中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

单片机原理与应用

（第2版）

潘永雄　主编

http://www.phei.com.cn

电子与信息技术专业

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

本书配有电子教学参考资料包

中等职业教育国家规划教材（电子与信息技术专业）

单片机原理与应用

（第2版）

潘永雄　主编

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京・BEIJING

内 容 简 介

本书以教育部下发的中等职业学校电子信息类专业“单片机原理与应用”课程教学大纲为依据，以增强型 MCS-51 单片机原理及其应用为主线，系统地介绍了增强型 MCS-51 系列单片机（包括 8XC5X、8XC5XX2、89C51RX、89C6XX2）的内部结构、指令系统、资源及扩展、接口技术，单片机应用系统的硬件结构、开发过程及手段。在编写过程中，尽量避免过多地介绍程序设计方法和技巧，着重介绍系统硬件连接、调试技巧，注重典型性和代表性，以期达到举一反三的效果。内容力求新颖、全面、实用。

本书还配有教学指南、电子教案及习题解答（电子版），以方便教师教学使用。

本书是学习单片机原理与应用的入门教材，可作为中等职业学校电子信息类专业“单片机原理与应用”课程的教材或教学参考书，亦可供从事单片机技术开发、应用的工程技术人员阅读。

图书在版编目（CIP）数据

单片机原理与应用 / 潘永雄主编. —2 版 —北京：电子工业出版社，2005.1
中等职业教育国家规划教材 • 电子与信息技术专业
ISBN 7-121-00540-9

Ⅰ. 单… Ⅱ. 潘… Ⅲ. 单片微型计算机—专业学校—教材 Ⅳ. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 113305 号

责任编辑：李 影 关雅莉
印 刷：涿州京南印刷厂
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
经 销：各地新华书店
开 本：787×1092 1/16 印张：17.75 字数：451.2 千字
印 次：2005 年 7 月第 2 次印刷
印 数：3000 册 定价：22.40 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：（010）68279077。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。

前言

单片机技术作为计算机技术的一个重要分支，广泛地应用于工业控制、智能化仪器仪表、家用电器，甚至电子玩具等各个领域。它具有体积小、功能多、价格低廉、使用方便、系统设计灵活等优点，因此越来越受到工程技术人员的重视。目前国内中等职业学校电子技术、电力技术、自动控制、计算机硬件等专业均先后开设了“单片机原理与应用”课程。

《单片机原理与应用》（中等职业教育国家规划教材）第1版于2002年6月出版，主要以标准MCS-51单片机芯片作为介绍对象，而现在标准MCS-51单片机芯片已停产，内容相对陈旧。几年来单片机技术发展非常迅速，原教材内容已不能很好地体现单片机技术现状及未来发展趋势。第2版在不违背“单片机原理与应用”教学大纲的前提下，根据单片机技术发展的趋势、中等职业学校电子与信息技术类专业培养目标、学生接受能力，以及使用本教材第1版任课教师的意见和建议，对第1版中的第1～5章和第7章的内容进行了全面修改，删除了第1版中“第6章 AD、DA转换器”内容（原因是AD、DA转换器工作原理在“数字电路”课程中已介绍过，且目前各系列单片机芯片均有集成AD、DA转换器品种）。在编写过程中力求体现职业教育教材的特色，同时紧跟科技步伐，书中着重介绍了增强型MCS-51单片机应用系统中的硬件构成和连接、系统调试及维护技术，内容新颖、全面、实用。

本书共分7章，第1章介绍计算机系统的基本结构、工作原理等基础知识；第2章全面、系统地介绍增强型MCS-51单片机的内部结构、系统资源、资源扩展方法，是本书的重点；第3章简要介绍MCS-51单片机指令系统、单片机应用程序结构、特点，以及典型子程序；第4章介绍MCS-51单片机中断控制器、定时／计数器、串行接口电路的功能和使用方法；第5章介绍增强MCS-51单片机内核衍生芯片（包括8XC51RX系列、P89C6XX2系列）；第6章介绍输入/输出接口电路；第7章介绍单片机应用系统设计方法、技巧和注意事项。

