

单片机与

接口技术

DANPIANJI YU
JIEKOU JISHU

秦 武 / 著



电子科技大学出版社

单片机与 接口技术

DANPIANJI YU
JIEKOU JISHU

秦 武 / 著



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机与接口技术 / 秦武编著. — 成都: 电子科技大学出版社, 2014.5

ISBN 978-7-5647-2374-3

I. ①单… II. ①秦… III. ①单片微型计算机—基础理论②单片微型计算机—接口技术 IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 092523 号

单片机与接口技术

秦武 编著

出版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 张 鹏

责任编辑: 张 鹏

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都童画印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 16.625 字数 405 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版

印 次: 2014 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2374-3

定 价: 29.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

随着微型计算机技术的飞速发展，作为微型计算机的一个重要分支——单片微型计算机的应用已经渗透到人们生产、生活的各个领域。单片微型计算机是面向现场测控的微型机，以其功能强、可靠性高、体积小、功耗低、应用灵活方便等性能特点日益得到广泛应用，对各行各业的技术改造和产品的更新换代起到了重要的推动作用。

我国工科高等院校普遍开设了单片机原理与接口技术及其相关课程，为了适应单片机技术飞速发展的特点，课程的教学要求与教学内容在不断更新。新的教学内容更加注重理论与实践并重，加强培养学生的实际应用能力。

本书在介绍单片机原理与接口技术的过程中，适当增加了一般微型计算机的基础知识，然后过渡到对单片机结构原理、系统扩展与接口技术的讲解，内容安排力求循序渐进、深入浅出。本书设计了实验及应用系统设计实例，以使读者能够更加深入地理解相关的理论知识，尽快掌握实用的方法，达到活学活用的目的。

全书共分9章。第1、2章介绍了计算机的基础知识和MCS-51单片机的基本结构。第3章详细介绍了MCS-51单片机的指令系统。第4章集中剖析MCS-51单片机的汇编语言程序。第5章讲解了MCS-51单片机的中断系统。第6章讲解了MCS-51单片机的定时器/计数器。第7章介绍了MCS-51单片机的串行通信接口技术。第8、9章介绍单片机的并行I/O接口、A/D和D/A转换器接口。

本书较为全面地介绍了单片机的原理与当前广泛采用的设计开发技术，具有较强的实用性，可作为高等院校单片机原理与接口技术课程的教材，也可作为单片机原理与接口技术课程设计和实验课程的教学参考书。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 计算机基础	1
1.1 微型计算机系统	1
1.2 数制与编码	5
1.3 单片微型计算机	11
1.4 单片机的主要产品系列	19
习题	21
第 2 章 MCS-51 单片机的结构	23
2.1 MCS-51 的主要性能特点	23
2.2 MCS-51 单片机内部结构	23
2.3 MCS-51 单片机的存储器	26
2.4 单片机的 I/O	35
习题	39
第 3 章 MCS-51 单片机指令系统	40
3.1 指令系统基本知识	40
3.2 寻址方式	45
3.3 MCS-51 单片机指令系统分析	49
习题	76
第 4 章 MCS-51 单片机汇编语言程序	79
4.1 汇编语言的构成	79
4.2 汇编语言程序设计	90
习题	118
第 5 章 MCS-51 单片机中断系统	120
5.1 中断系统概述	120
5.2 MCS-51 的中断系统	125
5.3 中断系统的应用	133
习题	137
第 6 章 MCS-51 单片机定时器 / 计数器	138
6.1 概述	138
6.2 定时器 / 计数器的结构及工作原理	139
6.3 定时器 / 计数器的工作方式	140
6.4 定时器 / 计数器的初始化	143
习题	146
第 7 章 MCS-51 的串行通信接口技术	147
7.1 串行通信基础知识	147
7.2 MCS-51 单片机的串行口	156

