

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电工电子实践系列

电路与电工测量 基础实验

张英敏 陈彬兵 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校电工电子实践系列

电路与电工测量基础实验

张英敏 陈彬兵 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书包括实验和附录两部分。实验部分有电路实验、电工测量实验、电机及控制实验和部分虚拟实验内容；附录部分为常用电工、电子仪器仪表及电子线路仿真软件的介绍，可供教师参考和学生学习查用。本书内容丰富，原理清楚，步骤简洁、易操作，能为不同学时和不同专业层次的教学需要选用。

本书是为“电路”、“电工测量技术”和“电路及电工技术基础”课程教学而设的实践课程教材，可供高等院校电类和非电类专业本科、专科学生学习选用，也可作为电视大学、职业大学、业余大学、远程教育及网络教育中电类专业的电路及电工技术实验教学用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

电路与电工测量基础实验/张英敏，陈彬兵主编. —北京：电子工业出版社，2004.8

（高等学校电工电子实践系列）

ISBN 7-121-00193-4

I. 电… II. ①张… ②陈… III. ①电路—实验—高等学校—教材 ②电气测量—实验—高等学校—教材
IV. ①TM13-33 ②TM93-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 077810 号

策划编辑：章海涛

责任编辑：章海涛

印 刷：北京大中印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×980 1/16 印张：14.25 字数：320 千字

印 次：2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数：5 000 册 定价：20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：（010）68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书根据教育部对“电路”、“电工测量技术”和“电路及电工技术基础”课程教学的基本要求，结合多年来的实验教学实践，在认真吸取了大量同类实验指导书优点的基础上编写而成。本书是高等院校电类和非电类专业为加强“电路”、“电工测量技术”和“电路及电工技术基础”等课程的理论学习而编写的基础实验课教材。

根据教学基本要求，本书实验内容包括电路实验、电工测量实验、电机及控制实验；在传统电路及电工实验的基础上，还利用计算机辅助设计等新技术手段，增加了部分虚拟实验。通过对电路、电工测量和电机及控制的计算机仿真和实际操作，读者可巩固和加深理论知识，熟悉基本的电工仪表、仪器的原理和操作，掌握一些基本的测试方法，提高上机操作能力，提高分析问题、解决问题的能力，特别是独立进行科学实验的能力。

本书中，实验4、7、8、13、24和附录L由陈彬兵负责编写，实验1、3、10、14、15和附录C、G、J由黄仲平负责编写，实验2、9、16、18、20和附录B、D、F由贾绍芝负责编写，实验5、11、22、23、25和附录A、E、H由沈焯负责编写，张英敏负责其余部分的编写以及全书的校核和定稿工作。

同时，四川大学电气信息学院和电工电子中心的领导、其他教师和实验人员对本书的编写给予了关怀和支持，并提出了宝贵的意见和建议。在此，向他们表示热忱的谢意。

由于编者学识有限，对电路及电工实验工作的经验不够丰富，见解不够深刻，而且编写时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请使用本书的同行、读者和同学们提出批评意见和改进建议。

编 者
2004年7月

目 录

实验须知	1
实验 1 测量方法	4
实验 2 直流参数的测量	8
实验 3 用直流电位差计校验仪表	10
实验 4 元件伏安特性的测量	13
实验 5 戴维南定理与诺顿定理的验证	21
实验 6 基尔霍夫定律、叠加定理及特勒根定理的验证	29
实验 7 一阶电路的阶跃响应	36
实验 8 二阶电路的阶跃响应	42
实验 9 一阶电路和二阶电路的冲激响应	47
实验 10 电路功率因数的提高	52
实验 11 RLC 串联谐振电路的特性	57
实验 12 用双踪示波器与数字相位计分析元件 L、C 上的正弦电流、电压关系	63
实验 13 用数字电桥测量交直流参数	70
实验 14 三相交流电路的测试	73
实验 15 三相功率的测量	80
实验 16 互感的测量	86
实验 17 非正弦电路的观察	92
实验 18 运算放大器及受控源	95
实验 19 二端口网络的参数测定	102
实验 20 负阻抗变换器及其性质	111
实验 21 单相变压器	117
实验 22 三相异步电动机	123
实验 23 他励直流电动机	129
实验 24 异步电动机的正反转控制	133
实验 25 异步电动机的启动控制	137
附录 A 测量结果有效位数的确定	140
附录 B 电气测量指示仪表的校验	143
附录 C UJ25 型高阻电流电位差计使用规则	149
附录 D QJ19 型单双臂两用直流电桥使用说明	152
附录 E 磁电式仪表、电磁式仪表及万用表的使用方法	158
附录 F 日光灯工作原理	169

