

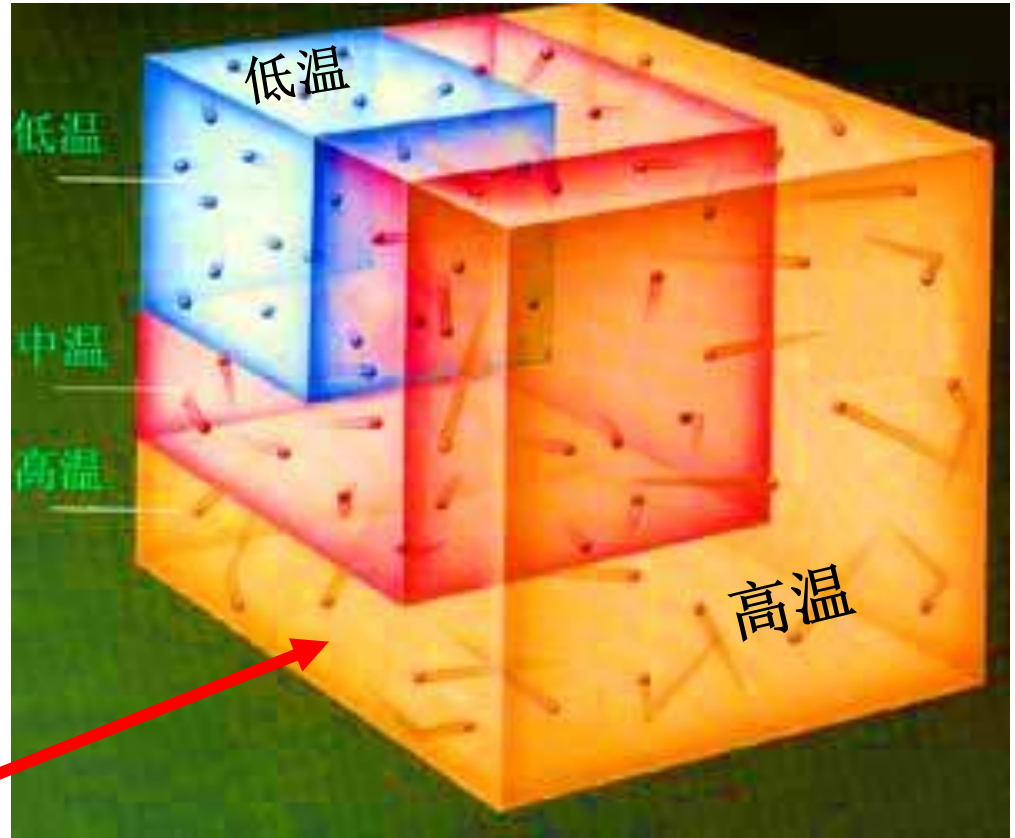
第三章

接触式温度检测及仪表

温度检测的基本概念

一、温度测量的基本概念

温度标志着物质内部大量分子无规则运动的剧烈程度。温度越高，表示物体内部分子热运动越剧烈。



模拟图：在一个密闭的空间里，气体分子在高温时的运动速度比低温时快！

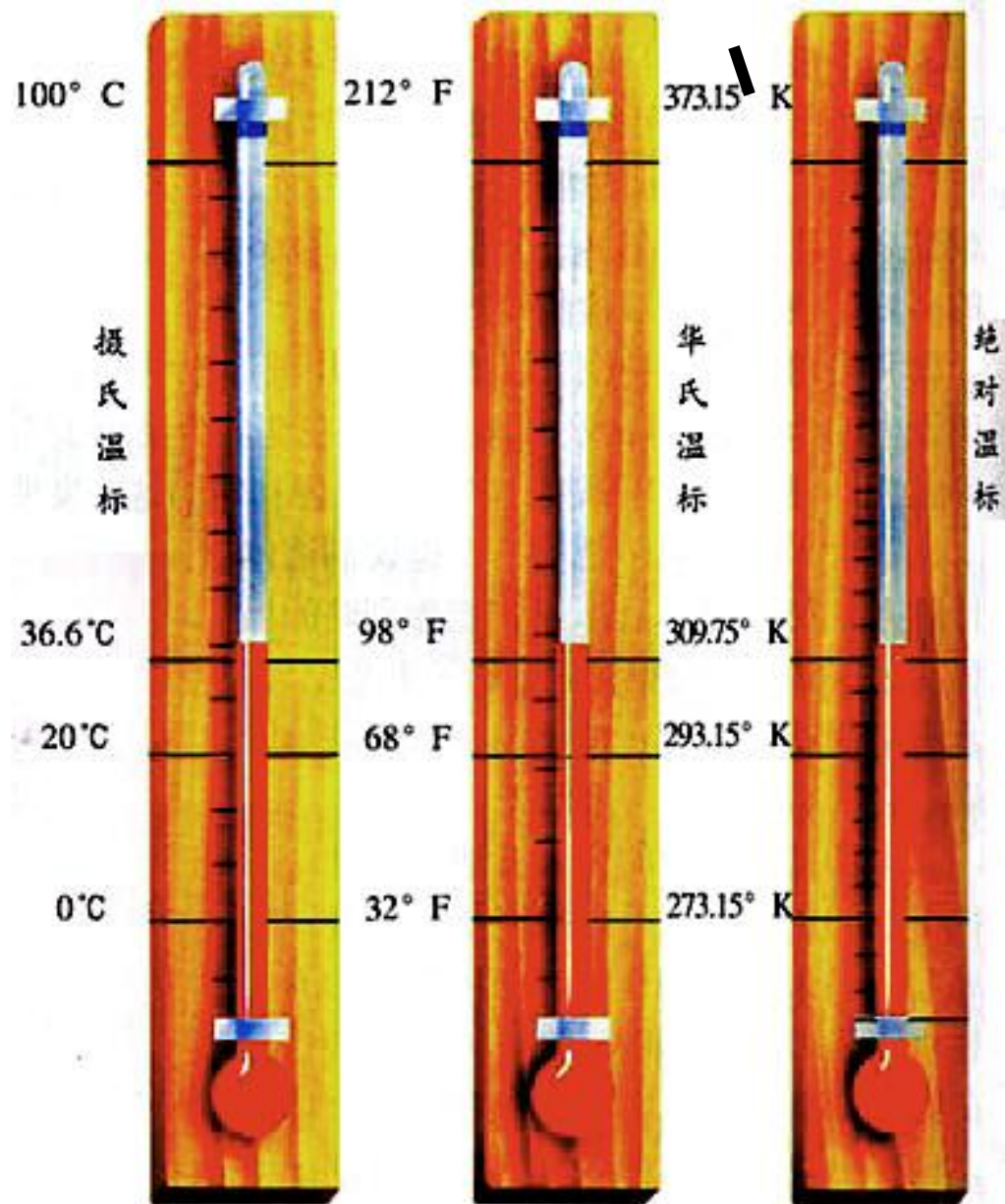
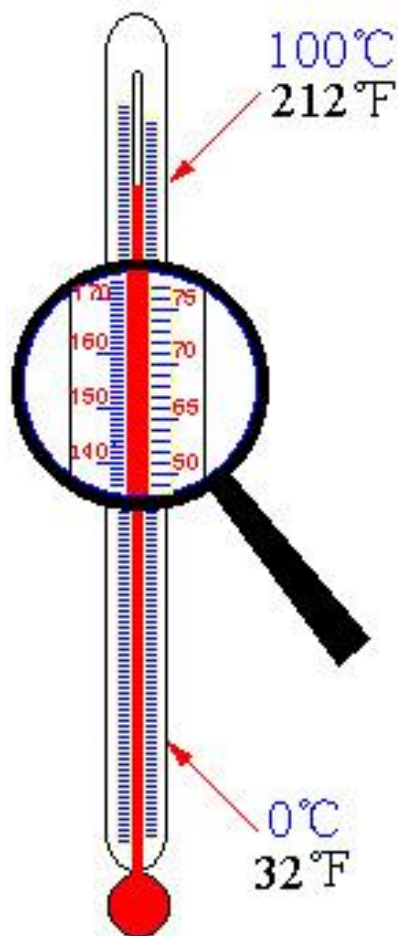
二、温标

