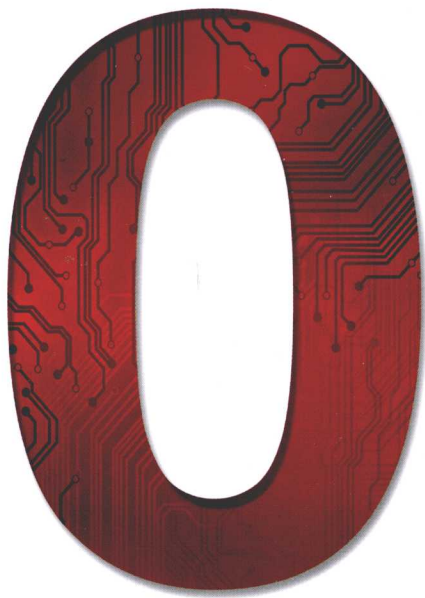




零基础篇

Arduino 电子设计实战指南 零基础篇

程晨 编著



机械工业出版社
China Machine Press

013033605

TN
135

单片机与嵌入式



零基础篇

Arduino 电子设计实战指南

零基础篇

程晨 编著



北航

C1640325



机械工业出版社
China Machine Press

TN
135

图书在版编目 (CIP) 数据

Arduino 电子设计实战指南: 零基础篇 / 程晨编著. —北京: 机械工业出版社, 2013.4

ISBN 978-7-111-41717-0

I. A… II. 程… III. 电子器件 - 制作 - 指南 IV. TN-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 042856 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

Arduino 是一个任何人都可以快速上手使用的电子控制平台, 可能在硬件工程师的眼中它仅仅是一个简单的 8 位机最小系统, 但对于更多的没有硬件背景的人来说 (特别是软件工程师), Arduino 为他们打开了一扇通向硬件领域的窗口, 这扇窗连接的是一个叫做开源硬件的世界。

Arduino 注重实际动手操作应用, 只要掌握了一些基本的电子学知识, 就能制作出很有意思的硬件交互作品。正是基于这个原因, 本书以基础的电子学知识为纽带将各个章节联系起来, 通过简单的应用介绍了 Arduino 中数字量和模拟量的处理方式。用 Arduino 完成的形形色色的电子作品都是基于这些基础知识实现的, 本书的作用只是引领你走入 Arduino 的精彩世界, 希望大家在读完本书后充分发挥各自的想象力, 去制作更有意思的电子作品。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 陈佳媛

中国电影出版社印刷厂印刷

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

186mm×240mm·11 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-41717-0

定价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

前言

本人编写的国内首本 Arduino 著作《Arduino 开发实战指南——AVR 篇》，在国内引领了一波 Arduino 学习的高潮。虽然在硬件工程师的眼中 Arduino 仅仅是一个简单的 8 位机最小系统，但对于更多的没有硬件背景的人来说（特别是软件工程师），Arduino 为他们打开了一扇通向硬件领域的窗口，这扇窗连接的是一个叫做开源硬件的世界。这里不用去系统地学习硬件知识就能够制作出很有意思的硬件交互作品。

Arduino 因其简单易用、完全开源、扩展丰富的特点已经成为开源硬件中的一个重要角色，使用 Arduino 来制作电子作品时，我们不再需要单独学习单片机、寄存器之类的底层知识，只需要专注于我们的想法与实现的功能。

使用 Arduino 的人越来越多，许多读者反应之前的那本书还是偏重于底层硬件知识，对于没有硬件基础的人来说入门还是有点费劲，所以本人又和图书编辑张国强先生合作编写了这本零基础的 Arduino 图书。

从一个没有硬件基础的人变成一个熟练使用 Arduino 的电子爱好者，了解一些基本的电子学知识，会让这个转变过程更加顺利平稳。而本人认为电子世界中实际上只有两种信号：数字信号和模拟信号，而 Arduino 要处理的，或者说是我们在制作电子作品时需要处理的也就是这两种信号，外围使用的各种传感器、驱动部件都可以归结为这两种信号。每种信号又分为输入和输出两种处理形式，所以最终我们要搞清楚的基础就是 4 件事：数字量输入、数字量输出、模拟量输入、模拟量输出，而串行通信实际属于数字信号处理的一种扩展。我喜欢称之为“两仪四象学电子”。