7.3 串行口的应用	163
习题	172
第8章 单片机 MCS-51 并行 I/O 接口	173
8.1 概述	173
8.2 MCS-51 内部并行 I/O 端口	180
8.3 键盘及显示器接口设计	197
习题	240
第9章 A/D 和 D/A 转换器的接口	242
9.1 D/A 转换器	242
9.2 A/D 转换器	250
习题	257
参考文献	259

第 1 章 计算机基础

1.1 微型计算机系统

一台微型计算机系统主要由硬件和软件两大部分组成，硬件主要包括：主机和外围设备；软件主要包括：系统软件（例如：操作系统，监控程序等）和应用软件。所谓微型计算机结构是指计算机的硬件系统按照总体布局的设计要求将各部件构成某个系统的连接方式。

1.1.1 微型计算机主机组成

微型计算机系统除输入/输出设备外，其余部件的组成称为主机。主机由微处理器（MPU）、内存（主存）、输入/输出接口（简称 I/O 接口）、总线及地址译码电路组成。单片机实际上是将上述部件集成到一个芯片上而构成一个微机系统。MPU 嵌入系统之后，便称为 CPU（中央处理器），主机结构可用如图 1-1 所示模块化结构来表示。图中所示是一种总线结构，系统中各部件都是独立“挂”在总线上的，总线是用来传送信息的公共导线，根据所传送信息的内容与作用不同，可将总线分为三类：数据总线 DB（Data Bus）、地址总线 AB（Address Bus）、控制总线 CB（Control Bus）。由于各总线传送信号的类型是单一的，又称为面向系统的单总线结构。由于各部件均以同一形式“挂”在总线上的，结构简单，易于扩充，需要什么就“挂”什么，体现了其灵活方便即插即用的结构特点。

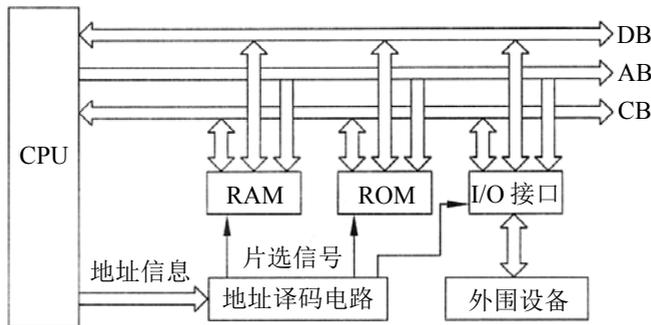


图 1-1 微机系统的主机结构

1. 微处理器

MPU 是微型计算机的核心芯片，将其嵌入系统加上外围电路，微处理器就升格为中央处理器（CPU），它包括运算器、控制器和寄存器三个主要部分。

(1) 运算器

运算器也称为算术逻辑单元 (ALU)。顾名思义, 运算器的功能是完成数据的算术和逻辑运算。

(2) 控制器

控制器是微机的指挥控制中心, 由指令寄存器、指令译码器和控制电路组成。它负责把指令逐条从存储器中取出, 经译码分析后, 根据指令的要求, 对微型计算机各部件发出相应的控制信息 (取数、执行、存数等), 使它们协调工作, 以保证正确完成程序所要求的功能, 进而对整个微机系统进行控制。

(3) 寄存器

寄存器是 CPU 内部用来暂时存放数据和运算结果的空间, CPU 对寄存器的读写方便快捷。

2. 存储器

存储器 (Memory) 又称为主存 (Main Storage) 或内存, 是微型计算机的存储和记忆装置, 用以存放数据和程序。微型计算机的内存通常采用集成度高, 容量大, 体积小, 功耗低的半导体存储器。

(1) 存储单元

内存中存放的是数据和程序, 均以二进制数形式表示。计算机科学中一般将 8 位二进制数称作一个字节 (Byte), 例如: “01001101” 就是一个字节。能存储一个字节数据的存储空间称为一个存储单元, 也就是一个存储单元能存储 8 位二进制数, 将其每一位称为 1bit。

