

● 高等学校教材

# 单片微机原理 及应用

● 丁元杰 主编

机械工业出版社 ●

8.1.13

4

高等学校教材

# 单片微机原理及应用

主编 丁元杰  
参编 陈瀛清 曹自强  
主审 徐德淦



机械工业出版社

## (京)新登字 054 号

本书以当前使用日益广泛的 MCS-51 系列单片机为对象,介绍微型计算机的硬件、软件及其应用。全书共七章。第一章是微型计算机的基本概念;第二章至第五章分别详细阐述了 MCS-51 系列单片机的硬件结构、指令系统、汇编语言程序、系统扩展、接口与应用;第六章扼要介绍 MCS-96 系列 16 位单片机;第七章简述了单片机应用系统的开发。

本书可供工科院校作技术基础课“微机原理及应用”或后续课“单片机原理”的教材。因内容具体、实用,对接口、应用、组成系统、编制实用程序等给予适当加强,故也可供工矿企业科技人员使用。

为与本书配套,已相应研制和开发了价廉的 SD-1 型单片机实验装置,并编写了实验指导书、习题集等辅助教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用/丁元杰主编. —北京:机械工业出版社, 1994. 8  
高等学校教材

ISBN 7-111-04220-4

I. 单… II. 丁… III. 微处理机-概论 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 02757 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 贡克勤 版式设计: 王颖 责任校对: 孙志筠

封面设计: 郭景云 责任印制: 卢子祥

北京交通印务实业公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

1994 年 7 月第 1 版 · 1994 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup> · 17.5 印张 · 420 千字

0 001—7 600 册

定价: 15.00 元

## 前 言

“微机原理及应用”（或简称“微机原理”）是工科院校一门重要的技术基础课，设置的范围很广。非工科院校也有不少专业涉及这一课程。在我国，该课程较长时期以来，都以 Z80-CPU 作为主讲对象。但是，随着计算机技术的发展，今天，单片微机的应用已日趋广泛。许多学校先后为此增设了“单片微机原理”课程，学生课程设计、毕业设计、科研项目中广泛接触的都已单片微机，而不再是 Z80。而且，学生工作后接触的计算机应用，除了 PC 机的操作、使用以外，真正涉及硬件和软件，从原理到应用要求全面掌握并能从事开发的，还以单片微机最为多见。鉴于此，为了提高教学效率、更新教学内容，上海大学的有关教师提出了将两门课并成一门课，直接以单片微机作为微机原理课程主讲内容的教改设想。这一想法得到了全国高校电气技术专业指导委员会、教育研究会的充分肯定与支持。1990 年 4 月，根据专业指导委员会的安排，在上海召开了“微机原理及应用”课程的教学研讨会，与会各校代表分别联系自己学校的教学情况交流了教学经验，畅谈了微机技术迅猛发展对本课程教学内容的挑战，并一致认为：“Z80 作为讲课的背景机应告一段落了，本课程教材的更新已是当务之急”。会议审议了上海大学提出的这一教改教材第二稿的编写大纲，热切希望这一教材能尽快编写出版，供各校电气专业或相邻近的专业选用。

在上海大学第二稿试用的基础上，打算提高后作为正式教材公开出版。为此，经专业指导委员会审核批准，成立了正式的编写组，由上海大学丁元杰任主编。书稿脱稿后，由指导委员会主任委员徐德淦教授亲任主审，上海大学原工学院院长马国琳教授、东南大学赵秀菊副教授也参加了审稿工作。两年来，蒙兄弟院校、特别是设置电气技术专业的学校广泛采用。虽一再重印，都很快售缺。在使用过程中，许多学校的任课教师向我们提出了不少宝贵意见；同时，我们通过研讨会和通信等方式又进一步加强了与同行们相互间的联系与切磋交流。有了以上条件，我们决心集中大家的智慧，对书稿再作修订（包括书名增添“及应用”三字），并转由承担电气技术专业教材出版工作的机械工业出版社公开出版及扩大发行。

本书的编写原则仍是：

1. 对于非计算机专业，讲清原理的目的是为了应用。虽属技术基础课，内容仍应具体实用，接口、应用、组成系统、编制实用程序等方面应适当加强，使本书更符合广大科技人员的需要。

2. 新接触微机的读者，要接受许多基本概念有一个过程，如过早结合具体机型学习，效果往往不很理想。宜先设一章集中介绍微型计算机的基本概念，使在具体学习单片机前对微机先有一个完整的轮廓认识。

3. 内容的推出应多作推敲，有利于读者接受。要强调系统性，也要使难点和枯燥处有所分散，还要顾及内容间的沟通与联系。因此，有些内容稍有重复，另有些内容在系统讲述前作了提早出现的尝试。

