



计量三级工技术补课教材

# 电学计量

辽宁省计量局科教处 编

计 量 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是计量三级工技术补课教材的电学计量部分。全书共十四章,较全面地介绍了电学计量测试的初级理论和测试、检定实践,其中包括:电学计量单位和标准器、直流电位差计、直流电桥、直流电阻箱、分压箱、电工指示仪表、磁电系仪表、万用表、电磁系仪表、电动系仪表、兆欧表及电工指示仪表的检定,最后两章讲述了测量互感器和电能测量问题。

本书可供具有初中文化的计量工人技术补课之用,也可供工厂计量仪表人员自学参考。

计量三级工技术补课教材

电 学 计 量

辽宁省计量局科教处编

责任编辑:刘宝兰

\*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

煤炭工业出版社印刷厂排版

三河县中赵甫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/32 印张 12  
字数 270千字 印数 1—17 000  
1985年5月第一版 1985年5月第一次印刷  
统一书号 15210·393  
定价 2.00元

## 前 言

计量测试技术是发展国民经济的一项重要技术基础。它涉及到自然科学基础理论、工程技术、法制和科学管理等方面。它与工农业生产、交通运输、国防科研、商业贸易、医疗卫生、环境保护以及人民日常生活等方面都有密切的关系，并在提高经济效益和产品质量方面都有着重要的作用。

为贯彻党的十二大提出的在本世纪末实现工农业总产值翻两番的战略目标，计量测试技术工作必须发挥技术基础的作用。为此，调动和发挥计量战线青壮年职工的聪明才智，是做好这一工作的重要保证。

中共中央、国务院作出了《关于加强职工教育工作的决定》，中央五委、局发出了《联合通知》，要求在“六五”计划期间完成青壮年职工的文化技术补课的特定历史任务，使他们成为合格的生产技术业务骨干，为了解决辽宁省计量系统青壮年职工技术补课的需要，我们编写了计量三级工技术补课教材，并聘请了东北工学院有关专业的教授、讲师和省内计量专业的有关工程技术人员组成了计量三级工补课教材编审委员会（详见于后）。

计量三级工的标准（即应知应会的内容），是参照原一机部技术工人等级标准和上海市计量技术工人等级标准编写而成的。

此次出版的教材有：长度计量、温度计量、电学计量和误差理论入门四种。内容以文化补课合格为起点，从基础知

识入手，循序渐进，内容主要包括计量技术初级理论、量值传递、标准量具和仪器、检定规程、测试方法的选择，以及检定中的有关技术问题的处理等。力求体系完整、文字简洁、联系实际、深入浅出，以适应具有初中文化程度补课对象的需要。本系列教材：长度计量由史伟萍同志执笔；温度计量由邢书田同志执笔；电学计量由朱祯学、潘铁义、张树波、王吉祥同志执笔；误差理论入门由杜汉玉同志执笔。

为了更好地提高补课效果，在不同的计量专业补课中，还要结合必修的基础课，如初级电工原理、机械原理、机械零件、制图等等。

我们在编写过程中，承蒙计量出版社及有关同志的热情帮助和支持。对此，我们深表谢意。

此教材涉及的内容较广，更由于时间的紧迫和水平所限，书中不妥之处和错误力难避免，希望读者给予指正。

编者

一九八四年三月

## 编 审 委 员 会

主 任:

王志中

副主任:

王 禛

赵国权

委 员:

沈庆堉

李纯甫

王魁汉

张育功

史伟萍

王兴文

邢书田

宋德华

朱禛学

张树波

潘铁义

王吉祥

杜汉玉

马伟达

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 电学计量单位和标准器</b> .....	·1
1.1 电学计量单位 .....	·1
1.2 标准电池 .....	·3
1.3 标准电阻 .....	·13
1.4 标准电容器 .....	·16
1.5 标准电感 .....	·17
习题 .....	·18
<b>第二章 直流电位差计</b> .....	·20
2.1 直流电位差计概述 .....	·20
2.2 直流电位差计的工作原理 .....	·20
2.3 简单分压式测量线路 .....	·24
2.4 并联分流式测量线路 .....	·27
2.5 串联代换式测量线路 .....	·31
2.6 电流叠加式测量线路 .....	·37
2.7 直流电位差计的应用 .....	·38
2.8 电位差计的整体检定 .....	·46
2.9 直流电位差计的一般调修知识 .....	·72
习题 .....	·78
附录 .....	·78
<b>第三章 直流电桥</b> .....	·83
3.1 直流电桥概述 .....	·83
3.2 直流电桥的原理 .....	·84
3.3 双臂电桥的工作原理 .....	·86

