



## 第7章 热电式传感器

# 关于热电式传感器 (3)



# 第7章 热电式传感器

特点：

- 热电偶测温范围： $100^{\circ}\text{C}\sim 1300^{\circ}\text{C}$
- 特点：结构简单、制作容易、精度高、温度测量范围宽、动态响应特性好、输出信号便于远传、使用方便。

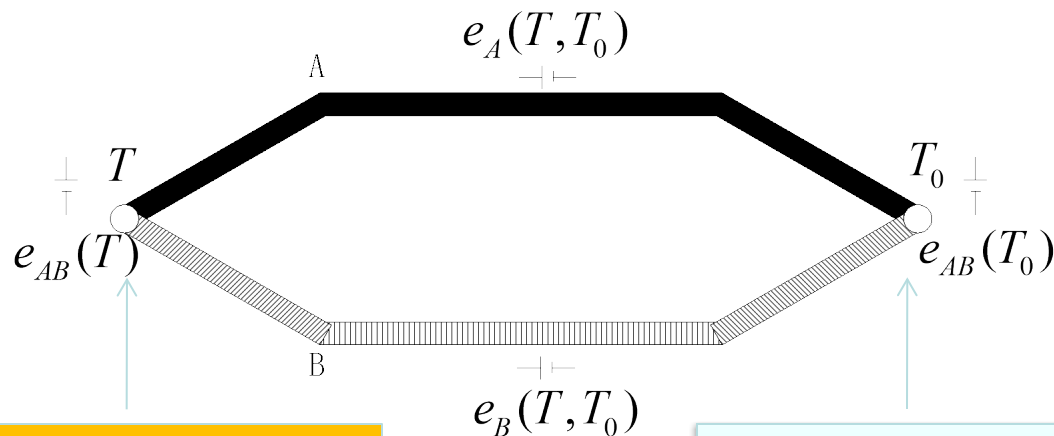


- 是一种有源传感器，测量时不需外加电源。
- 应用：测量炉子或管道的气体、液体的温度或固体的表面温度

# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

两种不同材料的导体（或半导体）组成一个闭合回路，当两接点温度  $T$  和  $T_0$  不同时，则在该回路中就会产生电动势的现象。



热端（测量端或工作端）

冷端（参考端或自由端）

热电动势来源包括

接触电动势： $e_{AB}(T)$ ， $e_{AB}(T_0)$

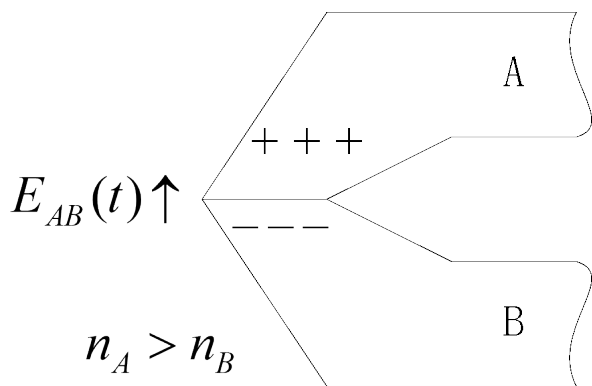
温差电动势： $e_A(T, T_0)$ ， $e_B(T, T_0)$

# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### (一) (导体间) 接触电势

两种不同导体的自由电子密度不同而在接触处形成的电动势。



$$E_{AB}(t) = \frac{kt}{e} \ln \frac{n_A(t)}{n_B(t)}$$

其中， $n_A$ 和 $n_B$ 分别为导体A和B的自由电子密度；  
 $e$ —电子电荷， $e=1.6 \times 10^{-19}$  C；  
 $K$ —玻耳兹曼常数， $K=1.38 \times 10^{-23}$  J/K。

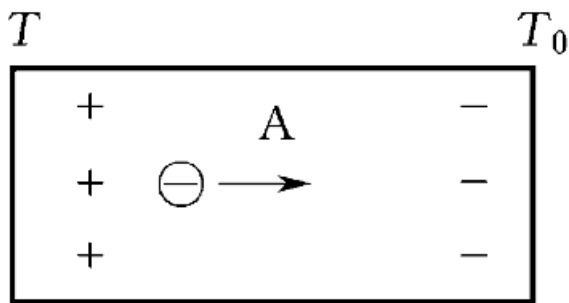
接触电动势的大小取决于两种不同导体的材料特性和接触点的温度，与导体的直径、长度、几何形状等无关。

# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### (二) (导体内) 温差电势

导体内因两点温度不同，两点产生电势。



机理：导体内自由电子在高温端具有较大的动能，因而向低温端扩散，结果高温端因失去电子而带正电荷，低温端因得到电子而带负电荷，从而形成一个静电场。

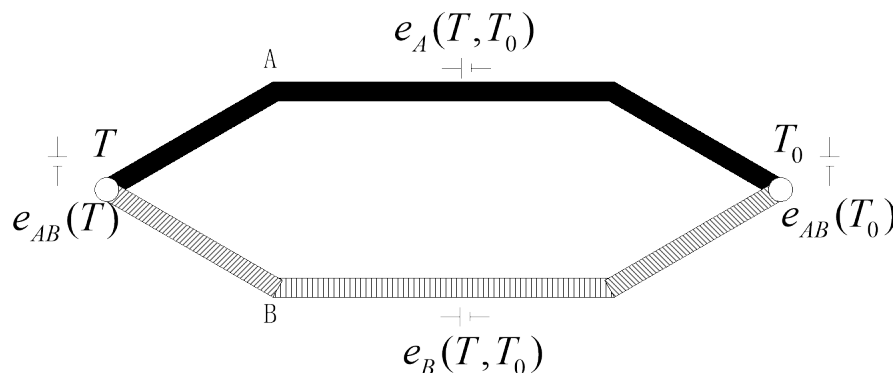
$$e_A(T, T_0) = \int_{T_0}^T \sigma dT$$

其中： $\sigma$ —汤姆逊系数，表示单一导体两点温度差为1 °C时所产生的温差电势，其值与材料性质及两端温度有关。

# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### (三) 回路总电势



当  $T > T_0$ ,  $n_A > n_B$  时, 闭合回路总的热电势为  $E_{AB}(T, T_0)$ :

$$E_{AB}(T, T_0) = [e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0)] + [-e_A(T, T_0) + e_B(T, T_0)]$$



$$E_{AB}(T, T_0) = \frac{KT}{e} \ln \frac{n_{AT}}{n_{BT}} - \frac{KT_0}{e} \ln \frac{n_{AT_0}}{n_{BT_0}} + \int_{T_0}^T (\sigma_B - \sigma_A) dT$$

- ①若热电偶两电极材料相同, 即  $n_A = n_B$ ,  $\sigma_A = \sigma_B$ , 虽两端温度不同, 但闭合回路的总热电势仍为零, 因此热电偶必须用两种不同材料作为热电极;
- ②若热电偶两电极材料不同, 而热电偶两端的温度相同, 即  $T = T_0$ , 闭合回路中也不产生热电势。



# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### (三) 回路总电势

$$E_{AB}(T, T_0) = [e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0)] + [-e_A(T, T_0) + e_B(T, T_0)]$$

金属导体的自由电子数目很多，以致温度不能显著地改变它的自由电子浓度，所以在同一种金属导体内，**温差电势极小，可忽略。**



**因此起决定作用的是接触电势。**

$$\begin{aligned} E_{AB}(T, T_0) &= e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0) \\ &= e_{AB}(T) + e_{BA}(T_0) \end{aligned} \quad \begin{matrix} (7- \\ 5) \end{matrix}$$



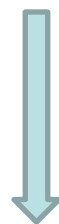
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### (三) 回路总电势

$$E_{AB}(T, T_0) = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0)$$

当热电偶回路的一个端点保持温度不变，则热电势  $E_{AB}(T, T_0)$  只随另一个端点的温度变化而变化。



$$e_{AB}(T_0) = f(T_0) = c(\text{常数})$$

$$E_{AB}(T, T_0) = e_{AB}(T) - f(T_0) = f(T) - c$$

回路总热电势就可以看成温度  $T$  的单值函数

(7-5)



