

低温热电势预习报告

姓名：杨博涵 学号：PB20000328 实验日期：2023 年 4 月 29 日

一、实验目的

热电效应是金属材料的基本物理性质之一。而在现代实验物理超导研究中，测量材料的热电势率是研究电子散射机理极其灵敏的方法，近几年来热电势的研究已引起人们极大的兴趣。同时它也是科学工作者研究高温超导材料低温物性的重要手段之一。另外，测量材料的热电势对探索和寻找新的热电材料也具有非常重要的实际意义。热电势率的测量对基础研究和应用研究都具有重要的意义。

本实验尝试测量高温超导材料 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 样品的温差热电势与温度的关系。

二、实验原理

1821 年塞贝克发现在铋与铜两种材料组成的回路中，当两个触点处于不同的温度时，在回路中就有电流通过。人们把产生这种的电动势叫做热电动势（见图 1）。由于不同的金属材料所具有的自由电子密度不同，当两种不同的金属导体接触时，在接触面上就会发生电子扩散。电子的扩散速率与两导体的电子密度有关并和接触区的温度成正比。两种不同导体（如铜和康铜）组成一个闭合回路，当两个接触点处于不同温度时，在汤姆逊效应和珀耳帖效应的共同作用下，接触点间将产生电动势，回路中会出现电流，此现象称为温差电现象，产生的电动势称为塞贝克电动势，也称为温差电动势。热电偶测温的基本原理是两种不同成份的材质导体组成闭合回路，当两端存在温度梯度时，回路中就会有电流通过，此时两端之间就存在电动势——热电动势，这就是所谓的塞贝克效应 (Seebeck effect)。两种不同成份的均质导体为热电极，温度较高的一端为工作端，温度较低的一端为自由端，自由端通常处于某个恒定的温度下。根据热电动势与温度的函数关系，制成热电偶分度表；分度表是自由端温度在 0°C 时的条件下得到的，不同的热电偶具有不同的分度表。

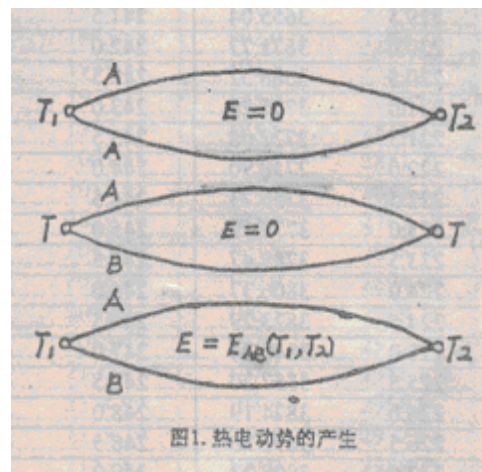


图 1 热电动势的产生

若两种材料是均匀的，那么热电动势的大小就与两个接触点温度有关，产生热电动势的原因主要由于：**(a) 两种金属逸出功不同；(b) 两种金属的电子密度不同**。从而产生电子从一种金属穿过界面向另一种金属的迁移，在接触处形成了接触电势，它与温度有关，在两接点温度不相同，其接触电势的代数和不等零。所产生的接触电势差就是热电动势。在两个接触点温度差不大时热电动势与温度差成正比：

$$E_{AB} = S_{AB} \Delta T$$

式中 E_{AB} 为 A, B 两种材料所产生的热电动势， ΔT 为两接点之间的温度差， S_{AB} 为 A, B 两种材料的相对热电动势， S_{AB} 不仅取决于 A, B 两种材料的性能，也是温度的函数。

温差电动势有很多性质，比如只有温度梯度不可能在成分和组织结构均匀的同种材料组成的闭合回路中维持温差电流；如果整个电路的所有接头处在同一温度下，则任何不同的材料所组成的闭合回路的温差电动势都为零；温差电动势具有可加性。

