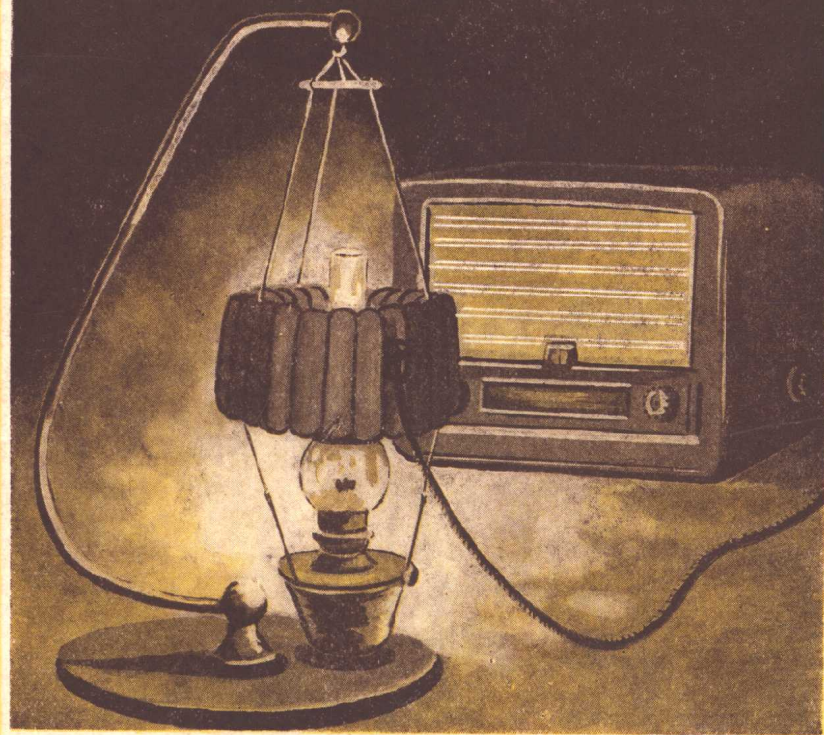


大众科学识丛

温差电

(苏联) 伯尔斯坦



科学普及出版社

電 差 溫

〔苏联〕伯尔斯坦 著

涂 象 初 譯

科 学 普 及 出 版 社

1953 年 · 北 京

本書提要

本書深入淺出地闡明了溫差電現象的實質以及溫差電偶的特性，詳細地介紹了各種溫差電溫度計、溫差發電機和太陽能機械的原理和實際構造。

使用普通的溫度計在某些情形下是很不方便的，甚至是不可能的，本書以半數以上的篇幅，詳盡地介紹了如何巧妙地利用溫差電偶來測量各種情況下的溫度：從細小的樹葉內的溫度，直到遙遠的星球上的溫度。總之，這本書告訴我們，在現代的各個科學技術部門中，是怎樣廣泛地使用溫差電偶來測量溫度，包括如何自動記錄並控制溫度。此外，書中還介紹了把熱能變成電能的溫差發電機，它給小功率供電、特別是給尚未電氣化地區內的供電帶來了多么美好的遠景，我們要怎樣才能進一步提高這種發電機的效率。最後，介紹了利用溫差電偶來把太陽能變成電能的機械，以及如何改進它。

總號：858

溫 差 電

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО

原 著 者： А. С. БЕРНШТЕЙН

原出版者： ГОСТЕХИЗДАТ, 1957.

