

## 学习任务一

# 嵌入式计算机基础知识

### 学习目标

#### ■ 任务说明

单片机是一种集成电路芯片，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的微控制器（Micro Controller Unit, MCU）、随机存储器（Random Access Memory, RAM）、只读存储器（Read Only Memory, ROM）、多种 I/O 端口和中断系统、定时器/计数器（有的单片机还包括显示驱动电路）、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统，在工业控制领域应用广泛。

本学习任务主要学习单片机的发展历史、结构组成、存储结构、输入/输出设备及单片机编程语言等。通过实验使学生加深对单片机编程语言的理解，掌握单片机编程的基本思路 and 流程及其运行和控制的基本规律。

#### ■ 知识和能力要求

##### 知识要求：

- 了解单片机的发展历史及应用范围。
- 掌握 AT89S51 的结构组成。
- 熟悉单片机的存储结构。
- 熟悉单片机的输入/输出端口。
- 熟悉单片机编程语言。

##### 能力要求：

- 能够根据控制需要连接相对简单的单片机外围电路。
- 能够读懂简单的单片机控制程序。

## 任务准备

## 一、嵌入式计算机概述

通用计算机具有一般计算机的基本标准形态,通过安装不同的应用软件,以基本相同的面目应用在社会各种领域,其典型产品为个人计算机。嵌入式计算机则是非通用计算机形态的计算机应用,它以系统核心部件的形式隐藏在各种装置、设备、产品和系统中。嵌入式计算机是一种计算机的存在形式,是从计算机技术的发展中分离出来的。嵌入式计算机往往都是基于单个或者少数几个芯片,而将处理器、存储器以及外设接口电路集成在芯片上。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了通用计算机。嵌入式计算机可分为微处理器(Microprocessor Unit, MPU)、微控制器(Micro Controller Unit, MCU)、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、片上系统(System on Chip, SoC)4类,其中,微控制器又被称为单片机,它将整个计算机系统集成到一块芯片中,本书以最为典型的51系列单片机作为嵌入式计算机的入门首先进行详细讲解。

## 二、单片机概述

## 1. 单片机简介

单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)简称单片机,是指集成在一个芯片上的微型计算机,它的各种功能部件包括中央处理器(Central Processing Unit, CPU)、存储器(Memory)、输入/输出(Input/Output, I/O)接口电路、定时/计数器和中断系统等,这些部件均制作在一块芯片上,构成一个完整的微型计算机。由于单片机的结构与指令功能都是按照工业控制要求设计的,故又被称为微控制器。

20世纪70年代,美国仙童半导体(Fairchild Semiconductor)公司首先推出了第一款单片机F-8。1971年11月,Intel公司推出MCS-4微型计算机系统(包括4001 ROM芯片、4002 RAM芯片、4003 移位寄存器芯片和4004 微处理器),其中4004 微处理器包含2 300个晶体管,尺寸规格为3 mm×4 mm,计算性能远远超过当年的ENIAC,最初售价为200美元。Intel公司的霍夫研制成功4位微处理器芯片Intel 4004,标志着第一代微处理器的问世,微处理器和微机时代从此开始。因发明微处理器,霍夫被英国《经济学家》杂志列为“第二次世界大战以来最有影响力的7位科学家”之一。

1972年4月,霍夫等人开发出第一个8位微处理器Intel 8008。由于8008采用的是P沟道MOS微处理器,因此仍属于第一代微处理器。

1973 年, Intel 公司研制出 8 位的微处理器 8080; 1973 年 8 月, 霍夫等人研制出 8 位微处理器 Intel 8080, 以 N 沟道取代了 P 沟道, 第二代微处理器就此诞生。主频 2 MHz 的 8080 芯片运算速度比 8008 快 10 倍, 可拥有 64 KB 的存储器, 使用了基于 6  $\mu\text{m}$  技术的 6 000 个晶体管, 处理速度为 0.64 MIPS (Million Instructions Per Second)。

1976 年, Intel 公司研制出 MCS-48 系列 8 位的单片机, 这也是单片机的问世。Zilog 公司于 1976 年开发的 Z80 微处理器, 被广泛用于微型计算机和工业自动控制设备。当时, Zilog、Motorola 和 Intel 在微处理器领域形成三足鼎立的局面。

20 世纪 80 年代初, Intel 公司在 MCS-48 系列单片机的基础上, 推出了 MCS-51 系列 8 位高档单片机。MCS-51 系列单片机无论是在片内 RAM 容量、I/O 端口功能、系统扩展方面都有了很大的提高。

近年来, Intel、Motorola 等公司又先后推出了性能更为优越的 32 位单片机, 单片机的应用达到了一个更新的层次。

单片机的型号有 8031、8051、80C51、80C52、8751、89S51 等, 下面简要介绍这些型号单片机的区别。

8031/8051/8751 是 Intel 公司早期的产品。

8031 片内不带程序存储器 ROM, 使用时用户需外接程序存储器, 外接的程序存储器多为 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory, 一种断电后仍能保留数据的存储芯片, 即非易失性芯片)。

8051 片内有 4 KB 的 ROM, 更能体现“单片”的特性, 但用户自编的程序无法烧写到其 ROM 中, 只有将程序交给芯片厂烧写才行, 另外其 ROM 是一次性的, 即烧写之后不能改写内容。

8751 与 8051 基本一样, 但 8751 片内有 4 KB 的 EPROM, 用户可以将自己编写的程序写入单片机的 EPROM 中进行现场实验与应用, EPROM 的改写需要用紫外线等照射一定时间, 擦除其内容后可再烧写。

由于上述类型的单片机应用较早, 影响很大, 因此已成为事实上的工业标准。后来, 许多芯片厂商以各种方式和 Intel 公司合作, 纷纷推出各自的单片机, 如同一种单片机的多个版本一样。虽然单片机的制造工艺在不断改变, 但内核却一样, 也就是说, 这类单片机指令系统安全兼容, 绝大多数单片机的管脚也兼容, 在使用上基本可以直接互换。人们统称这些与 8051 内核相同的单片机为“MCS-51 系列单片机”。MCS-51 系列单片机的片内硬件资源如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的片内硬件资源

| 分类  | 型号   | 片内程序<br>存储器 | 片内<br>RAM/B | I/O 端口/<br>位 | 定时器/计数器/<br>个 | 中断源个数/<br>个 |
|-----|------|-------------|-------------|--------------|---------------|-------------|
| 基本型 | 8031 | 无           | 128         | 32           | 2             | 5           |
|     | 8051 | 4 KB ROM    | 128         | 32           | 2             | 5           |
|     | 8751 | 4 KB EPROM  | 128         | 32           | 2             | 5           |
| 增强型 | 8032 | 无           | 256         | 32           | 3             | 6           |
|     | 8052 | 8 KB ROM    | 256         | 32           | 3             | 6           |
|     | 8752 | 8 KB EPROM  | 256         | 32           | 3             | 6           |

