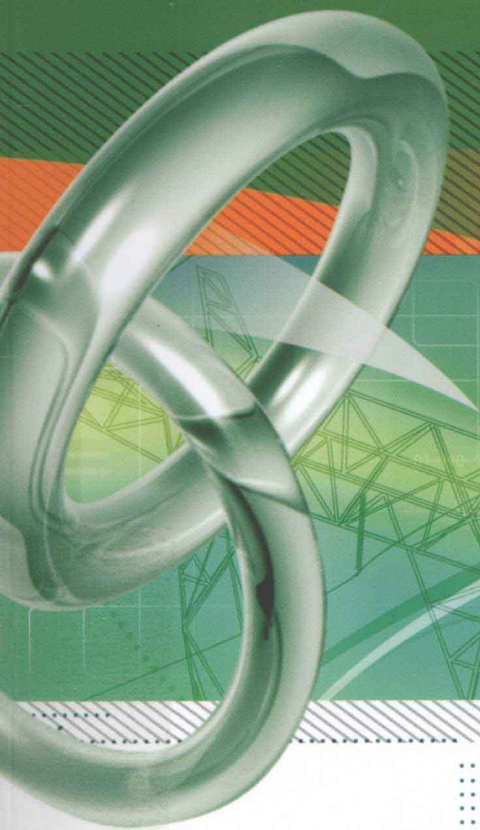


电工基础

◎ 葛中海 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电 工 基 础

主 编 葛中海

副主编 于景新

参 编 颜绮虹 张湘粤 杨选成 黄伟朝

電 子 工 業 出 版 社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书坚持“以就业为导向,以能力为本位,以学生为主体”的编写思路,正视中职生源的特点,本着“理论浅、内容新、应用多”的指导思想,适当降低理论深度,部分章节编配实验与实训课,把理论知识和技能训练精巧“揉和”,着力体现“讲练结合”的特点,遵循学生认知的一般规律。本书内容简洁,重点突出,图片丰富,每章后面都配有贯穿本章知识点和能力点的习题,题目覆盖面宽,但题量精简,不希望读者沉溺于题海。

本书可供中等职业学校电子类专业、电气和家用电器维修等专业使用,也适合作为电子技术从业人员的岗前培训和自学用书。

为了便于教学,本书配有电子资源包,凡购买本书的读者可登录电子工业出版社电子技术分社网站(<http://yydz.phei.com.cn>)资源下载栏下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/葛中海主编. —北京:电子工业出版社,2012.7
ISBN 978-7-121-16844-4

I. ①电… II. ①葛… III. ①电工学—中等专业学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 074301 号

责任编辑:富 军

印 刷: 涿州市京南印刷厂
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787 × 1 092 1/16 印张: 12.5 字数: 320 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

《电工基础》是一门重要的专业基础课，既具有很强的理论性，又具有很强的实践性，在教学中着重定性分析，充分采用**实物示教、演示实验**等直观的教学方法及**计算机仿真辅助教学**等先进手段，以提高教学效果。在教材的编写过程中，既要保持多年形成的比较成熟的体系，又要兼顾新时期技工教育的发展现实；既要符合该门课程的基本要求，又要培养学生们定量计算和综合应用能力；既要有利于老师对教材的灵活取舍，又要有利于学生对教材内容的主动学习和思考。为此，本书的编写除保留传统《电工基础》的基本核心内容外，还坚持以下几个原则。

(1) 不追求理论的过分拔高，重视实践技能的培养，突出职业技术教育特色。根据电工、电子类专业的实际需要，合理确定学生应具备的知识范围和能力结构，在保证必要专业基础知识的同时，增加实验性、实践性教学内容课时，加强学生实际动手能力的培养。