4. 注意语句的深入浅出和说理的完整、清晰；内容应精练，篇幅不宜庞大；要符合教材特点；也适用于自学和供广大科技人员参考。

全书共七章。已学过 Z80 的读者，在采用本书作为“单片微机”课程教材时，可以跳过第一章，直接从第二章开始。为了压缩课时，本书“MCS-96 系列单片机简介”、“单片机应用系统的开发”等内容可以不在课堂讲述，留给学生自学。

本书第三章、第四章、第五章、第二章的前三节以及绪论、附录由丁元杰编写；第一章、第二章的后五节由陈瀛清编写；第六章、第七章由曹自强编写。全书由主编丁元杰进行整理和统稿。

上海电气自动化研究所徐兴康工程师、《机械制造》杂志社对本书的编辑和出版工作给予了很大支持，徐兴康还从应用角度对全书进行了校审，江南大学王茂兴副教授认真作了勘误工作，在此一并表示衷心感谢。

由于编者的水平有限，且因同时还编写实验指导书、习题集等辅助教材，研制和开发相应的实验装置，工作量大，时间十分仓促，肯定有许多错误或不当的地方，敬请读者惠予指正。

编 者

1993 年 12 月

# 目 录

前言	
绪论	1
<b>第一章 微型计算机的基本概念</b>	<b>4</b>
第一节 概述	4
一、微型计算机的组成	5
二、微型计算机软件	8
三、计算机中的数	11
第二节 微处理器	22
一、运算器	22
二、控制器	23
三、工作寄存器	23
四、程序计数器	23
第三节 存储器	24
一、概述	24
二、读写存储器 RAM	26
三、只读存储器 ROM	28
四、堆栈	30
第四节 输入输出接口电路	32
一、概述	32
二、数据传送方式	34
<b>第二章 MCS-51 系列单片机的硬件结构</b>	<b>39</b>
第一节 总体概况	39
一、主要功能	39
二、内部结构框图	39
三、外部引脚说明	40
第二节 微处理器	42
一、运算器	42
二、控制器	44
三、振荡器和 CPU 时序	44
第三节 存储器	45
一、程序存储器	46
二、数据存储器	47
第四节 定时器/计数器	51
一、主要特性	52
二、定时器/计数器 0、1 的结构	52
三、定时器/计数器 0、1 的 4 种工作 方式	54
四、定时器/计数器 2	57
第五节 并行输入/输出接口	60
一、P1 口	60
二、P2 口	61
三、P3 口	62
四、P0 口	62
第六节 串行输入/输出接口	63
一、基本概念	63
二、串行接口的功能与结构	64
三、串行接口的工作方式	66
四、多机通信	70
五、波特率	70
第七节 中断系统	71
一、中断源	71
二、中断控制	72
三、中断响应	75
四、中断请求的撤除	75
第八节 特殊工作方式	76
一、复位方式	76
二、节电方式	77
<b>第三章 MCS-51 系列单片机的指令系统和     汇编语言程序示例</b>	<b>81</b>
第一节 汇编语言与指令系统	81
一、汇编语言程序设计的重要性	81
二、MCS-51 系列单片机的指令系统	82
第二节 寻址方式	82
一、立即寻址	82
二、寄存器寻址	82
三、寄存器间接寻址	83
四、直接寻址	83
五、基址寄存器加变址寄存器间接寻址	84
六、相对寻址	84
第三节 数据传送类指令	85
一、以累加器 A 为一方的传送指令	85
二、不以累加器 A 为一方的传送指令	86
三、用立即数置数的指令	87
四、访问片外 RAM 的传送指令	87

