

# 电力网 电气测量技术

主 编 景 胜 靳保卫 拜克明

副主编 田 珂 平晓雪 屈春娥

拜 林 安小锋

主 审 孙晓红 邓秋鸽 刘 峰



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 电力网 电气测量技术

主 编 景 胜 靳保卫 拜克明

副主编 田 珂 平晓雪 屈春娥

拜 林 安小锋

主 审 孙晓红 邓秋鸽 刘 峰

参 编 王 腾 郑 珂 王 栋

梁 栋 霍宣敏 冯志刚

王海鹏 徐羽涵 程 璐

张峰源 赵 虹 刘艺歌

崔红飞



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书根据电力网电气测量技术的总体要求编写,介绍了电力网测量的信号源器件电压互感器与电流互感器、电力网的基本测量方法及仪器仪表、电力网专用测量装置——电能计量装置。本书重视基础知识和基本测量方法,对电能计量装置四种接线方式的错误接线及故障状态进行了深入全面分析。

本书适合电力工程技术人员及员工阅读,可作为供用电专业大中专学生的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力网电气测量技术 / 景胜, 靳保卫, 拜克明主编  
— 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 12  
ISBN 978-7-5170-1636-6

I. ①电… II. ①景… ②靳… ③拜… III. ①电气测量 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第319686号

书 名	<b>电力网电气测量技术</b>
作 者	主 编 景胜 靳保卫 拜克明 副主编 田珂 平晓雪 屈春娥 拜林 安小锋 主 审 孙晓红 邓秋鸽 刘峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	175mm×245mm 16开本 13.25印张 253千字
版 次	2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	<b>38.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



# 前 言

电网的智能化可以实现电网的安全、可靠、经济、高效运行，为各类用户提供充足优质的电能，是我国电网发展的必然方向，也是我国国民经济和人民生活水平实现跨越式发展的保障。而电子技术、计算机技术的飞跃发展，使智能仪器仪表与计算机紧密结合、与控制系统紧密结合成为可能，使我们对电网的控制更加及时精准。智能电网一切的运作过程，均需要测量、分析、控制参与其间，控制的根据来源于测量。因此测量在智能电网的运作中十分重要。

过去电网的测量是分散的，现在建设与智能电网相配套的智能电能计量系统，依靠数字化、互动化、信息化，可使电子式智能电能表承担数据终端采集任务，集中向电网提供诸如：电流、电压、频率、需量、电能量、负荷性质、三相是否平衡对称、母线电量平衡、网损、谐波等各种信息。

在智能电网上应用电能计量远方抄表系统，其重要意义在于可通过这个系统对整个电网实时监控，对每度电的去向做到心中有数，为国家有关部门和电网公司提供准确的电能信息，以加强电网管理，提高用电效率。在以区域性高压电能表为核心连接成的监测网络中，可以立即发现窃电与漏电现象之所在，使管理部门迅速作出反应，这对于节约用电、合理用电、降低我国产品电能单耗，确保电网安全都有重大意义。

本书根据电力网电气测量技术的总体要求编写，介绍了电力网测量的信号源器件电压互感器与电流互感器、电力网的基本测量方法及仪器仪表、电力网专用测量装置——电能计量装置。重点讲述了与智能电网相关联的电子式电能源的原理、结构与功能，还专列一章介绍电力网自动抄表系统。本书重视基础知识和基本测量方法，对电能计量装置四种接线方式的错误接线及故障状态进行了深入全面分析。

由于编者水平有限，时间较紧，编写内容会有诸多不妥之处，请读者指正。

编者

2013年10月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 测量、计量、测试三者的异同 .....	2
1.2 计量基本知识 .....	2
1.3 电气测量方法、误差及数据处理 .....	3
<b>第 2 章 电力网用互感器</b> .....	11
2.1 电流互感器 .....	11
2.2 电压互感器 .....	19
2.3 其他互感器介绍 .....	29
<b>第 3 章 常用测量仪器仪表的应用</b> .....	33
3.1 指示仪表中的主要力矩与技术参数 .....	33
3.2 磁电系仪表 .....	35
3.3 电磁系仪表 .....	38
3.4 电动系仪表 .....	40
3.5 三相功率的测量 .....	44
3.6 钳形电流表 .....	48
3.7 万用表的使用 .....	49
3.8 绝缘电阻表（兆欧表） .....	56
3.9 数字示波器的使用 .....	59
3.10 精密电阻测量 .....	63
3.11 交流阻抗电桥 .....	67
3.12 接地电阻的测量 .....	70
3.13 电力网新型智能仪表的应用 .....	72
<b>第 4 章 电力网专用测量仪表电子式电能表</b> .....	78
4.1 电子式电能表概述 .....	78
4.2 电子式电能表的基本结构 .....	80
4.3 电子式电能表测量原理 .....	85
4.4 电子式电能表的强大功能 .....	96

