



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电气测试基本技术

赵卫东 主 编
宗海焕 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电气测试基本技术

主 编	赵卫东
副主编	宗海焕
编 写	胡香玲
主 审	贺令辉



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

本书主要讲述电气测量仪表的原理及使用方法，以及电量、电参量的测量方法。全书共十一章，主要内容包括电气测量基本知识、常用电测量指示仪表的使用、万用表和钳形电流表的使用、兆欧表和接地电阻测量仪的使用、电测量指示仪表的检验、感应系电能表的使用、测量用互感器的使用、电桥的使用、示波器的使用、数字仪表的使用、电量及电参量的测量等。各章后均配有相应实验项目，同时给出了实验记录表和实验成绩评定表。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业的实验实训教材，也可作为电测仪表工的培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

电气测试基本技术/赵卫东主编. —北京：中国电力出版社，2009

普通高等教育实验实训规划教材·电力技术类

ISBN 978 - 7 - 5083 - 8915 - 8

I. 电… II. 赵… III. 电气测量—高等学校—教材
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 088265 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 276 千字

定价 18.50 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类），是根据高职高专院校电力技术类专业电气测试技术实践教学需求而编写的，结合了高职高专的教学特点，对理论推导适当删减，注重实际应用。

本书介绍了电气测量的基本概念、方法、测量误差和安全知识；常用电测仪表如电磁系仪表、磁电系仪表、电动系仪表、万用表、钳形电流表、兆欧表、接地电阻测量仪、电能表、互感器的基本结构、基本原理及使用方法等；指示仪表的检验项目、技术要求和检验方法；电量变送器、电桥、示波器及数字仪表的基本原理和使用方法；非电量的电测量技术；最后是电量和电参量测量方法的介绍。大部分章节后都附有思考题和实验项目，用来进行综合能力训练，包括设计性和综合性实验项目。对于仪器、仪表使用的训练项目，书中没有明确设备的型号，实验时根据实验条件灵活选择设备和测量对象，也可根据专业需要选择教学内容和实验项目，边讲边练，在训练过程中加深对理论的理解。每个实验项目后有实验记录和评分标准，可记录学生的实验情况，给出相应成绩。

本书强调实践性和应用性。经过电气测试基本技术实训的学习与考核，学生将掌握基本电气测量仪器、仪表的使用，掌握电气测量的基本方法及电测量指示仪表的检验方法，达到电测仪表工中级工的技能水平，为其他电力类专业技能学习打下基础。

本书第一、六、七章由宗海焕编写，第二、四、八章由胡香玲编写，其余章节及附录由赵卫东编写。全书由赵卫东统稿并担任主编。长沙电力职业技术学院贺令辉副教授担任了本书主审，并提出了许多宝贵意见，编者在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

前言	1
第一章 电气测量基本知识	1
第一节 电气测量的概念	1
第二节 测量的分类	1
第三节 测量误差	3
第四节 常用电源的分类和参数	6
第五节 电阻器、电感器、电容器	6
第六节 测量数据处理	8
第七节 电气测量安全规则及触电防护急救	9
第二章 常用电测量指示仪表的使用	14
第一节 认识电测量指示仪表	14
第二节 磁电系仪表的使用	16
第三节 电磁系仪表的使用	23
第四节 电动系仪表的使用	27
第三章 万用表和钳形电流表的使用	40
第一节 万用表的基本工作原理	40
第二节 万用表的使用	45
第三节 万用表常见故障及处理	47
第四节 钳形电流表的使用	51
第四章 兆欧表和接地电阻测量仪的使用	53
第一节 兆欧表的结构及工作原理	53
第二节 兆欧表的使用	54
第三节 接地电阻测量仪的使用	58
第五章 电测量指示仪表的检验	61
第一节 仪表的检验项目、技术要求和检验方法	61
第二节 电压表、电流表和单相功率表检验	69
第三节 电压表、电流表现场检验	74
第四节 检验结果的处理	78
第六章 感应系电能表的使用	83
第一节 单相电能表	83
第二节 三相有功电能表	88
第三节 三相无功电能表	89
第四节 电能表的正确使用	91
第五节 电能表的主要技术特性	92
第六节 电能表的检定	92

