

## 第 1 章 MCS-51 单片机基础知识

## 1.1 MCS-51 单片机的内部结构

## 1.1.1 MCS-51 单片机概述

## 1. 单片机的概念

单片机是将微处理器、存储器及各种输入/输出接口集成在一块硅片上的芯片，专门用于检测控制领域的微型计算机，因此单片机也称单片微型计算机（Single Chip Microcomputer, SCM）。它不是完成某一个逻辑功能的芯片，而是把一个计算机系统集成到一个芯片上。概括地讲，一块芯片就构成了一台计算机。

目前单片机以其独特的结构和性能，被广泛应用于工业、农业、通信、网络、国防，以及人们的日常生活和工作等领域。

## 2. 单片机的特点和应用

单片机的特点：

- (1) 体积小、质量小、性价比高、灵活性强；
- (2) 功能齐全、可靠性高、实时性强、抗干扰能力强，可用于实现各种方式的检测和控制；
- (3) 单片机技术发展迅速、品种齐全，应用前景广阔；
- (4) 单片机结构简单，技术成熟，容易掌握，设计周期短，因此是各类电子工程师首选的微控制器。

目前单片机主要应用于以下几个方面：

- (1) 家用电器。

单片机被广泛应用于家用电器的自动控制系统中，如洗衣机、空调、冰箱、电视机、微波炉、电饭煲、电热水器等。随着单片机的进一步发展，家用电器的性能逐步提高，而生产成本和销售价格却在不断降低。

#### (2) 仪器仪表。

单片机因其体积小、功耗低等特点，被广泛应用于各类仪器仪表中，如智能电度表、智能医疗仪器、智能流量计、智能电压电流测试仪等。单片机的使用，大大提升了仪器仪表的功能和可靠性，而单片机技术的发展，使仪器仪表步入了智能化和微型化的行列。

#### (3) 工业控制。

单片机可以用于各种工业测控系统和数据采集系统，如数控机床、汽车安全技术检测系统、报警系统、自动化生产线等。

#### (4) 网络和通信。

许多单片机配有的通信接口，可方便地进行多机通信，也可方便地组成网络系统，如各种网络机顶盒、路由器等，还可以组成专用通信系统，如列车无线通信系统、自动呼叫应答系统等。

### 3. 8051 单片机的内部结构

我们常说的 51 系列单片机，即以 MCS-51 为内核扩展出来的单片机，目前仍是国内外应用较为普遍的单片机，其内部结构较为简单，适合初学者学习。本书以典型 8051 单片机为例介绍 51 系列单片机的内部结构。

8051 单片机在一块芯片上集成了 CPU、程序存储器、数据存储器、特殊功能寄存器、4 个 8 位并行 I/O 端口、1 个可编程全双工串行端口、2 个 16 位定时/计数器、5 个中断源、1 个片内振荡与定时电路，其内部结构如图 1-1 所示。

