



普通高等教育“十二五”规划教材  
全国电子信息类优秀教材一等奖

◎ 电子信息科学与工程类专业 规划教材

# 单片机原理及应用

## ——基于Proteus和Keil C

### (第3版)

◎ 林立 张俊亮 编著



实例动态仿真视频  
可扫描二维码获取



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

014057422

TP368.1-43  
172-3

电子信息科学与工程类专业规划教材 第四版

# 单片机原理及应用

## ——基于 Proteus 和 Keil C

### (第3版)

林立 张俊亮 编著



北京航空航天大学图书馆

8.1102, 北京航空航天大学图书馆

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

2017.11.11

TP368.1-43

172-3

172-3

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry



北航

C1742263

## 内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机 80C51 为例介绍单片机的工作原理、基本应用与开发技术。主要内容包括单片机基础知识、内外系统结构、汇编与 C51 语言、中断与定时/计数器、串口通信、系统接口、应用系统设计等。

本书在单片机传统教学体系的基础上进行了较大改进,以 C51 编程语言作为贯穿全书各章节的主线,并将单片机仿真软件 Proteus 和 C51 编译软件 Keil 的用法与之紧密衔接,书末附有与教学进度呼应的 8 个实验指导及相关阅读材料。

本书可作为高等工科院校机械类、电气与电子信息类、计算机类各专业 48~64 学时要求的教材,也可作为从事嵌入式应用系统设计、生产从业人员的岗位培训教材及自学参考书。

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

单片机原理及应用:基于 Proteus 和 Keil C / 林立,张俊亮编著. — 3 版. — 北京:电子工业出版社,2014.8  
电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-23963-2

I. ①单… II. ①林… ②张… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 174781 号

责任编辑:凌毅

印刷:涿州市京南印刷厂

装订:涿州市京南印刷厂

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:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:480 千字

版次:2009 年 7 月第 1 版

2014 年 8 月第 3 版

印次:2014 年 8 月第 1 次印刷

印数:5000 册 定价:39.80 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。

## 第 3 版前言

本书第 1 版于 2009 年出版,2012 年再版,两次出版后都得到了广大读者的好评与支持,被许多学校选为教材,还被评为“全国电子信息类优秀教材一等奖”,每年需多次重印才能满足发行需求。不少读者和老师对本书寄予厚望,以各种方式提出了许多宝贵意见。正因如此,使笔者更加感到责任重大,决心及时修正本书存在的问题,用更完善的教材回馈读者。本书第 3 版仍保持了原来的知识体系结构,主要围绕以下问题进行。

### 1. 关于教材基础性与实用性的矛盾问题

考虑到教材的基本教学内容应更多地向基础性要求倾斜的问题,本书中选择的接口器件及应用大都比较经典,难度适中便于初学者掌握。但由于这些接口器件性能相对较弱,功能相对简单,因而实用性也较差。本书第 3 版在第 9 章增加了一节内容“单片机串行扩展单元介绍”。串行扩展单元具有体积小、占用单片机引脚少、性能和功能全面等特点,是外围接口器件的发展方向。通过引入几种常用串口扩展单元及字符型液晶显示器模块,并介绍其工作原理、接口电路和编程方法,可为学有余力的读者或大学生科技创新活动提供一些实用性较强的应用方案。在此基础上进行灵活组合,即可开发出各种有实用价值的单片机应用系统,从而有助于克服教材基础性与实用性的矛盾问题。该节可根据教学需要作为选修或自学内容安排。值得一提的是,这些接口器件都是可在 Proteus 平台上仿真运行的,因而不仅有助于读者学习掌握,也为读者的应用开发打下了坚实基础。

### 2. 关于 LED 电路接口的改进问题

在前两版教材编写时,为突出教学重点,LED 与单片机的接口电路都没有考虑 I/O 口的带负载能力,因而造成有些 LED 电路采用高电平驱动形式,有些则采用低电平驱动形式的问题(仿真效果没有差异)。然而实际电路中,为避免单片机 I/O 口带负载能力不够,未加驱动元件的 LED 电路多采用低电平驱动接口形式。为防止初学者在 LED 接口问题上可能产生的模糊概念,我们对全书 LED 接口电路进行了清查,统一改为低电平驱动形式,并对此做了集中说明。由于本次改动涉及较多的电路和程序,可能会对任课老师的备课产生额外工作量,对此我们深表歉意。为此,我们提供了配套的全部实例课件、实验课件、PPT 电子课件和仿真视频。

