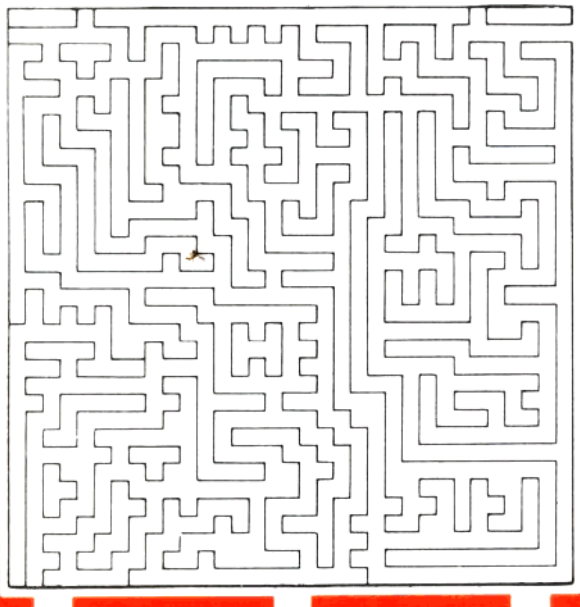


DANPIANWEIXINGJISHUANJI
YUANLIHEYINGYONG

单片微型计算机原理和应用

蔡菲娜　主编　陈梓城　主审

浙江大学出版社

前　言

单片机是微型计算机发展的一个重要分支。单片机自问世以来，就以其小而全的控制系统，较强的抗干扰能力，极高的性能价格比，展示了其强大的生命力。它的出现，给工业自动化控制、智能测量仪表、邮电通讯、家用电器等许多方面提供了广阔的应用前景。同时，它也给传统的电子、机电产品的开发和设计，注入了全新的设计方法。可以这样说，它是继电子管、晶体管、集成电路之后的又一新的发展。因此，开设并加强单片机课程的教学，已成为广大电子类、机电类科技工作者以及大、中专学生愈来愈迫切的要求。

由于单片机涉及到微型计算机、数字电路等基础知识，不少初学者感到入门比较困难，因此本书在学习起点、体系结构、难点分散以及联系实际应用等方面作了精心的安排。本书具有以下特点：

1. 不要求读者具备专门的计算机专业基础知识，只要求具有一定的数字电路知识，就能学习及掌握本书的基本内容。

2. 本书的体系结构是针对初学者的需要而安排的，采用难点分散、深入浅出的方法，逐步引出新概念，逐步上台阶，使初学者学起来并不感到困难。作者通过多年的教学实践，证明这样的体系结构减少了初学者学习上的困难，取得了良好的教学效果。

3. 由于单片机这一课程是集硬件、软件设计于一体的一门综合性计算机课程，而学习的目的又着重于应用，因此在汇编语言设计中，列举的例子比较注重实际应用，对于应用较多的硬件接口作了较详细的分析。书中的某些软、硬件设计取自于作者近年来的科研成果以及实际的产品开发。

4. 本书选用的单片机机种是目前在我国广为流行的 8051 和 8098 单片机。前九章系统介绍 8051 单片机的硬件结构、汇编语言设计以及系统扩展和接口电路设计，旨在使初学者能全面掌握 8051 单片机的原理以及应用系统的设计方法；在第十章中对 INTEL 公司 1988 年推出的准十六位 8098 单片机作了介绍，目的在于拓展读者学习的视野，对单片机的原理及应用有一个更全面、更深刻的了解，并为今后接触新的单片机打下扎实基础。

本书是按照中国船舶工业总公司中等专业学校“计算机应用基础、微机原理及应用教材研讨会”的会议精神定稿的。其中渤海船舶工业学校蒋钦参加了第一、二、五、八章的编写，武汉船舶工业学校刘继清参加了第三、四章的编写，其余各章的编写及书中插图的绘制由杭州船舶工业学校蔡菲娜完成，同时全书由蔡菲娜担任主编。九江船舶工业学校的陈梓城任主审，他对本书提出了许多宝贵意见。另外，九江船校的李圣良对部分程序作了验证，谨在此表示诚挚的感谢。

