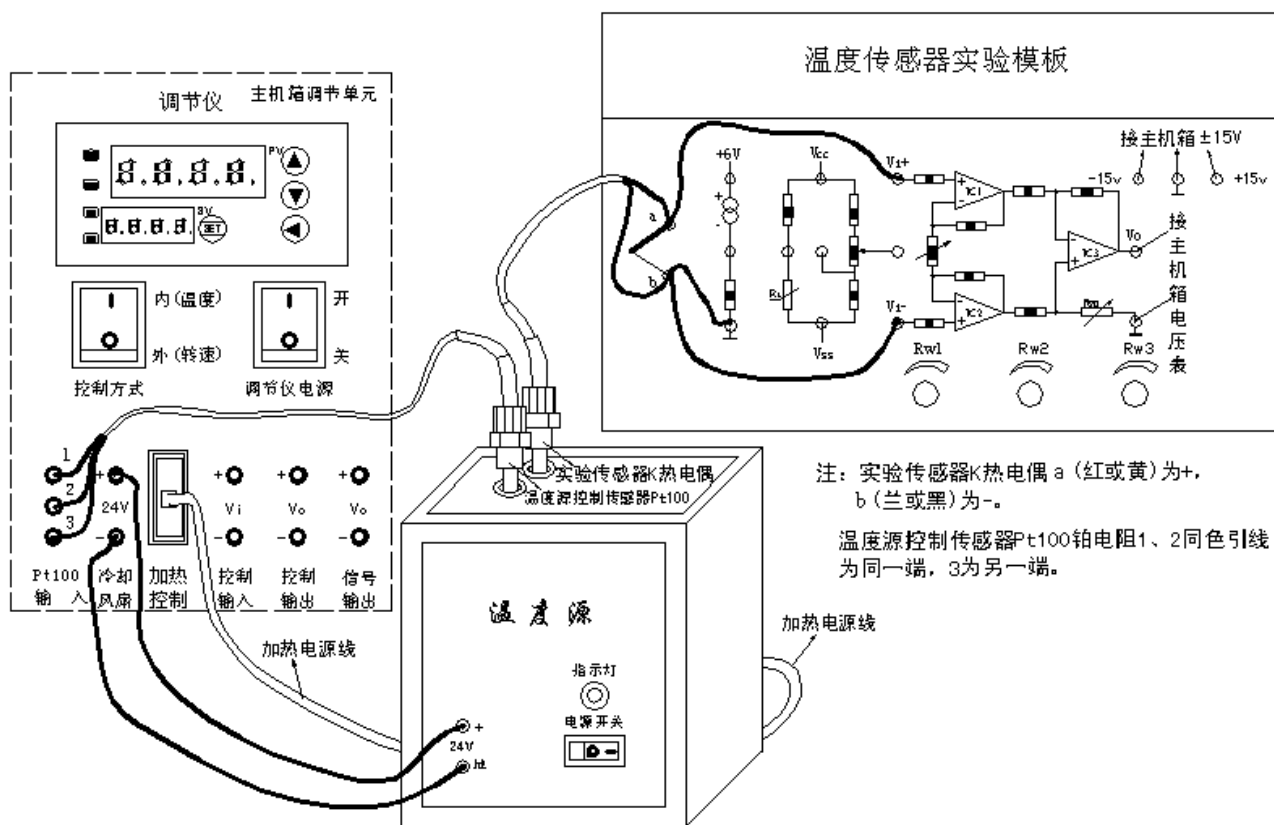


图 30B K 热电偶温度特性实验接线示意图

2、调节温度传感器实验模板放大器的增益 $K = 30$ 倍: 在图 30B 中温度传感器实验模板上的放大器的二输入端引线暂时不要接入。拿出应变传感器实验模板 (实验一的模板), 将应变传感器实验模板上的放大器输入端相连 (短接), 应变传感器实验模板上的土

15V 电源插孔与主机箱的±15V 电源相应连接，合上主机箱电源开关(调节仪电源和温度源电源关闭)后调节应变传感器实验模板上的电位器 R_{w4} (调零电位器)使放大器输出一个较大的mV 信号，如 20mV(可用电压表 2V 档测量)，再将这个 20mV 信号(V_i)输给图 30B 中温度传感器实验模板的放大器输入端（单端输入：上端接 mV，下端接⊥）；用电压表(2V 档)监测温度传感器实验模板中的 V_o ，调节温度传感器实验模板中的 R_{w2} 增益电位器，使放大器输出 $V_o=600\text{mV}$ ，则放大器的增益 $K = V_o / V_i = 600/20 = 30$ 倍。注意：增益 K 调节好后，千万不要触碰 R_{w2} 增益电位器。

3、关闭主机箱电源，拆去应变传感器实验模板，恢复图 30B 接线。

4、测量热电偶冷端温度并进行冷端温度补偿：在温度源电源开关关闭(O 为关，- 为开)状态下，合上主机箱和调节仪电源开关并将调节仪控制方式(控制对象)开关按到内(温度)位置，记录调节仪 PV 窗的显示值(实验时的室温)即为热电偶冷端温度 t_0' (工作时的参考端温度)；根据热电偶冷端温度 t_0' 查附录 K 热电偶分度表得到 $E(t_0', t_0)$ ，再根据 $E(t_0', t_0)$ 进行冷端温度补偿-----调节温度传感器实验模板中的 R_{w3} (电平移动)使 $V_o = E(t_0', t_0) * K = E(t_0', t_0) * 30$ (用电压表 2V 档监测温度传感器实验模板中的 V_o)。

5、将主机箱上的转速调节旋钮(2—24V)顺时针转到底(24V)，合上温度源电源开关，在室温基础上，可按 $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ 增加温度并且小于 160°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七，重复 6、7、8、9 步骤)，待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 30B。

表 30B K 热电偶热电势(经过放大器放大后的热电势)与温度数据

t (°C)										
V (mv)										

6、根据表 30B 数据画出实验曲线并计算非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

注：实验数据 $V(\text{mv})/k(\text{增益}) = E(t, t_0)$ 。

VIII K 分度热电偶冷端温度补偿实验

一、实验目的：了解热电偶冷端温度补偿的原理与方法。

二、基本原理：热电偶测温时，它的冷端往往处于温度变化的环境中，而它测量的是热端与冷端之间的温度差，由此要进行冷端补偿。热电偶冷端温度补偿的常用方法有：计算法、冰水法(0°C)、恒温槽法和电桥自动补偿法等。实际检测时是在热电偶和放大电路之间接入一个其中一个桥臂是 PN 结二极管(或 Cu 电阻)组成的直流电桥，这个直流电桥称冷端温度补偿器，电桥在 0°C 时达到平衡（亦有 20°C 平衡）。当热电偶冷端温度升高时 ($>0^\circ\text{C}$) 热电偶回路电势 U_{ab} 下降，由于补偿器中，PN 呈负温度系数，其正向压降随温度升高而下降，促使 U_{ab} 上升，其值正好补偿热电偶因自由端温度升高而降低的电

势，达到补偿目的。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、 P_{t100} 热电阻(温度源温度控制传感器)、K 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板、冷端温度补偿器、专用直流电源+5V。

四、实验步骤：

热电偶冷端(参考端)补偿说明：热电偶冷端温度补偿可用实验三十中热电偶使用说明的公式法补偿，也可用本实验的冷端温度补偿器补偿。

热电偶冷端温度补偿器是用来自动补偿热电偶测量值因冷端温度变化而变化的一种装置。冷端温度补偿器实质上就是产生一个直流信号的毫伏发生器，当它串接在热电偶测量线路中测量时，就可以使读数得到自动补偿。冷端补偿器的直流信号应随冷端温度的变化而变化，并且要求补偿器在补偿的温度范围内，直流信号和冷端温度的关系应与配用的热电偶之热电特性一致，即不同分度号的热电偶配相应的冷端补偿器。

本实验为K分度热电偶，相应的冷端补偿器及原理图参见图 31A。冷端补偿器外形为一个小方盒，有 4 个引线端子，4、3 接+5V 专用电源，2、1 输出经室温(冷端温度)补偿后的热电势信号；它的内部是一个不平衡电桥(见图 31A 原理图)，通过调节 R_w 使桥路输出室温(冷端温度)时的热电势值，利用二极管的 PN 结特性自动补偿冷端温度的变化。

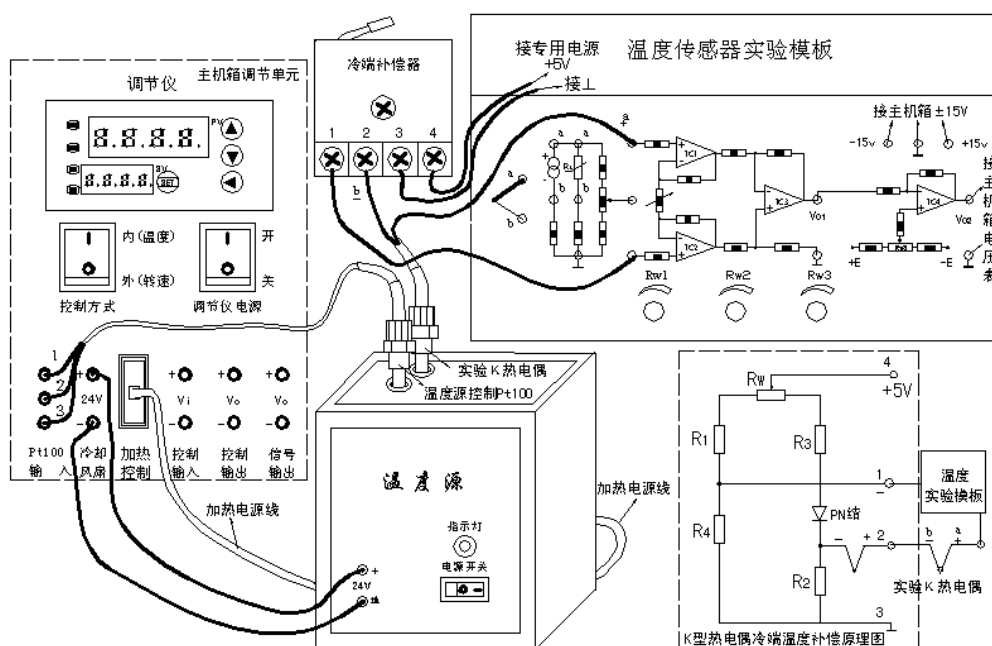


图 31A K 热电偶冷端温度补偿实验接线示意图

1、按图 31A 示意接线。将冷端补偿器的专用电源插头插到主机箱侧面的交流 220V 插座上。

2、放大器调零：在图 31A 中温度传感器实验模板放大器的二输入端引线暂时不要接入，而用导线直接将放大器的二输入端相连(短接)；将主机箱上的电压表量程(显示选

择)切换开关打到 2V 档, 合上主机箱电源开关(调节仪电源和温度源电源关闭), 调节温度传感器实验模板中的 R_{w2} (顺时针转到底)增益电位器, 使放大器增益最大; 再调节 R_{w3} (调零电位器)使主机箱的电压表显示为 0。

3、将主机箱上的转速调节旋钮(2—24V)顺时针转到底(24V), 拆去温度传感器实验模板上放大器的二输入端的短接线, 恢复图 31A 的接接线, 合上温度源和调节仪电源开关, 将调节仪控制方式(控制对象)按到内(温度)位置; 在常温基础上, 可按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 增加温度并且小于 160°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七, 重复 6、7、8、9 步骤), 待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 31A。

表 31A K 热电偶经过冷端温度补偿放大器放大后的热电势与温度数据

$t(^{\circ}\text{C})$										
V(mv)										

4、根据表 31A 数据画出实验曲线并计算非线性误差。实验结束, 关闭所有电源。

注: 实验数据 $V(\text{mv})/k(\text{增益})=E(t, t_0)$, 根据附录中分度表可以查到相应的温度值; 如果实验结果与理论值有很大误差是由于控制误差和放大器 $k(\text{增益})$ 有误差, 二者叠加引起误差更大。

放大器的 $k(\text{增益})$ 可用实测法得到正确的值: 拿出应变传感器实验模板(实验一的模板), 将应变传感器实验模板上的放大器输入端相连(短接), 接上 $\pm 15\text{V}$ 电源后调节电位器 R_{w4} (调零电位器)使放大器输出一个较大的 mV 信号, 如 20mV (可用电压表测量), 再将这个信号(V_i)输给图 31 温度传感器实验模板放大器两输入端(单端输入: 上端接 mV , 下端接 \perp), 可用电压表测出电压 V_0 , 则 $K = V_0 / V_i$ 。

五、思考题: 实验三十 A 与实验三十一 A 有什么差别, 一般实际应用时选择哪一种方法为好?

