

微型

电子计算机

入门

WEIXING

DIANZI JISUANJI

RUMEN

四川人民出版社

微型电子计算机入门

薛家政 徐秀玲 编译

刘锦德 校审

四川人民出版社

一九八〇年·成都

封面设计：邹小工

微型电子计算机入门

薛家政 编译
徐秀玲

四川人民出版社出版

(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行 渡口市新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张16.25 插页2 字数400千

1980年12月第一版

1980年12月第一次印刷

印数：1—2,600册

书号：15118·39

定价：2.12元

序 言

微型计算机是电子计算机技术和半导体技术的结晶。自七十年代初第一台微型机问世以来,目前每年都有数以千万计的微处理器片和大量的微型机投入市场,应用在国防尖端、工业生产和民用产品等各个方面,给国民经济和社会生活的一切领域,带来了深刻影响。我国继一九七七年试制出第一台微型计算机 DJS 050 以后,又陆续研制成 DJS051、052、053 和 061 等机型。在应用方面,也取得了第一批成果。我国的微型机事业,已从摇篮期进入了发展阶段。可以预期,在不远的将来,微型机将会深深渗入各行各业,为我国的四个现代化作出应有的贡献。

什么叫微型计算机?它是怎样工作的?它可以用在什么地方和起什么作用?这是普遍关心的问题。为了回答这些问题,我们根据 Adam Osborne 的原著,参考了其它微型计算机书籍和期刊资料,编译了《微型计算机入门》。本书可分成五部分。第一部分(第一、二、三章)叙述了微型机的发展史、定义、分类和特点,引入了二进制概念和它的运算方法以及实现这些运算的基本逻辑电路和数字电路。第二部分(四、五章)主要介绍微型机的硬设备,包括中央处理器和外围器件。第三部分(第六章)是程序设计技术,介绍了汇编语言、分析了指令系统,给出了若干常用程序的例子。第四部分(第七章)介绍了目前国外最流行的几种微型计算机的内部结构和工作原理。第五部分(第八章)简述了微型机在自动控制、仪器仪表、通信雷达、多处理机和家用电器等方面的应用例子。

本书对微型计算机的工作原理，特别是一些重要的概念，进行了逐步的详细分析，力求做到深入浅出。为了帮助初学者理解，书中还附有大量插图。

编译者

一九八〇年三月

目 录

序 言

第一章 绪 论	1
第一节 概 述	1
第二节 二进制运算	8
第二章 逻辑运算和数字电路	17
第一节 基本逻辑运算和逻辑电路	17
第二节 触发器	23
第三节 基本功能电路	28
第四节 数字系统设计	36
第五节 集成逻辑电路	44
第三章 基本概念	46
第一节 存储器的组织	46
第二节 存储器字内容的解释	55
第四章 微型计算机的中央处理器	76
第一节 中央处理器的结构	76
第二节 指令的执行	97
第三节 微程序的控制和控制器	115
第五章 中央处理器外部逻辑	132
第一节 程序和数据存储器	132
第二节 微型机外部的数据传送(输入/输出)	138
第三节 外部系统总线	184

第四节	串行输入/输出 (I/Q)	185
第五节	实时逻辑	189
第六章	微型机的程序设计	191
第一节	程序语言的概念	191
第二节	汇编语言	197
第三节	存储器寻址	206
第四节	指令系统	257
第五节	指令介绍	262
第六节	指令系统汇总	325
第七章	微型计算机实例	329
第一节	仙童公司的 F8 微型机	332
第二节	国家半导体公司的 PACE 微型机	357
第三节	国家半导体公司的 SC/MP 微型机	379
第四节	英特尔公司 8080 微型机	393
第五节	莫托洛拉公司的 M 6800 微型机	416
第六节	洛克威尔公司的 PPS-8 微型机	436
第七节	西格尼蒂克公司的 2650 微型机	468
第八章	应用	493

第一章 绪 论

第一节 概 述

微型计算机从七十年代诞生以来，仅仅经过约十年的发展过程，但今天已有了第三代产品，并成了现代电子计算机领域中的一个重要发展方面。有人预言，微型计算机的产生，将会引起一场工业和技术的革命。尽管这种说法有点夸张，但无疑，微型计算机对计算机本身的发展和普及具有重要意义，而且将深刻地影响着整个社会的进步。

