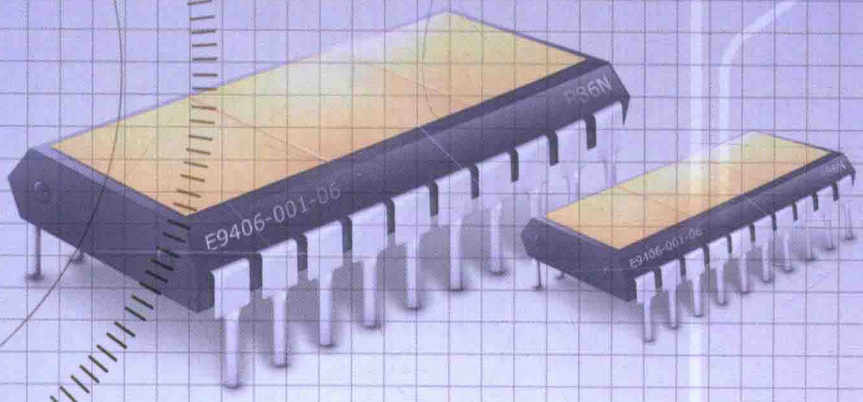
普通高等教育“十二五”规划教材



电路原理实验教程

DIANLU YUANLI SHIYAN JIAOCHENG

主编 查根龙 陆 超

东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

电路原理实验教程

主　编　查根龙　陆　超
副主编　袁　静　沈微微

东南大学出版社
·南京·

图书在版编目(CIP)数据

电路原理实验教程 / 查根龙，陆超主编. —南京 ：东南大学出版社，2015.12
ISBN 978-7-5641-5901-6

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①查… ②陆… Ⅲ. ①电路理论—实验—高等学校—教材 Ⅳ. ①TM13—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 283958 号

电路原理实验教程

出版发行：东南大学出版社
社　　址：南京市四牌楼 2 号　邮编：210096
出 版 人：江建中
网　　址：http://www.seupress.com
经　　销：全国各地新华书店
印　　刷：南京玉河印刷厂
开　　本：787mm×1092mm　1/16
印　　张：15
字　　数：365 千字
版　　次：2015 年 12 月第 1 版
印　　次：2015 年 12 月第 1 次印刷
印　　数：1—3000 册
书　　号：ISBN 978-7-5641-5901-6
定　　价：30.00 元

本社图书若有印装质量问题，请直接与营销中心联系。电话：025－83791830

前　言

电工实验实训是电气信息类各专业本专科生一个重要的实践环节。要想很好地掌握电工知识，除了要掌握基本器件的原理、电路的基本分析方法外，还要掌握电路元件及基本电路的应用技术，因而实践教学成为电路教学中的重要环节，它是将理论知识付诸实践的重要手段。

电工实验实训教学是高等院校电气类课程重要组成部分，是培养学生科学精神、独立分析问题和解决问题能力的重要环节。通过必要的实验技能训练和实践操作，使学生将理论与实践相结合，巩固所学知识。通过实验培训有关电路连接、电工测量及故障排除等实验技巧，学会掌握常用仪器仪表的基本原理、使用与选择方法。在实验测量中学习实验数据的采集与处理、各种现象的观察与分析。随着计算机应用的广泛普及，电路的计算机辅助分析成为培养电气工程技术人员必需的基本训练。总之，电工实验课及电路仿真设计训练可为今后从事工程技术工作、科学研究以及开拓技术领域工作打下坚实的基础。

本书内容分为五个部分：

第 1 部分为电工实验概述，主要介绍实验教学的目的、教学要求以及基本的操作要求。

第 2 部分为验证性实验，共包含 32 个电工基础实验，内容几乎涵盖了电工课程所有重要的知识点。

第 3 部分为仿真性实验，主要介绍 Multsim 10.0 软件的操作使用，并应用软件进行实验设计与仿真。电路仿真软件是电路教学不可缺少的环节，可以通过电路仿真，将理论联系实践，加深学生对理论知识的理解，巩固理论知识的学习。

第 4 部分为综合性设计，结合课程教学内容，设置了 5 个综合性实验，学生综合应用所学知识，根据实验要求来进行实验电路设计、理论计算、仿真、连接、数据测量、结果分析等，以培养学生的创新意识和创新能力。

