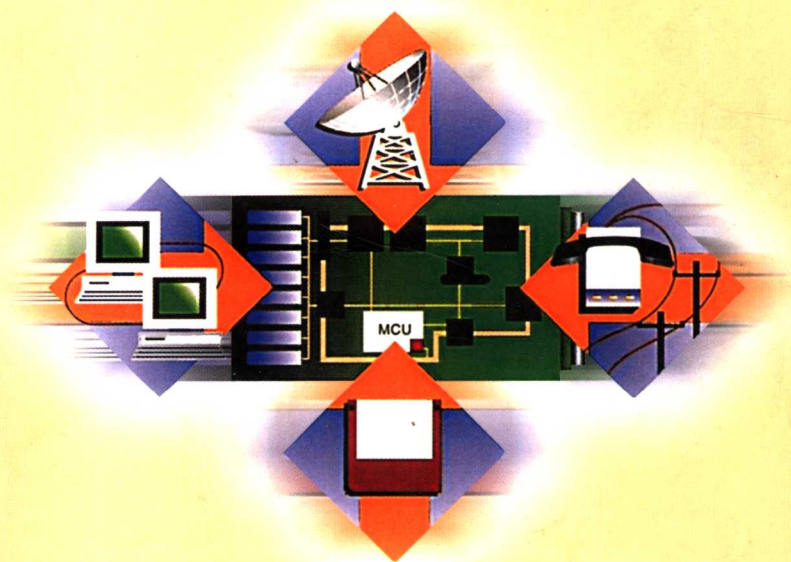


 新世纪高等学校
计算机专业教材系列

计算机组成原理

第三版·网络版

白中英 主编



科学出版社
www.sciencep.com

教育部 2002 年全国高校优秀教材一等奖

计算机组成原理

(第三版·网络版)

白中英 主编

内 容 简 介

本书介绍计算机单处理机系统的组成和工作原理。内容包括：计算机系统概论；运算方法和运算器；存储系统；指令系统；中央处理器；总线系统；外围设备；输入输出系统。

本书是作者对“计算机组成原理”的课程体系、教学内容、教学方法和教学手段进行综合改革的具体成果之一。比起第二版，本书有重大革新。

本书内容全面，概念清楚，系统性强，注重实践环节与能力培养，形成了主教材、辅教材、CAI光盘、试题库光盘、网络教材光盘、教学仪器、实验、课程设计等综合配套的教学体系。全书文字流畅，便于自学，有广泛的适应面，是大专院校计算机系的教材，也可作为全国成人自学考试用教材。

本书第一版获1992年国家级优秀教材特等奖；第二版获1997年国家级教学成果二等奖；第三版于2000年、2001年两次被中国书刊发行业评为“全国优秀畅销书”，2002年获教育部全国优秀教材一等奖。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理(第三版·网络版)/白中英主编. -北京:科学出版社 2000
ISBN 7-03-010370-X

I. 计… II. 白… III. 电子计算机-系统结构 IV. TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第69250号

责任编辑:张建荣 陆新民 / 封面设计:王浩 陈敬
责任印制:安春生

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1988年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1994年6月第 二 版 印张:20 插页:1

2000年11月第 三 版 字数:459 000

2004年2月第三十八次印刷

印数:426 123—436 122

定价:33.00元(含网络光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

第三版前言

《中国教育改革和发展纲要》指出：世界范围的经济竞争，综合国力竞争，实质上是科学技术的竞争和民族素质的竞争。从这个意义上讲，谁掌握了面向 21 世纪的教育，谁就能在 21 世纪的国际竞争中处于战略主动地位。

处于新世纪的中国高等教育，必须花大力气对专业结构、课程体系、教学内容和教学方法进行系统的、整体的改革。可以说，全国高等学校计算机教育研究会推荐的《计算机学科教学计划》在这方面进行了卓有成效的努力，并做出了贡献。这种努力不是单纯的学时压缩，而是从时代发展、技术进步、专业结构、课程体系上的总体考虑，并跟踪了著名的美国 ACM/IEEE-CS 联合教程。

“计算机组成原理”是计算机科学技术系的一门核心专业基础课程。从课程地位来说，它在先导课和后续课之间起着承上启下的作用。

“计算机组成原理”讲授单处理机系统的组成和工作原理，课程教学具有知识面广、内容多、难度大、更新快等特点。另一方面，体现课程特点的教材对于提高教学水平，促进计算机科学的发展起着十分重要的作用。我们认为，一本好的“计算机组成原理”教材主要应具备：

