



新世纪高职高专教改项目成果教材
Xinshiji Gaozhi Gaozhuan Jiaogai Xiangmu Chengguo Jiaocai

电路基础实验 与综合训练

王慧玲 主 编
陈 强 副主编



高等教育出版社

新世纪高职高专教改项目成果教材

电路基础实验与综合训练

王慧玲 主 编

陈 强 副主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材,内容符合教育部高职高专电工技术基础课程教学基本要求。本书以能力培养为目的,精心选择实验内容,科学安排实验方案,合理设计实用的综合训练课题,为各校的实验实训教学提供了良好的教学素材。

全书共五章,第1章介绍了电工测量与仪表的基本知识;第2章是电路基础基本实验;第3章是电路基础选做实验;第4章是电路基础综合训练;第5章是实验设备简介。

本书适合高职高专电类专业师生使用,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础实验与综合训练/王慧玲主编. —北京:高等教育出版社, 2004.4

ISBN 7-04-013905-7

I. 电... II. 王... III. 电路-实验-高等学校:技术学校-教材 IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第004871号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 涿州市星河印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 13.5
字 数 320 000

版 次 2004年4月第1版
印 次 2004年4月第1次印刷
定 价 16.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业。推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

前 言

为了适应现代电子技术的飞速发展,更好地培养 21 世纪的应用型技术人才,使学生的工程技术素质和动手能力得到提高,作者在结合多年的教学实践经验和体会的基础上编写了本教材。

对科学的认识是从实验开始,对实验的兴趣是课程学习的动力,电路实验与综合训练是培养学生的工程技术素质和实际动手操作能力的重要教学环节。通过电路实验与综合训练,提高实践教学效果,规范实践教学过程,使学生掌握电工技术的基本技能,实现培养第一线高素质电子电气技术人才的目的。

本书共有五章,第 1 章介绍了电工测量与仪表的基本知识,内容包括:误差的概念、数据处理、常用电工仪表面板标记及几种典型的测量机构和工作原理,为实验实践奠定基础。第 2 章是电路基础基本实验,包含 16 个传统的实验项目,培养学生基本实验技能。第 3 章是电路基础选做实验,包含 9 个各具特色的实验项目,实验的设计思想是通过实验来认识科学理论(尽管有些理论有高度和难度),体现科学源于实践,培养学生研究性学习的科学精神,这是一种教改尝试。第 4 章是电路基础综合训练,教学内容的编排突出了职业教育的特色,把生活中最频繁接触的实用电路、电器及基本应用电路的制作等技能培养作为课程的教学任务,这在目前的教材中是不多见的。第 5 章是实验设备简介,介绍了最常用的电路实验设备的功能和使用方法,帮助学生了解仪器仪表,提高使用操作水平。

本书的特点是突破传统的实验教学模式,在体现新知识、新技术、新工艺、新方法的同时,也体现实施素质教育的要求,培养学生研究性学习的科学精神,注重培养创新精神和实践动手能力。本教材厚基础,重实践,既有电路的理论支撑,又有科学得当的实验方案,并涵盖了强弱电专业的所有实验,可供不同专业、不同学时,不同教学对象,针对自己的教学要求来取舍。为了适应各校的不同实验环境,实验设备选取通用型。

本教材选编实验内容既有测试性、验证性实验,又有综合性、提高性实验,综合训练突出应用性。全书体系完整,内容丰富,既可配合电路基础的课程教学,又可作为实验教学独立设课的教学用书。

本书由王慧玲担任主编,陈强任副主编。周春生、刘炳辉参加了部分实验的编写。其中王慧玲编写了第 1、2、3、5 章;陈强编写了第 4 章,全书由王慧玲统稿。本教材由薛涛主审,薛涛老师对本书作了仔细的审阅,提出了许多宝贵的意见,谨此向薛老师表示衷心的感谢。

限于我们的水平,书中不妥、疏漏或错误之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编者
2003 年 8 月

