

工程师和科学家用

微型计算机

[美]格楞·吉布生 刘玉成

19

MICROCOMPUTERS
FOR
ENGINEERS
AND
SCIENTISTS

测绘出版社

工 程 师 和 科 学 家 用 微 型 计 算 机

〔美〕格楞·吉布生 刘玉成 著

武汉测绘学院电子仪器系 译

邹 海 明 校

测 绘 出 版 社

本书系统而具体地阐述了微型计算机的基本结构原理、软件开发以及设计和使用微型计算机的必要知识。全书以介绍8位机为主，还介绍了位片结构和16位微机等新成就。

本书内容丰富，说理清楚，适合广大工程技术、科研、教学人员学习使用。对于需要掌握微计算机程序设计的硬件设计者也是一本适用的参考书。本书可供大专院校微计算机课程教学参考。

Glenn Gibson and Yu Cheng Li u

Microcomputers for Engineers and Scientists

Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1980

工程师和科学家用微型计算机

[美]格楞·吉布生 刘玉成 著

武汉测绘学院电子仪器系 译

邹海明 校

测绘出版社出版

3200厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

开本787×1092 1/16·印张24.2·字数593千字

1981年11月第一版·1984年11月第十次印刷

印数16,500册·定价4.50元

统一书号·16.39·第339

译 者 的 话

随着超大规模集成电路的问世,使得微型计算机获得了迅速的发展。由于微型机具有体积小、使用方便、可靠性高、价格低廉等优点,因此它已成为各行各业进行数据处理、自动控制、数值计算等方面不可缺少的先进工具。

《工程师和科学家用微型计算机》一书全面、系统地论述了与微型计算机有关的内容。它既有基础理论,也有应用实例。在硬件方面,除了介绍8位微计算机外,还介绍了位片结构和16位微型机等新成就。在软件方面介绍了如何在微型机上编制程序的方法以及在微型机上开发应用的各种手段。本书主要围绕Intel 8080进行讨论,同时也注意与其他微计算机相比较。因此,本书内容丰富、说理清晰,而且每章附有习题,便于读者进一步理解和掌握微型机的基本概念与使用方法。本书可作为科技人员与大专院校学生学习微型机的参考书。

参加本书翻译的有叶文辉(序言、第一、十二章,附录A、B),甘伯祥(第二章、附录C),华彬文(第三章),王馥熏(第四章),夏正钧(第五、十一章),杨全兴(第六、七、十三章),李锦祥(第八、十四章),刘镜年(第九、十章)。全稿由杨全兴统一整理。

由于译者水平有限,译文中的错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

译者 一九八二年十一月

序 言

在微电子学领域内,以大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)为标志的最新成就已经可以把一台高效率的计算机装在一块单片集成电路封装块内。计算机已经发展到元件产品与装配之间的相对价格正在发生剧烈变化的这样一个阶段。在集成电路中的电子元件的价格相对于在它们之间传送信息的导线价格来说是便宜的。但是对于分立元件来说,这种价格关系正好相反。这种技术进展使我们生产更小、更可靠、更复杂、功耗更小和更便宜电路的能力,超过了我们能够经济有效地使用这种电路的能力。由于当今已能做出许多体积小、价格低、可靠性高而又能完成复杂工作的微电子器件,使用这种新技术的范围已不限于那些熟悉电子学知识的人了。因此,如果要让我们使用新电路的能力与廉价生产越来越复杂电路的能力相适应,那么我们就应有效地把必需的资料传播给广大潜在的用户。幸好,这些微电子器件的积木式特性使得一个懂得电子线路知识有限的工程师或者科学工作者都有可能在他的设计中使用它们。

究竟什么样的资料是充分的以及如何使这些资料变得更为适用等方面还有许多争论。本书介绍了两位计算机工程师在十分复杂的数字电子学应用领域中为解决上述问题所作的努力,并证明使用微处理机是正确的。本书的读者对象是那些希望能获得微型计算机全部知识的科学工作者和工程师,以及需要懂得微型计算机程序设计的硬件设计者。本书也可用作如下两类学生的一学期课程。一类是要接受逻辑设计知识的学生,学习内容应包含前十二章。另一类假定已经掌握了逻辑设计的知识,则学习内容应当包括第一章或许还有第二章,第五章到第十四章。了解本书所介绍的内容的先决条件是技术上的适应性,要有电学的基本知识,对计算机要有一般的了解以及至少要有一种高级程序设计语言的知识(例如FORTRAN, BASIC, 等等)。

