

# 关于过程控制技术

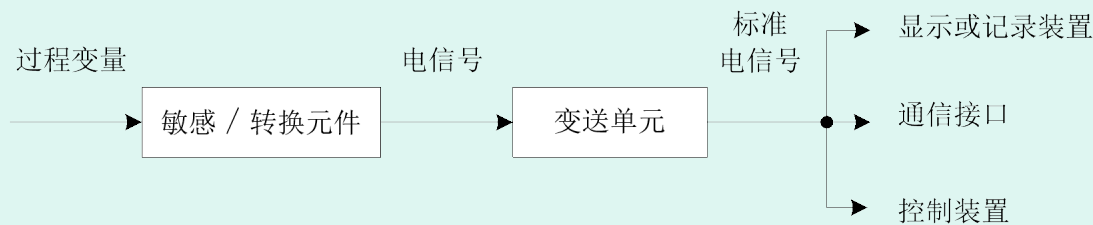


图 2-1 过程参数检测仪表结构

变送器，将敏感/转换元件的输出电信号经过加工调理，如放大、滤波或非线性处理等，变为便于传输和应用的标准电信号。对于 DDZ-III 型电动组合仪表而言，该标准电信号为 4~20mA 的直流电流，或 1~5V 的直流电压。该信号可以送往显示仪表进行显示，或者反馈给控制器，或者传输给其它通信接口。

## 2.1.2 测量误差与分类

### 1. 测量误差的基本概念

在实际测量过程中，由于测量设备精度的限制、测量方法的不同、测量环境的影响，都会使测量结果与测量的真实值不一致。测量结果与被测量真实值之差，就是测量误差。其大小反映测量质量的好坏。

误差公理的概念是：所有测量都有误差，误差自始至终存在于所有科学实验和测量实践之中。人们研究测量误差的目的就是寻找产生误差的原因，认识误差的规律，找出减小误差的方法和途径，以获得尽可能接近真实值的测量结果。测量误差是不可避免的，测量的精度应与测量的目的相符合，盲目追求精准的测量结果，往往要付出很大的代价，其做法在实践中并不可取。

**真值 (True Value)**：被测物体在一定的时间及空间下，所体现的真实数值。它是一个理想的概念，客观存在，但不可测量。随着科学技术的发展，测量结果的数值会不断接近真值。在实际计量和测量工作中，常常使用“约定真值”和“相对真值”的概念。

**约定真值 (Conventional True Value)**：按照国际公认的单位定义，利用科技发展的最高水准复现的单位基准值，它常以法律规定或指定的形式出现。例如，在标准条件下，水的沸点是 $100^{\circ}\text{C}$ ，冰点是 $0^{\circ}\text{C}$ 。

**相对真值 (Relative True Value)**：在满足规定准确度时，用来代真值使用的值，也称实际值。

**标称值 (Nominal Value)**：计量或测量器具上的标注值。如标准砝码上标出的 $1\text{kg}$ 。它受制造、测量环境条件变化影响，标称值并不一定等于它的实际值，一般在给出标称值的同时也应给出它的误差范围或精度等级

**示值 (Indicating Value)**：由测量仪器给出或提供的量值，也称测量值。

## 2. 测量误差的分类与处理

### (1) 测量误差的分类

测量误差目前有多种分类法，本文介绍的两种是比较常见的，一是按表示方法分，二是按误差性质分。

按表示方法分的误差有：绝对误差、相对误差、引用误差、满度引用误差和容许误差等。

1) 绝对误差 (Absolute Error, AbsE)：某一被测量的值 $x$ 与真值  $x_0$  的差

$$\Delta x = x - x_0$$

其中， $x$ 为测量值，可用测量仪器的示值，标准量具的标称值，标准信号源的调定值； $x_0$  为被测量的

真值。由于其不可知性，常用约定真值或相对真值代替。在实际测量中，常用某一被测量多次测量的平均值，或上一级标准仪器测得的示值作约定真值，代替真值  $x_0$ 。绝对误差不能说明测量质量的好坏。

2) 相对误差 (Relative Error)：用来表示测量精度的高低。它又分为实际相对误差和标称 (示值) 相对误差。

实际相对误差是用绝对误差  $\Delta x$  与被测量约定真值  $x_0$  的百分比表示，即

$$r_a = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

标称 (示值) 相对误差是绝对误差与仪器示值的百分比值，

$$r_b = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

该误差是为了评价测量仪表精度而引入的，但实际中常用最大引用误差 (满度引用误差) 来表述。

满度引用误差 (简称满度误差)

$$r_{mm} = \frac{|\Delta x|_{\max}}{x_m} \times 100\%$$

其中， $|\Delta x|_{\max}$  为绝对误差最大值。

我国电工仪表中常用的仪表精度等级  $S$  是按满度误差分级，分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级。仪表精度的数字越小，精度越高。例如，某电压表  $S=2.5$ ，则表示它的精度等级为 2.5 级，即满度误差不超过 2.5%。假如此时电压表量程为 0~100V，则最大绝对误差不超过  $\pm 2.5V$ 。

4) 容许误差 (Admissible Error)：根据技术条件的要求，规定测量仪器误差不应超过的最大范围。它是衡量仪器的重要指标，仪器的准确度和稳定度可用容许误差来表示。它常用绝对误差形式来

表达。

按误差性质分，误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1) 系统误差 (Systematic Residuals/Fixed Error)：相同条件下，同一被测量被重复测量时，误差固定不变，或按照一定规律变化的误差。它定义为无限多次测量结果的平均值减去该被测量的真值。

