

微处理器系统设计基础

(上)

仇仪傑 编

设计方
方面的
的资料却比
业自动化专业
希望能对这些同

多介绍一些系统设计
具有极强的实践性
实例的都以目前在
自动化领域的 M6800
的不同需要，讲义中
根据实际情况选学。

要介绍概念和概况。第
硬件原理的基础上更好地
。信息及其传送，主要讨论微
。内部各种信息的作用和传送
这一章里进行介绍。第四章软
理，为能较深入地了解软件的
四的指令介绍了一些程序设计
一般概念后，重点介绍了 MC680
系统设计和实例分析是以美国

南京工学院工业自
江苏省自动化协会

前 言

微处理机问世以来，虽只经历了短短的十个春秋，但价廉可靠、灵活轻巧、环境适应力强等特色却为计算机的应用开拓了一条崭新而宽广的道路。目前在国外，以微处理机为基础的系统在国民经济各个领域已得到广泛应用并大量渗入了人们的日常生活，而且这种趋势还在与日俱增。在国内，随着社会主义建设事业的发展 and 人民生活的改善也出现了这种情况的先兆。可以预断，随着我国半导体集成电路工艺的过关，微处理机系统的应用将无疑地会进入一个全面推广的阶段。

从目前的情况来看，已经有不少同志在微处理机系统设计方面做了不少工作，更多的同志迫切地希望能了解和掌握这方面的知识以数需要，但比较适合国情又能作为教学和自学的资料却比较少。编者就是根据这种情况和要求，结合本院工业自动化专业学生学习同名课程的需要而撰写的，其目的只是希望能对这些同志起一点参考和备忘的作用。

讲义的取材主要是从教学角度出发，尽量多介绍一些系统设计中的共性问题以增强适应性，但由于本课程具有极强的实践性，完全摆脱机种是不太可能的。因此凡需牵涉到实例的都以目前在国际上比较有代表性的、也比较适用于工业自动化领域的MC6800系列产品为线索。此外，考虑到各方面人员的不同需要，讲义中还适当地介绍了一些基本的知识，读者可根据实际情况选学。

整个讲义共分六章，第一章概论，主要介绍概念和概况。第二章硬件，目的是为了让大家能在了解硬件原理的基础上更好地使用它并充分发挥它的作用。第三章信息及其传送，主要讨论微分处理机系统中有关微处理机外部和内部各种信息的作用和传送情况，有关微处理机的指令也放在这一章里进行介绍。第四章软件，重点是介绍软件的一般设计原理，为能够更深入地了解软件的编制方法，也结合MC6800微处理机的指令介绍了一些程序设计技巧。第五章在介绍接口技术的一般概念后，重点介绍了MC6800系列的一些通用接口。最后一章系统设计和实例分析是以美国

HEATHKIT 公司生产的单板微处理机学习机 ET-3400 为背景，对它的硬件配置、接口选择和软件安排作一些讨论，以了解系统设计的方法和技巧。

针对本课程实践性极强的特点，要很好地掌握它必须高度重视实验和实践。实验能澄清和验证所学的理论，为实践扫清道路，而实践不但可了解具体的处理技巧还能进一步巩固和扩大所学的知识，以期融理论和实践于一炉。

应该声明的是由于编者水平有限，时间又较匆促，不论从取材到具体内容都夹杂着个人的偏见和错误，因此恳切希望批评指出。最后对在编写过程中给予鼓励和支持的同志们致以衷心的感谢。

仇仪傑

1981.5. 于南京工学院

注：如欲翻印，烦请通知编者，以便修正。

目 录

前言

第一章 概 论

§1-1 基本知识	1-1
一、“计算机技术”方面	1-1
二、“半导体集成工艺”方面	1-6
三、“微处理机及系统”方面	1-8
§1-2 微处理机系统的组成和研制手段	1-13
一、系统硬件的基本配置	1-13
二、系统软件的 “ ”	1-16
三、系统的研制手段	1-17
§1-3 微处理机系统的特点和应用范围	1-18
一、优点	1-18
二、存在问题	1-19
三、应用范围	1-20
§1-4 微处理机及其系统的发展概况	1-20
一、过去情况	1-20
二、发展方向	1-22