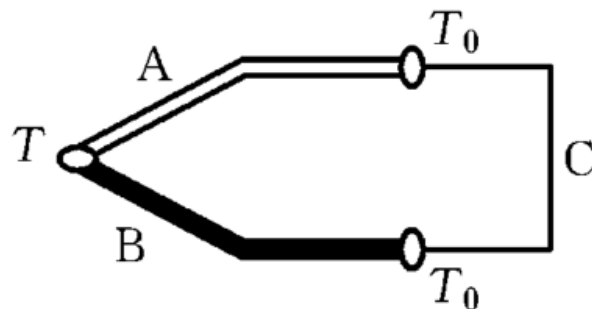
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (一) 中间导体定律

右图的热电偶回路总电势为



$$E_{ABC}(T, T_0) = e_{AB}(T) + e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) - \int_{T_0}^T \sigma_A dT + \int_{T_0}^T \sigma_B dT$$

接触电势

温差电势



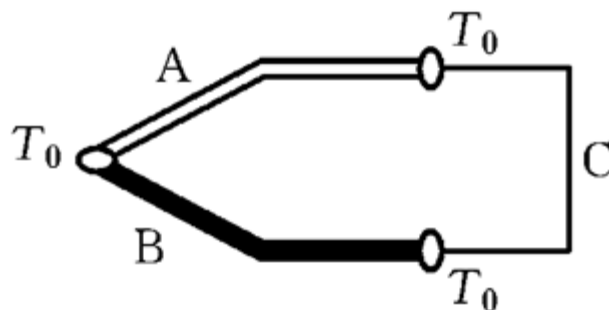
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (一) 中间导体定律

在 $T=T_0$ 时



$$E_{ABC}(T_0, T_0) = e_{AB}(T_0) + e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) - \int_{T_0}^{T_0} \sigma_A dT + \int_{T_0}^{T_0} \sigma_B dT = 0$$



$$e_{AB}(T_0) + e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) = 0$$



$$- e_{AB}(T_0) = e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0)$$

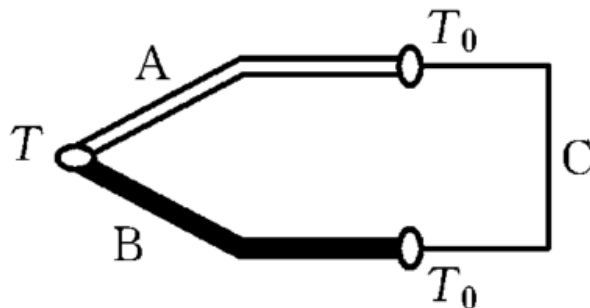
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (一) 中间导体定律

右图的热电偶回路总电势为



$$E_{ABC}(T, T_0) = e_{AB}(T) + e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0) - \int_{T_0}^T \sigma_A dT + \int_{T_0}^T \sigma_B dT$$



$$- e_{AB}(T_0) = e_{BC}(T_0) + e_{CA}(T_0)$$

$$E_{ABC}(T, T_0) = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0) + \int_{T_0}^T (\sigma_B - \sigma_A) dT = E_{AB}(T, T_0)$$

中间导体定律表达式



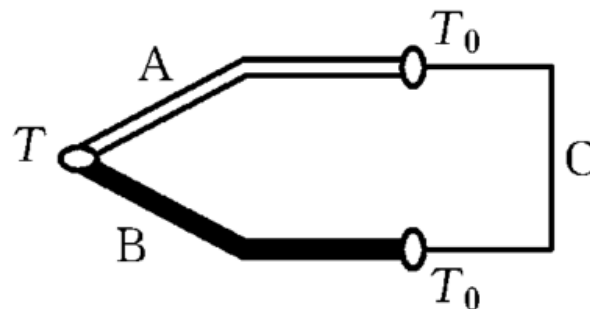
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (一) 中间导体定律

