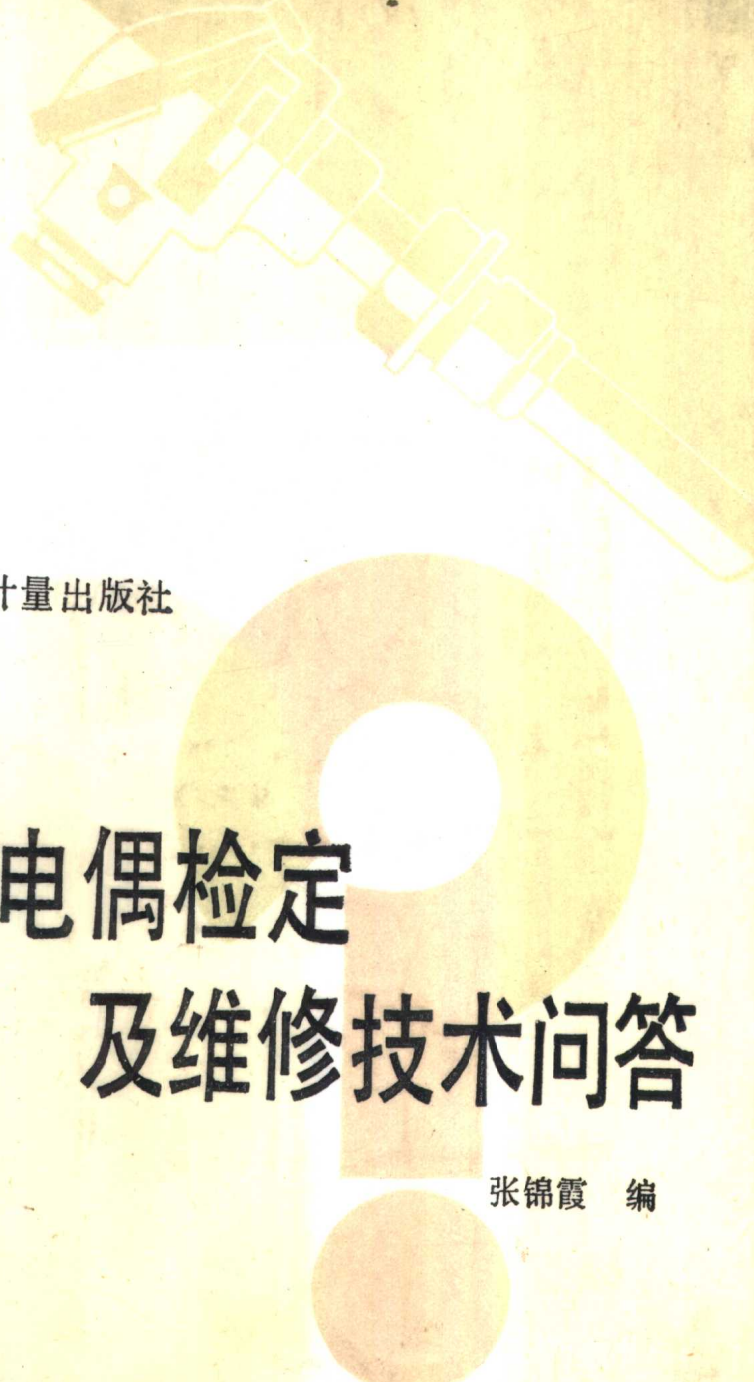




中国计量出版社

热电偶检定 及维修技术问答

张锦霞 编

1

32

热电偶检定及维修技术问答

张锦霞 编

中国计量出版社

内 容 提 要

在工业生产和科学实验中,热电偶已成为温度测量领域中广泛应用的感温元件之一,在 $-270\sim 2800^{\circ}\text{C}$ 的广阔温区内进行温度测量。本书根据热电偶测温及检定工作中容易出现的模糊概念和错误做法,以问答的形式对热电偶的测温原理、结构、使用、维修、性能测试及检定技术,对热电偶的技术要求、标准仪器的正确选择、检定操作过程的注意事项及数据处理作了详细的介绍。本书的特点是联系实际、深入浅出、简单明确、实例甚多。

