

电子数字计算机原理

唐朔飞 编

哈尔滨工业大学出版社

电子数字计算机原理

唐朔飞 编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

全书共分十章，主要内容有三部分：基础知识（包括计算机中数的表示法、运算方法及常用的逻辑部件）；各子系统（包括运算器、存储器、控制器、输入输出系统）的组成、工作原理、设计方法及相互关系；一台小型计算机的设计举例。每章后均附有习题。

本书可作高等院校计算机专业教材，也可作中等专业学校计算机专业师生及其他科技人员、自学者的参考用书。

电子数字计算机原理

唐朔飞 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

黑龙江省绥化县印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张 24 字数539000

1990年6月第2版 1990年6月第2次印刷

印数8001—18000

ISBN7-5603-0290-4/TP·21 定价：6.50元

前 言

本书在介绍计算机工作原理时，摆脱了许多教材以某一机型为例的习惯方法，突出了数据、指令信息在计算机内的传递、加工、处理过程中，对计算机硬件结构的要求。这样有助于读者从本质上来认识计算机的组成及工作原理，由此而达到举一反三、触类旁通的目的。

本书共分十章，第一章详述了计算机的产生、发展及应用；第二至四章为基础知识，使读者熟悉并掌握计算机中数的表示方法、运算方法以及常用的逻辑部件；第五章概要介绍了计算机系统，旨在使读者能对计算机整体结构有个概括的了解，启发读者从整体出发，自觉地将以后各章子系统融合在一起；第六至第九章分别详述了计算机各子系统的任务、组成、工作原理、设计方法及相互关系，也是本书的重点章节；第十章通过对一台简单的小型计算机设计举例，使读者初步领悟计算机的设计思想，并进一步加深对计算机整机工作原理的理解。

考虑到计算机教育面的日益普及，本书在编写中，力求语言通俗易懂，文字简洁明了，便于自学者和初学者阅读。

本书可作为高等院校计算机专业教材，也可供中等专业学校计算机专业师生及其他科技人员、自学者学习参考。

本书虽曾供某些院校作教材试用，现又重新进行了修改，但因本人水平有限，不当之处在所难免，谨请读者批评指正。

本书承蒙哈尔滨工业大学计算机科学与工程系胡铭曾教授审阅。在编写过程中，也曾得到不少同志的支持和帮助，在此一并深致谢意。

编 者

一九八五年四月于哈尔滨

再版前言

本书自1987年出版以来，承蒙各界读者的支持，纷纷要求重新出版。随着计算机科学的不断发展，教学改革的不断深入，许多读者，特别是大专院校的同仁们，对本书提出了许多宝贵意见。本人集各读者和同仁的意见，决定在再版时对原书内容作若干改动，望各界读者、同仁继续提出批评意见。

原版中的第四章逻辑部件，考虑到前修课《数字逻辑》已详述，故这次将其内容全部删掉。此外，考虑到中、小型计算机已在国内陆续推广应用，故本版特增加了虚拟存储器一节。其余各章节除了在文字上作了某些修改外，还增加了若干习题。

再版后，全书分为四大部分。第一部分为基础知识，旨在使读者熟练掌握计算机中数的表示方法和运算方法；第二部分，概要介绍计算机系统的基本组成，旨在使读者能了解计算机的整体组成的概貌，启发读者从计算机整体出发，自觉地将以后各章内容融会贯通在一起；第三部分，详细介绍计算机各子系统的工作原理及相互关系，而且使学生还能掌握各子系统的设计方法；第四部分，通过对一台简单的小型计算机的设计举例，使读者能在整机工作原理的指导下，初步领悟到有关计算机的设计思想和方法，从而进一步加深对计算机工作原理的理解。以上四大部分的内容，往往受到教学时数的限制，不可能全部讲解，故建议第四部分可以自学为主，再结合课程设计，让学生根据给出的指令系统，设计一个微程序控制的中央处理器（确定微指令格式，编写微指令代码，画出逻辑图）。其余章节凡带※处均可自行掌握。