第 5 部分为综合性实践操作，从安全用电、电工基本工艺和工具使用、PCB 板的焊接工艺到指针式万用表的组装、调试与维修。这部分内容系统介绍了电子产品的制作过程，有效

地加深学生对学科体系的认识，有利于培养学生的实际工作能力和独立思考能力。

本书实验内容的设置，紧密围绕电工课程教学内容，主要考虑到理论密切联系实际，培养学生从实验数据中总结规律、发现问题和解决问题的能力，并配备了一定数量的思考题，使学习优秀的学生有发挥的余地。

本书可作为大学本科、专科电子、信息类专业模拟电子技术和数字电子技术课程的实验指导书。

本书在编写过程中得到了宿迁学院三系领导的大力支持和帮助，郭永贞教授、唐友亮副教授、汪勇老师、刘海洋老师也对本书提出了宝贵的意见，陈林副教授也为本书的编写做了大量的工作，在此一并向他们致以最诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有很多疏漏和不足之处，敬请各位读者朋友批评指正。

编　者

2015 年 5 月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

第一章　电工实验概述 …… 1

1.1　实验目的和实验要求 …… 1

1.1.1　实验目的 …… 1

1.1.2　实验课程的要求 …… 1

1.2　实验课进行方式 …… 2

1.2.1　课前预习 …… 2

1.2.2　实验过程 …… 2

1.2.3　整理实验报告 …… 3

1.3　实验中的几个问题 …… 4

1.3.1　学生实验守则 …… 4

1.3.2　人身安全和设备安全 …… 4

1.3.3　仪器仪表的选择与使用 …… 4

1.3.4　线路的连接 …… 5

1.3.5　操作、观察、读数和记录 …… 5

1.3.6　故障分析 …… 6

1.3.7　测量误差 …… 7

1.3.8　测量结果的处理 …… 11

第二章　验证性实验 …… 14

2.1　直流仪表使用与误差计算 …… 14

2.2　测量误差分析计算 …… 21

2.3　电路基本元件的伏安特性测定 …… 25

2.4　直流电路中电压与电位的实验研究 …… 28

2.5　基尔霍夫定律 …… 30

2.6　电压源与电流源的等效转换 …… 34

2.7 叠加原理 …… 37
2.8 戴维宁定理与诺顿定理 …… 39
2.9 网络等效变换 …… 41
2.10 最大功率传输条件的实验研究 …… 45
2.11 VCCS及CCVS受控电源的实验研究 …… 48
2.12 VCVS及CCCS受控源实验研究 …… 51
2.13 线性无源二端口网络的研究 …… 54
2.14 *RL*及*RC*串联电路中相量轨迹图的研究 …… 58
2.15 正弦交流电路中*RLC*元件的阻抗频率特性 …… 62
2.16 用二表法与一表法测量交流电路等效参数 …… 65
2.17 三表法测量交流电路等效阻抗 …… 67
2.18 日光灯功率因数提高 …… 69
2.19 串联谐振 …… 73
2.20 互感电路 …… 76
2.21 变压器及其参数测量 …… 80
2.22 *RC*选频网络特性测试 …… 83
2.23 三相对称与不对称交流电路电压、电流的测量 …… 85
2.24 三相电路电功率的测量 …… 89
2.25 一阶*RC*电路的暂态响应 …… 92
2.26 *RLC*二阶串联电路暂态响应 …… 96
2.27 电路有源器件——运算放大器的特性与应用 …… 99
2.28 负阻抗变换器的应用 …… 103
2.29 回转器的应用 …… 105
2.30 三相鼠笼式异步电动机的使用与起动 …… 107
2.31 三相鼠笼式异步电动机用接触器、继电器控制的直接起动及正反转运行 … 111
2.32 三相鼠笼式异步电动机的Y-△延时起动控制电路 …… 114
第三章 Multisim 10.0使用简介 …… 118
3.1 Multisim 10.0主窗口 …… 119
3.2 Multisim 10.0的工具栏 …… 124

