

第4章 热电式传感器

- 1 4.1 热电偶
- 2 4.2 热电阻传感器
- 3 4.3 热敏电阻
- 4 4.4 集成温度传感器
- 5 4.5 热电式传感器的应用





概述

热电式传感器是一种将温度变化转换为电量变化的装置。它利用传感元件的电磁参数随温度变化的特征来达到测量的目的。通常将被测温度转换为敏感元件的电阻、磁导或电势等的变化，通过适当的测量电路，就可由电压、电流这些电参数的变化来表达所测温度的变化。

- ◆将温度转换为电势大小的热电式传感器叫热电偶；
- ◆将温度转换为电阻值大小的热电式传感器叫做热电阻。





4.1 热电阻测温传感器

热电偶是工程上应用最广泛的温度传感器。它构造简单，使用方便，具有较高的准确度、稳定性及复现性，温度测量范围宽，在温度测量中占有重要的地位。



4.1 热电阻测温传感器

4.1.1 热电效应

- ◆ 两种不同的金属A和B构成如图4-1所示的闭合回路，如果将它们的一个接点中的一个进行加热，使其温度为 T ，而另一点置于室温 T_0 中，则在回路中会产生热电势，用 $E_{AB}(T, T_0)$ 来表示，这一现象称为热电效应。

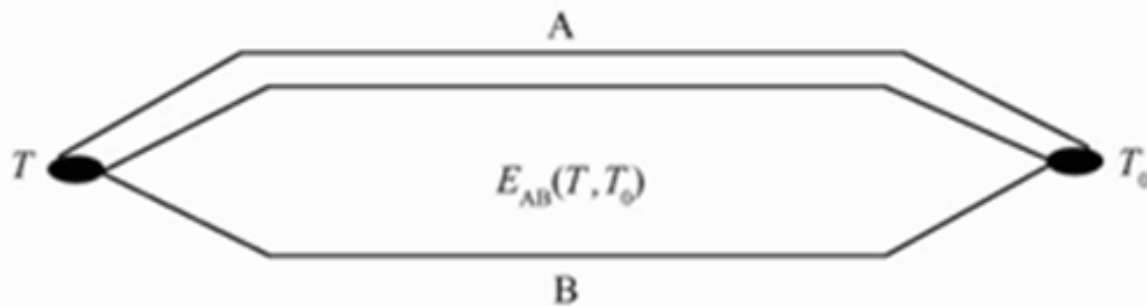


图4-1 热电效应原理图



4.1 热电阻测温传感器

- ◆ 通常把两种不同金属的这种组合叫做热电偶，A、B 叫做热电极，温度高的接点叫做热端或工作端，而温度低的接点叫做冷端或自由端。
- ◆ 由理论分析知道，热电效应产生的热电势是由接触电势和温差电势两部分组成。
 - $R_t = R_0[1 + \alpha(t - t_0)]$ (4.1-1)
 - 式中 R_t ——温度 t 时的电阻值 (Ω) ;
 - R_0 ——温度 t_0 时电阻值 (Ω) ;
 - α ——热电阻的电阻温度系数 ($1/^\circ\text{C}$) ，表示单位温度引起的电阻对变化。





4.1 热电阻测温传感器

◆ 电阻灵敏度为

$$K = \frac{1}{R_0} \bullet \frac{dR_t}{dt} = \alpha$$

金属的电阻温度系数 α 一般在 $(0.3\% \sim 0.6\%) / ^\circ\text{C}$ 之间。绝大多数金属导体的电阻温度系数 α 并不是一个常数，它随温度的变化而变化，只能在一定的温度范围内将其看成是一个常数。

根据热电阻的电阻、温度特性不同，可分为金属热电阻和半导体热敏电阻两大类。





4.1 热电阻测温传感器

4.1.1 金属热电阻

1、电阻材料特性要求

- 用于金属热电阻的材料应该满足以下条件：
 - 电阻温度系数 α 要大且保持常数；
 - 电阻率 ρ 要大，以减少热电阻的体积，减小热惯性；
 - 在使用温度范围内，材料的物理、化学特性要保持稳定；
 - 生产成本要低，工艺实现要容易。
- 常用的金属材料有：铂、铜、镍等。





4.1 热电阻测温传感器

- 2 铂热电阻
- 铂热电阻是最佳的热电阻。其优点包括：物理、化学性能非常稳定，特别是抗氧化能力很强，在很宽的温度范围内（ 1200°C 以下）都能保持上述特性；电阻率较高，易于加工，可以制成非常薄的铂箔和极细的铂丝等。其缺点主要是：电阻温度系数较小，成本较高，在还原性介质中易变脆等。





4.1 热电阻测温传感器

- 在实际应用中，可以利用如下模型来描述铂热电阻与温度之间的关系，即

- 在 $-200\sim 0^{\circ}\text{C}$ ：

- $$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3] \quad (4.1-5)$$

- 在 $0\sim 850^{\circ}\text{C}$ ：

- $$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$



4.1 热电阻测温传感器

- $$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (4.1-6)$$
- 式中 R_t ——温度为t时铂热电阻的电阻值 (Ω)
- R_0 ——温度为0°C时铂热电阻的电阻值 (Ω)
- 系数A, B, C分别为 $A=3.96847 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,
- $B=-5.847 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$, $C=-4.22 \times 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$ 。
- 目前,我国常用的标准化铂热电阻按分度号有,它们相应地记为Pt50,Pt100和Pt300。有关技术指标如表4.1.1所列。

4.1 热电阻测温传感器

表 4.1.1 常用的标准化铂热电阻技术特性表

分度号	R_0 / Ω	R_{100} / R_0	精度等级	R_0 允许的误差 / (%)	最大允许的误差 / °C
B_{A1} (Pt50)	46.0 (50.00)	1.391 ± 0.0007	I	± 0.05	对于 I 级精度 $-200 \sim 0^\circ\text{C}$ $\pm (0.15 + 4.5 \times 10^{-4} t)$ $\pm (0.15 + 3 \times 10^{-4} t)$ 对于 II 级精度 $-200 \sim 0^\circ\text{C}$ $\pm (0.3 + 6 \times 10^{-4} t)$ $0 \sim 500^\circ\text{C}$ $\pm (0.3 + 4.5 \times 10^{-4} t)$
		1.391 ± 0.001	II	± 0.1	
B_{A2} (Pt100)	100.00	1.391 ± 0.0007	I	± 0.05	
		1.391 ± 0.001	II	± 0.1	
B_{A3} (Pt300)	300.00	1.391 ± 0.001	II	± 0.1	



4.1 热电阻测温传感器

- 3. 铜热电阻

- 铜热电阻也是一种常用的热电阻。由于铂热电阻价格高，通常在一些测量精度要求不高而且测量温度较低の場合（如 $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ ），普遍采用铜热电阻。其电阻温度系数较铂热电阻高。容易提纯，价格低廉。其最主要的缺点是电阻率较小，约为铂热电阻的 $1/5.8$ ，因而铜热电阻的电阻丝细而且长，机械强度较低，体积较大。此外铜热电阻易被氧化，不宜在侵蚀性介质中使用。





4.1 热电阻测温传感器

- 温度在 $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内，铜热电阻与温度之间的关系如下：
 - $$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^3) \quad (4.1-7)$$
 - 式中 R_t ——温度为 t 时铜热电阻的电阻值 (Ω) ；
 - R_0 ——温度为 0°C 时铜热电阻的电阻值 (Ω) 。
 - 系数 A ， B ， C 分别为 $A = 4.28899 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，
 $B = -2.133 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$ ， $C = 1.233 \times 10^{-9} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-3}$ 。



