

电子制作

张大富 谭卫东 主编

电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是一本以培养学生创造性为宗旨的供中小学使用的电子制作教材。本书先用简单易懂的方式讲述了电子线路的一些基本原理，然后引导学生自己进行电路的制作，这与一般电子制作类书籍有很大区别，是更适合于培养学生电子爱好的入门书籍。

本书的内容分为电子线路基础、重要单元电路、数字电路和控制、遥控电路四个部分，每一部分独立成章，方便不同基础的读者选读。通过这些章节的学习，读者可以打下比较好的电子线路基础，同时对于培养兴趣和动手能力也有很大好处。

本书可作为中小学电子制作的教材或课外活动指导书，也可作为电子爱好者的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

电子制作/张大富，谭卫东主编. —成都：电子科技大学出版社，2000.11

微机培训与自学教程

ISBN 7—81065—563—9

. 三... . 张... 谭... . 网页 - 制作 - 教材 . TP393.092

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）第 56576 号

电子制作

张大富 谭卫东 主编

出 版：电子科技大学出版社（成都市一环路东一段 159 号 邮政编码：610051）

责任编辑：张 勋

发 行：电子科技大学出版社

经 销：新华书店

印 刷：电子科技大学出版社印刷厂

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 410 千字

版 次：2001 年 3 月第一版

印 次：2001 年 3 月第一次印刷

书 号：ISBN 7—81065—563—9 /TP·375

印 数：1—4000 册

定 价：19.80 元

前 言

有不少的青少年喜爱制作，特别是电子制作，但是电子技术本身并不是一门简单的科学，要掌握它们不是一件容易的事，不少最初的爱好者没能坚持下来，最终与电子线路擦肩而过，就是这个原因。

而现在的电子专家、电子技师，他们之所以能学好电子学，也是在学习中有过大量的实践，电子学本身就是一门实践性的学科，没有人能只通过书本就很好地掌握了电子学的，因而，从小能大量地进行电子方面的制作，不仅能培养对电子学的兴趣，对电子学的学习有很大的帮助，同时还能培养动手能力和实干精神。

本书是一本电子制作的入门教材，与其他的电子制作丛书有很大的不同：

首先，在制作的成功性上做了周到的考虑，书中所安排的制作是从简到难的，所涉及的知识也是循序渐进的。

其次，本书是以教材形式编写的，这与现在流行的制作书籍是完全不同的，本书的着眼点是让读者在制作的同时学习到相应的电子线路知识，而不只是为制作而制作。在本书的章节中，有不少关于电子线路基础知识的文字，这些内容是同相应的制作相照应的，由于是一本以制作为主要内容的教材，因此这些内容并不强求在理论上有很强的系统性，适合于中小学生学习开展课外活动使用。

很多青少年电子爱好者最初也喜欢动手制作，但最后还是放弃了，这是因为在制作中屡次失败挫伤了他们。对于他们，最初的一次成功可以抵消他们以后的一百次失败，而最初的一次失败则可能导致他们永远都不再碰一个电子元件了。导致这些失败的一个重要原因是没有能给他们进行制作上指导的辅导者，因而一旦遇到困难后就很难找到症结所在，不能进行有效的处理。本书在这些可能遇到的问题对相应的电子学理论有针对性的讲述，使之在遇到问题后能够通过自己对理论的理解而对问题进行分析，自己想办法去处理这些问题，这与平常直接为他们解决问题的辅导办法是不同的，更有利于学习电子技术。

第三，电子制作本身是一项具有很强创造性的活动，而这些内容在常见的电子制作书籍中并不多见，而本书则在这方面有很强的体现。本书在各个章节中涉及到创造学的各种方法和技巧，在不少地方还有为拓宽读者的思路而专门安排的制作，这些制作并不复杂，而是具有巧妙的设计思想，可以启发思维，激发学生的创造性。

