

# 高临界温度超导体临界温度的电阻测量法

## 实验报告

张楚珩 (121120173)

2015年4月24日

### 1 引言

高临界温度超导体的发展过程可以简要地在下面列出

- 1911年荷兰物理学家Kamerlingh Onnes发现, 将水银冷却到稍微低于4.2K的温度时, 其电阻下降到零。他认为这种电阻突然消失的现象, 是由于物质转变到了新的状态, 并将这种以零电阻为特征的金属态命名为超导态。
- 1933年Meissner和Ochsenfeld发现超导电性的另一特征: 超导态时的磁通密度为零, 表现为完全的抗磁性, 即Meissner效应。电阻为零以及完全的抗磁性是超导电性的两个最基本的特性。超导体从具有一定电阻的正常态, 转变为电阻为零的超导态的温度, 称为临界温度 $T_c$ 。
- 1968年以前, 人们经过70多年的努力才获得了最高临界温度为23K的 $Nb_3Ge$ 高临界温度的超导材料。
- 1986年4月, Bednorz和Muller创造性地提出了在 $Ba - La - Cu - O$ 系化合物中存在高临界温度超导体的可能性。
- 1987年初, 中国科学院物理研究所赵忠贤等在这类氧化物中发现了 $T_c = 48K$ 的超导电性。
- 1987年2月初, 美籍华裔科学家朱经武在 $Y - Ba - Cu - O$ 系中发现了 $T_c = 90K$ 的超导电性。
- 1988年1月, 日本科学家Hirashi Maeda报道研制出临界温度为106K的 $Bi - Sr - Ca - Cu - O$ 系新型高温超导体。
- 1988年2月, 美国阿肯萨斯大学的Allen Hermann和Z. Z. Sheng等发现了临界温度为106K的 $Tl - Ba - Ca - Cu - O$ 系超导体。
- 1988年3月, IBM的Almaden又将这种体系的超导体的临界温度提高到了125K。

- 1989年5月，中国科技大学的刘宏宝等通过用Pb和Sb对Bi的部分取代，使得Bi-Sr-Ca-Cu-O系超导材料的临界温度提高到了130K。这是迄今为止报道的最高的临界温度。

氧化物超导材料成材困难、韧性差、临界电流密度低，临界磁场不高等缺点局限了高温超导材料的应用，但已有包银铋锶钙铜氧组成线材获得越来越多的应用。

## 2 实验目的

1. 分别利用动态法和稳态法测量高临界温度氧化物超导材料的电阻率随温度变化的关系。
2. 通过实验掌握利用液氮容器内的低温空间改变氧化物材料温度、测温及控温的原理和方法。
3. 学习利用四端子法测量超导材料电阻和热电势的消除等基本实验方法以及实验结果的分析与处理。

## 3 实验原理

### 3.1 临界温度 $T_c$ 的定义及其规定

超导体具有零电阻效应，通常把外部条件（磁场、电流、应力等）维持在足够低值时电阻突然变为零的温度称为超导临界温度。实验表明，超导材料发生正常→超导转变时，电阻的变化是在一定的温度间隔中发生，而不是突然变为零的，如图1所示。起始温度 $T_s$ 为R-T曲线开始偏离线性所对应的温度；中点温度 $T_m$ 为电阻下降至起始温度电阻 $R_s$ 的一半时的温度；零电阻温度 $T$ 为电阻降至零时的温度。而转变宽度 $\Delta T$ 定义为 $R_s$ ，下降到90%及10%所对应的温度间隔。高 $T_c$ 材料发现之前，对于金属、合金及化合物等超导体，长期以来在测试工作中，一般将中点由度定义为 $T_c$ ，即 $T_c = T_m$ 。对于高 $T_c$ 氧化物超导体，由于其转变宽度 $\Delta T$ 较宽，有些新试制的样品 $\Delta T$ 可达十几K，再沿用传统规定容易引起混乱。因此，为了说明样品的性能，目前发表的文章中一般均给出零电阻温度  $T$  ( $R = 0$ ) 的数值，有时甚至同时给出上述的起始温度、中点温度及零电阻温度。而所谓零电阻在测量中总是与测量仪表的精度、样品的几何形状及尺寸、电极间的距离以及流过样品的电流大小等因素有关，因而零电阻温度也与上述诸因素有关、这是测量时应予注意的。