附录 G	电动式功率表的使用	171
附录 H	转速表和钳形电流表	179
附录 I	电子技术实验中的常用仪器仪表	182
附录 J	HG4181 型数字相位计使用说明	195
附录 K	TH2820 型 LCR 数字电桥使用说明	198
附录 L	虚拟实验平台 EWB 5.0 的使用说明	205
参考文献	221

实验须知

电路及电工测量基础实验是“电路”和“电工测量”两门课程教学的重要组成部分，是培养学生独立分析、解决问题能力和实际动手操作能力的重要环节。电路及电工测量基础实验的目的是使学生了解一些电气设备和元器件，学会按电路图连接实验电路，熟练使用常用的电工实验仪表（如万用表、电流表、电压表等），学习使用函数发生器、调压器等实验仪器，掌握基本的电路测量方法、仪表量程的选择方法、数据的采集与分析方法和一般的安全用电知识。随着计算机应用的普及，教师也可通过虚拟实验来加深学生对所学知识的认识和理解，常用电路的计算机辅助分析软件有 PSPICE 和 EWB 等。

电路及电工测量基础实验教学环节分为 3 个阶段：课前预习 → 进行实验 → 课后书写实验报告。

一、课前预习

在实验前做好充分准备，认真预习，是顺利进行实验的一大要诀。在每次实验之前，读者都应仔细阅读实验教程，明确实验目的、实验内容、实验线路、实验设备和仪器仪表以及测量和记录的项目等，这样才能在实验时做到心中有数，减少盲目性，提高实验效率。

二、进行实验

1. 实验步骤

- (1) 由实验指导教师在每次实验前讲授实验要求和实验中的注意事项。
- (2) 学生分组进行实验。连接好电路后，按实验指导书中给定的实验步骤进行操作，观察实验现象，记录实验数据。
- (3) 结束实验，离开实验室。

2. 电源

- ✘ 实验桌上设有三相交流电源开关和直流电源开关，由实验室统一供电。在做实验前，应弄清各输出端点间的电压数值。
- ✘ 如果实验中需要使用直流稳压电源供电，那么在接入线路之前应调节好输出电压，使其符合实验线路要求。
- ✘ 在进行线路的接线、改线或拆线以前，必须断开电源开关，严禁带电操作，以免造成电源设备或部分线路短路而损坏设备、线路或元器件。

3. 实验线路

- ✘ 熟悉实验线路原理图，能够识别图并能按图连接好实验线路。

- ※ 实验线路接线要准确、可靠和有条理，接线柱要拧紧，插头与线路中插孔的结合要插准插紧，以免因接触不良而引起部分线路断开。
- ※ 线路中不要结活动裸接头，线头过长的铜丝应剪去，以免造成因操作不慎或偶然原因而触电。
- ※ 线路接好后，应先相互检查，然后请实验指导教师检查同意后，才能接通电源开关进行实验。

4. 仪器仪表

- ※ 认真掌握每次实验所用仪器仪表的使用方法、放置方式（水平或垂直），弄清仪表的型号、规格和精度等级等。
- ※ 仪器仪表与实验线路板或设备的位置配合应合理，以便实验操作和测量。
- ※ 仪器仪表上的旋钮有起止位置，在旋转旋钮时用力要适度，旋钮到头时严禁强制用力，以免损坏旋钮内部的轴及其连接部分。
- ※ 测试前应根据估算的物理量数值先选择仪表的量限，然后将仪表接入线路测试点。对于指示仪表，读者应弄清所选量限的刻度数值，被测量值通常应处在仪表量限的一半以上，按顺时针方向读数，以减少读数误差。读数前一定要先弄清仪表的量和表盘上每一刻度（div，即格）所代表的实际数值。一般仪表的实际读数为：

$$\text{实际读数} = \frac{\text{使用量程}}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