最后，本书涉及了大量的电子线路设计的内容。电子线路设计在现在市场上的各种普及型的电子读物中是很少涉及的，原因是电子线路的设计是一项比较困难的事，需要具有比较高的电子线路修养，同时还需要考虑各种因素，一般读者是不容易达到的，但电子线路的设计是一项极富挑战性的工作，合理地介绍一些电子线路设计方面的知识不仅能很好地掌握电子学理论，还能大大增加电子制作的趣味性。在本书中，不管是模拟电路还是数字电路，涉及了丰富的电子设计知识，同时为能适合于青少年读者，去掉了设计中高深的数学知识，用简单易懂的语言来介绍如何设计电子电路，教他们如何选择单元电路、进行电路的组合、计算元件的参数、考虑可能遗漏的功能、弥补功能的缺陷、提高电路的可靠

性等等。作者有多年辅导学生电子制作的经验，在与这些学生的交往中，发现教给他们一些电子线路设计的思维方法可以很好地促进他们对电子线路的理解，提高他们创造性思维的发展和养成严谨的工作态度。通过本书的学习，学生可以具备初级的电子线路设计能力。

本书所涉及的内容广泛，从电子技术的基础入门到数字电路的设计，到遥控电路的制作都有较为系统的内容，通过阅读，可以获得比较系统的电子线路基本知识。本书在编写中，结合现在中学生的特点，对一些较为困难的重要概念采用了直观举例的讲述方法，这对他们正确理解电路有很大的帮助。

本书是为职业中学电子类专业编写的教材，在编写的过程中也兼顾了作为非职业中学课外活动的参考用书，具有一定的课外活动性质。如果作为职业中学的电子类专业教材使用，可以分为三到四个学期使用，下面是相应的课时安排（参考用）：

教学内容	周课时（节）	教学目的	四学期安排	三学期安排
第一部分	2	配合电子线路基础的学习，加深基本概念的理解，认识基本元件和基本的电路，展览对电子线路的认识。	第一学期	第一学期
第二部分	2	配合电子线路基础的学习，加深对单元电路的理解，了解它们的实际制作和工作特点以及它们的应用范围和要求，学会一些基本电路的设计方法。	第二学期	
第三部分	2	配合脉冲和数字电路的学习，加深对脉冲数字电路的理解，学会设计不太复杂的数字电路和一些简单的脉冲电路，计算一些重要的元件参数，认识一些重要的集成电路和元件。	第三学期	第二学期
第四部分	2	配合接收发射设备（音响、电视、通信等），加深对无线通信的认识，学习一些基本的无线电通信电路。	第四学期	第三学期

如果非职业中学作为课外活动的参考用书，小学阶段可以使用第一部分和第二部分的第六章，以及第四部分第一章的第一、二节；初中阶段可以使用第一部分，第二部分的第二章、第三章、第四章和第六章，第四部分第一章和第二章的第一节；高中阶段则可以全面使用本书。在作为课外活动时，本书的作用是为电子制作打基础，可以在本书的基础上增加一些其他制作，或与一些其他的电子制作书籍一起使用。

本书第一、二、三部分的后面有相应的实验，这些实验的目的有两个，一是进行一些基本的制作和工艺训练，二是一些基本元件和电路性能的认识实验，这些实验的进行会对学生的电子制作有很大的帮助，同时有利于在学校进行比较系统的训练。在第一部分的实验后还有对实验现象的解释文字，可以对初学者有一些帮助。第四部分没有设置实验，原因是这一部分的理论超出了本书的范围，从实验所得到的结果暂时还无法提供相应的解释，在实际教学中可以通过正文中的制作来达到实验的目的。

本书的全部图纸和部分资料可以在网址<http://herald2000.home.chinaren.com>上下载，如果需要，可以通过电子函件与作者交流，作者的 E-mail 地址是：

