

中等专业学校教材

电 工 测 量

孙恒忻編

卢明松审



国防工业出版社

中等专业学校教材

电 工 测 量

孙 恒 忻 編

王 明 松 审

国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本书系根据中等专业学校电机类专业适用的《电工基础教学大纲（试行草案）》编写的，并經中等专业学校电工教材編审小組复审通过。

全书內容共包括电流、电压、电功率、电能、电阻、电感、电容的测量以及磁测量等几个部分。在每章后都附有复习提要、复习思考題和习題。

在本书中，取材力求貫彻少而精的原則，讲述着重基本概念和使用知識，对各种仪表都介紹它的国产型号。

本书可作为中等专业学校电机类专业电工测量課程的教科书或参考书，也可供有关工程技术人员参考之用。

电 工 测 量

孙恒忻編

卢明松审

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印張2³/₄ 67千字

1965年7月第一版 1965年7月第一次印刷 印数：00,001—30,000册

統一书号：K15034·989 定价：(科四) 0.38元

前 言

本书是中等专业学校电工基础課程成套教材之一，这套教材的另两册是“电工原理”和“电工原理习题集”。

本书系根据中等专业学校电机类专业的《电工基础教学大綱(試行草案)》进行編写的，讲课吋数为33。

为了使学生能在規定時間內把基本內容真正学到手，本书在取材方面，力求貫徹少而精的原則，讲清电工仪表的基本概念和使用知識，摒棄不必要的內容和繁瑣的数学論証。在每章后都附有复习提要、复习思考題和习题，便于学生复习和练习。題号前标有△符号的是基本題，有*符号的是要求較高的題。

本书对各种仪表都介紹它的国产型号，字母符号的脚注采用汉语拼音字母。为便于会意和讀音，除书末列表說明外，并在正文中加有注釋。

本书由孙恒忻执笔編写，編写工作是在中等专业学校电工基础編写小組內进行的，編写小組的成員是翟民(主編)、孙恒忻、姜德仁和寇仲元，由卢明松負責审閱。

由于我們的水平以及時間上的限制，书中缺点甚至錯誤是在所难免的，殷切希望使用本书的各校师生和其他同志們多多提供宝贵意見，以便再版时予以訂正。

編 者

1965年1月

目 录

前言	3
第一章 电工测量的一般知識	7
1-1 概述	7
1-2 电工测量的分类	8
1-3 电工测量的誤差	9
1-4 常用指示仪表的准确度	10
1-5 直讀仪表的分类和符号	13
复习提要	16
复习思考題	16
习题	17
第二章 电流和电压的測量	19
2-1 概述	19
2-2 磁电式測量机构	21
2-3 磁电式电流表	24
2-4 磁电式电压表	27
2-5 直流磁电式檢流計	28
2-6 用比較法測量直流电动势	31
2-7 动鉄式电流表和电压表	33
2-8 电动式电流表和电压表	35
2-9 仪用互感器	37
复习提要	40
复习思考題	40
习题	41
第三章 电功率和电能的測量	44
3-1 直流电功率的測量	44
3-2 单相交流有功功率的測量	46
3-3 三相有功功率的測量	49
3-4 单相交流电能的測量	51
复习提要	54
复习思考題	54
习题	56
第四章 电阻、电感和电容的測量	58
4-1 电阻測量概述	58
4-2 电流表和电压表法	58
4-3 欧姆表, 万用电表	60
4-4 直流单臂电桥	62

4-5 直流双臂电桥	66	4-7 交流电桥	73
4-6 兆欧表	69		
复习提要	75		
复习思考题	75		
习题	77		
第五章 磁测量	80		
5-1 冲击检流计 磁通的测量	80	5-3 磁压的测量	84
	80		
5-2 磁化曲线的测定	82		
复习提要	85		
复习思考题	85		
习题	85		
本书所用脚注一览表	86		

第一章 电工測量的一般知識

1-1 概 述

为了确定一个量的大小，必須先定出它的单位量。将未知量和它的单位量进行比较的过程叫作測量。应用电磁的基本規律对电工量进行的測量叫作电工測量。

任何电气設備都有額定值等一些技术要求。如果电机和电器中的电流超过其額定电流，則使用期限就会縮短，甚至发生燒坏事故。如果載流导綫間絕緣材料的漏电阻小于其規定值，則会发生漏电現象，甚至造成短路故障。可見，使用电气設備时，不能不注意其电工量的数量界限。“……，不懂得注意决定事物质量的数量界限，一切都是胸中无‘数’，結果就不能不犯錯誤。”●

