楚 雄 师 范 学 院

本 科 生 毕 业 论 文

题　　目：两种不同方法测量低值电阻的研究与分析

系（院）：物理与电子科学院

专　　业：物理学

学　　号：**20150921141**

学生姓名：高华兴

指导教师：向文丽　　职称：实验师

论文字数：**5548**

完成日期：**2019**年**5**月

教 务 处 印 制

楚雄师范学院物电学院毕业论文原创性说明

本人郑重声明：呈交的毕业论文“两种不同方法测量低值电阻的研究与分析”，是本人在指导教师向文丽实验师的指导下进行进行研究工作所取得的成果。除文中已经引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本论文的研究所做出帮助的个人或集体，在论文中已经做了详细说明并表示了谢意。

本声明的法律结果由本人承担。

毕业论文作者签名：

日期：　　2019 年 5 月 20 日

目 录

摘要.....I
关键词.....I
Abstract.....II
Keywords.....II
引言.....1
1.实验原理和实验内容.....2
1.1 两种方法测量电阻的实验原理.....2
1.2 实验流程.....3
1.2.1 直流双臂电桥法.....4
1.2.2 四端引线法.....4
2.实验数据记录与处理.....4
3 待测电阻的电阻率.....7
3.1 直流双臂电桥测量.....7
3.2 四端引线法测量.....7
3.3 理论数据与实验数据.....8
3.4 实验数据对比分析.....9
4.总结.....9
5.注意事项.....9
6.结束语.....10
参考文献.....11
致谢.....12

两种不同方法测量低值电阻的研究与分析

摘要：本文利用滑线式直流双臂电桥（开尔文电桥）和四端引线法，通过测量出金属棒的电阻，再计算金出属棒的电阻率。利用电阻率的值，分析对比得出，滑线式直流双臂电桥与四端引线法各自的优缺点。

关键词：滑线式直流双臂电桥；四端引线法；电阻率；对比；优缺点

Research and analysis of two different methods for measuring low resistance

Abstract： In this paper, the resistance of metal rod is measured by sliding double-arm DC bridge (Kelvin bridge) and four-terminal lead method, and then the resistivity of metal rod is calculated. By analyzing and comparing the resistivity values, the advantages and disadvantages of sliding DC double-arm bridge and four-terminal lead method are obtained.

Keywords: Sliding-wire DC double-arm bridge; Four-terminal lead method; Resistivity; Contrast; Advantages and disadvantages

两种不同方法测量低值电阻的研究与分析

引言

滑线式直流双臂电桥又称为开尔文电桥[1]，它是一种测量低值电阻的测量仪器[2]。是专门为测量低值电阻而设计的，在惠斯通电桥的基础上改进[3]而来，主要是在电源接入点之间增加一组桥臂，消除了接触电阻和接线电阻的影响[4]，在测量阻值小于 1Ω的情况下，误差较小，精确度高[5]，已广泛地应用于科技测量中。

2018 年 11 月，北京市计量检测科研究院的吴裔骞和刘桂欣，通过四端接线法在电阻测量中的实际经验，对于测量小电阻，测试时由于接触电阻[6]和引线电阻[7]的影响，二线法[8]测试不准。而采用四端引线法，便可以消除接触电阻和引线电阻的影响。四端引线法是目前科研中测电阻最常用的方法，该方法原理简单，测量精度高，尤其是对低值电阻，低温下材料的电输送性质的测量，高温超导材料在发生正常超导转变时的零电阻现象和迈斯纳效应[9]，必须测定临界温度[10]，正是通过用四端引线法，测量超导材料的电阻和温度之间的关系而确定的。

滑线式直流双臂电桥与四端引线法既有区别又有联系，滑线式直流双臂电桥是属于半智能化仪器，四端引线法是属于实验室自搭的仪器，本文着重对滑线式直流双臂电桥和四端引线法两种不同方法的研究，比较了两种方法测量低值电阻的异同和优缺。