4.1 热电阻测温传感器

- 4. 热电阻的结构
- 热电阻主要由不同材料的电阻丝绕制而成。为了避免通过交流电时产生感抗，或有交变磁场时产生感应电动势，在绕制热电阻时要采用双线无感绕制法。



图4.1-1 铜热电阻结构示意图



图4.1-2 铂热电阻示意图

4.1 热电阻测温传感器

- 4.1.2 热电阻测温传感器
- 半导体热敏电阻是利用半导体材料的电阻率随温度变化的性质而制成的温度敏感元件，半导体和金属具有完全不同的导电机理。
-

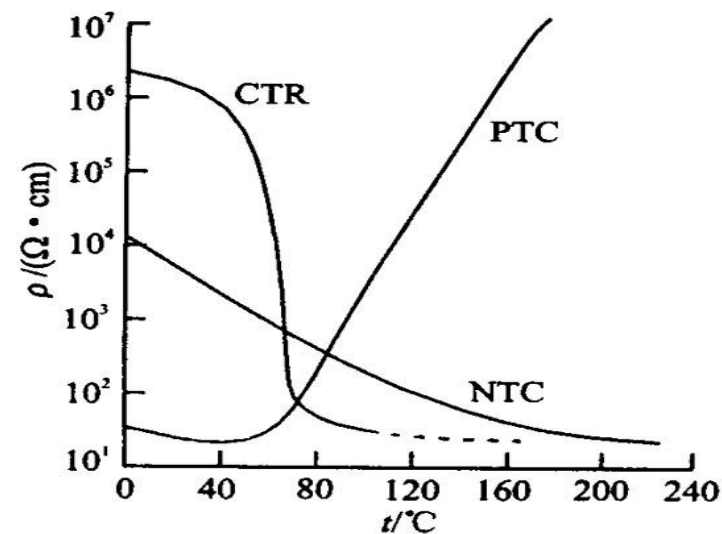


图4.1-3 半导体热敏电阻的温度特性曲线



4.1 热电阻测温传感器

- 1、半导体热敏电阻的类型
- 半导体热敏电阻随温度变化的典型特性有三种类型，即负温度系数热敏电阻NTC（Negative Temperature Coefficient）、正温度系数热敏电阻PTC（Positive Temperature Coefficient）和在某一特定温度下电阻值发生突然变化的临界温度电阻器CTR（Critical Temperature Resistor）。它们的特性曲线如图4.1-3所示。





4.1 热电阻测温传感器

- 2. 半导体热敏电阻的热电特性
- NTC热敏电阻的阻值与温度的关系近似符合指数规律，可以写为

$$R_t = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} = R_0 \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right]$$

- 式中 T —被测温度 (K) , $T=t+273.16$
- T_0 —参考温度 (K) , $T_0=t_0+273.16$
- R_t —温度 T (K) 时热敏电阻的电阻值 (Ω) ;
- R_0 —温度 T_0 (K) 时热敏电阻的电阻值 (Ω)





4.1 热电阻测温传感器

- B—热敏电阻的材料常数 (K) ，通常由实验获得，一般在2000~6000K。
- 热敏电阻的温度系数定义为温度变化1K时其自身电阻值的相对变化量，即

$$\alpha_T = \frac{1}{R_T} \bullet \frac{dR_T}{dT} = \frac{-B}{T^2}$$



4.1 热电阻测温传感器

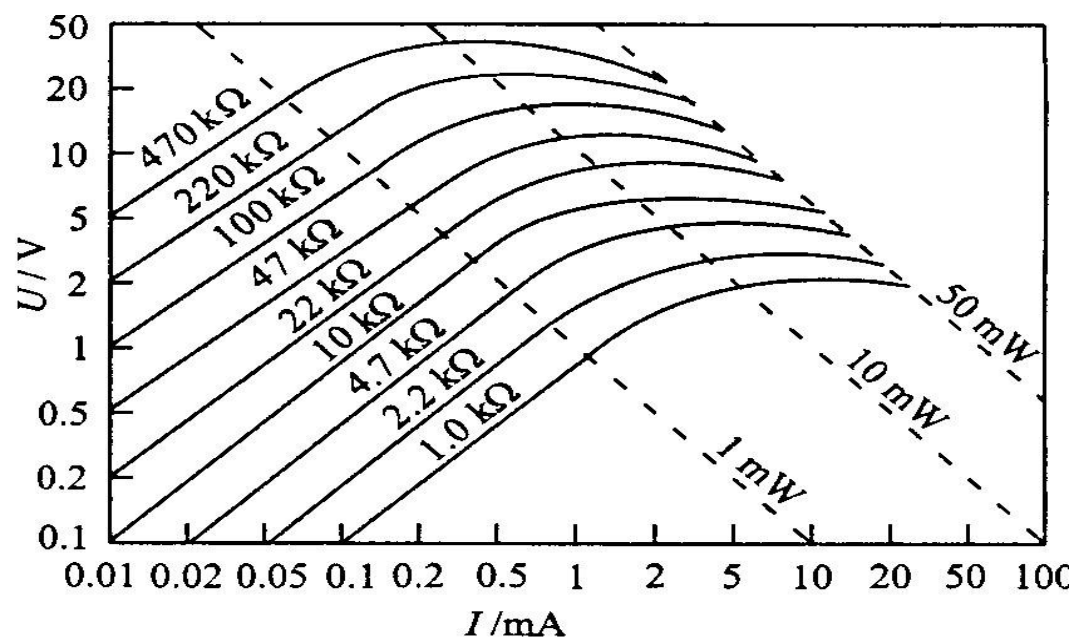
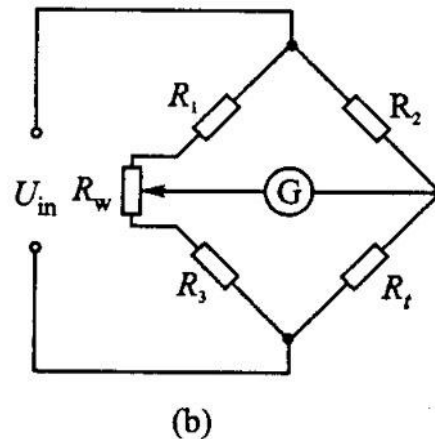
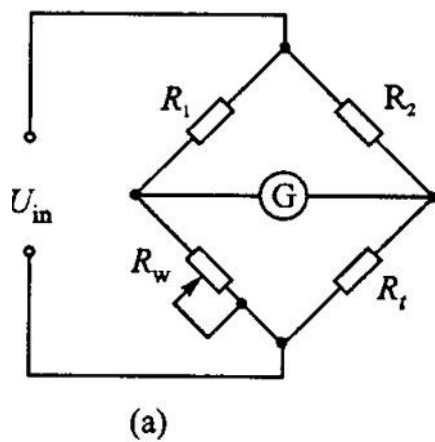