考虑到职业教育教材的特点，在附录A中安排了较为详细的、可操作性强的实验内容。

本书由潘永雄老师主编，李晓苓、刘殊、李溪冰、刘向阳和潘景谦老师也参加了本书的编写工作。

本书可作为中等职业学校有关专业“单片机原理与应用”课程的教材或教学参考书，也可作为需要掌握和使用单片机技术的工程技术人员的参考资料。

本书还配有教学指南，电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的教师登录华信教育资源网（http://www.hxedu.com.cn）或与电子工业出版社联系，我们将免费提供。

E-mail:ve@phei.com.cn

由于我们水平有限，书中不当之处恳请读者批评、指正。

编　者

2004年3月

读者意见反馈表

书名：《单片机原理与应用》（第二版）　　作者：潘永雄　　责任编辑：关雅莉

谢谢您关注本书！烦请填写该表。您的意见对我们出版优秀教材、服务教学，十分重要。如果您能认真地填写表格并寄回，您将成为我们“读者俱乐部”的会员。我们会定期给您发送我社相关教材的出版资讯或目录，或者寄送相关样书。

个人资料

姓名_____电话_____手机_____ E-mail_____

学校_____专业_____职称或职务_____

通信地址_____ 邮编_____

所讲授课程_____所使用教材_____课时_____

影响您选定教材的因素（可复选）

□内容　□作者　□装帧设计　□篇幅　□价格　□出版社　□是否获奖　□上级要求

□广告　□其他_____

您希望本书在哪些方面加以改进？（请详细填写，您的意见对我们十分重要）

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

您希望随本书配套提供哪些相关内容？

□教学大纲　□电子教案　□习题答案　□无所谓　□其他_____

您还希望得到哪些专业方向教材的出版信息？

_____

您是否有教材著作计划？

_____

您学校开设课程的情况

本校是否开设相关专业的课程　□否　□是

如有相关课程的开设，本书是否适用贵校的实际教学_____

贵校所使用教材_____ 出版单位_____

本书可否作为你们的教材　□否　□是，会用于_____课程教学

谢谢您的配合，请将该反馈表寄至：

通信地址：北京市万寿路 173 信箱　**职业教育教材事业部**　**邮编：100036**

http://www.phei.com.cn　**电话：010-68152133**

E-mail：ve@phei.com.cn　**传真：010-68159025**

第 1 章　基础知识 …… 1
1.1　数制 …… 1
1.1.1　二进制数 …… 1
1.1.2　二进制数与十进制数之间的转换 …… 2
1.1.3　十六进制数 …… 3
1.1.4　二进制数与十六进制数之间的转换 …… 3
1.1.5　二进制数和十六进制数的运算 …… 5
1.2　码制 …… 6
1.2.1　英文字符的表示方法——ASCⅡ码 …… 6
1.2.2　BCD 码（二进制编码的十进制数） …… 7
1.2.3　计算机中带符号数的表示方法 …… 8
1.3　计算机的基本认识 …… 9
1.3.1　计算机的工作过程及其内部结构 …… 11
1.3.2　指令及其指令系统 …… 16
1.4　寻址方式 …… 22
1.5　单片机及其发展概况 …… 25
1.5.1　单片机及其特点 …… 26
1.5.2　单片机技术现状及将来发展趋势 …… 27
1.5.3　增强型 MCS-51 单片机芯片特征及主流芯片 …… 29
习题 1 …… 32
第 2 章　增强型 MCS-51 单片机结构 …… 34
2.1　内部结构和引脚功能 …… 37
2.1.1　内部结构 …… 37
2.1.2　引脚功能 …… 38
2.2　输入 / 输出（I/O）口 …… 42
2.2.1　P1 口内部结构及使用 …… 42
2.2.2　P0 口内部结构及使用 …… 44
2.2.3　P2 口内部结构及使用 …… 45
2.2.4　P3 口内部结构及使用 …… 45
2.2.5　I/O 口负载能力 …… 46
2.2.6　读锁存器和读引脚指令 …… 47
2.3　存储器系统 …… 47
2.3.1　程序存储器 …… 48

