

温度传感器特性测试实验指导书

适用于轮机工程及船电专业

轮机工程中心 船舶电气与自动化实验室

2012、2

目录

前言	1
实验一 温度传感器温度控制实验	2
实验二 集成温度传感器(AD590)特性测试实验	5
实验三 铂热电阻(Pt100)特性测试实验	8
实验四 铜热电阻(Cu50)特性测试实	13
实验五 K 型热电偶特性测试实验	16
实验六 E 型热电偶特性测试实验	22
实验七 热电偶冷端温度补偿实验	24
实验八 正温度系数热敏电阻(PTC)特性测试实验	26
实验九 负温度系数热敏电阻(NTC)特性测试实验	30
THQWD-1 型温度传感器特性测试实验仪使用说明书	32

前言

热电式温度传感器是一种将温度变化转化为电量变化的装置,利用敏感传感元件的电磁参数随温度变化的特性来达到测量温度的目的。通常把被测温度变化转化为敏感元件的电阻、磁导或电势变化,再经过相应的测量电路输出电压或电流,然后由这些电参数的变化来表达被测温度的变化。

在各种热电式温度传感器中,以把温度转化为电阻和电势的方法最为普遍。其中将温度转化为电势大小的热电式温度传感器叫热电偶,将温度转化为电阻值大小的热电式温度传感器叫热电阻。这两种温度传感器目前在工业生产中已得到广泛应用。另外利用半导体 PN 结与温度的关系,所研制的 PN 结型温度传感器在窄温场中,也得到十分广泛的应用。

THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪由温度传感器特性测试加热源、温度控制与测量装置、传感器调理电路、热电偶冷端补偿电路、热敏电阻特性测试电路、温度传感器(包括集成温度传感器 AD590、铂热电阻 Pt100、铜热电阻 Cu50、K 型热电偶、E 型热电偶、正温度系数热敏电阻 PTC、负温度系数热敏电阻 NTC)、直流稳压电源及冷却风扇组成。温度控制装置采用 PID 智能温度调节器,具有 PID 智能温度控制加 AI 人工智能调节功能,可控硅调节输出,根据实验要求设定温度控制值,温度控制范围室温~120℃,控温精度±0.5℃。温度测量装置采用热电阻 Pt100,测温范围 0~200℃,温度显示最小分辨率 0.1℃,测温精度±0.2℃。利用本实验仪可以完成各种典型温度传感器特性测试实验。

实验一 温度传感器温度控制实验一

一、实验目的

1. 了解 PID 智能模糊+位式调节温度控制原理；
2. 学习 PID 智能温度调节器使用方法，用 Pt100 作信号输入控制温度。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源；
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源；
3. Pt100 温度传感器。

三、实验原理

1. 位式调节

位式调节(ON / OFF)是一种简单的调节方式，常用于一些对控制精度不高的场合作温度控制，或用于报警。位式调节仪表用于温度控制时，通常利用仪表内部的继电器控制外部的中间继电器再控制一个交流接触器来控制电热丝的通断达到控制温度的目的。

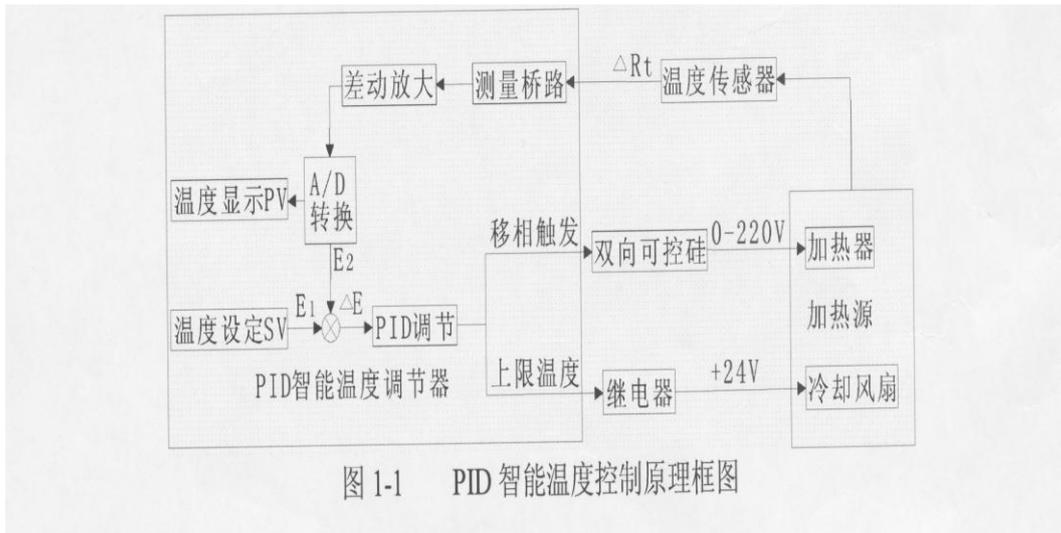
2. PID 智能模糊调节

PID 智能温度调节器采用人工智能调节方式，是采用模糊规则进行 PID 调节的一种先进的新型人工智能算法，能实现高精度控制，先进的自整定(AT)功能使得无需设置控制参数。在误差大时，运用模糊算法进行调节，以消除 PID 饱和和积分现象，当误差趋小时，采用 PID 算法进行调节，并能在调节中自动学习和记忆被控对象的部分特征以使效果最优化，具有无超调、高精度、参数确定简单等特点。

3. 基本原理

由于温度具有滞后性，加热源为一滞后时间较长系统。本实验仪采用 PID 智能模糊+位式双重调节控制温度。用报警方式控制风扇开启与关闭，使加热源在尽可能短的时间内控制在某一温度值上，并能在实验结束后通过参数设置将加热源温度快速冷却下来，可以节约实验时间。

当温度源的温度发生变化时，温度源中的热电阻 Pt100 的阻值发生变化，将电阻变化量作为温度的反馈信号输给 PID 智能温度调节器，经调节器的电阻—电压转换后与温度设定值比较再

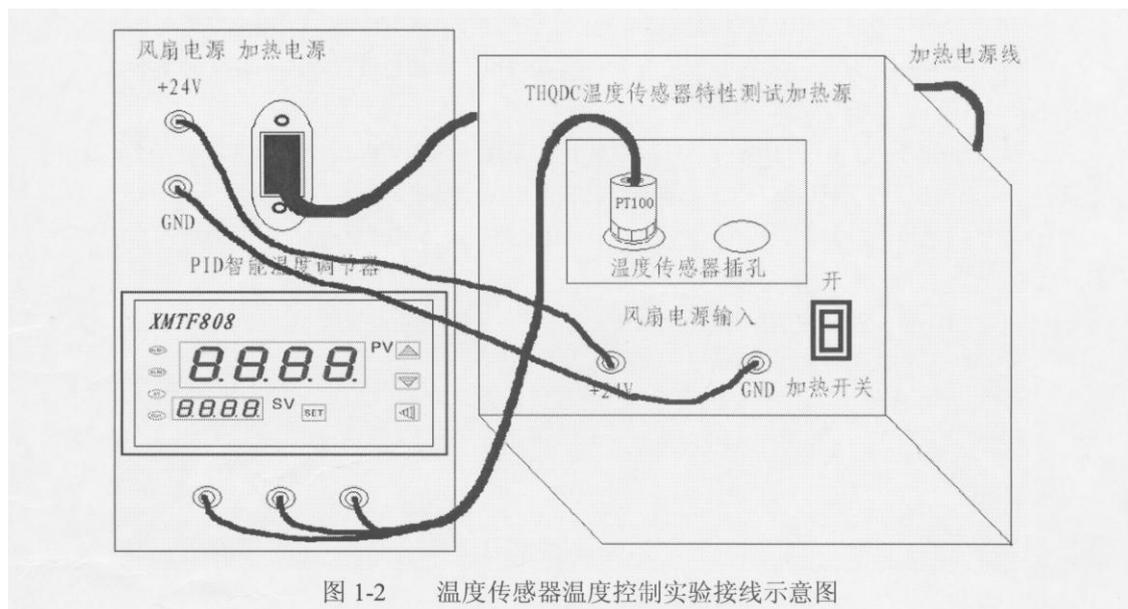


进行数字 PID 运算输出可控硅触发信号(加热)和继电器触发信号(冷却)，使温度源的温度趋近温度设定值。PID 智能温度控制原理框图如图 1—1 所示。

四、实验内容与步骤

加热源简介：加热源为一小铁箱子，内部装有加热器和冷却风扇。加热器上有两个测温孔，对应上面两个温度传感器插孔，其中一个用于温度控制，另一个用于温度测量；加热器电源线从铁箱子后面引出，实验时直接接至实验仪面板上“加热电源”（AC 0—220V），通过铁箱子上面“加热开关”通断，“加热开关”指示灯亮灭及明暗程度可以大致反映加热状态。冷却风扇电源为 DC+24V，实验时用弱电连接线接至实验仪面板上“风扇电源”，“风扇电源”指示灯亮灭表示风扇运行状态。加热源设计温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ 。

温度传感器温度控制实验接线示意图如图 1—2 所示。



1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源(+24V)接至加热源

风扇电源输入(注意电源极性不能接错)。

2. 将其中一只 Pt100(用于温度控制)三端引线按插头颜色(两端蓝色,一端红色)插入调节器“Pt100 输入”插孔, Pt100 金属护套插入加热源其中一个“温度传感器插孔”(用于温度控制)。
3. 将实验仪“电源开关”置于“开”, 实验仪上电, 此时调节器上显示窗 PV 显示室温值。将加热源温度给定值 SP 设定在实验要控制的温度值(加热源温度设定范围为室温-120℃)上, 上限报警(第一报警)AL-1、下限报警(第二报警)AL-2 值设定在高于温度给定值 SV 0.5℃上。
4. 将加热源“电源开关”置于“开”, 电源指示灯亮, 加热器被加热。整个加热过程中, 输出指示灯 OUT 通过亮/暗变化反映加热电压的大小, 指示灯越亮, 加热电压越大, 反之越小。上限报警(第一报警)AL-1 指示灯通过亮灭反映冷却风扇运行状态, 指示灯亮, 风扇开启, 反之关闭。
5. 调节器经过两三次振荡后, 温度显示值(PV)达到动态平衡, 稳定在温度给定值(SV)左右。
6. 更改 SV、AL-1、AL-2 参数, 根据实验需要将加热源温度控制在要控制的温度值上。
7. 如果因环境温度变化或其它因素导致加热源温度控制效果不好, 可以使用手动调节, 设置输出功率的百分比, 使加热源温度稳定。
8. 实验结束, 关闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

画出 PD 智能温度控制原理框图, 简述 PID 智能温度控制原理。

六、注意事项

1. 实验前应仔细阅读 PID 智能温度调节器使用说明书。
2. 除 SP、AL-1、AL-2 参数外, 其它参数在实验仪出厂前均已设置好, 一般情况下不要随意更改。
3. 调节器在实验仪出厂前均已自整定, 如果因长期使用或其它因素导致加热源温度控制效果不好, 可以按照调节器使用说明重新自整定, 使温度控制精确。
4. 整个加热及温度控制过程中, 不要随意将温度控制用传感器拿出。

七、思考题

1. 简述 PID 智能温度控制原理。
2. 温度控制受哪些因素影响?