MCS-51 系列单片机的代表性产品为 8051，其他单片机都是在 8051 的基础上进行功能的增减。20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司已把精力集中在高档 CPU 芯片的开发、研制上，逐渐淡出单片机芯片的开发和生产。由于 MCS-51 系列单片机设计上的成功以及较高的市场占有率，以 MCS-51 技术核心为主导的单片机已经成为许多厂家、电气公司竞相选用的对象，并以此为基核。因此，Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多半导体芯片生产厂家，如 ATMEL、Philips、Cygnal、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等公司。这些厂家生产的兼容机与 8051 的内核结构、指令系统相同，采用 CMOS 工艺，因而常用 80C51 系列单片机来称呼所有这些具有 8051 指令系统的单片机，人们也习惯把这些兼容机等各种衍生品种统称为 51 系列单片机或简称为 51 单片机，有的公司还在 8051 的基础上又增加了一些功能模块（称为增强型、扩展型系列单片机），使其集成度更高，更有特点，其功能和市场竞争力更强。近年来，单片机芯片生产厂商推出的与 8051（80C51）兼容的主要产品如表 1-2 所示。

表 1-2 与 80C51 兼容的主要产品

| 生产厂家       | 单片机型号                    |
|------------|--------------------------|
| ATMEL      | AT89C5x、AT89S5x 系列       |
| Philips    | 80C51、8xC552 系列          |
| Cygnal     | C80C51F 系列高速 SOC 单片机     |
| LG         | GMS90/97 系列低价、高速单片机      |
| ADI        | AD $\mu$ C8xx 系列高精度单片机   |
| Maxim      | DS89C420 高速单片机系列         |
| 华邦电子股份有限公司 | W78C51、W77C51 系列高速、低价单片机 |
| AMD        | 8-515/535 单片机            |
| Siemens    | SAB80512 单片机             |

在众多与 MCS-51 单片机兼容的基本型、增强型、扩展型等衍生机型中,美国 ATMEL 公司推出的 AT89C5x/AT89S5x 系列因其不但和 8051 指令、管脚完全兼容,而且其片内的程序存储器是采用 Flash 工艺的(对于这种工艺的存储器,用户可以用相关的下载器对其进行瞬间擦除、改写),因此更为实用,该系列中的 AT89C51/AT89S51 和 AT89C52/AT89S52 单片机在我国目前的 8 位单片机市场中占有较大的市场份额。ATMEL 公司是美国 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的半导体公司。该公司于 1994 年以 EEPROM 技术与 Intel 公司 80C51 内核的使用权进行交换。ATMEL 公司的技术优势是其 Flash 存储器技术,将 Flash 技术与 80C51 内核相结合,形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。

AT89C5x/AT89S5x 系列单片机继承了 MCS-51 的原有功能,与 MCS-51 系列单片机在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容。此外,AT89C5x/AT89S5x 系列单片机中的某些品种又增加了一些新的功能,如看门狗定时器 WDT、ISP(在系统编程也称在线编程)及 SPI 串行口技术等。片内 Flash 存储器允许在线(+5 V)电擦除、电写入或使用编程器对其重复编程,另外,AT89C5x/AT89S5x 单片机还支持由软件选择的两种节电工作方式,非常适用于电池供电或其他要求低功耗的场合。AT89C51/AT89S51 与 MCS-51 系列中的 87C51 单片机相比,AT89C51/AT89S51 单片机片内的 4 KB Flash 存储器取代了 87C51 片内 4 KB 的 EPROM。

AT89S5x 的“S”系列机型是 ATMEL 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型,代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。基本型的 AT89C51 与 AT89S51 以及增强型的 AT89C52 与 AT89S52 的硬件结构和指令系统完全相同。使用 AT89C51 单片机的系统,在保留原来软、硬件的条件下,完全可以用 AT89S51 直接替换。与 AT89C5x 系列相比,AT89S5x 系列的时钟频率以及运算速度有了较大的提高,例如,AT89C51 工作频率的上限为 24 MHz,而 AT89S51 则为 33 MHz。AT89S51 片内集成双数据指针 DPTR、看门狗定时器,具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式。目前,AT89S5x 系列已经逐渐取代 AT89C5x 系列。表 1-3 为 ATMEL 公司 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机主要产品的片内硬件资源。由于单片机的种类很多,开发者在选择单片机时要依据实际需求选择合适的型号。

表 1-3 ATMEL 公司生产的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机的片内硬件资源

| 型号        | 片内 Flash<br>ROM/KB | 片内 RAM/B | I/O 端口/<br>位 | 定时器/计数<br>器/个 | 中断源<br>个数/个 | 引脚数<br>目/个 |
|-----------|--------------------|----------|--------------|---------------|-------------|------------|
| AT89C1051 | 1                  | 128      | 15           | 1             | 3           | 20         |
| AT89C2051 | 2                  | 128      | 15           | 2             | 5           | 20         |
| AT89C51   | 4                  | 128      | 32           | 2             | 5           | 40         |
| AT89S51   | 4                  | 128      | 32           | 2             | 6           | 40         |
| AT89C52   | 8                  | 256      | 32           | 3             | 8           | 40         |

续表

| 型号       | 片内 Flash<br>ROM/KB | 片内 RAM/B | I/O 端口/<br>位 | 定时器/计数<br>器/个 | 中断源<br>个数/个 | 引脚数<br>目/个 |
|----------|--------------------|----------|--------------|---------------|-------------|------------|
| AT89S52  | 8                  | 256      | 32           | 3             | 8           | 40         |
| AT89LV51 | 4                  | 128      | 32           | 2             | 6           | 40         |
| AT89LV52 | 8                  | 256      | 32           | 3             | 8           | 40         |
| AT89C55  | 20                 | 256      | 32           | 3             | 8           | 44         |