(2) 更新内容，使其具有时代特征。根据电子技术发展对劳动者素质提出的新要求，充实新知识、新技术和新材料等方面的内容。

(3) 版面安排采用图片多元化、图表个性化，使内容更具真实性、直观性。

(4) 坚持教、学、做一体化，探索理论知识和技能训练一体化的模式，使内容更加符合学生的认知规律，使理论学习和技能训练与生产生活中的实际应用相结合。

为了便于讲授和自学，本书在已出版《电工基础》的基础上进行以下改动：

(1) 删除过深内容和过时电路图，对有深度但重要的内容用“*”标记作为阅读补充材料；

(2) 引入计算机仿真技术（EWB）辅助教学（EWB 简介见附录 A）；

(3) 书中多处补缀“注意事项”、“小资料”、“提示”等文字介绍与书中内容相关的技术细节或背景资料。

书中仿真电路图的元件符号、图形符号和字母代号等有不符合现行国家标准之处，但编辑时未做规范，主要是便于学习及查阅。

参加本书编写的主要作者都是从事职业教育多年的教师，具有丰富的职业教育经验。其中，第1章由中山市第一中等职业技术学校于景新编写；第2章由中山市技师学院张湘粤编写；第4章由中山市中等专业学校杨选成编写；第5章由中山市技师学院颜绮虹编写；第3、6章由肇庆技师学院黄伟朝编写。中山市技师学院葛中海任主编，负责全书的策划、组织和定稿。

本书由珠海市高级技工学校张中洲副教授主审，参加审阅的还有中山市技师学院的雷三元副教授、万华清副教授。编者在此一并致以衷心的感谢。

教学建议学时表如下，在实施中，任课老师可根据具体情况进行适当调整。

章节内容	学 时	章节内容	学 时
第1章 电路基础知识	28	第4章 磁与电	26
第2章 直流电路分析	34	第5章 正弦交流电路	36
第3章 电容器	12	第6章 三相交流电路	16

由于作者能力有限，加之时间紧迫，缺点和错误在所难免，恳请各界读者对书中的缺点和错误提出批评。

编 者

目 录

第1章 电路基础知识	1
1.1 电流和电压	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 电流及参考方向	3
1.1.3 电位、电压及参考方向	7
1.1.4 电源和电动势	12
1.2 欧姆定律	14
1.2.1 电阻的基础知识	14
1.2.2 部分电路欧姆定律	18
1.2.3 全电路欧姆定律	19
1.2.4 电源的外特性	20
1.3 电功和电功率	21
1.3.1 电功	21
1.3.2 电功率	23
1.3.3 电流的热效应	24
1.4 负载获得最大功率的条件	26
1.4.1 负载的额定值	26
1.4.2 负载获得最大功率的条件	27
本章小结	28
习题一	29
第2章 直流电路分析	34
2.1 串联电路	34
2.1.1 电阻串联的特点	34
2.1.2 电阻串联电路的应用	35
2.1.3 电池的串联	37
2.2 并联电路	39
2.2.1 电阻并联的特点	39
2.2.2 电阻并联电路的应用	41
2.2.3 电池的并联	42
2.3 混联电路	44
实验与实训1——万用表的使用	46
2.4 基尔霍夫定律	49
2.4.1 基尔霍夫电流定律	49

2.4.2 基尔霍夫电压定律	50
2.5 几种电路分析方法	52
2.5.1 叠加原理	52
*2.5.2 电压源、电流源及等效变换	55
2.5.3 戴维南定理	59
实验与实训 2——验证叠加原理	65
本章小结	67
习题二	68
第3章 电容器	76
3.1 电容器的基础知识	76
3.1.1 电容器与电容	76
3.1.2 电容器充、放电	78
3.1.3 电容器的分类与符号	79
*3.1.4 电容器的参数	81
3.2 电容器的连接	82
3.2.1 电容器串联	82
*3.2.2 电容器串联的应用	84
3.2.3 电容器并联	85
*3.2.4 电容器并联的应用	86
本章小结	88
习题三	89
第4章 磁与电	91
4.1 磁的基础知识	91
4.1.1 磁现象	91
4.1.2 磁场与磁力线	92
4.1.3 电流的磁效应	94
4.1.4 电流磁效应的应用	95
4.2 磁场的主要物理量	96
4.2.1 磁感应强度	97
4.2.2 磁通	98
*4.2.3 磁导率	98
*4.2.4 磁场强度	99
4.3 磁场对电流的作用	100
4.3.1 左手定则	100
4.3.2 磁场对通电平行直导线间的作用	101
4.3.3 磁场对通电矩形线圈的作用	102
4.4 电磁感应	104
4.4.1 电磁感应现象	104
*4.4.2 楞次定律	104