- (1) 内容全面，基本概念清楚；
- (2) 系统性强，使学生能建立计算机整机概念；
- (3) 有合理的知识结构，为进一步深入学习有关计算机后续课程打下良好的基础；
- (4) 理论教学与实践教学结合，注重学生的智力开发和能力的培养；
- (5) 有较广的适应面，以适应学生在各类计算机上从事开发和应用的需要；
- (6) 力图反映新技术、新动向，以适应计算机技术发展和变化快的需要。

本书第一版于 1988 年在科学出版社出版发行，1992 年获国家级优秀教材特等奖。第二版于 1994 年在科学出版社出版发行，1997 年获国家级教学成果二等奖。全国有 200 多所院校用作本科生教材，也有不少省市用作成人教育教材。回首消逝岁月，本书第一、二版虽然不是尽善尽美，但在人才培养中确实发挥了一定的作用，同行们给予了充分肯定，这是作者感到聊以自慰的。

然而，计算机科学技术的发展日新月异，教材的部分内容已经过时。同时为了完成科学出版社“新世纪高等学校计算机专业教材系列”建设，我们决定编写《计算机组成原理》(第三版)。

根据作者多年从事“计算机组成原理”课程理论教学和实践教学的经验，从传授知识和培养能力的目标出发，并结合本课程教学的特点、难点和要点，作者在这次新版教材的编写中进行了课程体系、教学内容、教学方法和教学手段的重大改革，使主教材、辅教材、CAI、网络教材、试题库、实验、课程设计综合配套，力求形成“理论、抽象、设计”三个过程相统一的教学体系。本课程教学计划 68 学时，实践教学内容单独安排。成人教育中采用本教材的院校、非计算机专业教学中采用本教材替代“微机原理”课程的

院校，可根据实际情况调整学时或删减教学内容。

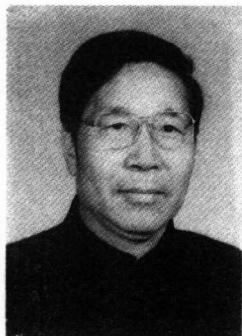
戴志涛、王让定、祁之力、张杰、齐承军、李秀川、索兴梅、孙志军、洗茂源、徐军、陈金儿、罗骏、刘国辉、石峰、刘雅、房鸣、马小丽、宋丹杰、由凡、王军德、林旺、勒秀国、林荣恒、杨蕾、王雅文、梁芳、翟静、马萌、林翠玲等参与了第三版文字教材、CAI 软件、网络教材的编写和研制工作，由于版面所限，未能在封面上一一署名。

清华大学计算机科学技术系杨士强教授审阅了第三版书稿，科学出版社张建荣编审为本书贡献了智慧和心血，在此作者向两位先生表示衷心感谢。

白中英

2000年8月于北京邮电大学
计算机科学与技术学院

作者简介



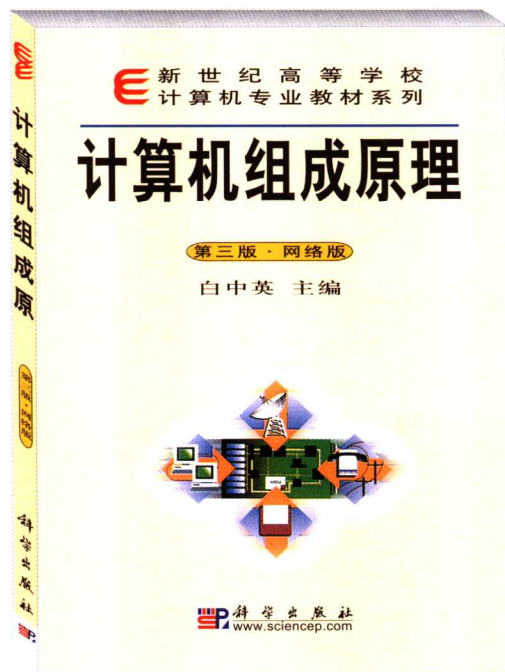
白中英，男，甘肃省永靖县人。现任北京邮电大学计算机科学与技术学院责任教授。

在工程和科学研究中，“622 小型通用计算机”获 1978 年全国科学大会重大成果奖，1 项成果获国家级科技进步三等奖，1 项成果获全国发明展银质奖，5 项成果获部级科技进步一、二等奖，1 项成果获国家专利。近 4 年主持完成国家 863 项目、国家自然科学基金项目各 1 项，目前正在承担国家自然科学基金项目 1 项。