Herald_2000@sc.homeway.com.cn。

由于时间和篇幅的限制，本书不可能在每一个方面都进行详细的讲述，在阅读本书时，如果参照其他电子线路教材同步进行，效果将会更好。

本书的第一、二、四部分由成都市新华职业中学刘洪涛编写，第三部分由四川档案学校陈刚编写，全书由刘洪涛主编，成都市财政贸易学校廖茂萍为本书做了大量的插图，在此表示感谢。由于作者水平有限，错误在所难免，望广大读者不吝赐教，作者将十分感激。

作者
2000年7月

目 录

第一部分 在制作中学习电子线路基础知识

第一章 电流、电压和电阻.....	2
第一节 欧姆先生的贡献.....	2
第二节 学会使用万用表.....	3
本章小结.....	7
思考与练习.....	7
第二章 用无源器件制作的电子作品.....	8
第一节 电阻器的识别.....	8
一、固定电阻.....	8
二、可变电阻.....	10
第二节 电阻器的应用.....	10
一、电阻的串联和并联.....	10
二、自己动手做一个超微型万用表.....	11
第三节 电容器.....	14
第四节 做一只光电打靶枪.....	16
第五节 为电风扇加一个睡眠档.....	17
第六节 电感器.....	18
第七节 做一个非常可靠的电话机避雷器.....	19
第八节 变压器.....	21
第九节 为电冰箱做一个压缩机工作状态监视器.....	22
本章小结.....	23
思考与练习.....	24
第三章 用二极管制作电子作品.....	25
第一节 认识二极管.....	25
第二节 做一个傻瓜电池盒.....	27
第三节 能延长灯泡使用寿命的电路.....	28
第四节 供小电器使用的直流电源.....	30
第五节 具有稳压功能的直流电源.....	31
本章小结.....	32
思考与练习.....	32

第四章 用三极管制作电子作品	33
第一节 认识三极管	33
第二节 通断测试仪	38
第三节 可以输出较大功率的射极输出器.....	39
一、将报警器的声音变大.....	39
二、可输出较大电流的稳压电源.....	41
第四节 定时器	43
第五节 可控硅的应用	46
一、楼道节电延时开关.....	48
二、调光台灯	49
本章小结	52
思考与练习	52

第二部分 实用单元电路的制作

第一章 低频功率放大器.....	54
第一节 低频功率放大器的基本组成.....	54
第二节 多媒体计算机耳机功放.....	58
第三节 适合自制的功率放大器.....	60
思考与练习	63
第二章 直流稳压电源	64
第一节 单电压直流稳压电源	64
第二节 稳压电源的进一步改进.....	65
一、让输出的电压可调.....	65
二、如何增加输出电流.....	66
三、怎样输出很低的电压.....	67
四、如何增加保护电路.....	67
第三节 稳压集成电路的应用	69
一、集成稳压电路的典型用法.....	70
二、集成稳压电路的扩展用法.....	71
思考与练习	72
第三章 正弦波振荡器	73
第一节 正弦波振荡器的电路组成.....	73
一、LC 电路	75
二、RC 电路	76
三、正弦波振荡器	76
第二节 单音门铃电路和简易电子琴.....	78
一、门铃电路	78

二、简易电子琴	80
思考与练习	81
第四章 多谐振荡器	82
第一节 电子彩灯	82
一、1号电路	82
二、2号电路	83
第二节 警笛声响电路	86
一、声音的产生	86
二、声音变调的实现	86
三、锯齿波电压形成电路	87
思考与练习	88
第五章 运算放大器的应用	89
第一节 运算放大器的工作原理	89
第二节 电冰箱保护器	91
第三节 卡拉OK消声电路	96
思考与练习	99
第六章 专用集成电路的应用	100
第一节 音乐集成电路	100
一、音乐集成电路 KD - 9300 简介	100
二、用音乐集成电路制作实用电路	101
第二节 开关集成电路	102
一、开关集成电路 TWH8751 简介	102
二、TWH8751 的应用电路实例	103
第三节 声控集成电路	105
第四节 NE555 电路	107
一、光电打靶游戏机	110
二、路灯自动控制器	111
三、信号寻迹器	112
思考与练习	113