(2) 存储器地址

为了便于对存储器进行访问, 存储器通常被划分为若干个存储单元, 并且每一个存储单元都对应有自己的编号, 存储器的编号称为存储器地址 (内存地址), CPU 是通过其地址来识别不同内存单元的, 计算机科学中地址一般都用十六进制数表示, 如存储器地址 00001H 就可以表示存储单元编号为 00001H。必须说明的是, 内存单元的地址和内存单元的内容是两个完全不同的概念。例如在图 1-2 中, 第 6 号内存单元的存储器地址是 00006H, 其内容是 11001111B, 即十六进制 CFH, 在实际学习和应用中存储单元及其内容都用十六进制表示, 注意不要混淆。

CPU 对内存的操作有两种: 读或写。CPU 执行访问存储器的任务, 实际上就是按指定的存储单元地址对相应的存储单元进行“读”“写”操作, “读”操作是 CPU 将内存单元的内容读入 CPU 内部; “写”操作是 CPU 将其内部信息传送到内存单元保存起来。显然, “写”操作的结果改变了被写内存单元的内容, 是破坏性的, 而“读”操作是非破坏性的, 即该内存单元的内容在信息被读“走”之后仍保持原信息。存储器的“读”“写”操作过程如图 1-3 所示。

地址	内容
00000H	
00001H	
00002H	
	⋮
00006H	1100 1111
	⋮
FFFFFH	

图 1-2 内存单元的地址和内容

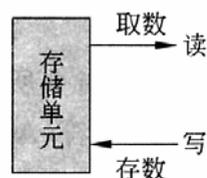


图 1-3 存储器的“读”“写”操作

3. 总线

总线是用来传送信息的公共导线，根据所传送信息的内容与作用不同，可将总线分为三类：数据总线 DB（Data Bus）、地址总线 AB（Address Bus）、控制总线 CB（Control Bus）。

(1) 数据总线 DB

双向传输数据信息。其宽度（根数）与 MPU 提供的数据线的引脚数有关，数据线宽度越宽，传输数据的能力越强。

(2) 控制总线 CB

用于传送各种控制信号和状态信号，对于每一根来说是单向传送的。控制信号由 CPU 指向被控设备，例如对被控设备的“读”“写”操作就是控制信号，状态信号是由被监控设备提供给 CPU 的状态和应答信号，例如监控设备的“忙”“闲”状态就是状态信号。

(3) 地址总线 AB

CPU 执行指令时，用于单向传送地址信息。地址信息包括两种：指令代码在程序存储器中的地址信息和操作数在数据存储器中的地址信息。CPU 执行一条指令时，首先从程序存储器中将欲执行指令的代码取入 CPU 中的指令寄存器（IR），经指令译码器（ID）译码后，产生相应的操作时序，再根据指令提供的操作数的地址信息，对操作数进行“读”“写”操作。AB 的宽度决定了计算机系统的最大寻址能力（寻址空间）。最大寻址空间 $=2^N$ ，其中 N 为 AB 的宽度。例如 MCS-51 单片机 $N=16$ ，则最大寻址空间 $=2^{16}=65536$ 字节 $=64\text{KB}$ ，8086/8088CPU 的 $N=20$ ，则最大寻址空间 $2^{20}=1\text{MB}$ 。

4. 地址译码电路

凡是“挂”在总线上的部件都被系统分配一个地址域，CPU 访问某部件时，由指令提供被访问部件的地址信息，该地址信息部分或全部经地址译码电路译码后产生一个唯一选通信号（也称片选信号），将被选中的部件“门”打开，使得数据得以传输。