1. 微型计算机的诞生

人们知道，第一台数字电子计算机是1945年问世的，它采用了18000只电子管，体积3000呎³，重130吨，耗电量近100千瓦，但加减运算速度只有每秒五千次，还抵不上现在的微型计算机。由于设备庞大，资金昂贵，操作困难，第一代电子管计算机被视为“科学珍品”，主要用在极少数军事部门。

一九五六年制成了由晶体管构成基本逻辑电路的数字计算机，进入了计算机发展的第二代，即晶体管数字计算机的时代。和第一代相比，第二代计算机的体积小了，耗电少了，可靠性高了，价格大幅度降低。电子计算机开始用于民用事业和工业生产部门。

六十年代初期，半导体制造厂创造了一种全新的工艺，它们应用制造单个晶体管的技术，在一块小硅片上，一次制得几十只晶体管和其它元件，从而使整个门电路和触发器可以集成在

一个芯片上。这就是通常所说的小规模集成电路。集成电路技术和计算机技术相结合，产生了第三代电子计算机，称为集成电路数字计算机。以后，半导体工艺不断改进，可以在一个芯片上集成100到1000个晶体管元件(中规模集成)。有了中规模集成电路，计算机的算术和逻辑单元可以制作在几块集成电路片上。

一九六五年，采用集成电路技术的PDP-8电子计算机在市场上出售(当时价值五万美元)，标志着小型计算机工业的诞生。小型计算机性能好，造价低，体积小，方便灵活。这些特点为计算机大量进入实验室和工厂生产线创造了有利条件。但是小型机仍有自己的缺点。当更多的行业认识到计算机的优越性而想把它引入自己的业务时，不少行业发现小型机对本行业还嫌太贵，而且有“功能过剩”现象，即其功能超出了需要。这些因素促使了人们去研制性能和价格都低于小型机的机器。

半导体工艺在继续发展。到六十年代末期，半导体制造商在致力于发展双极型器件的同时，克服了金属-氧化物-半导体(MOS)工艺所面临的一些难题，开始廉价地大量生产在一个芯片上集成1000个以上晶体管的大规模集成电路。这样为把简单的计算机做在一块或几块硅片上(最起码需要1000个逻辑元件)创造了物质条件。

与此同时，长期的实践，特别是通过小型计算机的设计和生产实践，使计算机工作者积累了丰富的系统设计的经验，能根据具体情况灵活地设计计算机系统，以应付所遇到的各种制约(采用大规模集成电路后，计算机将受新的制约，如芯片面积有限，封装引线有限，等等)。至此，既有了对微型计算机的广泛需要，又具备了成熟的设计技术和工艺，微型机的出现只是时间早晚的问题了。

一九七一年，从事生产半导体存储器的英特尔公司，开始了计算器的研制工作。他们决定采用P沟道MOS工艺，把计算器

的基片设计成一种灵活的、可程序的单片微处理器，这是设计思想上的一个重大发展。得到的产品是 Intel 4004。由它组成的微型计算机为 MCS-4。它一次能处理四位二进制数字组成的字组。在一块 0.297×0.404 厘米的硅片上有 2250 个晶体管，封装后有 16 根引线。几个月后，该公司又生产了一种八位的微处理器芯片 8008（由它组成的微型计算机为 MCS-8），它比 4004 有更大的灵活性，计算功能也更强。这些微处理器和微型计算机一经出现，立即引起人们的注意，很快得到了广泛应用。这样，微型计算机便应运而生。以 4004 和 8008 为代表的微处理器，人们称之为第一代微处理器。它们有以下四个基本特征：采用 P 沟道 MOS 工艺；有 4-8 位并行处理的功能；管壳引线有 16~24 根；系统结构还没有超出计算器的范围。从 1973 年开始，相继出现了以英特尔公司的 8080、莫托洛拉公司的 M 6800 和泽洛格公司的 Z80 为代表的一系列微处理器，称之为第二代微处理器。它们具有的基本特征是：采用速度高于 PMOS 的 NMOS 或其它工艺；一般具有 8 位并行处理的能力；管壳引出线 40 根；具有典型计算机的体系结构（但字长只有 8 位）。自 78 年以来，又有了新的进展，研制成功并开始生产以 Intel 8086、Z8000 和 M 68000 为代表的第三代微处理器。与第二代相比，它们字长更长，速度更快，功能更强。它们的基本特征是：采用速度和集成度都高于 NMOS 的 HMOS 或其它工艺；有 16 位并行处理能力；管壳引出线 40~64 根；具有小型机的体系结构。