表 1-3 中 AT89C1051 与 AT89C2051 为低档机型, 均为 20 个引脚。注意, 当使用低档机型即可满足设计需求时, 就不要采用较高档次的机型。例如, 当系统设计时, 仅仅需要一个定时器和几位数字量的输出, 那么选择 AT89C1051 或 AT89C2051 即可, 而不需要选择 AT89S51 或 AT89S52, 因为后者要比前者的价格高, 且前者体积也小。如果对程序存储器和数据存储器的容量要求较高, 那么选择的单片机还要满足片内程序存储区和数据存储区空间的要求。除了程序存储区和数据存储区的要求外, 还要考虑单片机的运行速度, 这里还可以考虑选择 AT89S51 / AT89S52, 因为它们的最高工作时钟频率为 33 MHz。当单片机应用程序需要多于 8 KB 以上的空间时可考虑选用片内 Flash 存储器容量为 20 KB 的 AT89C55。表 1-3 中, AT89LV51 与 AT89LV52 中的“LV”代表低电压, 它与 AT89S51 单片机的主要区别在于其工作时钟频率为 12 MHz, 工作电压为 2.7 ~ 6 V, 编程电压  $V_{PP}$  为 12 V。AT89LV51 的低电压电源工作条件可使其在便携式、袖珍式、无交流电源供电的环境中应用, 因此特别适合于电池供电的仪器仪表和各种野外操作的设备。

尽管 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机有多种机型, 但是掌握好 AT89S51/52 单片机非常重要, 本书以 AT89S51/52 作为 51 单片机的代表性机型来介绍单片机的原理及应用。

## 2. 单片机的特点

(1) 高集成度, 体积小, 高可靠性。单片机将各功能部件集成在一块晶体芯片上, 集成度很高, 体积自然也是最小的。芯片本身是按工业测控环境要求设计的, 内部布线很短, 其抗工业噪声性能优于一般通用的 CPU。单片机程序指令、常数及表格等固化在 ROM 中不易被破坏, 许多信号通道均在一个芯片内部, 故可靠性高。

(2) 控制功能强。为了满足对对象的控制要求, 单片机的指令系统均有极丰富的条件: 分支转移能力、I/O 端口的逻辑操作及位处理能力, 非常适用于专门的控制功能。

(3) 低电压, 低功耗, 便于生产便携式产品。为了满足广泛使用于便携式系统的要求, 许多单片机内的工作电压仅为 1.8 ~ 3.6 V, 而工作电流仅为数百微安。

(4) 易扩展。片内具有计算机正常运行所必需的部件, 芯片外有许多供扩展用的三总线及并行、串行输入/输出管脚, 很容易构成各种规模的计算机应用系统。

(5) 优异的性价比。单片机的性能极高。为了提高速度和运行效率,单片机已开始使用 RISC 流水线和 DSP 等技术。单片机的寻址能力也已突破 64 KB 的限制,有的已达到 1 MB 和 16 MB,片内的 ROM 容量可达 62 MB, RAM 容量可达 2 MB。由于单片机的广泛使用,因而销量极大,各大公司的商业竞争更使其价格十分低廉,其性价比极高。

### 3. 单片机的发展及应用

此外,尽管 16 位、32 位单片机市场有所增加,但 8 位单片机在未来三五年内仍将占主流,只是其成长幅度会趋缓。从应用角度讲,消费类电子和家电产品,尤其是中小型家电产品,属于比较成熟的单片机应用领域;其次是高端领域的车用产品。

单片机在没有开发前,它只是一块具备极强功能的超大规模集成电路,如果赋予它特定的程序,它便是一个单片机应用系统。单片机应用系统是以单片机为核心,配以输入、输出、显示等外围接口电路和控制程序,能实现一种或多种功能的实用系统。单片机应用系统由硬件和控制程序两部分组成,两者相互依赖,缺一不可。硬件是应用系统的基础,控制程序是在硬件的基础上,对其资源进行合理调配和使用,控制其按照一定顺序完成各种时序、运算或动作,从而实现应用系统所要求的任务。单片机应用系统设计人员必须从硬件结构和控制程序设计两个角度深入了解单片机,将二者有机地结合起来,才能开发出具有特定功能的单片机应用系统。单片机与单板机或个人计算机(PC)有着本质的区别,它的应用属于芯片级应用,需要用户了解单片机芯片的结构和指令系统以及其他集成电路应用技术和系统设计所需要的理论和技术,用这样特定的芯片设计应用程序,从而使该芯片具备特定的功能。

不同的单片机有着不同的硬件特征和软件特征,即它们的技术特征均不尽相同,硬件特征取决于单片机芯片的内部结构,用户要使用某种单片机,必须了解该型号产品是否满足需要的功能和应用系统所要求的特性指标。这里的技术特征包括功能特性、控制特性和电气特性等,这些信息需要从生产厂商的技术手册中得到。软件特征是指指令系统特性和开发支持环境。

单片机内部使用和计算机功能类似的模块,如 CPU、内存、并行总线,还有和硬盘作用相同的存储器件,不同的是它的这些部件性能相对于我们的家用计算机都弱很多,不过价钱也是相对较低的,一般不超过 10 元,用它来做一些控制电器这类不很复杂的工作足矣。我们现在用的全自动滚筒洗衣机、抽油烟机、DVD 等家电里面都可以看到单片机的身影。单片机主要作为控制部分的核心部件,它是一种在线式实时控制计算机,在线式指现场控制,需要有较强的抗干扰能力和较低的成本,这也是和离线式计算机(如家用 PC)的主要区别。单片机是靠程序运行的,并且可以修改。通过不同的程序实现不同的功能,尤其是一些特殊的功能,这是别的器件需要费很大力气才能做到的。

单片机比专用处理器更适合应用于嵌入式系统,因此它得到了最多的应用。事实上单片

机是世界上数量最多的计算机。现代人类生活中几乎每件电子和机械产品中都会集成有单片机。手机、固定电话、计算器、家用电器、电子玩具、掌上电脑以及鼠标等计算机配件中都配有 1~2 个单片机。汽车上一般配备 40 多个单片机，在复杂的工业控制系统上甚至可能有数百个单片机在同时工作。单片机的数量不仅远超过 PC 和其他计算机的总和，甚至比人类的数量还要多。