图4.1-4 热敏电阻的典型伏安特性

4.1 热电阻测温传感器

- 4.1.3 测温电桥电路



- 图4.1.5为平衡电桥电路原理示意图，常值电阻 $R_1=R_2=R_0$ 。





4.1 热电阻测温传感器

- 当热电阻 R_t 的阻值随温度变化时，调节电位器 R_W 的电刷位置 x ,就可以使电桥处于平衡状态。

$$R_t = \frac{x}{L} R_0$$

- 式中
- L ——电位器的有效的长度 (m) ; R_0 ——电位器的总电阻 (Ω)
- 这种电路的特点是：通过人工调节电位器 R_w ,抗扰性强，不受电桥工作电压的影响；主要用于静态测量。



4.1 热电阻测温传感器

- 2. 不平衡电桥电路
- 图4.1.6不平衡电桥输出电路
- 原理示意图，常值电阻 $R_1=R_2=R_3=R_0$ 。初始温度 t_0 时，热电阻 R_t 阻值为 R_0 ，电桥处于平衡状态，输出电压为零。当温度变化时，热电阻 $R_t \neq R_0$ ，电桥处于不平衡状态，输出电压为

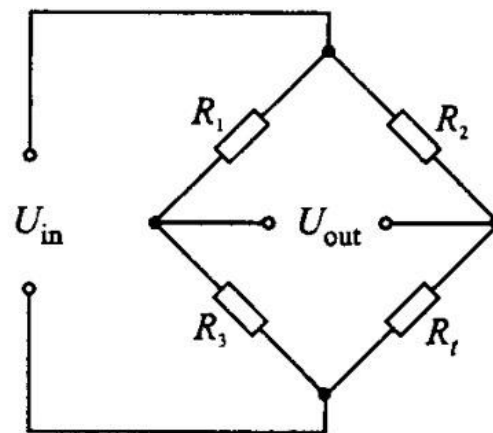


图 4.1.6 不平衡电桥电路原理示意图



4.1 热电阻测温传感器

$$U_{out} = \frac{\Delta R_t}{2(2R_0 + \Delta R_t)} U_{in}$$

- 式中 U_{in} ——电桥的工作电压 (V) ；
- U_{out} ——电桥的输出电压 (V) ；
- ΔR_t ——热电阻的变化量 (Ω) 。
- 这种电路的特点是：快速，小范围线性，易受电桥工作电压的干扰。





4.1 热电阻测温传感器

- 图4.1.7为自动平衡电桥电路原理示意图， R_t 为热电阻， R_1 ， R_2 ， R_3 ， R_4 为常值电阻， R_L 为连线调整电阻， R_W 为电位器； A 为差分放大器， M 为伺服电机。电桥始终处于自动平衡状态。当被测温度变化时，差分放大器 A 的输出不为零，使伺服电机带动电位器 R_W 的电刷移动，直到电桥重新自动处于平衡状态。
- 这种电路的特点是：测温系统引入了负反馈，复杂，成本高。当然，该测温系统也具有测量快速、线性范围大和抗干扰能力强等优点。



4.1 热电阻测温传感器

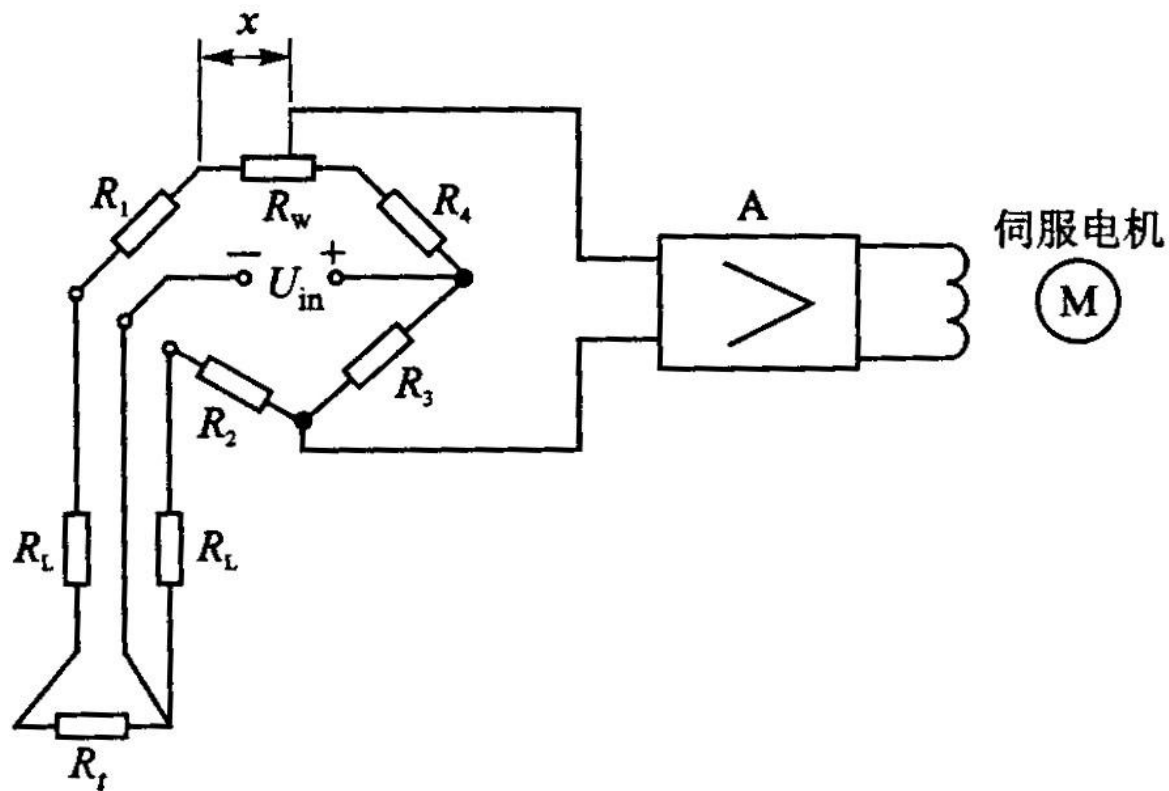


图4.1-7 自动平衡点桥电路原理示意图



4.2 热电偶测温

- 热电偶 (thermocouple) 在温度测量中应用极为广泛, 因为它具有构造简单、使用方便、准确度高和温度测量范围宽等特点。常用的热电偶可测温度范围为 $-50\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 。若配用特殊材料, 其温度范围可扩大为 $-180\sim 2800^{\circ}\text{C}$ 。
- 4.2.1 热电偶的工作原理
- 将两种不同成分的导体组成一个闭合回路, 如图4.2-1, 当闭合回路的两个接点分别置于不同的温度场中, 回路中产生一个方向和大小与导体的材料及两