本书就按照这几个基本点展开，本书共分为 8 章，各章所涉及内容如下：

第 1 章简单介绍电子学的一些知识和概念。

第 2 章引入本书的主角 Arduino。

第 3 章介绍了 Arduino 的使用，软件的安装和应用。

第 4 章、第 5 章和第 6 章是关于数字量输出、模拟量输出、数字量输入及模拟量输入这几种基本情况的应用。

第 7 章单独就串行通信进行了阐述。

第 8 章是 Arduino 的一些特殊应用，确切地说是 Leonardo 用作鼠标键盘的特殊应用。

了解了书中的内容之后，其他的就触类旁通了。大家如果想更深入地学习 Arduino 的内容，了解 Arduino 的外围扩展模块，可以接着阅读本人编写的《Arduino 开发实战指南——AVR 篇》。

为了更适合初学者阅读，本书采用全彩色印刷，书中实例均用面包板和面包线制作，使用 Fritzing 来绘制实物连接效果图，更加直观明了。最后还是要感谢现在正捧着这本书的您，感谢您肯花费时间和精力阅读本书。由于时间有限，书中难免存在疏漏与错误，诚恳地希望您批评指正，您的意见和建议将是我巨大的财富。希望在 Arduino 的领域结识更多的朋友。

作 者

2013 年 1 月

Arduino电子设计实战指南配套零基础套件



零基础套件清单

序号	元器件名称	数量（只）
1	Dreamer Nano V4.0主板	1
2	中型面包板	1
3	5mm 绿色LED	2
4	5mm 红色LED	2
5	5mm 黄色LED	2
6	5mm 白色LED	2
7	330 Ω 电阻	10
8	共阳极数码管	1
9	面包线	1（捆）
10	5mm共阴全彩LED	1
11	按钮开关	1
12	旋钮电位器	1
13	SW-200D倾斜开关	1
14	LM35温度传感器	1
15	环保环境光传感器	1
16	火焰传感器	1

推荐阅读



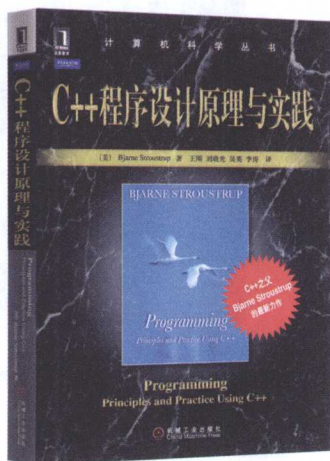
编译原理（原书第2版）

作者：Alfred V. Aho等 ISBN: 978-7-111-25121-7 定价：89.00元



兼容ARM9的软核处理器设计：基于FPGA

作者：李新兵 ISBN: 978-7-111-37572-2 定价：69.00元



C++程序设计原理与实践

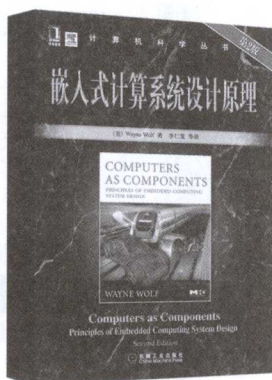
作者：Bjarne Stroustrup ISBN: 978-7-111-30322-0 定价：108.00元



Arduino开发实战指南：AVR篇

作者：程晨 ISBN: 978-7-111-37005-5 定价：59.00元

推荐阅读



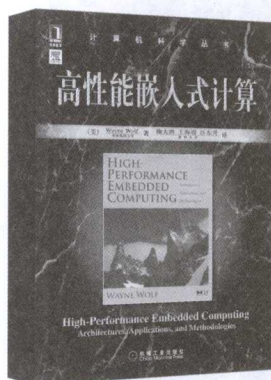
嵌入式计算系统设计原理 (第2版)

