

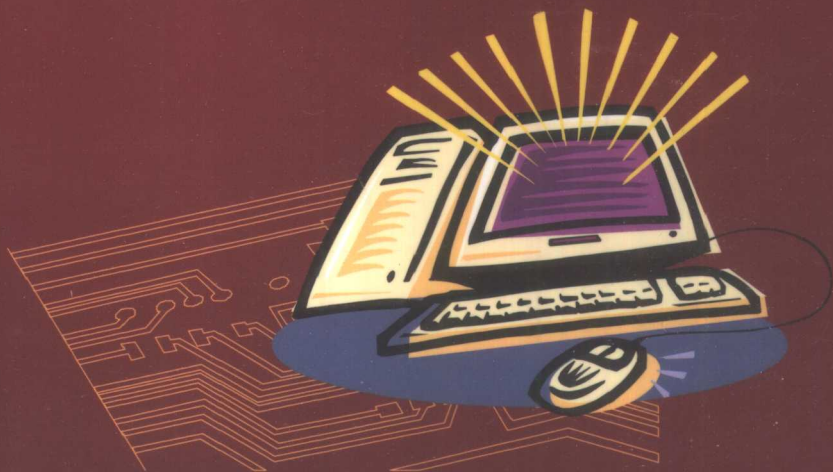
高等学校教学用书



朱珍 陈广义 任伟建 主编

# 单片机原理

DAN PIAN JI YUAN LI



石油工业出版社

清华大学出版社



清华大学出版社  
北京 100084

# 单片机原理

第2版



清华大学出版社

高等学校教学用书

# 单片机原理

朱 珍 陈广义 任伟建 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

单片机是计算机的一族,它的产生和发展拓展了计算机的应用领域。本书以 MCS-51 系列单片机为背景,全面系统地介绍了单片机的组成及工作原理、中断控制系统及内部 I/O 端口、指令系统和程序设计、单片机系统扩展技术以及单片机应用系统设计方法。

本书适合作为计算机专业、通信专业及自动化专业相关课程的教材或参考书,也可作为从事单片机应用工作的科技人员自学参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理/朱珍,陈广义,任伟建主编

北京:石油工业出版社,2000.3

高等学校教学用书

ISBN 7-5021-2945-6

I. 单…

II. ①朱…②陈…③任

III. 单片式计算机—高等学校

IV. TP 368.1

中国版本图书馆CIP数据核字 2000 第 15035 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

850×1168 毫米 32 开本 10% 印张 274 千字 印 1301—2800

2000 年 3 月北京第 1 版 2001 年 6 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5021-2945-6/TE·2287 (课)

定价: 16.00 元

## 前 言

单片机,亦称单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),它的诞生是计算机发展史上的一个新里程碑。单片机集成度高、运算速度快、体积小、运行可靠、价格低廉,因此在过程控制、数据采集、机电一体化、智能化仪器仪表、家用电器及网络技术等方面得到了广泛应用。

本书全面系统地介绍了单片机的原理及应用开发技术,全书共分7章。第1章“绪论”,简单介绍了基本概念、单片机的发展概况和发展趋势、典型的单片机性能以及单片机的应用;第二章“MCS-51 单片机结构”,介绍了单片机的内部结构、引脚及功能,存储器、寄存器、单片机的工作方式以及单片机的时序;第三章“中断系统及内部 I/O 端口”,首先简述了中断系统的基本概念、中断系统的构成、中断处理原理,然后介绍了单片机内部的并行端口、计数器/定时器以及串行端口;第四章“指令系统”,详细介绍了 8051 单片机的 111 条指令;第五章“汇编语言程序设计”,讨论了汇编语言构成、简单程序设计、分支程序设计、循环程序设计以及子程序设计等内容;第六章“MCS-51 系统扩展技术”,介绍了存储器扩展、端口扩展、键盘与显示器接口扩展以及 A/D 和 D/A 扩展等实用技术;第七章“单片机应用系统设计”,讨论了单片机应用系统设计的总体原则、可靠性设计方法、抗干扰措施以及低功耗单片机应用系统的设计。本书既讨论了单片的基本概念,又介绍了实用技术,可作为计算机专业、通信专