目前,已有几本类似的书。本书与这些书的教授法的区别在于:他们试图用大量的篇幅来研究一些常用的微处理器,而本书则以一种微处理器和与它有关的设备为例来说明较重要的概念。这里所选用的微处理器是广泛应用的Intel 8080机。虽然各种微型计算机的结构特点可能很不一样,但其主要特性借助于以Intel 8080为基础的微型计算机就可以容易地进行讨论。当读者对Intel 8080以及和它有关的LSI器件有一个完整的了解之后,他就能自己去研究其他类型的微型机。这并不是说其他的微型机就不提了,而是在适当的地方将它们与Intel 8080进行比较。当然,有些章节,例如“位片结构”一章,就不能围绕Intel 8080这个中心来讨论。

本书虽然有一章论及16位处理器和另一章讨论位片结构的内容,但本书把注意力集中在8位微处理器上。因为在介绍计算机设计和程序设计基本原理时,对处理器一次能取多少数据这一事实没有什么原则的差别。大型计算机可以用于更复杂的情况并且和多道程序设计等新概念相联系,但它们的基本概念是相同的。

在编写本书时作了这样的设想,即为了使读者在自己的设计中能有效地运用微处理器,读者不仅要懂得如何把微电子器件装在一起,而且还应该有一些关于器件结构的知识,这样他们就会知道器件的性能和局限性。为此,开头五章用来阐述微型计算机结构的主要特征、计算机内部存贮数据的格式、逻辑电路设计原理、使用晶体管组成逻辑电路的实现方

法、集成电路的性能和局限性，并简要论述了微电子电路制造工艺。第五章概括地论述了重要的微计算机的结构特点并作为第六章到第十二章的导引。第六、七、八章讨论了微型计算机的程序设计，其结构对程序设计的影响以及编写程序时权衡折衷的问题。第九章到十一章是关于总线结构与时序、接口设计和存贮模块设计等硬件课题。第十二章讨论了根据应用需要，开发硬件和软件的辅助系统。第十三章综述了三种较新的16位微处理器。最后一章讨论了位片结构。这种位片结构为单片处理器提供了不同于固定的微处理机设计的另一种选择，这种选择允许设计者能够根据所需要的基本性能去设计他的计算机。最后还有三个附录：第一个是Motorola公司的MC6800和它的汇编语言，第二个给出了Intel 8080的指令系统简表，第三个介绍了用卡诺图简化逻辑表达式的方法。附录三是第三章的补充材料，这个附录是附有练习的独立部分，不一定要去弄懂它，而可供任意选读。

不读第四章（即集成电路这一章）也不会失去本书的连续性。有关开发系统的第十二章在读完第八章后的任何时候都可阅读。十三章和十四章放在主要材料的后面而且作为选读材料。除第一章外，每章后面都附有习题。

有相当多的计算机术语，其中有许多定义是模糊不清的。这是很遗憾的事，而且本书也没有提供解答。然而，为了阅读计算机手册、课本、技术资料等方便，熟悉这些术语的一般含义是必要的。作者力图为最重要的术语给出常用的定义。这些定义在本书中以斜体字*出现。

格楞·吉布生

刘玉成

目 录

第一章 计算机导论	1
1-1 计算机的总体结构	1
1-2 微型计算机的应用	3
1-2-1 例——微型计算机报警装置	5
1-2-2 例——汽车的点火系统	6
1-2-3 例——火箭反馈控制系统	6
1-2-4 例——自动零售系统	7
1-3 硬件和软件的层次	8
1-4 技术水平	10
第二章 数据格式	15
2-1 整数格式	15
2-2 负整数和2的补码	20
2-3 定点格式	22
2-4 浮点格式	23
2-5 十进制格式	27
2-6 字母数字代码	28
第三章 数字器件	32
3-1 逻辑门	32
3-2 多路转换器	38
3-3 布尔代数	40
3-4 并行二进制加减器	46
3-5 触发器, 时钟, 锁存器	48
3-5-1 R-S触发器	50
3-5-2 J-K触发器	52
3-5-3 T触发器	53
3-5-4 D触发器	54
3-5-5 清除和预置输入	55
3-6 移位寄存器	56
3-7 计数器和分频器	59
3-8 时标的考虑和延迟	60
3-9 单稳多谐振荡器	62
3-10 代码转换器	63
3-11 错误检测和修正	65
3-12 输出器件	68
3-12-1 三态门	68