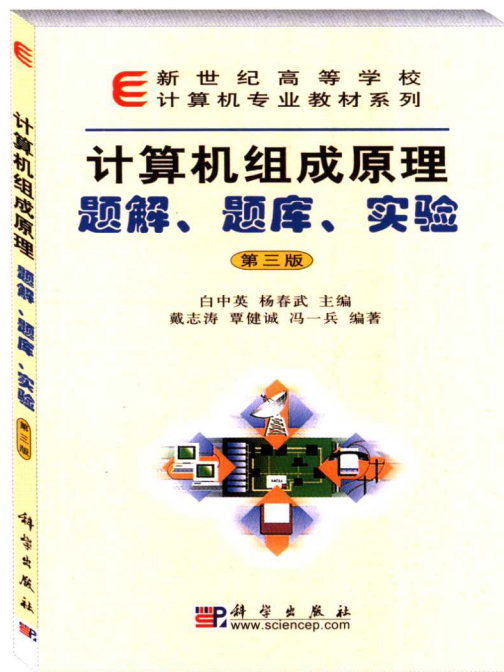
在教育和教学研究中，《计算机组成原理教程》获 1992 年国家级优秀教材特等奖，“CNCC 网络型计算机辅助教学系统”等 3 项成果分别获 1989 年、1993 年、1997 年国家级教学成果二等奖。4 项成果获省部级教学成果一等奖，2 项成果获北京市教学成果二等奖。《计算机组成原理》（第三版）获教育部 2002 年全国优秀教材一等奖。2003 年度北京市高校“教学名师奖”获奖者。

研究方向：计算机系统结构、人工智能。

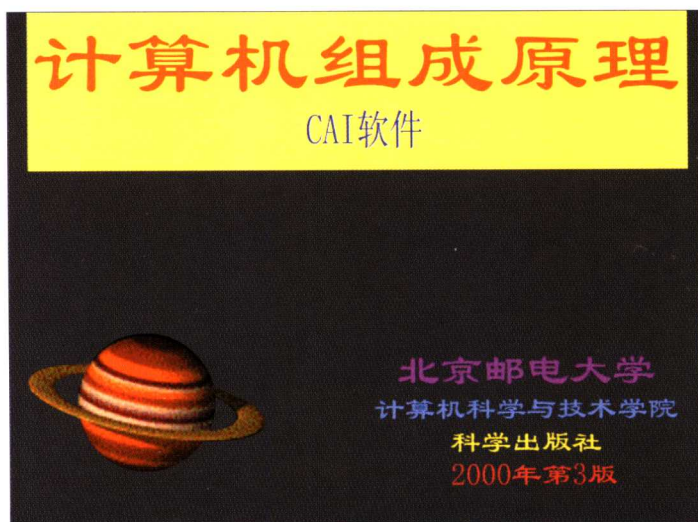
《计算机组成原理》 配套教材与教学设备



彩图1 《计算机组成原理》
(第三版·网络版) (主教材)



彩图2 《计算机组成原理题解、题库与实验》
(第三版) (辅教材)



彩图3 计算机组成原理CAI软件 (多媒体光盘)

