

微 处 理 机 基 础

Lance A. Leventhal 著

白 英 彩 等 译

杜 毅 仁 校

一九八一年五月

目 录

第一章 微处理机导论

§ 1.1 引言	(3)
§ 1.2 大型机、小型机和微型机	(4)
§ 1.3 几种典型的计算机的比较	(5)
§ 1.4 微处理机的发展历史	(12)
§ 1.5 半导体工艺	(15)
§ 1.6 集成电路的特点	(17)
§ 1.7 半导体存储器	(19)
§ 1.8 微处理机的应用	(20)

第二章 微处理机的结构

§ 2.1 一般计算机的结构	(26)
§ 2.2 寄存器	(30)
§ 2.3 算术运算单元	(33)
§ 2.4 指令处理部分	(33)
§ 2.5 堆栈	(35)
§ 2.6 微处理机结构的特点	(36)
§ 2.7 微处理机结构的范例	(38)
§ 2.8 本章提要	(40)

第三章 微处理机的指令系统

§ 3.1 计算机指令的格式	(43)
§ 3.2 寻址方式	(45)
§ 3.3 指令的类型	(51)
§ 3.4 微处理机的指令系统	(59)
§ 3.5 微处理机指令系统的示例	(60)
§ 3.6 本章提要	(68)

第四章 微处理机的汇编程序

§ 4.1 程序设计语言的比较	(72)
§ 4.2 汇编程序的特征	(76)
§ 4.3 微处理机汇编程序的特点	(85)
§ 4.4 英特尔8080和莫托洛拉6800的汇编程序	(86)
§ 4.5 本章提要	(91)

第五章 汇编语言程序设计

§ 5.1 简单程序	(95)
§ 5.2 循环和数组	(101)
§ 5.3 算术运算	(111)
§ 5.4 字符处理	(118)
§ 5.5 子程序	(123)
§ 5.6 本章提要	(129)

第六章 微处理机的软件研制

§ 6.1 软件研制的任务	(133)
§ 6.2 问题的定义	(136)
§ 6.3 程序设计	(138)
§ 6.4 编码	(144)
§ 6.5 调试	(146)
§ 6.6 测试	(149)
§ 6.7 文件编制	(151)
§ 6.8 修改设计	(152)
§ 6.9 软件开发系统	(153)
§ 6.10 本章提要	(158)

第七章 微型计算机的存贮器

§ 7.1 存贮器接口的一般特点	(162)
§ 7.2 简单的存贮器	(165)
§ 7.3 总线控制机构	(171)
§ 7.4 三态存贮器的设计	(176)
§ 7.5 专用微处理机的存贮器	(178)
§ 7.6 本章提要	(185)

第八章 微处理机的输入/输出

§ 8.1 输入/输出概述	(188)
§ 8.2 简单的输入/输出部分	(191)
§ 8.3 一般的输入/输出部分	(194)
§ 8.4 较有用的输入/输出硬件	(198)
§ 8.5 输入/输出设备	(206)
§ 8.6 处理机的输入/输出部分的设计	(218)
§ 8.7 本章提要	(238)

第九章 微处理机的中断系统

§ 9.1 中断的优缺点	(242)
--------------	---------

§ 9.2 中断系统的特点	(245)
§ 9.3 简单的中断系统	(251)
§ 9.4 具体的处理机的中断系统	(256)
§ 9.5 直接存储器存取 (DMA)	(274)
§ 9.6 本章提要	(276)

附录1 二进制数制

§A1.1 二进制数的一般介绍	(280)
§A1.2 二进制算术运算	(281)
§A1.3 八进制和十六进制数制	(284)

附录2 逻辑函数简介

§A2.1 “与”函数	(289)
§A2.2 “非”功能	(291)
§A2.3 “或”函数	(292)
§A2.4 “异”函数	(293)

附录3 数字和字符代码

§A3.1 数字代码	(295)
§A3.2 字符代码	(300)
§A3.3 七段代码	(303)

附录4 半导体工艺

§A4.1 半导体工艺综述	(305)
§A4.2 MOS 工艺	(307)
§A4.3 双极型工艺	(311)

附录5 半导体存储器

§A5.1 半导体存储器综述	(315)
§A5.2 RAM 和 ROM	(318)
§A5.3 PROM	(323)
§A5.4 其它存储器和发展趋势	(325)

附录6 英特尔 8080 的指令系统

附录7 莫托洛拉 6800 的指令系统

微处理机几乎已在各种工业中产生了深远的影响。新的处理机、为处理机配套的硬件和软件以及采用微处理机的新产品层出不穷。正如通常那样,教科书和其它教材的传播范围远不如技术本身的传播范围那么大。为具体的微处理机编写的说明只能供用户作为参考资料,而并不准备作教科书用;贸易刊物或技术期刊中的文章所讨论的只是有限的课题或特定的应用。本书是供大学高年级学生学习微处理机导论用的教科书,学生应学过程序设计和数字电路方面的预备课程。本书对于电气工程、其它工程学科、物理和自然科学、数学、计算机科学以及有害辐射防护科学等专业的大学生和研究生来说将是十分有用和有趣的。本书也可供工程师、技术员、管理人员、程序员、教师及其它人员作为微处理机方面的自学或参考用书。

微处理机不能孤立地从软件的角度或从硬件的角度来理解,这一点是讲授微处理机的一个主要困难。程序员将发现,微处理机的结构、指令系统和软件与他们可能很熟悉的其它计算机十分相似。工程师则会发现,微处理机的物理特性、输入和输出信号以及工作特点与他们可能很熟悉的其它集成电路一样。然而,程序员和工程师都会发现,研制以微处理机为中心的系统要求对硬件和软件都有所了解。

笔者在本书中采取这种观点,即微处理机的使用确实涉及到将设计重点由硬件转移到软件这样一个问题,所以笔者强调了软件。与此同时,也相当详细地讨论了微处理机的硬件,特别强调了存贮器部分的设计、标准集成电路和专用集成电路的用法以及一些简单外围设备的接口。由于已有几本教科书以不同的深度对数字设计作了充分的讨论,所以本书未讨论这个课题。因此,本书

是一本面向软件的书,但也没有忽略有关的硬件问题。

本书既没有罗列各种微处理机,也没有虚构一种微处理机以供研究,而是集中讨论了两种用得最广泛的微处理机——英特尔8080和莫托洛拉6800。这两种处理机的性能与市场上的大部分标准器件很相似,而这两种处理机在程序设计和接口方法上的差异又足够大,因此可以代表各种类型的处理机。笔者认为对微处理机作适当的综述是可取的,同时也认为一本教科书应该详细讨论一种或两种处理机。笔者是以市场的选择为基础进行选择的,没有任何根据可说明这两种处理机(或任何其它处理机)比它们的竞争对手更优越。本书偶尔也提及相互竞争的各种处理机的一些特点。