3-12-2 线“或”门	69
3-13 驱动器	70
第四章 集成电路	75
4-1 无源器件	75
4-2 半导体和PN结	78
4-3 晶体管	80
4-4 晶体管逻辑电路	83
4-5 集成电路的制造	88
4-6 各种工艺	93
第五章 微型计算机结构简介	102
5-1 控制部件	103
5-2 控制存贮器	103
5-3 工作寄存器	104
5-4 算术和逻辑部件	104
5-5 总线控制器	104
5-6 内存贮器或栈	105
5-7 时钟	105
5-8 存贮器	105
5-8-1 只读存贮器	106
5-8-2 随机存取存贮器	106
5-9 I/O设备和接口	107
5-10 外部总线	108
5-11 结构实例	109
5-11-1 Intel 8080	109
5-11-2 摩托罗拉MC6800	111
5-11-3 LSI-11	112
5-11-4 Zilog Z80	113
第六章 微型计算机程序设计初步	116
6-1 指令类型	116
6-2 寻址方式	117
6-3 指令格式	119
6-4 程序设计初步	120
6-4-1 信息传送	124
6-4-2 单精度算术运算	127
6-4-3 多精度算术运算	129
6-4-4 逻辑操作	131
6-4-5 预定义常数和存贮器分配	133
6-4-6 十进制算术运算	134
6-4-7 分叉(转移)	137

6-4-8 为异常事件编程序	140
6-4-9 8080的其他指令	142
6-5 程序的建立和执行	143
6-6 汇编过程	144
6-6-1 直接赋值伪指令	146
6-6-2 条件汇编	148
6-7 连接/装入过程	148
第七章 中级微机程序设计	153
7-1 循环	153
7-1-1 例——成组传送	154
7-1-2 例——单精度乘法	155
7-2 暂存器	157
7-3 子程序	162
7-4 公共区	167
7-5 宏指令	168
7-6 程序效率	170
7-6-1 存贮空间	170
7-6-2 指令数	171
7-6-3 执行时间	171
7-7 单(微计算)机控制器	174
7-8 软件文献编制	177
第八章 输入/输出程序设计	183
8-1 程控I/O	184
8-2 中断I/O	187
8-3 设备查询	192
8-4 优先中断系统	195
8-5 双缓冲器和三缓冲器	196
8-6 直接存贮器访问	198
8-7 键盘监控的设计	199
8-8 把BCD码转换成二进制	201
第九章 系统总线和I/O控制逻辑	207
9-1 处理器的周期和时序	207
9-2 8080I/O引线的分配	211
9-3 总线驱动器和接收器	214
9-4 应答式交换信号和时序	217
9-5 中断优先级管理	219
9-6 系统总线结构	221
9-7 菊花链优先级结构	222
9-8 莫托罗拉MC6800的中断结构	224

第十章 输入/输出接口	230
10-1 典型接口	230
10-2 异步串行接口	234
10-3 同步串行传送	238
10-4 Intel串行接口支持器件	241
10-5 并行接口	242
10-5-1 摩托罗拉PIA和键盘接口设计	242
10-5-2 Intel PPI和显示接口的设计	247
10-6 DMA控制器	251
第十一章 固态存贮器子系统	254
11-1 存贮器系统结构	255
11-2 静态RAM器件	255
11-3 静态存贮器器件的时序	257
11-4 RAM存贮器模块设计	258
11-5 非易失性半导体存贮器系统	265
11-6 动态RAM及刷新	266
11-7 ROM模块	269
11-8 串行存贮器	271
11-9 磁泡存贮器	273
11-10 CCD存贮器	278
第十二章 开发工具	286
12-1 交叉汇编程序	287
12-2 模拟程序	290
12-3 微型计算机开发系统	292
12-4 程序的建立和执行	293
12-5 PROM编程器	295
12-6 仿真器	297
12-7 逻辑状态分析器	298
第十三章 单片16位微处理器	302
13-1 附加逻辑与取舍	303
13-2 多道程序与存贮器管理	306
13-3 Intel 8086	309
13-4 摩托罗拉MC68000	320
13-5 Zilog Z8000	323
第十四章 位片式微处理器	329
14-1 微程序控制结构	329
14-2 控制存贮器和微指令格式	332
14-3 微控制逻辑	333
14-4 数据通路模块	338

14-5	微例行程序	346
14-6	微周期时间	348
14-7	位片式微处理器概况	350
14-7-1	Am2900系列	350
14-7-2	MMI 6700系列	352
14-7-3	莫托罗拉MC10800系列	353
14-7-4	TI公司双极型微计算机器件	353
附录A	莫托罗拉MC6800	355
附录B	8080指令系统简表	367
附录C	用卡诺图极小化	374

第一章 计算机导论

计算机是一种电子机器，它运用已存贮在存贮器中的指令和数据迅速地完成复杂的计算。计算机有二种基本类型：模拟计算机和数字计算机。模拟计算机通过利用电压模仿物理状态来完成它的计算任务，它能解微分方程问题，通过把一组积分、求和、乘法等电路连接在一起来拟定工作程序，以输出电压的方式来模拟有意义的物理量（模拟计算机不一定是电模拟，实际上，早期的模拟机是机械模拟，输出的是位移量而不是电压）。数字计算机，虽然它也用电压电平来实现计算，但其内部使用状态组合表示数和它自身固有的指令。早期的机器指令是以物理连接的形式存贮，恰好类似于模拟计算机；但现在计算机指令存放在电子的或磁的器件中。数字计算机能执行的任务比模拟计算机广泛得多。它们不仅可以进行计算，还可以用来编译、相关、分类、归并、存贮数据。因此，数字计算机又称为“通用计算机”。