譯 者： 涂 象 初

出版者： 科 學 普 及 出 版 社

(北京市西直門外蔣家溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第091號

發行者： 新 華 書 店

印刷者： 中 國 科 學 院 印 刷 廠

開 本： 787×1092 $\frac{3}{4}$ 印張： 1 $\frac{1}{2}$

1958年9月第 1 版 字數： 34,000

1958年9月第1次印刷 印數： 7,870

統一書號： 13051·148

定 價： (9) 1 角 9 分

目 次

緒 言	(1)
溫差電是什麼	(1)
溫差電偶中會發生些什麼	(3)
溫差電偶的特性	(9)
溫差電溫度計	(14)
溫差探針	(19)
能自動記錄並調節溫度的儀器	(20)
運動表面的溫度測量	(22)
可以放在火焰里或熔化了的金屬內的溫度計	(22)
無線電工程上的溫差電偶	(24)
怎樣遠距離測量溫度、輻射高溫計	(26)
能不能知道恆星和行星的溫度	(28)
溫差電池和溫差電池組	(30)
測量太陽光的能量的儀器	(32)
溫差發電機	(34)
是什麼妨礙了溫差發電機的工作	(40)
現代的溫差發電機	(43)
從太陽光獲取電能	(46)
結束語	(49)

緒 言

你知道通常的火电站是怎样工作的嗎？在炉膛里燃烧的煤将蒸汽机的鍋炉加热。产生电流的发电机是用机器来开动的。由此可見，热能并不是立刻变成电能的。在这儿，蒸汽机的机械能作为中間的环节。而这个中間环节，却正是最薄弱的一环。蒸汽机不太經濟。热能的很大一部分都白白地損失，并没有变成电能。

那么，能不能将热能直接变成电能呢？看起来，在某些情况下这是可能的。早在上一世紀，科学家就发现了直接将热量变成电流的現象。这現象叫做“温差电效应”，目前它已应用于天文学、生物学、冶金学以及其他的科学技术部門的許多測量仪表中。一开始，人們就企图利用温差电效应来获得大量的电能，然而直到最近，这些企图也常常以失敗而告終。

但是不久以前，科学家找到了能用来获取极大量电能的新材料。温差电发电机将有可能很快地代替蒸汽机和发电机。

这本小册子里所要談的是下列几方面：温差电效应，利用这种效应的仪器，以及如何利用它从热能或太阳能来获得电流。

温差电是什么

可以用各种不同的方法获得电能。

在水力发电站中，水力推动着巨大的涡轮机和发电机，这些机器将运动着的水的能量变成了大量的电能，来照亮我們的

房屋，开动电气列车和工厂的机床。

在手电筒的电池里，由于电池内的物质之间发生化学反应，而得到了电能。

“电眼”——也就是光电池，能把照射到它表面上的太阳能转变成电能。

某些晶体(它们被叫做压电晶体)如果受到压缩，就会把机械能变成电。它们应用在电唱机、麦克风以及各种测量仪表中。

然而，不管是用什么方法获得的电能，它们都是一样的：这正好像，不管是把气体、煤油、或柴薪燃烧，或由太阳光或电炉所获得的，热能也都是是一样的。

在上一世纪里，连科学家也不了解这一点。当他们获得了电能时，也是根据电能的获得方式而给予特定的名称。这些名称一直保留到今天。电池的电流有时又称作伽伐尼电流，这是因为这电池长期以来都称作伽伐尼电池，借以纪念意大利科学家伽伐尼在1789年首先观察到了利用化学能而得到电流。当光线射到光电池上时，光电池所产生的电流叫做光电流；当压电晶体受到压力时所获得的电流叫做压电电流。

由热能直接获得的电能叫做温差电。

在温差电偶中，热能直接变为电能。温差电偶必须是由不同材料的两根导线、两个薄片或块条制成，它们要焊接得像图1那样。当温差电偶的一个焊接点比另一个较热时，就出现了电流，这就是温差电效应。1821年，德国科学家塞贝克首先研究了这个效应：那时，人们对于电了解得还非常少。塞贝克本人认为，在温差电偶中热能并不是变为电能，而是直接变为磁能。这是因为，当他把温差电偶的一个焊接点加热时，发现在它附近的磁针发生了偏转。当温差电偶中有电流流过时，在