本书的基本组成如下:

第一章引入微处理机这个课题。将微处理机与小型计算机和大型计算机以及其它大规模集成电路进行了比较,然后介绍了半导体工艺和存贮器,讨论了微处理机跟与之相竞争的其它设计技术相比所具有的优缺点,提出了业已应用了微处理机的一些领域,并举了一些以微处理机为基础的产品的例子。

第二章考虑微处理机的结构。简单地讨论了计算机的各个部分——中央处理部件(CPU)、存贮器及输入/输出部分。本章的其余部分集中介绍CPU,描述了寄存器、运算器和指令译码机构。最后一节介绍了英特尔8080和莫托洛拉6800的结构。

第三章介绍指令系统。前几节对指令格式、寻址方式和指令类型作了一般的说明。最后一节介绍了英特尔8080和莫托洛拉6800的指令系统。

第四章的内容是有关汇编程序的。前几节讨论各种级别的语言的优缺点以及汇编程

序的一般特点。最后一节专门介绍了标准的英特尔8080和莫托洛拉6800的汇编程序。

第五章讨论英特尔8080和莫托洛拉6800处理机的汇编语言程序设计。这一章从简单程序开始,然后介绍了循环、字符串及字符处理、代码转换、算术运算、列表和表格以及子程序等程序设计技术。

第六章考虑整个软件研制过程。说明了问题的定义、程序设计、编码、调试、测试、文件编制以及维护和修改设计等各个阶段。最后一节简略地讨论了开发系统。

第七章讨论存贮器部分。这一章描述了微处理机与存贮器之间的基本联系,继而考虑了简单的存贮器部分的接口以及较复杂的存贮器部分所需的总线控制机构的设计。本章最后说明了英特尔8080和莫托洛拉6800的存贮器部分的设计及其指令周期的工作情况。

第八章讨论输入/输出问题。这一章从说明输入和输出步骤开始,考虑了简单的输入/输出部分以及需要采用总线控制机构的较复杂的输入/输出部分。然后讨论了输入/输出部分广泛使用的一些电路以及简单的输入/输出设备。这一章的最后部分说明了简单的输入/输出设备与英特尔8080及莫托洛拉6800微处理机接口所需的具体硬件和软件。

第九章提出了中断问题。这一章描述了中断的用途及其优缺点,然后讨论了中断过程、中断系统的特点以及具体的中断源的处理方法。随后讨论了采用英特尔8080和莫托洛拉6800而以中断为基础的系统的程序设计和接口问题,最后简单地考虑了直接存贮器存取技术。

附录提供了一些参考材料、编码表及指令系统。附录1是有关二进制数制系统的介绍,附录2是逻辑函数,附录3是数字和字符编码,附录4介绍半导体工艺,附录5介绍半导体存贮器。附录6和7列出了英特尔8080和莫托洛拉6800微处理机的指令系统。

显然,有许多课题都未谈及。书中说明了微程序设计的目的,却没有从设计者的角度或用户的角度去说明微程序设计的过程。实际上,微处理机的微程序设计这一课题本身就可以写上一整本书。本书解释了高级语言的用途,但并没有给出具体的例子。诸如多重处理、流水线处理、并行处理以及虚拟存贮器之类的技术均被略去了。微处理机的外围设备以及目前能获得的各种各样有关的数字和模拟集成电路在本书中只是作了简略的介绍。直接存贮器存取技术也只是简单地提了一下。其中某些课题日后或许有机会进行介绍。

笔者在整个这本书中试图通过给出微处理机的实际用例来说明各种问题。这些例子是以合乎逻辑的方式进行介绍的,以使读者能直接将这些例子运用到实验或工程问题上去。本书在硬件方面采用了标准的符号、设计技术、电路元件及文件编制方法。在软件方面采用了标准的流程图符号,并根据现代理论家推荐的方法来构成和编制所有的程序。笔者不仅希望提供有用的例子,而且试图说明构成和编制程序的一些规则。笔者认为这些规则对于有效地研制以微处理机为基础的系统而言是十分重要的。

撰写一本有关某种新技术的书所遇到的最大困难是资料很快就会过时。显然,出版和发行本书所需的时间会使书中一些资料过时。笔者并不准备预言微处理机技术将来的进程,而只是试图使内容集中在那些来源广泛、已用于一些重要应用、有大量硬件和软件支援力量并将成为未来若干年内市场的重要角色的那些处理机上。笔者还试图介绍连续的发展趋势、目前存在的问题以及较有希望的新方法。然而,笔者也认识到读者势必会从制造厂的手册和技术说明、商业和学术期刊的论文以及专业会议和短期学习班中获得最新的资料。书中列出了这些资料的来源,并给出了研究微处理机的基本方法。这些方法将能使使用者最大限度地利用这些资

第一章 微 处 理 机 导 论

§1.1 引 言

技术的迅速发展及应用数量和种类的迅速增长是计算机的简短的历史的两个显著特点。二十世纪四十年代后期和五十年代初期制成的第一批计算机是用来解复杂的科学计算问题的。而今天,功能比早期的计算机强得多的计算机却用于象电子游戏、现金出纳机、电子秤、计算器和家用器具之类日常的应用中。私人花上几百美元就可购置一台如图1.1所示的计算机,用于各种家庭革新项目。

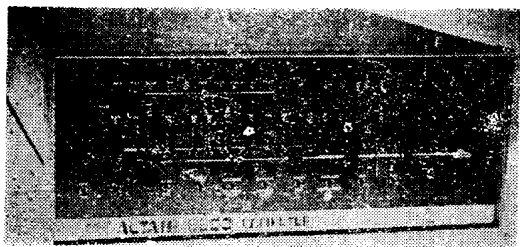


图1.1 一种家用计算机

微处理机是计算机技术的最新发展,它在一片或几片微小的硅片上制作了具有一台计算机的中央处理部件(CPU)的全部功能的电路。图1.2是一种典型的微处理机。这样的器件能从存储器中取出指令,进行指令译码并加以执行,完成算逻运算,从输入设备接收数据并将结果发送给输出设备。一个微处理机及一个存储器和一些与外界通信用的输入/输出通道一起便组成了一个完整的微型料来源。