业以及自动化专业相关课程的教材或参考书,也可作为从事单片机应用工作科技的人员自学参考用书。

本书由朱珍、陈广义、任伟建主编。雷飞编写第五章,姜建国编写第一章、第四章,任伟建编写第二章、第七章,陈广义编写第三章,朱珍编写第六章。全书由朱珍统筹定稿,董德发主审。

编者

1999年9月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
第一节 基本概念.....	(1)
第二节 单片机发展概况.....	(3)
第三节 单片机发展趋势.....	(5)
第四节 典型单片机性能.....	(8)
第五节 单片机应用 .....	(13)
<b>第二章 MCS-51 单片机结构</b> .....	(15)
第一节 MCS-51 单片机内部结构 .....	(15)
第二节 MCS-51 单片机引脚及其功能 .....	(18)
第三节 MCS-51 存储器 .....	(21)
第四节 MCS-51 专用寄存器 .....	(29)
第五节 MCS-51 单片机工作方式 .....	(34)
第六节 MCS-51 单片机时序 .....	(42)
<b>第三章 中断系统及内部 I/O 端口</b> .....	(50)
第一节 中断系统 .....	(50)
第二节 定时器/计数器.....	(69)
第三节 并行接口 .....	(77)
第四节 串行接口 .....	(94)
<b>第四章 指令系统</b> .....	(112)
第一节 概述.....	(112)
第二节 数据传送指令.....	(124)
第三节 算术运算指令.....	(132)
第四节 逻辑操作和移位指令.....	(138)
第五节 控制程序转移类指令.....	(141)
第六节 位操作(布尔处理)类指令.....	(152)
<b>第五章 汇编语言程序设计</b> .....	(157)

第一节	概述	(157)
第二节	简单程序设计	(168)
第三节	分支程序设计	(171)
第四节	循环程序设计	(177)
第五节	散转程序设计	(185)
第六节	查表程序设计	(190)
第七节	子程序和参数传递方法	(197)
第八节	数制转换	(201)
<b>第六章</b>	<b>MCS-51 系统扩展技术</b>	<b>(206)</b>
第一节	存储器扩展	(206)
第二节	并行 I/O 接口扩展	(228)
第三节	键盘与显示器接口扩展	(253)
第四节	MCS-51 对 A/D 和 D/A 的接口扩展	(267)
<b>第七章</b>	<b>单片机应用系统设计</b>	<b>(295)</b>
第一节	单片机应用系统设计步骤	(295)
第二节	系统可靠性设计和故障诊断	(299)
第三节	单片机应用系统的抗干扰技术	(303)
第四节	单片机低功耗系统设计	(316)
<b>参考文献</b>		<b>(326)</b>



# 第一章 绪 论

## 第一节 基本概念

随着微型计算机的高速发展,单片微型计算机、单板微型计算机、微型计算机系统和微型计算机开发系统等机种不断涌现。为了学习掌握好单片计算机,从概念上弄清单片计算机和这些机种之间的异同是十分重要的。

### 一、微处理器

微处理器(Microprocessor)是高新技术的产物,是集成在同一块芯片上的具有运算和控制功能逻辑的中央处理器,称为 MPU, 简称为 MP。微处理器不仅是构成微型计算机、微型计算机系统和微型计算机开发系统的核心部件,而且也是构成多微处理器系统和现代并行结构计算机的基础。

### 二、微型计算机

微型计算机(Microcomputer)是指由中央处理器 CPU、半导体存储器、I/O(Input/Output)接口和中断系统等集装在同一块或数块印刷电路板上所构成的计算机,它通常包括如下几种类型。

#### 1. 单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)

单片微型计算机是一种把微处理器、半导体存储器、I/O 接口和中断系统集成在同一块硅片上的有完整功能的微型计算机。这块芯片就是它的硬件,软件程序就存放在片内只读存储器内或片外只读存储器内。

#### 2. 单板微型计算机(Single Board Microcomputer)

单板微型计算机是一种把微处理器、半导体存储器、I/O 接口和中断电路等芯片集装在同一块印刷电路板上的微型计算机。在这块印刷板上,通常还装有简易键盘和发光二极管,只读存储器中