第二章 硬件

§2-1 基本元件及电路	2-1
一、基本元件	2-1
二、基本电路	2-2
三、各种元件及电路的性能比较	2-5
§2-2 逻辑门及其组合部件	2-6
一、正、负逻辑	2-6
二、基本门	2-7
三、特殊门	2-9
四、组合门部件	2-12

§2-3 触发器及其组合部件	2-20
一、各种触发器及其真值表	2-20
二、触发器组成的部件	2-23
§2-4 时钟	2-28
一、基本情况	2-28
二、二相有限功能时钟 MC 6870	2-31
三、二相全功能时钟 MC 6871	2-32
四、二相时钟产生 / 驱动器 MC 6875	2-34
§2-5 存储器	2-36
一、概述	2-36
二、随机存取存储器 RAM	2-41
三、只读存储器 ROM	2-56
§2-6 微处理器系统的中央处理单元 MPU	2-72
一、算术逻辑运算单元	2-72
二、可编程工作寄存器	2-73
三、不可编程工作寄存器	2-77
四、内部总线	2-78
五、控制	2-79
六、MPU 实例 MC 6800 剖析	2-82

第三章 信息和指令

§3-1 数制和编码	3-1
一、数制	3-1
二、二—十进制编码	3-10
三、字符编码	3-21
四、数及编码的机内存放格式	3-28
§3-2 指令和寻址方式	3-29
一、指令格式	3-29
二、寻址方式	3-30
三、指令的特征和类型	3-32
四、MC 6800 指令集	3-34

§3-3 指令的工作流程	3-61
一、时钟周期、机周期和指令周期	3-61
二、指令周期工作流程举例	3-61

第四章 软件

§4-1 软件组织的全过程	4-1
一、确定方案	4-1
二、基本数据结构	4-6
§4-2 实现程序设计的二种工具——流程图和决断表	4-21
一、流程图	4-21
二、决断表	4-38
§4-3 汇编语言	4-44
一、汇编语言的基本符号	4-44
二、" 中语句的组成	4-45
§4-4 6800系统常用子程序	4-52
一、存储器寻址	4-52
二、数据传送	4-54
三、执行程序转移	4-61
四、算术运算	4-62
§4-5 实时系统中的二种信息处理标志——沪波和控制标志	4-71
一、沪波标志	4-71
二、控制 "	4-81

第五章 微处理器系统的接口技术

§5-1 概述	5-1
一、接口的功能和类型	5-1
二、MC6800 的控制信息	5-5
三、微处理器系统的信息交换方式	5-16
§5-2 通行并行接口——可编程接口适配器(PIA) MC6820	5-33

一、MC6820 的基本特性和结构	5.33
二、内部寄存器及其功能	5.35
三、PIA 的使用方法	5.45
§5-3 通用串并行信息转换接口——异步通讯接口适配口 (ACIA) MC6850	5.50
一、串并行转换接口的共同问题	5.50
二、MC6850 的基本特性和结构	5.55
三、MC6850 内部寄存器的功能	5.58
四、MC6850 的应用举例	5.63
§5-4 可编程中断控制口 PIC-MC6828	5.65
一、基本原理	5.65
二、MC6828 特性介绍	5.69
§5-5 可编程定时计数器 PTC-MC6840	5.72
一、基本情况	5.72
二、内部寄存器	5.80
三、初始化问题	5.82
四、定时口工作方式简介	5.83

第六章 系统设计方法和实例分析

§6-1 系统设计的一般问题	6.1
一、确定采用微处理口系统的几个原则	6.1
二、MPV 选择原则	6.3
三、硬件配置	6.5
四、编址问题	6.5
五、软件问题	6.8
§6-2 实例 ET-3400 微处理口系统分析	6.11
一、硬件配置概况	6.11
二、编址和选址	6.17
三、系统监控程序	6.21
§6-3 系统设计中有问题的问答	6.45
一、M6800 系统工作情况	6.45
二、M6800 控制情况	6.50

三、M6800 中断工作情况 6.54

四、M6800 编程情况 6.61

附录:

ET-3400 监控程序清单 附1

第一章 概论

§ 1-1 基本知识

微处理器 (microprocessor) 是以计算机技术和半导体集成电路为基础、根据实践需要发展起来的一种大规模数字集成电路器件 (large scale digital integrated circuit device)。因此要全面阐述由微处理器组成的系统, 首先就必须对下述三方面的知识作扼要的介绍。

一 “计算机技术” 方面

1. 数字计算机和计算机 (digital computer and calculator)

数字计算机 (以下简称计算机) 是一种能自动地对“数字”号进行高速处理的电子设备, 它和计算机的根本区别是它可以存储程序并具有逻辑判断的能力, 也正是这个特征使得计算机具备了可赋以智能 (intelligence) 的优越性。

2. 计算机主机 (host computer)

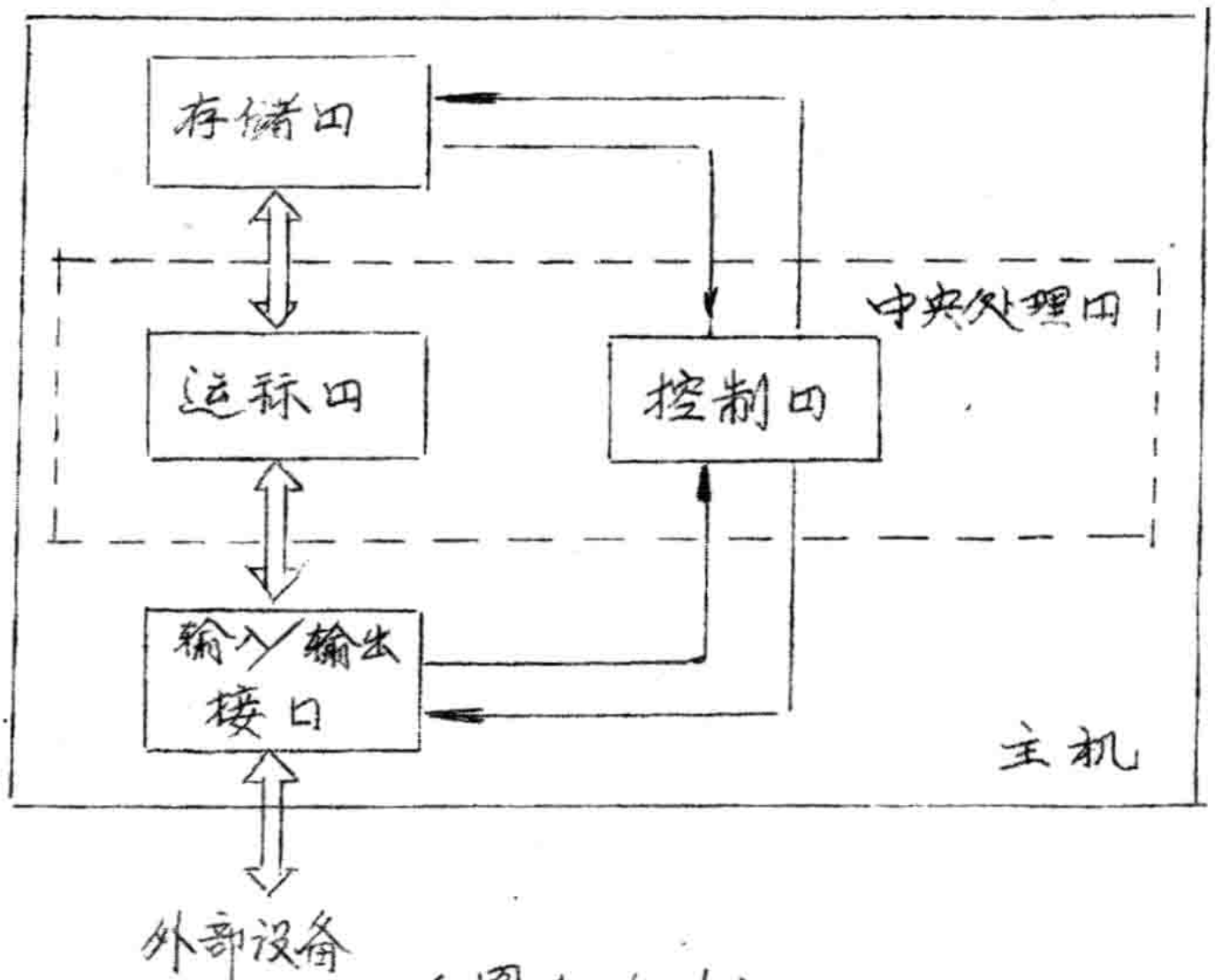
计算机主机的基本结构见图 1.1.1。它主要包括四大部分,

各部分之间的连系用双
线表示数据线单线表示
控制线。其中存储器

(memory) 用以保
存信息 (signal), 对
计算机来说这种信息又
可分为指令 (instruction)
和数据 (data) 二类。
而输入/输出接口 (input
/ output interface)

则用来保证主机能和外
部设备 (external

equipment) 有效地协调连接, 当然这些外部设备可以是输



<图 1.1.1>

入设备或输出设备，也可以既是输入又是输出设备，运算器担任着对数据实现算术和逻辑运算的作用，所以也称为算术逻辑单元 (arithmetic logic unit)。为了使整个计算机能自动而又协调地工作，即按要求将指令和数据从外部设备通过（或不通过）运算器送往存储器，然后根据存储指令的要求完成所需要的运算并按要求将结果送出给外部设备；这就必须要有一个控制单元 (control unit)，当然控制单元不光可以实现上述功能，复杂一些的还可以有电源故障恢复再启动 (power fault restore restart) 等能力。很明显可见计算机主机的核心是运算器和控制单元，它们起的就是处理信息的作用，所以往往把它们合在一起称为中央处理单元 (central processing unit)。除此之外主机还必需有电源、控制台（或面板）、通风冷却及测试等附加设备，但这些一般都不作为主要组成部分来考虑。