这个电流的作用下，磁針也会偏轉，然而这个現象塞貝克并没有注意到。不久，法国科学家帕尔帖証明，当温差电偶的一个焊接点被加热时，会出现直流电流。

在最近一百年来，人类又发现了許多利用电能的方法，也并没有把温差电效应忘掉。現在，温差电偶已經应用到許多实验室和企业部門中，作为极其方便的电气溫度計，来測量各种射綫的能量。在无线电工程中，也用温差电偶来測量电流。最后，还可以用温差电偶装配成小型的温差发电机；例如，用它来給农村用的无线电收音机供电。

自从发现了温差电效应以后，不少的科学家对它进行了研究，而現在，温差电偶的性能已研究得很透彻了。



图 1 温差电偶。

温差电偶中会发生些什么

要想从理論上說明：在温差电偶中，热能是怎样地变成了电能，那就得熟悉一下固体的构造。

所有的物质，无论固体、液体或气体，都是由許多微小的粒子——原子組成，每个原子不过万万分之一厘米。任何物质的原子都由带正电的核和繞核旋轉的、带負电的电子所組成。电子的数目有一定，要使得所有电子的負电荷总数等于原子核的正电荷总数，因而两类电荷数是平衡的。因此就整体看来，原子是不带电的。各种物质的原子彼此之間所不同的，是它們原子核的正电荷数以及繞核旋轉的电子数。氧原子有 8 个电子，鉄原子有 26 个电子，而鈾原子有 92 个电子。在固体中，

例如在金属中，原子排列得彼此相距一定，在空间中形成规则的点阵，通常称为晶体点阵(图2)。晶体点阵中的原子在它们所占据的位置附近振动，物质的温度愈高，这振动就愈激烈。然而，直到物体开始熔化以前，这些原子的排列顺序是不会遭到破坏的。在熔化时晶体点阵将被破坏。

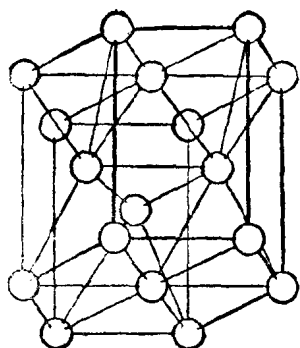


图2 金属中的原子排列成点阵的形式。

金属中的原子以一定的方式排列，形成所谓“晶体点阵”。不过，组成原子的电子，其中有某些可以从一个原子自由地移进另一个原子。

这类电子叫做“自由电子”。它们和所有其他电子不同的地方，仅仅在于容易离开原子而已。

自由电子运动得很乱，所以是均匀地分布在晶体点阵中。因此，自由电子的运动并不破坏原子核的正电荷和电子的负电荷两者间的平衡，金属仍旧不带电。

当金属块各处的温度都一样时，金属中电子的情况就像上面那样。如果将金属块的一端加热，现在再来看看，遇到什么情形。金属中的自由电子的速度和温度有关。金属的温度愈高，自由电子的平均运动就愈快。因此当金属块受到不均匀的加热时，自由电子在较热区域内就比在较冷区域内运动得快。

运动得较快的电子常常从金属的较热的区域移进较冷的区域。当这些快速电子进到运动较慢的电子之间时，它们发生碰撞，快电子便将自己的一部分能量给予慢电子，因而快电子的速度就减低了。最后，这类电子便开始以差不多和它周围的自由电子一样的速度运动。这样一来，从金属的较热区域进入较

冷区域的自由电子，就好像是“卡”在较冷区域里一样。而从较冷区域进入较热区域的自由电子是非常少的，因为就整体看来，它们是运动得较慢的。所有这一切将引起下面这样的结果：自由电子聚集在金属块或金属丝的较冷端，像图 3 所示的那样。

这又会得到怎样的结果呢？在金属的热端，留下来的电子太少了，不够平衡原子核的正电荷。而在冷端则电子过多，因为这些电子的负电荷超过了原子核的正电荷。因此，金属丝、金属块或金属片的热端就带正电，而冷端带负电。

