

高等职业教育“十二五”规划教材

仪表与测量

INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT

主编 刘建军 郭艳红

220.0

V

5.000

A

1.099

kW



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等职业教育“十二五”规划教材



仪表与测量

INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT

• • • • •

主 编 刘建军 郭艳红
副主编 臧雪岩 胡利民
主 审 史 艺



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

仪表与测量/刘建军,郭艳红主编. —武汉:武汉大学出版社,2012.5
高等职业教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-307-09850-3

I. 仪… II. ①刘… ②郭… III. ①电工仪表—教材 ②电气测量—教材
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 106974 号

责任编辑:余 梦 责任校对:郭 芳 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:16.25 字数:376千字

版次:2012年5月第1版 2012年5月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09850-3/TM·29 定价:32.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

根据近年来我国高等职业教育改革发展的特点,结合高等职业教学的实际,为了培养适应社会发展的应用型技术人才,在教学实践的基础上编写了本教材。

本书结合实际电量测量对常用电工及电子仪表进行了介绍,共分8个课题,包括测量基础知识、磁电系仪表、电磁系仪表、电动系仪表、感应系仪表、测量用互感器、信号发生器和示波器。在这8个课题中,介绍了万用表、电压表、电流表、功率表、电度表、频率表、功率因数表、兆欧表、接地电阻测试仪、直流单臂电桥、直流双臂电桥、交流电桥、电压互感器、电流互感器、信号发生器、示波器等十几种仪表的原理和使用方法,在满足教学需要的基础上给学生留有一定的自学空间。

本教材的特点如下:

(1) 弱化了电工仪表与电子仪表的区别,主要介绍了常用的电工电子仪表在实际测量中的应用,突出了实用性。

(2) 注重实际操作,在每个课题中都安排了适当的实训内容,使实训紧密结合理论内容,强化了理论与实践一体化。

(3) 穿插了较多的图片,内容丰富,深入浅出,易于学生研读。

(4) 每个课题后都配备了较多的练习题,并于书后提供了答案,为学生学练结合提供了方便。

本书编写分工如下:课题1、课题3、课题6及巩固练习答案由辽宁铁道职业技术学院刘建军编写,课题2、课题5由辽宁铁道职业技术学院郭艳红编写,课题4由辽宁铁道职业技术学院胡利民编写,课题7、课题8由辽宁交通高等专科学校臧雪岩编写,全书由刘建军统稿,刘建军、郭艳红担任主编,辽宁铁道职业技术学院史艺主审。

由于时间仓促和编写水平有限,书中错误、疏漏之处在所难免,恳请广大读者和同行批评指正,以便修改和提高。

编 者

2012年3月

目 录

课题 1 测量基础知识	(1)
1.1 测量及测量仪表的分类	(1)
1.2 测量误差	(3)
1.3 测量基础知识	(9)
1.4 安全用电常识	(14)
归纳与总结	(20)
巩固练习 1	(20)
课题 2 磁电系仪表	(22)
2.1 磁电系测量机构	(23)
2.2 磁电系电流表	(26)
2.3 电磁系电压表	(30)
2.4 磁电系欧姆表	(32)
2.5 万用表	(34)
2.6 磁电系检流计	(38)
2.7 直流电桥	(40)
2.8 交流电桥	(45)
2.9 磁电系兆欧表	(47)
2.10 接地电阻测量仪	(52)
训练一 电压表、电流表测电阻值	(55)
训练二 基本电工仪表的使用	(57)
训练三 万用表的使用	(61)
训练四 直流单臂电桥的使用	(62)
训练五 直流双臂电桥的使用	(63)
训练六 兆欧表的使用	(64)
归纳与总结	(64)
巩固练习 2	(65)
课题 3 电磁系仪表及交流量的测量	(71)
3.1 电磁系仪表的结构与工作原理	(71)
3.2 电磁系电流表和电压表	(75)
3.3 电磁系仪表的技术特性	(78)
3.4 交流电压与电流的测量	(81)