目 录

电路实验与综合训练须知	1	§ 3-6 二阶动态电路响应的研究	99
第 1 章 电工测量与仪表的基本知识	4	§ 3-7 二端口网络参数的测定	103
§ 1-1 仪表的误差和准确度等级	4	§ 3-8 回转器	109
§ 1-2 数据处理	8	§ 3-9 磁滞回线的测定	114
§ 1-3 指示仪表的分类和表面标记	9	第 4 章 电路基础综合训练	120
§ 1-4 常用电工仪表的工作原理	12	§ 4-1 电工基本技能	120
第 2 章 电路基础基本实验	20	§ 4-2 室内供电线路敷设	129
§ 2-1 仪器仪表使用练习	20	§ 4-3 简单家用电器的维修	145
§ 2-2 元件伏安特性的测试	25	§ 4-4 实用电工电路制作	158
§ 2-3 电压、电位的测量和基尔霍夫定律	29	第 5 章 实验设备简介	168
§ 2-4 叠加定理	32	§ 5-1 仪器仪表的使用与维护	168
§ 2-5 戴维宁定理	34	§ 5-2 直流稳压电源	169
§ 2-6 示波器、信号发生器使用练习	40	§ 5-3 低频信号发生器	170
§ 2-7 交流电路元件电压与电流关系测试 (示波器用法练习)	47	§ 5-4 函数信号发生器	171
§ 2-8 RL 、 RC 串联电路的研究	49	§ 5-5 万用表	173
§ 2-9 交流元件参数的测定	52	§ 5-6 毫伏表	176
§ 2-10 感性负载功率因数的提高	55	§ 5-7 示波器	178
§ 2-11 三相负载的星形联结	58	§ 5-8 电动系功率表	186
§ 2-12 三相负载的三角形联结	62	§ 5-9 电阻表	189
§ 2-13 串联谐振电路	65	§ 5-10 直流单臂电桥	190
§ 2-14 并联谐振电路	68	§ 5-11 兆欧表	192
§ 2-15 互感与变压器	70	§ 5-12 滑线电阻器的使用	194
§ 2-16 一阶动态电路响应的研究	75	§ 5-13 旋臂电阻箱	195
第 3 章 电路基础选做实验	80	§ 5-14 单相自耦调压器	196
§ 3-1 数模变换解码电路	80	§ 5-15 磁通计	197
§ 3-2 互易定理	83	§ 5-16 QS18A 型万能电桥	199
§ 3-3 受控源特性测量	85	附录 各类常用电流表、电压表的 基本测量值	204
§ 3-4 非正弦周期性电压的研究	90	参考文献	207
§ 3-5 负阻抗变换器	94		

电路实验与综合训练须知

实验教学是工程技术学科教学中的重要环节。为了适应我国社会经济与科学技术的发展,培养实用型人才。在课程教学过程中加强实践教学,对学生进行专业技能训练,提高学生的工程实践能力,是当前教学改革的迫切任务。因此,必须对实验教学予以足够的重视。

一、课程的性质和基本要求

电路实验与综合训练是一门实践性很强的重要技术课程。

在实验课程的进行中,教师应注重对学生的工程技术能力的培养。例如:① 使用常见电工仪器仪表的技能;② 实施实验过程的能力;③ 观察分析电路现象的能力;④ 应用电气测量技术的能力;⑤ 调试简单实验或简单电路故障排查的能力等;⑥ 职业素质和创新精神的培养,等等。同时,通过电工基本技能训练、室内供电线路敷设、简单家用电器的维修和实用电工电路制作等综合训练,加强对学生实际动手能力的培养。

通过实验与综合训练,应使学生掌握中高等电类专业人员必备的电工测量的基本知识、电路实验的基本技能和实用电工操作技能,从而达到下列基本要求:

- (1) 了解电工仪表的分类、准确度 and 面板符号,正确选择仪表。
- (2) 能够熟练掌握交、直流电流表、电压表、万用表及单臂电桥、滑线电阻器、直流稳压源、单相调压器的使用方法,了解其结构、原理和主要技术特性。同时要求熟练掌握电路中的电流、电压、电阻等电量的测量技术。
- (3) 学会使用信号发生器、毫伏表、示波器等电子仪器及常用电工工具。
- (4) 能够根据实验需要,正确选择电路元件,正确连接实验线路,观察实验现象,排除简单电路故障。
- (5) 了解误差理论,学会正确处理数据,绘制实验曲线,分析实验结果,撰写实验报告。
- (6) 认真研究实验现象,积极思考和讨论实验问题,培养创新精神;同时要有严肃科学的态度,团结协作的团队精神和爱护实验设备设施的良好品德。掌握电工实验操作规范要领和安全用电的基本知识。
- (7) 掌握电工基本操作技能,会进行室内供电线路敷设,会进行简单家用电器的维修,会制作简单的实用电工电路。

二、实验课程的进行方式

本教材中的电工测量基本知识,仪器仪表的结构、原理和使用方法,可以采取讲授或自学的方式。实验部分可按下列顺序进行:

1. 课前预习

实验前要认真预习实验所涉及的有关知识,明确实验目的和要求,了解实验原理、仪器仪表

设备的使用方法、注意事项等。

2. 课程进行

(1) 检查仪器仪表设备

首先检查本次实验所需的仪器仪表设备、部件是否齐全,仪表的类型和量限是否合适,仪表指针起始位置是否正确,指针摆动是否灵活等。同时记录仪器仪表设备的型号、规格及标号,以便在分析实验结果时,作为数据准确性和可靠性的依据。

(2) 连接线路

实验前,仪器仪表设备摆放和布局要合理,操作安全。断电状态时进行连线,按电路顺序相连。连线要可靠,线路要清楚有序,各分支、结点易辨别(可以利用导线的色彩特征等)。

(3) 检查线路

线路接好后,同学之间互查线路是否正确,除了查电路连接外,还要查滑线变阻器活动触点位置是否合适,调压器手柄指针位置是否在零位,仪表量限和极性是否符合要求。初次实验或较复杂的实验线路,须经老师核查线路后再通电。

(4) 接通电源

通电前,首先通知全组成员做好准备,以免发生人身事故或设备损毁,有异常现象,及时断电。

(5) 读取和审查数据

正确读取仪表数据,并准确记录,判断其合理性。实验数据应由教师帮助审定,以便确定实验是否成功。

(6) 拆除线路

数据经审查合格并准备结束实验时,首先要切断电源,再拆除线路,整理仪器仪表设备,清理导线。经老师允许,方可离开实验室。

三、实验报告的撰写

实验结束后,必须认真及时地撰写实验报告。实验报告是实验结果的总结和反映。一个实验的价值,很大程度上取决于实验报告质量的高低。

1. 撰写实验报告的要求

(1) 实事求是的科学态度

实验数据与实验结果是对电路进行分析研究的依据。因此,实验取得的资料,如数据、图形等应真实地反映到实验报告中去,不允许更改、抄袭或主观臆断。如因操作错误使数据违背规律,应当重做实验,重新取得数据。

(2) 符合要求的具体内容

实验报告应以实验目的和实验要求为中心内容。

(3) 不断积累、深入探索的钻研精神

实验过程是培养实验技能,提高动手能力,增加实践经验的过程。学生应善于总结实验中的经验与不足,整理记录在实验报告中,对以后做好实验提供帮助。

(4) 报告形式规范

实验报告应文字流畅,语言准确,书写清楚、整齐。图形、表格要绘制清晰、准确。

2. 实验报告的主要内容

- (1) 实验名称,实验日期,实验者班级、姓名及学号,实验组别,同组人姓名。
- (2) 实验目的 实验目的是实验的宗旨,只有明确目的,才能做好实验。在本栏中,学生应简明地概述本实验通过何种方法,训练哪些技能,达到怎样的要求等。
- (3) 实验仪器与设备 列出完成实验所需的物质准备。
- (4) 实验线路 画出实验电路图与测试电路图,标明元、器件及参量和仪器仪表设备名称等。
- (5) 实验记录 实验过程记录的数据、图形及其绘制的曲线、图表。
- (6) 实验结论 实验结果说明的问题。
- (7) 实验心得 问题讨论,质量分析及学习心得等。
- (8) 实验能力评价 由老师根据学生实验情况做出指导性评价。