1. 实验原理和实验内容

1.1 两种方法测量电阻的实验原理

（1）滑线式直流双臂电桥原理

滑线式直流双臂电桥的原理如图 1 所示。为了消除接触电阻和连接导线电阻对待测电阻结果的影响，被测电阻 Rx 和标准电阻 Rn 都将接成四端电阻形式，图一中的 C1、C2 为该被测电阻的电流端，P1、P2 为电压端。

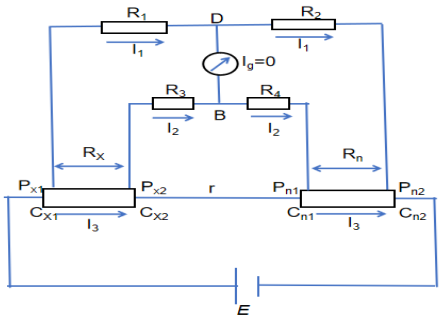


图 1-1 滑线式直流双臂电桥原理图

通过图可以分析得到，C_{n2}、C_{x1} 处产生的接触电阻和接线电阻在整个电路的支路上；C_{n1} 和 C_{x2} 处产生的接触电阻和接线电阻应该归在 r 中；把 P_{x1} 和 P_{n2} 处的接线电阻和接触电阻分别归在 R_1 和 R_2 上；同理 P_{x2} 和 P_{n1} 处产生的接线电阻和接触电阻分别归在 R_3 和 R_4 上。如此一来便可以消除电路中接线电阻和接触电阻对待测电阻的测量结果的影响。

测量时，在直流双臂电桥上接上待测电阻 R_x，然后调节个桥臂的电阻值，使得检流计中 R_g=0，此时桥臂达到平衡，再根据基尔霍夫定律，能够得到三个回路方程：

$$I_1R_1 = I_3R_X + I_2R_3 \tag{1.1}$$

$$I_1R_2 = I_3R_n + I_2R_4 \tag{1.2}$$

$$I_2(R_3 + R_4) = (I_3 - I_2)r \tag{1.3}$$

通过上述三式联立化解得：

$$R_X = \frac{R_1}{R_2}R_n + \frac{rR_4}{(R_3 + R_4 + r)}\left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4}\right) \tag{1.4}$$

当调节 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ 时，$\frac{rR_4}{(R_3 + R_4 + r)}\left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4}\right) = 0$

则有 $R_X = \frac{R_1}{R_2} R_n = K_r R_n$ (1.5)

式中 R_n：标准电阻 R_x：待测电阻 ：K_r 量程倍率

由式子（1.4）可知，待测电阻 R_x 和 R_3、R_4、r 没有任何关系，只与量程倍率 K_r 和标准电阻 R_n 有关。

（2）四端引线法

四端引线法是在伏安法测电阻的基础上演变而来，在如图 2 测量的电阻值并非完全是待测电阻，因为待测电阻左右两边有接线电阻和接触电阻的存在，图 3 为图 2 的等效电路图，我们可以将其等效为电阻 r_1、r_2、r_3、r_4 表示，因为我们所用的电压表一般内阻很大，接触电阻 r_1、r_4 对待测电阻的测量结果影响不大。由图 3 中可以看出接线 r_2、r_3 与待测电阻 R_x 是属于串联关系，所测量的值为（$r_1+r_2+R_x$），若 r_2、r_3 与 R_x 不是一个数量级，显然不能采用这种方法进行测量。