微处理机领域无疑正处在迅速发展的阶段。更多关于这个课题的课程、论文和会议不断出现。我们只是刚刚开始看到这一新技术在实际产品中产生的结果。现在已能以合

计算机。简单的微型计算机的价格只有十美元。完整的微型计算机系统除了微型计算机外还带有机箱、面板和电源,价格也不到一千美元,但却具有与五十年代价格较其贵几百倍、体积庞大的计算机同样的处理能力。计算机价格的迅速下降与大部分其它款项的迅速上升形成了鲜明的对照。

微处理机是从六十年代中期开始的发展较小型计算机的趋势的继续。在计算机发展的早期,重点放在较大且功能较强的机器上。以前,计算机非常昂贵,只有大的研究机构才可能拥有计算机,且只有受过专门训练的人员才可能操纵计算机。新技术(例如晶体管和集成电路)提高了计算机的速度,但并没有降低其价格。计算机仍是高不可攀的、神秘的东西。

目前的这种趋势是从小型计算机开始的。以计算机的标准来衡量,最早的小型计算机是很原始的,价格仍须数万美元。尽管如此,那些买不起大型计算机的实验室、工厂和较小的研究机构现在却可以购置一台象DEC公司的PDP—8、DGC公司的NOVA、科学数据系统公司的92型或IBM1130之类的小型计算机了。电子电路价格的下降使小型计算机的价格也下降了。到1970年,一台可供实验室、办事处、工厂、仓库或课堂教学使用的小型计算机的价格只有几千美元了。

然而,集成电路的发展所引起的进步远远超出了降低小型计算机价格这一点。不久,制作能实现一台计算机的功能的单块集成电

适的价格获得对日常所用的系统的智能和灵活控制能力,采用这种控制就是本书所有的读者所面临的挑战。

L. A. Leventhal

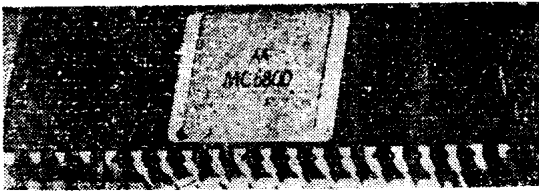


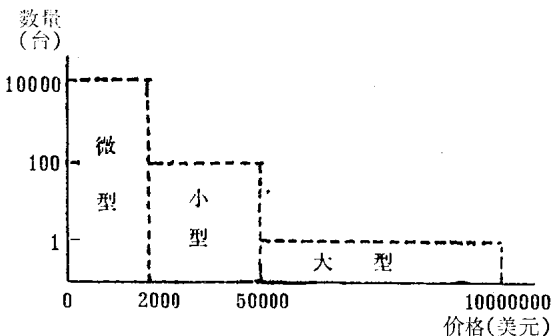
图1.2 一种典型的微处理机

路就变得切实可行。这样复杂的电路（称为大规模集成电路或LSI）能以比简单电路贵不了多少的价格大批地生产出来。因此，廉价计算机——科学幻想小说作者长期以来追求的梦想，终于变成了现实。制造厂生产的微型计算机已超出了所有其它计算机的总和。到1977年，花不到一千美元即可购得一台包括键盘、显示器和盒式磁带机的完整家用计算机。

本章除了将微型计算机与其它计算机进行比较外，还要介绍微处理机的起源及其历史、制造微处理机的半导体工艺的特点、微处理机与其它集成电路所共有的特性、与微处理机一起使用的半导体存储器，最后还有微处理机的一些应用。

§ 1.2 大型机、小型机和微型机

廉价的计算机已使计算机获得了许多新的应用，这种趋势是从小型计算机开始的，而微处理机扩大了这种趋势。微型计算机、小型计算机和大型计算机的价格以及用户一次可能购置的典型数量如图1.3所示。



1.3 计算机的价格和典型购买批量

象IBM370、Univac1100或Burroughs 6700那样的大型通用计算机有两个主要用途：

1. 求解复杂的科学和工程问题，例如宇宙飞船的制导、天气预报、电子或结构方面的设计。

2. 完成大宗的数据处理，例如处理银行、保险公司、仓库、公用事业单位和政府机关的数据记录。

这些任务都涉及到数量惊人的计算和数据传送操作。解决典型的科学问题需要求解一些用人工无法求解的复杂方程。解决商业问题需要处理大量的记录，并管理外围设备的大量输入和输出操作。

在这些应用中，小型计算机和微型计算机是代替不了大型计算机的。当然，当计算较简单且数据量较小时，也可用小型计算机求解类似的问题。因此，小型计算机或微型计算机能完成实验室的计算工作或处理小量的商业记录。然而，小型计算机和微型计算机大多数都应用于大型计算机的典型应用范围以外的那些领域里。

小型计算机和微型计算机的一般应用具有下述特点：

1. 计算机是系统的一个部件。整个系统（可能是测试设备、机床或银行终端的一部分）使用这台小计算机时就象使用一个开关、电源或显示器一样。甚至从外表上都看不出里面有计算机。

2. 计算机为某一个系统完成专门的任务。与大型机不一样，小计算机不能由不同的用户所共享。相反，小计算机只是一台特定设备（例如医疗仪器、排字机或生产用机器）的一部分。

3. 计算机具有固定的程序，这个程序很少改动。与大型计算机要解各种商业和工程问题不同，大部分小计算机只完成一组任务，例如监视一个安全系统，产生图形显示或者弯曲金属板。程序常常储存在一个永久性存储媒介或只读存储器中。

4. 计算机完成的常常是实时任务。在这些任务中，计算机必须在特定的时刻产生回答，以满足系统的要求。这些应用包括机床或导

弹制导。机床必须在正确的时刻转动刀具以获得正确的加工形状，而计算机必须控制在适当的时刻向导弹施加推力，以获得所需要的弹道。

5. 计算机执行控制任务，而不是计算或数据处理任务。计算机的主要功能可能是管理一个仓库，控制一个运输系统或监视一个患者的病情。

小型计算机和微型计算机的使用方法与大型计算机的使用方法不同。大型计算机系统的用户可用一种方便的语言（例如FORTRAN、BASIC或PL/I）来编写程序，然后将其交付给计算机中心的工作人员，最后得到打印的结果或存在磁带或其它存储媒介上的结果。用户可以充分利用大型计算机中心的各种外围设备，标准程序和其它特殊条件的优点，而毋须考虑计算机如何运行或计算机如何与存储器和输入/输出设备进行通信。

那些想把小型计算机或微型计算机用作系统部件的人将发现情形是完全不同的。小型计算机和微型计算机很少具有为便于使用计算机所需的软件 and 外围设备。小计算机的程序设计工作既麻烦又费时间。而且，计算机与整个系统的相互联系是个很关键的问题。为了有效地利用计算机，设计人员必须知道计算机的工作细节。

