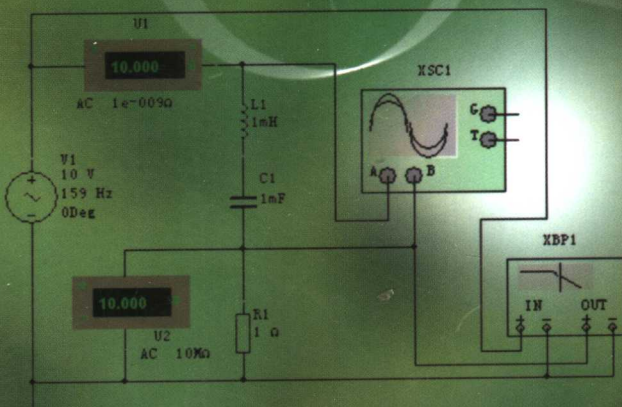
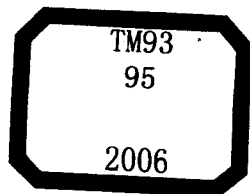


徐祥征 傅钦翠 © 主编

# 电工电子 测试技术基础

DIANGONG DIANZI CESHI JISHU JICHU





# 电工电子测试技术基础

徐祥征 傅钦翠 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书是按照国家教育部工科电工课程指导委员会关于电工电子课程及实验教学的基本要求，在总结作者多年的电工电子课程的教学经验及原实验教材的基础上编写而成的。

全书共分九章：电工电子测试技术基础知识；常用电子电路元器件的识别与主要性能参数；常用电测量指示仪表；数字仪表和常用电子仪器；常用测试方法；Multisim 8 的使用与仿真实验；常规实验；综合设计实验；开放性实验。

本书可作为理工类院校相关专业电工电子课程的教材，也可供有关工程技术人员参考。

---

### 图书在版编目 (C I P) 数据

电工电子测试技术基础 / 徐祥征, 傅钦翠主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2006.9  
ISBN 7-81104-437-4

I. 电... II. ①徐...②傅... III. ①电气测量②电子测量设备 IV. TP93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 100248 号

---

### 电工电子测试技术基础

徐祥征 傅钦翠 主编

\*

责任编辑 黄淑文

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 15.5

字数: 384 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-437-4

定价: 25.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

电工电子实践教学是非电类专业基础课程中的重要实践环节，它与专业教学紧密结合，对于强化基本训练、增强实践能力、加深理解课堂知识、培养动手能力和初步设计能力具有重要的意义。为此，我们按照教育部工科电工课程指导委员会关于电工电子课程及实验教学的基本要求，结合高校实践教学的实际编写了本教材，以满足电工电子实践教学的需要。

本书共九章。前五章分别介绍了电工电子测试技术基础知识、常用电子电路元器件的识别与主要性能参数、常用电测量指示仪表、数字仪表和常用电子仪器、常用测试方法。后四章分别介绍了 Multisim 8 的使用与仿真实验、常规实验、综合设计实验和开放性实验。本教材的编写，力求体现如下特点：

(1) 着眼于对学生创新能力的培养，结合学生已学的知识，有指导性和启发性，适合学生自学和应用。

(2) 覆盖面宽。本教材共设计了 33 个实验项目可供选择，适合于不同层次、不同条件的实践教学需要。

(3) 与教改紧密结合。综合性和开放性实验内容符合培养学生动手能力、工程实践能力和创新能力的教改目标。

(4) 实用性强。本书除了指导学生实验内容外，还编入了相关测试技术内容，以备学生在学习中参考使用。

(5) 本书既有基础实验能力的培养，又有反映时代进步的新知识、新技术内容和新实验方法与手段。

全书由徐祥征、傅钦翠主编。其中，徐祥征对全书进行统稿并编写了第一章、第二章及第七章的实验一至实验三，傅钦翠编写了第四章、第六章及第七章的实验四至实验七，赵莉编写了绪论、第三章及第五章，张冬波、黄晓东编写了第七章的实验八至实验十一，聂国星、王建华编写了第七章的实验十二至实验十五，袁世英、徐敏道编写了第七章的实验十六、第八章及附录一，甘方成、钟化兰编写了第九章及附录二。