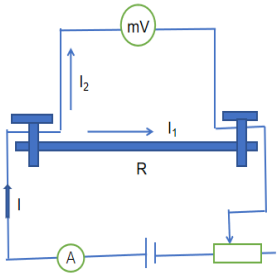


图 1-2 伏安法测电阻

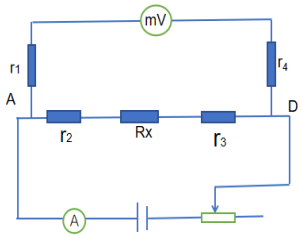
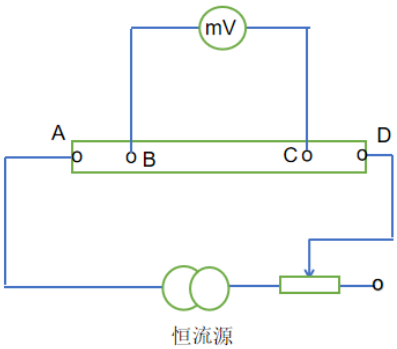


图 1-3 伏安法测电阻等效电路

若将测量电路设计成图 4，A—D 端为电流接点，B—C 端为电压接点，这样 A—D 端在所测电阻之外，排除了无关变量的对该实验测量的干扰，然而这种测量低电阻的方法就叫做四端引线法。



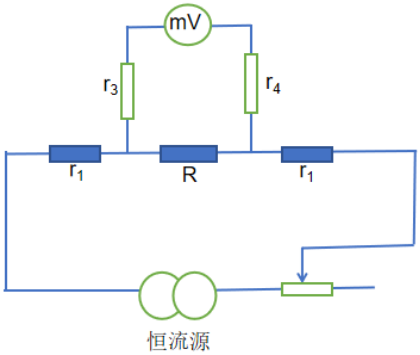


图 1-4 四端引线法测电阻　　图 1-5　四端引线法等效电路

1.2 实验内容

1.2.1 直流双臂电桥法测量电阻

（1）准备实验仪器

直流电源、滑线式直流双臂电桥、检流计、滑动变阻器、铜棒、吕棒各一根、单刀双掷开关 2 个、刻度尺、螺旋测微器、导线若干。

（2）连接电路并测量电阻

①固定待测电阻

按直流双臂电桥原理图连接好线路，先将滑线式直流双臂电桥上的螺钉拧松，把待测电阻金属棒固定在 A、B、C、D 之间，使其与之接触良好。

②接通电源

调节滑动变阻器，使直流电源上电流示数为 1A,再把检流计开关闭合，然后调节可滑动触片，让检流计指针指到表盘中间位置。若不能使指针指向中间刻度，此时可以调换另外一组倍率接线柱，直到电桥调节平衡为止。

③数据测量

重复上述步骤，调节滑动变阻器，使电流增加为原来的两倍，再调节滑动触片，使检流计的指针指到表盘中间刻度，直到调节平衡为止。记录标准电阻 R_n 的值，以及滑动触片所指的位置和倍率值，通过计算得出 R_x 的值，重复 5 次，计算出平均值。

④测量金属棒的有效长度和直径

当我们的待测电阻固定后，需要的长度并非整根金属棒的长度，只是 BC 段 L 的长度,用刻度尺进行测量，直径用螺旋测微器进行，分别对该棒的不同位置进行测量，取平均值。

1.2.2 四端引线法

（1）准备实验仪器

恒流源、滑线式板式双臂电桥、铜棒、铝棒、开关、导线、滑动变阻器、万用表等。

（2）用四端引线法测量电阻

将待测金属棒固定在滑线式直流双臂直流电桥上，将电源两端与板式电桥的 A、D 旋钮相连，调节直流电源，使电流恒定不变，将万用表两端搭在 B、D 处，如图 4 所示，改变电流示数，重复上述步骤 4 次，记录相应的示数，利用公式进行计算待测电阻的值，根据上述步骤④的数据，进行电阻率的计算，再和理论值做对比。

2.实验数据记录与处理

表 2-1 滑线式直流双臂电桥的测量数据

材料	R_n（Ω）		比例		R_x（Ω）
			$R_1=R_3$	$R_2=R_4$	
铜	0.001Ω	0.002 级	20000Ω	180Ω	2.22×10^{-4}Ω
铝	0.001Ω	0.006 级	20000Ω	220Ω	5.46×10^{-4}Ω
铁	0.001Ω	0.009 级	20000Ω	95Ω	1.90×10^{-3}Ω

