

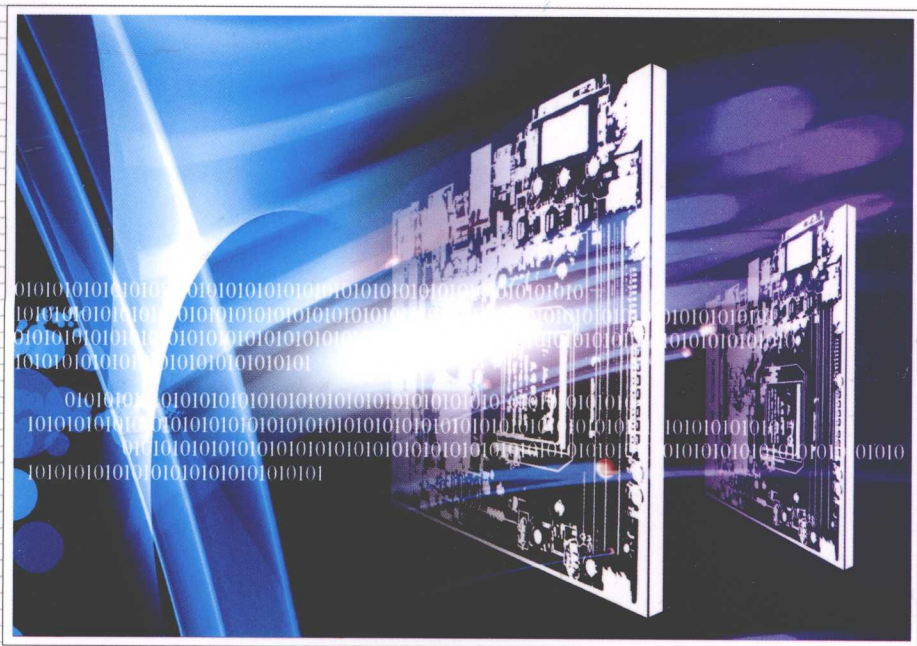


中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电工仪表与测量

diangongyibiao yu celiang

■ 主编 陈 键



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

内容提要《电工仪表与测量》是中等职业学校电工电子机电类专业的骨干专业课程之一,课程的总体要求是:电工测量的基本要求和基本测量方法,常用测量仪器的基本组成及工作原理,仪器的基本操作和基本应用。通过本课程的学习,学生应熟练掌握常用电工测量仪表的操作技能,具有正确使用仪表完成基本测量任务的能力。考虑到电工测量技术的发展形势及社会对职业类学生的职业技能的需求,本书对常见的测量仪表仪器的典型产品介绍,力求选择当前国内外较为先进的仪器。内容力求体现先进性、实用性,理论上以必需、够用为度,以应用为目的,结合实际,强化训练,强调对学生创新精神和实践能力的培养。本书主要介绍了常用电工仪表的结构、原理、性能和使用方法以及主要电工量的测量方法,着重培养学生运用电工仪表进行电工测量的能力。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表与测量/陈键主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009.7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2363 - 8

I. 电… II. 陈… III. ①电工仪表 - 专业学校 - 教材
②电气测量 - 专业学校 - 教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 107834 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9

字 数 / 230 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 15.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前 言



本书是根据中等职业教育发展的需要,为培养合格的电气、机电技术人才而编写的。

本书是结合现代企业的要求和实际的生产需要,以“实用、够用”为原则,兼顾新科技的发展和新技术的更新而编写的。内容深入浅出,原理简单易懂,技能训练简明扼要,方便操作,适合中等职业的教学需求,既可用于教师使用,又便于学生自学。本书注重学生对各种仪表使用技能的培养。