◆ 1、温度的数值表示方法称为温标。

它规定了温度的读数的起点（即零点）以及温度的单位。各类温度计的刻度均由温标确定。

◆ 2、国际上规定的温标有：摄氏温标、华氏温标、热力学温标等。

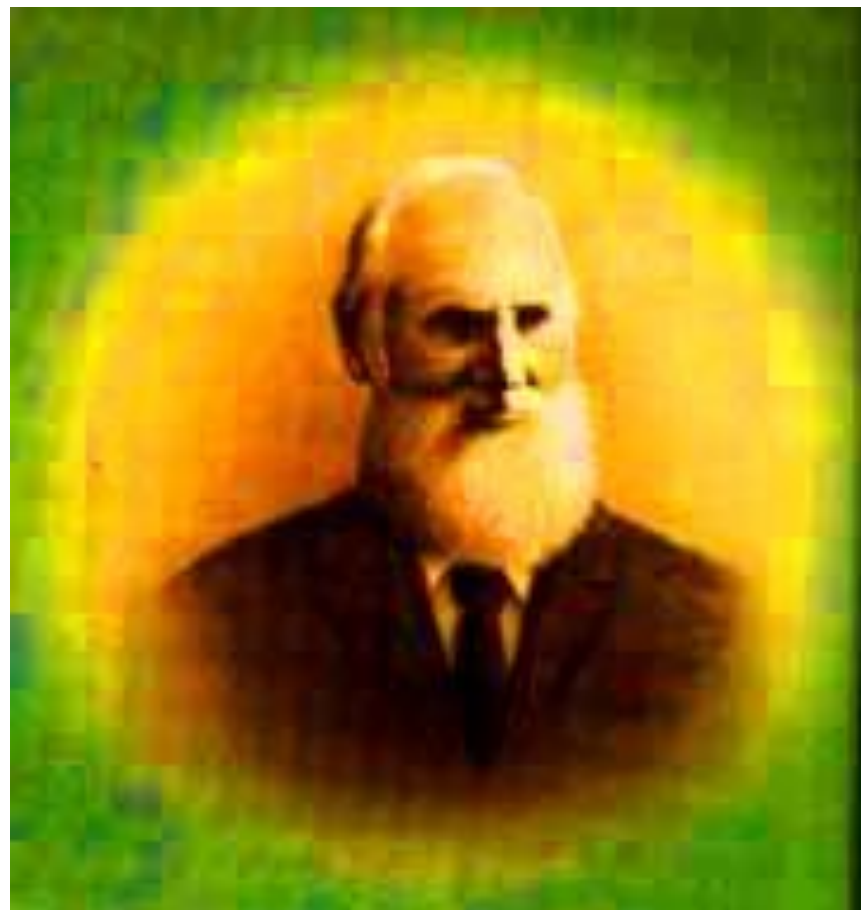
几种温标的对比



摄氏温标、华氏温标和绝对温标的对比

热力学温标 (K)

热力学温标是建立在热力学第二定律基础上的最科学的温标，是由开尔文 (Kelvin) 根据热力学定律提出来的，因此又称开氏温标。它的符号是 T ，单位是开尔文 (K) 。



威廉·汤姆逊 开尔文勋爵像

1990国际温标 (ITS-90)

从1990年1月1日开始在全世界范围内采用1990年国际温标，简称ITS-90。它定义了一系列温度的固定点，测量和重现这些固定点的标准仪器以及计算公式，例如水的三相点为273.16K（0.01°C）等。

三、温度测量及传感器分类

- 按照用途可分为基准温度计和工业温度计；
- 按照测量方法又可分为接触式和非接触式；
- 按工作原理又可分为膨胀式、电阻式、热电式、辐射式等。

介绍几种温度测量方法



示温涂料（变色涂料）

装满热水后图案
变得清晰可辨

变色涂料在电脑内部温度中的示温作用

温度升高后变为红色

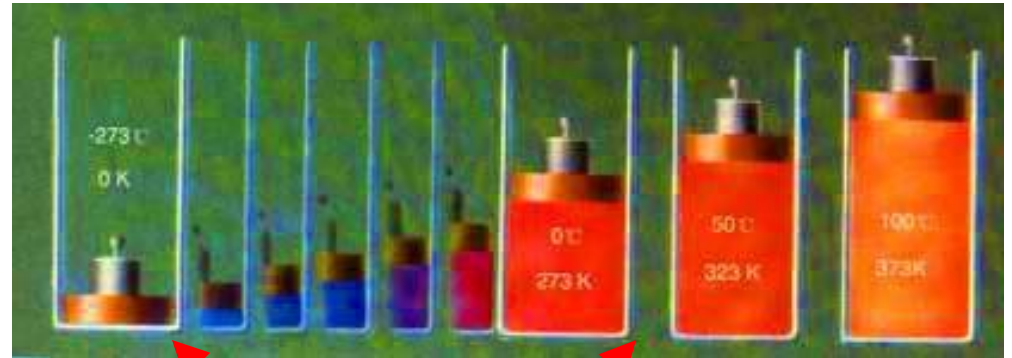
CPU散
热风扇

低温时显示
蓝色



体积热膨胀式

不需要电源，耐用；
但感温部件体积较大。



气体的体积与
热力学温度成正比

ET-IRMAN 温度安检门



红外温度计



接触式温度测量

➤ 优点：

测温精度相对较高，直观可靠及测温仪表价格相对较低；

➤ 缺点：

- ◆ 由于感温元件与被测介质直接接触，从而要影响被测介质热平衡状态，而接触不良则会增加测温误差；测温滞后
- ◆ 被测介质具有腐蚀性及温度太高亦将严重影响感温元件性能和寿命。

非接触式温度测量

- 特点：感温元件**不与被测对象直接接触**，而是通过接受被测物体的**热辐射**能实现热交换，据此测出被测对象的温度；

非接触式测温的优点：

- ◆ 具有不改变被测物体的温度分布，
- ◆ 热惯性小，
- ◆ 测温上限可设计得很高，
- ◆ 便于测量运动物体的温度和快速变化的温度

缺点：

- ◆ 受到被测物质的发射率、被测物质与测量仪表之间的距离以及其他中间介质的影响，测量误差较大

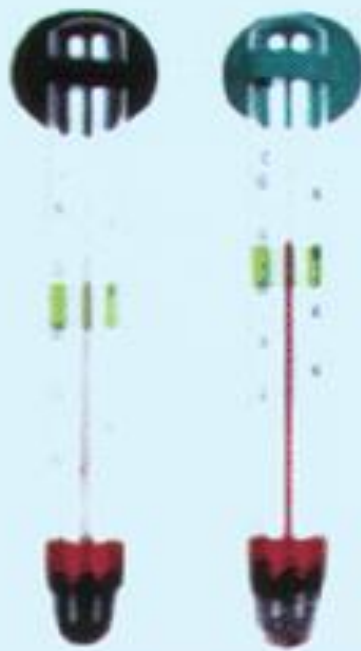
玻璃温度计

- **玻璃液体温度计**简称玻璃温度计，是一种直读式仪表。**水银**是玻璃温度计最常用的液体，其凝固点为-38.9℃、测温上限为538℃。
- **玻璃温度计特点**：结构简单，制作容易，价格低廉，测温范围较广，安装使用方便，现场直接读数，一般无需能源，易破损，测温值难自动远传记录。