---

3.4	直流电桥基本线路简介 .....	88
3.5	直流电桥的使用方法 .....	92
3.6	直流电桥的检定 .....	104
3.7	检定结果的处理 .....	115
3.8	直流电桥的一般调修知识 .....	118
	习题 .....	121
<b>第四章</b>	<b>直流电阻箱、分压箱 .....</b>	<b>122</b>
4.1	直流电阻箱 .....	122
4.2	直流分压箱 .....	129
	习题 .....	136
<b>第五章</b>	<b>电工指示仪表概述 .....</b>	<b>137</b>
5.1	电工指示仪表的分类 .....	137
5.2	电工指示仪表的组成 .....	139
5.3	电工指示仪表的基本误差及其表示方式 .....	144
5.4	电工指示仪表的主要技术要求 .....	147
5.5	电工指示仪表盘面标记的含义 .....	152
	习题 .....	157
<b>第六章</b>	<b>磁电系仪表 .....</b>	<b>158</b>
6.1	磁电系仪表的结构及工作原理 .....	158
6.2	磁电系仪表的技术特性 .....	163
6.3	磁电系电流表 .....	164
6.4	磁电系电压表 .....	169
6.5	磁电系仪表的温度补偿 .....	173
6.6	磁电系仪表的合理选择与正确使用 .....	175
6.7	磁电系检流计 .....	181
	习题 .....	189
<b>第七章</b>	<b>万用表 .....</b>	<b>190</b>
7.1	万用表的结构 .....	190
7.2	万用表直流电流档与电压档 .....	191
7.3	万用表交流电压档 .....	192

7.4	万用表欧姆档 .....	197
7.5	万用表的分贝测量 .....	202
7.6	万用表的正确使用 .....	206
7.7	万用表的简单设计与计算 .....	208
	习题 .....	212
<b>第八章</b>	<b>电磁系仪表 .....</b>	<b>214</b>
8.1	电磁系仪表的结构和工作原理 .....	214
8.2	电磁系仪表的技术特性 .....	217
8.3	电磁系电流表和电压表 .....	221
8.4	电磁系仪表的温度补偿和频率补偿 .....	225
	习题 .....	230
<b>第九章</b>	<b>电动系仪表 .....</b>	<b>231</b>
9.1	电动系仪表的结构与工作原理 .....	231
9.2	电动系仪表的技术特性 .....	234
9.3	电动系电流表 .....	236
9.4	电动系电压表 .....	241
9.5	电动系功率表 .....	244
9.6	电动系低功率因数功率表 .....	254
	习题 .....	257
<b>第十章</b>	<b>兆欧表 .....</b>	<b>258</b>
10.1	兆欧表的结构与工作原理 .....	258
10.2	兆欧表的正确使用 .....	261
10.3	兆欧表的校验 .....	265
	习题 .....	267
<b>第十一章</b>	<b>静电系和热电系仪表简介 .....</b>	<b>268</b>
11.1	静电系仪表的结构及工作原理 .....	268
11.2	静电系电压表 .....	270
11.3	热电系仪表简介 .....	271
	习题 .....	274
<b>第十二章</b>	<b>电工指示仪表的检定 .....</b>	<b>275</b>