3.2.1 系统工具栏 …… 124
3.2.2 屏幕工具栏 …… 124
3.2.3 设计工具栏 …… 124
3.2.4 仿真工具栏 …… 125
3.2.5 元件工具栏 …… 125
3.3 基于 Multisim 10.0 的电路设计 …… 125
3.4 利用 multisim 10.0 进行电阻、电容、电感的电原理性分析 …… 131
3.4.1 电阻的分压、限流特性演示 …… 131
3.4.2 电容的隔直流通交流特性演示和验证 …… 133
3.4.3 电感的隔交流通直流特性演示与验证 …… 135
3.4.4 二极管的特性分析与验证 …… 137
3.4.5 三极管的特性演示与验证 …… 139
第四章 Multisim 仿真实验 …… 141
4.1 电路元件伏安特性的测试 …… 141
4.2 基尔霍夫定律的验证 …… 144
4.3 叠加原理的验证 …… 146
4.4 戴维宁定理及诺顿定理 …… 148
4.5 一阶串联电路瞬态响应 …… 151
4.6 二阶串联电路瞬态响应 …… 154
4.7 交流电路元件参数的测量 …… 157
4.8 功率因数提高实验 …… 160
4.9 串联谐振电路 …… 162
4.10 三相交流电路电压、电流测量 …… 165
4.11 三相有功、无功测试 …… 169
4.12 二端口网络实验 …… 174
4.13 负阻变换器 …… 178
第五章 综合性实验 …… 184
5.1 最大功率传输定理的研究 …… 186
5.2 正弦交流电路功率因数的提高 …… 188

5.3 *RC* 选频网络的研究 …… 190
5.4 *RLC* 串联谐振电路的研究 …… 194
5.5 负阻抗变换器电路的研究 …… 198
第六章 安全用电 …… 202
6.1 电流对人体的作用和伤害 …… 202
6.2 触电方式和安全用电 …… 202
6.3 接地和接零 …… 203
6.4 安全用电常识 …… 205
第七章 电工基本操作工艺及常用工具 …… 207
7.1 电工基本操作 …… 207
7.2 常用电工工具及使用 …… 210
7.3 常用电工仪表及使用 …… 212
第八章 PCB 板焊接工艺 …… 220
8.1 PCB 板焊接的工艺流程 …… 220
8.2 焊接主要工具 …… 221
8.3 PCB 板上的焊接 …… 226
8.4 焊接质量的分析及拆焊 …… 227
参考文献 …… 231

第一章　电工实验概述

1.1　实验目的和实验要求

1.1.1　实验目的

1. 进行实验基本技能的训练，可在下列几个方面培养学生的能力：

(1) 电路接线能力，学会按电路图连接线路。

(2) 阅读说明书使用仪器的能力，为今后使用新仪器打下基础。

(3) 分析处理实验数据的能力，找出不合理数据，培养独立完成高质量实验的能力。

(4) 分析处理电路故障的能力(故障包括开路、短路、连线错误等)。

(5) 撰写工程报告的能力。

2. 巩固加深并扩大所学到的理论知识，培养运用基本理论分析来处理实际问题的能力。

3. 培养实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和良好的实验习惯，为今后的专业实践与科学研究打下坚实的基础。

1.1.2　实验课程的要求

经过做几个简单电路实验之后，要求学生在实验技能方面达到下列要求：

1. 正确使用电流表、电压表、台式数字万用表、数显相位表、功率表以及一些常用的电工电子实验设备。初步掌握模拟双踪示波器、函数信号发生器、稳压电源和数字交流毫伏表等电子仪器和 SBL 电路实验装置的使用方法。

2. 学会按电路图正确连接实验电路，做到合理布线、方便测试，并能初步分析出故障的原因并排除故障。

3. 能够认真观察和分析实验现象，运用正确的实验手段，采集实验数据，绘制图表、曲线。科学分析实验数据，正确书写实验报告和分析实验结果，并能找出造成误差的原因。

4. 正确地运用实验手段验证一些定理和结论。

5. 对于设计性实验，要能根据实验任务，在实验前确定实验方案，设计实验电路，正确选择仪器、仪表、元器件，并能独立完成实验要求的内容。

6. 了解 Multisim 软件，利用 Multisim 所提供的元件来搭制模拟电路。通过 Multisim 所提供的测量仪器仪表，来观察电路现象，由此来提高实验分析和研究的能力。

1.2 实验课进行方式

实验课一般分为课前预习、实验过程及整理实验报告三个阶段。

1.2.1 课前预习

实验能否顺利进行及收到预期效果，很大程度上取决于预习准备是否充分。预习的要求是：

1. 明确了解实验的目的、原理、实验仪器、实验任务及步骤。
2. 画出实验电路图，了解电路图的连接方法。
3. 画好需要填写实验数据的表格及绘制曲线的坐标等。
4. 根据每个实验的给定条件和具体要求，通过理论计算完成对实验待测数据的预测。
5. 完成书中的思考题和计算题。