第三部分 传感器与数字集成电路的应用

第一章 数字电路基础（组合电路）	116
第一节 控制电路是由哪些部分组成的	116
第二节 传感器和模/数转换器	117
一、传感器	117
二、模/数转换器	118

第三节	逻辑电路是怎么回事.....	119
第四节	如何设计组合门电路.....	125
一、	与运算、或运算和非运算.....	126
二、	布尔代数的基本定律.....	127
三、	布尔代数的化简.....	128
第五节	现学现用——设计一个实用电路.....	129
一、	用两个开关控制一个路灯.....	130
二、	为一个三岔路口设计一个路灯.....	131
第六节	模拟开关电路的应用.....	133
本章小结	.....	135
思考练习题	.....	135
第二章	时序逻辑电路基础.....	136
第一节	触发器电路的应用.....	136
一、	RS 触发器.....	137
二、	D 触发器.....	139
三、	斯密特触发器.....	142
第二节	计数器电路的应用.....	143
本章小结	.....	144
思考与练习	.....	144

第四部分 无线电接收与发射

第一章	收音机的制作.....	147
第一节	调幅、调频和收音机.....	147
第二节	直放式收音机的制作.....	153
第三节	超外差接收机.....	156
本章小结	.....	161
思考与练习	.....	162
第二章	无线电遥控电路.....	163
第一节	简单的单通道无线电遥控电路.....	163
第二节	多通道的无线电遥控电路.....	167
第三节	数字编码无线电遥控电路.....	172
思考与练习	.....	175
实 验	.....	176
第一部分实验	.....	176
实验一：	用万用表进行多种物理量的测试.....	176
实验二：	电容与电感的特性实验.....	179

实验三：二极管的特性实验.....	181
实验四：三极管的特性实验.....	183
实验五：单向可控硅的特性实验.....	184
第二部分实验	186
实验一：互补对称功率放大电路的特性.....	186
实验二：串联式线性稳压电源的特性.....	187
实验三：无稳态多谐振荡器的特性与应用.....	188
实验四：555 电路的应用.....	189
第三部分实验	191
实验一：基本逻辑门电路的基本特性.....	191
实验二：组合逻辑电路的应用.....	193
实验三：触发器的应用.....	195
实验四：计数器的应用.....	197
附 录	201
附录一：印制电路板	201
附录二	206
附录三	206
附录四	207
附录五	207
附录六	207
附录七	207

第一部分 在制作中学习电子 线路基础知识

在人们知道电的用途以前，准确地说是在电子技术诞生以前，人们通常是把信交给一位骑马的人，然后就祈祷神保佑此人能安全地将信送到遥远的亲人手中。这样做的痛苦在于，为了一封不足一两的信，得让数百斤重的人和马还有干粮都运送到目的地去。

现在有了电子技术，将信交给一个电信号，就可以在一瞬间将信送到纽约、伦敦或世界上的任何其他地方，而且价格便宜得让人感到是在免费服务，如电子函件（如图 1-1-1 所示）。当然，这一切都是在电子技术被当作了一门独立的应用学科后才成为现实的。



图 1-1-1 电子技术几乎是在为我们免费服务

免费送信只是电子技术的应用之一。现在，电子技术像一棵大树的根，早已深入到我们生活的每个方面：听听音乐、唱唱歌、出去玩玩甚至上厕所都有电子技术在为你服务，这些电子产品都是你忠诚的仆人。电子产品之所以会如此忠诚，是因为人们掌握了电子技术（如果你的什么秘密被别人掌握了，你也会为他“忠诚地服务”的）。如果你能用智慧和双手去做出它们来，你会发现电子世界多么奇妙：充满神奇、充满智慧、充满幻想，同时还有一种身轻如燕的感觉——想往哪儿飞就往哪儿飞，但在起飞之前，你必须得羽翼丰满才行，也就是说，你得先学习一些电子线路的基础知识才行。