2. 什么叫微型计算机和微处理器

现在我们回过头来讨论微型计算机和微处理器的定义。所谓微处理器，一般是指一个或几个大规模集成电路芯片所组成的中央处理器。而所谓微型计算机，则是以微处理器为中心，配以大规模集成的存储器片、输入输出接口片和其它辅助电路而构成的系

统。按照 Altman 的定义,“微处理器不是计算机,它是微型计算机的控制和处理部分,而微型机是具有可以独立运行功能的计算机。它应包括微处理器、存储器、输入输出电路和其它配套电路”。因此,微型计算机和微处理器应该是二个具有不同含义的术语。但在目前的文献中,常常不加严格区别地把它们当作同义词来使用。这点请读者注意。

由上述定义可知,微型计算机的结构,大致包括三大部分,即微处理器部分,主存储器部分和输入输出部分。

微处理器由运算器和控制器组成,它的功能是访问存储器,取指令,对指令作出解释,并执行指令所规定的操作,等等。

主存储器包括只读存储器和随机存储器。前者存放固定的程序,后者一般存放数据,需要时也可存程序,此外它还向程序提供工作区。

输入输出片是输入输出设备连接微型计算机的接口部分(包括外围设备接口片、通信接口片等)。输入输出设备通过这些片和微型机交换信息,如把程序和数据输入到微型机,或者把微型机处理的结果送给外界。微型机的输入输出设备有电传打字机、字符显示器、键盘、软盘、盒式磁带、小型纸带输入机和小型快速打印机等。

微型机的各个部分通过一组连线互连,人们一般称之为总线。

3. 微处理器所用的工艺

微处理器所用的大规模集成电路工艺,大体分为两大类: MOS型和双极型。前者又可分为 PMOS、NMOS、HMOS、CMOS 和 SOS 等,后者包括了肖特基晶体管-晶体管逻辑(STTL)、发射极耦合逻辑(ECL)和集成注入逻辑(I²L)等。

PMOS 工艺在计算器大规模集成化方面的成功,促使人们在

早期的微型机制作中都采用它。随后当微处理器向更高位数,更强功能发展时,人们发现 PMOS 所能提供的集成度有限,反之, NMOS 硅栅工艺在这方面却优越得多,而且 NMOS 比 PMOS 还有速度高的优点。改用这种工艺的结果,制成了位数更多、速度更高、功能更强的微处理器。于是 NMOS 硅栅工艺成了微处理器制造中的主流。进一步改进 NMOS 的自然发展,是加耗尽型负载和缩短沟道长度,于是出现了 HMOS。由于流动设备要求微处理器功耗小并能在恶劣条件下工作,促成了把互补 MOS(即 CMOS)工艺引入微处理器。因为 CMOS 具有功耗小、抗干扰力强、允许电源变化大和适应大范围温度变化等优点。进一步改进 CMOS,出现了以蓝宝石为衬底的 CMOS-SOS 工艺。

双极型工艺最初由于集成度不易做高而未在微处理器中采用。但随着人们对微处理器性能要求的提高(特别在速度方面),最后也进入了微处理器领域。最先采用的是低功耗 STTL,为了获得更高速度,也试制成了 ECL 微处理器。为了不但能在速度上,而且能在功耗和集成度上与 MOS 型竞争,近几年来还在双极型微处理器中应用了 I²L 工艺,获得了成功,为双极型微处理器的发展开辟了一条新路。

4. 微处理器和微型机的种类

目前已研制成的微处理器,大体上可以分成四种类型:

(1) 单片四位:在一片上制作四位并行处理的中央处理器。这类产品的速度低,指令少,与外界的信息交换受引线数量的限制。它主要用在对速度要求不高的地方,如袖珍计算器、娱乐设备、现金出纳机、售货点终端、部分测量仪器等。