本书可供具有中等文化程度的省、市、地区、企事业单位从事热电偶检定、测试的人员阅读,也可作为热电偶检定人员岗位培训的教材及考核、复习的参考书。

热电偶检定及维修技术问答

张锦霞 编

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787\times 1092/32$ 印张 4.5 字数 98 千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

印数 1—3,000

ISBN 7-5026-0460-X/TB·360

定价 3.50 元

前 言

随着科学技术的不断发展,热电偶已成为温度测量领域中应用最广泛的感温元件之一,可以在 $-270\sim 2800^{\circ}\text{C}$ 的广阔温区内进行测量。它的优点是:性能稳定、准确可靠、热惯性小、动态响应快,而且结构简单、维修方便,其信号可以远距离传送,便于集中检测和自动控制。因此,在工业生产和科学研究等领域中,都广泛地应用热电偶来测量温度。

为了促进热电偶测温技术的发展,本书根据热电偶测温及检定工作中容易出现模糊概念和错误做法,以问答的形式讲述热电偶的测温原理、结构、使用等有关的基础知识,并着重介绍了热电偶的维修、性能测试及检定技术;对热电偶的技术要求,标准仪器的正确选择,检定操作过程的注意事项及数据处理作了详细的介绍。编写时,力求结合实例进行说明,作到联系实际、深入浅出、简单明确,希望能够对广大热电偶检测人员在现场维护热电偶良好运行和检定工作中正确理解、贯彻执行国家检定规程及有关标准起促进作用,从而保证热电偶测温准确一致,量值统一。

本书可供具有中等文化程度的省、市、地区、企事业单位从事热电偶检定、测试的人员阅读,也可作为热电偶检定人员岗位培训的教材及考核、复习的参考资料。

本书在编写过程中,得到中国计量出版社有关同志的支持和帮助,并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

由于编写时间仓促，加之本人水平所限，书中难免有错误和不妥之处，希望读者批评指正。

编者

1991年4月

目 录

第一章	基础知识	(1)
第二章	热电偶的焊接与维修	(42)
第三章	热电偶性能测试与检定	(52)
附表1	铂铑10-铂热电偶分度表	(121)
附表2	铂铑13-铂热电偶分度表	(122)
附表3	铂铑30-铂铑6热电偶分度表	(123)
附表4	镍铬-镍硅热电偶分度表	(124)
附表5	镍铬-铜镍热电偶分度表	(125)
附表6	镍铬硅-镍硅热电偶分度表	(126)
附表7	铁-铜镍热电偶分度表	(128)
附表8	铜-康铜热电偶分度表	(129)
附表9	钨铼3-钨铼25热电偶分度表	(130)
附表10	钨铼5-钨铼26热电偶分度表	(132)
附表11	常用热电偶热电势率(塞贝克系数)表	(134)
附表12	S型、B型热电偶参考函数表	(135)
附表13	标准热电偶参考函数 $E_i(t)$ 计算公式中的 a_i 数值表	(135)

第一章 基础知识

1. 什么叫热电偶?热电偶测温基本电路由哪几部分组成?

答:热电偶是一对不同材料的导体,如图1-1中的 A 、 B ,称为热电极,其一端焊接在一起形成接点1,这个接点叫做测量端(工作端或热端)。测量温度时,将热电偶测量端置于被测温度场中感受被测介质的温度,另一端接点2称为参考端(自由端或冷端),直接或通过连接导线3接到测量装置4上。测量装置通常为动圈仪表、电子电位差计等显示仪表。

热电偶是按热电效应原理,当参考端温度恒定在某一温度下(通常为 0°C),测量端温度与热电势之间有一定的函数关系进行温度测量的。所以说热电偶是一种感温元件,是一种变换器,它能将温度信号转变为电信号,再由测量装置显示出来。

