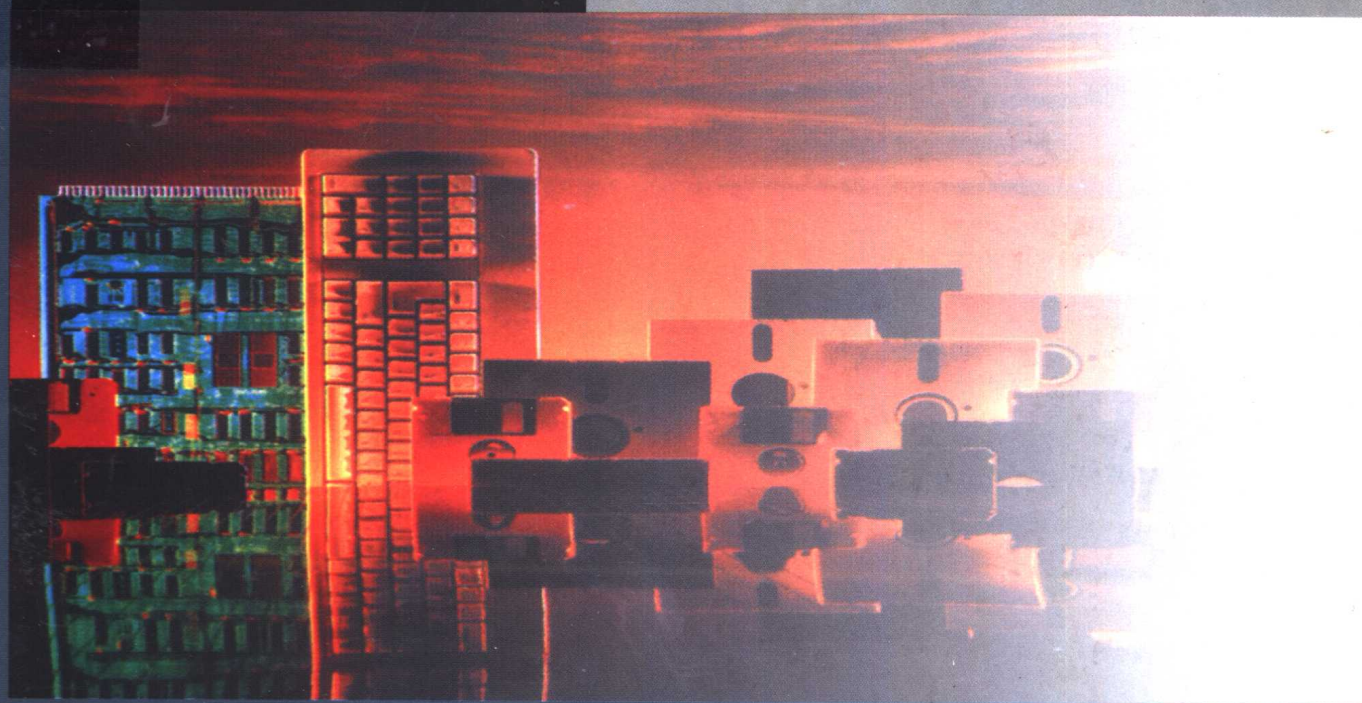


MCS-51 MCS-51 MCS-51 MCS-51



# MCS-51

## 单片机原理及应用

4

主 编 赵晓安  
副主编 耿恒山  
杨 鹏  
主 审 范贻明

微机原理

接口技术

微机应用

天津大学出版社

# MCS-51 单片机原理及应用

主 编 赵晓安  
副主编 耿恒山 杨鹏  
主 审 范贻明

天津大学出版社

## 内 容 提 要

本书是根据高等理工科院校计算机专业和非计算机专业的单片机原理及应用课程的教学大纲,由多年从事本门课程教学和科研的教师编写的。

本书以国内最流行的 MCS-51 系列单片机为主线,论述微机原理、接口技术及微机应用等计算机硬件技术。书中系统地论述了 MCS-51 单片机的原理、指令系统和汇编语言程序设计、系统扩展、中断、接口及应用系统的开发与应用实例。全书共分九章,并附有一些习题和思考题。

本书可作为高等理工科院校的单片机教材,也适合高职高专及自考人员使用,还可供广大科技人员自学参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

MCS-51 单片机原理及应用/赵晓安主编. —天津:天津大学出版社,2001.3(2001.8重印)

ISBN 7-5618-1412-7

I. M… II. 赵… III. 单片微型计算机, MCS-51  
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 04667 号

出 版 天津大学出版社  
出版人 杨风和  
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)  
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742  
印 刷 河北省昌黎县人民胶印厂  
发 行 新华书店天津发行所  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 20.75  
字 数 531 千  
版 次 2001 年 3 月第 1 版  
印 次 2001 年 8 月第 2 次  
印 数 4 501~7 500 册  
定 价 28.00 元

# 前 言

随着大规模集成电路技术的发展,单片微型计算机的功能也不断增强,许多高性能的新型机种不断涌现。由于单片机具有功能强、体积小、可靠性高、造价低和开发周期短等优点,它已成为自动化和各个测控领域中广泛应用的器件,作为工业标准也已成为开发新产品必不可少的器件,前景非常广阔。

目前,我国高等院校理工科计算机专业都以单片机作为讲述计算机硬件实际应用的课程,而非计算机专业则将单片机作为计算机教育第二层次中硬件技术的基础课程。因为以机电类及相关专业为主的非计算机专业本科生,在毕业设计中也要用到单片机开发与应用知识。就应用角度来说,计算机专业与非计算机专业没有明显差别。为适应这一形势和高等理工科院校开设单片机课程的需要,根据计算机专业教学大纲和非计算机专业关于计算机基础教育三个层次中计算机硬件技术基础大纲的要求,作者在多年从事讲授本门课程和积累丰富经验的基础上编写了本书。