五、基址寄存器加变址寄存器间址指令	88	第二节 数据存储器的扩展	145
六、交换指令	89	一、用静态RAM的数据存储器扩展	145
七、进栈出栈指令	89	二、用EEPROM的数据存储器扩展	150
八、数据传送类指令汇总一览表	90	三、用动态RAM的数据存储器扩展	150
第四节 算术操作类指令	91	第三节 输入/输出口的扩展	150
一、加法指令	91	一、用多功能芯片的扩展	150
二、减法指令	92	二、用TTL芯片的扩展	163
三、加1指令	93	三、用8243的扩展	166
四、减1指令	94	四、用串行接口的扩展	168
五、其他算术操作指令	94	第五章 MCS-51系列单片机的接口	
六、算术操作类指令汇总一览表	95	与应用	172
第五节 逻辑操作类指令	96	第一节 按键开关、拨盘开关、按钮、键盘与	
一、与指令	97	单片机的接口	172
二、或指令	97	一、按键开关与单片机的接口	172
三、异或指令	98	二、拨盘开关与单片机的接口	173
四、A操作指令	99	三、按钮与单片机的接口	174
五、逻辑操作类指令汇总一览表	100	四、键盘与单片机的接口	174
第六节 程序转移类指令	101	第二节 显示器与单片机的接口	177
一、无条件转移指令	101	一、LED与单片机的接口	177
二、条件转移指令	104	二、LED数码管与单片机的接口	178
三、调子指令	105	第三节 行程开关、继电器、晶闸管元件与单	
四、程序转移类指令汇总一览表	107	片机的接口	182
第七节 位操作类指令	108	一、行程开关、继电器触点与单片机的	
一、位传送指令	108	接口	182
二、位逻辑操作指令	109	二、继电器线圈与单片机的接口	182
三、位条件转移指令	110	三、晶闸管元件与单片机的接口	182
四、位操作类指令汇总一览表	111	第四节 打印机与单片机的接口	183
第八节 汇编语言源程序的格式		第五节 A/D、D/A转换芯片与单片机的	
和伪指令	111	接口	186
一、汇编语言源程序的格式	111	一、A/D转换芯片与单片机的接口	187
二、伪指令	112	二、D/A转换芯片与单片机的接口	193
第九节 算逻处理程序	113	第六节 应用实例一	197
第十节 数制转换程序	120	一、系统的要求	197
第十一节 多分支转移(散转)程序	123	二、硬件安排	197
第十二节 延时程序	125	三、程序与说明	198
第十三节 定时器/计数器应用程序	126	第七节 应用实例二	202
第十四节 外部中断应用程序	128	一、系统的要求	202
第十五节 串行接口应用程序	133	二、硬件安排	202
第四章 MCS-51系列单片机的扩展	135	三、程序与说明	204
第一节 最小系统与程序存储器的扩展	135	四、报表打印	208
一、最小系统	136	第六章 MCS-96系列单片机简介	213
二、用EPROM的程序存储器扩展	140	第一节 概述	213
三、用EEPROM的程序存储器扩展	142	一、主要性能特点	213

二、型号、封装与引脚定义 .....	214	一、复位 .....	242
三、内部结构框图 .....	219	二、掉电保护 .....	243
第二节 微处理器 .....	219	三、片内 EPROM 的编程 .....	243
一、CPU 总线 .....	219	第十节 指令系统 .....	245
二、寄存器算术逻辑单元 .....	219	一、操作数类型 .....	245
三、寄存器阵列 .....	220	二、寻址方式 .....	245
第三节 时钟信号 .....	220	三、指令表 .....	247
第四节 存储器空间 .....	221	四、指令与程序示例 .....	253
第五节 系统总线和芯片功能配置 .....	224	<b>第七章 单片机应用系统的开发</b> .....	258
一、系统总线 .....	224	第一节 单片机应用系统的研制方法和	
二、芯片配置寄存器 .....	224	步骤 .....	258
三、片外存储器的扩展、读写与读写		一、确定任务 .....	258
时序 .....	228	二、总体设计 .....	259
第六节 定时器 .....	230	三、硬件和软件开发 .....	260
一、定时器 1 .....	230	四、样机联调 .....	261
二、定时器 2 .....	230	五、产品定型 .....	261
三、监视定时器 WDT .....	230	第二节 单片机应用系统的开发工具和调试	
第七节 I/O 接口 .....	231	方法 .....	261
一、并行输入输出接口 .....	231	一、单片机开发系统 .....	261
二、高速输入输出接口 .....	231	二、SICE 单片机仿真器 .....	262
三、模拟量接口 .....	236	三、单片机应用系统的调试 .....	264
四、串行接口 .....	237	<b>附录</b> .....	266
第八节 中断系统 .....	239	附录 A ASCII (美国标准信息交换码)	
一、中断源 .....	239	表 .....	266
二、中断控制 .....	240	附录 B MCS-51 指令速查表 .....	268
第九节 特殊工作方式 .....	242	参考文献 .....	269



## 绪 论

当今,计算机技术带来了科研和生产的许多重大飞跃,微型计算机的应用已渗透到生产、生活的各个方面,其中单片微机虽然问世不久,然而体积小、价廉、功能强,其销售额以每年近 80% 的速率增长。它的性能不断提高,适用范围愈来愈宽,在计算机应用领域中占有日益重要的地位。

所谓单片微机,全称是单片微型计算机,简称单片机,又称微控制器。它是在一块半导体芯片上,集成了 CPU、ROM、RAM、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统等功能部件,构成了一台完整的数字电子计算机。由于集成电路技术的进步,它还可包含 A/D、D/A 转换器、DMA 通道、浮点运算单元等特殊功能部件。随着单片机功能的增强,由单片机构成的计算机应用系统的功能也日益增强,它一样可以配用打印机、绘图机、CRT 等外围设备,一样可以联网。Intel 公司的 80186,其性能比在 5MHz 时钟下运行的 8086/8088 提高 1 倍,指令系统也与 8086 及 8088 的相同,因此软件与外设均可兼容,而构成系统的费用却只相当于后者的一半。

目前,除一般应用外,单片机已成为高科技领域中的有力工具。各种高性能专用单片机,32 位单片机都在不断开发和陆续推出之中。

单片机的应用结束了计算机专业人员垄断计算机应用的年代,它既给各种专业人员、特别是工程技术人员带来学习和掌握计算机技术的更加紧迫的任务,也使组成计算机应用系统变得容易、“平凡”,为人们进入这一领域创造了良好条件。