4.5	防窃电智能电能表 .....	102
<b>第5章</b>	<b>电力网电能计量接线方式 .....</b>	<b>106</b>
5.1	单相电能表的接线方式 .....	106
5.2	三相三线电能表的接线方式 .....	106
5.3	三相四线电能表的接线方式 .....	112
<b>第6章</b>	<b>电力网电能表错误接线分析及退补电量计算 .....</b>	<b>116</b>
6.1	错误接线下更正系数的定义及意义 .....	116
6.2	三相三线有功电能表的错误接线及更正系数 .....	119
6.3	三相四线有功电能表的错误接线及更正系数 .....	139
6.4	互感器二次开路故障时三相电能表的电量更正 .....	147
6.5	退补电量计算实例 .....	152
<b>第7章</b>	<b>电能表与互感器的室内检定 .....</b>	<b>156</b>
7.1	电子式电能表检定装置的结构和工作原理 .....	156
7.2	感应式电能表的检定 .....	162
7.3	电子式电能表的检定 .....	168
7.4	电力网测量用互感器的检定 .....	172
<b>第8章</b>	<b>电力网用互感器的现场检测 .....</b>	<b>177</b>
8.1	电流互感器的现场检验 .....	177
8.2	电压互感器的现场检验 .....	185
8.3	电压互感器二次回路电压降测试 .....	190
<b>第9章</b>	<b>电力网自动抄表系统 .....</b>	<b>194</b>
9.1	本地抄表技术 .....	194
9.2	远程自动抄表技术 .....	196
	<b>参考文献 .....</b>	<b>204</b>

# 第 1 章 绪 论

智能电网建立在集成的、高速双向通信网络的基础上，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。其主要特征包括激励、自愈、抵御干扰和攻击、用户参与、提供满足 21 世纪用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入、启动电力市场以及资产的优化高效运行。

智能电网是一个完全自动化的电力传输网络，能够监视和控制每个用户和电网节点，保证从电厂到终端用户整个输配电过程中所有节点之间的信息和电能可双向流动。智能电网将现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度集成形成新型电网。

我国智能电网建成后，将实现大水电、大煤电、大核电、大规模可再生能源的跨区域、远距离、大容量、低损耗、高效率输送，区域间电力交换能力明显提升，具备更高的安全稳定运行水平。电网的安全稳定性和供电可靠性将大幅提升，电网各级防线之间紧密协调，具备抵御突发性事件和严重故障的能力，能够有效避免大范围连锁故障的发生，显著提高供电可靠性，减少停电损失。

在我国智能电网发展各环节试点工作已全面开展，智能电网调度技术支持系统、智能变电站、用电信息采集系统、电动汽车充电设施、配电自动化、电力光纤到户等试点工程进展顺利。在大规模可再生能源并网及储能方面，启用了集中并网、电化学储能等关键技术，建立了风电接入电网仿真分析平台。在电动汽车充放电技术领域，我国在充放电设施的接入、监控、计费等方面开展了大量研究，并已在部分城市建成电动汽车充电运营站点。在电网发展机制方面，我国电网企业业务范围涵盖从输电、变电、配电到用电的各个环节，在统一规划、统一标准、快速推进等方面优势明显。

智能电网由很多部分组成，可分为：智能变电站，智能配电网，智能电能表，智能交互终端，智能调度，智能家电，智能用电楼宇，智能城市用电网，智能发电系统，新型储能系统。智能电网一切的运作过程，均需要测量、分析、控制参与其间，控制的根据来源于测量。因此测量在智能电网的运作中十分重要。

## 1.1 测量、计量、测试三者的异同

测量、计量、测试之间关系十分密切。它们具有共性，都是解决“量”的问题，均属于测量领域，但三者又不尽相同，各有特点。

测量是通过现场物理量与标准量之间相互比较的一个实验过程，电网电气测量的对象是电网运行中的实际电参数，测量目的是确定其量值大小，单位可以任意选定。电网中常见的测量有：频率的测量，电压、电流的测量，相位差的测量，双向有功功率、四象限无功功率的测量，电能的测量，功率因数的测量，波形的测量，延迟及瞬态时间的测量，电阻、电感、电容的测量，绝缘性能的测量等。