本书本着“系统性、新颖性、科学性、实用性”的原则,以MCS-51系列单片机为主线,全面系统地讲述了单片机的原理、系统结构、接口技术、软件编制、系统开发及应用实例。全书结构紧凑,层次分明,既适合计算机专业又适合于非计算机专业,具有一定的通用性,而且不同专业可以根据学时对书中内容取舍。本书力求语言简单明了,通俗易懂,不仅适合高等理工科院校相关专业,而且便于自学。此外,本书与同类教材相比主要有以下突出的特点:

①基础知识部分与以往的教材相比更突出了“计算机中数的运算原理”,因为这部分是学习的难点;

②硬件原理部分首先讲述MCS-51单片机最小系统,使学生很快地学会编程与应用,在应用中感到资源不足,渴望

学习扩展系统；

③应用与开发部分以科研项目中的一部分作为开发过程实例,使学生能尽快掌握开发的全过程,同时启发学生与本专业或实际问题紧密结合,学会分析问题和解决问题的方法。

本书共分9章。第1章介绍了微型计算机系统的概念及其发展简史和趋势、最新机型以及应用领域,重点详细地讲述了微型计算机中常用的运算及编码。第2章到第6章主要介绍单片机最小系统;第3章和第4章介绍 MCS-51 单片机的指令系统和汇编语言程序设计;第5章介绍输入/输出的概念及中断技术,第6章介绍 MCS-51 内部的并行口、定时器/计数器和串行通信的原理及串行口的应用。第7章和第8章是扩展系统及接口的应用。第9章以实例介绍了开发的步骤和方法。书中列举了大量的例题。例题以讲述解决问题的方法为出发点,启发思路,一题多解,用以激发读者丰富的想像力和创造力,并强调加强实验训练。

参加本书编写的有赵晓安、耿恒山、杨鹏、黎新南、李叶紫、张红梅、赵秀平、杨素梅、曹淑英、李琦、张军、张锡爱、韩炜、林晓静等。范贻明教授对全书进行了审阅。

在本书编写过程中得到了河北工业大学计算机系、电气系、自动化系及现代化教学中心的老师以及闫殿然教授、丁会利副教授等大力的支持和帮助,汪鸿、段志红、陈德生、薛美云、张平等帮助做了一些工作,编者在此表示致谢。

由于编审者水平有限,难免有不足之处,诚请读者批评指正。

编者

2000年11月

# 目 录

第 1 章 微型计算机基础 .....	( 1 )
1.1 微型计算机系统的概念 .....	( 1 )
1.2 微型计算机的组成及基本工作原理 .....	( 4 )
1.3 微型计算机系统 .....	(10)
1.4 微型计算机的运算基础 .....	(12)
1.5 单片微型计算机的发展及应用 .....	(28)
思考题与习题 1 .....	(33)
第 2 章 MCS-51 单片机的结构和工作原理 .....	(35)
2.1 MCS-51 系列单片机的结构 .....	(35)
2.2 8051 单片机内部结构和功能 .....	(37)
2.3 MCS-51 单片机的引脚功能 .....	(47)
2.4 MCS-51 单片机的工作方式 .....	(49)
2.5 MCS-51 单片机的时序 .....	(55)
思考题与习题 2 .....	(59)
第 3 章 MCS-51 单片机的指令系统 .....	(61)
3.1 指令系统概述 .....	(61)
3.2 寻址方式 .....	(62)
3.3 MCS-51 单片机指令系统 .....	(68)
思考题与习题 3 .....	(89)
第 4 章 汇编语言程序设计 .....	(92)
4.1 汇编语言程序设计基础 .....	(92)
4.2 MCS-51 单片机汇编语言程序设计 .....	(105)
思考题与习题 4 .....	(131)
第 5 章 输入/输出和中断 .....	(133)
5.1 输入/输出的基本概念 .....	(133)
5.2 输入/输出数据的传送方式 .....	(138)
5.3 中断技术 .....	(144)
5.4 MCS-51 的中断系统 .....	(150)
5.5 MCS-51 对外部中断源的扩展 .....	(160)
思考题与习题 5 .....	(163)
第 6 章 MCS-51 内部的 I/O 口、定时器及其应用 .....	(165)
6.1 MCS-51 内部的并行 I/O 口及应用 .....	(165)
6.2 MCS-51 的定时器/计数器 .....	(173)
6.3 MCS-51 串行 I/O 口及串行通信 .....	(187)
思考题与习题 6 .....	(215)

<b>第 7 章 MCS-51 单片机系统扩展</b> .....	(217)
7.1 概述 .....	(217)
7.2 外部存储器的扩展 .....	(217)
7.3 并行接口芯片及其扩展 .....	(231)
7.4 定时器/计数器芯片及其扩展 .....	(238)
7.5 串行通信接口技术 .....	(243)
7.6 D/A 转换器及与 MCS-51 的连接 .....	(254)
7.7 A/D 转换器及与 MCS-51 的连接 .....	(261)
思考题与习题 7 .....	(265)
<b>第 8 章 单片机人机接口</b> .....	(266)
8.1 LED 显示器接口 .....	(266)
8.2 键盘接口 .....	(271)
8.3 液晶显示器 LCD .....	(285)
8.4 微型打印机接口 .....	(291)
思考题与习题 8 .....	(295)
<b>第 9 章 单片机系统的开发</b> .....	(297)
9.1 单片机应用系统的设计步骤 .....	(297)
9.2 单片机开发系统 .....	(303)
9.3 应用实例 .....	(309)
附录 I ASCII 字符表 .....	(317)
附录 II MCS-51 系列单片机指令表 .....	(318)
附录 III 二进制逻辑单元图形符号对照表 .....	(324)