5. 接口

接口是主机与外设连接的必然通路，是必经的“桥梁”。复杂的设备有复杂的接口，简单的设备有简单的接口。即使一个灯，一个开关或按钮与计算机连接也必须通过接口。

每个接口可包含若干个端口，每个端口对应一个端口地址，可由指令按地址访问端口。接口的主要功能有：数据类型的转换、电平的转换与放大、锁存与缓冲、数据的隔离等。

1.1.2 微型计算机的主要性能指标

1. 字长

字是计算机一条指令所能处理的一个基本信息单位。例如：一个数据（25、35.67、-0.0038、…）一个字符（A、a、#、…）等均称为一个字。字长是处理一个基本信息单位所占用的最大二进制位数。例如：51 单片机内部寄存器长度为 8 位，执行一条指令，最多能处理 8 位二进制数，所以 51 单片机字长为 8 位，称为 8 位机，而 8086/8088CPU 内部寄存器为 16 位，所以字长为 16 位，称为 16 位机，依此类推，80386、80486、80586（Pentium）字长均为 32 位，故均称为 32 位机。2001 年新推出的“安腾”（Itanium）为 64 位机。字长是计算机的主要性能指标之一，字长越长的计算机，其运算速度越快，数的表示范围越宽，数据的运算精度越高，机器的整体功能越强。一般情况下，CPU 的内、外数据总线宽度是一致的。但有的 CPU 为了改进运算性能，加宽了 CPU 的内部总线宽度，致使内部字长和对外数据总线宽度不一致。如 Intel 8088/80188 的内部数据总线宽度为 16 位，外部为 8 位。对这类芯片，称为“准 ×× 位”CPU，因此 Intel 8088/80188 被称为“准 16 位”CPU。

2. 存储器容量

存储器容量是衡量微机存储二进制信息量大小的一个重要指标。存储二进制信息的基本单位是位（b）。一般把 8 个二进制位组成的通用基本单元叫做字节（B）。微机中通常以字节为单位表示存储容量，并且将 1024B 简称为 1KB，1024KB 简称为 1MB（兆字节），1024MB 简称为 1GB（吉字节），1024GB 简称为 1TB（太字节）。

存储器容量包括内存容量和外存容量。内存容量又分最大容量和实际装机容量。最大容量由 CPU 的地址总线位数决定，如 8 位 CPU 的地址总线为 16 位，其最大内存容量为 64KB；Pentium 处理器的地址总线为 32 位，其最大内存容量为 4GB，而装机容量则由所用软件环境决定，如现行 PC 系列机，若采用 Windows 环境，则内存必须在 4MB 以上；若采用 Windows 95，则内存必须在 8MB 以上；若采用 Windows 98，则内存必须在 32MB 以上等。

外存容量是指硬盘和光盘等的容量，通常主要指硬盘容量，其大小应根据实际应用的需要来配置。

3. 运算速度

微机的运算速度一般用每秒钟所能执行的指令条数来表示。由于不同类型的指令所需时间长度不同，因而运算速度的计算方法也不同。常用计算方法有：

(1) 根据不同类型的指令出现的频度，乘上不同的系数，求得统计平均值，得到平均运算速度。这时常用 MIPS（millions Of instruction per second，即百万条指令/秒）作单位。

(2) 以执行时间最短的指令（如加法指令）为标准来估算速度。

(3) 直接给出 CPU 的主频和每条指令的执行所需的时钟周期。主频一般以 MHz 为单位。

4. 系统总线

系统总线是连接微机系统各功能部件的公共数据通道，其性能直接关系到微机系统的整体性能。系统总线的性能主要表现为它所支持的数据传送位数和总线工作时钟的频率。数据传送位数越多，总线工作时钟频率越高，则系统总线的信息吞吐率就越高，微机系统的性能就越强。

5. 外设扩展能力

这主要指微机系统配接各种外部设备的可能性、灵活性和适应性。一台微机允许配接多少外部设备，对于系统接口和软件研制都有重大影响。在微机系统中，打印机型号、显示屏分辨率、外存储器容量等，都是外设置置中需要考虑的问题。