实验二 集成温度传感器(AD590)特性测试实验

一、实验目的

1. 了解常用的集成温度传感器(AD590)测温基本原理
2. 学习常用的集成温度传感器(AD590)特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、电压表、温度传感器调理电路；
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源；
3. 铂热电阻 Pt100、集成温度传感器 AD590。

三、实验原理

1. 集成温度传感器直流数

集成温度传感器是把温敏器件、偏置电路、放大电路及线性化电路集成在同一芯片上的温度传感器。其特点是使用方便、外围电路简单、性能稳定可靠；不足的是测温范围较小、使用环境有一定的限制。

目前大量生产的集成温度传感器有电流输出型、电压输出型和数字输出型。其工作温度范围约在 $-50^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ 。电流输出型具有输出阻抗高的优点，因此可以配合使用双绞线进行数百米远的精密温度遥感与遥测，而不必考虑长馈线上引起的信号损失和噪声问题；也可用在多点温度测量系统中，而不必考虑选择开关或多路转换器引入的接触电阻造成的误差。电压输出型的优点是直接输出电压，且输出阻抗低，易于读出或与控制电路接口。数字输出型的优点是便于远传，抗干扰能力强，可直接与计算机测试系统接口。

2. 集成温度传感器 AD590

AD590 能直接给出正比于绝对温度的理想线性输出，在一定温度下，相当于一个恒流源，一般用于 $-50^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ 之间温度测量。温敏晶体管的集电极电流恒定时，晶体管的基极—发射极电压与温度成线性关系。为克服温敏晶体管 U_{be} 电压生产时的离散性、均采用了特殊的差分电路。本实验仪采用电流输出型集成温度传感器 AD590，在一定温度下，相当于一个恒流源。因此不易受接触电阻、引线电阻、电压噪声的干扰，具有很好的线性特性。AD590 的灵敏度(标定系数)为 $1\text{Ma}/\text{K}$ ，只需要一种 $+4\text{V}\sim+30\text{V}$ 电源(本实验仪用+5V)，即可实现温度到电流的线性变换，然后在终端使用一只取样电阻(本实验中为传感器调理电路单元中 $R_2=1\text{K}$)即可实现电流到电压的转换，使用十分方便。电流输出型比电压输出型的测量精度更高。

AD590 的特点：

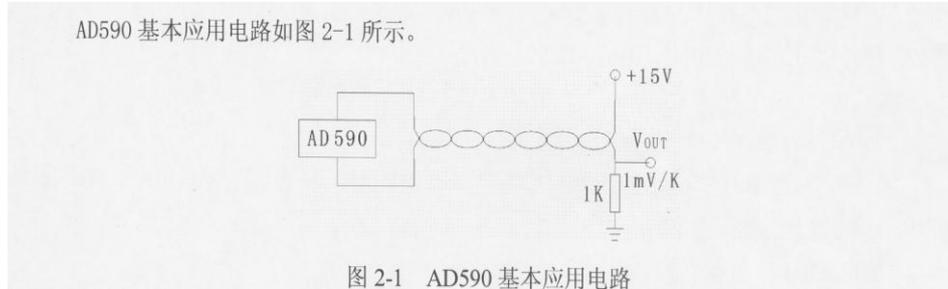
(1)集成温度传感器 AD590 是将温敏晶体管与相应的辅助电路集成在同一芯片上，由生产厂家经过校正的温度传感器，不需要外围温度补偿和线性处理电路，接口简单，使用方便。

(2)使用的直流电源范围比较宽 $+4\text{V}\sim+30\text{V}$ 。

(3) 由于生产时对芯片上的薄膜进行过激光校正，器件具有良好的互换性，在 $-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ 范围内，精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

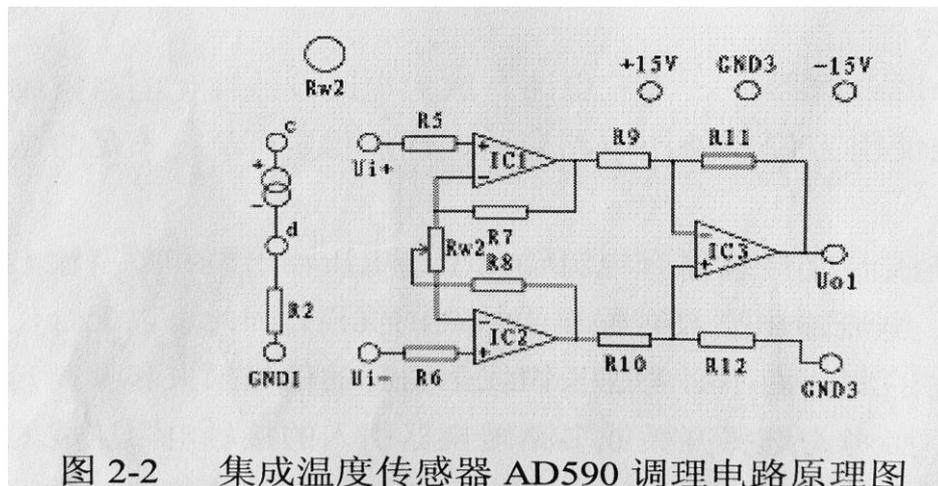
(4) 由于输出阻抗高达 $10\text{M}\Omega$ 以上，抗干扰能力强，不受长距离传输线电压降的影响，信号传输距离可达 100m 以上。

AD590 基本应用电路如图 2—1 所示。



四、实验内容与步骤

集成温度传感器 AD590 调理电路如图 2-2 所示。



1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源 (+24V) 接至加热源风扇电源输入 (注意电源极性不能接错)。

2. 将其中一只 Pt100 (用于温度控制) 三端引线按插头颜色 (两端蓝色，一端红色) 插入调节器“Pt100 输入”插孔，Pt100 金属护套插入加热源其中一个插孔。

3. 将 AD590 两端输出引线按插头颜色 (一端红色，一端蓝色) 插入温度传感器调理电路单元 c、d 插孔 (红色对应 c、蓝色对应 d)，AD590 金属护套插入加热源另一个插孔。

4. 将 +5V 直流稳压电源接至温度传感器调理电路单元 c、GND1 插孔 (+5V 对应 c，GND1 对应 GND1)，给 AD590 供电，将 $\pm 15\text{V}$ 直流稳压电源接至 +15V、GND3、-15V 插孔，给仪器放大器供电。

5. 将 AD590 输出电压 (取样电阻 $R_2=1\text{K}$ 两端电压) 接至仪器放大器输入 U_i (d 对应 U_i ，GND1 对应 U_i+)，将仪器放大器输出 U_{o1} 接至直流数字电压表输入) U_i (U_{o1} 对应 +，GND3 对应 -)，电压表量程选择 20V 档。

6. 将实验仪“电源开关”置于“开”，实验仪上电，此时调节器上显示窗 PV 显示室温值，电压表读数显示 AD590 在室温时的输出电压值。将加热源温度

给定值 SP 设定在 40°C(加热源温度设定范围为室温, ~110°C)上, 上限报警(第一报警)AL-1、下限报警(第二报警)AL-2 值设定在高于温度给定值 SV 0.5°C 上。

7. 将增益调节电位器 Rw2 逆时针旋到底, 即增益最小, 增益一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw2。

8. 将加热源“电源开关”置于“开”, 电源指示灯亮, 加热器被加热。当调节器温度显示

值(PV)达到动态平衡, 稳定在温度给定值(SV)左右时, 记录电压表读数 $V_o(V)$ 。

9. 按 $\Delta t=5^\circ\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV, 改变加热源温度, 记录 AD590 在 40~120°C 温度下对应电压输出值 $V_o(V)$ 。将实验所得数据记录在表 2—1 中。

表 2-1 AD590 特性测试实验数据记录表

t (°C)										
$V_o(V)$										

10. AD590 测温实验。

在实验步骤 5 中, 将 AD590 输出电压(取样电阻 $R_2=1\text{K}$ 两端电压)接至直流数字电压表输入 U_i (d 对应+, GND1 对应-), 电压表量程选择 2V 档。重复实验步骤 6、7、8、9。将实验数据记录在表 2-2 中。

表 2—2 AD590 测温实验数据记录表

t (°C)										
$V_o(V)$										

11. 实验结束, 关闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

1. 根据表 2—1 所记录实验数据, 绘制 $V_o(V) - t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线, 并计算非线性误差。

2. 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)。绝对温度 T 与摄氏温度 t 的关系是: $T=(273.16+t)\text{K}$, 开氏温度和摄氏温度的分度值相同, 即温度间隔 1K 相当于 1°C 。

AD590 的灵敏度(标定系数)为 $1\mu\text{A}/\text{K}$, 实现温度到电流的线性变换, 终端使用一只取样电阻只 $R_2=1\text{K}\Omega$, 实现电流到电压的转换, 则 AD590 电压输出灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K} \times 1\text{K}\Omega = 1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

根据表 2-2 所记录实验数据, 通过公式 $t=(1000V_o-273)^{\circ}\text{C}$ 计算摄氏温度值, 并与对应实验温度值比较, 计算相对误差。

六、注意事项

- AD590 输出有极性, 心按插头颜色接线, 接反则无输出。
- 增益一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw2, 否则改变仪器放大器放大倍数, 增大非线性误差。

七、思考题

用 AD590 测量摄氏温度, 应注意什么?