- ※ 实验用仪表一般应在实验线路稳定运行后接入线路测试，并同时观察指针偏转情况，如超过量限应立即取出。特别指出，电流表应严禁先接入线路后再合电源开关，以免造成因闭合开关时瞬时冲激电流过大而使指针打弯或打断的情况。
- ※ 选用仪表的内阻与被测元件（或电路的电阻）的配合要恰当，测试方法要合适，以减少测试误差。

5. 对实验中异常现象的处理

在实验过程中，如发现异常火花、异声、异味、冒烟、过热等现象，应立刻断开电源开关断电，保持现场，并请指导教师一起检查原因。

6. 实验结束整理

- ※ 实验完成后，将数据整理后交指导教师检查认可后方可拆线，否则应重新进行测量、记录。
- ※ 实验结束，应先断开电源开关，然后拆线。
- ※ 实验结束，应把桌上的仪器仪表和实验线路板摆放整齐，连接导线应收拾干净，并放入实验桌抽屉内。

三、书写实验报告

实验报告采用专用的实验报告纸。课后书写实验报告是对实验工作的全面总结，应用理论来分析实验数据、实验波形和实验现象，从中得出有价值的结论。每个学生都应在实验完成后及时写出分析中肯、结论简洁、图表清晰、字迹工整的实验报告。这不仅能深化理论学习的内容，而且能培养正确总结实验工作和进行科学实验的能力。

实验报告的主要内容如下：

- ✖ 题目、系别、班号、实验人、同组人、日期。
- ✖ 实验目的。
- ✖ 仪器仪表目录，包括仪器设备的型号和规格。
- ✖ 实验线路。
- ✖ 实验内容及其步骤。
- ✖ 实验分析，包括如下内容：
 - 实验所需的数据表格、数值计算、曲线图等。要求所有的数据清晰完整，曲线图一般应画在坐标纸上。
 - 实验数据处理，实验结果分析，收获体会。
 - 实验报告分析提示，仅供学生实验分析时参考，学生可根据自己的实验经验和体会提出新的项目。
- ✖ 实验结论：对实验分析的概括或指出实验题目的研究方向。

实验1 测量方法

预习要求

- ❖ 掌握电工测量方法、测量误差及误差分析。
- ❖ 掌握磁电式仪表、电磁式仪表及万用表的使用方法。
- ❖ 根据仪器、元件规格和实验任务，在既保证仪器元件正常工作，又尽量减小测量误差的前提下，确定测量电路接线方式，确定通过测量电路的电流（电压）最优值并选择适宜的仪表量程；正确设计欧姆表法、伏安法、替代法测量电路的实验电路。

一、实验目的

- ✱ 掌握各种测量方式和方法的含义、特点，以及误差情况和适用场合。
- ✱ 根据实验任务和仪器元件的规格，正确选择测量电路的接线方式和仪表量程，确定最优电路参数，设计实验电路。

二、实验设备

本实验所需的实验设备如表 1-1 所示。

表 1-1 实验 1 所需的实验设备

名称	等级	量程（规格）	内阻	数量
500 型万用表欧姆挡	2.5	$\times 1, \times 10, \times 100$	$\times 1$ 挡中心值 10Ω	1
500 型万用表直流电压挡	2.5	2.5V/10V/50V	$20k\Omega$	1
T19-mA 电磁式直流电流表	0.5	50mA/100mA	$124\Omega/31\Omega$	1
ZX38A/11 型标准电阻箱	0.1	$\times 0.1, \times 1, \times 10, \times 100, \times 1k$	—	1
滑线变阻器	—	$300\Omega, 1A$	—	1
稳压电源	—	$0\sim 30V, 1A$	—	1
待测电阻	—	$200\Omega/2W$	—	1
导线	—	—	—	若干