# 第 1 章 微型计算机基础

电子计算机是一种能对信息进行加工处理的机器,具有记忆、判断和运算能力,能存储和自动运行程序,从而可以代替人的部分脑力劳动,并能对生产过程实施控制。按照冯·诺依曼理论,计算机由控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成。从 1946 年美国宾夕法尼亚大学研制出世界上第一台电子计算机“ENIAC”以来,电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路四个发展时代。随着第四代超大规模集成电路的发展以及集成化程度的提高,微型计算机应运而生,使得第四代电子计算机包含巨型机、小巨型机、主机、小型机和个人计算机五类机型,从而满足了不同需求。由于结构简单、通用性强、价格便宜,微型计算机已成为现代计算机领域中的一个极为重要的分支,正在突飞猛进地发展。

本章主要讨论微型计算机的产生、发展和应用,微型计算机的组成及工作原理,计算机中的数和编码及其运算以及单片微型计算机的结构特点及应用。

## 1.1 微型计算机系统的概念

在 20 世纪 70 年代,计算机的发展进入超大规模集成电路时代,由此产生了微处理器和微型计算机。微型计算机的产生、发展和日益广泛的应用,使人类社会发生了翻天覆地的变化。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、微型计算机开发系统和计算机网络工作站等新机种不断涌现。

为了学习掌握好微型计算机,首先应弄清微型计算机系统的概念。

### 1.1.1 微处理器、微型计算机、微型计算机系统

通常说的微处理器、微型计算机、微型计算机系统,是从局部到全局构成微型计算机系统的三个层次,弄清这三个层次的含义非常重要。

#### 1. 微处理器(Microprocessor Unit)

微处理器就是将中央处理单元(CPU)——控制器和运算器集成在一片半导体芯片上,称为 MPU,简称为 MP。微处理器中主要包含控制部件、算术逻辑单元和寄存器组三个部分,是构成微型计算机的核心部件。

#### 2. 微型计算机(Micro Computer)

微型计算机就是以微处理器 MPU 为核心,再配以相应的半导体存储器(RAM 和 ROM)、I/O(InPut/OutPut)接口和中断系统等,并由系统总线连接起来组装在一块或数块印刷电路板上构成的计算机,通常包括以下几种类型。

##### (1) 多板微型计算机(Multiboard Microcomputer)

多板微型计算机是把构成微型计算机的各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,再通过同一机箱内的总线插槽连成一体微型计算机。多板结构的微型计算机功能很强,通过选用不同的印刷电路插件板达到不同的使用目的。

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

单板微型计算机是把微处理器、半导体存储器、I/O 接口和中断电路等芯片组装在一块印



刷电路板上的微型计算机。在这块印制板上,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。单板微机常做成专用的过程控制机投放市场。

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

单片微型计算机是把微处理器、半导体存储器、I/O接口和中断系统集成在一块硅片上的具有完整功能的微型计算机。单片机具有体积小、重量轻、价格低和可靠性好等优点,常在家用电器、智能仪器仪表和工业控制领域中应用。

### 3. 微型计算机系统(Micro Computer System)

以微型计算机为核心,再配以相应的外围设备、电源、辅助电路和控制微型计算机工作的软件就构成了完整的微型计算机系统。微型计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。

可见,微处理器不是计算机,单纯的微型计算机也不是一个计算机系统,它们都不能单独工作。只有微型计算机系统才是一个完整的系统,可以正常工作。

## 1.1.2 微型计算机的发展

从1971年微处理器出现到组装成微型计算机,微型计算机异军突起,受到人们的高度重视,新产品如潮水般涌向市场,推动着社会的前进、经济的发展和市场的繁荣。

### 1. 微处理器的发展

微处理器是微型计算机的核心部件,是推动微型计算机迅速发展的真正动力。差不多每两年,微处理器的集成度就翻一番,性能增长一个数量级。微处理器的发展可称得上是日新月异,至今已经历了四个发展时代。

#### (1)第一代微处理器(1971~1973年)

美国Intel公司在1971年首先推出4位单片微处理器Intel 4004,以它为核心再配以相应的RAM、ROM和I/O接口芯片,就构成了MCS-4微型计算机。代表产品还有Rockwell公司的PPS-4、TI公司的TMS1000系列机等。这个时期是微处理器发展的初级阶段,均为4位或8位低档微处理器,主要采用PMOS工艺和 $10\mu\text{m}$ 光刻技术,集成度为1200~2000只晶体管/片,基本指令的执行时间为10~20 $\mu\text{s}$ ,引脚数为16/24。4位或8位低档微处理器虽然运算能力差,但价格低廉,主要用在电冰箱、电视机、录音机、游戏机、计算器和仪器仪表等方面。

#### (2)第二代微处理器(1974~1978年)

第二代微处理器主要为8位的中档和高档微处理器,前期生产中档微处理器,代表产品有Intel公司的8080、Motorola公司的M6800、Rockwell公司的PPS-8等;后期生产的多为高档微处理器,代表产品有Intel公司的8085、Zilog公司的Z80、Motorola公司的M6809等。这些微处理器的集成度高、功能强、指令周期达到1 $\mu\text{s}$ ,相应的微型计算机系统开始进入实用阶段,例如Apple公司的Apple-II微机就是当时十分流行的机种。

#### (3)第三代微处理器(1978~1981年)

第三代微处理器是16位微处理器,又称第一代超大规模集成电路微处理器。代表产品是美国Intel公司的Intel 8086(集成度为每片2.9万只晶体管)、Zilog公司的Z8000和Motorola公司的M68000(集成度为每片6.8万只晶体管)。这些16位处理器采用HMOS工艺和 $4\mu\text{m}$ 光刻技术,指令执行时间为0.5 $\mu\text{s}$ ,从而使得微型计算机的性能已达到小型计算机的水平。特别是后期Intel公司的高档微处理器Intel 80186和Intel 80286以及Motorola公司的M68010使16位微处理器的性能达到了顶峰。当时由它们构成的16位微型计算机和微型计算机系统