《电工仪表与测量》是中等职业学校电工电子机电类专业的骨干专业课程之一,课程的总体要求是:电工测量的基本要求和基本测量方法,常用测量仪器的基本组成及工作原理,仪器的基本操作和基本应用。通过本课程的学习,学生应熟练掌握常用电工测量仪表的操作技能,具有正确使用仪表完成基本测量任务的能力。考虑到电工测量技术的发展形势及社会对职业类学生的职业技能的需求,本书对常见的测量仪表仪器的典型产品介绍,力求选择当前国内外较为先进的仪器。内容力求体现先进性、实用性,理论上以必需、够用为度,以应用为目的,结合实际,强化训练,强调对学生创新精神和实践能力的培养。

本书主要介绍了常用电工仪表的结构、原理、性能和使用方法以及主要电工量的测量方法,着重培养学生运用电工仪表进行电工测量的能力。

本书的参考教学时数为72课时。教学时,建议根据当地的实际情况,对仪器的选型进行适当取舍或增补,适度掌握理论教学的深度,注意加强实践环节,探索以学生为中心的教学方法,以提高学生的职业能力和创新能力。

由于编者水平有限,书中存在的错误和不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 电工仪表与测量的基本知识.....	1
第一节 电工测量的基本知识.....	1
第二节 常用电工仪表的分类、型号及标志.....	5
第三节 测量误差.....	9
第四节 常用电工测量方法	11
第二章 磁电系仪表	14
第一节 磁电系测量机构	14
第二节 磁电系电流表	17
第三节 磁电系电压表	20
第四节 磁电系检流计	23
第五节 磁电系仪表的技术性能与使用	25
第六节 万用电表	26
第三章 电磁系仪表	37
第一节 电磁系测量机构	37
第二节 电磁系电流表和电压表	40
第三节 电磁系仪表的技术性能与使用	42
第四章 电动系仪表	45
第一节 电动系测量机构	45
第二节 电动系电流表和电压表	48
第三节 电动系功率表	50

第五章 电度表和互感器	57
第一节 单相电度表	57
第二节 三相电度表	61
第三节 电压互感器	65
第四节 电流互感器	68
第五节 互感器的使用方法与应用	71
第六章 电参数的测量	76
第一节 电阻、电容、电感的测量方法	76
第二节 直流单臂电桥	82
第三节 直流双臂电桥	84
第四节 交流电桥	86
第五节 兆欧表	93
第六节 接地电阻测量仪	97
第七章 电子测量仪器	102
第一节 电子示波器	102
第二节 模拟式电子电压表	110
第八章 数字式仪表	115
第一节 数字式电压基本表	115
第二节 数字式万用表	121
第三节 电子计数器	128

电工仪表与测量的基本知识



什么是电工测量？电工测量的结果会怎样？用什么方法、用什么仪表来进行测量？怎样来处理测量中可能出现的意外情况？本章学习有关电工仪表和电工测量的基本知识。



- 理解电工测量的基本概念，常用的电工测量方法和测量单位制。
- 了解测量误差形成的原因和分类。
- 了解测量误差的消除方法和误差表示方法。
- 了解电工仪表的分类和标志符号。
- 了解电工仪表误差和准确度的概念。
- 了解对测量数据进行处理的正确方法。

* * * * *

第一节 电工测量的基本知识

一、电工测量的意义

电力工业的产品是电能，由于这一产品的特殊性，人们不能用感觉器官直接感受和反映它，因此，在电能的生产、传输、分配和使用的各个环节中，只有通过各种仪表的测量才能准确反映各种电气量的大小及变化情况，从而保证电能的质量以及电力系统的经济和安全运行。如为了保证电能质量，需要电工仪表来测量和监视频率和电压的高低、变化情况；为了保证电力系统的经济和安全运行，必须随时测量和监视发电厂和用户的功率大小及平衡情况，以便调整发电机的出力或增减用户的负荷。

不论是在电气设备的安装、调试、运行和检修中，还是在对电子产品进行检验、分析及鉴定时，都会遇到电工测量方面的技术问题。如变压器大修后，要用绝缘电阻表来测量其绝缘电阻，以判断其绝缘性能的好坏；在测试电子电路时，可用万用表来测量电容器的漏电阻以判断其好坏。