作者: Wayne Wolf

译者: 李仁发 等

ISBN: 978-7-111-27068-3

定价: 55.00元



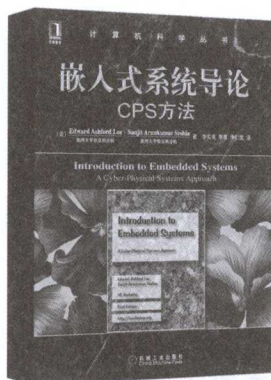
高性能嵌入式计算

作者: Wayne Wolf

译者: 鞠大鹏 王海霞 汪东升 等

ISBN: 978-7-111-28822-0

定价: 65.00元



嵌入式系统导论: CPS方法

作者: Edward Ashford Lee 等

译者: 李实英 贺蓉 李仁发

ISBN: 978-7-111-36021-6

定价: 55.00元



嵌入式微控制器与处理器设计

作者: Greg Osborn

译者: 宋廷强 高树静

ISBN: 978-7-111-32281-8

定价: 59.00元



计算机组成与设计: 硬件/软件接口 (原书第4版)

作者: David A. Patterson 等

译者: 康继昌 樊晓桢 安建峰 等

ISBN: 978-7-111-35305-8

定价: 99.00元



北航

C1640325

目 录

前 言

第 1 章 电子学基础 / 1

- 1.1 什么是电子学 / 1
- 1.2 电子学的发展 / 1
 - 1.2.1 电子学的诞生 / 2
 - 1.2.2 电子管的发明 / 2
 - 1.2.3 晶体管的发明 / 2
 - 1.2.4 集成电路 / 3
- 1.3 基本知识 / 3
 - 1.3.1 电流 / 3
 - 1.3.2 电流的故事 / 4
 - 1.3.3 电压 / 4
 - 1.3.4 电池 / 4
 - 1.3.5 电阻 / 5
 - 1.3.6 单位的名称 / 6
 - 1.3.7 欧姆定律 / 6
 - 1.3.8 导体和半导体 / 6
 - 1.3.9 二极管 / 7
 - 1.3.10 发光二极管 / 7
- 1.4 面包板及面包线 / 8
- 1.5 万用表 / 9
 - 1.5.1 电阻的测量 / 10
 - 1.5.2 电压的测量 / 11
 - 1.5.3 通断的测量 / 11
- 1.6 其他工具 / 11

- 1.6.1 电烙铁 / 12
- 1.6.2 螺丝刀 / 13
- 1.6.3 镊子 / 13
- 1.6.4 尖嘴钳 / 13
- 1.6.5 偏口钳 / 13
- 1.6.6 剥线钳 / 14

第 2 章 电子电路 / 15

- 2.1 电路分析 / 15
 - 2.1.1 电路 / 15
 - 2.1.2 并联电路和串联电路 / 16
 - 2.1.3 电阻的并联 / 16
 - 2.1.4 电阻的串联 / 17
 - 2.1.5 开路 and 短路 / 18
- 2.2 Fritzing / 19
 - 2.2.1 Fritzing 介绍 / 19
 - 2.2.2 软件的获取 / 20
 - 2.2.3 软件操作界面 / 21
 - 2.2.4 面包板视图 / 24
 - 2.2.5 电阻的色环 / 26
 - 2.2.6 原理图视图 / 27
 - 2.2.7 PCB 视图 / 29
- 2.3 初识 Arduino / 31
 - 2.3.1 Arduino 的初始功能 / 31
 - 2.3.2 闪烁的发光二极管 / 31