本书的编写工作得到了华东交通大学电气与电子工程学院电工基础教学部及实验室老师的密切配合，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

# 目 录

绪 论 .....	1
第一章 电工电子测试技术基础知识 .....	5
第一节 概述 .....	5
第二节 测量误差 .....	8
第三节 测量数据的处理 .....	14
第二章 常用电子电路元器件的识别与主要性能参数 .....	17
第一节 电阻器 .....	17
第二节 电容器 .....	21
第三节 电感器 .....	26
第四节 半导体器件 .....	27
第五节 半导体集成电路 .....	34
第三章 常用电测量指示仪表 .....	39
第一节 电测量指示仪表的一般知识 .....	39
第二节 磁电系测量机构及其仪表 .....	45
第三节 电磁系测量机构及其仪表 .....	55
第四节 电动系测量机构和功率表 .....	58
第五节 感应系仪表 .....	61
第六节 测量用互感器 .....	65
第七节 指示仪表的合理选择与正确使用 .....	69
第四章 数字仪表和常用电子仪器 .....	72
第一节 数字万用表 .....	73
第二节 示波器 .....	76
第三节 信号发生器 .....	86
第四节 晶体管毫伏表 .....	89
第五章 常用测试方法 .....	93
第一节 电压和电流的测量 .....	93
第二节 电路参数的测量 .....	97

第三节	功率的测量	104
第四节	波形测试技术	108
<b>第六章</b>	<b>Multisim 8 的使用与仿真实验</b>	<b>113</b>
第一节	Multisim 8 概述和基本操作	113
第二节	虚拟仪器及元件库	124
第三节	仿真分析法	135
第四节	串联谐振电路的仿真实验	141
第五节	单管电压放大器的仿真实验	143
第六节	集成计数器的应用电路仿真实验	145
<b>第七章</b>	<b>常规实验</b>	<b>150</b>
实验一	简易电压表的设计	150
实验二	日光灯电路	153
实验三	三相交流电路	155
实验四	常用电子仪表的使用	158
实验五	RC 电路的暂态分析	162
实验六	三相异步电动机的启动与控制	164
实验七	单管电压放大器	166
实验八	集成运算放大器的应用	169
实验九	RC 正弦波振荡器与功率放大电路	170
实验十	直流稳压电源	172
实验十一	组合逻辑电路的设计	173
实验十二	集成 JK 触发器和计数器	175
实验十三	简易数字计时(数)器	176
实验十四	555 集成定时器及其应用	178
实验十五	A/D、D/A 转换器	180
实验十六	可编程控制器(PLC)及其应用	183
<b>第八章</b>	<b>综合设计实验</b>	<b>187</b>
实验一	直流稳压电源设计	187
实验二	波形发生器设计	193
实验三	数字钟电路设计	196
实验四	数字频率计设计	201
实验五	多路智力抢答器设计	205
<b>第九章</b>	<b>开放性实验</b>	<b>212</b>
实验一	照明电路的安装	212

实验二	自感、互感及同名端的测定	214
实验三	三相异步电动机的使用	215
实验四	三相异步电动机的综合控制	218
实验五	三相异步电动机的断相保护	220
实验六	波形发生器电路实验	221
实验七	OTL 功率放大器实验	224
实验八	汽车尾灯控制	226
实验九	555 时基电路的综合应用	227
附录一	可编程序控制器 (PLC) 简介	230
附录二	三端稳压器简介	237
参考文献		239

# 绪 论

实验就是将事物置于特定的条件下加以观测,它是对事物发展规律进行科学认识的必要环节;是科学理论的源泉、自然科学的根本、工程技术的基础。任何科学技术的发展都离不开实验。

实践教学是学生通过自身体验、自己动手、自主完成的教学过程,相对于课堂理论教学更具有直观性、综合性、创新性,有着理论教学不可替代的作用,是体现教育与生产劳动相结合的重要途径。实践教学对于提高学生的综合素质、培养学生的创新精神与实践能力具有特殊作用,因此,实践教学环节在电类高等工程教育整体方案中占有极其重要的地位。它是整体教育方案中一个极其重要的有机组成部分;也是当前电类高等工程教育和教学改革的核心问题之一。