### 3.2 样品电极的制作

目前所研制的高临界温度氧化物超导材料多为质地松脆的陶瓷材料，即使是精心制作的电极，电极与材料间的接触电阻也常达零点几欧姆，这与零电阻的测量要求显然是不符合的。为消除接触电阻对测量的影响，常采用图2所示的四端子法。两根电流引线与直流恒流电源相连，两根电压引线连至数字电压表或经数据放大器放大后接至 X-Y 记录仪，用来检测样品的电压。按此接法，电流引线电阻及电极1, 4 与样品的接触电阻与 2, 3 端

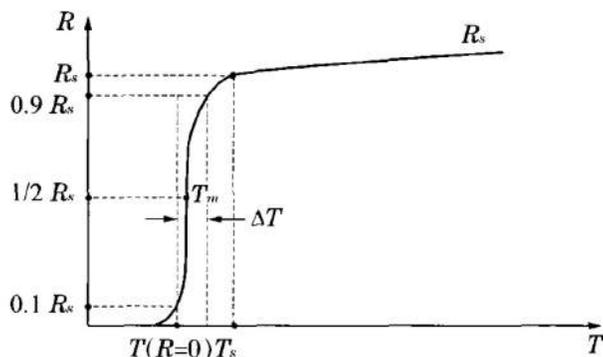


图 1: 超导材料的电阻温度曲线

的电压测量无关。2, 3 两电极与样品间存在接触电阻, 通向电压表的引线也存在电阻, 但是由于电压测量回路的高输入阻抗特性, 吸收电流极小, 因此能避免引线和接触电阻给测量带来的影响。按此法测得电极 2, 3 端的电压除以流过样品的电流, 即为样品电极 2, 3 端间的电阻。

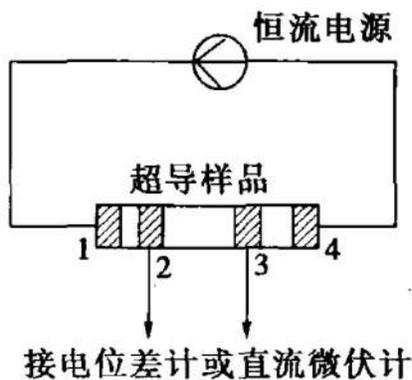


图 2: 四端子接线

### 3.3 温度控制及测量

临界温度 $T_c$ 的测量工作取决于合理的温度控制及正确的温度测量。目前高 $T_c$ 氧化物超导材料的临界温度大多在 60 K 以上, 因而冷源多用液氮。纯净液氮在一个大气压下的沸点为 77.348K, 三相点为 63.148 K, 但在实际使用中由于液氮的不纯, 沸点稍高而三相点稍低 (严格地说, 不纯净的液氮不存在三相点)。对三相点和沸点之间的温度, 只要把样品直接浸入液氮, 并对密封的液氮容器抽气降温, 一定的蒸气压就对应于一定的温