本书在再版中，继续力求保持语言通俗易懂，文字简洁明了，便于自学的特点。

本书仍可作为大专院校计算机专业的教材，也可作为中等专业学校计算机专业师生的参考教材，并可供科技工作者参考。

由于本人学识水平有限，再版时间仓促，书中不当之处，谨请读者和同仁批评指正。

编者

一九九〇年四月

目 录

第一章 绪论	(1)
§1-1 电子数字计算机的产生和发展.....	(1)
一、电子数字计算机的产生.....	(1)
二、电子数字计算机的发展概况.....	(2)
三、电子数字计算机的发展动向.....	(4)
四、电子计算机分类.....	(5)
§1-2 电子数字计算机的特点及应用.....	(6)
一、电子数字计算机的特点.....	(6)
二、电子数字计算机的应用.....	(7)
§1-3 电子数字计算机的硬件框图及解题过程.....	(8)
一、电子数字计算机的硬件框图.....	(8)
二、电子数字计算机的解题过程.....	(9)
思考题与习题.....	(13)
第二章 计算机中数的表示法	(14)
§2-1 按位定值的计数制.....	(14)
一、两种进位计数制.....	(14)
二、二进制计数的优缺点.....	(15)
三、八进制 (Octal) 和十六进制 (Hexadecimal) 的表示法.....	(17)
§2-2 各种进位制的相互转换.....	(18)
一、各种进位制转换成十进制.....	(18)
二、将十进制数转换成其它进位制数.....	(20)
三、二进制数与八、十六进制数之间的转换.....	(23)
§2-3 数的小数点表示.....	(24)
一、定点表示法.....	(24)
二、浮点表示法.....	(25)
三、定点和浮点表示法的优缺点比较.....	(26)
§2-4 数的符号表示——原码、补码、反码、移码.....	(28)
一、机器数与真值.....	(28)
二、原码表示法.....	(29)
三、补码表示法.....	(20)
四、反码表示法.....	(34)
五、移码表示法.....	(36)
§2-5 编码.....	(38)
一、编码的意义及形式.....	(38)
二、二进制编码.....	(39)

三、具有检测能力的校验码	(42)
四、具有纠错能力的汉明码	(43)
五、数字、字母、字符编码	(47)
思考题与习题	(49)
第三章 运算方法	(52)
§3-1 带符号的二进制数的移位运算	(52)
一、算术移位的意义	(52)
二、移位规则	(52)
§3-2 定点加减法运算	(54)
一、原码加减法运算	(54)
二、补码加减法运算	(57)
三、反码加减法运算	(60)
§3-3 定点乘法运算	(63)
一、原码一位乘	(63)
二、原码两位乘	(67)
三、补码一位乘	(69)
四、补码两位乘	(75)
§3-4 定点除法运算	(77)
一、原码除法	(77)
二、补码除法	(81)
§3-5 浮点四则运算	(84)
一、浮点加减法运算	(84)
二、浮点乘法运算	(88)
三、浮点除法运算	(90)
思考题与习题	(91)
第四章 逻辑部件	(94)
第五章 计算机硬件结构简介	(95)
§5-1 计算机系统的多级层次结构	(95)
一、第一级机器 M_1	(95)
二、第二级虚拟机器 M_2	(95)
三、第三级虚拟机器 M_3	(96)
四、第四级机器 M_0	(97)
五、具有操作系统的多级层次计算机系统	(97)
§5-2 Von. Neumann计算机的结构特点	(98)
一、计算机结构与计算机组成	(98)
二、Von. Neumann计算机的结构特点	(100)
§5-3 计算机各子系统的基本组成	(103)
一、存储器子系统	(103)