3. 计算机系统 (Computer system)

由中央处理单元、存储器和输入/输出接口组成的计算机主机必需再配以一些基本的输入/输出设备，例如信号读入机 (reader)、打印机 (printer)、穿孔机 (punched machine) 等才能组成可用来实现科学计算或信息处理的电子计算机计算机系统，一般习惯上也把这样的系统称为电子计算机。实际上计算机主机还可以作为一个部件用于各种系统中分别担负收集信息、处理信息或实现控制等功能，这时这些系统也就分别可称为计算机信息收集系统 (signal acquisition computer system)、计算机信息处理系统 (signal processing computer system) 和计算机控制系统 (computer control system)，从计算机系统的角度来看它们和一般的计算机计算机系统并无原则上的区别，只不过是外部设备不同而已。

4. 硬件、软件和固件 (hardware, software and firmware)

组成计算机主机的物理实体，包括电、磁、电子、机械、光学等各种元件、零部件、接插件、印刷板以及导电体统称为硬件。显然要使计算机工作单靠有由这些硬件组成的所谓裸机 (bare machine) 是不行的，还需要先确定运算规则并按裸机预定的

格式将这些规则转换成由一系列二进制形式的信息组（也就是指令）组成的所谓“程序”。为了便于这样的转换，特别对于较复杂的规则往往还需要借助一些“翻译”（Translation）程序。此外在调试和检修计算机时也需要相应的程序。这些程序的总体系统称为计算机的程序系统，由于它们一般都是记录在纸带、磁带、磁碟等软性介质上，所以俗称软件。随着大规模集成电路的发展，还出现了将一些成熟的、应用另大的软件固定制在存储器中，以便于保存和使用，这种软件称之为固件。

5. 软件的类别

软件的作用概括地说是为了使计算机系统能按人们的要求工作并尽可能地做到方便用户、提高使用效率和扩大系统的功能。它可分为系统程序和应用程序两大类，粗略地说应用程序是用来解决具体问题的，因此一般由用户自行编制，而系统程序一般则是计算机厂为了推广使用计算机而编制的，因此一般由计算机制造厂或专门的研究单位提供，但在具体使用时其中有些程序还需要由用户根据具体情况进行改、增、删。

1) 系统程序 (System program)