可见，电工仪表与测量是从事电气工作的技术人员必须掌握的一门学科。

二、测量的基本概念

1. 测量的定义

简而言之,测量就是为确定被测量(未知量)的大小而进行的实验过程,即通过试验的方法,将被测量与已知的标准量进行比较,以确定被测量具体数值的过程。比较的结果一般由数字及单位名称两部分组成,如用电压表测得某一电压为36V,就是通过电压表将被测电压与标准电压1V相比较所得的结果,即说明被测电压是标准电压1V的36倍。要准确测量某一量的大小,必须包括被测对象、单位量的复制体和测量设备等部分。如在上述测量电压的过程中,需要测量的电压即为被测对象;标准电压(1V)即为单位量的复制体,常称为度量器(简称为量具或标准),它已间接地参与测量;电压表是将被测量(被测电压)与标准量(标准电压,即1V)进行比较的测量设备。又如用天平称物体的质量时,物体的质量即为被测对象,用来称重的砝码即为量具,它已直接地参与测量,天平则为测量设备。可见,测量的实质就是通过测量设备将被测量与标准量直接或间接进行比较的过程。

在所有测量技术中,有一种是以电磁规律为基础的测量技术即电工测量。所谓电工测量,就是将被测量的各种电量(如电压、电流、电阻、电功率、电能、频率、相位、功率因数、电容等)和各种磁量(如磁感应强度、磁通量和磁导率等)与作为测量单位的同类电工量进行比较,以确定其大小的过程。用来测量各种电工量的仪器仪表,统称为电工仪表。电工测量具有准确、灵敏、迅速、易操作等优点。还可以将电工仪表与其他装置配合在一起进行非电量(如温度、压力、机械量等)的测量。因此,电工测量应用非常广泛。

2. 测量的过程

在实际测量中,一般要经过准备、测量及数据处理三个阶段。在准备测量阶段,首先要根据测量的内容和要求正确选择测量仪器与设备,并确定测量的具体接线方案和测量步骤。在测量阶段,要按事先设计的接线方案正确接线,并严格按照规范进行操作,正确记录测量数据,同时要注意人身安全和设备安全。测量的最后工作是进行数据处理,通过对测量数据或曲线的处理、分析,求出被测量的大小及测量误差,以便为解决工程实际问题提供可靠依据。

三、测量方法的分类

测量对象不同,测量的目的和要求可能不同,加上测量条件(如使用的仪器仪表)多种多样,因此测量的方式和方法也就有所不同。

1. 根据测量过程的特点

可将测量方法分为直读测量法、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,如用电流表测电流等。直读测量法的特点如下:

- 量具并不直接参与测量。测量过程中,量具虽然不直接参与测量,但指示仪表在刻度时仍然要借助量具,故量具通过间接的方式参与了测量。

- 测出的数据可能是中间(或过渡)量,也可能是最终量。如用电压表测量电压时,由电压表读出的电压值为最终量;如用伏安法测量电阻时,读出的电压值则为中间量。

- 测量结果的准确度受仪表误差的限制。对测量准确度要求不高时可采用直读测量法。

- 测量简便、迅速。

(2) 比较测量法 所谓比较测量法,就是将被测量与已知的同类量具或标准通过比较仪器或设备直接进行比较,从而得到被测量数据的一种测量方法,如用电桥测量电阻所采用的方法就是比较测量法。对测量的准确度要求较高时一般采用比较测量法。所以,为了保证测量结果的准确度,必须有较准确的仪器或设备。此外,还应保持较严格的实验条件,如温度、湿度等。比较法的特点如下:

- 量具直接参与测量。
- 准确度和灵敏度较高。测量误差的大小主要由标准量具的精度及指零仪表的灵敏度决定,其误差最小可达 $\pm 0.001\%$ 。
- 测量设备复杂,操作麻烦。

