

热电效应和热电偶

张东壁

(大连大学物理系 116622)

热电效应是热电温度测量的基础.该效应是德国医生塞贝克于1821年发现的,因此也称塞贝克效应.本文首先介绍塞贝克效应是如何发现的,然后在说明热电温度计的基本原理的基础上,简单介绍热电偶的基本结构、种类、用途以及今后的发展.

一、塞贝克效应

热电效应被发现的直接诱因,是1820年奥斯特的轰动世界的电流磁效应实验.1921年,塞贝克为了验证电流的磁性机理,他采用了部分用Cu导线和部分用Bi导线组成的电路来研究奥斯特的实验.当他把一个金属接点握在手中时,发现放在该回路附近的磁针发生偏转,显示出磁的效应.他认为这可能是由于他手的热使接点温度变化而引起的,于是他加热这个接点,发现磁针偏转明显增加;当他冷却该接点时,也发现类似的磁针偏转.进而他将Cu导线和Bi导线的位置交换,观察到磁针偏转方向改变;而如果只将Cu导线(或Bi导线)两端颠倒,

则观察不到上述结果.后来他用各种不同的金属配对组成回路作上述实验,发现磁针偏转随金属的不同而改变,其中以Sb和Bi两种金属组成的回路使得磁针偏转最大.图1为塞贝克效应示意图.由此,他确认磁针的偏转是由于两接点间的温度差而引起的,而且温度差越大,磁针偏转也越大.起初他把这种现象错误地称为“热磁效应”,因为他认为地球的磁现象是由于地球两极和赤道之间存在温度差而引起的.后来,还是奥斯特把这种效应改称为“热电效应”.

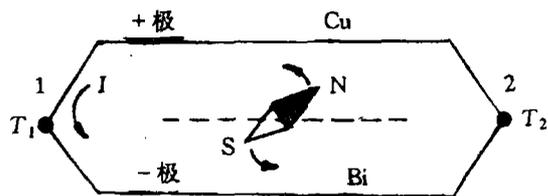


图1

二、热电温度计

塞贝克效应表明,由两种导体A和B在两端焊接构成的闭合回路,当其两接点保持某一

统方法是带电水清洗或定期清扫更换,据统计,雾天的污闪事故占电力线路事故的21%,冲洗和更换绝缘子占线路检修工作量的60~70%.采用激光清洗,可以实现带电远距离清除,会带来巨大的经济效益和社会效益.

3. 医疗器械的灭菌清洗

在医院中,医疗器械的清洗消毒是一项非常重要的工作.传统的清洗消毒过程是先用水或其他溶液清洗之后再用高温高压消毒灭菌,由于中间环节多,增加了疾病传染的可能性,清洗消毒的时间也过长.同时产生大量的污水污物,带来新的环境污染.用激光脉冲在器械表面产生的高温高压,不但可以快速清除器械表面的污物,又可以杀死各种病菌和病毒.减少了中

间环节,也不产生新的污染物.

4. 贵重物品的表面清洗

有些贵重物品,由于其特有的“娇气”或其价值连城,使得表面清洗工作很困难.如文物、古字画、贵重饰品等,这类物品的清洗恰好是激光清洗技术大显身手的领域.英国用激光清洗了伦敦国会议事堂的雕像,法国也用激光清洗了亚眠大教学雕塑表面上的污染物等.

激光清洗技术是一个新的应用领域,其应用潜力很大.目前对其机制尚未完全明了,基本上还是处于研究阶段.随着科学技术的发展,激光清洗技术会得到迅速发展,开辟一个全新的激光应用的新领域.

温度差时,回路中将有电流流过.此回路称为热电回路,其中出现的电流称为热电流.在热电回路中存在一种电动势,称为热电动势 E_{AB} ,通常称为温差电动势.回路中的热电源 I 的大小决定于热电动势和回路中的电阻.