### 3. 关于实践动手能力培养的方法问题

随着单片机教学改革的发展,采用软件仿真已成为单片机教学实验的主流方法。仿真实验的优点很多,如灵活性强,无须硬件投入,便于开放式教学等。然而实践也表明,仅靠软件仿真还不足以使读者真正掌握单片机的开发技能,尤其是不接触真实电路很难建立系统感性认识,也很难提高实践动手能力。早期的微机原理实验箱虽然可进行许多实物实验,却不适合读者自行使用。为此,我们结合本书第 3 版开发了一款单片机课程实验板,旨在将仿真实验与实物实验结合起来。具体思路是:在理论教学的基础上,读者可以先通过仿真软件进行电路和程序设计,掌握单片机工作原理以及编程和程序调试方法;然后将仿真编译文件加载到读者参与搭建的实际电路中进行实物运行。通过对比真实系统与虚拟系统的运行效果,增强感性认识和实践动手能力。

本实验板可对本书第3版中绝大多数仿真实例及附录A实验进行直接验证(适当扩展硬件后,更可用于全部实例或自行设计的系统),因而可作为实验课的辅助器材或课外实践平台,建议读者予以关注。该实验板不随教材一起发行,如有需要可另行购买,咨询/服务请与 [zhaoxulin1989@163.com](mailto:zhaoxulin1989@163.com) 或 [cmee0@163.com](mailto:cmee0@163.com) 联系。

为了方便教师使用和读者学习,本书提供配套教学资料,包括PPT电子课件、仿真实例课件、阅读材料及实验指南、课堂教学大纲与小结、仿真运行视频材料、实验板的使用说明等。请登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)注册下载,其中部分内容需在我校单片机课程网站(<http://jdxycup.edu.cn/dpj/>)下载。

此次再版工作由林立、张俊亮共同完成。在再版过程中,赵旭林、程腾飞、祁杰、郭树霞、王晗做了大量工作,在此谨向他们表示衷心的感谢。本书再版过程中又一次得到了电子工业出版社的大力支持和帮助,尤其是高等教育分社的凌毅编辑,对本书的出版做了大量细致的工作,在此谨致以诚挚的谢意。

再版后的教材一定还有许多不完善之处,书中漏误在所难免,殷切地期望读者给予批评指正(请发邮件至 [cmee0@163.com](mailto:cmee0@163.com))。

作者

2014年8月

# 目 录

第 1 章 单片机基础知识概述	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 单片机及其发展概况	1
1.1.2 单片机的特点和应用	2
1.1.3 单片机的发展趋势	3
1.1.4 MCS-51 单片机的学习	3
1.2 单片机学习的预备知识	3
1.2.1 数制及其转换	4
1.2.2 有符号数的表示方法	5
1.2.3 位、字节和字	6
1.2.4 BCD 码	6
1.2.5 ASCII 码	7
1.2.6 基本逻辑门电路	7
1.3 Proteus 应用简介	8
1.3.1 ISIS 模块应用举例	9
1.3.2 ARE5 模块应用举例	12
本章小结	15
习题	16
第 2 章 MCS-51 单片机的结构及原理	17
2.1 MCS-51 单片机的结构	17
2.1.1 MCS-51 单片机的内部结构	17
2.1.2 MCS-51 外部引脚及功能	19
2.2 MCS-51 的存储器结构	21
2.2.1 存储器划分方法	21
2.2.2 程序存储器	22
2.2.3 数据存储器	23
2.3 单片机的复位、时钟与时序	26
2.3.1 复位与复位电路	26
2.3.2 时钟电路	26
2.3.3 单片机时序	27
2.4 并行 I/O 口	29
2.4.1 P1 口	31
2.4.2 P3 口	32
2.4.3 P0 口	32
2.4.4 P2 口	33