这样一来，一部分电子移到了冷端。为什么不是所有的电子都从热端移到了冷端呢？问题在于：不同名的电荷，也就是正电荷和负电荷是互相吸引的；而同名电荷是互相排斥的。因此，就整体看来是带正电的热端会吸引带负电的电子，而冷端将排斥电子。在这两个端点之间，出现了通常所谓的“电压”。它就阻碍自由电子再从热端移向冷端。现在，当电子走向冷端时，它必须克服恰好是驱使它朝相反方向运动的力。积累在冷端的电子愈增多，这个力就愈增大。

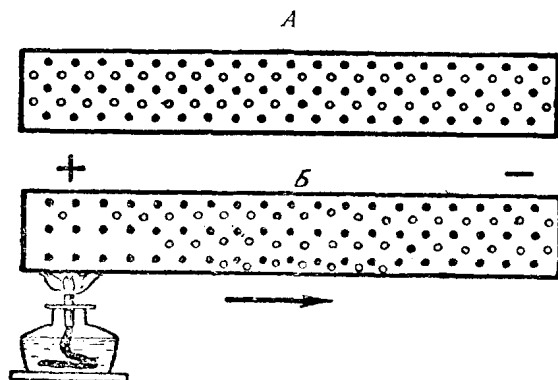


图 3 均匀分布在金属块(A)中的自由电子,当金属块(B)的一端受热时自由电子就移向较冷的另一端。

显然，如果冷热两端间的温度差愈大，移到冷端的电子就愈多，于是冷热两端间的电压也就愈大。

并不是所有的固体都像金属那样含有大量的自由电子。在今天，所谓的半导体在工程技术上具有极其重大的意义。在近20—30年期间，物理学家正大力地研究半导体。在苏联，A. Ф. 約飞院士和他的同事们在这方面进行了很多工作。

半导体的突出的特点如下：在較低的温度时，例如在室温时，半导体几乎不能传导电流；可是当加热到凡百度时，它就变成了良导体，半导体中的温差电效应特别显著，这是它的可贵性能之一。

电子在半导体中的情形跟在金属中的情形不同。在低温时，半导体的全部电子都牢固地和原子结合在一起，因而不能在晶体点陣中运动。要想使电子脱离它自己的原子，这就必須加一个像強烈震动之类的作用。例如，电子可以靠受热的方式得到这种震动，这时，原子的热运动便激烈了。

当半导体受热时，某些电子脱离原子而变成自由电子，像金属的自由电子一样。在这种情形下，如果半导体物质含有杂质，也就是含有某种其他的物质，例如含有鋅，那么，杂质原子会把这些释放出来的电子吸引去，这时它们又重新失去了自由移动的可能性。与此同时，在这些电子已脱离开的半导体原子中，留下了一些空的位置（按物理学家的说法，也就是形成了“空穴”）。在半导体的較热区域内，比較多的电子会由于受热而遭到強烈的震动，所以在这里形成比較多的这类“空穴”。

“空穴”的情形是怎样的呢？

在任何一个原子中的空位置上，很容易移进来另一个原子的电子，而这电子本来是在后面那个原子中占一个同样的空位置的。第一个原子中的“空穴”看来是填满了，可是“空穴”又出

現在第二个原子中。“空穴”的这种移动很容易发生，而且是毫无秩序地发生。結果，在热端产生的“空穴”，好像在移向半导体的冷端，以便均匀地沿着整个半导体分布。与此同时，在形成“空穴”时脱离原子的那些电子，被杂质的原子所俘获，因而不能移向冷端。因此这类半导体的热端发生电子的过剩。这一端便显得带负电。一部“空穴”移到了冷端，但并没有相应数量的电子移来，所以冷端显得带正电，因为这里的电子数不够，不能跟原子核的正电荷平衡。

在半导体中所遇到的各种杂质，并不是全部能俘获电子的。某些杂质正好相反，它们受热时将丢掉电子，这些电子将变成自由电子。在这种情形下，正像金属的情形一样，半导体的热端会带正电，而冷端带负电。由此可见，在金属和某些半导体中，有很多自由电子，所以较热区域相对于较冷区域来讲，是带正电的。在另一些半导体中，自由电子不够多，所以较热区域相对于较冷区域来讲是带负电的。所有用这类材料制成的块条或细线，当一端受热时，就会发生像手电筒的电池那样的作用。如果在这种块条或细线的两个端点間接一根导线，那么，就会有电流流过这导线。