### 一、单片机的发展历史

单片机的历史非常短暂,然而发展十分迅猛。自 1971 年美国 Intel 公司首先研制出 4 位单片机 4004 以来,它的发展可粗略划分为四个阶段:

第一阶段 1971~1976 年,属萌芽阶段。发展了各种 4 位单片机,多用于家用电器、计算器、高级玩具。

第二阶段 1976~1980 年,为初级 8 位机阶段,发展了各种中、低档 8 位单片机,典型的如 MCS-48 系列单片机,片内含多个 8 位并行 I/O 接口、一个 8 位定时器/计数器,不带串行 I/O 接口,其功能可满足一般工业控制和智能化仪器仪表等的需要。

第三阶段 1980~1983 年,高级 8 位机阶段,发展了高性能的 8 位单片机,例如 MCS-51 系列单片机,它带有串行 I/O 接口和多个 16 位定时器/计数器,具有多级中断功能。这一阶段进一步拓宽了单片机的应用范围,使之能用于智能终端、局部网络的接口,并挤入了个人计算机领域。

第四阶段 1983 年以后,16 位单片机阶段。发展了 MCS-96 系列等 16 位单片机。功能很强,价格却与原来的 4 位机相差不大,片内有 A/D 转换器,网络通信能力提高,且可用于高速的控制系统。

在国际市场上,单片机产品的类型很多。其中 Intel 公司的产品比较领先和占有较大销售份额。在我国,Intel 公司 MCS-48 系列、MCS-51 系列、MCS-96 系列的各种机型用得最多,占

有主流地位。

随着大规模集成电路技术的演进，单片机的性能仍在快速提高。其生产工艺经历了 PMOS、NMOS、HMOS、CMOS 等各个阶段，正朝改进型 CMOS 工艺的方向发展；并继续提高集成度；增大 RAM、ROM 容量；提高速度；降低功耗。

## 二、单片机的特点

单片机芯片的集成度很高，将微型计算机的主要部件都集成在一块芯片上，它具有下列特点：

- (1) 体积小、重量轻、价格便宜、耗电少。
- (2) 根据工控环境要求设计，且许多功能部件集成在芯片内部，其信号通道受外界影响小，故可靠性高，抗干扰性能优于采用一般的 CPU。
- (3) 控制功能强，运行速度快。其结构组成与指令系统都着重满足工控要求。有极丰富的条件分支转移指令，有很强的位处理功能和 I/O 口逻辑操作功能。
- (4) 片内存储器的容量不可能很大，一般片内 RAM 少于 256 个字节、片内 ROM 少于 8KB；引脚也嫌少，I/O 引脚常具第二功能而不够用，但存储器和 I/O 接口都易于扩展。

## 三、单片机的应用

由上述单片机特点，可推知其应用最多的领域为：

- (1) 因它具有“小、轻、廉、省”的特点，尤其耗电少，又可使供电电源的体积小、重量轻，所以特别适用于“电脑型产品”，在家用电器、玩具、游戏机、声象设备、电子秤、收银机、办公设备、厨房设备等许多产品上得到应用。
- (2) 适用于仪器、仪表，不仅能完成测量，还具有处理（运算、误差修正、线性化、零漂处理）、监控等功能，易于实现数字化和智能化。
- (3) 有利于“机电一体化”技术的发展，多用于数控机床、缝纫机械、医疗设备、汽车等。
- (4) 广泛应用于打印机、绘图机等许多计算机外围设备，特别是用于智能终端，可大大减轻主机负担。
- (5) 用于各种不太复杂的工业控制，如一般温度控制、液面控制、电镀生产线顺序控制等。
- (6) 宜于多机应用。例如加工中心机床，其各种功能可分散由各个单片机子系统“高智能水平”地分别完成，上级主机则负责统管、协调。又如要求较高的数据检测采集系统，每一采集通道如是一个单片机子系统，可实现多点同时快速采集和预处理，然后再由主机进行集中处理和集中控制，以构成大型的实时测控系统。

上面的归纳还不够完整，但已可知单片机的应用已渗透到国民经济的各个领域，极大地推动了计算机技术的普及，而且可以预期，随着单片机性能的进一步提高，它的应用将更趋广泛。它对我国许多产品的升级换代、工厂企业的设备更新都将起着十分巨大的作用。

## 四、单片机的学习

电子技术基础是本课程的先修课。有了一定的电子技术理论和实践经验，将有助于本课程的学习和进一步深入。

学习本课程应硬件、软件兼顾并重，既要注意单片机的结构、原理，也要注意其汇编语言指令和程序，做到两者融会贯通。

对于非计算机专业的读者，学习本课程的目的是应用。学习原理也是为很好应用打下基础。

有人说，单片机的出现使分列式微机进展为集成式微机，整个微机已经汇集于一个芯片。可见，学习的重心已逐渐由组成微机开始转向组成系统。学习时对单片机的扩展，用到的芯片、接口、以及各种应用实例（环节）须给予足够的重视。