四、综合训练的基本要求

- (1) 认真地进行实操技能训练,如常用电工工具的使用,导线的连接与恢复,手工焊接技术等。提高实操水平。
- (2) 学习配电盘的安装,白炽灯的安装,荧光灯的安装技术。
- (3) 学习电吹风、电熨斗、电饭锅等家用电器的简单维修技术。
- (4) 学会实用电工电路制作,袖珍万用表,电阻温度计等。

五、实验室的安全操作规则

在实验中,为了防止仪表和仪器设备的损坏,保证人身安全,实验者必须严格遵守安全操作规则:

- (1) 熟悉实验室的直流与交流电源,了解其电压、电流额定值和控制方式,区分直流电源的正负极和交流电源的相线与中性线。
- (2) 要知道仪器仪表的规格、型号、使用方法,特别要注意额定值和量限。
- (3) 通电前应待全组人员有准备后再接通电源。
- (4) 实验中不得用手触摸线路中带电的裸露导体。改、拆接线路时应断开电源,电容应用导线短接放电(安全电压 36V 以下,安全电流 100mA 以下)。
- (5) 发现异常现象,如:仪表指针猛打,有焦味、冒烟、闪弧,有人触电等,立即切断电源,报告指导老师,查找原因,排除故障。

实验要规范有序,不要忙乱。应按操作步骤实施实验。与本次无关的仪器设备不要乱动。实验完毕后,仪器设备恢复常位,并切断电源。

第1章

电工测量与仪表的基本知识

电路基础实验中,电路参数测量是一项重要而基本的工作,这项工作比较复杂,如正确地选择和
使用仪器仪表、正确地读取和处理数据、正确地进行误差分析等,都将直接或间接地影响到实验的结
果。因此,掌握测量的基本知识就显得尤为重要。这里首先介绍电路测量的基本知识,包括仪表的误
差和准确度等级;数据处理;仪表的分类和面板符号;常用仪表的测量机构以及如何正确选择仪表进
行测量等等。

§ 1-1 仪表的误差和准确度等级

一、仪表误差的分类

仪表用来量度。但无论仪器仪表的制造工艺如何完善,性能质量如何好,仪表指示的数值和
被测的实际值之间总有一些差异,这种差异就叫做仪表的误差。

按仪表产生误差原因的不同,可分为基本误差和附加误差两种。

1. 基本误差

基本误差是仪表在正常工作条件下本身所固有的,它是由于仪表本身结构或制造工艺上的
不完善,例如由于轴尖与轴承之间的摩擦,标尺刻度不准,弹簧变形、装配得不好等等而产生的误
差,属于基本误差。

2. 附加误差

附加误差是仪表受外界条件影响所引起的误差。例如由于环境温度、湿度、外界电磁场、频
率、电压或电流等的变化,使仪表偏离了正常工作条件,产生了附加误差。

除仪表的基本误差和附加误差外,在进行测量时,还会有由于测量方法及读数方法不正确或
读数不精细等原因引起的人为误差。因此,应认真地考虑测量方法,仔细地读数,以获得尽可能
准确的测量数据。

二、误差的表示方法

仪表的误差,一般可用绝对误差、相对误差和引用误差来表示。

1. 绝对误差 Δ

仪表的绝对误差是指仪表的指示值 A_x 与被测量量的真值 A_0 之差值,即

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

被测量量的真值可由标准表指示。绝对误差的单位与被测量量的单位相同。

例如,真值为 100 mA 的电流,用电流表 1 测量时指示为 101 mA,用电流表 2 测量时指示为 99.8 mA,则它们在测量 100 mA 电流时的绝对误差为

$$\Delta_1 = 101 - 100 = 1 \text{ mA}$$

$$\Delta_2 = 99.8 - 100 = -0.2 \text{ mA}$$

由此可见, Δ 为正时,测量量的值偏大; Δ 为负时,测量量的值偏小。测量同一个量时, Δ 的绝对值越小,测量的结果越准确。

2. 相对误差 γ

测量不同大小的参数时,用绝对误差难以比较测量结果的准确程度,为此引入相对误差。

相对误差是绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 之间的比值,通常用百分数表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2a)$$