实验三 铂热电阻(Pt100)特性测试实验

一、实验目的

1. 了解铂热电阻测温基本原理;
2. 学习铂热电阻特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪;
需用单元: PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、直流数字电压表、温度传感器调理电路;
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源;
3. 铂热电阻 Pt100。

三、实验原理

1. 金属热电阻

(1) 工作原理

金属热电阻传感器的感温元件是由纯金属组成。当温度变化时,感温元件的电阻值随温度而变化,这样就可将变化的电阻值作为电信号输入测量仪表,通过测量电路的转换,即可得到被测温度。

实验表明,许多纯金属的电阻率在很宽的温度范围内可以用布洛赫—格林爱森公式描述,即

$$p(t) = \frac{AT^5}{MH_D^6} \int_0^{H_D} \frac{X^5 dx}{(e^x - 1)(1 - e^{-x})} \quad (3-1)$$

式中 A——金属的特性常数;

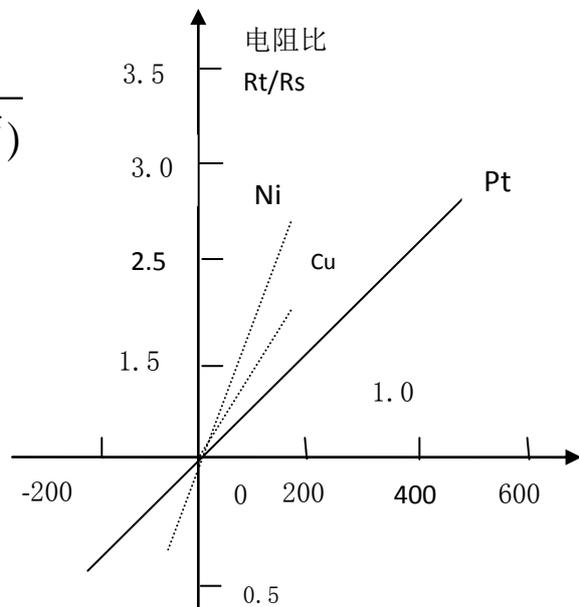
M——金属的原子量;

H_D ——金属的德拜温度;

T——热力学温度,单位 K。

当 $T \gg 0.5 H_D$ 时,上式可简化成式

$$p(t) \approx \frac{A}{4} \cdot \frac{T}{MH_D^2} \quad (3-2)$$



由上式可见，在德拜温度附近的 图 3—1 测温电阻体材料的温度特性
“高温”下，金属的电阻率与温度成正比。

制作热电阻的理想材料有铂、铜、镍等，它们的温度特性见图 3—1。

(2) 热电阻的基本技术参数与规格

①分度表与分度号 分度表是以表格形式表示热电阻的分度特性，即电阻—温度对照表。分度号是分度表的代号，一般用制成热电阻金属的化学元素符号和 00(2 时的电阻值表示，例如，Pt100，金属材料为铂，0℃时的电阻值为 100 Ω。

②标称电阻 标称电阻是指金属热电阻在 0℃时的电阻值，用 R_0 表示。

温度测量范围及允许偏差范围 铂、铜热电阻的温度测量范围及以温度表示的允许偏差 E，见表 3-1。

表 3-1 热电阻的分度表

热电阻名称		温度测量范围, °C	分度号	0°C 的标称电阻值 R_0 , Ω	E_t , °C
铂热电阻	A 级	-200~850	Pt10	10	± (0.15+0.002 t)
			Pt100	100	
	B 级		Pt10	10	± (0.30+0.005 t)
			Pt100	100	
铜热电阻		-50~150	Cu50	50	(0.30+0.006 t)
	Cu100		100		

④百度电阻比 W_{100} 热电阻在 100℃时的电阻与在 0℃的电阻比。 W_{100} 聊愈大热电阻的灵敏度愈高。

⑤热响应时间 当温度发生阶跃变化时，热电阻的电阻值变化至相当于该阶跃变化的某个规定百分比所需要的时间，称为热响应时间，通常以 τ 表示。一般记录变化 50%或 90%的响应时间分别为 $\tau_{0.5}$ 或 $\tau_{0.9}$ 。热电阻的响应时间不仅与结构、尺寸及材料有关，还与被测介质的放热系数、比热等工作环境有关。

⑥额定电流 是指连续通过热电阻的最大电流，一般为 2mA~5mA。

(3) 分类及适用范围

金属热电阻根据感温元件的材料及适用温度范围一般可分为铂热电阻、铜热电阻、镍热电阻和低温用热电阻等。因为感温元件材料的不同，它们各自有不同的特点和使用温度范围。

2. 铂热电阻

铂热电阻以金属铂作为感温元件。它的特点是：线性度好、测量准确、互换性好、抗振动冲击的性能好。铂热电阻的使用温度范围是-200℃~850℃，其电阻与温度的关系为：

对于 $-200^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 的温度范围有

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t - 100)] \quad (3-3)$$

对于 $0^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$ 的温度范围有

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2] \quad (3-4)$$

式中， R_0 ——温度为 0°C 时铂热电阻的电阻值；

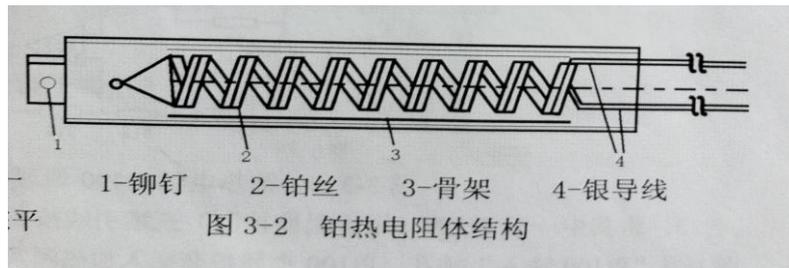
R_t ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时铂热电阻的电阻值。

上式中 R_0 的阻值对两线制铂热电阻不包括内引线的阻值。当 $W_{100}=1.385$ 时，其常数 A ， B ， C 分别为

$$A = 3.90802 \times 10^{-3}, \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \quad (3-5)$$

$$B = -5.80195 \times 10^{-7} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-2} \quad (3-6)$$

$$C = -4.27350 \times 10^{-12} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-4} \quad (3-7)$$



铂热电阻体结构如图 3—2 所示，一般由直径 $0.03\sim 0.07\text{mm}$ 的纯铂丝绕在平板形支架上，用银导线作引出线。

铂热电阻 Pt100 的电阻温度特性（分度表）见表 3-2.

铂热电阻 Pt100 的电阻温度特性（分度表）见表 3-2。

表 3-2 铂热电阻分度表（分度号：Pt100，单位：Ω）

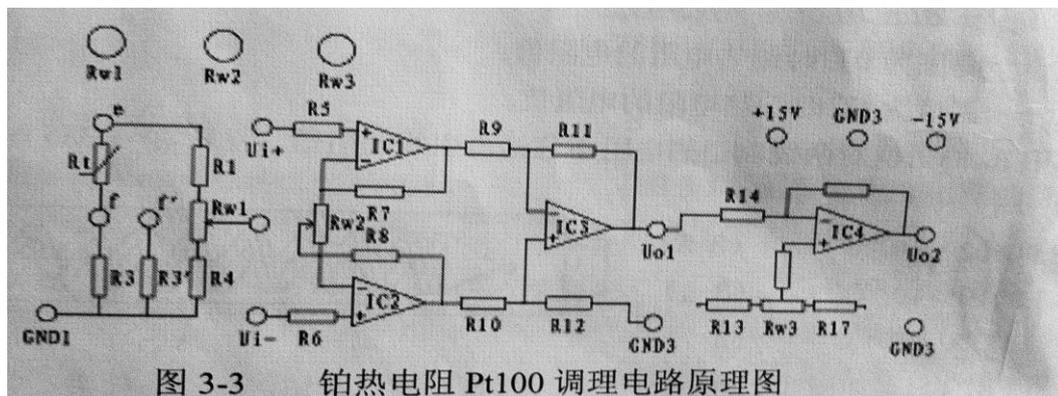
温度(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.28
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.85	118.24	118.62	119.01
50	119.40	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.70	122.09	122.47	122.86
60	123.24	123.62	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.92	126.31	126.69
70	127.07	127.45	127.84	128.22	128.60	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.27	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.39	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.66	143.04	143.42	143.80	144.17	144.55	144.93	145.31	145.68
120	146.06	146.44	146.81	147.19	147.57	147.94	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.82	150.20	150.57	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.32	154.70	155.07	155.45	155.82	156.19	156.57	156.94
150	157.31	157.69	158.06	158.43	158.81	159.18	159.55	159.93	160.30	160.67

铂热电阻由于易于提纯，在氧化介质和高温下的物理化学性能极其稳定，工艺性好，可拉成极细的丝，因此，除用作一般的工业测温外，在国际实用温标中，作为从-259.34°C~630.74°C温度范围内的温度基准。

四、实验内容与步骤

铂热电阻 Pt100 调理电路如图 3-3 所示。

1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源(+24V)接至加热源风扇电源输入(注意电源极性不能接错)。



2. 将其中一只 Pt100(用于温度控制)三端引线按插头颜色(两端蓝色,一端红色)插入调节器“Pt100 输入”插孔,Pt100 金属护套插入加热源其中一个插孔。

3. 将另一只 Pt100(用于温度测量)三端引线按插头颜色(两端蓝色,一端红色)插入温度传感器调理电路单元 e、f 插孔(红色对应 e、两端蓝色短接对应 f),Pt100 金属护套插入加热源另一个插孔。

Pt100、R3、R1、Rw1、R4 组成直流单臂电桥。

4. 将+5V 直流稳压电源接至温度传感器调理电路单元 e、GND1 插空(+5V 对应 e,GND1 对应 GND1),给直流电桥供电;将±15V 直流稳压电源接至+15V、GND3、-15V 插孔,给仪器放大器供电。

5. 将直流电桥输出电压(f、电位器 Rwf 中间抽头两端电压)接至仪器放大器(f 对应 Ui+, 电位器 Rwf 中间抽头对应 Ui-),将仪器放大器输出 Uo1 接至直流数字电压表(Uo1 对应+, GND3 对应-),电压表量程选择 2V 档。

7. 将实验仪“电源开关”置于“开”,实验仪上电,此时调节器上显示窗 PV 显示室温值。将加热源温度给定值 SP 设定在 40℃(加热源温度设定范围为室温~120℃)上,上限报警(第一报警)AL-1、下限报警(第二报警)AL-2 值设定在高于温度给定值 SV 0.5℃上。

8. 将增益调节电位器 Rw2 逆时针旋到底,即增益最小,增益一旦调节好后,实验过程中不要触碰电位器 Rw2。

9. 调节平衡电位器 Rw1,使电压表读数显示为 0,此时电桥灵敏度最大。以室温为相对零点,电桥在室温下输出为零。平衡一旦调节好后,实验过程中不要触碰电位器 Rw1。

10. 将加热源“电源开关”置于“开”,电源指示灯亮,加热器被加热。当调节器温度显示值(PV)达到动态平衡,稳定在温度给定值(SV)左右时,记录电压表读数 Vo(V)。

11. 按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV,改变加热源温度,记录 Pt100 在 40~120℃温度下对应电压输出值 Vo(V)。将实验所得数据记录在表 3-3 中。

表 3-3 Pt100 特性测试实验数据记录表

t(°C)										
Vo(V)										

12. 实验结束,关闭所有电源,整理实验仪器。

五、实验报告

根据表 3-3 所记录实验数据,绘制 Vo(V)-t(°C)实验曲线,并计算非线性误差。

六、注意事项

1. 本实验用 Pt100 为三线制输出,应按插头颜色接线,接入直流电桥时两端蓝色应短接。

2. 增益、平衡一旦调节好后,实验过程中不要触碰电位器 Rw2、Rw1,否则增大非线性误差。

七、思考题

用热电阻 Pt100 测温,误差主要来源于哪里?