2.3.2 片内数据存储器 …… 49
2.3.3 外部数据存储器 …… 59
2.4 MCS-51 单片机外部存储器的连接 …… 59
2.4.1 CPU 地址线与存储器地址线的连接 …… 60
2.4.2 MCS-51 单片机控制系统中程序存储器的连接 …… 63
2.4.3 数据存储器的连接 …… 64
*2.5 操作时序 …… 68
2.5.1 对外部程序存储器的读操作时序 …… 69
2.5.2 外部数据存储器读写时序 …… 70
2.5.3 6 时钟 / 机器周期模式下的时序 …… 72
2.6 复位及复位电路 …… 73
2.6.1 CPU 内部复位电路 …… 73
2.6.2 复位电路 …… 73
2.7 节电运行状态和掉电运行状态 …… 74
习题 2 …… 76
第 3 章 MCS-51 单片机指令系统 …… 78
3.1 MCS-51 单片机指令系统 …… 78
3.1.1 数据传送指令 …… 79
3.1.2 算术运算指令 …… 87
3.1.3 逻辑运算指令 …… 96
3.1.4 位操作指令 …… 98
3.1.5 控制及转移指令 …… 100
3.2 汇编语言程序设计基础 …… 105
3.2.1 汇编语言程序结构 …… 105
3.2.2 汇编语言程序编辑与执行 …… 113
*3.2.3 对汇编语言程序设计的基本要求 …… 114
习题 3 …… 116
第 4 章 中断控制、定时 / 计数器与串行口 …… 119
4.1 CPU 与外设通信方式概述 …… 119
4.1.1 查询方式 …… 119
4.1.2 中断通信方式 …… 119
4.2 增强型 MCS-51 单片机中断控制系统 …… 120
4.2.1 中断源及标志 …… 121
4.2.2 中断控制 …… 122
4.2.3 中断响应过程及中断服务程序入口地址 …… 125
4.2.4 中断初始化及中断服务程序结构 …… 127
4.3 增强型 MCS-51 单片机定时 / 计数器 …… 128
4.3.1 定时 / 计数功能概述 …… 128

4.3.2 定时 / 计数器 T0、T1 结构及控制 …… 129
4.3.3 定时 / 计数器 T2 结构及控制 …… 134
4.3.4 定时 / 计数器初始化及应用 …… 140
4.4 串行通信系统 …… 148
4.4.1 串行通信概念 …… 148
4.4.2 增强型 MCS-51 单片机串行通信口控制及初始化 …… 150
4.4.3 串行口工作方式及应用 …… 154
4.4.4 帧错误检测及应用 …… 160
*4.4.5 多机通信及地址自动识别技术 …… 163
*4.4.6 RS-232C 串行接口标准及应用 …… 166
4.5 增强型 MCS-51 芯片识别与仿真 …… 170
习题 4 …… 172
第 5 章 80C51 内核衍生型单片机芯片 …… 174
5.1 89C51RX 系列单片机概述 …… 174
5.2 P89C51RX 引脚功能 …… 177
5.3 P89C51RX 系列片内存储器结构 …… 178
5.3.1 片内程序存储器 …… 182
5.3.2 片内数据存储器 …… 182
*5.4 可编程计数器阵列 PCA 及应用 …… 183
5.4.1 PCA 结构及控制 …… 183
5.4.2 PCA 模块初始化步骤 …… 186
5.4.3 PCA 模块工作模式 …… 187
*5.5 89C51RX 系列中断控制系统 …… 192
*5.6 硬件看门狗 …… 193
5.7 P89C6XX2 系列 …… 195
习题 5 …… 196
第 6 章 数字信号输入 / 输出接口电路 …… 197
6.1 开关信号输入 / 输出方式 …… 197
6.2 I/O 资源及扩展 …… 198
6.2.1 通过锁存器、触发器扩展 I/O 口 …… 199
6.2.2 利用串入并出及并入串出芯片扩展 I/O 口 …… 202
6.2.3 用 8255 可编程 I/O 芯片扩展 MCS-51 的 I/O 口 …… 203
6.2.4 利用 8155/8156 可编程 I/O 芯片扩展 MCS-51 的 I/O 口 …… 210
6.2.5 利用 CPU 扩展 I/O …… 215
6.3 简单显示驱动电路 …… 216
6.3.1 发光二极管 …… 216
6.3.2 驱动电路 …… 217
6.3.3 LED 发光二极管显示状态及同步 …… 217
6.4 LED 数码管及其显示驱动电路 …… 220