还固化有容量不大的监控程序。

### 3. 多板微型计算机(Multiboard Microcomputer)

顾名思义,多板微型计算机是一种把构成微型计算机的功能部件分别组装在多块印刷电路板(如存储器扩充板、显示器板)上,并通过同一机箱内的总线插槽连成一体微型计算机。

## 三、微型计算机系统

微型计算机系统是在多板机基础上发展起来的,是一种更高层次的微型计算机,它通常有齐全的硬件和更为丰富的软件资源。

微型计算机硬件是在前述多板机基础上配以必要的外部设备和电源等组成的,外部设备通常有键盘、磁盘机、磁带机、CRT显示器和打印机等。软件资源分为系统软件和应用软件两类,最基本的系统软件 BIOS 常常固化在只读存储器内,开机后由引导程序自动引导,其余软件可以通过磁盘机或盒式磁带机随时输入机器,操作人员的命令由键盘输入。

## 四、微型计算机开发系统

微型计算机开发系统是一种有专门用途的微型计算机系统,也有齐全的硬件和丰富的软件资源。它不仅可以用来设计和调试微型计算机样机,而且也可用来为样机开发适销对路的软件。

微型计算机开发系统常常有通用、专用和多功能之分。

### 1. 通用微型计算机开发系统

通用微型计算机开发系统内部常可配置多种型号的微处理器,用于开发采用相应微处理器的微型计算机。

### 2. 专用微型计算机开发系统

专用微型计算机开发系统可以专门用来开发采用某种特殊微处理器的微型计算机,并为它设计专用的程序。

### 3. 多功能微型计算机开发系统

多功能微型计算机开发系统内部常装有在线仿真器,通过更换仿真器上的微处理器,达到多功能开发各种通用和专用微型计算机样机的目的。

在微型计算机开发系统中,有一类专门可以用来开发新型单

片机样机的开发系统,这类开发系统我们称之为单片机开发系统。单片机开发系统也有通用、专用和多功能之分。

### 五、单片机的功能结构

单片微型计算机简称单片机。它在一块芯片上集成了中央处理器(CPU)、存储器(RAM, ROM)、定时器/计数器和各种输入/输出(I/O)接口(如并行 I/O 口、串行 I/O 口和

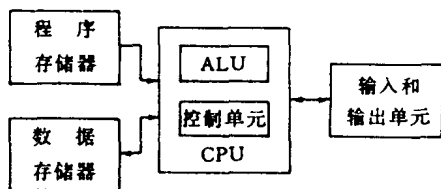


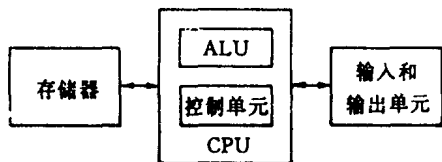
图 1-1 哈佛结构单片机

A/D 转换器)等。

单片机通常有两种基本结构:一种是将程序存储器和数据存储器分开寻址的哈佛结构,如图 1-1 所示;另一种是在通用计算机中广泛采用的将程序存储器与数据存储器合二为一的普林斯顿结构,如图 1-2 所示。

图 1-2 常规的普林斯顿结构单片机

本书中讨论的 MCS-51 系列单片机,采用的是哈佛型结构,即程序存储器与数据存储器分开寻址的结构。



## 第二节 单片机发展概况

1974 年,美国仙童(Fairchild)公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8。该机由两块集成电路芯片组成,结构奇特,具有与众不同的指令系统,深受民用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视。从此,单片机开始迅速发展,应用范围也在不断扩大,现已成为微型计算机的重要分支。单片机的发展过程通常可以分为以下几个阶段:

① 第一代单片机(1974~1976 年):单片机初级阶段。因工艺限制,单片机采用双片的形式,而且功能比较简单。例如仙童

(Fairchild)公司生产的 F8 单片机,实际上只包括了 8 位 CPU、64 个字节 RAM 和 2 个并行口,因此还需加一块 3851(具有 1k ROM、定时器/计数器和 2 个并行 I/O 口)才能组成一台完整的计算机。

