

教你玩转

掌握电工仪表，
做电工高手！

电工常用仪表

周志敏 纪爱华 编



化学工业出版社

教你
玩转

电工常用仪表

周志敏 纪爱华 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

教你玩转电工常用仪表/周志敏, 纪爱华编. —北京:
化学工业出版社, 2015. 8
ISBN 978-7-122-24555-7

I. ①教… II. ①周…②纪… III. ①电工仪表-基本
知识 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 152376 号

责任编辑: 宋 辉
责任校对: 吴 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 5 $\frac{3}{4}$ 字数 150 千字
2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

电工测量技术在发电、供电、用电企业中处于极为重要的地位，是保证电网安全、可靠运行和生产生活用电的关键技术。为了提高发电、供电、用电企业电工测量技术水平和电工操作常用仪表的技能，特编写本书。

本书系统地把电工测量的基础知识与电工常用仪表的实操技能有机地结合起来，便于电工掌握基本知识和常用仪表的实操技能。书中讲述的内容尽量做到有针对性和实用性，在保证科学性的同时，注意通俗性。读者可以以此为“桥梁”，系统地了解电工测量基础知识，并掌握电工常用仪表的操作技能。

本书由周志敏、纪爱华编，周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪和平、纪达安、陈爱华等为本书编写提供了帮助。

由于时间短，水平有限，难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

第1章 电工仪表与测量基础知识

1.1 电工测量和测量误差	1
1.1.1 电工测量	1
1.1.2 测量误差	2
1.1.3 电工仪表准确度等级及校准	8
1.2 电工仪表的分类及面板符号	11
1.2.1 电工仪表的分类及类型	11
1.2.2 电工仪表面板符号	15

第2章 钳形电流表

2.1 钳形电流表的结构及分类	19
2.2 钳形电流表使用及注意事项	21
2.2.1 钳形电流表选用及使用方法	21
2.2.2 钳形电流表使用注意事项	29
2.3 ETCR9000 系列无线高低压钳形电流表特性及操作 方法	30
2.3.1 ETCR9000 系列无线高低压钳形电流表特性及 结构	30
2.3.2 ETCR9000 系列高低压钳形电流表操作方法	34

第3章 万用表

3.1 万用表分类及组成	39
3.1.1 万用表分类	39
3.1.2 万用表组成	39
3.2 万用表的正确使用	47
3.2.1 指针万用表使用及注意事项	47
3.2.2 数字万用表技术性能及使用注意事项	55

第4章 兆欧表

4.1 兆欧表结构及工作原理	61
4.1.1 兆欧表分类及结构	61
4.1.2 兆欧表工作原理	65
4.2 兆欧表选择及使用注意事项	67
4.2.1 兆欧表选择	67
4.2.2 指针兆欧表使用及注意事项	69
4.2.3 数字兆欧表使用及注意事项	77
4.3 接地电阻测量仪使用注意事项	80
4.3.1 接地电阻测量仪结构和参数	80
4.3.2 接地电阻测量仪使用及注意事项	83

第5章 电桥

5.1 电桥的分类及工作原理	87
5.2 电桥使用及注意事项	89
5.2.1 直流电桥使用及注意事项	89
5.2.2 TH2817A 型 LCR 数字电桥的使用和注意事项	101

第6章 示波器

6.1 示波器组成	122
6.1.1 通用示波器组成	122

6.1.2	双踪示波器组成	125
6.1.3	示波器探头	126
6.2	示波器的使用及注意事项	130
6.2.1	使用前的检查	130
6.2.2	使用步骤	131

第7章 仪用互感器

7.1	仪用互感器用途及分类	138
7.1.1	仪用互感器定义及用途	138
7.1.2	仪用互感器分类	140
7.2	仪用互感器结构	148
7.2.1	仪用互感器结构	148
7.2.2	电流互感器铭牌标志	152
7.2.3	电压互感器铭牌标志	153
7.3	仪用互感器选择及使用	154
7.3.1	仪用互感器选择及接线	154
7.3.2	仪用互感器使用及注意事项	171

第 1 章

电工仪表与测量基础知识



1.1 电工测量和测量误差

1.1.1 电工测量

(1) 测量的定义及电工测量的定义

测量定义：测量是指人们用实验的方法，借助于一定的仪器或设备，将被测量与同性质的单位标准量进行比较，并确定被测量对标准量的倍数，从而获得被测量的定量信息。测量结果包括：数值大小（包括符号）和测量单位。测量过程包括比较、示差、平衡和读数。