第一章 电流、电压和电阻

学习目标

在本章中，我们来学习一些电子线路方面的基础知识。通过本章的学习，应当理解：什么是电压？电压一般由什么元件或方式提供？电流是怎样由电压产生的？它们之间还涉及到一个什么物理量？它们之间有什么样的关系？

在掌握上述问题的答案以后，你还得学会用万用表对这些物理量进行测量，并熟练掌握这些测量方法（你可知道，没有测量就没有电子技术）。

第一节 欧姆先生的贡献

在自然界中，水可以在河流或水管中流动，而电则可以在导体中流动，在导体中流动的电称为电流。水不会自己流动，除非有水位的高低差别或水压，同样，要形成电流也必须有电压才行。在很早以前，人们都知道用水流来推动磨盘，这是因为水流是可以做功的，同样，电流也是可以做功的——我们可以用它来点亮电灯或开动洗衣机等。

下面我们来看一个“水路”，再来看一个与它很相似的“电路”，就会明白电位、电压、电流和电阻这些重要的概念。

在图 1-1-2 左边的“水路”中，水泵的作用是将水位比较低的水抽到比较高的地方，形成水位比较高的水，然后水就会在重力的作用下流动，从而推动一台水磨机转动；在右边的“电路”中，电池就像水泵，将比较低的电位（电池的负极）变成比较高的电位（电

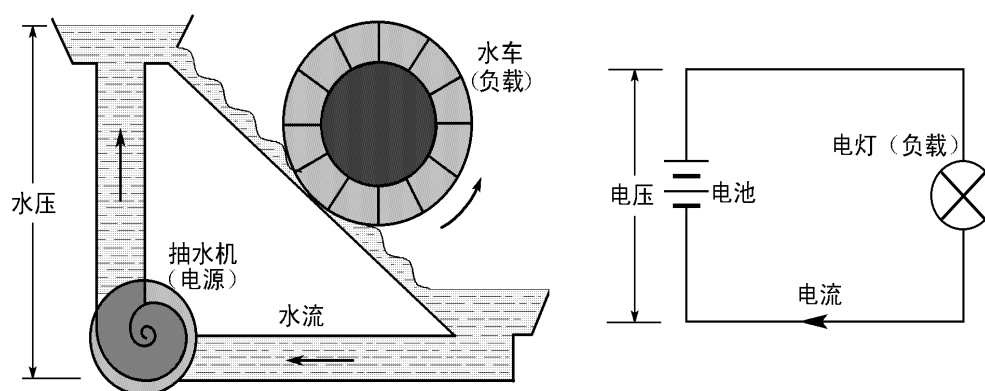


图 1-1-2 水路与电路的比较

池的正极), 然后在高电位和低电位之间就会形成一个电位差, 这就是电压, 导体中的电荷就会在这个电压的作用下流动, 形成了电流, 电流流过小电珠, 就能让它发光, 就像水推动水磨机转动一样。在这里, 小电珠实际上起了一个电阻的作用, 它阻碍着电流的流动, 电流要想流过电阻, 就得消耗电能并产生其他的能量, 这就是电珠的灯光。

如果电压或电流的方向是不变的, 我们称之为直流电, 反之则是交流电。在日常生活里, 电筒中的电池提供的是直流电, 而墙上插座中出来的则是交流电。交流电的电流和电压的方向是不断变化的, 变化的快慢我们称之为频率, 比如市电的频率是 50Hz, 就是它的电压和电流方向每秒要变化 50 次。