学习本课程时，宜结合习题、实验、课程设计，以提高学习质量，巩固和扩大学习收获，对如何组成系统和试编程序应有比较充分的练习机会。

本课程一般安排为“微机原理及应用”（在国内主要学习 Z80）课程的后续课，然而考虑到国内应用 Z80-CPU 与 TP801 单板机的热潮已经过去，无论毕业设计或科研课题涉及的都已是单片机，因此如免讲 Z80，直接以单片机作为“微机原理及应用”课程的对象机，则本课程也可顶替“微机原理及应用”课程的位置，成为一门技术基础课。

# 第一章 微型计算机的基本概念

## 第一节 概 述

电子计算机是 20 世纪的重大科学技术成就之一，它的应用已进入了社会生活的各个领域，有力地推动了社会的发展。

电子计算机之所以能在现代社会中起着极其重要的作用，是由它的卓越特性决定的：

(1) 高速度 电子计算机被广泛应用的最重要原因是它能以人所无法比拟的高速度进行信息处理。计算机的运算速度大于每秒几十万次，有些巨型机已达每秒十几亿次。

(2) 高度自动化 电子计算机能在程序的控制下，无需人的介入，自动地处理信息。

(3) 具有记忆能力 电子计算机能保存大量的信息，一般电子计算机能在机内存储几万、几十万、几百万甚至几千万字符的信息。

(4) 具有逻辑判断能力 电子计算机可进行各种逻辑判断，并根据判断的结果自动决定下一步的工作。

(5) 高精度和高可靠性 用电子计算机处理得到的结果，数据的有效位数可达十几位，甚至上百位。计算机的可靠性高，可无故障地连续运行数万小时。

自 1946 年出现了世界上第一台电子计算机以来，电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路四代。70 年代出现的由大规模集成电路组成的微型电子计算机，不但保持了电子计算机的特点，而且体积小、价格低、不需要严格的环境条件，从而开拓了计算机普及的新时代。近年来逐步普及的单片微型计算机，已在一片芯片上集成一台微型计算机，更加充分地发展了微型计算机的特点。

一般来说，电子计算机有以下几个方面的应用：

(1) 科学计算 利用计算机高速、高精度地进行大量的复杂的数学运算，如导弹飞行轨迹计算，天气数值预报等。

(2) 数据与信息处理 利用计算机对大批量数据进行排序、插入、修改、删除、检索等基本操作，如资料的统计分析、计划的编制、企业的成本核算、情报的检索等。

(3) 实时控制 计算机实时采集生产、交通等现场的信息并加以处理，然后输出命令控制现场，使现场达到较佳的状态。如数控机床、化工自动控制、交通自动控制、自动灭火系统、智能仪器等。

(4) 计算机辅助设计 利用计算机部分代替人工进行机械、电路、房屋、服装等设计。

(5) 人工智能的应用 人工智能就是用计算机模拟人类的智能，使计算机具有听、看、说和“思维”的能力。人工智能包括的内容有：图形与语言的识别、语言的翻译、专家系统、机器人、自动程序设计等。

本书侧重于计算机的实时控制应用。

## 一、微型计算机的组成

### 1. 计算机的基本结构

电子计算机的结构框图如图 1-1 所示。它由运算器、控制器、存储器、输入设备及输出设备五大部分组成。

运算器是计算机处理信息的主要部件。控制器产生一系列控制命令，控制计算机各部件自动地、协调一致地工作。存储器是存放数据与程序的部件。输入设备用来输入数据与程序，常用的输入设备有键盘、光电输入机等。输出设备将计算机的处理结果用数字、图形等形式表示出来。常用的输出设备有显示终端、数码管、打印机、绘图仪等。

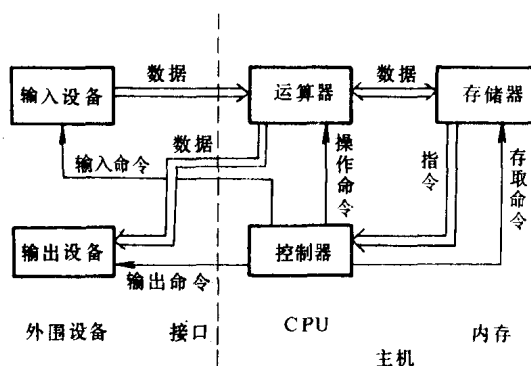


图 1-1 计算机结构

通常把运算器、控制器、存储器这三部分称为计算机主机，而输入、输出设备则称为计算机的外围设备（简称“外设”）。由于运算器、控制器是计算机处理信息的关键部件，所以常将它们合称为中央处理单元 CPU（Central Processing Unit）。