IX K 分度热电偶冷端温度补偿实验

一、实验目的: 了解热电偶冷端温度补偿的原理与方法。

二、基本原理: 热电偶测温时, 它的冷端往往处于温度变化的环境中, 而它测量的是热端与冷端之间的温度差, 由此要进行冷端补偿。热电偶冷端温度补偿的常用方法有: 计算法、冰水法(0°C)、恒温槽法和电桥自动补偿法等。实际检测时是在热电偶和放大电路之间接入一个其中一个桥臂是 PN 结二极管(或 Cu 电阻)组成的直流电桥, 这个直流电桥称冷端温度补偿器, 电桥在 0°C 时达到平衡(亦有 20°C 平衡)。当热电偶冷端温度升高时($>0^{\circ}\text{C}$)热电偶回路电势 U_{ab} 下降, 由于补偿器中, PN 呈负温度系数, 其正向压降随温度升高而下降, 促使 U_{ab} 上升, 其值正好补偿热电偶因自由端温度升高而降低的电势, 达到补偿目的。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt₁₀₀ 热电阻(温度源温度控制传感器)、K 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板、冷端温度补偿器、专用直流电源+5V。

四、实验步骤：

热电偶冷端(参考端)补偿说明：热电偶冷端温度补偿可用实验三十中热电偶使用说明的公式法补偿，也可用本实验的冷端温度补偿器补偿。

热电偶冷端温度补偿器是用来自动补偿热电偶测量值因冷端温度变化而变化的一种装置。冷端温度补偿器实质上就是产生一个直流信号的毫伏发生器，当它串接在热电偶测量线路中测量时，就可以使读数得到自动补偿。冷端补偿器的直流信号应随冷端温度的变化而变化，并且要求补偿器在补偿的温度范围内，直流信号和冷端温度的关系应与配用的热电偶之热电特性一致，即不同分度号的热电偶配相应的冷端补偿器。

本实验为K分度热电偶，相应的冷端补偿器及原理图参见图 31B。冷端补偿器外形为一个小方盒，有 4 个引线端子，4、3 接+5V 专用电源，2、1 输出经室温(冷端温度)补偿后的热电势信号；它的内部是一个不平衡电桥(见图 31B 原理图)，通过调节 R_w 使桥路输出室温(冷端温度)时的热电势值，利用二极管的 PN 结特性自动补偿冷端温度的变化。

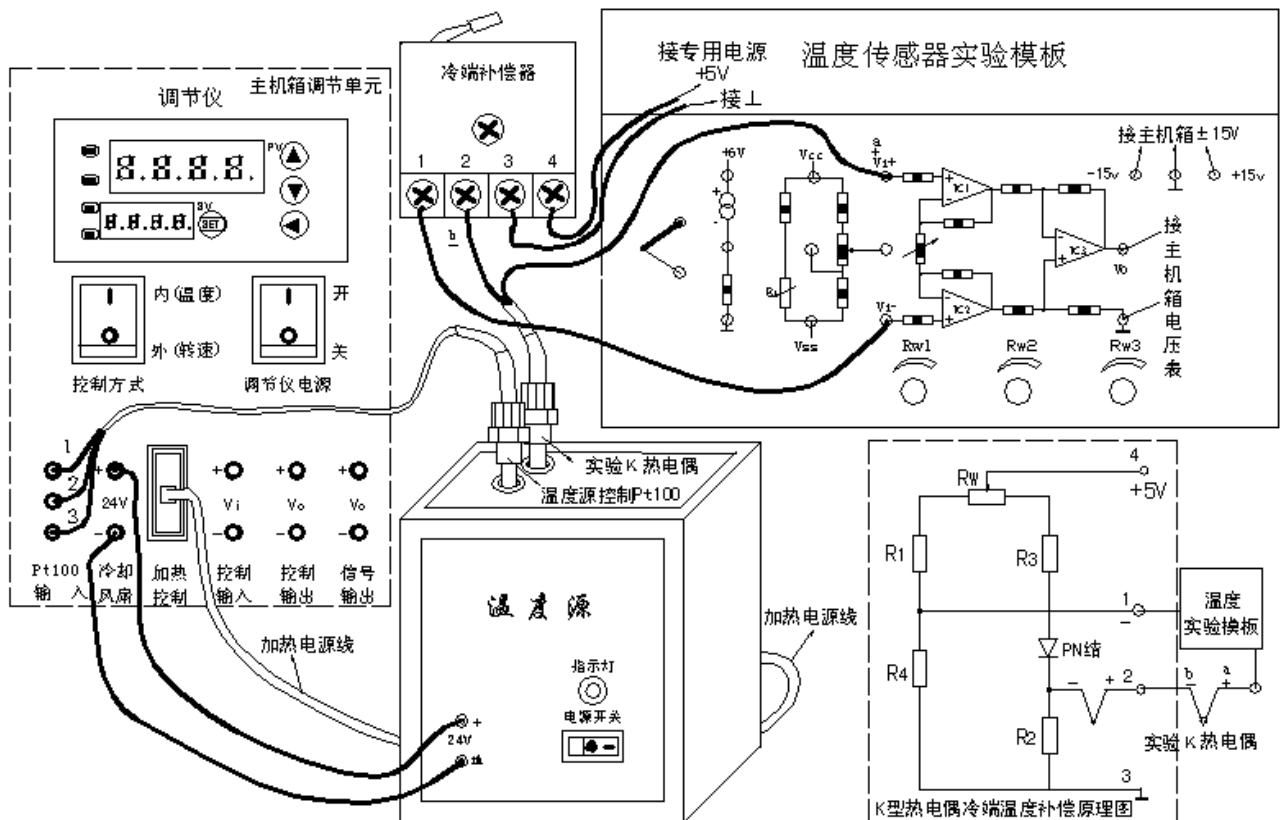


图 31B K 热电偶冷端温度补偿实验接线示意图

1、按图 31B 示意接线。将冷端补偿器的专用电源插头插到主机箱侧面的交流 220 V 插座上。

2、放大器调零：在图 31B 中温度传感器实验模板放大器的二输入端引线暂时不要接入，而用导线直接将放大器的二输入端相连(短接)；将主机箱上的电压表量程(显示选

择)切换开关打到 2V 档, 合上主机箱电源开关(调节仪电源和温度源电源关闭), 调节温度传感器实验模板中的 R_{w2} (顺时针转到底)增益电位器, 使放大器增益最大; 再调节 R_{w3} (调零电位器)使主机箱的电压表显示为 0。

3、将主机箱上的转速调节旋钮(2—24V)顺时针转到底(24V), 拆去温度传感器实验模板上放大器的二输入端的短接线, 恢复图 31B 的接接线, 合上温度源和调节仪电源开关, 将调节仪控制方式(控制对象)按到内(温度)位置; 在常温基础上, 可按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 增加温度并且小于 160°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七, 重复 6、7、8、9 步骤), 待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 31B。

表 31B K 热电偶经过冷端温度补偿放大器放大后的热电势与温度数据

t($^{\circ}\text{C}$)										
V(mv)										

4、根据表 31B 数据画出实验曲线并计算非线性误差。实验结束, 关闭所有电源。

注: 实验数据 $V(\text{mv})/k(\text{增益})=E(t, t_0)$, 根据附录中分度表可以查到相应的温度值; 如果实验结果与理论值有很大误差是由于控制误差和放大器 $k(\text{增益})$ 有误差, 二者叠加引起误差更大。

放大器的 $k(\text{增益})$ 可用实测法得到正确的值: 拿出应变传感器实验模板(实验一的模板), 将应变传感器实验模板上的放大器输入端相连(短接), 接上 $\pm 15\text{V}$ 电源后调节电位器 R_{w4} (调零电位器)使放大器输出一个较大的 mV 信号, 如 20mV (可用电压表测量), 再将这个信号(V_i)输给图 31 温度传感器实验模板放大器两输入端(单端输入: 上端接 mV , 下端接 \perp), 可用电压表测出电压 V_0 , 则 $K = V_0 / V_i$ 。

五、思考题:

实验三十 B 与实验三十一 B 有什么差别, 一般实际应用时选择哪一种方法为好?

X E 分度热电偶测温性能实验

一、实验目的: 了解不同分度号热电偶测量温度的性能与应用。

二、基本原理: 与实验三十 A 完全相同, 参阅实验三十 A。

三、需用器件与单元: 主机箱、温度源、 P_{t100} 热电阻(温度源温度控制传感器)、E 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板。

四、实验步骤:

1、按图 32A 示意接线, 除了查附录 E 热电偶分度表外, 实验方法和步骤完全与实验三十 A 相同, 按实验三十方法实验并将实验数据填入表 32A。

表 32A E 热电偶热电势(经过放大器放大后的热电势)与温度数据

t(°C)									
V(mv)									

2、根据表 32A 数据画出实验曲线并计算非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

注：实验数据 $V(\text{mv})/k(\text{增益})=E(t,t_0)$ 。

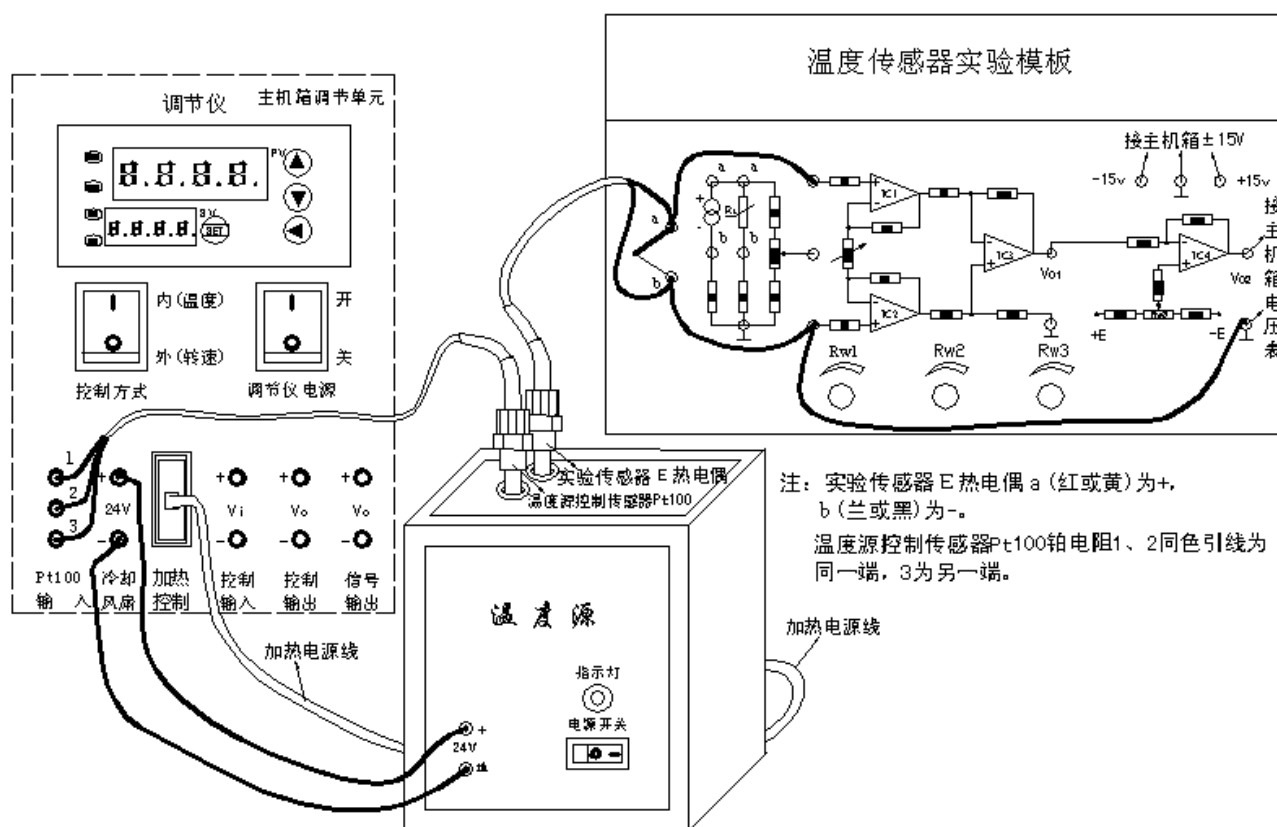


图 32A E 热电偶温度特性实验接线示意图

五、思考题：

通过实验三十 A 与实验三十二 A 的实验数据比较分度号为 E、K 热电偶在(相同条件下)相同温度时的输出热电势大小。从实验三十热电偶使用说明中可知，K 与 E 热电偶测温范围谁宽？

XI E 分度热电偶测温性能实验

一、实验目的：了解不同分度号热电偶测量温度的性能与应用。

二、基本原理：与实验三十 B 完全相同，参阅实验三十 B。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度源温度控制传感器)、E 热电偶(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板。

四、实验步骤：

1、按图 32B 示意接线，除了查附录 E 热电偶分度表外，实验方法和步骤完全与实验三十 B 相同，按实验三十方法实验并将实验数据填入表 32B。

表 32B E 热电偶热电势(经过放大器放大后的热电势)与温度数据

t(°C)										
V(mv)										

2、根据表 32B 数据画出实验曲线并计算非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

注：实验数据 $V(\text{mv})/k(\text{增益})=E(t,t_0)$ 。

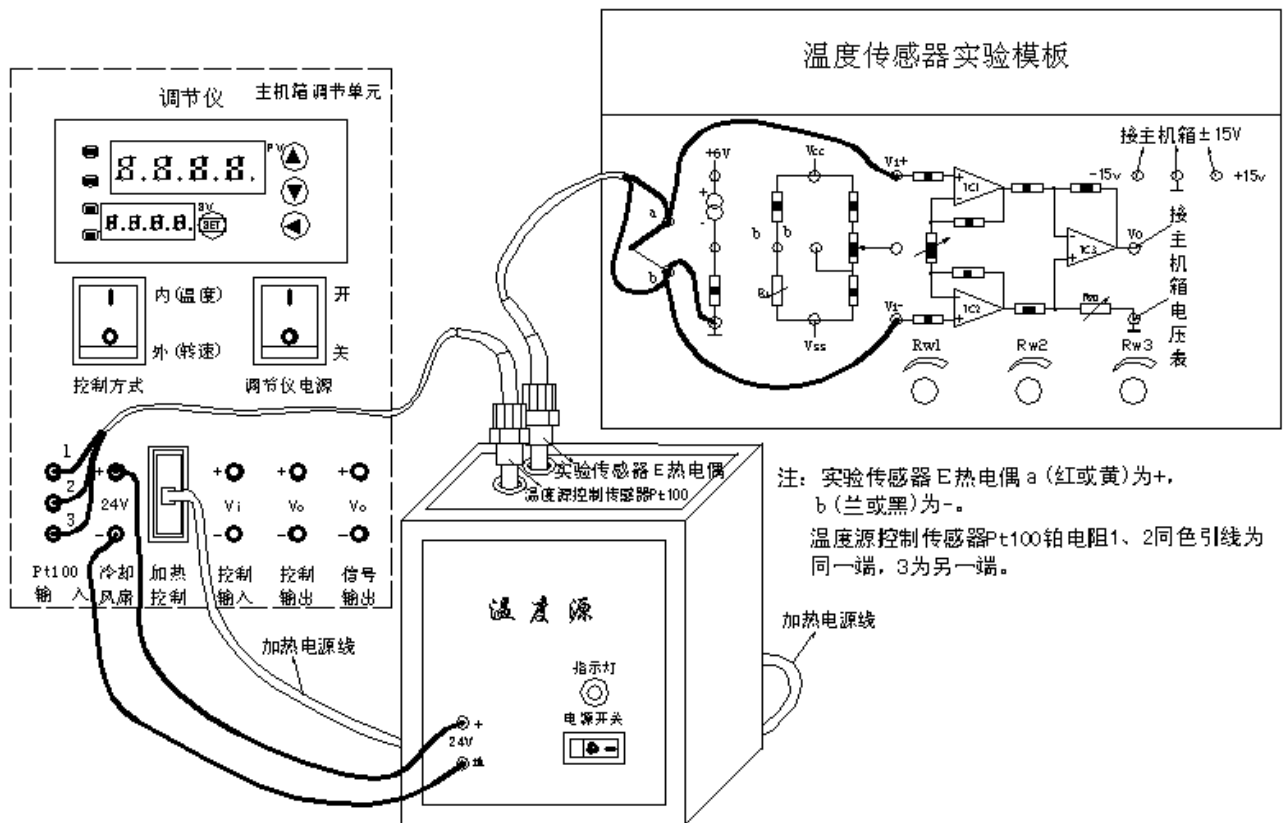


图 32B E 热电偶温度特性实验接线示意图

五、思考题：

通过实验三十 B 与实验三十二 B 的实验数据比较分度号为 E、K 热电偶在(相同条件下)相同温度时的输出热电势大小。从实验三十热电偶使用说明中可知，K 与 E 热电偶测温范围谁宽？