根据被测量与标准量进行比较的具体特点,比较测量法又可分为零值法、差值法和替代法三种。

① 零值法 被测量与已知量进行比较时,通过调节一个或几个已知量,使被测量和已知量对比较仪器的作用相互抵消为零(即使指零仪指零),从而得到测量结果的测量方法称为零值法,又称为零位测量法或平衡法。用天平称物体质量的方法采用的就是零值法。测量时,调节砝码的质量使天平平衡,指针指到零位,即表明物体的质量与砝码的质量相等。又如用直流电桥测量电阻时,采用的测量方法也是零值法,其测量电路如图 1-1 所示。

② 差值法 差值法也叫微差法,是通过测量被测量与已知量的差值,来求得被测量大小的一种测量方法。如已知量为 X_0 ,被测量与已知量的差值为 δ ,则被测量的大小为 $X = X_0 \pm \delta$ 。

如图 1-2 所示电路中,通过电位差计可以求得被测电池的电动势 E_x ,设已知标准电池的电动势为 E_0 ,通过电位差计测得 E_0 与 E_x 的差值为 δ ,则根据已知电动势 E_0 和 δ 即可求出被测电池的电动势的大小为

$$E_x = E_0 \pm \delta \quad (1-1)$$

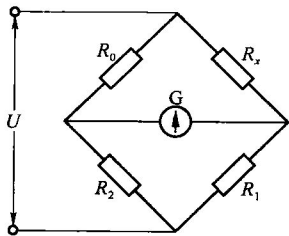


图 1-1 零值法测电阻

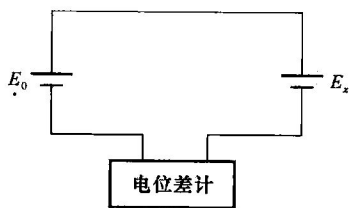


图 1-2 差值法测电动势

采用这种方法进行测量时,一般要求 δ 较小,仅占测量结果很小的一部分,否则,测量误差较大。因此,在实际测量中较少采用此法。

③ 替代法 将被测量与已知量先后接入同一测量仪器或设备,在不改变测量仪器或设备的工作状态及外部测量条件的情况下,由已知标准量的数值来替代被测量大小的方法,称为替代法。古代曹冲称大象时用石头的质量来代替大象的质量,采用的方法就是替代法。采用替代法时,由于测量仪器或设备的工作状态及外部条件没有改变,所以对前后两次测量结果的影响是相同的,故测量结果的准确度与仪器本身无关,仅决定于标准量本身的准确度。

2. 根据测量结果的获得方式

可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法三种。

(1) 直接测量法 工程技术方面的测量一般采用直接测量方法,如用电压表直接测量电压,用电流表直接测量电流,或者用万用表直接测量电阻等都属于直接测量法。

直接测量法的主要特点是简便、快捷,不需要进行辅助计算即可从数字仪表或已标有被测量单位的指示仪表上直接得到被测量的大小;但测量的准确度受仪器仪表准确度的限制,而且还与仪表的内阻、测量电路的连接方式等因素有关。

用电流表直接测量电路电流的电路如图 1-3 所示。在该电路中,如果电流表的内阻 r_A 为零,则电流表的指示值即等于被测电路电流的实际值;实际上电流表的内阻不可能为零,因此电流表接入电路后在一定程度上会改变电路原来的工作状态,导致测量结果存在误差。因此,为了减少测量误差,要求电流表的内阻比负载电阻小得多。

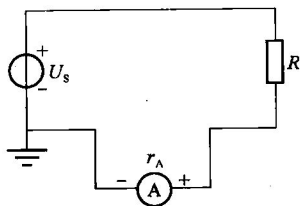


图 1-3 直接法测电流

(2) 间接测量法 在测量中,如果测量仪器设备不够,或者被测量不能直接读出,则可以利用被测量与某一个或几个中间量的函数关系,先测出中间量的大小,然后根据已知的函数关系来求出被测量的值,这种测量方法称为间接测量法。如测量物体的运动速度时,可以先测出物体运动的距离和时间,然后根据公式 $v = \frac{S}{t}$ 求出物体运动的速度。又如为了测量导体的电阻率,可以先测出导体的长度 l 、截面积 S 和电阻 R ,然后根据公式 $\rho = \frac{l}{RS}$ 求出电阻率的大小。