计算机组成原理

自测试题库

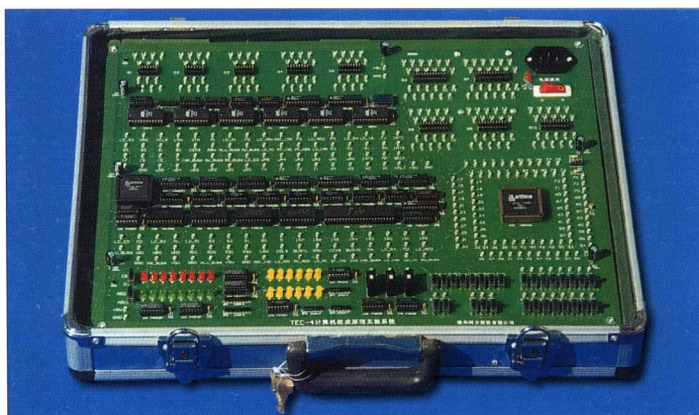


北京邮电大学
计算机科学与技术学院

科学出版社

2000年第1版

彩图4 计算机组成原理自测试题库（光盘）



彩图5 TEC-4计算机组成原理实验系统（专利产品）

计算机组成原理

远程网络教材

北京邮电大学

科学出版社



彩图6 计算机组成原理远程网络教材（多媒体光盘）

目 录

第一章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的分类和应用	1
1.1.1 计算机的分类	1
1.1.2 计算机的应用	2
1.2 计算机的硬件	7
1.2.1 数字计算机的硬件组成	7
1.2.2 计算机系统结构的过去和未来	13
1.3 计算机的软件	14
1.3.1 软件的组成与分类	14
1.3.2 软件的发展演变	14
1.4 计算机系统的层次结构	16
1.4.1 多级组成的计算机系统	16
1.4.2 软件与硬件的逻辑等价性	16
本章小结	17
习题	18
第二章 运算方法和运算器	19
2.1 数据与文字表示方法	19
2.1.1 数据格式	19
2.1.2 数的机器码表示	23
2.1.3 字符与字符串的表示方法	27
2.1.4 汉字的表示方法	29
2.1.5 校验码	30
2.2 定点加法、减法运算	31
2.2.1 补码加法	31
2.2.2 补码减法	32
2.2.3 溢出概念与检测方法	33
2.2.4 基本的二进制加法/减法器	35
2.2.5 十进制加法器	36
2.3 定点乘法运算	37
2.3.1 原码并行乘法	37
2.3.2 补码并行乘法	42
2.4 定点除法运算	45
2.4.1 原码除法算法原理	45
2.4.2 并行除法器	46
2.5 定点运算器的组成	49
2.5.1 逻辑运算	49

2.5.2	多功能算术/逻辑运算单元	51
2.5.3	内部总线	56
2.5.4	定点运算器的基本结构	57
2.6	浮点运算方法和浮点运算器	59
2.6.1	浮点加法、减法运算	59
2.6.2	浮点乘法、除法运算	61
2.6.3	浮点运算流水线	64
2.6.4	浮点运算器实例	67
	本章小结	69
	习题	69
第三章	存储系统	71
3.1	存储器概述	71
3.1.1	存储器分类	71
3.1.2	存储器的分级结构	72
3.1.3	主存储器的技术指标	72
3.2	随机读写存储器	73
3.2.1	SRAM 存储器	73
3.2.2	DRAM 存储器	80
3.2.3	主存储器组成实例	86
3.2.4	高性能的主存储器	88
3.3	只读存储器和闪速存储器	90
3.3.1	只读存储器	91
3.3.2	闪速存储器	94
3.4	高速存储器	97
3.4.1	双端口存储器	98
3.4.2	多模块交叉存储器	100
3.4.3	相联存储器	104
3.5	cache 存储器	105
3.5.1	cache 基本原理	105
3.5.2	主存与 cache 的地址映射	107
3.5.3	替换策略	111
3.5.4	cache 的写操作策略	112
3.5.5	奔腾 PC 机的 cache	113
3.6	虚拟存储器	115
3.6.1	虚拟存储器的基本概念	115
3.6.2	页式虚拟存储器	116
3.6.3	段式虚拟存储器	117
3.6.4	段页式虚拟存储器	117
3.6.5	替换算法	119
3.6.6	虚拟存储器实例	120
3.7	存储保护	122
3.7.1	存储区域保护	122

3.7.2 访问方式保护	124
本章小结	124
习题	125
第四章 指令系统	127
4.1 指令系统的发展与性能要求	127
4.1.1 指令系统的发展	127
4.1.2 对指令系统性能的要求	127
4.1.3 低级语言与硬件结构的关系	128
4.2 指令格式	129
4.2.1 操作码	129
4.2.2 地址码	130
4.2.3 指令字长度	131
4.2.4 指令助记符	131
4.2.5 指令格式举例	132
4.3 指令和数据的寻址方式	134
4.3.1 指令的寻址方式	134
4.3.2 操作数寻址方式	135
4.3.3 寻址方式举例	138
4.4 堆栈寻址方式	142
4.4.1 串联堆栈	142
4.4.2 存储器堆栈	143
4.5 典型指令	145
4.5.1 指令的分类	145
4.5.2 基本指令系统	146
4.5.3 精简指令系统	148
本章小结	150
习题	151
第五章 中央处理器	153
5.1 CPU 的功能和组成	153
5.1.1 CPU 的功能	153
5.1.2 CPU 的基本组成	153
5.1.3 CPU 中的主要寄存器	154
5.1.4 操作控制器与时序产生器	156
5.2 指令周期	157
5.2.1 指令周期的基本概念	157
5.2.2 CLA 指令的指令周期	158
5.2.3 ADD 指令的指令周期	159
5.2.4 STA 指令的指令周期	162
5.2.5 NOP 指令和 JMP 指令的指令周期	164
5.2.6 用方框图语言表示指令周期	164
5.3 时序产生器和控制方式	167
5.3.1 时序信号的作用和体制	167