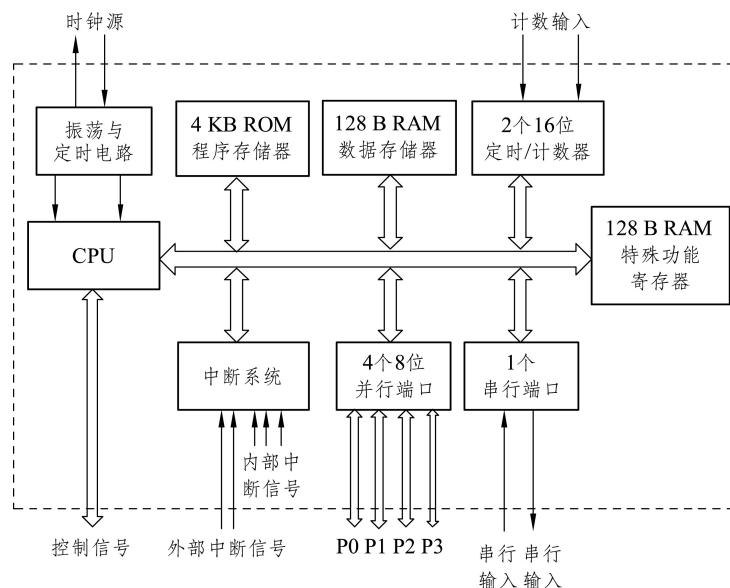


图 1-1 单片机内部结构

### 1) CPU

CPU 是单片机的核心部件,由运算器和控制器等部件组成,主要完成运算和控制功能。运算器以算数逻辑单元(ALU)为核心,由 8 位累加器、8 位暂存器、寄存器、程序状态寄存器(PSW)等部件组成,用于完成各种算数和逻辑运算。控制器则是 CPU 的大脑中枢,是单片机的指挥控制部件,由程序计数器(PC)、指令寄存器(IR)、指令译码器(ID)以及定时与控制电路等部件组成,用于控制单片机各部件协调工作,完成指令所规定的功能。

### 2) 内部程序存储器

内部共有 4 KB 的 Flash 程序存储器,用于存放程序、原始数据或表格常数。

### 3) 内部数据存储器

内部共有 256 B 的数据存储器,其中高 128 B 被特殊功能寄存器占用,只有低 128 B 才能作为寄存器供用户使用,用于存放可读写的的数据。

### 4) 定时/计数器

内部共有 2 个 16 位的定时/计数器,每个定时/计数器可独立设置成定时或计数功能。

### 5) 并行 I/O 口

共有 4 个 8 位的 I/O 口(P0、P1、P2、P3),可实现数据的并行输入/输出。

### 6) 串行口

有一个全双工的串行接口,用于实现单片机和其他设备之间的串行数据传送。

### 7) 中断系统

共有 5 个中断源,包括 2 个外部中断、2 个定时/计数器中断和 1 个串行口中断,用于满足控制应用的需要。

### 8) 时钟电路

内部有时钟电路,但需要外接石英晶体和微调电容,为单片机产生时钟脉冲序列。晶振频率通常选择 6 MHz、12 MHz 或 11.059 2 MHz。

## 1.1.2 MCS-51 单片机的引脚功能

AT89C51 的封装形式有 PDIP(塑料双列直插式封装)、TQFP(薄塑封四角扁平封装)、PLCC(有引线芯片载体封装)等。现以 PDIP 为例,简单介绍 ST89C51 各个引脚的功能,其外形、引脚排列如图 1-2 所示。

AT89C51 单片机的引脚大致可分为 4 类:电源引脚、时钟引脚、控制引脚和 I/O 引脚。

### 1. 电源引脚

(1) VCC(40):接 +5 V 电源。

(2) VSS (20): 接地端。

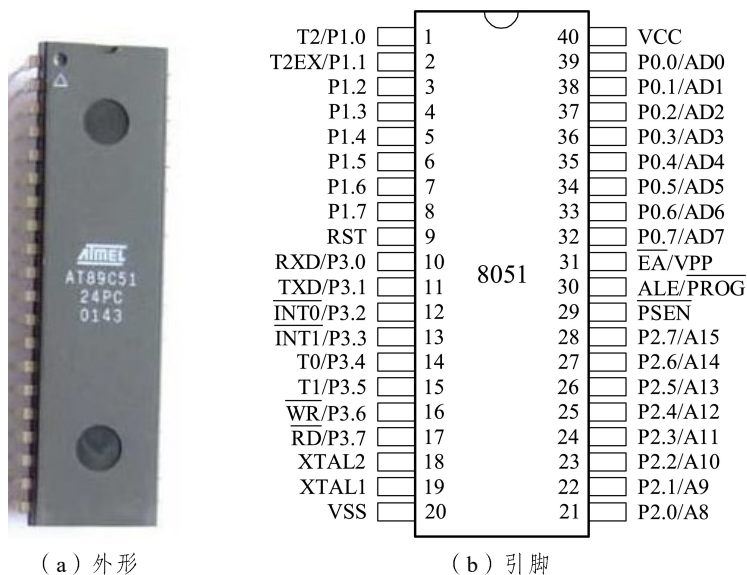


图 1-2 AT89C51 单片机

## 2. 时钟引脚

(1) XTAL1 (19): 内部晶体振荡电路反相放大器的输入端。当使用片内振荡器时, 该引脚需要外接石英晶体和微调电容; 当使用外部时钟源时, 该引脚接外部时钟振荡器的信号。