计量是通过建立基准、标准，进行量值传递的一组操作，旨在实现全国乃至国际间各种物理量的统一、准确；高两级的计量器具作为零误差标准仪器，可以用来检定低两级的计量器具的准确性；计量是一种特殊的测量而严于一般的测量，其对象不是电网中的实际电参数，而是一种标准的、稳定的信号源。电网中的计量工作集中在各电力研究所的电测室、基层供电局的仪表组、电能计量中心，负责对电网中使用的所有标准计量器具、工作计量器具进行检定和量值传递。

测试是电网中为保证各种一次设备正常运转进行的一系列试验活动，其中贯穿着大量的测量。其目的是判断设备的性能，如对电力变压器、断路器、互感器、避雷器、电缆、接地装置、安全用具的测试。测试含有测量—比对—调整—再测量，这样循环的意义。

## 1.2 计量基本知识

为了加强计量监督管理，保障国家计量单位制的统一和量值的准确可靠，有利于生产、贸易和科学技术的发展，适应社会主义现代化建设的需要，维护国家、人民的利益，我国于 1985 年 9 月 6 日第六届全国人大常委会第十二次会议通过了《中华人民共和国计量法》，从此计量工作纳入了法制管理的轨道，计量事业取得了迅速发展。

计量包括科学技术上的、法律法规上的和行政管理上的活动。计量在历史上称为度量衡，所用的主要器具是尺、斗、秤。在英语中尺子和统治者是同一词——ruler，我国古代把砝码称为“权”，至今仍用天平代表法制和法律的公平，这些都表明计量是象征着权力和公正的活动。



计量是实现单位统一、量值准确可靠的活动。计量的内容通常可概括为6个方面：计量单位与单位制；计量器具，包括计量基准、标准与工作计量器具；量值传递与量值溯源，包括检定、校准、测试、检验与检测；物理常量、材料与物质特性的测定；不确定度、数据处理与测量理论及其方法；计量管理，包括计量保证与计量监督等。

计量的特点可归纳为准确性、一致性、溯源性及法制性4个方面。

准确性是指测量结果与被测量真值的一致程度。由于实际上不存在完全准确无误的测量，因此在给出量值的同时，必须给出适应于应用目的或实际需要的不确定度或误差范围。否则本次测量的质量就无从判断，量值也就不具备充分的实用价值。所谓量值的准确，即是在一定的不确定度、误差极限或允许误差范围内的准确。

一致性是指在统一计量单位的基础上，无论在何时、何地，采用何种方法，使用何种计量器具，以及由何人测量，只要符合有关的要求，其测量结果就应在给定的区间内一致。也就是说，测量结果应是可重复、可再现（复现）、可比较的。

溯源性是指任何一个测量结果或计量标准的值，都能通过一条具有规定不确定度的连续比较链，与计量基准联系起来。这种特性使所有的同种量值，都可以按这条比较链通过校准向测量的源头追溯，也就是溯源到同一个计量基准——国家基准或国际基准，从而使准确性和一致性得到技术保证。

法制性来自于计量的社会性，因为量值的准确可靠不仅依赖于科学技术手段，还要有相应的法律、法规和行政管理。特别是对国计民生有明显影响，涉及公众利益和可持续发展或需要特殊信任的领域，必须由政府主导建立起法制保障。否则，量值的准确性、一致性及溯源性就不可能实现，计量的作用也难以发挥。本书重点涉及到的电能计量就是对国计民生有明显影响，涉及公众利益的一种计量。

## 1.3 电气测量方法、误差及数据处理

测量是借助于测量设备，将被测量与作为测量单位的同类标准量进行比较，从而确定被测量的过程。比较的结果包括两部分：一是数据值；二是单位名称。

测量单位的确定和统一非常重要。为了对同一量在不同时间和地点进行测量，都能得到相同的结果，必须采用一种公认而又固定不变的单位。我国的测量中，采用国际单位制。有单位的数据才是有实际意义的数据，要求各种测量中的所有数据都必须带入相应单位。