12.1	电工指示仪表的检定概述 .....	275
12.2	比较法检定电压表 .....	283
12.3	比较法检定电流表 .....	289
12.4	比较法检定单相功率表 .....	291
12.5	补偿法检定电压表 .....	293
12.6	补偿法检定电流表 .....	297
12.7	补偿法检定功率表 .....	299
	习题 .....	303
<b>第十三章</b>	<b>测量互感器</b> .....	<b>305</b>
13.1	测量互感器的用途和分类 .....	305
13.2	测量互感器的组成和基本工作原理 .....	306
13.3	测量互感器的误差和准确度 .....	312
13.4	测量互感器的正确使用及注意事项 .....	317
13.5	测量互感器的检定 .....	319
	习题 .....	341
<b>第十四章</b>	<b>电能的测量</b> .....	<b>342</b>
14.1	感应系电度表 .....	343
14.2	电度表的调整 .....	354
14.3	三相有功电度表 .....	361
14.4	三相无功电度表 .....	364
14.5	电度表的使用 .....	365
14.6	电度表的检定 .....	367
	习题 .....	371

# 第一章 电学计量单位和标准器

## 1.1 电学计量单位

我国的法定计量单位是采用国际单位制。国际单位制有七个基本单位：

- (1) 长度单位——米，符号是m。
- (2) 质量单位——千克（公斤），符号是kg。
- (3) 时间单位——秒，符号是s。
- (4) 电流单位——安〔培〕，符号是A。
- (5) 热力学温度单位——开〔尔文〕，符号是K。
- (6) 物质的量单位——摩〔尔〕，符号是mol。
- (7) 光强度单位——坎〔德拉〕，符号是cd。

上述七个基本单位中的第四个是电学计量的基本单位。为了满足实际工作的需要，可将安培这个单位扩大或缩小，即国际单位制中称为十进倍数单位和十进小数单位。在实际电工测量中电流强度单位除安培之外，常用的还有毫安（mA）、微安（ $\mu\text{A}$ ）和千安（kA）。其中毫（m）、微（ $\mu$ ）和千（k）称为国际单位制的词头。

安培的定义：安培是一恒定电流，若保持在真空中相距1 m的两根无限长而圆截面可忽略的平行直导线内，则此两导线之间产生的力在每米长度上等于 $2 \times 10^{-7}$ 牛顿。

根据此定义的原理，早在本世纪四十年代较先进的国家就研制成了安培的最高标准量具——电流天平，其准确度可

达 $10^{-6}$ 数量级。目前这种标准量具已经落后，安培的基准器是由伏特基准器和欧姆基准器根据欧姆定律方程式间接实现的。

在国际单位制中电学计量的其它物理量单位都是由基本单位导出的。如伏特、欧姆、法拉和亨利等，它们都称为导出单位。下面分别叙述电学计量几个主要导出单位。

电压(电动势、电位差)的单位——伏[特]。符号是大写V。常用的电压单位是伏特(V)、毫伏(mV)、微伏( $\mu\text{V}$ )和千伏(kV)。伏特的标准量具是标准电池，它是一种化学电池，电动势非常稳定。电动势的数值总是稳定在1.018600V左右。

电阻的单位——欧[姆]( $\Omega$ )。电阻是导体对流过它两端的电流所产生阻力的一种度量。常用的单位是欧姆( $\Omega$ )、毫欧(m $\Omega$ )、微欧( $\mu\Omega$ )、千欧(k $\Omega$ )和兆欧(M $\Omega$ )。它的标准量具是标准电阻。标准电阻通常是用锰铜(丝或带)绕制成的。

电容的单位——法[拉](F)。当相互靠近的两块导体用导线分别将它们同直流电源的两个电极相连时，它们就有储存电荷的能力，这种储存电荷能力大小的度量称为电容。常用的单位是微法( $\mu\text{F}$ )和皮法(pF)，一皮法等于 $1 \times 10^{-12}$ 法拉。在实际工作中，法拉这个单位太大不经常用。电容的标准量具是标准电容器。国家主基准电容器是计算电容器，它是新型的电容基准器，还可测量电阻和电感。工作基准电容器是石英做的标准电容器组。