系统误差的特点是大小和方向恒定不变，或按一定规律变化。恒定不变的称为恒值系统误差，在误差处理中可被修正；按一定规律变化的称为变值系统误差，在误差估计时可归结为系统不确定度。

系统误差的来源包括：测量设备的基本误差、偏离额定工作条件产生的附加误差、测量方法理论不完善带来的方法误差、以及试验人员主观原因产生的误差。

2) 随机误差 (Accidental Error/Random Error)：在相同条件下，对同一物理量作多次重复测量时，受偶然因素影响而出现的没有一定规律的测量误差。它定义为测量示值减去在重复条件下同一被测量无限多次测量的平均值。

引起随机误差的原因多方面的、微小的，且无法控制，一般用概率和数理统计描述和计算，它服从统计规律。

3) 粗大误差 (Gross Error)：疏忽误差，测量结果明显偏离实值对应的误差。产生粗大误差的原因可能有：读数错误、记录错误、计量器具有缺陷、实验条件的突变等。处理方法是从小测量数据中剔除。

在测量中，系统误差、随机误差和粗大误差是同时存在的，但它们对测量过程及结果的影响是不同的。同时，测量误差的划分是人为的、有条件的，不同测量场合，不同测量条件，误差之间可以互相转化。

## (2) 测量误差的处理

对误差的处理：消除或减小。能够消除的，应该消除；消除不了的，或者要付出过高代价才能消除的，应予以减小。

系统误差的发现与处理往往比随机误差困难得多，对它的消除或减小应考虑的几个方面：

- ◇ 从来源上考虑，如，选择仪器设备、测量环境、测量条件、测量方法、人员素质等；
- ◇ 利用修正法，对测量结果进行修正，要定期检查和校准仪器；
- ◇ 采用一些特殊的测量技术和方法。

对随机误差，根据随机误差的特点，多次测量，反复比较，用统计规律描述和确定。对粗大误差，采用剔除数据的方法。

## 2.2 温度检测与变送

### 2.2.1 温度检测

温度是定量反映物体冷热程度的物理量，自然界许多物质的物理变化或化学变化都与温度有关。温度在工业生产过程中是一种基本的、常见的参数，对它的检测与控制是实现众多产品优质高产的重要条件，温度在过程控制中一直受到重视。

检测温度的方法不少，根据感受温度的途径不同，可分为接触式测量和非接触式测量。所谓接触式测量，是测温元件直接与被测物体接触，通过热交换感受被测物的冷热程度及其变化；所谓非接触式测量，就是感温元件不直接与被测物体接触，而是通过接受热辐射或热对流来实现测量。

具体来说，接触式测温方法有：热电偶测温、电阻测温、膨胀式测温、压力式测温等；非接触式

测温方法主要有：亮度法、比色法、全辐射法和红外辐射法等。详见表 2-1。

表 2-1 测温仪表分类及其特点

测温方法	测温原理		温度计名称	测温范围 / °C	应用场合
接 触 式	体积变	固体热膨胀	双金属温度计	-200~700 0~300 -20~600	现场指示
		液体热膨胀	玻璃液体温度计		
		气体热膨胀	压力式温度计		
	热阻效 应	金属热电阻	铂、铜、镍、铑铁热电阻	-200~850	液、气体的中 低温测量，可 远距离传输
		半导体热敏电阻	锗、碳、金属氧化物热敏电阻		
	热电效 应	普通金属热电偶	铜-康铜、镍铬-镍硅等热电偶	0~1800	液、气体的中 高温测量，可 远距离传输
		贵金属热电偶	铂铑-铂、铂铑-铂铑等热电偶		
		难熔金属热电偶	钨-铼、钨-钼热电偶		
		非金属热电偶	碳化物-硼化物等热电偶		
	非 接 触 式	热辐射 功率	亮度法	光学高温计	600~3200
全辐射法			辐射高温计		
比色法			比色温度计		
红外辐射法			光电高温计		
			红外辐射温度计		

接触式测温仪表中，因膨胀引起体积变化的温度计精度低、仅作现场指示用。热电偶（[Thermoelectric Pair](#)/[Thermoelectric Couple](#)）和热电阻（[Thermal Resistance](#)）类的精度较高，输出电信号也便于传送，因而在工业生产中大量采用。非接触式测温仪表测温时远离温度场，灵敏度高和响应速度快，测温上限可突破3000℃。但误差大、受周围环境干扰不小。

温标是温度的标尺，度量单位，常用的有下面三种：

1. 摄氏温标，单位为摄氏度（Degree Centigrade/Degree Celsius），用表示“℃”，该温标可用 $t$ 表示。定义水的冰点为0℃，水的沸点为100℃，两者之间均匀划分100等份。

2. 华氏温标，单位为华氏度（Degree Fahrenheit），用“°F”表示，该温标可用 $F$ 表示。定义水的冰点为32°F，水的沸点为212°F，两者之间均匀划分为180等份。与摄氏温标的换算关系：

$$F = (9 / 5)t + 32$$

3. 国际实用温标，为热力学温度，单位为开尔文（Kelvin），用“K”表示，该温标可用符号 $T$ 表示。与摄氏温度的关系为：

## 2.2.2 热电偶

热电偶具有结构简单、性能稳定、响应速度快等特点，主要用于中高温场合，在冶金、建材、石油等生产行业被大量采用。

### 1. 热电偶的结构与类型

热电偶是由两种不同导体或半导体材料焊接而成的，焊接的一端称为热端、测温端或工作端，测温时被插入测温场中；另一端与导线或者显示仪表连接，称为冷端、参考端或自由端，测温时被置于测温场外。



