

城镇(农村) 工矿企业电工培训教材

(高级工)

电气仪表

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

TM93
H084

197502

TM93
H084

企业电工培训教材

电 气 仪 表

(高级工)

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是原电力工业部颁《电力工人技术等级标准》城镇(农村)工矿企业电气仪表部分配套教材的高级工部分。

全书共分十一章,主要阐述了交直流稳压电源的结构原理、技术指标;直流电桥、电位差计、仅用互感器的工作原理和检定方法;电能表的现场接线检查、误差校验方法;二次回路配电盘的布置与安装;较高精度指示仪表的检定方法;数字万用表、特种电能表介绍。为了便于培训和考核,每章之后均附有复习题。

本书供城镇(农村)工矿企业电测仪表人员完成中级工培训任务后的高级工学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

电气仪表:初、中、高级工/山西省电力局编.-北京:
中国电力出版社,2000

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

ISBN 7-5083-0242-7

I. 电… I. 山… III. 电工仪表-技术培训-教材
N. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 02480 号

电 气 仪 表 (高级工)

中国电力出版社出版、发行

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

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

2000 年 7 月第一版 2000 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 8.5 印张 182 千字 1 插页
印数 0001—3000 册 全三册定价 41.00 元(本册 16.00 元)

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

编审委员会

名 誉 主 任：卞学海 李振生
主 任：刘润来
常 务 副 主 任：郭连邦
副 主 任：程忠智 宗 健 徐 奇 贺至刚
张克让 王靖中 杨定鑫 程纪奎
顾希衍 王文杰 郑承平 刘玉柱
委 员：周 新 郭林虎 李 禄 阎刘生
乔文普 李 波 吴秀初 杨 忠
卫克俭 苑连池 杨德水
办 公 室 主 任：杨定鑫 (兼)
办 公 室 副 主 任：乔文普 陈 涛 姜丽敏 郭林虎
办 公 室 工 作 人 员：曹 璘 王荣辉 罗 琳

《电气仪表》高级工编写人员

主 编：韩俊萍
参 编：姚永东 郭文斌 蔚晓明 何科泰
李大生

前 言

根据原电力部教育工作会议的精神和中电联教培部《关于电力工业培训教材建设工作的意见》，在部领导的关怀下，山西省电力工业局和中国电力出版社经协商研究后，决定编写出版这套《城镇（农村）工矿企业电工培训教材》。

我国工矿企业和农村，目前约有 300 万电工在从事电力设施的安装、检修、运行维护和试验工作，他们是建设和发展供用电事业，维护供用电设施安全的一支重要生力军。随着我国电力事业的不断发展和电力科学技术的进步，对这支生力军的整体素质也相应地提出了更高的要求。为此，编写一套适用于城镇（农村）工矿企业电工培训学习的教材，是当务之急，也是我们电力管理和电力出版部门义不容辞的责任。

本套丛书的内容覆盖了变配电设备运行、检修、安装，供电线路施工、运行、检修，电机检修，电气试验，电气仪表及内线工程施工和检修等 8 个工种对初、中、高级工的技术要求，每个工种分初、中、高级工 3 个分册出版，共 24 个分册。

在编写本套丛书的过程中，着重根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半年余，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的培训教材，深

信是紧扣工人技术等级标准的实用性教材。

城镇(农村)工矿企业电工培训教材,体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则,尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法,其内容涉及电压等级从高压 110kV 到 3kV,低压 500V 及以下电工所需的技术基础知识和技能知识。与每一工种对应的初、中、高级工 3 个分册,自成一个小的系列,呈阶梯式递进,内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样,解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。

本分册是《电气仪表》高级工培训教材,全书共十一章。第一章由姚永东同志编写,第二、三章由郭文斌同志编写,第五章由蔚晓明同志编写,第五、六、七章由韩俊萍同志编写,第八、九、十章由何科泰同志编写,第十一章由李大生同志编写。全书由韩俊萍同志任主编,杨守辰同志任副主编,山西电力科学院高级工程师张同福同志任主审。

在编写这套丛书的过程中,得到了原电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持,同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助,他们为本书提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议,在此一并表示衷心感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中,如发现有不妥之处或有需要修改的意见,敬请随时函告,以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1998 年 4 月