度。在 77 K 以上直至 300 K，常采用如下两种基本方法。

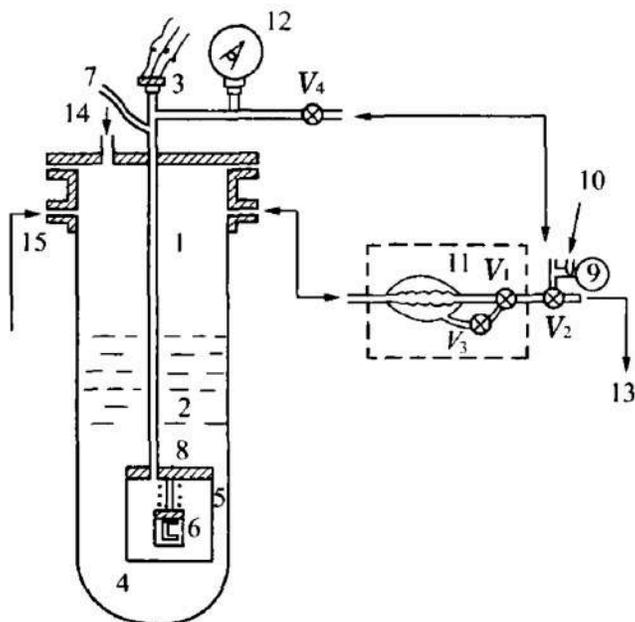


图 3: 恒温器及抽气系统示意图

### 1. 普通恒温器控温法。

低温恒温器通常是指这样的实验装置。它利用低温流体或其他方法,使样品处在恒定的或按所需方式变化的低温温度下,并能对样品进行一种或多种物理量的测量。这里所称的普通恒温器控温法,指的是利用一般绝热的恒温器内的锰铜线或镍铬线等绕制的电加热器的加热功率来平衡液池冷量,从而控制恒温器的温度稳定在某个所需的中间温度上。改变加热功率,可使平衡温度升高或降低。由于样品及温度计都安置在恒温器内并保持良好的热接触,因向样品的温度可以严格控制并被测量(参见图3)。这样控温方式的优点是控温精度较高,温度的均匀性较好,温度的稳定时间长。用于电阻法测量时,可以同时测量多个样品。由于这种控温法是点控制的,因此普通恒温器控温法应用于测量时又称定点测量法。

由于恒温器与低温液体直接接触,有较多的冷量需较大的功率来平衡,同时各点的温度难于平衡,为了解决这个问题,只要减小冷量就可以了,一个简便的方法是在恒温器外包一层保温材料来制成绝热恒温器就可简单地控温。

### 2. 温度梯度法。

这是指利用贮存液氮的杜瓦容器内液面以上空间存在的温度梯度来自 然获取中间温度的一种简便易行的控温方法。样品在被面以上不同位置获得不同温度。为正确反

映样品的温度，通常要设计一个紫铜均温块，将温度计和样品与紫铜均温块进行良好的热接触。紫铜块连结至一根不锈钢管，借助于不锈钢管进行提拉以改变温度。

本实验的恒温器设计综合上述两种基本方法，既能进行动态测量，也能进行定点的稳态测量，以便进行两种测量方法和测量结果的比较。

### 3.4 热电势及热电势的消除

用四端子法测量样品在低温下的电阻时常会发现，即使没有电流流过样品，电压端也常能测量到几微伏至几十微伏的电压降。而对于高 $T_c$ 超导样品，能检测到的电阻常在 $10^5 - 10^{-1}\Omega$ 之间，测量电流通常取  $100\mu\text{A}$ 至 $100\text{mA}$ 左右。据此换算，由于电流流过样品而在电压引线端产生的电压降只在 $10^{-2}\text{V} - 10^3\text{V}$ 之间，因而热电势对测量的影响很大，若不采取有效的测量方法予以消除，有时会将良好的超导样品误作非超导材料，造成错误的判断。

测量中出现的热电势主要来源于样品上的温度梯度。为什么放在恒温器上的样品会出现温度的不均匀分布呢？这取决于样品与均温块热接触的状况。若样品简单地压在均温块上，样品与均温块之间的接触热阻较大。同时样品本身有一定的热阻也有一定的热容。当均温块温度变化时，样品温度的弛豫时间与上述热阻及热容有关，热阻及热容的乘积越大，弛豫时间越长。特别在动态测量情形，样品各处的温度弛豫造成的温度分布不均匀不能忽略。即使在稳态的情形，若样品与均温块之间只是局部热接触（如不平坦的样品面与平坦的均温块接触），由引线的漏热等因素将造成样品内形成一定的温度梯度。样品上的温差 $\Delta T$ 会引起载流子的扩散，产生热电势  $E$ 。

$$E = S\Delta T \quad (1)$$

其中， $S$ 是样品的微分热电势，其单位是 $\mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$ 。对高 $T_c$ 超导样品热电势的讨论比较复杂，它与载流子的性质以及电导率在费密面上的分布有关，利用热电势的测量可以获知载流子性质的信息。对于同时存在两种载流子的情况，它们对热电势的贡献要乘一权重，满足所谓 Nordheim-Gorter法则：

$$S = \frac{\sigma_A}{\sigma} S_A + \frac{\sigma_B}{\sigma} S_B \quad (2)$$

式中 $S_A, S_B$ 是A, B两种载流子本身的热电势， $\sigma_A, \sigma_B$ 分别为A, B两种载流子相应的电导率。 $\sigma = \sigma_A + \sigma_B$ 。材料处在超导态时， $S = 0$ 。为消除热电势对测量电阻率的影响，通常采取下列措施：