被广泛使用,如大家熟知的 IBM-PC/XT 和 IBM-PC/AT 微机。

#### (4)第四代微处理器(1981 年以后)

第四代微处理器为 32 位微处理器。1980 年 10 月,美国 NS 公司首先研制出 32 位微处理器 NS16032。此后,美国的 Intel 公司、HP 公司、Bell 公司、Motorola 公司和 Zilog 公司都相继推出了各自的 32 位微处理器。这些微处理器集成度更高、运算速度更快、成本更低,例如 HP 公司的 HP9000 集成度高达 45 万只晶体管/片,时钟频率达 19 MHz,微周期为 55  $\mu$ s。

80 年代后期出现的高档 32 位微处理器更是借鉴了大中型计算机的体系结构,并采用了超大规模集成电路技术及虚拟存储管理技术,使 32 位微处理器的集成度和运算速度更高。如由 Intel 公司的高性能 32 位微处理器 Intel 80486 构成的 IBM-PC/80486 和 IBM-PC/80586 等微机被广泛使用。

另外,随着特大规模集成电路和巨大规模集成电路的飞速发展,64 位微处理器已进入发展阶段,并将不断完善并得到广泛使用。

### 2. 微型计算机的发展动向

自从 1971 年美国 Intel 公司研制出世界上第一个微处理器芯片 Intel 4004 并用它组装成世界上第一台微型计算机 MCS-4 以来,短短的几十年里,微型机有了突飞猛进的发展。微处理器是微型计算机的核心构件,决定了微型计算机及其系统的性能指标。它的发展过程即为微型计算机的发展过程,在此不再赘述。下面讨论一下微型计算机的发展前景。

#### (1)低档微型计算机的发展

低档微机主要是指由 4 位、8 位和 16 位微处理器芯片构成的微型计算机。这类微机被广泛用于仪器仪表、家电和过程控制等领域,成为不可缺少的组成部分。特别是单片微型计算机,以功能强、价格低和精巧灵活等特点深受欢迎。因此,低档微机不但不会消失,反而会经久不衰,根据需求,今后还会有一些通用的和专用的新产品不断涌现。

#### (2)32 位和 64 位微型计算机的发展

32 位微型计算机的发展尚未停息,还处在进一步完善和发展阶段,新产品还在继续涌现,尤其是软件的发展还有广阔的空间。32 位微型计算机的共同特点是运算速度快、主存容量大和软件丰富,特别适合于办公自动化、电气或机械 CAD、地理信息系统、科学可视化和统计分析等方面。Inter 公司在 2000 年底推出了主频 1.4 GHz 的 32 位架构处理器 Pentium 4。该处理器采用新型超管线(Hyper-pipelined)设计,系统总线的速度高达 400 MHz,并加大了处理器缓存的空间,这是当时全球最快的个人电脑处理器。

64 位微型计算机比 32 位微机具有更高的运算速度、更大的存储容量和更强的图形功能,其发展方兴未艾。随着软件的进一步发展,64 位微型计算机系统将成为 21 世纪微型计算机发展的主流。

#### (3)多微处理器系统的发展

多微处理器系统是多个微处理器并行运算的系统。它的运算速度和工作性能不仅取决于所用微处理器的类型,而且和所用微处理器的数量有关,使多微处理器系统的性能相当于大型机的水平,而价格只有后者的十分之一,可以预见其发展前景十分广阔。

### 3. 微型计算机的应用

由于微型计算机具有体积小、重量轻、价格低、可靠性高、耗电少和灵活机动等优点,因此应用范围很广,它不仅在工业、农业、国防、科学技术和国民经济各个领域发挥了巨大作用,

而且在日常生活中也日益显示出它的强大生命力。

### (1)科学计算

在许多科研部门和工程设计单位,经常要进行大量的人工无法完成的数值计算。过去,这种计算通常都由价格昂贵的大、中型甚至巨型计算机来完成。现在,微型计算机的性能已经达到大、中型计算机的水平,并正在向巨型机水平迈进,而造价却低得多。因此,采用微机进行科学计算是最理想的。

### (2)数据处理

数据处理通常是指计算机对大量的原始数据进行采集、分析、存储、传送、检索等综合加工处理,从而得到人们需要的数据形式的过程。现在数据处理在计算机应用中约占用全部机时的2/3,居计算机应用的第一位。与其相应的各类软件(如数据库管理系统、表处理软件、图书资料检索系统、图形图像处理系统等)也层出不穷。

### (3)过程控制

过程控制也称实时控制。它不仅在国防、工业生产中得到广泛的应用,而且在农业生产中也得到应用。微型计算机对生产过程的控制,首先借助于传感器和A/D转换器实时采集过程控制中的实时参数,在微机中自动记录、统计制表和监视报警,然后再通过D/A转换器和执行机构进行调节和控制。微机用于过程控制的情况很普遍,例如高炉炉温的自动控制、化工厂液体流量的自动调节、电力系统自动装置和继电保护以及自动化生产线的控制等等。在这类应用中,微型计算机是过程控制的核心部件,也是实现工厂自动化的基础。过程控制在生产过程中的应用不但提高了生产效率,降低了成本,也提高了产品的精度和质量。

### (4)在CAD、CAM、CAA和CAI中的应用

计算机辅助设计CAD是指工程设计人员借助计算机进行新产品开发和设计的过程。计算机辅助制造CAM是指计算机自动对设计好的零件进行加工的过程。计算机辅助装配CAA是指计算机自动把零件装配成部件或把部件装配成整机的过程。计算机辅助教学CAI是指教师借助计算机对学生进行形象化教学或学生借助计算机进行形象化学习的过程。CAD、CAM、CAA和CAI都要求有一台运算速度快、存储容量大的高性能微型计算机,并要有相应软件支持。目前,我国的CAD应用较为普遍,它广泛应用于建筑、造船、机械制造和飞机制造行业。