实验四 铜热电阻(Cu50)特性测试实验

一、实验目的

1. 了解铜热电阻测温基本原理；
2. 学习铜热电阻特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD-1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PD 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、直流数字电压表、温度传感器调理电路；
2. THQWD-1 型温度传感器特性测试加热源；
3. 铂热电阻 Pt100、铜热电阻 Cu50。

三、实验原理

铜热电阻以金属铜作为感温元件。它的特点是：电阻温度系数较大、价格便宜、互换性好、固有电阻小、体积小。使用温度范围是 $-50^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，在此温度范围内铜热电阻与温度的关系是非线性的。如按线性处理，虽然方便，但误差较大。通常用下式描述铜热电阻的电阻与温度关系：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^3) \quad (4-1)$$

式中， R_0 ——温度为 0°C 时铜热电阻的电阻值，通常取 $R_0=50\ \Omega$ 或 $R_0=100\ \Omega$ ；

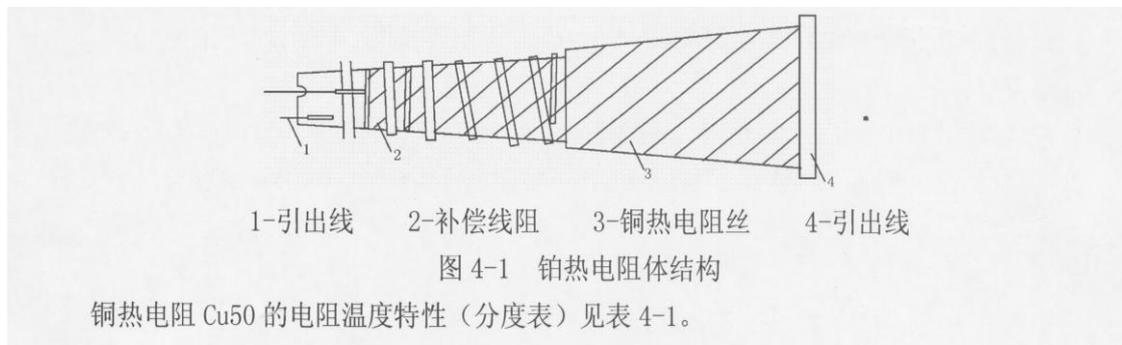
R_t ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时铜热电阻的电阻值；

t ——被测温度；

A, B, C 为常数，当 $W_{100}=1.428$ 时， $A=4.28899 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，

$B=-2.133 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$ ， $C=1.233 \times 10^{-9} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-3}$ 。

铜热电阻体结构如图 4-1 所示，通常用直径 0.1mm 的漆包线或丝包线双线绕制，而后浸以酚醛树脂成为一个铜电阻体，再用镀银铜线作引出线，穿过绝缘套管。铜电阻的缺点是电阻率较低，电阻体的体积较大，热惯性也较大，在 100°C 以上易氧化，因此只能用于低温以及无侵蚀性的介质中。



铜热电阻 Cu50 的电阻温度特性（分度表）见表 4-1。

表 4-1 铜热电阻分度表（分度号：Cu50；单位：Ω）

温度 (°C)	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	66.96
80	67.12	67.33	67.54	67.76	67.97	68.19	68.40	68.62	68.83	69.00
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	72.80	73.11	71.33
110	73.54	73.75	73.97	74.18	74.40	74.61	74.83	75.04	75.26	76.47
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	78.28	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	81.05	81.27	81.49	81.70	81.92
150	82.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—

四、实验内容与步骤

铜热电阻 Cu50 调理电路如图 4-2 所示。

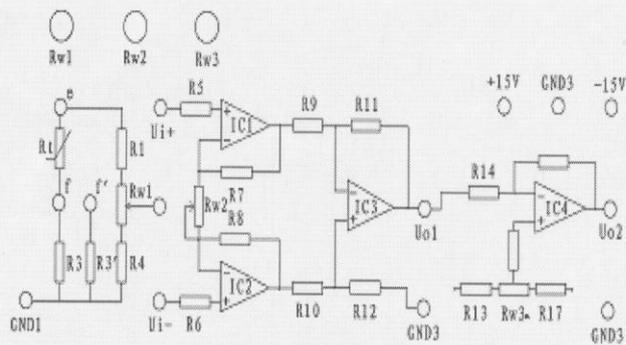


图 4-2 铜热电阻 Cu50 调理电路原理图

1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源(+24V)接至加热源风扇电源输入(注意电源极性不能接错)。

2. 将其中一只 Pt100(用于温度控制)三端引线按插头颜色(两端蓝色，一端红色)插入调节器“Pt100 输入”插孔，Pt100 金属护套插入加热源其中一个插孔。

3. 将 Cu50 三端引线按插头颜色(两端蓝色，一端红色)插入温度传感器调理

电路单元 e、f 插孔(红色对应 e、两端蓝色短接对应 f), Pt100 金属扩套插入加热源另一个插孔。将 f、f' 短接, R3 与 R3 并联, Cu50、R3//R3'、R1、Rw1、R4 组成直流单臂电桥。

4. 将+5V 直流稳压电源接至温度传感器调理电路单元 e、GND1 插空(+5V 对应 e, GND1 对应 GND1), 给直流电桥供电; 将±15V 直流稳压电源接至+15V、GND3、-15V 插孔, 给仪器放大器供电。

5. 将直流电桥输出电压(f、电位器' RW1 中间抽头两端电压)接至仪器放大器(f 对应 Ui+, 电位器 Rw1 中间抽头对应 Ui-), 将仪器放大器输出 Uo1 接至直流数字电压表(Uo1 对应+, GND3 对应-), 电压表量程选择 2V 档。

7. 将实验仪“电源开关”置于“开”, 实验仪上电, 此时调节器上显示窗 PV 显示室温值。将加热源温度给定值 SP 设定在 40°C(加热源温度设定范围为室温~120°C)上, 上限报警(第一报警)AL—1、下限报警(第二报警)AL—2 值设定在高于温度给定值 SV 0.5°C 上。

8. 将增益调节电位器 Rw2 逆时针旋到底, 即增益最小, 增益一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw2。

9. 调节平衡电位器 Rw1, 使电压表读数显示为 0, 此时电桥灵敏度最大。以室温为相对零点, 电桥在室温下输出为零。平衡一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw1。

10. 将加热源“电源开关”置于“开”, 电源指示灯亮, 加热器被加热。当调节器温度显示值(PV)达到动态平衡, 稳定在温度给定值(SV)左右时, 记录电压表读数 Vo(v)。

11. 按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV, 改变加热源温度, 记录 Cu100 在 40~120°C 温度下对应电压输出值 Vo(V)。将实验所得数据记录在表 4—2 中。

表 4—2 Cu50 特性测试实验数据记录表

t(°C)									
Vo(V)									

13. 实验结束, 天闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

根据表 4-2 所记录实验数据, 绘制 Vo(V) - t(°C) 实验曲线, 并计算非线性误差。

六、注意事项

1. 本实验用 Cu50 为三线制输出, 应按插头颜色接线, 接入直流电桥时两端蓝色应短接。

2. 增益、平衡一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw2、Rw1, 否则增大非线性误差。

七、思考题

1. 用热电阻 Pt100 和 Cu50 测温, 哪个效果更好?
2. 如何根据测温范围和精度要求选用热电阻?

实验五 K 型热电偶特性测试实验

一、实验目的

1. 了解 K 型热电偶测温基本原理；
2. 学习 K 型热电偶特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、直流数字电压表、温度传感器调理电路；
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源；
3. 铂热电阻 Pt100、K 型热电偶。

三、实验原理

1. 热电偶传感器的工作原理

热电偶是一种使用最多的温度传感器，它的原理是基于 1821 年发现的塞贝克效应，即两种不同的导体或半导体 A 或 B 组成一个回路，其两端相互连接，只要两节点处的温度不同，一端温度为 T ，另一端温度为 T_0 ，则回路中就有电流产生，见图 5—1(a)，即回路中存在电动势，

该电动势被称为热电势。

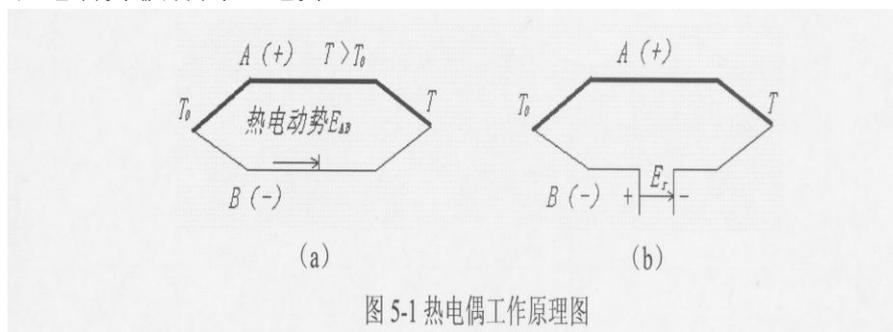


图 5-1 热电偶工作原理图

两种不同导体或半导体的组合被称为热电偶。

当回路断开时，在断开处 a, b 之间便有一电动势 E_T ，其极性和量值与回路中的热电势一致，见图 5—1(b)，并规定在冷端，当电流由 A 流向 B 时，称 A 为正极，B 为负极。实验表明，

当 E_T 较小时，热电势 E_T 与温度差 $(T-T_0)$ 成正比，即

$$E_T = S_{AB}(T - T_0) \quad (5-1)$$

S_{AB} 为塞贝克系数，又称为热电势率，它是热电偶的最重要的特征量，其符号和大小取决于热电极材料的相对特性。

热电偶的基本定律：

(1) 均质导体定律 由一种均质导体组成的闭合回路，不论导体的截面积

和长度如何，也不论各处的温度分布如何，都不能产生热电势。

(2) 中间导体定律 用两种金属导体 A, B 组成热电偶测量时，在测温回路中必须通过连接导线接入仪表测量温差电势 $E_{AB}(T, T_0)$ ，而这些导体材料和热电偶导体 A, B 的材料往往并不相同。在这种引入了中间导体的情况下，回路中的温差电势是否发生变化呢？热电偶中间导体定律指出：在热电偶回路中，只要中间导体 C 两端温度相同，那么接入中间导体 C 对热电偶回路总热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 没有影响。

(3) 中间温度定律 如图 5-2 所示，热电偶的两个结点温度为 T_1, T_2 时，热电势为 $E_{AB}(T_1, T_2)$ ；两结点温度为 T_2, T_3 时，热电势为 $E_{AB}(T_2, T_3)$ ，那么当