数字计算机与计算器的差别在于：数字计算机能按照存放在计算机内的指令运行，而计算器则必须由人一步一步地给出指令。根据这个定义，可编程序的计算器是计算机，计算机工作者对此还有争议，因为它不十分确切。本书选用这个独特的定义是要为后面讨论的问题划出一条清楚的界线。

数字计算机通常按照规模用“大”、“中”、“小”、“微”来分类，各类之间的界线多少有点模糊不清，也不值得过多地讨论。当然最小的是微型计算机，它的特点是在少量集成电路（IC）片内容纳下计算机的计算和基本控制电路。虽然微型计算机比较小和计算速度比较慢，但它的应用却十分广泛，而且与大型机一样地灵活。微型机的基本优点是价廉，整个电路可以装成一个组装件。后者提供了积木性，它允许各行各业的设计者，即使他们对计算机懂得不多，也可以把它们吸收到他们的设计中去。这就是本书要介绍的微型计算机。

1-1 计算机的总体结构

尽管对计算机的评价常常归结到它们的大小和应用，而且花费大量时间在基本部件的重新布局方面，但是经受了时间考验的图 1-1（a）的结构仍然为讨论计算机构造提供了良好的起点。如图所示，计算机的三个基本部分是：存贮器，中央处理部件（CPU）和输入/输出（I/O）子系统。存贮器存放操纵计算机的指令和参与运算的数据。CPU控制指令的译码和执行，而I/O子系统使计算机与外部领域通讯。计算机的操作过程如图1-1（b）所示。CPU从存贮器中取出一条指令，对它译码，取得所需的数据，如果需要的话对它进行运算，结果送到合适的单元中去，然后确定到存贮器中什么地方去取出下一条指令。正如图中所示，计算机一旦对指令完成译码，就根据不同类型的指令选通不同的通路去执行指令。某些指令完成计算，有些指令给出命令或者检测I/O子系统的状态，有一些将简单地循环移动数据，其他一些则仅仅决定下一条指令的地址，而这或许还取决于计算机当前的状态。