② 第二代单片机(1976~1978 年):低性能单片机阶段。以 Intel 公司制造的 MCS-48 单片机为代表,这种单片机片内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器、RAM 和 ROM 等,但是不足之处是无串行口,中断处理比较简单,片内 RAM 和 ROM 容量较小且寻址范围不超过 4k。

③ 第三代单片机(1979~1982 年):这是 8 位单片机的成熟阶段。这一代单片机和前两代相比,不仅存储容量和寻址范围扩大,而且中断源、并行 I/O 和定时器/计数器个数都有了不同程度的增加,更有甚者是新集成了全双工串行通信接口电路。在指令系统方面,普遍增设了乘除法和比较指令。这一时期生产的单片机品种齐全,可以满足各种不同领域的需要。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC6801 系列机、TI 公司的 TMS7000 系列机等。此外,Rockwell、NS、GI 和日本松下等公司也先后生产了自己的单片机系列。

④ 第四代单片机(1983 年以后):这是 16 位单片机和 8 位高性能单片机并行发展的时代。16 位单片机的特点是:工艺先进、集成度高和内部功能强,乘法运算速度可达  $1\mu\text{s}$  以下,而且允许用户采用面向工业控制的专用语言,如 PL/M、PLUS C 和 Forth 语言等。代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列、TI 公司的 TMS9900、NEC 公司的 783 $\times\times$  系列和 NS 公司的 HPC16040 等。

然而,由于 16 位单片机销售量并不大,价格也较贵,大量应用领域需要的是 8 位单片机。因此,1986 年以来,各公司纷纷开发高性能、大容量和多功能的新型 8 位单片机。这些单片机有 Intel 公司 8044(双 CPU 工作)、Zilog 公司的 Super 8(含 DMA 通道)、Motorola 公司的 MC68CH11(内含  $E^2$ PROM 及 A/D 电路)和 WDC 公司的 65C124(内含网络接口电路)等等。

### 第三节 单片机发展趋势

目前,单片机正朝着高性能和多品种方向发展,尤其是8位单片机已成为当前单片机中的主流。单片机的发展具体体现在如下几个方面。

#### 一、CPU的发展

① 采用双CPU结构,以提高处理能力。

② 增加数据总线宽度,单片机内部采用16位数据总线,其数据处理能力明显优于一般8位单片机。

③ 采用流水线结构。指令以队列形式出现在CPU中,且具有很快的运算速度。尤其适合于作数字信号处理用,例如TMS320系列信号处理单片机。

④ 串行总线结构。飞利浦公司开发了一种新型总线——IIC总线(Inter-ICbus)。该总线是用三条数据线代替现行的8位数据总线,从而大大地减少了单片机引线,降低了单片机的成本。目前许多公司都在积极的开发此类产品。

#### 二、存储器的发展

① 加大存储容量。新型单片机片内ROM一般可达4k字节至8k字节,RAM为256个字节。有的单片机内ROM容量可达128k字节。

② 片内EPROM开始E<sup>2</sup>PROM化。片内EPROM由于需要高压编程写入、紫外线擦除,给用户带来不便。采用电改写的E<sup>2</sup>PROM后,不需紫外线擦除,只需重新写入。特别是能在+5V下读写的E<sup>2</sup>PROM,既有静态RAM读写操作简便,又有在掉电时数据不会丢失的优点。片内E<sup>2</sup>PROM的使用,不仅会对单片机结构产生影响,而且会大大简化应用系统结构。

由于E<sup>2</sup>PROM中数据写入后能长久保持,因此,有的单片机将它作为片内RAM使用,甚至有的单片机将E<sup>2</sup>PROM用作片内通用寄存器。

③ 程序保密化。一般EPROM中的程序很容易被复制。为

防止复制,某些公司开始采用 KEPROM(Keyedaccess EPROM)编程写入,有的则对片内 EPROM 或 E<sup>2</sup>PROM 采用加锁方式。加锁后,无法读取其中的程序。若要去读,必须抹去 E<sup>2</sup>PROM 中的信息,这就达到了程序保密的目的。