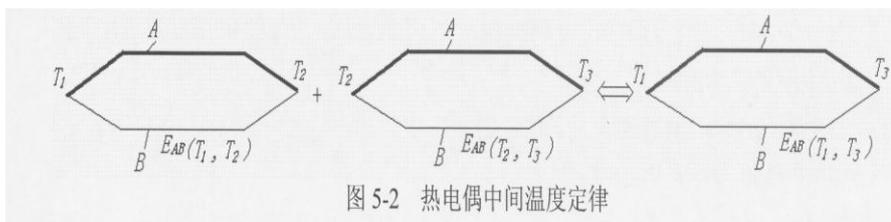
两结点温度为 T_1, T_3 时的

热电势则为

$$E_{AB}(T_1, T_2) + E_{AB}(T_2, T_3) = E_{AB}(T_1, T_3) \quad (5-2)$$

式(2)就是中间温度定律的表达式。譬如： $T_1=100^\circ\text{C}$ ， $T_2=40^\circ\text{C}$ ， $T_3=0^\circ\text{C}$ ，则

$$E_{AB}(100, 40) + E_{AB}(40, 0) = E_{AB}(100, 0) \quad (5-3)$$



2. 热电偶的主要技术参数

(1) 分度号

热电偶的分度号是其分度表的代号(一般用大写字母 S、R、B、K、E、J、T、N 表示)。

它是在热电偶的参考端为 0°C 的条件下，以列表的形式表示热电势与测量端温度的关系。

镍铬—镍硅(K 型)热电偶分度表见表 5-1，镍铬—康铜(K 型)热电偶分度表见表 5-2。

(2) 测量范围

不同材料的热电偶，由于材料熔点的不同，所以它有不同的使用温度极限，而且温度极限有长期使用和短期使用之分。测温极限还与热电偶丝粗细有关。

表 5-1 镍铬—镍硅（镍铬—镍铝）热电偶分度表（分度号：K，参考端温度：0°C

温度 (°C)	热电动势 (mV)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	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	0.858	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	1.480	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	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	4.600	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	5.161	5.205	5.234	5.287
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.491	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

表 5-2 镍铬—康铜热电偶分度表（分度号：E，参考端温度：0°C

温度 (°C)	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

(3) 允许误差

是指热电偶的热电势—温度关系对分度表的最大偏差。根据允许误差将热电偶分为 1、2、3 级。

(4) 热响应时间

热响应时间也称时间常数。在温度出现阶跃变化时，热电偶的输出变化至相当于该阶跃变化的 63.2% 所需的时间，称为热响应时间，用 τ 表示。也可用 $\tau_{0.5}$ 表示，区别在于温度出现阶跃变化时，热电偶的输出变化至相当于该阶跃变化的 50% 所需的时间。

(5) 长期稳定性

是指测量条件不变时，在一定的时间内热电偶热电势的变化量，常以热电势变化量的相应温度变化量的百分数来表示。热电偶不同，对长期稳定性的要求也不同。

(6) 热电动势率

热电偶的热电动势率定义为热电势与温度差的比值，符号为 $S_{AB'}$ ，常用单位为 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

四、实验内容与步骤

K 型热电偶调理电路如图 5-3 所示。

1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源接至加热源。
2. 将其中一只 Pt100 三端引线按插头颜色(两端蓝色，一端红色)插入调节器“Pt100 输入”插孔，Pt100 金属护套插入加热源其中一个插孔。
3. 将 K 型热电偶两端引线按插头颜色(一端红色，一端绿色)插入温度传感器调理电路单元 a+、b- 插孔(红色对应 a+、绿色对应 b-) K 型热电偶金属护套插入加热源另一插孔。

单元 a+、b- 插孔(红色对应 a+、绿色对应 b-), K 型热电偶金属护套插入加热源另一个插孔。

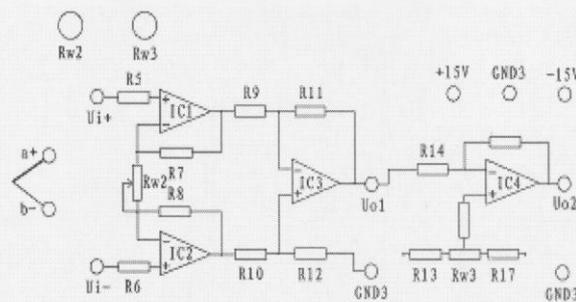


图 5-3 K 型热电偶调理电路原理图

4. 将 $4\pm 15\text{V}$ 直流稳压电源接至 +15V、GND3、-15V 插孔，给仪器放大器供电。
5. 将 K 型热电偶输出电压接至仪器放大器(a+对应 U_{i+} ，b- 对应 U_{i-})，将仪器放大器输出 U_{o2} 接至直流数字电压表(U_{o2} 对应 +，GND3 对应 -)，电压表量程选择 2V 档。
6. 将实验仪“电源开关”置于“开”，实验仪上电，此时调节器上显示窗 PV 显示室温值，记录此室温值 t_0 。将加热源温度给定值 SP 设定在 40°C (加热源温

度设定范围为室温~120℃)上, 上限报警(第一报警)AL—1、下限报警(第二报警)AL-2 值设定在高于温度给定值 SV 0. 5℃上。

7. 将增益调节电位器 Rw2 顺时针旋到底, 即增益最大, 增益一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw2。

8. 将仪器放大器输入端 U_{i+} 、 U_{i-} 短接, 调节调零电位器 Rw3, 使电压表读数显示为 0, 调零后去掉仪器放大器输入端 U_{i+} 、 U_{i-} 短接线。调零一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 Rw3。

9. 将加热源“电源开关”置于“开”, 电源指示灯亮, 加热器被加热。当调节器温度显示值(PV)达到动态平衡, 稳定在温度给定值(SV)左右时, 记录电压表读数 $V_o(V)$ 。

10. 按 $\Delta t=5^\circ\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV, 改变加热源温度, 记录 K 型热电偶在 40~120℃温度下对应电压输出值 $V_o(V)$ 。将实验所得数据记录在表 5—3 中。

表 5—3 K 型热电偶特性测试实验数据记录表

t (°C)																		
$V_o(V)$																		

11. 实验结束, 关闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

1. 根据表 5-3 所记录实验数据, 绘制 $V_o(V)-t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线, 并计算非线性误差。

2. 公式计算法补偿

实验时, 热电偶冷端温度为环境温度, 而分度表是在热电偶的参考端(冷端)为 0°C 的条件下, 以列表的形式表示热电势与测量端温度的关系。实际应用过程中要对热电偶冷端温度进行修正(补偿)。本实验采用公式计算法补偿。

根据中间温度定律, $E_{AB}(T_1, T_2)+E_{AB}(T_2, T_3)=E_{AB}(T_1, T_3)$, 设 T_1 为被测温度, T_2 为环境温度(室温), 即热电偶冷端温度, $T_2=t_o$, $T_3=0^\circ\text{C}$ 。查 K 型热电偶分度表, 得热电偶在 T_1 、 T_2 时热电动势 $E_{AB}(T_1, 0)$ 、 $E_{AB}(T_2, 0)$ 。则补偿后热电偶对应电压输出值

$$V = \frac{E_{AB}(T_1, 0)}{E_{AB}(T_1, 0) - E_{AB}(T_2, 0)} V_o \quad (5-4)$$

根据表 5-3 所记录实验数据, 计算补偿后 K 型热电偶在 40~120℃温度下对应电压输出值 $V(V)$ 。将实验所得数据记录在表 5-4 中。

表 5-4 K 型热电偶特性测试实验数据记录表(公式计算法补偿)

t (°C)																		
$V_o(V)$																		

根据表 5-4 所记录实验数据, 绘制 $V(V) - t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线, 并计算非线性

误差。

六、注意事项

1. 本实验用热电偶为二线制输出，绿色插头对应冷端，应按插头颜色接线。
2. 增益、调零一旦调节好后，实验过程中不要触碰电位器 $Rw2$ 、 $Rw3$ ，否则增大非线性气差。

七、思考题

用热电偶测温，误差主要来源于哪里？

实验六 E 型热电偶特性测试实验

一、实验目的

1. 了解 E 型热电偶测温基本原理；
2. 学习 E 型热电偶特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、直流数字电压表、温度传感器调理电路；
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源；
3. 铂热电阻 Pt100、E 型热电偶。

三、实验原理

同实验五。

四、实验内容与步骤

E 型热电偶调理电路如图 6—1 所示。

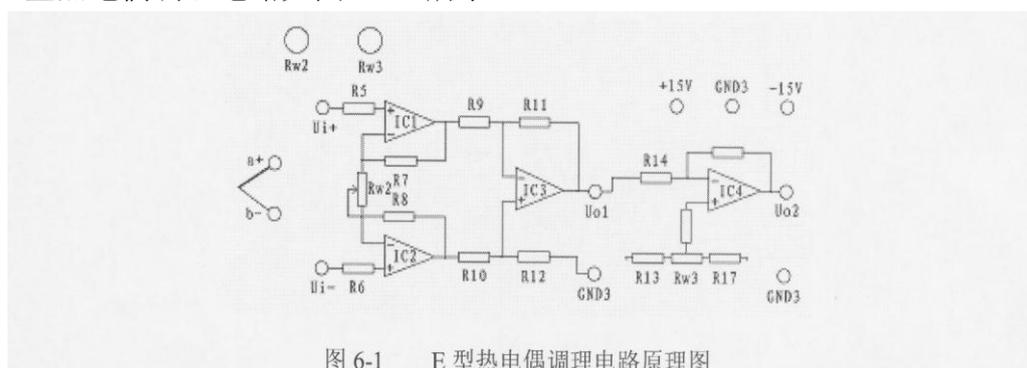


图 6-1 E 型热电偶调理电路原理图

1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源接至加热源。
2. 将其中一只 Pt100 三端引线按插头颜色(两端蓝色，一端红色)插入调节器“Pt100 输入”插孔，Pt100 金属护套插入加热源其中一个插孔。
3. 将 E 型热电偶两端引线按插头颜色(一端红色，一端绿色)插入温度传感器调理电路单元 a+、b- 插孔(红色对应 a+、绿色对应 b-)，K 型热电偶金属护套插入加热源另一个插孔。
4. 将+15V 直流稳压电源接至+15V、GND3、-15V 插孔，给仪器放大器供电。
5. 将 E 型热电偶输出电压接至仪器放大器(a+对应 Ui+, b-对应 U1)，将仪器放大器输出 Uo2 接至直流数字电压表(Uo2 对应+, GND3 对应-)，电压表量程选择 2V 档。
6. 将实验仪“电源开关”置于“开”，实验仪上电，此时调节器上显示窗 PV 显示室温值，记录此室温值 t_0 。将加热源温度给定值 SP 设定在 40℃(加热源

温度设定范围为室温~120℃)上,上限报警(第一报警)AL—1、下限报警(第二报警)AL—2 值设定在高于温度给定值 SV0.5℃上。

7. 将增益调节电位器 Rw2 顺时针旋到底,即增益最大,增益一旦调节好后,实验过程中不要触碰电位器 Rw2。

8. 将仪器放大器输入端 U_{i+} 、 U_{i-} 短接,调节调零电位器 Rw3,使电压表读数显示为 0,调零后去掉仪器放大器输入端 U_{i+} 、 U_{i-} 短接线。调零一旦调节好后,实验过程中不要触碰电位器 Rw3。

9. 将加热源“电源开关”置于“开”,电源指示灯亮,加热器被加热。当调节器温度显示值(PV)达到动态平衡,稳定在温度给定值(SV)左右时,记录电压表读数 $V_o(V)$ 。

10. 按 $\Delta t=5^\circ\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV,改变加热源温度,记录 E 型热电偶在 40~120℃ 温度下对应电压输出值 $V_o(V)$ 。将实验所得数据记录在表 6-1 中。

表 6-1 E 型热电偶特性测试实验数据记录表

t (°C)																			
$V_o(V)$																			

11. 实验结束,关闭所有电源,整理实验仪器。

五、实验报告

1. 根据表 6—1 所记录实验数据,绘制 $V_o(V)-t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线,并计算非线性误差。

2. 根据表 6-1 所记录实验数据,计算补偿后 E 型热电偶在 40~120℃ 温度下对应电压输出值 $V(V)$ 。将实验所得数据记录在表 6-2 中。

表 6—2 E 型热电偶特性测试实验数据记录表(公式计算法补偿)

t (°C)																			
$V_o(V)$																			

根据表 5-4 所记录实验数据,绘制 $V(V)-t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线,并计算非线性误差。

3. 根据表 5-4、6-2 所记录实验数据,比较 K、E 型热电偶在相同温度时输出热电势大小。

六、注意事项

1. 本实验用热电偶为二线制输出,绿色插头对应冷端,应按插头颜色接线。

2. 增益、调零一旦调节好后,实验过程中不要触碰电位器 Rw2、Rw3,否则增大非线性误差。

七、思考题

K 型热电偶和 E 型热电偶有什么区别?