## 一、实验在电工电子学课程中的地位和作用

电工电子学是一门实践性很强的学科,实验的目的不仅在于帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是训练和培养学生的工程实践能力、基本技能及素质,树立工程实际观点和严谨的科学作风,同时激发学生的创造性思维能力、观察能力、表达能力、动手能力等。加强实验训练特别是技能的训练,具有十分重要的意义。

电工电子实验,按性质可分为基础性实验、综合性实验和设计性实验。

基础性实验是针对电工电子学基础理论而设置的,通过实验可使学生获得感性认识,验证和巩固重要的理论基础,同时使学生掌握测量仪器的工作原理和规范使用,熟悉常用元器件的原理和性能,掌握其参数的测量方法和元器件的使用方法,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验侧重于对一些理论知识的综合应用和实验的综合分析,其目的是培养学生综合应用理论知识的能力和解决较为复杂的实际问题的能力,包括实验理论的系统性、实验方案的完整性、可行性等综合应用。

设计性实验对学生来说,既有综合性又有探索性。它主要侧重于某些理论知识的灵活运用。要求学生在教师的指导下独立完成查阅资料、设计方案与组合实验等工作,并写出实验报告。借助于计算机仿真实验,可以使方案更加完善、合理。

## 二、电工电子学实验的过程与方法

(1) 课前预习、进行实验和课后完成实验报告(总结)三个阶段。



大部分实验技术理论的学习和实验内容的理解,是通过实验前的预习过程自学的,这十分有利于培养自学能力。只要认真预习,就能明确实验任务与要求,理解实验内容,实验中适当得到教师的指导就能按要求完成实验任务。然后撰写实验报告,总结分析实验结果,从理论上提高对所做实验的认识。其实整个过程也是培养独立工作能力的过程。因此每个实验都要经历预习、实验、总结三个阶段。

**预习:**实验效果的好坏与实验的预习密切相关。其任务是阅读实验指导书,弄清实验原理,明确实验目的和任务,了解实验的方法和步骤及实验中应注意的问题,查找必要的资料,并对实验过程中要观察的现象、要记录的数据及应注意的事项做到心中有数,必要时拟出实验步骤,画出记录表格,一般还要对实验结果进行定量或定性分析,得出理论计算结果或做出估计,以便实验时及时检验结果的正确性。有些仪器、设备仅凭阅读资料难以掌握其使用方法,必要时须要到实验室进行预习。

**实验:**按预习方案进行测试。实验过程既是完成测试任务的过程,又是锻炼实验能力和培养实验作风的过程。在实验中,既要动手,又要动脑。认真观察实验现象和正确读取数据,做好原始数据的记录,培养实事求是的科学态度。沉着、冷静地分析和处理实验中所遇到的各种实际问题。

**总结:**在完成实验测试后,整理实验数据,若发现原始数据不合理,不得任意涂改,应当分析问题所在;并正确绘制实验曲线,对实验结果做出初步的分析、解释,总结实验收获与体会。写出符合要求的实验报告。

(2) 要养成自觉地、主动地应用已学理论知识去指导实验及实验后的总结。

要从理论上分析测试电路的工作原理与特性、可能出现的实验现象及实验中存在的产生误差的原因等;实验中根据观察到的实验现象进行理论分析后确定调试措施;实验结果是否符合理论逻辑及其与理论值的差异,如何确定实验结果及评价其正确度、或精密度、或准确度等,都要从理论的高度来进行分析。

(3) 注意实际知识与经验的积累。

许多实际知识和经验要靠实践过程中长期积累才能丰富起来。实验中所用仪器和元器件的型号、规格及参数、使用方法等要记录下来。要记住实验中出现的各种现象与故障等的特征、排除的方法。要认真总结实验中的经验教训。

(4) 要充分发挥自己的主观能动性,自觉地、有意识地锻炼自己的独立工作能力。

力求通过自学解决实验预习、实验操作过程及实验总结所遇到的各种问题,不要依赖老师指导,要有克服困难的精神,经得起失败与挫折。当经过自己的努力将失败转变为成功时,必定会大有收获,并积累更多的经验。

### 三、学生实验技能的具体要求

在“电工技术”部分,对学生实验技能训练的具体要求是:

- (1) 能使用常用的电工仪表、仪器和电工设备。
- (2) 能按电路图接线、查线和排除简单的线路故障。
- (3) 能进行实验操作,测取数据和观察实验现象。

(4) 能整理、分析实验数据，绘制曲线并写出整洁的、条理清楚、内容完整的实验报告。在“电子技术”部分，对学生实验技能训练的具体要求是：

(1) 能使用常用电子仪器。

(2) 学习查阅手册，对常用的电子元器件具有使用的基本知识。

(3) 初步学会使用二极管、晶体管、集成运算放大器、集成稳压器、门电路、触发器、寄存器、计数器及七段译码器等中、小规模集成电路。

(4) 能根据电路图连接简单的电子线路进行实验。

(5) 能准确读取数据，观察实验现象，测绘波形、曲线。

(6) 能整理、分析实验数据，写出整洁的、条理清楚、内容完整的实验报告。

## 四、实验报告的编写

实验报告分预习报告和总结报告两部分。

预习报告中应写明：

(1) 实验目的；

(2) 实验仪表设备；

(3) 实验内容（分步骤扼要摘抄，画出实验电路及记录表格，预选电表量程，必要的理论计算式，计算值，必须回答的预习问题，特殊注意事项）。

总结报告的内容应包括下面几个部分：

(1) 经整理后的实验数据，计算数据；

(2) 实验波形、曲线；

(3) 对数据、曲线的分析、说明、结论等；

(4) 误差的分析及实验现象的解释；

(5) 回答问题。

总结报告是实验工作的全面总结，应简明地将实验结果完整和真实地表达出来。编写实验总结报告要有实事求是的科学态度，一丝不苟的作风和勤于思考的精神。每次做完实验后，应根据实验结果独立编写实验总结报告。

## 五、实验时的安全用电知识

实验过程中应随时注意安全，包括人身与设备的安全。

实验时，要杜绝电击现象。电击是人体中通过电流时产生的一种剧烈的生理反应。轻则人体触电部位麻木、痉挛，重则造成严重烧伤、甚至死亡。实验中引起电击的主要原因，是由于用电设备的破损或故障及操作不当而误触 220 V、380 V 电压。此外，对于已充电的电容器（尤其是高电压、大容量），即使已断开电源，触及时仍可能发生电击。

因此，实验中应注意以下几点：

(1) 弄清实验电源系统，以便在发生电击时及时切断电源。

(2) 当电源接通进行正常实验时，不可用手触及带电部分；改接或拆除电路时必须先切断电源。

(3) 使用仪器仪表设备时，必须了解其性能和使用方法。切勿违反操作规程乱拨乱调旋钮，尤其注意不得超过仪表的量程和设备的额定值。

(4) 如果实验中用到调压器、电位器以及可变电阻器等设备时，在电源接通前，应将其调节位置放在使电路中的电流为最小的地方，然后接通电源，再逐步调节电压、电流，使其缓慢上升，一旦发现异常，应立即切断电源。

(5) 实验时，连好电路后，必须经指导教师检查后方可通电，并在通电前通知同组同学。

(6) 实验完毕，必须先断开电源开关，经教师检查数据并签字后，才拆线整理。

# 第一章 电工电子测试技术基础知识

## 第一节 概 述

### 一、测试技术的分类

测试技术主要研究被测量的测量原理、测量方法、测量仪器和测量数据处理等。测量就是将被测量与同类单位量进行比较。人们所要研究的内容和测量的量是非常丰富的。通常任何一个信息(或任何一种物质运动)都包含着多种信号(或者说多个量),而一个信号(或量)又包含着不同信息。从不同观点出发,测试技术有不同的分类法。

测试技术所要测量的被测对象,一般分为下列几类:

- ① 有关电磁能的量,如电流、电压、功率、电能、电(磁)场强度等;
- ② 有关电信号特征的量,如频率、相位、波形参数、脉冲参数、频谱、相位关系等;
- ③ 电路参量,如电阻、电容、电感、品质因数、功率因数等,此外还有网络特性参数,如传递函数、增益、灵敏度、分辨率、频带宽度等;
- ④ 非电参量,如温度、压力、重量、速度、位移、长度、振动等。