右图的热电偶回路总电势为



$$E_{ABC}(T, T_0) = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0)$$

对比两个导体的热电偶定律，你能发现什么？

$$E_{AB}(T, T_0) = e_{AB}(T) - f(T_0) = f(T) - c$$

只要中间导体两端温度相同，**中间导体的引入**对热电偶回路总电势**没有影响**。

# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

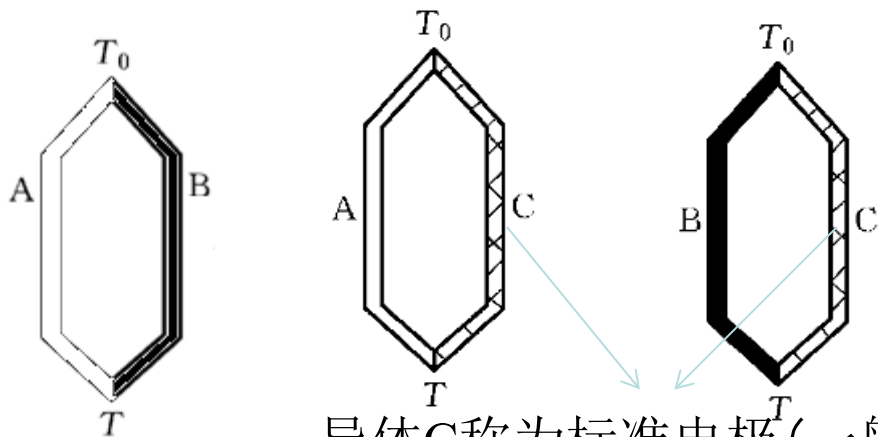
### 二、热电偶基本定律

#### (二) 标准电极定律

当接点温度为 $T$ 、 $T_0$ 时，用导体A、B组成热电偶产生的热电势等于A、C热电偶和C、B热电偶热电势的代数和，即

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AC}(T, T_0) + E_{CB}(T, T_0)$$

$$\text{或 } E_{AB}(T, T_0) = E_{AC}(T, T_0) - E_{BC}(T, T_0)$$



导体C称为标准电极(一般由铂制成)

# 第7章 热电式传感器

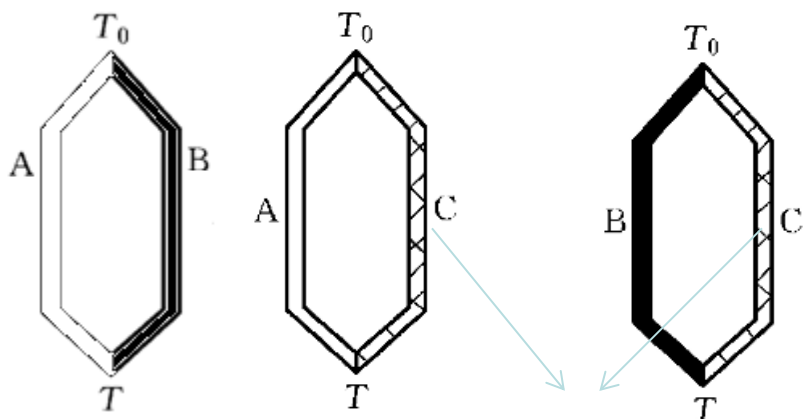
## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (二) 标准电极定律

当接点温度为 $T$ 、 $T_0$ 时，用导体A、B组成热电偶产生的热电势等于A、C热电偶和C、B热电偶热电势的代数和，即

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AC}(T, T_0) + E_{CB}(T, T_0)$$



导体C称为标准电极(一般由铂制成)

只要知道一些材料与标准电极相配的热电势值，就可以用标准电极定律求出其中任意两种材料配成热电偶后的热电势值。

标准电极定律大大简化了热电偶的选配工作，让我们只需获得有关热电极与参考电极配对的热电势值。

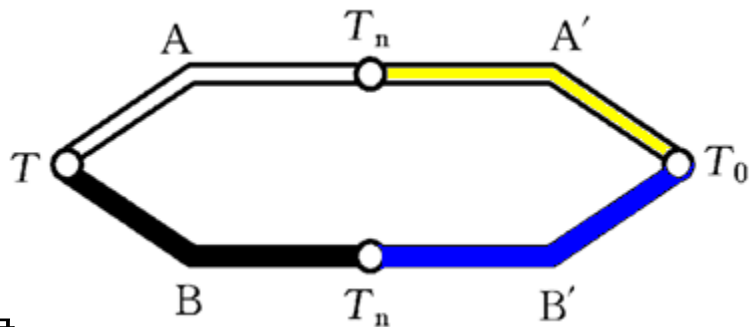
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (三) 连接导体定律与中间温度定律

