

全国“星火计划”丛书

乡镇企业计量技术培训教材

电 学 计 量

(第二版)

辽宁省计量局干部培训中心

中国计量出版社 组编

中国计量出版社

内 容 提 要

本书是乡镇企业计量技术培训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。

全国“星火计划”丛书 乡镇企业计量技术培训教材 电 学 计 量 (第 二 版)

辽宁省计量局干部培训中心 组编
中 国 计 量 出 版 社
责任编辑 刘宝兰

✱

中国计量出版社出版
北京和平里11区7号
中国计量出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

✱

开本 787×1092/32 印张 12 字数 260 千字
1988年17月第2版 1988年17月第2次印刷
印数 17 001—37 000
ISBN 7-5026-0149-X/TB·127
定价 3.60 元

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员 (以姓氏笔划为序)

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委 员 (以姓氏笔划为序)

王晓方 向华明 米景九 应曰珪

张志强 张崇高 金耀明 赵汝霖

俞福良 柴淑敏 徐 骏 高承增

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 楨

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

朱楨学

张树波

潘铤义

王吉祥

杜汉玉

马伟达

再版说明

计量是企业的技术基础。乡镇企业在其发展中，迫切需
要建立计量机构和培训计量人员。

本书原为计量部门和厂矿企业用“计量三级工技术补课
教材”之一，自1984年出版后，深得广大初级计量人员的
欢迎。这次由本社和辽宁省计量局干部培训中心针对乡镇企
业的需要，组织修订再版，改作“乡镇企业计量技术培训教
材”。

本书由李继纲同志修正了第1版中的一些错误，同时对
第十二章、12.1节作了较大改动，使本书更具精练、准确。

“乡镇企业计量技术培训教材”共有《长度计量》、《温度
计量》、《电学计量》、《力学计量》和《误差理论入门》五种。其
中《力学计量》是这次新组编的。对本套书的出版，热切希望
得到广大乡镇企业技术人员的意见和要求，以便进一步改
进。

中国计量出版社

1988.4.

目 录

前 言

第一章	电学计量单位和标准器	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
第二章	直流电位差计	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
第三章	直流电桥	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	38
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
第四章	直流电阻箱、分压箱	122
4.1	直流电阻箱	122
4.2	直流分压箱	129
	习题	136
第五章	电工指示仪表概述	137
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
第六章	磁电系仪表	158
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
第七章	万用表	190
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
第八章	电磁系仪表	214
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
第九章	电动系仪表	231
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
第十章	兆欧表	258
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
第十一章	静电系和热电系仪表简介	268
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
第十二章	电工指示仪表的检定	275

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
第十三章 测量互感器		305
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
第十四章 电能的测量		342
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（ μA ）和千安（ kA ）。其中毫（ m ）、微（ μ ）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 2×10^{-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(μ 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1.018600 V左右。

电阻的单位——欧[姆](Ω)。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(Ω)、毫欧(m Ω)、微欧($\mu\Omega$)、千欧(k Ω)和兆欧(M Ω)。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(μ F)和皮法(pF)，一皮法等于 1×10^{-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(μ 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

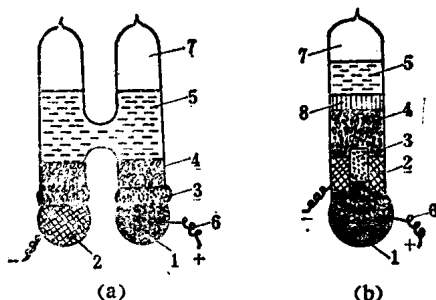


图 1-1 饱和标准电池

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

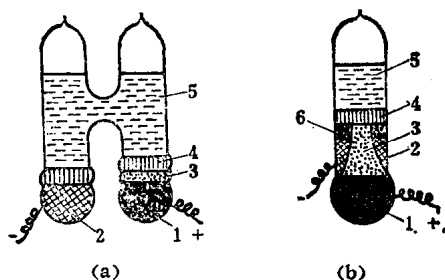


图 1-2 不饱和标准电池

1—汞；2—镉汞齐；3—硫酸亚汞；4—微孔塞片，
5—硫酸镉液溶液；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 $+4^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 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；而饱和和标

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：

$$E_t = E_{20} - 39.9 \times 10^{-6} (t - 20) - 0.94 \times 10^{-6} (t - 20)^2 + 0.009 \times 10^{-6} (t - 20)^3 \quad (\text{V}) \quad (1-1)$$

式中， E_t ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的电动势值（V）；

E_{20} ——温度为 $+20^{\circ}\text{C}$ 时的电动势值（V）；

t ——温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

式（1-1）还可以简化为经验公式，即

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

在低精度测量中可以采用式（1-2）进行温度修正值的

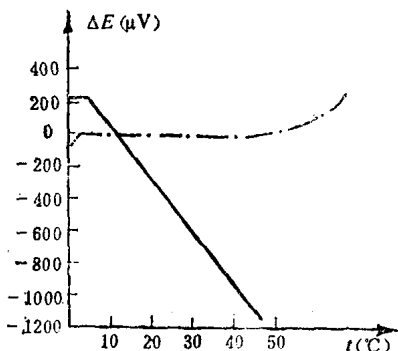


图 1-3 “电动势的温度修正值-温度”的特性曲线