间接测量法的特点是测量方法灵活、多样,但测量误差较大,而且要经过计算才能得到被测量的数值。

(3) 组合测量法 电工测量中,往往要在不同条件下多次测量某一中间量的值,然后根据待测量与中间量的函数关系联立求解方程组,最后才能得到多个未知量数值,这种测量方法称为组合测量法,一般用于精密测量和科学试验。组合测量法实际上也是一种间接测量被测量的方法。如采用组合测量法测量电阻的温度系数 α 、 β (待测量)时,可以分别测量该电阻在 20°C 、 $t_1^\circ\text{C}$ 及 $t_2^\circ\text{C}$ 时的电阻值 R_{20} 、 R_{t1} 、 R_{t2} (中间量),然后根据 α 、 β 与电阻值 R_{20} 、 R_{t1} 、 R_{t2} 的函数关系

$$R_{t1} = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2] \quad (1-2)$$

$$R_{t2} = R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2] \quad (1-3)$$

联立求解方程组,即可求出电阻温度系数 α 和 β 的值。

采用组合测量法时,虽然测量过程和计算都比较麻烦,但测量精确度较高。

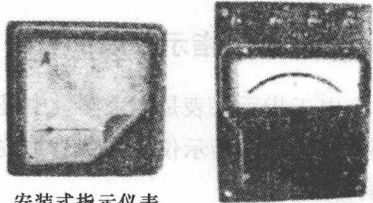
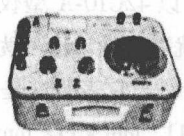
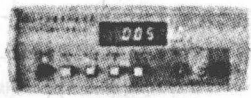
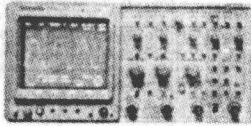
第二节 常用电工仪表的分类、型号及标志

面对品种繁多,规格各异的电工仪表,我们该如何进行识别和选择呢?一块电工仪表面板上众多的文字符号和图形符号又表示什么含义呢?通过下面的学习,我们就可以了解到常用电工仪表的分类、型号及标志的含义。

一、常用电工仪表的分类

在电工测量中,测量各种电量、磁量及电路参数的仪器仪表统称为电工仪表。电工仪表的种类很多,分类方法也各异。电工仪表按结构和用途的不同,主要分四类,见表 1-1。

表 1-1 电工仪表分类

种类	特 点	分 类	典 型 仪 表
指示 仪表	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,因此又称为直读式仪表	按其工作原理又可分为磁电系仪表、电磁系仪表、电动系仪表和感应系仪表,此外,还有整流系仪表、铁磁电动系仪表等	 安装式指示仪表 便携式指示仪表
比较 仪表	在测量过程中,通过被测量与同类标准量进行比较,然后根据比较,结果才能确定被测量的大小	比较仪表又分直流比较仪表和交流比较仪表两大类,直流电桥和电位差计属于直流比较仪表,交流电桥属于交流比较仪表	 比较式直流电桥
数字 仪表	采用数字测量技术,并以数码的形式直接显示出被测量的大小	常用的有数字式电压表、数字式万用表、数字式频率表等	 数字式电压表
智能 仪表	利用微处理器的控制和计算功能,这种仪器可实现程控、记忆、自动校正、自诊断故障、数据处理和分析运算等功能	智能仪表一般分为两大类,一类是带微处理器的智能仪器,另一类是自动测试系统	 数字式存储示波器



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。它广泛应用于发电厂、配电所的运行监视和测量中,但其准确度一般不高。