因此,热电偶测温基本电路是由热电偶、连接导线、测量装置组成。

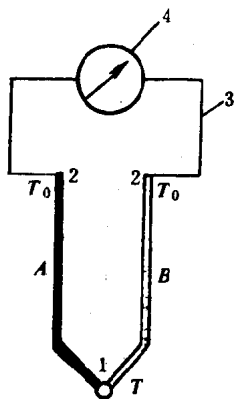
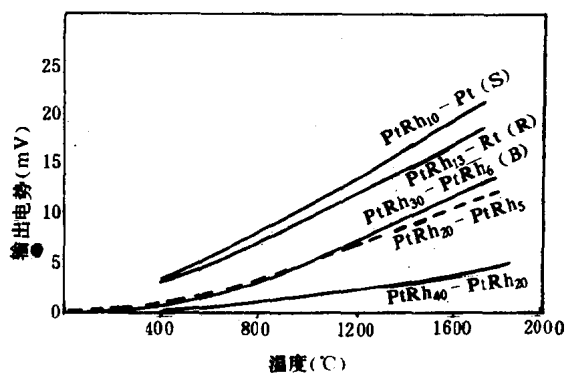


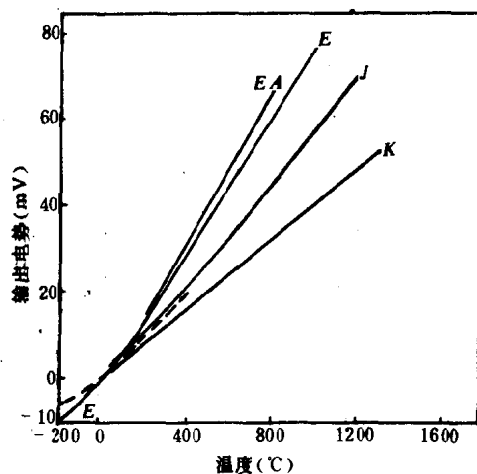
图 1-1 热电偶测温基本线路

2. 什么叫热电效应和热电特性?

答:在两段不同金属导体组成的闭合回路附近,只要两接点1、2的温度不同($T \neq T_0$),磁针便会偏转。若把冷接点变成热接点,则磁针的偏转方向会反向,如图1-2所示。这说明由两种不同导体组成的闭合回路中,当热电极 A 、 B 相接的两



(a) 贵金属热电偶热电特性



(b) 廉金属热电偶热电特性

图 1-3 常用热电偶热电特性

处温度不同时,例如 $T > T_0$,则在回路中就有电流通过。也就是说有一定大小的电动势产生,这种物理现象称为热电效应或塞贝克效应,这个电动势称为热电势或塞贝克电势,通常用符号 $E_{AB}(T, T_0)$ 表示。

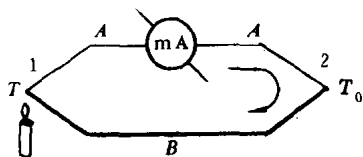


图 1-2 塞贝克效应示意图

热电偶回路中的热电势与测量端温度的关系称为热电偶的热电特性。它是由热电极材料的物理性质和化学成分决定的,不同材料组成的热电偶具有不同的热电特性。图1-3为几种常用热电偶的热电特性曲线。

3. 简述热电偶测温基本原理,并写出热电偶回路总的热电势表达式。

答:热电偶是根据热电效应原理测量温度的。如果组成热电偶回路的两热电极 A 、 B 材料不同 ($N_{AT} > N_{BT}$),且两端温度不同 ($T > T_0$),则在这个回路中的两个接触点就会产生两个接触电势 $E_{AB}(T)$ 和 $E_{AB}(T_0)$,在 A 、 B 两个电极上就各产生一个温差电势 $E_A(T, T_0)$ 和 $E_B(T, T_0)$,其电势的方向和分布如图1-4所示。根据物理学的理论推导,热电偶回路中总的热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 可用下列公式表示:

$$E_{AB}(T, T_0) = \frac{KT}{e} \ln \frac{N_{AT}}{N_{BT}} - \frac{KT_0}{e} \ln \frac{N_{AT_0}}{N_{BT_0}} \quad (1-1)$$