在两根材料相同的导线所组成的闭合回路中，受热时不会产生电流。这是因为，两根导线的冷热两端間的电压相等，而作用的方向相反，所以这两个电压互相抵消了。

如果制造温差电偶的两根导线是不同的，那么，它们冷热两端間的电压也不同。因此，这温差电偶中含有电流。电流的方向跟制造温差电偶的材料有关，也跟温度较高的是哪一个焊接点有关。如果使温差电偶的热端变冷，又反过来把冷端加热，那么电流会沿相反的方向流动。在图4所示的温差电偶中，分别用箭头来表示当下面或上面的焊接点受热时，电偶中

的直流电流的方向。

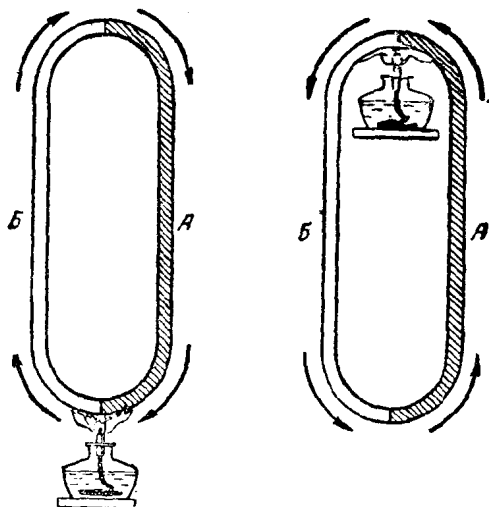


图 4 温差电偶中的电流方向跟它的哪一个焊接点受热有关。

由这个图很清楚地可以看出，在温差电偶的热端，电流的方向永远是从组成电偶的某一种材料 *A* 流向另一种材料 *B*。

在冷端，电流沿相反的方向流动，也就是从材料 *B* 流向材料 *A*。

如果在热端，两个材料相对于冷端而得到的电荷是同号的（都是正电荷或负电荷），这时，两个电压的作用方向就相反。温差电偶的总电压，或者按通常的说法，温差电偶的温差电动势，就等于这两个电压的绝对值的差。例如在图 4 中，如果用材料 *A* 制成的导线的热端相对于冷端的电压为 $+0.05$ 伏特^①，

① 伏特是电压的单位。手电筒里的电池的电压约等于 4 伏特；照明线路的电压等于 127 或 220 伏特，如此等等。

而用材料 *B* 制成的导线的热端相对于冷端的电压为 $+0.03$ 伏特，那么温差电偶的温差电动势就等于 $0.05 - 0.03 = 0.02$ 伏特，而且热端的电流是从材料 *A* 流向材料 *B*，像图 4 所示的那样。

如果組成温差电偶的两根导线，其热端相对于冷端的电压是不同符号的，这时，温差电偶的温差电动势就等于这两个电压的绝对值的和，而在热端，电流流出的那根导线相对于冷端是带正电的。例如，如果用材料 *A* 制成的导线的热端相对于冷端带电达 $+0.02$ 伏特，而用材料 *B* 制成的导线的热端带电达 -0.04 伏特，那么这个温差电偶的温差电动势就等于 $0.02 + 0.04 = 0.06$ 伏特，而电流的方向正像图 4 所示的那样。

温差电偶的特性

温差电偶的温差电动势大约是十分之几、百分之几、有时还不到十万分之伏特。虽然这电压很小，但如果把温差电偶用在精密的测量仪器中，这个电压还是够用的。将几十对或几百对温差电偶接在一起，所得到的大量电能，足够供给一个无线电收音机、甚至供给一个小型的无线电发射机来进行工作。