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。

智能仪表是由可控仪器经通用接口与计算机连接组成一个系统,测试工作由计算机控制按预先编制的程序自动进行,适用于大型自动机器的实时监测。实验室常用的数字式存储示波器就属于智能式仪表,它是模拟示波器技术、计算机技术和数字化测量技术的综合产物,不但能对输入电压的波形进行显示和存储,而且可以利用微型计算机强大的数据处理能力对被测波形的各种参数,如最大值、有效值、平均值、频率、前后沿时间等进行测量和计算,并将被测波形及其测量结果直接显示在荧光屏上。同时,它也具备了智能仪器的其他功能,如自检、自控、可编程等。

二、电工指示仪表的型号

电工指示仪表是电工测量中最常用的仪表,掌握电工指示仪表的型号对选择仪表具有重要意义。电工指示仪表的型号是按照有关规定编制的,它反映了仪表的用途、工作原理等主要特性。

1. 安装式指示仪表型号的编制规则

下面,以 42C10-A 型仪表为例,说明安装式指示仪表型号的组成及含义,如图 1-4 所示,42C10-A 就表示设计序号为 10 的安装式磁电系电流表。其中,系列代号 C 前面的数字 42 是仪表的形状代号,它表明这是一块 42 系列的方形安装式仪表,其外形尺寸为 120 mm × 120 mm,安装尺寸为 112 mm × 112 mm。

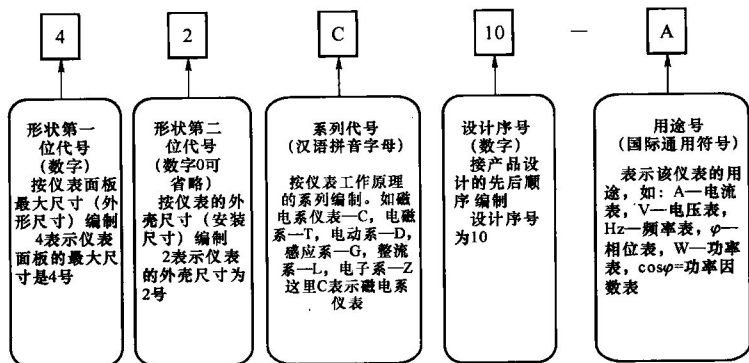


图 1-4 安装式仪表型号的编制规则

2. 便携式指示仪表型号的编制规则

由于便携式仪表不是固定安装在开关板上的,故不需要前面的形状代号,其他编制规则与安装式仪表相同,如图 1-5 所示。T19-A 表示一块设计序号是 19 的便携式电磁系电流表。

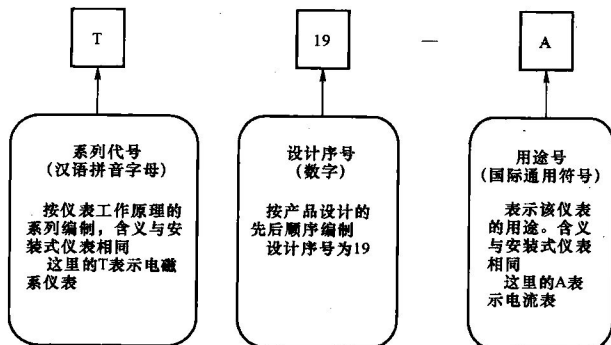


图 1-5 便携式仪表型号的编制规则



便携式仪表和安装式仪表型号的区别主要是看其系列代号前面是否有数字:无数字的是便携式仪表,有数字的是安装式仪表,购买安装式仪表时一定要选择形状代号符合安装要求的仪表,否则购买的仪表可能安装不到开关柜上去。