XII 集成温度传感器(AD590)温度特性实验

一、实验目的：了解常用的集成温度传感器基本原理、性能与应用。

二、基本原理：集成温度传感器将温敏晶体管与相应的辅助电路集成在同一芯片上，它能直接给出正比于绝对温度的理想线性输出，一般用于 -50°C — $+120^{\circ}\text{C}$ 之间温度测量。集成温度传感器有电压型和电流型二种，电流输出型集成温度传感器，在一定温度下，它相当于一个恒流源。因此它具有不易受接触电阻、引线电阻、电压噪声的干扰。具有很好的线性特性。本实验采用的是 AD590 电流型集成温度传感器，其输出电流与绝对温度(T)成正比，它的灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ ，所以只要串接一只取样电阻 $R(1\text{k}\Omega)$ 即可实现电流 $1\mu\text{A}$ 到电压 1mV 的转换组成最基本的绝对温度(T)测量电路($1\text{mV}/\text{K}$)。AD590 工作电源为 DC $+4\text{V}$ — $+30\text{V}$ ，它具有良好的互换性和线性。

国际实用温标也称绝对温标，用符号 T 表示，单位是 K(开尔文)。开氏温度值和摄氏温度的分度值相同，即温度间隔 1K 等于 1°C 。绝对温度 T 与摄氏温度 t 的关系是： $T=273.16+t$
 $\approx 273+t$ K，显然，绝对零点即为摄氏零下 273.16°C ($t \approx -273+T$ $^{\circ}\text{C}$)。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、P₁100 热电阻(温度源温度控制传感器)、集成温度传感器 AD590(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板。万用表。

四、实验步骤：

1、按图 33A 示意接线，温度源控制传感器为 P₁100 热电阻，实验传感器为集成温度传感器 AD590。

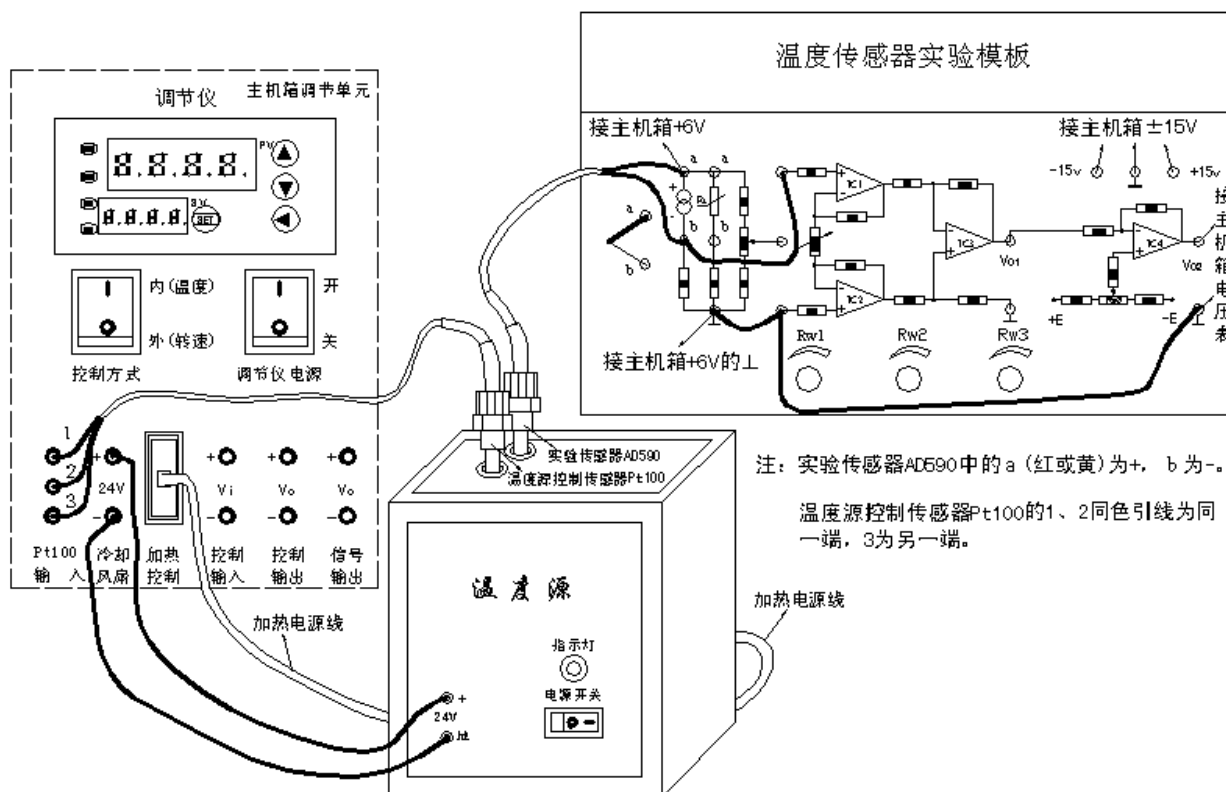


图 33A 集成温度传感器 AD590 温度特性实验接线示意图

1、节温度传感器实验模板放大器的增益为 10 倍：(由上述基本原理可知，传感器 AD590 的灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ ，因分度值 $1\text{K}=1^\circ\text{C}$ ，所以灵敏度为 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ 。温度传感器实验模板的采样电阻 R_2 为 $1\text{k}\Omega$ ，则得到采样电压 $1\text{mV}/^\circ\text{C}$)根据图 33A，检查接线无误后合上主机箱电源开关(温度源电源关闭)，用电压表(2V 档)测量传感器 AD590 处于室温时的采样电压即放大器输入端电压，设为 V_i ；再用电压表(20V 档)测量放大器 V_{o1} 输出端电压，调节 R_{w2} 使 $V_{o1}=10V_i$ (室温为 0°C 时： $(1\mu\text{A}/\text{K}) \times (1\text{k}\Omega) \times (273\text{K}) \times 10$ 倍 = 2.73V)，则放大器的灵敏度为 $10\text{mV}/\text{K}$ 。

2、绝对温度 T 转换成摄氏温度 t ：(因分度值 $1\text{K}=1^\circ\text{C}$ ，所以转换很方便，只要电平移动一下就行。)用电压表(2V 档)测量 V_{o2} ，调节 R_{w3} 使 V_{o2} 为室温对应的电压值即与调节仪显示值(合上调节仪电源开关，温度源电源关闭。)一致。

3、将主机箱上的转速调节旋钮(2—24V)顺时针转到底(24V)，合上温度源电源开关和调节仪电源开关，将调节仪控制方式(控制对象)按到内(温度)位置；在常温基础上，可按 $\Delta t=5^\circ\text{C}$ 增加温度并且小于等于 100°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七，重复 6、7、8、9 步骤)，待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 33A。

表 33A AD590 温度特性实验数据

t(°C)									
V(mv)									

4、根据表 28A 数据值画出实验曲线并计算其非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

XIII 集成温度传感器(AD590)温度特性实验

一、实验目的：了解常用的集成温度传感器基本原理、性能与应用。

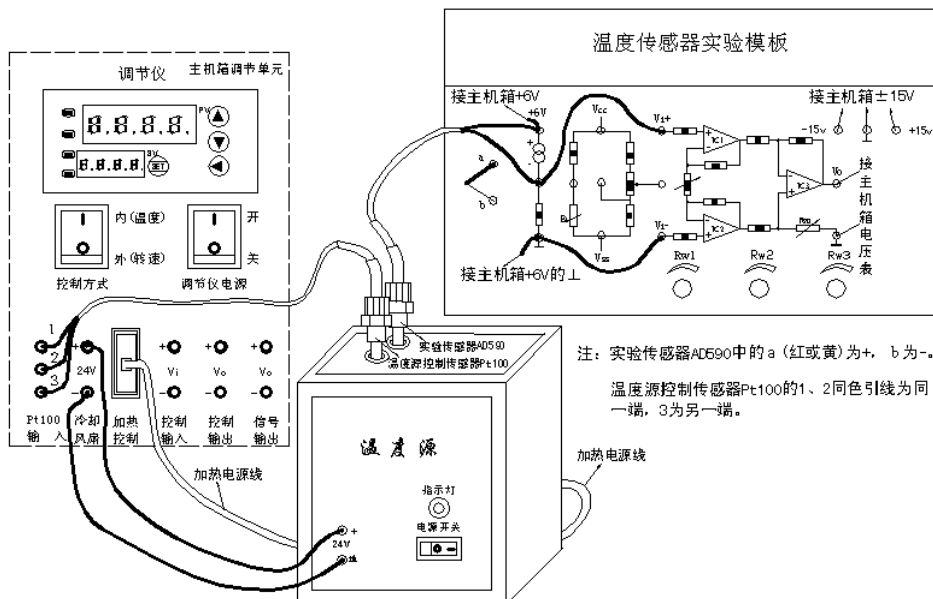
二、基本原理：集成温度传感器将温敏晶体管与相应的辅助电路集成在同一芯片上，它能直接给出正比于绝对温度的理想线性输出，一般用于 -50°C — $+120^{\circ}\text{C}$ 之间温度测量。集成温度传感器有电压型和电流型二种，电流输出型集成温度传感器，在一定温度下，它相当于一个恒流源。因此它具有不易受接触电阻、引线电阻、电压噪声的干扰。具有很好的线性特性。本实验采用的是 AD590 电流型集成温度传感器，其输出电流与绝对温度(T)成正比，它的灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ ，所以只要串接一只取样电阻 R($1\text{k}\Omega$)即可实现电流 $1\mu\text{A}$ 到电压 1mV 的转换组成最基本的绝对温度(T)测量电路($1\text{mV}/\text{K}$)。AD590 工作电源为 DC $+4\text{V}$ — $+30\text{V}$ ，它具有良好的互换性和线性。

国际实用温标也称绝对温标，用符号 T 表示，单位是 K(开尔文)。开氏温度值和摄氏温度的分度值相同，即温度间隔 1K 等于 1°C 。绝对温度 T 与摄氏温度 t 的关系是： $T=273.16+t$ $\approx 273+t$ K，显然，绝对零点即为摄氏零下 273.16°C ($t \approx -273+T$ $^{\circ}\text{C}$)。

三、需用器件与单元：主机箱、温度源、Pt100 热电阻(温度源温度控制传感器)、集成温度传感器 AD590(温度特性实验传感器)、温度传感器实验模板。万用表。

四、实验步骤：

1、按图 33B 示意接线，温度源控制传感器为 Pt100 热电阻，实验传感器为集成温度传感器 AD590。



注：实验传感器AD590中的 a (红或黄) 为+，b 为-。
温度源控制传感器Pt100的1、2同色引线为同一端，3为另一端。

图 33B 集成温度传感器 AD590 温度特性实验接线示意图

2、节温度传感器实验模板放大器的增益为 10 倍：(由上述基本原理可知，传感器 AD590 的灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ ，因分度值 $1\text{K}=1^\circ\text{C}$ ，所以灵敏度为 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ 。温度传感器实验模板的采样电阻 R_1 为 $1\text{k}\Omega$ ，则得到采样电压 $1\text{mV}/^\circ\text{C}$)根据图 33B，检查接线无误后合上主机箱电源开关(温度源电源关闭)，用电压表(2V 档)测量传感器 AD590 处于室温时的采样电压即放大器输入端电压，设为 V_i ；再用电压表(20V 档)测量放大器 V_o 输出端电压，调节 R_{w2} 使 $V_o=10V_i$ (室温为 0°C 时： $(1\mu\text{A}/\text{K})\times(1\text{k}\Omega)\times(273\text{K})\times 10$ 倍= 2.73V)，则放大器的灵敏度为 $10\text{mV}/\text{K}$ 。

3、绝对温度 T 转换成摄氏温度 t ：(因分度值 $1\text{K}=1^\circ\text{C}$ ，所以转换很方便，只要电平移动一下就行。)用电压表(2V 档)测量 V_o ，调节 R_{w3} 使 V_o 为室温对应的电压值即与调节仪显示值(合上调节仪电源开关，温度源电源关闭。)一致。

4、将主机箱上的转速调节旋钮(2—24V)顺时针转到底(24V)，合上温度源电源开关和调节仪电源开关，将调节仪控制方式(控制对象)按到内(温度)位置；在常温基础上，可按 $\Delta t=5^\circ\text{C}$ 增加温度并且小于等于 100°C 范围内设定温度源温度值(设定方法参阅实验二十七 B，重复 6、7、8、9 步骤)，待温度源温度动态平衡时读取主机箱电压表的显示值并填入表 33B。

表 33B AD590 温度特性实验数据

$t(^{\circ}\text{C})$										
$V(\text{mv})$										

5、根据表 28B 数据值画出实验曲线并计算其非线性误差。实验结束，关闭所有电源。

实验三、压力，位移与振动

I 压阻式压力传感器的压力测量实验

一、实验目的：了解扩散硅压阻式压力传感器测量压力的原理和方法。

二、基本原理：扩散硅压阻式压力传感器在单晶硅的基片上扩散出 P 型或 N 型电阻条，接成电桥。在压力作用下根据半导体的压阻效应，基片产生应力，电阻条的电阻率产生很大变化，引起电阻的变化，我们把这一变化引入测量电路，则其输出电压的变化反映了所受到的压力变化。

三、需用器件与单元：主机箱、压阻式压力传感器、压力传感器实验模板、引压胶管。

四、实验步骤：

1、将压力传感器安装在实验模板的支架上，根据图 8 连接管路和电路（主机箱内的气源部分，压缩泵、贮气箱、流量计已接好）。引压胶管一端插入主机箱面板上气源的快速接口中（注意管子拆卸时请用双指按住气源快速接口边缘往内压，则可轻松拉出），另一端与压力传感器相连。压力传感器引线为 4 芯线：1 端接地线，2 端为 U_{o+} ，3 端接 +4V 电源，4 端为 U_{o-} ，接线见图 8。