电工測量的任务是測量电流、电压、电功率和电阻等电工量，使我們能对它們做到胸中有‘数’。

电工測量的应用是非常广泛的。确定电磁現象中各种量的关系，了解电气設備的特性和运行情况，以及在电气設備的制造和維修过程中，都离不开电工測量。

由此可見，正确掌握电工測量的基本知識和技能是十分必要的。

学习“电工測量”的基本方法，是理論联系实际的方法。一方面，我們要認真讀書，掌握各种常用电工仪表（电流表、电压表、瓦特表、万用电表、兆欧表和电桥）測量电工量的基本原理；另一方面，要重視实践，在实践过程中掌握各种常用电工仪表

● 毛澤东：《党委会的工作方法》。《毛澤东选集》，第四卷第1443頁（第一版），人民出版社。

的使用方法。“讀書是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习”。[●]

我国的电工仪表工业，在解放前是异常落后的。社会上能見到的一些电工仪表，大都是外国来的，甚至家家户户所用的电度表也都是进口的。

解放后，在中国共产党和毛主席的英明领导下，电工仪表工业有了飞跃的发展。在第一个五年计划期間，已經生产了电力系统 and 电訊配套用的开关板式的电表，电度表几乎可以自給，一般实验室用的仪器也都能成批生产。1958年以来，在三面紅旗的光輝照耀下，依靠自己的力量，掌握并生产了很多精密、高級的新产品，品种、质量出現了新的跃进。0.2級的交流电表和0.5級的直流仪表已能成系列地生产；电度表不仅全部自給，而且还有出口；其它如万用电表、兆欧表、精密仪器等更是援外的主要品种。这一切都說明了我国的电工仪表工业，十五年来发展是惊人的，其速度是史无前例的。

1-2 电工测量的分类

任何测量都包括测量对象（即被测量）、测量方法和测量設備三个方面，电工测量也是这样的。

常用的测量方法有两种：

（1）直讀測量法 用弹簧秤测物体的重量，用电流表测电流，被测量（重量、电流）的大小和单位可以直接在弹簧秤或电流表上讀出，这样的测量方法就是直讀測量法。其优点是簡便、迅速，所以应用較广；缺点是测量准确程度較差。

（2）比較測量法 用天平测物体的质量，就是将未知的质量与标准的质量（即砝碼）进行比較。在电工测量中，也用到这种将未知量与同种的标准量进行比較的测量方法——比較測量

● 毛澤东：《中国革命战争的战略問題》。《毛澤东选集》第一卷第174頁（第二版）。

法。其优点是准确程度較高；缺点是手續比較复杂、費时。此法常用于精密的測量中。

进行測量时所用的技术工具就是測量設備。电工測量的主要設備有两类：

(1) 电工仪表 根据測量方法的不同，有直讀仪表和較量仪器两种。

(2) 标准器 我国生产的标准器有：BC型标准电池（B——标，C——池）、BZ型标准电阻（Z——阻）、BG型标准电感（G——感）和BR型标准电容（R——容）等。它們在比較測量法中用作为标准量。

在不要求很精密的測量中，可以用电阻箱（ZX型，X——箱）、电感箱（GX型）和电容箱（RX型）来作标准器。它們的参数可以調节，还可以在电路中用作調节元件。

在使用各种标准器以前，一定要了解它們的技术数据，注意它們的容許功率、电流或电压。

1-3 电工測量的誤差

在进行測量时，測量所得的值（以后簡称为測量值） A_x 与其实际值（見第1-4节） A_0 之間的差值叫作測量的絕對誤差，用 ΔA 表示，

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

例如，实际值 $U_0 = 220$ 伏的电压，电压表甲的測量值 $U_{x1} = 220.5$ 伏，电压表乙的測量值 $U_{x2} = 218$ 伏，則測量的絕對誤差分別是