在电路中, 电流和电压是有一定关系的, 发现它们之间关系的人是伟大的科学家欧姆。欧姆先生在用掉大量的硫酸电池后, 发现电流的大小跟电压有很大的关系: 越是高的电压就会产生越强的电流(想一下上面的水泵就可以很快明白这一点)。欧姆在发现了这样的规律之后非常高兴, 但他马上意识到仅仅这样是不足以说明问题的, 因为如果河道被严重堵塞的话, 也不会得到多大的水流, 欧姆发现电阻对电流的大小起同样的作用: 电阻越大, 同样的电压能产生的电流就会越小。欧姆把这两个规律合在一起, 称之为“欧姆定律”, 并用了一个代数式来表达这个定律:

$$R = \frac{U}{I}$$

其中, I 表示电流, 它的单位是“安培”, 用“ A ”表示; U 表示电压, 它的单位是“伏特”, 用字母“ V ”表示; R 当然就表示电阻了, 它的单位为“欧姆”, 记作“ Ω ”(显然欧姆先生对他的这个发现十分得意)。从式子中可以看到, 如果某个导体能在 1V 的电压下产生 1A 的电流, 它的电阻就为 1 Ω 。

我们以后会发现, 这一定律太有用了。只需要简单地记住这么一个简单的式子, 就可以十分方便地解决大量的问题。

第二节 学会使用万用表

一个电池有多少电压是不能用手摸出来的, 一只电阻的大小也不能用眼睛看出来, 要想知道它们到底有多少, 可以用万用表来进行测量, 可以说, 万用表就是我们用来看电流、电压、电阻等的“眼睛”。万用表是电子制作和电子维修最重要的也是必备的工具, 它具有测量电压、电流、电阻的功能。换句话说, 只需要拨动万用表的拨盘开关, 就可以将它变为电压表、电流表或电阻表。

我们现在常用的万用表有指针式和数字式两种。虽然数字式读数精确, 但不能很好地观察电压或电流的变化(比如测电解电容), 也不能测出一些瞬时变化的痕迹, 所以大多数电子爱好者都喜欢用传统的指针式。现在还有一种混合式的万用表, 在它的表盘上同时具备了两种表示方式, 这集中了两种万用表的优点, 属于一种比较高档的万用表, 如图 1-1-3 所示。

我力劝本书的读者说服你的父母伸出援助之手，让你拥有一个属于自己的万用表，但问题在于，我们怎样去选择一块对得起父母血汗钱的万用表呢？



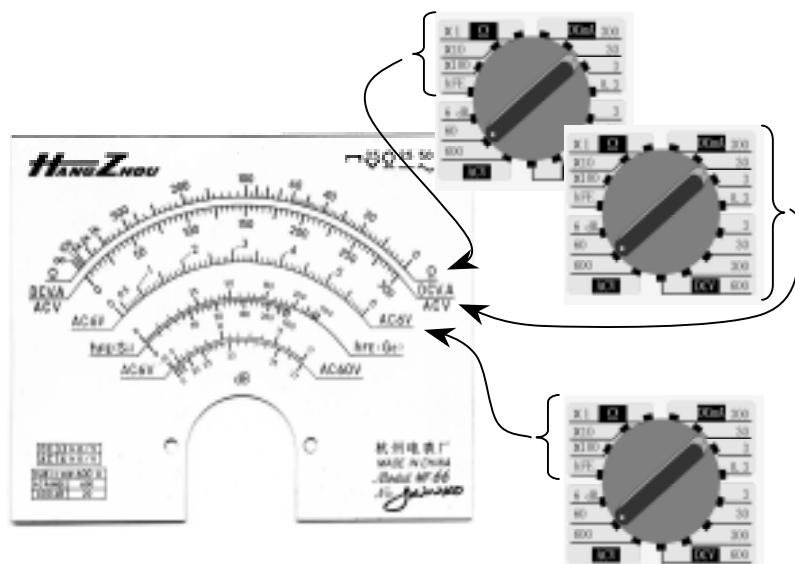
图 1-1-3 各种万用表

万用表有几个重要的性能指标，而第一重要的是万用表的灵敏度和精度，这个只需要看一下万用表的表盘上的字就可以知道了。如图 1-1-4 所示，在万用表的表盘的下部，印有若干个万用表的性能指标，其中有一项的单位是 mV ，这就是万用表的直流灵敏度，这个值越大越好，一般来说应大于 10000 mV ，最好能买一个 20000 mV 的。表盘上的另一个有意思的标志是“2.5”或“5.0”，这是万用表的直流或交流测量的精度，它表示这块表的精度为“直流的测量误差为 2.5%，交流的测量误差为 5%”，一般来说，万用表有这个精度就够用了。