4.4.3 法拉第电磁感应定律	105
4.4.4 右手定则	106
4.5 自感和互感	108
4.5.1 自感	108
4.5.2 互感	112
4.6 变压器	113
4.6.1 变压器的分类	113
4.6.2 变压器的结构	114
*4.6.3 变压器工作原理	116
本章小结	118
习题四	119
第5章 正弦交流电路	126
5.1 正弦交流电的基本概念	126
5.1.1 正弦交流电的产生	126
5.1.2 正弦交流电的变化快慢	127
5.1.3 正弦交流电的变化范围	129
5.1.4 正弦交流电的起始时间	131
实验与实训3——信号发生器和示波器的使用	133
5.2 正弦交流电的表示方法	136
5.2.1 解析式表示法	136
5.2.2 波形图表示法	136
5.2.3 相量图表示法	137
实验与实训4——用示波器观察正弦波的相位关系	139
5.3 单一参数的交流电路	141
5.3.1 纯电阻电路	142
5.3.2 纯电感电路	143
5.3.3 纯电容电路	147
5.4 LC 谐振电路	150
5.4.1 RLC 串联电路	150
5.4.2 LC 串联谐振电路	154
5.4.3 LC 并联谐振电路	156
实验与实训5	158
本章小结	159
习题五	161
第6章 三相交流电路	168
6.1 三相交流电源及连接形式	168
6.1.1 三相交流电源的产生	168
6.1.2 电源的星形(Y)连接	169
6.1.3 电源的三角形(Δ)连接	171

6.2 三相负载的连接形式	172
6.2.1 负载的星形 (Y) 连接	172
6.2.2 负载的三角形 (Δ) 连接	175
6.2.3 三相负载的功率	177
6.3 提高功率因数的意义和方法	179
6.3.1 提高功率因数的意义	180
6.3.2 功率因数的提高	180
本章小结	183
习题六	183
附录 A	187
参考文献	192

第 1 章

电路基础知识

1.1 电流和电压

1.1.1 基本概念

1. 电路的组成及功能

电路就是电流流通的路径,是为了实现某种功能而将各种电气设备和元器件按照一定的方式连接起来的整体,如图 1-1 所示。

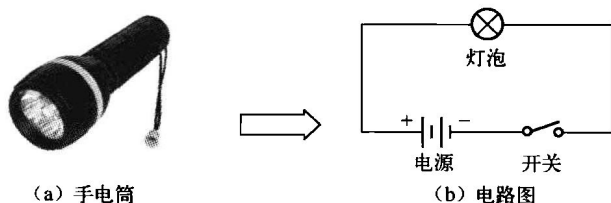


图 1-1 手电筒电路

电路的基本组成包括以下 3 部分。

① 电源: 电路中提供电能的装置。其作用是将其其他形式的能量转化为电能, 如电池、发电机等。

② 负载: 也称用电器, 是电路中取用电能的设备或器件。其作用是将电能转化为其他形式的能量, 如灯泡、电烙铁及电动机等。

③ 中间环节: 把电源和负载连接起来的装置, 通常是一些导线、继电器、开关及保护装置等。

电路的种类较多, 从功能上可以分为两大类: 其一, 实现电能的传输和变换 (如电力工程, 包括发电、输电、配电、电力拖动、照明等, 如图 1-2 (a) 所示); 其二, 实现信号的传输和处理 (如信息工程, 包括语音、文字、图像的发射、传播、接收及变换过程中的自动调节、数据储存等, 如图 1-2 (b) 所示)。

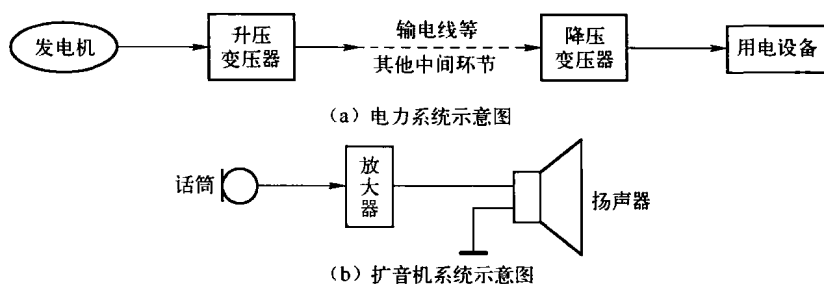


图 1-2 电路的功能分类

2. 电路图

用统一规定的电气符号描述电路连接情况的图,称为电路原理图,简称电路图,见图 1-1 (b)。表 1-1 是常见电气器件的图形符号。

表 1-1 常见电气器件的图形符号

名 称	文字符号	图形符号	名 称	文字符号	图形符号
电阻	R		电压表	PV	
电池	GB		接地		
电灯	HL		熔断器	FU	
开关	S		电 容	C	
电流表	PA		电 感	L	