1. 对于动态测量。应将样品制得薄而平坦。样品的电极引线尽量采用直径较细的导线，例如直径小于  $0.1\text{mm}$  的铜线。电极引线均与均温块之间要建立较好的热接触，以避免外界热量经电极引线流向样品。同时样品与均温块之间用导热良好的导电银浆粘接，以减少热弛豫带来的误差。另一方面，温度计的响应时间要尽可能小，与均温块的热接触要良好，测量中温度变化应该相对缓慢。对于动态测量中电阻不能下降到零的样品，不能轻易得出该样品不超导的结论，而应该在液氮温度附近，通过后面所述的电流换向法或通断法检查。

2. 对于稳态测量。当恒温器上的温度计达到平衡值时，应观察样品两侧电压电极间的电压降及叠加的热电势值是否趋向稳定，稳定后可以采用如下方法。

A. 电流换向法：将恒流电源的电流 $I$ 反向，分别得到电压测量值 $U_A$ ， $U_B$ ，则超导材料两侧电压电极间的电阻为

$$R = \frac{|U_A - U_B|}{2I} \quad (3)$$

B. 流通断法：切断恒流电源的电流，此时电压电极间测量到的电压即是样品及引线的积分热电势，通电流后得到新的测量值，减去热电势即是真正的电压降。若通断电流时测量值无变化，表明样品已经进入超导态。

## 4 实验仪器

### 4.1 低温恒温器

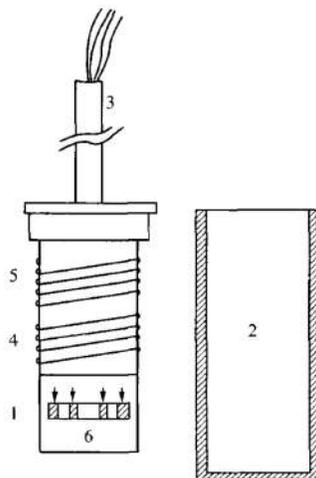


图 4：低温恒温器

实验用的恒温器如图4所示，均温块1是一块经过加工的紫铜块，利用其良好的导热性能来取得较好的温度均匀区，使固定在均温块上的样品和温度计的温度趋于一致。铜套2的作用是使样品与外部环境隔离，减小样品温度波动。提拉杆3采用低热导的不锈钢管以减少对均温块的漏热，经过定标的钽电阻温度计4及加热器5与均温块之间既保持良好的热接触又保持可靠的电绝缘。测试用的液氮杜瓦瓶宜采用漏热小，损耗率低的产品，其温度梯度场的稳定性较好，有利于样品温度的稳定。为便于样品在液氮容器内的上下移动，预设相应的提拉装置。

## 4.2 测量仪器

测量仪由安装了样品的低温恒温器，测温、控温仪器，数据采集、传输和处理系统以及电脑组成。既可进行动态法实时测量，也可进行稳态法测量。动态法测量时可分别进行不同电流方向的升温和降温测量，以观察和检测因样品和温度计之间的动态温差造成的测量误差以及样品及测量回路热电势给测量带来的影响。动态测量数据经测量仪器处理后直接进入电脑 X-Y 记录仪显示、处理或打印输出，稳态法测量结果经由键盘输入计算机作出 R-T 特性供分析处理或打印输出。

## 5 实验注意事项

1. 动态法测量时，热弛豫对测量的影响很大。它对热电势的影响随升降温速度变化以及相变点的出现可能产生不同程度的变化。应善于利用实验条件、观察热电势的影响。
2. 动态法测量中样品温度与温度计温度难以一致，应观察不同的升降温速度对这种不一致的影响。
3. 进行稳态法测量时可以选择样品在液面以上的合适高度作为温度的粗调，而以电脑给定值作为温度的细调。