现在将回路断开,如图2所示,图中导体A、B分别称为热电极A和热电极B.我们假设用 E_A 和电阻 R_A 来代表热电极A,用 E_B 和 R_B 来代表热电极B.图3就是用电位差计测量 V_{ab} 的等效电路.当达到平衡时 $I=0$,此时有

$$\Delta V_{ab} = E_{AB} = E_B - E_A \quad (1)$$

(1)式表明,用电位差计测得的电压降 ΔV_{ab} 就是热电回路(AB)中的热电动势 E_{AB} ,亦即热电极A和B的内禀热电动势 E_B 和 E_A 之差.由(1)式可知,此时热电回路中的热电动势 E_{AB} 与回路中电阻无关,仅与热电回路两接点间的温度差 $\Delta T = T_2 - T_1$ 有关.定义 ΔV_{ab} 对 ΔT 的微分热电动势为热电回路的热电势率,用 S_{AB} 表示,有

$$S_{AB} = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta V_{ab}}{\Delta T} = \frac{dV_{ab}}{dT} \quad (2)$$

S_{AB} 也称为塞贝克系数,从(2)式可以看出它代表该热电回路的灵敏度.考虑到(1)式,(2)式也可以写为

$$S_{AB} = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{E_B}{\Delta T} - \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{E_A}{\Delta T} = S_B - S_A \quad (3)$$

式中 S_A 和 S_B 分别为热电极A、B的绝对热电势率.可见,某热电回路(A、B)的塞贝克系数 S_{AB} 的正、负和大小仅决定于构成此热电回路的两个热电极的绝对热电势率之差.

如果某热电回路的 S_{AB} 是已知的,则该回路的热电动势 E_{AB} 可由(2)式积分求得:

$$E_{AB} = \int_{T_0}^T S_{AB}(T) dT \quad (4)$$

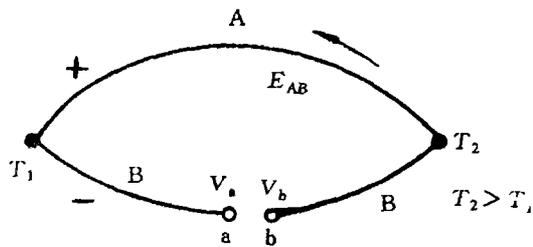


图2

考虑到(3)式,上式又可表为

$$E_{AB} = \int_{T_0}^T [S_B(T) - S_A(T)] dT \quad (5)$$

如果在有限温度范围内 $(S_B - S_A)$ 基本恒定不变,则(5)式可表示为

$$E_{AB} = (S_B - S_A) \Delta T \quad (6)$$

式中 $\Delta T = T_2 - T_1$, 表示热电回路两接点间的温度差.在实践中要应用(6)式来求某热电回路的热电动势值,必须假设两种热电极材料A、B的热电性是均匀的,两种热电极材料的绝对热电势率之差 $(S_B - S_A)$ 与温度无关.这样,如果将热电回路的一个接点保持在某一个恒定不变的温度(例如冰点) T_0 时,则 E_{AB} 便仅随另一个接点的温度 T 而变化.也就是说,此时 E_{AB} 仅仅是温度 T 的单值函数.这样,我们可以利用这种 E_{AB} 与 T 的一一对应的关系来测量温度.这种由两种不同材质的导体而构成的测量温

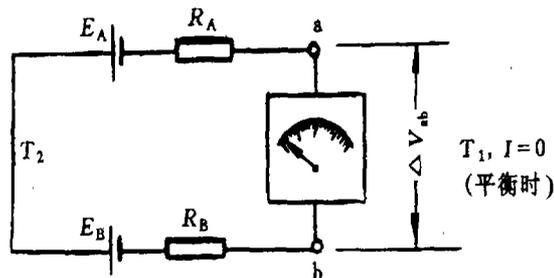


图3

度的元件,称为热电偶.

不同金属配对就构成不同的热电偶.每种热电偶的 $E-T$ 特性常用表格、曲线的关系表示.在实验室中精确测定热电偶的 $E-T$ 特性的程序称为分度,由此而得到的 $E-T$ 对应表称为该种热电偶的分度表.工业上大量应用的热电偶的分度表通常都是由国家计量研究机构制定的,并由国家标准管理机构认可和发布.因此通常称此类分度表为“标准分度表”,标准分度值都是以冰点作为参考端温度.

热电偶的两个热电极在测量端相互连接,在参考端分别与铜导线连接,铜导线的另一端分别与电测仪表的正、负接线柱连接.图4所示的就是热电偶测温的基本热电回路.