式中 K ——波尔兹曼常数;

e ——电子的电荷量,等于 4.80×10^{-16} 绝对静电单位;

T ——测量端温度 K;

T_0 ——参考端温度 K;

N_{AT} 、 N_{BT} ——导体 A、B 在温度 T 时的自由电子密度;

N_{AT_0} 、 N_{BT_0} ——导体 A、B 在温度 T_0 时的自由电子密度。

从公式 (1-1) 看出, 热电偶回路中总的热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 的大小与组成热电偶的材料及两端温度有关, 而与热电偶的形状和几何尺寸无关。应注意的是, N_{AT} 、 N_{BT} 都是温度的函数, 而不是常量, 它不仅取决于导体材料的性质, 而且还随温度变化而变化。因此, 只有当两电极材料及自由电子密度 N_{AT} 、 N_{BT} 和温度的函数关系确定之后, 公式 (1-1) 才可写成下列形式:

$$E_{AB}(T, T_0) = f_{AB}(T) - f_{AB}(T_0) \quad (1-2)$$

或
$$E_{AB}(T, T_0) = e_{AB}(T) - e_{AB}(T_0) \quad (1-3)$$

式中 $e_{AB}(T)$ 、 $e_{AB}(T_0)$ ——接点 1、2 的分热电势或分塞贝克电势。

从式 (1-3) 看出, 热电偶回路的总热电动势为两接点分热电势之差。

若组成热电偶的材料一定, 则热电偶回路中总热电势的大小仅与两接点温度有关, 也就是说, 热电势是两接点温度 T 、 T_0 的函数, 其大小为两接点温度 T 和 T_0 的函数之差 (注意不是温度差的函数)。如果设法使热电偶参考端温度 T_0 保持不变 (通常参考端温度规定为 0°C), 此时公式 (1-2) 中的 $f_{AB}(T_0)$ 为一常数, 即

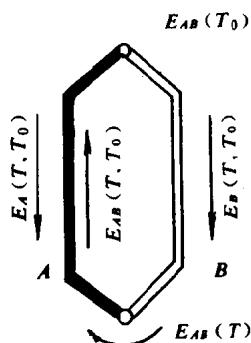


图 1-4 热电偶回路的热电势分布

$$E_{AB}(T, T_0) = f_{AB}(T) - C = \varphi_{AB}(T)$$

这时, 总热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 只与测量端温度 T 成单值函数关系, 就是说热电偶所产生的热电势只与测量端温度有关。一定的温度对应有一定大小的热电势值。因此, 可以利用测量热电势的方法, 达到测量温度的目的。这就是热电偶测量温度的原理。

4. 热电偶回路中产生热电势必须具备哪两个基本条件?

答: 从公式 (1-1) 可以看出: 如果热电偶的两热电极 A 、 B 材料相同, 也就是说电子密度相同, 即 $N_{AT} = N_{BT}$; $N_{AT_0} = N_{BT_0}$ 。此时 $\ln \frac{N_{AT}}{N_{BT}} = 0$, $\ln \frac{N_{AT_0}}{N_{BT_0}} = 0$, 故 $E_{AB}(T, T_0) = 0$ 。回路中总的热电势等于零, 就是说回路中不产生电动势。因此, 可得出这样结论: 只有两电极材料不同, 热电偶回路中才能产生电动势, 相同材料不能产生电动势。此结论可以推广到两个以上导体组成的闭合回路。若各接点温度相同, 回路中也不产生电动势。

如果热电偶两端温度相同 ($T = T_0$), 则式 (1-1) 中的右边第一项等于第二项, 即

$$\frac{KT}{e} \ln \frac{N_{AT}}{N_{BT}} = \frac{KT_0}{e} \ln \frac{N_{AT_0}}{N_{BT_0}}$$

回路中总热电势也为零。这就是说, 若热电偶的两接点温度相同时, 即使构成热电偶的两热电极材料不同, 回路中也不产生电动势。由此可见, 热电偶回路中产生热电势必须具备以下两个条件:

(1) 热电偶必须用两种不同材料的电极构成。

(2) 热电偶的两接点必须具有不同的温度。

5. 什么叫热电偶的分度表? 作用是什么? 它是怎样制定的?