4.2 热电偶测温

- 接点的温度有关的电动势，这种效应称为“热电效应”。这两种导体称为“热电极”，产生的电路势称为“热电动势”。

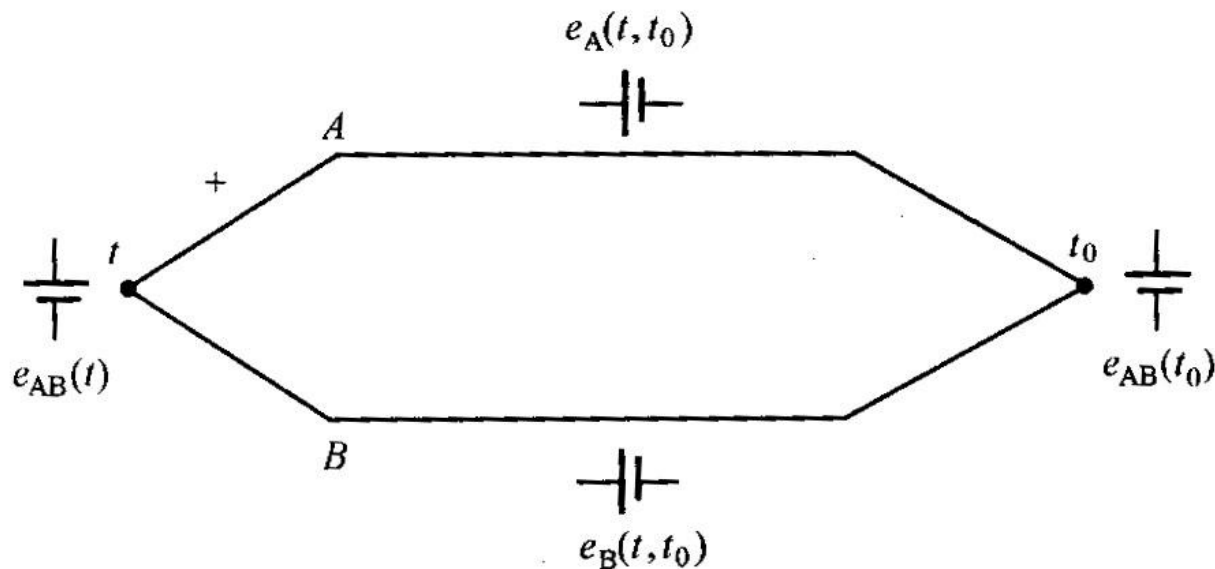


图4.2-1 热电偶回路



4.2 热电偶测温

- 热电路的热电动势由两部分组成，一部分是两种导体的接触电动势，另一部分是单一导体的温差电动势。
- 热电偶由温差产生的热电势是随介质变化而变化的，其关系为

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

式中，

$E_{AB}(t, t_0)$ 为热电偶的热电动势；

$e_{AB}(t)$ 是温度为 t 时工作端 T 的热电势；

$e_{AB}(t_0)$ 是温度为 t_0 时自由端 T_0 的热电势。





4.2 热电偶测温

- 综上所述，热电动势的大小只与材料和接点温度有关，与热电偶的尺寸、形状及沿电板温度分布无关。如果冷端温度固定，则热电偶的热电势就是被测温度的单值函数：

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t)$$

- 这样，当冷端温度恒定，热电偶产生的热电动势只随热端（工作端T）温度的变化而变化，一定的热电动势对应着一定的温度。





4.2 热电偶测温

- 4.2.2 热电偶的基本定律
- (1) 匀质导体定律。由一种匀质导体组成的闭合回路，不论导体的截面和长度如何，都不能产生热电势。
- (2) 中间导体定律。在热电偶回路中接入第三种导体，只要第三种导体的两接点温度相同，则回路总的热电动势不变。





4.2 热电偶测温

- (3) 标准电极定律。如果两种导体分别与第三种导体组成的热电偶所产生的热电动势已知，则由这两种导体组成的热电偶所产生的热电动势也就已知，这个定律就称为标准电极定律。

$$E_{AC}(t, t_0) = e_{AC}(t) - e_{AC}(t_0)$$

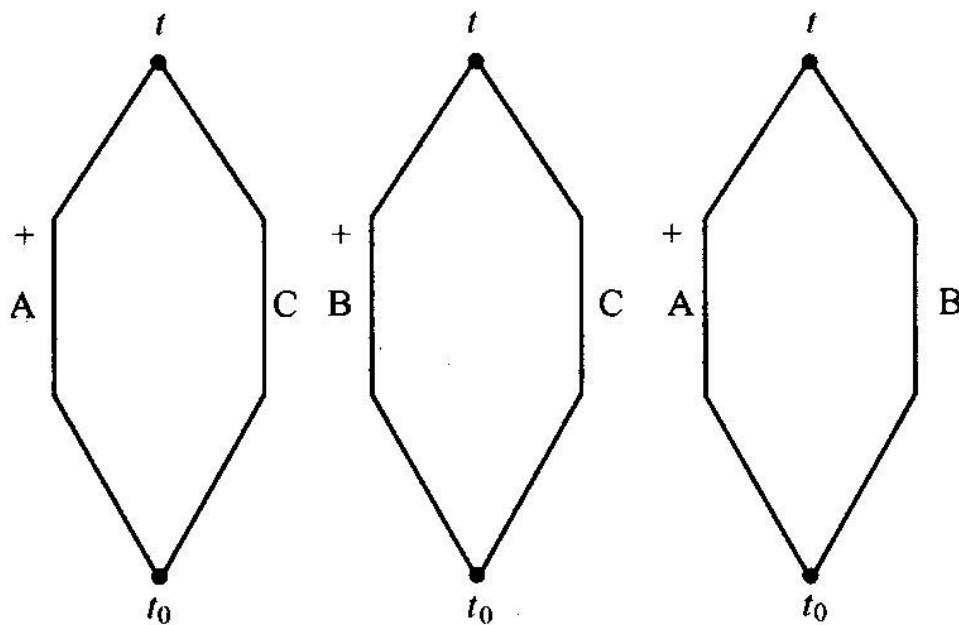
$$E_{BC}(t, t_0) = e_{BC}(t) - e_{BC}(t_0)$$



4.2 热电偶测温

- 那么，导体A与B组成的热电偶热电动势为：

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AC}(t, t_0) - E_{BC}(t, t_0)$$



三种导体分别组成的热电偶





4.2 热电偶测温

- (4) 中间温度定律。热电偶在两接点温度 t 、 t_0 时的热电动势等于该热电偶在接点温度 t 、 t_n 和 t_n 、 t_0 时的相应热电动势的代数和，这个定律称为中间温度定律，即：

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AC}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, t_0)$$

- 中间温度定律为补偿导线的使用提供了理论基础。它表明热电偶的两电极被两根导体延长，只要接入的两导体组成的热电偶的热电特性与





4.2 热电偶测温

- 被延长的热电偶的热电特性相同，且它们之间连接的两点温度相同，则总回路的热电动势与连接点温度无关，只与延长以后的热电偶两端的温度有关。
- 4.2.3 热电偶的材料与结构
- (1) 热电偶的材料。虽然金属都有热电效应，但在实际应用中，不是所有的金属都可以作为热电偶的。作为热电偶回路电极的金属导体应具备以下几个特点：





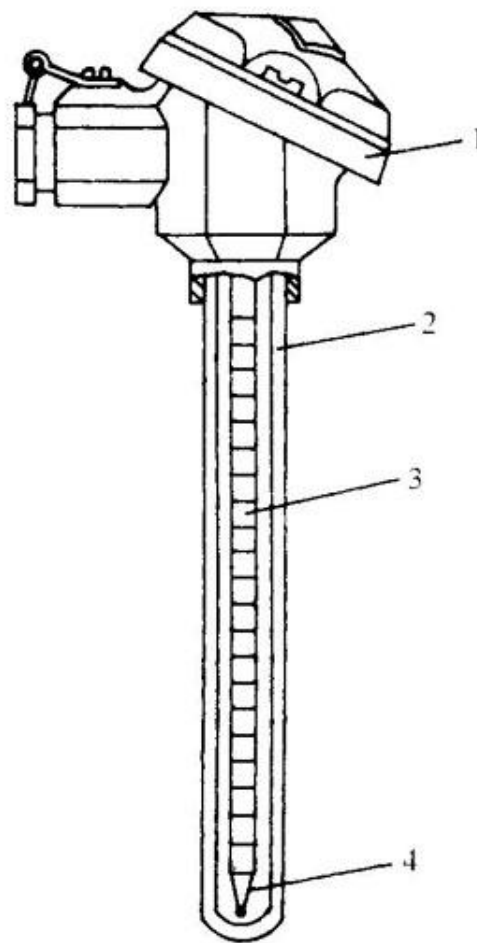
4.2 热电偶测温

- ① 配对的热电偶应有较大的热电势，并且热电势与温度尽可能有良好的线性关系。
- ② 能在较宽的温度范围内应用，并且在长时间工作后，不会发生明显的化学及物理性能的变化。
- ③ 温度系数小，电导率高。
- ④ 易于复制，工艺性与互换性好，便于制定统一的分度表，材料要有一定的韧性，焊接性能好，以利于制作。