第七章 测量用互感器的使用	102
第一节 测量用互感器的基本结构和工作原理	102
第二节 电压互感器和电流互感器的使用	106
第三节 互感器绕组极性试验	109
第四节 电量变送器简介	111
第八章 电桥的使用	115
第一节 直流单臂电桥	115
第二节 直流双臂电桥	116
第三节 直流电桥的使用	117
第四节 交流电桥简介	119
第九章 示波器的使用	125
第一节 示波器的结构和工作原理	125
第二节 示波器的校准	127
第三节 示波器的应用	131
第十章 数字仪表的使用	136
第一节 数字频率表和数字相位表的使用	136
第二节 数字电压表	139
第三节 数字万用表的使用	142
第四节 智能仪表简介	146
第五节 非电量的电测量	149
第十一章 电量及电参量的测量	154
第一节 电压、电流的测量	154
第二节 功率和电能的测量	157
第三节 频率和相位的测量	163
第四节 电阻的测量	164
第五节 电容和电感的测量	164
附录 COS5020 型示波器使用方法	167
参考文献	176

第一章 电气测量基本知识

第一节 电气测量的概念

一、测量的含义

测量是人类对自然界的客观事物取得数量概念的一种认识过程。在这一过程中,人们借助专门的设备,通过实验的方法,将被测量与已知的标准量进行比较,求出以测量单位表示被测量的数量的大小。电气测量就是将被测的电磁量直接或间接与作为测量单位的同类量进行比较的过程。

电气测量是根据电磁现象的基本规律,用电工仪器、仪表对各种电磁量进行测量。随着自动化程度的不断提高,许多非电量也通过一定的转换装置(传感器)变成电磁量进行测量,所以电气测量的应用越来越广泛。

二、电气测量的内容

- (1) 基本电磁量的测量。例如电流、电压、功率、电能和磁通量的测量。
- (2) 电路参数的测量。例如电阻、电感、电容、阻抗、品质因数、损耗因数的测量。
- (3) 电信号特性的测量。例如测量信号的波形、频率及相位等。

三、电气测量的过程

1. 准备阶段

首先要明确被测对象的性质及测量要达到的目的,然后选定测量方式,选择合适的测量方法及相应的测量仪器、仪表。

2. 测量阶段

建立测量仪器、仪表所必需的测量条件,慎重地进行操作,认真记录测量数据。

3. 数据处理阶段

根据记录的数据,考虑测量条件的实际情况,进行数据处理,以求得测量结果和测量误差。

总之,一个完整的测量过程,通常必须具有以下三个成分:被测对象、测量方法和测量设备。

第二节 测量的分类

测量方法有多种,在测量过程中根据采用测量仪器仪表的不同,测量结果的取得方式不同,度量器或标准器是否直接参与等,可采用不同的方法。下面介绍几种常用的分类法。

一、根据测量结果的获得方式分类

(一) 直接测量

直接测量(direct method of measurement)是指在测量中直接得到被测结果,不需要通

过任何函数关系进行辅助计算。例如用电压表测量电压，其示值即为被测结果。

(二) 间接测量

间接测量 (indirect method of measurement) 是指在测量中直接得到的是某些量，而被测结果还需要按某种函数关系进行计算才能得到。例如用“伏安法”测电阻，直接测得量是用电压表测得的电阻两端的电压和用电流表测得的流过电阻的电流，被测电阻值需要按公式 $R = U/I$ 计算间接求得。

(三) 组合测量

组合测量 (combination method of measurement) 是以上两种测量方法的组合，是指将得到的被测量与另外几个量的联立方程组，求解确定被测量值的方法。例如精密电阻和温度的关系为

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (1-1)$$

若测量电阻温度系数 α 、 β 和 $t = 20^\circ\text{C}$ 时的电阻值 R_{20} ，必须在温度 $t = 20^\circ\text{C}$ ， $t = t_1$ 和 $t = t_2$ (t_1 、 t_2 为任意值) 时测量 R_t ，得到一组方程组，才可以解出 R_{20} 、 α 和 β 值。

二、根据测量过程的特点分类

(一) 直读测量法

由仪器仪表的显示器上直接读出测量结果的测量方法，称为直读测量法 (direct read method of measurement)。在直读测量法的过程中，度量器不直接参与作用，如用电压表测量电压。用直读法进行测量，其测量过程简单，操作容易，但准确度不太高。