实验七 热电偶冷端温度补偿

实验一、实验目的

1. 了解热电偶冷端温度补偿原理；
2. 学习热电偶冷端温度补偿方法与应用。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、直流数字电压表、温度传感器调理电路、K、E 型热电偶冷端温度补偿单元；
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源；
3. 铂热电阻 Pt100、K 型热电偶、E 型热电偶。

三、实验原理

热电偶测温时，其冷端往往处于温度变化的环境中，而测量的是其热端与冷端之间的温度差，因此要进行冷端温度补偿。

热电偶冷端温度补偿的常用方法有：公式计算法、冰水法(0℃)、恒温槽法和电桥自动补偿法(如图 7—1 所示)。本实验采用电桥自动补偿法。电桥自动补偿法是在热电偶和放大电路之间接入一个直流电桥，电桥其中一个桥臂是 PN 结二极管(或 Cu 电阻)。此直流电桥称冷端温度补偿器，电桥在 0℃时达到平衡(亦有 20℃平衡)。当热电偶冷端端温度升高时(>0℃)热电偶回路电势 U_{ab} 下降，由于补偿器中，PN 结呈负温度系数，其正向压降随温度升高而下降，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。

四、实验内容与步骤

1. K 型热电偶冷端温度补偿

K 型热电偶冷端温度补偿原理如图 7—1 所示。

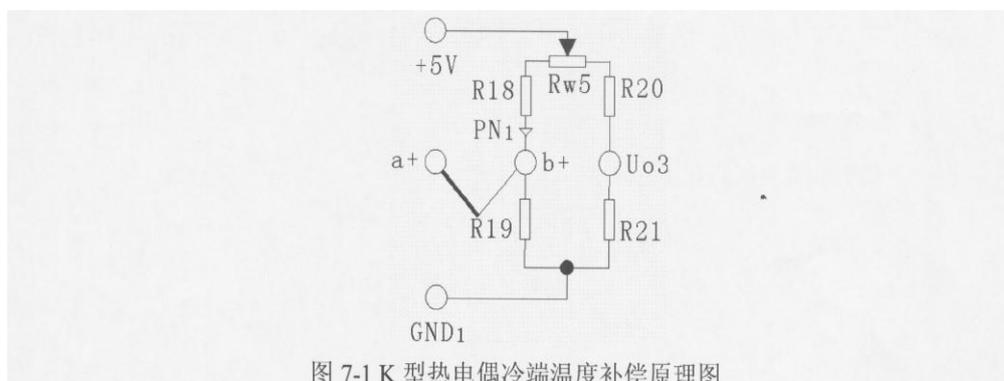


图 7-1 K 型热电偶冷端温度补偿原理图

在实验六实验内容与步骤 3 中，将 K 型热电偶两端引线按插头颜色(一端红色，一端绿色)插入 K 型热电偶冷端温度补偿单元 a+、b—插孔(红色对应 a+、绿色对应 b—)。在实验内容与步骤 5 中，将 K 型热电偶补偿后输出电压接至仪器放大器 a+ 对应 U_{i+} ， U_{o3} 对应 U_{i-})，将仪器放大器输出 U_{o2} 接至直流数字电压

表(U02 对应+, GND3 对应 -), 电压表量程选择 2V 档。其它实验内容与步骤同实验六。将实验所得数据记录在表 7—1 中。

表 7-1 K 型热电偶冷端温度补偿实验数据记录表

t (°C)																			
Vo (V)																			

2. E 型热电偶冷端温度补偿

补偿器采用 E 型热电偶冷端温度补偿单元, 实验内容与步骤同 K 型热电偶。将实验所得数据记录在表 7-2 中。

表 7-2 E 型热电偶冷端温度补偿实验数据记录表

表 7-2 E 型热电偶冷端温度补偿实验数据记录表

t (°C)																			
Vo (V)																			

3、实验结束, 关闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

1. 根据表 7-1、7-2 所记录实验数据, 绘制 $V_o(V) - t(^{\circ}C)$ 实验曲线, 并计算非线性误差。

2. 比较表 7-1 与 5-4、7-2 与 6-2 所记录实验数据, 分析误差来源。

六、注意事项

1. 本实验用热电偶为二线制输出, 绿色插头对应冷端, 应按插头颜色接线。

2. 增益、调零一旦调节好后, 实验过程中不要触碰电位器 R_{w2} 、 R_{w3} , 否则增大非线性误差。

八、思考题

公式算法和电桥自动补偿法有什么区别, 哪一种补偿效果更好?

实验八 正温度系数热敏电阻(PTC)特性测试

实验一、实验目的

1. 了解正温度系数热敏电阻基本原理;
2. 学习正温度系数热敏电阻特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD-1 型温度传感器特性测试实验仪;
需用单元: PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+9V 直流稳压电源、直流数字电压表、热敏电阻特性测试电路;
2. THQWD-1 型温度传感器特性测试加热源;
3. 铂热电阻 Pt100、正温度系数热敏电阻 PTC;
4. 万用表。

三、实验原理

1. 热敏电阻工作原理热敏电阻工作原理同金属热电阻一样,也是利用电阻随温度变化的特性测量温度。所不同的是热敏电阻用半导体材料作为感温元件。热敏电阻的优点是:灵敏度高、体积小、响应快、功耗低、价格低廉,但缺点是:电阻值随温度呈非线性变化、元件的稳定性及互换性差。热敏电阻主要用于航空、医学、工业及家用电器等方面作为测温、控温、温度补偿、流速测量、液面指示等。

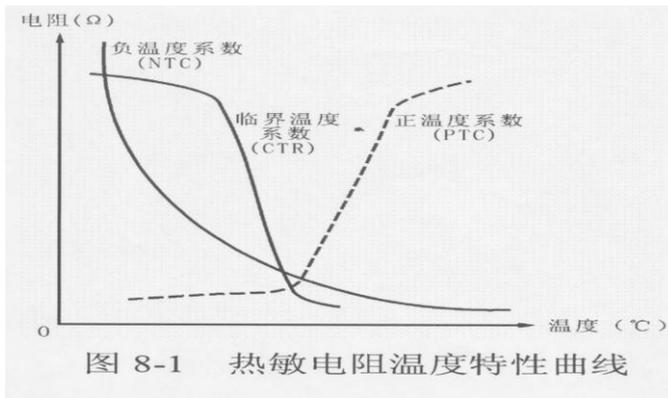
热敏电阻是由某些金属氧化物按不同的配方比例烧结制成的。不同的热敏电阻材料,具有不同的电阻—温度特性,按温度系数的正负,将其分为正温度系数热敏电阻(Positive Temperature coefficient Thermistor)、负温度系数热敏电阻(Negative Temperature coefficient Thermistor)和临界温度系数热敏电阻(Critical Temperature Resistor),本实验主要研究前两种。

半导体热敏电阻的工作原理一般用量子跃迁观点进行分析。由于热运动(譬如温度升高),越来越多的载流子克服禁带(或电离能)引起导电,这种热跃迁使半导体载流子浓度和迁移发生变化,根据电阻率公式可知元件电阻值发生变化。热敏电阻温度特性曲线如图 8—1 所示。

2. 热敏电阻的主要技术参数

- (1) 标称电阻值 R_{25} 是热敏电阻在环境温度为 $(25 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 时的电阻值。通常是指热敏电阻上标注的值,也称额定零功率电阻值。如果环境温度 t 不是 $(25 \pm 0.2)^\circ\text{C}$,而在 $(25 \sim 27)^\circ\text{C}$,而可按式(3)换算成基准温度 (25°C) 的阻值 R_{25} 。

$$R_{25} = \frac{R_t}{1 + \alpha_{25}(t - 25)} \quad (8-1)$$



式中， R_{25} ——25℃时的电阻值；

R_t ——温度为 t ℃时的电阻值；

α_{25} ——被测热敏电阻在 25℃时的电阻温度系数。

(2) 零功率电阻值 R_T 在规定温度下，由于电阻体内部发热引起的电阻值变化相对于总的测量误差而言，可以忽略不计时测得的热敏电阻的阻值称为零功率电阻值。

(3) 零功率电阻温度系数 α_T 在规定温度 (T 通常为 20℃) 下，热敏电阻的零功率电阻值的相对变化率与引起该变化的相应温度之比，称为零功率电阻温度系数，单位为 % / °C。用公式表示如下：

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad (8-2)$$

(4) 热敏指数 B 它是描述热敏材料物理特性的一个常数。 B 值越大，阻值也越大，灵敏度越高。在工作温度范围内， B 值并非是严格的常数，它随温度的升高略有增加。 B 值可用公式表示为

$$B = 2.303 \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \lg \frac{R_1}{R_2} \quad (8-3)$$

式中， B ——热敏指数；

R_1, R_2 ——在温度 T_1, T_2 时的电阻值，单位 Ω 。

(5) 使用温度范围 (见表 8—1)

6. 将 PTC 两端输出引线按插头颜色(一端红色, 一端蓝色)插入热敏电阻特性测试电路单元 g、h 插孔(红色对应 g、蓝色对应 h)。PTC、Rw4 组成分压器。

7. 将+9V 直流稳压电源接至热敏电阻特性测试电路单元 g、I 插空(+9V 对应 g、GND2 对应 I), 给分压器供电。

8. 调节电位器 Rw4, 使电位器 h、I 两端电阻阻值等于 PTC 在 80℃时的阻值, 将 PTC 两端电压输出接至直流数字电压表(g 对应+, h 对应-), 电压表量程选择 20V 档。重复实验步骤 3、4。

9. 按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV, 改变加热源温度, 记录 PTC 在 40~120℃温度下对应电压输出值 $V_o(\text{V})$ 。将实验所得数据记录在表 8—3 中。

表 8-3 PTC 特性测试实验数据记录表

t (°C)																		
$V_o(\text{V})$																		

10. 将 g、+9V 短接, I、GND2 短接, 给 555 组成的无稳态多谐振荡电路供电。在热敏电阻特性测试电路中, 采用 555 时基集成电路, 构成温控电路。其输出信号由发光二极管 LED1(红)、LED2(绿)显示。PTC、Rw4 组成分压器, 当 PTC 的阻值 R_1 , 随温度变化而变化时, h 点的电势 V_h 随之发生变化,

$$V_h = \frac{R_{w4}}{R_1 + R_{w4}} \times 9V$$

。电路工作原理是 V_h 与 555 内部阈值电压, $9V \times \frac{2}{3} = 6V$

比较来控制输出的状态。当 $V_h > 6V$ 时, LED1 亮, $V_h < 6V$ 时, LED2 亮。

11. 实验结束, 关闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

1. 根据表 8-2 所记录实验数据, 绘制 $R(\Omega)-t(^{\circ}\text{C})$ 温度特性曲线。
2. 根据表 8—3 所记录实验数据, 绘制 $V_o(\text{V})-t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线, 并计算非线性误差。

六、注意事项

加热源温度设定范围为室温~120℃, 实验过程中加热源温度不得超过 120℃, 否则有可能损坏热敏电阻温度传感器。

七、思考题

1. 热敏电阻和热电阻有什么区别?
2. PTC 主要有哪些应用, 应用 PTC 应注意什么?