答: 将热电偶的热电势和温度的关系列成表格称为热电

偶分度表。不同型号的热电偶具有不同的分度表,常用的热电偶分度表见附表1~10。分度表的作用是:

(1) 在使用热电偶测量温度时,测得热电势值后,可从分度表中查得相应温度。但必须注意分度表是在参考端温度为零度时制定的,因此使用分度表时,必须使热电偶参考端恒定在零度或通过计算修正到参考端为零度时再查分度表,求出相应温度。

(2) 在生产中使用热电偶测温时,必须与显示仪表配套使用。为了使热电偶与显示仪表具有互换性,即同一分度号热电偶要能和同一分度号的不同类型仪表配套使用,所以要求热电偶、显示仪表都必须按国家规定的统一分度表进行生产制造,以保证使用时具有互换性。

分度表的制作实际上并不是按物理学理论推导出来的公式(1-1)计算得来的,因为电子密度 N_{At} 、 N_{Bt} 与温度的函数关系很难得到,而是通过大量实验测试并经数据分析整理后计算得出。它将随着生产和科学技术的发展不断改进和完善。现行的热电偶分度表是根据1968年国际实用温标的有关规定制定的,通常是一系列多项式计算得出的。

6. 什么叫均质导体定律?有何实际应用?

答:由一种均质导体(或半导体)组成的闭合回路,不论导体(或半导体)的截面积和长度如何,以及各处的温度分布如何,都不能产生热电势。这就是均质导体定律。

根据这个定律可知:若由一种材料组成的闭合回路中存在温度差时,如果回路中产生热电势,便说明材料不是均质导体,即材料是不均匀的。在实际生产热电偶材料的过程中,常使热电极处于不均匀的温度场中。若有电势产生,则说明热电极材料是不均匀的;若产生的电势愈大,则不均匀性愈严重;产生的电势愈小,材料的均匀性愈好。因此,该定律为检

查热电极不均匀性，提供了理论根据。

另外，根据该定律还可知道：如果热电偶是由两种均质导体组成，则热电偶的热电势仅与两接点温度有关，而与沿热电极的温度分布无关。反之，若在热电偶回路中，由于沿热电极温度场发生变化，而回路中热电势也随着变化，则说明组成热电偶的电极是不均匀的。在实际检定工作中，常采用改变热电偶插入检定炉深度的方法来判断热电偶的不均匀性。

7. 在热电偶回路中哪部分属于中间导体？它对测量结果有无影响？为什么？

答：由热电效应可知：两种不同材料的导体 A 、 B 组成的闭合回路，当热电极 A 、 B 相接的两处温度不同时，则在回路中就有一定大小的热电势产生。图 1-5a 是热电偶的原理线路，利用这个简单的电路是不能测量温度的，要想测量温度，必须在电路中接入测量热电势的测量仪表和连接导线，这就相当于在热电偶回路中加入第三种导体。在热电偶实际测量电路中，热电极 A 、 B 以外的第三种金属导体如图 1-5b 中的 c 部分，称为中间导体。

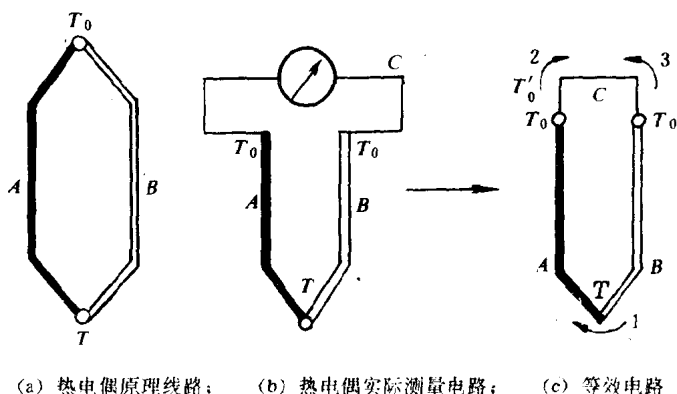


图 1-5

根据中间导体定律：“在热电偶回路中接入第三种金属导体，只要这第三种金属导体两端温度相同，热电偶回路中产生的电动势保持不变，不受第三种导体接入的影响。”因此，条件是要保持接入的第三种导体两端温度相等，则对测量结果没有影响。