2.3.3 原理图视图 / 33

第 3 章 应用开发环境 / 35

- 3.1 什么是 Arduino / 35
 - 3.1.1 开源硬件 / 35
 - 3.1.2 Arduino 板的种类 / 36
 - 3.1.3 Arduino 兼容板 / 39
- 3.2 Arduino 的资源 / 39
 - 3.2.1 Leonardo 的硬件资源 / 39
 - 3.2.2 Dreamer Nano 的硬件资源 / 41
- 3.3 Arduino 开发环境 / 42
 - 3.3.1 开发环境的获取 / 42
 - 3.3.2 添加新硬件 / 44
 - 3.3.3 开发环境设置 / 48
- 3.4 Arduino IDE 界面中的快捷按钮 / 49
 - 3.4.1 快捷按钮的介绍 / 49
 - 3.4.2 快捷按钮的使用 / 49
- 3.5 Blink 示例的代码 / 51
 - 3.5.1 注释 / 52
 - 3.5.2 数据类型 / 53
 - 3.5.3 函数 / 54
 - 3.5.4 程序结构 / 55
 - 3.5.5 修改闪烁时间 / 57
 - 3.5.6 更改控制引脚 / 58
- 3.6 本章函数小结 / 61

第 4 章 控制多个 LED / 62

- 4.1 交通信号灯项目 / 62
 - 4.1.1 硬件电路的搭建 / 62
 - 4.1.2 变量的含义 / 64
 - 4.1.3 变量的命名规则 / 65
 - 4.1.4 代码实现 / 66
 - 4.1.5 定义函数 / 68
- 4.2 ArduBlock / 70
 - 4.2.1 在 Arduino 开发环境中添加 ArduBlock / 71
 - 4.2.2 在 Arduino 开发环境中使用 ArduBlock / 72
- 4.3 数码管 / 77
 - 4.3.1 数码管介绍 / 77
 - 4.3.2 数码管的使用 / 78
 - 4.3.3 数码管的连接 / 79
 - 4.3.4 显示数字 / 80
 - 4.3.5 for 循环 / 83
 - 4.3.6 使用 for 循环 / 84
 - 4.3.7 优化后的代码 / 85

第 5 章 灯光的渐变 / 88

- 5.1 电信号 / 88
 - 5.1.1 数字信号 / 88
 - 5.1.2 模拟信号 / 89
 - 5.1.3 分辨率 / 89
- 5.2 亮度的渐变 / 90
 - 5.2.1 模拟量的输出 / 90

- 5.2.2 功能介绍 / 90
- 5.2.3 新函数介绍 / 90
- 5.2.4 代码实现 / 91
- 5.3 全彩 LED / 92
 - 5.3.1 三原色 / 92
 - 5.3.2 全彩 LED 介绍 / 92
 - 5.3.3 RGB 颜色表示法 / 93
 - 5.3.4 硬件的连接 / 94
 - 5.3.5 显示指定的颜色 / 96
 - 5.3.6 遍历所有的颜色 / 98
- 5.4 本章函数小结 / 99

第 6 章 添加交互元件 / 100

- 6.1 手动控制 LED 亮灭 / 100
 - 6.1.1 按键介绍 / 100
 - 6.1.2 新函数介绍 / 101
 - 6.1.3 按键的连接 / 104
- 6.2 手动控制 LED 闪烁频率 / 106
 - 6.2.1 三种基本结构 / 107
 - 6.2.2 if 语句 / 107
 - 6.2.3 功能实现 / 109
- 6.3 手动控制 LED 亮度 / 111
 - 6.3.1 旋钮电位器 / 111
 - 6.3.2 器件使用 / 112
 - 6.3.3 器件连接 / 113
 - 6.3.4 功能实现 / 113
- 6.4 数码管骰子 / 115
 - 6.4.1 随机数 / 115
 - 6.4.2 骰子功能描述 / 116