## 6 实验内容

1. 倒入适量的液氮至保温杯中。液氮的量应该使得低温恒温器能够在实验过程中基本浸入，以保证能够获得低于超导的温度；同时液氮的量也不要太多，以免低温恒温器浸入的时候液氮溢出。
2. 打开高温超导体电阻-温度特性测量仪的电源。将恒流源和测量电压的量程选择按钮置于合适的量程，调节恒流源电流至合适的数值。向左旋转加热调节旋钮，直至加热指示灯不亮。
3. 将低温恒温器整体浸入液氮中，此时低温恒温器外面不加保温套，以便使得低温恒温器整体温度能够较为快速的降低到液氮温度附近。此时可以在高温超导体电阻-温度特性测量仪的温度显示屏上面观察到温度较快地降低，直到77K附近。
4. 等到低温恒温器温度降低至液氮温度附近的时候，将低温恒温器取出，在低温恒温器外面套上保温套，再将加有保温套的低温恒温器放入液氮中。等到温度降得足够低的时候（样品进入超导态，即，观察正向反向电流的时候，电压值之和是否为零），开始测量。
5. 向右旋转加热调节旋钮，可以观察到加热指示灯变亮，同时温度开始升高。当加热指示灯闪烁频率变低，并且温度逐渐稳定之后，记录下相应的温度，电流以及正负换向时的电压。

6. 重复上一个步骤，直到样品从超导态进入正常态的。
7. 利用公式(3)计算出每一个数据点相应的R值，画出R-T曲线。
8. 对数据进行处理和分析，并且对实验结果进行讨论。

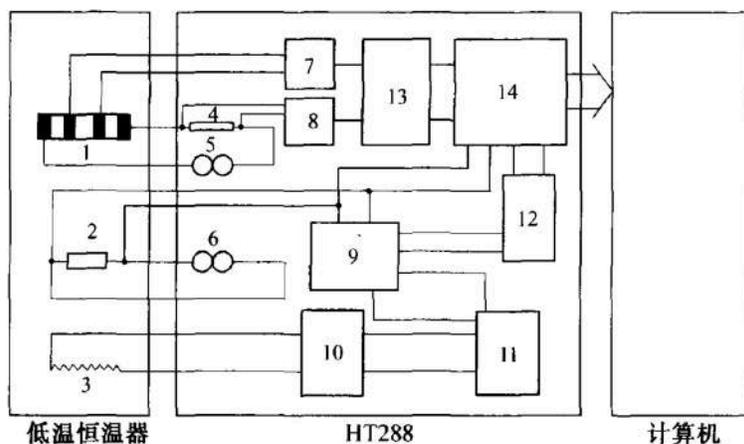


图 5: 高临界温度超导体电阻—温度特性测量仪工作原理示意图: 1. 超导样品; 2. 铅电阻温度传感器; 3. 加热器; 4. 参考电阻; 5. 恒流源; 6. 恒流源; 7. 微伏放大器; 8. 微伏放大器; 9. 放大器; 10. 功率放大器; 11. PID; 12. 温度设定; 13. 比较器; 14. 数据采集、处理、传输系统

## 7 实验数据及其处理

通过调节加热器，使样品逐渐升温，每当样品稳定到一个温度时，记下相应的温度、电流和正向与反向的电压。测得的实验数据如表1所示。利用公式(3)算出的电阻R的值也计算出，写在表中。（电阻R的等于四位有效位数的电压值除以四位有效位数的电流值，最后的结果为四位有效位数，因此表中计算保留至四位有效位数）

利用测得的数据，我们可以得出77.5K - 291.9K范围内，电阻R-温度T的曲线图，如图6所示。为了清晰显示样品从超导态到正常态的转变，将转变温度附近放大画在图7中。

容易看出，样品由正常态转变为超导态的起始温度 $T_s = 113.4K$ ，相应的转变电阻 $R_s = 3.882 \times 10^{-4}\Omega$ 。零电阻温度 $T(R = 0) = 104.9K$ 。中点温度应该对应于转变电阻一半 $R_m = \frac{1}{2}R_s = 1.941 \times 10^{-4}\Omega$ 时对应的温度，因此， $T_m = 111.8K$ 。同时我们可以测到，电阻 $R = 0.9R_s = 3.493 \times 10^{-4}\Omega$ 时的温度 $T_{0.9} = 112.8K$ 和电阻 $R = 0.1R_s = 0.388 \times 10^{-4}\Omega$ 时的温度 $T_{0.1} = 109.9K$ 。由此算出，转变宽度 $\Delta T = T_{0.9} - T_{0.1} = 112.8K - 109.9K = 2.9K$ 。认为转变温度等于中点温度，则转变温度 $T_c = T_m = 111.8K$ 。