三、热电偶的种类和性能

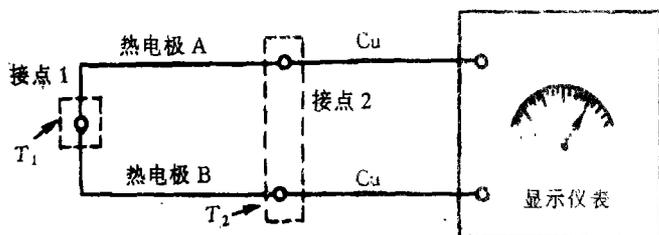


图 4

热电偶种类的划分多根据长期使用的温度范围而分为低温热电偶、中温热电偶和高温热电偶；有时也常根据正负热电极的材料性质不同而将其划分为廉金属热电偶、贵金属热电偶和难熔金属热电偶。此外，还可以根据热电偶的结构形式、用途或安装方法的不同，区分为可拆卸的工业热电偶、表面热电偶、多点式热电偶、快速微型热电偶、薄膜热电偶等。

作为测温仪表，热电偶与其他温度计相比较，具有下列特点：

(1) 由于可将温度直接转换成电信号，测量、调节、控制、放大以及变换都很容易进行，既有利于远距离传送，便于集中管理，又很适合就地自动控制和电子计算机处理。

(2) 测温范围广。如镍铬-镍硅热电偶可测-270~1373℃；钨铼5-钨铼26热电偶可测0~2315℃。

(3) 测温精度较高，通常工业用热电偶的精度可达0.1% t (t 为被测温度)。

(4) 可测小物体的温度分布，甚至测点温。而且可以根据需要制成体积大小不同和形状各异的热电偶，以满足各种测温要求。

由于热电偶具有上述特点，加之它的结构简单，使用方便，因此在工业和科学研究的温度测量和控制中得到广泛的应用。

据估计，目前约有50%的工程温度控制工作是借助于热电偶来完成的。特别在钢铁、有色金属、火力发电站、航空发动机、原子能反应堆、石油精炼、化工、机械热处理等高温领域中，热电偶是最主要的测温手段。另一方面，在实验室中，铂铑系热电偶在300~1600℃温区内已被当作温度标准器和精密温度计。

任何事物总不可能尽善尽美，热电偶同样也存在一些缺点：

(1) 热电偶的测温接点容易受环境有害气体影响(氧化或腐蚀)。

(2) 参考端温度要恒定，否则必须进行补偿，从而增加设备和经费。

(3) 在高温下使用或长期工作时，由于热电势不稳定，将产生示值漂移，因此热电偶需定期检定或修正。

随着现代科学技术的发展和各种尖端技术对测温的要求，为了研制出能在极端条件下和特殊环境中使用的新型热电偶材料，改进和提高现有热电偶的精度和可靠性，近30年来国内外在这方面的研究已经取得了不少成绩。今后的研究方向主要是在如下两个方面，第一，研究改进热电偶的结构和性能，最大限度地发挥热电偶的优点；第二是进一步研究热电材料的热电性与其化学成分、杂质元素、物理缺陷和表面状态的关系，以提高测温精度，扩大测量范围，延长使用寿命。

表1 我国热电偶的标准

热电偶	正极代号	负极代号	最高使用温度		分度表温区	热电偶丝标准号
			长期	短期		
铂铑30-铂铑6	BP	BN	1600℃	1800℃	0~1820℃	GB2902-82
铂铑13-铂	RP	RN	1400℃	1600℃	-50~1769℃	GB1598-86
铂铑10-铂	SP	SN	1300℃	1600℃	-50~1769℃	GB3772-83
镍铬-镍硅	KP	KN	1200℃	1300℃	-270~1373℃	GB2614-85
镍铬-铜镍	EP	EN	750℃	900℃	-270~1000℃	GB4993-85
铁-铜镍	JP	JN	600℃	750℃	-210~1200℃	GB4994-85
铜-康铜	TP	TN	350℃	400℃	-270~400℃	GB29-82
镍铬-金铁	NiCr	AuFe	0℃	—	-273.15~0℃	GB2904-82
铜-金铁	Cu	AuFe	0℃	—	-270~0℃	GB2904-82
镍铬硅-镍硅	NP	NN	1200℃	1300℃	-270~1300℃	ZBN05004-88
钨铼3-钨铼25	WRe3	WRe25	2300℃	—	0~2315℃	ZBN05003-88
钨铼5-钨铼26	WRe5	WRe26	2300℃	—	0~2315℃	ZBN05003-88