二、运算器子系统.....	(105)
三、控制器子系统.....	(107)
四、I/O 子系统.....	(108)
§5-4 机器语言的一般特征.....	(109)
一、指令的结构形式.....	(110)
二、指令格式的举例.....	(122)
思考题与习题.....	(125)
第六章 运算器	(127)
§6-1 概述.....	(127)
一、运算器的分类.....	(127)
二、运算器的主要技术指标.....	(127)
三、数据传送表达式.....	(128)
§6-2 串行定点二进制运算器.....	(131)
一、串行加减法运算器.....	(131)
※二、串行乘法运算器.....	(134)
※三、串行除法运算器.....	(137)
四、串行四则运算器的控制信号.....	(140)
§6-3 并行定点二进制运算器.....	(140)
一、并行加、减法运算器.....	(141)
二、并行加法器的进位链.....	(142)
三、并行乘法运算器.....	(148)
四、并行除法运算器.....	(149)
五、四则运算的并行运算器.....	(151)
§6-4 浮点并行运算器.....	(151)
一、浮点加、减法运算器.....	(152)
二、浮点乘法运算器.....	(155)
三、浮点除法运算器.....	(156)
§6-5 十进制运算器.....	(157)
一、两种编码的十进制加法器.....	(158)
二、十进制加减法运算器.....	(162)
§6-6 逻辑运算.....	(168)
一、测试操作.....	(168)
二、比较操作.....	(169)
三、求反操作.....	(169)
四、逻辑乘、逻辑加和按位加操作.....	(170)
思考题与习题.....	(172)
第七章 存储器	(174)
§7-1 概述.....	(174)

一、存储器分类	(174)
二、存储器的主要技术指标	(175)
§7-2 半导体存储器	(176)
一、概述	(176)
二、静态RAM	(177)
三、动态RAM	(182)
四、只读存储器ROM	(189)
§7-3 外存储器	(193)
一、磁表面存储器存储信息的基本原理	(193)
二、磁盘存储器	(194)
三、磁表面存储器的记录方式	(197)
§7-4 多体并行交叉存储器	(201)
一、多体模块结构	(201)
二、多体模块结构存储器的交叉编址	(202)
三、存控	(203)
§7-5 快速缓冲存储器	(204)
一、问题的提出	(204)
二、快速缓存的编址	(204)
三、快速缓存的结构	(206)
§7-6 虚拟存储器	(209)
一、基本原理	(209)
二、地址映象	(209)
三、地址翻译过程	(213)
四、页面调动	(213)
思考题与习题	(215)
第八章 控制器	(216)
§8-1 概述	(216)
一、控制器的基本功能	(216)
二、控制器的组成	(217)
三、控制器的控制方式	(218)
四、控制器中微操作命令序列的形成	(219)
§8-2 中断系统	(220)
一、中断概述	(220)
二、中断系统	(222)
§8-3 时标系统的分析	(228)
一、机器指令系统对时标系统的影响	(228)
二、机器指令系统的分析	(229)
三、指令周期、机器周期及节拍的安排	(232)

四、CPU工作周期及其标志	(234)
五、指令的重叠	(236)
六、局部控制	(237)
七、指令微操作的节拍安排	(238)
§8-4 组合逻辑控制部件的设计	(241)
一、微操作命令的操作时间表	(241)
二、微操作命令的最简表达式	(242)
三、微操作命令的逻辑电路	(243)
§8-5 微程序控制部件的设计	(243)
一、微程序控制设计思想的产生及其特点	(243)
二、微程序控制部件的一般工作原理及框图	(244)
三、微指令控制方式及微地址形成方式	(247)
四、微指令的重叠	(249)
五、微程序设计举例	(252)
§8-6 控制台	(258)
思考题与习题	(258)
第九章 输入输出系统	(260)
§9 1 概述	(260)
一、I/O子系统的发展过程	(260)
二、I/O子系统的组成	(262)
三、I/O设备与主机交换信息的方式	(264)
四、I/O子系统与主机的连接方式	(268)
§9-2 总线连接方式的I/O接口电路	(268)
一、I/O总线	(268)
二、接口部件	(269)
§9-3 程序查询和中断处理	(271)
一、程序查询法	(271)
二、中断服务方式	(270)
§9-4 DMA服务方式	(279)
一、DMA服务方式的特点	(279)
二、DMA接口的功能及其组成	(280)
三、DMA服务方式的工作过程	(281)
§9-5 常用的I/O设备	(282)
一、键盘输入	(282)
二、光电输入机	(284)
三、打印机	(288)
四、显示设备	(294)
思考题与习题	(299)