6.4.1 LED 数码管 …… 220
6.4.2 LED 数码显示器接口电路 …… 221
6.4.3 LED 点阵显示器及其接口电路 …… 235
6.5 键盘电路 …… 236
6.5.1 按键结构按键电压波形 …… 237
6.5.2 键盘电路形式 …… 238
6.5.3 键盘按键编码 …… 240
6.5.4 键盘监控方式 …… 240
6.6 并行接口及应用实例 …… 246
6.6.1 MCS-51 单片机与并行输入 / 输出设备之间的连接 …… 246
6.6.2 MCS-51 单片机与并行打印机之间的连接 …… 248
6.7 光电耦合器件接口电路 …… 249
6.8 单片机与继电器接口电路 …… 251
习题 6 …… 253
第 7 章 单片机应用系统开发 …… 255
7.1 单片机应用系统开发过程 …… 255
7.1.1 总体设计 …… 256
7.1.2 硬件设计 …… 257
7.1.3 资源分配 …… 260
7.2 单片机开发工具及选择 …… 261
7.2.1 仿真器 …… 261
7.2.2 其他工具 …… 264
7.3 系统可靠性设计 …… 264
7.3.1 硬件可靠性设计 …… 266
7.3.2 系统自诊断技术 …… 267
7.3.3 系统抗干扰性能 …… 268
习题 7 …… 272

第1章 基础知识

为了便于理解单片机系统的工作原理及存储器容量的大小，也为了便于理解数字、字母等字符在单片机系统中的表示方法及处理过程，有必要先介绍有关数制和码制等方面的基本知识。

1.1 数制

在日常生活中，十进制是人们最熟悉的，也是最习惯的计数方式，但十进制数需要用0～9十个数码表示，在计算机中使用显得很不方便。计算机的电路基础是数字电路，而数字电路中的晶体管只有两个稳定状态：截止和饱和。截止时，集电极输出高电平，定义为“1”态；饱和时，集电极输出低电平，定义为“0”态；又如脉冲宽度内为“1”，脉冲间歇期为“0”，等等。这与二进制数非常类似，一位二进制数也有两个状态（0和1），这就是计算机中用二进制计数表示、运算、存储的原因，即二进制数是计算机系统能认识、处理的惟一数制。但由于二进制数不够直观，位数较长，不便记忆。向计算机输入数据时，往往直接输入人们习惯的十进制数，计算机将其转化为二进制数后，再处理；另一方面，计算机的处理结果也要转换为人们习惯的十进制数。因此，在计算机中，需要进行各种数制之间的转换，下面我们就简要介绍有关这方面的基本知识。

1.1.1 二进制数

二进制数的特点是：只有两个数码，即0和1，逢二进一。

1位二进制数只能表示0和1两个状态，为了表示更多的状态，可用两位或两位以上的二进制数表示。二进制数的位数与它能表示的状态数之间的关系如下：

1位二进制数，共有2^1（即2）个状态，分别编码为0、1；

2位二进制数，共有2^2（即4）个状态，分别编码为00、01、10、11；

4位二进制数，共有2^4（即16）个状态，分别编码为

0000　0001　0010　0011
0100　0101　0110　0111
1000　1001　1010　1011
1100　1101　1110　1111

8位二进制数，共有2^8（即256）个状态，分别编码为

00000000　00000001　00000010　00000011
00000100　00000101　00000110　00000111

00001000 00001001 00001010 00001011

……

11111100 11111101 11111110 11111111

在计算机系统中，寄存器、存储器的本质就是一组触发器。一个触发器，如RS、D型触发器等均有两个稳定的状态，即0态和1态，显然一个触发器可以存储1位二进制数。为了提高数据处理速度，在计算机中往往需要并行处理多位二进制数。习惯上，存储器中一个存储单元通常由8个触发器组成，即一个存储单元可以存放一个8位二进制数。一个8位二进制数称为一个字节（Byte），有256种状态，或者说可以表示256个符号。因此，存储器（包括内存储器和外存储器）容量单位常用字节（或千字节）表示，如某存储器的容量为640KB，即该存储器有640×1024个存储单元，每个存储单元的大小为一个字节。