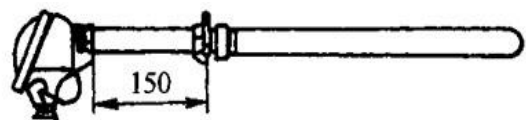
4.2 热电偶测温

- (2) 热电偶的结构。
- ① 普通型热电偶。
- 工业用普通型热电偶的
- 结构一般由热电极、绝
- 缘管、保护套管和接线
- 盒四部分组成。



1—接线盒；2—保护套管；
3—绝缘管；4—热电极

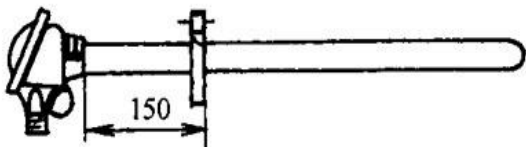
4.2 热电偶测温



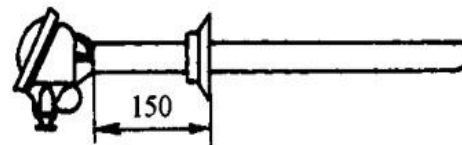
(a) 固定螺纹



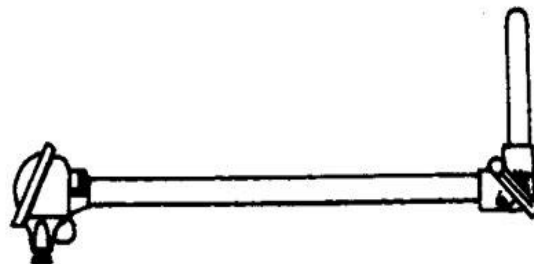
(b) 无固定螺纹



(c) 固定法兰



(d) 活动法兰



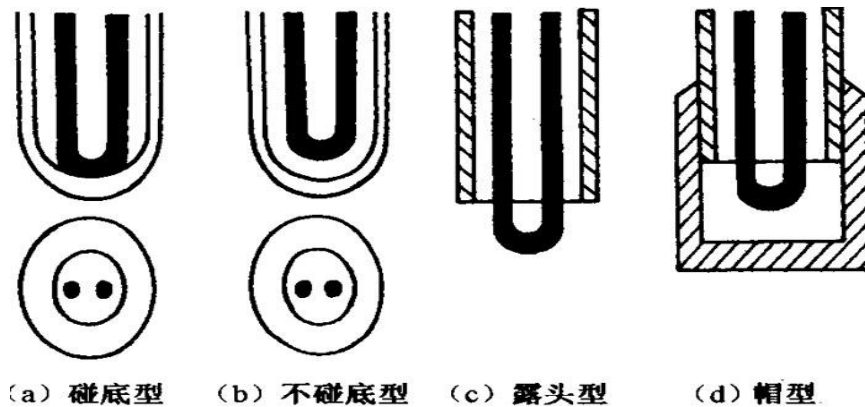
(e) 角形

普通热电偶外形图





- ②铠装热电偶。铠装热电偶又称缆式热电偶，是由热电极、绝缘材料（通常为电熔氧化镁）和金属保护管三者经拉伸结合而成的。



铠装热电偶测量端的结构形式及特点



4.2 热电偶测温

- ③ 薄膜热电偶。薄膜热电偶是用真空蒸镀的方法，把两种热电极材料分别沉积在绝缘基板上形成的一种快速感温元件。

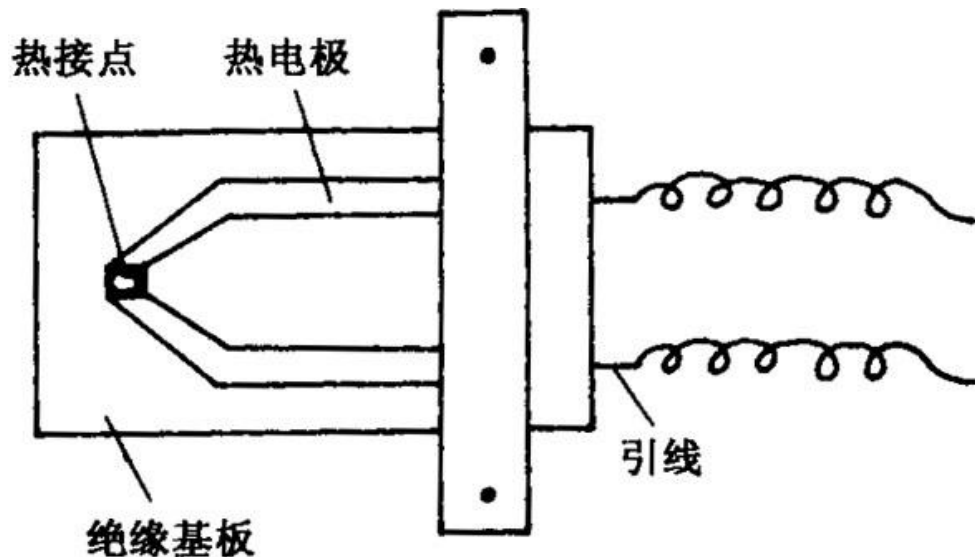


图 4. 2. 6 薄膜热电偶结构示意图



4.2 热电偶测温

- 4.2.4 热电偶冷端的温度补偿
- 为使热电动势与被测温度间呈单值函数关系，需要把热电偶冷端的温度保持恒定。由于热电偶的分度表是在其冷端温度 0°C 条件下测得的，所以只有在满足 $t=0^{\circ}\text{C}$ 的条件下，才能直接应用分度表。
- (1) 0°C 恒温法。将热电偶的冷端置于装有冰水混合物的恒温器内，使冷端温度保持 0°C 不变，它消除了不等于 0°C 而引入的误差。