在热电偶回路中，若导体A、B分别与连接导线A'、B'相接，接点温度分别为 $T$ 、 $T_n$ 、 $T_0$ 。



连接导体定律：

$$E_{ABB'A'}(T, T_n, T_0) = E_{AB}(T, T_n) + E_{A'B'}(T_n, T_0)$$

回路总热电势等于热电偶电势 $E_{AB}(T, T_n)$ 与连接导线电势 $E_{A'B'}(T_n, T_0)$ 的代数和。



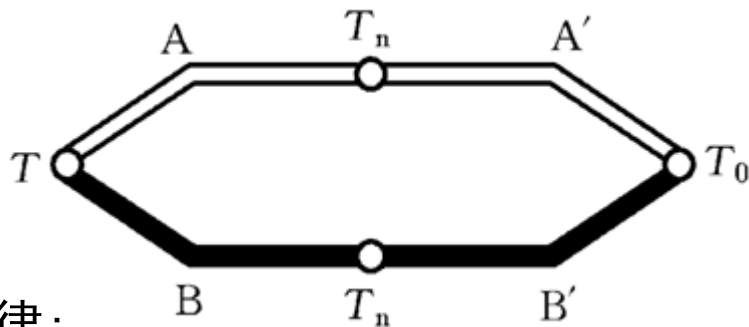
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (三) 连接导体定律与中间温度定律

当导体A与A'、B与B'材料分别相同时



中间温度定律:

$$E_{AB}(T, T_n, T_0) = E_{AB}(T, T_n) + E_{AB}(T_n, T_0)$$

回路总热电势等于 $E_{AB}(T, T_n)$ 与 $E_{AB}(T_n, T_0)$ 的代数和



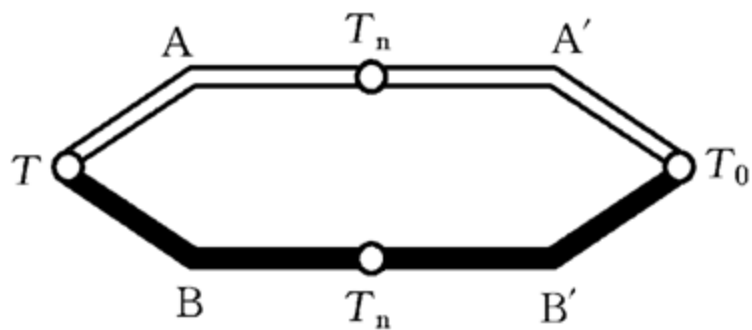
# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 二、热电偶基本定律

#### (三) 连接导体定律与中间温度定律

当导体A与A'、B与B'材料分别相同时



中间温度定律:

$$E_{AB}(T, T_n, T_0) = E_{AB}(T, T_n) + E_{AB}(T_n, T_0)$$

在生产实际中，例如化工厂、火力发电厂使用的热电偶数达几千支，将热电偶的冷端保持在零度是很不现实的。所以，在工程实际中应用中间温度定律（分度表）可以解决此类问题。



# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 三、常用热电偶及结构

理论上，任何两种不同导体(或半导体)都可以配制成热电偶。但为了保证工程技术中的可靠性，以及足够的测量精度，并不是所有材料都能组成热电偶，一般对热电偶的电极材料基本要求是：

- ①在测温范围内，热电性质**稳定**，不随时间而变化，有足够的物理化学稳定性，不易氧化或腐蚀；
- ②**电阻温度系数**小，**导电率高**，**比热**小；
- ③测温中产生**热电势要大**，并且热电势与温度之间呈线性或接近**线性**的单值函数关系；
- ④材料复制性好，**机械强度高**，制造工艺简单，价格便宜。



# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 三、常用热电偶及结构

#### (一) 常用热电偶

常用的热电极材料分贵金属和普通金属两大类

#### ✚ 铂铑<sub>10</sub>—铂热电偶（分度号S）

这种热电偶可在1300℃以下范围内长期使用，短期可测1600℃高温，复制精度和测量准确性高，但此热电偶的材料为贵金属，成本较高。

#### ✚ 镍铬—康铜热电偶（E）

热电动势大，电阻率小，价格便宜；但抗氧化性差，适用于还原性和中性气体下测温，测量上限较低。

#### ✚ 镍铬—镍硅热电偶（K）

化学稳定性较高，测量范因为-50~+1312℃，复制性好，产生热电动势大，线性好，价格便宜，是工业生产中最常用的一种热电偶。

# 第7章 热电式传感器

表7-1 常用热偶电阻型号、测温范围及允许误差

名称	型号	分度号	测温范围 (°C)		允许偏差			
			长期	短期	温度 (°C)	偏差	温度 (°C)	偏差
铂铑——铂铑	WRLL	B	0~1 600	0~1 800	1 000~1 500	±0.5%	>1 500	±7.5%
铂铑——铂	WRLB	S	0~1 300	0~1 600	0~600	±2.4%	>600	±0.4%
镍镉——镍硅	WREU	K	0~1 000	0~1 300	0~300	±4%	>400	±1%
镍镉——考铜	WREA	E	0~600	0~800	0~300	±4%	>300	±1%
铜——康铜		T	0~600 0~1 000	0~900 0~1 200 0~400				

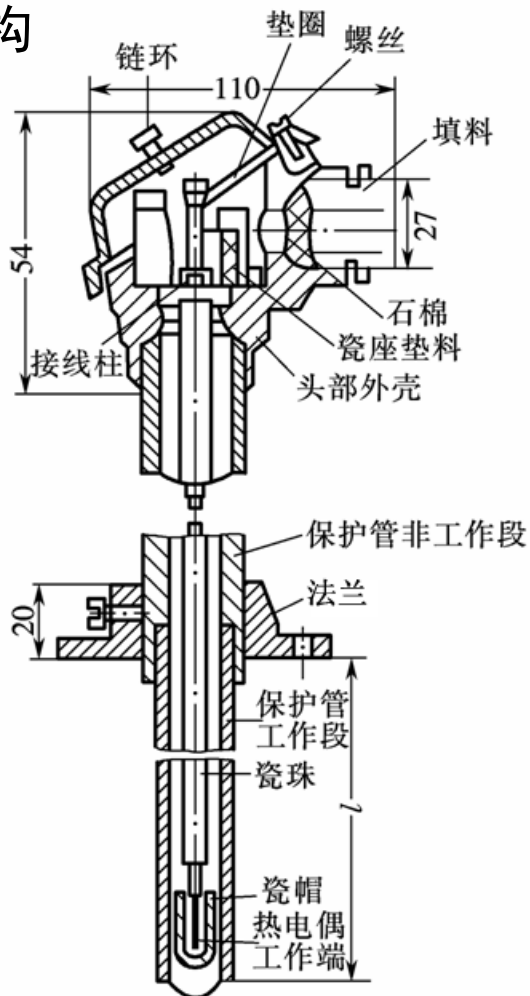
在热电偶实际使用中，编制出了针对各种热电偶的热电势与温度对照表，称为“分度表”，表中温度按10 °C分档，其中间值可按内插法计算。各表皆按参考端温度为0 °C的条件取值。