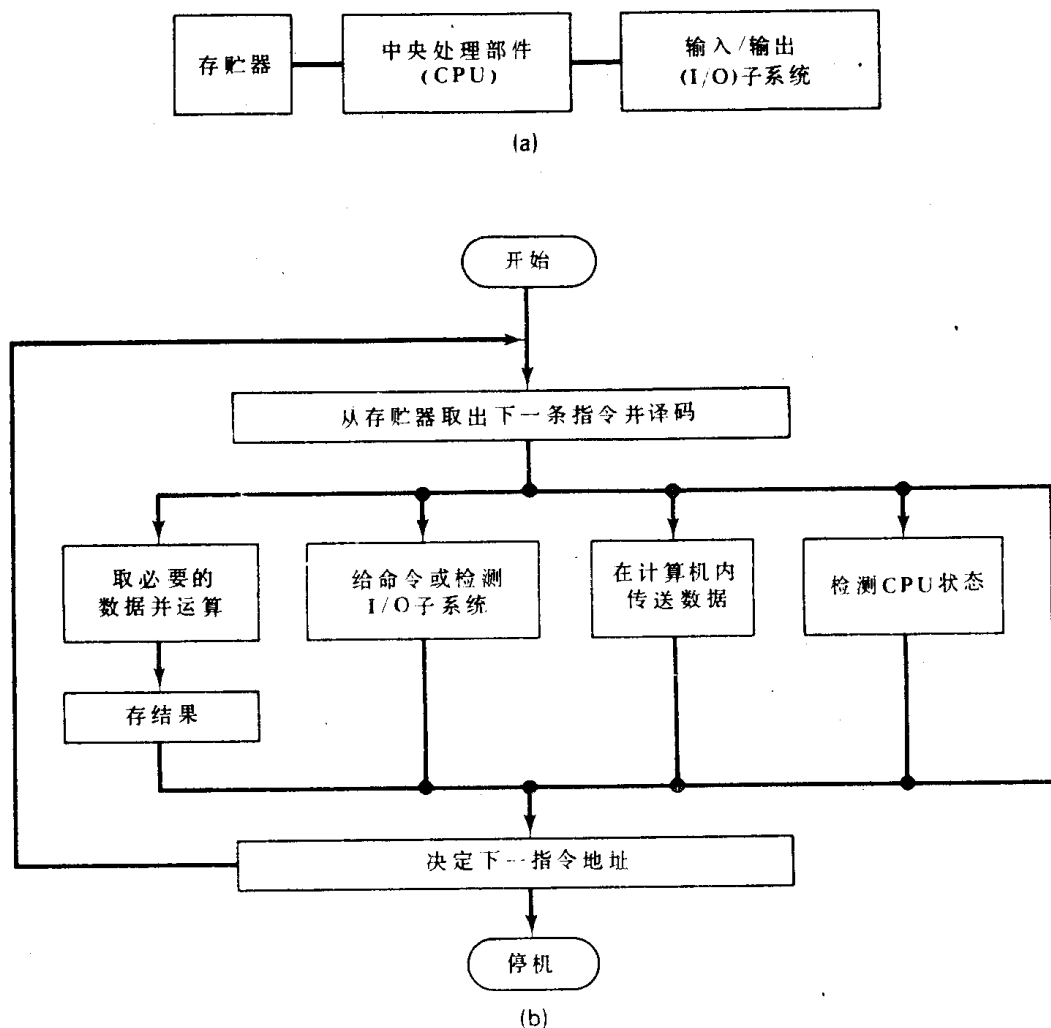


图1-1 计算机的简单框图和它的操作流程
(a) 框图; (b) 流程图

图1-2表示较详细的计算机框图,图中把存储器又分成二部分:一部分叫做海量存储器,它有一定的存贮量,但与另一部分相比需要较长的检索时间;另一部分仍叫“存储器”,它存放当前要在CPU上运行的指令和数据。由于CPU不能直接利用海量存储器中的信息,因此,虽然它并不作为与外部领域通信的工具,但仍作为I/O子系统的一部分。磁带和磁盘部件均属海量存储器。

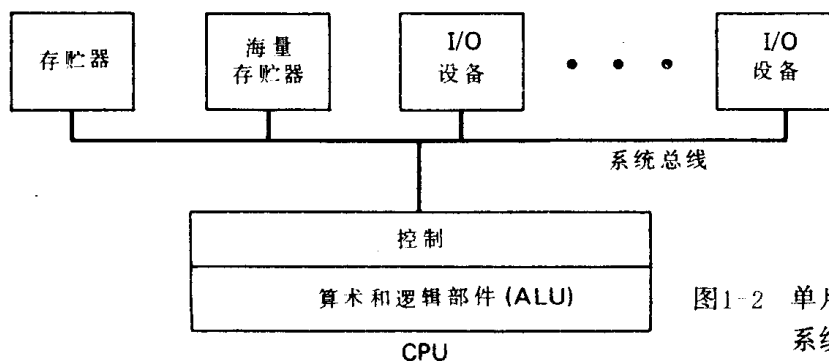


图1-2 单片MPU微计算机系统主要部件框图

与分别使用传输线把CPU和存储器、CPU和I/O子系统连接起来的方法相反，图1-2中全部方框都连接到公共线上。这张图较准确地反映了单片CPU微型机系统的布局，系统内的一组传输线叫做系统总线，用于执行信息的传送任务。然而仍由CPU及其有关电路决定传送信息的次序。

图中第三部分表明CPU被划分成二部分：一部分负责整个系统的控制、检索指令和译码；另一部分叫做算术和逻辑部件（ALU），它担负算术和逻辑运算。由于CPU可完成多种功能，所以它通常还要进一步细分（参阅第五章）。在微型机系统中的CPU称作微处理器部件（MPU），并且做在单片集成电路上。

近来，在把几个MPU连结在一起形成阵列式结构方面已经作了大量的研究，其中每个MPU承担特定的任务。通过使阵列同步，就可使各个MPU同时完成各自的任务；作为整体的系统就能迅速地解决复杂问题。图 1-2 不包含这样的系统，它们超出了本书的范围，作为我们讨论的基本模式图1-2完全够了。

根据上述数字计算机的定义，可知它的明显特征是计算机按状态组合来存贮和处理信息。在计算机内，每个元件假定为 M 个状态，并把每 n 个元件分为一组，那么每一组有 M^n 种不同的组合可用来表示不同的信息。显然，设计者选择 M 、 n 和组数是基本的。

由于 M 取决于技术的现状，而且近期内也不见得会有什么变化，即使在简单的应用中，元件组数通常要以千计，如果 $n=8$ ，那么元件数就要以万计。作为近代的某些应用，计算机必须包含几十亿个元件。这就意味着每个元件必须绝对可靠，否则如果数千个元件可能在任意给定的时间内出错，那么计算机的计算结果只能当作随机变量了。所以，必须从增加整个系统可靠性的角度来选择设计参数 M 。选择 $M=2$ 是最合适的，因而计算机称作“二进制机器”。 M 选用较小数值的缺点是：若要使 M^n 保持合理的数值，就要增大 n ，从而增加了元件数目。为此有人用比较大的 M 值做实验，但至今还提不出比2更好的 M 值。