注，以上温度以及电阻的测量，均根据实验数据，通过分段线性插值得到。

温度(K)	电压(mV) (正向/反向)	电流(mA)	电阻( $\times 10^{-4}\Omega$ )
77.5	0.000 / -0.000	100.0	0.000
80.0	0.000 / -0.000	100.0	0.000
84.0	0.000 / -0.000	100.0	0.000
88.8	0.000 / -0.000	99.9	0.000
96.3	0.000 / -0.000	100.0	0.000
99.9	0.000 / -0.000	100.0	0.000
104.9	0.000 / -0.000	99.9	0.000
108.6	0.001 / -0.001	99.9	0.200
110.0	0.002 / -0.002	99.9	0.400
110.7	0.003 / -0.003	100.0	0.600
111.1	0.004 / -0.004	99.9	0.801
111.9	0.010 / -0.010	100.0	2.000
112.3	0.016 / -0.016	100.0	3.200
113.3	0.019 / -0.019	99.7	3.811
115.2	0.020 / -0.020	99.7	4.012
117.2	0.021 / -0.021	99.7	4.213
120.2	0.022 / -0.022	99.6	4.418
127.1	0.023 / -0.023	99.6	4.618
130.4	0.024 / -0.024	99.6	4.819
133.2	0.025 / -0.025	99.5	5.025
136.3	0.026 / -0.026	99.5	5.226
138.0	0.026 / -0.026	99.4	5.231
139.6	0.027 / -0.027	99.2	5.444
144.8	0.028 / -0.028	99.2	5.645
152.0	0.030 / -0.030	99.2	6.048
160.2	0.033 / -0.033	99.2	6.653
168.5	0.035 / -0.034	99.1	6.963
175.4	0.036 / -0.037	99.1	7.366
183.5	0.038 / -0.039	99.0	7.778
187.1	0.039 / -0.040	99.0	7.980
191.7	0.040 / -0.041	98.9	8.190
198.3	0.042 / -0.043	99.0	8.586
200.1	0.043 / -0.043	98.9	8.696
203.3	0.043 / -0.044	98.9	8.797
209.5	0.045 / -0.046	98.9	9.201
212.2	0.046 / -0.047	98.8	9.413
215.4	0.047 / -0.048	98.8	9.615
220.0	0.048 / -0.050	98.8	9.919
225.9	0.051 / -0.051	98.8	10.324
238.4	0.053 / -0.055	98.8	10.931
251.3	0.055 / -0.058	98.7	11.449
269.8	0.061 / -0.064	98.7	12.665
276.2	0.063 / -0.066	98.7	13.070
285.1	0.065 / -0.069	98.8	13.563
291.9	0.066 / -0.071	98.8	13.866