电工测量定义：借助于测量设备，将被测量的电量与作为测量单位的同类标准进行比较，从而确定被测电量的过程。

电工测量关键：测量方法的选择；数据的分析和处理；测量设备的选用。

(2) 电工测量方法

① **直接测量法。**即用电工仪表直接测出被测量的大小，所用的仪表称为直读式仪表。

② **比较测量法，**即把被测量与“较量仪器”中的已知标准量进行比较而确定未知量的大小。

③ 间接测量法，即根据被测量和其他量的函数关系，先测得其他量，然后按函数式把被测量计算出来的一种方法叫间接测量法。

1.1.2 测量误差

(1) 测量误差的基本概念

测量误差：在测量过程中，由于仪表本身的机构、电路参数或受外界因素影响而发生变化，导致仪表指示值与实际值之间产生的差值。

误差公理：一切测量都具有误差，误差自始至终存在于所有科学实验之中。

客观真值：被测量本身所具有的真正值称之为真值。

约定真值：由国家设立各种尽可能维持不变的实物标准（或基准），以法令的形式指定其所体现的量值作为计量单位的约定值。

指示值：由测量仪表指示的被测量值称为测量仪表的指示值。

标称值：计量或测量仪器仪表上标注的量值。

(2) 测量误差的分类

① 随机误差：又称偶然误差，在相同条件下，多次测量同一量时，其误差的大小和符号以不可预见的方式变化。它反映了测量值离散性的大小。随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综合结果。存在随机误差的测量结果中，虽然单个测量值误差的出现是随机的，既不能用实验的方法消除，也不能修正，但是就误差的整体而言，多数随机误差都服从正态分布规律。偶然误差的消除和减小方法是：增加测量次数，通过重复测量最后求出其平均值作为测量结果。

② 粗大误差：又称疏失误差，粗大误差是指在一定条件下测量结果显著地偏离其实际值所对应的误差。其产生原因是因测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的。如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等造成的误差。粗大误差

的消除和减小方法：提高操作者的素质、工作责任心并树立科学求实的工作作风。就数值大小而言，粗大误差明显超过正常条件下的误差。当发现粗大误差时，应予以剔除。

③ 系统误差：在相同条件下，多次重复测量同一量时，误差保持为常数或按一定规律变化，系统误差反映了测量值偏离真值的程度。凡误差的数值固定或按一定规律变化者，均属于系统误差。系统误差是有规律性的，因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正，也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。系统误差的消除和减小方法有：

a. 从产生系统误差的来源上考虑，选择经过校正、精确度高的仪表工具并使用正确的方法测量；

b. 利用特殊的测量方法消除系统误差，如采用交换法、代替法、对称测量法、补偿法。

(3) 仪表的误差

任何一个仪表在测量时都有误差，它说明仪表的指示值和被测量的实际值之间的差异程度，而准确度则说明仪表的指示值与被测量的实际值相符合的程度。误差越小，准确度越高。仪表的误差是指仪表的指示值与被测量的真实值之间的差异，它有三种表示形式。

① 绝对误差。仪表指示的数值（以下简称“示值”） A 和被测量的实际值 A_0 之间的差值叫作仪表的绝对误差，用 ΔA 表示

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

式中 ΔA ——测量结果的绝对误差；

A_x ——示值；

A_0 ——被测量的真值，通常用标准表的指示值代替。

被测量的实际值可由标准表（用来检定工作仪表的高准确度仪表）指示，绝对误差的单位与被测量的单位相同。被测量可表示为：

$$A_0 = A_x - \Delta A = A_x + C \quad (1-2)$$

式中, C 为修正值, 与绝对误差大小相等, 方向相反的量:
 $C = -\Delta A$ 。

绝对误差愈小, 说明指示值越接近真值, 测量越准确。

例如, 某电流表的量程为 1mA , 通过检定知其修正值为 -0.02mA 。用该电流表测量某一电流, 示值为 0.78mA , 被测电流的实际值为:

$$A_0 = A_x - C = -0.02 + 0.78 = 0.76\text{mA}$$

测量中存在的绝对误差为:

$$\Delta A = A_x - A_0 = 0.78 - 0.76 = 0.02\text{mA}$$

② 相对误差。测量不同大小的被测量的值时, 用绝对误差难以比较测量结果的准确度, 这时要用相对误差来表示。相对误差是绝对误差与被测量的实际值之间的比值, 通常用百分数来表示, 即:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-3)$$