因此，小计算机的应用中硬件和软件是交织在一起的。设计人员必须为硬件和软件分配任务，既要考虑价格也要考虑速度，并编写从输入设备获取数据和将结果发送给输出设备用的程序。时间方面的考虑在硬件和软件设计中都是十分关键的。

已构成最终产品的小计算机一般是不适于进行研制工作的。大型计算机用的程序是在最终使用该程序的系统上进行研制的。然而，小计算机是仪器或机床的一部分，其存储器、外围设备和软件只够完成规定的功能，任何多余的东西将会增加系统的成本而有助于改进性能。因此，这样的计算机不会

有处理输入/输出操作作用的卡片输入机和行式打印机、简化程序研制用的编译程序或调试程序包以及存储程序或数据用的磁带或磁盘系统。已构成一个系统的计算机能够完成系统的功能，而不能完成研制系统的任务。

所以，在研制阶段都使用专用的设备（称为开发系统）。这种设备可采用同样的计算机（自开发系统），也可采用其它的计算机（模拟器、或交叉开发系统）。典型的开发系统具有输入程序和数据以及记录结果用的外围设备、相当大的存储器（用以存储用户程序和系统程序）、有助于编写和调试程序的软件和硬件特点以及海量存储器（磁盘或磁带，用来保存程序以备方便地进行检索）。这种开发系统包括有与最终产品无关的软件、硬件、外围设备和接口；这些仅仅是使设计较方便而已。即使所研制的程序最终是准备用于小型计算机和微型计算机的，研制程序的工作在大型计算机上进行会更适合些。例如，将FORTRAN语言翻译成机器语言的程序在大型计算机上运行要比在小机器上运行快得多，而且可以利用大系统的那些外围设备。真正完成翻译工作的计算机不一定是准备运行该程序的计算机。

因此，小型计算机或微型计算机的用户将发现研制一个系统的工作相当棘手。程序经常是在与它们最终运行的环境非常不同的环境下编写的。硬件及接口往往是与程序同时研制的，用户将面临着把系统各部分集中起来这样一个困难的任务。程序常常必须在实时时间限制下完成复杂的输入/输出操作。

§ 1.3 几种典型的计算机的比较

表1.1将一台大型通用计算机、一台较大的小型计算机、一台较小的小型计算机，与一台微型计算机进行了比较。比较时选取的大型计算机是IBM370/168型（见图1.4），这是一种广泛用于数据处理的计算机。选取

的较大的小型计算机是数字设备公司(DEC)的PDP11/45 (见图1.5)。较小的小型计算机是计算机自动化公司的NAKED MINI(见图1.6)，这是一种有名的系统计算机。微型计算机是英特尔公司的MCS-80，是在应

用很广的英特尔8080微处理机 (见图1.7)的基础上构成的。在每一挡级上都有其它厂商生产的性能相当的机器；当然，这里的比较并不意味着所述及的机器比其它性能相当的机器优越。

表 1.1 各种类型计算机的比较

	IBM370/168	PDP11/45	NAKED MINI	MCS-80
价格 (美元)	450万	5万	2500	250
字长 (位)	32	16	16	8
存储容量(8位字节)	8.4M	256K ^①	64K	64K
处理机的加法时间	0.13μS	0.9μS	3.2 μS	2.0μS
最大数据I/O速率(字节/秒)	16M	4M	1.4M	0.5M
通用寄存器个数	64	16	3	7
外设(制造厂可提供的)	所有种类	许多种	磁盘、磁带、卡片机、行式打印机、CRT、盒式磁带	纸带输入机、软盘、PROM编程器
软 件	所有种类	许多种	操作系统、汇编程序、FORTRAN、BASIC	汇编程序、监督程序、PL/M、编辑程序

注^① IK = 1024位

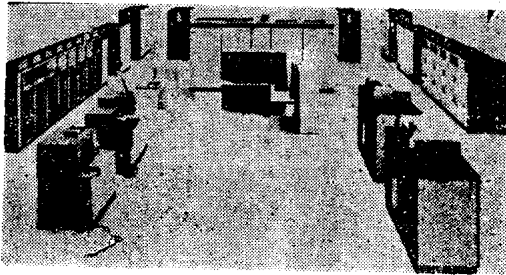


图1.4 IBM370/168型机

大型通用计算机十分昂贵，以至只能作为大型研究机构的中心计算机设备用。这种计算机需要一个经过专门训练的程序员、分析员和操作员的班子。大型计算机可能有许多外围设备，例如卡片输入机、行式打印机、磁盘和磁带系统以及终端设备等。这种计算机能处理大量的数据记录，且同时能处理许多互不相关的任务。