三、实验原理

测量未知电阻数值的实验方法很多，本实验主要采用欧姆表法、伏安法和替代法。下面对各种方法的原理和误差分析逐一进行介绍。

1. 欧姆表法测电阻

用万用表的欧姆挡直接测量待测电阻值，可用不同挡位分别测量。

绝对误差计算公式为：

$$\Delta R = \pm \frac{(R_i + R_x)^2}{R_i} \cdot k\%$$

式中， R_i 为欧姆表电阻中心值； k 为欧姆表等级度； R_x 为实际测量值。

相对误差计算公式为：

$$r_R = \pm \frac{\Delta R}{R_x}$$

2. 伏安法测电阻

只要能同时测量出待测电阻的端电压和流过待测电阻的电流，就可以根据欧姆定律（ $U=IR$ ）求出电阻值。

绝对误差计算公式为：

$$\Delta R = \pm r_R \cdot R_x$$

相对误差计算公式为：

$$r_R = r_U + r_I = \pm \frac{k_V \% U_m}{U_x} \pm \frac{k_A \% I_m}{I_x}$$

式中， U_m 为测量所用电压表最大量程； U_x 为待测电阻的端电压； k_V 为电压表等级度； I_m 为测量所用电流表最大量程； I_x 为流经待测电阻的电流； k_A 为电流表等级度。

伏安法测电阻可采用如图 1-1 所示的两种接线方式。实验时，应根据待测电阻的标称值和仪表内阻的比较来选择合适的接线方式进行测量。

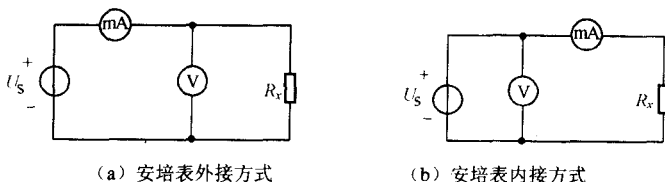


图 1-1 伏安法测电阻

3. 替代法测电阻

用标准电阻箱代替伏安法，也可以测量电路中的待测电阻，如图 1-2 所示。先测量出待测电阻的端电压和流过待测电阻的电流，然后在同一个电路中，用标准电阻箱 R_n 替换待测电阻；保持电源输出电压不变，调节标准电阻箱 R_n 的读数臂旋钮，用电流表作为指示仪表，使流经标准电阻箱的电流等于已测出的流过待测电阻的电流。读出标准电阻箱 R_n 的读数，该值就是待测电阻的数值。

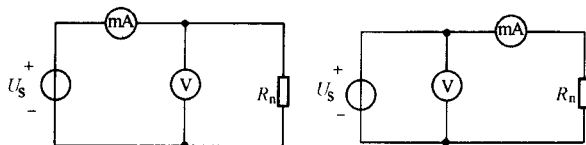


图 1-2 替代法测电阻的电路

绝对误差计算公式为：

$$\Delta R = \pm \left[\sum_{i=1}^n k_i \% \cdot R_i + 0.03 \right]$$

式中， R_i 为标准电阻箱各读数臂值； k_i 为标准电阻箱各读数臂所允许的误差范围，具体数值参见表 1-2。

相对误差计算公式为：

$$r_R = \pm \frac{\Delta R}{R_x}$$

表 1-2 标准电阻箱各读数臂所允许的误差范围

ZX38A/11 型	×1k	×100	×10	×1	×0.1
k_i	0.1	0.1	0.15	0.6	5

四、实验内容及步骤

1. 欧姆表法测电阻

表 1-3 欧姆表测电阻测量数据

500 型万用表的欧姆挡	×10	×100
测量电阻值 (Ω)		

本实验使用 500 型万用表的欧姆挡，用×10 和×100 挡各测量一次（注意每次测量前必须校零），把测量值记录于表 1-3 中。

2. 伏安法测电阻

根据实验给出的仪器元件规格可知，最优测量电路的方法为安培表外接方式，如图 1-3 所示。

通过对该测量电路中分压电阻器的调节，使流经待测电阻的电流为确定的最优值；同时，用 500 型万用表直流电压挡测量与其对应的待测电阻端电压，由欧姆定律计算待测电阻值；列表记录数据。