例如, 用同一只电压表测量实际值为 100V 的电压时, 指示值为 101V , 测量实际值为 20V 的电压时, 指示值为 19.2V , 则相对误差分别为:

$$\gamma_1 = \frac{101 - 100}{100} \times 100\% = +1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{19.2 - 20}{20} \times 100\% = -4\%$$

可见, 虽然测量 20V 电压时的绝对误差小些, 但它对测量结果的影响却大, 占了测量结果的 $|-4\%|$ 。在工程上, 凡是要求计算测量结果时, 一般都用相对误差来表示。

③ 引用误差。相对误差虽然可以说明测量结果的准确度, 衡量测量结果和被测量实际值之间的差异程度, 但还不能用来评价仪表的准确度。这是因为同一个仪表的绝对误差在刻度的范围内变化不大, 而近似于常数, 这样就使得在仪表标度尺的各个不同的部

位, 相对误差不是一个常数, 而且变化很大。绝对误差与仪表量程的比值:

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% = \frac{A_x - A_0}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\%$$

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta A_m}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\%$$

例如, 一只测量范围为 $0 \sim 250\text{V}$ 的电压表, 若在标度尺的“ 220V ”处的绝对误差为 $+2\text{V}$, 则该处的相对误差 γ_1 为:

$$\gamma_1 = \frac{2}{220} \times 100\% = +1.0\%$$

若在标度尺的“ 10V ”处的绝对误差为 $+1.8\text{V}$, 则该处的相对误差 γ_2 为:

$$\gamma_2 = \frac{1.8}{10} \times 100\% = +18\%$$

比较 γ_1 和 γ_2 , 可以看出, 用相对误差来比较仪表基本误差的大小是不合适的。 γ_1 、 γ_2 之所以变化很大, 主要是在计算相对误差时分子接近于一个常数, 而分母却是一个变数的缘故。如果用指示仪表的上限(即量限、量程)作分母, 就解决了上述问题, 因此指示仪表的准确度通常采用“引用误差”来表示。引用误差是绝对误差与仪表上限比值的百分数, 即:

$$\gamma_m = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

实际上, 由于仪表各指示值的绝对误差不一定相等, 其值有大有小, 符号有正有负, 为了评价仪表在准确度方面是否合格, 式(1-5)中的分子应该取标度尺工作部分所出现的最大绝对误差, 即:

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta A_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, γ_{mm} 为最大引用误差或仪表的允许误差; ΔA_m 为仪表指示值的最大绝对误差。

为了保证测量结果的准确性和可靠性,测量仪表必须满足以下基本要求。

① 仪表的基本误差应与该仪表所标明的准确度等级相符,也就是说,在仪表标度尺“工作部分”的所有分度线上,仪表的基本误差都不应超过式(1-5)的规定,准确度应与规定的准确度相符。

② 受外界因素影响小。要有足够的抗干扰能力,测量误差不应随外界因素而有很大的变化。如温度、外磁场等参数超过仪表规定的条件时,所引起的仪表的示值的变化越小越好。

③ 仪表本身所消耗的功率小。在测量过程中,仪表本身必然要消耗一部分功率。当被测电路功率很小时,若仪表所消耗的功率太大,将使电路工作情况改变,从而引起误差。

④ 有足够高的绝缘电阻、耐压能力和过载能力。为了保证使用上的安全,仪表应有足够高的绝缘电阻和耐压能力。

⑤ 要有良好的读数装置。在测量工作中,一般要求标尺分度均匀,便于读数。对于不均匀的标度尺上,应标有黑圆点表示从该黑圆点起,才是该标度尺的“工作部分”。按规定,标度尺工作部分的长度不应小于标度尺全长的85%。

⑥ 要具有适合于被测量的灵敏度。灵敏度对于各项精密电磁测量工作是非常重要的,它反映仪表能够测量的最小被测量值。

⑦ 构造坚固,有一定的机械强度。使用、维护方便。

为了避免由于测量方法不完善而引起测量的误差,必须合理选用和正确使用电工测量仪表,在选用时应注意以下几点。

① 按测量对象的性质选择仪表类型。首先视被测的量是直流还是交流,以便选用直流仪表或交流仪表。如果测量交流量,还要注意是正弦波还是非正弦波;测量时还要区分被测量的是平均值、有效值、瞬时值、还是最大值,对于交流量还要注意频率。