以上预习内容写在统一的“实验报告”纸上，上实验课时带到实验室，由指导实验的老师检查并签名。凡未按要求预习者不得进行该次实验，也不能补做。

1.2.2 实验过程

良好的工作方法和操作程序，是使实验顺利进行的有效保证，一般实验按照下列程序进行：

1. 教师在实验前讲授实验要求及注意事项。
2. 学生在规定的实验台上进行实验。做好以下准备：

①按本次实验仪器设备清单清点元件设备，注意仪器设备类型、规格和数量是否符合实验要求，辅助设备是否齐全，检查仪器设备是否完好。若发现设备不足或损坏，应立即报告老师。

②了解设备的使用方法及注意事项。凡是较为复杂的仪器，要清楚了解其使用方法之后才能使用。在实验指导书的附录中，对 DG-X 实验装置和部分仪器设备的原理及使用方法作了简单介绍，学生应自行查阅，培养通过阅读说明掌握正确使用仪器方法的能力。若阅读说明后仍不知道如何使用该仪器，应向指导教师询问。

③按电路图接线时，应注意仪表的排列位置，以便于实验操作和读取实验数据。暂不用的设备在一边摆放整齐，保持台面整洁。

④做好记录的准备工作。学生应携带以下文具：水性笔、铅笔、橡皮擦、计算器、直尺、圆规、方格纸等，以便在实验的每一阶段完成时，立即分析所测数据是否合理。

3. 连接电路。仪器设备应布置到便于操作和读数的位置，接线时，按照电路图先连接主要串联电路（由电源的一端开始，顺次而行，再回到电源的另一端），然后连接分支电路，应尽量避免同一端上有很多的导线，连线完毕后，不要急于通电，应仔细检查，经自查无误并请老师复查同意后，才能通电开始实验。

4. 设备的操作和数据的记录。按照实验指导书上的实验步骤进行操作。操作时要注

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

意："手合电源，眼观全局；先看现象，再读数据。"

读数据前要清楚仪表的量程及刻度。读数姿势要正确，要求"眼、针、影成一线"。记录要完整清晰，一目了然。数据记录在事先准备好的统一的原始数据记录纸上，要尊重原始数据，实验后不得涂改。当需要把数据绘成曲线时，应以足够绘制一条光滑而完整的曲线为准，来确定读数的多少。读取数据后，可先把曲线粗略地描绘一下，发现不足之处，应及时弥补。

学生实验时要避免只测数据而不加以分析。为了培养分析数据的能力，在做每一步实验时，要求记录下来的实验数据（或绘制的波形）与预习时的计算值或者理论分析（值）应基本相符，才能改接线路进行下一步实验；如果不相符，应查找原因并重做该步骤。

5. 结束工作。完成规定的全部实验内容后，先断电，但不要急于拆除线路。应先自行核查实验数据，有无遗漏或不合理的情况（必要时可以请老师复查分析）。检查完毕之后，方可进行下列结尾工作：

①拆除实验线路（注意：一定要先断电，再拆除）。

②做好仪器设备、桌面、周围的清洁工作。

③经老师同意后方可离开教室。

1.2.3　整理实验报告

实验报告是对实验工作的全面总结，是实验课的重要环节。其目的是培养学生严谨的科学态度，要用简明的形式将实验结果表达出来。除画图、画表格可以用铅笔，其他部分均不许用铅笔及荧光笔，且用笔颜色应统一；作图画表均要使用直尺，不允许徒手画。实验报告要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。

实验报告由预习报告、现场数据、数据整理及处理三个部分组成。

在预习实验时，写好预习报告。预习报告包括下列内容：

1. 实验目的。

2. 实验仪器与设备：列出实验所需的仪器和设备的名称、型号、规格和数量等。

3. 实验原理：包括实验原理和公式。

4. 任务和步骤：列出具体实验内容与要求，画出实验电路图，拟订主要步骤和数据记录表格。注意事项：实验中应注意哪些问题。

5. 数据预测。

6. 预习要求中的思考题与计算题。

现场数据即实验过程中记录原始数据的实验报告纸。要求纸张完整、记录清晰、数据带单位。数据整理及处理，即将现场数据整理（并列表），按实验报告要求及教师的要求，对实验数据进行分析计算（并列表），要求作图的，必须严格按要求（用方格纸、直尺、圆规等）作图，将方格纸剪成块、按处理顺序贴在实验报告纸上，勿将所有图形画在一大张方格纸上订在实验报告最前页或者最后页；根据对实验数据的分析和计算，分析误差产生的原因；回答课后思考题；并记录该次实验中出现的问题，写下心得体会。