#### 4. 51 系列单片机 (AT89S5x) 结构

(1) AT89S5x 单片机基本特性。

- ① 8 位的 CPU，与通用 CPU 基本相同，同样包括了运算器和控制器两大部分，还有面向控制的位处理功能。
- ② AT89S51 片内有 128 字节的数据存储器 RAM 及 256 字节的数据存储器 RAM。
- ③ AT89S51 片内有 4 KB 的 Flash 存储器；AT89S52 片内有 8KB 的 Flash 存储器。
- ④ 4 个 8 位的并行 I/O 端口 (P0、P1、P2、P3)。
- ⑤ 1 个全双工串行通信口。
- ⑥ 3 个 16 位定时器/计数器 (T0、T1、T2)。
- ⑦ 可处理 6 个中断源，两级中断优先级。

(2) AT89S5x 单片机内部结构简图如图 1-1 所示。

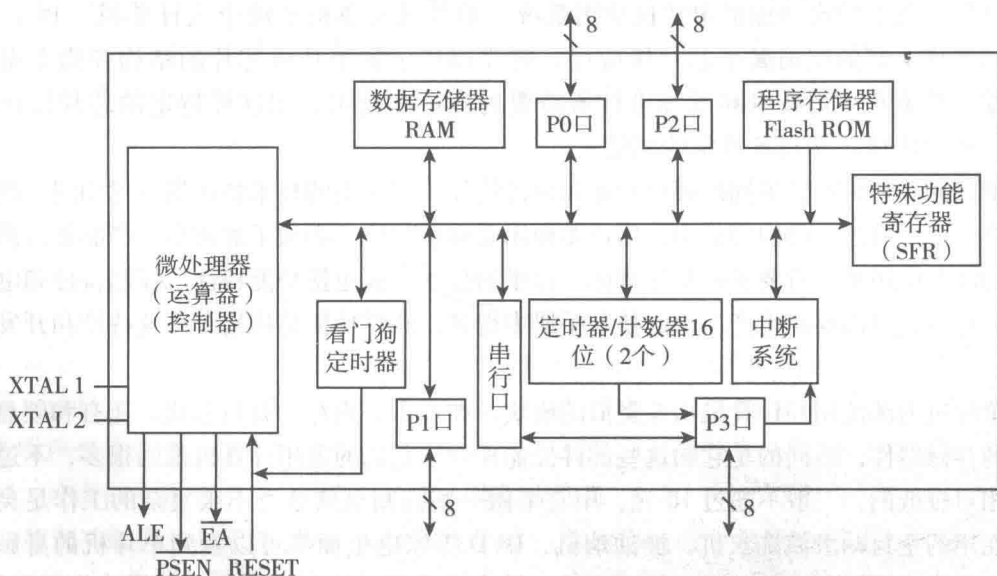


图 1-1 AT89S5x 单片机内部结构简图

AT89S5x 与 51 系列各种型号芯片的引脚互相兼容。目前采用 40 引脚的双列直插式或带引线的塑料芯片载体 (Plastic Leaded Chip Carrier, PLCC) 封装，如图 1-2 所示。

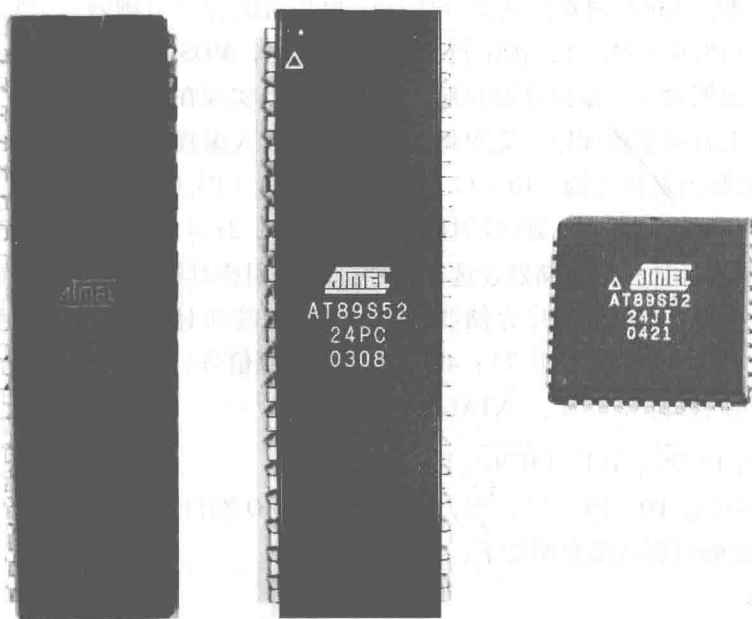


图 1-2 AT89S5x 与 51 系列各种型号芯片的引脚封装

AT89S5x 双列直插封装形式引脚如图 1-3 所示。

|                        |    |    |                        |
|------------------------|----|----|------------------------|
| P1.0                   | 1  | 40 | $V_{cc}$               |
| P1.1                   | 2  | 39 | P0.0                   |
| P1.2                   | 3  | 38 | P0.1                   |
| P1.3                   | 4  | 37 | P0.2                   |
| P1.4                   | 5  | 36 | P0.3                   |
| MOSI/P1.5              | 6  | 35 | P0.4                   |
| MISO/P1.6              | 7  | 34 | P0.5                   |
| SCK/P1.7               | 8  | 33 | P0.6                   |
| RST                    | 9  | 32 | P0.7                   |
| RXD/P3.0               | 10 | 31 | $\overline{EA}/V_{pp}$ |
| TXD/P3.1               | 11 | 30 | ALE/PROG               |
| $\overline{INT0}/P3.2$ | 12 | 29 | $\overline{PSEN}$      |
| $\overline{INT1}/P3.3$ | 13 | 28 | P2.7                   |
| T0/P3.4                | 14 | 27 | P2.6                   |
| T1/P3.5                | 15 | 26 | P2.5                   |
| $\overline{WR}/P3.6$   | 16 | 25 | P2.4                   |
| $\overline{RD}/P3.7$   | 17 | 24 | P2.3                   |
| XTAL2                  | 18 | 23 | P2.2                   |
| XTAL1                  | 19 | 22 | P2.1                   |
| $V_{ss}$               | 20 | 21 | P2.0                   |