(1) 语言转换类

因为每种计算机只认识它自身具有的二进制形式的信息（包括指令和数据），因此要使计算机工作就必须将运算规则按照使用机器的指令和数据形式编制程序，这种形式的程序称为机器程序，所用的指令和数据格式称为机器语言。这样显然很不方便又容易出错，更不便于交流。为此人们就设计出各种便于记忆、书写程序的脱语言，同时也研制出能实现脱语言转换成机器语言的转换程序，这样通过计算机就可以迅速将脱程序转换成机器程序。属于这类程序的有：

① 汇编程序 (Assembler)

由于机器语言的指令难于记忆、书写，因此在程序编制（编程）过程中就往往采用指令英文名称的缩写来表示，这就是所谓的符号语言 (Symbolic language)。之后就在这个基础上增加一些控制机器内部操作的假指令 (pseudo-instruction) 和便于编程的宏指令 (macro-instruction)

就形成了汇编语言。因此它和机内语言基本上是一一对应的，它们之间的转换需在计算机中通过相应的汇编程序来实现。汇编程序是计算机最基本的一种程序，它的语言和程序对于不同的机内也是不相同的，因此属于面向机内的语言。

② 编译程序 (Compiler)

利用汇编语言来编写程序固然比直接用机内语言要方便得多，但它究竟还是和人们日常的语言和数学表达方法有很大差别，而且由于汇编语言和程序随机而异，使用和交流就受到了限制，在编制较复杂的程序时更因为它冗长而深恶不便。所以人们又设计出许多比较接近人们日常语言和数学表达方法的，而且使用比较方便的脱语言，这类语言就是编译语言。当然为了最终转换成机内语言同样还需要有相应用作翻译的程序，这种程序称为编译程序。编译程序的种类很多，目前比较通用的有公式翻译语言 FORTRAN (formula translator)、标记语言 ALGOL (algorithmic language)、商业用语言 COBOL (Common business oriented language) 和编程语言 PL/I (programming language)。另外还有一种比较简单易学的小型会话式通用语言 BASIC (beginner's all-purpose symbolic instruction code)，与它相应的用来将它转换成机内语言的转换程序称为解释程序。它的特点是不需要先得出整个机内程序，而是一边输入计算机一边就执行并能进行人机对话，易于修改调试。总的来说编译语言是具有通用性的，也就是对任何机内都是适用的，它是一种面向过程的语言，但编译程序却对不同机内是不同的。

(2) 服务类

这类程序是用来为计算机系统本身服务的，它可以分为这样几种：

① 编辑程序 (editor)

它可对程序中的指令和数据进行整理、连接和组合，包括实现改、增、删、复制和转移等功能。

② 排错程序 (debugging routine)

利用它可以来指出和排除程序中的错误。

③ 诊断程序 (diagnostic routine)

它是用来对计算机及其系统实现检查和诊断而设计的，其功能的差异很大，一般可用来测定有否故障，故障部位以缩短维修时间，提高系统使用效率，功能强一些的甚至可断错到那一个元件。目前为了提高计算机系统的可靠性还发展了一种动态诊断程序 (dynamic pre-diagnostic program)，它可以在系统运行的同时动态地检测系统的情况以防患于未然。

(3) 管理类

这类程序是为实现计算机硬、软件间的协调配合并充分发挥计算机功能，提高系统的工作效率而设计的，一般称为管理程序 (supervisor program)，也有称为执行程序 (executive program) 或监控程序 (monitor) 的。具体地说它是用来管理输入/输出、中断、程序调度的，随着计算机系统的日趋复杂，对这种程序的要求也越来越高，例如要求它能实现计算机的分时操作，多机配合等，因此这时用来实现管理的程序在功能上就和一般的管理程序有了较大的差异，也就是本身具备了“系统”的概念，为誌以差别一般把功能较为复杂的管理类程序称之为操作系统 (Operating system)。应该指出，当计算机作为一个部件用于其它系统中时一般却需要根据具体情况对管理类程序作适当的修改，并可增加排错和诊断程序的内容。

(4) 程序库 (library)

这是为便于用户使用而设计的各种典型计标、处理用程序的大全。其中的程序一般都经过实践多次、反复的考验，因此质量 (佔用的时间和空间) 较高，因此借助它可以大大提高编程速度和质量。