较大的小型计算机作为某个产品的一部分则太贵了，但可供实验室、小商行或小工厂使用。这种小型计算机也可作为大型计算机的二级处理机。

较小的小型计算机已便宜得可以作为生

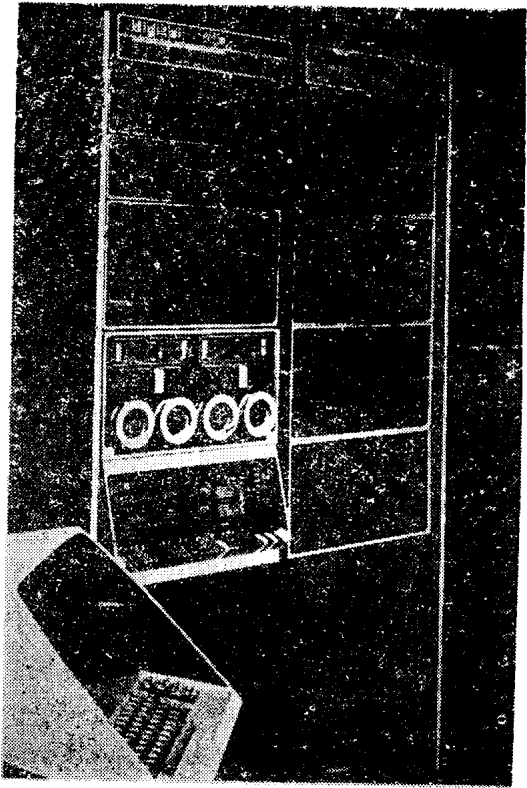


图1.5 DEC PDP11/45

产用机床、银行终端或测试系统的一部分。

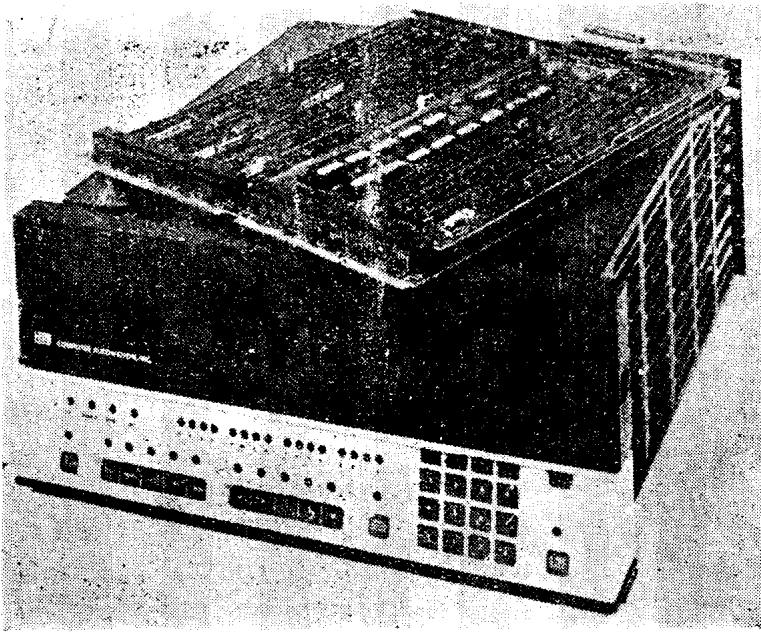


图1.6 NAKED MINI (计算机自动化公司)

但是，只有当最终产品的价格超过一万美元时，使用这样的小型计算机才合算。在这个价格范围内的产品一般不是大批量生产的产品。系统制造厂订上一百台小型计算机就应该认为相当可观了。

另一方面，微型计算机的价格只有较小的小型计算机的十分之一。所以可以作为价值一千美元的系统的一部分。诸如电子现金出纳机、阴极射线管(CRT)

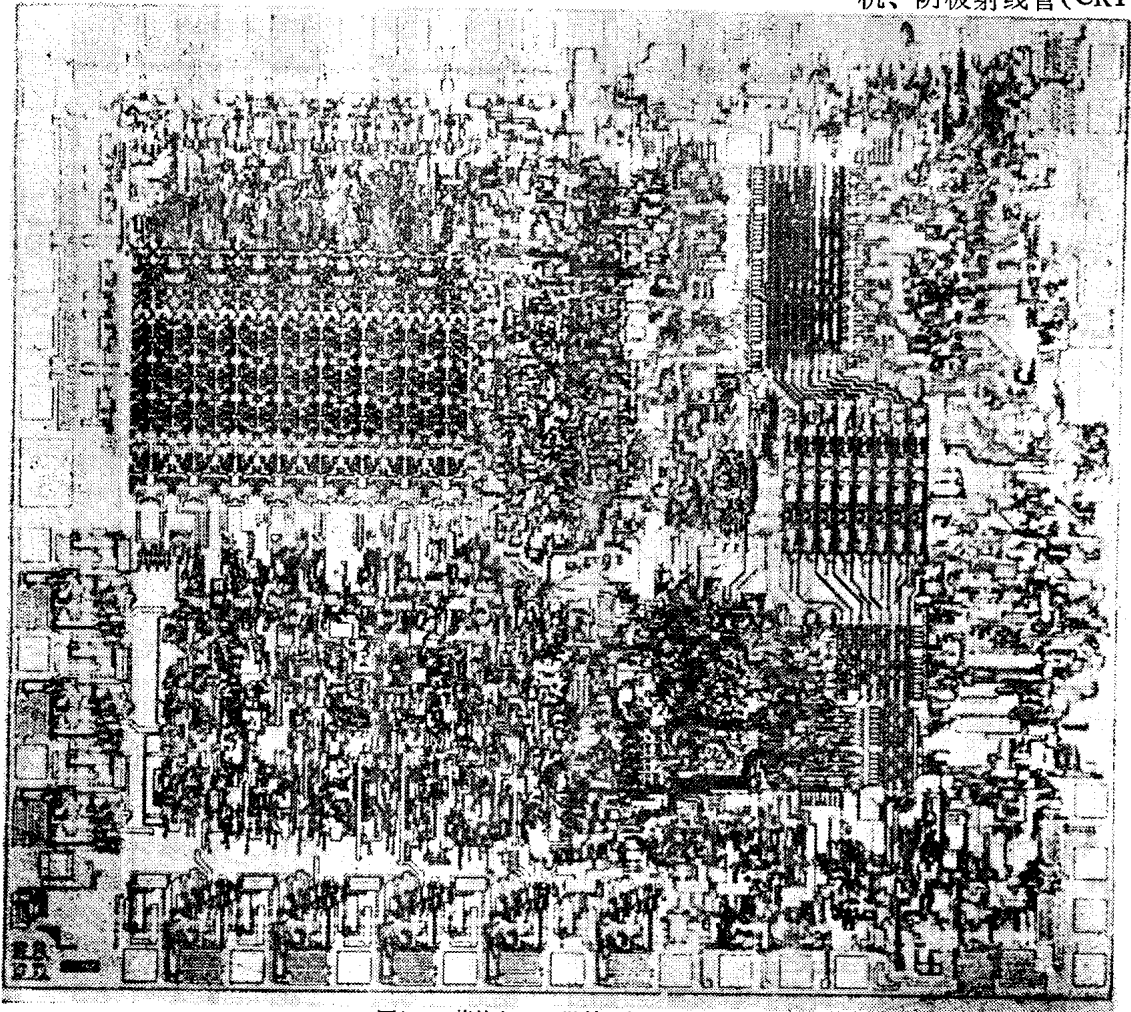


图1.7 英特尔8080微处理机的显微照相

价 格

机 种	系 统 价 格
IBM370/168	450 万美元
PDP11/45	5 万美元
NAKED MINI	2500 美元
MCS-80	250 美元

终端、计帐器和小型仪器之类的领域都有可能使用微型计算机。很明显，这类产品的制造厂需用大量的微型计算机；一万台的定货才能算是大批的定货。

机 种	字 长 (位)
IBM370/168	32
PDP11/45	16
NAKED MINI	16
MCS-80	8

字 长

计算机的字长是指计算机一次可以处理的二进制数字（位）的数目。当然，计算机处理数据的速率与它一次可以处理的位数和执行操作的速度有关。若一台计算机的字长为另一台计算机字长的两倍，则即使两台计算机的运行速度是一样的，在给定的时间内第一台就可完成两倍于第二台的工作。

大型计算机的字长是小型计算机的两倍，是微型计算机的四倍。一般，大型计算机的字长为32~64位，小型计算机为12~32位，而微型计算机则是4~16位。因此，字长是衡量计算机功能的一个重要因素。