图 1-3 AT89S5x 双列直插封装形式引脚

下面按照引脚序号对双列直插式的 AT89S5x 单片机的各个引脚做一个总体介绍。1~8 号引脚为 P1 口 (P1.0~P1.7)，在串行编程和校验时，MOSI/P1.5、MISO/P1.6 和 SCK/P1.7 分别是串行数据输入、输出和移位脉冲引脚，可以实现在线编程功能，即 AT89S5x 芯片可以在 PCB 板上直接下载程序，无须将芯片取下来放入编程器去写程序，从而提高使用的灵活性；9 号引脚为复位引脚；10~17 号引脚为 P3 口 (P3.0~P3.7)；18 号、19 号引脚为时钟引脚，外接晶体振荡器；20 号引脚为接地引脚；21~28 号引脚为 P2 口 (P2.0~P2.7)；29 号引脚为片外程序存储器读选通信号；30 号引脚具有地址锁存和对片内 Flash 编程双功能；31 号引脚具有外部程序存储器访问允许控制端和对片内 Flash 编程的双重功能；32~39 号引脚为 P0 口 (P0.0~P0.7)；40 号引脚为电源信号。引脚按其功能分为三类：

① 电源及时钟引脚： $V_{cc}$ 、 $V_{ss}$ 、XTAL1、XTAL2。

② 控制引脚： $\overline{PSEN}$ 、 $\overline{ALE/PROG}$ 、 $\overline{EA/V_{pp}}$ 、RST。

③ I/O 端口引脚：P0、P1、P2、P3，为 4 个 8 位 I/O 端口。

其中比较重要的引脚功能介绍如下：

A. 电源引脚。

a.  $V_{cc}$  (40 脚)：+5 V 电源。

b.  $V_{ss}$  (20 脚)：接地引脚。

B. 时钟引脚。

a. XTAL1 (19 脚)。片内振荡器反相放大器和时钟发生器的输入端。用作片内振荡器时，该引脚连接外部石英晶体和微调电容。外接时钟源时，该引脚接外部时钟振荡器的信号。

b. XTAL2 (18 脚)。片内振荡器反相放大器的输出端。当使用片内振荡器时，该引脚连接外部石英晶体和微调电容。当使用外部时钟源时，该引脚悬空。

C. 控制引脚。

a. RST (9 脚)。复位信号输入端，高电平有效。在此引脚上加上持续时间大于两个机器周期的高电平，可使单片机复位。正常工作时，该引脚电平应  $\leq 0.5$  V。当看门狗定期器溢出输出时，则该引脚将输出长达 96 个时钟振荡周期的高电平。

b.  $\overline{EA/V_{pp}}$  (31 脚)。 $\overline{EA}$  为引脚第一功能，即外部程序存储器访问允许控制端。当  $\overline{EA} = 1$ ，在 PC 值不超过片内 Flash 存储器的地址范围时，单片机读片内程序存储器中的程序；而当 PC 值超出片内 Flash 存储器的地址范围时，将自动转向读取片外程序存储器空间中的程序。当  $\overline{EA} = 0$  时，只读取外部程序存储器中的内容，读取的地址范围为 0x0000~0xFFFF，片内的 Flash 程序存储器不起作用。 $V_{pp}$  为引脚第二功能，即对片内 Flash 进行编程时， $V_{pp}$  引脚接编程电压。

以上 6 个引脚接线正确后，便形成了单片机能够工作的最小系统，最小系统包括时钟和复位电路，通常称为单片机最小系统电路。时钟电路为单片机工作提供基本时钟，复位电路用于将单片机内部各电路的状态恢复到初始值。图 1-4 为典型的单片机最小系统电路。

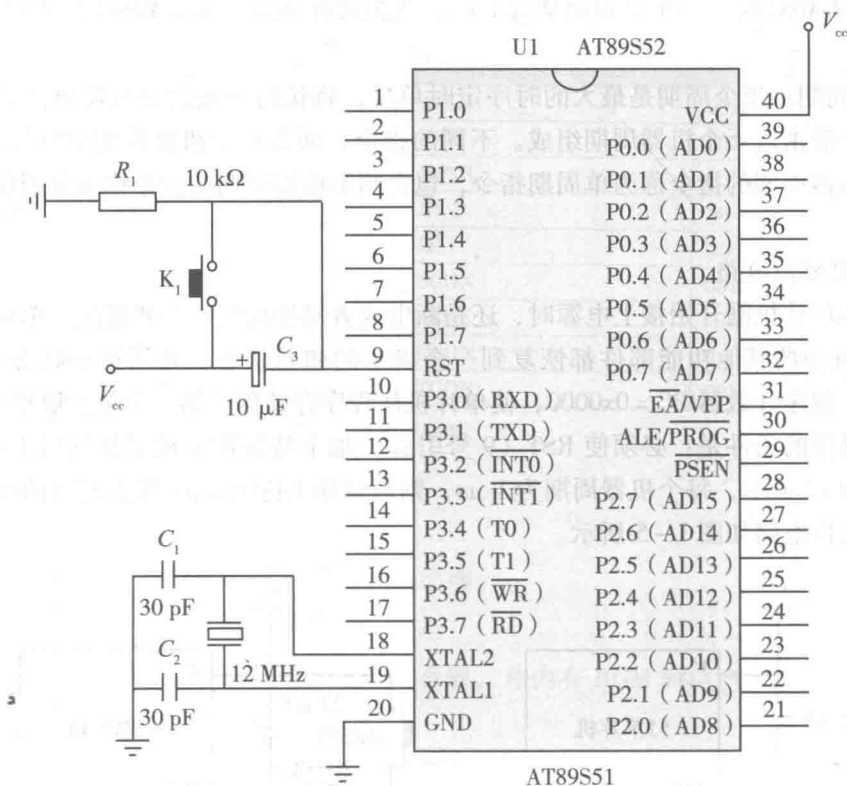


图 1-4 典型的单片机最小系统电路

在 51 单片机内部有一个高增益反相放大器，其输入端引脚为 XTAL1，输出端引脚为 XTAL2。只要在 XTAL1 和 XTAL2 之间跨接晶体振荡器和微调电容，就可以构成一个稳定的自激振荡器。一般地，电容  $C_2$  和  $C_3$  取 30 pF 左右。晶体振荡器简称晶振，其振荡频率越高，系统的时钟频率也就越高，则单片机运行速度也就越快。通常情况下，使用振荡频率为 12 MHz 的晶振。如果系统中使用了单片机的串行口通信，则一般采用振荡频率为 11.059 2 MHz 的晶振。下面介绍两个重要的概念：时序和单片机复位电路。