1.3 实验中的几个问题

1.3.1 学生实验守则

1. 凡进入实验室进行教学、科研活动的学生，必须严格遵守实验室的各项规章制度；

2. 实验前必须接受安全教育，认真做好预习准备，未做预习或无故迟到者，教师有权停止其实验；

3. 进入实验室应衣着整洁，不得随便串走，禁止喧哗、打闹；未经允许，不得拆改实验器材和摆弄与本实验无关的设备；

4. 学生应以实事求是的科学态度对待实验，细心观察现象，认真记录数据，原始数据须留一复印备份稿在教师处；实验后应独立完成数据处理，按时交给任课教师，不得抄袭或臆造；

5. 实验过程中，贵重仪器设备需在专人指导下使用；仪器设备如发生故障，应马上报告当值教师及时处理；

6. 实验完毕，需将仪器设备、实验工具及实验场地等按原样进行清理，借用的物品应归还，经教师同意后方可离场。

1.3.2 人身安全和设备安全

要求切实遵守实验室各项安全操作规程，以确保实验过程中的安全。为此，应注意以下几个方面：

1. 不得擅自接通电源。

2. 不得触及带电部分，遵守“先接线后通电源，先断电源后拆线”的操作程序。

3. 发现异常现象（声响、过热、焦臭味等）应立刻断开电源，并及时报告指导老师检查。

4. 注意仪器设备的规格、量程和操作规程，不了解性能和用法时不得随意使用该设备。

1.3.3 仪器仪表的选择与使用

注意仪器设备的容量、参数要适当。工作电源电压不能超过额定值。仪器仪表种类、量程、准确度要合适。

1. 仪表量程的选择

①电压表和电流表

仪表量程应大于被测电量，加大幅度一般在1.1～1.5倍，以减少测量误差。选用仪表时被测值愈接近仪表的量程，则所测值精度愈高。

②功率表

功率表的量程是电流量程与电压量程的乘积。但功率表一般不标功率量程，只标明电流量程和电压量程。因此，在选用功率表时，要使功率表中电流线圈和电压线圈的额定值大

于被测负载的最大电流值和最大电压值。

③调压器

交流实验中的电源有时采用调压器，调压器的输出电压是可调的。实验时，在将调压器接入电路前，应先将调压器的调节手轮逆时针旋转到“0”位。如果调节调压器手轮的丝杆滑丝，可将电压表接在调压器的副边通电检查，使电压表指针为零伏，以确保实验时，调压器的输出电压从零伏开始。当顺时针转调节手轮（或旋钮）时，要使实验电压从零伏缓慢上升，同时注意仪表指示是否正确，有无声响、冒烟、焦臭味等异常现象。一旦发生上述现象，应立即切断电源或把调压器的手轮退到零位再切断电源，然后根据现象分析原因，查找故障。

2. 使用电子仪器的一般规则

①预热

实验中常用的电子仪器有示波器、信号发生器、毫伏表、直流稳压电源，这些仪器都需要交流供电。为了保证仪器的稳定性和测量精度，一般需预热 3～5 分钟后才能使用。

②接地

实验中信号电压或电流在传递和测量时，易受到干扰。一般应注意以下两点：第一，各仪器和实验装置应实现共地，即把各仪器和实验装置的接地端可靠地接在一起。第二，各仪器及实验装置之间的连线尽可能短。

1.3.4　线路的连接

1. 合理布局

将仪器设备合理布置，使之便于操作、读数和接线。合理布局的原则是：安全、方便、整齐，防止相互影响。

2. 正确连线

①根据电路的结构特点，选择合理的接线步骤，一般是“先串后并，先主后辅”。

②接线前把元件参数调到应有的数值，调压设备及电源设备应放在输出电压最小的位置，仪表的指针要调整对零（包括机械调整和电调零），然后按电路图接线。

③理清电路图上的节点与实验电路中各元件的对应关系

④实验线路应力求接得简单、清楚、便于检查。养成良好的接线习惯，走线要合理，导线的长度、粗细选择要适当，防止连线短路。接线端头不要过于集中于某一点，电表接头上非不得已不接两根导线。接线松紧要适当，不允许在线路中出现没固定端钮的裸露接头。