M 取2为最佳有二个原因：第一，二态元件只需非常少的电子零件（指晶体管，二极管，电阻等等），而较大的 M 值即使会减少元件的数目，但会增加电子零件的数目。第二由于电子零件的性能随使用时间而变化以及电子线路中总有噪声（额外的电磁信号）存在，因此确切地识别两个状态之一要比确切地识别多个状态之一容易得多。电子线路在截止或饱和状态下工作时，电路要稳定得多而且对噪声很不敏感；而通常在给定的电路中也只存在这两种状态。

1-2 微型计算机的应用

存贮在二进制机器每个元件中的信息叫做一个位。一台计算机适合哪些应用领域，取决于存储器中所含位的最大数量，以及CPU处理这些位的速度。图1-3说明各类计算机容量和速度的相互关系。虽然坐标轴没按比例分划，但三个例子提供了一些相对关系。Intel 8080计算机的存储器可有50万位，大约在60 μ s内完成两个九位十进制整数的相加。DEC公司PDP-11/34小型计算机的存贮容量可达二百万位，而完成与上述相同的加法大约要4 μ s，IBM 370/158则有超过10亿位的存贮量，完成相同的加法不到1 μ s。

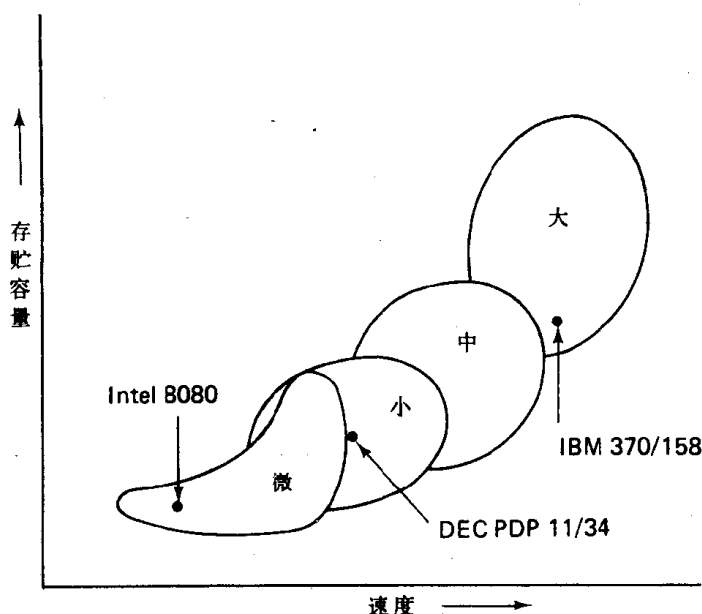


图1-3 计算机速度与存储容量的关系

这个图说明了两个重要事实。第一，微型计算机区域的不规则形状表明了可用的各种微处理器品种繁多。左端狭窄处与8位微处理器相对应，最大的存储容量大约是50万位。右边的大范围部分与较新的16位微处理器相对应，最大的容量超过1亿位。第二，说明计算机的应用问题，即要求应用高速的也趋向于要求大存储容量。因此，由于预计到销路不大，将阻止开发那些低速/大容量或者高速/小容量应用系统的设计。适应这类应用最经济的办法通常是买一台较大的计算机。另一个可替代上述办法的方法是采用位片结构（参阅第十四章），但这种方法需要可观的开发成本。