第十章 小型数字计算机设计	(301)
§10-1 概述.....	(301)
一、数据格式和指令格式.....	(301)
二、CPU.....	(302)
三、存储器.....	(304)
四、输入和输出.....	(306)
五、寄存器之间的信息传送控制.....	(307)
§10-2 寻址方法和指令系统.....	(307)
一、寻址方法.....	(307)
二、指令系统.....	(308)
§10-3 算术逻辑部件 (ALU)	(321)
一、ALU电路.....	(322)
二、ALU运算所需时间.....	(328)
三、ALU的溢出判断.....	(328)
§10-4 定时信号和操作方式.....	(329)
一、时钟周期、CPU主周期和指令周期.....	(329)
二、存取周期和访存时间.....	(329)
三、控制存储器的访问时间.....	(329)
四、操作方式.....	(330)
§10-5 控制存储器.....	(331)
一、微指令格式.....	(331)
二、控制存储器结构框图.....	(335)
§10-6 微指令的时序分析.....	(339)
一、取指周期的微指令.....	(339)
二、间址周期的微指令.....	(341)
三、中断周期的微指令.....	(342)
四、执行周期的微指令.....	(343)
§10-7 I/O和DMA通道.....	(368)
§10-8 存储器.....	(371)
思考题与习题.....	(372)
参考文献.....	(372)

第一章 绪 论

§ 1-1 电子数字计算机的产生和发展

人类为了自身的生存, 经过长期的生产劳动和社会活动, 不仅谱写了灿烂的人类文明史, 同时也产生和发展了替代人类脑力劳动的电脑——电子计算机。

一、电子数字计算机的产生

自古以来, 就有结扣记数的传说。后经考古证明, 确实远在旧石器时代, 古人已经在骨器或石器上刻划道道, 以示数的多少。足见, 在人类的生活和生产过程中, 计数是不可缺少的。

随着生产的日益发展, 商品的频繁交换, 计算问题越来越复杂, 计数量也越来越大。于是, 各种计算方法日趋完善, 逐渐形成了数学这门学科。同时, 计算工具也不断更新, 如算盘、计算尺、手摇计算机等相继出现。

算盘是我国劳动人民的伟大发明。大约在一千多年前的宋朝, 就已经出现了类似于现代的算盘。后来传到日本及西欧各国, 至今, 世界各国使用算盘还很普遍。随着西欧资本主义的兴起, 生产技术的迅速发展, 各种新型计算工具不断出现。例如, 1642年法国的帕斯卡 (B. Pascal) 发明了第一台机械加法器; 1671年, 德国数学家莱布尼茨 (G. W. Leibnits) 发明了用步轮控制的自动四则运算机。最值得提出的是英国著名数学家巴贝奇 (C. Babbage), 他从1812年开始设计, 并于1822年制造成功的一台差分机, 可用来制作对数和三角函数表, 其精度可达6位小数。1833年巴贝奇又开始设计了一台更高级的分析机。这台机器的设计构思, 已经和现代计算机十分相似了。它有“存储库”、“运算室”, 并且还提出了用穿孔卡片来安排运算程序。只是因当时生产能力和工艺水平有限, 才使这位伟大的科学家的美好愿望未能实现。二十世纪四十年代, 由于电子管的出现, 电子学和自动控制理论的形成, 才真正孕育着第一台电子计算机的诞生。

