



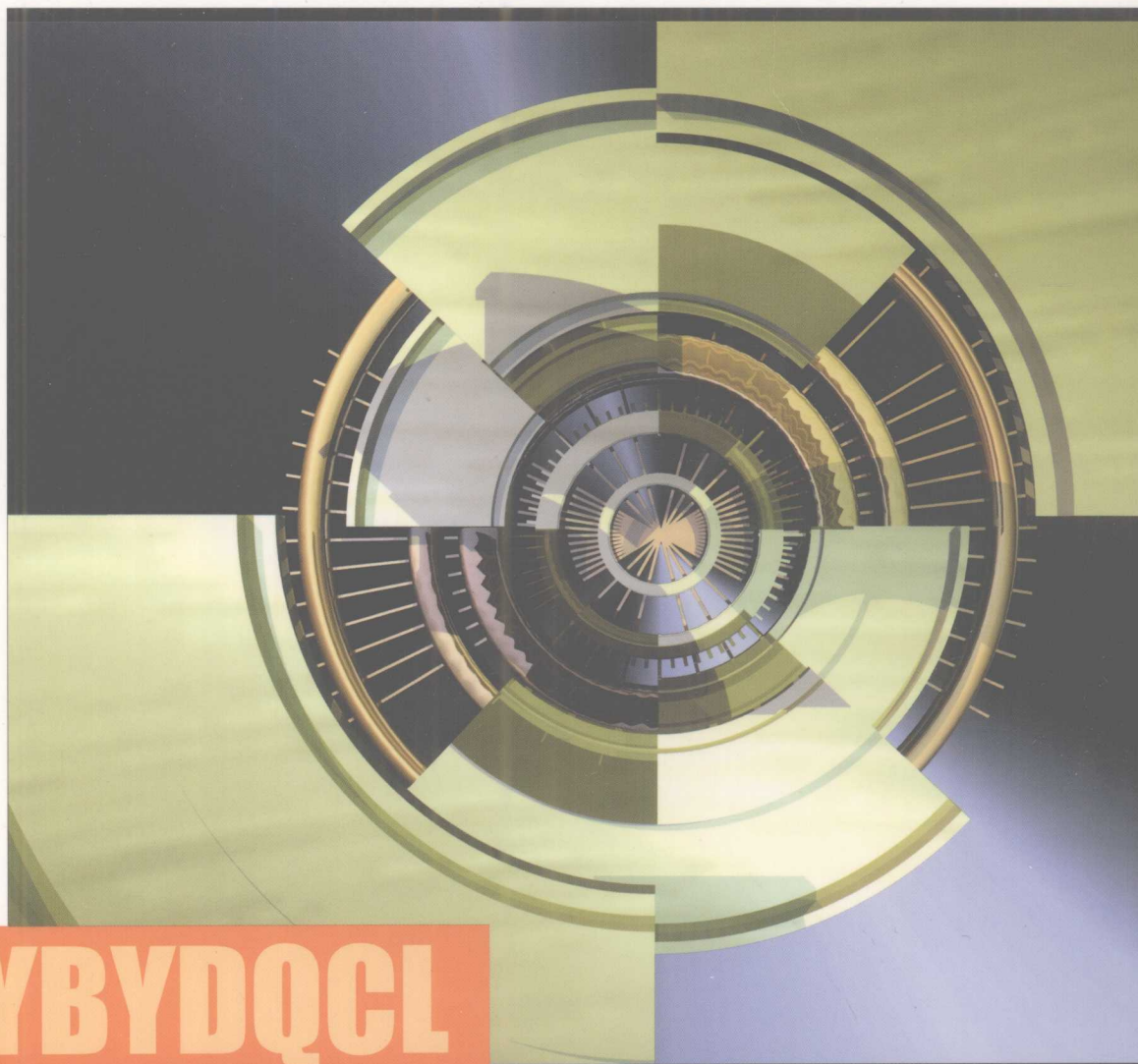
全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITI HUA JIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

电工仪表与电气测量

DIANGONG YIBIAO YU DIANQI CELIANG

主编 温希忠 张志远



DGYBYDQCL



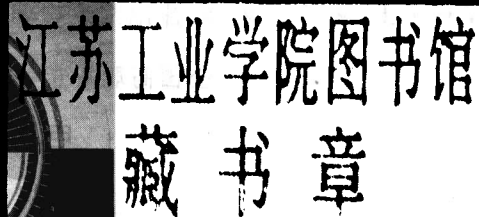
山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn



QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITI HUA JIAOXUE DIANQI ZHUANYE TONGYONG JIAOCAI

DIANGONG YIBIAO YU DIANQI CELIANG

主编 温希忠 张志远



 山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工仪表与电气测量/温希忠, 张志远主编. — 济南: 山东科学技术出版社, 2007. 9

全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

ISBN 978 - 7 - 5331 - 4787 - 7

I. 电... II. ①温... ②张... III. 电气测量—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128468 号

《电工仪表与电气测量》编者

主 编: 温希忠 张志远

副主编: 赵中波 景 秀

参编者: 纪克玲 史 玲 袁 毅

孙美英 王慧云 赵 英

李凤荣 李海勇 胡 波

全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

电工仪表与电气测量

主编 温希忠 张志远

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpress.com.cn

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印刷者: 山东旅科印务有限公司

地址: 济南市九曲路 7 号

邮编: 250012 电话: (0531) 82742156

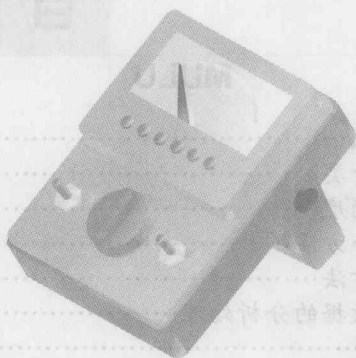
开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 20

版次: 2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5331 - 4787 - 7

定价: 30.00 元



本书是技术类院校电气、电子专业的专用教材,是编者根据多年的实际教学经验,依据劳动部的《国家职业技能鉴定标准》编写而成,特别适合于职业技术类院校电气自动化专业高级层次的在校学生使用,也可作为机电一体化、电子等专业的专业课本和从事相关专业的工程技术人员自学参考用。

现代科技的发展,新材料、新技术、新工艺和新设备的发展速度越来越快,新的仪器仪表和测试手段也随之不断更新。为适应这种变化和现实需要,本书在内容的编写上,力求将传统测量方法、测量工具与最新的测试技术和仪器仪表相结合,突出实际运用,使学生既懂得电气测量的基本方法和技术,又掌握现代仪器仪表的最新测试方法。

全书共分五章,内容包括:电气测量的基本知识、电工仪表的使用与维护、常用电子仪器与测量方法、传感器和自动测试系统。内容的选取上尽可能多地与实际运用相结合,淘汰一些老旧知识,增加一些本领域内的最新知识。

本书的第一、三、五章由张志远编写;第二、四章由景秀和张志远两人共同完成。图片的处理和部分内容的修改由济南技术学院李凤荣、袁毅和胡波老师协助完成;同时也得到了编写组成员纪克玲、史玲、袁毅、孙美英、王慧云、赵英、李凤荣、李海勇、胡波、赵中波等的支持。张志远负责全书的总体策划与统稿。

编者在编写过程中参阅了大量的相关教材、教辅参考书、专业文章及技术资料和图片等文献,在此向原作者致以衷心的感谢。如有不敬之处,恳请见谅!

山东大学的冯显英教授在本书的编写过程中给予了大力的支持,对本教材进行了仔细审阅,并提出了许多宝贵的意见;同时也得到了有关厂家和技术人员的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限,加之时间上比较仓促,书中的错漏和欠妥之处难免,恳请广大同行和读者给予批评指正。

编 者

第一章 电气测量的基本知识	1
第一节 常用电工仪表的分类.....	1
第二节 仪表的误差和准确度.....	3
第三节 测量误差及其减小方法.....	5
第四节 常用的电气测量方法.....	8
第五节 有效数字和测量数据的分析处理.....	9
习题	14
第二章 电工仪表的使用与维护	15
第一节 基本知识	16
第二节 电流和电压的测量	19
第三节 电阻的测量	30
第四节 电功率和功率因数的测量	41
第五节 电能的测量	57
第六节 模拟式万用表	72
第七节 数字式万用表	78
第八节 转速表	96
实验与实训.....	103
习题.....	115
第三章 常用电子仪器与测量方法	119
第一节 概述.....	119
第二节 函数信号发生器.....	120
第三节 通用示波器.....	133
第四节 双踪示波器.....	150
第五节 数字存储示波器.....	167
* 第六节 GDS-800 系列数字存储示波器	172
第七节 晶体管特性图仪.....	200
实验与实训.....	212
习题.....	215
第四章 传感器	219
第一节 模拟式传感器.....	220
第二节 数字式传感器.....	235
第三节 新型传感器.....	248
实验与实训.....	257
习题.....	268
第五章 自动测试系统	270
第一节 基本知识.....	270
第二节 GPIB 通用接口总线	273
第三节 VXI 总线	279
第四节 虚拟仪器.....	285
第五节 抗干扰技术.....	292
实验与实训.....	304
习题.....	313
参考文献	315