为了利用温差电偶，必须弄清楚两个问题。温差电偶的温差电动势跟它的两个焊接点的温度有什么关系？什么材料可以得到最大的温差电动势？

研究这两个问题不但具有实用意义，而且也具有科学意义。许多温差电偶的特性已经研究得很透彻。某些温差电偶早已应用到科学技术中。然而对温差电偶的进一步研究还在继续。现代的工程技术愈来愈需要更多的精密仪器，要制造出这些仪器，就必须非常了解其中所用的各种零件的特性。此外，我们还在经常寻找新型的、更好的温差电偶。

現在已經知道，出現在溫差電偶中的溫差電動勢大小，跟組成溫差電偶的材料有關，也跟它的冷熱兩端的溫度有關。

許多溫差電偶的溫差電動勢，很均勻地隨着它兩端的溫度差而增加。例如，在鐵絲和康銅絲所組成的溫差電偶中，當溫度差每增加 10°C 時，溫差電動勢便增加 0.000055 伏特。可是在許多其他的溫差電偶中，溫差電動勢的增加要不均勻得多。例如，當鐵-鉑溫差電偶的熱端從 100°C 升到 200°C （而冷端溫度為 0°C ）時，它的溫差電動勢變化 0.00165 伏特。如果同樣這對溫差電偶的熱端溫度從 400°C 升到 500°C ，也就是說，和前面的情形一樣，當熱端溫度上升 100°C 時，溫差電偶的溫差電動勢只不過增加了 0.00091 伏特。

最後，還有另一類溫差電偶，當逐漸將它們的熱端加熱時，它們的溫差電動勢在開始時上升得很快，以後就愈來愈慢，最後就完全停止增加了；而且當它們的熱端進一步被加熱時，溫差電動勢將開始減少，一直減少到零，以後改變電動勢的正負號。

我們來詳細地探討一下，在一對這種溫差電偶中，溫差電動勢是怎樣變化的。在銅-鐵溫差電偶中，當冷端溫度為 0°C 而熱端為 100°C 時，溫差電動勢等於 0.00113 伏特，而熱端的電流是從銅流向鐵。當熱端溫度為 200°C 時，電動勢增加到 0.00171 伏特。當 400°C 時，溫差電動勢減少到 0.00038 伏特。最後，當 541°C 時，電動勢完全沒有了。如果再繼續增溫度，電動勢會重新產生並不斷上升，不過在這時，熱端的電流已經是从鐵流向銅了。這種現象稱作溫差電偶的電流換向。

當電偶兩端間的溫度差增加時，溫差電動勢的變化方式却是我們所預料不到的這種情形，又是什么原因呢？我們還記得，當組成溫差電偶的兩根導線具有同樣符號的電壓時，溫差電動

势就等于这两个电压的差。而且显然有三种可能的情形。如果当加热时，其中一根导线的电压比另一根的电压增加得快，那么，温差电偶的温差电动势就会不断增加。

如果两部分的电压增加得同样快，温差电偶的温差电动势便不会变化。

最后，也可能有下面这样的情形：最初电压比较大，在加热时上升得比较慢，因而温差电偶的温差电动势就下降了。当两根导线的电压彼此相等时，温差电动势就等于零。而当两个焊接点间温度差再增加一些时，温差电偶的温差电动势就改变符号了，电偶中的电流将沿着相反的方向流动。这是因为，组成温差电偶的两根导线似乎改变了它们所处的地位。在其中的某一根导线中，原来的电压是比较大的，现在变得比较小了；在另一根导线中，情形正好相反。

当电偶两端间的温度差增加时，组成电偶的每一根导线中的电压，也可能增加得快，也可能增加得慢。因此，当焊接点的温度改变时，在同一对温差电偶中也可能发生所有上面讨论过的三种情形。

如果当温度差增加时，起初在组成电偶的某一根导线中的电压增得较快，而后来当温度差很大时，又是另一根导线中的电压增加得较快，那么，在这种温差电偶中将发生电流换向的现象。