3. 电能表型号的编制规则

电能表型号的编制规则与便携式指示仪表的形式相似,但含义不同,如图 1-6 所示。型号 DD282 就表示一块设计序号为 282 的单相电能表。

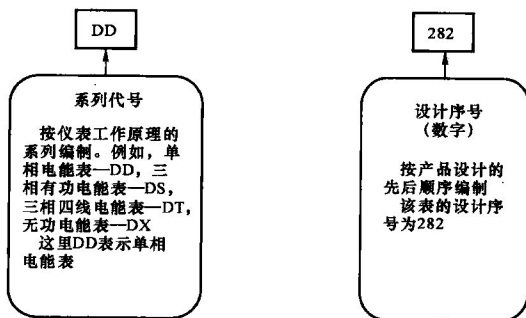


图 1-6 电能表型号的编制规则

三、电工仪表的标志

不同的电工仪表具有不同的技术特性,为了便于选择和正确使用仪表,通常用各种不同的图形符号来表示这些技术特性,并标注在仪表面板的显著位置上,这些图形符号叫做仪表的标志。下面以图 1-7 所示的仪表面板为例,介绍常用电工仪表的标志及其含义。

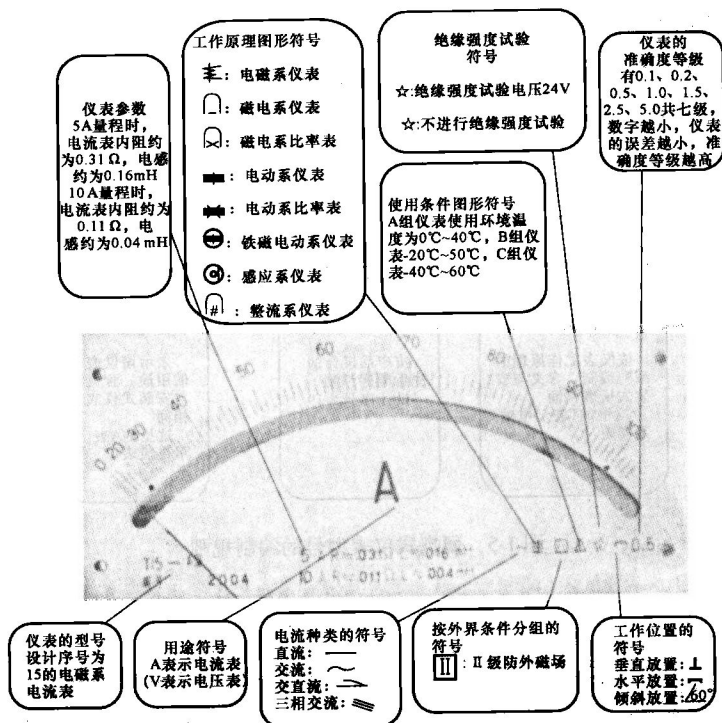


图 1-7 电工仪表的标志及其含义



表 1-2 常用的测量单位符号

物理量	名称	符号	物理量	名称	符号	物理量	名称	符号
电流	千安	kA	功率	瓦特	W	电阻	毫欧	mΩ
	安培	A	无功功率	兆乏	MVar	相位	度	°
	毫安	mA		千乏	kVar	功率因数	(无单位)	—
	微安	μA		乏尔	Var	无功功率因数	(无单位)	—
电压	千伏	kV	频率	兆赫	MHz	电容	法拉	F
	伏	V		千赫	kHz		微法	μF
	毫伏	mV		赫兹	Hz		皮法	pF
	微伏	μV	电阻	兆欧	MΩ	电感	亨	H
功率	兆瓦	MW		千欧	kΩ		毫亨	mH
	千瓦	kW		欧姆	Ω		微亨	μH

表 1-3 按外界条件分组的常用符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
I 级防外磁场 (例如磁电系)		III 级防外磁场 及电场		B 组仪表	
I 级防外电场 (例如静电系)		IV 级防外磁场 及电场		C 组仪表	
II 级防外磁场 及电场		A 组仪表			

第三节 测量误差

在测量过程中,由于受到测量方法、测量设备、测量条件及观测经验等多方面因素的影响,测量结果不可能是被测量的真实数值,而只是它的近似值。任何测量的结果与被测量的真实值之间总是存在着差异,这种差异称为测量误差。