1.3.5　操作、观察、读数和记录

操作时要注意：手合电源、眼观全局；先看现象，再读数据。

数据测量和实验观察是实验的核心部分，读数前一定要先弄清楚仪表的量程和表盘上的每一小格所代表的实际数值，仪表的实际读数为：

$$\text{实际读数}=\frac{\text{使用量程}}{\text{刻度极限值}}\times\text{指针指数}=K\times\text{指针指数}$$

对于普通功率表，其读数值为：

$$\text{实际读数}=\frac{\text{电压量程}\times\text{电流量程}}{\text{刻度极限值}}\times\text{指针指数}=K\times\text{指针指数}$$

对于低功率因数功率表，其读数值为：

$$\text{实际读数}=\frac{\text{电压量程}\times\text{电流量程}\times 0.2}{\text{刻度极限值}}\times\text{指针指数}=K\times\text{指针指数}$$

上列式中，K 为仪表某量程时每一小格代表的数值。

正确读取数据，读数时应注意姿势要正确。要求“眼、针、影成一线”，即读数时应使自己的视线同仪表的刻度标尺相垂直。当刻度标尺下有弧形玻璃片时，要看到指针和镜片中的指针影子完全重合时，才能开始读数。要随时观察和分析数据。测量时既要忠实于仪表读数，又要观察和分析数据的变化。

数据记录要求完整，力求表格化，一目了然，并合理取舍有效数字（最后一位为估计数字）。数据须记在规定的实验原始数据记录纸上，要尊重原始数据记录，实验后不得随意修改。交报告时须将原始数据一起附上。波形、曲线一律画在方格纸上，坐标要适当。坐标轴上应注明量的符号和单位，标明比例和波形、曲线的名称。

1.3.6 故障分析

实验过程中常会遇到因断线、接错线等原因造成的故障，使电路工作不正常，严重时可能损坏设备，甚至危及人身安全。为尽量避免故障的出现，实验前一定要预习；实验中，按电路图有顺序地接线，避免在同一端钮上接很多导线；接线完毕后应对电路认真检查，不要急于通电。

实验室用到的电源一般都是可调的，对于交流电源，实验时电压应从零缓慢上升，同时注意仪表指示是否正常；对于直流电，则应先将电源的输出调到电路所需的规定值（如果实验没有要求，则也是从零开始缓慢上调），然后关掉开关再接线。不论是交流电还是直流电，在接通时都应注意观察有无声响、冒烟、焦臭味等异常现象，一旦发现上述异常现象，应立即切断电源并将电压输出调节旋钮调回零位（以下简称“调零”，此举防止处理完故障后、重新通电时再次将大电压加入电路，造成损坏）。然后根据现象分析原因，查找故障并进行处理。

在实验课上出现一些故障是难免的，关键是在出现故障时能够通过自己的分析，检查出故障原因并予以排除，使实验顺利进行下去，这样才能提高分析问题和解决问题的能力。

处理故障的一般步骤是：

（1）若电路出现短路现象或其他损坏设备的故障时，应立即切断电源并调零，查找故障。一般首先检查接线是否正确。

（2）根据出现的故障现象和电路的具体结构判断故障原因，确定可能发生故障的范围。

（3）逐步缩小故障范围，直到找出故障点为止。

检查电路故障可以用以下两种方法：

（1）电压表法，此法适用于无异常现象。

不切断电源，用电压表测量电路各节点的电压，根据电压大小或有无，判断电路故障。

(2) 欧姆表法，此法适用于有异常现象。

一定要切断电源调零，用欧姆表检查各支路是否连通，元件或仪表是否良好。

总之，在实验过程中遇到故障时，要耐心细致地去分析查找或请老师帮助查找，切不可遇难而退，只有动脑筋分析查找故障，才能提高自己分析问题和解决问题的能力，才能为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

1.3.7　测量误差

在任何测量中，无论所用仪器多么精密，方法多么完善，实验者多么细心，所测结果总不能完全与被测的真实数值(称为真值)一致。测量结果与被测真值的差别叫做测量误差。误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