5.3.2	时序信号产生器	168
5.3.3	控制方式	171
5.4	微程序控制器	172
5.4.1	微命令和微操作	172
5.4.2	微指令和微程序	173
5.4.3	微程序控制器原理框图	174
5.4.4	微程序举例	175
5.4.5	CPU 周期与微指令周期的关系	177
5.4.6	机器指令与微指令的关系	178
5.5	微程序设计技术	179
5.5.1	微命令编码	180
5.5.2	微地址的形成方法	181
5.5.3	微指令格式	182
5.5.4	动态微程序设计	183
5.6	硬布线控制器	184
5.7	传统 CPU	186
5.7.1	M6800 CPU	186
5.7.2	Intel 8088 CPU	187
5.7.3	IBM 370 系列 CPU	189
5.7.4	Intel 80486 CPU	190
5.8	流水 CPU	191
5.8.1	并行处理技术	191
5.8.2	流水 CPU 的结构	192
5.8.3	流水线中的主要问题	194
5.8.4	奔腾 CPU	195
5.9	RISC CPU	198
5.9.1	RISC 机器的特点	198
5.9.2	RISC CPU 实例	199
5.10	多媒体 CPU	203
5.10.1	多媒体技术的主要问题	203
5.10.2	MMX 技术	204
5.10.3	动态执行技术	207
	本章小结	208
	习题	209
第六章	总线系统	212
6.1	总线的概念和结构形态	212
6.1.1	总线的基本概念	212
6.1.2	总线的连接方式	213
6.1.3	总线结构对计算机系统性能的影响	215
6.1.4	总线的内部结构	216
6.1.5	总线结构实例	217
6.2	总线接口	218

6.2.1	信息的传送方式	218
6.2.2	接口的基本概念	220
6.3	总线的仲裁、定时和数据传送模式	221
6.3.1	总线的仲裁	221
6.3.2	总线的定时	223
6.3.3	总线数据传送模式	225
6.4	PCI 总线	226
6.4.1	多总线结构	226
6.4.2	PCI 总线信号	227
6.4.3	总线周期类型	229
6.4.4	总线周期操作	230
6.4.5	总线仲裁	231
6.5	ISA 总线和 Futurebus ⁺ 总线	231
6.5.1	ISA 总线	231
6.5.2	Futurebus ⁺ 总线	233
	本章小结	234
	习题	235
第七章	外围设备	237
7.1	外围设备概述	237
7.1.1	外围设备的一般功能	237
7.1.2	外围设备的分类	237
7.2	显示设备	238
7.2.1	显示设备的分类与有关概念	238
7.2.2	字符/图形显示器	240
7.2.3	图像显示设备	243
7.2.4	IBM PC 系列机的显示系统	244
7.3	输入设备和打印设备	247
7.3.1	输入设备	247
7.3.2	打印设备	249
7.4	硬磁盘存储设备	251
7.4.1	磁记录原理与记录方式	251
7.4.2	硬磁盘机的基本组成和分类	255
7.4.3	硬磁盘驱动器和控制器	256
7.4.4	磁盘上信息的分布	257
7.4.5	磁盘存储器的技术指标	258
7.5	软磁盘存储设备	260
7.5.1	软磁盘存储器与硬磁盘存储器的异同	260
7.5.2	软磁盘片	260
7.5.3	软盘的记录格式	261
7.5.4	软磁盘驱动器和控制器	262
7.6	磁带存储设备	263
7.6.1	磁带机的分类和结构	263