$\Delta U_1 = U_{x1} - U_0 = 220.5 - 220 = 0.5$ 伏（測量值比实际值大0.5伏）；

$\Delta U_2 = U_{x2} - U_0 = 218 - 220 = -2$ 伏（測量值比实际值小2伏）。

显然，用电压表甲測量比用电压表乙来得准确。因此，对于

同一个实际值来讲，测量的绝对误差（绝对值）越小，准确程度就越高。但是测量不同的实际值时，就不能凭绝对误差来比较它们的准确程度，必须考虑绝对误差占实际值的百分数。

测量的绝对误差与被测量的实际值之比，叫作测量的相对误差 γ ，通常用百分数来表示，

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} 100\%。 \quad (1-2)$$

如果实际值与其测量值之间相差不大，上式中的 A_0 可换成 A_x 。

例如，测量实际值 $I_{01} = 100$ 安的电流时，绝对误差为 ± 0.1 安，则相对误差

$$\gamma_1 = \frac{\Delta I_1}{I_{01}} 100\% = \frac{\pm 0.1}{100} 100\% = \pm 0.1\%;$$

测量另一个实际值 $I_{02} = 1$ 安的电流，绝对误差仍为 ± 0.1 安，则相对误差

$$\gamma_2 = \frac{\Delta I_2}{I_{02}} 100\% = \frac{\pm 0.1}{1} 100\% = \pm 10\%。$$

从测量的准确程度来看，后者比前者差很多。因此，相对误差越小，测量的准确程度就越高。

1-4 常用指示仪表的准确度

直读仪表可分为指示仪表、积算仪表和自动记录仪表等几类。指示仪表的应用最广，一般的电流表、电压表、瓦特表等都属于这一类。

指示仪表都有标度尺和指针。例如图 1-1 所示的电压表，标度尺上用分度线分成 25 个分格，每一分格表示 10 伏。这样，我们就可以在标度尺上直接读出被测量的大小和单位。

图 1-1 上面还可以看出电压表的测量范围为 $0 \sim 250$ 伏，或简称其量程为 250 伏。

在标度尺上读出的数值与其实际值之间总会有误差存在。存

在誤差的原因很多，这里只考虑在正常工作条件（包括仪表的工作位置正常，周围的气温是 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，沒有地磁以外的磁場影响等）下，由于仪表本身結構上的原因而产生的绝对誤差，即基本誤差。这种誤差在制造仪表时已被限制于某一容許的范

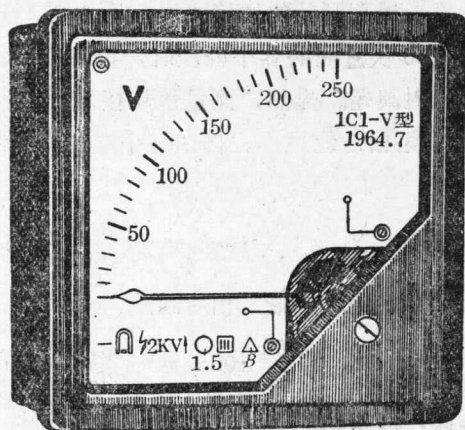


图1-1 直流电压表。

圍內，仪表的准确度就是說明其基本誤差容許的範圍的。

常用指示仪表的准确度是指在正常工作条件下，仪表測量时可能出現的最大绝对誤差 ΔA_d （ d 是最大的“大”字汉语拼音的第一个字母，讀作“大”）与該仪表的最大讀数 A_d （即量限）之比，用 δ 表示，即

$$\delta = \frac{\Delta A_d}{A_d} 100\%。 \quad (1-3)$$

我国生产的指示仪表的准确度分为七級：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 4.0 級。每一級的數字都用正、負百分数来表示。例如图 1-1 所示的电压表，其准确度是 1.5 級，即

$$\delta = \pm 1.5\%。$$

其量限为 250 伏，則可能出現的最大绝对誤差

$$\Delta U_d = \delta \cdot U_d = \pm 1.5\% \times 250 = \pm 3.75 \text{ 伏。}$$

准确度級的數字越小，表示准确度越高，制造上的要求也高，从而成本也高。通常 0.1 和 0.2 級的仪表用作标准表，0.5 級至 1.5 級的仪表用于实验，1.5 級至 4.0 級的仪表用于工程。