1943年, 正当第二次世界大战激烈进行时, 美国陆军火炮公司为了精确测得炮弹的弹道轨迹和射击表, 委托宾夕法尼亚大学、穆尔电工学院, 在一批教授、工程师的领导下, 开始设计了第一台电子数字计算机, 并于1946年正式制成, 命名为“ENIAC”。这台机器共使用了18000个电子管, 1500多个继电器, 占地面积达1500平方英尺; 重达30吨; 耗电量为150瓦; 而每秒只运算5000次。虽然这台计算机很笨重, 性能也不完善, 但它毕竟标志着计算工具进入了一个崭新的时代。

从“ENIAC”的诞生到今天, 计算机总共才经历了近四十个春秋, 这短暂的岁月与数千年人类文明史相比, 犹如昙花一现。可是, 按它自身的发展阶段划分, 计算机

已经历了四个时代，并且现在正走向第五代。

二、电子数字计算机的发展概况

以前，当谈到计算机发展史时，往往只注意组成机器的实体部分，即“硬件”的变化，而忽视了用来扩大机器功能、提高机器效率的“软件”变化。现在，人们已认识到计算机的发展，是由“硬件”和“软件”的不断变化互相促进的。因此，我们必须从“硬件”和“软件”的变化来介绍计算机的发展概况。

1. “硬件”与“软件”

计算机的“硬件”是指机器的实体部分，它是由看得见、摸得着的各种电子元器件，各类机械设备的实物组成的，包括主机、外设等。

计算机的“软件”是指用来充分发挥“硬件”功能、提高机器工作效率、便于人们使用的各种各样的系统程序和应用程序。不过，所有这些程序既看不见，也摸不着，只是被灌注在机器内存或外存（如磁盘、磁带）之中的无数信息。

“硬件”和“软件”是不可分割的统一体。前者是后者的物质基础，而后者又能促使前者发挥更大的效能。它们相辅相成，互相促进，共同构成了一个完整的计算机系统。

2. “硬件”的发展概况

在“硬件”发展过程中，电子器件的变更起到了决定性作用，因此，它成了“硬件”发展中换代的主要标志。当然，计算机的换代与机器总体结构的变化、“软件”的不断改进都有密切关系。

1946年到1958年的计算机，被称作第一代电子数字计算机。这一代机器的主要特点是：基本逻辑电路由电子管组成；内存存储器用延迟线或磁鼓（后期采用了磁芯），外存储器采用磁带；机器的总体结构以运算器为中心。因此，这类机器运算速度比较低（一般为数千次至数万次每秒）、体积较大、重量较重、价格较贵，应用也不够普遍。

1958年到1964年的计算机，称作第二代电子数字计算机。它的特点是基本逻辑电路由晶体管分立元件组成；内存全部采用磁芯；外存大部采用磁鼓；总体结构改为以存储器为中心。并且出现了多道程序，并行工作和可变的微程序设计思想。使计算机运算速度大为提高（可达数十万次至数百万次每秒），重量、体积也显著减小，使用越来越方便，应用越来越广泛。

1964年到1970年的计算机，叫做第三代电子数字计算机。它的特点是，基本逻辑电路由小规模集成电路（在一块 $0.25\text{mm}^2\sim 0.65\text{mm}^2$ 的硅片上，集成近百个逻辑门电路）组成；内存除磁芯外，还出现了半导体存储器。这类机器的运算速度可达数百万次至数千万次每秒，并且，可靠性也有了显著的提高，价格也明显下降。此外，产品的系列化，机器的兼容性和互换性，以及逐渐形成计算机网络等，都成了这一代计算机的特点。

1970年以后，电子数字计算机开始进入了第四代。这一代的机器采用中、大规模集成电路构成逻辑电路，并且组件已经是子系统功能为基础。内存已普遍采用了半导体存储器，并具有虚拟存储能力。总之，第四代计算机的容量之大，速度之快，都是前几

代机器所无可比拟的。如 IBM370 系统，运用虚拟存储，使容量可达 16384K，运算速度可达数千万次至数亿次每秒。此外，这一代机器的系统结构采用了分布式，机器的性能有了很大的提高。