本章小结 .....	34
习题 .....	34
<b>第 3 章 单片机的汇编语言与程序设计 .....</b>	<b>35</b>
3.1 汇编语言概述 .....	35
3.1.1 汇编语言指令格式 .....	35
3.1.2 描述操作数的简记符号 .....	36
3.2 MCS-51 指令系统简介 .....	37
3.2.1 数据传送与交换类指令 .....	37
3.2.2 算术运算类指令 .....	41
3.2.3 逻辑运算及移位类指令 .....	44
3.2.4 控制转移类指令 .....	47
3.2.5 寻址方法 .....	50
3.2.6 伪指令 .....	51
3.3 汇编语言的编程方法 .....	51
3.3.1 汇编语言程序设计步骤 .....	51
3.3.2 汇编程序应用举例 .....	52
本章小结 .....	55
习题 .....	55
<b>第 4 章 单片机的 C51 语言 .....</b>	<b>57</b>
4.1 C51 的程序结构 .....	57
4.1.1 C51 语言概述 .....	57
4.1.2 C51 的程序结构 .....	57
4.2 C51 的数据结构 .....	59
4.2.1 C51 的变量 .....	59
4.2.2 C51 的指针 .....	64
4.3 C51 与汇编语言的混合编程 .....	65
4.3.1 在 C51 中调用汇编程序 .....	65
4.3.2 在 C51 中嵌入汇编代码 .....	67
4.4 C51 仿真开发环境 .....	68
4.4.1 Keil 的编译环境 $\mu$ Vision3 .....	68
4.4.2 基于 Proteus 和 Keil C 的程序开发过程 .....	69
4.5 C51 应用编程初步 .....	71
4.5.1 I/O 端口的简单应用 .....	71
4.5.2 I/O 端口的进阶实践 .....	80
本章小结 .....	85
习题 .....	86
<b>第 5 章 单片机的中断系统 .....</b>	<b>87</b>
5.1 中断的概念 .....	87
5.2 中断控制系统 .....	90

5.2.1	中断系统的结构	90
5.2.2	中断控制	92
5.3	中断处理过程	95
5.4	中断的编程和应用举例	97
5.4.1	中断程序设计举例	97
5.4.2	扩充外部中断源	103
	本章小结	105
	习题	105
<b>第 6 章</b>	<b>单片机的定时/计数器</b>	<b>107</b>
6.1	定时/计数器的结构与工作原理	107
6.1.1	定时/计数器的基本原理	107
6.1.2	定时/计数器的结构	108
6.2	定时/计数器的控制	109
6.2.1	TMOD 寄存器	109
6.2.2	TCON 寄存器	110
6.3	定时/计数器的工作方式	111
6.3.1	方式 1	111
6.3.2	方式 2	114
6.3.3	方式 0	117
6.3.4	方式 3	118
6.4	定时/计数器的编程和应用	119
	本章小结	127
	习题	127
<b>第 7 章</b>	<b>单片机的串行口及应用</b>	<b>129</b>
7.1	串行通信概述	129
7.2	MCS-51 的串行口控制器	131
7.2.1	串行口内部结构	131
7.2.2	串行口控制寄存器	132
7.3	串行工作方式 0 及其应用	134
7.4	串行工作方式 1 及其应用	136
7.5	串行工作方式 2 及其应用	140
7.6	串行工作方式 3 及其应用	143
	本章小结	148
	习题	148
<b>第 8 章</b>	<b>单片机接口技术</b>	<b>149</b>
8.1	单片机的系统总线	149
8.1.1	三总线结构	149
8.1.2	地址锁存原理及实现	150
8.2	简单并行 I/O 口扩展	152



8.2.1	访问扩展端口的软件方法	152
8.2.2	简单并行输出接口的扩展	154
8.2.3	简单并行输入接口的扩展	156
8.3	可编程并行 I/O 口扩展	158
8.3.1	8255A 的内部结构、引脚及地址	158
8.3.2	8255A 的控制字	160
8.4	D/A 转换与 DAC0832 应用	163
8.4.1	DAC0832 的工作原理	164
8.4.2	DAC0832 与单片机的接口及编程	165
8.5	A/D 转换与 ADC0809 应用	169
8.5.1	逐次逼近式模数转换器的工作原理	170
8.5.2	ADC0809 与单片机的接口及编程	171
8.6	开关量功率接口技术	174
8.6.1	开关量功率驱动接口	174
8.6.2	开关量功率驱动接口应用举例	177
	本章小结	181
	习题	182
<b>第 9 章</b>	<b>单片机应用系统的设计与开发</b>	<b>183</b>
9.1	单片机系统的设计开发过程	183
9.1.1	单片机典型应用系统	183
9.1.2	单片机应用系统的开发过程	184
9.2	单片机系统的可靠性技术	189
9.2.1	硬件抗干扰技术概述	189
9.2.2	软件抗干扰技术概述	190
9.3	单片机系统设计开发应用举例——智能仪器	191
9.3.1	功能概述	191
9.3.2	硬件电路设计	192
9.3.3	软件系统设计	192
9.3.4	仿真开发过程	196
9.4	单片机串行扩展单元介绍	202
9.4.1	串行 A/D 转换芯片 MAX124X 及应用	202
9.4.2	串行 D/A 转换芯片 LTC145X 及应用	206
9.4.3	串行 E <sup>2</sup> PROM 存储器 AT24CX 及应用	208
9.4.4	字符型液晶显示模块 LM1602 及应用	213
9.4.5	串行日历时钟芯片 DS1302 及应用	218
	本章小结	225
	习题	225
<b>附录 A</b>	<b>实验指导</b>	<b>227</b>
实验 1	计数显示器	227
	【阅读材料 1】ISIS 模块的电路绘图与仿真运行方法	228