不论何种结构，热电偶一般都有热电极、绝缘管、保护套管和接线盒等。普通型热电偶将热电极套上绝缘管，装在保护套内，连接通过接线盒引出，如图 2-2 所示。

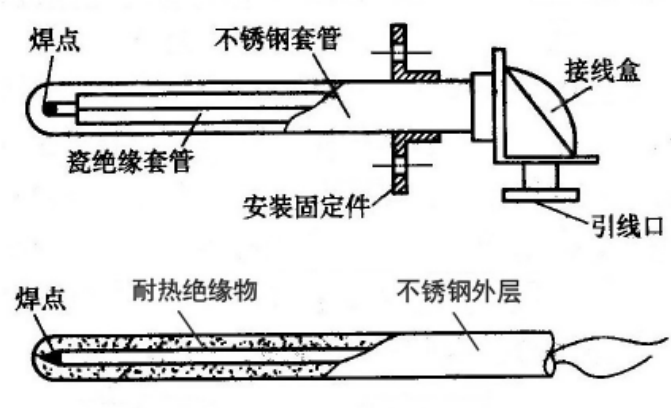


图 2-2 普通型热电偶的结构

工业常用热电偶分为标准热电偶和非标准热电偶两大类。标准热电偶规定了热电动势与温度的关系、允许误差和有统一的标准分度表，也有与之配套的显示仪表供选用。按国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）制定的标准，标准热电偶有 8 种，详见表 2-2；非标准热电偶没有统一的分度表，一般用于特殊的场合。

另外，根据热电偶安装环境和场所的不同，热电偶还分为普通型、铠装型、薄膜型、表面型和浸入型等。

表 2-2 标准热电偶

热电偶名称	分度号	测温范围 / °C	特点	适用场合
铂铑 <sub>10</sub> -铂	S	0~1700	性能稳定，抗氧化，测温范围广，精度高，但线性度差，价格高	精密测量，有氧化性和惰性气体环境
铂铑 <sub>30</sub> -铂铑 <sub>6</sub>	B	0~1700	同上	测高温，不适宜还原性气体场合
镍铬-镍硅	K	-200~1300	测温范围广，热电动势大，线性度好，价格低廉，但稳定性较上两种差	中高温测量
镍铬-康铜	E	-200~1000	热电动势大，中低温稳定性好，价格低廉	中低温测量，有氧化性和惰性气体环境
铁-康铜	J	-200~1300	热电动势较大，价格低廉	多用于化工行业
铜-康铜	T	-200~400	精度高，价格低廉，但易氧化	低温测量
镍铬硅-镍硅	N	-200~1300	高温时稳定性和使用寿命比K型好，性能与S型接近，价格低廉	高温场合
铂铑 <sub>13</sub> -铂	R	0~1700	热电动势较大，与S型热电偶性能相近	与S型热电偶相同

## 2. 热电偶的测温原理

热电偶的测温原理是以热电效应为基础的。将两种不同的导体A和B，组成一个闭合回路，如图2-3所示，分别将两端置于不同的温度中，回路中就会产生热电动势，这种现象就是热电效应。由两个不同导体组成，并利用热电效应将温度转换为热电动势的传感元件，就是热电偶。

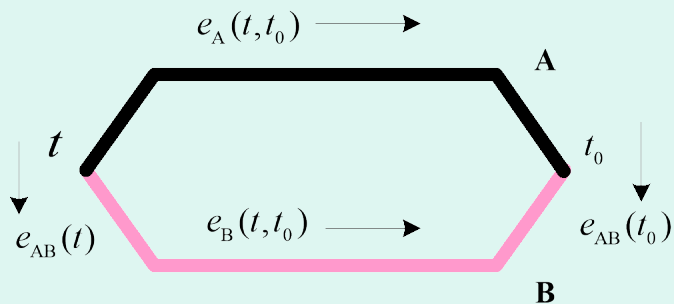


图2-3 热电偶热电效应

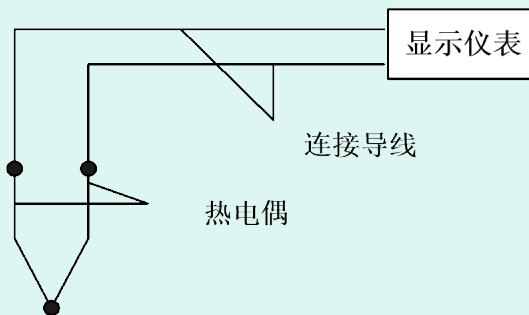


图2-4 热电偶测温示意图

将两根不同导体(或半导体)A、B组成闭合回路，且A和B的连接点分别置于不同温度场  $t$  和  $t_0$  (假设  $t > t_0$ )，左边温度高的接点称为热端，右边温度低的接点称为冷端。于是，回路中就会产生热电动势，它包括接触电动势 ([Contact Electromotive Force](#)) 和温差电动势 ([Thermal Electromotive Force](#))。

接触电动势产生于导体A和B的接触点上。由于材料不同，其电子密度也不一样(设  $N_A > N_B$ )，在两者的接触处就会有大量的自由电子扩散，扩散的结果是导体A因失去电子而带正电荷，导体B因得到电子而带负电荷。扩散的程度不仅与电子密度有关，而且还与温度有关。最后在A、B接触面上形成一个由A到B静电场，它阻止扩散继续进行。在确定的温度下，如果从A移到B的电子数，与从B移到A的电子数相同，则达到了一种动态平衡，此时A、B间形成的电位差即为