(2) XTAL2 (18): 内部晶体振荡电路反相放大器的输出端。当使用片内振荡器时, 该引脚需要外接石英晶体和微调电容; 当使用外部时钟源时, 该引脚接悬空。

## 3. 控制引脚

(1) RST (9): 复位信号输入端。当输入的复位信号持续 2 个周期以上的高电平信号时, 将使单片机复位, 用以完成单片机的复位初始化工作。单片机正常工作时, 该引脚为低电平。

(2)  $\overline{\text{PSEN}}$  (29): 外部程序存储器读选通信号, 低电平有效。

(3) ALE/PROG (30): 地址锁存信号。在进行系统扩展时, ALE 用来锁存 P0 口送出的低 8 位地址, 以实现低 8 位地址和数据的隔离。在对片内程序存储器进行编程时,  $\overline{\text{PROG}}$  可作为编程脉冲输入端。

(4)  $\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$  (31): 内部程序存储器和外部程序存储器选择端。当  $\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$  为高电平信号时, 访问内部程序存储器; 当  $\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$  为低电平信号时, 则访问外部程序存储器。

在 Flash 编程时，该引脚接入编程电压。

#### 4. I/O 引脚

8051 共有 4 个 8 位并行 I/O 端口 (P0、P1、P2、P3)，共 32 个引脚。

(1) P0 口：P0.0 ~ P0.7 引脚，8 位漏极开路型双向 I/O 口。当作为通用 I/O 口使用时，需外加上拉电阻，为准双向口；当扩展单片机片外存储器或 I/O 接口芯片时，可分时复用作为数据线/低 8 位地址线，为双向口。

(2) P1 口：P1.0 ~ P1.7 引脚，一个带有内部上拉电阻的 8 位准双向 I/O 口。

(3) P2 口：P2.0 ~ P2.7 引脚，一个带有内部上拉电阻的 8 位准双向 I/O 口；当扩展单片机片外存储器或 I/O 接口芯片时，该端口还可分时复用作为高 8 位地址线。

(4) P3 口：P3.0 ~ P3.7 引脚，作为通用 I/O 口使用，具有内部上拉电阻。该端口还具备第二功能，见表 1-1。

表 1-1 P3 口的第二功能

引脚	第二功能	说明
P3.0	RXD	串行数据接收端
P3.1	TXD	串行数据发送端
P3.2	INT0	外部中断 0 请求输入端
P3.3	INT1	外部中断 1 请求输入端
P3.4	T0	定时/计数器 0 计数脉冲输入端
P3.5	T1	定时/计数器 1 计数脉冲输入端
P3.6	WR	外部 RAM 或外部 I/O 写选通输出端
P3.7	RD	外部 RAM 或外部 I/O 读选通输出端

#### 1.1.3 MCS-51 单片机的存储器结构

AT89C51 单片机的存储器配置在物理上把程序存储器和数据存储器分开，且存储器有内、外之分，共 4 个物理存储空间：片内程序存储器、片外程序存储器、片内数据存储器与片外数据存储器。

从用户使用的角度来看，AT89C51 单片机的存储器分为 3 个逻辑地址空间，即：

(1) 256 B 的片内数据存储器（内 RAM），地址空间为 00H ~ 0FFH，包括低 128 B 的内部 RAM（地址：00H ~ 7FH）和高 128 B 的特殊功能寄存器（地址：80H ~ 0FFH）。

(2) 64 KB 的外部数据存储器或扩展 I/O 接口（外 RAM），地址空间为 0000H ~ 0FFFFH。

(3) 片内、片外统一编址的 64 KB 程序存储器（ROM），地址空间为 0000H ~ 0FFFFH。

尽管程序存储器地址和数据存储器地址空间重叠，但不会发生混乱，因为 AT89C51 单片机采用不同的存取指令和控制信号。

### 1. 内部数据存储器低 128 B

片内低 128 B 是单片机的真正 RAM，地址范围为 00H ~ 7FH，按其用途划分为工作寄存器区、位寻址区和用户数据缓存区 3 个区域，如图 1-3 所示。