知识拓展	(85)
训练 电磁系电流表和电压表的使用	(95)
归纳与总结	(97)
巩固练习 3	(97)
课题 4 电动系仪表	(99)
4.1 电动系测量机构的结构和工作原理	(99)
4.2 电动系电流表和电压表	(102)
4.3 电动系功率表	(104)
4.4 三相有功功率的测量	(109)
4.5 三相无功功率的测量	(114)
4.6 频率表、相位表和功率因数表	(118)
训练一 单相功率表的使用	(123)
训练二 三相电路有功功率的测量	(124)
归纳与总结	(126)
巩固练习 4	(127)
课题 5 感应系仪表	(129)
5.1 感应系测量机构的结构和原理	(129)
5.2 电能表的参数及选用	(133)
5.3 单相电能表和三相电能表	(135)
5.4 三相无功电能表	(138)
5.5 电能表内的调整装置及调整方法	(140)
训练 熟悉电能表并练习接线	(142)
归纳与总结	(143)
巩固练习 5	(143)
课题 6 测量用互感器	(145)
6.1 电压互感器	(145)
6.2 电流互感器	(152)
6.3 钳形表	(159)
训练一 电压互感器及电流互感器测试	(161)
训练二 钳形表使用练习	(165)
归纳与总结	(166)
巩固练习 6	(166)
课题 7 信号发生器	(169)
7.1 信号发生器的分类、组成与技术指标	(169)
7.2 低频信号发生器	(173)
7.3 函数信号发生器	(178)

7.4 高频信号发生器	(184)
7.5 脉冲信号发生器	(191)
训练 小信号单级共射级放大电路动态特性测试与研究	(194)
归纳与总结	(197)
巩固练习 7	(197)
课题 8 示波器	(200)
8.1 示波器概述	(200)
8.2 示波显示的基本原理	(202)
8.3 通用示波器	(207)
8.4 YB4360G 双时基模拟示波器	(222)
8.5 数字示波器	(227)
训练一 示波器的基本应用	(235)
训练二 示波器的特殊应用	(237)
归纳与总结	(239)
巩固练习 8	(240)
巩固练习答案	(244)
参考文献	(249)

课题 1 测量基础知识

【本课题任务】

- (1) 了解测量的目的、意义及分类。
- (2) 掌握测量误差的表示及计算方法,掌握在实际测量中减小误差的方法。
- (3) 学会正确使用仪表。
- (4) 掌握安全用电常识。

1.1 测量及测量仪表的分类

1.1.1 测量的意义

测量就是按某种规律,借助于专用工具或专门的设备,通过试验的方法求出以测量单位表示被测量的数值大小的过程。各种电量或磁量的测量,统称为电工测量,即将被测的电量或磁量与作为测量单位的同类标准电量或磁量进行比较,从而确定这个被测量的大小的过程。

电工测量是以电磁规律为基础的测量技术,不仅具有准确、灵敏、操作简便、反应迅速及容易进行遥测等优点,而且利用它还可以进行非电量(如温度、压力、机械量等)的测量,因此电工测量广泛应用于工农业生产、国防建设和科学研究等众多领域。

电路中的各个物理量(如电压、电流、功率、电能及电路参数等)的大小,除用分析与计算的方法获取外,常用电工测量仪表去测量。在电力工业中,电能的生产、传输、分配及使用各环节都需要各种电工仪表来测量、监视和反映电压、频率及其他电量的大小和变化情况。电气设备在安装、调试、检修、运行过程中,也需要电工仪表进行测量,甚至家庭中的电器维修也离不开电工仪表的测量。正确、熟练地使用电工仪表已经成为电气工作人员必备的技能之一。电工仪表的使用在生产和生活中有着不可替代的作用。

在电气测量技术发展的过程中,新一代的仪表不断出现,从最早的机械式模拟指示仪表,发展到电子式的模拟指示仪表,进而又有电子式的数字仪表、智能仪表以及现在的虚拟仪表,都代表了科学技术的进步。然而新一代仪表的出现,并不是完全取代了旧式仪表,而是发挥各自的特点,应用在不同场合。