10位二进制数，共有2^{10}（1024，在计算机中，“1024”习惯上称为1K）个状态，编码为0000000000～1111111111。

16位二进制数，共有2^{16}（65536，即64K）个状态，编码为0000000000000000～1111111111111111。

有些微处理器，如大多数8位的微处理器，就有16根地址线。由于每根地址线有两种可能的状态，所以可以用地址线状态的不同编码寻址不同的存储单元。因此，16根地址线相当于16位二进制数，最多可以寻址64K个存储单元。而存储单元的大小一般是一个字节，所以对于具有16•根地址线的微处理器来说，最多可以寻址64KB的存储空间，或者说寻址能力为64KB。

同样，对于20位二进制数，将有2^{20}（1048576，即1024K，在计算机中习惯上称为1M）个状态，编码为00000000000000000000～11111111111111111111。

某些微处理器，如Intel 8088 CPU，就有20根地址线，因此该微处理器最多可以寻址1MB的存储空间。

为了不致引起混乱，二进制数用后缀字母B作标记，如二进制数1110记为1110B。

1.1.2 二进制数与十进制数之间的转换

众所周知，对于n位十进制数，可以表示为：

$A_{n-1}\times10^{n-1}+A_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots+A_2\times10^2+A_1\times10+A_0+B_1\times10^{-1}+B_2\times10^{-2}+\cdots$

例如，9876.54可以表示为$9\times10^3+8\times10^2+7\times10+6+5\times10^{-1}+4\times10^{-2}$。

同理，n位二进制数也可以表示为：

$A_{n-1}\times2^{n-1}+A_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots+A_2\times2^2+A_1\times2+A_0+B_1\times2^{-1}+B_2\times2^{-2}+\cdots$

例如，1101.01可以表示为$1\times2^3+1\times1^2+0\times2+1+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$，即十进制数13.25。

可见，将二进制数转换为十进制数不难，只要按上式展开即可求出对应的十进制数。而十进制数转换为二进制数时，可以按如下规律进行：

整数部分除以2所得的余数就是对应二进制数的个位，其商再除以2所得的余数就是对应二进制数的十位，依次类推，即可获得对应二进制数的整数部分。

小数部分乘以2所得的整数就是对应二进制数小数部分的十分位，乘积中的小数部分再乘以2得到的整数就是对应二进制数小数部分的百分位，依次类推，即可求出所有的小数位。

例1.1 13.75的整数部分是13，小数部分是0.75，转换为二进制数的过程如下所示。

```
2 | 13   1
  2 | 6   0
    2 | 3   1
      1
```

13 相当于二进制数 1101；而 0.75×2=1.5，因此十分位为 1；0.5×2=1.0，因此百分位为 1，即 13.75=1101.11B。

1.1.3 十六进制数

由于二进制数由一长串的 0、1 组成，位数太长，不便书写和记忆；另一方面，二进制数和十六进制数之间的换算非常方便、直观，为此，书写时常用十六进制数表示二进制数。但必须注意引入十六进制数的目的仅仅是为了便于书写和记忆，被计算机认识、处理的数据依然是二进制数，或者说二进制数是计算机系统中惟一存在的数制。

十六进制的特点是逢十六进一，具有 16 个数码，分别用 0、1、2、…、9 和 A、B、C、D、E、F 表示。

1 位十六进制数可以表示 16 种状态，编码从 0～F；2 位十六进制数可以表示 16^2（256）种状态，编码从 00～FF；4 位十六进制数可以表示 16^4（65536，即 64K）种状态，编码为 0000～FFFF；而 8 位十六进制数可以表示 16^8（4096M）种状态，编码为 00000000～FFFFFFFF。

可见十六进制数位数短，便于书写和记忆。

为了不致引起误解，十六进制数要加后缀字母 H，如十六进制数“3F”记为“3FH”；而对于以字母开头的十六进制数，必须带有前缀 0（零），以区别于一般字符串，如十六进制数 FE 记为“0FEH”。

与十进制数类似，对于 n 位十六进制数，可以表示为

$A_{n-1}\times16^{n-1}+A_{n-2}\times16^{n-2}+\cdots+A_2\times16^2+A_1\times16+A_0+B_1\times16^{-1}+B_2\times16^{-2}+\cdots$

例如，98BF.5EH 可以表示为 $9\times16^3+8\times16^2+B\times16+F+5\times16^{-1}+E\times16^{-2}$，即 39103.3671875。

1.1.4 二进制数与十六进制数之间的转换

我们知道二进制数可以表示为:

$A_{n-1}\times2^{n-1}+A_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots+A_2\times2^2+A_1\times2+A_0+B_1\times2^{-1}+B_2\times2^{-2}+\cdots$

如果在上式中，对于整数部分，从个位开始每四位分为一组；对于小数部分，从十分位开始，每四位分为一组，则上式可表示为

$A_{n-1}\times2^{n-1}+A_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots+A_2\times2^2+A_1\times2+A_0+B_1\times2^{-1}+B_2\times2^{-2}+\cdots$

$=(A_{n-1}\times2^3+A_{n-2}\times2^2+A_{n-3}\times2+A_{n-4})\times2^{n-4}+(A_{n-5}\times2^3+A_{n-6}\times2^2+A_{n-7}\times2^1+A_{n-8})\times2^{n-8}+\cdots$

$+(A_7\times2^3+A_6\times2^2+A_5\times2^1+A_4)\times2^4+A_3\times2^3+A_2\times2^2+A_1\times2^1+A_0$

$+(B_0\times2^3+B_1\times2^2+B_2\times2^1+B_3)\times2^{-4}+\cdots+(B_{n-4}\times2^3+B_{n-3}\times2^2+B_{n-2}\times2^1+B_{n-1})\times2^{-(n-1)+4}$

上式与十六进制数表示非常接近，括号内就是对应的十六进制数的数码，而 2^{n-4} 就对应位的权，如：

$10101010B=(1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+0\times2^0)\times2^4+(1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+0\times2^0)$

$=A\times2^4+A$

$=A\times16+A$

因此，10101010B=0AAH。

由此可见:

（1）二进制数转换成十六进制数时，按如下规则进行。

对于二进制数的整数部分来说，从个位开始，每4位作为一组，划分整数部分（如果最后一组不足4位，可在前面补1～3个零）；对于二进制数的小数部分来说，从十分位开始，每4位作为一组，划分小数部分（同样，当最后一组不足4位时，可在后面补1～3个零）。然后把每组中的4位二进制数用对应的十六进制数表示，即可获得相应的十六进制数。

如：1110010101.10101B

=0011 1001 0101.1010 1000

3 9 5 A 8

即1110010101.10101B=395.A8H

（2）十六进制数转换为二进制数时，按如下规则进行。

将十六进制数的整数部分和小数部分的每一位十六进制数码用对应的4位二进制数表示，然后再删除整数部分前面和小数部分后面多余的零，即可获得对应的二进制数，如:

93FE.3A3H=1001 0011 1111 1110.0011 1010 0011B

又如：3E.CH=0011 1110.1100B

=111110.11B（删除整数部分前面的零和小数部分后面的零）

可见二进制数与十六进制数之间的转换非常方便，只要记住4位二进制数0000～1111与十六进制数0～F之间的对应关系即可。下面是二进制数0000～1111对应的十六进制数和十进制数。

二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数
0000	0	0	1000	8	8
0001	1	1	1001	9	9
0010	2	2	1010	10	A
0011	3	3	1011	11	B
0100	4	4	1100	12	C
0101	5	5	1101	13	D
0110	6	6	1110	14	E
0111	7	7	1111	15	F

由此可见，用十六进制数表示二进制数是非常方便的。例如一个字节，当用十六进制数表示时，256种状态的编码分别为：00H,01H,02H,…,0F0H,0F1H,0F3,…,0FEH,0FFH。又如16位二进制数（即两个字节）用十六进制数表示时，64K种状态编码分别为：0000H,0001H,0002H,…,0FFF0H,0FFF1H,…,0FFFEH,0FFFFH。

由前面的介绍可看出，十六进制数不仅位数少了，而且也方便记忆。

1.1.5 二进制数和十六进制数的运算

1. 二进制数的运算

二进制数的四则运算包括加、减、乘、除，在学习单片机原理时，尤其需要掌握其中的加、减和乘法运算规则。

（1）二进制数的加法

二进制数的加法运算规则为 0+0=0，0+1=1，1+0=1（交换律），1+1=10（二进制数中的“10”就是十进制数的“2”）。例如：

```
  1001 0110B
+ 0111 0011B
 10000 1001B
```