目 录

前言

第一章 误差理论的基础知识 1

第一节 测量误差的分类 1

第二节 消除系统误差的方法 4

第三节 常用函数的误差传递公式 8

第四节 误差合成的几种方法 13

第五节 微小误差准则 18

复习题 21

第二章 交流稳压电源 24

第一节 电子交流稳压器技术指标 24

第二节 电子交流稳压器 26

第三节 交流稳压器的的发展 34

复习题 38

第三章 直流稳压电源 40

第一节 直流稳压电源技术指标 40

第二节 直流稳压电源的组成及原理 41

第三节 开关稳压电源 54

第四节 直流标准电压发生器 57

复习题 59

第四章 数字万用表 61

第一节 A/D 转换器 61

第二节 数字万用表的工作原理 65

第三节	数字万用表简单故障分析	78
复习题		80
第五章	电测量指示仪表的检定	83
第一节	直流补偿法	83
第二节	热电比较法	88
第三节	数字表法	92
复习题		94
第六章	直流电桥	97
第一节	直流电桥的分类	97
第二节	直流单电桥	98
第三节	直流双电桥	103
第四节	直流电桥的使用方法及注意事项	107
第五节	直流电桥的检定	109
复习题		123
第七章	直流电位差计	126
第一节	直流电位差计的分类及工作原理	126
第二节	几种常见的测量线路	130
第三节	直流电位差计的应用	137
第四节	直流电位差计的检定	144
复习题		159
第八章	电能表的现场接线检查和误差	
校验方法		162
第一节	电能计量装置现场检验的项目和内容	163
第二节	电能表接线检查和现场误差校验方法	168
第三节	实用倍率的计算和电量的抄读	176
第四节	错误接线更正系数的计算	179

复习题.....	182
第九章 特种电能表	186
第一节 标准电能表.....	186
第二节 最大需量表.....	188
第三节 分时计量电能表.....	190
第四节 全电子式多功能电能表.....	194
复习题.....	198
第十章 仪用互感器	202
第一节 电流互感器.....	202
第二节 电压互感器.....	213
第三节 仪用互感器的检定.....	225
复习题.....	243
第十一章 二次回路配电盘的安装	249
第一节 配电盘与屏面布置.....	249
第二节 盘内接线.....	250
复习题.....	256

误差理论的基础知识

第一节 测量误差的分类

在误差理论中，根据在测量过程中出现误差的性质、来源及对测量结果的影响，一般将测量误差分为以下三类：系统误差、随机误差、粗大误差。

一、系统误差

在完全相同的条件下多次重复测量同一物理量时，如果测量结果的误差大小和符号始终不变；或条件改变时，测量结果的误差按某一确定规律而变化，这类误差称之为系统误差。更确切地说，系统误差可定义为在偏离测量规定条件时或因测量方法所引入的因素而出现的按某确定规律而变化的误差。

系统误差主要来源于以下几个方面：

(1) 在测量过程中所使用的测量器具存在缺陷或不完善而形成的误差。由于这是因所用的工具或仪器不准引起的，故称为工具误差或仪器误差。

(2) 测量时，当周围环境（如温度、湿度、压力、电磁场、电源频率及重力加速度等）的影响量发生变化，致使仪器、设备的结构参数发生变化而给测量结果带来的误差。此

项误差通常称为环境误差。

(3) 由于一些原因, 某些仪器或设备在进行测量之前不能按要求调好零位, 使仪器呈现一定的初始值, 从而给测量结果带来误差。这种误差通常称为零位误差, 简称零差。

(4) 在测量过程中, 未按使用条件的规定放置某些仪器或设备; 未按正确方法接地或屏蔽; 或未用专用连接导线的某些电磁测量和无线电测量的仪器或设备, 均会给测量结果带来误差, 这种误差被称为装置误差。

(5) 测量时采用的方法不完善或引用的理论根据有缺陷, 以及在推导一些测量公式时, 所做的理想的假设与实际测量条件存在差异, 以及在推导过程中引用了近似计算公式, 都会给测量结果带来误差, 这种误差称为方法误差或理论误差。

(6) 在测量过程中, 由于测量人员感觉器官生理上的差异和读数习惯、反应速度及分辨能力的差别, 都会给测量结果带来误差, 通常称之为人员误差。

上述这些误差, 在实际测量工作中是经常发生的, 就系统误差的特点来说, 是一种规律性误差。这些规律的发现和消除, 对提高测量工作水平有重大的意义。我们应掌握其规律, 引入相应的修正值和采用完善的测量方法, 尽可能使其减小或消除, 以达到提高测量精度的目的。