# 第7章 热电式传感器

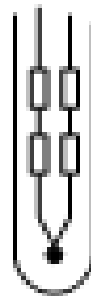
## § 7-1 热电偶

### 三、常用热电偶及结构

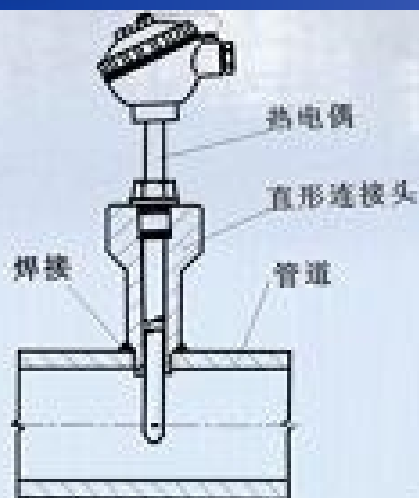
#### (二) 热电偶的结构



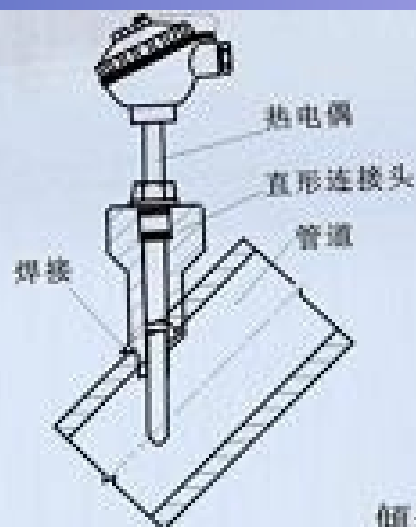
工程上实际使用的热电偶大多数是由热电极、绝缘套管、保护套管和接线盒等几部分构成。



# 第7章 热电式传感器



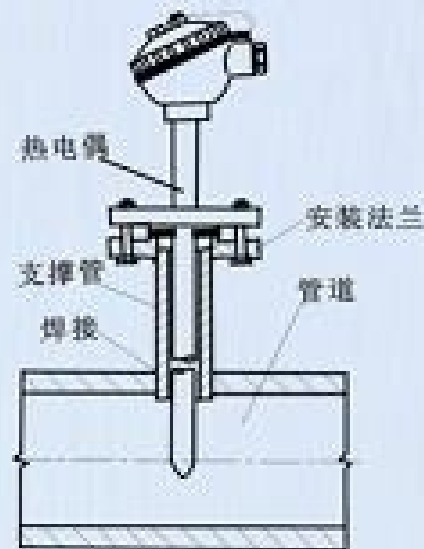
垂直管道安装形式



倾斜管道安装形式



变曲管道安装形式



法兰安装形式

选型须知：型号、分度号、精度等级、安装固定形式、保护管材质、长度或插入长度

# 第7章 热电式传感器





# 第7章 热电式传感器

## § 7-1 热电偶

### 四、热电偶冷端温度补偿

理想：热电偶冷端温度保持不变时，热电势是被测温度的单值函数。

$$E_{AB}(T, T_0) = e_{AB}(T) - f(T_0) = f(T) - c$$

现实：由于热电偶工作端与冷端距离很近，冷端又暴露于空间，容易受到周围环境温度波动的影响，因而冷端温度难以保持恒定。

解决办法：

补偿导线法

补偿电桥法

冷端温度计算校正法

冰浴法



# 第7章 热电式传感器

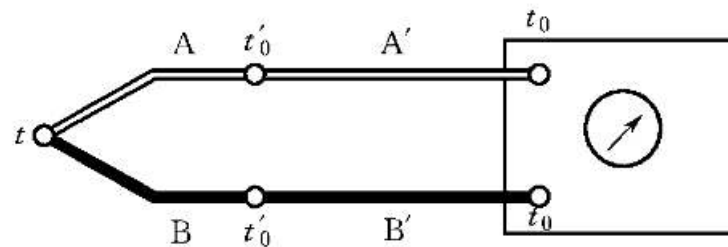
## § 7-1 热电偶

### 四、热电偶冷端温度补偿

#### (一) 补偿导线法

用一导线(称之为补偿导线)将热电偶的冷端延伸出来。

连接导体定律:



$$E_{ABB'A'}(T, T_n, T_0) = E_{AB}(T, T_n) + E_{A'B'}(T_n, T_0)$$

$A'$ 、 $B'$  为补偿导线;  
 $t'_0$  为原冷端温度;  $t_0$  为新冷端温度。

- 补偿导线在0-100℃范围内和所连接的热电偶具有相同的热电性能，且其材料是廉价金属；
- 当新移的冷端温度恒定时，应用补偿导线才有意义。

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/258103015121007005>