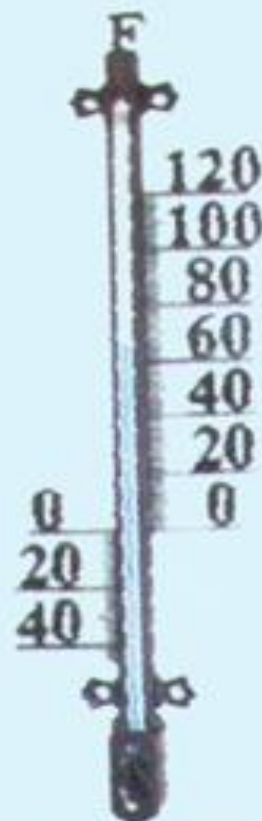
玻璃管温度计



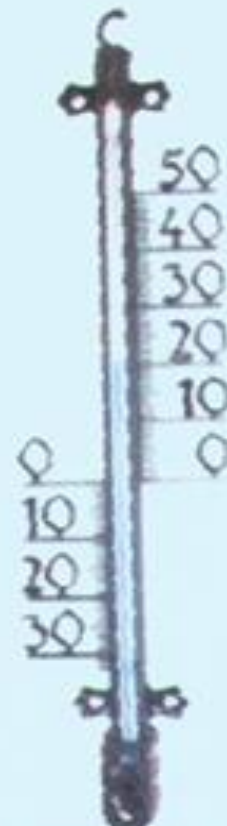
SHH-21-1
SHH-21-2



SHH-22-1
SHH-22-2



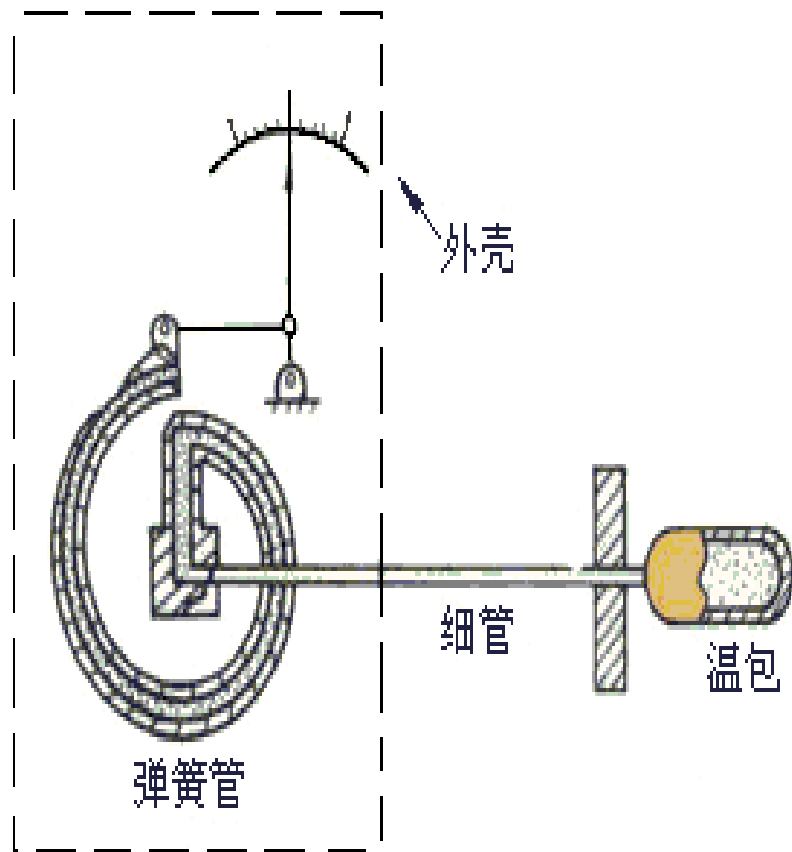
SHH-23



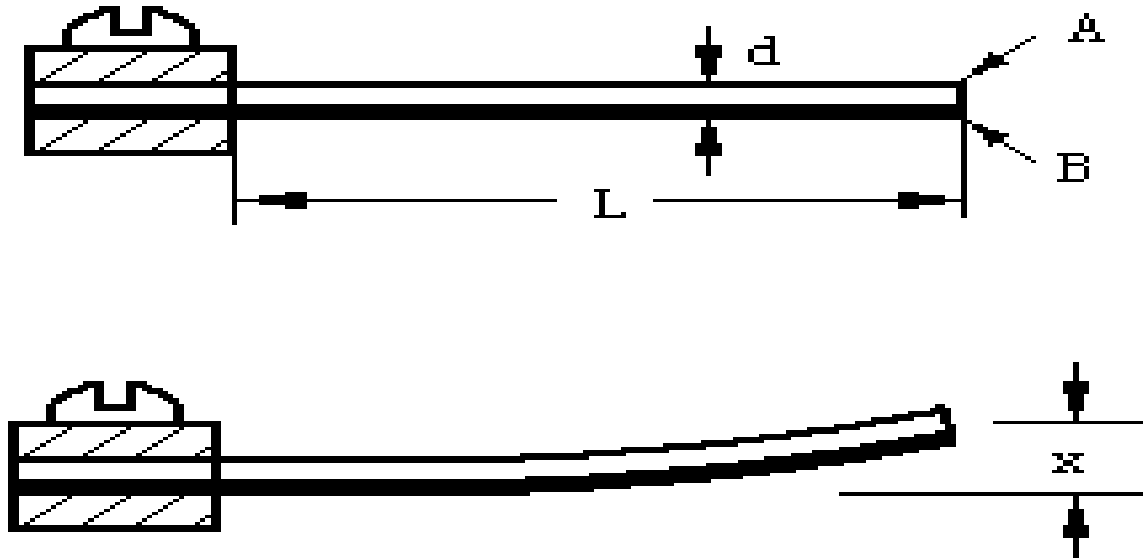
SHH-24

压力温度计

- 压力温度计是根据一定质量的液体、气体、蒸汽在体积不变的条件下其**压力与温度呈确定函数关系**的原理实现其测温功能的。
- 压力温度计和玻璃温度计相比，具有**强度大、不易破损、读数方便**，但准确度较低、耐腐蚀性较差等特点



双金属温度计



- 基于固体**受热膨胀原理**，测量温度通常是把两片线膨胀系数差异相对很大的金属片叠焊在一起，构成双金属片感温元件当温度变化时，因**双金属片的两种不同材料线膨胀系数差异相对很大而产生不同的膨胀和收缩**，导致双金属片产生弯曲变形。

- 双金属温度计的感温双金属元件的形状有平面螺旋型和直线螺旋型两大类，其测温范围大致为-80℃—600℃，精度等级通常为1.5级左右。
- 双金属温度计抗振性好，读数方便，但精度不太高，只能用做一般的工业用仪表。