二、随机误差

随机误差又称为偶然误差, 它是指在对同一量的多次测量过程中, 以不可预知的方式变化的测量误差分量。随机误差是不可避免的, 是不能靠试验方法予以消除或更正的。

随机误差主要是由于许多互不相关的影响量对测定值的综合影响所造成的。电磁场的微变、环境热流的起伏、对流空气的扰动、大地的微震、测量操作人员感觉器官的生理变

化等，都是影响随机误差的因素，它们对某一系列测量的影响是没有一定规律的。

从表面上看，每次测出的随机误差是没有什么规律的，既不可预测，也无法控制。但在测量次数增多的情况下，它在总体上仍遵循一定的规律，这个规律就是统计学规律。并且测量次数愈多，这种规律表现的愈明显。其规律性表现在如下四个方面：

(1) 有界性。在一定的测量条件下，偶然误差的绝对值不会超过某一界限。

(2) 单峰性。经过大量测量，发现绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多。

(3) 对称性。绝对值相等符号相反的误差出现的机会均等。

(4) 抵偿性。以相等的精度测量某一物理量时，其随机误差的算术平均值随着测量次数的无限增多，而越来越接近于零。

随机误差的这些特性，表现为图 1-1 所示的曲线，该曲线就是通常所说的正态分布曲线。横坐标为随机误差，同一误差数值出现的次数为纵坐标。可以看出此曲线是有界的，左右对称，中间高，若两边一平均，则因左右对称，故平均值为零。

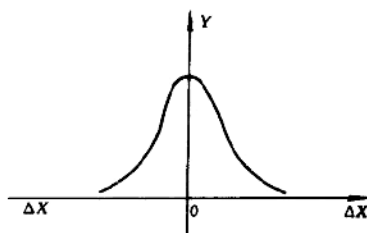


图 1-1 随机误差正态分布曲线

随机误差的种种性质，只有在多次测量时才能发现，它只影响测量结果的精密程度。所谓精密程度，是指测量数据的重复性好还是差。重复性好即精密度高，反之则精密度差。总之，精密度是反映随机误差大小的程度。在工程测量中因其影响较小，一般不予考虑。

三、粗大误差

与在正常测量情况下出现的误差相比，明显地偏离了测量结果的误差称为粗大误差，也叫疏失误差。

这种误差主要是由于测量者粗心，操作有误，或是测量条件突变而又未能发现等原因造成的。如错误读取示值，采用已失准的计量器具及计量器具使用不正确等。对于含有粗大误差的测量结果应该舍弃，因为它不能反映测量设备的真实测量精度。

第二节 消除系统误差的方法

为了消除测量结果的系统误差，在测量之前必须预先估计到产生系统误差的原因，以便采取相应的方法去消除这些影响。常用方法有以下几种。

一、测量前对系统误差进行修正

当用某一仪器设备进行测量之前，应先对其进行检定，以得到其系统误差或修正值。如果是因为周围环境的变化而引起设备的系统误差，则应确定有关影响量与系统误差之间关系的修正公式，以便对测量结果进行修正。

二、消除产生系统误差的根源

在进行任何一项测量工作之前，必须认真地注意可能产生系统误差的各种因素，然后采取正确的方法以减少这些因

素的影响。例如，调好被试品零位及指零仪的水平；采取必要措施防止电磁干扰；标准电池与标准电阻在使用时要保证其温度恒定；选择正确的观察位置以消除视差等，这些都是为了消除产生系统误差的根源。

三、采用特定的测量技术

1. 替代法

在测量仪器工作状态不变的情况下，将被测量用一个可调的标准量代替。这样处理，由测量仪器所产生的系统误差便被消除了。

替代法测量举例如下：用替代法通过直流电桥测量电阻时，其原理线路如图 1-2 所示。

先将转换开关 S 接通至位置“1”处，调节比较臂 R 使检流计 G 指示在零位，电桥平衡。则有

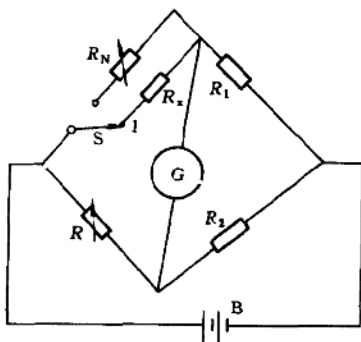


图 1-2 等量替代法测电阻

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R \quad (1-1)$$

由上式可以看出，被测量 R_x 的测量结果与电桥中桥臂电阻 R_1 、 R_2 及 R 的准确度有直接关系。如果桥臂电阻本身不准，必将给测量结果带来一定的系统误差。