1.1.2 测量的分类

测量可以从测量形式和测量方法两个方面进行分类。

- (1) 按测量的形式分,可以分为直接测量、间接测量和组合测量

① 直接测量

它是指被测量和标准量直接比较后得到被测量值的测量方法。例如:用千分尺测量

工件尺寸,用电压表测量电路中的电压等,都属于直接测量。

② 间接测量

它是通过测量与被测量有函数关系的其他量,才能得到被测量值的测量方法。例如,要测量一个未知电阻元件的电阻值,可以通过测量电阻的端电压 U 和通过它的电流 I ,然后利用公式 $R = \frac{U}{I}$ 求出该元件的电阻,这种测量方法就是间接测量。

③ 组合测量

在有些测量中,被测量与多个未知量有关,测量一次无法得出完整的测量结果,需要进行多次直接测量和间接测量来获得某些可测量的不同组合,然后测出这些组合的数值,按被测量与未知量的函数关系建立方程,求解未知量,这种测量方法称为组合测量。

(2) 按测量方法分为比较法、零位法、偏位法、替代法

① 比较法

比较法是指被测量与已知的同类度量器在比较器上进行比较,从而求得被测量的一种方法。这种方法用于高准确度的测量。

② 零位法

零位法是将被测量与已知量进行比较,使两者之间的差值为零。如电桥、天平、杆秤、检流计。

③ 偏位法

偏位法是指被测量直接作用于测量机构使指针等偏转或发生位移以指示被测量大小。

④ 替代法

替代法是将被测量与已知量先后接入同一测量仪器,在不改变仪器的工作状态下,使两次测量仪器的示值相同,则认为被测量等于已知量。如曹冲称象。

(3) 根据测量过程的不同可将测量方法分为直读测量法和比较测量法两大类

① 直读测量法

直读测量法就是通过电工指示仪表直接读取测量数据的测量方法。如用万用表测量电流、电压和电阻等都是直读测量法。

直读测量法的特点是:

- a. 简便实用,测量过程快捷、迅速。
- b. 测量结果的准确度受测量仪表的精度限制,仪表精度越高,测量准确度就越高。
- c. 测量数据可以是中间量,也可以是最终量。如用电桥测电阻,测得的就是最终量,而用电压表测量变压器的初、次级电压,然后求得变压器的变比时,测量的就是中间值。

② 比较测量法

比较测量法就是将被测量与已知同类量具或标准量具进行比较,从而得到被测数据的测量方法。用电桥测电阻采用的就是比较测量法。对测量准确度要求较高时,一般采用比较测量法。

比较测量法有如下几个特点:

a. 准确度和灵敏度较高,当标准量具的精度及指零仪表灵敏度较高时,其测量的最小误差可达到 $\pm 0.001\%$ 。

b. 测量设备一般都比较复杂,操作较麻烦。

1.1.3 测量仪表的分类

电工类测量仪表主要可分为指示仪表和数字仪表。指示仪表有多种分类方式,其主要分类有:

- (1) 按仪表的工作原理分,有磁电系、电磁系、电动系、感应系及静电系等。
- (2) 按被测电流的种类分,有直流表、交流表、交直流两用表。
- (3) 按被测量的名称分,有电压表、电流表、兆欧表、功率表、电度表等。
- (4) 按使用方式分,有开关板式仪表和便携式仪表。开关板式仪表通常固定在开关板或某一装置上,一般准确度低,价格便宜。便携式仪表一般准确度较高,价格也比较昂贵,适合于实验室使用。
- (5) 按使用环境分,可分为A组、B组和C组仪表。
- (6) 按仪表准确度分,分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0共七个等级。

1.2 测量误差

1.2.1 误差的表示与修正

利用任何量具或仪器进行测量时,总存在着误差。故测量结果总不可能准确地等于被测量的真值,而只是它的近似值。

真值是指在一定的时间及空间条件下,某物理量所体现的真实数值,这个真实数值是利用理想无误差的量具或测量仪器得到的。

(1) 绝对误差

① 绝对误差的表示

绝对误差是被测量的测量值 X 与其真值 A_0 的差值,用公式表示为:

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

式中 ΔX ——绝对误差;

A_0 ——真值;

X ——测量值,就是仪器的示值。

由于真值 A_0 一般无法求得,故式(1-1)只有理论上的意义,常用上一级标准仪器的示值作为实际值 A 以代替真值 A_0 。由于上一级标准也存在误差(只是小一些),故 A 并不等于 A_0 ,但一般情况下,总比 X 更接近于 A_0 。