实验 2 指示灯/开关控制器 .....	238
【阅读材料 2】 ISIS 模块的汇编程序创建与调试方法 .....	239
实验 3 指示灯循环控制 .....	242
【阅读材料 3】 在 $\mu$ Vision3 中创建 C51 程序的方法 .....	244
实验 4 指示灯/数码管的中断控制 .....	252
【阅读材料 4】 C51 程序调试方法 .....	253
实验 5 电子秒表显示器 .....	259
【阅读材料 5】 $\mu$ Vision3 与 ISIS 的联合仿真 .....	261
实验 6 双机通信及 PCB 设计 .....	264
【阅读材料 6】 基于 ARES 模块的 PCB 设计方法 .....	266
实验 7 直流数字电压表设计 .....	280
【阅读材料 7】 ISIS 中的虚拟信号发生器 .....	281
实验 8 步进电机控制设计 .....	286
【阅读材料 8】 步进电机控制方法 .....	288
参考文献 .....	289

# 第 1 章 单片机基础知识概述

## 内容概述:

本章主要介绍单片机的定义、发展历史,单片机分类方法、应用领域及发展趋势,单片机中数的表示和运算方法、基本逻辑门电路,以及与单片机系统仿真工具 Proteus 相关的内容。

## 教学目标:

- 了解单片机的概念及特点;
- 掌握单片机中数的表示和运算方法及基本逻辑门电路;
- 初步了解 Proteus 软件的功能。

## 1.1 单片机概述

### 1.1.1 单片机及其发展概况

#### 1. 什么是单片机

单片机(Single-Chip-Microcomputer)又称为单片微计算机,它的结构特点是将微型计算机的基本功能部件(如中央处理器(CPU)、存储器、输入接口、输出接口、定时/计数器及终端系统等)全部集成在一个半导体芯片上。

虽然单片机只是一个芯片,但无论从组成还是从逻辑功能上来看,都具有微机系统的特性。与通用微型计算机相比,单片机体积小,可以嵌入到应用系统中作为指挥决策中心,使应用系统实现智能化。

#### 2. 单片机的发展

1976年,Intel公司推出MCS-48系列单片机,以体积小、功能全、价格低等优点,得到了广泛的应用,成为单片机发展过程中的一个重要标志。

由于MCS-48系列成功,单片机系列及单片机应用技术迅速发展。到目前为止,世界各地厂商已经相继研制出大约50个系列300多个品种的单片机产品。代表产品有Intel公司的MCS-51系列单片机(8位机)、Motorola公司的MC6801系列机、Zilog公司的Z-8系列机等。单片机应用领域不断扩大,除了在工业控制、智能仪表、通信、家用电器等领域应用外,在智能化、高档电子玩具产品中也大量采用单片机作为核心控制部件。

在8位单片机的基础上,又推出超8位单片机,其功能进一步加强。同时16位单片机也相继产生,其代表产品有Intel公司的MCS-96系列。

然而,由于各应用领域大量需要的仍是8位单片机,因此各大公司纷纷推出高性能、大容量、多功能的新型8位单片机。

目前,单片机正朝着高性能和多品种发展,但由于MCS-51系列8位单片机仍能满足绝大多数应用领域的需要,可以肯定,以MCS-51系列为主的8位单片机,在当前及以后的相当一段时间内仍将占据单片机应用的主导地位。

## 1.1.2 单片机的特点和应用

一块单片机芯片就是一台具有一定规模的微型计算机,再加上必要的外围器件,就可以构成一个完整的计算机硬件系统。单片机的应用正在使传统的控制技术发生巨大的变化,它是对传统控制技术的一场革命。