表1-1列出了各代计算机典型产品的主要特性。

表1-1 各代计算机典型产品的特性对照

代	制成年代	型 号	采用元件	内 存	外 存	加法速度
第一代	1954年	IBM850	电子管	磁鼓	磁带	1.6×10^4 次/秒
第二代	1959年	IBM7090	晶体管	磁芯	磁带、磁盘	2.5×10^6 次/秒
第三代	1965年	IBM360/75	集成电路	半导体	磁带、磁盘	2.5×10^6 次/秒
第四代	1973年	IBM370/168	集成电路	MOS	磁带、磁盘	1.25×10^7 次/秒

综上所述，可见每相隔6~7年，计算机便更新换代一次，其运算速度约提高一个数量级。

目前，世界各国都在积极研制第五代计算机。如果，把前四代计算机看作主要用于数据处理，那么，第五代计算机将具有对知识进行智能处理的功能。它将具有新的并行体系结构（统称为非冯·诺依曼体系结构），新的存储组织，新的程序设计语言和可以作自动推理（而不仅仅处理数据）的新的操作方法。这就是人们常说的第五代计算机将是非诺依曼体系的人工智能机的意思。

3: “软件”的发展概况

“软件”的发展，始终围绕着如何便于用户使用，如何充分发挥“硬件”的功能和提高机器的效率这样的课题。因此，“软件”的发展大致可分为三个阶段。

1946年到1955年为“软件”发展的第一阶段。在此阶段，程序员只能在熟悉机器内部结构的基础上，采用机器语言来编写解题程序。显然，使用很不方便。后来，逐渐形成了面向机器的符号语言和汇编语言。同时，为了提高机器的工作效率，又出现了一些标准子程序、简单输入/输出管理程序和检测程序。

1956年到1965年为“软件”发展的第二阶段。在此阶段，出现了面向用户的高级语言，如FORTRAN、ALGOL60等等。这类高级语言使程序员不必过多地去了解机器的内部结构，使用方便。同时，各种单道、多道管理程序也相继形成，大大地提高了机器的使用效率。

1966年至今，为“软件”发展的第三阶段。在此阶段，软件获得了迅速发展，逐步形成了各种系统软件和应用软件。如各种管理程序、汇编程序、编译程序、解释程序、装配程序、调试程序、操作系统、网络软件以及各种实际问题的应用程序等等。此外，在此阶段软件已形成了产业，以商品销售于市场。从而使计算机应用更为广泛，机器的利用效率更高，使用也更方便。

尽管三四十年来软件也有了较大的发展，但与硬件相比，软件发展速度还是十分缓慢的。实际上，目前软件所占计算机系统费用已高达75%，并且这种趋势还在继

续发展。估计到八十年代末，软件的费用将占95%左右。因此，大力开发软件技术，已是迫在眉睫的任务了。与此同时，利用廉价的硬件来替代软件，实现软件固化也是降低计算机系统价格的一个方向。

三、电子数字计算机的发展动向

从世界各国计算机科学发展情况来看，当前，计算机的发展动向可归纳为四个方面。

1. 巨型计算机

所谓巨型机，通常是指具有三个“一千万”的计算机，即它的运算速度高达一千万次每秒以上；存储容量在一千万位以上；系统价格在一千万美元以上。这种机器采用高速电流开关型大规模集成（LSI）电路，内存采用快速LSI存储器和虚拟海量存储器，总体系统采用多机结构和串、并行阵列式，还配有各种外设和丰富、高效的软件。

尽管巨型计算机价格昂贵，但在现代科学技术飞速发展的年代里，有许多复杂的课题如大范围区域的天气预报、航天飞行器的研究设计、太空卫星所摄照片的剖析等等，都离不开巨型机。而且，对巨型机的研制，标志着一个国家科学技术和工业发展的水平，还象征着一个国家的经济实力。因此，各国都十分重视巨型计算机的研制。美国在发展巨型计算机方面，一直处于领先地位。预计在八十年代末，美国的CDC公司将研制成10亿次每秒的巨型浮点机。100亿次每秒的巨型机的研究也已开始。