温差电偶还有一个实用上很重要的特性，如果并不是直接将组成电偶的两根导线连接起来，而是利用任意一种材料制成的第三根导线来进行连接，那么，只要这第三根导线跟组成电偶的两根导线相连接的两点地方都是同样的温度，电偶的温差电动势就不会因为接进了第三根导线而有所改变。这是因为如果第三根导线的两个端点有同样的温度，在这根导线中就不

会产生电动势。

因此，我們可以在温差电偶的回路中接入测量仪表之类的器件，像图 5 所示的那样。导线 1 和 2 是用同一种材料制成的。

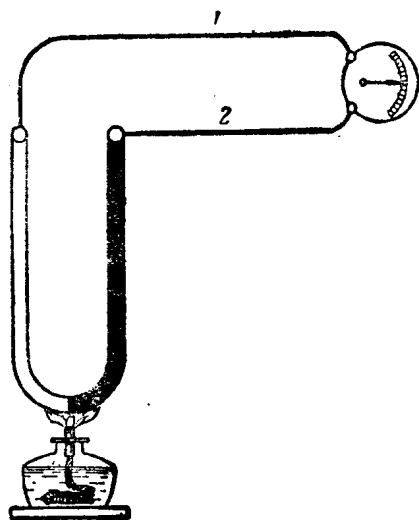


图 5 回路中接入了测量仪表的温差电偶。

将用各种材料制成的导线、块条或薄片互相连接起来，可以組成大量的温差电偶，而其中实用的只不过有几十种左右。

根据什么特性来选择这些温差电偶呢？

首先，会发生电流换向的温差电偶既不能测量温度，也不能把热能变为电能，这种电偶是没有意义的。如果当

所测量的温度增加时，

温差电偶的温差电动势增加得很慢，而后来又开始下降，像发生电流换向的温差电偶中的情形那样；那么，所测量出来的温度就不够准确，往往会有误差。

这类温差电偶也不适用于将热能变为电能，因为它的温差电动势比其他类型的温差电偶要小。因此，实用上所使用的温差电偶都是不会发生电流换向的，至少在这电偶热端所要工作的温度下不会发生电流换向。

前面已经讲过，温差电偶所产生的电压并不大。实用上所选择的温差电偶不但要能产生比其他电偶更高的电压，而且它

的电阻又要尽可能地小。这是因为在同一样的温差电动势下，如果組成电偶的材料的电阻愈小，所能得到的电流就愈大。在重要的科学研究中，使用的是不惜成本的温差电偶，像含有金或铂的电偶，因为只有它们才能保証获得所需要的結果。在工程技术上是使用比較廉价的温差电偶。

常常需要在尽可能高的温度下使用温差电偶。因此，每一种材料所能长期承受而不致毀坏的最高温度，是很有意义的。

最后，有时还应该非常重視，使所选择的温差电偶不会跟温度需要测定的物质发生化学作用。

目前，用金属制的温差电偶主要是用鉄和銅，但如果需要的是对化学作用和对高温特別稳定的可以用铂和鎢。最常用的組成温差电偶的合金是康銅，它的成分如下：60%的銅，40%的鎳。

也常常采用下面几种合金：鎳鉻合金 I—成分为鎳的90%和鉻的10%；鎳鋁合金—95%的鎳和5%的鋁；鎳鉻合金 II—80%的鎳和20%的鉻；銅鎳合金—56%的銅和44%的鎳；还有铂跟金属铯和金属鉍的合金。近年来，科学家在制造新的半导体材料。銻和鋅或鉍的合金已經得到了实际的应用。对硅、硒、碲等的化合物正在进行研究，也在研究硫化鉛；用这些化合物可以得到較高的温差电动势，但却不能同时滿足某些其他的要求。

要想得到尽可能高的温差电动势，可以采用电压符号不同的两种半导体材料。前面已經講过，这种电偶的温差电动势等于两个电压的絕對值之和。

上面所列举的各种材料通常是以下面的組合方式来使用：銅跟康銅，鉄跟康銅，鎳鉻合金 II 跟鉄、鎳鉻合金 I 跟鎳鋁合金。