① 时序。

关于 51 单片机的时序概念有 4 个，从小到大依次是：节拍、状态、机器周期和指令周期，下面分别加以说明。

- A. 节拍：把振荡脉冲的周期定义为节拍，用  $P$  表示，也就是晶振的振荡频率  $f_{osc}$ 。
- B. 状态：振荡频率  $f_{osc}$  经过二分频后，就是单片机时钟信号的周期，定义为状态，用  $S$  表示。一个状态包含两个节拍，其前半周期对应的节拍称为  $P_1$ ，后半周期对应的节拍称为  $P_2$ 。
- C. 机器周期：51 单片机采用定时控制方式，有固定的机器周期。规定一个机器周期的宽度为 6 个状态，即 12 个振荡脉冲周期，因此机器周期就是振荡脉冲的十二分频。当振荡

脉冲频率为 12 MHz 时，一个机器周期为  $1\ \mu\text{s}$ ；当振荡脉冲频率为 6 MHz 时，一个机器周期为  $2\ \mu\text{s}$ 。

D. 指令周期：指令周期是最大的时序定时单位，将执行一条指令所需要的时间称为指令周期。它一般由若干个机器周期组成。不同的指令，所需要的机器周期数也不同。通常，将包含一个机器周期的指令称为单周期指令，包含两个机器周期的指令称为双周期指令，依次类推。

## ② 单片机复位电路。

无论是在单片机刚开始接上电源时，还是断电或者发生故障后都要复位。单片机复位是使 CPU 和系统中的其他功能部件都恢复到一个确定的初始状态，并从这个状态开始工作，例如，复位后程序计数器  $\text{PC} = 0\text{x}0000$ ，使单片机从程序存储器的第一个单元取指令执行。

单片机复位的条件是：必须使 RST（9 号引脚）加上持续两个机器周期以上的高电平。若时钟频率为 12 MHz，每个机器周期为  $1\ \mu\text{s}$ ，则需要加上持续  $2\ \mu\text{s}$  以上时间的高电平。单片机常见的复位电路如图 1-5 所示。

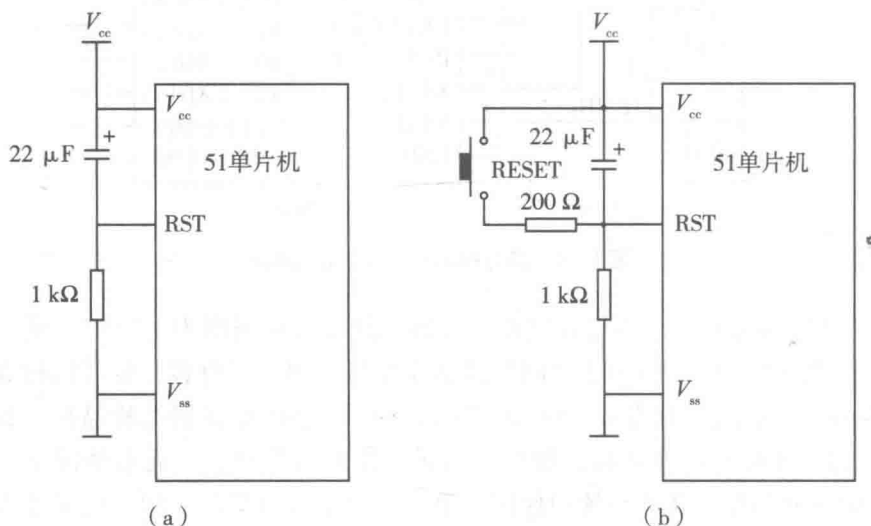


图 1-5 复位电路

(a) 上电复位电路；(b) 按键复位电路

图 1-5 (a) 为上电复位电路。它利用电容充电来实现复位，在接电瞬间，RST 端的电位与  $V_{\text{cc}}$  相同，随着充电电流的减少，RST 的电位逐渐下降。只要保证 RST 为高电平的时间大于两个机器周期，便能正常复位。

图 1-5 (b) 为按键复位电路。该电路除具有上电复位功能外，还可以按图 1-5 (b) 中的 RST 键实现复位，此时电源  $V_{\text{cc}}$  经两个电阻分压，在 RST 端产生一个复位高电平。

复位后，单片机内部的各特殊功能寄存器的复位状态如表 1-4 所示。

表 1-4 单片机内部的各特殊功能寄存器的复位状态

| 特殊功能寄存器 | 复位状态  | 特殊功能寄存器 | 复位状态        |
|---------|-------|---------|-------------|
| PC      | 0000H | ACC     | 00H         |
| B       | 00H   | PSW     | 00H         |
| SP      | 07H   | DPTR    | 0000H       |
| P0 ~ P3 | FFH   | IP      | *** 00000B  |
| TMOD    | 00H   | IE      | 0 ** 00000B |
| TH0     | 00H   | SCON    | 00H         |
| TL0     | 00H   | SBUF    | 不确定         |
| TH1     | 00H   | PCON    | 0 *** 0000B |
| TL1     | 00H   | TCON    | 00H         |

说明：\* 表示无关位。H 是十六进制数后缀，B 是二进制数后缀。

针对引脚功能的总结如下：

- $V_{cc}$ ,  $V_{ss}$ ：电源端。
- XTAL1, XTAL2：片内振荡电路输入、输出端。
- RST：复位端，正脉冲有效（宽度>10 ms）。
- $\overline{EA}/V_{pp}$ ：寻址外部 ROM 控制端。低电平有效，片内有 ROM 时应当接高电平。
- $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ ：地址锁存允许控制端。
- $\overline{PSEN}$ ：选通外部 ROM 的读控制端，低电平有效。

## 5. AT89S 系列单片机型号说明

随着 AT89 单片机的应用越来越广泛，单片机的型号也随之增多，编码也有了一定的规律。AT89 系列单片机的型号编码由三部分组成，它们是前缀、型号和后缀，格式如下：

AT89CXXXX - xxxx

其中，AT 是前缀，89CXXXX 是型号，xxxx 是后缀。下面分别对这三部分进行说明，并对其中有关参数的表示和意义作相应解释。

(1) 前缀由字母“AT”组成，表示该器件是 ATMEL 公司的产品。

(2) 型号由“89CXXXX”或“89LVXXXX”或“89SXXXX”等表示，8 表示单片，“89CXXXX”中，9 表示内部含 Flash 存储器，C 表示为 CMOS 产品；“89LVXXXX”中，LV 表示低电压产品；“89SXXXX”中，S 表示含有串行下载 Flash 存储器；在这个部分的“XXXX”表示器件型号数。如 51、1051、8252 等。