X 与 A 之差称为仪器的示值误差,记为:

$$\Delta X = X - A \quad (1-2)$$

由于式(1-2)以代数差的形式给出误差的绝对值大小及其符号,故通常称为绝对误差。

② 修正值

绝对值与 ΔX 相等但符号刚好相反的值,称为修正值,一般用 C 表示。于是有:

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

通过鉴定,可以由上一级标准给出受检仪器的修正值。利用修正值便可求出该被测量的实际值。

$$A = X + C \quad (1-4)$$

例如:某电流表的量程为 1 mA,通过鉴定而得出其修正值为 -0.02 mA。如用这只电流表测某一未知电流,其示值为 0.78 mA,于是得被测电流的实际值为

$$A = 0.78 \text{ mA} + (-0.02) \text{ mA} = 0.76 \text{ mA}$$

修正值给出的方式不一定是具体的数值,也可以是一条曲线、公式或数表。

要说明的一点是,仪器的示值和读数往往容易混淆,但两者是有区别的。读数通常是指仪器的刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,而示值则是该读数所代表的被测量的数值。有时,读数与示值在数字上相同,但一般说来它们的实际值是不同的。通常需要把读数经过简单的计算,查曲线或数表才能得出示值。

例如:一只线性刻度为 $0 \sim 100$,量程为 500 mA 的电流表,当指针指到 85 分度位置时,读数就是 85,而示值 X 为:

$$X = 85/100 \times 500 \text{ mA} = 425 \text{ mA}$$

在记录测量结果时,为避免差错和便于查对,应同时记下读数及其相应的示值。

(2) 相对误差

绝对误差与真值之比的百分数叫做相对误差。由于相对误差能更准确地表示测量精度的高低,实际中经常被采用。

① 实际相对误差

实际相对误差是用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的百分比值来表示的相对误差。记为:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\% \quad (1-5)$$

如前例,已知 $\Delta X = -C = 0.02$ mA $A = 0.76$ mA 故:

$$\gamma_A = \frac{0.02}{0.76} \times 100\% \approx 2.6\%$$

② 示值相对误差

示值相对误差是用绝对误差 ΔX 与仪器的示值 X 的百分比值来表示的相对误差。记为:

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

例如,已知 $\Delta X = 0.02$ mA, $X = 0.80$ mA,故:

$$\gamma_X = \frac{0.02}{0.80} \times 100\% = 2.5\%$$

③ 满度(或引用)相对误差

满度相对误差是用绝对误差 ΔX 与仪器的满度值 X_m 之比来表示的相对误差,简称

满度误差。

记为：

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

由于 γ_m 是用绝对误差 ΔX 与一个常数 X_m (量限) 的比值来表示的, 故实际上给出的是绝对误差大小。电工仪表正是按 γ_m 之值来进行分级的, 例如 1.5 级的电表, 就表明其 $\gamma_m \leq 1.5\%$, 并在其面板上标以 1.5 的符号。

比较式 (1-6) 及式 (1-7) 可以看出: 为了减少测量中的示值误差, 在选择量程时应使指针尽可能接近于满度值。一般最好能工作在不小于满度值 $2/3$ 以上的区域, 如图 1-1 所示。

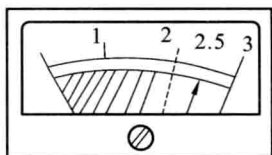


图 1-1 工作区域

④ 用分贝 (dB) 表示的相对误差

对于电流、电压类电参量, 有:

$$\gamma_{dB} = 20 \lg \left(1 + \frac{\Delta X}{X} \right) \text{dB} \quad (1-8)$$

对于功率类电参量有:

$$\gamma_{dB} = 10 \lg \left(1 + \frac{\Delta X}{X} \right) \text{dB} \quad (1-9)$$

用分贝表示的相对误差, 在电子测量仪器中应用十分广泛。当误差本身不大时, 它与一般的相对误差之间有下列简单关系:

对于电流、电压类电参量, 有:

$$\begin{aligned} \gamma_{dB} &\approx 8.69 \gamma_x \text{dB} \\ \gamma_x &\approx 0.115 \gamma_{dB} \end{aligned} \quad (1-10)$$