表 1: 实验测得数据

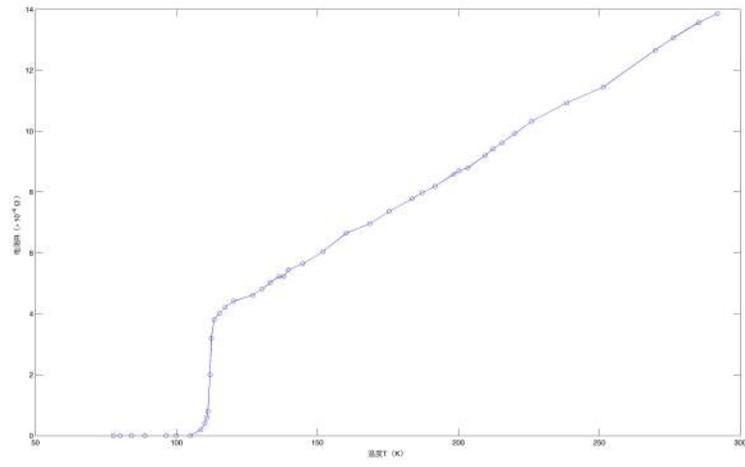


图 6: 电阻 $R$ -温度 $T$ 的曲线图

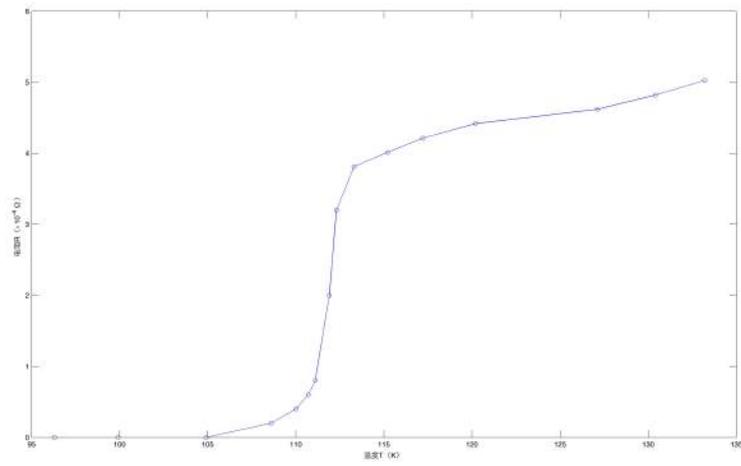


图 7: 临界温度附近的电阻 $R$ -温度 $T$ 的曲线图

## 8 实验误差讨论

实验的误差主要由如下几个方面造成。

1. 测量温度中的误差：测量温度过程中的误差主要是温度计上面显示的温度相对于样品温度的误差，其主要的来源和消除的方法在思考题9.5中讨论。
2. 电压测量中的误差：电压测量中的误差主要来自于接触电阻和热电势。接触电阻带来的误差可以利用四端子接线法消除；热电势带来的误差，在稳态法测量中主要可以利用电流换向法和电流通断法通过计算消除。（本实验中使用电流换向法）

## 9 思考题

- 9.1 超导样品的电极为什么一定要制成如图2所示的四端子接法？假定每根引线的电阻为 $0.1\Omega$ ，电极与样品间的接触电阻为 $0.2\Omega$ ，数字电压表内阻为 $10M\Omega$ ，试用等效电路分析当样品进入超导体时，直接用万用表测量与采用图2接法测量有什么不同？

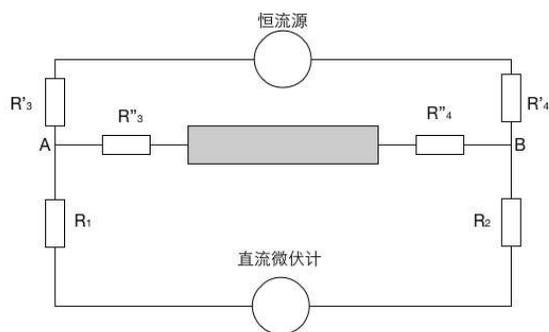


图 8：不按照四端子法接线得到的等效电路图

不按照四端子法接线，得到的等效电路如图8所示，按照四端子法接线得到的等效电路图如图9所示。其中， $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 0.1\Omega + 0.2\Omega = 0.3\Omega$ ， $R'_3 = R'_4 = 0.1\Omega$ ，为导线的电阻； $R''_3 = R''_4 = 0.2\Omega$ ，为接触电阻。恒流源的电流取实验中的数据 $I = 100.00mA$ 。

不按照四端子接法测量，即直接用万用表测量：

AB之间的电压降为 $U_{AB} = (R''_3 + R''_4) \cdot I = 40mV$ ，通过直流微伏计的电流为 $I_V = U_{AB}/(R_1 + R_2 + R_V) = 40mV/10M\Omega = 4nA \ll I$ ，则测得的电压为 $U_V = U_{AB} - I_V \cdot (R_1 + R_2) \approx U_{AB} = 40mV$ ，即测得的电阻值为 $R = U_V/I = 0.6\Omega$ 。可见，直接用万用表测量的时候，无法测得电阻为零的超导态。