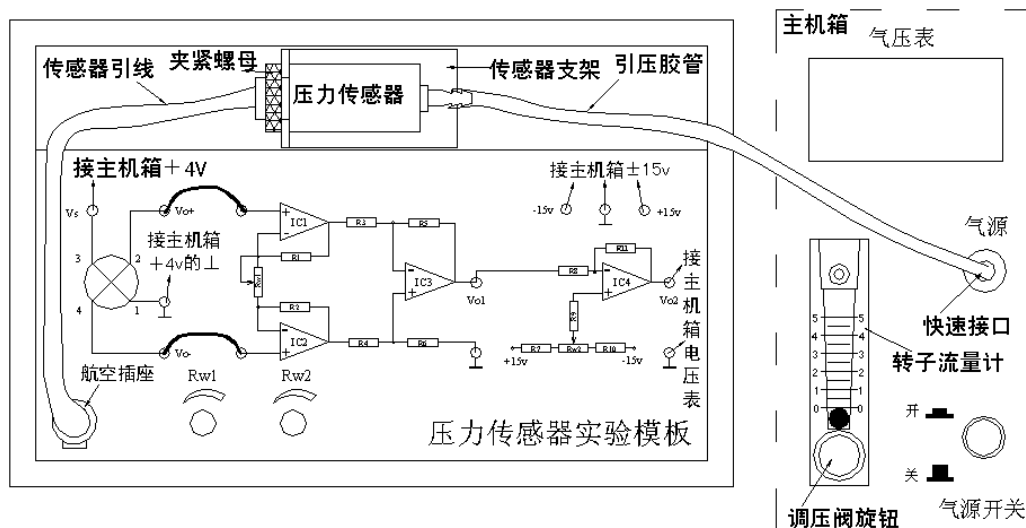


图 8 压阻式压力传感器测压实验安装、接线图

2、实验模板上 R_{w2} 用于调节放大器零位， R_{w1} 调节放大器增益。按图 8 将实验模板的放大器输出 V_{02} 接到主机箱(电压表)的 V_{in} 插孔，将主机箱中的显示选择开关拨到 2V 档，合上主机箱电源开关， R_{w1} 旋到满度的 1 / 3 位置(即逆时针旋到底再顺时针旋 2 圈)，仔细调节 R_{w2} 使主机箱电压表显示为零。

3、合上主机箱上的气源开关，启动压缩泵，逆时针旋转转子流量计下端调压阀的旋钮，此时可看到流量计中的滚珠在向上浮起悬于玻璃管中，同时观察气压表和电压表的变化。

4、调节流量计旋钮，使气压表显示某一值，观察电压表显示的数值。

5、仔细地逐步调节流量计旋钮，使压力在 2—18KPa 之间变化，每上升 1KPa 气压分别读取电压表读数，将数值列于表 8。

表 8

P(KPa)									
$V_o(p-p)$									

1、画出实验曲线计算本系统的灵敏度和非线性误差。

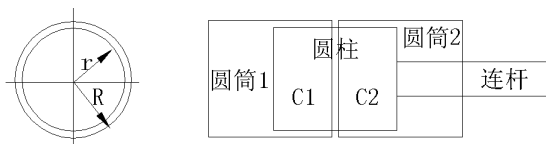
2、如果本实验装置要成为一个压力计，则必须对电路进行标定，方法采用逼近法：输入 4KPa 气压，调节 R_{w2} (低限调节)，使电压表显示 0.25V(有意偏小)，当输入 16KPa 气压，调节 R_{w1} (高限调节)使电压表显示 1.2V(有意偏小)；再调气压为 4KPa，调节 R_{w2} (低限调节)，使电压表显示 0.3V(有意偏小)，调气压为 16KPa，调节 R_{w1} (高限

调节)使电压表显示 1.3V(有意偏小);这个过程反复调节直到逼近自己的要求(4KPa—0.4V, 16KPa—1.6V)即可。实验完毕,关闭电源。

II 电容式位移传感器实验

一、实验目的:了解电容式传感器结构及其特点。

二、基本原理:利用电容 $C = \epsilon A / d$ 和其它结构的关系式通过相应的结构和测量电路可以选择 ϵ 、 A 、 d 中三个参数中,保持二个参数不变,而只改变其中一个参数,则可以有测谷物干燥度 (ϵ 变)、测位移 (d 变)和测量液位 (A 变)等多种电容传感器。本实验采用的传感器为圆筒式变面积差动结构的电容式位移传感器,如下图所示:它是有二个圆筒和一个圆柱组成的。设圆筒的半径为 R ;圆柱的半径为 r ;圆柱的长为 x ,则电容量为 $C = \epsilon 2\pi x / \ln(R / r)$ 。图中 C_1 、 C_2 是差动连接,当图中的圆柱产生 ΔX 位移时,电容量的变化量为 $\Delta C = C_1 - C_2 = \epsilon 2\pi 2\Delta X / \ln(R / r)$,式中 $\epsilon 2\pi$ 、 $\ln(R / r)$ 为常数,说明 ΔC

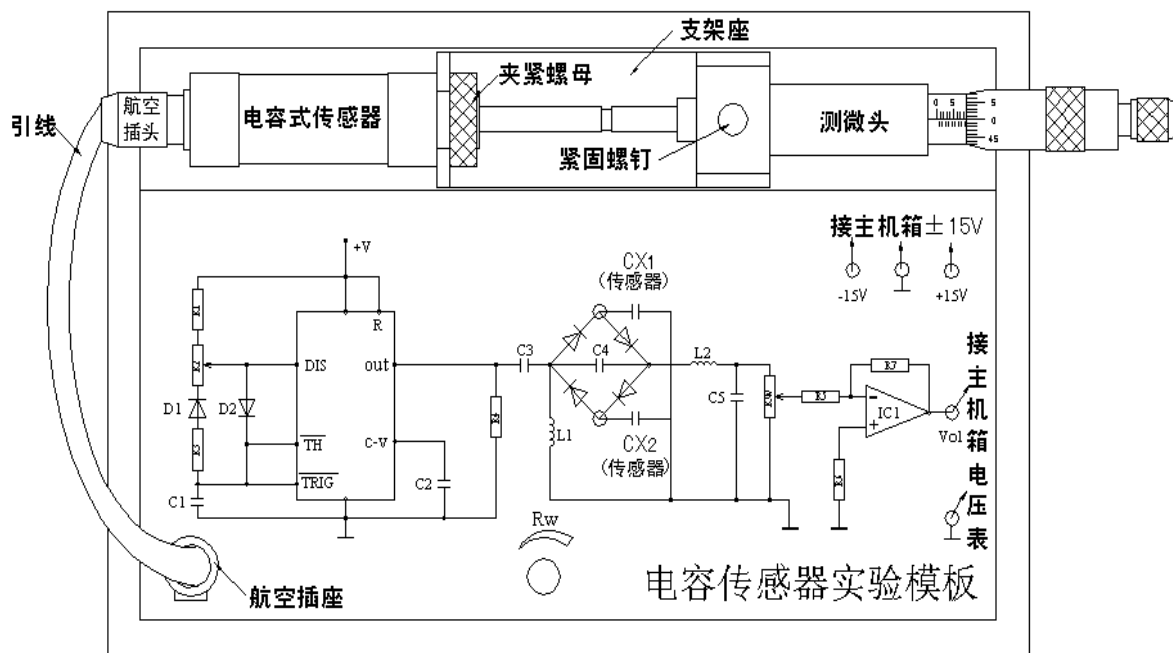


与位移 ΔX 成正比,配上配套测量电路就能测量位移。

三、需用器件与单元:主机箱、电容传感器、电容传感器实验模板、测微头。

四、实验步骤:

- 1、测微头的使用和安装参阅实验九。按图 13 将电容传感器装于电容传感器实验模板上并按图示意接线(实验模板的输出 V_{o1} 接主机箱电压表的 V_{in})。
- 2、将实验模板上的 R_w 调节到中间位置(方法:逆时针转到底再顺时针转 3 圈)。
- 3、将主机箱上的电压表量程(显示选择)开关打到 2 v 档,合上主机箱电源开关,旋转测微头改变电容传感器的动极板位置使电压表显示 0 v,再转动测微头(同一个方向)5 圈,记录此时的测微头读数和电压表显示值为实验起点值。以后,反方向每转动测微头 1 圈即 $\Delta X = 0.5 \text{ mm}$ 位移读取电压表读数(这样转 10 圈读取相应的电压表读数),将数据填入表 13 并作出 $X - V$ 实验曲线(这样单行程位移方向做实验可以消除测微头的回差)。
- 4、根据表 13 数据计算电容传感器的系统灵敏度 S 和非线性误差 δ 。实验完毕,关闭电源。



图

13 电容传感器位移实验安装、接线图

表 13 电容传感器位移与输出电压值

X (mm)										
)										
V (mv)										
)										

III 压电式传感器测振动实验

一、实验目的：了解压电传感器的测量振动的原理和方法。

二、基本原理：压电式传感器由惯性质量块和受压的压电片等组成。（观察实验用压电加速度计结构）工作时传感器感受与试件相同频率的振动，质量块便有正比于加速度的交变力作用在晶片上，由于压电效应，压电晶片上产生正比于运动加速度的表面电荷。

三、需用器件与单元：主机箱、差动变压器实验模板、振动源、示波器。

四、实验步骤：

1、按图 18 所示将压电传感器安装在振动台面上(与振动台面中心的磁钢吸合)，振动源的低频输入接主机箱中的低频振荡器，其它连线按图示意接线。

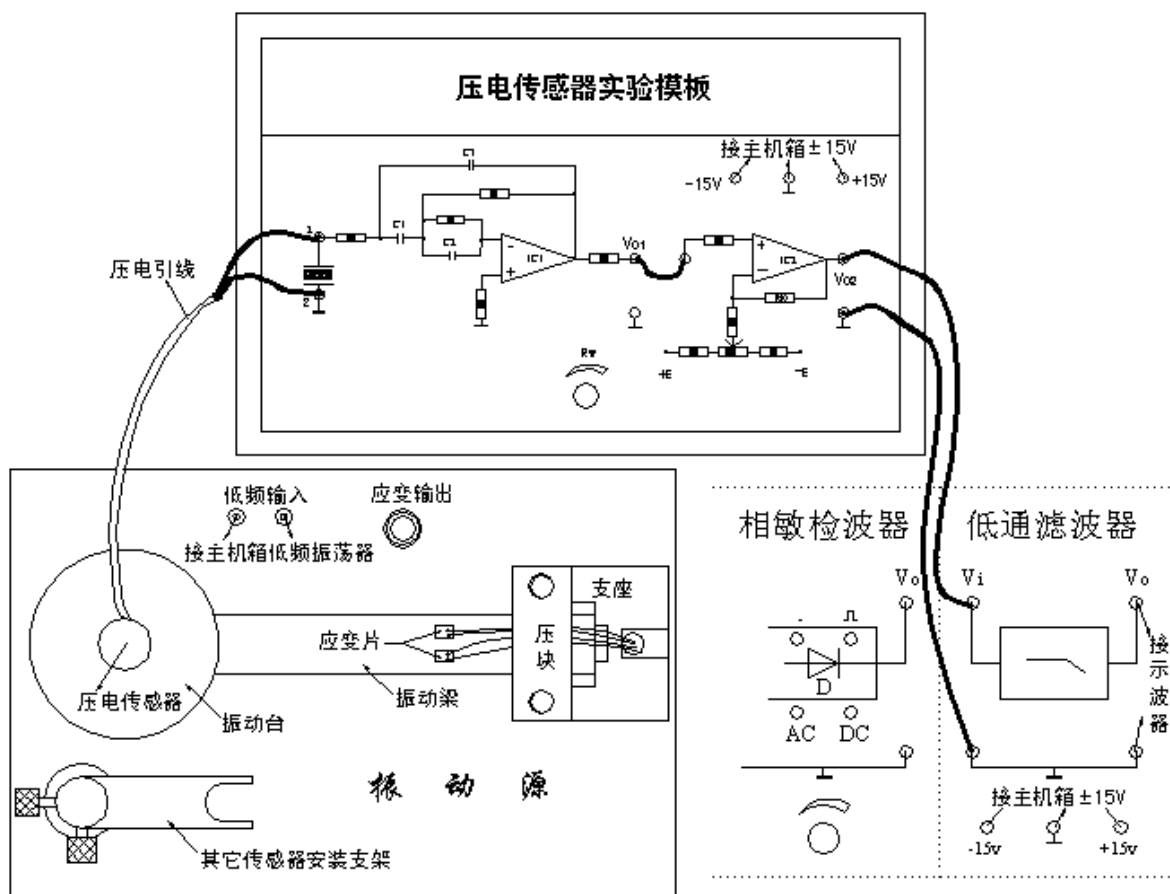


图 18 压电传感器振动实验安装、接线示意图

2、合上主机箱电源开关，调节低频振荡器的频率和幅度旋钮使振动台振动，观察低通滤波器输出的波形。

3、用示波器的两个通道同时观察低通滤波器输入端和输出端波形；在振动台正常振动时用手指敲击振动台同时观察输出波形变化。

4、改变振动源的振荡频率(调节主机箱低频振荡器的频率)，观察输出波形变化。实验完毕，关闭电源。

实验四、涡流、霍尔与光电传感器应用

I 电涡流传感器位移实验

一、实验目的：了解电涡流传感器测量位移的工作原理和特性。

二、基本原理：通过交变电流的线圈产生交变磁场，当金属体处在交变磁场时，根据电磁感应原理，金属体内产生电流，该电流在金属体内自行闭合，并呈旋涡状，故称为涡流。涡流的大小与金属导体的电阻率、导磁率、厚度、线圈激磁电流频率及线圈与金属体表面的距离 x 等参数有关。电涡流的产生必然要消耗一部分磁场能量，从而改变激磁线圈阻抗，涡流传感器就是基于这种涡流效应制成的。电涡流工作在非接触状态(线

圈与金属体表面不接触), 当线圈与金属体表面的距离 x 以外的所有参数一定时可以进行位移测量。

三、需用器件与单元: 主机箱、电涡流传感器实验模板、电涡流传感器、测微头、被测体(铁圆片)。

四、实验步骤:

- 1、 观察传感器结构, 这是一个平绕线圈。测微头的读数与使用可参阅实验九; 根据图 19 安装测微头、被测体、电涡流传感器并接线。

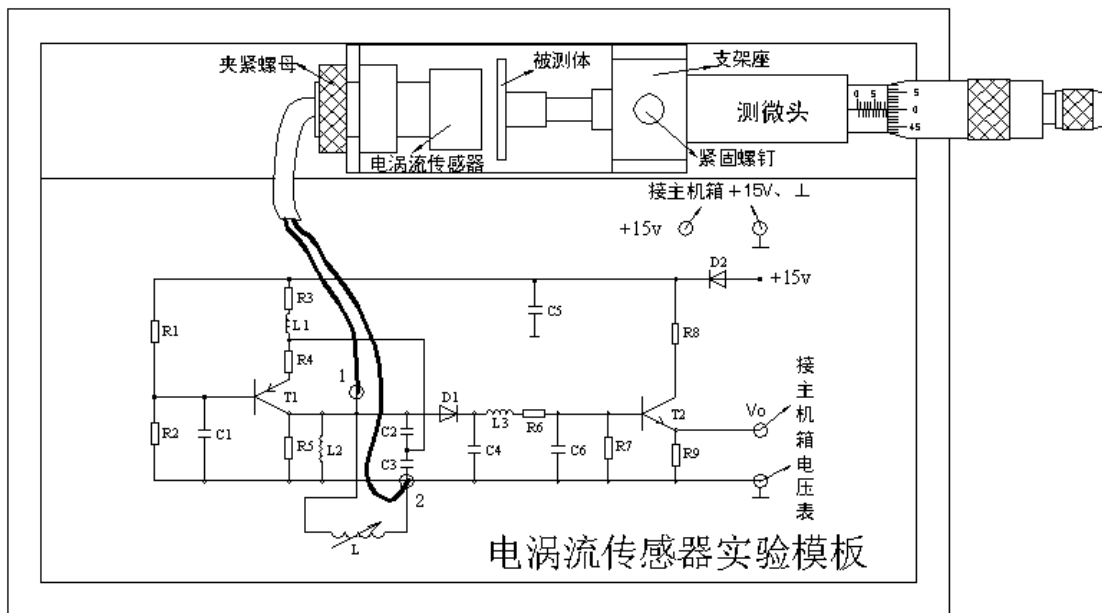


图 19 电涡流传感器安装、接线示意图

- 2、调节测微头使被测体与传感器端部接触, 将电压表显示选择开关切换到 20V 档, 检查接线无误后开启主机箱电源开关, 记下电压表读数, 然后每隔 0.1mm 读一个数, 直到输出几乎不变为止。将数据列入表 19。

表 19 电涡流传感器位移 X 与输出电压数据

X (mm)										
V(v)										

- 3、根据表 19 数据, 画出 $V-X$ 曲线, 根据曲线找出线性区域及进行正、负位移测量时的最佳工作点(即曲线线性段的中点), 试计算测量范围为 1mm 与 3 mm 时的灵敏度和线性度(可以用端基法或其它拟合直线)。实验完毕, 关闭电源。

五、思考题:

- 1、电涡流传感器的量程与哪些因素有关, 如果需要测量 $\pm 5\text{mm}$ 的量程应如何设计传感器?

2、用电涡流传感器进行非接触位移测量时，如何根据量程使

II 霍尔测速实验

一、实验目的：了解霍尔转速传感器的应用。

二、基本原理：利用霍尔效应表达式： $U_H = K_H IB$ ，当被测圆盘上装上 N 只磁性体时，圆盘每转一周磁场就变化 N 次。每转一周霍尔电势就同频率相应变化，输出电势通过放大、整形和计数电路就可以测量被测旋转物的转速。

三、需用器件与单元：主机箱、霍尔转速传感器、转动源。

四、实验步骤：

1、根据图 16 将霍尔转速传感器安装于霍尔架上，传感器的端面对准转盘上的磁钢并调节升降杆使传感器端面与磁钢之间的间隙大约为 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 。

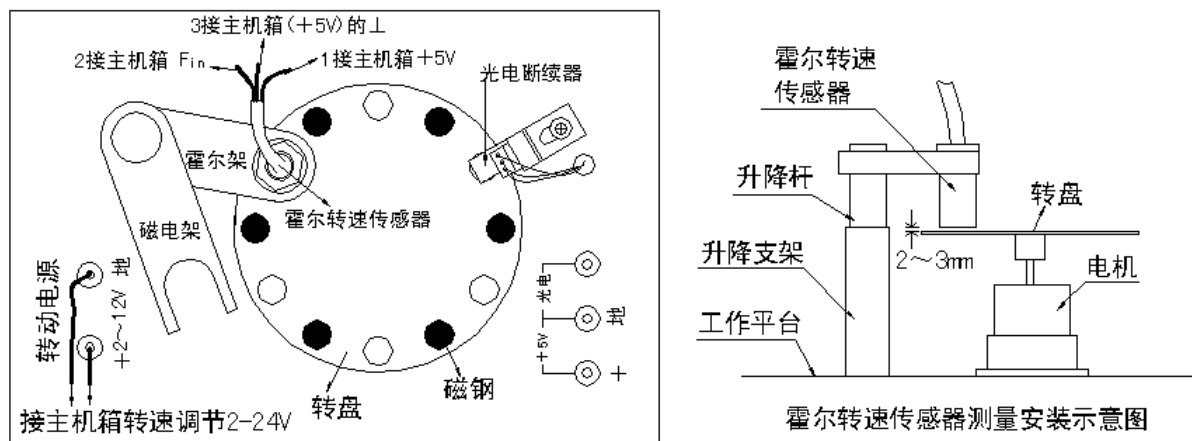


图 16 霍尔转速传感器实验安装、接线示意图

2、首先在接线以前，合上主机箱电源开关，将主机箱中的转速调节电源 $2 \sim 24 \text{ v}$ 旋钮调到最小(逆时针方向转到底)后接入电压表(显示选择打到 20 v 档)监测大约为 1.25 V ；然后关闭主机箱电源，将霍尔转速传感器、转动电源按图 16 所示分别接到主机箱的相应电源和频率 / 转速表(转速档)的 Fin 上。

3、合上主机箱电源开关，在小于 12 V 范围内(电压表监测)调节主机箱的转速调节电源(调节电压改变电机电枢电压)，观察电机转动及转速表的显示情况。

4、从 2 V 开始记录每增加 1 V 相应电机转速的数据(待电机转速比较稳定后读取数据)；画出电机的 $v - n$ (电机电枢电压与电机转速的关系)特性曲线。实验完毕，关闭电源。

三、思考题：

- 1、利用霍尔元件测转速，在测量上有否限制？
- 2、本实验装置上用了六只磁钢，能否用一只磁钢？

III 光纤传感器的位移特性实验

一、实验目的：了解光纤位移传感器的工作原理和性能。

二、基本原理：本实验采用的是传光型光纤，它由两束光纤混合后，组成 Y 型光纤，半园分布即双 D 分布，一束光纤端部与光源相接发射光束，另一束端部与光电转换器相接接收光束。两光束混合后的端部是工作端亦称探头，它与被测体相距 X，由光源发出的光纤传到端部出射后再经被测体反射回来，另一束光纤接收光信号由光电转换器转换成电量，而光电转换器转换的电量大小与间距 X 有关，因此可用于测量位移。

三、器件与单元：主机箱、光纤传感器、光纤传感器实验模板、测微头、反射面。

四、实验步骤：

1、根据图 24 示意安装光纤位移传感器和测微头，二束光纤分别插入实验模板上的光电座(其内部有发光管 D 和光电三极管 T)中；测微头的安装、使用可参阅实验九附：测微头的组成与使用。其它接线接图 24。

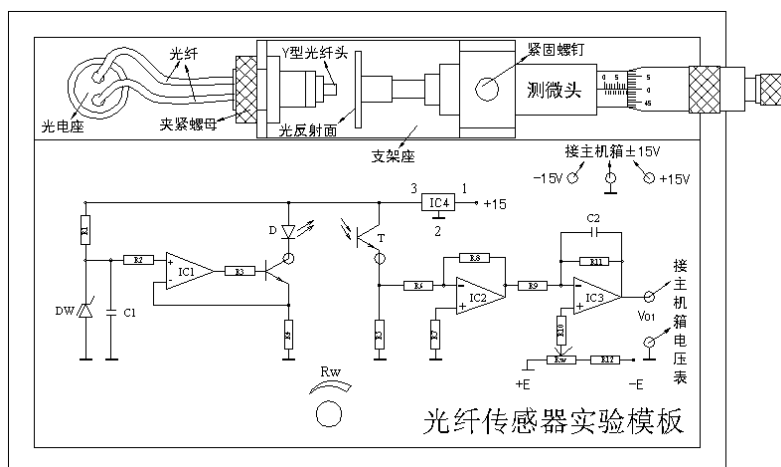


图 24 光纤传感器位移实验接线图

2、检查接线无误后，合上主机箱电源开关。调节测微头，使光反射面与 Y 型光纤头轻触；再调实验模板上的 R_w 、使主机箱中的电压表(显示选择开关打到 20V 档)显示为 0V。

3、旋转测微头，被测体离开探头，每隔 0.1mm 读取电压表显示值，将数据填入表 24。根据表 24 数据画出实验曲线，计算测量范围 1mm 时的灵敏度和非线性误差。实验完毕，关闭电源。

表 24 光纤位移传感器输出电压与位移数据

X (mm)										
V(v)										

五、思考题：

光纤位移传感器测位移时对被测体的表面有什么要求？

IV 光电转速传感器测速实验

一、实验目的：了解光电转速传感器测量转速的原理及方法。

二、基本原理：光电式转速传感器有反射型和透射型二种，本实验装置是透射型的(光电断续器)，传感器端部二内侧分别装有发光管和光电管，发光管发出的光源透过转盘上通孔后由光电管接收转换成电信号，由于转盘上有均匀间隔的6个孔，转动时将获得与转速有关的脉冲数，将脉冲计数处理即可得到转速值。

三、需用器件与单元：主机箱、转动源、光电转速传感器—光电断续器(已装在转动源上)。

四、实验步骤：

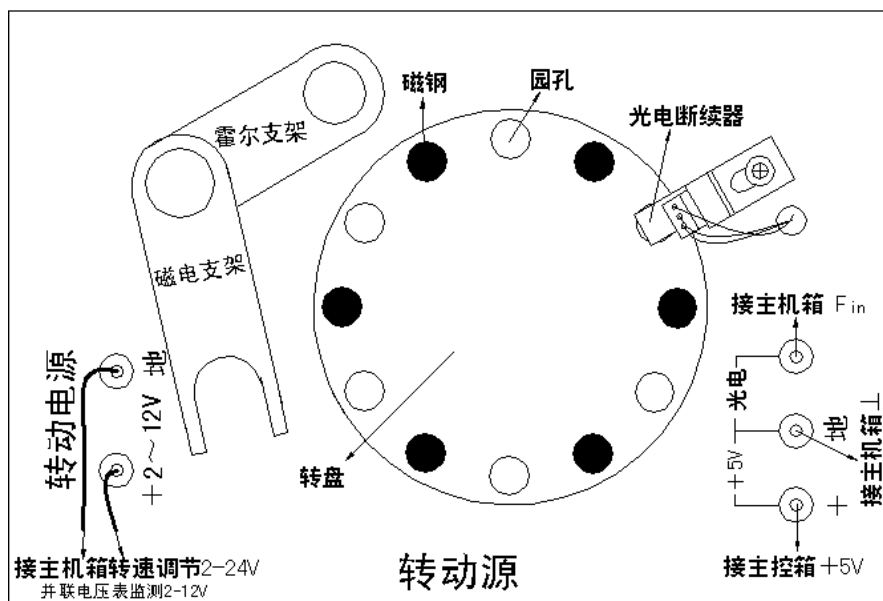


图 25 光电传感器测速实验

1、将主机箱中的转速调节 2—24V 旋钮旋到最小(逆时针旋到底)并接上电压表；再按图 25 所示接线，将主机箱中频率 / 转速表的切换开关切换到转速处。

2、检查接线无误后，合上主机箱电源开关，在小于 12V 范围内(电压表监测)调节主机箱的转速调节电源(调节电压改变电机电枢电压)，观察电机转动及转速表的显示情况。

3、从 2V 开始记录每增加 1 V 相应电机转速的数据(待转速表显示比较稳定后读取数据)；画出电机的

$v - n$ (电机电枢电压与电机转速的关系)特性曲线。根据表 24 数据画出实验曲线，计算测量范围 1mm 时的灵敏度和非线性误差。实验完毕，关闭电源。

五、思考题：

已进行的实验中用了多种传感器测量转速，试分析比较一下哪种方法最简单、方便。

实验五、计算机数据采集实验

I 使用数据采集板卡实现计算机数据采集

使用模块实现计算机数据采集编程

1) 实验目的

帮助学生建立计算机数据采集的实践基础。针对目前国内广泛使用的数据采集卡进行计算机编程，实现计算机的数据采集，从理论和实际动手上理解计算机数据采集的过程、原理、手段和方法。

2) 基本原理

PCI-1202H 是台湾泓格公司生产的 PCI 总线高性能数据采集卡，信号输入端具有可编程放大倍数，最大放大倍数为 1000 倍。

K 分度热电偶是工业中常用的一种测温元件，其输出热电势与温度的关系见附表 3。经回归整理后，在 0-200℃ 的范围内，温度与热电势的关系可用下式计算：

$$T = -0.06595093 + 25.57705V - 0.5661989V^2 + 0.0858256V^3 - 0.003819695V^4$$

在 0-60℃ 的范围内，热电势与温度的关系可用下式计算：

$$V = -8.167743E-04 + 3.963928E-02T + 1.640341E-05T^2$$

三、需用器件与单元：计算机、采集卡 PCI-1202H、接线端子板 DB-1825、温度源。

四、实验步骤：

将温度源温度调节到 90℃，利用 PCI-1202H 实现对 K 分度热电偶输出信号的直接采集，并直接用 VB 编程计算出温度的大小。

表 31B K 热电偶经过冷端温度补偿放大器放大后的热电势与温度数据

温度源温度(°C)									
实测温度(°C)									

五、思考题：

分析温度源温度与实测温度偏差的原因

II 使用分布式模块实现计算机数据采集

1) 实验目的

帮助学生建立计算机数据采集的实践基础。针对目前国内广泛使用的数据采集模块进行计算机编程，实现计算机的数据采集，从理论和实际动手上理解计算机数据采集的过程、原理、手段和方法。

2) 基本原理

I-7918 是台湾泓格公司生产的分布式数据采集模块，信号输入端具有电流、电压和热电偶直接输入的功能。

K 分度热电偶是工业中常用的一种测温元件，其输出热电势与温度的关系见附表 3。经回归整理后，在 0-200℃ 的范围内，温度与热电势的关系可用下式计算：

$$T = -0.06595093 + 25.57705V - 0.5661989V^2 + 0.0858256V^3 - 0.003819695V^4$$

在 0-60℃ 的范围内，热电势与温度的关系可用下式计算：

$$V = -8.167743E-04 + 3.963928E-02T + 1.640341E-05T^2$$

三、需用器件与单元：计算机、数据采集模块 I-7018、24V 电源、RS-232/485 转换模块、温度源。

四、实验步骤：

将温度源温度调节到 90℃，利用 I-7018 实现对 K 分度热电偶输出信号的直接采集，并直接用 VB 编程显示出温度的大小。

表 31B K 热电偶经过冷端温度补偿放大器放大后的热电势与温度数据

温度源温度(°C)									
实测温度(°C)									