第三章

主要内容 第一节热电偶温度计

❖ 第一节 热电偶温度传感器

❖ 第二节 热电阻温度传感器

❖ 第三节 测温实例

❖ 第四节 其他温度检测仪表

第一节热电偶温度计

主要内容

- ❖ 第一节 热电现象和关于热电偶的基本定律
- ❖ 第二节 标准化和非标准化热电偶
- ❖ 第三节 热电偶的冷端温度补偿问题
- ❖ 第四节 热电偶的校验

一、热电现象和热电偶温度计

二、热电偶的三条基本定律

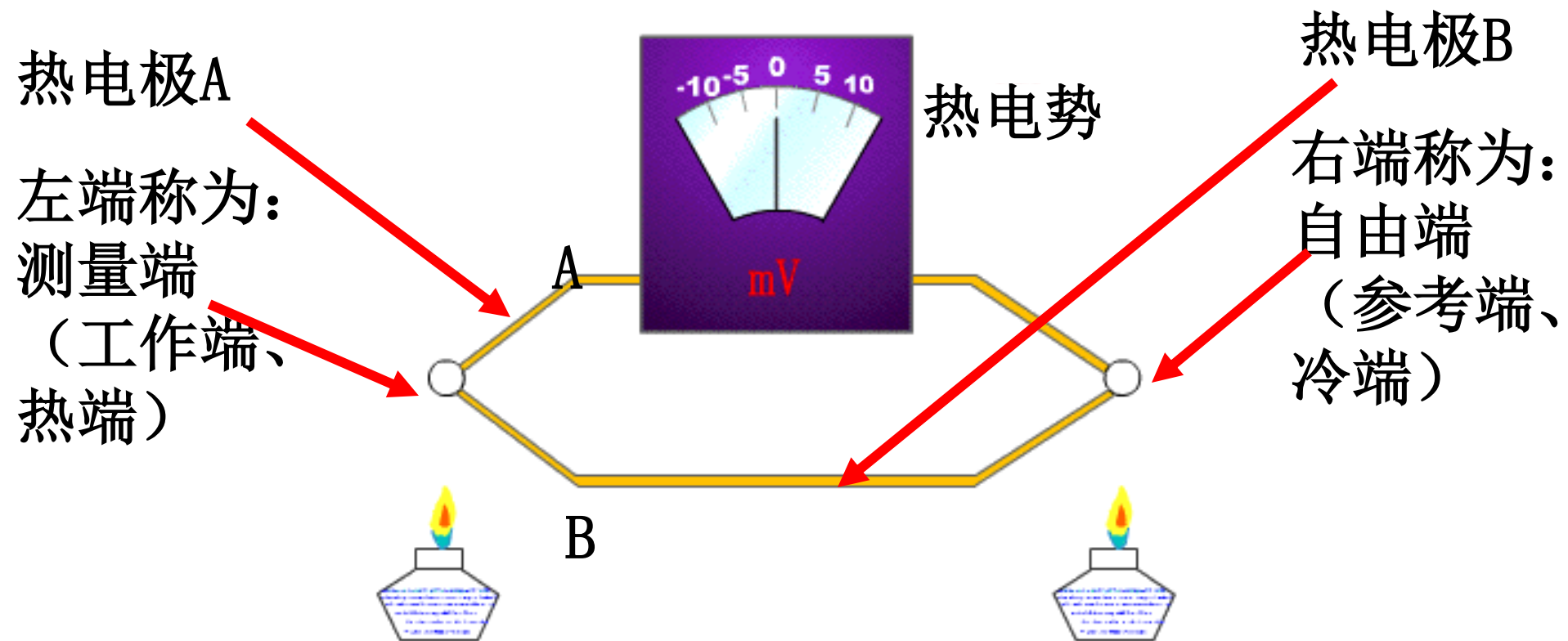
热电偶：

范围100—1600⁰C, 温度信号变成电信号，远传。



一、热电偶的工作原理

先看一个实验——热电偶工作原理演示



结论：当两个结点温度不相同时，回路中将产生电动势。

➤ 上述现象称为热电现象，1821年赛贝克发现的，也称赛贝克效应

二、热电偶的三条基本定律

均匀导体定律、 中间导体定律、 中间温度定律

1. 均匀导体定律

1) 定律内容：由一种均匀导体（或半导体）组成的闭合回路，不论温度如何分布，都不能产生电动势。

2) 定律推论

- (1) 热电偶必须由两种不同材料组成
- (2) 由一种材料组成的闭合回路存在温差时，如回路有热电势，则材料不均匀

二、热电偶的三条基本定律

2 中间导体定律

1) 定律内容：不同材料组成的闭合回路中，若**各种材料接触点的温度**都相同，则回路中热电势的总和等于零。

2) 定律推论

➤ 推论1：在热电偶回路接入第三种导体，若第三种导体的两接点温度相同，对回路中总热电势无影响。

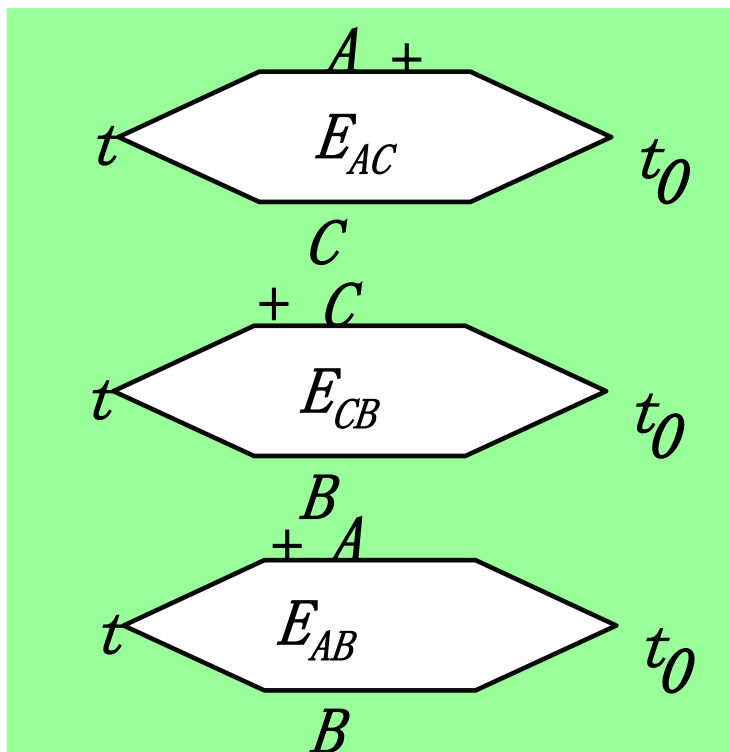
推论1用途：

◆ **连接显示仪表的两个接点温度相同， 则不影响热电偶电势**

◆ 也可以将热电偶的两端不焊接而直接插入液态金属中或直接焊在金属表面进行温度测量。

➤ **推论2**：如果两种导体**A,B**对另一种导体**C**的热电势已知，则这两种导体组成热电势=是它们对参考导体热电势的代数和。

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



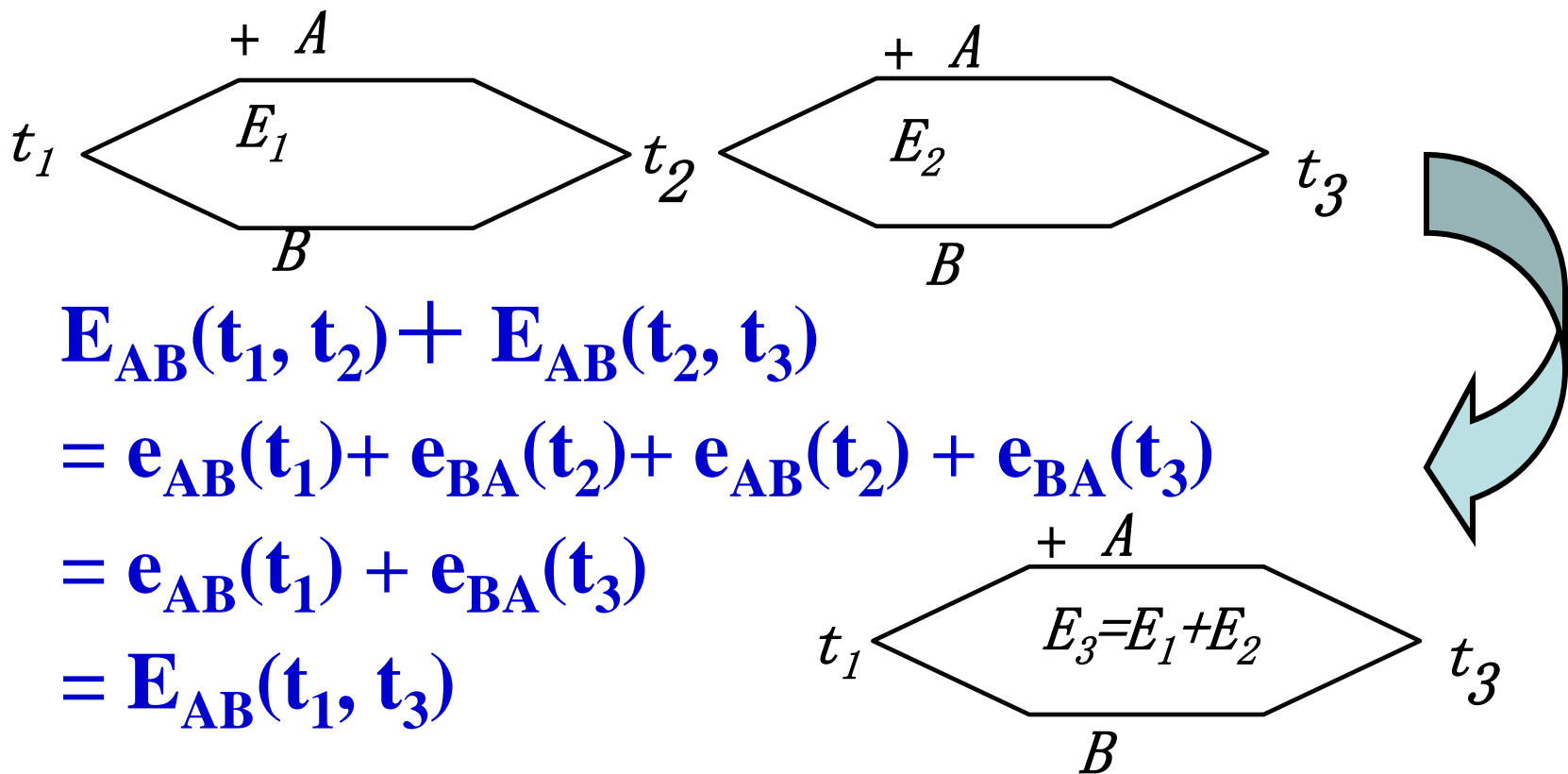
推论2的用途：

已知热电极与标准铂电极配对的热电势，任何两种热电极配对的热电势可知。

二、热电偶的三条基本定律

3 中间温度定律

- 1) 定律内容： 热电偶在两接点温度 t_1 、 t_3 时的热电动势等于接点温度分别为 t_1 、 t_2 和 t_2 、 t_3 的两支同性质热电偶的热电动势的代数和。



$$E_{AB}(t_1, t_2) + E_{AB}(t_2, t_3)$$

$$= e_{AB}(t_1) + e_{BA}(t_2) + e_{AB}(t_2) + e_{BA}(t_3)$$

$$= e_{AB}(t_1) + e_{BA}(t_3)$$

$$= E_{AB}(t_1, t_3)$$

二、热电偶的三条基本定律

3 中间温度定律

2) 定律的应用:

1) 为热电偶**热电势—温度关系分度**奠定了理论基础。

已知热电偶在某一给定冷端温度下，电压对应的温度值，另外冷端温度下，电压应对应什么温度？
(修正解决)