一、测量误差的分类

根据产生测量误差的原因,可以将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

在相同条件下多次测量同一量时,保持恒定不变或按照一定规律变化的测量误差,称为系统误差。系统误差主要是由于测量设备不准确、测量方法不完善和测量条件不稳定而引起的,有时也与测量人员生理上的特点有关。由于系统误差表示了测量结果偏离其真实值的程度,即反映了测量结果的准确度。系统误差越小,测量结果的准确度就越高。

2. 偶然误差

偶然误差又称为随机误差,是一种大小和符号都不确定的误差,即在同一条件下对同一被测量重复测量时,各次测量结果很不一致,没有确定的变化规律。这种误差的处理依据概率统计方法。产生偶然误差的原因很多,如温度、磁场、电源频率的偶然变化等都可能引起这种误差;此外,观测者本身感官分辨本领的限制,也是偶然误差的一个来源。偶然误差反映了测量的精密度,偶然误差越小,精密度就越高,反之则精密度越低。

系统误差和偶然误差是两类性质完全不同的误差。系统误差反映在一定条件下误差出现的必然性;而偶然误差则反映在一定条件下误差出现的可能性。系统误差和偶然误差两者对测量结果的综合影响反映为测量的准确度,又称精确度。

3. 疏失误差

疏失误差是在测量过程中由于操作、读数、记录和计算等方面的错误所引起的误差。显然,凡是含有疏失误差的测量结果是应该摒弃的。

二、测量误差的消除方法

测量误差是不可能绝对消除的,但要尽可能减小误差对测量结果的影响,使其减小至允许范围内。

消除测量误差,应根据误差的来源和性质,采取相应的措施和方法。必须指出:一个测量结果中既存在系统误差又存在偶然误差时,要截然区分两者是不容易的。所以应根据测量的要求和两者对测量结果的影响程度,选择消除方法。一般情况下,在对精密度要求不高的工程测量中,主要考虑对系统误差的消除;而在科研、计量等对测量准确度和精密度要求较高的测量中,必须同时考虑消除上述两种误差。

1. 系统误差的消除方法

(1) 对度量器、测量仪器仪表进行校正 在准确度要求较高的测量结果中,引入校正值得进行修正。

(2) 消除产生误差的根源 即正确选择测量方法和测量仪器,改善仪表安装质量和配线方式,尽量使测量仪表在规定的使用条件下工作,消除各种外界因素造成的影响。

(3) 采用特殊的测量方法 如正负误差补偿法、替代法等。例如,用电流表测量电流时,考虑到外磁场对读数的影响,可以把电流表转动 180° ,进行两次测量。在两次测量中,必然出现一次读数偏大而另一次读数偏小的现象,取两次读数的平均值作为测量结果,其正负误差抵消,可以有效地消除外磁场对测量的影响。

2. 偶然误差的消除方法

偶然误差的消除方法是:在同一条件下,对被测量进行足够多次的重复测量,取其平均值作为测量结果。根据统计学原理可知,在足够多次的重复测量中,正误差和负误差出现的可能性几乎相同,因此偶然误差的平均值几乎为零。所以,在测量仪器仪表选定以后,测量次数是保证测量精密度的前提。

三、测量误差的表示方法

测量误差通常用绝对误差和相对误差表示。

1. 绝对误差

测量结果的数值 A_x (测得值) 与被测量的真实值 A_0 的差值称为绝对误差,用 ΔA 表示,即

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

由于被测量的真实值 A_0 往往是很难确定的,所以实际测量中,通常用标准表的指示值或多次测量的平均值作为被测量的真实值。

例 1-1 某电路中的电流为 10 A ,用甲电流表测量时的读数为 9.8 A ,用乙电流表测量时其读数为 10.4 A 。试求两次测量的绝对误差。

解: 由式(1-1)可求得用甲表测量的绝对误差为

$$\Delta I_1 = I_1 - I_0 = (9.8 - 10)\text{ A} = -0.2\text{ A}$$

用乙表测量的绝对误差为

$$\Delta I_2 = I_2 - I_0 = (10.4 - 10)\text{ A} = 0.4\text{ A}$$