为了克服电桥所带来的测量误差，可在测完 R_x 之后，立刻将开关 S 转换至接通可调标准电阻 R_N 的位置，保持 R_1 、 R_2 、 R 的阻值不变，调节 R_N 使电桥重新达到平衡。于是得

$$R_N = \frac{R_1}{R_2} \cdot R \quad (1-2)$$

比较式 (1-1) 与式 (1-2) 可得

$$R_x = R_N \quad (1-3)$$

可见, 被测电阻 R_x 的测量结果只与 R_N 有关, 而与电桥的参数无关, 故可消除电桥产生的系统误差。

2. 换位抵消法

这种方法是交换被测量在测量系统中的位置或测量方向, 因两次测量过程所产生的系统误差对测量结果起相反作用, 从而可达到相互抵消影响的目的。

换位抵消法举例如下:

用比较电桥测量电阻 R_x 时, 常采用 $R_1/R_2=1$ 的等比例臂形式。用换位方式进行两次测量, 测量线路如图 1-3 所示。

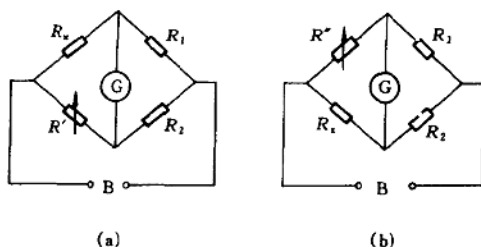


图 1-3 用换位抵消法测电阻

(a) 换位前; (b) 换位后

第一次, 调节比较臂使 $R=R'$, 电桥平衡, 则有

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R' \quad (1-4)$$

第二次, 将 R_x 与 R 的位置交换, 再调节比较臂使 $R=R''$, 电桥再次达到平衡, 又可得

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R'' \quad (1-5)$$

将式 (1-4) 与式 (1-5) 相乘并开方, 便可得到

$$R_x = \sqrt{R_1' \cdot R''} \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 可以看出, 这种方法测量 R_x 时, 测量结果与比值 R_1/R_2 无关, 从而可消除因桥臂 R_1 与 R_2 不绝对相等而引起的系统误差。

3. 正负误差抵消法

这种方法是靠适当地安排测量步骤, 使某项系统误差在一次测量中为止, 然后使其在另一次测量中为负, 取两次测量结果的平均值, 便可消除此项系统误差的影响。

正、负误差抵消法举例如下:

用磁电系仪表测量电流时, 如果外界的恒定直流磁场不可能减小到可忽略的程度, 则可采用下述方法来消除外磁场的影响。设电流表在不受磁场影响时的指示值应为 α , 而在第一次实际测量时, 由于有外磁场的影响而得到的指示值为

$$\alpha' = \alpha + \Delta\alpha \quad (1-7)$$

然后, 将电流表相对于原来的空间位置旋转 180° , 再进行第二次测量, 这时, 由于外磁场的影响是与原来影响反向的, 故这时得到的指示值应为

$$\alpha'' = \alpha - \Delta\alpha \quad (1-8)$$

如果取两次测量结果的平均值, 则得

$$\alpha = \frac{1}{2} (\alpha' + \alpha'') \quad (1-9)$$

可见, 在平均值中外磁场影响所造成的系统误差已被消除了。

以上介绍的几种消除系统误差的方法, 在实际测量中, 仍不能达到完全消除误差的目的, 还会有一些残余误差。又加

上实际测量中通常是多种系统误差并存的，这就需要将这几种方法组合起来使用，以达到最佳效果。

第三节 常用函数的误差传递公式

在实际测量工作中，被测量的值往往不是可以直接测得的，而是需要直接测量若干个有关参量，然后通过一定的计算才能得到被测量的值。因此，需要将若干项局部误差合成为综合误差，为此必须首先了解以下几种误差传递公式。

一、和与差的误差

假设被测量为 y ，它是由两个直接测量的量 x_1 与 x_2 之和或差决定的，即

$$y = x_1 \pm x_2 \quad (1-10)$$

如果用 y_0 、 x_{10} 与 x_{20} 分别代表 y 、 x_1 与 x_2 的真值；用 Δy 、 Δx_1 与 Δx_2 分别代表它们的绝对误差，则根据绝对误差的定义，可得

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_1 &= x_1 - x_{10} \\ \Delta x_2 &= x_2 - x_{20} \\ \Delta y &= y - y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

将式 (1-11) 代入式 (1-10)，则有

$$\begin{aligned} y &= (x_{10} + \Delta x_1) \pm (x_{20} + \Delta x_2) \\ &= (x_{10} \pm x_{20}) + (\Delta x_1 \pm \Delta x_2) \\ &= y_0 + (\Delta x_1 \pm \Delta x_2) \end{aligned}$$

由此可得

$$\Delta y = y - y_0 = \Delta x_1 \pm \Delta x_2 \quad (1-12)$$

这就是和与差的绝对误差合成公式。

取 Δy 与 y_0 之比值，则得