R_n=0.001Ω×0.002 级

$$R_{铜}=\frac{R_1}{R_2}R_n=\frac{20000}{180}\times 2\times10^{-6}\Omega\approx 2.22\times10^{-6}\Omega$$

R_n=0.001Ω×0.006 级

$$R_{铝}=\frac{R_1}{R_2}R_n=\frac{2000}{220}\times 6\times10^{-6}\Omega\approx 5.46\times10^{-4}$$

R_n=0.001Ω×0.002 级

$$R_{铁}=\frac{R_1}{R_2}R_n=\frac{20000}{95}\times 9\times10^{-6}\Omega\approx 1.90\times10^{-3}$$

表 2-2 待测电阻的长度与直径测量

材料	$d(mm)$					$\overline{d}(mm)$	$L(mm)$
铜	6.16	6.13	6.13	6.14	6.14	6.14	393.00
铝	5.04	5.03	5.03	5.05	5.05	5.04	
铁	5.00	5.02	4.99	4.98	5.01	5.00	

$$\overline{d_{铜}} = \frac{6.16 + 6.13 + 6.13 + 6.14 + 6.14}{5} = 6.14\,mm$$

$$S\left(\overline{d}\right) = \sqrt{\frac{\sum\left(d_i - \overline{d}\right)^2}{n\left(n-1\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{\left(6.16 - 6.14\right)^2 + \left(6.13 - 6.14\right)^2 + \left(6.13 - 6.14\right)^2 + \left(6.14 - 6.14\right)^2 + \left(6.14 - 6.14\right)^2}{30}}$$

$$= 4.472\ \mu m$$

$$d = \overline{d} \pm S\left(\overline{d}\right) = \left(6140\ \pm 4.472\ \right)\mu m$$

$$\overline{d_{铝}} = \frac{5.04 + 5.03 + 5.03 + 5.05 + 5.05}{5} = 5.04\,mm$$

$$S\left(\overline{d}\right) = \sqrt{\frac{\sum\left(d_i - \overline{d}\right)^2}{n\left(n-1\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{\left(5.04 - 5.04\right)^2 + \left(5.03 - 5.04\right)^2 + \left(5.03 - 5.04\right)^2 + \left(5.05 - 5.04\right)^2 + \left(5.05 - 5.04\right)^2}{30}}$$

$$= 3.650\ \mu m$$

$$d = \overline{d} \pm S\left(\overline{d}\right) = \left(5040\ \pm 3.650\ \right)\mu m$$

$$\overline{d_{铁}} = \frac{5.00 + 5.02 + 4.99 + 4.98 + 5.01}{5} = 5.00\,mm$$

$$S\left(\overline{d}\right) = \sqrt{\frac{\sum\left(d_i - \overline{d}\right)^2}{n\left(n-1\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{\left(5.00 - 5.00\right)^2 + \left(5.02 - 5.00\right)^2 + \left(4.99 - 5.00\right)^2 + \left(4.98 - 5.00\right)^2 + \left(5.01 - 5.00\right)^2}{30}}$$

$$= 5.773\ \mu m$$

$$d = \overline{d} \pm S\left(\overline{d}\right) = \left(5000\ \pm 5.773\ \right)\mu m$$

表 2-3　四端引线法测电阻

材料	铜					铝					铁				
电压 U (mV)	0.9	1.9	2.6	3.5	4.7	2.2	4.5	6.7	8.9	11.2	7.9	15.7	23.8	31.3	39.5
电流 I (A)	4.2	8.4	12.6	16.8	21.0	4.2	8.4	12.6	16.8	21.0	4.2	8.4	12.6	16.8	21.0
电阻 R ($10^{-4}\Omega$)	2.14	2.26	2.06	2.08	2.23	5.23	5.35	5.32	5.29	5.33	18.8	18.7	18.9	18.6	18.9
$\overline{R}$ ($10^{-4}\Omega$)	2.16					5.32					18.8				