该定律在实际测温中有重要的实用意义，表现在以下几点：

(1) 根据中间导体定律，使我们有可能在热电偶基本电路中接入各种测量仪表和连接导线，只要保持接入的导线和测量仪表两端温度相等，则对热电偶回路中产生的热电势没有影响。

(2) 根据这个定律还可以利用开路热电偶测量液态金属和固体金属表面的温度，如图1-6a、b所示。

(3) 该定律还为采用各种焊接方法来焊接热电偶提供了理论根据。

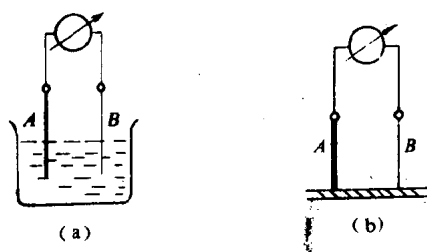


图 1-6

a—开路热电偶测量液态金属示意图；

b—开路热电偶测量金属固体表面温度示意图

8. 什么叫连接导体定律？有何实用意义？

答：在热电偶回路中，如果热电极 A、B 分别与连接导线 A'、B' 相接，接点温度分别为 T 、 T_1 、 T_0 （见图1-7），则回路

的总热电势,等于热电偶的热电势 $E_{AB}(T, T_n)$ 与连接导线 A' 、 B' 在温度 T_n, T_0 时的热电势 $E_{A'B'}(T_n, T_0)$ 的代数和,即

$$\begin{aligned} E_{AB A' B'}(T, T_n, T_0) \\ = E_{AB}(T, T_n) + E_{A'B'}(T_n, T_0) \quad (1-4) \end{aligned}$$

连接导体定律为在工业测温中应用补偿导线提供了理论基础。从式 (1-4) 可以看出:若选择适当的导线材料 A' 、 B' ,使导线 A' 、 B' 组成的热电偶回路产生的热电势 $E_{A'B'}(T_n, T_0)$ 等于热电偶两电极 A 、 B 组成的闭合回路产生的热电势 $E_{AB}(T_n, T_0)$ 时,也就是说只要选配与热电偶热电特性相同的导线与热电偶连接,便可将热电偶参考端远离热源延伸到温度恒定的地方,而不影响热电偶的测温准确性。

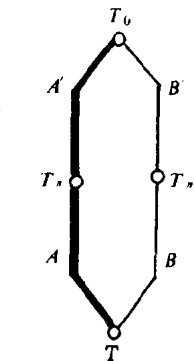


图 1-7 用连接导线的热电偶回路

9. 什么叫中间温度定律?有何实际应用?

答:热电偶在接点温度为 T, T_0 时的热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 等于热电偶在 (T, T_n) 和 (T_n, T_0) 时相应的热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 与 $E_{AB}(T_n, T_0)$ 的代数和,其公式如下:

$$E_{AB}(T, T_n, T_0) = E_{AB}(T, T_n) + E_{AB}(T_n, T_0,) \quad (1-5)$$

这就是中间温度定律。其中, T_n 称为中间温度,如图 1-8 所示。

中间温度定律为使用分度表奠定了理论基础。

(1) 根据该定律,若已知参考端温度不为 0°C 时的热电势值(如参考端温度为 T_n),则可通过式 (1-5) 求出参考端温度为 0°C 时的热电势值。在现场测温时,常用此公式来修正参考端温度。