3. 电路的三种状态

电路有三种连接状态,分别指通路状态、断路状态和短路状态。

(1) 通路状态

通路也称闭路,是指电源和负载构成闭合回路,如图 1-3 (a) 所示。通路状态根据负载的大小可以分为满载、轻载和过载三种情况。负载在额定功率下的工作状态被称为额定工作状态或满载;低于额定功率的工作状态被称为轻载;高于额定功率的工作状态被称为过载。

(2) 断路状态

断路也称开路,是指电源和负载未构成闭合回路,此时电路中无电流,如图 1-3 (b) 所示。

(3) 短路状态

短路是指电源未经负载而直接由导线构成闭合回路,如图 1-3 (c) 所示。短路时回路电阻近似为零,电流比正常工作时增大几十倍或几百倍,使得电路产生大量的热量,导线和



电源迅速升温,进而造成电源损坏,影响电路正常工作,严重时可能会引起火灾。为了防止电路短路,一般电气设备都需要加装熔断器进行保护。

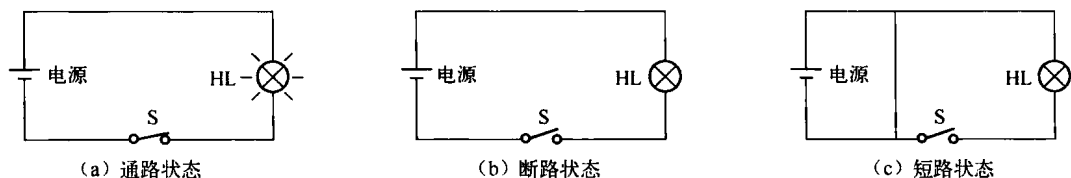


图 1-3 电路的三种状态



本节练习

1. 电路就是_____的路径,主要由_____、_____和_____3部分组成。
2. 用统一规定的_____描述电路连接情况的图,称为电路_____,简称电路图。
3. 电路的种类较多,但从功能上可分为两大类别:其一是_____;其二是_____。
4. 电路有_____种连接状态,分别是通路状态、_____状态和_____状态。
5. 负载在额定功率下的工作状态被称为_____状态或_____;低于额定功率的工作状态被称为_____;高于额定功率的工作状态被称为_____。

1.1.2 电流及参考方向

1. 电流的定义

带电粒子(电子、离子)定向移动形成电流,通常把正电荷移动的方向定义为电流的实际方向。电流的大小用电流强度来表示。电流强度简称电流。

大小和方向恒定不变的电流被称为**恒定电流**(见图 1-4 (a)),简称**直流(DC)**,用大写字母 I 来表示。大小和方向做周期性变化且平均值为零的时变电流被称为**交变电流**(见图 1-4 (b)),简称**交流(AC)**,用小写字母 i 来表示。

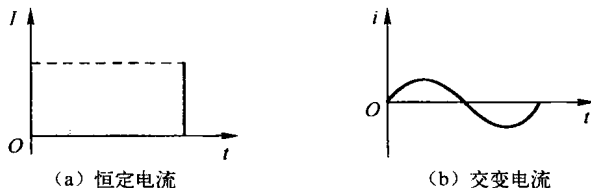


图 1-4 直流电与交流电

2. 电流的大小

在单位时间内通过导体横截面的电荷越多,就表示流过该导体的电流越强。电流大小的



定义：单位时间内通过导体横截面的电量，用公式表示为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)^*$$

式中， I ——电流（强度），单位是安培，简称安（A）；

Q ——通过导体横截面的电量，单位是库仑，简称库（C）；

t ——通过电量 Q 所需要的时间，单位是秒（s）。

在国际单位制中，电流的基本单位是安培（A），常用的电流单位还有毫安（mA）和微安（ μA ）。它们的关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

【例 1-1】某金属导体 5min 内，通过横截面的电荷量为 450C，求导体中的电流强度。

解：由电流公式，可得

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{450}{60 \times 5} = 1.5\text{A}$$