由欧姆定律公式:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$\overline{R_{铜}} = \frac{2.20\times(10)^{-4} + 2.15\times(10)^{-4} + 2.14\times(10)^{-4} + 2.16\times(10)^{-4} + 2.15\times(10)^{-4}}{5}$$

$=2.16\times10^{-4}\Omega$

$$\overline{R_{铝}} = \frac{5.25\times(10)^{-4} + 5.33\times(10)^{-4} + 5.38\times(10)^{-4} + 5.29\times(10)^{-4} + 5.35\times(10)^{-4}}{5}$$

$=5.32\times10^{-4}\Omega$

$$\overline{R_{铁}} = \frac{1.88\times(10)^{-3} + 1.85\times(10)^{-3} + 1.90\times(10)^{-3} + 1.90\times(10)^{-3} + 1.87\times(10)^{-4}}{5}$$

$=1.88\times10^{-3}\Omega$

3 待测电阻的电阻率

3.1 滑线式直流双臂电桥法测量电阻率

$$\rho_{铜} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

$$= \frac{\pi\left(6.14\times10^{-3}\right)^2\left(2.22\times10^{-4}\right)}{4\times0.393}$$

$$= 1.67\times10^{-8}\Omega\cdot m$$

$$\rho_{铝} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

$$= \frac{\pi\left(5.04\times10^{-3}\right)^2\left(5.46\times10^{-4}\right)}{4\times0.393}$$

$$= 2.77\times10^{-8}\Omega\cdot m$$

$$\rho_{铁} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

$$= \frac{\pi\left(5.00\times10^{-3}\right)^2\left(1.90\times10^{-3}\right)}{4\times0.393}$$

$$= 9.51\times10^{-8}\Omega\cdot m$$

3.2 四端引线法测量电阻率

$$\rho_{铜} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

$$= \frac{\pi\left(6.14\times10^{-3}\right)^2\left(2.16\times10^{-4}\right)}{4\times0.393}$$

$$= 1.63\times10^{-8}\Omega\cdot m$$

$$\rho_{铝} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

$$= \frac{\pi\left(5.04\times10^{-3}\right)^2\left(5.32\times10^{-4}\right)}{4\times0.393}$$

$$= 2.70\times10^{-8}\Omega\cdot m$$

$$\rho_{铁} = \frac{\pi d^2 R_x}{4L}$$

$$= \frac{\pi\left(5.00\times10^{-3}\right)^2\left(1.88\times10^{-3}\right)}{4\times0.393}$$

$= 9.41 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$

3.3 两种方法测量电阻率的相对误差

表 3-1　电阻率

材料	常见金属在室温下的电阻率$(\Omega \cdot m)$	滑线式直流双臂电桥法电阻率$(\Omega \cdot m)$	四端引线法电阻率$(\Omega \cdot m)$
铜	1.75×10^{-8}	1.67×10^{-8}	1.63×10^{-8}
铝	2.83×10^{-8}	2.77×10^{-8}	2.70×10^{-8}
铁	9.78×10^{-8}	9.51×10^{-8}	9.41×10^{-8}

滑线式直流双臂电桥法

$$\eta_{铜} = \frac{1.75\times10^{-8} - 1.67\times10^{-8}}{1.75\times10^{-8}} \times 100\%$$

=4.57%

$$\eta_{铝} = \frac{2.83\times10^{-8} - 2.77\times10^{-8}}{2.83\times10^{-8}} \times 100\%$$

=2.12%

$$\eta_{铁} = \frac{9.78\times10^{-8} - 9.51\times10^{-8}}{9.78\times10^{-8}} \times 100\%$$

=2.76%

四端引线法

$$\eta_{铜} = \frac{1.75\times10^{-8} - 1.63\times10^{-8}}{1.75\times10^{-8}} \times 100\%$$