实验九 负温度系数热敏电阻 (NTC) 特性测试实验

一、实验目的

1. 了解负温度系数热敏电阻基本原理；
2. 学习负温度系数热敏电阻特性与应用。

二、实验仪器

1. THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪；
需用单元：PID 智能温度调节器、风扇电源、加热电源、+5V 直流稳压电源、直流数字电压表、热敏电阻特性测试电路；
2. THQWD—1 型温度传感器特性测试加热源
3. 铂热电阻 Pt100、负温度系数热敏电阻 NTC；
4. 万用表。

三、实验原理

负温度系数热敏电阻 NTC 通常是一种氧化物的复合烧结体，其电阻随温度升高而降低，具有负的温度系数，特别适合—100~300℃之间的温度测量。通常将 NTC 称为热敏电阻。负温度系数热敏电阻器的电阻-温度特性，可表示为：

$$R_T = R_{T_0} \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (9-1)$$

式中， R_T ——绝对温度为 T 时热敏电阻的阻值；

R_{T_0} ——绝对温度为 T_0 时热敏电阻的阻值；

B ——负温度系数热敏电阻的热敏指数。

四、实验内容与步骤

1. 将加热源电源线接至实验仪加热电源输出，将风扇电源接至加热源。
2. 将其中一只 Pt100 (用于温度控制) 三端引线按插头颜色 (两端蓝色，一端红色) 插入调节器“Pt100 输入”插孔，Pt100 金属护套插入加热源其中一个插孔，PTC 金属护套插入加热源另一个插孔。
3. 将实验仪“电源开关”置于“开”，实验仪上电，此时调节器上显示窗 PV 显示室温值。将加热源温度给定值 SP 设定在 40℃ (加热源温度设定范围为室温~120℃) 上，上限报警 (第一报警) AL-1、下限报警 (第二报警) AL-2 值设定在高于温度给定值 SV0. 5℃ 上。
4. 将加热源“电源开关”置于“开”，电源指示灯亮，加热器被加热。当调节器温度显示值 (PV) 达到动态平衡，稳定在温度给定值 (SV) 左右时，用万用表欧姆档测量 PTC 阻值 R 。
5. 按 $\Delta T=5^\circ\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV，改变加热源温度，记录 NTC 在 40~

120℃温度下阻值 $R(\Omega)$ 。将实验所得数据记录在表 9—1 中。

表 9-1 NTC 电阻-温度特性测试实验数据记录表

t (°C)																
R (Ω)																

6. 将 NTC 两端输出引线按插头颜色(一端红色, 一端蓝色)插入热敏电阻特性测试电路单元 g、h 插孔(红色对应 g、蓝色对应 h)。NTC、Rw4 组成分压器。

7. 将+9V 直流稳压电源接至热敏电阻特性测试电路单元 g、I 插空(+9V 对应 g、GND2 对应 I), 给分压器供电。

8. 调节电位器 Rw4, 使电位器 h、I 两端电阻阻值等于 NTC 在 80℃的阻值, 将 PTC 两端电压输出接至直流数字电压表(g 对应+, h 对应-), 电压表量程选择 20V 档。重复实验步骤 3、4。

9. 按 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ 设定加热源温度给定值 SV, 改变加热源温度, 记录 NTC 在 40~120℃温度下对应电压输出值 $V_o(\text{V})$ 。将实验所得数据记录在表 9-2 中。

表 9-2 NTC 特性测试实验数据记录表

t (°C)															
$V_o(\text{V})$															

10. 将 g、+9V 短接, 工、GND2 短接, 给 555 组成的无稳态多谐振荡电路供电。在热敏电阻特性测试电路中, 采用 555 时基集成电路, 构成温控电路。其输出信号由发光二极管 LED1(红)、LED2(绿)显示。PTC、Rw4 组成分压器, 当 NTC 的阻值只, 随温度变化而变化时, h 点的电势 V_h 随之发生变化,

$$V_h = \frac{R_{w4}}{R_1 + R_{w4}} \times 9\text{V}$$

电路工作原理 V_h 与 555 内部阈值电压 $9\text{V} \times \frac{2}{3} = 6\text{V}$

比较来控制输出状态。当 $V_h > 6\text{V}$ 时, LED1 亮, $V_h < 6\text{V}$ 时, LED2 亮。

11. 实验结束, 关闭所有电源, 整理实验仪器。

五、实验报告

1. 根据表 9—1 所记录实验数据, 绘制 $R(\Omega)-t(^{\circ}\text{C})$ 温度特性曲线。
2. 根据表 9-2 所记录实验数据, 绘制 $V_o(\text{V}) - t(^{\circ}\text{C})$ 实验曲线, 并计算非线性误差。

六、注意事项

加热源温度设定范围为室温~120℃, 实验过程中加热源温度不得超过 120℃, 否则有可能损坏热敏电阻温度传感器。

七、思考题

1. NTC 主要有哪些应用, 应用 NTC 应注意什么?
2. NTC 和 PTC 有什么区别?

THQWD-1 型温度传感器特性测试实验仪使用说明书

THQWD—1 型温度传感器特性测试实验仪由温度传感器特性测试加热源、温度控制与测量装置、传感器调理电路、热电偶冷端补偿电路、热敏电阻特性测试电路、温度传感器(包括集成温度传感器 AD590、铂热电阻 Pt100、铜热电阻 Cu50、K 型热电偶、E 型热电偶、正温度系数热敏电阻 PTC、负温度系数热敏电阻 NTC)、直流稳压电源及冷却风扇组成。温度控制装置采用 PID 智能温度调节器,具有 PID 智能温度控制加 A1 人工智能调节功能,可控硅调节输出,根据实验要求设定温度控制值,温度控制范围室温~120℃,控温精度±0.5℃。温度测量装置采用热电阻 Pt100,测温范围 0~200℃,温度显示最小分辨率 0.1℃,测温精度±0.2℃。利用本实验仪可以完成各种典型温度传感器特性测试实验。

一 组成和使用

1. 实验仪的供电

实验仪后面板配有带保险丝管(1A)的 220V 单相交流电源三芯插座,另配有三芯插头电源线一根。箱内设有一只降压变压器,为电路板提供多组低压交流电源。

2. PID 智能温度调节器

XMTF 908 系列 PID 智能温度调节器使用说明书

一、概述

XMTF 908 系列智能温度控制仪表是一种高性能、高可靠性的智能型工业温度控制仪表,广泛应用于机械、药工、陶瓷、轻工、冶金、石化、热处理等行业的温度自动控制系统。本仪表由单片机控制,具有热电阻、热电偶、电压、电流等多种信号自由输入,单相移相触发调节输出,正反控制任意设置;提供了六种报警方式;手动自动切换,主控方式除常规两位式外,在传统 PID 控制算法基础上,结合模糊控制理论创建了新的人工智能调节 PID 控制算法,在各种不同的系统上,经仪表白整定的参数大多数能得到满意的控制效果,具有无超调,抗扰动性强等特点。功能强大,控制性能更优良,能广泛满足各种应用场合的需要。

二、技术规格

- 输入规格:热电阻 PT100
- 测量范围:PT100(-200—600℃)
- 测量精度:0.2 级(±0.2%FS4-1 个字)
- 冷端补偿误差:≤±2.0℃
- 采样周期:0.5 秒
- 控制周期:2 秒
- 报警输出回差(不灵敏区):0.5 或 5
- 响应时间:≤0.5 秒(设置数字滤波参数 d1=0 时)
- 调节方式:位式调节方式(回差可调)+人工智能调节,包含模糊逻辑 PID 调节及参数自整定功能的先进控制算法,控制精度可达±0.5℃。
- 输出规格:驱动可控硅触发脉冲输出:幅度≥3V,宽度≥50μs 的移相触发脉冲,可触发 5—500A 的双向可控硅、2 个单向可控硅反向并联或可控硅功率模块。
- 报警功能:上限、下限、正偏差、负偏差 4 种方式,最多可输出 3 路,有上电免除报警选择功能。

● 电磁兼容：IEC61000-4-4(电快速瞬变脉冲群)，±2KV / 5KHZ；IEC61000—4-5(浪涌)4KV。

● 隔离耐压：电源端、继电器触发及信号端相互之间≥2300V；相互隔离弱电信号端之间≥600V。

● 手动功能：自动 / 手动双向无扰动切换

● 电源：100—240VAC，-15%，+10% / 50-60HZ

● 电源消耗：≤5W

● I 作环境：温度 0—50℃，相对湿度不大于 85% 的无腐蚀性气体及无强电磁干扰的场所

● 面板尺寸：96x48mm

● 开口尺寸：92X45mm

三、型号意义

XMT □ 9 □ 8 □

(1) (2) (3) (4) (5)