注:带“*”的章节内容可选讲。

第一章 电气测量的基本知识

本章要点

- 了解常用电工仪表的分类方法。
- 掌握电工仪表误差的分类、误差的表示方法以及准确度的概念。
- 掌握测量误差的来源、分类及减小方法;了解准确度、精密度和精确度的概念。
- 掌握电气测量的测量方法。
- 了解有效数字的概念及运算规则,掌握测量数据的分析方法。

测量的目的是准确地获取被测参数的真实值。测量可以使人们发现并获得客观事物的一般规律。所谓的电气测量,就是将被测的电量、磁量或电参数与同类标准量进行比较,从而确定出被测量大小的过程。比较方法不同,测量方法及其引起的测量结果的误差大小也不相同。在电气测量中,除应根据测量对象正确选择和使用仪器仪表外,还必须采取合理的测量方法,掌握正确的操作技能,以便尽可能地减小测量误差。

第一节 常用电工仪表的分类

一、指示仪表

电工指示仪表的特点是能将被测量转换为仪表可动部分的机械偏转角,并通过指示器直接指示出被测量的大小,故也称为直读式仪表。

1. 按工作原理分

主要有磁电系仪表(C)、电磁系仪表(T)、电动系仪表(D)、感应系仪表(G)。如直流电路中用到的安培表和伏特表属于磁电系仪表,测量负载功率的瓦特表属于电动系仪表、计量电能的感应系仪表等。



2. 按使用方法分

有安装式、便携式两种。安装式仪表是固定安装在开关板或电气设备面板上的仪表，又称面板式仪表。它的准确度一般不高，广泛应用于发电厂、配电所的运行监视和测量中；便携式仪表是可以携带的仪表，其准确度较高，广泛应用于电气试验、精密测量及仪表检定中。

3. 按被测量的名称分

有电流表、电压表、功率表、电能表、频率表、转速表等。

4. 按准确度等级分

有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共七级。数字越小，仪表的误差越小，而仪表的准确度等级越高。

5. 按使用条件分

有 A、B、C 三组类型的仪表。A 组仪表适用于环境温度 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ；B 组仪表适用于 $-20 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ；C 组仪表适用于 $-40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

6. 按被测电流种类分

有交流仪表、直流仪表、交直流两用仪表。

二、比较仪表

比较仪表是一种通过被测量与同类标准量进行比较，再确定被测量大小的仪表，分直流比较仪表和交流比较仪表两大类，如直流单臂电桥、直流双臂电桥、数字电桥、指零仪等。常用的测量单位及其符号见表 1-1。

三、数字式仪表

数字式仪表是一种采用数字测量技术，以数码的形式直接显示出被测量大小的仪表。数字式仪表的种类很多，常用的有数字式电压表、数字式万用表、数字式频率表等。

表 1-1 常用的测量单位及其符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
千安	kA	瓦特	W	毫欧	mΩ
安培	A	兆乏	Mvar	微欧	μΩ
毫安	mA	乏千	kvar	相位角	φ
微安	μA	乏尔	var	功率因数	cosφ
千伏	kV	兆赫	MHz	无功功率因数	sinφ
伏特	V	千赫	kHz	微法	μF
毫伏	mV	赫兹	Hz	皮法	pF
微伏	μV	兆欧	MΩ	亨	H
兆瓦	MW	千欧	kΩ	毫亨	mH
千瓦	kW	欧姆	Ω	微亨	μH



第二节 仪表的误差和准确度

一、仪表的误差及分类

仪表的误差是指无论哪种电工仪表,也不论其质量多高,它的测量结果与被测量的实际值之间总会存在一定的差值。准确度是指仪表的测量结果与实际值的接近程度。可见,仪表的准确度越高,误差就越小。误差值的大小可以用来反映仪表本身的准确程度,在技术参数中,仪表的准确度被用来表示仪表的基本误差。

根据产生误差的原因不同,仪表误差分为两类:

1. 基本误差

仪表在正常工作条件下(指规定的温度和放置方式,没有外电场和外磁场的干扰等),由于仪表的结构、工艺等方面的不完善而产生的误差叫基本误差。基本误差是仪表本身所固有的误差,是无法消除的。

2. 附加误差

仪表因为偏离了规定的工作条件(如温度、频率、波形的变化超出规定的条件,工作位置不当或存在外电场和外磁场的影响时)而产生的误差叫附加误差。附加误差实际上是一种因外界工作条件改变而造成的额外误差,是可以避免的。