4.2 热电偶测温

- (2) 冷端温度修正法。

- $$E_{AB}(t, 0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, 0)$$

- 式中， $E_{AB}(t, 0)$ 为热电偶热端温度为，冷端温度为 0°C 时的热电动势；

- $E_{AB}(t, t_n)$ 为热电偶热端温度为，冷端温度为时的热电动势；

- $E_{AB}(t_n, 0)$ 为热电偶热端温度为，冷端温度为 0°C 时的热电动势。





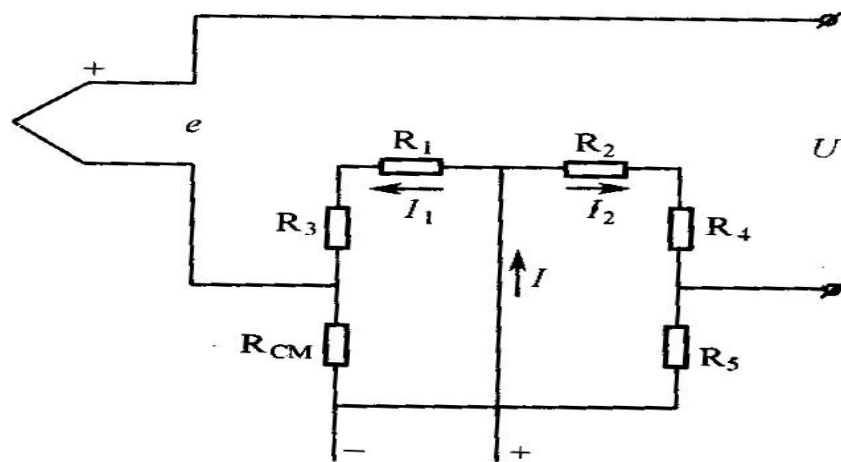
4.2 热电偶测温

- (3) 补偿导线法。在使用热电偶测温时，必须使热电偶的冷端温度保持恒定，否则在测温时引入的测量误差将是个变量，影响测量的准确性。所以必须使冷端远离温度对象，采用补偿导线就可以做到这一点。
- (4) 仪表机械零点调整法。对于具有零位调整的显示仪表而言，如果热电偶冷端温度较为恒定时，可采用测温系统未工作前，预先将显示仪表的机械零点调整到 $t_0^{\circ}\text{C}$ 上。



4.2 热电偶测温

- (5) 补偿电桥法。当热电偶冷端温度波动较大时，一般采用补偿电桥法，其测量线路如图4.2.7所示。补偿电桥法是利用不平衡电桥（又称冷端补偿器）产生不平衡电压来自动补偿热电偶因冷端温度变化而引起的热电势变化。



补偿电桥测量线路

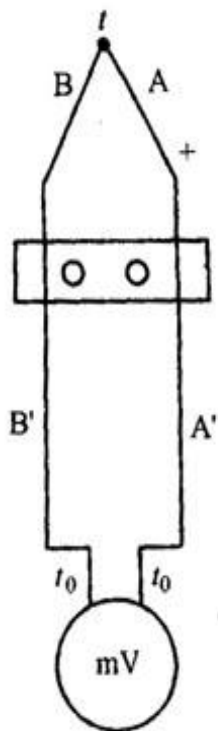


4.2 热电偶测温

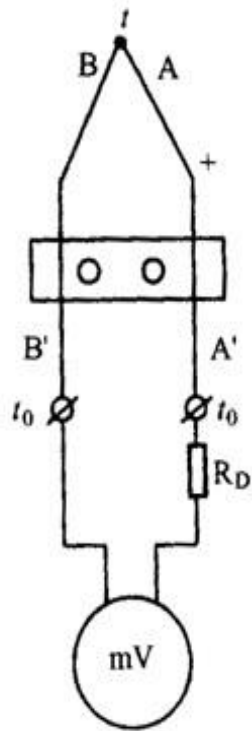
- 4.2.5 热电偶测温电路
- 热电偶常用于测量一点的温度，或者是两点之间的温度差。当测量一点温度时，热电偶仪表通过补偿导线连接，如图4.2-8所示。测量两点之间温度差时采用两支热电偶和检测仪表配合使用，如图4.2-9。工作时两支热电偶产生的热电动势方向相反，所以输入仪表的是热电动势的差值，这个差值反映了两点间的温度差。