### 1.3.1 电力网电气测量方法

电力网电气测量的实现，首先要通过电力电压互感器、电流互感器将电网一次侧的高电压、大电流严格按比例缩小为二次侧的额定电压 100V，额定电流 5A（或 1A），被测量转换到二次回路后，就可用常规绝缘水平的测量仪器、仪表进行测量了。那么电压互感器、电流互感器也是计量器具，也要纳入法制检定的轨道。

#### 1.3.1.1 直接测量法

直接测量是指测量结果可从一次测量的数据中直接得到。如用电流表测量电流、用欧姆表测量电阻等都属于直接测量法。此方法测量简便、读数迅速，但准确度较低。

#### 1.3.1.2 间接测量法

间接测量只能测出与被测量有关的电量，然后经过相关公式计算才能得出被测量。如用伏安法测量电阻，先测量电阻两端的电压  $U$  和流经该电阻的电流  $I$ ，然后根据欧姆定律  $R=U/I$ ，计算出被测的电阻值  $R$ 。间接测量法的误差虽然比直接测量法大，但在实际测量中，为了测量接线方便也经常使用。

#### 1.3.1.3 比较测量法

比较测量是将被测的量与度量器在比较仪器中进行比较后，才能得到被测量。比较测量又可分为以下三种。

##### 1. 零值法（又称指零法）

零值法是利用被测量对比较仪器的作用与已知量对比较仪器的作用两者相抵消的原理，作出指零判断。即当指零仪表指零时，表明被测量与已知量相等。就像天平称物体的重量一样，当指针指零时，表明被测物重量与砝码的总重量相等，根据所用砝码的总重量便知所称重物的重量大小。由此可见，零值法测量的准确度，取决于度量器的准确度和指示仪表的灵敏度。电桥和电位差计都是采用零值法原理进行测量的。

##### 2. 较差法

较差法是利用被测量与已知量的差值作用于测量仪器而实现测量目的的一种测量方法，较差法有较高的测量准确度。

##### 3. 替代法

利用可调的已知标准量代替被测量，而不改变测量仪器原来的读数状态，这时认为被测量与已知量相等。准确度取决于标准量的准确度和测量装置的灵敏度。

比较法的准确度和灵敏度都较高，但操作繁琐，设备昂贵，仅用于精密测量。

#### 1.3.1.4 波形观测法

将电子线路中的输入、输出信号分别引入到示波器的  $Y_1$ 、 $Y_2$  通道，借助扫描信号的作用，在示波器的屏幕上将被测信号的波形直观显现出来，观测波形的形状、幅值及相位，观测波形变化的快慢，测量其周期称为波形观测法。

#### 1.3.2 测量误差分类及消除误差的方法

用电工电子仪器仪表对各种电量进行测量时，读出的数值和被测量的真值（通常将标准表读数视为真值）之间总有一些差别，这个差别称为测量误差。测量误差可分为以下几类。

##### 1.3.2.1 根据误差产生的原因分类

各种电工电子仪器仪表的测量原理不一定十分理想，这些测量设备的制作工艺也不一定十分完善，测量条件与设备使用说明书规定的条件也不一定完全吻合，因此任何测量都存在误差。

##### 1. 基本误差

基本误差是指在测量设备使用说明书规定的工作条件下，即在规定的温度、湿度、放置方式、没有外电场和外磁场干扰等条件下，由于仪表等测量设备本身结构和工艺等方面不够完善而产生的误差。如仪表活动部分存在摩擦、零件装配不当、标尺刻度不准等引起的误差都属于基本误差，这种误差是仪表等测量设备本身所固有的误差。

##### 2. 附加误差

附加误差是指测量场所偏离规定的工作条件而造成的误差。如温度过高、湿度过大、波形非正弦、外界震动、外界电磁场影响等引起的误差都属于附加误差。

##### 1.3.2.2 根据误差的表示方法分类

##### 1. 绝对误差

测量仪表指示的数值  $A$  和被测量的实际值  $A_0$  之间的差值称为本次测量的绝对误差，用  $\Delta$  表示为

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

被测量的实际值可由准确度等级更高的标准仪表来提供。绝对误差是有大小、有正负，且有单位的量。 $\Delta$  为正时，测量读数偏大； $\Delta$  为负时，测量读数偏小。测量同一个量时， $\Delta$  的绝对值越小，测量的结果越准确。