按照四端子法测量的时候：

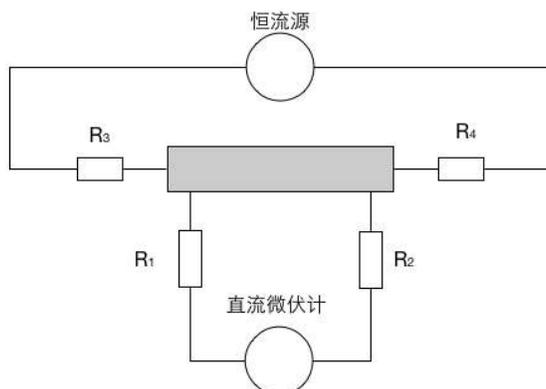


图 9: 按照四端子法接线得到的等效电路图

直流微伏计两表臂间的电压降为零，因此，直流微伏计的读数在不考虑误差的时候应该为零。测得的电阻值为  $R = U_V/I = 0\Omega$ 。可见，使用四端子法来测量可以测得样品电阻为零的状态。

## 9.2 设想一下，本实验适宜先做动态法测量还是稳态法测量，为什么？

本实验应该先做动态测量。动态法所测得的数据不如稳态法测得的数据准确，但是，动态法的测量速度较快。由于一般来说超变的转变宽度是比较窄的，为了测得比较准确的电阻温度曲线，在转变温度附近所测的数据点应该更为密集，但是在全温区进行如此细致的测量不仅费时较多，而且不会在很大程度上提升测量的精度。因此我们需要先利用动态法测量出转变温度大致的范围以及转变宽度大致的数值，这样再利用稳态法进行有针对性的测量。

## 9.3 本实验的动态法升降温过程获得的R-T曲线有哪些具体差异？为什么会出现这些差异？

使用动态法在测量中的误差主要来自于两方面：一方面来自于温度外界温度的变化需要经过一定的弛豫时间才能够传递到样品中，即样品的温度变化滞后于外界的温度变化；另一方面的误差来自于温度的变化需要经过一定的弛豫时间之后才能够被温度计探测出来，即温度计读数的变化滞后于外界温度的变化。另外，由于恒温器的几何形状，会导致暂态过程中的温度场分布不均匀，给温度测量带来难以估计的扰动。

由于温度计和样品均滞后于外界温度变化，而它们滞后的程度并无法知道，因此温度计和样品之间的温度变化关系不好确定。不妨认为样品的温度变化比温度计的温度变化滞后。

在升温测量过程中，温度计显示的温度比样品实际的温度要高，因此所测得的转变温度更高。在降温过程中，温度计显示的温度比样品实际的温度要低，因此所测得的转变温

度更低。因此，升温法测得的转变温度比降温法更高。

同时，由于温度计和样品对于温度的响应特性的不同，还可能导致测量得到的转变宽度的不同。

#### 9.4 给出实验中所用样品的超导起始温度、中间温度和零电阻温度，分析实验的精度。

为了测得样品的这些特征温度，利用实验数据分段线性插值（插值点间隔0.1K）得到线性插值的曲线，通过这一曲线找到相应的特征温度。这一部分的结果已在“实验数据及其处理”中写出，同时列在下方。

超导起始温度 $T_s = 113.4K$ 。

零电阻温度 $T_{R=0} = 104.9K$ 。

中点温度 $T_m = 111.8K$ 。

实验中，温度测量的精度为0.1K。

#### 9.5 实验中如何保证温度计测量的温度与样品温度是相同的？

温度计测到的是温度计本身的温度，而实验中所需要的温度是样品本身的温度，二者之间并不必然完全一样。

因此可以通过如下几个方面来保证温度计测量的温度与样品的温度相同。

1. 把温度计和样品尽可能贴合在一起，同时使得温度计与样品的接触面积尽可能的大，这一不仅可以缩小温度计和样品的温度差，还可以获得比较好的温度测量动态性能。
2. 所选用的温度计应该具有良好的动态性能，即温度计的响应时间应该尽可能的短，并且温度计的稳态误差应该尽可能的小。
3. 实验中，温度变化应该尽可能的缓慢，这样温度计和样品更容易处于一个稳定的温度场中，而避免难以估计的扰动。
4. 实验中，读取数据的时候应该等到温度计读数稳定之后再读取数据，这样能保证读取数据的时候，样品和温度计都处于稳态下。
5. 实验中，应该使用保温套等装置将由温度计、样品等构成的恒温块与外界隔离开来，以避免外界的无规律热扰动。