或

对于功率类电参量有:

$$\begin{aligned} \gamma_{dB} &\approx 4.3 \gamma_x \text{dB} \\ \gamma_x &\approx 0.23 \gamma_{dB} \end{aligned} \quad (1-11)$$

或

例如: WFG-1 型高频毫伏表在 2 MHz 以下测量电压的误差为 0.5 dB。如用一般相对误差表示, 则有:

$$\gamma_x = 0.115 \times 0.5 = 0.0575 \approx 5.8\%$$

1.2.2 误差的来源

(1) 读数误差

读数误差由以下几种原因产生:

① 校准误差

校准误差通常指仪器在出厂时, 用标准仪器对其指定的某些校准点进行校准 (定标) 时所产生的误差。

② 刻度误差

为了适应批量生产的特点, 一般电工、电子测量仪器都采用统一的刻度盘, 由于每一

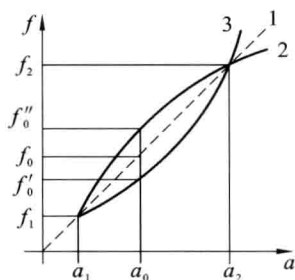


图 1-2 刻度误差

台仪器的特性都不完全相同,故在非校准点,就可能引起不同程度的误差。例如,校准某台仪器的频率度盘,在一个量程上只有两个校准点 a_1 和 a_2 ,其对应的频率分别为 f_1 和 f_2 ,如图 1-2 所示。经非校准点 a_0 时,可以根据理论分析或抽测某台仪器而确定相应函数关系(如图 1-2 中直线 1),得出其频率为 f_0 ,但对另外两台仪器,可能函数关系分别为图 1-2 中曲线 2 及曲线 3,即对应的频率分别为 f'_0 及 f''_0 ,于是产生了刻度误差(其中最常见的是刻度的非线性所致的误差)。为了减小此项误差,可给出每台仪器的校准曲线,或必要时对每台仪器分别

进行刻度。

③ 读数分辨率不高所致的误差

仪器的读数分辨率是指仪器能读出被测量的最小变化量,分辨率的高低应与仪器的容许误差相适应。如果仪器读数机构的分辨率不高,将带来误差。例如,一只 0.5 级 10 mA 的电流表,其刻度如图 1-3(a)所示,可以读出电表的示值约为 9.41 mA,其中小数点后第二位“1”是估计出来的。如把刻度改为如图 1-3(b)所示,则只能读出示值约为 9.4 mA,其小数点后第一位“4”是估计的。

显然,图 1-3(b)将因读数分辨率太低而增加测量误差。但是不适当地提高仪器读数机构的分辨率也是毫无意义的。因为这时仪器本身的不确定性,将使读数不可信赖。

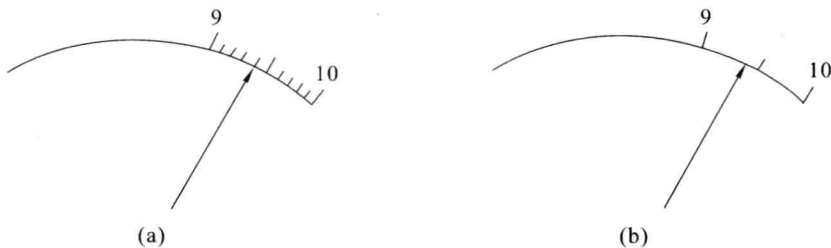


图 1-3 读数分辨率不高所致的误差

④ 读数调节机构不完善所致的误差

对某些齿轮转动的调节装置,这项误差特别明显。由于调节机构的不完善,在顺时针转动和逆时针转动时,齿轮的啮合不在同一位置而引起的误差称为回差。为了消除回差的影响,除了仪器设计时应采取各种措施外,使用中应注意仪器说明书上的规定以及采取两次反向调节取平均值等办法来解决。

⑤ 量化误差

量化误差又称为 ± 1 误差,这是数字式仪器固有的误差。

⑥ 内部噪声引起的误差

一般把仪器内部产生的噪声称为噪声或内部噪声,而把来自仪器外部的噪声称为干扰或外部噪声。内部噪声包括各种电子器件产生的闪变噪声,电子元件产生的热噪声、散粒噪声、电流噪声以及因开关或接插件接触不良、继电器动作、电动机转动、电源不稳等所