2) 为工业测温中**应用补偿导线**提供了理论依据。

1 **测温时，其冷端温度要求恒定**（？），如直接满足此条件，热电偶冷端直接延伸放到恒温的地方，热电偶很长，价格较高。

2 用补偿导线连接到热电偶的冷端，延伸至恒定冷端温度，在达到冷端温度恒定要求的同时，降低造价。

3 . 2 . 2 热电偶的构造及标准化热电偶

一、热电极材料及性质

二、标准化热电偶

三 非标准化热电偶

四 热电偶的构造



一、热电极材料及性质

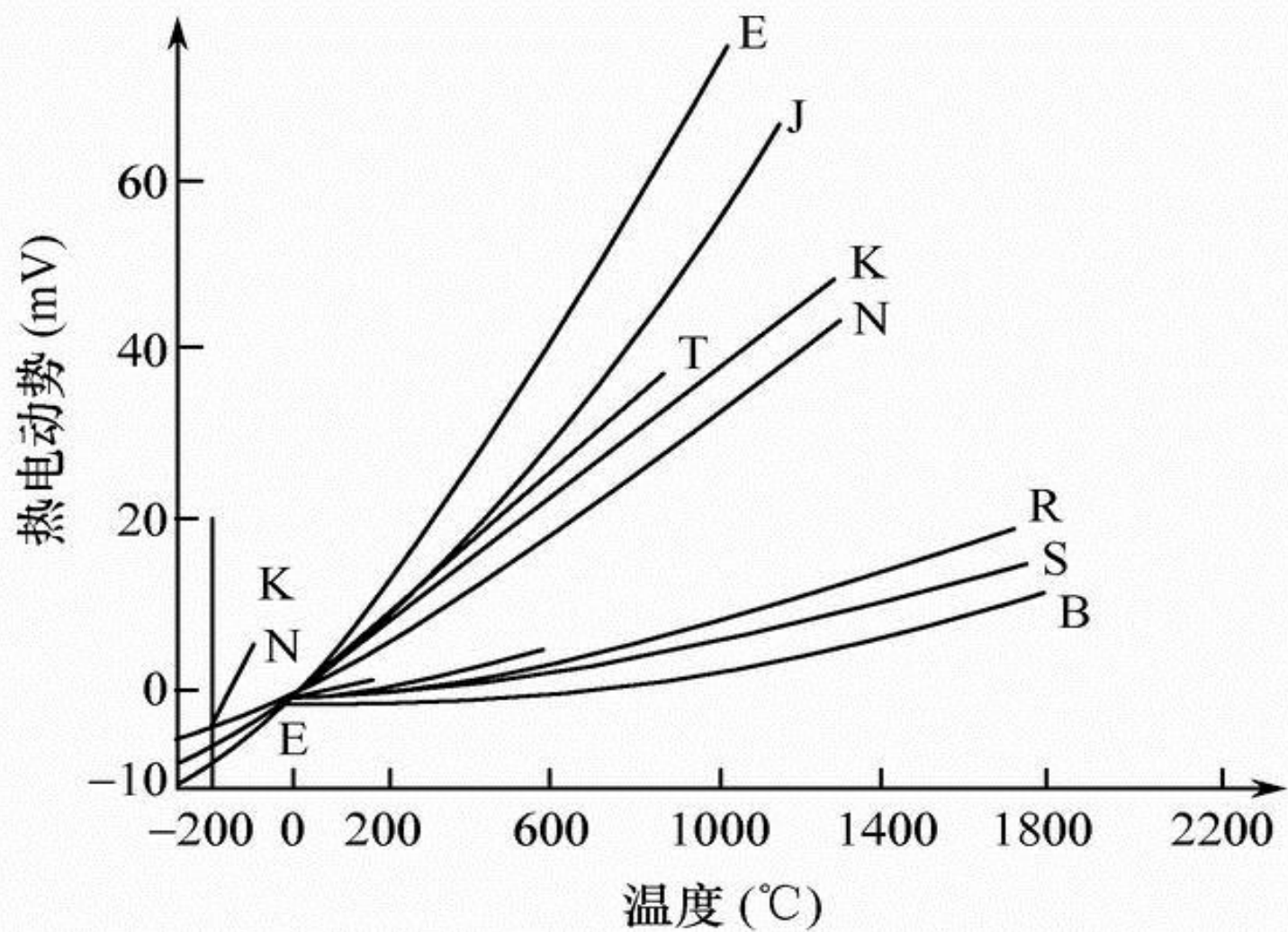
- 1) 物理性质稳定，其热电性质不随时间变化
- 2) 化学性质稳定，不易被氧化和腐蚀
- 3) 灵敏度和线性度好
- 4) 电导率高，电阻温度系数小
- 5) 复制性好，以便交换
- 6) 价格便宜

目前材料无法满足全部要求，不同条件下使用不同的热电极材料。

二、标准化热电偶

- 标准化热电偶：是指制造工业较成熟，应用广泛，能成批生产、性能优良而稳定并已列入专业或国家工业标准化文件中的那些热电偶
- 标准化热电偶具有互换性

- 铂铑10-铂热电偶（分度号S）
- 铂铑13-铂热电偶（分度号R）
- 铂铑30-铂铑6热电偶（分度号B）
- 镍铬-镍硅（镍铬-镍铝）热电偶（分度号K）
- 镍铬-康铜热电偶（分度号E）
- 铁-康铜热电偶（分度号J）
- 铜-康铜热电偶（分度号T）
- 镍铬-金铁热电偶（分度号NiCr—AuFe0.07）及
铜-金铁热电偶（分度号Cu—AuFe0.07）