二、误差的表示方法

1. 绝对误差(Δ)

绝对误差是指仪表的指示值 A_x 与被测量实际值 A_0 之间的差值,用 Δ 表示,即

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

在实际应用中,对准确度较高的仪表,常常给出该表的校正值(C),它与绝对误差的关系是互为相反数,即

$$C = -\Delta \quad (1-2)$$

在测量过程中, C 被用来校正被测量的指示值,以提高测量的准确度。如图 1-1 给出了某一电流表的校正曲线,从曲线上可知该电流在不同的指示值时所具有的绝对误差,其中的最大绝对误差 Δ_m 为 0.13A 。若在测量前知道仪表的校正值(用曲线或表格给出),就可以求得被测量的真实值。

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

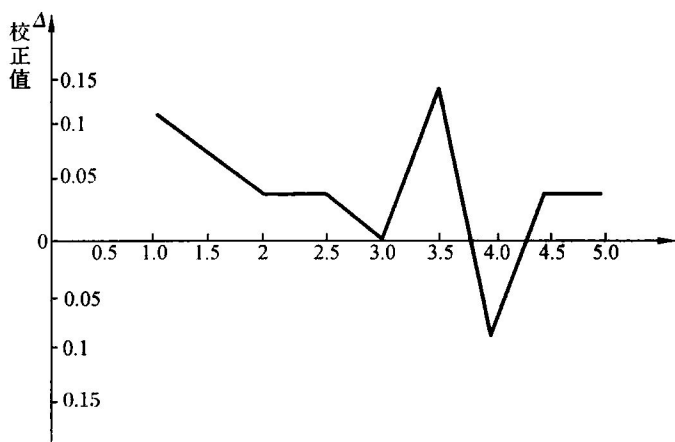


图 1-1 校正曲线

2. 相对误差(γ)

绝对误差 Δ 与被测量实际值 A_0 比值的百分数, 叫做相对误差 γ , 即

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

【例 1-1】 已知甲表测量 200V 电压时 $\Delta_1 = +2V$, 乙表测量 10V 电压时 $\Delta_2 = +1V$, 试比较两表的相对误差。

解: 甲表相对误差为 $\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{2}{200} \times 100\% = 1\%$

乙表相对误差为 $\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{1}{10} \times 100\% = 10\%$

甲表的绝对误差 Δ_1 是乙表绝对误差 Δ_2 的 2 倍, 但从绝对误差对测量结果的影响来看, 因为甲表的绝对误差只占被测量的 1%, 而乙表的绝对误差却占被测量的 10%, 甲表的相对误差小, 乙表的相对误差大。实际测量中, 相对误差不仅常用来表示测量结果的准确程度, 而且便于在测量不同大小的被测量时, 对其测量结果的准确程度进行比较。

3. 引用误差(γ_m)

一般采用引用误差来反映仪表的准确程度。绝对误差 Δ 与仪表量程 A_m 比值的百分数, 叫引用误差, 即

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

三、仪表的准确度

工程上规定以最大引用误差来表示仪表的准确度。仪表的最大绝对误差与仪表量程 A_m 比值的百分数, 叫做仪表的准确度 ($\pm K\%$), 即

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

式中: K ——仪表的准确度等级。 K 越大, 仪表的准确度等级越低; K 越小, 仪表的准确度



越高。根据国标规定,我国生产的电工仪表的准确度共分七级。

【例1-2】用准确度等级为2.0级、量程为100A的电流表,分别测量5A和100A的两个电流,求其相对误差各为多少?

解:先求出该表的最大绝对误差

$$\Delta_m = \pm K\% \times A_m = \pm 2.0\% \times 100 = \pm 2.0(\text{A})$$

$$\text{测 } 5\text{A 的电流时, } \gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_o} \times 100\% = \frac{\Delta_m}{A_o} \times 100\% = \pm \frac{2}{5} \times 100\% = \pm 40\%$$

$$\text{测 } 100\text{A 的电流时, } \gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_o} \times 100\% = \frac{\Delta_m}{A_o} \times 100\% = \pm \frac{2}{100} \times 100\% = \pm 2\%$$

第三节 测量误差及其减小方法

测量误差是指测量值与实际值之间的差值。

一、误差的来源

1. 仪器误差

仪器仪表本身及其附件所引入的误差称为仪器误差。例如电桥中的标准电阻,天平的法码,示波器的探极线等都含有误差。仪器、仪表的零位偏移、刻度不准确以及非线性等引起的误差均属此类。