在实际测量中,常常用仪表的指示值 A_x 代替真值 A_0 进行相对误差的近似估算,即

$$\gamma \approx \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-2b)$$

相对误差给出了测量误差的明确概念,用它对不同测量值的测量误差进行比较很方便,所以它是一种较为常用的测量误差表示形式。

例如,用电压表测真值为 100 V 电压时指示 101 V,绝对误差为 1 V,测 20 V 电压时指示 19.2 V,绝对误差为 0.8 V,从绝对误差看,前者大于后者,但算得相对误差分别为

$$\gamma_1 = \frac{101 \text{ V} - 100 \text{ V}}{100 \text{ V}} \times 100\% = +1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{19.2 \text{ V} - 20 \text{ V}}{20 \text{ V}} \times 100\% = -4\%$$

前者对测量量值的相对误差是 1%,而后者是 4%,从测量的准确度看,显然前者的误差要比后者小,准确度高。因此,在工程上,凡要求计算测量结果的误差时,一般都用相对误差。

3. 引用误差

相对误差虽然能说明测量不同数值时的准确程度,但还不能完全说明仪表本身的准确性如何。因为同一个仪表的基本误差,在刻度范围内变化不大,但由于标度尺不同位置的读数变化很大,相对误差的变化就很大。为了较好地反应仪表的基本误差,可用绝对误差作分子,仪表的测量量限 A_m 作分母,取其比值的百分数,定义为引用误差,即

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

例如,上例中所用的电压表的测量量限为 150 V,用该电压表测真值为 100 V 电压时指示 101 V,测 20 V 电压时指示 19.2 V,则引用误差为

$$\gamma_{n1} = \frac{101 \text{ V} - 100 \text{ V}}{150 \text{ V}} \times 100\% = +0.67\%$$

$$\gamma_{n2} = \frac{19.2 \text{ V} - 20 \text{ V}}{150 \text{ V}} \times 100\% = -0.53\%$$

由于仪表不同刻度点的绝对误差略有不同,所以若将可能出现的最大绝对误差与仪表的测量量限比值的百分比作为仪表的引用误差,则该引用误差称为最大引用误差,即

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

三、准确度

1. 仪表的准确度

仪表的准确度是用来反映仪表的基本误差的。上面已说明,引用误差可以较好的反映仪表的基本误差,所以仪表的准确度用引用误差表示。但是,若将仪表标尺上各点的引用误差都列出来,以说明仪表的准确度,很不方便。因此,用正常工作条件下,可能出现的最大引用误差来表示仪表的准确度等级。

设仪表的准确度等级为 K , 则

$$\pm K\% = \gamma_{nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

准确度等级 K 的数字越小,在正常工作条件下可能出现的最大引用误差越小,表示仪表的准确度越高。

我国生产的电工仪表的准确度,按国家标准规定分为七个等级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。各级仪表用引用误差表示的基本误差不超过表 1-1-1 中的规定。

表 1-1-1 各级仪表的允许基本误差

仪表的准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 $\times 100$	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

通常,0.1、0.2 级仪表用作标准表,用以检定其他准确度较低的仪表;0.5、1.0、1.5 级仪表多用于电度计量和实验室;1.5、2.5、5.0 级仪表常用于电气测量工程。

2. 测量的准确度

测量的准确度是以测量结果的相对误差表示。

进行测量时,我们往往并不知道真值,也就不知道绝对误差和相对误差。但知道了仪表的准确度等级,便可确定测量的准确度。

由式(1-5)可得仪表的最大绝对误差

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) \quad (1-6)$$

测量量值的最大相对误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{A_m \times (\pm K\%)}{A_x} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, A_x 为仪表的测量量值。

例 用一只量限为 250 mA、准确度等级为 0.5 级的电流表,测量 180 mA 的电流,求其可能的最大绝对误差和最大相对误差。

解:量限 $A_m = 250 \text{ mA}$ 、准确度等级 $K = 0.5$ 级的电流表,其可能的测量量值的最大绝对误差由式(1-6),得

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) = 250 \times (\pm 0.5\%) = \pm 1.25 \text{ mA}$$