接触电动势，用  $e_{AB}(t)$  表示，其大小不仅与材料有关，而且与温度有关，温度越高，自由电子越活跃，接触电势越高。同理，在另一端有  $e_{AB}(t_0)$ 。

温差电动势产生于同一导体 A 或 B 的两端之间，这是因为两端的温度不同而产生的电动势，所以称为温差电动势。由于同一导体的两端温度不同，自由电子具有不同的能量，高温端电子能量大，向低温端扩散，于是高温端带正电，低温端带负电，形成一个由高温端指向低温端的静电场。于是在导体两端形成温差电动势  $e_A(t, t_0)$  和  $e_B(t, t_0)$ 。温差电动势大小与材料和两端的温度有关，但是与接触电动势比起来，它小很多，往往可以忽略不计。

于是，闭合回路热电偶的总电动势为

$$e_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_B(t, t_0) - e_{AB}(t_0) - e_A(t, t_0) \approx e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (2-1)$$

对于已选定的热电偶，当参考端温度  $t_0$  恒定时， $e_{AB}(t_0) = C$  为常数，则总的热电动势就只与温度  $t$  成单值函数关系，即

$$e_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - C = f(t)$$

这一关系式在实际测量中是很有用的，即只要测出  $e_{AB}(t, t_0)$  的大小，就能得到被测温度  $t$ 。

### 3. 热电偶的几条基本定律

#### 1) 均质导体定律 ([Homogeneous Conductor Law](#))

由两种均质导体组成的热电偶，其热电动势的大小只与两材料及两接点温度有关，与热电偶的尺寸大小、形状及沿电极各处的温度分布无关。如果材料不均匀，当导体上存在温度梯度时，将会有附加电动势产生。

## 2) 中间导体定律 (Middle Conductor Law)

在热电偶测温回路中接入第三种导体 (中间导体), 只要保证其两端温度相同, 则对热电偶的热电势没有影响。同理, 热电偶回路中接入多种导体后, 如果接入的每种导体两端温度相同, 则对热电偶的热电势没有影响。

热电偶的这一特性, 不但允许在其回路中接入电气测量仪表 (如图 2-4), 而且也允许采用任何焊接方法来焊接热电偶。

## 3) 中间温度定律 (Middle Temperature Law)

在热电偶测温回路中, 设  $t_c$  为热电极上某一点的温度 (中间温度), 热电偶 AB 在接点温度为  $t$ 、 $t_0$  时的热电势  $e_{AB}(t, t_0)$  等于热电偶 AB 在接点温度为  $t$ 、 $t_c$  和  $t_c$ 、 $t_0$  时的热电势  $e_{AB}(t, t_c)$  和  $e_{AB}(t_c, t_0)$  的代数和

$$e_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t, t_c) + e_{AB}(t_c, t_0)$$

根据这一定律, 设  $t_c = 0^\circ\text{C}$ , 则有

$$e_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t, 0) + e_{AB}(0, t_0) = e_{AB}(t, 0) - e_{AB}(t_0, 0)$$

$$e_{AB}(t, 0) = e_{AB}(t, t_0) + e_{AB}(t_0, 0) \quad (2-2)$$

如果给出冷端为  $0^\circ\text{C}$  时的热电势和温度的关系 (分度表), 由  $t_0$  可查得  $e_{AB}(t_0, 0)$  热电动势值, 若测得冷端为任意温度时的热电动势  $e_{AB}(t, t_0)$  则由式 (2-2) 可计算出  $e_{AB}(t, 0)$  再次查分度表获得所求温度  $t$ 。

#### 4. 热电偶的冷端补偿

在温度的实际测量中，处在同一地点的冷端温度常常并不是一成不变的。比如，室外某一地点，中午的温度与午夜的温度往往相差很大， $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之差不足为奇。另外，如果冷端距热源较近，温度波动也较大，这些都会给温度的测量带来误差。为了减小误差，人们想了许多方法，采用热电偶冷端补偿就是其中一类。下面仅就其中的补偿电桥法和计算校正法加以介绍。

##### 1) 补偿电桥法

图 2-5 为补偿电桥，其中  $R_1$ 、 $R_2$  为阻值恒定的锰铜电阻， $R_p$  为可调电阻， $R_{Cu}$  为铜电阻，其阻值随温度的变化而变化， $E$  为桥路直流稳压电源， $R$  为电源内阻。所有电阻与热电偶冷端处在同一环境温度下，通过调整使电桥在  $t_0$ （例如  $0^{\circ}\text{C}$ ）时， $U_{ab} = 0$ 。当热电偶冷端温度  $t_0$  升高时， $R_{Cu}$  也随着增大， $U_{ab}$  也增大，但热电偶的热电动势  $e_x$  随着冷端温度的升高而减小，如果  $U_{ab}$  的增加量与热电动势的减小量相等时，则总输出值  $U_{cb}$  不变，即  $U_{cb} = e_x(t, t_0) + U_{ab}$  不随温度而变化。