(二) 比较测量法

把被测的量同量值已知的量 (或与其有函数关系的量) 相比较，从而得到被测量量值的测量方法，称为比较测量法 (comparison method of measurement)。在这种方法中，度量器直接参与作用，可以得到较高的测量准确度，但操作比较麻烦，相应的仪器、设备比较昂贵，实验条件要求较严格。

在比较测量法中，根据被测量与标准量进行比较的特点，又可分为零位测量法、微差测量法和替代测量法。

1. 零位测量法

被测量和已知量相比较时，使检测仪器指示器指零的测量方法，称为零位测量法 (null method of measurement)，也称平衡法。例如用电桥测量电阻，如图 1-1 所示，当被测电阻与已知电阻满足公式 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0$ 时，检流计读数为零，被测电阻即可根据 R_0 、 R_1 、 R_2 三个值求得。由于电测量指示仪表只用于指零，所以仪表误差不影响测量准确度。测量准确度主要取决于标准量的准确度和指示仪表的灵敏度。

2. 微差测量法

将被测的量与同它的量值只有微小差别的已知量相比较，测量出这两个量的差值，从而得出被测量值的测量方法，称为微差测量法 (differential method of measurement)。例如用标准电池比较仪检定标准电池，如图 1-2 所示。图中 E_0 为已知的标准电池，从电位差计可以测量 E_x 与 E_0 的差值 δ ，然后根据 E_0 和 δ 求得 E_x 值。通常差值 δ 仅为被测量 E_x 的很小部分，这样可以根据差值 δ 来检定标准电池 E_x 的准确度。

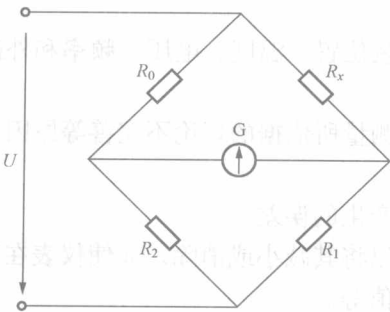


图 1-1 零位测量法测电阻



图 1-2 微差测量法测电动势

3. 替代测量法

将选定的且已知其值的量（标准量）替代被测的量，使两者在指示装置上效应相同的测量方法，称为替代测量法（substitution method of measurement）。这种方法由于测量仪器状态不改变，所以内部特性和外界条件对前后两次测量的影响是相同的。测量结果与仪器本身的准确度无关，只取决于替代的已知量。

替代测量法是计量领域进行量值传递时普遍使用的一种方法，常用于电阻、电感和电容的精密测量。

在测量中，选用哪种测量方法，要由被测量对测量结果准确度的要求，以及实验条件是否允许等多种因素决定。

第三节 测量误差

测量总是存在着误差，测量中存在误差是绝对的，而测量误差的大小则是相对的。对于不同的测量，其测量误差的大小是各不相同的。若测量误差太大，其测量工作和测量结果不但毫无意义，甚至会给工作带来极大的危害。随着科学技术的发展和生产水平的提高，对减小测量误差提出了越来越高的要求。因此，测量误差的大小是衡量测试技术水平的重要标志，也是衡量科学技术水平的重要标志。

一、测量误差的定义

测量误差，即测量示值与被测物理量真值之间的差别。

所谓真值，是指被测物理量具有的真实大小。真值以一定时空条件而客观存在，具有不可知性，通常由理论给出。在实际测量中，常把用高一等级的计量标准所测得的量值作为实际值，用来代替真值使用。除此之外，还可以用已修正过的、多次测量的算术平均值来代替真值使用。