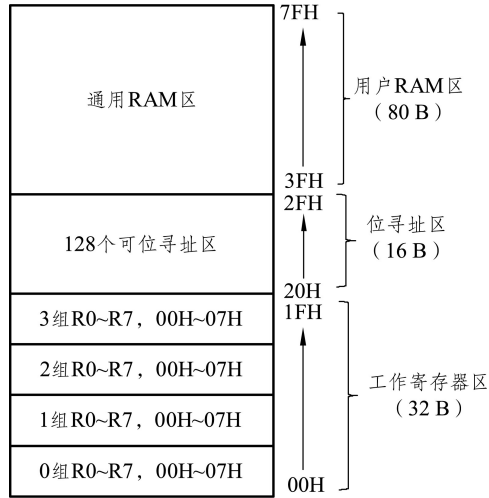


图 1-3 AT89C51 单片机片内低 128 B 存储器

#### 1) 工作寄存器区

4 组通用工作寄存器区占据 00H ~ 1FH 共 32 个单元地址，每组包含 8 个 8 位的工作寄存器 R0 ~ R7。在任一时刻，4 个组中只有 1 组可以作为当前工作寄存器组供 CPU 使用，其他 3 组作为一般的内部 RAM 使用。当前工作寄存器组由程序状态字寄存器 PSW 的 RS1、RS0 两个位的状态来决定。

#### 2) 位寻址区

地址为 20H ~ 2FH，共 16 个单元，每个单元有 8 位，每位有 1 个位地址，既可以进行字节操作，也可以进行位操作，称为位寻址区，共计 128 位，位地址为 00H ~ 7FH，见表 1-2。

表 1-2 片内 RAM 位寻址区的位地址

单元地址	位地址							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
2FH	7FH	7EH	7DH	7CH	7BH	7AH	79H	78H
2EH	77H	76H	75H	74H	73H	72H	71H	70H
2DH	6FH	6EH	6DH	6CH	6BH	6AH	69H	68H

2CH	67H	66H	65H	64H	63H	62H	61H	60H
2BH	5FH	5EH	5DH	5CH	5BH	5AH	59H	58H

续表

单元地址	位地址							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
2AH	57H	56H	55H	54H	53H	52H	51H	50H
29H	4FH	4EH	4DH	4CH	4BH	4AH	49H	48H
28H	47H	46H	45H	44H	43H	42H	41H	40H
27H	3FH	3EH	3DH	3CH	3BH	3AH	39H	38H
25H	37H	36H	35H	34H	33H	32H	31H	30H
25H	2FH	2EH	2DH	2CH	2BH	2AH	29H	28H
24H	27H	26H	25H	24H	23H	22H	21H	20H
23H	1FH	1EH	1DH	1CH	1BH	1AH	19H	18H
22H	17H	16H	15H	14H	13H	12H	11H	10H
21H	0FH	0EH	0DH	0CH	0BH	0AH	09H	08H
20H	07H	06H	05H	04H	03H	02H	01H	00H

需要指出的是，位地址 00H~7FH 和片内字节地址 00H~7FH 的编码表示相同，但要注意它们的区别。位地址指令中的地址是位地址，而不是字节地址。

在 C51 的扩展数据类型中，可以定义位类型（bit）变量。

### 3) 通用 RAM 区

这部分存储空间是单片机的真正 RAM，地址为 30H~7FH，只能按字节方式寻址。它可作为一般的内部 RAM 缓冲区或堆栈区，用于存放各种数据和中间结果，起到数据缓冲的作用。

## 2. 内部数据存储器高 128 B

特殊功能寄存器（Special Function Registers, SFR）与内部 RAM 统一编址，地址为 80H~FFH。AT89C51 单片机共有 21 个特殊功能寄存器，它们的地址不连续地分布在片内 RAM 的高 128 B（80H~FFH）中，见表 1-3。