在选择万用表时，还有一个需要注意的是万用表的指针配重，这就是说，我们将万用表平躺放置或立起来放置，甚至侧躺放置时，它的指针位置都不应该有太多的变化，否则就会影响测量的精度。要检查你所感兴趣的万用表是否有这样的问题，可以将万用表如图 1-1-5 放置，看看它的指针是否一直指向零，如果两种放置时指针的差别不到最小格子的半格，就基本符合要求，当然，差别越小越好。

万用表买回来了，你能否正确地使用它呢？实际上，万用表的使用是很简单的，只要

你明白一点就可以了：打什么档位读什么刻度。一般常用的万用表的拨盘开关被分为了几个档，它们分别是直流电压档（用“V”表示）、交流电压档（用“V~”表示）、直流电流档（用“A”表示）和电阻档（用“Ω”表示），在有的万用表中，还有交流电流档“ \tilde{A} ”、



测量三极管的直流放大系数的 hfe 档等，而在刻度盘上，同样可以找到用这些称号标明的刻度线，如图 1-1-4 所示。

图 1-1-4 万用表的档位和相对应的表盘读数

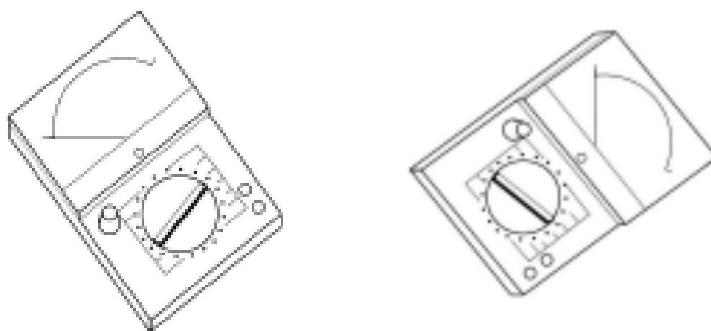
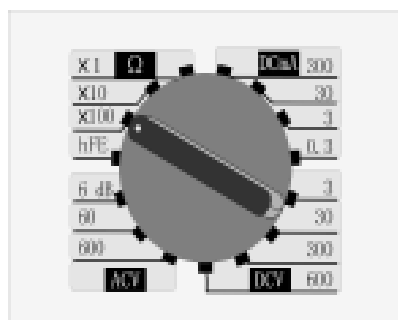


图 1-1-5 分别让万用表的指针水平和垂直检查配重

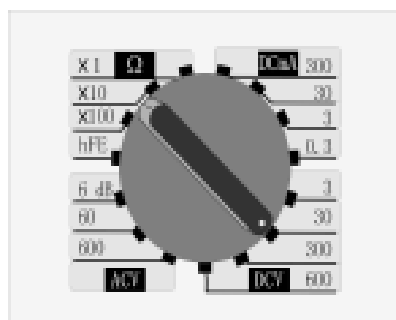
比如万用表的指针指向如图 1-1-6 所示的位置，如果万用表打在欧姆档 $R \times 100$ ，则被测电阻约为 $7.7k$ ($77 \times 100 = 7.7k$)；如果万用表打在 DC30V，则被测的直流电压为 17V；如果打在 DC3mA 档时，被测的直流电流是 1.7mA；而如果开关是打在 AC60V 的位置，被测的交流电压则为 36V。在这只万用表中，还可以测三极管的直流放大系数（hfe 值），注意硅（Si）管和锗（Ge）管是用不同的刻度；在表盘最下面的刻度线上，标志的是分贝（dB）值，这是用来测量声音或其他信号的强度的，测分贝时万用表的开关可以打在 AC6V 或 AC60V，但注意读数是不同的。