### (5)多媒体系统和网络系统

多媒体系统是一种集声音、动画、文字和图像等多种媒体于同一载体或平台的系统,用以实现和外部世界进行多功能和多用途的信息交流,使用户能得到有声有色和图文并茂的信息。多媒体技术已经广泛用于工业生产、教育培训、医疗卫生、商业广告和娱乐生活等方面。

网络系统是一种集计算机技术、无线电技术、声音处理技术、文件传输和可视通信技术于一体的高新技术系统。通过计算机网络,可将不同地区、不同国家的计算机连接起来实现资源共享。人们大多通过微型计算机上网,实现多媒体信息传送。所以,微机在网络中占据着极其重要的地位,为网络的广泛使用和发展奠定了基础。

## 1.2 微型计算机的组成及基本工作原理

### 1.2.1 微型计算机的组成

微型计算机是随着大规模集成电路的发展而产生的一种新型计算机。它在结构上与通用

计算机十分相似,但也有独到之处。微型计算机以微处理器为核心,采用总线结构,其中三总线结构尤为普遍,如图 1-1 所示。微处理器 MPU 是通过 AB、DB 和 CB 三总线同存储器 ROM 和 RAM 及 I/O 接口相连的。在分析微型计算机基本工作原理前,先对各部件作基本介绍。

### 1. 存储器

存储器又称内存或主存,是计算机的存储部件,用来存放程序和数据(原始数据、中间结果及最后结果)。微机内存由半导体存储器 ROM 和 RAM 组成,它们都是采用大规模或超大规模集成电路工艺制成的存储器芯片,具有体积小、重量轻、集成度高等特点,现已制成包含 1.4 亿只晶体管的 8 MB 的 DRAM 芯片。

只读存储器 ROM(Read Only Memory)是一种在正常工作时只能读不能写的存储器,利用特殊手段将固定程序和常数存入 ROM,一旦写入便能长期保存(断电也不丢失),需要时即可读出使用。ROM 中通常用来存放不变的程序,如基本 I/O 程序、监控程序、汇编程序、高级语言解释/编译程序等,还存储各种常用数据和表格。ROM 的种类很多,通常按存储容量分类,例如 4 kB×8bit ROM 的存储量为 4 096 个 8 位二进制数,1 M×8bit ROM 存储量为 1 024×1 024 个 8 位二进制数。按照编程方式,只读存储器 ROM 分为掩模 ROM、可编程 PROM、可擦除 EPROM、电擦除 E<sup>2</sup>PROM 和闪速存储器 Flash PEROM。FlashPEROM 可以在线写入(自动擦除),并且可以按页连续字节写入,读出速度也很快,又称“F”OR“Flash”PEROM(闪速可编程可擦除 ROM)。

随机存取存储器 RAM(Random Access Memory)是一种在正常工作时既能读又能写的存储器,用来存放用户要运行的程序及运行程序所需的原始数据、中间结果、最终结果以及实时数据等。RAM 中存储的信息不能长久保存,停电后立即消失,因此又称为易失性或易挥发性存储器。RAM 存储器的规格品种也很多,如 4 kB、8 kB、32 kB、64 kB、256 kB、1 MB 等等。按照存储电路的不同,随机存取存储器 RAM 又可分为动态 RAM(DRAM)、静态 RAM(SRAM)、不挥发 RAM(NVRAM)、全集成化 DRAM(iRAM)。DRAM 芯片以 MOS 管栅极电容是否充有电荷来存储逻辑 1 或 0 信息,需要外接刷新电路来周期性地对其电荷进行刷新以维持它所代表的数据。SRAM 芯片以触发器来存储逻辑 1 或 0 信息,无需刷新电路。SRAM 比 DRAM 集成度低、成本高、速度快。SRAM 和 DRAM 均为易失性存储器。NVRAM 由高速 SRAM 及其后备 E<sup>2</sup>PROM 不挥发存储阵列构成,上电时按 SRAM 实时读/写,掉电时由其后备 E<sup>2</sup>PROM 保护存储内容不消失。iRAM 是将 DRAM 和刷新电路集成在一起,如同 SRAM 一样使用。

ROM 和 RAM 的主要区别在于:一是断电后 ROM 内的信息不丢失,而 RAM 中的信息立即消失;二是读/写方式不同,ROM 采用特殊方式写入信息,正常工作是只读方式,而 RAM 正常工作既能读又能写。因此,ROM 和 RAM 芯片引线通常分为四组:地址线用于输送存储器的地址码;数据线是双向的,传送对芯片中某一单元进行读/写操作的数据;控制线用于传送控制信号,控制操作是进行读还是写等等;电源线供给芯片 +5 V 直流电源。其中地址线及数据线的引脚数和芯片的存储容量有关,地址线越多,存储容量就越大;数据线越多,每个单元中存