本书是针对中等专业学校电子类、机电类、计算机类学生编写的，也可供大、中专其他专业学生及广大科技工作者参考。

编　者

1995 年 10 月

目　录

□第一章

微型计算机基础知识

计算机是微电子学与计算数学相结合的产物。微电子学的基本元件及其集成电路形成计算机的硬件基础，而计算数学的计算方法与数据结构则为计算机的软件基础。电子计算机最基本的功能是进行数据运算。在电子计算机中，数字和符号都是用电子元件的不同状态表示的。由于计算机的这个特点，提出了一系列的问题：对参与运算的数有哪些要求？它们是如何表示的？计算机中数的表示法与常用的数的表示法有什么关系？本章中的叙述，将逐个回答这些问题。

第一节　计算机中的数制和码制

1.1.1　十进制数

人们最常用的数制是十进制，它是由 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个不同的符号来表示数值的，这十个符号就是数字。我们常用的十进制是采用位置记数法数制，也就是每个数字的位置决定了它的值或者权。例如数 212.48 的小数点左边第一位 2 代表个位，其数值为 2×10^0；左边第二位 1 代表十位，其数值为 1×10^1；左边第三位 2 代表百位，其数值为 2×10^2；小数点右边第一位 4 代表 1/10 位，即表示 4×10^{-1}；小数点右边第二位 8 代表 1/100 位，即表示 8×10^{-2}。从以上分析可以看出，同样的数字在不同的位置代表的值或权是不一样的。数 212.48 按权展开为：

$$212.48=2\times10^2+1\times10^1+2\times10^0+4\times10^{-1}+8\times10^{-2}$$

采用位置记数法的数制有三个重要特征：

1. 数码的个数等于基数。如十进制的基数是 10，它有十个不同的数码 0～9。

2. 最大的数码比基数小 1。

3. 每个数位有一定的位值——“权”，它是基数的某次幂，该幂次由每个数所在的位置决定。

我们所说的十进制计数方式，本质上讲就是每位计满十，向高位进一，即“逢十进一”。

1.1.2　二进制数

在日常生活中用十进制计数，并非天经地义的事，只不过是为了表示数的方便。众所周知，人有十个手指头。同样，在计算机中，为了表示数方便，采用二进制计数法。按照位置记数法的三个特点，在二进制中有：

1. 数码的个数等于基数 2，即只有二个数码 0、1。

2. 最大的数码是 1。

3. 每个数位有一定的位置——“权”，它是基数 2 的某次幂，如二进制数 1011.11 按权展开有：

$1011.11=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}$

二进制计数方式，本质上讲就是每位计满 2 时，向高位进一，即“逢二进一”。

十进制和二进制的共同特点是进位，前者是“逢十进一”，后者是“逢二进一”。十进制数的小数点向右移一位，数值就扩大十倍；小数点向左移一位，数值就缩小十倍。同样，二进制数，小数点向右移一位，数就扩大 2 倍；小数点向左移一位，数就缩小 2 倍。判断十进制数是奇数还是偶数，只要看个位就行了。二进制数也有类似性质，若个位数是 1，则该数为奇数，若个位数是 0，则该数为偶数。如 01、11 等是奇数，10、100 等是偶数。

二进制的很大一个优点，就是它的每个数位都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示。例如，开关的闭合和断开，晶体管的截止与导通等。只要我们规定一种状态表示“1”，另一种状态就表示“0”。

还值得指出的是：采用二进制可以节约存贮设备。例如，表示 0～999 之间的 1000 个数，十进制用了 3 位，共需 3×10＝30 个稳定状态的设备量，而用二进制数表示时，则用 10 位（实际上 $2^{10}=1024$ 个数），只需 2×10＝20 个稳定状态的设备量。