二、测量误差的分类

根据误差的性质及其产生的原因，测量误差可分为三类。

1. 系统误差

在测量过程中所产生的大小恒定或按一定的规律变化的误差，称为系统误差（systematic error）。产生系统误差的原因主要有以下几个方面：

（1）基本误差：由于仪表本身的不完善（如刻度的不准确，内阻的影响等）而产生的

误差。

(2) 附加误差：由于仪表使用不当（如仪表安装位置、温度、电压、频率和外磁场未能满足规定的使用条件）而产生的误差。

(3) 方法误差：由于测量方法不正确或者由于测量所依据的理论不完善等原因而产生的误差。

(4) 人身误差：由于测量人员的感觉不完善所产生的误差。

系统误差有一定的规律性，采用必要的措施可以将其减小或消除。如使仪表在正常条件下使用、改进测量方法、提高操作技巧或引入修正值等。

系统误差表征了测量结果的准确度，系统误差越小，测量结果越准确。

2. 随机误差

在相同条件下，多次重复测量同一被测量，其误差的大小和符号均是无规律变化的误差，称为随机误差（random error）。它产生的原因是由许多复杂因素的微小变化的总和引起的。例如，仪器仪表内部某些零部件的热噪声，机械部件的间隙、摩擦，电源电压和温度的频繁变化，电磁场干扰等引起的误差均属于随机误差。

就一次测量而言，随机误差没有规律，不可预测。但当测量次数足够多时，其总体服从统计规律，大多数随机误差服从正态分布。服从正态分布规律的随机误差具有下列特点：

(1) 单峰性。绝对值小的误差出现的次数多，绝对值大的误差出现的次数少。换句话说，绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大。

(2) 有界性。绝对值大于某一数值的误差几乎不出现，故可认为随机误差有一定的界限，称为有界性。

(3) 对称性。测量次数足够多时，大小相等符号相反的误差出现的次数（或概率）大致相同，称为随机误差的对称性。

(4) 抵偿性。从对称性可推论出，正误差与负误差是互相抵消的，也就是说，测量次数足够多时，随机误差的代数和趋于零。

由于服从正态分布的随机误差具有上述特点，故可以用数理统计的方法对随机误差进行估算，从而估计随机误差对测量结果的影响程度。

随机误差表征了测量结果的精密度，随机误差越小，精密度越高；反之，精密度越低。

3. 疏失误差（粗大误差）

在相同条件下，对同一被测量进行多次测量，可能有某些测量结果明显偏离了被测量的真值所形成的误差，称为疏失误差（parasitic error）或粗大误差。一般的说，疏失误差不是仪器仪表本身所具有的，它是由于测量过程中的某些疏忽大意造成的。例如，测量者过于疲劳、操作不当或工作责任心不强等原因造成读错刻度，或计算错误造成的误差都属于疏失误差。此外，由于测量条件的突然变化，如电源电压、机械冲击等原因也会造成疏失误差，这是造成疏失误差的客观原因。

凡是确认含有疏失误差的测量结果均称为坏值。在测量数据处理时，所有坏值都必须删除。

三、误差的表示方法

1. 绝对误差

绝对误差 (absolute error) 是指测量示值与被测物理量真值之差, 可以表示为

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

式中: Δ 为绝对误差; A_x 为测量示值; A_0 为被测量的真值。

对于式 (1-2), 应注意以下几点: ①绝对误差有单位, 与被测物理量量纲相同; ②绝对误差有大小和正负, 其中大小反映测量值偏离真值的程度, 而正负反映测量值偏离真值的方向; ③绝对误差不反映测量的准确程度。

对测量值进行修正可得到被测量的实际值, 这个修正值可表示为

$$C = A_0 - A_x = -\Delta \quad (1-3)$$

可见, 修正值 C 是绝对误差的相反数。对于准确度较高的测量仪器, 常以表格、曲线或公式的形式将修正值给出。在自动测量仪器中, 可将修正值编程存储在仪器中, 测量时仪器自动进行修正。

2. 相对误差

相对误差 (relative error) 定义为绝对误差 Δ 与被测量真值 A_0 之间的比值, 它通常以百分数表示, 即

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

在相对误差的实际计算中, 被测量的真值一般无法得到, 这时也可以用实际测量值 A_x 代替真值 A_0 , 从而近似求得相对误差, 即

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

相对误差便于对不同的测量结果和测量误差进行比较, 是误差中最常用的一种表示方法。应注意: ①相对误差没有单位, 因为它是同量纲值的比; ②相对误差能反映出测量的准确程度。

例如, 用两个电压表测量两个大小不同的电压, 一个在测量 5V 电压时, 示值为 5.2V, 绝对误差为 0.2V; 另一个在测量 100V 电压时, 示值为 101V, 绝对误差为 1V。从绝对误差看, 后者误差大些。但从两者的相对误差来看, 前者的相对误差为 4%, 而后者相对误差为 1%, 可见前者测量的准确度要低些。在工程上, 一般用相对误差来估价测量结果的准确度。