其可能的测量量值的最大相对误差,由式(1-7),得

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 1.25}{180} \times 100\% = \pm 0.694\%$$

注意,比较式(1-7)与式(1-5)可见,测量的准确度与仪表的准确度不同,只有当测量量值等于仪表的量限时,两者才相等。

在选用仪表时,除了考虑仪表的准确度以外,还要选择合适的量限,以提高测量的准确度。我们知道仪表的准确度以最大引用误差来衡量,而测量准确度以该处可能产生的最大误差来衡量。准确度高的仪表在使用不合理时产生的相对误差可能会大于准确度低的仪表。

例如,为了测量 20 V 电压,如果选用准确度为 0.5 级,量限为 150 V 的电压表,则测量结果中可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) = 150 \times (\pm 0.5\%) = \pm 0.75 \text{ V}$$

测量 20 V 时最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.75}{20} \times 100\% = \pm 3.8\%$$

如果选用准确度为 1.5 级,量限为 30 V 的电压表,则测量结果中可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = A_m \times (\pm K\%) = 30 \times (\pm 1.5\%) = \pm 0.45 \text{ V}$$

测量 20 V 时最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.45}{20} \times 100\% = \pm 2.2\%$$

由此可见,测量结果的准确度不仅与仪表的准确度等级有关,而且与它的量限也有关。上例中用 0.5 级、量限 150 V 的仪表,所测出的测量误差反而比用 1.5 级、量限 30 V 的仪表为大。

因此,在选择仪表的量限时,被测值应尽量使指针在刻度标尺的 $2/3$ 以上。

3. 提高测量准确度的方法

虽然实验中的测量误差不可避免,但采取某些措施可减少或消除它们。

(1) 经常对仪表进行校正。

① 采用标准表对被校正表进行校正,需要时对被校正表的读数引入校正值。

② 仪表使用前要作零点调整,例如大部分仪表在未通电时指针应指在零点,当偏离零点时,可用机械调零装置进行调整。而欧姆表测量电阻时,则应先用零欧姆调节旋钮调零后再进行测量。

(2) 仪表和仪器的安置要正确。

仪表和仪器要按要求摆放。水平摆放的仪表不能垂直摆放,否则仪表的读数误差将增大。放置仪表和仪器的环境应不受外界电磁场的干扰。

(3) 避免用大量限仪表测量小量限的被测量。

实际上,在仪表的同一量程中,指针偏转越大,相对误差越小,测量准确度越高。所以在选择仪表量限时,既要考虑仪表的准确度等级,又要合理选择仪表量程,才能保证有足够的测量准确

度(一般应使指针偏转在仪表量程的 $2/3$ 以上为佳)。

思考题

1-1-1 什么是基本误差?什么是附加误差?

1-1-2 说明仪表的准确度与测量结果的准确度的区别。

1-1-3 国标规定的电工仪表的准确度等级及通常使用场合如何?

1-1-4 一只电流表的准确度为 0.5 级,有 1 A 和 0.5 A 两个量程,现分别用这两个量程测量 0.35 A 的电流,计算它们的最大相对误差,采用哪个量程为好?

§ 1-2 数据处理

一、有效数字

在测量中,常常需要从仪表指针的指示位置估计读出最后一位数字,这个估计数字称为欠准数字。超过一位的欠准数字是没有意义的,不必计入。

例如,图 1-2-1(a)所示,指针指示刻度读为 3.5 A,小数点后的一位“5”就是估计的欠准数字。图 1-2-1(b)所示,指针指示刻度读为 4.0 A,小数点后的一位“0”就是估计的欠准数字。仪表指针指示刻度的读数和最后一位估计数字,称为实验数据的有效数字,上述 3.5 A 和 4.0 A 都是两位有效数字。

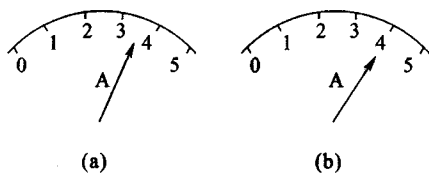


图 1-2-1 欠准数字的读取方法

在实验记录中的有效数字作如下规定:

1. 有效数字的位数与小数点无关,如电压 123 V 和 0.123 kV 都是 3 位有效数字。
2. “0”在数字之间或数字之末,算作有效数字,在数字之前,不算作有效数字。例如 1.04、80.3、600 都是 3 位有效数字,而 0.021、0.24 都是两位有效数字。注意 5.40 与 5.4 的有效数字位数是不相同的,前者是 3 位有效数字,其中“4”是准确数字,“0”是欠准确数字;后者是两位有效数字,其中“4”是欠准确数字。所以 5.40 的“0”不能省略,具有特定含义。

3. 遇到大数字或小数字时,有效数字的记法如下: 4.80×10^3 和 4.8×10^{-3} ,分别表示 3 位和 2 位有效数字。电压表的读数为 3.75 kV,是 3 位有效数字,可以写成 3.75×10^3 V,但不能写成 3 750 V,后者变成 4 位有效数字了。 4.1×10^3 和 4.10×10^3 分别表示 2 位和 3 位有效数字,不能认为是相同的准确度。小数字 0.000 41,可以写成 4.1×10^{-4} ,有 2 位有效数字。

二、有效数字运算规则

对有效数字进行运算时,为了保证运算结果的准确度,有效数字位数的记法规则如下:

1. 运算结果只保留一位欠准数字。舍去多余的欠准数字时,近似地可采用四舍五入法。
2. 运算中的常数,如 π 、 $\sqrt{2}$ 、e 或仪表的量限等,可根据需要任意取用有效数字的位数,不加限制。

3. 基本运算

(1) 当几个数相加或相减时,其得数在小数点后的位数,应取与运算数中小数点后位数最少的一个位数相同。例如:

$$12.5 + 5.21 = 17.7$$

(2) 当几个数相乘或相除时,其得数的位数,应取与运算数中位数最少的一个位数相同,有时也可根据需要多保留一位。例如:

$$1.243 \times 4.2 = 5.2$$

$$3.2 \times 6.22 = 19.9$$

人们往往错误地认为:保留数字的更多的位数会使实验结果更准确。实际情况并不是这样,只有科学地按有效数字处理数据,才能使实验结果更准确。

思 考 题

1-2-1 在电压测量中,用电压表测得两个电压值分别为 12.5 V 和 3.5 V,求这两个电压之差。

1-2-2 在电阻测量中,电压表读数为 5.13 V,电流表读数为 2.0 mA,求被测电阻的值。

§ 1-3 指示仪表的分类和表面标记

一、指示仪表的分类

测量各种电量和磁量的仪表,统称为电工仪表。电工仪表的种类很多,分类方法也很多,这里介绍如下几种:

(1) 按仪表的工作原理,可分为磁电系、电磁系、电动系、感应系等几种仪表。

(2) 按被测量的名称,可分为电流表、电压表、功率表、功率因数表、兆欧表、电度表、频率表等。

(3) 按被测电流的种类,可分为直流表、交流表、交直两用表等。

(4) 按使用方式,可分为开关板式和便携式。前者安装于开关板或仪器的外壳上,其准确度一般较低;后者便于携带,常在实验室使用,其准确度较前者高。

(5) 根据仪表取得读数的方法,可分为指针式、数字式和记录式。

此外,按仪表准确度可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、和 5.0 七级;按仪表防御外界电磁场能力,可分为 I、II、III、IV 四级, I 级防御能力最强, II、III、IV 级依次减弱,见表 1-3-1;按仪表使用时周围气温及相对湿度,可分为 A、B、C 三组,见表 1-3-2;按工作位置,可分为水平、垂直或规定倾斜角度等位置三类,如不按仪表规定的位置使用,则将引起不应有的附加误差。