### 2. 字长

计算机内所有的信息都是以二进制代码的形式表示的。一台计算机所用的二进制代码的位数称为该计算机的字长。从需要来讲，计算机的字长越长，它能代表的数值就越大，能表示的数值的有效位数也越多，计算的精度就越高。但是，位数越多，用来表示二进制代码的逻辑电路也越多，使得计算机的结构变得庞大，电路变得复杂，造价也越昂贵。用户通常要根据不同的任务选择不同字长的计算机。

微型计算机的字长有 1 位、4 位、8 位、16 位、32 位等。目前国内应用最多的是 8 位微机和 16 位微机。

### 3. 微型计算机结构

随着大规模集成电路技术的发展，已经把运算器、控制器集成在一块硅片上，成为独立的器件。该芯片称为微处理器或微处理机（Microprocessor），也称 CPU。存储器（Memory）也已经集成为一块块独立的芯片。

微处理器芯片、存储器芯片与输入/输出接口电路芯片（简称 I/O 接口）构成了微型计算机（Micro-Computer），芯片之间用总线（Bus）连接，如图 1-2 所示。

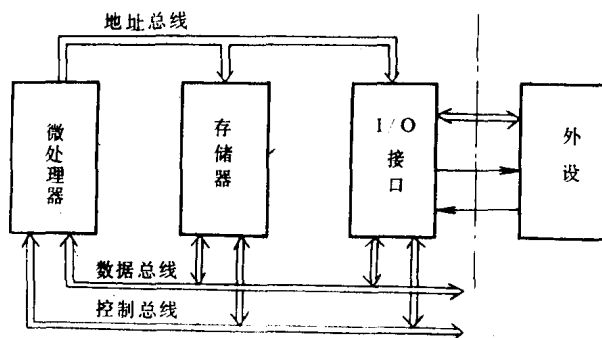


图 1-2 微型计算机结构

#### (1) 微处理器 微处理器是微型计

算机的核心，它通常包括 3 个基本部分：

**算术逻辑部件 ALU (Arithmetic Logic Unit)。**ALU 是对传送到微处理器的数据进行算术运算或逻辑运算的电路，如执行加法、减法运算，逻辑与、逻辑或运算等。

**工作寄存器组。**CPU 中有多个工作寄存器，用来存放操作数及运算的中间结果等。

**控制部件。**控制部件包括时钟电路和控制电路。时钟电路产生时钟脉冲，用于计算机各部分电路的同步定时。控制电路产生完成各种操作所需的控制信号。

(2) **存储器** 存储器是微型计算机的重要组成部分，计算机有了存储器才具备记忆功能。

存储器由许多存储单元组成，图 1-3 是它的示意图，每个方格表示一个存储单元。存储单元存放的二进制位数与字长一致。在 8 位微机中，每个存储单元存放 8 位二进制代码。在计算机中，8 位二进制数又称为一个字节，所以 8 位微机的存储单元存放一个字节 (Byte)。

存储器的一个重要指标是容量。假如存储器有 256 个单元，每个单元存放 8 位二进制数，那么该存储器容量为 256 字节，或  $256 \times 8$  位。在容量较大的存储器中，存储容量以“KB”为单位，1KB 容量实际上是  $2^{10}=1024$  个存储单元。

计算机工作时，CPU 将数码存入存储器的过程称为“写”操作，CPU 从存储器中取数码的过程为“读”操作。写入存储单元的数码取代了原有的数码，而且在下一个新的数码写入之前一直保留着，即存储器具有记忆数码的功能。在执行读操作后，存储单元中原有的内容不变，即存储器的读出是非破坏性的。

为了便于读、写操作，要对存储器所有单元按顺序编号，这种编号就是存储单元的地址。每个单元都拥有相应的唯一的地址，如图 1-3 所示。地址用二进制数表示，地址的二进制位数  $N$  与存储容量  $Q$  的关系是： $Q=2^N$ ，例如

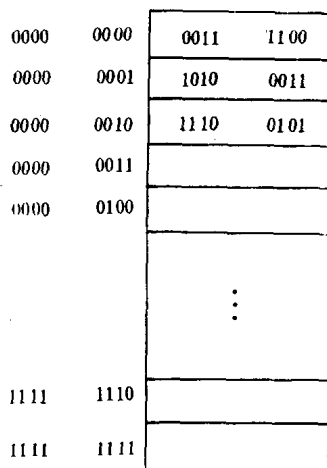


图 1-3 存储器示意图

二进制位数 $N$	存储容量 $Q$ (字节)
8	256
10	1K
11	2K
12	4K
16	64K

注：对于  $Q$  来说，习惯上称  $2^{10}=1024$  为 1K，注意这里  $1K \neq 1000$ ！因此： $2^{11}=2K=2048 \neq 2000$ ； $2^{16}=64K=65536 \neq 64000$ 。