(2) 单片 8 位:在一片上制作 8 位并行处理的中央处理器。这类产品的速度较高,指令较丰富,与外界交换考虑周到,它是目前微处理器的主流。主要用于工业控制、智能终端、测量仪

器、通信、数据处理等部门，需要量很大。

(3) 单片 16 位：在一片上制做 16 位并行处理的中央处理器，基本上具有小型机的功能。今后一部分小型机就可用它来代替，也用于过程控制、数据处理和长途通信等。

(4) 位片型：以二位或四位为单位，制成一片片芯片，再由多个这样的芯片加上控制电路，可构成位数较多的、完整的微处理器。位片型微处理器都用双极型工艺，它们是为满足用户对高性能和高速度等的特殊要求而设计的。

目前，国外市场上供应的微型计算机，主要有以下几种形式。

(1) 单片微型机 这是把微处理器和 1K~2K 字节 ROM、64-128 字节 RAM 和输入输出电路制在一个片子上而得。

(2) 单板微型计算机 这是在一块印制电路板上把中央处理器、存储器和外围 LSI 片连接起来，并能作为计算机来工作的装置。

(3) 微型计算机装配件 这是由厂家提供微处理器、插件板、存储器片、外围 LSI 片等配套元件，由用户自己组装成单板微型计算机。

(4) 微型计算机系统 这是把微型计算机、控制面板、电源等都组装在一个机壳内，大小和一般仪器相仿。在此之外，往往配有软盘、盒式磁带机、CRT 显示器、打印机等外部设备，形成一个小小而完整的计算机系统。

(5) 微型机开发系统 为了方便微型机系统的设计者，一些主要的微型机厂还向用户提供微型机开发系统，它由硬件和软件二部分组成，硬件部分即一完整的微型机系统。

5. 微型机的特点

一九七七年，世界上生产了 830 万个微处理器，1978 年又

增至 1800 万个以上。微型机从发明到站住脚、赢得信任和取得重大的发展，仅仅用了短短几年时间。微型机取得成功的秘密何在呢？下面我们将要谈到的特点，是其成功的关键。

(1) 价格便宜 目前国际市场上一台大型计算机的中央处理器，售价可由几十万到几千万美元，就是小型机，最少也需一万美元。微处理器的价格，便宜的只有十几美元甚至几美元，一台微型机只需几百元至几千元(视内容大小而定)。这个特点使得一些中小用户和一些廉价的设备都能用上计算机。

(2) 体积小重量轻 流行的 PDP-8 小型机的尺寸和二抽屉文件柜相仿，而典型的微处理器芯片的尺寸是每边 0.5 厘米，即使加上其它器件(完成定时、程序存储器、随机存储器、输入/输出接口以及其它辅助功能)，装成一个完整的计算机，也完全可以容纳在书本大小的一块板子上。微处理器的重量，最轻的只有几个盎司。这个特点使以前无法装备计算机的小型设备，乃至家庭电器设备等，也可以装备计算机了，从而大大扩大了计算机的应用范围。

(3) 耗电量小 一般仅需几瓦，用电池也足以支持很长时间，同时散热和冷却等问题也易解决。

(4) 可靠性高 微型机用的都是大规模集成电路，一个器件代替许多逻辑电路，所以整个机器内器件数量大大减少，相应地焊点也大大减少，因而可靠性提高。

(5) 通用性和灵活性好 要使微型机执行不同任务，只要改编一下程序即可，不必象固定布线逻辑那样从头开始逻辑设计和进行逻辑连接，等等，这个特点使系统设计周期大为缩短，设计费用减少，并可以做到标准化。

当然微型机也有自己的缺点和限制，如速度低，指令功能弱，存储器容量小，字长短，等等。但这些缺点，只要处理适当，对微型机的应用并无多大影响。

第二节 二进制运算

微型计算机与任何其它计算机没有根本的区别，因为所有的计算机全都依据同样的基本的计算概念，即二进制运算，而这又导致了同样的逻辑概念。

二进制数字是只有 1 和 0 而无别的数值的数。二进制数字之所以如此有用，是因为它可用任何有二个稳定状态的器件来表示。不论任何东西，只要能“通”或“断”，“高”或“低”，就可用它的一种状态表示 0，用另一种状态表示 1。这就是学习微型计算机原理所需要懂得的全部物理原理。