2. 影响误差

由于各种环境因素与要求条件不一致所造成的误差称为影响误差,例如温度、电源电压、电磁场影响等所引起的误差。

3. 方法误差和理论误差

由于测量方法不合理所造成的误差称为方法误差。例如用普通万用表测量高内阻回路的电压,由于万用表的输入电阻较低而引起的误差。另外,用近似公式或近似值计算测量结果时,所引起的误差,称为理论误差。

4. 人身误差

由于测量者的分辨能力、视觉疲劳、固有习惯或缺乏责任心等因素引起的误差称为人身误差,例如读错刻度、念错读数、操作不当等。

在测量工作中,对于误差的来源必须认真分析,采取相应措施,以减小误差对测量结果的影响。

二、测量误差的分类及减小方法

根据误差的性质不同,测量误差分为系统误差、偶然误差和疏失误差三类。

1. 系统误差

系统误差是指在相同的条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时按一定规律变化的误差。

(1) 产生系统误差的原因

①测量仪器设计原理及制作上的缺陷。例如刻度的偏差、刻度盘或指针安装偏心、使用时零点偏移、安放位置不当等,多是仪器仪表的基本误差。

②测量时的实际温度、湿度及电源电压等环境条件与仪器要求条件不一致等,多属仪器仪表的附加误差。

③采用近似的测量方法或近似的计算公式等,如利用伏安法测电阻。

④测量人员估计读数时,习惯偏于某一方向或有滞后倾向等原因所引起的误差。

(2) 减小方法

①重新配置合适的仪表或对测量仪表进行校正,尽量满足仪表要求的工作条件。

②采用合理的测量方法。

③采用特殊的消除方法,如正负误差补偿法、替代法、引入校正值得等。

系统误差的特点是测量条件一经确定,误差为一确定的数值。用多次测量取平均值的方法,并不能改变误差的大小。系统误差的产生原因是多方面的,但总有规律可循。针对其产生根源采取一定的技术措施,设法减小它的影响。例如,仪器不准,通过校验取得修正值,即可减小系统误差。

2. 偶然误差(随机误差)

偶然误差是指在相同条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号均以不可预知方式变化的误差。

(1) 产生偶然误差的原因

①测量仪器中零部件配合的不稳定或有摩擦,仪器内部器件产生噪声等。

②温度及电源电压的频繁波动,电磁场干扰,地面振动等。

③测量人员感觉器官的无规则变化,读数不稳定等原因所引起的误差均可造成随机误差,使测量值产生上下起伏的变化。

④由外界环境的偶发性变化引起,例如外电场、磁场的突变,温度、湿度的变化等。

(2)减小方法 通常采用多次重复测量,取算术平均值的方法来削弱偶然误差对测量结果的影响,故可以用数理统计的方法来处理。因为偶然误差就一次测量而言并没有规律,不可预定。但是当足够多次测量时,其总体服从统计的规律,且多数情况下接近于正态分布。

这类误差的特点是:在多次测量中误差绝对值的波动有一定的界限,即具有“有界性”;正负误差出现的机会相同,即具有“对称性”;当测量次数足够多时,随机误差的算术平均值趋近于零,即具有“抵偿性”。

3. 疏失误差(粗大误差)

疏失误差是由于操作者的粗心大意、工作不认真造成的,是一种严重歪曲测量结果的误差。产生这种误差的原因有:

(1)一般情况下,它不是仪器本身固有的,主要是在测量过程中由于疏忽造成的。例如测量者工作过于疲劳,缺乏经验,操作不当或工作责任心不强等原因造成读错刻度、记错读数或计算错误。这是产生疏失误差的主观原因。

(2)由于测量条件的突然变化,例如电源电压、机械冲击等引起仪器示值的改变。这



是产生疏失误差的客观原因。

凡确认含有疏失误差的测量数据称为坏值或死值,应当剔除不用。

上述的划分方法只是相对的,并且可以相互转化。较大的系统误差或偶然误差,也可以视为疏失误差。系统误差与偶然误差之间也不存在严格的界限,例如当电磁场干扰所引起的测量误差比较小时,可以用类似偶然误差取平均值的方法来处理,如果其影响有便于掌握规律时,可以按系统误差引入修正值的方法来处理。这样,掌握了误差转化的特点,可以用数据处理方法,减小误差的影响,这对于测量技术是很有意义的。

综上所述,对于含有疏失误差的测量值,一经确认后,应当首先予以剔除;对于偶然误差采用统计学求平均值的方法来削弱它的影响;系统误差难以发现,是测量中的最大危险,须在测量工作之前或在测量工作过程中采取一定的技术措施来减小它的影响。