在进行算术运算时，字长特别重要。可以想象，假如计算机一次只能将一位数字相乘，那么要将两个六位数相乘将何等困难；这比六位数字同时处理难不至六倍，因为需

要进行定位并需处理许多进位信号。字长较长的计算机执行复杂的算术运算比字长短的计算机出色得多。所以，天气预报或飞机模拟试验之类的任务使用较大的计算机较适合。而小型计算机和微型计算机则较适于完成控制方面的任务。

然而值得注意的是，只有当数据位数也较长时较长的字长才有所裨益。如果计算机每次只接收8位的信息，那么即使计算机的字长较长也无济于事。事实上，较长的字长甚至可能是很讨厌的（这很象从计算器上读取一个具有六位小数的结果，而所需的只是“元”和“分”）。控制方面的应用常常只需要计算机一次处理很少几位数据就行了。计算机从拨盘、按钮、开关或传感器接收这类数据，然后将其发送给显示器、调节器和电动机。在这类应用中，字长较短的计算机可能用起来更方便。

字长较短的计算机可将数据组合起来输入给较大的计算机，并将计算机的结果适当地进行分组。这样，昂贵的大型计算机始终可以处理全字长的字。用一台小型计算机或微型计算机作为予处理机能大大提高大型计算机的吞吐量，而只须增加极少的费用。在图1.8所描述系统中，一个4位的微型计算机接收4位一段的数据，并将这些数据放入一个32位寄存器中的适当位置。微型计算机完成了32位数据的装配工作后便向大型计算机发出信号，大型计算机就用一次操作读取全部32位数据。当微型计算机装配数据时，大型计算机可去完成别的任务。

存储容量

存储容量（通常以8位为一组来衡量，

称为“字节”）决定计算机能方便地进行处理的程序长度和数据量。如果程序和数据所需要的存储量超过了计算机所能处理的存储量，就必须使用辅助存储器（如磁盘或磁带）。辅助存储系统价格昂贵，而且比主存储器速度慢得

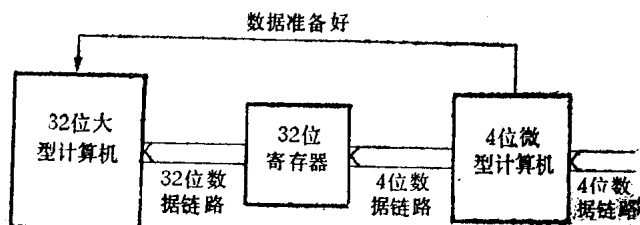


图1.8 用微型计算机作为予处理机

多。所以，存储容量有限的计算机执行一个大型程序所用的时间就比存储容量较大的计算机所用的时间长。使用辅助存储器就象使用一本方程和表格的手册一样——若必须使用这本手册，则需花费额外的时间。

机 种	存储容量 (字 节)
IBM370/168	8.4M
PDP11/45	756K
NAKED MINI	64K
MCS-80	64K

大型计算机不用辅助存储器就能处理庞大的程序和大量数据。这样的存储器容量对于处理大型的文件、进行复杂的计算以及作出详细的报告是必需的。较大的小型计算机的存储容量比大型计算机少得多，但仍比小计算机多得多。大型计算机有足够的存储器供大型操作系统和各种计算机语言使用。这些程序可能需要几百K字节的存储器。

小型计算机和微型计算机的存储容量要少得多。所以，为这类计算机设计的操作系统、编译程序和其它软件必须只占用少量的存储器或使用辅助存储器。小型和微型计算机一般用于程序较短且数据量较小的应用中。事实上，存储器要求16K字节以上的微型计算机应用就算是很大的应用项目了。

在字长较短的计算机中，地址的处理较困难。表 1.2 列出了不同长度的地址字所能寻址的存储器的量。

表1.2地址长度与存储容量的关系

地址长度 (位)	存储容量 (字节)
8	256
9	512
10	1k
11	2k
12	4k
13	8k
14	16k
15	32k
16	64k

注意，8位地址只能区分存储器中的256个字节；能存在这样小的存储区里的程序是很小的。然而，数据字字长为8位的微型计算机必须以8位为一段的形式来处理较长的地址字。8位字长的微处理机的指令周期很复杂，因为处理机必须以8位为一段从程序存储器中取出地址，在CPU内部将这些地址装配起来。如果处理机字长只有4位，则地址将更难处理。因此，由于小型计算机的字长较长，使其对存储器寻址的效率较高，所以速度比微型计算机快。

指令执行时间

机 种	处理机的加法时间
IBM370/168	0.13μS
PDP11/45	0.9 μS
NAKED MINI	3.2 μS
MCS-80	2.0 μS

计算机的性能取决于其执行指令的速度。虽然复杂程度不同的指令的执行速度也有所不同，但可用处理机的加法时间来衡量计算机的性能。注意，执行一条指令所完成的处理量是由计算机的字长决定的。

大型计算机的速度比较大的小型计算机快七倍。较小的计算机则慢得多。照上表作一个简单的比较，则大型计算机的处理能力是微型计算机的六十倍，因为大型机可以在十五分之一的时间里处理四倍字长的数据。

真正进行比较还必须考虑另外两个因素：

- 1. 由于微处理机的字长较短、寻址速度较慢，所以平均的指令执行时间较长。
- 2. 较大型计算机的指令系统功能要强得多。

处理机加法时间是将两个寄存器的内容相加所需的时间，不包括附加的存储器存取时间。显然，计算机必须在程序的某处从存储器获取数据。取数需要有一个地址，而典型的微处理机只能以较慢的方式来寻址。

计算机指令系统的大小和复杂程度也会影响计算机的处理能力。一台计算机在一个指令周期内就可完成的工作，用另一台计算机就可能需要好几个周期才能完成。例如，在具有减法指令和没有减法指令的两台计算机上，减法是按下述过程执行的：

功能： $Z = X - Y$

计算机 I (有减法指令)

$Z = X - Y$

计算机 II (无减法指令)

$W = -Y$

$Z = X + W$

计算机 II 不是用一个指令周期而是用两个指令周期才完成了减法。例如，较大的计算机通常都有除法指令和乘法指令，而较小的计算机则不常有这两条指令。由于缺少这样一些指令，就会使较小的计算机的实际处理能力有所降低。

计算机的指令数量和平均执行时间都与计算机的字长有关。一台计算机能具有多少条不同的指令取决于用来识别指令的字段的位数，如表1.3所示。

表1.3 可能具有的指令数与识别指令所用的位数的关系

识别指令所用的位数	可能具有的指令数
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256

字长较长的计算机可用七位或八位来识别指令，还能留下许多位供确定数据的地址用。而字长较短的计算机为了要用多种指令，就必须使用程序存储器中其它的字，这样就需要增加存储器存取操作，使执行时间延长。