3. 引用误差

测量仪表的绝对误差与仪表规定的基值之比叫仪表的引用误差 (fiducial error)。一般取仪表的量程 A_m 为基值, 则引用误差 δ_n 表示为

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

引用误差是用来表示仪表本身性能好坏的, 它表明了仪表基本误差的数值。仪表标尺有效范围内所出现的最大绝对误差 Δ_m 与仪表量程 A_m 的百分比, 称为最大引用误差 δ_{nm} , 即

$$\delta_{nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

一只合格的仪表, 在规定的正常工作条件下, 其最大引用误差应小于允许的数值。

第四节 常用电源的分类和参数

一、常用的实验电源

- (1) 直流电源。常用的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机、直流稳压电源等。
- (2) 交流电源。常用的交流电源是从电网经电力变压器获得的工频电源，中频发电机发出的中频（400Hz）电源，音频信号发生器发出的音频（20~20kHz）电源。
- (3) 其他电源。例如脉冲信号发生器等。

二、电源的参数

- (1) 直流电源的参数主要是额定电压和额定电流。

额定电压是电源在规定条件下工作时的输出电压值，如1、2、5号干电池的电压为1.5V，蓄电池的额定电压有2、4、12、24V等。

额定电流是指电源在规定条件下（主要是环境温度）工作时允许输出的最大电流，如JWY-30C型直流稳压电源的额定电流为1、3A等。

- (2) 交流电源的参数除额定电压和额定电流外，还有频率和功率因数。

- (3) 脉冲电源的参数主要有电压幅度、周期和脉冲宽度。

三、标准电池

1. 标准电池的主要技术参数

标准电池是保存和传递直流电动势的度量器。它是性能极其稳定的化学电池。按电解液的浓度划分为饱和式和不饱和式标准电池。标准电池按年稳定性分为若干等级，饱和型分为0.000 2、0.000 5、0.001、0.005、0.01级，不饱和型分为0.002、0.005、0.01级。标准电池准确度高，稳定性好，可靠性高，如BC24型0.01级不饱和标准电池，其电动势实际值为1.018 80~1.018 30V，电动势年变化小于100 μ V。

2. 标准电池的使用注意事项

- (1) 要根据标准电池的级别，在规定要求的温度下存放和使用。
- (2) 标准电池不能过载，严禁用电压表或万用表去测量标准电池的电动势。标准电池不能作电源使用。
- (3) 标准电池禁止摇晃和振动，严禁倒置。经运输后要放置足够长时间后再使用。
- (4) 检定证书和历年的检定数据是衡量一只标准电池好坏的依据，应注意保存。

第五节 电阻器、电感器、电容器

一、电阻器

1. 电阻器的主要技术参数

- (1) 标称阻值与允许误差。电阻器的阻值都是做成标准化的，称为标准系列。电阻器的允许误差是指实际阻值和标称阻值之间的偏差与标称阻值之比的百分数。

(2) 额定功率。它是指电阻器在一定的环境条件下，长期连续通电使用而不改变性能的允许功率。额定功率分别为1/8、1/4、1/2、1、2、3W等级。选用电阻器额定功率时应留有裕量。

(3) 额定电流。它是指电阻器长期通电使用允许流过的最大电流。一般可调电阻不标出额定功率而标出额定电流,工作时应使电流小于额定电流。

(4) 最大工作电压。它是指电阻器长期通电使用所能承受的最大电压。最大工作电压一般由额定功率和阻值来确定。

2. 电阻器的分类

电阻器按使用特点分为固定电阻器和可调电阻器。固定电阻器又分为碳膜电阻(RT),金属膜电阻(RJ)和绕线电阻(RX)等。

3. 电阻器的参数表示方法

(1) 直接标志法。直接在电阻器上标出电阻器的额定功率、阻值、允许误差等参数的方法,称为直接标志法。

(2) 色环表示法。一些体积较小的电阻常用色环表示电阻值与允许误差。色环一般有四环和五环,其中第一与第二、第三(五)环分别表示阻值的第一位与第二位、第三(五)位有效数字,倒数第二位色环表示有效数字后要乘以10的方次数,从而构成以 Ω (欧姆)为单位的阻值数,最后一位色环的色别表示允许误差。色环的色别表示的含义见表1-1和表1-2。