3. 替代法测电阻

测量电路如图 1-4 所示。在保持电路中稳压电源输出激励和分压电阻器参数与伏安法测电阻时相一致的前提下，调节标准电阻箱的读数臂旋钮，使流经电流也为确定的最优值；

然后将标准电阻箱的读数记录于表 1-4 中。

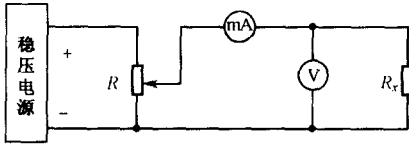


图 1-3 伏安法测电阻实验电路

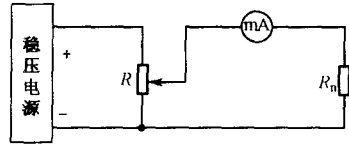


图 1-4 替代法测电阻实验电路

表 1-4 替代法测电阻测量数据

标准电阻箱各读数臂	$\times 1k$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 1$	$\times 0.1$
实际读数 (Ω)					

五、实验报告

- ※ 说明实验原理及电路。
- ※ 注明实验中使用仪器仪表的型号、等级度及所选用的量限。
- ※ 说明为何本实验中用伏安法测电阻时采用安培表外接方式。
- ※ 正确计算各种测量方法的基本误差，并对实验中各种测量方法的优劣做出比较和评价。

六、思考题

- <1> 用欧姆表法、伏安法、替代法测电阻，它们各属于什么测量方法和方式？
- <2> 用伏安法测电阻时，为了减小测量误差，应如何确定电流表和电压表的接线方式？
- <3> 根据待测电阻的标称值和所选仪表量限，如何确定通过测量电路电流（或电压）的最佳值？过大或过小会引起什么问题？

实验 2 直流参数的测量

预习要求

- ❖ 学习直流单、双臂电桥的构成原理及比例臂的选择原则。
- ❖ 了解检流计的结构、原理及使用注意事项。
- ❖ 了解标准电阻的使用规则。
- ❖ 自学附录 D 中 QJ19 型单、双臂两用直流电桥的使用规则。

一、实验目的

- ✱ 学习用直流单、双臂电桥测量不同阻值的电阻的方法。
- ✱ 掌握直流单、双臂电桥及检流计的使用方法。

二、实验设备

本实验所需的实验设备见表 2-1。

表 2-1 实验 2 所需的实验设备

名称	等级	量程或规格	内阻	数量
QJ19 型单双臂两用直流电桥	0.05	—	—	1
AC15/6 型直流反射式检流计	—	—	—	1
T19-mA 电磁式直流电流表	0.5	50mA/100mA	124Ω/31Ω	1
BZ3 型直流标准电阻	0.01	$10^{-2}\Omega$	—	1
滑线变阻器	—	300Ω, 1A	—	1
稳压电源	—	10V~30V	—	1
中值电阻	—	200Ω和 5kΩ	—	各 1
待测小电阻	—	约 0.03Ω	—	1
导线	—	—	—	若干

三、实验原理

QJ19 型单、双臂两用直流电桥的原理和使用方法请参见附录 D。

四、实验内容及步骤

1. 用直流单臂电桥（惠斯登电桥）测量中值电阻

将标称值为 200Ω 和 $5k\Omega$ 的中值电阻各测一次，测量值记录于表 2-2 中。

2. 用直流双臂电桥（凯尔文电桥）测量小电阻

将标称值为 0.03Ω 的小电阻在改变测量电路电流方向的基础上分别测量一次，测量值记录于表 2-3 中，并计算其平均值。

表 2-2 中值电阻测量数据

标称值(Ω)	200	5000
实测值(Ω)		

表 2-3 小电阻测量数据

标称值(Ω)	实测值 1(Ω)	实测值 2(Ω)	实测值平均(Ω)
0.03			



注意

- ※ 在使用 QJ19 型电桥时，应严格按照使用说明书中的方法接线。
- ※ 调节电桥平衡时，应尽量避免检流计的光点（指针）摆动过大。因此应事先估计读数臂旋钮前两位的位置，按此位置预设后，再接通检流计以提高测量精度或避免损坏检流计。

五、实验报告

- ※ 说明实验原理，画出实验电路图。
- ※ 注明所用仪器设备的名称、型号、量程及等级度。
- ※ 整理测量数据，给出被测电阻的测量结果和误差计算结果。
- ※ 给出实验结论。