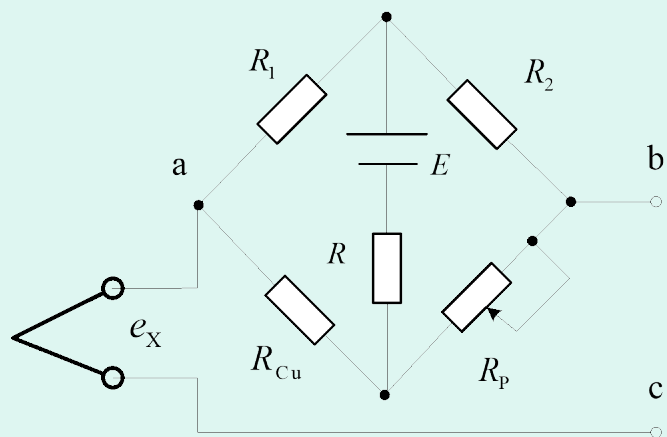


图 2-5 热电偶冷端补偿电桥电路

## 2) 计算校正法

如果冷端温度  $t_0$  变化, 可利用另一只温度计测得实时冷端温度  $t_0$ , 并利用分度表查得  $e(t_0, 0)$ , 然后根据测得的热电动势  $e(t, t_0)$  利用中间温度定律, 即式 (2-2) 有

$$e(t, 0) = e(t, t_0) + e(t_0, 0)$$

最后, 根据求得的  $e(t, 0)$  再次查分度表, 即可得被测温度  $t$ 。

**例 2-1** 用镍铬-镍硅 (K型) 热电偶测炉温, 当车间空气温度为  $40^\circ\text{C}$  时, 置于炉内的热电偶测得热电动势为  $35.72\text{mV}$ , 试求炉温为多少?

解: 由题意知  $t_0 = 40^\circ\text{C}$ , 且有  $e(t, 40^\circ\text{C}) = 35.72\text{mV}$ 。另外, 查阅 K 型热电偶分度表 (见附录 3), 可得:  $e(40^\circ\text{C}, 0) = 1.61\text{mV}$ 。

由式 (2-2) 有

$$e(t, 0) = e(t, 40^\circ\text{C}) + e(40^\circ\text{C}, 0) = 35.72 + 1.61 = 37.33\text{mV}$$

再查 K 型热电偶分度表, 得到:  $t = 900^\circ\text{C}$ , 即炉温为  $900^\circ\text{C}$ 。

### 2.2.3 热电阻

利用金属导体或半导体的阻值随温度变化来实现温度测量的传感元件是热电阻。它分为金属热电阻和半导体热电阻。热电阻具有如下特点:

- 1) 热电阻测量的是一定空间温度的平均值, 而不像热电偶是一点的温度值, 它具有热惯性大, 不适合用于温度快速变化的场合;
- 2) 温度引起热电阻阻值变化, 须通过一定的方法将这种阻值的变化转化为电流或电压的

变化，如电桥电路，然后再输出；

3) 热电阻适合测量中、低温区的温度 (< 500℃)，并且具有精度高、性能稳定、灵敏度高、可实现远距离传送特点；

通常用来温度系数来描述热电阻阻值随温度变化的大小，表示为

$$\alpha = \frac{R_t - R_{t_0}}{R_{t_0}(t - t_0)} = \frac{\Delta R}{R_{t_0} \Delta t}$$

其中， $R_{t_0}$  和  $R_t$  分别为温度为  $t_0$ 、 $t$  时热电阻的电阻值。

电阻温度系数  $\alpha$  描述的是温度每变化 1℃，热电阻阻值的相对变化量。对于金属热电阻而言，一般有  $\alpha \geq 0$ ，即随着温度的升高，阻值增加；对半导体热电阻而言，可正可负，并且线性度不是很好。

### 1. 金属热电阻

#### A. 金属热电阻的类型

一般来说，要求选作热电阻的金属材料具有这些特点：电阻温度系数大，以提高对温度的敏感程度；电阻值与温度之间有线性关系；热电阻具有较好的耐热性和化学稳定性。目前工业上常用的金属热电阻主要有：铂 (Pt) 电阻、铜 (Cu) 电阻和镍 (Ni) 电阻等，具体分度号和度量范围见表 2-3。

表 2-3 常用金属热电阻

材质	铂		铜		镍		
分度号	Pt10	Pt100	Cu50	Cu100	Ni100	Ni300	Ni500
测温范围/℃	0~850	-200~850	-50~150		-60~180		



铂电阻：由贵金属铂构成，具有精度高、稳定性好、测量范围宽等特点。但是，它价格较贵，温度系数小、温度与阻值之间呈弱非线性关系。阻值与温度关系为

$$R_t = \begin{cases} R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3) & -200^\circ\text{C} \leq t < 0^\circ\text{C} \\ R_0 (1 + At + Bt^2) & 0^\circ\text{C} \leq t \leq 850^\circ\text{C} \end{cases}$$

其中， $A = 3.90802 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ， $B = -5.802 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ， $C = -4.2735 \times 10^{-12} / ^\circ\text{C}$ ， $R_t$ 、 $R_0$  是温度分别为  $t$  和  $0$  时的电阻值。

常见的铂电阻是以云母片或石英玻璃柱作骨架，将直径为  $0.03 \sim 0.07\text{mm}$  的铂丝用双线法绕在骨架上，以消除电感，铂丝两端与银丝焊接后引至接线端处。

铜电阻：具有较高的温度系数，温度与电阻值之间为线性关系，价格比铂电阻便宜。但是，铜熔点低、易氧化、电阻率小、热惯性大，测量范围不宽。常见的铜电阻是用直径为  $0.1\text{mm}$  的绝缘铜线，用无感双线绕法分层绕在圆柱形塑料骨架上，由于电阻率低，所以最后绕好的铜电阻体积较大。