图1-4说明了微型计算机应用的种类和它们的复杂程度。某些应用只需简单的位控制器，因而可用一个单片微处理器解决，它们表示在图的左边。增加复杂程度，在图中就向

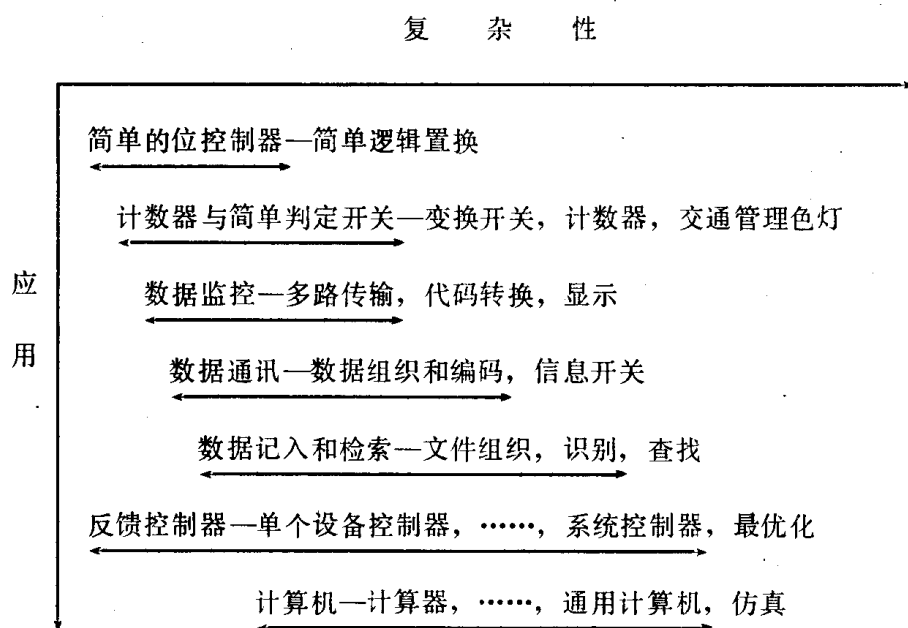


图1-4 微型计算机应用及其复杂性

右移动。接着在图中列出较复杂的多位控制器，像数据监控、数据记入、通信控制器和反馈控制器这一类的应用。最后，在图的底部是表示使用微型机来代替大型计算机。通过适当地配置某些微型机的指令系统，就可以用它们来模仿大型计算机。这类应用受到限制的原因是微处理器速度较慢及（或者）存贮器容量较小。若所需速度超过微处理器速度或所需存贮容量过大，那么就不能用微型机替代大型机。

1-2-1 例——微型计算机报警装置

假定在化学反应过程中必须使容器内的温度和压力保持在图 1-5 (a) 所示区域内。如果这个温度/压力组合偏离到这个区域之外，就通过灯亮和喇叭响给操作员报警。图 1-5 (b) 表示可满足这个要求的微处理器系统框图。假设描述该区域边界上的温度/压力对偶存放在存贮器中，系统通过周期性地读入温度和压力，把当前的压力与边界表内当前温度对应的压力限值进行比较，如果超出限定范围，就发出报警信号。