- 6.4.3 硬件连接 / 116
- 6.4.4 代码实现 / 118
- 6.4.5 倾斜开关 / 123
- 6.4.6 摇晃的骰子 / 124

6.5 本章函数小结 / 125

第 7 章 串行通信 / 127

- 7.1 串行通信介绍 / 127
- 7.2 串行通信的约定 / 127
 - 7.2.1 波特率 / 128
 - 7.2.2 ASCII 码 / 128
 - 7.2.3 标准 ASCII 码 / 128
- 7.3 串行通信的应用 / 133
 - 7.3.1 串行端口的初始化 / 133
 - 7.3.2 while 循环 / 135
 - 7.3.3 在计算机端显示数据 / 136
 - 7.3.4 发送数据 / 137
 - 7.3.5 接收数据 / 138
- 7.4 用串行通信控制 LED / 140
 - 7.4.1 功能描述 / 140
 - 7.4.2 功能实现 / 140
- 7.5 温度传感器实例 / 142
 - 7.5.1 器件介绍 / 142
 - 7.5.2 工作原理 / 142
 - 7.5.3 硬件连接 / 143
 - 7.5.4 功能实现 / 144
 - 7.5.5 C 语言中的运算符 / 146
- 7.6 环境光传感器 / 147

- 7.6.1 光敏电阻 / 147
- 7.6.2 典型应用 / 148
- 7.6.3 硬件连接 / 148
- 7.6.4 功能实现 / 150
- 7.6.5 火焰传感器 / 151

- 7.7 本章函数小结 / 153

第 8 章 将 Leonardo 用作键盘和鼠标 / 154

- 8.1 用作鼠标 / 154

- 8.1.1 功能描述 / 154
- 8.1.2 硬件连接 / 154
- 8.1.3 功能实现 / 157
- 8.1.4 代码分析 / 159

- 8.2 用作键盘 / 159

- 8.2.1 函数说明 / 159
- 8.2.2 功能实现 / 160
- 8.2.3 键值说明 / 163

第1章 电子学基础

开源硬件的发展，尤其是 Arduino 的迅猛发展让更多没有电子背景的人开始进入电子学这个精彩的领域，这里包括电子爱好者、艺术家，甚至是软件开发人员。不需要了解和掌握太多硬件方面的知识，每个人都能结合自己擅长的方面制作出一些有意思的电子作品。通过这些作品他们对电子学产生了浓厚的兴趣，同时也迫切地希望能够较为系统地了解这个神奇的世界。那么，就通过 Arduino 来帮助你了解电子学的基础知识吧，为进一步理解身边与电子技术有关的科学知识做一个铺垫。

1.1 什么是电子学

在介绍 Arduino 之前，我们先来说说什么是电子学。电子学是一门以应用为主要目的的学科。它主要研究电子的特性和行为，以及电子器件的物理特征。电子学涉及很多的科学门类，例如，物理、化学、数学、材料科学等。电子技术则是应用电子学的原理来设计和制造电子器件从而解决实际问题。

以上这一段说得很书面也很复杂，通俗来说我们生活中用到的与电有关的东西基本上都属于电子学的范畴，例如，我们用的电脑、手机、照相机，家里摆的电视、空调、冰箱、洗衣机，商店的霓虹灯、车站的信息牌、公交车上的打卡机、马路上的监控摄像头等，电子学已经深入到生活的方方面面。

1.2 电子学的发展

电子学诞生迄今只有 130 多年的历史，它是在早期的电磁学和电工学的基础上发展起来的。在电子学诞生之前，人类对于电磁现象的研究已相当深入，一系列物理定律已经确立。与此同时，人们对电磁学的利用也达到了一定的水平，有线电报和有线电话已相继发明，并且有了横贯美洲大陆的电报、电话线路和横跨大西洋的海底电缆。爱迪生发明了白炽灯。所有这些都为电子学的诞生奠定了基础。

1.2.1 电子学的诞生

标志着电子学诞生的两个重大的历史事件，是爱迪生效应的发现和关于电磁波存在的验证实验。

1883 年，爱迪生在致力于延长碳丝白炽灯的寿命时，意外地发现了在灯丝与加有正电压的电极间有电流流过，电极为负时则无电流，这就是爱迪生效应。这一发现导致了后来电子管的发明。

1887 年，德国 H.R. 赫兹进行了一项实验，他用火花隙激励一个环状天线，用另一个带缝隙的环状天线接收，证实了麦克斯韦关于电磁波存在的预言，这一重要的实验导致了后来无线电报的发明。赫兹的实验则架起了一座从“有线”通向“无线”的桥梁。