可见，在对电流和电压进行测试时，它们的读数方法是相同的——表盘的刻度是均匀的，都是用红表笔接电压高的端，用黑表笔接电压低的端，拨盘开关所指示的值是该档位所能测试的最大值。但是，在测量电阻时，情况就大不一样了。首先表盘的刻度是不均匀的了，红表笔也变成了“负”，而黑表笔却成了“正”，读数是从右往左的，拨盘开关的指示只是刻度盘上的一个单位了，而且电阻的测量与电流、电压测量的不同还有一点，就是每换一个档时都需要调零，就是要先将两个表笔短接在一起，然后看看表的指针是不是指在 0 的位置上，如果不是，需要调节一下电阻调零电位器，使指针指向零，否则测出的结果是不准确的。

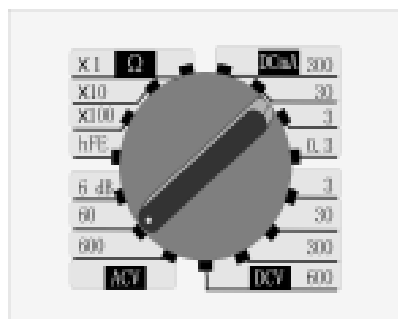
在使用万用表时，要特别注意安全，如果所测试的电流或电压超出万用表的承受能力，就会将表损坏，比如用电流档去测电压，或用低档位去测高电流或电压。如果我们不清楚



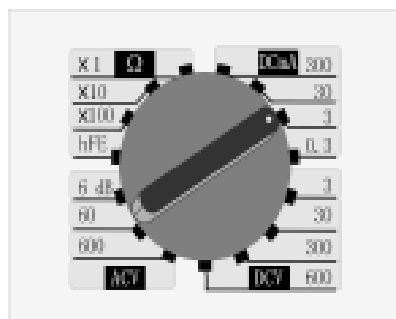
R × 100 档时读数为 7.7k



DC30V 档时读数为 17V



AC60V 档时读数为 36V



DC3mA 档时读数为 1.7mA

图 1-1-6 万用表不同档位时的读数

被测的电流有多大或电压有多高，可以先用电流或电压的最高档去测，如果测出的电流或电压很小，可以逐渐调低档位，以便能更安全准确地读出。

本章小结

在电路中，电源所产生的电压是各种电器工作的驱动力，电压可以直接用于形成电信号，也可以在不同的电路中产生不同的电流。

电压与由它所产生的电流的关系遵从欧姆定律，欧姆定律是电路中最基本的定律，它表示了电压在什么样的条件下可以产生什么样的电流，我们可以根据这个定律来得到我们所需要的电流或电压，或由测量得到的电压或电流来推导出电流或电压。

万用表可以测量直流或交流的电流或电压，也可以测量电阻，现在不少的万用表还具有测量电容、电感、三极管、二极管、分贝值等多种功能。万用表是我们使用的最基本的电子仪器，只有熟练掌握了万用表的使用，才谈得上进一步学习电子线路和制作出更多、更好、更有意思的电子作品来。

思考与练习

1. 用电池、小电珠和导线按如图 1-1-2 所示电路图搭接一个电路，看看这个电路能否让小电珠发光，再分别将电路中的接触点一一断开，看看电珠是否还能发光，然后再想想只有电压是否一定可以产生电流？产生电流的条件是什么？

2. 分别将两节电池串联和并联后接入上面的电路中，看看是否增加电池数一定会让小电珠发光更强？为什么？

3. 找一些电池、小电珠、开关等电子元件，用万用表测量一下，看看能否用万用表判断它们的好坏，并说出判断的依据。