6. 软件配置情况

软件是微机系统必不可少的重要组成部分，它配置是否齐全，功能的强弱，是否支持多任务、多用户操作等都是微机硬件系统性能可否得到充分发挥的重要因素。

1.2 数制与编码

1.2.1 数制与数制转换

日常生活中，人们经常要跟数字打交道，其中最常用的是十进制数。进制是“进位计数制”的简称，即如何按进位的原则进行计数的方法。通俗地讲，将多少个1累计在一起然后向高位进一位，就是多少进制。

所谓十进制表示法，就是每累计到10个1后向高位进一位，用0~9这10个数字符号来记录累计的次数。十进制数的表示方法，在其他进制中也是通用的。

1. 数制基础

在介绍计算机中常用数制之前，先了解几个概念。

(1) 基数

数制所使用的数码的个数，称为基数。如十进制的基数为10，二进制的基数为2，十六进制的基数为16，N进制的基数为N。

基数体现了该数中进位和借位的原则：在某一个数位上累计够一个基数时需要向上一位进1；反之，从上一位借1可以在下一位上当一个基数来使用。

按照基数的概念，二进制的基数为2，使用的数字符号为0、1；十六进制的基数为16，用0~9、A、B、C、D、E、F共16个数字符号来表示，A~F相当于十进制中的10~15。

(2) 权

进制中，每一位基数的若干次幂称为权，又称为位权。

在各种计数的形式中，按照自右向左的顺序，习惯上叫做数字的第0位、第1位、……相应的各位的权为 N^0 、 N^1 、……（N为基数）。

因此，即便是在数字符号相同的情况下，在不同位置上其表示的数的大小却不相等。例如，十进制数 555，用到的数字符号都是 5，但第一个数字符号“5”表示 500，第二个数字符号“5”表示 50，第三个数字符号“5”仅表示 5。如果写成每位的权的形式，可以表示为：

$$555=5\times 10^2+5\times 10^1+5\times 10^0=5\times 100+5\times 10+5\times 1$$

任何一种进制数都可以表示为这种按位权展开相加的形式。

为了更明确地表示各种数制，一般在数字后面标注一个特定的字母加以区别。

D：表示十进制数，可以缺省。如 25D 或 25。

H：表示十六进制数，如果十六进制数以字母开头，在字母数字前面加“0”以示区别。如 69H、0ABH。

B：表示二进制数，如 1001B。

2. 数制之间的相互转换

(1) 二进制、十六进制数转换为十进制数

前面提过，任意一个数都可以写成按位权展开相加的形式，如前面提过的十进制数 555。在将二进制、十六进制数转换为十进制数时，不论是整数还是小数，只需按每位的权展开相加就可以了。

$$1001B=1\times 2^3+0\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0=9$$

$$1F7H=1\times 16^2+15\times 16^1+7\times 16^0=503$$

(2) 十进制数转换为二进制、十六进制数

将十进制数转换为二进制数或十六进制数时，要将整数部分和小数部分分别转换，然后再将转换结果加在一起。

① 整数部分的转换

将十进制整数转换为二进制数时，可以用 2 连续除需要转换的十进制数，直到商为 0，再将每次得到的余数逆序排列，得到的即为相应的二进制数。可以将上面的方法归纳成一个口诀：除 2 取余，直到商为 0，余数逆序排列。

若要转换为十六进制数，只需将口诀中的 2 改为 16 即可：除 16 取余，直到商为 0，余数逆序排列。

【例 1-1】将十进制数 28 转换为二进制数。

解：按照转换方法，转换过程如下：

2	28	余数	↑	二进制数的低位
2	14 0		
2	7 0		
2	3 1		
2	1 1		
	0 1		

(28)D=(11100)B

② 小数部分的转换

将十进制小数转换成二进制数或十六进制数，采用的是“乘 2（或乘 16）取整”法。

数据称为无符号数。实际上，除了无符号数，还有带符号的数。另外，计算机还要处理字母、字符和数字编码等。对这些问题的处理需要用到数据编码的概念。

编码是把二进制代码按一定的规律编排，使每组代码具有一定的含义。

在 8 位的计算机中，用一个 8 位的二进制数表示各种数据或信息。如果研究对象为无符号数，则 8 位数字符号都用来表示数值，数的大小范围为：00000000B ~ 11111111B，即 0 ~ 255D。