(3) 后缀由“xxxx”4 个参数组成，每个参数的表示和意义不同，在型号与后缀部分由“-”号隔开。

后缀中的第 1 个参数 x 用于表示速度，它的意义如下：

x = 12，表示速度为 12 MHz；

x = 16，表示速度为 16 MHz；

$x = 20$ , 表示速度为 20 MHz;

$x = 24$ , 表示速度为 24 MHz。

后缀中的第 2 个参数  $x$  用于表示封装, 它的意义如下:

$x = D$ , 表示陶瓷封装;

$x = Q$ , 表示 PQFP 封装;

$x = J$ , 表示 PLCC 封装;

$x = A$ , 表示 TQFP 封装;

$x = P$ , 表示双列直插式封装 (DIP 封装);

$x = W$ , 表示裸芯片;

$x = S$ , 表示 SOIC 封装。

后缀中第 3 个参数  $x$  用于表示温度范围, 它的意义如下:

$x = C$ , 表示商业用产品, 温度范围为  $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ;

$x = I$ , 表示工业用产品, 温度范围为  $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$ ;

$x = A$ , 表示汽车用产品。温度范围为  $-40 \sim 125^{\circ}\text{C}$ ;

$x = M$ , 表示军用产品。温度范围为  $-55 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

后缀中第 4 个参数  $x$  用于说明产品的处理情况, 它的意义如下:

$x$  为空, 表示处理工艺是标准工艺;

$x = / 883$ , 表示处理工艺采用 MIL - STD - 883 标准。

例如: 有一个单片机型号为 “AT89C51 - 12PI”, 则表示为该单片机是 ATMEL 公司的 Flash 单片机, 内部是 CMOS 结构, 速度为 12 MHz, 封装为 DIP 封装, 是工业用产品, 按标准处理工艺生产。

## 6. 单片机的存储结构

MCS - 51 单片机的存储器组织结构与一般微机不同, 一般微机通常是程序和数据共用一个存储空间, 属于冯·诺依曼结构, MCS - 51 单片机把程序存储器空间和数据存储器空间相互分离开来, 属于哈佛型结构。AT89S5x 单片机的存储器组织分为 3 个不同的存储地址空间: 64 KB 的程序存储器地址空间 (包括片内 ROM 和片外 ROM), 64 KB 的外部数据存储器地址空间, 256 B 的内部数据存储器地址空间 (其中 128 B 被特殊功能寄存器占用)。

MCS - 51 器件有单独的程序存储器和数据存储器。外部程序存储器和数据存储器都可以 64K 寻址。对于 AT89S52, 如果 EA 接  $V_{cc}$ , 程序读写先从内部存储器 (地址为  $0000\text{H} \sim 1\text{FFFH}$ ) 开始, 接着从外部寻址, 寻址地址为:  $2000\text{H} \sim \text{FFFFH}$ ; 如果 EA 引脚接地, 则程序读取只从外部存储器开始。

本节以 8051 为代表来说明 51 单片机的存储器结构。8051 存储器主要有 4 个物理存储空间, 即片内数据存储器 (IDATA 区)、片外数据存储器 (XDATA 区)、片内程序存储器和片外程序存储器 (片内、片外程序存储器合称为 CODE 区)。

## (1) 片内数据存储器。

① 片内数据存储器（片内 RAM）低 128 字节。片内数据存储器低 128 字节用于存放程序执行过程中的各种变量和临时数据，称为 IDATA 区。表 1-5 给出了低 128 字节的配置情况。

表 1-5 片内数据存储器低 128 字节的配置

| 序号 | 区域       | 地址          | 功能                    |
|----|----------|-------------|-----------------------|
| 1  | 工作寄存器区   | 0x00 ~ 0x07 | 第 0 组工作寄存器（R0 ~ R7）   |
|    |          | 0x08 ~ 0x0F | 第 1 组工作寄存器（R0 ~ R7）   |
|    |          | 0x10 ~ 0x17 | 第 2 组工作寄存器（R0 ~ R7）   |
|    |          | 0x18 ~ 0x1F | 第 3 组工作寄存器（R0 ~ R7）   |
| 2  | 位寻址区     | 0x20 ~ 0x2F | 位寻址区，位地址为 0x00 ~ 0x7F |
| 3  | 用户 RAM 区 | 0x30 ~ 0x7F | 用户数据缓冲区               |

如表 1-5 所示，片内 RAM 的低 128 字节是单片机真正的 RAM 存储器，按其用途可划分为工作寄存器区、位寻址区和用户数据缓冲区 3 个区域。

② 片内数据存储器高 128 字节。片内 RAM 的高 128 字节地址为 0x80 ~ 0xFF，是供给特殊功能寄存器（Special Function Register, SFR）使用的。表 1-6 给出了 51 单片机特殊功能寄存器地址。需要说明的是 AT89S52 有 256 字节片内数据存储器。高 128 字节与特殊功能寄存器重叠。也就是说高 128 字节与特殊功能寄存器有相同的地址，而物理上却是分开的。当一条指令访问高于 7FH 的地址时，寻址方式决定 CPU 访问高 128 字节 RAM 还是特殊功能寄存器空间。直接寻址方式访问特殊功能寄存器（SFR）。

表 1-6 51 单片机特殊功能寄存器地址

| SFR | 名称         | MSB 位地址/位定义 |       |       |       |       |       |       |       | LSB | 字节地址 |
|-----|------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|
| B   | B 寄存器      | F7          | F6    | F5    | F4    | F3    | F2    | F1    | F0    |     | F0   |
| ACC | 累加器        | E7          | E6    | E5    | E4    | E3    | E2    | E1    | E0    |     | E0   |
| PSW | 程序状态字寄存器   | D7          | D6    | D5    | D4    | D3    | D2    | D1    | D0    |     | D0   |
|     |            | CY          | AC    | F0    | RS1   | RS0   | OV    | F1    | P     |     |      |
| IP  | 中断优先级控制寄存器 | BF          | BE    | BD    | BC    | BB    | BA    | B9    | B8    |     | B8   |
|     |            | /           | /     | /     | PS    | PT1   | PX1   | PT0   | PX0   |     |      |
| P3  | P3 口寄存器    | B7          | B6    | B5    | B4    | B3    | B2    | B1    | B0    |     | B0   |
|     |            | P3. 7       | P3. 6 | P3. 5 | P3. 4 | P3. 3 | P3. 2 | P3. 1 | P3. 0 |     |      |
| IE  | 中断允许控制寄存器  | AF          | AE    | AD    | AC    | AB    | AA    | A9    | A8    |     | A8   |
|     |            | EA          | /     | /     | ES    | ET1   | EX1   | ET0   | EX0   |     |      |