表 1-3 特殊功能寄存器的地址分布

序号	特殊功能寄存器符号及名称	字节地址	位地址	说明
1	B: 寄存器 B	F0H	F7H~F0H	算术逻辑运算
2	ACC: 累加器	E0H	E7H~E0H	

3	PSW: 程序状态字寄存器	D0H	D7H~D0H	
4	IP: 中断优先级控制寄存器	B8H	BFH~B8H	中断系统
5	P3: 并行 I/O 端口 P3	B0H	B7H~B0H	位名称: P3.7~P3.0

续表

序号	特殊功能寄存器符号及名称	字节地址	位地址	说明
6	IE: 中断允许控制寄存器	A8H	AFH~A8H	中断系统
7	P2: 并行 I/O 端口 P2	A0H	A7H~A0H	位名称: P2.7~P2.0
8	SBUF: 串行口数据缓冲器	99H	不能位寻址	串口
9	SCON: 串行口控制寄存器	98H	9FH~98H	
10	P1: 并行 I/O 端口 P1	90H	97H~90H	位名称: P1.7~P1.0
11	TH1: 定时器/计数器 1 高 8 位	8DH	不能位寻址	定时器/计数器
12	TH0: 定时器/计数器 0 高 8 位	8CH		
13	TL1: 定时器/计数器 1 低 8 位	8BH		
14	TL0: 定时器/计数器 0 低 8 位	8AH		
15	TMOD: 定时器/计数器方式寄存器	89H		
16	TCON: 定时器/计数器控制寄存器	88H	8FH~88H	
17	PCON: 电源控制寄存器	87H	不能位寻址	串口波特率设置
18	DPH: 数据指针高 8 位	83H		间接寻址数据指针
19	DPL: 数据指针低 8 位	82H		堆栈操作
20	SP: 堆栈指针	81H		
21	P0: 并行 I/O 端口 P0	80H	87H~80H	位名称: P0.7~P0.0

在可寻址的 21 个特殊功能寄存器中，有 11 个具有位地址，可以进行位寻址。

需要注意的是，内部数据存储器的 128 B，除特殊功能寄存器占用 21 B 外，其余大部分是空闲单元，但用户不能使用。

在 C51 程序设计中，可以通过关键字 `sfr` 来定义特殊功能寄存器，从而在程序中直接访问它们。例如：

```
sfr P1=0x90; //特殊功能寄存器 P1 的地址是 90H，对应 P1 端口的 8 个 I/O 引脚
```

通过上述语句定义之后，在程序中就可以直接使用 `P1` 这个特殊功能寄存器了。只不过对特殊功能寄存器的定义，通常在头文件中完成，无须用户操作，用户只需使用以下语句添加所需的头文件即可。

```
#include<reg51.h> //包含 51 单片机头文件
```



reg51.h 的内容如下:

```
#ifndef __REG51_H__
#define __REG51_H__

/* BYTE Registers */
sfr P0      = 0x80;
sfr P1      = 0x90;
sfr P2      = 0xA0;
sfr P3      = 0xB0;
sfr PSW     = 0xD0;
sfr ACC     = 0xE0;
sfr B       = 0xF0;
sfr SP      = 0x81;
sfr DPL     = 0x82;
sfr DPH     = 0x83;
sfr PCON    = 0x87;
sfr TCON    = 0x88;
sfr TMOD    = 0x89;
sfr TL0     = 0x8A;
sfr TL1     = 0x8B;
sfr TH0     = 0x8C;
sfr TH1     = 0x8D;
sfr IE      = 0xA8;

sfr IP      = 0xB8;
sfr SCON    = 0x98;
sfr SBUF    = 0x99;

/* BIT Register */
/* PSW */
sbit CY     = 0xD7;
sbit AC     = 0xD6;
sbit F0     = 0xD5;
sbit RS1    = 0xD4;
sbit RS0    = 0xD3;
sbit OV     = 0xD2;
```

```
sbit P      = 0xD0;
```

```
/* TCON */
```

```
sbit TF1    = 0x8F;
```

```
sbit TR1    = 0x8E;
```

```
sbit TF0    = 0x8D;
```

```
sbit TR0    = 0x8C;
```

```
sbit IE1    = 0x8B;
```

```
sbit IT1    = 0x8A;
```

```
sbit IE0    = 0x89;
```

```
sbit IT0    = 0x88;
```

```
/* IE */
```

```
sbit EA     = 0xAF;
```

```
sbit ES     = 0xAC;
```

```
sbit ET1    = 0xAB;
```

```
sbit EX1    = 0xAA;
```

```
sbit ET0    = 0xA9;
```

```
sbit EX0    = 0xA8;
```

```
/* IP */
```

```
sbit PS     = 0xBC;
```

```
sbit PT1    = 0xBB;
```

```
sbit PX1    = 0xBA;
```

```
sbit PT0    = 0xB9;
```

```
sbit PX0    = 0xB8;
```

```
/* P3 */
```

```
sbit RD     = 0xB7;
```

```
sbit WR     = 0xB6;
```

```
sbit T1     = 0xB5;
```

```
sbit T0     = 0xB4;
```

```
sbit INT1   = 0xB3;
```

```
sbit INT0   = 0xB2;
```

```
sbitTXD    = 0xB1;
```

```
sbitRXD    = 0xB0;
```

```

/* SCON */
sbit SM0    = 0x9F;
sbit SM1    = 0x9E;
sbit SM2    = 0x9D;
sbit REN    = 0x9C;
sbit TB8    = 0x9B;
sbit RB8    = 0x9A;
sbit TI     = 0x99;
sbit RI     = 0x98;
#endif