最大数据输入/输出速率

最大的 I/O 速率使计算机能处理的问题和能有效使用的外围设备受到了限制。一台较大的计算机能以比较小的计算机快得多的

机 种	最大数据I/O速率 (字节/秒)
IBM370/168	16M
PDP11/45	4M
NAKED MINI	1.4M
MCS-80	500K

速率传送数据，而且能使用高速磁盘系统和其它设备，这些设备每秒钟可传送数百万位信息。在这方面，大型计算机的功能要比微型计算机强三十倍。

此外，较大的计算机一般都有功能较强的指令和硬件来处理输入/输出操作。都有只需很少几条指令便可启动的输入/输出通道和控制器，这些通道和控制器一旦启动就可传送大量数据而不再需要处理机进行干预。而小计算机必须频繁地、逐字地传送数据。很明显，这样的计算机是不能控制高速 I/O 设备和完成许多其它工作的。

计算机的字长会影响计算机能方便地进行处理的独立 I/O 设备的数量。象存储单元那样，每台 I/O 设备必须有一个供识别用的地址。字长较长的计算机比字长较短的计算机更容易对大量的 I/O 设备进行识别。由于较小的小型计算机和微型计算机的传送速度较低，数据字字长较短，所以一般只使用少数几种简单的外围设备，例如控制面板、数字显示器、键盘、电传打字机和纸带输入机。磁带或磁盘、高速打印机、高速通信线路之类的高速外围设备则较常用于较大型的计算机中。

较小的计算机一般用于低速的应用中。涉及到人机对话的场合（例如电子现金出纳机或电视游戏机等）对于微型计算机来说是十分理想的，因为人的响应时间约为十分之一秒。对变化缓慢的量（如温度、压力或化学浓度）进行控制是小计算机的另一应用领域。必须在几微秒内作出响应的高速应用最好还是留给较大的计算机或专用控制器去完成。

通用寄存器的数目

寄存器是中央处理 部件 内部 的 小 存储 器。寄存器与主存储器 的关系就象主存储器 与磁盘或磁带存储器的关系一样。计算机 若有几个通用寄存器，则可用这些寄存器来保 存频繁使用的数据和计算的中间结果。通用 寄存器越多就意味着“瓶颈口”越少，存储器 与寄存器之间传送数据所花的时间也越少。

机 种	通用寄存器数目
IBM370/168	64
PDP11/45	16
NAKED MINI	3
MCS-80	7

较大的计算机拥有的通用寄存器比较小的 计算机多得多，所以能够较快地处理数据。 大 计 算 机 还有 许多 寄存器可在执行子程序 期间使用。小计算机必须较频繁地访问存储 器，花较多的时间把数据打入寄存器和存储 寄存器的内容。由于子程序必须使用主程序 所用的那些寄存器，所以必须将这些寄存器 的内容保存起来，并加以恢复。

机 种	可 用 的 外 围 设 备
IBM370/168	所有设备
PDP11/45	许多设备
NAKED MINI	磁盘机、磁带机、卡片机、 行式打印机、CRT、盒式磁 带机
MCS-80	纸带机、软盘

外围设备

一台计算机可采用哪些外围设备对于程 序研制和系统接口都有重大影响。假如能获得为某一种计算机专门设计的各种外 围设备，那么就可以较快地研制程序，且实现外 围设备与最终产品之间的接口所化的时间也 较少。

采用高速输入/输出设备和海量 存储 设备时，研制工作将简单得多。如果不能直接 使用这样的设备，用户可有两种选择：(a)

研制所需的接口，(b) 采用速度较慢、使用 较不方便的外围设备。第一种办法要求用户 去研制与最终产品没有直接关系的接口。第 二种办法则要求用户等待程序和数据输入和 输出。没有快速输入设备意味着一个长程序 要花一个小时才能 从电传 打字机 输入 计算 机。没有海量存储器就需要经常重复慢速的 输入过程。没有快速输出设备将使程序或计 算结果的列表变成一项繁重的工作。

较大的计算机可直接使用计算机制造厂 或独立的外围设备制造厂提供的许多外围设 备。用户可以购置供研制工作用的快速外围 设备或者供最终产品用的特殊外围设备。

只有很少几种带有现成接口的外围设备 可供小计算机使用。用户必须为研制工作或 为最终产品提供接口。

外围设备价格的下降幅度尚不及计算机 价格的下降幅度那么大，因为外围设备包括 昂贵的机械部件。虽然与过去相比，现在可 以花较低的价钱得到较好的外围设备，但是 相对于计算机的价格来说，外围设备的价格 增加了。一台卡片输入机、打字机或纸带输 入机和穿孔机（包括接口）的价格跟一台较 小的小型计算机相当，而比一台微型计算机 贵得多。

软 件

机 种	软 件
IBM370/168	所有种类
PDP11/45	许多种类
NAKED MINI	操作系统、汇编程序、FOR- TRAN、BASIC
MCS-80	汇编程序、监督程序、PL/M、 编辑程序

软件的情形与外围设备的情形相似，所 不同的只是软件的价格一直在稳步上升。软 件的可用性既影响研制过程，又影响设计新 程序所需的工作量。系统软件可使研制用户 程序的工作变得较容易。现成的软件也许能 够完成最终系统的部分或全部任务。

微基二叶

与外围设备的情形一样，大计算机比小计算机可用的软件多得多。几乎各种计算机语言或其它系统程序都可用在 IBM370 计算机上。不仅 IBM 公司能提供大量的软件，其它软件生产厂商也将其程序编制得能供 IBM 计算机使用。较大的小型计算机可用的软件就少得多，但制造厂和独立的制造单位确也提供了几种操作系统、最常用的语言的编译程序和其它程序。

大计算机有许多用户软件；这些软件从普通的数学函数和记录处理程序直到一些高度专门化的应用程序（例如特定类型的商业的计帐系统或特定类型的工程问题的计算程序）都有。可以使用常用的计算机语言的编译程序意味着用 FORTRAN、COBOL、PL/1 和 APL 编写的大量程序可以直接用在大型计算机上。

另一方面，小计算机的用户将发现可用的系统软件和应用软件少得多。最多只能使用简单的操作系统或监督程序、汇编程序以及少数几种常用语言的编译程序或解释程序。有时，甚至这些软件所要求的存储器和外围设备也超出了一个小系统所能提供的设备。应用软件通常仅限于标准的数学函数和一个很小的用户程序库。大部分软件都必须由用户从头开始进行研制。