② 按测量对象的实际需要,选择仪表等级。根据工程性质,使测量结果的误差在工程实际允许范围内即可。例如常用的标准和部分精密测量中,可用准确度0.1~0.2级的仪表;在实验测量中

可用 0.5~1.5 级的仪表；在工厂生产中可用 1.0~5.0 级的仪表。

③ 按测量对象和测量线路的电阻大小选择仪表内阻。对测量电压的电压表，内阻越大越好，要求电压表内阻值要大于被测对象 100 倍较好。对测量电流的电流表，内阻越小越好，常要求电流表内阻小于被测对象 100 倍。

④ 按测量对象选择仪表的允许额定值。不要用大量程的仪表去测量小量值，避免读数不准。当然更不可用小量程仪表去测量大电量，以免损坏仪表。所以，在选用仪表时，必须认真了解仪表和设备允许承受的额定电压、额定电流和额定功率。

⑤ 使用电工指示仪表时，必须使仪表处于正常的工作条件，否则会引起一定的附加误差。例如，使用仪表时，应使仪表按规定的位置放置；仪表要远离外磁场；使用前应使仪表的指针到零位，如果仪表指针不在零位时，则可调节调零器使指针指到零位。此外，在进行测量时，必须注意正确读数，也就是说，在读取仪表的指示值时，应该使观察的视线与仪表标尺的平面垂直。如果仪表标尺表面上带有镜子（因为指针与刻度的表面有一定空隙，空隙愈大则易发生视差。如果在刻度盘上装一镜片，测量时的读数应读取指针与镜片中指针的投影重合时的读数，可减小视差。因此镜片的作用是减小读数的视差，提高其准确性），在读数时就应该使指针盖住镜子中的指针影子，这样就可大大减小和消除读数误差，从而提高读数的准确性。

在读数时，如指针所指示的位置在两条分度线之间，可估计一位数字。若追求读出更多的位数，超出仪表准确度的范围，便没有实际意义了。反之，如果记录位数太少，以致低于测量仪表所能达到的准确度，也是不对的。

⑥ 由于仪表的准确度采用的是引用误差，测量时实际误差的大小与量程选用是否恰当有关。例如，用同为 2.0 级的 5A 和 10A 电流表测 4A 电流，10A 表可能产生的误差为 $5 \times 2\% = 0.2\text{A}$ ，而 5A 表可能产生的误差为 $5 \times 2\% = 0.1\text{A}$ 。对同样准确度的电表，量

程越接近被测值, 实际测量误差越小, 因此应选用被测量的大小为仪表量程的 $2/3$ 以上的仪表。

1.1.3 电工仪表准确度等级及校准

(1) 电工仪表准确度等级与仪表的基本误差的关系

① 电工仪表准确度等级。电工仪表的准确度是其测量准确性的标志, 电工仪表在规定条件下工作时, 可能出现的最大基本误差与仪表测量上限比值的百分数, 叫作仪表的准确度等级。所以, 电工仪表的准确度等级, 即为该仪表在规定的工作条件下使用时, 最大引用误差的数值。在我国电工仪表的准确度共分七个等级, 见表 1-1。由表 1-1 可见, 准确度等级的数值越小, 允许的基本误差越小, 表示仪表的准确度越高。

表 1-1 电工仪表准确度等级

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差/%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

通常 0.1 级和 0.2 级仪表为标准表, 0.5~1.5 级仪表用于实验室, 1.5~5.0 级则用于电气工程测量。如 0.5 级, 其最大测量误差不超过满标度值的 $\pm 0.5\%$; 1 级仪表, 其最大的测量误差不超过 $\pm 1\%$, 例如, 最大量程为 100A, 则最大误差为 $\pm 1A$ 。

② 准确度。仪表准确度和误差是相互共存的, 因为有误差的存在, 才有准确度这个概念。仪表准确度是仪表测量值接近真值的准确程度, 通常用相对百分误差 (也称相对折合误差) 表示。所谓标准值是准确度比被测仪表高 3~5 倍的标准表测得的数值。