（2）二进制数的减法

二进制数向前借位时，为“10”，例如：

```
  1001 0110B
- 0111 0011B
  0010 0011B
```

（3）二进制数的乘法

二进制数的乘法运算规则为 0×0=0，0×1=0，1×0=0（交换律），1×1=1。例如：

```
   1001 0110B
×       101B
   10010110
  00000000
+10010110
1011101110 B
```

2. 十六进制数的运算

十六进制数的四则运算包括加、减、乘、除，在学习单片机原理时，同样需要掌握其中的加、减和乘法运算规则。

十六进制数的加法运算规则与十进制数的加法运算规则相同，如 3H+4H=7H，7H+4H=0BH（结果是十进制数的 11，即十六进制数的 0BH），8H+7H=0FH（结果是十进制数的 15，即十六进制数的 0FH），8H+9H=11H（结果是十进制数的 17，即十六进制数的 11H）。例如：

```
  346AH
+ 589CH
  8D06H
```

在上式中，个位的A（10）加C（12），结果为22，即十六进制数的“16”，向十位进1，结果为6；十位的6+9+1（个位进位），结果为16，即十六进制数中的“10”，向百位进1，结果为0；百位4+8+1（十位进位），结果为13，即十六进制数中的“D”；千位3+5，结果为8。

```
  746AH
- 589CH
  1BCEH
```

在上式中，个位向十位借1后，变成十六进制数的“1A”，即十进制数的26，再减C（即十进制数的12），结果为14，即十六进制数的“E”；十位原本是“6”，个位借1后变为“5”，十位再向百位借1，变成十六进制数的“15”，即21；减9，结果为12，即十六进制数的“C”；百位原本是“4”，十位借1后变为“3”，百位向千位借1，变成十六进制数的“13”，即19；减8，结果为11，即十六进制数的“B”。

```
      7  4  6  AH
×        9  CH
（进位）3  4  7
-------------------

      5  7  4  F  8
（进位）2  3  5
+  4  1  7  B  A
-------------------
   4  6  F  0  9  8
```

可见十六进制数的乘法与十进制数的乘法运算方法类似，但必须注意将十六进制数乘法运算的中间结果转为十六进制数，例如6×9的结果为十进制数的54，转化为十六进制数是36H。

1.2 码制

在这一节中，主要介绍本课程常用到的ASC II码，原码、反码、补码，以及十进制数的二进制表示法——BCD码等方面的基本知识。

计算机内部所有的数据均采用二进制代码表示，但通过输入设备（如键盘）输入的信息和通过输出设备（如显示器、打印机）输出的信息却是多种多样的，既有字母、数字，又有各种控制字符，甚至汉字。为了方便，人们对计算机中常用的符号进行了编码。当通过输入设备向计算机输入某个字符时，计算机会自动将该字符转化为对应的二进制数，再进行处理，同时计算机也将处理结果还原为对应的字符。于是，字符所对应的二进制数就称为该字符的编码。

1.2.1 英文字符的表示方法——ASC II码

由于计算机只能处理二进制数，因此除了数值本身需要用二进制数形式表示外，字符（包

括数码，如0,1,2,3,4,5,6,7,8,9)、字母（如A,B,C,D,…,X,Y,Z及a,b,c,d,…,x,y,z)、特殊符号（如%,!,+,-,=）等也必须用二进制数表示，即在计算机中需将数码、字母、特殊符号等代码化，以便于计算机识别、存储和处理。

英文属于典型的拼音文字，由字母、数字、特殊符号等组合而成，但这些字母、数字、特殊符号的数目毕竟有限，不过百余个。我们知道7位二进制数可以表示128种状态，如果每一种状态代表特定的字母或数字，则7位二进制数可表示128个字符。

例如：可用0110000B 表示数字0；0110001B表示数字1；1000001B表示大写字母A等。但这种编码方式并不惟一，例如用0110000B表示字母A，0110001B表示字母B，1000001B表示数字0也未尝不可。为了便于不同计算机系统和不同操作者之间的信息交换，有必要规范字母与7位二进制数之间的对应关系。目前在计算机系统中普遍采用美国标准信息交换代码（American Standard Code for Information Interchange II，简称ASC II码)。