引起的噪声。

噪声的存在限制了测量灵敏度的进一步提高,而且必然出现一定的误差。

⑦ 稳定误差

仪器的不稳定主要是由于电子器件的老化、电气性能对供电电压及环境条件(如温度、湿度、大气压等)的敏感性,以及机械磨损、弹性疲劳等原因所致。在使用中,它表现为工作点不稳定、零点漂移、读数变化、调节机构松动、接触不良等。

⑧ 动态误差

这是泛指在进行快速测量、扫频测量以及其他动态测量时,由于电路中的过渡过程以及电表的阻尼时间、调节机构的速度有限度,形成一个总的滞后作用,造成动态误差。由于滞后作用,使得读数装置所记下的是工作状态尚未稳定时的数值,这反映在测量时间、波形幅度等时尤为严重。动态误差的存在,使测量速度受到一定限制。

⑨ 其他

构成电工测量仪器的误差因素还可列出很多。例如,在一个测量装置或测量系统中各辅助装置附件等也会产生误差。

(2) 使用误差

使用误差又称操作误差,是指在使用仪器过程中,由于安装、调节、布置、使用不当所造成的误差。例如,把规定应垂直放置的仪器水平放置,接线太长或未考虑阻抗匹配,接触不良,未按操作规程进行预热调节、校准、测量都会产生使用误差。

减小和消除使用误差的方法是:严格按技术规程操作,提高实验技巧,以及提高对各种现象的分析能力。

(3) 人身误差

人身误差是指由于人的感觉器官和运动器官不完善所产生的误差。对于某些需借助于人耳、人眼来判断结果的测量以及需进行人工调节等的测量工作,均会引入人身误差。提高操作技巧和改进测量方法有可能削弱甚至消除人身误差。

(4) 影响误差

影响误差又称环境误差,是由于仪器受到外界温度、湿度、气压、电磁场、机械震动、声音、光照、放射性等的影响所产生的误差。

(5) 方法误差

方法误差是由于测量时使用的方法不完善,所依据的理论不严密,对某些理论尚未掌握清楚,以及对被测量定义不明确等所产生的误差。例如,用电流表、电压表测量电阻时,可采用图 1-4(a)或图 1-4(b)两种测量电路,根据 $R=U/I$ 求得被测量的电阻值。由于测量结果忽略了电压表和电流表的内阻分流、分压作用的影响,因而产生了方法误差。

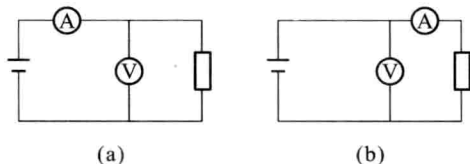


图 1-4 用电流表和电压表测量电阻

又如,利用并联谐振现象测频率时常用公式为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (1-12)$$

而实际上,如果考虑回路中电感 L 及电容 C 的串联损耗电阻 r_L 及 r_C 时,谐振频率应为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \sqrt{\frac{1 - \frac{r_L^2 C}{L}}{\frac{r_C C}{L}}} \quad (1-13)$$

于是便产生了一个方法误差,这种误差也称理论误差。

1.2.3 误差的分类

误差按其性质及特点可分为以下几类:

(1) 系统误差

系统误差是指在一定条件下误差的数值保持恒定或按已知的函数规律变化的误差。

① 恒定系差(简称恒差):它是指误差的数值在一定条件下保持不变的误差,例如:一只 10 mH 标准电感经鉴定其实际值为 10.03 mH,则其误差为恒定系差 $\Delta L = 10 \text{ mH} - 10.03 \text{ mH} = -0.03 \text{ mH}$ 。