五、思考题：

分析温度源温度与实测温度偏差的原因

实验六、计算机数据处理实验

1) 实验目的

帮助学生认识计算机数据处理的基本方法。计算机数字滤波是数据处理技术的重要组成部分之一，也是减小采样信号干扰，提高数据采集精度的必要手段，本实验的目的是通过亲自动手编程，理解和掌握计算机抗干扰算法的理论和实际。

2) 实验内容

(1) 算术平均滤波数据采集

在本实验中，采样 1000 次，取 100 次采样值的平均值。

(2) 中值滤波数据采集

在本实验中，采样 1000 次，去掉最大 100 个和最小 100 个值，去 800 个中间值的平均值。

三、需用器件与单元：计算机、数据采集卡 PCI-1202H、接线端子板 DB-1825、K 分度热电偶、温度源。

四、实验步骤：

将温度源温度调节到 90℃，利用 I-7018 实现对 K 分度热电偶输出信号进行采样，记录单次采样和连续 1000 次采样滤波后的滤波值。

表?? K 分度热电偶单次采样与 1000 次采样平均滤波值的比较

序号	1	2	3	4	5	6
温度源温度(°C)						
单次采样温度(°C)						
滤波采样温度(°C)						

表?? K 分度热电偶单次采样与 1000 次采样中值滤波值的比较

序号	1	2	3	4	5	6
温度源温度(°C)						

单次采样温度(°C)						
滤波采样温度(°C)						

五、思考题:

分析单次采样与滤波结果的差别，比较两种不同滤波方法的优缺点

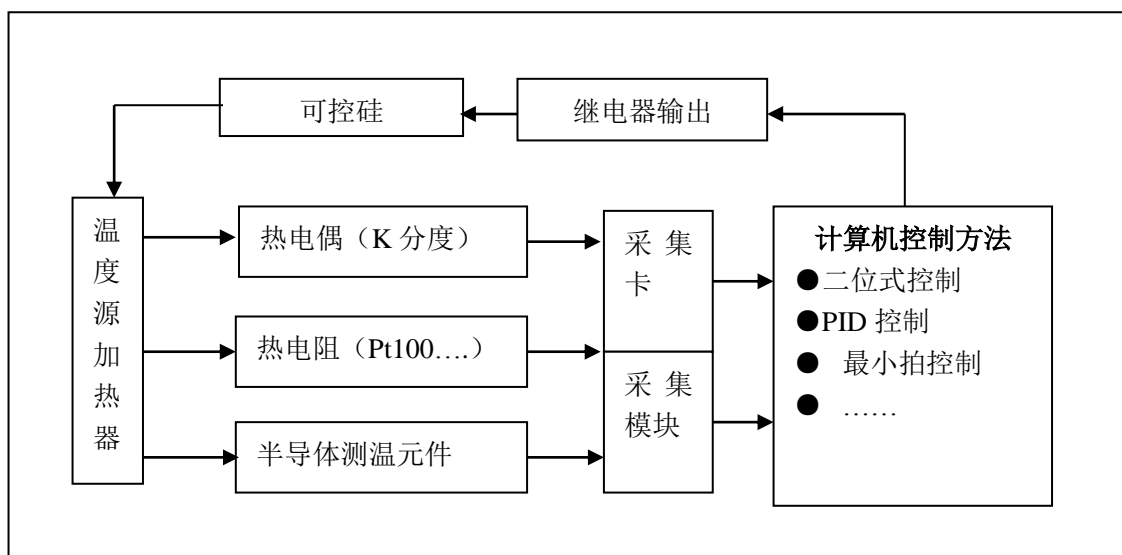
实验七、计算机温度控制实验

1) 实验目的

通过计算机温度控制的实践，帮助学生理解计算机控制的实践基础。综合应用所学过的传感器知识，计算机数据采集知识和控制算法，自行设计一个计算机温度控制系统，理解计算机控制系统的基本构成。

2) 实验内容

学生可通过下图中的任何路径来组建计算机温度控制方案。



要求综合分析系统性能，增强学生的实践能力和创新意识。

附录 1: 调节仪简介:

主机箱中所装的调节仪为人工智能工业调节仪，它具有测量显示和模糊逻辑数字 PID 调节及参数自整定功能的先进控制算法。可以万能输入(通过设置输入规格可变为热电阻、热电偶、线性电压、线性电流等)，输出有可控硅触发信号输出和线性电流输出(可设置为 0—10mA 或 4—20mA 线性电流)。其实它是一只万能通用调节仪。

(一) 调节仪面板说明: 面板上有 PV 测量显示窗、SV 给定显示窗、4 个指示灯窗和 4 个按键组成。如图 26—2 所示。

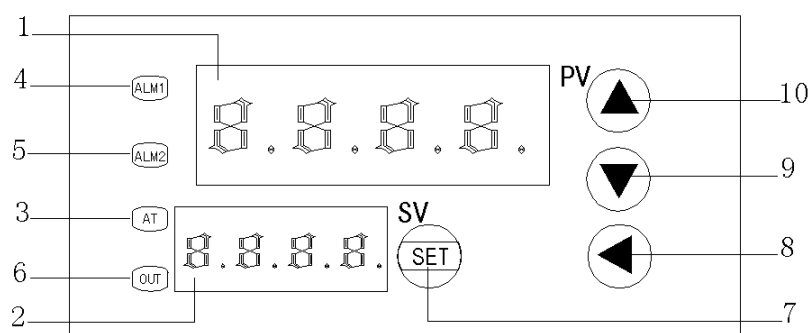


图 26—2 调节仪面板图

面板中 1、PV——测量值显示窗

2、SV——给定值显示窗

3、AT——自整定灯

4、ALM1——AL1 动作时点亮对应的灯

5、ALM2——手动指示灯(兼程序运行指示灯)

6、OUT——调节控制输出指示灯

7、SET——功能键

8、◀——数据移位(兼手动 / 自动切换及参数设置进入)

9、▼——数据减少键(兼程序运行 / 暂停操作)

10、▲——数据增加键(兼程序复位操作)

仪表上电后，上显示窗口显示测量值 (PV)，下显示窗口显示给定值 (SV)。在基本状态下，SV 窗口能用交替显示的字符来表示系统某些状态，如下：

1、输入的测量信号超出量程（因传感器规格设置错误、输入断线或短路均可能引起）时，则闪动显示：“orAL”。此时仪表将自动停止控制，并将输出固定在参数 oPL 定义的值上。

2、有报警发生时，可分别显示“HIAL”、“LoAL”、“dHAL”或“dLAL”，分别表示发生了上限报警、下限报警、正偏差报警和负偏差报警。报警闪动的功能是可以关闭的（参看 bAud 参数的设置），将报警作为控制时，可关闭报警字符闪动功能以避免过多的闪动。

仪表面板上的 4 个 LED 指示灯，其含义分别如下：

OUT 输出指示灯：输出指示灯在线性电流输出时通过亮/暗变化反映输出电流的大小，在时间比例方式输出（继电器、固态继电器及可控硅过零触发输出）时，通过闪动时间比例反映输出大小。

ALM1 指示灯：当 AL1 事件动作时点亮对应的灯。

ALM2 指示灯：当手动指示灯。

AT 灯：自整定开启时点亮对应的灯。

（二）基本使用操作

显示切换：按 SET 键可以切换不同的显示状态。修改数据：如果参数锁没有锁上，仪表下显示 (SV)

窗显示的数值数据均可通过按◀ (A/M)、▼或▲键来修改。例如：需要设置给定值时，可将仪表切换到正常显示状态，即可通过按◀ (A/M)、▼或▲键来修改给定值。仪表同时具备数据快速增减法和小数点移位法。按▼键减小数据，按▲键增加数据，按

◀可修改数值位的小数点同时闪动（如同光标）。按住按键并保持不放，可以快速地增加/减少数值，并且速度会随小数点会右移自动加快（3级速度）。而按◀（A/M）键则可直接移动修改数据的位置(光标),操作快捷。

2、手动/自动切换：按◀（A/M）键，可以使仪表在自动及手动两种状态下进行无扰动切换。手动时下排显示器第一字显示“M”，仪表处于手动状态下，直接按▲键或▼键可增加及减少手动输出值。自动时按SET键可直接查看自动输出值（下排显示器第一字显示“A”）。通过对run参数设置（详见后文），也可使仪表不允许由面板按键操作来切换至手动状态，以防止误入手动状态。

3、设置参数：按SET键并保持约3秒钟，即进入参数设置状态。在参数设置状态下按SET键，仪表将依次显示各参数，例如上限报警值HIAL、参数锁Loc等等，对于配置好并锁上参数锁的仪表，只出现操作工需要用到的参数（现场参数）。用▼、▲、◀（A/M）等键可修改参数值。按◀（A/M）键并保持不放，可返回显示上一参数。先按◀（A/M）键不放接着再按SET键可退出设置参数状态。如果没有按键操作，约30秒钟后会自动退出设置参数状态。如果参数被锁上（后文介绍），则只能显示被EP参数定义的现场参数（可由用户定义的，工作现场经常需要使用的参数及程序），而无法看到其它的参数。不过，至少能看到Loc参数显示出来。

（三）自整定（AT）操作

仪表初次使用时，可启动自整定功能来协助确定M50、P、t等控制参数。初次启动自整定时，可将仪表切换到正常显示状态下，按◀（A/M）键并保持约2秒钟，此时仪表AT指示灯点亮，表明仪表已进入自整定状态。自整定时，仪表执行位式调节，约2-3次振荡后，仪表根据位式控制产生的振荡，分析其周期、幅度及波型来自动计算出M50、P、t等控制参数。如果在自整定过程中要提前放弃自整定，可再按◀（A/M）键并保持约2秒钟，使仪表AT指示灯熄灭即可。视不同系统，自整定需要的时间可从数秒至数小时不等。仪表在自整定成功结束后，会将参数Ctrl设置为3（出厂时为1）或4，这样今后无法从面板再按◀（A/M）键启动自整定，可以避免人为的误操作再次启动自整定。已启动过一次自整定功能的仪表如果今后还要启动自整定时，可以用将参数Ctrl设置为2的方法进行启动（参见后文“参数功能”说明）。

系统在不同给定值下整定得出的参数值不完全相同，执行自整定功能前，应先将给定值设置在最常用值或是中间值上，如果系统是保温性能好的电炉，给定值应设置在系统使用的最大值上，再执行启动自整定的操作功能。参数Ct1（控制周期）及dF（回差）的设置，对自整定过程也有影响，一般来说，这2个参数的设定值越小，理论上自整定参数准确度越高。但dF值如果过小，则仪表可能因输入波动而在给定值附近引起位式调节的误动作，这样反而可能整定出彻底错误的参数。推荐Ct1=0-2，dF=0.3。

手动自整定：由于自整定执行时采用位式调节，其输出将定位在由参数oPL及oPH定义的位置。在一些输出不允许大幅度变化的场合，如某些执行器采用调节阀的场合，

常规的自整定并不适宜。对此仪表具有手动自整定模式。方法是先用手动方式进行调节，等手动调节基本稳定后，再在手动状态下启动自整定，这样仪表的输出值将限制在当前手动值+10%及-10%的范围而不是 oPL 及 oPH 定义的范围，从而避免了生产现场不允许的阀门大幅度变化现象。此外，当被控物理量响应快速时，手动自整定方式能获得更准确的自整定结果。

(四)参数功能说明

仪表通过参数来定义仪表的输入、输出、报警及控制方式(以温度为例)。以下为参数功能表：

参数代号	参数含义	说 明	设置范围
HIAL	上 限 报 警	测量值大于 HIAL+dF 值时仪表将产生上限报警。测量值小于 HIAL-dF 值时，仪表将解除上限报警。设置 HIAL 到其最大值 (9999) 可避免产生报警作用。	-1999- +9999℃或 1 定义单位
LoAL	下 限 报 警	当测量值小于 LoAL-dF 时产生下限报警，当测量值大于 LoAL+dF 时 下限报警解除。设置 LoAL 到最小值 (-1999) 可避免产生报警作用。	同上
dHAL	正 偏 差 报 警	采用人工智能调节时，当偏差 (测量值 PV 减给定值 SV) 大于 dHAL+dF 时产生正偏差报警。当偏差小于 dHAL-dF 时正偏差报警解除。设置 dHAL=9999 (温度实为 999.9℃) 时，正偏差报警功能被取消。 采用位式调节时，则 dHAL 和 dLAL 分别作为第二个上限和下限绝对值报警。	0-999.9℃ 或 0-9999℃ 1 定义单位
dLAL	负 偏 差 报 警	采用人工智能调节时，当负偏差 (给定值 SV 减测量值 PV) 大于 dHAL+dF 时产生负偏差报警，当负偏差小于 dLAL- dF 时负偏差报警解除。设置 dLAL=9999 (温度实为 999.9℃) 时，负偏差报警功能取消。	同上
dF	回 差 (死 区、滞 环)	回差用于避免因测量输入值波动而导致位式调节频繁通断或报警频 繁产生/解除。 例如：dF 参数对上限报警控制的影响如下，假定上限报警参数 HIAL 为 800℃，dF 参数为 2.0℃： (1) 仪表在正常状态，当测量温度值大于 802℃时 (HIAL+ dF) 时，才进 入上限报警状态。 (2) 仪表在上限报警状态时，则当测量温度值小于 798℃ (HIAL-dF) 时， 仪表才解除报警状态。 又如：仪表在采用位式调节或自整定时，假定给定值 SV 为 700℃，dF 参数设置为 0.5℃，以反作用调节 (加热控制为例)。 (1) 输出在接通状态时当测量温度值大于 700.5℃时 (SV+ dF) 关断。 (2) 输出在关断状态时，则当测量温度小于 699.5℃ (SV-dF) 时，才重 新接通进行加热。 对采用位式调节而言，dF 值越大，通断周期越长，控制精度越低。反 之，dF 值越小，通断周期越短，控制精度越高，但容易因输入波动而产 生误动作，使继电器或接触器等机械开关寿命降低。	0-200.0℃ 或 0-2000℃ 1 定义单位