被测量的实际值可由式 (1-1) 变换后得到

$$\begin{aligned} A_0 &= A + (-\Delta) \\ &= A + C \end{aligned} \quad (1-2)$$

$$C = -\Delta \quad (1-3)$$

式中：C 值为修正值，修正值和绝对误差相比，其大小相等、正负相反，工作仪表的修正值可由上级计量检定部门在对该仪表实施检定后为各个刻度点列表提供。

## 2. 相对误差

测量大小不同的被测量时，用绝对误差不便比较测量结果的准确程度，这时要用相对误差。

相对误差是绝对误差与被测量的实际值之间的比值，相对误差只有大小和正负之分而无单位。通常用百分数表示

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

例如，用同一只电压表测实际值为 100V 电压时指示 99V，测 20V 电压时指示 20.8V，则相对误差各为

$$\gamma_1 = \frac{99-100}{100} \times 100\% = -1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{20.8-20}{20} \times 100\% = +4\%$$

测 20V 电压时虽然绝对误差小，但对测量结果的影响却更大。相对误差便于比较，更能反映测得读数的可信程度。因此在测量实践中都用相对误差来评价测量结果的优劣。

通常被测量  $A_x$  与实际值  $A_0$  很接近，所以相对误差也可表示为

$$\gamma \approx \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-5)$$

## 3. 用最大引用误差表示指示仪表的准确度等级

同一块指示仪表的绝对误差，在刻度范围内变化不大，而由于标度尺不同位置的读数变化很大，所以同一块仪表各刻度点的相对误差会变化很大，因此用相对误差不便评定仪表的准确度等级。如果用绝对误差作分子，仪表的测量上限作分母，则由于测量上限是常数，可以较好地反映仪表的基本误差。按这种方式表达的误差称为引用误差。最大引用误差  $\gamma_m$  是最大绝对误差  $\Delta_m$  与仪表上限  $A_m$  比值的百分数，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

仪表的准确度等级是用来反映仪表的基本误差的，而引用误差可以较好地反映仪表的基本误差，所以判断指示仪表的准确度等级  $k$  时，用最大引用误差来进行计算，即

$$k (\%) \geq |\gamma_m| = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \right| \quad (1-7)$$

仪表的准确度等级  $k$  的数值越小，表明该仪表的准确度等级越高，其最大引用误差的绝对值越小。我国生产的电工指示仪表其准确度等级一般分为 7 级：0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级和 5.0 级，其允许的基本误差如表 1-1 所示。

表 1-1 各级指示仪表允许的基本误差

仪表的准确度等级 $k$	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
允许的最大引用误差 (%)	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 5.0$

例如，一台标称测量范围为 0~150V 的电压表，当在示值为 100.0V 处，用标准电压表检定所得到的实际值为 99.4V，则该处的引用误差为

$$\frac{100.0 - 99.4}{150} \times 100\% = 0.4\%$$

上式中  $100.0 - 99.4 = +0.6$  (V) 为 100.0V 刻度处的绝对误差，而 150V 为该测量仪器的上限，所以引用误差是对满量程而言。判定该仪表的准确度等级  $k$  为 0.5 级。

### 1.3.2.3 根据误差的性质和特点分类

#### 1. 系统误差及其消除方法

在相同条件下，多次测量同一量时，误差的大小及符号均保持不变或按一定规律变化，这种误差称为系统误差。

系统误差产生的原因是由于测量仪器仪表不准确或有缺陷；仪器使用不当；测量方法不完善；周围环境条件有偏差以及操作者个人不良习惯（如斜视）等因素造成的。

在测量中要做到没有系统误差是不可能的，但可采取技术措施减小或消除。方法有：

(1) 检查测量设备，完善实验条件，尽量消除误差根源。

(2) 利用修正值  $C$  来消除系统误差。根据式 (1-3) 可知指示仪表的修正值为

$$C = -\Delta$$

校准后的仪表检定证书上列有修正值表。修正后被测量的实际值  $A_0$  为测量读数  $A$  与修正值  $C$  之和。

$$A_0 = A + (-\Delta) = A + C$$

若某电压表 50V 刻度的修正值是一 0.4V，使用该电压表时读数恰为 50V，若对仪表的误差不作修正，则仪表读数的相对误差为 0.8%；而修正后的读数是 49.6V，才更准确。