电感(自感和互感)的单位——亨[利](H)。常用单位有亨(H)、毫亨(mH)和微亨( $\mu\text{H}$ )。

电感的定义：当变化着的电流在有线圈的电路中流动

时，即使线圈的电阻等于零，线圈仍有一种阻止电流变化的惯性，这种惯性大小的度量称为电感。

标准电感是用铜线绕在圆柱形空芯骨架上制成的。只有一个绕组的称为自感线圈，有两个绕组的称为互感线圈。

电能的单位——千瓦时 (kWh)，俗称为“度”。该单位不是国际制单位，而是与国际单位制并用的制外单位。它的标准是功率标准和时间标准组合而成的。一般的电能计量仪表有标准电度表和普通电度表（又称瓦时计）两种。民用电度表是感应系普通电度表。详见本书第十四章。

## 1.2 标 准 电 池

### 一、标准电池的分类

#### 1. 按电解液的浓度分

饱和标准电池和不饱和标准电池两种。

#### 2. 按标准电池的精度分

国家伏特基准组、副基准组、一等和二等标准电池组。一般工作用标准电池（与直流电位差计配套使用）还分为0.001级、0.005级、0.01级和0.02级。

### 二、标准电池的结构原理

#### 1. 饱和标准电池

饱和标准电池的结构如图1-1所示。图中（a）是H型结构，（b）是单管型结构，单管型结构的优点是体积小，能减少两极之间的温度差。

在使用温度范围内电解液为饱和硫酸镉溶液并含有硫酸镉结晶体者称为饱和标准电池。

#### 2. 不饱和标准电池

不饱和标准电池的结构如图1-2所示。图中（a）是H

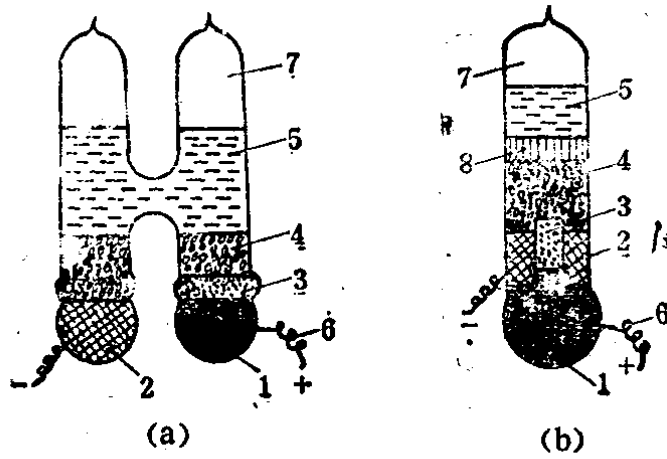


图 1-1 饱和标准电池

1—汞（电池正极），2—镉汞齐（电池负极），3—硫酸亚汞（去极化剂），  
4—硫酸镉结晶体，5—硫酸镉饱和溶液，6—铂引线，引出电池正负极，  
7—玻璃容器，8—微孔塞片