当温度为  $-50 \sim 150^\circ\text{C}$  时，有关系式

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

其中， $\alpha = (4.25 : 4.29) \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ， $R_t$ 、 $R_0$  是温度分别为  $t^\circ\text{C}$  和  $0^\circ\text{C}$  时的电阻值。

### B. 工业金属热电阻的结构与接线

工业金属热电阻的结构如图 2-6 所示，其中 1 为接线盒，2 为保护套管，3 为绝缘管，4 为引线，5 为电阻丝，6 为绝缘骨架。它由感温器件（热电阻丝）、绝缘体、保护套管和接线盒组成。热电阻丝先进行中间对折，然后双线绕在玻璃或陶瓷构建的绝缘骨架上。丝的末端与引线相连

并连至接线盒。金属热电阻与外部电路的连接有两线制、三线制和四线制几种。工业上通常采用三线接线法与电桥相连，以实现将电阻变化转化为电压或电流变化。在图 2-7 中，热电阻用三根导线引出，一根与电源相连，另两根与电桥的两臂相接。

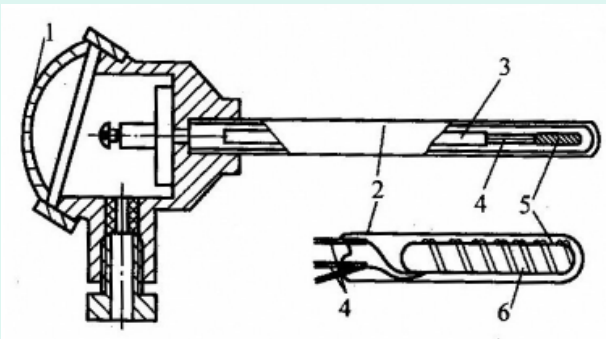


图 2-6 工业金属热电阻结构示意图

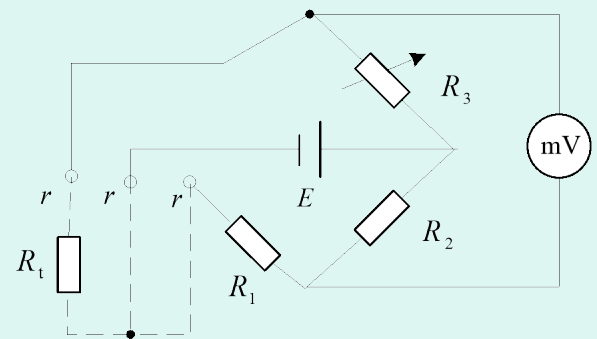


图 2-7 热电阻的三线制接法

## 2. 半导体热敏电阻

半导体热敏电阻是将一些金属氧化物按一定比例混合，压制和烧结而成的，它利用其电阻值随温度变化的特性来测量温度。它具有温度系数大、热惯性小、响应快等优点，但是其稳定性和互换性不够好，一般用于家电和汽车等行业的温度测量。

根据材料和制造工艺的不同，有三种不同类型的半导体热敏电阻：负温度系数（Negative Temperature Coefficient, NTC）热敏电阻、正温度系数（Positive Temperature Coefficient, PTC）热敏电阻和临界温度系数（Critical Temperature Coefficient, CTC）热敏电阻。其热敏电阻的温阻特性如图 2-8 所示。负温度系数的热敏电阻主要用于测量温度，测温范围大约在  $-50\sim 300^{\circ}\text{C}$  之间，但存在非线性。其他两类热敏电阻在某个温度段内，阻值变化剧烈——急剧上升或下降，利用其特性，可制成温度开关元件。

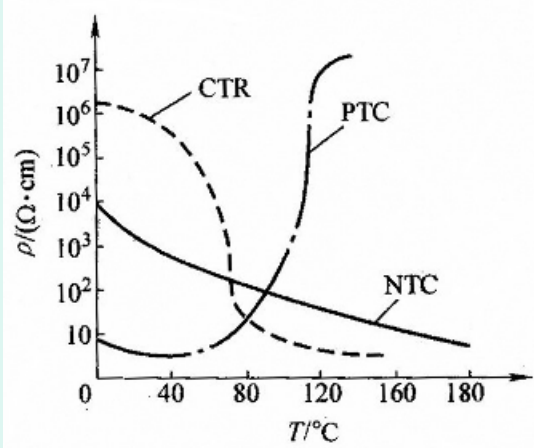
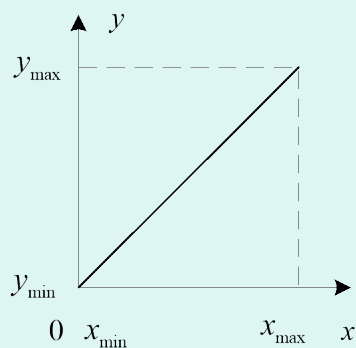


图 2-8 半导体热敏电阻温阻特性

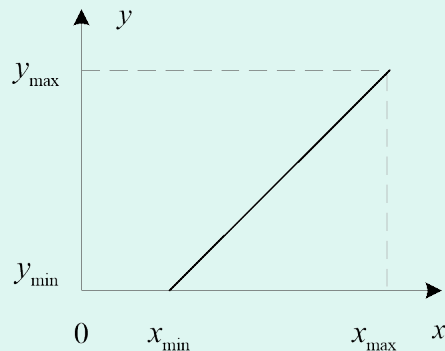
## 2.2.4 温度变送器

变送器（Transmitter）是一种将被测过程参数变换为标准电信号的仪表，它是电动单元组合仪表（DDZ仪表）的主要品种之一。DDZ仪表有II型和III型之分，II型为早期版本，它采用晶体管等分立元件，标准信号为 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流（或 $0\sim 5\text{V}$ 直流电压）；III型为当今版本，它选用集成电路，标准信号为 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流，或者 $1\sim 5\text{V}$ 直流电压。