4.2 热电偶测温



(a) 冷端在仪表内



(b) 冷端在仪表外

图4.2-8 测量某点温度

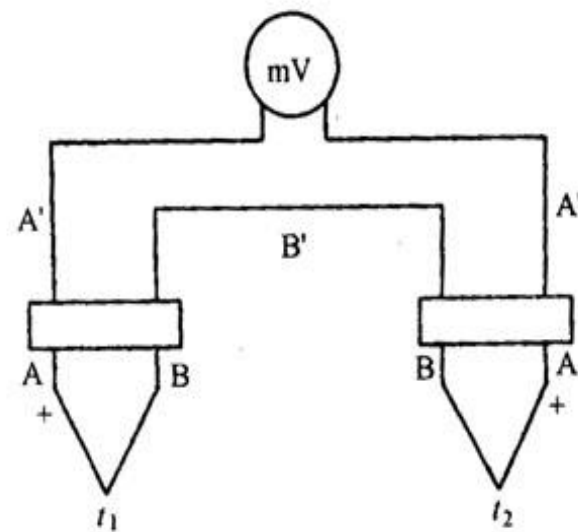


图4.2-9 测量两点间温差

4.2 热电偶测温

热电偶测温时还常采用并联线路和串联线路。

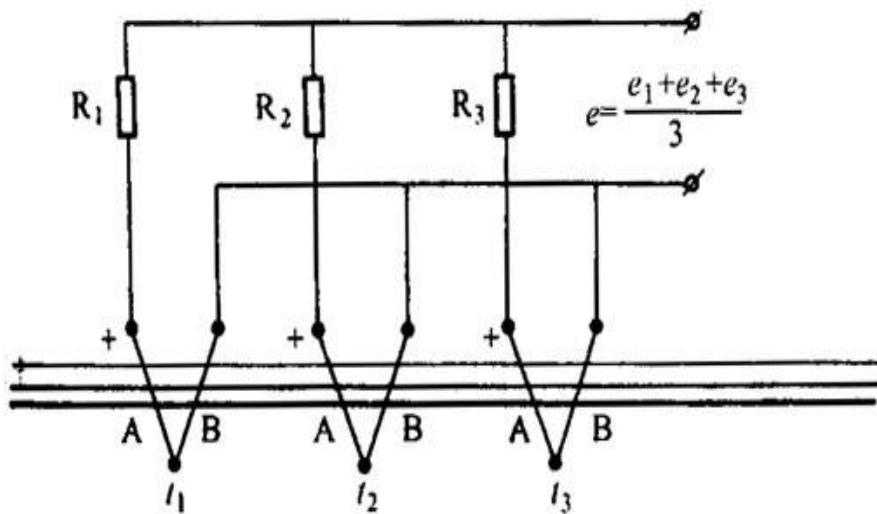


图4.2-10 热电偶并联测量电路

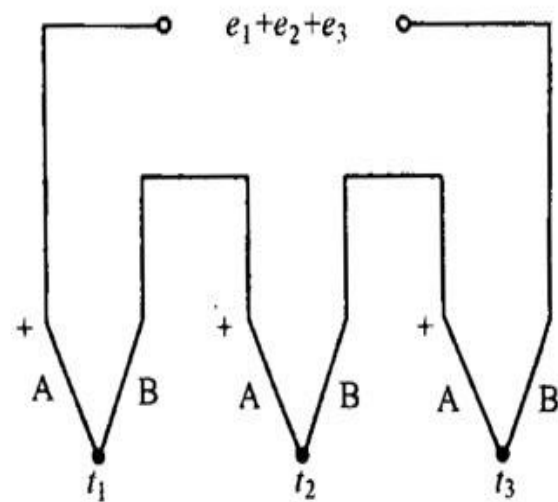


图4.2-11 热电偶串联测量电路



4.2 热电偶测温

- 并联时，电动势如下式所求：

$$e_{\text{并}} = e_1 + e_2 + e_3 + \cdots + e_N / N$$

串联测量线路的总热电动势

$$e_{\text{串}} = e_1 + e_2 + e_3 + \cdots + e_N$$





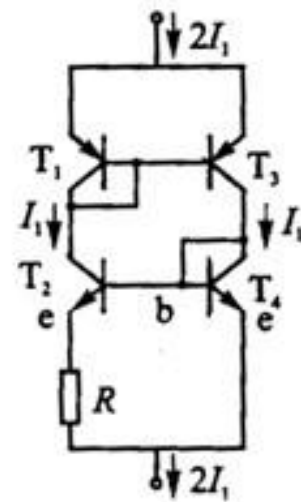
4-3 半导体P—N结测温传感器

- 半导体P—N结测温系统以P—N结的温度特性为理论基础。当P—N结的正向压降或反向压降保持不变时，正向电流和反向电流都随温度的改变而变化；而当正向电流保持不变时，P-N结的正向压降随温度的变化近似于线性变化，大约以 $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 的斜率随温度变化。因此，利用P—N结的这一特性，可以对温度进行测量。



4-3 半导体P—N结测温传感器

- 半导体测温系统利用晶体二极管
- 管与晶体三极管作为感温元件。
- 二极管感温元件利用P—N结在
- 恒定电流下，其正向电压与温
- 度之间的近似线性关系来实现。
- 当认为各晶体三极管的温度均
- 为 T 时，它们的集电极电流相等的，与的结电压降差就是电阻 R 上的压降，即



• 晶体三极管感温元件

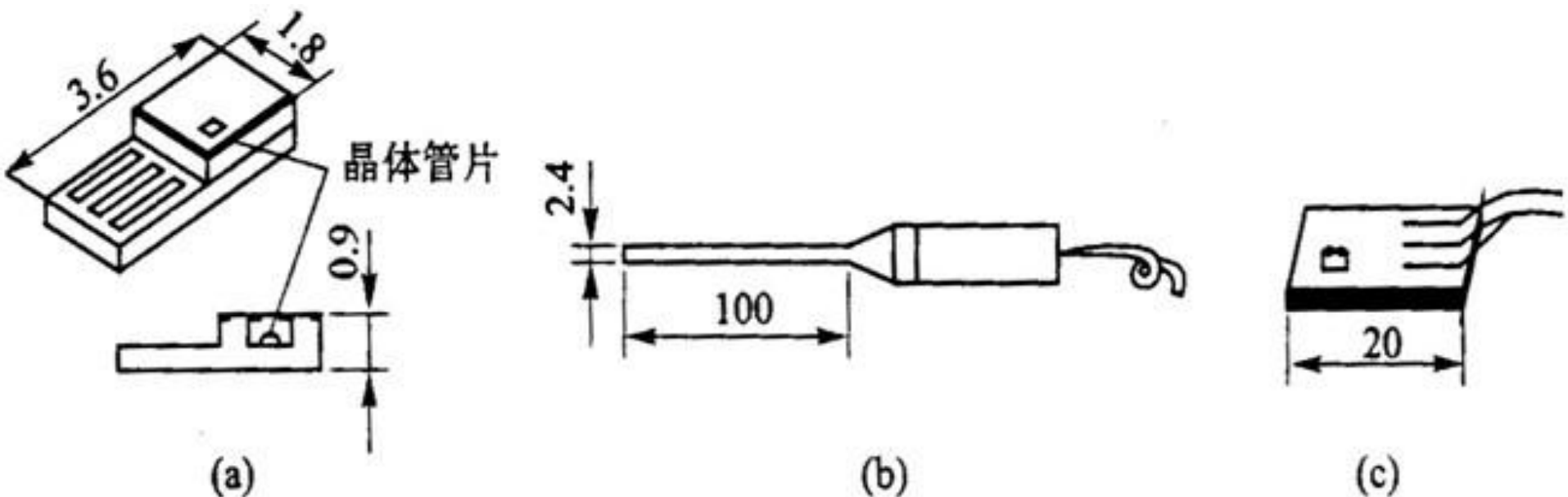


4-3 半导体P—N结测温传感器

$$\Delta U_{be} = U_{be4} - U_{be2} = I_1 R = \frac{KT}{e} \ln \gamma$$

- 公式中 γ ——与结面积相等的倍数；
- k ——玻耳兹曼常数， $k=1.381 \times 10^{-23} \text{J/K}$
- e ——电子电荷量， $e=1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ；
- T ——被测物体的热力学温度（K）。
- 由于电流又与温度成反比，因此可以通过测量的大小，实现对温度的测量。

4-3 半导体P—N结测温传感器



注：各尺寸单位：mm。

图 4.3-2 晶体管感温元件结构示意图



4.4 集成温度传感器

集成温度传感器是利用晶体管PN结的电流电压特性与温度的关系，把感温PN结及有关电子线路集成在一个小硅片上，构成一个小型化、一体化的专用集成电路片。

- ◆集成温度传感器具有体积小、反应快、线性好、价格低等优点，由于PN结受耐热性能和特性范围的限制，它只能用来测 150°C 以下的温度。





4.4 集成温度传感器

- 集成温度传感器是半导体技术发展的产物，从20世纪80年代进入市场后，由于它的线性度好、精度适中、灵敏度高，故应用越来越广泛。
- 4.4.1集成温度传感器的特点
- 集成温度传感器是利用半导体PN结的温度特性制成的，与热敏电阻、热电偶等其他温度传感器相比，具有灵敏度高、线性度好、响应速度快、尺寸小、使用方便等特点。





4.4 集成温度传感器

- 4.4.2集成温度传感器的原理
- 图4.4-1是一种集成温度传感器的内电路图，图中的两只晶体三极管VT1与VT2为温度检测晶体管对管。其偏置电流比为16:1，精密运放的反馈达到平衡后，两个晶体管b、e极的正向电压之差 U_{be} 加至R2的两端，并经R3到地。图中VT2发射极电压 U_{T2} 具有2.2mV/的正温度系数，而VT1发射极具有-2.2mV/的负温度系数，这样在IC1-1运放的 U_{ref} 输出端产生零温度系数基准电压，而IC1-2在TempOUT端提供精确的10mV/输出。