表 1-1 色环的色别与数字对照表

色别	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银
数值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	-1	-2

表 1-2 色环的色别与允许误差对照表

色 别	棕	金	银	漆膜本色
允许误差 (%)	± 1	± 5	± 10	± 20

二、电感器

1. 电感器的主要技术参数

(1) 电感量。电感量的大小由电感线圈的匝数、长度和磁芯材料确定。

(2) 品质因数。用于表征线圈的等效电阻所引起的能量损耗,由 $Q=\omega L/R$ 定义。

(3) 额定电流。用于表示线圈长期工作所允许通过的最大电流,额定电流的大小取决于线圈的线径和磁芯尺寸、线圈的匝数。

2. 电感的分类

(1) 低频扼流圈。它是一种具有铁芯的电感线圈,圈数多,电感量较大,额定电流较大。

(2) 高频电感线圈。它主要用于电子产品,一般作为调谐、耦合、高频扼流圈。

(3) 色码电感。一般以环氧树脂密封,电感量范围大约在几微亨到几十微亨之间。色码电感的色环含义与色环电阻相同。

三、电容器

1. 电容器的主要技术参数

(1) 标称容量。

(2) 耐压强度。它是指电容器在规定条件下,长期正常工作所能承受的最大电压。

(3) 绝缘电阻。它是指电容器两端所加直流电压与漏电流之比值,它取决于介质的材

料、面积和厚度。

(4) 损耗因数。它是指电容器介质极化与漏导所引起的能量损耗,用 $\tan\delta$ 表示,定义为损耗功率和电容器的无功功率之比。损耗角大的电容器不适于高频工作。

2. 电容器的分类

(1) 按所用介质分类。可分为瓷介质电容器、云母电容器、纸介电容器、有机薄膜(涤纶、聚苯乙烯)电容器、玻璃釉电容器、电解电容器、空气电容器等。

(2) 按电容器的变化情况分类。可分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器。

使用时,根据具体条件查找参数资料,进行选择。

第六节 测量数据处理

实际测量获取数据之后,还需要对其进行计算、分析和整理,有时还需要把数据归纳成一定的表达式或制成表格及曲线等,这就是数据处理。下面介绍数据处理的相关基本知识。

一、有效数字

测量中,由于测量误差的存在和测量仪器设备分辨率有限等原因,获得的数据通常是一个近似数。这个近似数从它左边第一个非零数字起至右边最后一位数字都被称为有效数字。

例如:

4.02 三位有效数字;

12×10^4 两位有效数字;

0.001 9 两位有效数字;

41.500 五位有效数字。

在有效数字中,只有最后一位才存在误差,称为欠准数字,其余都是准确的。同时要注意以下几点:

(1) 对数字末尾的零,若不为有效数字,则应用指数形式写出。例如,上例中 12×10^4 ,若写成 120 000,则有效数字就不是两位,而是六位。所以 12×10^4 与 120 000 的有效数字是不同的。

(2) 数字左边第一个非零数字前面的零不是有效数字。例如,上例中 0.001 9 为两位有效数字。

(3) 数字中间和右边的零都是有效数字。例如,上述 4.02 为三位有效数字,41.500 为五位有效数字。

二、有效数字的舍入规则

对于数字,当只需要 n 位有效数字时,对超过 n 位的数字按下面的舍入规则进行处理:

(1) 当 $n+1$ 位的数字大于 5 时则入。

(2) 当 $n+1$ 位的数字小于 5 时则舍。

(3) 当 $n+1$ 位的数字等于 5 时:①若 $n+1$ 位后面的数字不全为零则进 1;②若 $n+1$ 位后面没有数字或全为零,则看第 n 位,当第 n 位为奇数时进 1,第 n 位为偶数时舍去 5 不再进位。