表 1-3-1 防御外界电磁场能力

仪表对外界电磁场防御等级	允许附加误差 × 100 %
I	± 0.5
II	± 1.0
III	± 2.5
IV	± 5.0

表 1-3-2 仪表使用环境条件

周围环境条件组名	气温/相对湿度范围
A	$0 \sim +40^{\circ}\text{C} / \leq 85\%$
B	$-20 \sim +50^{\circ}\text{C} / \leq 85\%$
C	$-40 \sim +60^{\circ}\text{C} / \leq 98\%$

二、指示仪表的表面标记

在每只指示仪表的表面(刻度盘)上,都标有各种符号标记,用来表示该仪表的工作原理、被测量、准确度等级、工作位置等主要技术特性,以便正确选择和使用仪表。

例如,某一电表左下角有下列各标志符号,如图 1-3-1 所示。

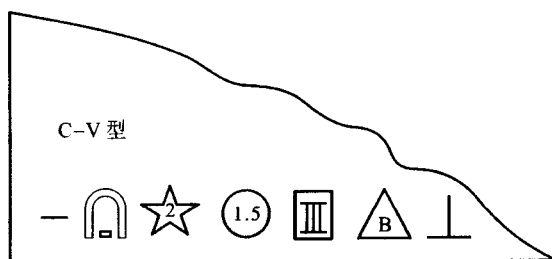


图 1-3-1 表面标记

其意义为:C-V 型表示磁电式电压表;直流;试验电压 2 kV;准确度 1.5 级;防御能力Ⅲ级;使用条件 B 组;垂直使用。

常用指示电工仪表的表面标记见表 1-3-3。

三、指示仪表的主要技术要求

国家标准对电工仪表的质量提出全面的要求,主要有以下几个。

1. 要有足够的准确度

在正常工作条件下,对于某一准确度等级的仪表,在整个量限内的基本误差不应超过表 1-1 所列各值。在非正常工作条件下,仪表的附加误差也应符合国家标准所规定的值。另外,对于指示仪表要求变差要小,变差不能超过基本绝对误差(所谓变差,是指仪表在重复测量某一被测量,由于摩擦等因素造成两次指示值的不同,它们的差值称为变差)。仪表经过长期工作后,其准确度会发生变化,因此要根据规定,对仪表进行定期校验。

2. 要有合适的灵敏度

仪表可动部分偏转角的变化量 Δa 与被测值的变化量 Δx 之比称为仪表的灵敏度,用 S 表示为

$$S = \frac{\Delta a}{\Delta x} \quad (1-8a)$$

对于均匀刻度的仪表,灵敏度为常数,即

表 1-3-3 常用指示电工仪表的表面标记

分类	符 号	名 称	分类	符 号	名 称
电流种类	—	直流	外界条件		I级防外磁场 (例如磁电系)
	~	交流			I级防外电场 (例如静电系)
	=	直流和交流		 	II级防外磁场及电场
测量单位	A	安		 	III级防外磁场及电场
	V	伏		 	IV级防外磁场及电场
	W	瓦			A组仪表
	var	乏			B组仪表
工作原理	Hz	赫			C组仪表
		磁电系仪表	绝缘强度		不进行绝缘强度试验
		电磁系仪表			绝缘强度试验 电压为 2 kV
		电动系仪表	端钮调零器	+	正端钮
		磁电系比率表		-	负端钮
准确度等级		铁磁电动系		*	公共端钮
	1.5	以表尺量限的百分数表示			与屏蔽相连接的端钮
工作位置		以指示值的百分数表示			调零器
		标尺位置垂直			
		标尺位置水平			
		标尺位置与水平面夹角 60°			

$$S = \frac{a}{x} \quad (1-8b)$$

灵敏度越高,说明仪表反映的被测量越小,测量精度越高,但它的指示值却不易稳定,仪表的量限也可能较小。选择仪表时,应使仪表的灵敏度与测量精度的要求与被测量的大小相适应。

3. 要便于读数

仪表的标尺刻度应力求均匀,不均匀刻度的标尺应标明工作范围,有些仪表的标尺上附有镜面,读数时应使指针的影像与指针重合,可以减少读数视差。

4. 要有良好的阻尼

为了克服仪表可动部分的惯性,缩短测量时间,仪表的活动部分应具有良好的阻尼,以便指