2. 微型计算机

随着集成电路制造工艺的不断发展，在一块很小的硅片上，可以集成数以万计的门电路，因此，计算机的微型化已成为计算机发展的重要方向。

自1971年诞生了微处理器和微型计算机后，它的发展速度实在令人吃惊。如1975年世界上仅有63万台微型机，而到1980年已超过了3亿5千万台。这是因为微型计算机具有体积小、功能强、价格低、生产周期短等突出的优点。从而使它不但被广泛用于国防、科技、工交、医疗、商业等领域，而且还真正使计算机走出了实验室和机房，以至渗透到家庭生活之中。不仅如此，微机的出现还直接影响了巨、大、中、小型计算机结构的改变，因为微机可看作构成各类计算机的一个“细胞”。

微机的发展，现在仍处于方兴未艾阶段，从71年至今，由4位机、8位机、16位机发展到32位机，即将出现64位机。这就是通常所指的微机的“五代”。

3. 计算机网络

计算机网络的建立和发展，也是当代计算机科学发展的重要动向。

计算机网络是利用现代通讯技术手段，将分布在不同地点的各类计算机，以及各个终端与一台或多台计算机连接起来的一种信息传递网。网络的建立使世界各国可以共享计算机系统的丰富资源，而且对计算机系统结构、软硬件技术的发展，都有很大影响。

美国在建立计算机网络方面，仍占着领先地位。如美国的“CYBERNET”商用网络，不仅沟通了40个城市的终端与巨、大型计算机的联系，并且还扩展到西欧及澳大利亚等地。当前，世界各国都在建立和发展计算机网络，我国也正在积极加速网络的建设。

4. 人工智能机

人工智能计算机又叫知识信息处理系统 (KPIS)，它使仅仅作为信息处理的计算机转变为知识处理机，使仅仅用作计算、储存数据的计算机，转变为既能推理、得出结论，又能作出判断、提高新的知识，甚至还能理解书面和口头语言的计算机。这就是前述的第五代电子计算机。这种机器运算速度可比现在计算机快一千倍，其效能也非常高，在思考问题方面有可能超过人类。人们把人工智能计算机的研制，看作一次重要的电子计算机革命，这次革命不仅将使电子计算机工业发展更为迅速，而且同时必将建立一种新的“知识工业”，在这种工业中，知识本身将成为可以出售的商品，象食品和石油一样，知识本身将成为国家的新财富。因此，日本、美国以及英、法等国都在积极规划第五代电子计算机的研制、发展计划。我国也开始探讨第五代电子计算机的研究规划。可见，人工智能机将是目前计算机科学发展的一个极为重要的方向，决不可掉以轻心。

四、电子计算机分类

电子计算机分类方法很多，一般可以按下述的特点分类。

1. 按信息的形式，可分为数字机和模拟机。

数字计算机的信息是以离散型数字脉冲形式传递的；模拟计算机的信息是以连续型电波形式传递的。由于数字计算机具有一系列突出的优点，因此，它的发展速度远远超过了模拟计算机。不过，模拟计算机的某些优点也是数字计算机不可比拟的，如解题速度快、积分运算直接、方便，尤其是连续变量与被研究对象的物理量（如温度、流量、电压等等）的变化规律十分相似。因此，模拟计算机仍然具有很强的生命力。特别是在模拟仿真技术的发展中，已经出现了数字、模拟混合式的电子计算机。可见，这两类电子计算机都还将继续发展，并被更广泛地应用。