续表

| SFR  | 名称                 | MSB 位地址/位定义 |       |       |       |       |       |       |       | LSB | 字节地址 |
|------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|
| P2   | P2 口寄存器            | A7          | A6    | A5    | A4    | A3    | A2    | A1    | A0    |     | A0   |
|      |                    | P2. 7       | P2. 6 | P2. 5 | P2. 4 | P2. 3 | P2. 2 | P2. 1 | P2. 0 |     |      |
| SBUF | 串行发送数据缓冲器          |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 99   |
| SCON | 串行控制寄存器            | 9F          | 9E    | 9D    | 9C    | 9B    | 9A    | 99    | 98    |     | 98   |
|      |                    | SM0         | SM1   | SM2   | REN   | TB8   | RB8   | TI    | RI    |     |      |
| P1   | P1 口寄存器            | 97          | 96    | 95    | 94    | 93    | 92    | 91    | 90    |     | 90   |
|      |                    | P1. 7       | P1. 6 | P1. 5 | P1. 4 | P1. 3 | P1. 2 | P1. 1 | P1. 0 |     |      |
| TH1  | 定时器/计数器 1<br>(高字节) |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 8D   |
| TH0  | 定时器/计数器 0<br>(高字节) |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 8C   |
| TL1  | 定时器/计数器 1<br>(低字节) |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 8B   |
| TL0  | 定时器/计数器 0<br>(低字节) |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 8A   |
| TMOD | 定时器/计数器方式控制        | GAT         | C/T   | M1    | M0    | GAT   | C/T   | M1    | M0    |     | 89   |
| TCON | 定时器/计数器控制寄存器       | 8F          | 8E    | 8D    | 8C    | 8B    | 8A    | 89    | 88    |     | 88   |
|      |                    | TF1         | TR1   | TF0   | TR0   | IE1   | IT1   | IE0   | IT0   |     |      |
| PCON | 电源控制寄存器            | SM0         | /     | /     | /     | /     | /     | /     | /     |     | 87   |
| DPH  | 数据指针高字节            |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 83   |
| DPL  | 数据指针低字节            |             |       |       |       |       |       |       |       |     | 82   |
| SP   | 堆栈指针               |             |       |       |       |       |       |       |       |     | (81) |
| P0   | P0 口寄存器            | 87          | 86    | 85    | 84    | 83    | 82    | 81    | 80    |     | 80   |
|      |                    | P0. 7       | P0. 6 | P0. 5 | P0. 4 | P0. 3 | P0. 2 | P0. 1 | P0. 0 |     |      |

如表 1-6 所示, 有 21 个可寻址的特殊功能寄存器, 它们不连续地分布在片内 RAM 的高 128 个单元中, 尽管其中还有许多空闲地址, 但用户不能使用。另外还有一个不可寻址的专用寄存器, 即程序计数器 PC, 它不占据 RAM 单元, 在物理上是独立的。

在可寻址的 21 个特殊功能寄存器中, 有 11 个寄存器不仅能以字节寻址, 也能以位寻址。表 1-6 中, 凡十六进制字节地址末位为 0 或 8 的寄存器都是可以进行位寻址的寄存器。

在单片机的 C 语言程序设计中，可以通过关键字 sfr 来定义所有特殊功能寄存器，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 0x90，对应 P1 口的 8 个 I/O 引脚。
```

有了上述定义后，就可以在程序中直接使用 P1 这个特殊功能寄存器了，下面的语句是合法的：

```
P1 = 0x00; //将 P1 口的 8 位 I/O 端口全部清零。
```

在 C 语言中，还可以通过关键字 sbit 来定义特殊功能寄存器中的可寻址位，如下面的语句定义 P1 口的第 0 位：

```
sbit P1_0 = P1^0;
```

在通常情况下，这些特殊功能寄存器已经在头文件 reg5x.h 中定义了，只要程序中包含了该头文件，就可以直接使用已定义的特殊功能寄存器了。x 为 1 或 2，对于 AT89S51 单片机，则对应的头文件为 reg51.h，对于 AT89S52 单片机，则对应的头文件为 reg52.h。若没有头文件 reg5X.h 或者该头文件中只定义了部分特殊功能寄存器，用户也可以在程序中自行定义。

(2) 片外数据存储器。

8051 单片机最多可扩充片外数据存储器（片外 RAM）64 KB，称为 XDATA 区。片外数据存储器可以根据需要进行扩展，当需要扩展存储器时，低 8 位地址 A7 ~ A0 和 8 位数据 D7 ~ D0 由 P0 口分时传送，高 8 位地址 A15 ~ A8 由 P2 口传送。

(3) 程序存储器。

51 单片机的程序存储器用来存放编制好的程序和程序执行过程中不会改变的原始数据。程序存储器结构如图 1-6 所示。

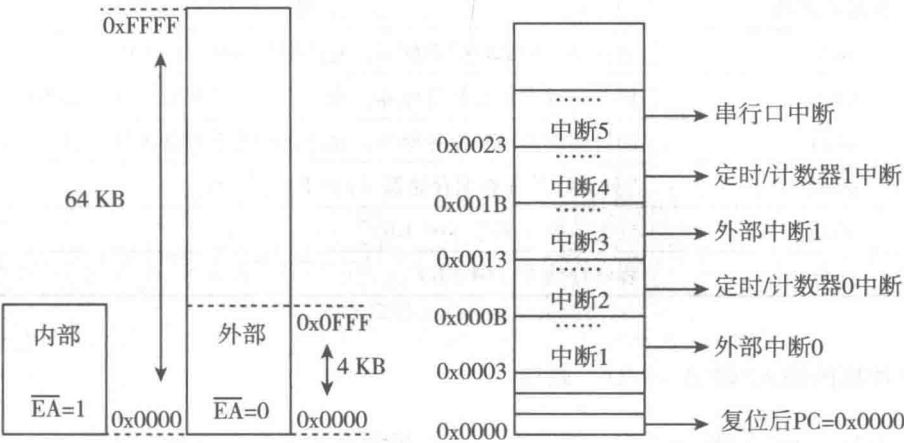


图 1-6 程序存储器结构