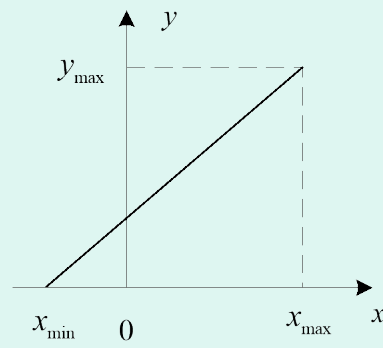
从仪表使用来看，变送器涉及零点调整和零点迁移，以及量程调整的问题。变送器零点调整和零点迁移的目的是要使变送器输出的下限值  $y_{\min}$ （III型仪表为 $4\text{mA}$ 直流电流）与测量值的下限值  $x_{\min}$  相对应。当  $x_{\min} = 0$  时，若  $y_{\min} \neq 4 \text{ mA}$  直流电流，则需进行零点调整，使其为  $4\text{mA}$  直流电流；当  $x_{\min} \neq 0$ ，若  $y \neq y_{\min}$  ( $4\text{mA}$ 直流)，则需进行零点迁移，即将测量起始点由原来的零迁移到某一正值或负值。测量起始点由零迁为某一正值，则称其为正迁移；测量起始点由零迁为某负值，则称为负迁移。变送器零点迁移之后，输入输出特性仅仅沿x轴方向向左或右平移一段距离，其斜率并无变化，如图 2-9 所示。



(a) 未迁移



(b) 正迁移



(c) 负迁移

图 2-9 变送器零点迁移

量程调整也称满度调整，它是使变送器输出信号的上限  $y_{\max}$  (III型仪表为 20mA 电流) 与被测值的上限  $x_{\max}$  相对应，量程调整相当于改变变送器输入输出特性的斜率。如图 2-10。

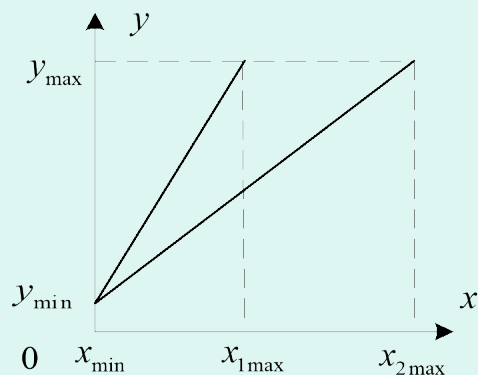


图 2-10 变送器量程调整前后输入输出特性

温度变送器的功能是将热电偶或热电阻的输出电信号经过放大和线性化等处理后，变为标准的电信号输出。温度变送器从信号制式上说，有模拟式和数字式之分。模拟式温度变送器由模拟电路和器件组成，输出也为模拟信号，目前广泛使用的 DDZ-III 型温度变送器就属于这类；数字式温度变送器是一类新型变送器，它采用了微处理器技术，具有滤波、放大、转换、补偿等多种信号处理功能，输出既可是模拟信号，又可为数字信号。此处仅讨论模拟变送器。

## 1. DDZ-III型温度变送器

该型温度变送器的特点是：采用线性集成电路，提高了仪表的可靠性、稳定性；根据需要，采用线性化方法，使输出与输入之间呈线性关系；采取安全火花防爆措施，产品可用于危险场所。

目前被广泛使用的模拟式温度变送器，其结构如图 2-11 所示。从功能上说，它由量程单元和放大单元两部分组成。量程单元可接受来自热电偶、热电阻或直流毫伏输入三种信号的输入，其主要功能是将来自温度传感器的毫伏信号和反馈信号进行叠加，并送往放大单元，调整电路用于热电偶冷端补偿、热电阻三线接入、零点迁移或量程调整等；放大单元进行电压放大和功率放大，隔离后输出标准的电流或电压信号，该单元具有通用性。各部分工作电源采用了安全防爆措施（这部分内容将在第 4 章详细介绍），以便温度检测变送器可用于多种危险生产场所。图 2-11 中的虚线表示供电回路，实线为检测信号回路。