由于采用二进制数编码机制，计算机只能识别“0”和“1”这两个数字。当数有正负之分时，计算机并不能识别“+”和“-”。此时，需要用“0”和“1”这两个数字符号来表示数据的正负。通常约定为最高位的“0”表示“+”，用“1”表示“-”。

1. 机器数

将数的符号和数值用“0”、“1”的形式表示，称为机器数。带有“+”和“-”的数称为机器数的真值，01010011B 和 11010011B 即为机器数。

2. 原码、反码、补码

在计算机中，有符号数有原码、反码和补码三种表示形式。

若用 X 表示一个有符号数，则以 $(X)_{\text{原}}$ 、 $(X)_{\text{反}}$ 和 $(X)_{\text{补}}$ 表示该数的原码、反码和补码。

(1) 原码

原码是最简单的机器数表示形式。

一个数用原码表示时，最高位用“0”表示“+”，用“1”表示“-”，数值部分仍按二进制数形式表示。

【例 1-3】写出下列各数的原码形式：

$$X1=+1100B \quad X2=-1100B \quad X3=21 \quad X4=-21$$

分析：考虑到 MCS-51 系列单片机是 8 位计算机，机器码一般应表示为 8 位二进制数的形式。题目中给出的数据有 4 位二进制数，也有十进制数，当按题目要求表示为原码形式时，首先应当将题目中的数据表示为 7 位二进制数（给符号留一位），如果数位不足 7 位，应加 0 补齐，然后再写出用 8 位二进制数表示的原码形式。

解： $X1=+1100B$ ， $(X1)_{\text{原}}=00001100B$

$X2=-1100B$ ， $(X2)_{\text{原}}=10001100B$

$X3=21$ ， $X3=+0010101B$ ， $(X3)_{\text{原}}=00010101B$

$X4=-21$ ， $X4=-0010101B$ ， $(X4)_{\text{原}}=10010101B$

原码的性质：

① 8 位带符号数的原码表示范围是 $-127 \sim +127$ 。

② “0”有两个原码： $(+0)_{\text{原}}=00000000B$ ， $(-0)_{\text{原}}=10000000B$ 。

(2) 反码

反码是另一种机器数形式。

正数的反码表示与正数的原码相同。负数的反码形式，符号位用“1”表示，数值位根据原码按位取反，即原来为 0 的变为 1，原来为 1 的变为 0。

【例 1-4】 $X1=+1100B$ ， $(X1)_{\text{反}}=00001100B$

$X2=-1100B$ ， $(X2)_{\text{反}}=11110011B$

$X_3=21$, $X_3=+0010101B$, $(X_3)_{\text{反}}=00010101B$

$X_4=-21$, $X_4=-0010101B$, $(X_4)_{\text{反}}=11101010B$

同理, 可以根据数值的反码形式求出其真值, 但要分为正数和负数两种情况处理。由反码的符号位可以判断数据为正或为负。若为正数, 只需将符号位的“0”用“+”代替, 将数值位按位写出。如果数值为负数, 除了将最高位的“1”用“-”代替, 还需将数值位按位取反后写出。

【例 1-5】 已知 $(X)_{\text{反}}=11101001B$, 求 X 的真值。

解: 由 $(X)_{\text{反}}$ 的符号位为 1 可知, X 为负数, $X=-0010110B$

反码的性质:

① 8 位带符号数的反码表示范围是 $-127 \sim +127$ 。

② “0”的反码表示有两种形式: $(+0)_{\text{反}}=00000000B$, $(-0)_{\text{反}}=11111111B$ 。

(3) 补码

补码也是机器数形式。

正数的补码表示与正数的原码相同; 负数的补码由其反码加 1 得到。

【例 1-6】 设 $X=3$, 求 X 的补码。

解: $X=3$, 即 $X=+0000011B$, 则 $(X)_{\text{补}}=00000011B$

【例 1-7】 设 $X=-3$, 求 X 的补码。

解: $X=-3$, 即 $X=-0000011B$, 则 $(X)_{\text{补}}=11111101B$

根据数值的补码形式求真值时, 如果数值本身为正数, 只需将符号位的“0”用“+”代替, 数值位保持不变写出即可; 而根据负数的补码求其值时, 需对此补码再进行一次求补操作。

【例 1-8】 设已知 $(X_1)_{\text{补}}=01001011B$, $(X_2)_{\text{补}}=10101101B$, 求 X_1 和 X_2 的真值。

解: 由 $(X_1)_{\text{补}}=01001011B$, 可知 X_1 为正数, $X_1=+1001011B$

由 $(X_2)_{\text{补}}=10101101B$, 可知 X_2 为负数, $X_2=-1010011B$

补码的性质:

① “0”的补码形式是唯一的, 即 $00000000B$ 。

② 8 位带符号数的补码表示范围为 $-128 \sim +127$ 。

在计算机的数据编码中引入反码和补码的形式, 是为了将二进制的减法运算转变为加法运算, 这样可以省去减法器, 从而可以大大简化计算机硬件电路。当采用反码或补码并按一定的运算规则运算时, 并不影响运算结果的正确性, 而且符号连同数值位一起参与运算。

3. BCD 码

BCD 码是 Binary Coded Decimal 的简称, 表示二进制编码的十进制数, 即将每一位十进制数用 4 位二进制数表示。设数据为 X, 则其 BCD 码可用符号 $(X)_{\text{BCD}}$ 表示。例如, 十进制数 57 的 BCD 码为 $(01010111)_{\text{BCD}}$ 。

使用 BCD 码既适应了人们使用十进制数的习惯, 又考虑了计算机采用二进制这一特点。在数据的输入输出时, 常采用 BCD 码。

用 4 位二进制数可以表示 16 种状态, 但十进制数只有 $0 \sim 9$ 这 10 个数字符号, 因此

将 1010 ~ 1111 共 6 种状态舍去，用余下的 10 种状态一一对应表示 0 ~ 9。

【例 1-9】将 3427 表示为 BCD 码形式。

$$\begin{array}{cccc} \underline{3} & \underline{4} & \underline{2} & \underline{7} \\ 0011 & 0100 & 0010 & 0111 \\ 3427 = (0011010000100111)_{\text{BCD}} \end{array}$$

一般情况下，BCD 码与二进制数之间相互转换要先转换为十进制数。

虽然 BCD 码是二进制数的形式，它实际上表示的是十进制数，因此运算规则应当是“逢十进一”。但计算机并不能识别“BCI”这个标志符号，因此运算器仍然按照二进制数的规则进行运算，结果就会出错。为此，计算机执行 BCD 码运算时，需要对计算结果进行调整。

【例 1-10】计算 45+32 的值。

解：45 = (01000101)_{BCD}，32 = (00110010)_{BCD}

将数据送入计算机后，先进行二进制运算，然后进行调整。过程如下：

$$\begin{array}{r} \text{高 4 位} \quad \text{低 4 位} \\ 0100 \quad 0101 \\ + 0011 \quad 0010 \\ \hline 0111 \quad 0111 \\ (01110111)_{\text{BCD}} = 77 \end{array}$$