		dF 参数对人工智能调节没有影响。但自整定参数时, 由于也是位式调节, 所以 dF 会影响自整定结果, 一般 dF 值越小, 自整定精度越高, 但应避免测量值因受干扰跳动造成误动作。如果测量值数字跳动过大, 应先加大数字滤波参数 dL 值, 使得测量值跳动小于 2-5 个数字, 然后可将 dF 设置为等于测量值的瞬间跳动值为佳。	
Ctrl	控制方式	Ctrl=0, 采用位式调节 (ON-OFF), 只适合要求不高的场合进行控制时采用。 Ctrl=1, 采用人工智能调节/PID 调节, 该设置下, 允许从面板启动执行自整定功能。 Ctrl=2, 启动自整定参数功能, 自整定结束后会自动设置为 3 或 4。 Ctrl=3, 采用人工智能调节, 自整定结束后, 仪表自动进入该设置, 该设置下不允许从面板启动自整定参数功能。以防止误操作重复启动自整定。	0-3
M50	保持参数	M50、P、t、Ct1 等参数为人工智能调节算法的控制参数, 对位式调节方式 (Ctrl=0 时), 这些参数不起作用。由于在工业控制中温度的控制难度较大, 应用也最广泛, 故以温度为例介绍参数定义。 M50 定义为输出值变化为 50% 时, 控制对象基本稳定后测量值的差值。同一系统的 M50 参数一般会随测量值有所变化, 应取工作点附近为准。 例如某电炉温度控制, 工作点为 700℃, 为找出最佳 M50 值, 假定输出保持为 50% 时, 电炉温度最后稳定在 700℃ 左右, 而 55% 输出时, 电炉温度最后稳定在 750℃ 左右。则最佳参数值可按以下公式计算: $M50=750-700=50.0(℃)$ M50 参数值主要决定调节算法中积分作用, 和 PID 调节的积分时间类同。M50 值越小, 系统积分作用越强。M50 值越大, 积分作用越弱 (积分时间增加)。 设置 M50=0 时, 系统取消积分作用及人工智能调节功能, 调节部分成为一个比例微分 (PD) 调节器, 这时仪表可在串级调节中作为副调节器使用。	0-999.9 或 0-9999 1 定义单位
P	速率参数	P 与每秒内仪表输出变化 100% 时测量值对应变化的大小成反比, 当 Ctrl=1 或 3 时, 其数值定义如下: $P=1000 \div \text{每秒测量值升高值 (测量值单位是 } 0.1℃ \text{ 或 } 1 \text{ 个定义单位)}$ 如仪表以 100% 功率加热并假定没有散热时, 电炉每秒 1℃, 则: $P=1000 \div 10=100$ P 值类似 PID 调节器的比例带, 但变化相反, P 值越大, 比例、微分作用成正比增强, 而 P 值越小, 比例、微分作用相应减弱。P 参数与积分作用无关。设置 P=0 相当于 P=0.5。	1-9999
t	滞后时间	对于工业控制而言, 被控系统的滞后效应是影响控制效果的主要因素, 系统滞后时间越大, 要获得理想的控制效果就越困难, 滞后时间参数 t 是人工智能算法相对标准 PID 算法而引进的新的参数, 仪表能根据 t 参数来进行一些模糊规则运算, 以便能较完善地解决超调现象及振荡现象, 同时使控制响应速度最佳。 t 定义为假定没有散热, 电炉以某功率开始升温, 当其升温速率达到最大值 63.5% 时所需的时间。仪表中 t 参数值单位是秒。 t 参数对控制的比例、积分、微分均起影响作用, t 越小, 则比例和积分作用均成正比增强, 而微分作用相对减小, 但整体反馈作用增强; 反之, t 越大, 则比例和积分作用均减弱, 而微分作用相对增强。此外 t 还影响超调抑制功能的发挥, 其设置对控制效果影响很大。 如果设置 $t \leq ct1$ 时, 系统的微分作用被取消。	0-2000 秒

Ct1	输出周期	<p>Ct1 参数值可在 0.5-125 秒(0 表示 0.5 秒)之间设置,它反映仪表运算调节的快慢。Ct1 值越大,比例作用增强,微分作用减弱。Ct1 值越小,则比例作用减弱,微分作用增强。Ct1 值大于或等于 5 秒时,则微分作用被完全取消,系统成为比例或比例积分调节。Ct1 小于滞后时间的 1/5 时,其变化对控制影响较小,例如系统滞后时间 t 为 100 秒,则 Ct1 设置为 0.5 或 10 秒的控制效果基本相同。</p> <p>Ct1 确定的原则如下:</p> <p>(1) 用时间比例方式输出时,如果采用 SSR(固态继电器)或可控硅作输出执行器件,控制周期可取短一些(一般为 0.5-2 秒),可提高控制精度。</p> <p>(2) 用继电器开关输出时,短的控制周期会相应缩短机械开关的寿命,此时一般设置 Ct1 要大于或等于 4 秒,设置越大继电器在寿命越长,但太大将使控制精度降低,应根据需要选择一个能二者兼顾的值。</p> <p>(3) 当仪表输出为线性电流或位置比例输出(直接控制阀门电机正、反转)时,Ct1 值小可使调节器输出响应较快,提高控制精度,但由此可能导致输出电流变化频繁。</p>	0-125 秒																																																								
Sn	输入规格	<p>Sn 用于选择输入规格,其数值对应的输入规格如下:</p> <table border="1" data-bbox="403 891 1297 1619"> <thead> <tr> <th>Sn</th> <th>输入规格</th> <th>Sn</th> <th>输入规格</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>K</td> <td>1</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>WRe</td> <td>3</td> <td>T</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>E</td> <td>5</td> <td>J</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>B</td> <td>7</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>8-9</td> <td>特殊热电偶备用</td> <td>10</td> <td>用户指定的扩充输入规格</td> </tr> <tr> <td>11-19</td> <td>特殊热电偶备用</td> <td>20</td> <td>CU50</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>Pt100</td> <td>22-25</td> <td>特殊热电阻备用</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>0-80 欧电阻输入</td> <td>27</td> <td>0-400 欧电阻输入</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>0-20mV 电压输入</td> <td>29</td> <td>0-100mV 电压输入</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0-60mV 电压输入</td> <td>31</td> <td>0-1V(0-500mV)</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>0.2-1V 电压输入</td> <td>33</td> <td>1-5V 电压输入或 4-20mA 电流输入</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>0-5V 电压输入</td> <td>35</td> <td>-20-+20mV(0-10V)</td> </tr> <tr> <td>36</td> <td>-100-+100mV 或 2-20V 电压输入)</td> <td>37</td> <td>-5V-+5V(0-50V)</td> </tr> </tbody> </table>	Sn	输入规格	Sn	输入规格	0	K	1	S	2	WRe	3	T	4	E	5	J	6	B	7	N	8-9	特殊热电偶备用	10	用户指定的扩充输入规格	11-19	特殊热电偶备用	20	CU50	21	Pt100	22-25	特殊热电阻备用	26	0-80 欧电阻输入	27	0-400 欧电阻输入	28	0-20mV 电压输入	29	0-100mV 电压输入	30	0-60mV 电压输入	31	0-1V(0-500mV)	32	0.2-1V 电压输入	33	1-5V 电压输入或 4-20mA 电流输入	34	0-5V 电压输入	35	-20-+20mV(0-10V)	36	-100-+100mV 或 2-20V 电压输入)	37	-5V-+5V(0-50V)	0-37 注: Sn =10 时,采用外部分度号扩展.
Sn	输入规格	Sn	输入规格																																																								
0	K	1	S																																																								
2	WRe	3	T																																																								
4	E	5	J																																																								
6	B	7	N																																																								
8-9	特殊热电偶备用	10	用户指定的扩充输入规格																																																								
11-19	特殊热电偶备用	20	CU50																																																								
21	Pt100	22-25	特殊热电阻备用																																																								
26	0-80 欧电阻输入	27	0-400 欧电阻输入																																																								
28	0-20mV 电压输入	29	0-100mV 电压输入																																																								
30	0-60mV 电压输入	31	0-1V(0-500mV)																																																								
32	0.2-1V 电压输入	33	1-5V 电压输入或 4-20mA 电流输入																																																								
34	0-5V 电压输入	35	-20-+20mV(0-10V)																																																								
36	-100-+100mV 或 2-20V 电压输入)	37	-5V-+5V(0-50V)																																																								
dIP	小数位置	<p>线性输入时:定义小数点位置,以配合用户习惯的显示数值。</p> <p>dIP=0,显示格式为 0000,不显示小数点。</p> <p>dIP=1,显示格式为 000.0,小数点在十位。</p> <p>dIP=2,显示格式为 00.00,小数点在百位。</p> <p>dIP=3,显示格式为 0.000,小数点在千位。</p> <p>采用热电偶或热电阻输入时:此时 dIP 选择温度显示的分辨率</p> <p>dIP=0,温度显示分辨率为 1℃(内部维持 0.1℃分辨率用于控制运算)。</p> <p>dIP=1,温度显示分辨率为 0.1℃(1000℃以上自动转为 1℃分辨率)。</p> <p>改变小数点位置参数的设置只影响显示,对测量精度及控制精度均不产生影响。</p>	0-3																																																								

dIL	输入下限显示值	<p>用于定义线性输入信号下限刻度值, 对外给定、变送输出显示。</p> <p>例如在采用压力变送器将压力(也可是温度、流量、湿度等其他物理量)变换为标准的 1-5V 信号输入(4-20mA 信号也可外接 250 欧姆电阻予以变换)中。对于 1V 信号压力为 0, 5V 信号压力为 1mPa, 希望仪表显示分辨率为 0.001mPa. 则参数设置如下:</p> <p>Sn=33(选择 1-5V 线性电压输入)</p> <p>dIP=3(小数点位置设置, 采用 0.000 格式)</p> <p>dIL=0.000(确定输入下限 1V 时压力显示值)</p> <p>dIH=1.000(确定输入上限 5V 时压力显示值)</p>	-1999~+9999℃或 1 定义单位
dIH	输入上限显示值	主输入信号上限刻度值, 与 dIL 配合使用.	同上
CJC	热电偶冷端补偿温度	CJC 参数显示所测量到的环境温度值, 由于仪表本身发热原因(仪表接线端子温度往往同步升高), 该数值不一定等于室温。	
Sc	主输入平移修正	Sc 参数用于对输入进行平移修正. 以补偿传感器信号本身的误差, 对于热电偶信号而言, 当仪表冷端自动补偿存在误差时, 也可利用 Sc 参数进行修正。例如: 假定输入信号保持不变, Sc 设置为 0.0℃时, 仪表测定温度为 500.0℃, 则当仪表 Sc 设置为 10.0 时, 则仪表显示测定温度为 510.0℃。仪表出厂时都进行内部校正, 所以 Sc 参数出厂时数值均为 0. 该参数仅当用户认为测量需要重新校正时才进行调整。	-1999~+4000 0.1℃或 1 定义单位
oP1	输出方式	<p>oP1 表示主输出信号的方式, 主输出上安装的模块类型应该相一致。</p> <p>oP1=0, 主输出为时间比例输出方式(用人工智能调节)或位式方式(用位式调节), 当主模块上安装 SSR 电压输出应用此方式。</p> <p>oP1=1, 任意规格线性电流连续输出, 主输出模块上安装线性电流输出模块。</p> <p>oP1=2, 继电器触点开关(常开常闭)输出, 时间比例输出方式。</p> <p>oP1=3, 采用阀位限制模式进行输出控制。</p> <p>oP1=4, 4-20mA 线性电流连续输出, 主输出模块上安装线性电流输出模块。</p>	0-2
oPL	输出下限	通常作为限制调节输出最小值。	0-110%
oPH	输出上限	限制调节输出最大值。	0-110%

CF	系统功能选择	<p>CF 参数用于选择部分系统功能： $CF=A \times 1+B \times 2+C \times 4+D \times 8$ A=0, 为反作用调节方式，输入增大时，输出趋向减小如加热控制； A=1, 为正作用调节方式，输入增大时，输出趋向增大如致冷控制。 B=0, 仪表报警无上电/给定值修改免除报警功能； B=1, 仪表有上电/给定值修改免除报警功能（详细说明见后文叙述）。 C = 0 , 仪表串行接口按通讯方式工作； C = 1 , 仪表串行接口按打印方式工作。 D = 0 , 不允许外部给定； D = 1 , 允许外部给定。</p> <p>例子：要求仪表为反作用调节，有上电免除报警功能，仪表辅助功能模块为通讯接口，不允许外部给定，则可得：A = 0 , B = 1 , C = 0 , D = 0 , CF 参数值应设置如下： $CF=0 \times 1+1 \times 2+0 \times 4+0 \times 8=2$</p>	0-7
Aud	通讯波特率/报警定义	<p>当仪表具有通讯接口时，bAud 参数定义通讯波特率，可定义范围是 300-19200bit/s(19.2K)。</p> <p>但如果仪表选购件为报警继电器 2，则 bAud 参数的设置范围为 0—31，用于定义报警功能，它由以下公式定义其功能：</p> $bAud=A \times 1+B \times 2+C \times 4+D \times 8+E \times 16$ <p>A=0 时上限报警由继电器 1 输出；A=1 时上限报警由继电器 2 输出。 B=0 时下限报警由继电器 1 输出；B=1 时下限报警由继电器 2 输出。 C=0 时正偏差报警由继电器 1 输出；C=1 时由继电器 2 输出。 D=0 时负偏差报警由继电器 1 输出；D=1 时由继电器 2 输出。 E=0 时报警时在下显示器交替显示报警符号，如 HIAL、LoAL 等。</p> <p>例如：要求上限报警由报警 2 继电器输出，下限报警、正偏差报警及负偏差报警由报警 1 输出，报警时在下显示器不显示报警符号，则由上得出：A=1、B=0、C=0、D=0、E=1，则应设置 bAud 参数： $bAud=1 \times 1+0 \times 2+0 \times 4+0 \times 8+1 \times 16=17$</p>	
Addr	通讯地址/打印时间	<p>当仪表安装 RS485 通讯接口时，bAud 设置范围应是 300-19200 之间)，Addr 参数用于定义仪表通讯地址，有效范围是 0-100。在同一条通讯线路上的仪表应分别设置一个不同的 Addr 值以便相互区别。但如果仪表串行接口功能设置为打印功能，则 Addr 定义打印时间(即定时打印的间隔时间)。</p>	0-100