```

下面简要介绍部分特殊功能寄存器：

### 1) 寄存器 B

专门用于乘法、除法运算的寄存器 B，当不执行乘除法时，也可作为普通寄存器使用。

### 2) 累加器 ACC

ACC 为 8 位寄存器，是 CPU 中工作最繁忙的寄存器，既可用于存放操作数，也可用来存放运算的中间结果。

### 3) 程序状态字 PSW

PSW 是一个 8 位寄存器，用于存放程序运行过程中的各种状态信息。其中有些位的状态是根据程序执行结果，由硬件自动设置的；而有些位的状态则通过软件方法设定。

PSW 的位状态可以通过专门指令进行测试，也可用指令读出。因此，某些指令的执行结果将影响 PSW 相关的状态标志。PSW 各位的定义如图 1-4 所示。

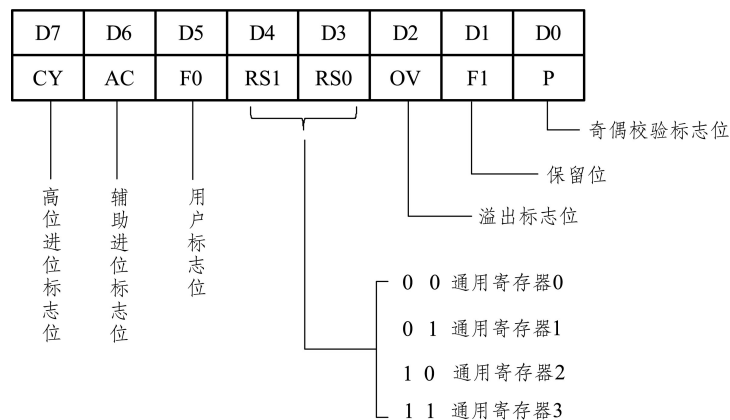


图 1-4 PSW 的各位定义

**CY (PSW.7):** 高位进位标志，用于存放算术运算的进位标志。当运算结果使高位产生进位或借位时，CY 由硬件置 1，否则清零。

AC (PSW.6): 辅助进位标志, 又称半字节进位标志。当运算结果低 4 位向高 4 位产生进位或借位时, AC 由硬件置 1, 否则清零。

F0 (PSW.5): 用户标志位, 由用户置位或复位, 可作为用户自行定义的一个状态标记。

RS1 (PSW.4)、RS0 (PSW.3): 工作寄存器组选择位。其对应关系如下: RS1RS0 = 00, 选择第 0 组工作寄存器; RS1RS0 = 01, 选择第 1 组工作寄存器; RS1RS0 = 10, 选择第 2 组工作寄存器; RS1RS0 = 11, 选择第 3 组工作寄存器。每个寄存器由 8 个 8 位寄存器 (R0 ~ R7) 组成。