## 2. 量程单元

通常见到的量程单元有直流毫伏量程单元、热电偶量程单元和热电阻量程单元等，它们分别连接不同的转换元件，并将其输入信号和反馈信号传送至放大单元。

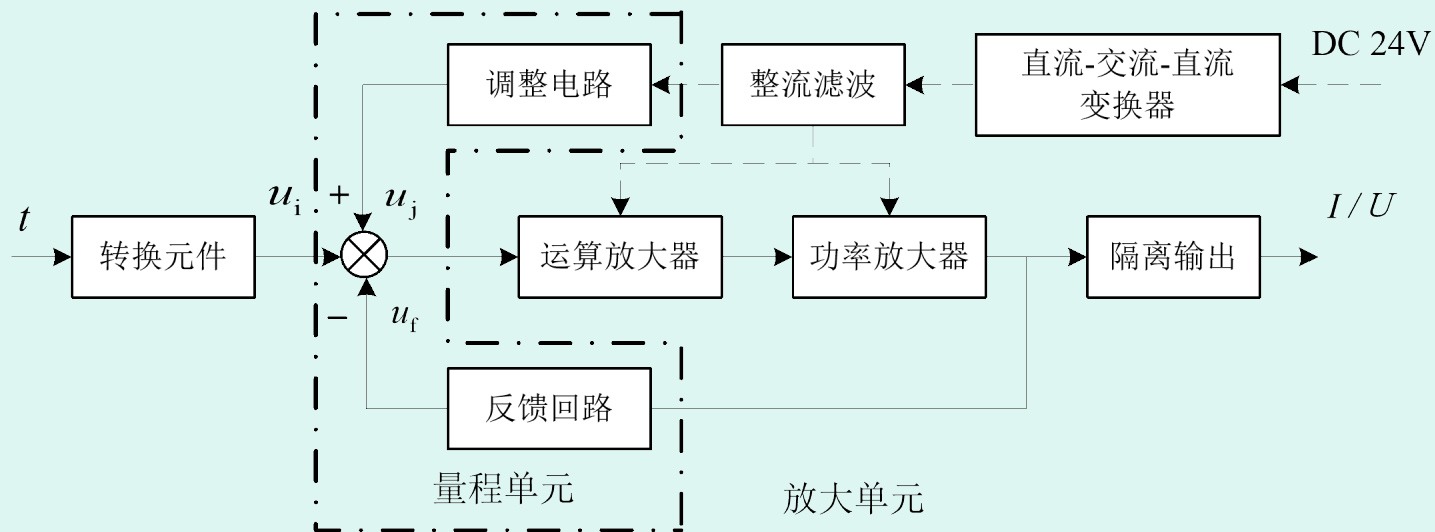


图 2-11 温度变送器结构方框图

### 1) 直流毫伏量程单元

图 2-12 为直流毫伏量程单元电路图，它由三部分组成：输入电路、零点调整迁移电路和反馈电路。

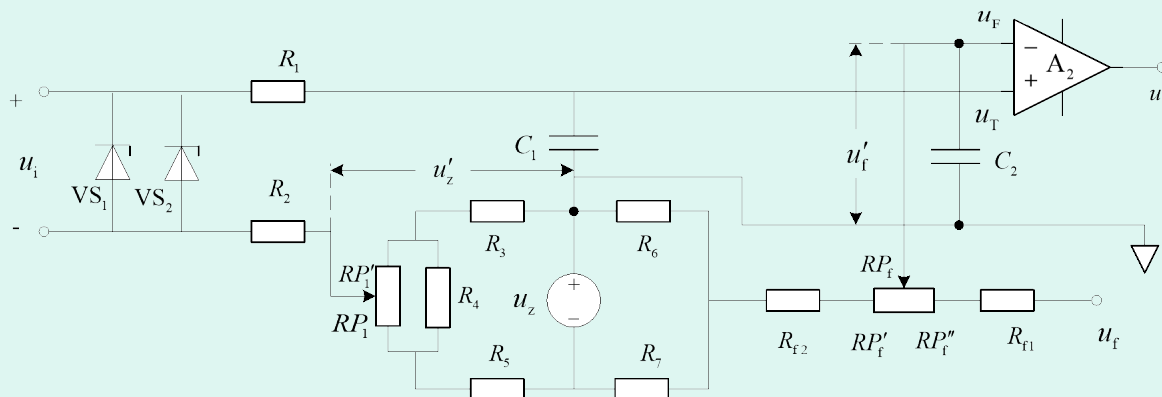


图 2-12 直流毫伏量程单元电路

输入电路由  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $C_1$ 、稳压管VS1和VS2等组成，它的功能是滤波和限能。 $R_1$ 、 $R_2$ 和  $C_1$ 组成低通滤波器，去除由毫伏输入信号  $u_i$  传来的交流成分，减少交流干扰。稳压管VS1和VS2起限压作用，即当输入端出现高压，并超过稳压管的稳压范围时，它们便导通，起限幅作用，图中用两个稳压管的目的是增强可靠性。

零点调整迁移电路由  $RP_1$ 、 $R_3 \sim R_7$  等组成，其功能是实现零点迁移。随着电位器  $RP_1$  活动臂的移动，滑动点对地的电位为  $u'_z$ ，它与输入信号  $u_i$  叠加后，送至集成运算放大器的同相输入端  $u_T$ 。

反馈电路由  $R_{f1}$ 、 $R_{f2}$  电位器  $RP_f$  和  $C_2$  等组成，其功能是与放大单元一起构成闭环负反馈，当输入一定时，输出稳定。该反馈部分将放大单元的输出信号经隔离后（为  $u_f$ ），反馈至桥式电路，并经  $RP_f$  的滑动臂分压后变为  $u'_f$ ，送至集成运算放大器的反相输入端  $u_F$ 。

下面具体看看输出与输入  $u_i$  和电桥电源  $u_z$  的关系。

设计电路，使其满足下列条件

$$R_5 = R_3 + RP_1 // R_4, \quad R_5 = R_7, \quad R_7 = R_6, \quad R_1 = R_2 + RP_f$$

由叠加原理和电路定理，有

$$u_F = \frac{R_6 + R_{f2} + RP'_f}{R_6 + R_{f2} + RP_f + R_{f1}} u_f + \frac{R_6}{R_5} u_z \quad (2-3)$$

$$u_T = u_i + \frac{R_3 + RP'_1}{R_5} u_z \quad (2-4)$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/198111056045006052>