选择仪表时，除了考虑仪表的准确度以外，还应选择合适的

量限来提高测量的准确程度。例如图 1-1 所示的电压表，测量 0~250 伏之间的各个电压时，都可能出现 $\Delta U_d = \pm 3.75$ 伏的最大绝对误差。显然，测量值越接近于仪表的量限，则测量的最大相对误差 γ_d 就越小。例如这个电压表指示 100 伏时，最大相对误差

$$\gamma_{d1} = \frac{\Delta U_d}{U_1} 100\% = \frac{\pm 3.75}{100} 100\% = \pm 3.75\%;$$

指示 200 伏时，最大相对误差

$$\gamma_{d2} = \frac{\Delta U_d}{U_2} 100\% = \frac{\pm 3.75}{200} 100\% = \pm 1.88\%。$$

因此，应根据测量值来选择仪表的量限，尽量使测量值指示在仪表量限的一半以上。

指示仪表使用久了，其准确度会改变，需要定期进行校准。最简便的校准方法是比较法。选择一准确度等级比被校表高的仪表作为标准表（表 1-1），被校表和标准表的量限应一致（或接近）。

表 1-1 比较法中标准表准确度等级的选择

被校表的准确度等级	标准表的准确度等级
4.0、2.5、1.5	0.5
1.0	0.2
0.5	0.1

表 1-2 所列的数据为校准一量限为 10 安的安培表的测试和计算结果。测试是在仪表的正常工作条件下进行的。

被校表读数的实际值可以用标准表的读数来表示，则表 1-2 中所列的绝对误差

$$\Delta I = I_x - I_0。$$

表 1-2 安培表校准的测试和计算结果

被校表读数 I_x (安)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准表读数 I_0 (安)	0	1.11	2.17	3.05	4.12	5.08	5.90	6.88	7.92	8.85	9.90
绝对误差 ΔI (安)	0	-0.11	-0.17	-0.05	-0.12	-0.08	+0.10	+0.12	+0.08	+0.15	+0.10
校正值 α_i (安)	0	+0.11	+0.17	+0.05	+0.12	+0.08	-0.10	-0.12	-0.08	-0.15	-0.10

它有一个最大值 $|\Delta I_d| = 0.17$ 安。該安培表的准确度

$$\delta = \frac{|\Delta I_d|}{I_d} \cdot 100\% = \frac{0.17}{10} \cdot 100\% = 1.7\%,$$

它大于 1.5%。因此，这个被校的安培表应划为 2.5 級。

测量的实际值 A_0 与测量值 A_x 之差，叫作测量的校正值，用 α 表示，

$$\alpha = A_0 - A_x \quad (1-4)$$

它在数值上等于绝对误差，但正、负号相反。式 (1-4) 可写成

$$A_0 = A_x + \alpha,$$

测量的实际值等于测量值与其校正值的代数和。

将被校表的讀数作为横座标，其校正值作为纵座标，这样画出的曲线叫作校正值曲线 (图 1-2)。

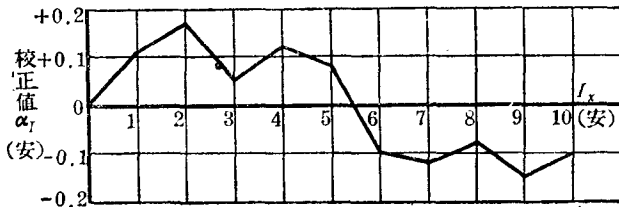


图1-2 校正值曲线。

校正值曲线可用来校正仪表的讀数。例如图 1-2 中，被校表的讀数为 2.5 安时，相应的校正值为 +0.11 安，此时其实际值

$$I_0 = I_x + \alpha_i = 2.5 + 0.11 = 2.61 \text{ 安。}$$

1-5 直讀仪表的分类和符号

直讀仪表的种类很多，选用时应了解它的分类和标志符号。

根据电流种类来分：直流表、交流表和交直流表。

根据测量对象来分：安培表（在标度盘上用“ A ”来标志）、伏特表 (V)、瓦特表 (W)、电度表 (kWh)、兆欧表 ($M\Omega$)、相位表 (φ)、频率表 (Hz) 等。