### 二、电测试技术的特点

测试技术所涉及的知识面广泛,被测对象相当繁杂。但实践证明,不管是电量或非电量均采用电量测量法,这是因为电量测量法具有突出优点:

① 量程范围大。量程是测量范围上限值与下限值之差。一台多量程电磁仪表可达几个数量级,一台数字频率计的量程可达十几个数量级。

② 频率范围广。电子仪器测量频率除了针对直流电量外,还可以测量  $10^{-4}\text{ Hz} \sim 1\text{ THz}$  ( $1\text{ THz} = 10^{12}\text{ Hz}$ ) 的信号。

③ 测量准确度高。目前电磁仪表的误差可小到  $10^{-3}$ ,而数字频率计准确度可达  $10^{-13}$  数量级。由于目前频率测量的准确度高,人们常常把其他参数转换成频率信号再进行测量。

④ 测量速度快。一般电磁测量速度很容易达到  $10^2 \sim 10^3$  次/秒,而在自动控制中的数据采集速度可高达  $10^6$  次/秒以上。

⑤ 易于实现多功能、多量程的测量。以微机为核心组成的智能仪器可实现自动转换量程、多路数据采集和数据处理功能,还能根据直接测量得到的结果经过换算求得其他参数的值,从而实现多功能测量。

⑥ 易于实现遥测和测量过程的自动化。由于电信号可以长距离传输,有利于远距离操

作与自动控制。尤其是智能仪器，它具有自动调节、自动校准、自动记忆等功能。

### 三、测量过程

测量过程一般包括三个阶段：

- ① 准备阶段。明确被测量的性质及测量所要达到的目的，然后选定适当的测量方式、方法，进而选择相应的测量仪器。
- ② 测量阶段。给定测量仪器所必需的测量条件，仔细按规定进行操作，认真记录测量数据。
- ③ 数据处理阶段。根据记录的数据，结合测量的条件，进行数据处理，以求得测量结果和测量误差。

### 四、测量手段

测量要通过量具、仪器、测量装置或测量系统来实现。

#### 1. 量 具

它是体现计量单位的器具。量中的一小部分可直接参与比较，但多数量具要用专门的设备才能发挥比较的功能。例如，利用标准电阻测量电阻，需要通过电桥。由于使用量具进行测量操作麻烦，所以，在实际工程测量中，较少使用量具，而是广泛使用各种直读式仪器。

#### 2. 仪 器

仪器是指一切参与测量工作的设备。它包括各种直读仪器、仪表、非直读仪器、量具、测试信号源、电源设备以及各种辅助设备，如电压表、电流表、频率计、示波器等。

#### 3. 测量装置

由几台测量仪器及有关设备所组成，用以完成某种测量任务的整体，称为测量装置。

#### 4. 测量系统

它是由若干不同用途的测量仪器及有关辅助设备所组成，用以完成多种参量的综合测试的系统。

### 五、测量方法

测量方法是完成测量任务所采用的方法。从不同角度出發，测量方法的分类也不同。从如何得到最终测量结果的角度分类，测量方法可分为直接测量法、间接测量法与组合

测量法；从如何获取测量值的角度分类，测量方法分为直读式测量法和比较式测量法。下面分别介绍。

### 1. 直接测量法

借助于测量仪器将被测量与同性质的标准量进行比较，直接测出被测量的数值，称为直接测量法。这种方法的特点是所测得的数值就是被测量本身的价值。其优点是测量过程简单，缺点是测量精度难于提高。例如，精度最高的磁电系电流表仅为 0.1 级。

### 2. 间接测量法

首先测量与被测量有确定函数关系的其他物理量，然后根据函数关系式计算出被测量，称为间接测量法。例如，导线的电阻率  $\rho$  不便于用直接测量法测量，这时可通过直接测量导线的电阻  $R$ 、长度  $l$  和直径  $d$ ，由式  $\rho = \pi d^2 R / 4l$  求得电阻率的值，这种测量方法常可得到较高的测量精度，实验室中常用这种方法。