1.2.2 电子管的发明

爱迪生虽然发现了热电子发射效应（即爱迪生效应），但他并未意识到这一效应的意义，而且对它的机理也不清楚。1897 年，英国 J.J. 汤姆逊揭示出形成爱迪生效应的荷电粒子是电子，爱迪生效应乃是一种热电子发射现象。1904 年，英国 J.A. 弗莱明第一个把爱迪生效应付诸实用，发明了二极电子管。二极电子管的发明为无线电报接收提供了一种灵敏可靠的检波器。1906 年，美国 L. 德福雷斯特发明具有放大能力的三极电子管，为当时蓬勃发展的无线电报通信事业提供了一种极其有用的器件。三极电子管发明以后，又出现了四极管、五极管、更多极的电子管和复合管，形成了包括收音管、发射管、低频管、高频管、微波管和超小型管等系列。

电子管是电子器件的第一代，在晶体管发明以前的近半个世纪里，电子管几乎是各种电子设备中唯一可用的电子器件。电子学应用方面取得的许多成就，如电视、雷达、计算机的发明，这些都是和电子管分不开的。

1.2.3 晶体管的发明

正当电子管进入全盛时期，美国贝尔实验室的物理学家看到电子管在体积、功耗、寿命等方面的局限性，在客观需要的推动下着手固体器件的研究。1948 年，贝尔实验室宣布 J. 巴丁、W.H. 布拉顿和 W.B. 肖克莱研制成晶体三极管。初期的晶体管是点触式的，制造比较困难，稳定性较差，但它毕竟是时代的标志。1957 年，贝尔实验室的 D. 斯帕克斯发明面结型晶体管，克服了点触式晶体管的缺点，使得问世不久的晶体管的地位巩固下来。后来，

由于材料工艺方面取得进展，肖克莱早期设想的场效应晶体管也实现了。

晶体管的发明将电子学推向了一个新的阶段。电子学在以后取得的许多成就，如集成电路、微处理器和微型计算机等，都是从晶体管发展而来的。

1.2.4 集成电路

1958年，美国得克萨斯仪器公司宣布一种集成的振荡器问世，首次把晶体管和电阻、电容等集成在一块硅片上，构成了一个基本完整的单片式功能电路。1961年，美国仙童公司宣布制成一种集成的触发器。从此，集成电路获得了飞速的发展。数字集成电路从小规模到中规模、大规模，乃至到超大规模，集成度越来越高，使过去的中小型计算机乃至大型计算机得以微型化，进入了微型计算机的时期。与此同时，模拟集成电路也获得了发展。设计师和生产商在一小片导体硅片上集成了许许多多晶体管电路，硅片由塑料外壳封装，外部的金属引脚连接到芯片内部硅片上的细小引线。

集成电路的发明开创了集电子器件与某些电子元件于一体的新局面，使传统的电子器件概念发生了变化。这种新型的封装好的器件体积和功耗都很小，具有独立的电路功能，甚至具有系统的功能。单片机、CPU、DSP、ARM等器件的出现都是集成电路飞速发展的结果。集成电路的发明使电子学进入了微电子学时期，是电子学发展的一次重大飞跃。

1.3 基本知识

看了电子学的发展史，很多人是不是更加糊涂了，这么多内容究竟什么才是我们需要学的呢？而我们又从何学起呢？

我们需要从电子学诞生之前的电流电压开始。

1.3.1 电流

电流可以理解为带电粒子的移动，是单位时间内通过某一横截面的总电荷。就好像水的流动称为水流一样。电荷通过的这个横截面可以是空气、液体或是固体中的任意一个截面，在电子学中，这个截面大多数情况下是固体中的一个切面，比如导体。电流的单位是库仑每秒，也称之为安培（A）。