(3) **输入/输出接口电路** I/O 接口是沟通 CPU 与外部设备的不可缺少的重要部件。外部设备种类繁多，其运行速度、数据形式、电平等各不相同，常常与 CPU 不一致，所以要用 I/O 接口作桥梁，起到信息转换与协调的作用。例如打印机打印一行字符约需 1s，而计算机输出

一行字符仅需 1ms 左右, 要使打印机与计算机同步工作, 必须采用相应的接口电路芯片来协调和衔接。

(4) 总线 所谓总线, 就是在微型计算机各芯片之间或芯片内部各部件之间传输信息的一组公共通信线。图 1-4 表示各芯片之间的一组 8 位总线, 该总线由 8 根传输导线组成, 可以在芯片 1、2……N 之间并行传送 8 位二进制数构成的信息。

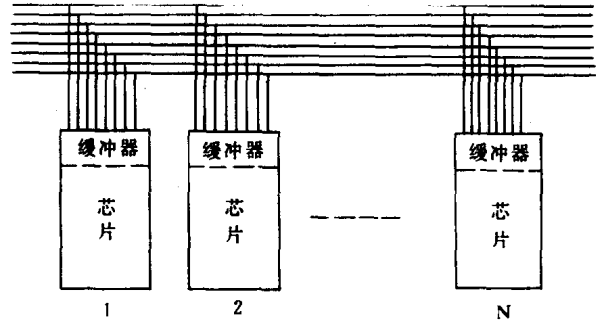


图 1-4 8 位总线

微型计算机采用总线结构后, 芯片之间不需单独走线, 这就大大减少了连接线的数量。但是, 挂在总线上的芯片不能同时发送信息, 否则多个信息同时出现在总线上将发生冲突而造成出错。这就是说, 如果有几块芯片需要输出信息, 就必须分时传送。为了实现这个要求, 挂在总线上的各芯片必须通过缓冲器与总线相连。

三态门是常用缓冲器的一种。单向三态门电路及其真值表如图 1-5 所示, 控制端  $C$  为高电平“1”时三态门导通, 信息从  $A$  传送到  $B$ 。控制端  $C$  为低电平“0”时三态门截止,  $A$ 、 $B$  之间呈现高阻隔离状态。双向三态门电路如图 1-6 所示。控制端  $C_1=0$ 、 $C_2=0$  时三态门截止,  $A$ 、 $B$  之间呈现高阻状态。 $C_1=1$ 、 $C_2=0$  时门 1 导通、门 2 截止, 信息从  $A$  传送到  $B$ 。 $C_1=0$ 、 $C_2=1$  时门 1 截止、门 2 导通, 信息从  $B$  传送到  $A$ 。

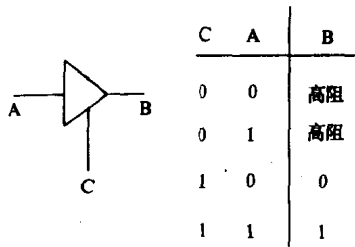


图 1-5 单向三态门

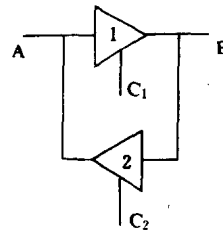


图 1-6 双向三态门

单向总线的缓冲器由单向三态门构成, 双向总线的缓冲器由双向三态门构成。8 位总线的缓冲器由 8 个三态门组成, 每个三态门控制芯片的一根传输线。

在每一瞬间, 由 CPU 发出的控制信号只接通一个发送信息芯片的缓冲器, 同时还接通接收信息芯片的缓冲器, 其他缓冲器都处在高阻断开状态, 这就保证了信息传送的正确性。

微型计算机采用总线结构后, 还可以提高计算机扩展存储器芯片及 I/O 芯片的灵活性。因为挂在总线上的芯片数量原则上是没有限制的, 需要增加芯片时, 只需通过缓冲器挂到总线上就行了。但是, 总线一次只能传送一个数据, 使计算机的工作速度受到了影响。

很多计算机采用三总线结构: 数据总线 DB (Data Bus) 在芯片之间传送数据信息; 地址总线 AB (Address Bus) 传送地址信息; 控制总线 CB (Control Bus) 传送控制命令。有的计算

机用一组总线分时传送地址和数据信息，称为地址/数据分时复用总线。在微处理器内部往往只使用一组总线，称为单总线结构。

将微处理器、存储器、I/O 接口电路以及简单的输入、输出设备组装在一块印制电路板上，称为单板微型计算机，简称单板机。将微处理器、存储器和 I/O 接口电路集成在一块芯片上，称为单片微型计算机。