四 热电偶的构造

1 普通型热电偶

2 铠装热电偶

3 薄膜热电偶

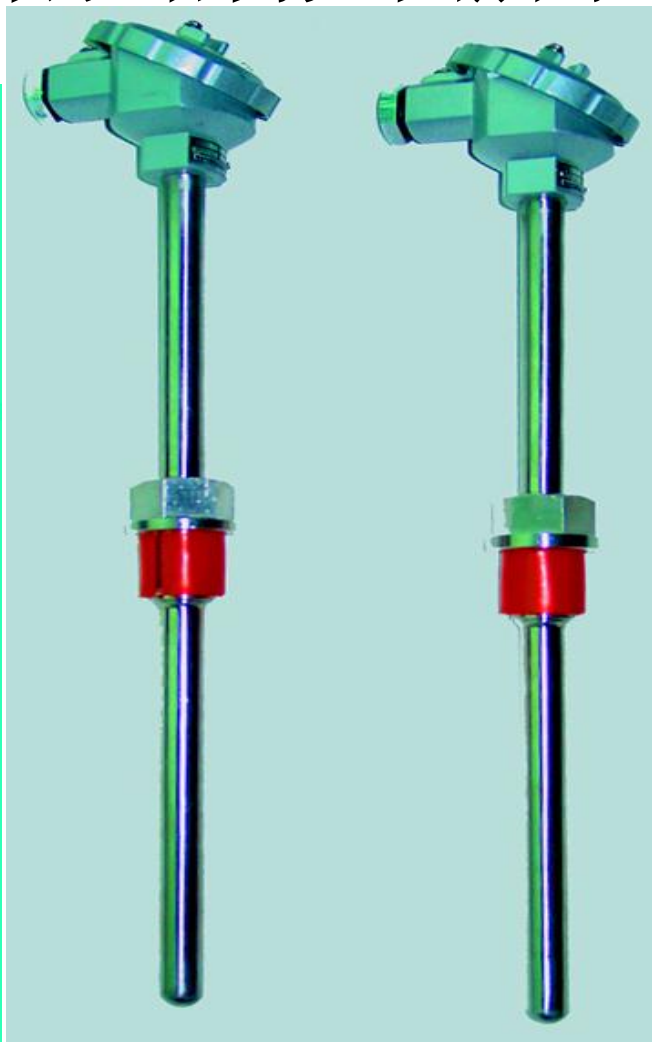


- 1 普通型热电偶

通常由热电极、绝缘管、保护套管等几个主要部分组成，其常见外形结构如图所示。

安装
螺纹

安装
法兰



接线盒

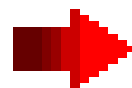
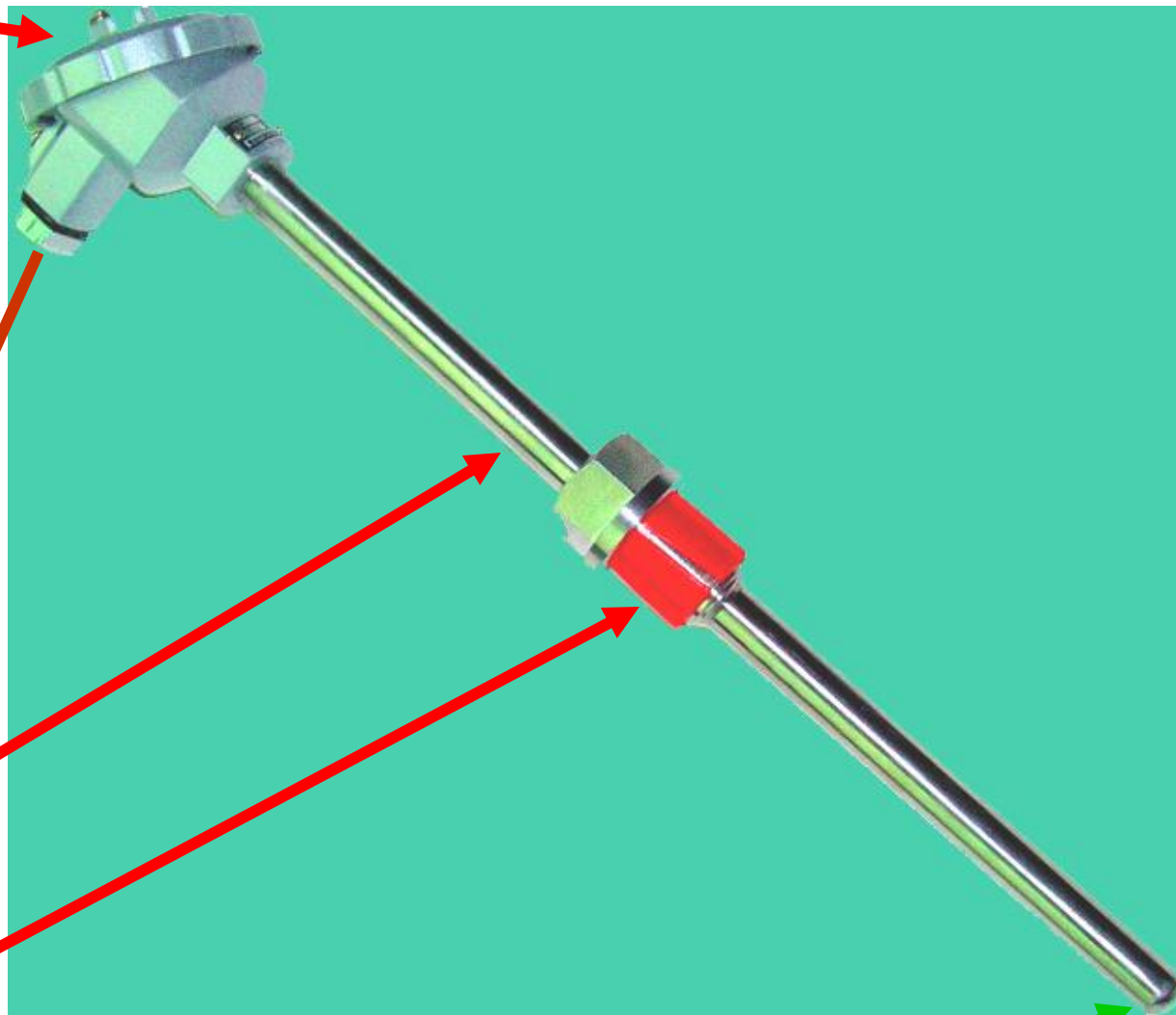
普通装配型热
电偶的
结构放大图

引出线套管

不锈钢保护管

固定螺纹
(出厂时用塑料包裹)

热电偶工作端 (热端)



四 热电偶的构造

2 铠装热电偶

铠装热电偶：金属套管、绝缘材料和热电极三者一体

优点：

- 1) 动态响应快；
- 2) 机械强度高，挠性好，耐高压、强烈震动和冲击；
- 3) 能解决微小、狭窄场合的测温问题，且具有抗震、可弯曲、超长等优点。

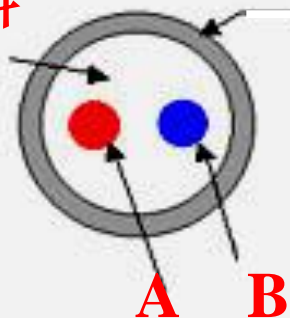
铠装型热电偶外形



铠装型热电偶可
长达上百米



绝缘
材料



薄壁金属
保护套管
(铠体)

铠装型热电偶
横截面



法兰



四 热电偶的构造

3 薄膜热电偶

由两种金属薄膜连接而成。

1) 特点： 微小面积上的温度测量；动态响应快，可测瞬变的表面温度。



2) 应用：

(1) 如将热电极材料直接蒸镀到被测表面，可测微秒级变化的温度。

(2) 如制成针状，针尖为热端，可测量点的温度

复习思考题

1. 热电偶为什么要冷端温度恒定？
2. 工业上使用补偿导线的理论依据和注意事项
3. 热电偶的三大基本定律是什么，有哪些应用？

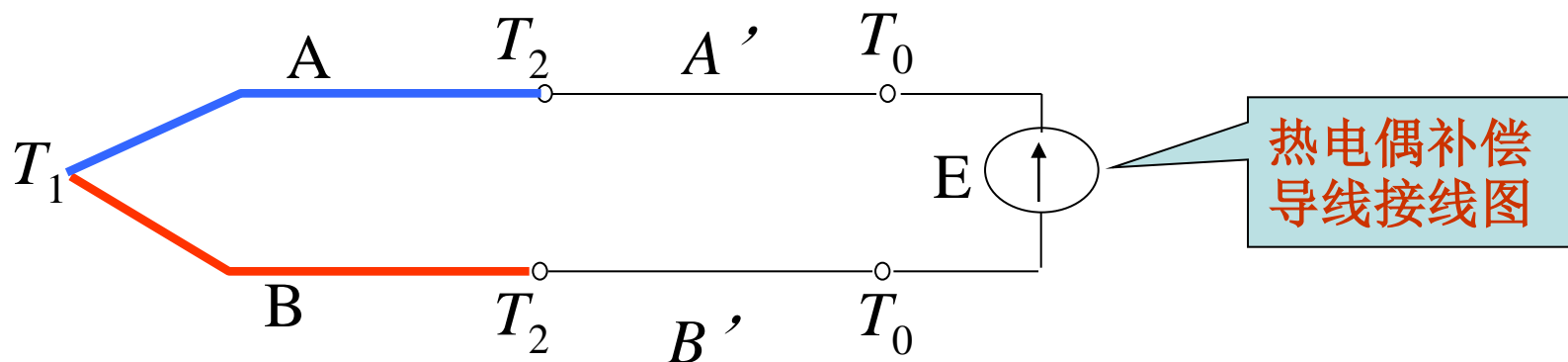
3 . 2 . 3 热电偶的冷端处理方法

- 热电偶的电势大小不但与热端温度有关，且与冷端温度有关，冷端应恒定。
- 通常热电偶冷端放在距热端很近的大气中，受热端和大气环境的影响，有波动
- 为消除冷端温度变化对测量的影响，可采用冷端温度补偿方法

补偿导线

根据中间温度定律：只要 T_1 、 T_0 不变，当在原来热电偶回路中分别引入与导体材料A、B同样**热电特性**的材料A'、B'(如图)即引入所谓补偿导线时，接入A' B'后不管接点温度 T_2 如何变化，都不影响总热电势。这便是引入补偿导线原理。

$$\begin{aligned} E_{AB}(T_1, T_0) &= E_{AB}(T_1, T_2) + E_{A'B'}(T_2, T_0) \\ &= E_{AB}(T_1, T_2) + E_{AB}(T_2, T_0) \\ &= E_{AB}(T_1, T_0) \end{aligned}$$



使用补偿导线的原因：

- 补偿导线可将热电偶延长，使其自由端远离易受环境变化影响的测温现场，则自由端温度 t_0 比较稳定。
- 补偿导线用廉价金属代替贵重金属，降低成本。
- 使用补偿导线便于安装和铺设。

使用补偿导线须注意：

- ◆ 温度范围0~100°C
- ◆ 型号匹配
- ◆ 接点处温度相同
- ◆ 区分正负
- ◆ 补偿导线的作用只是延伸热电偶的自由端，并没有自由端补偿功能。

补偿导线外形

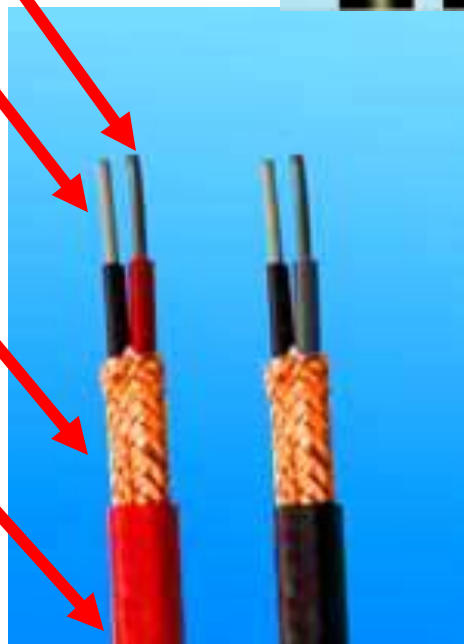


A'

B'

屏蔽层

保护层



热电偶冷端温度的补偿问题

- 一、计算法
- 二、冰点槽法
- 三、补偿电桥法（冷端补偿器）
- 四、多点冷端温度补偿法



一、算法

1.问题提出

分度的冷端温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，如测温时热电偶是 t_0 ，不为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，不能用测得 $E(t, t_0)$ 直接查分度表求 t 。

?