该标准用7位二进制数表示一个字符，最多可以表示128个字符，编码与字符之间的对应关系可参考有关资料。

在计算机系统中，存储单元的长度通常为8位二进制数（一个字节)，为了存取方便，规定一个存储单元存放一个ASC II码，其中低7位表示字母本身的编码，第8位（bit7）用作奇偶校验位或规定为零（通常如此)。因此，也可以认为ASC II码的长度为8位（但bit7为0)。128个字符对于某些特殊应用来说，可能不够，因此就采用8位的ASC II，即扩展ASC II码（共有256个代码)。其中前128个（高位为0）编码用于表示基本的ASC II码，基本ASC II码主要用于表示数字、英文字母（大、小写)、标点符号、控制字符等，后128（高位为1）个编码用于表示扩展的ASC II码，扩展ASC II用于表示一些特殊的符号，如希腊字母等。

1.2.2 BCD码（二进制编码的十进制数）

十进制数毕竟是人们最习惯的计数方式，在向计算机输入数据时，常用十进制数输入，但计算机只认识二进制数，因此每一位十进制数必须用二进制数表示。一位十进制数包含0～9十个数码，必须用4位二进制数表示，这样就需要确定0～9与4位二进制数0000B～1111B之间的对应关系，其中较常用的8421 BCD码规定了十进制数0～9与4位二进制数编码之间的对应关系如下。

十进制数	8421 BCD码	十进制数	8421 BCD码
0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

注：在BCD码中，不使用1010（0AH）～1111（0FH)。

例如，4567.89的BCD码为：0100 0101 0110 0111.1000 1001（每一位十进制数用相应的4位二进制数表示即可)。

尽管BCD码比较直观，但BCD码与二进制数之间的转换并不方便，需要先转成十进制

数后，才能转换为二进制数，反之亦然。

1.2.3 计算机中带符号数的表示方法

在计算机中，对于带符号数来说，一般用最高位表示数的正负。对于正数，最高位规定为“0”；对于负数，最高位为“1”。例如：

56H可以表示为0 1010110（对于8位二进制数来说，b7位表示数的正负，b6～b0表示数的绝对值），-56H可以表示为1 1010110。

0256H可以表示为0 000 0010 0101 0110（对于16位二进制数来说，b15位表示数的正负，b14～b0表示数的绝对值），-0256H可以表示为1 000 0010 0101 0110。

1. 原码

对于带符号数来说，用最高位表示数的正负，其余各位表示该数的绝对值，这种表示方法就称为原码表示法，如上所述。

2. 反码

带符号数也可以用反码表示，反码与原码的关系是：正数的反码与原码相同，如$[56H]_{反}=[56H]_{原}=0\ 1010110B$。

负数的反码等于对应正数的原码按位求反。因此，求-56H反码的过程如下：

对应正数56H的原码为0 1010110，按位求反后为1 0101001，即-56H的反码为10101001。或者说，正数的反码与原码相同，而负数的反码是对应负数原码除符号位外，绝对值部分按位取反。

3. 补码

在计算机内，带符号数并不是用原码或反码表示，而是用补码表示，引入原码、反码的目的只是为了方便理解补码概念而已。不用原码表示的原因是：用原码表示时，0的原码并不惟一，0的原码可以表示为0 0000000（+0），也可以表示为1 0000000（-0），这会造成混乱；再就是用原码表示时，减法并不能转化为加法运算，反码也存在类似问题。在计算机中，带符号数用补码表示后，减法就可以转化为加法运算，例如：

56H-23H=56H-23H+100H （100H是8位二进制能表示的最大数，加上100H后，对计算结果没有影响，原因是8位二进制无法存放100H中的“1”，即b8位）

=56H+100H-23H

=56H+0DDH

=1 33H

=33H（由于8位二进制不能存放b8位，结果133H中最高位“1”自然丢失）

可见在8位二进制中，56H-23H的结果与56H+0DDH相同，即引入补码后减法可以用加法来完成。显然在8位二进制中，23H与0DDH互为补码。

补码的定义为：正数的补码与反码、原码相同；负数的补码等于它的反码加1。因此，求-23H补码的过程如下：

对应正数23H的原码为0 0100011，按位求反后为1 1011100，即-23H的反码，反码加1后为1 1011101，即-23H的补码为1 1011101（相当于无符号数的0DDH）。

可见，用补码表示时，最高位为0，表示该数为正数，数值部分就是真值。而最高位为1