三、准确度、精密度和精确度

最终正确地评定测量结果时,通常要用到准确度、精密度和精确度三个概念。它们的意义如下:

1. 准确度

指测量值与真值的接近程度,反映系统误差的影响,系统误差小则准确度高。

2. 精密度

指测量值重复一致的程度。测量过程中,在相同条件下用同一方法对某一量进行重复测量时,所测得的数值相互之间接近的程度。数值越接近,精密度越高。换句话说,精密度用以表示测量值的重现性,反映偶然误差的影响。

一般人常说的“精度”一词,有时指准确度,有时又指精密度,意义比较含混,本书不采用。

3. 精确度

图 1-2(a) 是准确度高而精密度低;图 1-2(b) 是精密度高而准确度低;图 1-2(c) 是精确度高,既准确又精密。图 1-2 用打靶的例子说明了系统误差

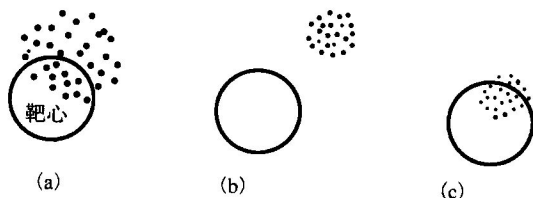


图 1-2 表示误差大小的三种情况

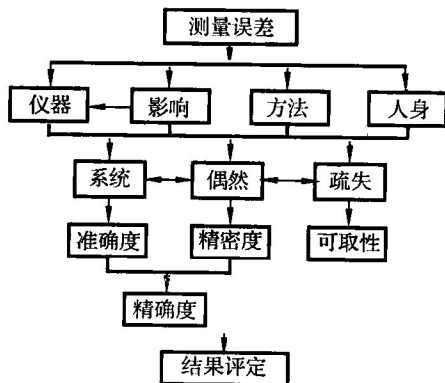


图 1-3 误差来源、分类、测量结果的关系

和随机误差综合的影响程度。精确度高,说明准确度及精密度都高,意味着系统误差及偶然误差都小。一切测量都应力求实现既精密而又准确。

本节内容——误差来源、误差分类、精确度的关系可用图 1-3 表示,最后给出测量的最终结果。

第四节 常用的电气测量方法

一、直接测量法

利用直读式仪器仪表直接读取被测量数值的大小,而无需度量器直接参与的测量方法,如电流表测电流、电压表测电压、欧姆表测电阻等,见图 1-4。

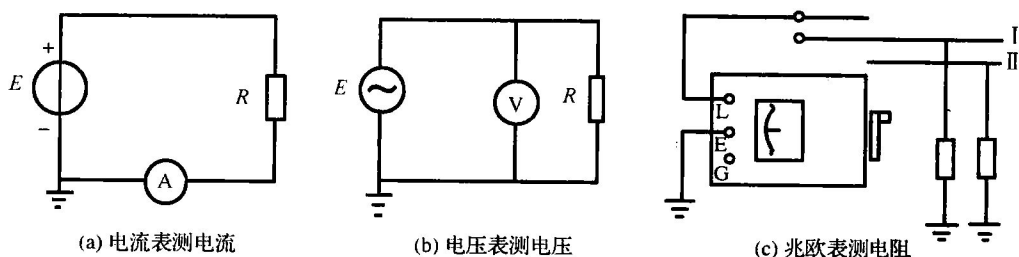


图 1-4 直接测量法接线图

二、比较测量法

测量过程中需要度量器的直接参与,并通过比较仪表来确定被测量数值的方法,如电桥测电阻、电位差计测电势等,见图 1-5 和图 1-6。

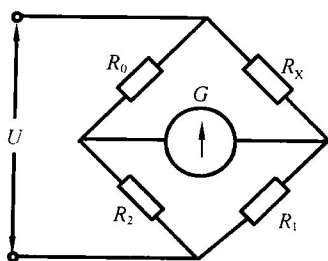


图 1-5 电桥测电阻

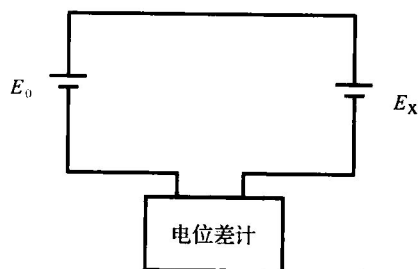


图 1-6 电位差计测电动势

三、间接测量法

先测出与被测量有关的电量(图 1-7),然后通过计算求得被测量数值的方法,如图 1-8 的伏安法测量电阻。



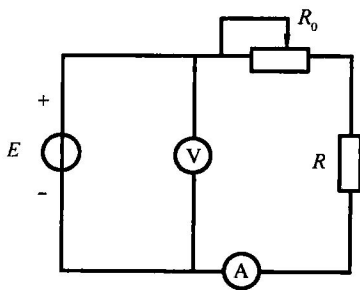


图 1-7 用电流表测电流

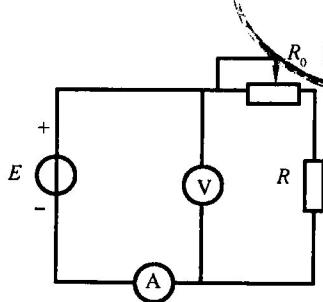


图 1-8 伏安法测电阻

第五节 有效数字和测量数据的分析处理

一、测量数据的分析处理

测量数据的分析处理,就是从测量所得到的原始数据中求出被测量的最佳估计值,并计算其准确程度。

1. 有效数字的取舍规则和运算规则

(1)“四舍六入五配偶”原则 如果有效数字要保留的位数(N)已确定,则第 N 位以后(右边)多余的数据应舍去,取舍的规则为:

①若第 N 位数字后面的数字大于5,则第 N 位的数字加1。如要求把0.36保留到小数点后一位数,结果应为0.4。

②若第 N 位数字后面的数字小于5,则第 N 位数字后面的数据全部舍去。如要求把1.64保留到小数点后一位数,结果应为1.6。

③若第 N 位数字后面的数字等于5,则看第 N 位上的数字是偶数还是奇数而定:若第 N 位的数字是偶数,将后面的数据全部舍去;若第 N 位的数字是奇数,则将第 N 位数字加1配成偶数。如将2.25和2.35都保留到小数点后面一位数,结果应为2.2和2.4。