OV (PSW.2): 溢出标志位, 用于表示带符号数的运算结果是否溢出。如果溢出则由硬件置 1, 否则清零。

F1 (PSW.1): 保留位, 未定义。

P (PSW.0): 奇偶校验标志位, 用于跟踪累加器 A 中 1 的奇偶性。如果累加器 ACC 中有奇数个“1”, 则 P 置 1, 否则清零。

#### 4) 数据指针 (DPH 和 DPL)

DPH 和 DPL 可以组成一个 16 位数据指针 (DPTR), 可用于间接寻址外部数据存储器和程序存储器。

#### 5) 堆栈指针 (SP)

SP 是个特殊的存储区, 主要功能是暂时存放 8 位数据和地址, 是为子程序调用和中断操作而设的, 通常用来保护断点和现场。

### 3. 片外数据存储器

当片内 128 B 的数据存储器不够用时, 需要外扩 RAM。51 单片机最多可外扩 64 KB (0000H ~ FFFFH) 的 RAM, 如图 1-5 所示。

单片机使用不同指令访问内部数据存储器和外部 RAM, 所以即使地址相同的存储单元, 也不会发生数据冲突。

### 4. 程序存储器

51 单片机的程序存储器用来存放编好的程序, 以及程序执行过程中不会改变的原始数据。程序存储器以程序计数器 (Program Counter, PC) 作为地址指针, 通过 16 位地址总线, 可寻址 64 KB 的地址空间 (片内、片外)。程序存储器的结构如图 1-6 所示。

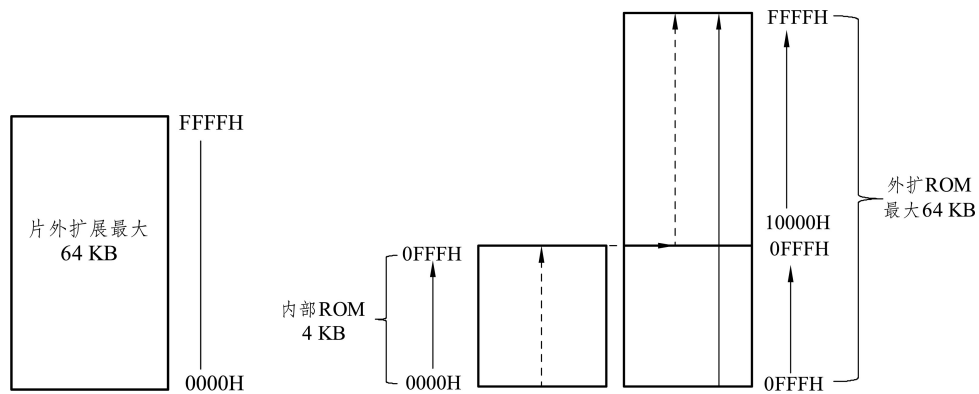


图 1-5 片外数据存储器的结构

图 1-6 程序存储器的结构

AT89C51 单片机片内带有 4 KB Flash 只读存储器，主要用于存放程序或程序运行过程中不会改变的原始数据，其地址范围为 0000H ~ 0FFFH。实际应用时，如果用户编址的程序大于 4 KB 时，就需要在单片机的外部进行扩展，最多可扩展至 64 KB（片内、片外统一编址）。

当  $\overline{EA}=1$  时，CPU 从片内的 0000H 开始执行程序。如果程序代码超过片内的 4 KB 范围，则自动执行片外程序存储器中的程序。

当  $\overline{EA}=0$  时，只能寻址外部程序存储器 0000H ~ FFFFH 的程序代码，不理睬片内的 ROM。

在程序存储器地址空间中，为了满足系统复位和各类中断，某些特定的存储单元是留给系统使用的。系统复位后程序的入口地址和各中断向量的入口地址见表 1-4。

表 1-4 系统复位和中断向量地址

入口地址	说明
0000H	复位操作后的程序入口
0003H	外部中断 0 服务程序入口
000BH	定时器/计数器 0 中断服务程序入口
0013H	外部中断 1 服务程序入口
001BH	定时器/计数器 1 中断服务程序入口
0023H	串行口中断服务程序入口

AT89C51 单片机复位后 PC 的内容为 0000H，即单片机复位后，CPU 总是从 0000H 单元开始执行程序。0003H ~ 002AH 单元均匀地分为 5 段，每段 8 字节，作为 5 个中断源的中断服务程序入口地址区。因此对于 AT89C51 单片机来说，用户程序最好存放在 002AH 单元以后。通常在 0000H ~ 0002H 单元会存放 1 条无条件转移指令，跳转到主程

序真正的入口地址。