dL	输入数字滤波	<p>仪表内部具有一个取中间值滤波和一个一阶积分数字滤波系统,取值滤波为 3 个连续值取中间值,积分滤波和电子线路中的阻容积分滤波效果相当。当因输入干扰而导致数字出现跳动时,可采用数字滤波将其平滑。dL 设置范围是 0-20, 0 没有任何滤波, 1 只有取中间值滤波, 2-20 同时有取中间值滤波和积分滤波。dL 越大, 测量值越稳定, 但响应也越慢。一般在测量受到较大干扰时, 可逐步增大 dL 值, 调整使测量值瞬间跳动小于 2-5 个字。在实验室对仪表进行计量检定时, 则应将 dL 设置为 0 或 1 以提高响应速度。</p>	0-20
run	运行状态及电号处理	<p>run 参数定义自动/手动工作状态。 run=0, 手动调节状态。 run=1, 自动调节状态。 run=2, 自动调节状态, 并且禁止手动操作。不需要手动功能时, 该功能可防止因误操作而进入手动状态。 通过 RS485 通讯接口控制仪表操作时, 可通过修改 run 参数的方式用计算机(上位机)实现仪表的手动/自动切换操作。</p>	
Loc	参数修改级别	<p>仪表当 Loc 设置为 808 时, 才能设置全部参数。Loc 参数提供多种不同的参数操作权限。当用户技术人员配置完仪表的输入、输出等重要参数后, 可设置 Loc 为 808 以外的数。以避免现场操作工人无意修改了某些重要操参数。如下:</p> <p>Loc=0, 允许修改现场参数、给定值。 Loc=1, 可显示查看现场参数, 不允许修改, 但允许设置给定值。 Loc=2, 可显示查看现场参数, 不允许修改, 也不允许设置给定值。 Loc=808, 可设置全部参数及给定值。</p> <p>注意:808 是仪表的设置密码, 仪表使用时应设置其它值以保持参数不被随意修改。同时应加强生产管理, 避免随意地操作仪表。</p> <p>如果 Loc 设置为其它值, 其结果可能是以上结果之一。</p> <p>上锁后 (Loc=0) 要返回重新设置全部参数, 可将仪表断电按住 SET 键通电, 在仪表显示 Loc 时松开 SET 键, 将 Loc 设为 808 即可。在设置现场参数时将 Loc 参数设置为 808, 可临时性开锁, 结束设置后 Loc 自动被设置为 0, 开锁后在参数表中将 Loc 设置为 808, 则 Loc 将被保存为 808, 等于长久开锁。</p>	0-9999

1-EP8	现场参数定义	<p>当仪表的设置完成后，大多数参数将不再需要现场工人进行设置。并且，现场操作工对许多参数也可能不理解，并且可能发生误操作将参数设置为错误的数值而使得仪表无法正常工作。</p> <p>在参数表中 EP1-EP8 定义 1-8 个现场参数给现场操作工使用。其参数值是 EP 参数本身外其它参数，如 HIAL、LoAL.....等参数。当 Loc=0、1、2 等值时，只有被定义到的参数才能被显示，其它参数不能被显示及修改。该功能可加快修改参数的速度，又能避免重要参数（如输入、输出参数）不被误修改。</p> <p>参数 EP1-EP8 最多可定义 8 个现场参数，如果现场参数小于 8 个（有时甚至没有），应将要用到的参数从 EP1-EP8 依次定义，没用到的第一个参数定义为 nonE。例如：某仪表现场常要修改 HIAL（上限报警）、LoAL（下限报警）两个参数，可将 EP 参数设置如下：</p> <p>Loc=0、EP1=HAIL、EP2=LoAL、EP3=nonE</p> <p>如果仪表调试完成后并不需要现场参数，此时可将 EP1 参数值设置为 nonE。</p>	
-------	--------	--	--

(五) 部分功能的补充说明

1、意规格线性电流输出时（oP1=1）

输出上限及输出下限定义仪表的电流输出规格，范围在 0-22mA 之间任意设置。如 0-10mA 输出，则设置 oPL=0, oPH=100(单位 0.1mA)。4-20mA 设置为 oPL=40, oPH=200。也可定义成非标准的输出，如 2-8mA 输出，设置 oPL=20, oPH=80 等。注意设置 oPL 必须小于 oPH 才能有有效的输出。

2、时间比例输出（oP1=2 或 oP1=0 为继电器输出或 SSR 电压输出）

时间比例输出是通过调整一个固定的时间内继电器在通断比例（或 SSR 电压输出高低比例）等来实现输出大小变化的。时间比例输出可看成一个方波，其周期等于控制周期 ct1, 输出值大小正比于方波的占空比，其值从 0%-100%可变。有特殊要求的用户可用 oPL 及 oPH 来限制时间比例输出值的范围。例如：当用户需要将输出限制在 20-60%之间时，可设置 oPL=20, oPH=60 即可。通常情况下，时间比例输出时，设置 oPL=0, oPH=100, 则没有输出限制。

注：当 oP1=2 时，无法使用 AL1 作为报警输出，报警只能通过 AL2 继电器输出。

3、外部给定

当外部给定允许时(参看 cF 参数说明), 仪表可从其接线端子中的 1-5V 端输入 1-5V 电压信号来表示其给定值。外部给定的标度可由 dIL 和 dIH 参数来确定。如果外部给定的电压信号小于 1V, 则自动取消外部给定功能, 而改用内部给定值。使用外部给定功能时, 仪表测量输入不能用 1-5V/0-5V 档, 这对与热电偶、热电阻及 mV 电压输入是不影响的。如果测量输入为 0-10mA 或 4-20mA, 可将仪表主输入设置为 0-1V 或 0.2V-1V, 然后外接 100 欧或 50 欧电阻。外部给定功能使得仪表能组成比值或串级调节系统, 完成复杂的调节功能。

4、上电时免除报警功能

仪表刚刚上电或给定值被修改后，常常会导致仪表报警，例如电炉温度控制（加热控制）时，刚上电时，实际温度都远低于给定温度，如果用户设置了下限报警和负偏差报警，则将导致仪表一上电就满足报警条件，而实际上控制系统并不一定出现问题。反之，在致冷控制中（正作用控制），刚上电可能导致上限报警或正偏差报警。因此仪表提供上电/给定值修改免除报警的特性，仪表上电/给定值修改后，即使满足相应报警条件，也不立即报警。等该报警条件取消后，如果再出现满足报警要求的条件，则启动报警功能。上电免除报警功能的作用与正/反作用功能选择有关（请参见参数 cF）。在反作用控制（加热控制）时，对下限报警及负偏差报警有上电免除报警功能。在正作用控制（致冷控制）时，对上限报警及正偏差报警有上电免除报警功能。对于给定值修改，则只对相应的偏差报警起作用。

附表 1: Cu50 铜电阻分度表

分度号: Cu50 $R_0 = 50\Omega$ $\alpha = 0.004280$

温度 (℃)	电 阻 值 (Ω)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50.00	50.21	50.43	50.64	50.86	51.07	51.28	51.50	51.71	51.93
10	52.14	52.36	52.57	52.78	53.00	53.21	53.43	53.64	53.86	54.07
20	54.28	54.50	54.71	54.92	55.14	55.35	55.57	55.78	56.00	56.21
30	56.42	56.64	56.85	57.07	57.28	57.49	57.71	57.92	58.14	58.35
40	58.56	58.78	58.99	59.20	59.42	59.63	59.85	60.06	60.27	60.49
50	60.70	60.92	61.13	61.34	61.56	61.77	61.98	62.20	62.41	62.63
60	62.84	63.05	63.27	63.48	63.70	63.91	64.12	64.34	64.55	64.76
70	64.98	65.19	65.41	65.62	65.83	66.05	66.26	66.48	66.69	66.90
80	67.12	67.33	67.54	67.76	67.97	68.19	68.40	68.62	68.83	69.04
90	69.26	69.47	69.68	69.90	70.11	70.33	70.54	70.76	70.97	71.18
100	71.40	71.61	71.83	72.04	72.25	72.47	72.68	72.90	73.11	73.33
110	73.54	73.75	73.97	74.18	74.40	74.61	74.83	75.04	75.26	75.47
120	75.68	75.90	76.11	76.33	76.54	76.76	76.97	77.19	77.40	77.62
130	77.83	78.05	78.26	78.48	78.69	78.91	79.12	79.34	79.55	79.77
140	79.98	80.20	80.41	80.63	80.84	81.06	81.27	81.49	81.70	81.92
150	82.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—

附表 2:Pt100 铂电阻分度表

分度号:BA₂ R₀=100Ω α=0.003910

温度 (℃)	电 阻 值 (Ω)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.40	100.79	101.19	101.59	101.98	102.38	102.78	103.17	103.57
10	103.96	104.36	104.75	105.15	105.54	105.94	106.33	106.73	107.12	107.52
20	107.91	108.31	108.70	109.10	109.49	109.88	110.28	110.67	111.07	111.46
30	111.85	112.25	112.64	113.03	113.43	113.82	114.21	114.60	115.00	115.39
40	115.78	116.17	116.57	116.96	117.35	117.74	118.13	118.52	118.91	119.31
50	119.70	120.09	120.48	120.87	121.26	121.65	122.04	122.43	122.82	123.21
60	123.60	123.99	124.38	124.77	125.16	125.55	125.94	126.33	126.72	127.10
70	127.49	127.88	128.27	128.66	129.05	129.44	129.82	130.21	130.60	130.99
80	131.37	131.76	132.15	132.54	132.92	133.31	133.70	134.08	134.47	134.86
90	135.24	135.63	136.02	136.40	136.79	137.17	137.56	137.94	138.33	138.72
100	139.10	139.49	139.87	140.26	140.64	141.02	141.41	141.79	142.18	142.66
110	142.95	143.33	143.71	144.10	144.48	144.86	145.25	145.63	146.10	146.40
120	146.78	147.16	147.55	147.93	148.31	148.69	149.07	149.46	149.84	150.22
130	150.60	150.98	151.37	151.75	152.13	152.51	152.89	153.27	153.65	154.03
140	154.41	154.79	155.17	155.55	155.93	156.31	156.69	157.07	157.45	157.83
150	158.21	158.59	158.97	159.35	159.73	160.11	160.49	160.86	161.24	161.62
160	162.00	162.38	162.76	163.13	163.51	163.89	164.27	164.64	165.02	165.40
170	165.78	166.15	166.53	166.91	167.28	167.66	168.03	168.41	168.79	169.16
180	169.54	169.91	170.29	170.67	171.04	171.42	171.79	172.17	172.54	172.92
190	173.29	173.67	174.04	174.41	174.79	175.16	175.54	175.91	176.28	176.66

附表 3:K 型热电偶分度表

分度号:K

(参考端温度为 0℃)

测量端 温度(℃)	热 电 动 势 (mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.949	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809
70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.054
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.490	5.531	5.571	5.612	5.652	5.693
140	5.733	5.774	5.814	5.855	5.895	5.936	5.976	6.016	6.057	6.097
150	6.137	6.177	6.218	6.258	6.298	6.338	6.378	6.419	6.459	6.499
160	6.539	6.579	6.619	6.659	6.699	6.739	6.779	6.819	6.859	6.899
170	6.939	6.979	7.019	7.059	7.099	7.139	7.179	7.219	7.259	7.299
180	7.338	7.378	7.418	7.458	7.498	7.538	7.578	7.618	7.658	7.697
190	7.737	7.777	7.817	7.857	7.897	7.937	7.977	8.017	8.057	8.097
200	8.137	8.177	8.216	8.256	8.296	8.336	8.376	8.416	8.456	8.497
210	8.537	8.577	8.617	8.657	8.697	8.737	8.777	8.817	8.857	8.898
220	8.938	8.978	9.018	9.058	9.099	9.139	9.179	9.220	9.260	9.300
230	9.341	9.381	9.421	9.462	9.502	9.543	9.583	9.624	9.664	9.705
240	9.745	9.786	9.826	9.867	9.907	9.948	9.989	10.029	10.070	10.111
250	10.151	10.192	10.233	10.274	10.315	10.355	10.396	10.437	10.478	10.519

附表 4:E 型热电偶分度表

分度号:E

(参考端温度为 0℃)

测量端 温度(℃)	热 电 动 势 (mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.295	0.354	0.413	0.472	0.532
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.011	1.071	1.131
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.739
30	1.801	1.862	1.924	1.985	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357
40	2.419	2.482	2.544	2.607	2.669	2.732	2.795	2.858	2.921	2.984
50	3.047	3.110	3.173	3.237	3.300	3.364	3.428	3.491	3.555	3.619
60	3.683	3.748	3.812	3.876	3.941	4.005	4.070	4.134	4.199	4.264
70	4.329	4.394	4.459	4.524	4.590	4.655	4.720	4.786	4.852	4.917
80	4.983	5.047	5.115	5.181	5.247	5.314	5.380	5.446	5.513	5.579
90	5.646	5.713	5.780	5.846	5.913	5.981	6.048	6.115	6.182	6.250
100	6.317	6.385	6.452	6.520	6.588	6.656	6.724	6.792	6.860	6.928
110	6.996	7.064	7.133	7.201	7.270	7.339	7.407	7.476	7.545	7.614
120	7.683	7.752	7.821	7.890	7.960	8.029	8.099	8.168	8.238	8.307
130	8.377	8.447	8.517	8.587	8.657	8.727	8.797	8.867	8.938	9.008
140	9.078	9.149	9.220	9.290	9.361	9.432	9.503	9.573	9.644	9.715
150	9.787	9.858	9.929	10.000	10.072	10.143	10.215	10.286	10.358	10.429
160	10.501	10.578	10.645	10.717	10.789	10.861	10.933	11.005	11.077	11.151
170	11.222	11.294	11.367	11.439	11.512	11.585	11.657	11.730	11.805	11.876
180	11.949	12.022	12.095	12.168	12.241	12.314	12.387	12.461	12.534	12.608
190	12.681	12.755	12.828	12.902	12.975	13.049	13.123	13.197	13.271	13.345
200	13.419	13.493	13.567	13.641	13.715	13.789	13.864	13.938	14.012	14.087
210	14.161	14.236	14.310	14.385	14.460	14.534	14.609	14.684	14.759	14.834
220	14.909	14.984	15.059	15.134	15.209	15.284	15.359	15.435	14.510	15.585
230	15.661	15.736	15.812	15.887	15.963	16.038	16.114	16.190	16.266	16.341
240	16.417	16.493	16.569	16.645	16.721	16.797	16.873	16.949	17.025	17.101
250	17.178	17.254	17.330	17.406	17.483	17.559	17.636	17.712	17.789	17.865

附表 5:J 型热电偶分度表

分度号:J

(参考端温度为 0℃)

测量端 温度(℃)	热 电 动 势 (mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389
230	11.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055