② 变值系差(简称变差):它是指误差的数值在一定条件下,按某一确定规律变化的误差。根据变化规律又可分为下述几种情况:

a. 累进性系差:它是指在整个测量过程中误差的数值在逐渐增加或逐渐减少的系统误差。例如:蓄电池在使用过程中会因放电而使其电动势逐渐下降,形成累进性系差。

b. 周期性系差:它是指在测量过程中误差的数值发生周期性变化的系统误差。

c. 按复杂规律变化的系差:这种系差的变化规律十分复杂,一般用曲线、表格或经验公式来表示。

系统误差是不易被人们觉察而存在着的,但有时会严重影响测量的准确度。因此,在测量之前,必须检查一下所有可能产生系统误差的来源,并设法消除或确定它的大小。应当正确选择仪器的类型并预先校对所有的测量仪器,确定各种外界因素对于读数的影响,并给予适当的修正;应细心做好仪器的测量准备工作,以消除误差的来源(例如:减小接线长度,严格按照要求水平或垂直地装置指示仪);在可能的情况下,为了消除固定的系统误差,可以采用零示法、替代法、补偿法、交换法等测量方法。

(2) 随机误差

随机误差又称偶然误差,具有随机变量的一切特点,在一定条件下服从统计规律。

由于随机误差服从统计规律,故研究随机误差必须进行多次测量。随机误差一般很小,测量的灵敏度应足够高。

(3) 粗大误差

粗大误差又称粗差或差错,它是指那些在一定条件下测量结果显著偏离其实际值时所对应的误差。从性质上来看,粗差并不是单独的类别,它本身即可能具有系统误差的性

质,也可能具有随机误差的性质,只不过在一定测量条件下其绝对误差特别大而已。由于粗差严重地歪曲了测量结果,故有必要单独加以讨论。

产生粗差的主要原因如下:

① 测量方法不当。这时粗差实际上是一种绝对值很大的方法误差,具有系统误差的性质。

② 随机因素影响。例如,测量过程中供电电源的瞬时跳动,仪器中某个元器件突然跳火,外界偶然的电磁干扰等,都可能产生粗差。

③ 测量人员的粗心。因测量人员的粗心造成的粗差又称疏失误差。例如,测量前忘记对仪器进行校对或调零,测量时读错数据,计算中发生错误。

在测量及数据处理中,当发现某次测量结果所对应的误差特别大时。应认真判断该误差是否属于粗差。通常经过理论分析,增加测量次数或重新进行测量,改变测量条件或人员,利用统计学方法等,是可以在相当程度上做正确判断的。

1.3 测量基础知识

1.3.1 怎样认识和使用电表

(1) 仪表常用符号及其含义

在电表的表盘上标有各种各样的符号。当我们拿到一块电表时,首先就要从这些符号上来了解它的技术性能,如仪表的工作原理(测量机构是哪一种系列)、准确度等级、正常工作状态、对外界环境的要求等。为了正确使用电表,这些符号的意义必须弄清楚。

表 1-1 和表 1-2 列出了主要电表表盘符号和它们的意义,以及仪表受外界磁场影响产生的允许误差。

表 1-1 主要电表表盘符号及意义

名 称	符号	名 称	符号
磁电系仪表		热电系仪表(带接触式热变换器和磁电系测量机构)	
磁电系比率表		整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	
电磁系仪表		直流	
		交流(单相)	
电磁系比率表		直流和交流	

续表 1-1

名 称	符号	名 称	符号
电动系仪表		具有单元件的三相对称负载交流	
电动系比率表		具有二元件的三相不对称负载交流	
铁磁电动系仪表		具有三元件的三相四线不对称负载交流	
铁磁电动系比率表		以标度尺量限百分数表示的准确度等级(如 1.5 级)	1.5
感应系仪表		以标度尺长度百分数表示的准确度等级(如 1.5 级)	
静电系仪表		以指示值的百分数表示的准确度等级(如 1.5 级)	
标度尺为垂直的		与仪表可动线圈连接的端钮	
标度尺位置为水平的		调零器	
不进行绝缘强度实验		I 级防外磁场(如静电系)	
绝缘强度实验电压为 500 V		I 级防外电场(如静电系)	
绝缘强度实验电压为 2 kV		II 级防外磁场及电场	
危险		III 级防外磁场及电场	
电源端钮(功率表、无功功率表、相位表)		IV 级防外磁场及电场	
接地用的端钮(螺钉或落杆)		A 组仪表	不标注
与外壳相连接的端钮		B 组仪表	
与屏蔽相连接的端钮		C 组仪表	