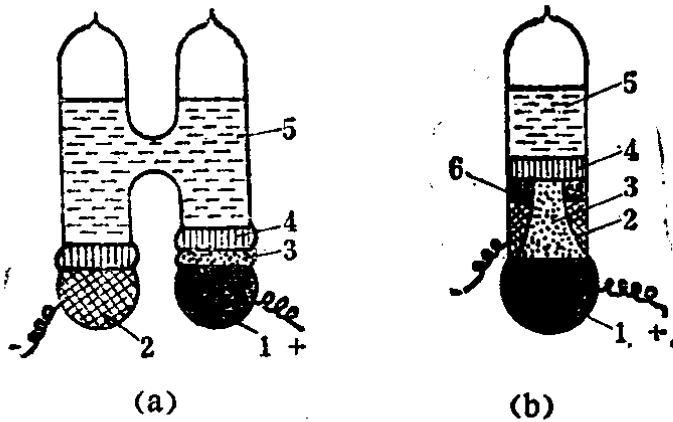


图 1-2 不饱和标准电池

1—汞，2—镉汞齐，3—硫酸亚汞，4—微孔塞片，  
5—硫酸镉浓溶液，6—石英砂

型结构，（b）是单管型结构。

在使用温度范围内，电解液保持不饱和者称为不饱和标准电池。不饱和标准电池中没有硫酸镉结晶体。

### 三、标准电池的技术特性

#### 1. 电动势的稳定度

饱和标准电池的电动势稳定度高，复现性好。因此，用

它可制成国家基准的标准电池组和作为标准的标准电池组。不饱和标准电池的电动势稳定性不如饱和标准电池。因此，用它只能制成低精度的标准电池，如0.01级和0.02级。

## 2. 电动势随温度变化的修正值

饱和标准电池的电动势随温度变化比较大，不饱和标准电池的电动势随温度变化比较小，如图1-3所示。图中的实线是饱和标准电池的

“电动势的温度修正值-温度”的特性曲线。

虚线是不饱和标准电池的“电动势的温度修正值-温度”的特性曲线。

图1-3可知，在+4℃~+40℃范围内不饱和标准电池的电动势值几乎不变，可以不必进行修正；而饱和标

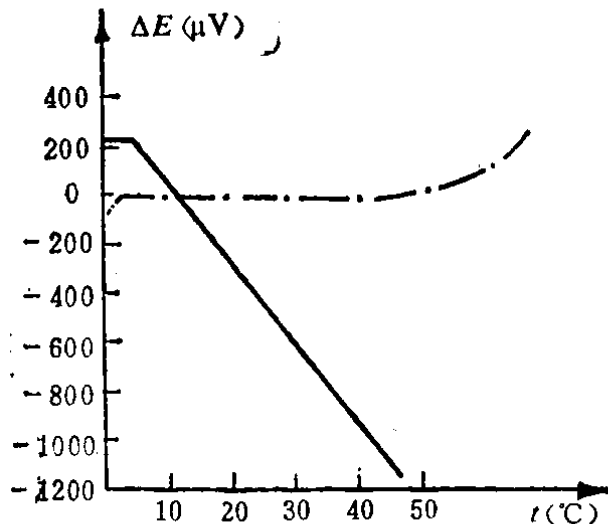


图 1-3 “电动势的温度修正值-温度”的特性曲线

准电池的电动势值随着温度变化而变化，则必须进行修正。温度修正公式是：

$$E_t = E_{20} - 40.6 \times 10^{-6}(t - 20) - 0.95 \times 10^{-6}(t - 20)^2 + 0.01(t - 20)^3 \times 10^{-6} \text{ (V)} \quad (1-1)$$

式中， $E_t$ ——温度为  $t$  °C 时的电动势值 (V)；

$E_{20}$ ——温度为 +20°C 时的电动势值 (V)；

$t$ ——温度 (°C)。

式 (1-1) 还可以简化为经验公式，即

$$E_t \approx E_{20} - (t - 20)(t + 20) \times 10^{-6} \text{ (V)} \quad (1-2)$$

在低精度测量中可以采用式 (1-2) 进行温度修正值的

计算。

**例题：**一个饱和标准电池的电动势值为  $E_{20}$  等于 1.018610 V，在 +25℃ 时使用该标准电池，试求标准电池电动势的实际值。

**解：**根据式 (1-2) 计算得：

$$\begin{aligned} E_t &= E_{20} - (t - 20)(t + 20) \times 10^{-6} \\ &= 1.018610 - (25 - 20)(25 + 20) \times 10^{-6} \\ &= 1.018610 - 225 \times 10^{-6} \\ &= 1.018385 \text{ (V)} \end{aligned}$$

通过上例计算结果可知，标准电池的电动势随着温度的变化是温度每升高 1℃ 电动势减小 40μV 左右；反之，温度每下降 1℃ 电动势增加 40μV。在实际计量工作中，记住此数就不必用式 (1-1) 或式 (1-2) 进行计算，而直接更正就行了。