### 1. 单片机的特点

① 集成度高,体积小,抗干扰能力强,可靠性高。单片机把各功能部件集成在一块芯片内且内部采用总线结构,从而减少了各芯片之间的连线,大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。

② 开发性能好,开发周期短,控制功能强。在开发过程中利用汇编或 C 语言进行编程,缩短了开发周期,同时,单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微型计算机,这满足工业控制的要求。

③ 低功耗、低电压,具有掉电保护功能,广泛应用于各类智能仪器仪表中。

④ 通用性和灵活性好。系统扩展和配置较典型、规范,容易构成各种规模的应用系统。

⑤ 具有良好的性能价格比。

### 2. 单片机的应用领域

单片机是一种集成度很高的微型计算机,在一块小芯片内就集成了一台计算机所具备的功能。与巨大体积和高成本的通用计算机相比,单片机以其体积小、结构紧凑、高可靠性以及高抗干扰能力和高性能价格比等特点,广泛应用于人们生产生活的各个领域,成为现代电子系统中最重要的智能化工具。它主要应用于以下领域:

① 工业自动化控制。如工业过程控制、过程监测、工业控制器及机电一体化控制系统等。这些系统除一些小型工控机之外,许多都是以单片机为核心的单机或多机网络系统,如工业机器人的控制系统是由中央控制器、感觉系统、行走系统、抓取系统等结点构成的多机网络系统。在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术中,单片机发挥着非常重要的作用。

② 智能仪器仪表。单片机广泛应用于各种仪器仪表中,使仪器仪表智能化,并可以提高测量的自动化程度和精度,大大促进仪器仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化和柔性化方向发展,提高其性能价格比。

③ 通信设备。单片机具有很强的多机通信能力,如多机系统(各种网络)中的各计算机之间的通信联系、计算机与其外围设备(键盘、打印机、传真机及复印机等)之间的协作都有单片机的参与。另外,随着 Internet 技术的发展,对于一些将单片机作为测控核心的智能装置或家用电器,如果将它们与 Internet 连接起来,进行网络通信,则既能充分利用现有的 Internet 技术和资源,又能使人们远程获得这些电子设备的信息并控制它们的运行。

④ 汽车电子与航空航天电子系统。通常这些系统中的集中显示系统、动力监测控制系统、自动驾驭系统、通信系统及运行监视器(黑匣子)等,都是将单片机嵌入其中实现系统功能。

⑤ 家用电器。单片机应用到消费类产品之中,能大大提高它们的性价比,提高产品在市场上的竞争力。目前家用电器几乎都是单片机控制的电脑产品,例如,空调、冰箱、洗衣机、微波炉、彩电、音响、家庭报警器及电子玩具等。

单片机的应用从根本上改变了传统控制系统的设计思想和设计方法。过去必须用模拟电路、数字电路及继电器控制电路实现的大部分功能,现在已能用单片机并通过软件方法实现。由于软件技术的飞速发展和各种软件系列产品的大量涌现,可以极大地简化硬件电路。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术,称为微控制技术。微控制技术标志着一种全新概念的出现,是对传统控制技术的一次革命。

### 1.1.3 单片机的发展趋势

自单片机问世以来,经过 30 多年的发展,已从最初的 4 位机发展到 32 位机,同时体积更小,集成度更高,功能更强大。如今,单片机正朝多功能、多选择、高速度、低功耗、低价格以及大存储容量、强 I/O 功能及结构兼容方向发展。预计,今后单片机会在以下几个方面快速发展:

① 高集成度。单片机会将各种功能的 I/O 口和一些典型的外围电路集成在芯片内,使其功能更加强大。

② 高性能。单片机从单 CPU 向多 CPU 方向发展,因而具有了并行处理的能力,如 Rockwell 公司的单片机 6500/21 和 R65C29 采用了双 CPU 结构,其中每一个 CPU 都是增强型的 6502。为了提高速度和执行效率,在单片机中开始使用 RISC、流水线和 DSP 等设计技术,因而具有极高的运算速度。这类单片机的运算速度要比标准的单片机高出 10 倍以上,适合于进行数字信号处理,如德州仪器公司的 TMS320 系列信号处理单片机和 NEC 公司的  $\mu$ PD-7720 系列单片机等。

③ 低功耗。目前,市场上有二分之一的单片机产品已 CHMOS 化,这类单片机具有功耗小的优点,许多单片机已可以在 2.2V 电压下运行,有的能在 1.2V 或 0.9V 电压下工作,功耗为  $\mu$ W 级。