此外，采用二进制，可以使用逻辑代数这一数学工具，为计算机的设计和分析提供了方便。

1.1.3 十六进制数

十六进制的基数为“十六”，其数码共有十六个：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。十六进制的权是以 16 为底的幂。

用十六进制可以简化二进制数的书写，又便于记忆。例如：

1000B＝8H

1111B＝FH

11111001B＝F9H

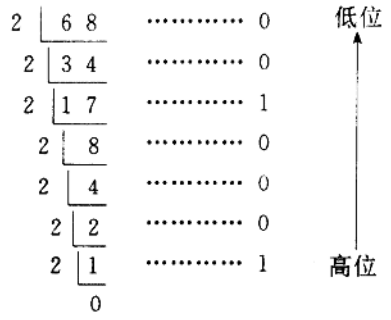
在计算机文献资料中常用数字符号加字母后缀 B、H、D 等表示采用何种进位计数制。如 101B 表示 101 是二进制数，88H 表示 88 是十六进制数，88D(D 可省略)表示 88 是十进制数，请注意区别。

1.1.4 数制之间的转换

由于我们习惯用十进制数，在研究问题的过程中，总是用十进制数来考虑和书写。当考虑成熟后，要把问题变成计算机能够“看得懂”的形式时，就得把问题中的所有十进制数转换成二进制代码，这就需要用到“十进制数转换成二进制数的方法”。在计算机运算完毕得到二进制数的结果时，又需要用到“二进制数转换为十进制数的方法”，才能把运算结果用十进制数显示出来。

一、十进制转换成二进制数的方法

一个十进制数转换成二进制数时，通常采用“除 2 取余”的方法得到。即：将十进制数一次一次地除 2，所得到的余数（书写顺序由下至上）就是用二进制数表示的数。例如将 68D 转换成二进制数：



结果 68D＝1000100B

表 1-1　几种进位制对照表

十进制	二进制	十六进制
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000(2^4)	10
32	100000(2^5)	20
64	1000000(2^6)	40
128	10000000(2^7)	80
256	100000000(2^8)	100
512	1000000000(2^9)	200
1024	10000000000(2^{10})	400

二、二进制转换成十进制数

根据定义，只需将二进制数按权展开相加即可。例如：

$1011B=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0=11D$

三、二进制与十六进制数之间的转换

十六进制的数码有十六个。二进制数的每四位数，有十六种组合，可将它按次序和十六进制的十六个数码相对应，所以二进制数和十六进制数的互换非常简单。例如

1010 1101 1000 0101 B

↓ ↓ ↓ ↓

A D 8 5 H

反过来，就可以将十六进制数转换成二进制数，例如

F 9 A H

↓ ↓ ↓

1111 1001 1010 B

1.1.5 BCD 码

二进制数在计算机中容易实现，其运算规律也比较简单，因此在计算机中一般都采用二进制数字系统。但对于人们的习惯来讲，二进制数毕竟不怎么直观，因此，对于计算机的输入和输出，通常采用一种二进制编码的十进制数——BCD 码，它是十进制数，但它的十个不同的数字不是通常用的 0，1，2，…，9，而是采用 4 位二进制编码来实现，最常用的有 8-4-2-1 码，即用 0000，0001，0011，……，1001 等表示。例如 86D 的 BCD 码为 10000110。

1.1.6 ASCII 码

在微型计算机中，机器只能识别处理二进制信息，因此，字母和各种符号也必须按照某种特定的规则用二进制代码表示。目前，世界上最普遍采用的是 ASCII 码，全称为“信息交换标准代码”，这种编码在数据传输中也有广泛应用。

ASCII 码是一种 8 位代码，一般最高位可用于奇偶校验，故用 7 位码来代表字符信息，共有 128 个不同的字符。其中 32 个是控制字符，如 NUL（代码是 00）为空白符，CR（代码是 0DH）为回车。96 个图形字符，如数字 0～9 的 ASCII 码为 30H～39H，字母 A～Z 的 ASCII 码为 41H～5AH。ASCII 码详见附录一。