(2)有效数字的运算规则

①加减法运算:首先对各原始数据按要求进行取舍,使取舍后的各数据比小数点后位数最少的数据多保留一位小数,然后再进行加减运算,最后对运算结果进行取舍,使其小数点后面的位数与原始数据中小数点后位数最少的项相同。

例如, $24.05 + 0.032 + 4.7051 = 24.05 + 0.032 + 4.705 = 28.787 = 28.79$

②乘除运算:先对各原始数据进行取舍,使取舍后的各数据比小数点后位数最少的数据多保留一位小数,然后再进行乘除运算,最后对运算结果进行取舍,使其有效数字的位数与原有有效数字位数最少的原始数据相同。

例如, $1.05782 \times 14.21 \times 4.52 = 1.058 \times 14.21 \times 4.52 = 67.954493 = 68.0$

③乘方与开方运算:按照正常的乘方及开方进行运算,运算结果比原始数据多保留一位有效数字。

例如, $(25.6)^2 = 655.36 = 655.4$

2. 测量数据的分析处理

数据处理的任务就是对测量所获得的一系列数据进行深入的分析,以便得到各被测量之间的关系,例如使用数学分析的方法,找出各被测量之间的函数关系。

(1) 测量数据的表示方法

①表格法:将测量数据放入表格中,是图示法和经验法的基础。

②图示法:将测量结果中有关量的关系曲线用图形的形式表示,一般采用直角坐标系,对数据 (x, y) 进行描点连线。

③经验公式法:用与图形对应的数学公式表示所有的测量数据,并把与曲线对应的公式称为经验公式——数学模型。

(2) 测量数据的分析处理 等精密度测量是指在测量过程中,影响测量误差的各因素不变,在相同的环境条件下、由同一测量人员在同一台仪器上、采用同样的测量方法、对同一被测量进行的多次测量。等精密度测量所得到的数据中,可能同时包含系统误差、偶然误差和疏失误差,要得到合理的测量结果,必须对所测数据进行分析处理。以下是假设系统误差已消除的数据处理步骤:

①记录并表示测量数据 (x_i) :将测量数据采用合适的方法记录并表示出来,例如用表格法将数据按测量的先后顺序列于表格中。

②计算测量数据的算术平均值 $(\bar{x})$:假设测量结果为 $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, n 为测量次数,则测量结果的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1-7)$$

③计算每个测量数据的绝对误差 (Δ_i) :将每个测量值 x_i 与算术平均值相减得到每个测量值的绝对误差(剩余误差),即

$$\Delta_i = x_i - \bar{x} \quad (1-8)$$

④计算均方根误差 (δ) :分析数据的绝对误差时,可排除或减小系统误差的影响,再按以下公式进行计算最为合理,计算公式为

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} \quad (1-9)$$

⑤判断并剔除疏失误差:将均方根误差与各数据的绝对误差进行比较,剔除大于 3δ 所对应的各原始测量数据。注意:剩余的数据要重新计算平均值、绝对误差、均方根差并比较,直到所有数据的绝对误差都小于 3δ 为止(即数据中不再含有疏失误差)!