(3) 采用特殊的正反向测量方法消除系统误差，可使其正、负误差在两次测



量的平均值中互相抵消。

## 2. 随机误差及其消除方法

随机误差（又称偶然误差）是指单次测量某电量时误差的大小和符号都不固定的误差。

随机误差产生的原因是由那些对测量影响微小，而又互不相关的多种因素共同形成的，如组成测量设备的元器件的噪声，测量设备内部、外部存在的各种干扰，温度、磁场、电源频率的骤变，气流变动，大地的轻微振动，以及测量人员的感觉器官偶然变化等。

随机误差值的大小和正负没有规律可循、不可预测、不可控制，因此很难消除。但是随机误差具有以下特性：

- (1) 绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大；
- (2) 绝对值相等的正误差和负误差，出现的概率相等。

在实际测量中，若对同一电量进行多次测量，然后取其平均值，随机误差会随着测量次数的增加而趋近于零，那么被测量的数据可用下式的平均值来获取。

$$A_0 = \bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad (1-8)$$

### 1.3.2.4 疏失误差及其消除方法

疏失误差（又称粗大误差）是由于测量人员的粗心大意或疏失造成的。如接线、读数、记录发生差错，对于明显的粗大误差，属于坏值，应予剔除不用，重新测量取值。

### 1.3.3 测量数据的获取及处理

测量中，测量仪表及量程要选择得当，获取数据的方法要正确。测量的原始数据需要进行数据处理，数据处理是测量的重要步骤，通过数据处理才能总结出实验现象的规律性。数据处理包括确定数据的有效数字、对有效数字进行计算、根据实验数据画出曲线及波形等。

#### 1.3.3.1 正确选择测量仪表及量程

测量直流时，应选择万用表的直流电流、直流电压挡，或磁电系电流表、磁电系电压表；测量 50Hz 工频交流电时，应选择万用表的交流电流、交流电压挡，或电磁系电流表、电磁系电压表；测量音频交流电压时，应选择电子式电压表或示波器。

错用直流电压挡来测交流电压，虽然电压较高，但却读数为零，有可能烧毁仪表。

选择仪表的量程之前，应先估计或估算待测电量的大小，选择的量程应与估计值相近或稍大。如无法估计，应先选较大的量程进行预测，再根据预测值重选

合适的量程。工程测量中一般要求读数的指示位置高于  $2/3$  的仪表量程。

### 1.3.3.2 测量仪表的正确读数

(1) 读数时要明确仪表的量程为多大，确定仪表常数（即确定每小格代表的被测量大小）。

(2) 读数时人眼的视线应与仪表的标度尺平面垂直，标度尺平面上带有反光镜时，应使指针与其在反光镜中的影像重合，以减小视觉误差。

(3) 读数时如果指针指在两条刻度线之间，可估读一位近似数字。

### 1.3.3.3 有效数字及其正确表示

一个数据从左边第一个非零数字起至右边近似数字的一位为止，其间的所有数码均为有效数字。有效数字的位数取多少合适应与其误差大小相对应。如数据 578.32、100.07 均为五位有效数字。

有效数字的最末一位是近似数字，它可以是测量中估读出的，也可以是按数据舍入规则处理过的近似数字，而有效数字的其他数字都是准确数字。所有测量数据都必须用有效数字表示。此时应注意：

(1) 读数记录时，每一个数据只能有一位数字（最末一位）是估计读数，而其他数字都必须是准确读出的。

(2) 有效数字的位数与小数点无关，“0”在数字之间或末尾时均为有效数字。在测量中，如果仪表指针刚好停留在分度线上，读数记录时应在小数点后的末尾加一个零。如数据 001.07、1.60 均为三位有效数字。

(3) 遇有大数值或小数值时，数据通常用数字乘以 10 的幂的形式来表示，10 的幂前面的数字为有效数字。如数据  $1.07 \times 10^3$  有三位有效数字。

### 1.3.3.4 有效数字的舍入规则

有效数字的位数确定后，后面多余的数字要按四舍五入及尾数求偶的舍入原则进行处理。即若要保留  $n$  位有效数字，则第  $n$  位有效数字后面的第一位数字，大于 5 时入；小于 5 时舍；刚好等于 5 时，若  $n$  位为奇数时入，为偶数时舍。

例如，若 5.1835、10.365 均需取四位有效数字时，则分别为 5.184、10.36。这样处理，舍与入的机会相等，提高了数据的准确性。

### 1.3.3.5 有效数字的运算规则

1. 加减运算——以小数点后位数为准

运算之前，应先将数据中小数点后位数多的进行舍入处理，使之比小数点后位数最少的那个多一位小数；计算结果保留的小数点后的位数与原始数据中小数点后位数最少的那个数相同。