我国于 1980 年制订了“信息处理交换用的 7 位编码字符集”，除了用人民币符号￥代替美元符号 $ 外，其余代码含义都和 ASCII 码相同。

第二节　计算机中数的运算

1.2.1 机器数的表示方法

一、机器数和真值

在计算机中，二进制数码 1 和 0 是用电子元件的两种不同的状态来表示，对于一个数的符号，即正、负号，也用电子元件的两种不同状态表示。因此在计算机中符号也“数码化”了。一般约定正数的符号用 0 表示，负数的符号用 1 表示。例如：

$N_1=+1011$；$N_2=-1011$

如果用一个字节（即 8 位二进制数）来表示上述二个数，它们在计算机中的表示分别为：00001011 和 10001011，其中最高位表示符号位。

以 0 表示正数的符号，以 1 表示负数的符号，并且每一位的数值也用 0 或 1 表示，这样的数叫机器数，有时也叫机器码，而把对应于该机器数或机器码的数值叫真值。

二、原码表示方法

正数的符号位用 0 表示，负数的符号位用 1 表示，这种表示法称为原码表示法。例如

$[+120]_{原}=01111000$

$[-120]_{原}=11111000$

对于零，可以认为它是正零，也可以认为它是负零，所以零的原码有两种表示方法：

$[+0]_{原}=00000000$

$[-0]_{原}=10000000$

八位二进制原码表示数的范围为 11111111～01111111，即－127～＋127。

三、反码表示方法

在反码表示方法中，正数的反码与正数的原码相同，负数的反码由它对应正数的原码按位取反得到。例如：

$[+120]_{原}=[+120]_{原}=01111000$

$[-120]_{反}=\overline{[+120]_{原}}=\overline{01111000}=10000111$

零的反码有两种表示方式，即

$[+0]_{反}=00000000$

$[-0]_{反}=11111111$

八位二进制反码表示数的范围为－127～＋127。当符号位为 0 时，其余位为数的真值，当符号位为 1 时，其余位按位取反后才是该数的真值。

四、补码表示方法

先以钟表对时为例，说明补码的概念。假设现在的标准时间为 4 点整，而有一只表却已是 7 点，为了校准时间，可以采用两种方法：一是将时针退 3 格，即 7－3＝4，一是将时针向前拨 9 格，即 7＋9＝12(自动丢失)＋4，都能对准到 4 点。可见，减 3 和加 9 是等价的，我们把(＋9)称为(－3)对 12 的补码，12 为模，当数值大于模 12 时可以丢弃 12。

在字长为 8 位的二进制数字系统中，模为 $2^8=256D$。先考查下例：

01000000	64
－00001010	－10
00110110	54
01000000	64
＋11110110	＋246
1 00110110	54
丢失	

可见在字长为 8 位的情况下(64－10)与(64＋246)的结果是相同的，所以(－10)和 246 互为补数。采用补码表示数，可将减法运算转换成加法运算。现在我们看一看(－10)的补码 11110110 是怎样求得的。

正数的补码表示与原码相同，而负数的补码表示即为它的反码加 1 形式。如：

$[+4]_{原}=00000100$

$[-4]_{反}=11111011$

$[-4]_{补}=11111100$

又如：

$[+10]_{原}=00001010$

$[-10]_{反}=11110101$

$[-10]_{补}=11110110$

在补码表示法中，零的补码只有一种表示法，即$[0]_{补}=00000000$。对于八位二进制数而言，补码能表示的数的范围为$-128\sim+127$。当符号位为0时，其余位为数的真值；当符号位为1时，其余位按位取反再加1后才是数的真值。