3. 电流的方向

习惯上，规定正电荷移动的方向或负电荷移动的反方向为电流的方向。在分析和计算较为复杂的直流电路时，往往不能预先确定某段电路中电流的实际方向，为了便于分析电路，故引出参考方向的概念。参考方向也称为正方向，一般用箭头表示。

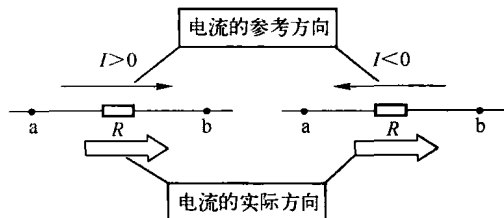


图 1-5 电流的方向

按照参考方向求解的电流值有两种可能。若为正值，则说明设定的参考方向与实际方向一致；若为负值，则说明设定的参考方向与实际方向相反，如图 1-5 所示。

【例 1-2】如图 1-6 所示，电流参考方向已选定，已知 $I_1 = 5\text{A}$ ， $I_2 = -2\text{A}$ ， $I_3 = -3\text{A}$ ，请指出电流的大小和实际方向。

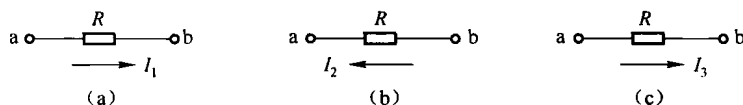


图 1-6 【例 1-2】用图

解：(a) $I_1 > 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相同，即电流由 a 流向 b，大小为 5A；

(b) $I_2 < 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相反，即电流由 a 流向 b，大小为 2A；

(c) $I_3 < 0$ ，表明电流的实际方向与参考方向相反，即电流由 b 流向 a，大小为 3A。



科学家小传

安培 (1775—1836 年), 法国物理学家。安培最主要的成就是 1820—1827 年对电磁作用的研究。

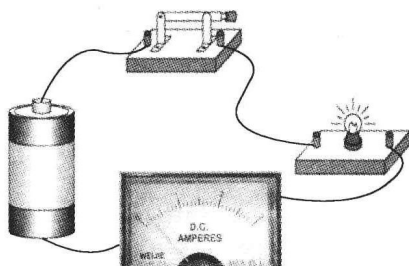
1820 年 7 月, 奥斯特发表关于电流磁效应的论文后, 安培通过一系列经典的实验, 认识到磁现象是由运动的电荷产生的。在科学高度发展的今天, 安培的分子电流假说有了实在的内容, 已成为认识物质磁性的重要依据。

1827 年, 安培将电磁现象的研究综合在《电动力学现象的数学理论》一书中发表。该书是电磁学史上一部重要的经典论著, 对以后电磁学的发展起了深远的影响。为了纪念安培在电学上的杰出贡献, 电流的单位就以他的姓氏命名。

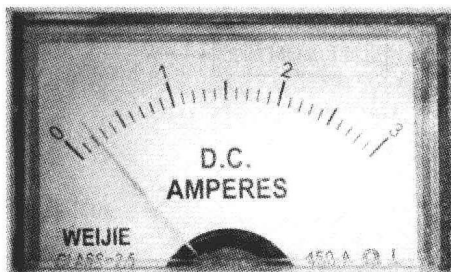


4. 电流的测量

测量电流常用的仪表是**电流表**或**万用表** (电流挡)。用电流表测量电流的连接方式如图 1-7 所示。



(a) 实物图



(b) 电流表

图 1-7 电流的测量



注意事项

用电流表或万用表电流挡测量电流时需要注意以下几点:

- (1) 每个电流表都有一定的测量范围, 称为电流表的**量程**。因此, 在测量电流之前, 应先估计被测电流的大小, 以便选择适当的量程。
- (2) **电流表的等效电阻很小, 可视为短路**, 所以电流表必须串接到被测电路中。
- (3) 指针式直流电流表接线柱上标有“+”、“-”记号, 接线时应与电路的极性相一致, 即电流由“+”端流入、“-”端流出, 否则, 指针反转可能会损坏电流表。
- (4) 在电子技术中, 常用数字万用表 (直流电流挡) 测量电流。表笔可任意串接到被测电路中, 测量结果有正、负之分: 正值说明红表笔流进、黑表笔流出, 负值正好相反。