为了形成温差电极，一般我们会采用图 2 的连线方式，形成两端分别在不同温度下的电极对，可以根据此使用电压表来测量电压。

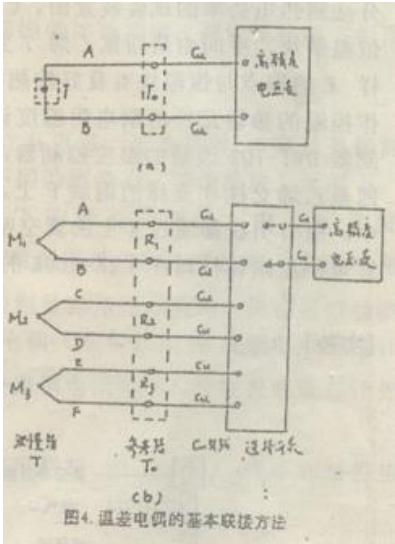


图 2 电偶基本连接方法

除此之外，关于热电效应还有其他两个性质：帕尔帖效应和汤姆逊效应。1856 年，汤姆逊利用他所创立的热力学原理对塞贝克效应和帕尔帖效应进行了全面分析，并将本来互不相干的塞贝克系数和帕尔帖系数之间建立了联系。汤姆逊认为，在绝对零度时，帕尔帖系数与塞贝克系数之间存在简单的倍数关系。在此基础上，他又从理论上预言了一种新的温差电效应，即当电流在温度不均匀的导体中流过时，导体除产生不可逆的焦耳热之外，还要吸收或放出一定的热量（称为汤姆孙热）。或者反过来，当一根金属棒的两端温度不同时，金属棒两端会形成电势差。这一现象后叫汤姆逊效应（Thomson effect），成为继塞贝克效应和帕尔帖效应之后的第三个热电效应（thermoelectric effect）。

三、实验内容

本次实验采用积分法测量热电势率，用积分法测量只要把试样 X 与某一参考材料 A（低于室温，常用纯铅做参考材料的一端相焊，组成热电偶的测两端，插入恒温块中。试样与参考材料 A 的另一端与铜线相焊接，组成热电偶的参考端，与液池保持良好的热接触，使之与液池的温度 T_0 保持不变。逐渐提高恒温快的温度 T ，测量积分热电势

$$E_{AX} = \int_{T_0}^T S_{AX} dT$$
 与温度 T 的关系，然后求微分即可以得到热电势率 S_{AB} 。由于我们已知 A 的绝对热电势率，所以 X

的绝对热电势率也可知。

实验内容为超导材料 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 热电势测量，主要测量装置如下

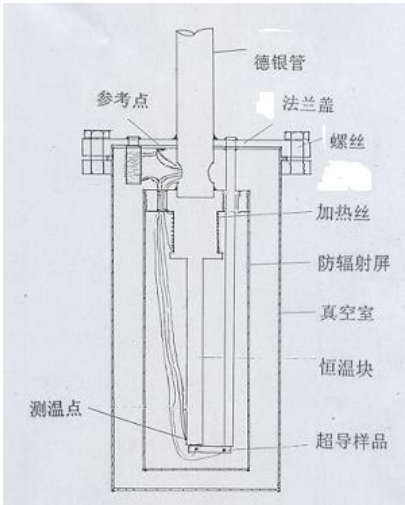


图 3. 测量装置的内部结构图

本试验直接测量的量是对于固定的参考温度（液氮温度）在不同的测量点（即恒温块）温度下，高温超导材料 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 样品在不同温度下的温差热电势。由于超导材料 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 在其临界温度附近存在一个从超导相到正

常相的相变过程，其温差热电势在其临界温度附近也有一个突然的变化。因此用测量温差热电势的方法也可以检测超导材料的 T_c 。测量端的温度是用温差热电偶（本实验用的是铜-康铜热电偶温度计）的温差热电势 E_{cu-con} 的值来确定的。然后我们在 77-300K 的温度范围内，测量高温超导材料 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 样品的温差热电势与温度的关系。