4.4 集成温度传感器

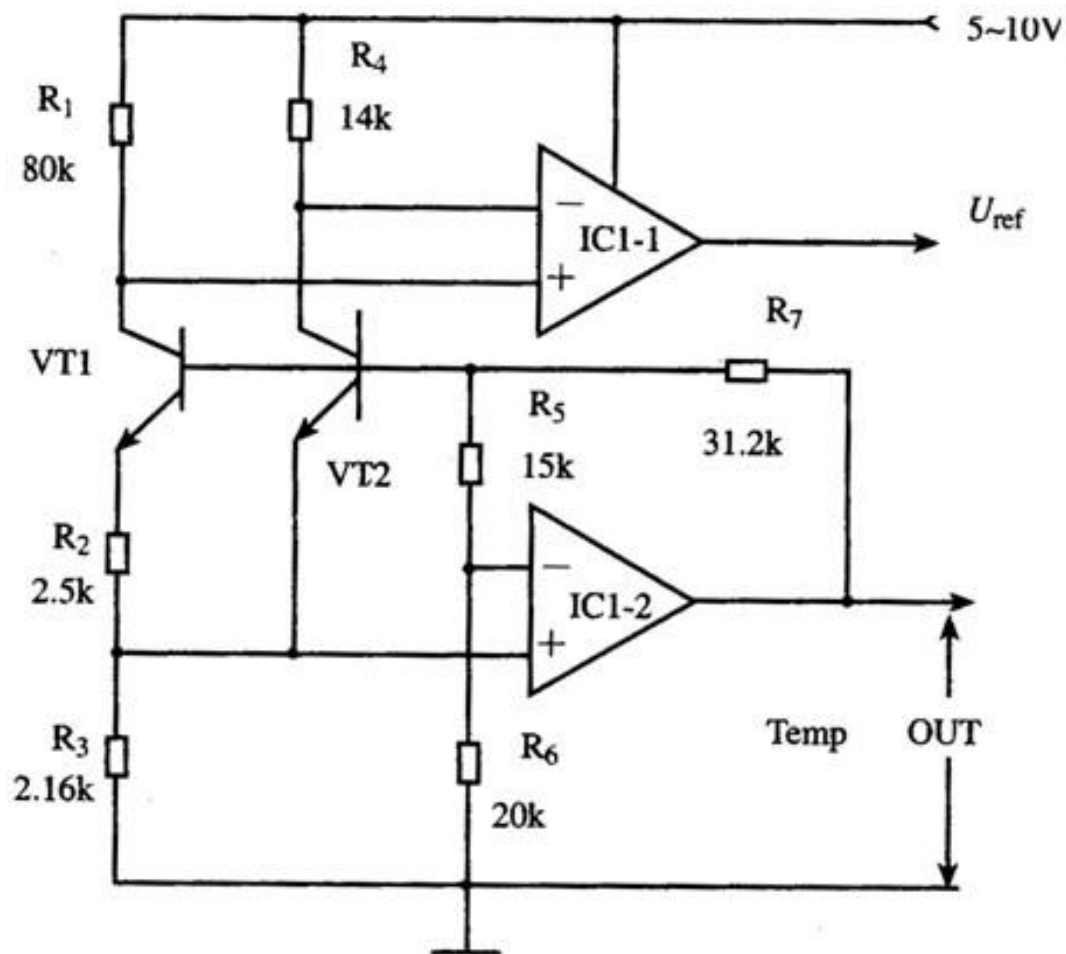


图 4.4-1 集成温度传感器内电路图



4.4 集成温度传感器

- 4.4.3集成温度传感器的输出形式
- 集成温度传感器的输出形式有：模拟输出、逻辑输出和数字输出等。
- 1、模拟输出型
- 这类温度传感器的输出电压（或电流）随温度的变化呈线性关系，可理想地取代低于700的热电偶。这种温度传感器常用于温度测量、温度补偿等系统中。





4.4 集成温度传感器

- 2、逻辑输出型
- 逻辑输出型集成温度传感器使用简单，应用非常普遍，成本较低，典型应用于温度控制系统。
- 3、数字输出型
- 数字输出型集成温度传感器一般有串行接口（I2C、SPI/QSPI或SMBUS）可以与微控制器或其他数字系统直接通信。





4.4 集成温度传感器

- 4.4.4模拟输出型集成温度传感器的特性参数
- 模拟输出型集成温度传感器的输出分为电压型和电流型两种，电压型的灵敏度为 $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ ，电流型的灵敏度为 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ 。下面介绍两种电压型集成温度传感器。
- 1、LM135系列
- LM135系列集成温度传感器包括LM135A、LM235、LM335、LM335A等。



4.4 集成温度传感器

- LM135系列
- LM135系列集成温度传感器包括LM135A、LM235、LM335、LM335A等。
- (1) 封装方式

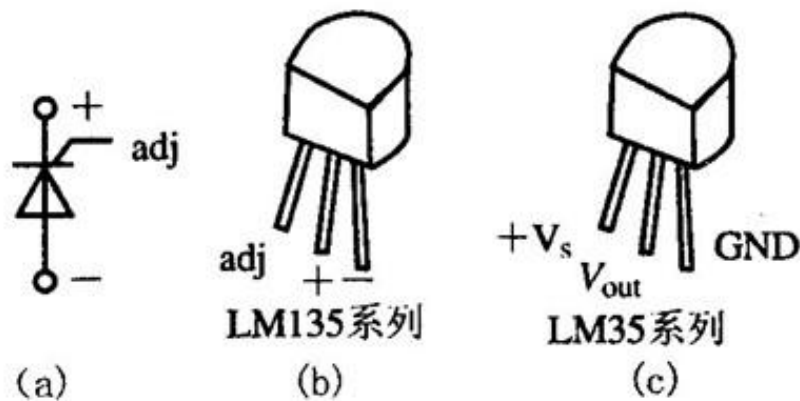


图 4.4.1 LM135 与 LM35 系列传感器电路图形符号及外形



4.4 集成温度传感器

(2) 特点

- LM135系列集成温度传感器具以下特点：
- 输出为 10mV/K （与热力学温度成正比），可以直接制成热力学温度测试仪。
- 工作电流为 $400\sim 5\text{mA}$ ；动态阻抗小于1

(3) 使用说明

- 在使用LM135系列集成温度传感器时，为了保证精度，需要进行校准工作。可在LM135的正（+），负（—）两引脚之间接一只 10k 的电位



4.4 集成温度传感器

- 器滑动臂连接到调整引脚 (adj) 上, 在某一温度点进行校准即可。

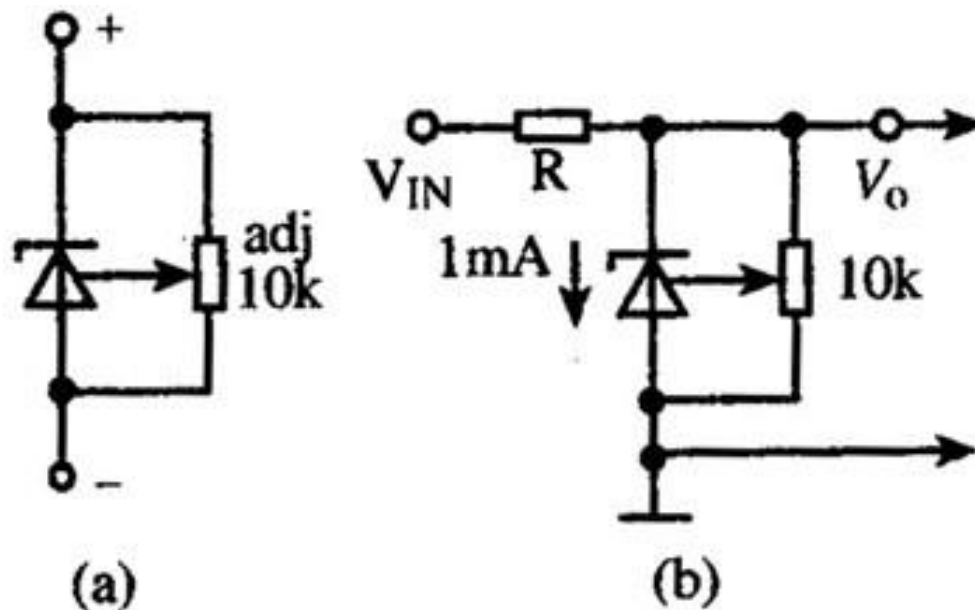


图 4.4-2 LM135 温度传感器校准连接电路