例如,将下列测量数据删略成有效数字保留到小数点后第二位数字的数,则有

$73.9504 \rightarrow 73.95$

$33.22681 \rightarrow 33.23$

$189.935 \rightarrow 189.94$

$532.745 \rightarrow 532.74$

$63.0354 \rightarrow 63.04$

三、有效数字的运算规则

1. 加减法运算

当几个数相加减时,哪个数字的欠准数字的位数越高,就取哪一位作为欠准数字,其他采用四舍五入原则删略。为简化运算,可先进行删略后进行运算。

例如, $12.2838 + 13.03 + 6.69574 \approx 12.28 + 13.03 + 6.70 = 32.01$ 。

2. 乘除运算

一般有效数字相乘除时,其最后结果有效数字的位数与有效数字位数最少的那个数相同。

例如, $15.03 \times 4.12 = 61.9$ 。

3. 乘方、开方法则

在近似数乘方或开方时,原近似数中有几位有效数字,计算结果就可保留几位有效数字。

在电气测量中,一般能测出三至四位有效数字,故在数据运算中每一步应保留三至四位有效数字。

第七节 电气测量安全规则及触电防护急救

一、电气测量安全规则

在进行电气测量时,要按一定的操作程序进行,不得违反这些操作程序或操作方式,这样的操作就是规范操作。规范操作是安全、顺利完成测量的重要保证。例如在用电桥测量电阻时,对于电桥上的电源按钮开关和检流计按钮开关,在测量时应先按电源按钮,后按检流计按钮;调节平衡后应先断开检流计按钮,后断开电源按钮,否则可能损坏仪器。

进行测量时,测量者必须严肃认真,小心谨慎,任何轻率行动或松懈麻痹都可能导致人身事故或仪器、仪表的损坏。为了保证人身与设备的安全,必须遵守以下安全规则:

- (1) 接线前应先检查各仪器、仪表是否完好,连接导线是否破损;
- (2) 接线时,电源开关应处在断开的位置;
- (3) 测量电路连好后,应认真检查,确认正确后,方允许通电测量;
- (4) 接通电源前,应通知全体参与测量人员,使其注意电源已接通;
- (5) 操作前应有成熟的考虑,写出操作步骤,操作时要准确果断;
- (6) 测量时,禁止接触测量电路中的裸露部分;
- (7) 测量过程中如果发现异常现象,如异味、异声、温度过高或仪表超量限,要迅速切断电源,保持现场,然后进行分析处理;

(8) 如发现有人触电, 不要惊慌, 不要接触带电者, 应迅速切断电源。

二、触电防护急救

正确进行触电急救的步骤如下。

(一) 脱离电源

触电急救, 首先要使触电者迅速脱离电源, 越快越好。因为电流作用的时间越长, 伤害越重。

脱离电源就是要把触电者接触的那一部分带电设备的开关、闸刀或其他断路设备断开; 或设法将触电者与带电设备脱离。在脱离电源时, 救护人员既要救人, 也要注意保护自己。触电者脱离电源前, 救护人员不准直接用手触伤员, 因为有触电的危险; 如触电者处于高处, 解脱电源后会自高处坠落, 因此, 要采取预防措施。

对各种触电场合, 脱离电源采取如下措施。

1. 低压设备上的触电

触电者触及低压带电设备, 救护人员应设法迅速切断电源, 如拉开电源开关或闸刀, 拔除电源插头等, 或使用绝缘工具 (如干燥的木棒、木板、绳索等不导电的物体) 解脱触电者; 也可抓住触电者干燥而不贴身的衣服, 将其拖开, 切记要避免碰到金属物体和触电者的裸露身躯; 也可戴绝缘手套或将手用干燥衣物等包起绝缘后解脱触电者; 救护人员也可站在绝缘垫上或干木板上, 进行救护。

为使触电者与导电体解脱, 最好用一只手进行。如果电流通过触电者入地, 并且触电者紧握电线, 可设法用干木板塞到其身下, 与地隔离; 也可用干木把斧子或有绝缘柄的钳子等将电线剪断。剪断电线要分相、一根一根地剪断, 并尽可能站在绝缘物体或干木板上进行。

2. 高压设备上触电

触电者触及高压带电设备, 救护人员应迅速切断电源, 或用适合该电压等级的绝缘工具 (戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒) 解脱触电者。救护人员在抢救过程中应注意保持自身与周围带电部分必要的安全距离。