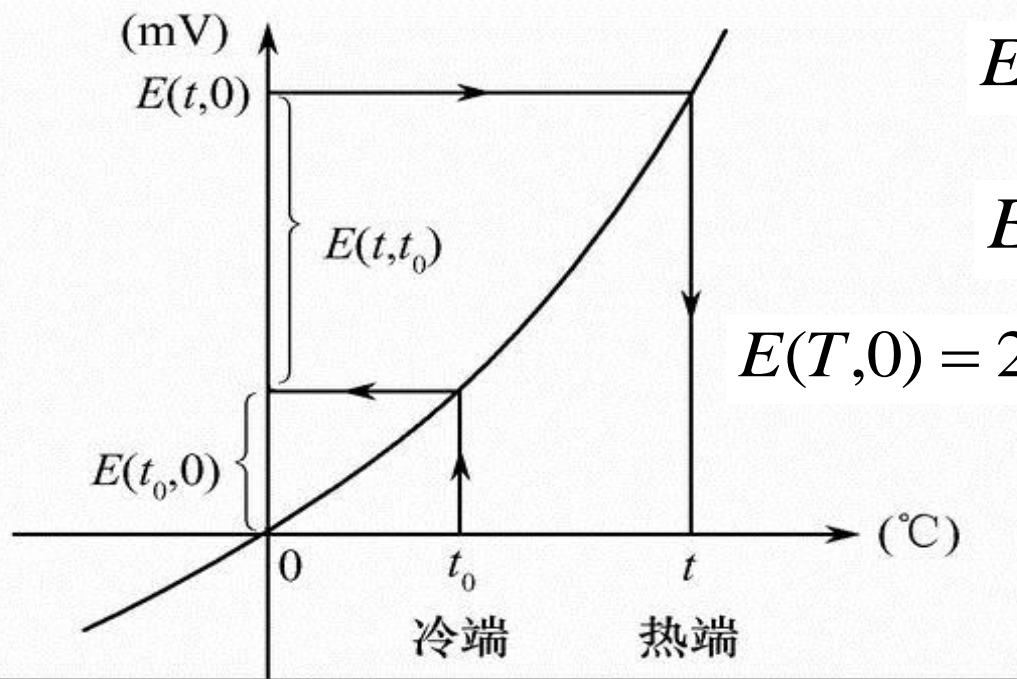
2.计算公式

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

用 $E(t, 0)$ 查表求 t 。

一、计算法

用镍铬—镍硅(K型)热电偶测温，热电偶参比端温度为 30°C 。测得的热电势为 28mV ，求热端温度。



$$E(30,0) = 1.203\text{mV}$$

$$E(T,30) = 28\text{mV}$$

$$E(T,0) = 28\text{mV} + 1.203\text{mV} = 29.203\text{mV}$$

反查K分度表 **$T=701.5^{\circ}\text{C}$**

查表练习

给出热电偶的型号，热端、冷端温度，要求查出对应的热电势。

热电偶	热端温度	冷端温度	热电势
铂铑10-铂热电偶	20	1300	
铂铑10-铂热电偶	20	1400	
铂铑10-铂热电偶	40	1400	
镍铬-镍硅	20	900	
镍铬-镍硅	20	950	
镍铬-镍硅	40	950	

习题

热电偶分度号	热端温度 ($^{\circ}\text{C}$)	冷端温度 ($^{\circ}\text{C}$)	热电势 (mV)
S	1300	0	
B	1400		8.913
K		30	34.110
T	-140		-6.455
E	805	35	
J	555	15	