5. 实操训练——用数字万用表测量电流

- (1) 测试电路。图 1-8 为发光二极管直流电路。叠层电池 (常用于数字万用表) 作为



工作电源，跳线用计算机硬盘跳线帽替代。按下按键开关，电路接通，二极管发光；否则，电路断开，二极管熄灭。

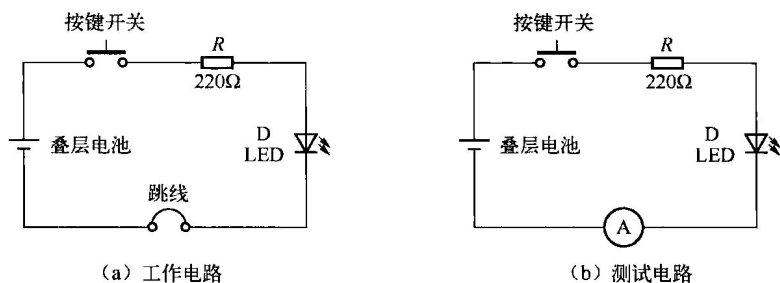


图 1-8 发光二极管直流电路

(2) 电流插孔。测量电流时，应将数字万用表红表笔置于 **mA** 孔，黑表笔置于 **COM** 孔，如图 1-9 所示。

(3) 挡位和量程。估计回路电流大小约为十几毫安，因此将转换开关拨到直流 20mA 挡，如图 1-9 所示。此时，数字万用表就相当于一只直流电流表。

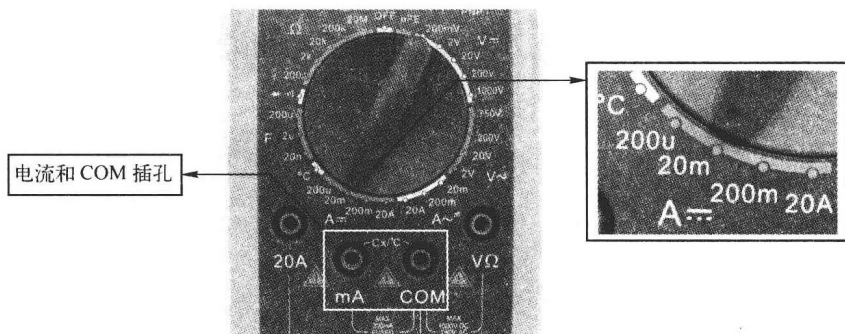


图 1-9 数字万用表 VC890C⁺——电流挡

(4) 连接和读数。取下跳线帽，将数字万用表串接在电路中（见图 1-8 (b)）。按下按键开关，电路接通，LCD 屏显示的数字就是电路中的电流，单位是毫安。若读数为正值，则说明电流由红表笔流进、黑表笔流出，如图 1-10 (a) 所示；若读数为负值，则说明电流由黑表笔流进、红表笔流出，如图 1-10 (b) 所示。

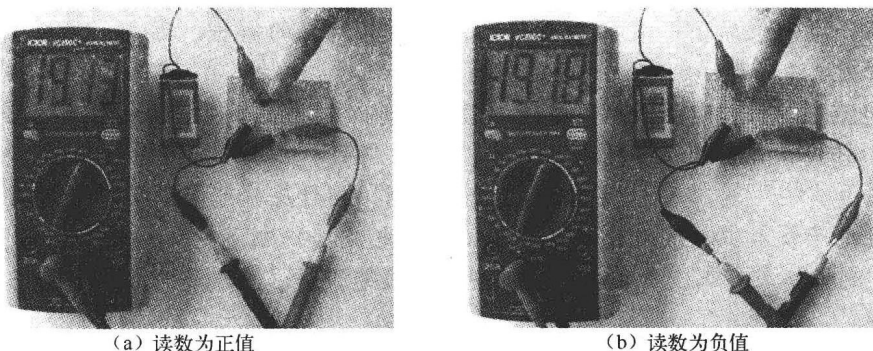


图 1-10 用数字万用表测量电流



本节练习

1. 带电粒子（电子、离子）_____形成电流，通常把_____移动的方向定义为电流的实际方向。
2. 若电流的大小和方向恒定不变，则被称为_____，用符号_____表示。若电流的大小和方向都随时间做周期性变化且平均值为零，则被称为_____，用符号_____表示。
3. 在分析和计算较为复杂的直流电路时，往往不能预先确定某段电路中电流的实际方向，为了便于分析电路，故引出_____的概念。
4. 按照参考方向求解的电流值有两种可能。若为正值，则说明设定的参考方向与实际方向_____；若为负值，则说明设定的参考方向与实际方向_____。
5. 用电流表测量电流时，必须将电流表_____接到电路中。对于指针式电流表来说，应使电流从表的_____极流入，_____极流出；对于数字万用表来说，表笔可任意接入，测量结果有正、负之分：正值说明_____表笔流进、_____表笔流出。