若被测量的真值为 A_0，测量仪器的指示值为 X，则绝对误差为：

$$\Delta X = X - A_0$$

由于真值 A_0 一般无法求得，故常用高一级标准仪器测量的指示值 A 来代替真值，则：

$$\Delta X = X - A$$

测量精确度的高低常用相对误差来表示，相对误差是指绝对误差与被测量实际值的百分比值，即

$$\gamma = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

为了得到精确的测量结果，在测量过程中必须尽量减少各种误差，为此应该了解误差产生的原因、减小误差的方法，并学会估计误差。

(一) 测量误差的分类

测量误差根据它们的性质可分为三大类，即系统误差、偶然误差和过失误差。

1. 系统误差

在规定的测量条件下，对同一量进行多次测量时，如果误差值保持恒定或按某种确定规律变化，则称这种误差为系统误差。例如，电表零点不准，温度、湿度、电源电压等变化造成的误差便属于系统误差。

系统误差产生的原因有以下几点：

(1) 工具误差：测量时所用的装置或仪器仪表本身的缺点而引起的误差。

(2) 外界因素影响误差：由于没按照技术要求使用测量工具，或由于周围环境不合乎要求而引起的误差。

(3) 方法误差或理论误差：由于测量方法不完善或测量所用理论根据不充分而引起的误差。

(4) 人员误差：由于测试人员的感官、技术水平、习惯等个人因素不同而引起的误差。

2. 偶然误差

偶然误差也称随机误差。在测量中，即使已经消除了引起系统误差的一切因素，而所测

数据仍会在末一位或末两位数字上有差别，这就是偶然误差。这种误差主要是由于各种随机因素引起的，如电磁场的微变、热起伏、空气扰动、大地微震、测量人员的心理或生理的某些变化等。

偶然误差有时大、有时小，有时正、有时负，无法消除，无法控制。但在同样条件下，对同一量进行多次测量，可以发现偶然误差是服从统计规律的，因此，只要测量的次数足够多，偶然误差对测量结果的影响就是可知的。通常在工程测量中可以不考虑偶然误差。

3. 过失误差

过失误差主要是由于测量者的疏忽所造成的。例如，读数错误、记录错误、测量时发生未察觉的异常情况，等等。这种误差是可以避免的，一旦有了过失误差，则应该舍弃有关数据，重新测量。

4. 精密度和准确度

精密度是指所测数据相互接近的程度，准确度是指所测数据与真值接近的程度。精确度是精密度和准确度两者的总称。在一组测量中，精密度可以很高而准确度不一定很高。但准确度高的测量，其精密度一定很高，即精确度高。可以用射击的目标——靶子上的弹着点的分布情况来说明。如图 1.3.1(a)所示，弹着点分散又不集中表示精密度差，准确度差，即精确度差；如图 1.3.1(b)所示，弹着点集中说明精密度高，但偏离靶心说明准确度差；如图 1.3.1(c)所示，弹着点都集中在靶心，表示精密度、准确度都高，即精确度高。

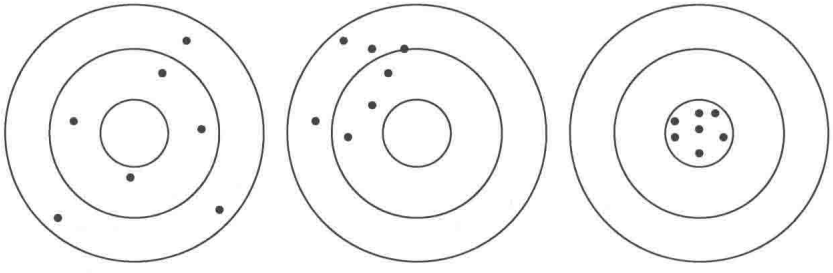


图 1.3.1　精密度和准确度的说明

为了减小误差提高测量的精确度，应采取以下措施：

(1) 避免过失误差，去掉含有过失误差的数据。

(2) 消除系统误差。

(3) 进行多次重复测量，取各次测量数据的算术平均值，以削弱偶然误差的影响。

(二) 系统误差的消除

消除或尽量减小系统误差是进行准确测量的条件之一，所以在进行测量之前，必须预先估计一切产生系统误差的根源，有针对性地采取措施来消除系统误差。

1. 对误差加以修正

在测量之前，应对测量所用量具、仪器、仪表进行检定，确定它们的修正值。把测得的这些仪表的测量值加上修正值，就可以求得被测物理量的实际值(真值)，以消除工具误差。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com