### 三、加强片内输入、输出接口功能

一般单片机都有较多的并行口,以满足外围设备、芯片扩展的需要,并配有串行口,以满足多机通信功能的要求。

① 增加并行口的驱动能力。这样可减少外部驱动芯片。有的单片机能直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动 LED 和 VFD(荧光显示器)。

② 增加 I/O 口的逻辑控制功能。大部分单片机的 I/O 都能进行逻辑操作。中、高档单片机的位处理系统能够对 I/O 口进行位寻址及位操作,大大加强了 I/O 口线控制的灵活性。

③ 有些单片机设置了一些特殊的串行接口功能,为单片机构成网络和系统提供了方便条件。

### 四、外围电路内装化

随着集成度的不断提高,有可能把众多的外围功能器件集成在片内,这也是单片机发展的重要趋势。除了一般必须具有的 ROM、RAM、定时/计数器、中断系统外,随着单片机档次的提高,以适应检测、控制功能更高的要求,片内集成的部件还有模/数转换器、数/模转换器、DMA 控制器、中断控制器、锁相环、频率合成器、字符发生器、CRT 控制器、译码驱动器等。

由于集成工艺在不断发展,能装入片内的外围电路也可以是大规模的。把所需的外围电路全部装入单片机内,即系统的单片化是目前单片机发展趋势之一。

### 五、制造工艺上的提高

① 制造工艺 CMOS 化。8 位单片机中有二分之一的产品已 CMOS 化。CMOS 芯片的单片机具有功耗小的优点,而且为了充分发挥低功耗的特点,这类单片机普遍配置有 Wait 和 Stop 两种工作方式。例如采用 CHMOS 工艺的 MCS - 51 系列单片机

80C51BH/80C31/87C51 在正常运行(5V,12MHz)时,工作电流为16mA;同样条件下 Wait 方式工作时,工作电流则为 3.7mA;而在 Stop(2V)时,工作电流仅为 50nA。

② 封装方面的改进。随着新型单片机片内接口电路的增多,外引脚也增多。为减少外引脚线,目前主要采用两种方法:其一是采用新颖的通信总线以减少外引线,另外是改进外封装。如采用扁平引脚封装 FP(Flat Package)、方形引脚封装 QIP(Quad - In - line Package)和叠背式封装 PBP(Piggy Back Package),如图 1-3 所示。它们的引脚都比双列直插式 DIP(Dual - In - line Package)封装要多得多。

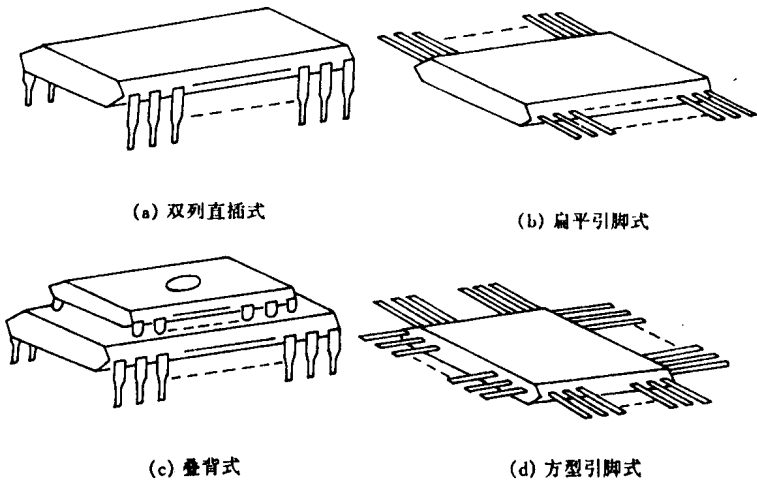


图 1-3 单片机的封装方式

## 六、片内 ROM 中国化应用软件和系统软件

将一些应用软件和系统软件固化于片内 ROM 中,以便简化用户编制应用程序,为用户开发和应用提供方便。如 RUPI-44 系列单片机,把通信控制软件固化在片内,使用户的通信程序大大简化。又如 Intel 公司在有的 MCS-51 单片机内固化 PL/M-51