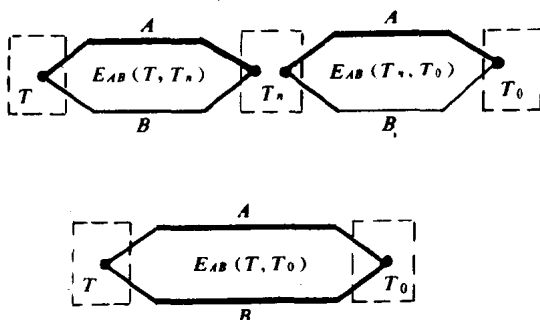


图 1-8 中间温度定律示意图

例如：用镍铬-镍硅热电偶测量某一温度，若参考端温度 $T_n = 30^\circ\text{C}$ ，测得的热电势 $E_{AB}(T, T_n)$ 为 32.074mV ，求测量端实际温度 T 。

查镍铬-镍硅热电偶分度表（分度号为 K 型），得：

$$E_{AB}(T_n, T_0) = E_{AB}(30, 0) = 1.203\text{mV}$$

根据式 (1-5) 得：

$$\begin{aligned} E_{AB}(T, T_0) &= E_{AB}(T, T_n) + E_{AB}(T_n, T_0) \\ &= 32.074 + 1.203 \\ &= 33.277\text{mV} \end{aligned}$$

再查 K 型热电偶分度表得知 $T = 800^\circ\text{C}$ 。

(2) 若已知参考端温度为 0°C 时的热电势与温度的关系，则参考端不等于 0°C 时的热电势也可按式 (1-5) 求出。

例如：用镍铬-镍硅热电偶测量温度时，若已知实际温度 $T = 800^\circ\text{C}$ ，参考端温度 $T_n = 30^\circ\text{C}$ ，求直流电位差计所测得的热电势值。

查 K 型热电偶分度表：

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AB}(800, 0) = 33.277\text{mV}$$

$$E_{AB}(T_n, T_0) = E_{AB}(30, 0) = 1.203\text{mV}$$

则根据式 (1-5) 得：

$$\begin{aligned}
 E_{AB}(T, T_1) &= E_{AB}(T, T_0) - E_{AB}(T_1, T_0) \\
 &= 33.277 - 1.203 \\
 &= 32.074\text{mV}
 \end{aligned}$$

因此，直流电位差计所测得的电势值应为32.074mV。

10. 什么叫参考电极定律？有何实际应用价值？

答：参考电极定律指出：“若已知电极 C 与各种热电极如 A 、 B 组合配对时的热电势，则可以利用式 (1-6) 求出这些热电极彼此任意组合时所产生的热电势。”热电极 C 称为参考电极（或标准电极），如图1-9所示。

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AC}(T, T_0) - E_{BC}(T, T_0) \quad (1-6)$$

式中 $E_{AB}(T, T_0)$ ——由 A 、 B 两热电极组成的热电偶在接点温度 T 、 T_0 时的热电势；

$E_{AC}(T, T_0)$ 、 $E_{BC}(T, T_0)$ ——接点温度在 (T, T_0) 时，热电极 A 、 B 分别与参考电极 C 配对时的热电势。

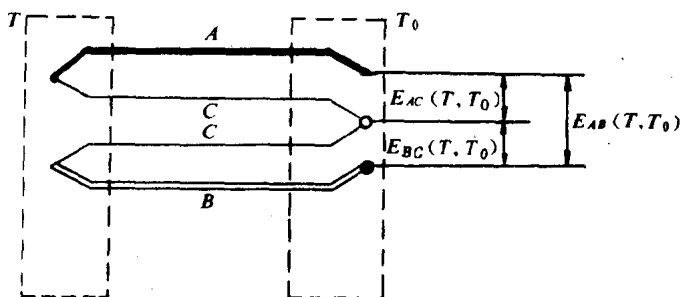


图 1-9 参考电极回路

因为铂的物理化学性能稳定、熔点高、易提纯、复制性好，所以常用纯铂作参考电极。

由此可见，已知两热电极 A 、 B 分别与参考电极 C 组成热