$$1\text{A} = 1\text{C/s}$$

因为安培是一个较大的单位，所以，电流常用毫安（mA）和微安（ μA ）表示。

$$1\text{A} = 1000\text{mA} = 1000\,000\mu\text{A}$$

1.3.2 电流的故事

最早，当本杰明·富兰克林研究电子学时，规定正电荷移动的方向为电流的方向，在当时，电荷的运动还是一件很神秘的事情，但后来物理学家通过实验发现，正电荷是不能自由移动的，负电子才是自由移动的（其实有些介质的正电荷也可能是移动的，比如液体、气体中的正电荷），而负电子移动的方向刚好和电流的方向相反，好在负电子的运动方向可以等效地认为是正电荷的反方向运动，因此，原有电子学公式仍然适用，我们依然采用富兰克林的电流理论，但当说到电流时，我们最好能够意识到定义的电流方向与实际粒子（负电子）的运动方向相反，如果通过显微镜观察导体内部，能够非常清楚地看到这一事实。

1.3.3 电压

上面说了，电流是带电粒子的移动，但为什么这些带电粒子要沿着一个方向运动呢？或者说是什么让这些带电粒子沿一个方向运动呢？这就是电压，也叫电势差或电位。导体两端的电压提供了一个推动导体中所有自由电子运动的电动势（EMF）。条件相同的情况下，电压越高，则电动势越大，电子运动速度也就越快，电流也就越大；反之，电压低，则电动势就小，电子运动速度也就慢，电流也就小。

电压的单位是伏特（V），电压值大小是相对的，为了测量或给出每一点的确定电压值，需要有一个参考点，这个参考点可以是任意一点，但通常取电压最低的点作为参考点，并定义参考点上的电压为零。在直流电路中，人们选择电池的负极为参考点，并在电路中使用符号  标明参考点位置，通常称为“地”或“GND”。当选定了零电位参考点之后，就可以得到其他任意点的电位，即在电路中，一点的电压是指这一点与参考点之间的电压。

1.3.4 电池

电池是日常生活中最常见的一种提供电压的器件，除了有图 1.1 所示的这种常用的 5 号电池之外，航模、通信设备、摄影器材、交通工具中也都有根据各自的使用情况定制的外观形状各异的电池。



图 1.1 常用的 5 号电池

电池可以理解为是一种储能的器件，在使用当中会不停地消耗自己的能量，当能量消耗殆尽，它就不能再提供电压了。所以在选用电池的时候主要有两个指标：额定电压和额定容量。额定电压是指电池在正常情况下最大能够输出的电压，它是选用不同种类电池时的参考。额定容量是指电池在正常情况下所能存储的最大能量，能量越大，相同条件下电池的使用时间越长。

电池在实际使用过程中的实际电压是随其自身能量大小而变的。能量越大（最大为额定容量），其电压越高（最大为额定电压），随着能量的消耗，实际电压也在慢慢下降，一般到实际电压已无法满足元件的电压需求时就要更换电池了。普通的 5 号不可充电电池的电压是 1.5V。电池的符号是用一长一短两段线段来表示的，为 —|— ，其中长的线段一端表示电池的正极，另一端表示电源的负极。该符号表示一节电池，当使用多节电池时，可以再添加一些长短线段，如 —|—|—|— 。在电路中最好在电池旁边注明电池总共的额定电压。

1.3.5 电阻

从字面上来解释，电阻就是一种阻碍带电粒子运动的器件。阻碍带电粒子运动的最终目的是为了限制电流的大小，那电阻应用在什么场合呢？举个例子，你有一个手电筒，打开之后发现太亮了，想把它调暗一些，调暗的实质就是将电流变小，现在我们知道调整电压可以改变电路中的电流，电压降低之后，电流就变小了，手电就变暗了。但是我们一般使用的电池是标准的，每一节都是 1.5V，不是想调就能调的。那我们就需要再想其他的办法了——在灯泡的一端加一个电阻，再连接到电路中，由于电阻在电路中阻碍了带电粒子的运动，所以减小了电流，最终使手电变暗了。

所以，电阻通常应用在电路中无法调整电压而又需要调整电流的情况下。电阻的单位是欧姆 (Ω)，电路中符号是 $\text{—}\varpi\text{—}$ 。电阻的具体应用我们会在后面的章节中介绍。