语言,在 8052BH 中固化了 BASIC 解释程序,用户不仅可用汇编语言编程,还可用 BASIC 语言编程。其 BASIC 语言系统比基本 BASIC 有所扩充,增加了很多适合控制用的语句、命令、运算符等,而且还允许 BASIC 语言和汇编语言互相调用。需要快速控制时,可用汇编语言,如采样、A/D 转换等;在作复杂的数据运算时,则又可用汇编语言来调用 BASIC 中现成的运算子程序。可见它既能满足速度方面要求,又能简化用户编程。再如 RCA 公司的 68HCO5D2 在片内固化了键盘管理程序,甚至在 CDP1804P 内固化了 PASCAL 语言等。

单片机的技术还在不断发展,新型单片机还将不断涌现。当前单片机的产量占整个微机(包括一般的微处理器)产量的 80% 以上。在我国低档 8 位单片机(如 8048)于 80 年代初就开始应用,目前已转向高档 8 位单片机(8051, Z8 等)的应用,也有不少单位已转向 16 位单片机的开发和应用。

#### 第四节 典型单片机性能

迄今为止,单片机制造商很多,主要有美国的 Intel, Motorola 和 Zilog 三家公司,以及荷兰的 Philip 公司、德国的 Siemens 公司和日本的 NEC 公司等。为给读者一个总体印象,现分别对 Intel、Philip 和 Motorola 三家公司的系列产品进行介绍。

##### 一、8 位低档系列单片机

MCS-48 系列单片机是 Intel 公司于 1976 年推出的,典型产品为 Intel8048。8048 内部主要包括:一个 8 位字长的 CPU, 1kB 的 ROM, 64 个字节的 RAM 和一个定时器/计数器电路。芯片共有 40 个引脚,双列直插式封装。MCS-48 系列的其他单片机见表 1-1。

Philip 公司的 48 系列单片机和 Intel 公司 MCS-48 系列在结构和指令系统上兼容,故在此从略。Motorola 公司生产的单片机共有五个系列,其中 MC6805 系列属于 8 位低档机。MC6805 系列单片机的指令系统是 MC6800 的子集,适用于家电、仪器仪表和



计算机外设中使用。这个系列的其他产品见表 1-2。

表 1-1 MCS-48 系列单片机特性

型 号	CPU	ROM	RAM	定 时 器	I/O 线
8050AH	8 位	4kB	256	1	27
8049AH	8 位	2kB	128	1	27
8048AH	8 位	1kB	64	1	27
8040AHL	8 位	—	256	1	15
8039AHL	8 位	—	128	1	15
8035AHL	8 位	—	64	1	15
P8749H	8 位	2kB EPROM	128	1	27
P8748H	8 位	1kB EPROM	64	1	27

表 1-2 MC6805 系列单片机特性

型 号	引 脚	ROM	EPROM	RAM	I/O 线	定 时 器	A/D	串 行 口	备 注
6805 R <sub>2</sub>	40/44	2048	—	64	32	1×8	4×8	—	
6805 R <sub>3</sub>	40/44	3776	—	112	32	1×8	4×8	—	
68705R <sub>5</sub>	40	—	3776	112	32	1×8	4×8	—	有保密功能
6805 S <sub>3</sub>	28	2720	—	104	21	2×8+16	5×8	SPI	
68705 S <sub>3</sub>	28	—	3752	104	21	2×8+16	5×8	SPI	有保密功能

## 二、8 位高档系列单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司于 1980 年推出的 8 位高档机。与 MCS-48 系列相比, MCS-51 无论在 CPU 功能还是存储容量以及特殊功能部件性能上都要高出一等。典型产品为 8051, 其内部资源分配和性能如下: 8 位 CPU, 寻址能力达 2×64k; 4kB 的 ROM, 128 字节 RAM; 4 个 8 位 I/O 接口电路; 一个串行全双工异步接口; 五个中断源和两个中断优先级。

MSC-51 系列的其他产品及其性能见表 1-3。

Philip 公司的 51 系列单片机和 MC-51 几乎完全一样, 只是在某些功能上比 Intel 公司的更强一些, 在此不再述及。

Morotola 公司的高档 8 位单片机系列采用 HCMOS 工艺制