微型计算机与外围设备、电源、系统软件一起构成应用系统，称为微型计算机系统。图 1-7 概括了微处理器、微型计算机、微型计算机系统三者的关系。

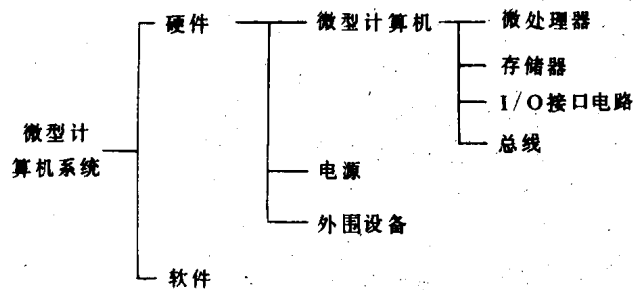


图 1-7 微型计算机系统

## 二、微型计算机软件

上面所述的微型计算机设备称为硬件。计算机要能够脱离人的直接控制而自动地操作与运算，还必须要有软件。软件是指使用和管理计算机的各种程序 (Program)，而程序是由一条条指令 (Instruction) 组成的。

### 1. 指令

控制计算机进行各种操作的命令称为指令。

例如，将数 29 传送 (Move) 到寄存器 A 的指令称为传送指令，书写形式为

$$\text{MOV A, \#29; (A) } \leftarrow 29$$

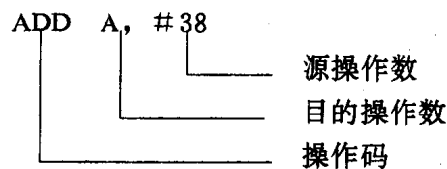
其中“(A) ← 29”是用符号表示的该指令功能。

将寄存器 A 的内容与数 38 相加的指令称为加法 (Additive) 指令，书写形式为

$$\text{ADD A, \#38; (A) } \leftarrow (\text{A}) + 38$$

该指令将运算结果送回 A 保存。

指令分成操作码和操作数两大部分。操作码表示该指令执行何种操作，操作数表示参加运算的数据或数据所在的地址。在指令中，操作码 ADD 表示该指令执行加法操作。操作数 # 38 表示参加运算的一个数据是其本身，# 38 称为立即数。操作数 A 表示指令提供了另一个数据所在的地址，即该数据在寄存器 A 中。而且规定：运算结果放入目的操作数单元，即和放入 A 中。



### 2. 程序

为了计算一个数学式，或者要控制一个生产过程，需要事先制定计算机的计算步骤或操作步骤。计算步骤或操作步骤是由一条条指令来实现的。这种一系列指令的有序集合称为程



序。编制程序的过程称为程序设计。

例如，计算  $63+56+36+14=?$  编制的程序如下：

MOV A, #63 ; 数 63 送入寄存器 A。

ADD A, #56 ; A 的内容 63 与数 56 相加，其和 119 送回 A。

ADD A, #36 ; A 的内容 119 与数 36 相加，其和 155 送回 A。

ADD A, #14 ; A 的内容 155 与数 14 相加，运算结果 169 保存在 A 中。

为了使机器能自动进行计算，要预先用输入设备将上述程序输入到存储器存放。计算机启动后，在控制器的控制下，CPU 按照顺序依次取出程序的一条条指令，加以译码和执行。程序中的加法操作是在运算器中进行的。运算结果可以保存在 A 中，也可以通过输出设备从计算机中输出。如上所述，计算机的工作是由硬件、软件紧密结合、共同完成的，这与一般的数字电路系统不同。

### 3. 机器语言、汇编语言和高级语言

编制程序可使用汇编语言或高级语言。

上面介绍的用助记符（通常是指令功能的英文缩写）表示操作码、用字符（字母、数字、符号）表示操作数的指令称为汇编指令。用汇编指令编制的程序称为汇编语言程序。这种程序占用存储器单元较少，执行速度较快，能够准确掌握执行时间，可实现精细控制，因此特别适用于实时控制。然而汇编语言是面向机器的语言，各种计算机的汇编语言是不同的，必须对所用机器的结构、原理和指令系统比较清楚才能编写出它的各种汇编语言程序，而且不能通用于其他机器，这是汇编语言的不足之处。

高级语言是面向过程的语言，常用的高级语言有 BASIC、FORTRAN、ALGOL、PASCAL、COBOL 等等。用高级语言编写程序时主要着眼于算法，而不必了解计算机的硬件结构和指令系统，因此易学易用。高级语言是独立于机器的，一般地说，同一个程序可在任何种类的机器中使用。高级语言适用于科学计算、数据处理等方面。

计算机中只能存放和处理二进制信息，所以，无论高级语言程序还是汇编语言程序，都必须转换成二进制代码形式后才能送入计算机。这种二进制代码形式的程序就是机器语言程序。二进制代码形式的指令又称机器指令或机器码。汇编指令与机器指令具有一一对应的关系，表 1-1 是用这两种指令编写的同一段程序。

表 1-1

汇编语言	机器语言
MOV A, #63	0111 0100 0011 1111
ADD A, #56	0010 0100 0011 1000
ADD A, #36	0010 0100 0010 0100
ADD A, #14	0010 0100 0000 1110