例如，6.48、10.2、2.535 三个数字相加，运算时应为

$$6.48 + 10.2 + 2.54 = 19.22$$

结果取 19.2。

## 2. 乘除运算——以有效数字位数为准

运算之前，应先把有效数字位数多的做舍入处理，使之比有效数字位数最少的那个数只多一位；计算结果的有效数字位数与原数据中有效数字位数最少的相同。

例如，3.2、12.6、2.365 三个数字相乘，运算时应为

$$3.2 \times 12.6 \times 2.36 = 95.1552$$

结果应取 95。有时根据需要也可多取一位，即结果取为 95.2。但位数再多不仅毫无意义，而且可能对实验的精确度作出错误结论。

### 1.3.3.6 数值修约规则

数值修约的概念：通过省略原始数值的最后若干位数字，调整所保留的末位数字，使最后所得到的值最接近原数值的过程。经数值修约后的数值称为（原始数值的）修约值。

修约间隔是修约值的最小数值单位。修约间隔的数值一经确定，修约值的所有数据即应为该数值的整数倍。如可以指定修约间隔为 0.1、0.02、0.05 等。

## 第2章 电力网用互感器

电力网一次回路、一次设备所承受的是高电压、大电流，不能用常规仪器仪表来测量，必须用电压互感器和电流互感器将高电压、大电流严格按比例减小若干倍后，在其二次侧才能用常规仪器仪表进行测量。因此电压互感器和电流互感器是测量仪器仪表的信号源器件，在电力网中起着一次高压回路和二次测量及控制回路的桥梁作用。要准确测量一次电网的电参数，若源头信号变换就不准确，那么其他测量设备再精准也无济于事，因此相应技术规程规定了电压和电流互感器的准确度等级。如与贸易结算用电能表配套的互感器准确度等级为0.5及0.5s以上。

### 2.1 电 流 互 感 器

电流互感器，用字母 TA 表示，曾用 CT、LH 表示过。

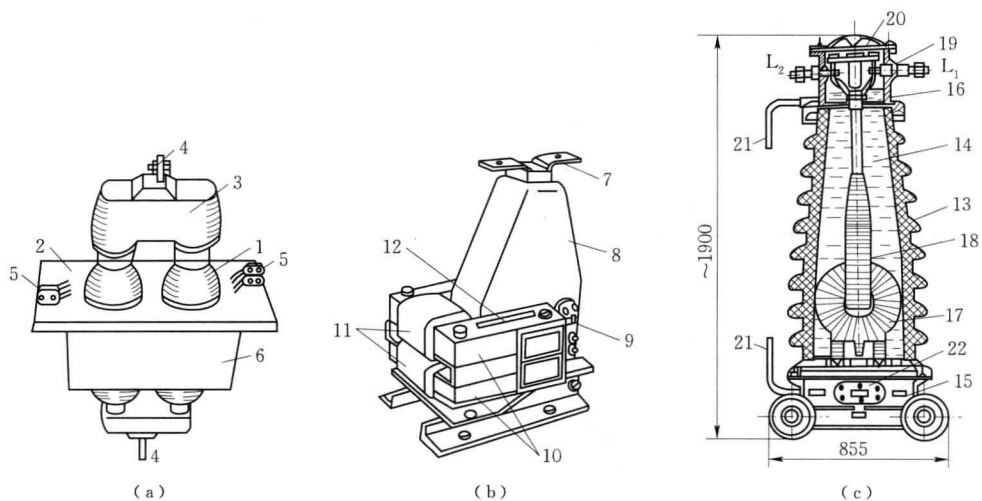


图 2-1 三种不同绝缘方式的电流互感器

(a) 瓷绝缘 LFC-10 型；(b) 浇注绝缘 LQJ-10 型；(c) 油浸式 LCW-110 型

- 1—瓷绝缘套管；2—法兰盘；3—接头盒；4—接线板；5—二次绕组接线端子；6—外壳；7—一次接线端子；8—一次绕组，树脂浇注；9—二次接线端子；10—铁芯，树脂浇注；11—二次绕组；12—警告牌（“二次侧不得开路”）；13—瓷外壳；14—变压器油；15—小车；16—扩张器；17—铁芯连二次绕组；18—一次绕组；19—瓷套管；20—一次绕组换接器；21—放电间隙；22—二次绕组引出端