### 3. 组合测量法

当被测量有多个，虽然被测量与某中间量有一定函数关系，但由于关系式中有多个未知量，需要改变测试条件，测出一组数据，经过求解联立方程组才能得到测量结果，这样的测量方法称为组合测量法。

### 4. 直读式测量法

用指示仪表直接读取被测量的数值，称为直读式测量法。用这种方法测量时，标准量具不直接参与测量过程，而是先用标准量具对仪表刻度进行校准，然后以间接方法实现被测量与标准量的比较，如用磁电系电压表测量直流电动机的端电压。这种测量方法的测量过程简单、方便，但测量精度较低。在工程测量中广泛采用此测量方法。

### 5. 比较式测量法

根据被测量与标准量进行比较时的特点不同，比较法又可分为零位法、微差法和替代法等。

#### (1) 零位法

在测量系统（或装置）中用指零仪表将被测量与标准量进行比较，并连续改变标准量使指零仪表指示为零（即测量装置处于平衡）的测量方法称为零位法。例如，用天平测重就是属于零位法。

零位法的优点是测量精度比较高，但测量过程较复杂，不适合于测量变化迅速的信号。

#### (2) 微差法

用测量未知的被测量与已知的标准量之差值，来确定被测量数值的测量方法，称为微差法。通常使标准量  $N$  与被测量  $X$  很接近，因此，若选用灵敏度高的直读式仪表来测量差值  $\Delta$ ，

即使测量  $\Delta$  的精度不高，也能达到较高的测量精度。例如，若  $\Delta \approx 0.01X$ ，而测量  $\Delta$  的误差为百分之一，那么总的测量误差仅为万分之一。

微差法的优点是反应快，测量精度高，特别适合于在线控制参数的测量。

### (3) 替代法

在测量装置中，调节标准量，使得用标准量来代替被测量时测量装置的工作状态保持不变，用这样的办法来确定被测量称为替代法。

替代法大大地减小了内部和外部因素对测量结果的影响，使测量结果准确度仅取决于标准量的准确度和测量装置的灵敏度。

## 第二节 测量误差

任何测量，不论是直接测量还是间接测量，都是为了得到某一物理量的真值，但由于受测量工具准确度的限制、测量方法的不完善、测量条件的不稳定以及经验不足等原因，任何物理量的真值是无法得到的，测量所能得到的只是其近似值，此近似值与真值之差称为误差。即不论用什么测量方法，用任何的量具或仪器来进行测量，总存在误差。测量结果总不可能准确地等于被测量的真值，而是它的近似值。因此，应根据误差的性质及其产生的原因，采取措施使误差降低到最小。为此，必须具备误差的基本知识。

### 一、测量误差的表示方法

测量误差通常用绝对误差与相对误差两种方法表示。

#### 1. 绝对误差 $\Delta x$

绝对误差又称为绝对真值误差。它可表示为被测量的给出值  $x$  与其真值  $A_0$  之差

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1.1)$$

在测量中给出值  $x$  一般就是被测量的测得值，但它也可以是仪器的显示值、量具或元件的标称值（或名义值）、近似计算的近似值等。

在某一确定的时空条件下，被测量的真值是客观存在的，但真值很难完全确定，而只能尽量接近它。在一般的测量工作中，如某值达到了规定要求（其误差可忽略不计），则可用此值来代替真值。实际工作中，一般把标准表（即用来检定工作仪表的高准确度仪表）的示值作为实际值  $A$  来代替真值  $A_0$ 。除了实际值可用来代替真值使用外，还可以用已修正过的多次测量的算术平均值来代替真值使用。

由此可见，绝对误差的实际计算式为

$$\Delta x = x - A \quad (1.2)$$

绝对误差可能是正值或负值，当  $x$  大于  $A$  时， $\Delta x$  是正值；当  $x$  小于  $A$  时， $\Delta x$  是负值。