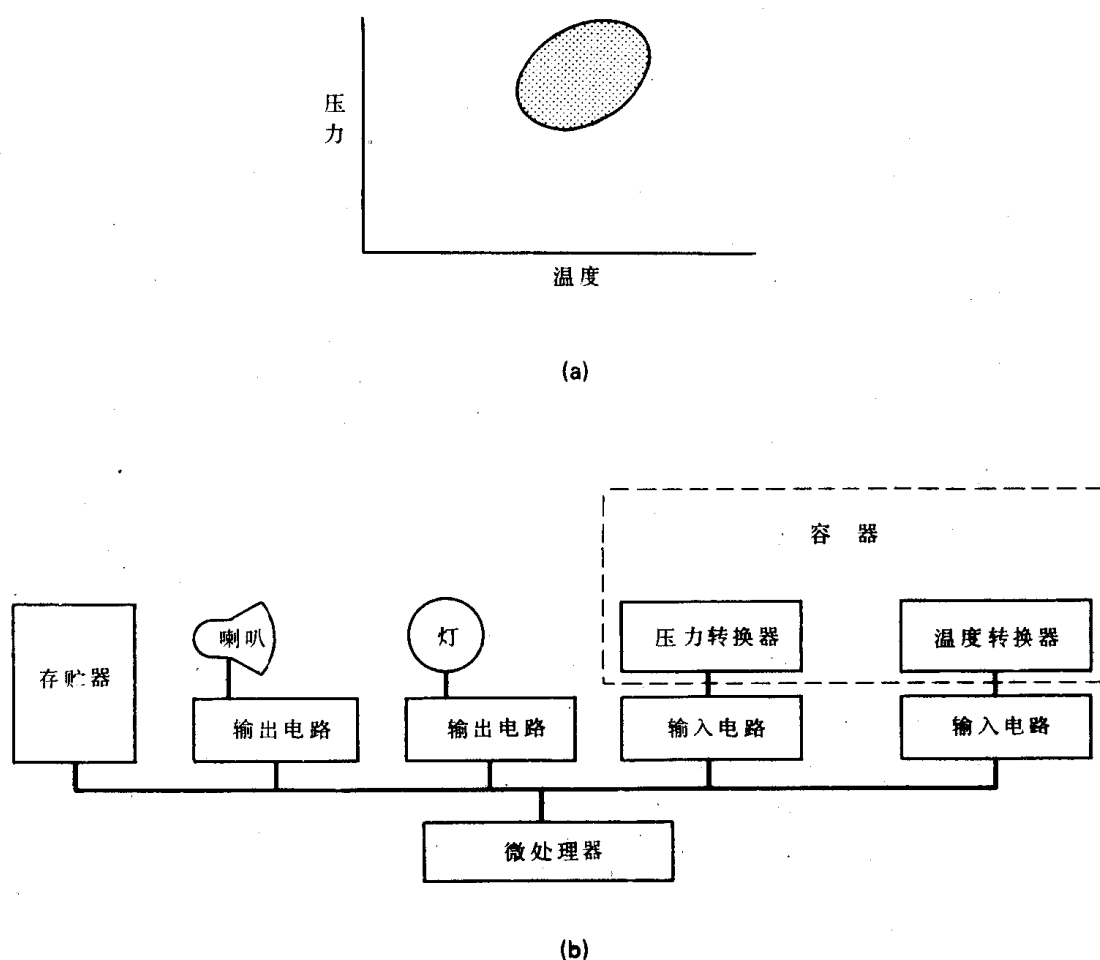


图 1-5 化学反应过程的微处理器报警系统
(a) 允许的压力和温度范围；(b) 框图

这个系统的主要优点之一是灵活性。如果需要改用不同的边界条件，人们只要改变存贮器中的内容；或者换掉存贮模块本身，因为存贮模块可能是用便宜的单片构成的。通过为每个容器增加必需的传感器和输入电路、灯和与每个容器相联系的输出电路，以及一个

扩展程序，这个系统就可以很方便地扩展到控制几个容器。如果要求有分别改变程序和边界条件的灵活性，人们可以把程序和边界条件数据分别存在单独的存贮器芯片中。

1-2-2 例——汽车的点火系统

点燃汽车发动机汽缸中混合燃料的最佳时间依赖于如下六个参数：

1. 入口空气的温度；
2. 曲轴的位置；
3. 进气管的真空度；
4. 发动机的温度；
5. 节流阀的位置；
6. 节流阀位置的变化率。

在这种情况下，最优化的标准是权衡这些条件的组合，使燃料损耗最少，排尽废气和达到最大运转性能。一旦建立了标准，最佳控制理论就能产生一种算法，由上列输入参量决定输出时标。这种算法过去用机电法来实现，非常复杂，需要一台具有存贮能力的高速计算装置（即计算机）。

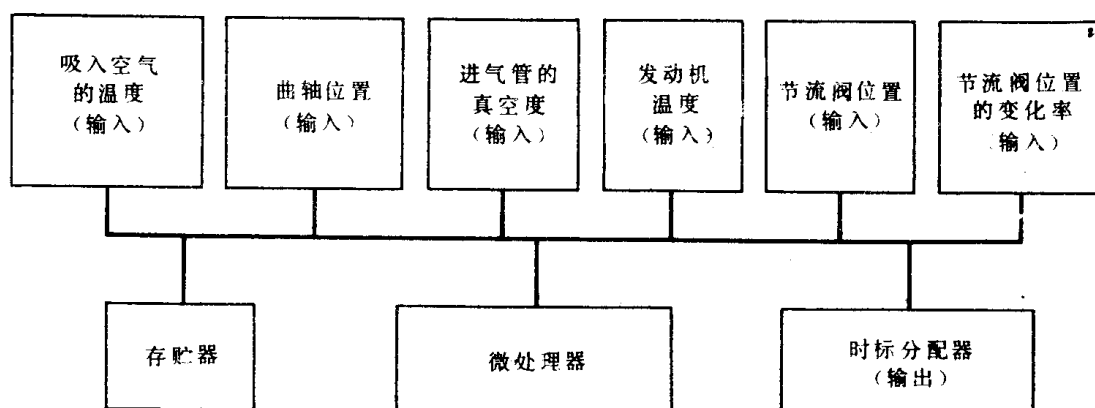


图1-6 汽车的点火定时系统框图

图1-6 是计算机控制的点火系统框图。这是一个典型的计算机应用例子，在微电子学发展以前，这在经济上是不可行的。这个系统中，周期性地读入输入变量供最优化算法预报点燃混合燃料的精确时间。存贮器不但可存贮当前的信息，而且根据算法的复杂性，也可存贮过去读入的输入变量。改变系统用于不同的发动机，则需改变算法中的参数，以及简单地换掉一块存贮片。

1-2-3 例——火箭反馈控制系统

假设火箭的传感器能够量测它与目标之间的距离和在X-Y平面上目标和火箭飞行线的偏差。再用优化理论来寻找一个算法，该算法利用输入变量产生一个输出到火箭的控制翼面。图1-7表示假定有二个控制翼面的一个空对地火箭控制系统框图。先前的及当前的信息可用来预告火箭对于目标的相对位置。如果目标在运动，这一点将尤其重要。