⑥给出测量报告:测量结果由两部分组成,如下式:

$$x = \bar{x} \pm \delta = \frac{\sum x_i}{n} \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} \quad (1-10)$$

⑦计算过程中,为避免误差的累计,可保留两位欠准数字,但最后的结果应按有效数字的规定处理,即保留一位欠准数字。



本章小结

本章介绍了测量领域内的部分基本知识。

1. 所谓电气测量,就是将被测的电量、磁量或电参数与同类标准量进行比较,从而确定出被测量大小的过程。

2. 电工仪表分为指示仪表、比较仪表和数字式仪表三大类。

指示仪表按工作原理分有磁电系仪表(如安培表、伏特表)、电磁系仪表、电动系仪表(如功率表)、感应系仪表(如电能表)等。

比较仪表主要是指各类电桥,常用的数字式仪表有数字万用表、数字转速表等。

3. 仪表误差分为基本误差和附加误差两类。

基本误差是指仪表在正常工作条件下,由于仪表的结构、工艺等方面的不完善而产生的误差。基本误差是仪表本身所固有的误差,无法消除。

附加误差是指仪表因为偏离了规定的工作条件而产生的误差。附加误差实际上是一种因外界工作条件改变而造成的额外误差,可以避免。

仪表的准确度被用来表示仪表的基本误差。

4. 误差有三种表示方法,分别是绝对误差、相对误差、引用误差。

绝对误差用符号“ Δ ”表示,是指仪表的指示值 A_x 与被测量实际值 A_0 之间的差值,定义式为

$$\Delta = A_x - A_0$$

绝对误差的相反数称为校正值“ C ”,即

$$C = -\Delta$$

相对误差用符号“ γ ”表示,是指绝对误差 Δ 与被测量实际值 A_0 比值的百分数,定义式为

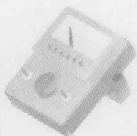
$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

相对误差不仅常用来表示测量结果的准确程度,而且便于在测量不同大小的被测量时,对其测量结果的准确程度进行比较。

引用误差反映了仪表的准确程度,用符号“ γ_m ”表示,是指绝对误差 Δ 与仪表量程 A_m 比值的百分数,定义式为

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

5. 仪表的准确度是指仪表的最大引用误差,即仪表的最大绝对误差 Δ_m 与仪表量程 A_m 比值的百分数,定义式为



$$\pm K = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

K 表示仪表的准确度等级。 K 越大,仪表的准确度等级越低; K 越小,仪表的准确度越高。

6. 测量误差是指测量值与实际值之间的差值。误差的来源一般有仪器误差、影响误差、方法误差和理论误差、人身误差等四种情况。

7. 根据误差的性质不同,测量误差分为系统误差、偶然误差和疏失误差三类。

系统误差是指在相同的条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时按一定规律变化的误差。产生的原因有:

- ①测量仪器设计原理及制作上的缺陷。
- ②测量时的实际温度、湿度及电源电压等环境条件与仪器要求条件不一致等。
- ③采用近似的测量方法或近似的计算公式等。
- ④测量人员估计读数时,习惯偏于某一方向或有滞后倾向等原因所引起的误差。

减小系统误差的方法有:

- ①重新配置合适的仪表或对测量仪表进行校正,尽量满足仪表要求的工作条件。
- ②采用合理的测量方法。
- ③采用特殊的消除方法。

偶然误差是指在相同条件下,多次测量同一量值时,绝对值和符号均以不可预知方式变化的误差。产生的原因有:

- ①测量仪器中零部件配合得不稳定或有摩擦,仪器内部器件产生噪声等。
- ②温度及电源电压的频繁波动,电磁场干扰,地面振动等。
- ③测量人员感觉器官的无规则变化,读数不稳定等原因所引起的误差均可造成随机误差,使测量值产生上下起伏的变化。
- ④由外界环境的偶发性变化引起,例如外电场、磁场的突变,温度、湿度的变化等。

减小偶然误差的方法有:

通常采用多次重复测量,取算术平均值的方法来削弱偶然误差对测量结果的影响。

疏失误差是由于操作者的粗心大意、工作不认真造成的,是一种严重歪曲测量结果的误差。