3. 架空线路上触电

若触电发生在架空线杆塔上, 如系低压带电线路, 能立即切断线路电源的, 应迅速切断电源, 或者由救护人员迅速登杆, 束好自己的安全带后, 用带绝缘胶柄的钢丝钳、干燥的不导电物体或绝缘物体将触电者拉离电源; 如系高压带电线路, 又不可能迅速切断开关的, 可采用抛挂足够截面的适当长度的金属短路线方法, 使电源开关跳闸。抛挂前, 将短路线一端固定在铁塔或接地引下线上, 另一端系重物, 但抛掷短路线时, 应注意防止电弧伤人或断线危及人身安全。不论是何种电压线路上触电, 救护人员在使触电者脱离电源时都要注意防止发生高处坠落的可能和再次触及其他有电线路的可能。

4. 断落在地的高压导线上触电

如果触电者触及断落在地上的带电高压导线, 如尚未确认线路无电, 救护人员在未做好安全措施 (如穿绝缘靴或临时双脚并紧跳跃地接近触电者) 前, 不能接近断线点的 8~10m 范围内, 以防止跨步电压伤人。触电者脱离带电导线后亦应迅速带至 8~10m 以外, 并立即开始触电急救。只有在确定线路已经无电时, 才可在触电者离开触电导线后, 立即就地进行急救。

(二) 伤员脱离电源后的处理

触电伤员如神志清醒者,应使其就地躺平,严密观察,暂时不要站立或走动。

触电伤员神志不清者,应就地仰面躺平,确保其气道通畅,并用5s时间呼叫伤员或轻拍其肩部,以判定伤员是否意识丧失。禁止摇动伤员头部呼叫伤员。

需要抢救的伤员,应立即就地坚持正确抢救,并设法联系医疗部门接替救治。

(三) 呼吸、心跳情况的判定

触电伤员如意识丧失,应在10s内用看、听、试的方法,判定伤员的呼吸、心跳情况。

看:伤员的胸部、腹部有无起伏动作。

听:用耳贴近伤员的口鼻处,听有无呼气声音。

试:试测口鼻有无呼气的气流,再用两手指轻试一侧(左或右)喉结旁凹陷处的颈动脉有无搏动。

若看、听、试的结果为既无呼吸又无颈动脉搏动,则可判定呼吸、心跳停止。

(四) 心肺复苏

触电伤员呼吸和心跳均停止时,应立即采取心肺复苏法正确进行就地抢救。心肺复苏措施主要有以下操作步骤。

1. 通畅气道

触电伤员呼吸停止时,重要的是始终确保气道通畅。如发现伤员口内有异物,可将其身体及头部同时侧转,迅速用一个手指或两手指交叉从口角处插入,取出异物。操作中要注意防止将异物推到咽喉深部。

通畅气道可采用仰头抬颌法,用一只手放在触电者前额,另一只手的手指将其下颌骨向上抬起,两手协同头部推向后仰,舌根随之抬起,气道即可通畅。严禁用枕头或其他物品垫在伤员头下,头部抬高前倾,会加重气道阻塞,并使胸外按压时流向脑部的血流减少,甚至消失。

2. 口对口(鼻)人工呼吸

在保持伤员气道通畅的同时,救护人员用放在伤员额上的手的手指捏住伤员鼻翼,救护人员深吸气后,与伤员口对口紧合,在不漏气的情况下,先连续大口吹气两次,每次1~1.5s,如两次吹气后试测颈动脉仍无搏动,可断定心跳已经停止,要立即同时进行胸外按压。

除开始时大口吹气两次外,正常口对口(鼻)呼吸的吹气量不需过大,以免引起胃膨胀。吹气和放松时要注意伤员胸部应有起伏的呼吸动作。吹气时如有较大阻力,可能是头部后仰不够,应及时纠正。触电伤员如牙紧闭,可口对鼻人工呼吸。口对鼻人工呼吸吹气时,要将伤员嘴唇紧闭,防止漏气。

3. 胸外按压

(1) 按压位置。正确的按压位置是保证胸外按压效果的重要前提。确定正确按压位置的步骤为:①右手的食指和中指沿触电伤员的右侧肋骨下缘向上,找到肋骨和胸骨接合处的中点;②两手指并齐,中指放在切迹中点(剑突底部),食指平放在胸骨下部;③另一只手的掌根紧挨食指上缘,置于胸骨上,即为正确按压位置。

(2) 按压姿势。正确的按压姿势是达到胸外按压效果的基本保证,正确的按压姿势应符