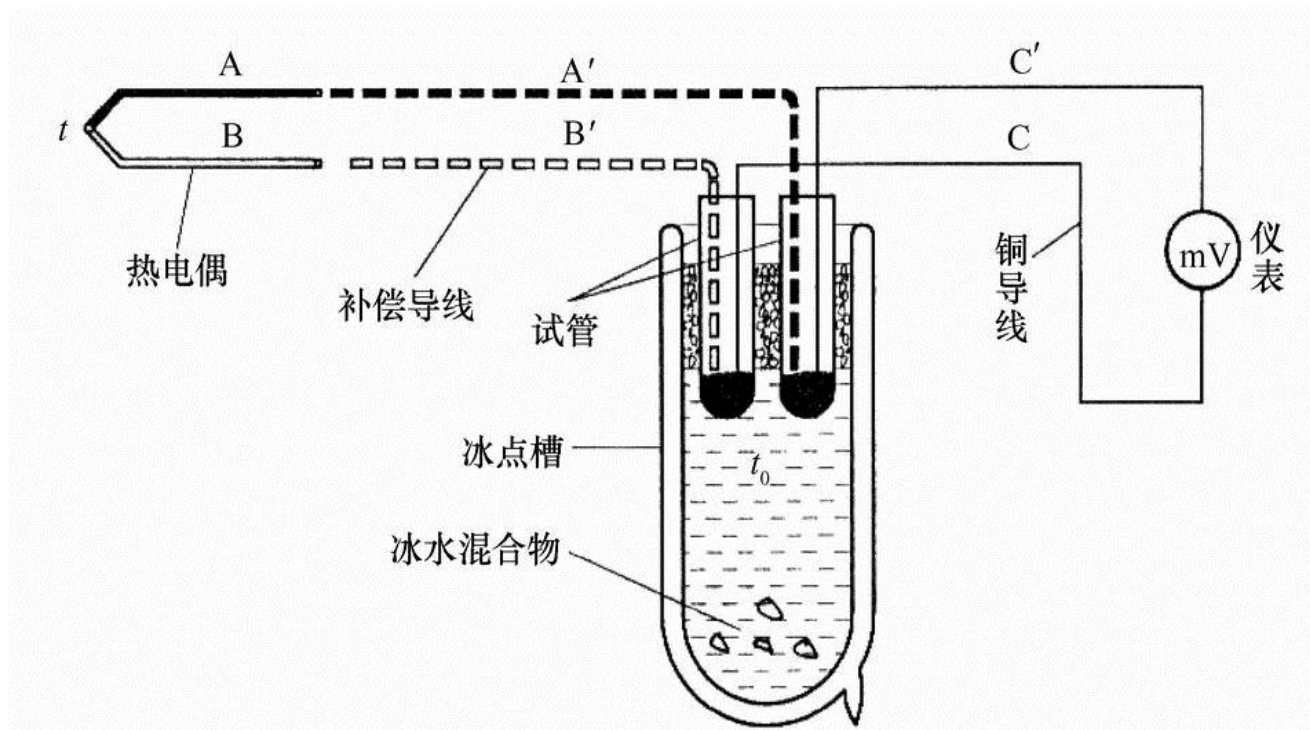


二、冰点槽法

冷端放入一个温度恒为 0°C 的冰点槽中

1. 举例

将水与冰屑混合放入保温瓶，在瓶盖上插入盛变压器油的试管，热电偶的冷端插入到试管中。



三、补偿电桥法（冷端补偿器）

利用不平衡电桥产生热电势补偿热电偶因冷端温度变化而引起热电势的变化值。

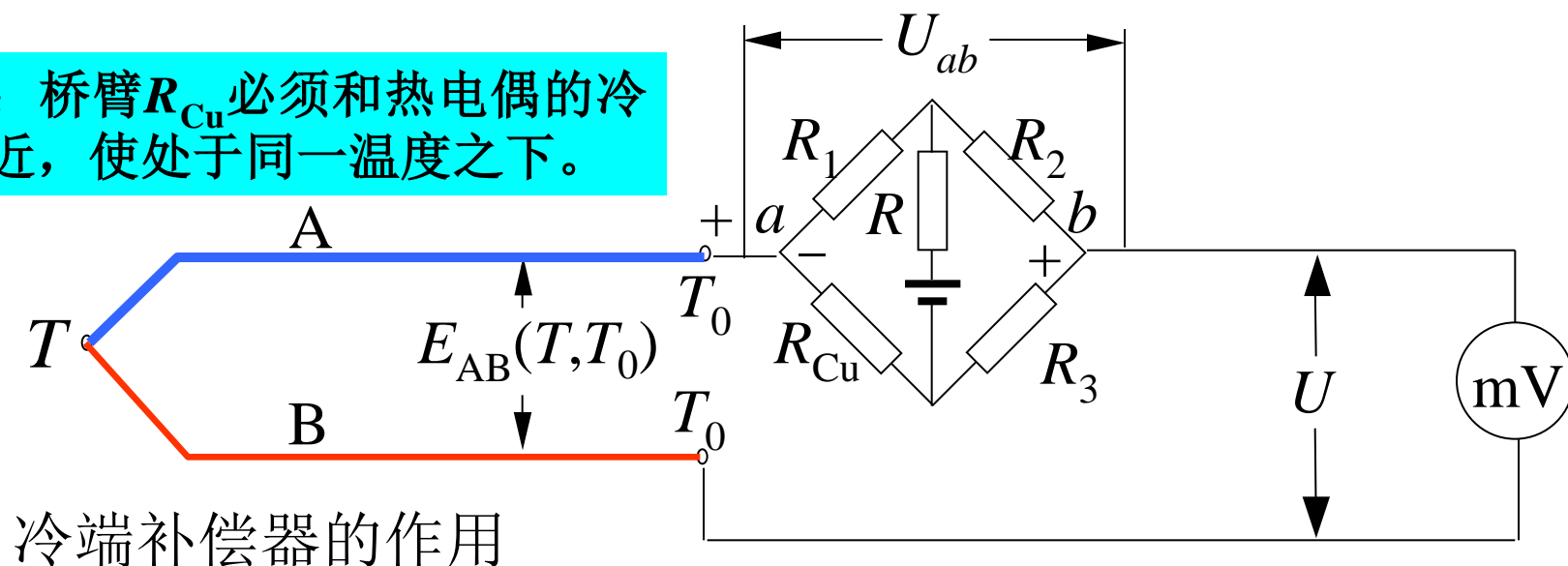
不平衡电桥由 R_1 、 R_2 、 R_3 (锰铜丝绕制)、 R_{Cu} (铜丝绕制)四个桥臂和桥路电源组成。设计时，在 0°C 下使电桥平衡($R_1=R_2=R_3=R_{Cu}$)，此时 $U_{ab}=0$ ，电桥对仪表读数无影响。

$$T_0 \uparrow U_a \uparrow U_{ab} \uparrow E_{AB}(T, T_0) \downarrow$$

供电4V直流，在 $0\sim 40^\circ\text{C}$ 或 $-20\sim 20^\circ\text{C}$ 的范围起补偿作用。

注意，不同材质的热电偶所配的冷端补偿器，其中的限流电阻 R 不一样，互换时必须重新调整。

注意：桥臂 R_{Cu} 必须和热电偶的冷端靠近，使处于同一温度之下。



冷端补偿器的作用

五、零点迁移法

应用领域：如果冷端不是 0°C ，但十分稳定（如恒温车间或有空调的场所）。

实质：在测量结果中人为地加一个恒定值，因为冷端温度稳定不变，电动势 $E_{AB}(T_H, 0)$ 是常数，利用指示仪表上调整零点的办法，加大某个适当的值而实现补偿。

调整指针在没有电压输入时就指向**20°C**,
相当于永远给回路增加了 $E_{AB}(20^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C})$
电势.



将实线取掉留下虚线部分就构成了实际的温度测量仪表,尽管热电偶输入给仪表的是电压,但显示的是温度数字.注意:由于仪表实际上就是将表格简化后制成表盘,所以测量要求和表格相同,冷端温度必须为零,否则会出现误差.



指针被预调到室温（40 °C） 可补偿冷端损失

四、多点冷端温度补偿法

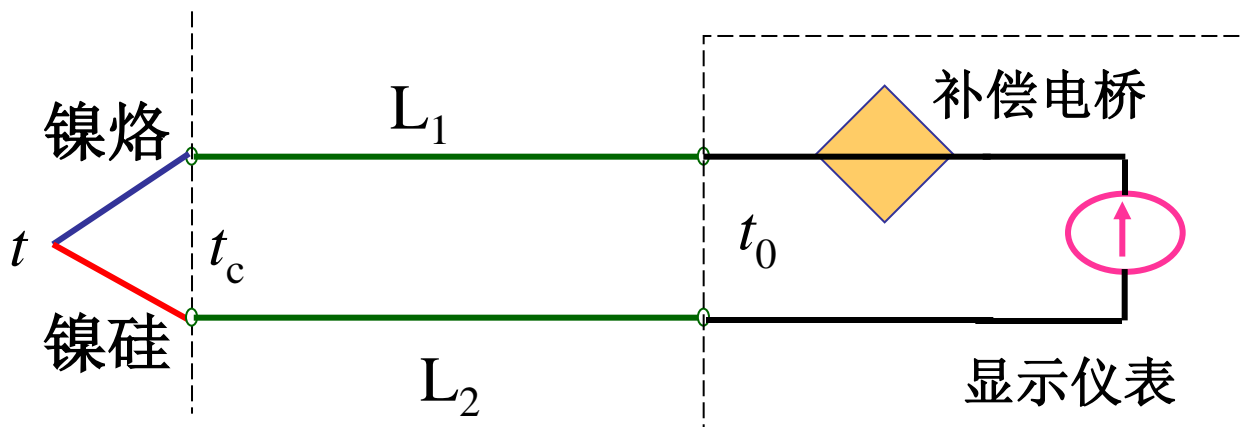
(1) 用一个公共的冷端补偿器。

利用多点开关，把几支甚至几十支同分度的热电偶接到一块仪表上。

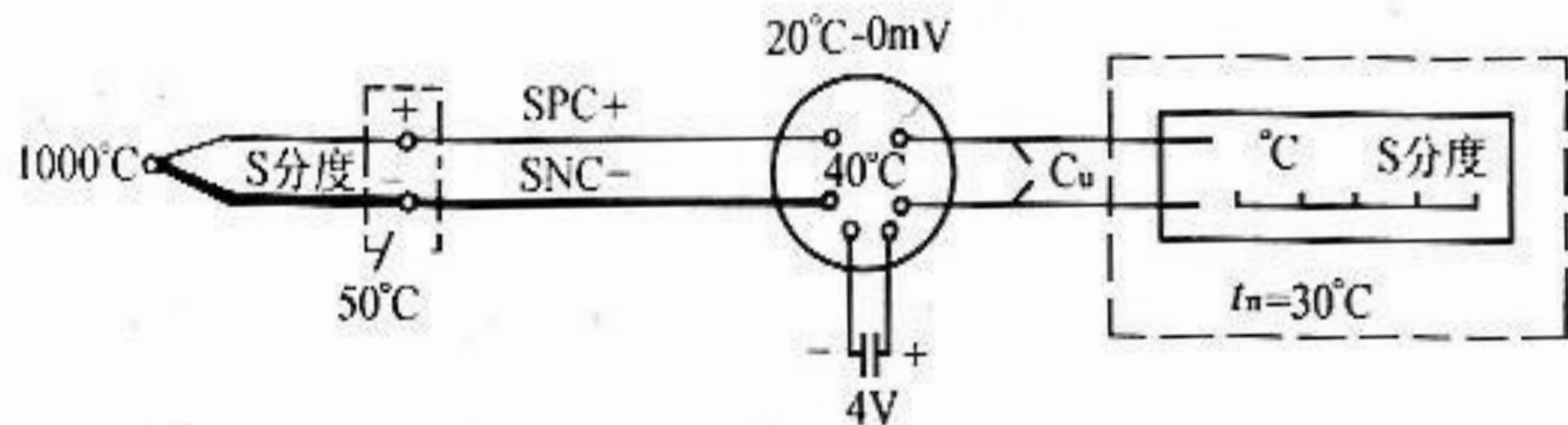
(2) 把所有热电偶的冷端引入到一个接线盒中，同时盒中放补偿热电偶的热端。由于补偿热电偶与测温热电偶通过切换开关和仪表串联，冷端温度变化得到补偿。

- 此时仪表的零点应调到补偿热电偶的冷端温度。如补偿热电偶的冷端放到恒温器中，仪表的机械零点应调到恒温箱的温度。

【例1】有一个实际的热电偶测温系统，如下图所示，
设 $t=300^{\circ}\text{C}$ ， $t_c=50^{\circ}\text{C}$ ， $t_0=20^{\circ}\text{C}$ ，①求测量回路的总电势以及温度显示仪表的读数。②如果补偿导线为普通铜导线，或显示仪表为配E型热电偶的，则测量回路的总电势和温度的显示值又各为多少？



【例2】有S分度热电偶测温系统如图所示。试问此动圈仪表的机械零位应调在多少度上？当冷端补偿器的电源开路（失电）时，仪表指示为多少？电源极性接反时，仪表指示又为多少？



习题

用镍铬—康铜热电偶配动圈仪表测量温度，仪表机械零位调在 20°C ，测量系统如下图所示，已知热电偶冷端温度 $t_0=40^{\circ}\text{C}$ ，仪表环境温度 $t'_0=20^{\circ}\text{C}$ ，仪表指示值 $t=400^{\circ}\text{C}$ ，但后发现所用的是配镍铬—镍硅热电偶的补偿导线。试计算热电偶热端的真实温度 t