1.1.3 电位、电压及参考方向

1. 电位

在电子技术中，常用电位的概念来分析和计算电路。

电位是指电路中任一点相对于参考点的电压，单位是伏特（V）。在一些文献中，常用“V”来表示电位，用“U”来表示电压。为简便起见，本书统一用“U”表示电位和电压，如a、b两点的电位可分别记为 U_a 、 U_b 。

在分析和计算电位之前，首先应选定电路中某一点为参考点，用符号“⊥”表示，并规定参考点电位为零，因此参考点也被称为“地”。在实际电路中，一般以大地为零电位点，在没有接地的情况下，通常将机壳作为“地”。在电子测量时，常将数字万用表黑表笔接机壳，红表笔依次接触各测试点，即可得到各测试点的电位值。在电路分析中，一般选择多条导线的汇集点为“地”。

【例1-3】如图1-11所示，3只电压为1.5V的电池顺向串联，分别以a、b、c和d点为参考点，试求其他各点的电位。

解：由于3只电池顺向串联，故若以d点为参考点，则a、b和c点电位分别为

$$U_a = 4.5V \quad U_b = 3.0V \quad U_c = 1.5V$$

若以其他点为参考点，则会得出相应的结果，见表1-2。

表1-2 选择不同参考点时各点的电位

参 考 点	a点电位/（V）	b点电位/（V）	c点电位/（V）	d点电位/（V）
a	0	-1.5	-3.0	-4.5
b	1.5	0	-1.5	-3.0
c	3.0	1.5	0	-1.5
d	4.5	3.0	1.5	0

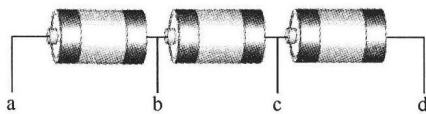


图1-11 【例1-3】用图



2. 电压的定义

在电路中，电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，被定义为 a、b 两点之间的电压，用公式表示为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-2)^*$$

式中， U_{ab} ——a、b 两点的电压，单位为伏特 (V)；

W ——电场力将正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，单位为焦 (J)；

q ——电场力移动的正电荷量，单位为库仑 (C)。

在国际单位制中，电压的基本单位是伏特 (V)，辅助单位有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。它们的关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$$

科学家小传

伏特 (1745—1827 年)，意大利物理学家。

伏特最伟大的成就是发明了伏特电池或电堆。电堆能产生连续的电流。其强度的数量级比静电起电机产生的电流大很多，因此开始了一场真正的科学革命。为纪念其重要贡献，人们将其名字作为电压单位。



大小和方向恒定不变的电压被称为恒定电压，也称直流电压，用大写字母 U 来表示。大小和方向随时间变化的电压被称为时变电压，一般用小写字母 u 来表示。

3. 电压的方向

电压的参考方向与电流的参考方向类似，当计算的结果为正值 ($U > 0$) 时，说明电压的实际方向与参考方向一致；当计算的结果为负值 ($U < 0$) 时，说明电压的实际方向与参考方向相反。

由于参考方向是人为设定的，因此在分析电路时，可以设定电压方向与电流方向一致，这样的假定参考方向被称为关联参考方向，如图 1-12 (a) 所示；也可以设定电压方向与电流方向相反，这样的假定参考方向被称为非关联参考方向，如图 1-12 (b) 所示。

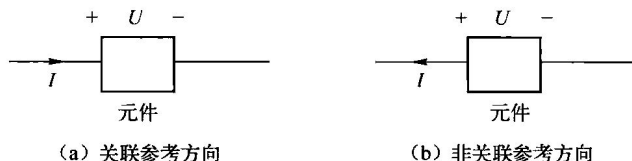


图 1-12 参考方向

必须指出，电路中的电流或电压在未标明方向的前提下，讨论电流或电压的正、负值是没有意义的。