我们定义与绝对误差  $\Delta x$  大小相等，符号相反的量值为修正值  $c$ ，即

$$c = -\Delta x = A - x \quad (1.3)$$

在比较准确的仪器中，常用表格、曲线或公式的形式给出修正值，供使用者在获得给出值后，根据式 (1.3) 加以修正以求出实际值。对于智能化仪器，其修正值可以先编成程序存储在仪器中，在测量时智能化仪器可以对测量结果自动进行修正，即

$$A = x + c \quad (1.4)$$

例如，某电流表的量程为 1 mA，通过检定而得出其修正值为  $-0.002$  mA。若用它来测量某一未知电流，得示值为 0.78 mA，由此得被测电流的实际值为

$$A = 0.78 + (-0.002) = 0.778 \quad (\text{mA})$$

值得注意的是，仪器的示值与仪器的读数往往容易混淆，实际两者是不同的。读数是指从仪器的刻度盘、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，但实际上它们是不同的。通常需要把所读的数值经过简单计算，查曲线或数表才能得到示值。例如，一只线性刻度为  $0 \sim 100$  分格、量程为  $500 \mu\text{A}$  的电流表，当指针指在 85 分刻度位置时，读数是 85，而示值却是

$$x = \frac{85}{100} \times 500 = 425 \quad (\mu\text{A})$$

因此，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。

有时还用理论计算值代替真值  $A_0$ ，例如，正弦交流电路中理想电容和电感上电压与电流的相位差为  $90^\circ$ 。

## 2. 相对误差 $\gamma$

绝对误差的表示具有直观的优点，但其大小往往不能确切地反映测量的准确程度，无法比较两个测量结果的准确程度。

例如，测量两个电压的结果，一个是 10 V，绝对误差为 0.5 V，另一个是 100 V，绝对误差为 1 V。仅根据绝对误差的大小无法比较这两个测量结果的准确度。虽然第一个绝对误差小，但它却占示值的 5%；而第二个绝对误差虽然大，但它却只占示值的 1%。为了弥补绝对误差不能表示测量精度的不足，人们提出了相对误差的概念。相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差、引用相对误差（或满度相对误差）等。

工程上，凡是要计算出测量结果的，一般都用相对误差表示。

实际相对误差是用绝对误差  $\Delta x$  与被测量的实际值  $A$  之比的百分数来表示，记为

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1.5)$$

示值相对误差是用绝对误差  $\Delta x$  与被测量的测得值  $x$  之比的百分数来表示，记为

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1.6)$$



引用相对误差（或满度相对误差）是用绝对误差  $\Delta x$  与仪器的满刻度值  $x_m$  之比的百分数来表示，记为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1.7)$$

实际上，由于仪表各示值的绝对误差并不相等，其值有大有小，符号有正有负，为了能唯一地评价仪表的准确度，将式（1.7）中分子  $\Delta x$  用仪表标度尺工作部分所出现的最大绝对误差  $\Delta x_m$  来代替，则式（1.7）变为

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1.8)$$

式（1.8）中， $\gamma_{nm}$  称为最大引用误差，用它来衡量仪表的基本误差。根据国家标准 GB776—76《电测量指示仪表通用技术条件》的规定，用最大引用误差表示电工仪表的基本误差，也即表示电工仪表的准确度等级。

所谓仪表的准确度等级，是指仪表在规定的工作条件下测量时，在它的标度尺工作部分的所有分度线上可能出现的最大基本误差的百分数值。各准确度等级的指示仪表在规定条件下使用时的基本误差不允许超过仪表准确度等级的数值关系，如表 1.1 所示。

表 1.1 仪表的准确度等级与其基本误差

仪表的准确度等级 $a$	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 (%)	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 5.0$

从表（1.1）中可见，准确度等级的数值越小，允许的基本误差就越小，表示仪表的准确度就越高。从式（1.8）可知，在只有基本误差影响的情况下，仪表的准确度等级的数值  $a$  与最大引用误差的关系为

$$a = \frac{|\Delta x_m|}{x_m} \times 100\% \quad (1.9)$$

若用准确度等级为  $a$  的仪表在规定的工作条件下进行测量，其最大绝对误差为

$$\Delta x_m = \pm x_m \cdot a\% \quad (1.10)$$

最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% = \frac{\pm a\% \cdot x_m}{x} \times 100\% \quad (1.11)$$

## 二、误差的分类及其产生的原因

根据测量误差的性质及其特点，一般将其分为系统误差、随机误差与粗大误差三类。

### 1. 系统误差

在相同测量条件下多次测量同一被测量时，误差的绝对值和符号保持恒定，或在条件改