1.2.2 补码的加减运算

当用补码表示数时，可用加法完成减法运算，因此带符号数一般都以补码形式在机器中存放和参加运算。

补码的加法公式是：

$$[X]_{补}+[Y]_{补}=[X+Y]_{补}$$

例1.1 用补码运算求120－63。

解：$[+120]_{补}=01111000$

$[+63]_{原}=00111111$

$[-63]_{补}=11000001$

做加法

$$\begin{array}{r} 01111000 \\ +11000001 \\ \hline 1\ 00111001 \end{array}$$

丢失

相加结果为正数，即为57D。

例1.2 用补码运算求64＋65。

解：$[64]_{补}=01000000$

$[65]_{补}=01000001$

做加法：

$01000000+01000001=10000001$

此时二个正数相加，其结果为负数，产生了错误的结果。这是因为：二个正数相加的结果超出了8位二进制数的范围，故产生了错误的结果。这种情况称为溢出。一般而言，若两正数相加，其结果为负数或二个负数相加其结果为正数，都表明产生了溢出。

上例若采用16位的补码来运算，即可得出正确的结果：

$[64]_{补}=0000000001000000$

$[65]_{补}=0000000001000001$

$[64]_{补}+[65]_{补}=0000000010000001$

第三节 微型计算机基本工作原理

微型计算机是计算机的微型化，它是由微处理器（也称中央处理器CPU）、存贮器（RAM、ROM）和输入/输出（I/O）接口电路三个最基本部件所组成，如图1-1所示，通过接口电路再与外围设备相连。

各基本部件通过总线交换信息。所谓总线是信息流通的公共通道，总线上的信息可以同时输送给几个部件，但不允许几个信息同时输送给总线，否则将产生信息冲突。

总线包括数据总线、控制总线和地址总线。数据总线用来 CPU、存贮器、输入/输出接口之间传送数据，如从存贮器取数到 CPU，把运算结果从 CPU 送到外部设备等。数据总线是双向的。控制总线可以是 CPU 发出的控制信号，也可以是其它部件输入到微处理器的信息，对于每一条控制线，其传送方向是固定的。地址总线用来传输 CPU 发出的地址信息，以选择需要访问的存贮器和 I/O 接口电路。地址总线是单向的，只能是 CPU 向外传送地址信息。微机采用上述三组总线的连接方式，常被称为三总线结构。