六、思考题

在实验中，如何恰当地选择电桥臂？选择过大或过小会对实验结果有何影响？

实验 3 用直流电位差计校验仪表

预习要求

- ❖ 复习有关电位差计的基本知识，复习误差计算和仪表准确度等级的概念。
- ❖ 自学附录 B 中关于电气测量指示仪表校验的相关知识。
- ❖ 自学附录 C 中关于直流电位差计的相关知识。

一、实验目的

- ※ 学习直流电位差计的使用方法。
- ※ 学习用直流电位差计校验直流电流表（电压表）。

二、实验设备

本实验所需设备见表 3-1。

表 3-1 实验 3 所需的实验设备

名 称	量程或规格	数 量	名 称	量程或规格	数 量
UJ25 型直流高电势电位差计	—	1	直流稳压电源	—	1
AC15/4 型直流复射式检流计	—	1	C40 型直流电压表	—	1
C19—mA 型直流电流表	0~200mA	1	标准电池	—	1
BZ3 型直流标准电阻	1Ω	1	导线	—	若干
滑线变阻器	300Ω / 1A	2			

三、实验原理

实验原理参见附录 B 和附录 C。

四、实验内容及步骤

实验电路如图 3-1 所示， R_N 是标准电阻。电位差计的接法如图 3-2 所示，电位差计的 P_1 和 P_2 端分别接图 3-1 中标准电阻的 P_1 和 P_2 端，矩形虚框内的两个旋钮是温度补偿调节旋钮，而不规则虚框内的 4 个旋钮用于调节工作电流，面板中 6 个最大的旋钮读数之和即每次测量的数据。实验中涉及的标准电阻和标准电池的外形如图 3-3 和图 3-4 所示。

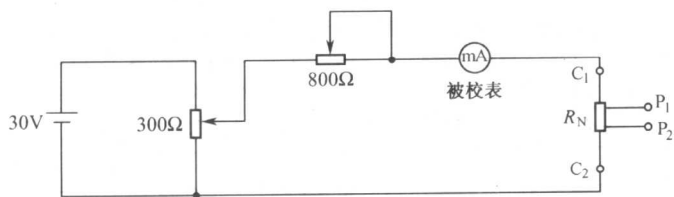


图 3-1 直流电位差计校验电流表接线图

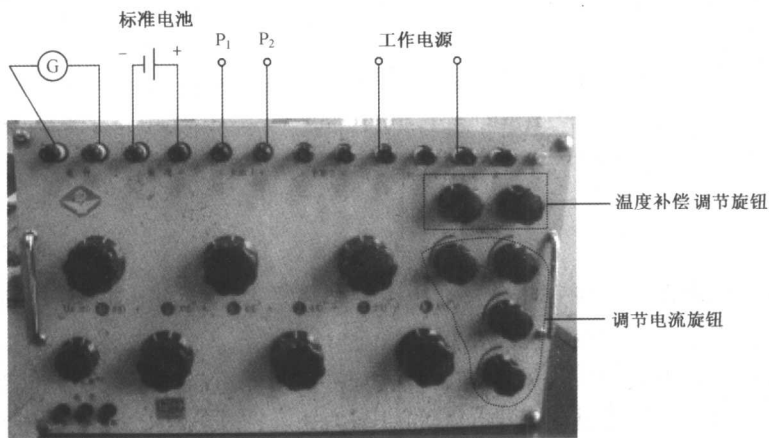


图 3-2 直流电位差计的接线图



图 3-3 标准电阻

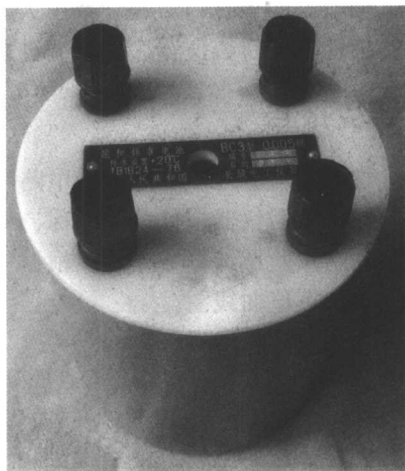


图 3-4 标准电池

用 UJ25 型直流电位差计校验 C19—mA 型直流电流表中各量程的每条大刻度线, 将数据填入表 3-2 中, 判断被校表是否合格, 并确定其等级。