(1) 外型尺寸标号：F：96X48X110 开孔 92x44；

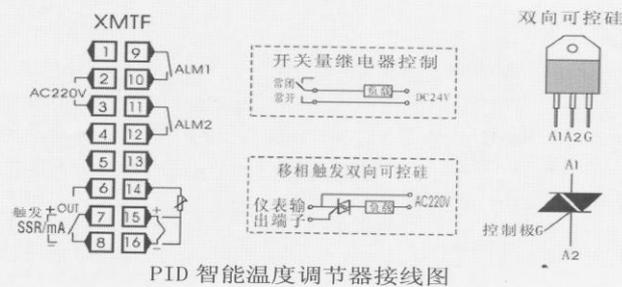
(2) 操作显示方式：‘9’：四键轻触开关设定，双排数字显示，模糊控制；

(3) 附加报警：‘3’：二组报警(上限报警、下限报警、正偏差报警、负偏差报；置)；

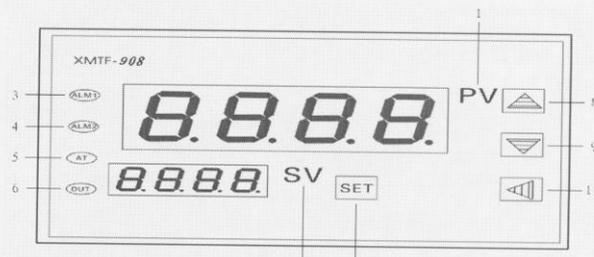
(4) 输入信号类型：‘8’：输入信号自由互换；

(5) 主控制方式：‘B’：单相移相触发调节

四、仪表接线



五、面板说明



- 1、PV——测量值窗（红）
- 2、SV——给定值显示窗（绿）
- 3、A-M——手动指示灯（绿）
- 4、ALM1——AL1 动作时点亮对应的灯（红）
- 5、ALM2——AL2 动作时点亮对应的灯（红）
- 6、OUT——调节输出指示灯（绿）
- 7、SET——功能
- 8、◀——数据移位(兼手动 / 自动切换)
- 9、▼——数据减少键
- 10、▲——数据增加键

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)。PV窗口显示“HH’ ’时表示断偶、测量值超载或传感器型号不配；显示“LL’ ’时表示测量值超过下限或传感器接反。

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：输出指示灯在移相触发输出时通过亮 / 暗变化反映输出电流的大小。

ALM1 指示灯：当 AL1 事件动作时点亮对应的灯。

ALM2 指示灯：当 AL2 事件动作时点亮对应的灯。

A-M 灯：自整定灯。

六、功能及设置

（一）基本使用操作

1. 显示切换：

（1）第一设置区

上电后，按 SET 键约 3 秒，仪表进入第一设置区，可以切换不同的显示状态。仪表将按参数代码 1~24 依次在上显示窗显示参数代码，下显示窗显示其参数值。修改数据：如果参数锁没有锁上，仪表下显示窗显示的数值数据均可通过按◀、▼或▲键来修改，修改好后按 SET 键确认保存数据，转到下一参数继续修改。如设置中途间隔 10 秒未操作，仪表将自动保存数据，退出设置状态。

（2）第二设置区

上电后，点按 SET 键后放开，仪表进入第二设置区，此时可按上述方法修改设定值“SP”。

2. 手动 / 自动切换：上电后，按◀键约 3 秒进入手动调节状态，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“H”，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，即输出功率的百分比，再按◀键约 3 秒退出手动调节状态。

3. 设置参数：按 SET 键并保持约 3 秒，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 ALM1、参数锁 LOCK 等等。用▼、▲、◀ (A / M) 等键可修改参数值。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◀、▼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，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◀键则可直接移动修改数据的位置（光标），操作快捷。

仪表第 22 项参数 LOCK 为密码锁，为 0 时允许修改所有参数，为 1 时只允许

修改第二设置区的给定值“SP”，
大于1时禁止修改所有参数。用户禁止将此参数设置为大于50，否则将有可能进入厂家测试状态。

(二) 自整定(AT)操作

仪表初次在系统上使用时，或者环境发生变化，发现仪表控制性能变差，则需要对仪表的某些参数如P、I、D等数据进行整定，可启动自整定功能来协助确定P、I、D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，在设置好给定值后，将自整定参数AT设置为1，A-M灯开始闪烁，仪表进入自整定状态。按SET键进入参数设置状态，可看到Hy（主控回差）参数项，将其设置为0.5~1℃左右退出，仪表经过2-3次振荡后，自动计算出P、I、D等控制参数并自动保存自整定的P、I、D参数，A-M灯熄灭，自整定过程全部结束。自整定时仪表执行位式调节，视不同系统，自整定需要的时间可以从数秒至数小时不等。仪表在自整定成功能结束后，会将参数AT设置为0。

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t（控制周期）及Hy（回差）的设置，对自整定过程也有影响，一般来说，这2个参数的设定越小，理论上自整定参数准确率越高。但Hy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t=0-2，Hy=0.3。

注：①仪表自整定时中途断电，因仪表有记忆功能，下次上电会重新开始整定。

②自整定中，如需要人为退出，将自整定参数AT设置为0，即可退出，但自整定结果无效。

③按正确方法整定出的参数合适大多数系统，但遇到极少数特殊情况控制不够理想时，可适当微调P、I、D的值。人工调节时，如果是短周期振荡（与自整定或位式控制时，振荡周期相当或约长），可减小P（优先），加大P、D；如果是长周期振荡（数倍于位式控制时振荡周期），可加大I（优先），P、D；如果是无振荡而有静差，可减小I（优先），加大P；如果是最后能稳定控制但时间太长，可减小D（优先），加大P，减小I。调试时还可采用逐式法，即将P、I、D参数之一增加或减少30-50%，如果控制效果变好，则继续增加或减小参数，否则往反方向调整，直到效果满意为止，一般先修改P，其次为I，还不理想则最后修改D参数。修改这三项参数时，应兼顾过冲与控制精度两项指标。

(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。以下为参数功能表：

参数代码	参数符号	参数含义	功能说明	取值范围	设置值
0	SP	给定值	实验室根据需要设定	范围由P-SL、P-SH决定	室温~120.0℃

1	AL-1	上限报警	第一报警设定值，测量值大于 AL-M1-Hy 产生上限报警，测量值小于 AL-M1-Hy 时解除上限报警。	为上、下限报警时量程范围	SP + 0.5
2	AL-2	下限报警	第二报警设定值，测量值小于 AL-M2-Hy 时产生下限报警，测量值大于 AL-M2-Hy 解除下限报警。	由 P-SL 决定：为上下偏差报警时为 0~50.0	SP + 0.5
3	P	比例系数	比例带=P×20,其决定了系统比例增益的大小，P 越大，比例的作用越小，过冲越小，但太小会增加升温时间。设置 P=0 仪表为二位式控制状态。	0~100	自整定（出厂时间已自整定好）
4	I	积分时间	设定积分时间，以解除比例控制所发生之残留偏差，太大会延缓系统达到平衡的时间，太小会产生波动	0~2000S	自整定（出厂时间已自整定好）
5	D	微分时间	设定微分时间，一防止输出的波动	0~2000S	自整定（出厂时间已自整定好）
6	At	自整定	自整定方式的选择 ON: 自整定功能开启 OFF: 自整定功能功能关闭。自整定时间设置 AT=ON, 自整定结束后 AT 自动回到 OFF。		自整定时设置 AT=ON
7	t	继电器比例控制周期	设定继电器控制时的动作周期，二位式控制时无意义	1~120 秒	20
8	Hy	主控回差	只有主控输出的回差设定	0.1~50.0	0.5
9	Hy-1	第一报警输出的回差	用于报警触点的回差设定	0.1~50.0	1.0
10	Hy-1	第二报警输出的回差		0.1~50.0	1.0

11	Pb	传感器差修正	传感器的误差修正值	0~±20.0	0
12	FILT	滤波系数	是测量采样的软件系数。常数大，测量值抗干扰能力强，但使测量速度和系统响应时间变慢	0~50	20
13	bP	显示精度	0，无小数点；1，有小数点	0~1	1
14	P-SH	显示上限	可设定输入信号的高满度显示	P-SH~满量程	200
15	P-SL	显示下限	可设定输入信号的低满度显示	量程起点~P-SL	0
16	outL	输出下限	可实现输出低限位，手动及位式输出时无作用	0.0~OUTH	0.0
17	outH	输出上限	可实现输出高限位，手动及位式输出时无作用	OUTH~200.0	200.0
18	ALP1	第一报警输出的定义	‘0’无报警 ‘1’上限报警 ‘2’下限报警 ‘3’上限偏差报警 ‘4’下限偏差报警	0~4	1
19	ALP1	第二报警输出的定义			2
20	COOL	正反控制选择	0反作用（加热输出）	0~1	0
21	OPPO	开机输出功率	软启动功能，表示首次上电后仪表的输出功率系数	0~100	100
22	LocK	密码锁	密码锁；为0时，允许修改所有参数，为1时，只允许修改给定值（SP），大于1时，禁止修改所有参数。	0~50	0
23	Sn	输入类型	0、CU50 -50.0~150.0 1、PT1-200.0~200.0 2、PT2-200.0~600.0 3、K 0~1300 4、E 0~700.0 5、J 0~900 6、T -200~400.0 、7、S-30~1600	0~7	PT1
24	OP-A	输出方式	1、RLP 继电器输出方式 2、SSR 固态继电器 3、Zero 可控硅过零触发输出方式 4、Mut 可控硅移项触发输出方式	1~4	4、Mut

			5、0~10MA 线性控制电流输出		
			6、4~10MA 线性控制电流输出		

七、XMTF 908系列常用工作方式

(一)位式调节 / 报警仪表

位式调节 (ON / OFF) 是一种简单的调节方式，常用于一些对控制精度要求不高的场合作温度控制，或用于报警。

位式调节仪表用于温度控制时，通常利用仪表内部的继电器控制外部的中间继电器再控制一个交流接触器来控制电热丝的通断达到控制温度的目的。

位式调节时的回差可由HY参数决定。仪表作二位调节仪表时应设置：AT=0，OP-A=0，参数

Cool的A位可用于选择正 / 反作用调节方向，COOL. A=0时，OUT功能为加热控制，COOL. A=1时，OUT功能为致冷控制，仪表下显示窗SV为设定点。

(二)人工智能调节器

XMTF908系列仪表采用先进的人工智能算法，能实现前所未有高精度控制，先进的自整定(AT)功能使得大部分用户无需人为设置控制参数。具备自动 / 手动无扰动切换功能及手动自整定功能。利用强大的软件功能，仪表可提供非常齐全的调节输出模式。

使用仪表前必须要了解输出参数(OP-A、outL、outH)的用法，并熟练掌握控制方式及自整定的操作(参数AT)，最好还能掌握控制参数(I、P、d、t)等的使用。

二 实验内容

实验一容温度传感器温度控制实验

实验二集成温度传感器(ADS90)特性测试实验

实验三铂热电阻(Pt100)特性测试实验

实验四铜热电阻(Cu50)特性测试实验

实验五K型热电偶特性测试实验

实验六E型热电偶特性测试实验

实验七热电偶冷端温度补偿实验

实验八正温度系数热敏电阻(PTC)特性测试实验

实验九负温度系数热敏电阻(NTC)特性测试实验

三使用注意事项

1. 实验前应仔细阅读PID智能温度调节器使用说明书。
2. 除SP、AL—1、AL—2参数外，其它参数在实验仪出厂前均已设置好，一般情况下不要随意更改。
3. 调节器在实验仪出厂前均已自整定，如果因长期使用或其它因素导致加热源温度控制效果不好，可以按照调节器使用说明重新自整定，使温度控制精确。
4. 整个加热及温度控制过程中，不要随意将温度控制用传感器拿出。