2) 应用程序 (Application program)

这类为解决特定的具体问题而编写的程序内容极为广泛，种类也就非常繁多。例如为实现工业自动化的控制程序，进行企业管理的管理程序，对数据进行统计分析和处理的处理程序以及将专用语言 (例如数控机加工语言、绘图机语言、集成电路制板语言等) 转换成通用语言或机内语言的专用编译程序都是属于这一类，这类程序也正是我们应用者应该考虑和解决的课题。

6. 外部设备与外围设备 (external device and peripheral equipment)

外部设备一般泛指在计算机系统中除去主机和内存储器之外所有硬设备，而外围设备则指那些为计算机计算机系统服务的输入/输出设备，例如外存储器、穿孔机、读入机、打印机、显示装置、绘图机等。外围设备之所以有此名是因为计算机系统刚出现时这些设备都是围绕主机安置的缘故。

7. 内存储器与外存储器

内存储器简称内存，它是指那些能直接由处理机寻址进行访问的存储单元，它一般都和处理机组装在一起的。而外存储器（简称外存）则往往都作为独立设备存在，它和主机并不组装在一起，但却能以计算机可兼容 (compatible) 的形式存储信息，当主机要和它交换信息时不能直接寻址访问而须通过一定的控制手段来实现。常用的外存有纸带、磁带、磁鼓、磁盘，一般外存可携带的信息量都非常大（和内存比较）因此也称海量存储器 (mass storage)。

二. “半导体集成工艺”方面

1. 集成度

它是衡量集成电路规模的主要指标，一般以一个芯片 (chip) 上所包含的元件数作为分类的标准。例如每片上有 10~100 个晶体管的称小规模集成电路 (small scale integrated circuit)，100~1000 个的称中规模集成电路 (middle scale integrated circuit)，1000~10000 个的称大规模集成电路 (large scale integrated circuit)，而超过 10000 个以上的称超大规模集成电路 (very large scale integrated circuit)，超过 100000 个以上的则称为甚大 (超高) 规模集成电路 (super very large scale integrated circuit)。看起来这个指标似乎不太合理，因为芯片的面积可大可小，但实际上芯片面积大要集成更多的管子其成品率在目前工艺水平下就会大大下降而严重影响经济指标，所以一般用的芯片（厚几十微米的硅晶片）面积都在 10 mm² 见方以下，当然近年来随着工艺水平的提高用作芯片的硅晶片面积也在逐步扩大。

2. 延迟功率积

这是衡量集成电路性能的指标，也就是说集成电路既要求有较高的速度（延迟越小越好）又希望有较小的功率耗散（功率越小越好），而这二方面在实际上往往又是相互矛盾的，因此用这样一个乘积指标可以比较有效地说明集成电路的性能，这个乘积越小集成电路的性能也就越好，一般这个指标基本上取决于集成电路的制造工艺。

3. 制造工艺

所谓制造工艺是指构成集成电路基本单元所采用的技术，目前常用的有以下几种：

1) PMOS (positive-channel metal oxide semiconductor) 技术

这种集成电路是以P沟道金属氧化物半导体作为构成基本单元的四件，它采用正电荷移动来实现导电（空穴导电）因此速度较慢。但是它的工艺成熟、成品率高，集成度也较高因此使用仍然比较广泛，最早出现的微处理器4004、4040和8008都是採用这种工艺的。

2) NMOS (negative-channel metal oxide semiconductor) 技术

由于基本单元由N沟道金属氧化物半导体构成，其导电是依靠电子来实现的，因此具有比PMOS工艺要高的速度，其集成度也比PMOS工艺要高，因此目前比较多的微处理器像8080、6800和Z80都採用了这种工艺。但由于它的工艺不及PMOS工艺那么成熟，因此它的成品率也较低，价格较高，特别在生产复杂的驱动用集成电路时往往还宜于用PMOS工艺。

3) CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 技术

这种工艺中的基本单元是结合前二种工艺以互补的形式组成，因此称为互补金属氧化物半导体工艺。它的速度和集成度都介于NMOS工艺和PMOS工艺之间，即比前者差而比后者强，它的主要优点是功耗小并具有很强的抗干扰能力。因此特别适合于要求较高的场合。採用这种工艺的微处理器有RCA (Radio

corporation of America) 公司生产的 COSMAC。这种工艺的主要缺点是工艺复杂因此成本较高。

4) 双极 (bipolar) 型工艺

这种用来制造晶体管的传统工艺的最大优点是由它制成的产品可以有较高的速度，但功耗大，集成度低却在一定程度上抵消了它的优势。目前主要利用低功耗肖特基晶体管——晶体管逻辑 (low power schottky TTL) 工艺来制造速度较快的位片式微处理器如 intel 公司的 intel 3000 等。

在双极型工艺中还採用集成注入逻辑 I^2L (integrated injection logic) 工艺，它可以克服功耗大和集成度低这两个缺点而速度又可以接近一般的双极型元件，因此是一种很有前途的工艺，特别适合于制造袖珍式设备，例如数字手表、计算器 and 袖珍式微处理器等。Texas 公司也已利用这种工艺制造了 SBp 0400 和 SBp 0401 位片式微处理器。

属于这一大类工艺的还有射极耦合逻辑 ECL (emitter coupled logic)，它具有更高的速度但集成度较低，例如 Motorola 公司生产的 MC10800 位片式微处理器就是採用这种工艺的。

5) 其它工艺

除了上述四种基本的用来制造微处理器的半导体集成工艺之外，最近还出现了各种用来制造高密度存储器 and 特殊存储器的新工艺。例如 CCD (charge-coupled) 技术，DMOS (dual diffused MOS) 技术以及 VMOS (V-groove or V-notch MOS) 技术都是用来制造高密度的存储器，而 MNOS (metal nitride oxide-semiconductor) 技术则是专门用来制造 EAROM (electrically alterable read only memory) 的一种工艺。这种 EAROM 是一种既能读又能写但以读为主的存储器，它的写入速度相当慢，但一旦写入又可永久保存，这一点和只读存储器性质一样，所以仍冠以 ROM 之称。这种元件工艺复杂成本很贵，目前仅用于军事工业。

三、“微处理器及系统”方面

1. 微处理器 (microprocessor)

它是一种由一片 (chip) 或几片大规模集成电路组成的能完成基本运算和逻辑控制功能的部件。从计算机的角度来看它就是一个中央处理单元 CPU，为便于区别，一般简称为 MPU。

2. 随机存取存储器 (random access memory)

凡是可用来存放二进制信息的部件都称为存储器，我们把既可读出又可写入的读写存储器称为随机存取存储器，简称 RAM，目前和微处理器配套使用的都是由半导体部件组成。这种存储器是一种易失性器件 (Volatile device)，所以一般用来存储暂时性信息。

3. 只读存储器 (read only memory)

这种存储器为予先用物理方法把信息写入之后，其内容就不再改变而专供读出之用，故有只读存储器之名简称 ROM，目前常用的大部分也都为半导体部件组成。它是一种非易失性器件 (nonvolatility device)，因此可用来存储经常要使用的信息例如用来存放字符发生程序，微处理器系统的监控程序等。目前生产的固件实质上也就是一种 ROM。

4. 微处理器系统 (microprocessor system)

微处理器单独是不能工作的，必须配以存储器，接口 (interface)、和外部设备才能构成完整的可工作的系统，这种系统就称之为微处理器系统。它的内容和形式非常广泛，例如它可以是一个一般的用于科学计算的微型计算机系统，也可以是用微型处理器作为智能部件的作为不同用途的系统，例如智能仪器、机床控制系统等。

5. 微型计算机 (microcomputer)

严格地说微型计算机就是由微处理器 MPU 配以一定数量的 RAM、ROM、接口而组成的一种具有计算机功能的系统，它必需配以外设才能工作。但一般来说微型计算机也用来指那些只带有简单的输入/输出设备如键盘 (Keyboard)、显示器 (display device)、CRT (cathode ray tube) 等所组成的系统，而把正规的用于科学计算的系统称之为微型计算机系统 (microcomputer system)。

6. 单板机和单片机

将上述的微型计算机组装在一块底板上就称为单板微型机