=6.86%

$$\eta_{铝} = \frac{2.83\times10^{-8} - 2.70\times10^{-8}}{2.83\times10^{-8}} \times 100\%$$

=4.59%

$$\eta_{铁} = \frac{9.78\times10^{-8} - 9.41\times10^{-8}}{9.78\times10^{-8}} \times 100\%$$

=3.78%

3.4 两种办法测量的实验数据对比分析

采用两种不同的方法对三种不同材料的电阻进行测量，通过研究与分析，二种方法均适用于测量低值电阻，同时测量了三种不同材料的电阻率，其相对误差基本小于 5%，该电阻率的测量结果与引线电阻和接线电阻无关，两种方法都是建立四个引线端的基础上，四端引线对于测量低值电阻具有一定的必要性，从而减小实验误差。

利用滑线式直流双臂电桥法测量铜的电阻率的误差为 4.57%，而用四端引线法测量其误差为 6.86%。利用滑线式直流双臂电桥测量铝的电阻率的误差为 2.12%，利用四端引线法测量的误差为4.59%。利用滑线式直流双臂电桥测量铁的电阻率的误差为2.76%，利用四端引线法测量的误差为 3.78%。利用滑线式直流双臂电桥法测量电阻率的误差均小于用四端引线法测量电阻率的误差，造成误差大小的原因在于两种方法的自身的结构特点和方法。

滑线式直流双臂电桥是利用电桥的方法，采用检流计作为平衡指示，对于检流计自身而言，灵敏度高，电阻极小，所带来的误差几乎可以忽略。然而，电桥又通过比值的方法计算出电阻，这种比值的好处就是我们可以完全不用考虑接触电阻和接线电阻所带来的影响。可以减小其它因素的干扰，提高精确。

而四端引线法可以说是伏安法测量电阻的高级版本，因其所用到的器材中，使用毫伏表测量待测电阻两端的电压，由于毫伏表本身就存在电阻，这部分电阻不能被忽略，对测量结果会造成一定的误差。

通过参考表 3-1 中的数据，可以发现，用四端引线法测量出的数据与理论数据误差较大，而用滑线式直流双臂电桥测量出的数据与理论数据相比误差较小。

（1）系统误差：仪器本身的精确度成为本次测量的误差之一，仪器使用时间过久，存在老化和磨损现象，导致误差产生。

（2）人为误差：在测量待测金属棒的长度和直径时，尽管采用多次测量，最后取其平均值消除误差，这样只能让误差变小，不能消除误差的存在。

（3）环境因素：在室内，温度也可以影响电阻率的大小，在整个过程中，使用直流电源，但有时候并不稳定所带来的误差。

4. 总结

相比较而言，滑线式直流双臂电桥结构和原理都十分复杂。是属于半智能化的仪器，测量的精度和准确度高，操作性和实用性极强，对学生的动手操作能力要求极高。四端

引线法原理就比较简单，是属于自搭的实验仪器，灵活性强，便于操作。通过对表 3-1 数据的观察与分析，不难发现，通过滑线式直流双臂电桥法测量出的数据，更接近理论值。而四端引线法与理论值相差较大，其实这是毫无疑问的，因为从仪器本身的角度来看，滑线式直流双臂电桥更高级，测量方法更合理，内部结构更完善。所以从物理学的角度来看，这是一门十分严谨学科，追求的是精确性，实事求是的原则。