1. 数制

如果计算机能计数的值不超过 1，那么这种机器是不会很有用的。幸运的是，二进制数字可用于表示任意大小的数，就象一串十进制数字可表示超过九的数一样。现在让我们来讨论数实际上是些什么东西组成的。

十进制数

当一个十进制数有一位以上时，它的每一位数字实际代表的是什么呢？二位数字“11”实际上是表示十加一：

$$11 = 1 \times 10 + 1$$

类似的数 83，实际上是表示八个十加三：

$$83 = 8 \times 10 + 3$$

数 2347 则表示二个一千加三个一百，再加四个十，加七：

$$2347 = 2 \times 1000 + 3 \times 100 + 4 \times 10 + 7$$

关于十进制数没有什么独特的地方。以十为基数的数的普遍应用，几乎肯定地归因于人有十个手指和十个足指这一事实，但是任何其它的基数也同样可以使用。

二进制数

因为十进数的每一位最高只能是9，所以十就要用10表示，也即1乘上基数（在这种情形里基数是十）加0。用字母B表示基数，即得：

$$10 = 1 \times B + 0$$

在二进制中B不是十而是二，因此二进制的10等于十进制的2：

$$10 = 1 \times 2 + 0$$

类似的，在二进制中11代表3：

$$11 = 1 \times 2 + 1$$

一般地说，假定任何一个计数制中，各位数字可用符号 d_i 、 d_j 、 d_k 等表示。如果B表示基数，那么任何数都可用下列方程式来表示：

$$d_i d_j d_k d_1 = d_i \times B^3 + d_j B^2 + d_k B + d_1$$

对于十进数的例子($B=10$)和二进数的例子($B=2$)有：

$$2174 = 2 \times 10^3 + 1 \times 10^2 + 7 \times 10 + 4$$

$$d_i d_j d_k d_1 = d_i \times B^3 + d_j \times B^2 + d_k \times B + d_1$$

$$1011 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1$$

数制的转换

将数从一种基数转换到另一种基数是不难的。因为我们至今只讨论了十进制数和二进制数，所以现就考虑这两种数制之间的转换。

由二进制数转换为十进制数：

$$1011 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1$$

$$= 1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1$$

$$= 8 + 0 + 2 + 1$$

$$= 11(\text{十进制})$$

将一个十进制数连续地除以2，并记下每次除法运算的余数，就可以得到由十进制数转换为相应二进制数的简单方法。例如

要把十进制的 11 转换为二进制数，则可按下列步骤进行：

商数	余数
$\frac{11}{2} = 5 + 1$	1
$\frac{5}{2} = 2 + 1$	1
$\frac{2}{2} = 1 + 0$	0
$\frac{1}{2} = 0 + 1$	1

1 0 1 1

因此， $11_{10} = 1011_2$ ，下标 10 和 2 分别表示基数为 10 和 2 的数。

小数二进制数转换为十进制数的一般方程，可写成如下等式：

$$d_i d_j d_k d_l \dots = (d_i \times B^{-1}) + (d_j \times B^{-2}) + (d_k \times B^{-3}) + (d_l \times B^{-4}) \dots$$

式中 d_i 、 d_j 、 d_k ……表示各位数字，B 表示基数。例如，要把 0.1011 转换成对应的十进制数，可按下式进行：

$$\begin{aligned} 0.1011 &= (1 \times 2^{-1}) + (0 \times 2^{-2}) + (1 \times 2^{-3}) + (1 \times 2^{-4}) \\ &= 0.5 + 0 + 0.125 + 0.0625 = 0.6875_{10} \end{aligned}$$

为将十进制的小数转换成相应的二进制数，例如 0.6875₁₀ 转换成二进制数，可应用下列近似方法：

$\begin{array}{r} 0.6875 \\ \times \quad 2 \\ \hline 1.3750 \\ \downarrow \\ 1 \end{array}$	$\begin{array}{r} 0.3750 \\ \times \quad 2 \\ \hline 0.7500 \\ \downarrow \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{r} 0.7500 \\ \times \quad 2 \\ \hline 1.5000 \\ \downarrow \\ 1 \end{array}$
---	---	---