仪表准确度不仅和绝对误差有关, 而且和仪表的测量范围有关。绝对误差大, 相对百分误差就大, 仪表准确度就低。如果绝对误差相同的两台仪表, 其测量范围不同, 那么测量范围大的仪表相对百分误差就小, 仪表准确度就高。仪表的最大绝对误差 ΔX_m 与

仪表量程 A_m 之比称为仪表的准确度 $\pm K\%$ ，即

$$\pm K\% = \frac{\Delta X_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

选择仪表的准确度必须从测量的实际出发，不要盲目提高准确度，在选用仪表时还要选择合适的量程，准确度高的仪表在使用不合理时产生的相对误差可能会大于准确度低的仪表。

如测量 25V 电压，选用准确度 0.5 级、量程 150V 的电压表，测量结果中可能出现的最大绝对误差，由公式 (1-6) 计算：

$$\Delta U_{m1} = \pm 0.5\% \times 150 = \pm 0.75V$$

测量 25V 时的最大相对误差为

$$\delta_{m1} = \Delta U_{m1} / U \times 100\% = \pm 0.75 / 25 \times 100\% = \pm 3\%$$

如果选用准确度 1.5 级、量程 30V 的电压表，则测量结果中可能出现的最大绝对误差为：

$$\Delta U_{m2} = \pm 1.5\% \times 30 = \pm 0.45V$$

测量 25V 时的最大相对误差为

$$\delta_{m2} = \Delta U_{m2} / U \times 100\% = \pm 0.45 / 25 \times 100\% = \pm 1.8\%$$

例：某 1.5 级电压表，量程为 300V，当测量值别为 60V、150V、200V 时，试求这些测量值的最大绝对误差和示值相对误差。

最大误差为：

$$\Delta U_m = \pm 1.0\% \times 300 = \pm 3V$$

示值误差为：

$$\gamma_{u1} = \pm \left(\frac{\Delta U_m}{U_1} \right) \times 100\% = \pm \left(\frac{3}{60} \right) \times 100\% = \pm 5\%$$

$$\gamma_{u2} = \pm \left(\frac{\Delta U_m}{U_2} \right) \times 100\% = \pm \left(\frac{3}{150} \right) \times 100\% = \pm 2\%$$

$$\gamma_{u3} = \pm \left(\frac{\Delta U_m}{U_3} \right) \times 100\% = \pm \left(\frac{3}{200} \right) \times 100\% = \pm 1.5\%$$

所以测量结果的精确度，不仅与仪表的准确度等级有关，而且

与它的量程有关。因此，通常选择量程时应尽可能使读数占满刻度 $2/3$ 以上。

③ 灵敏度。灵敏度是指仪表对被测参数变化的灵敏程度，或者说是对被测量变化的反应能力，是在稳态下，输出变化增量对输入变化增量的比值。灵敏度有时也称“放大比”，增加放大倍数可以提高仪表灵敏度，单纯加大灵敏度并不改变仪表的基本性能，即仪表精度并没有提高，相反有时会出现振荡现象，造成输出不稳定。仪表灵敏度应保持适当的量。灵敏度越高，测量精确度越高，误差越小，仪表质量越好，灵敏度定义为：

$$S = \Delta\beta / \Delta A \quad (1-7)$$

式中， $\Delta\beta$ 为指针偏转角度变化量； ΔA 为被测量的变化量。

④ 电工仪表准确度等级与仪表基本误差的关系

在只有基本误差影响的情况下，仪表准确度等级的数值 a 与最大引用误差的关系是：

$$a \% \geq \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100 \% \quad (1-8)$$

在极限的情况下，仪表允许的最大绝对误差 Δ_m 为：

$$\Delta_m = \pm a \% \times A_m \quad (1-9)$$

由此可以求出应用仪表测量某一被测量时可能出现的最大相对误差 γ_m 为：

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100 \% = \frac{\pm a \% \times A_m}{A_x} \times 100 \% \quad (1-10)$$

从上式可以看出，仪表的准确度对测量结果的准确度影响很大。但仪表的准确度并不就是测量结果的准确度，测量结果的准确度还与被测量的大小有关，只有仪表运用在满刻度偏转时，测量结果的准确度才等于仪表的准确度。因此，不要把仪表的准确度与测量结果的准确度混在一起。

(2) 仪表校准的基本要求及与检定的异同

① 仪表校准应满足的基本要求