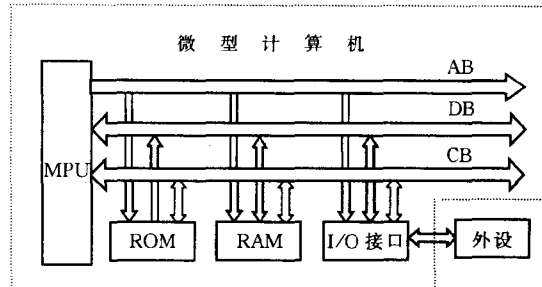


图 1-1 微型计算机的基本结构

储的二进制数的位数就越长。例如地址线为  $n$  条,存储器芯片的存储容量为  $2^n$  个单元,数据线的条数  $m$  为每个单元能存储二进制数的位数,则存储器芯片的存储容量为  $2^n \times m$  bit,即

$$\text{存储容量} = 2^{\text{地址线条数}} \times \text{数据线的条数 bit}$$

如果一个存储器有 16 条地址线和 8 条数据线,它的 16 位地址可得到  $2^{16}$  个地址编码,可寻址  $2^{16}$  个单元,即存储容量为  $2^{16}$  个单元,每个单元 8 位,则存储容量为  $2^{16} \times 8$  bit。图 1-2 为一个容量为  $16 \times 8$  bit RAM 芯片的内部结构,其中  $A_3 \sim A_0$  为地址线,共 4 条,传送地址码; $D_7 \sim D_0$  是数据线,共 8 条,传送一个二进制数的 8 位; $\overline{RD}$  和  $\overline{WR}$  为控制线,传送读/写控制信号。存储阵列是芯片的主体,它有 16 个单元,每个单元有 8 个触发器,用于存储一个 8 位二进制数,整个芯片的存储容量为 16 个 8 位二进制数。16 个单元中的每个单元都有一个惟一的地址,分别对应 4 条地址线的 16 种组合。4 条地址线上的地址经地址译码器译码后,16 条输出线中只有一条为高电平,选中一个单元进行读/写操作。最后根据控制信号  $\overline{RD}$  或  $\overline{WR}$  是否为有效信号而决定进行读或写操作。如果是读操作,将选中单元的内容通过数据寄存器送到数据总线;如果是写操作,将数据总线上的数据写入选中单元。存储器从接到存储单元的地址开始,到读出或写入数据为止所需的时间为存取周期。存储容量和存储周期是存储器的两个最重要的性能指标。

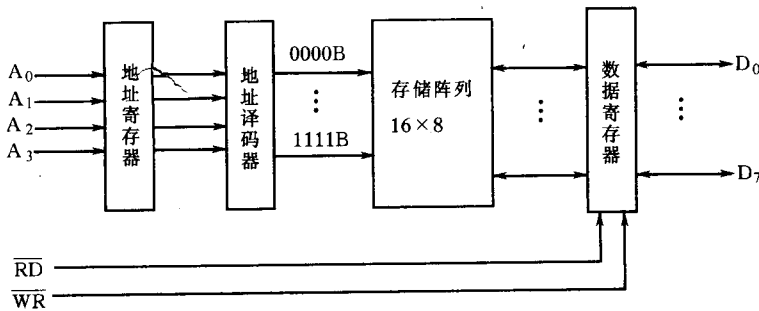


图 1-2  $16 \times 8$  bit RAM 的内部结构框图

## 2. 微处理器 MPU

微处理器 MPU 是微型计算机的运算和指挥控制中心,其性能决定了微型计算机的性能。虽然各种微处理器性能和内部结构有差异,指令系统也不同,但它们的基本组成相同,都包含有控制器、运算器和内部总线。由于微处理器内部结构极其复杂,不可能像电子线路那样画出它的全部电原理图进行分析。为了弄清它的基本工作原理,现以图 1-3 结构框图概括说明。

### (1) 运算器

运算器在控制器的控制下,对二进制数进行算术运算或逻辑操作。运算器由算术逻辑单元 ALU、累加器 A、通用寄存器 PS、暂存器 TMP 和状态寄存器 PSW 等五部分组成。

1) 算术逻辑单元 ALU ALU 是运算器的核心,它以全加器为基础,并辅以移位和控制逻辑组合而成。在控制信号的控制下,可进行加减乘除等算术运算和各种逻辑运算。

2) 累加器 A 累加器 A 是由触发器组成的移位寄存器,在运算前存放一个操作数,运算后存放运算结果。

3) 暂存器 TMP TMP 也是一个寄存器,用于暂存另一操作数。

4) 程序状态字 PSW PSW 由 8 位触发器组成,存放 ALU 操作过程中形成的状态。例如

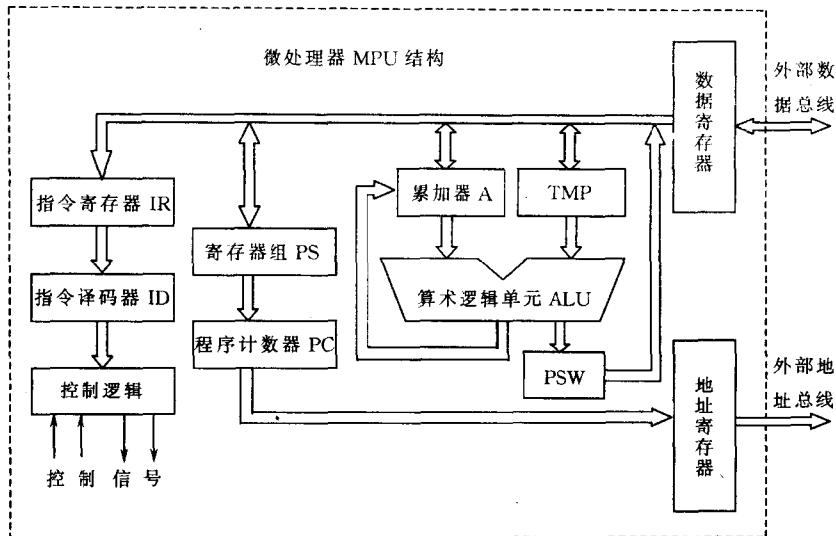


图 1-3 微处理器 MPU 结构框图

累加器 A 中的运算结果是否为零,最高位是否有进位或借位,低四位向高四位是否有进位或借位等等,都在 PSW 中相应位上进行标志。

5) 通用寄存器 PS PS 用于存放操作数或运算结果。在运算前,将运算所需操作数送入累加器和暂存器,由控制信号控制 ALU 进行某种运算,把运算结果存放到累加器 A,并根据运算结果设置程序状态字 PSW 某些状态位的值。