【例 1-11】计算 58+64 的值。

解：58 = (01011000)_{BCD}，64 = (01100100)_{BCD}

$$\begin{array}{r} \text{高 4 位} \quad \text{低 4 位} \\ 0101 \quad 1000 \\ + 0110 \quad 0100 \\ \hline 1011 \quad 1100 \end{array}$$

在 0 ~ 9 的 BCD 代码中，并没有“1011”和“1100”，显然结果是错误的。这是因为计算机将输入的 BCD 码识别为二进制数，按照二进制数的规则进行了运算。这种情况下，要对运算结果进行调整。

调整方法为：将结果中大于 9 的数位加 6 调整。

例如上题中，个位和十位的运算结果都超出了 0 ~ 9 的表示范围，需加 6 调整。

$$\begin{array}{r} 1011 \quad 1100 \\ + 0110 \quad 0110 \\ \hline \underline{0001} \quad \underline{0010} \quad \underline{0010} \\ 1 \quad 2 \quad 2 \\ (000100100010)_{\text{BCD}} = 122 \end{array}$$

【例 1-12】计算 88+89 的值。

解：88 = (10001000)_{BCD}，89 = (10001001)_{BCD}

$$\begin{array}{r} \text{高 4 位} \quad \text{低 4 位} \\ 1000 \quad 1000 \\ + 1000 \quad 1001 \\ \hline 1 \quad 0001 \quad 0001 \end{array}$$

从计算过程可知结果是 111 而不是 177，原因是以四位二进制位为一组向前产生了进位，但进的 1 是当做 16，而不是当做 10 的，即 16 与 10 相差 6，所以应把多带走的 6 追回来。这种情况下，也要对运算结果进行调整。

调整方法为：以四位二进制数为一组，每向前产生一次进位，需加 6 调整。

例如上题中，个位和十位的运算结果都向前产生了进位，需加 6 调整。

$$\begin{array}{r}
 0001 \quad 0001 \quad 0001 \\
 + \quad 0110 \quad 0110 \\
 \hline
 0001 \quad 0111 \quad 0111 \\
 \hline
 1 \quad 7 \quad 7 \\
 (000101110111)_{\text{BCD}} = 177
 \end{array}$$

4. ASCII 码

计算机中常用的另一种编码是 ASCII 码，它是美国标准信息交换代码的缩写。

ASCII 码用 7 位二进制数表示数字、字母和符号，共 128 个。包括 26 个英文大、小写字母，0~9 共 10 个数字，一些专用符号及控制符等可打印的字符。

1.3 单片微型计算机

单片微型计算机是微型计算机的一个重要分支，也是一种非常活跃且颇具生命力的机种。单片微型机简称单片机，特别适用于控制领域，故又称为微控制器（Microcontroller）。

通常，单片机由单块集成电路芯片构成，内部包含有计算机的基本功能部件：CPU（Central Processing Unit，中央处理器）、存储器和 I/O 接口电路等。因此，单片机只需要与适当的软件及外部设备相结合，便可成为一个单片机控制系统。

1.3.1 单片机的内部结构

与单片机相比，微型计算机是一种多片机系统。微型计算机是由中央处理器（CPU）芯片、ROM 芯片、RAM 芯片和 I/O 接口芯片等通过印刷电路板上总线（地址总线 AB、数据总线 DB 和控制总线 CB）连成一体的完整计算机系统。其中，中央处理器（CPU）的字长长，功能强大；ROM 和 RAM 的容量很大；I/O 接口的功能也大，这是单片机无法比拟的。因此，单片机在结构上与微型计算机十分相似，是一种集微型计算机主要功能部件于同一块芯片上的微型计算机，并由此而得名。单片机内部结构如图 1-4 所示。

由图 1-4 可见，中央处理器（CPU）是通过内部总线与 ROM、RAM、I/O 接口以及定时器 / 计数器相连的，这个结构并不复杂，但并不好理解。为此，在分析单片机工作原理前，先对图 1-4 中各部件作一基本介绍是十分必要的。