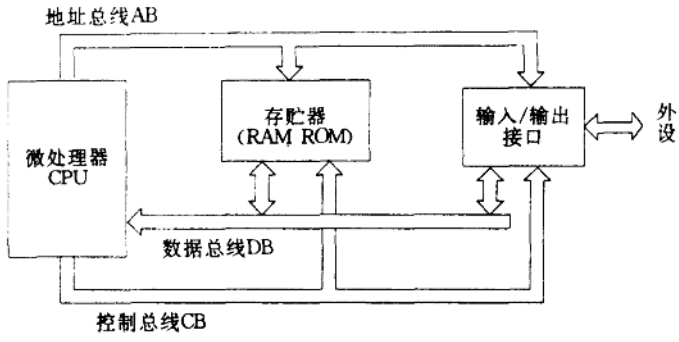


图1-1　微型计算机基本组成

1.3.1　微处理器

典型的微处理器(CPU)结构如图 1-2 所示。我们可以把它分为三大部分：算术逻辑运算部件、控制逻辑部件和寄存器部件，它们都挂在内部总线上，现分别叙述如下：

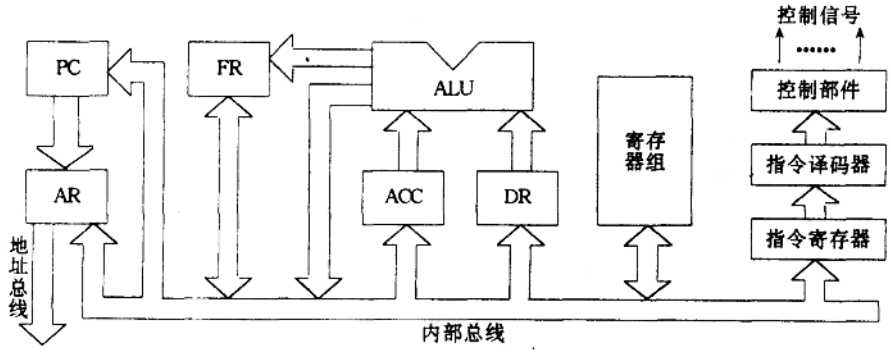


图 1-2　微处理器的基本结构

1. 算术逻辑部件 ALU

算术逻辑单元 ALU 是微机执行算术和逻辑运算的主要部件，是运算器的主要组成部件。它的基本组成是一个可控的加法/减法器。ALU 有两个输入端和两个输出端。一个输入端与累加器 A 相连，另一个与数据寄存器 DR 相连。参加运算的数都要先送到这二个寄存器中，然后才能由 CPU 实行相应的操作。ALU 的一个输出端与内部总线相连，以便把处理的结果通过总线送到累加器 A 中，另一个输出端与标志寄存器 FR 相连，以存放运算结果的某些标志状态。每执行完一条指令的状态特征，也可以由标志寄存器 FR 来表征。

2. 累加器 A

累加器 A 是微机中的一个关键寄存器，凡是通过 ALU 进行算术/逻辑运算的操作，其中的一个操作数必须来自累加器 A，而运算的结果也必须通过内部总线送回到 A 中。有的微处理器只有一个累加器(如 8051)，而有的微处理器不止一个累加器(如 8098)。

3. 标志寄存器 FR

标志寄存器 FR 用于保存计算机执行完一条指令后，某些状态标志的有关信息。特别是进行了算术/逻辑运算以后，某些状态标志就会产生变化，例如，运算结果产生了进位/借位，或者产生了溢出，这些状态标志都保存在标志寄存器 FR 中。不同型号的微处理器标志位的数目及具体规定都不相同。例如 8051 单片机的标志位寄存器的名字叫程序状态字寄存器 PSW，共有六位状态标志，以后我们会详细介绍。

4. 寄存器组

微处理器的寄存器组一般分为二部分，即通用寄存器或称数据寄存器，以及专用寄存器。通用寄存器相当于 CPU 内部小容量的存贮器，用来暂时存放一些数据。由于寄存器在 CPU 内部，因而数据之间传送速度比较快，对于这部分寄存器的分布及作用应有一定的认识，一方面通过充分利用这些通用寄存器，可以提高运算速度，另一方面，也可简化程序设计。专用寄存器也叫特殊功能寄存器，每一种寄存器都有专门的用途，如标志寄存器 FR 就是一种特殊功能寄存器，其它还有累加器 A、堆栈指示器 SP 等等。

5. 程序计数器 PC

程序计数器 PC 用来存放下一条将要执行的指令地址。程序中的各条指令都存放在程序存贮器中，需要执行某条指令时，该指令的地址就从 PC 计数器送到地址总线，指令执行完毕后，PC 计数器自动加 1，指向下一条将要执行的指令地址。程序除了顺序执行外，也可作一定范围的跳转，这时 PC 计数器的内容就根据转移地址作较大范围的改变。

6. 指令寄存器、指令译码器、控制信号发生器

指令寄存器接收从程序存贮器取来的指令，并在整个指令执行过程中加以保存。指令译码器对指令进行译码，不同的指令产生不同的控制信号，送到控制信号发生器。控制信号发生器根据指令译码器送出的电平信号和时钟脉冲信号组合，形成各种按一定节拍变化的电平和脉冲，即各种控制信号，它可以被送到存贮器、运算器或 I/O 接口电路。