### (2) 控制器

控制器是发布操作命令的机构,是计算机的指挥中心,相当于人脑的神经中枢,控制计算机的各部分协调工作,用以自动执行整个程序。控制器由指令部件、时序部件和微操作控制部件等组成。

1) 指令部件 指令部件是用来读取指令、分析指令和为完成指令产生控制信号的逻辑部件,也是控制器的核心。通常指令部件由程序计数器 PC、指令寄存器 IR 和指令译码器 ID 等三部分组成。

2) 时序部件 时序部件由时钟系统和脉冲分配器组成,用于产生微操作控制部件所需的定时脉冲信号。时钟系统产生机器的时钟脉冲序列,脉冲分配器又称节拍发生器,用于产生节拍电位和节拍脉冲。

3) 微操作控制部件 此部件为指令译码器 ID 的输出信号配上节拍电位和节拍脉冲,也可和外部进来的控制信号组合,共同形成相应的微操作控制序列,以完成规定的操作。

计算机的工作就是执行程序。要执行一个程序必须将该程序放入内存,而程序是若干指令的有序排列,要执行程序只要从第一条指令开始,逐条读取指令、分析指令、执行指令直至执行到停机指令即完成程序。要从内存中读取指令,必须给出内存单元的地址,这就需要一个专门的寄存器用来存放将要执行指令的内存地址,这个寄存器就是程序计数器 PC。当计算机根据 PC 中地址取出要执行指令的一个字节后,PC 就自动加 1,指向指令的下一字节,为机器下次读取指令做好准备。

指令寄存器 IR 用来存放从存储器中取出的当前要执行指令的指令码。该指令码在 IR

中得到寄存和缓冲后被送到指令译码器 ID 中译码,经译码后就知道该指令所要进行的操作,并在时序部件和微操作控制部件的作用下控制相应部分进行操作,执行指令。

### 3. I/O 接口和外设

I/O 接口是架设在微处理器和外设间的桥梁,是一种过渡的大规模集成电路芯片。由于大多数外部设备都是机电型的,工作速度较慢,因此微处理器 MPU 通常不能和它们直接相连,而是通过 I/O 接口缓冲后再和外设相连,以便实现速度、电平和信号性质的匹配。

### 4. 地址总线、数据总线和控制总线

总线是在微型计算机各部分之间传送信息的公共通道,也是沟通微型计算机各种器件的桥梁。

#### (1) 地址总线 AB

地址总线 AB 用来传送 MPU 发出的地址码,是单向总线。当微处理器 MPU 对存储器或外部设备进行读/写操作时,首先要将存储单元或外设的地址码送到地址总线上选中,然后进行读写。地址总线条数由 MPU 型号决定,在大部分 8 位机中,地址总线通常为 16 条。

#### (2) 数据总线 DB

数据总线 DB 用来传送数据和指令码,是双向总线。通过 DB,MPU 可将数据写入存储器或从外设输出数据,也可从存储器或输入设备输入数据。数据总线条数常和所用微处理器字长相等,但也有内部为 16 位运算而外部仍为 8 位数据总线的情况。8 位机中数据总线通常有 8 条。

#### (3) 控制总线 CB

控制总线 CB 用来传送 MPU 发出的控制信号、存储器或外设的状态信号和时序信号等。每根控制总线的信息传送方向是固定的、单向的,而控制总线作为整体则为双向的,如图 1-1 所示。控制总线的条数因机器而异,每条控制线最多传送两个控制信号。

微型计算机采用总线结构,使得它能够十分方便地实现存储器的扩充和 I/O 接口板的增删。

## 1.2.2 微型计算机的基本原理

微型计算机是通过执行程序工作的。机器执行不同的程序就能完成不同的任务。微型计算机执行程序的过程体现了微型计算机的基本工作原理。下面通过程序执行过程说明微型计算机的基本工作原理。

### 1. 指令和程序

指令是控制计算机操作的代码,又称指令码。指令码由操作码和地址码构成,操作码用于控制机器执行何种操作,地址码用于指示参加操作的操作数。指令码的格式为:

[操作码] [地址码]

表示指令最直接的方式是用计算机可识别的二进制形式,即机器码。但机器码既不便于记忆又不便于书写,因此人们通常采用助记符来表示指令,如表 1-1 所示。

表 1-1 指令的三种形式

机器码	机器码	助记符	功能
0111010000010101B	7415H	MOV A, #15H	(A)←15H
0010010000101011B	242BH	ADD A, #2BH	(A)←(A)+2BH
1000000011111110B	80FEH	SJMP \$	停止

一种微处理器所有指令的集合或指令的全体称为它的指令系统。微处理器类型不同,它的指令系统也不一样,如 Intel 8085 有 78 条指令, MCS-51 系列中的 8031 有 111 条指令。

程序就是为完成某项任务而由指令系统中的若干指令组成的有序集合。编制程序称为程序设计。用机器码编写的计算机可直接识别和执行的程序称为目标程序。用指令的助记符编写的程序称为汇编语言源程序,计算机不能识别和执行,需经汇编程序汇编生成的目标程序才能被计算机执行。由此可见,计算机只能执行机器码程序,那么计算机是怎样执行程序的呢?