根据仪表的作用原理来分：磁电式（其型号用“C”表示）、电动式（D）、动铁式（T）等。

根据其使用方式来分：开关板式（又叫作配电盘式，如图1-1所示）和可携式（图1-3）。

根据其标度尺的工作位置来分：水平使用（多数是可携式仪表）和垂直使用（开关板式仪表）等。如果不按其规定的工作位置来使用，则会引起测量的附加误差。

根据其防御外界磁场（或电场）的能力来分：有I、II、III和IV四等。其中I等的防御能力最好，即在外界磁场

（或电场）影响下所引起的附加误差最小。

根据其使用条件（周围的气温和湿度）可分为A、B和C三组。前两组可用于室内，C组用于室外或船舰、飞机、车辆上。

根据其耐机械力作用的能力可分为普通的和能耐机械力作用的两大类。后一类用于活动电力装置或船舰、飞机、车辆上。

根据其外壳的防护性能来分：普通、防尘、防溅、防水、水密、气密和防爆等七种。

常用指示仪表的准确度分为七级（见第1-4节）。

以上各种类别有的可以从仪表的外形看出，但大部分都要从标度盘上的标志符号来识别。常见的一些标志符号如表1-3所示。表中的绝缘试验说明仪表出厂前试验其绝缘所加的电压值。

下面我们来识别一下图1-1和图1-3的仪表上的一些标志

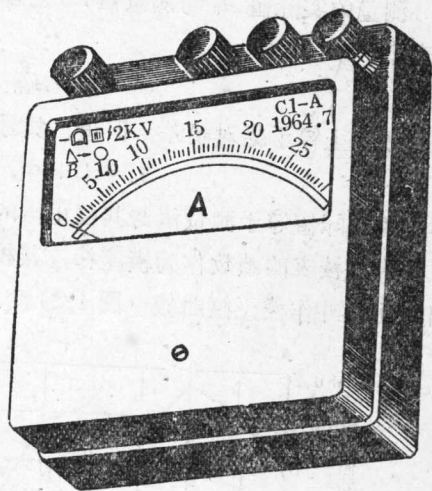


图1-3 直流安培表。

符号。

表1-3 仪表标度盘上的标志符号

分类	符 号	名 称	分类	符 号	名 称
电 流 种 类	—	直 流 表	作 用 原 理		磁电式仪表
	~	交 流 表			电动式仪表
	— ~	交 直 流 表			电动式仪表 (有磁屏蔽)
	≡	三 相 交 流 表			动铁式仪表
测 量	Ⓐ	安 培 表	防 御 能 力 使 用 条 件		动铁式仪表 (有磁屏蔽)
	Ⓥ	伏 特 表			感应式仪表
对 象	Ⓦ	瓦 特 表	工 作 位 置		防御外磁场能力第Ⅲ等
		电 度 表			使用条件B组
准 确 度	⓪.5	0.5级	工 作 位 置		水平使用
	0.5				
絕 緣 試 驗		試驗电压 2 千伏	工 作 位 置		垂直使用

图 1-1 所示的电压表: 1C1-V型表示此电表是磁电式的伏

特表。左下方的符号，自左至右分别表示直流、磁电式、试验电压为2千伏、垂直使用、准确度1.5级、防御能力Ⅱ等、使用条件B组。

图1-3所示的电流表：C1-A型表示此电表是磁电式的安培表。其它的符号有些与上述的相同，其不同的只是水平使用和准确度1.0级。

在仪表的型号上还可看出其使用方式。如果在作用原理的文字代号（C、D或T等）前没有数字那是可携式仪表（如C1-A型），有数字是开关板式仪表（如1C1-V型）。

复习提要

（一）电工测量的分类：

- （1）测量对象（即被测量）——电流、电压、电功率、电阻等。
- （2）测量方法——直读测量法和比较测量法。
- （3）测量设备——电工仪表（直读仪表和较量仪器）和标准器（标准电池、标准电阻、电阻箱等）。

（二）电工测量的误差：

- （1）绝对误差 $\Delta A = A_x - A_0$;
- （2）相对误差 $\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} 100\%$ 。

（三）常用指示仪表的准确度：

$$\delta = \frac{\Delta A_d}{A_d} 100\%$$

（四）直读仪表的分类 主要根据仪表的电流种类、测量对象、作用原理、使用方式、工作位置和准确度等方面来分类。其标志符号见表1-3。

复习思考题

- I-1 什么是测量和电工测量？电工测量有什么重要性？
- I-2 常用的测量方法有哪两种？它们的特点怎样？相应的电工仪表有哪两种？
- I-3 什么是测量的绝对误差和相对误差？