一般，微型计算机的软件甚至比小型计算机更少。可采用的操作系统或编译程序很少。微型计算机的用户很少能使用先前编写好的程序。

由于微处理机的任务范围比大计算机的任务范围广，所以为微处理机编写程序就变得复杂了。大部分计算机语言是为科学计算和商业数据处理而不是为控制任务设计的。要有效地进行微处理机软件研制工作就需要新的软件工具。

总之，在许多方面微型计算机只能提供有限的计算能力。从小型计算机开始的趋势正在继续发展下去，微型计算机与较大的计算机相比一般较便宜，速度较慢，存储容量

和 I/O 能力较小，字长较短且外围设备和软件方面的支援较少。小计算机很少代替大计算机的工作，而只能在一些特定的场合完成一些有限的任务。在这些场合下如果不用小计算机的话，智能控制将变得非常昂贵。

§1.4 微处理机的发展历史

微处理机完成的功能虽然与较大的 CPU 一样，但实际上却与计算器、手表、半导体存储器及通信电路片之类复杂半导体器件一样。微处理机与电子手表和计算器一样，都是半导体工艺发展的产物。普通微处理机的许多特性都是由于它们出自半导体工艺而形成的。

最早的集成电路(IC)出现于二十世纪六十年代初期。集成电路是在单块衬底或芯片（由硅材料制成）上形成的许多电路元件的组合，是作为一个基本元件进行生产的。到六十年代中期，新工艺大大提高了能集成在一块芯片上的电路的数量。最常用的是金属-氧化物半导体 (MOS) 工艺。简单的集成电路被称为小规模集成电路 (SST)，较复杂的集成电路称为中规模集成电路 (MSI)，更复杂的则称为大规模集成电路 (LSI)。例如，单片读 / 写存储器的复杂程度随时间而增加的情形如图 1.9 所示。1966~1976 的十年期间，这种器件的容量增长了 64 倍，而每位的价格则下降了一百倍。

MOS LSI 技术首先应用在存储器集成电

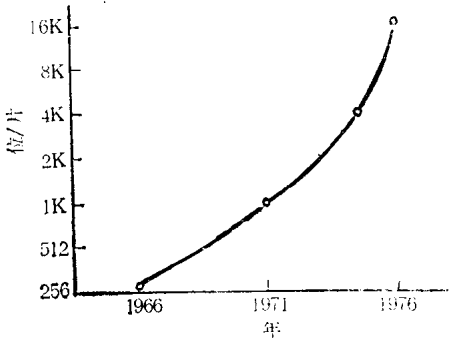


图 1.9 单片存储器容量的增长曲线

路方面。LSI存储器电路片体积小、功耗低，所以用作通信系统、军用设备和计算机的小存储器是十分理想的。存储器芯片很容易设计和制造，因为所有的存储单元都完全一样，只需增添很少的辅助电路。

到六十年代后期，计算器和终端设备成了MOS LSI技术的重要应用领域。计算器和终端设备都只需完成简单的任务，这种任务不要求很高的速度、大量的数据或复杂的运算。然而，传统的设计却不能生产出满意的产品来，标准的机械式计算器很笨重、昂贵、难于使用，而且只能完成简单的运算；标准的终端设备速度慢、笨拙、并且没有改变或纠正数据的装置。这两种应用都需要一些局部智能，但使用一台小型计算机则又不合算。

计算器

电子计算器出现以后仅仅几年就变成了—种标准产品。其功能(见图1.10)很简单：计算器通过一个小键盘接收数据，每次接收一个数字，然后执行要求的算术运算，最后

在一个发光数字显示器上显示出结果。计算器的程序是存在只读存储器(ROM)里的，用户输入的数据则存在小容量读/写存储器(RAM)里。

计算器需要哪种类型的电子器件呢？下述特点是很有用的：

1.能够方便地与键盘和发光显示器相接。

2.能够以十进制数字为单位进行处理。由于十进制数字是由4位二进制数字组成的(见附录3)，所以计算器器件必须能一次处理一个或多个4位二进制数据。

3.能够执行存在只读存储器里的标准程序。

4.可加以扩充，以便能方便地增加百分比、平方根、三角函数之类的功能。

5.具有灵活性，不必重新进行设计就能使计算器按用户的需要用于工程、商业或程序设计之类的应用中。

6.价格低、体积小、功耗低，使计算器可携带并且很便宜。

由于只涉及人的反应，并且只须存储很少几个数，所以既不需要高速也不需要很大的存储容量。

最早的专用计算器芯片是用MOS LSI工艺生产的，这种芯片价格便宜，体积小，功耗低，能处理十进制数字且能完成标准的功能。这些器件专门设计成从键盘接收输入，而将结果输出至发光数字显示器。MOS LSI技术已经生产出了数以百万计的计算器芯片，每片只有几美元。

然而，计算器芯片既没有灵活性也不能扩充。计算器制造厂商无法方便地增加新的功能、用户提出的特色、或其它输入或输出装置(例如打印机或绘图机)。计算器芯片用于简单的计算器是很理想的，但是较复杂的装置需要更灵活的器件。

英特尔4040，第一种微处理机，是作为一个灵活的计算器芯片而研制出来的。它与计算器芯片的区别在于用户可以对它进行编

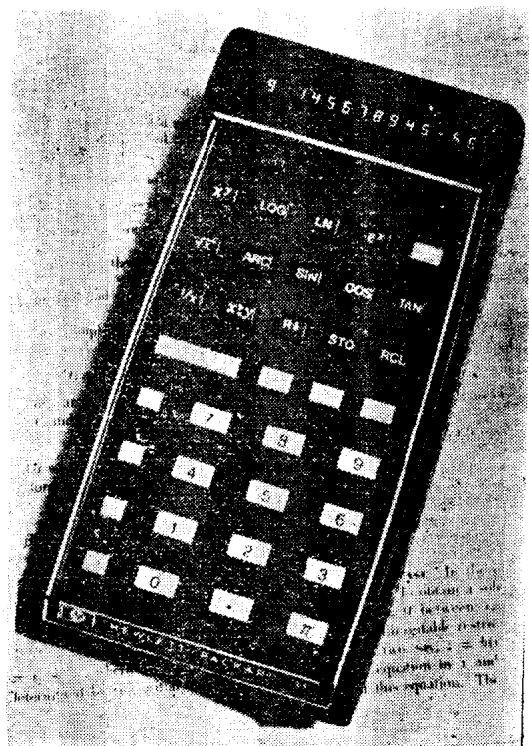


图1.10 HP-35型计算器