综上所述，本文建议测量低值电阻时尽量使用滑线式直流双臂电桥进行测量。

5. 注意事项

（1）. 被测电阻在连接时，应当将电压接入端和电流接入端分开，进行正确连接。

（2）. 电路中用来连接的导线，应选用较粗较短的，减小导线电阻耗电，各接头必须干净、接触牢固、避免接触不良。

（3）. 测量低电阻时，通过电阻两端的工作电流较大，由于存在热效应，可能会改变电阻阻值，同时电源的耗能较大，通电时间尽量短暂，间歇使用，避免发生火灾。

（4）. 测量金属棒的长度时，应该清楚测量的是电压接入点间的距离，不是两电流接入端的距离。

6. 结束语

由于在实际生活中，对低值电阻测量相当广泛，有各种不同的测量方法，其中比较常见的是用滑线式直流双臂电桥法进行测量，滑线式直流双臂电桥的结构和原理相当复杂，在教学过程中，对基础薄弱的学生，难以理解，增加学习压力，难以达到教学目的，在此基础上，引入一种新的测量方法，四端引线法，相比较而言，原理、结构简单，学生容易理解和操作，但是测量不精确，效果不是很理想，通过两种方法测量进行对比，发现滑线式直流双臂电桥更具有研究应用价值和参考意义。

参考文献：

[1]刘道军，张季，吴永.大学物理实验[M].合肥：安徽大学出版社，2016.98-92

[2]袁长坤.物理量测量[M].北京：科学出版社，2004.148-151

[3]王德法，王世亮，张卫东.基础物理实验[M].北京：科学出版社，2011.49-52

[4]孙丽媛，郇维亮，徐志洁.大学物理实验[M].北京：北京理工大学出版社，2014.47-50

[5]周殿清，基础物理实验[M].北京科学出版社，2009.117-120

[6]阮树仁，盛淑芳.大学物理实验[M].西安：西安电子科技大学出版社，2014.56-57

[7]周自刚，赵福海.新编大学物理实验[M].北京：科学出版社，2013.241-245

[8]隗群梅.韩立立.尹教建 双臂电桥测量接触电阻的研究[D].中国石油大学(华东)理学院，2016.

[9]张书敏，许景周，李冀.普通物理实验[M].北京：科学出版社，2011.181-186

[10]编写组.大学物理实验[M].北京:清华大学出版社，2008.180-183

[10]艾尔肯.阿不列木.新编大学物理教程[M].北京：清华大学出版社，2013.79-83

[11] 郑友进.普通物理实验[M].北京：高等教育出版社出版社，2012.142-145

[12]车开森 .黄澜涛 .基于虚拟数字锁相放大的微弱电阻测量[D].仪表技术与传感器，2013.

[13]蒋立佳 .核主泵屏蔽套激光焊接质量对涡流损耗的影响[D].大连理工大学， 2010.

致谢

在我的毕业论文即将完成之际，我四年的大学生活也即将要画上句号。首先在此我要特别感谢我的论文指导老师向文丽老师，在此对她致以衷心的谢意。从论文题目的确定到整篇论文的完成过程中，向老师通过她严谨认真的治学态度，深厚的专业修养和精益求精的工作作风，不仅使我掌握了基本的实验研究方法。而且她严于律己、平易近人的人格魅力对我产生了深远的影响，教会了我如何做好一件事，还让我明白了许多为人处事的道理。本篇论文从选题到完成，正是由于向老师在百忙之中多次审阅全文，对细节进行修改，并为本文的撰写提供了许多中肯而又宝贵的意见，倾注了向老师大量的心血和精力，本文才得以成型。在此，谨向向老师表示崇高的敬意和衷心的感谢！

其次我也非常感谢楚雄师范学院物理与电子科学学院各位任课老师四年来对我的帮助和谆谆教诲。在这四年里您们用您们渊博的知识、高尚的人格魅力和严谨的治学态度教会了我如何做好一件事，并且这四年在各位老师的悉心教导下我的学习能力以及解决问题的能力也有了明显的提高。

再次感谢同班的几个同学，谢谢你们在实验过程中对我的帮助与建议。最后由衷的感谢楚雄师范学院给予我的这次求学机会，让我学到了更多的知识和做人的道理，使我的人生有了更高的起点！

此外，本文参考了大量杂志期刊和专业丛书，由于参考期刊太多，不能一一注明，敬请原谅并向所有作者和刊物致以诚挚的谢意！由于本人水平有限，纰漏之处在所难免，恳请各位老师不吝赐教。