④ 高性价比。随着单片机的应用越来越广泛,各单片机厂家会进一步改进单片机的性能,从而增强产品的竞争力。同时,价格也是各厂家竞争的一个重要方面。所以,更高性价比的单片机会逐渐进入市场。

### 1.1.4 MCS-51 单片机的学习

单片机问世至今已有 30 余年了,在各个领域都发挥了极其重要的作用。单片机与应用系统相结合极大地提高了应用系统的功能和性能。实践表明,单片机技术开发的主力军是有具体工程背景的专业人员,而非计算机专业人员。单片机技术门槛较低,是一种适合大众掌握的先进技术。学习单片机只需要具备基本的电子基础和初中以上文化程度,因而在我国许多本科院校、职业高中、大专学校、职业技术学校都设有 51 单片机的课程。

在单片机的学习中应特别强调的是理论与实践相结合的学习方法,然而实验器材的限制常常很难使每个学习者都得到充分的练习机会。近年来出现的单片机仿真设计软件 Proteus 正在克服这种限制。Proteus 不仅可以作为单片机应用的重要开发工具,也可以充当一种非常高效的辅助教学手段。用户只需在 PC 上即可获得接近全真环境下的单片机技能培训,为学习者提供了极大的便利。

为此,本书在编排上特别采用了将 Proteus 仿真设计方法与 51 单片机传统内容有机结合起来的做法,以使读者能真正掌握单片机的实用开发技术,并收到事半功倍的效果。

## 1.2 单片机学习的预备知识

与通用数字计算机一样,单片机也采用二进制数工作原理,学习者也需具备必要的数制转换和逻辑门关系等基础知识。为此,本节仅从单片机学习需要的角度出发,对二进制数和逻辑门关系进行简单介绍,以便为未具备这一条件的读者补充预备知识。如果读者已经掌握了这方面的知识,可跳过本节直接进行下节的学习。

## 1.2.1 数制及其转换

### 1. 数制

计算机中常用的表达整数的数制有以下几种。

(1) 十进制数,  $N_D$

符号集: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9; 规则: 逢十进一; 十进制数的后缀为 D, 可省略; 十进制数可用加权展开式表示。例如:

$$1234 = 1 \times 10^3 + 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

其中, 10 为基数, 0~9 为各位加权数, 其一般表达式为:

$$N_D = d_{n-1} \cdot 10^{n-1} + d_{n-2} \cdot 10^{n-2} + \dots + d_1 \cdot 10^1 + d_0 \cdot 10^0$$

(2) 二进制数,  $N_B$

符号集: 0、1; 规则: 逢二进一; 二进制数的后缀为 B 且不可省略; 二进制数可用加权展开式表示。例如:

$$1101B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

其中, 2 为基数, 0 和 1 为各位加权数, 其一般表达式为:

$$N_B = b_{n-1} \cdot 2^{n-1} + b_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + b_1 \cdot 2^1 + b_0 \cdot 2^0$$

(3) 十六进制数,  $N_H$

符号集: 0~9、A~F; 规则: 逢十六进一; 十六进制数的后缀为 H 且不可省略; 十六进制数可用加权展开式表示。例如:

$$DFC8H = 13 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 8 \times 16^0$$

其中, 16 为基数, 0~9、A~F 为各位加权数, 其一般表达式为:

$$N_H = h_{n-1} \cdot 16^{n-1} + h_{n-2} \cdot 16^{n-2} + \dots + h_1 \cdot 16^1 + h_0 \cdot 16^0$$

### 2. 数制之间的转换

(1) 二、十六进制数转换成十进制数

方法是按进制的加权展开式展开, 然后按照十进制运算求和。例如:

$$1011B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11$$

$$DFC8H = 13 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 12 \times 16^1 + 8 \times 16^0 = 57288$$

(2) 二进制数与十六进制数之间的转换

因为  $2^4 = 16$ , 所以从低位起, 从右到左, 每四位(最后一组不足时左边添 0 凑齐 4 位)二进制数对应一位十六进制数。例如:

$$3AF2H = \frac{0011}{3} \frac{1010}{A} \frac{1111}{F} \frac{0010}{2} = 11 \ 1010 \ 1111 \ 0010B$$

$$1111101B = \frac{0111}{7} \frac{1101}{D} = 7DH$$

因为二进制数与十六进制数之间的转换特别简单, 且十六进制数书写时要简单得多, 所以在教科书中及进行汇编语言编程时, 都会用十六进制数来代替二进制数进行书写。

(3) 十进制整数转换成二、十六进制整数

转换规则: “除基取余”。十进制整数不断除以转换进制基数, 直至商为 0。每除一次取一个余数, 从低位排向高位。例如:



39 转换成二进制数

39=100111B

2	39	1	( $b_0$ )	↑
2	19	1	( $b_1$ )	
2	9	1	( $b_2$ )	
2	4	0	( $b_3$ )	
2	2	0	( $b_4$ )	
2	1	1	( $b_5$ )	
	0	0		

208 转换成十六进制数

208=D0H

16	208	余 0	↑
16	13	余 13=D	
	0		

### 1.2.2 有符号数的表示方法

实用数据有正数和负数之分,在计算机里是用一位二进制数来区分的,即以 0 代表符号“+”,以 1 代表符号“-”。通常这位数放在二进制数里的最高位,称为符号位,符号位后面为数值部分。这种二进制形式的数称为有符号数。

有符号数对应的真实数值称为真值。因为符号位占了一位,故它的形式值不一定等于其真值。例如,有符号数 0111 1011B(形式值为 123)的真值为+123,但有符号数 1111 1011B(形式值为 251)的真值却为-123。

有符号数具有原码、反码和补码 3 种表示法。

① 原码。原码是有符号数的原始表示法,即最高位为符号位,“0”表示正,“1”表示负,其余位为数值部分。8 位二进制原码的表示范围为 1111 1111B~0111 1111B(-127~+127)。其中,原码 0000 0000B 与 1000 0000B 的数值部分相同但符号位相反,它们分别表示+0 和-0。

② 反码。正数的反码与其原码相同;负数的反码为:符号位不变,原码的数值部分各位取反。例如,原码 0000 0100B 的反码仍为 0000 0100B,而原码 1000 0100B 的反码为 1111 1011B。+0 和-0 的反码分别为 0000 0000B 和 1111 1111B。

③ 补码。正数的补码与其原码相同;负数的补码为:符号位不变,原码的数值部分各位取反,末位加 1(即反码加 1)。例如,原码 0000 0100B 的补码仍为 0000 0100B,而原码 1000 0100B 的补码为 1111 1100B。

负数的补码还可通过“模”计算得到,即负数 X 的补码等于模与 X 绝对值的差值:

$$[X]_{\text{补}} = \text{模} - |X|$$

其中,“模”是指一个计量系统的计数范围,是计量器产生“溢出”的量。例如,时钟的计量范围是 0~11,模为 12,所以 4 点与 8 点互为补码关系。同理,8 位二进制数的模为  $2^8 = 256$ ,因而-4 的补码为:

$$[-4]_{\text{补}} = 256 - 4 = 252 = 1111 1100B$$

根据补码计算规则,+0 和-0 的补码都为 0000 0000B。为了充分利用计算资源,人为规定:+0 的补码代表 0,-0 的补码代表-128。故 8 位二进制补码的表示范围是 1000 0000B~0111 1111B(-128~+127)。

总之,正数的原码、反码和补码都是相同的,而负数的原码、反码和补码各有不同。

当有符号数用补码表示时,可以把减法运算转换为加法运算。例如:

$$123-125 = [123]_{\text{补}} + [-125]_{\text{补}}$$

用补码计算:  $01111011\text{B} + 10000011\text{B} = 11111011\text{B} \rightarrow 10000010\text{B}(-2)$

补码运算的结果仍为补码,故结果还需再求补才能得到原码结果。

由于减法可转为加法运算,CPU中便无须设置硬件减法器,从而可简化其硬件结构。

若上述二进制数中的最高位不是作为符号位,而是作为数值位,则称其为无符号数。8位无符号二进制的表示范围为  $0000\ 0000\text{B} \sim 1111\ 1111\text{B}(0 \sim 255)$ 。

### 1.2.3 位、字节和字

① 位(bit):音译为“比特”,表示二进制数中的1位,是计算机内部数据存储的最小单位。1个二进制位只可以表示0和1两种状态。

② 字节(Byte):音译为“拜特”,1字节由8个二进制位构成( $1\text{Byte} = 8\text{bit}$ )。字节是计算机数据处理的基本单位,使用时需要注意:

- 可以用大写字母B作为汉字“字节”的代用词,例如,“256字节”可以表示为“256B”。但要注意不可与二进制数的表示相混淆。例如,不应将二进制数“1010B”理解为“1010字节”;