这部分电路的定时功能是由晶体振荡器产生的时钟脉冲控制的，一般每执行一条指令需要几个甚至几十个时钟周期。

1.3.2 存贮器

存贮器分为两大类：只读存贮器(ROM)和随机存取存贮器(RAM)。只读存贮器在程序执行过程中只能读出里面的信息，而不能写入新的内容。随机存取存贮器不但能随时读取已存放在各个存贮单元中的数据，而且还能随时写入新的信息。

存贮芯片内部有若干存贮单元，存贮单元所存内容称为一个字。一个字由若干位组成。8 个记忆元件的存贮单元就是一个 8 位记忆字，通常称为一个字节；16 个记忆单元组成的存贮单元就是一个 16 位记忆字，通常称为一个字。每个存贮单元都有固定地址，在存贮器内部都带有译码器，根据二进制编码译码的原理，n 根地址线可以译成 2^n 个地址号。

图 1-3 示出一个 16×8 的存贮器，它有 16 个存贮单元，每个单元为一个字节，有四条地址线 A_0、A_1、A_2、A_3 和八条数据线 D_0、D_1、…、D_7。经地址线译码后，这 16 个存贮单元对

应的地址分别是 0000、0001、0010、……、1111。

顺便提一句，当地址线为 10 条时，可编的地址号为 $2^{10}=1024$ 个，或称为 1k 字节。

1.3.3 I/O 设备

输入/输出设备是计算机与外界交换信息的设备。因此输入和输出设备是微机系统的重要组成部分。程序、数据和现场采集到的各种信息都要通过输入设备输入到计算机。而计算结果和各种控制信号则都要输出到各种输出装置，以便去显示、打印和实现各种控制。

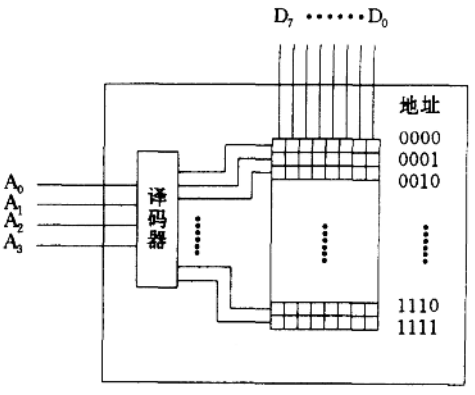


图1-3 16×8存贮单元

外部设备通过接口电路与微机相连。接口电路的作用是：把外部设备送给微型机的信息转换成与微型机相容的格式，还要经常把外部设备的状态提供给微型机，并协调微型机与外部设备之间在“时间”上所存在的差异。此外，有的接口电路还要起到电平转换的作用。

1.3.4 微机简单工作过程

微机简单工作过程可以概括为：

1. 按程序计数器 PC 的内容，将指定的存贮地址放在地址总线上；
2. 通过数据总线从存贮器中取出指令，并且对指令译码；
3. 按指令中给出的地址码，取出操作数；
4. 执行指令所规定的操作；
5. 提供表示状态的标志信号、控制信号及定时信号，以供微机系统使用；
6. 有实时中断处理的能力。

弄清指令执行的全过程，可以更具体理解计算机的工作原理。下面我们以“将立即数送入累加器 A”这样一条指令为例，来说明指令执行的全过程。

该指令由二个字节组成，假定指令存放在程序存贮器地址为 00H、01H 两个单元中，其中 00H 单元存操作码（计算机完成一种操作），01H 存放操作数（送累加器 A 的立即数）。在指令执行前，将第一条指令地址赋给 PC，然后进入取指和执行指令过程，具体分两步进行：

一、取出并执行指令第一字节过程

1. PC 的内容 00H 送给地址寄存器，待可靠送入后，PC 的内容加 1，为取下一条指令作准备。

2. 地址寄存器将地址号 00H 送存贮器，经存贮器中地址译码器译码后，选中 00H 号存贮单元。

3. CPU 发出读命令，所选中 00H 号内容通过数据总线送至数据寄存器。

4. 由于是取指阶段，取出的是指令，故由数据寄存器送往指令寄存器，经指令译码器