## 2. 程序执行过程举例

表 1-1 就是一个程序,目的是求  $21 + 43$  的和。下面以此为例说明微型计算机的工作原理。该程序由三条指令组成,每条指令均为双字节指令(即第一字节为操作码,第二字节为操作数)。第一条指令的作用是把 15H 传送到累加器 A;第二条指令是加法指令,它把累加器 A 中的 15H 和 2BH 相加,将结果保存在累加器 A 中;第三条是停机指令,执行后计算机处于动态停机状态。为了执行程序,首先将程序放入内存,假设从 3000H 单元开始存放程序,共占用了 6 个存储单元;然后将程序在内存的起始地址 3000H 放入程序计数器 PC,如图 1-4(a)所示,此时即可让计算机开始执行程序。

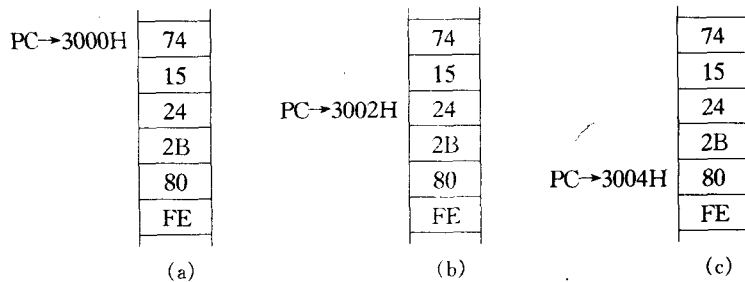


图 1-4 程序执行过程中 PC 的变化

(a) PC 指针指向第一条指令; (b) PC 指针指向第二条指令; (c) PC 指针指向第三条指令

### (1) 执行第一条指令

第一条指令是双字节指令,执行过程为:

① 微操作控制器将程序计数器 PC 中的地址 3000H 经地址寄存器送入地址总线后,向存储器发出读信号,同时使程序计数器 PC 中的内容自动加 1 而变成 3001H,为读取指令的第二个字节做好准备;

② 存储器根据地址总线上的地址找到 3000H 存储单元,在读信号控制下读出 3000H 单元的内容即操作码 74H 送到数据总线上;

③ 经数据总线将操作码 74H 送入指令寄存器 IR,经缓冲后送入指令译码器 ID;

④ 经指令译码器 ID 对操作码 74H 译码并结合时序部件产生微操作序列,将程序计数器 PC 中的地址 3001H 经地址寄存器送入地址总线后发出读信号,同时使程序计数器 PC 自动加 1 变成 3002H,为读取第二条指令做好准备;

⑤ 存储器由地址总线中的新地址 3001H 把 3001H 单元的内容 15H 送到数据总线;

⑥ 微操作控制序列将数据总线上的操作数 15H 送入累加器 A 中。

至此,第一条指令执行结束,将 3001H 单元中的第一个操作数 15H 送入累加器 A。

### (2) 执行第二条指令

第二条指令也是双字节指令。它的第一个字节 24H 为操作码,指示进行加法操作,两个



操作数中一个在累加器 A 中,另一个为该指令的第二个字节。

第一条指令执行结束,程序计数器 PC 中内容为 3002H(图 1-4(b)),是将要执行的第二条指令的内存地址。首先将 PC 中的地址 3002H 送入地址总线并向存储器发出读信号,同时 PC 加 1 而变为 3003H。存储器由地址总线上的地址找到 3002H 单元,在读信号的控制下,读出操作码 24H 经数据总线送入 IR。经 ID 译码,将 PC 中的 3003H 送入地址总线,发出读信号,同时使 PC 自动加 1 变为 3004H,则 PC 指向第三条指令,如图 1-4(c)所示。在操作码 24H 的微操作控制下从存储器 3003H 单元读出操作数 2BH 送入 TMP,控制 ALU 将累加器 A 中 15H 和 TMP 中的 2BH 相加,将两数的和经内部总线送入累加器 A,并根据运算结果设置程序状态字 PSW 某些状态位的值,完成本条指令的执行。

### (3) 执行第三条指令

第三条指令的执行过程和第一、二两条指令类似,先读取指令,分析、执行指令后,MPU 处于动态停机状态。

至此,整个程序的执行结束。

## 1.3 微型计算机系统

微型计算机系统由硬件和软件两大部分组成,如图 1-5 所示。

### 1. 硬件

硬件是指实际的物理设备,包括计算机的主机及其外围设备。微型计算机系统的常用硬件主要由主机箱、显示器(CRT)、键盘和打印机等组成。主机箱内装有主机板、硬盘驱动器、软盘驱动器和电源等。微处理器、存储器和 I/O 接口电路等装在主机板上。主机板上还开有若干插槽,用户可根据需要插放所需功能卡。这些功能卡通常有显示卡、存储器扩充卡、防病毒卡、汉卡和网卡等。

### 2. 软件

随着微型计算机硬件的迅速发展,软件的发展日新月异,各类软件不断投放市场,使得微型计算机日益普及。总体上,微型计算机软件可分为系统软件和应用软件两类。

#### (1) 系统软件

系统软件是系统赖以工作的系列化程序,是微型计算机设计者提供用户使用的软件。机器执行系统软件可以使人机界面友好、操作方便,从而提高程序员的工作效率。系统软件也是应用软件的支撑软件,可以为应用软件提供很好的运行环境。系统软件主要包括以下几类。

1) 监控程序和操作系统 监控程序又称管理程序。这种程序通常在单板机、单片机及其控制系统中使用,常常固化在 EPROM 中,程序长度为 1~2 kB。监控程序可以对键盘、LED 显示器和被控对象进行监督和管理,并能提供一套操作机器的简便方法。操作系统是在监控程序的基础上发展起来的一种大型程序,一般有 1 万字节至几万字节。操作系统的主要作用是使微型机工作流程自动化,对系统中软件和硬件资源统一管理,使整个系统得到最佳利用,对程序和机器故障做出检查,使人机界面友好等。常用的操作系统有 CP/M、MS-DOS、UNIX 和 Windows 等。

2) 语言处理程序 计算机语言分为机器语言、汇编语言和高级语言。机器语言是二进制代码语言,能被计算机直接识别和执行,但很难为人们记忆、书写和识别,也很少有人再用它来编写程序。为了容易编程和上机操作简便,人们通常采用汇编语言和高级语言编程。汇编程