- 千字节的表示为“KB”, $1\text{KB} = 1024\text{B}$ 。例如, $64\text{KB} = 1024\text{B} \times 64 = 65536\text{B}$ ;

- 有时还会用到半字节(nibble)概念,半字节是4位一组的数据类型,它由4个二进制位构成。例如,在BCD码中常用半字节表示1位十进制数。

③ 字(Word):计算机一次存取、加工和传送的数据长度称为字,不同计算机的字的长度是不同的。例如,80286微机的字由2字节组成,字长为16。80486微机的字由4字节组成,字长为32。MCS-51单片机的字由双字节组成,字长为16。

### 1.2.4 BCD码

计算机中的数据处理都是以二进制运算法则进行的。但由于二进制数对操作人员来说不直观,易出错,因此在计算机的输入、输出环节,最好能以十进制数形式进行操作。由于十进制数共有0~9十个数码,因此,至少需要4位二进制码来表示1位十进制数。这种以二进制数表示的十进制数称为BCD码(Binary-Coded Decimal),亦称“二进码十进数”或“二/十进制代码”。

由于4位二进制码共有 $2^4 = 16$ 种组合关系,如果任选10种来表示10个十进制数码,则编码方案将有数千种之多。目前最常用的是按8421规则组合的BCD码(见表1.1)。

可以看出,8421 BCD码和4位自然二进制数相似,由高到低各位的权值分别为8、4、2、1,但它只选用了4位二进制码中的前10组代码,即用0000B~1001B分别代表它所对应的十进制数,余下的六组代码不用。

由于用4位二进制代码表示十进制的1位数,故1字节可以表示2个十进制数,这种BCD码称为压缩的BCD码,如1000 0111表示十进制数的87。也可以用1字节只表示1位十进制数,这种BCD码称为非压缩的BCD码,如0000 0111表示十进制数的7。

表 1.1 8421BCD 码

十进制数	BCD 码	二进制数
0	0000B	0000B
1	0001B	0001B
2	0010B	0010B
3	0011B	0011B
4	0100B	0100B
5	0101B	0101B
6	0110B	0110B
7	0111B	0111B
8	1000B	1000B
9	1001B	1001B
10	无意义	1010B
11	无意义	1011B
12	无意义	1100B
13	无意义	1101B
14	无意义	1110B
15	无意义	1111B

### 1.2.5 ASCII 码

由于计算机中使用的是二进制数,因此计算机中使用的字母、字符也要用特定的二进制表示。目前普遍采用的是 ASCII 码(American Standard Code for Information Interchange)。它采用 7 位二进制编码表示 128 个字符,其中包括数码 0~9 及英文字母等可打印的字符,如表 1.2 所示。在计算机中一个字节可以表示一个英文字母。如从表 1.2 中可以查到“6”的 ASCII 码为“36H”;“R”的 ASCII 码为“52H”。

目前也有国际标准的汉字计算机编码表——汉码表,但由于单个的汉字太多,因此要用两字节才能表示一个汉字。

表 1.2 ASCII 码表

	列	0	1	2	3	4	5	6	7
行	位 654 3210	000	001	010	011	100	101	110	111
0	0000	NUL	DLE	SPACE	0	@	P	,	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
5	0101	END	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	FSC	+	;	K	[	k	{
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
D	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	1110	SO	RS	.	>	N	-	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

### 1.2.6 基本逻辑门电路

计算机是由若干逻辑门电路组成的,所以计算机对于人们给出的二进制数识别、运算要靠基本逻辑门电路来实现。在逻辑门电路中,输入和输出只有两种状态:高电平和低电平。我们用 1 和 0 分别来表示逻辑门电路中的高、低电平。常用基本逻辑门电路的有关信息汇总于表 1.3 中。

表 1.3 基本逻辑门电路的有关信息

名称	与 门	或 门	非 门	异 或 门	与 非 门	或 非 门
逻辑功能	逻辑乘运算的多端输入、单端输出	逻辑加运算的多端输入、单端输出	逻辑非运算的单端输入、单端输出	逻辑异或运算多端输入、单端输出	逻辑与非运算的多端输入、单端输出	逻辑或非运算的多端输入、单端输出
逻辑表达式	$A \cdot B = F$	$A + B = F$	$\bar{A} = F$	$A \oplus B = F$	$\overline{A \cdot B} = F$	$\overline{A + B} = F$