### 3. 标准电池的内阻基本恒定

标准电池的内阻随时间保持相当大的恒定性。

### 4. 化学副作用小，极化作用可忽略

由于标准电池中放有去极化剂，克服了化学副作用，极化作用也可忽略。

### 5. 成本低廉，容易制造

标准电池各项基本参数和主要技术特性列于表1-1中。

## 四、标准电池使用与保管的注意事项

(1) 在任何场合，饱和标准电池都不允许倾斜，更不允许倒置和晃动。经运输必须静止1~3天之后再使用。被倒置后的标准电池就不能再用了。

(2) 绝对不能用万用表和伏特表去测量标准电池的电动势值。因为标准电池（一般工作用的标准电池）放电电流

表 1-1

类别	等级	温度为 +20℃ 时 电动势允许范围 (V)	在一分 钟内最 大允许 通过的 电流 ( $\mu$ A)	一年之 内电动 势值允 许变化 ( $\mu$ V)		在检定期 间内电 势允 许变化 ( $\mu$ A)		内阻值 ( $\Omega$ )	
				单个	成组	单个	成组	新 生 产 的	使 用 中 的
饱和 和 标 准 电 池	一等标准电 池组 (三只以上)	1.018 590~ 1.018 680	0.1	单个 $\leq 5$ 成组 $\leq 3$	单个 $\leq 1.5$ 成组 $\leq 1$	$\leq 700$	$\leq 1000$		
	二等标准电 池组 (三只以上)	1.018 590~ 1.018 680	0.1	$\leq 10$	$\leq 3$	$\leq 800$	$\leq 1500$		
	0.001级	1.018 590~ 1.018 680	0.1	$\leq 10$	$\leq 3$	$\leq 800$	$\leq 1500$		
	0.005级	1.018 550~ 1.018 680	1	$\leq 50$	$\leq 15$	$\leq 800$	$\leq 2000$		
	0.01级	1.018 55~1.018 68	1	$\leq 100$	$\leq 30$	$\leq 800$	$\leq 3000$		
标 准 不 饱 和 电 池	0.01级	1.018 80~1.018 93	1	$\leq 100$	$\leq 30$	$\leq 500$	$\leq 3000$		
	0.02级	1.0186~1.0196	10	$\leq 200$	$\leq 70$	$\leq 500$	$\leq 3000$		

不允许超过  $1 \mu$ A，放电时间不得超过 1 分钟，趋于瞬间最好。

(3) 标准电池不允许存放在有强光照射和靠近热源的地方。因为在此场合去极化剂容易变质，丧失作用，使标准电池的內部极化作用增强而损坏。

(4) 使用与保管的温度应符合表1-4中的规定。超出此范围，用温度修正公式就会引起较大的偏差，在运用时应特别注意。

(5) 使用和保管的地方温度波动要小。温度变化太剧烈会造成标准电池的电动势不稳定，长期下去也会造成损坏。

(6) 标准电池的极性不能接反。



(7) 标准电池的出厂证书和历年的检定证书要妥善保存，不得丢失。否则进行温度修正就没有根据了。

### 五、标准电池的检定

标准电池的检定周期为一年。

1. 对作为标准的标准电池的等级要求不应低于表1-2的规定。

表 1-2

被检标准电池的等级	一 等	二 等	0.001级	0.005级	0.01级	0.02级
标准的标准电池的等级	工作基准	一 等	一 等	二 等	二 等	0.005级

中国计量科学研究院保存主基准，用工作基准传递到各省的一等标准电池组；省计量所用一等标准电池组传递到各市地的二等标准电池组；市地计量测试所用二等标准电池组传递到各厂矿企事业单位使用中的标准电池。有了这样的传递系统才能保证电压量值的准确一致。

#### 2. 检定装置的极限误差

这个极限误差不应大于表1-3的规定。由表1-3可知，检定标准电池应保证作为标准的标准电池、检定设备和环境条件所引起的检定累加极限误差小于被检标准电池的电动势值允许年变化量的1/3~1/5。

表 1-3

被检标准电池等级	一 等	二 等	0.001	0.005	0.01	0.02
检定装置的极限误差 ( $\mu V$ )	0.5	1	1	10	25	40

#### 3. 标准的和被检的标准电池所处的温度状态