2. 按计算机在系统中所处的状态，可分为实时控制计算机和分时控制计算机。

实时控制计算机要求以足够快的速度处理外来信息，并要求作出即时响应。在整个控制系统中，实时控制计算机往往需要与其它设备相连，它是系统的核心。实时控制计算机对外来信息能作出即时响应的特性是非常重要的，否则可能导致系统出现严重后果。如在一个反导弹系统中，计算机与雷达、通讯设备、导弹发射等执行机构联成一个实时控制系统。倘若计算机不能对外来信息作出即时响应，那么整个系统可能处于瘫痪状态，使生命财产遭受严重损失。

分时控制计算机具有同时向多个用户提供机器自身资源的能力，使各个用户同时占用计算机。这是由于各用户在使用计算机时，不可能在同一瞬间都使用中央处理机，有的可能正在输入程序，有的可能作数据处理，有的可能在打印输出结果，而在任一瞬间只可能有一个用户使用中央处理机解题。这种分时控制的计算机，能够充分发挥机器的效能和资源，故用途十分广泛。

3. 按计算机的通用程度可分为通用计算机和专用计算机。

一般来说，通用计算机大多采用数字计算机，且往往属于分时控制机。它们被广泛用于科学研究和数据处理。

专用计算机可以是数字计算机，也可采用模拟计算机，大多属于实时控制机。它们的用途往往比较单一、专门，不可任意代用。

本教材主要介绍电子数字计算机。

§ 1-2 电子数字计算机的特点及应用

一、电子数字计算机的特点

电子数字计算机的主要特点可归为以下几方面。

1. 运算速度快

计算速度的快慢，在许多场合都具有举足轻重的作用。如天气预报，在电子计算机问世之前，要想知道三小时后的天气变化趋势，就要耗费六万人的劳动，通过对一系列采集得到的气象参数进行大量的计算才能实现。如果人少了，势必影响计算速度，预报就成了“后报”。显然，要想预报一天或更长时间、更大范围的天气趋势，计算速度的快慢就显得更为重要了。电子计算机的出现，为长时间、大范围的天气预报提供了极为有利的条件。一般来说，计算几分钟就可求得结果，因此，计算机在气象部门用得极为广泛，应用时间也比较早。

由于电子计算机的运算部件所采用的电子器件，由电子管变为晶体管、小规模集成电路、大规模集成电路等。因此，它的计算速度不但远远压倒了各类机械式的计算机，而且还以每隔六七年的时间，提高一个数量级的速度飞速发展。至今已经出现了一亿次每秒以上的巨型高速计算机。随着科学技术的不断发展，对计算机运算速度的要求必将越来越高。如人工智能机，欲具备推理、猜测、理解和行动的智力，用来完成推理程序的速度，将远比现在计算机运算速度快。

2. 存储容量大

存储容量的大小标志了计算机记忆功能的强弱。现代电子计算机可以将一个藏书数万册的图书馆的全部书刊，记存在存储器内，并且还可以随时从中准确地读出任何一本书的全文。可见，计算机的存储容量是任何人的记忆能力所无可比拟的。

计算机的记忆功能不仅仅反映在它的存储容量上，而且还以它的记存、攫取信息速度的快慢为标志。常用“吞吐率”，即在单位时间内，机器能吞入或吐出数据的个数来描述。目前，高速计算机吞吐一个数据只需几个毫微秒，即一秒钟可连续吞吐近亿个数。这种功能也是任何人所望尘莫及的。

3. 工作自动化

电子计算机的工作可以不要人工干预而自动地、协调地完成各种运算。这是由于采用了冯·诺依曼 (Von. Neumann) 的“存储程序”思想而获得的。它从根本上改变了“ENIAC”用改变部件连线的编程方法，从而使计算机实现了高度自动化。

所谓“存储程序”就是按题目的要求，上机前先由人工将它编写成运算程序（这些程序由许多条指令构成），然后，将程序及原始数据送入计算机内的存储器，一旦开动机器，便能自动地、按事先编排的程序顺序完成全部运算。

由于软件的发展，使计算机工作自动化的能力愈来愈强，这也促使计算机的应用范