7.6.2 磁带的记录格式	264
7.7 光盘存储设备	265
7.7.1 光盘的分类	265
7.7.2 CD-ROM 光盘	266
7.7.3 CD-ROM 驱动器及其接口	268
本章小结	268
习题	269
第八章 输入输出系统	272
8.1 外围设备的定时方式与信息交换方式	272
8.1.1 外围设备的定时方式	272
8.1.2 信息交换方式	273
8.2 程序中断方式	275
8.2.1 中断的基本概念	275
8.2.2 程序中断方式的基本接口	277
8.2.3 单级中断	278
8.2.4 多级中断	280
8.2.5 中断控制器	283
8.2.6 Pentium 中断机制	284
8.3 DMA 方式	286
8.3.1 DMA 的基本概念	286
8.3.2 DMA 传送方式	287
8.3.3 基本的 DMA 控制器	288
8.3.4 选择型和多路型 DMA 控制器	291
8.4 通道方式	294
8.4.1 通道的功能	294
8.4.2 通道的类型	296
8.4.3 通道结构的发展	298
8.5 通用 I/O 标准接口	298
8.5.1 并行 I/O 标准接口 SCSI	298
8.5.2 串行 I/O 标准接口 IEEE 1394	299
本章小结	302
习题	303
附录 A 《计算机组成原理》(第三版) 配套教材与教学设备	305
附录 B 与同行交流	306
参考文献	308

第一章 计算机系统概论

计算机系统不同于一般的电子设备，它是一个由硬件、软件组成的复杂的自动化设备。本章先说明计算机的分类和应用，然后采用自上而下的方法，粗略地介绍硬件、软件的概念和组成，目的在于使读者先有一个较粗的总体概念，以便于展开后续各章内容。

1.1 计算机的分类和应用

1.1.1 计算机的分类

电子计算机从总体上来说分为两大类。一类是电子模拟计算机。“模拟”就是相似的意思，例如计算尺是用长度来标示数值；时钟是用指针在表盘上转动来表示时间；电表是用角度来反映电量大小，这些都是模拟计算装置。模拟计算机的特点是数值由连续量来表示，运算过程也是连续的。

另一类是电子数字计算机，它是在算盘的基础上发展起来的，是用数目字来表示数量的大小。数字计算机的主要特点是按位运算，并且不连续地跳动计算。表 1.1 列出了电子数字计算机与电子模拟计算机的主要区别。

表 1.1 数字计算机与模拟计算机的主要区别

比较内容	数字计算机	模拟计算机
数据表示方式	数字 0 和 1	电压
计算方式	数字计数	电压组合和测量值
控制方式	程序控制	盘上连线
精度	高	低
数据存储量	大	小
逻辑判断能力	强	无

电子模拟计算机由于精度和解题能力都有限，所以应用范围较小。电子数字计算机则与模拟计算机不同，它是以近似于人类的“思维过程”来进行工作的，所以有人把它叫做电脑。它的发明和发展是 20 世纪人类最伟大的科学技术成就之一，也是现代科学技术发展水平的主要标志。习惯上所称的电子计算机，一般是指现在广泛应用的电子数字计算机。本书中我们也只介绍数字计算机。

数字计算机进一步又可分为专用计算机和通用计算机。专用和通用是根据计算机的效率、速度、价格、运行的经济性和适应性来划分的。专用机是最有效、最经济和最快速的计算机，但是它的适应性很差。通用计算机适应性很大，但是牺牲了效率、速度和经济性。

通用计算机又可分巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和单片机六类，它们的区别在于体积、简易性、功率损耗、性能指标、数据存储容量、指令系统规模和机器价格，见图 1.1。一般来说，巨型计算机主要用于科学计算，其运算速度在每秒万亿次以

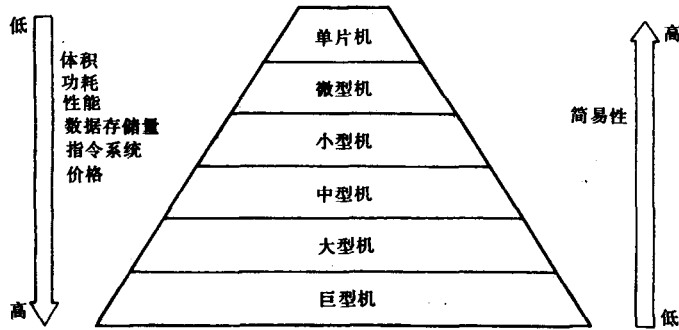


图 1.1 单片机、微型机、小型机、中型机、大型机、巨型机之间的区别

上，数据存储容量很大，结构复杂，价格昂贵。而单片计算机是只用一片集成电路做成的计算机，体积小，结构简单，性能指标较低，价格便宜。介于巨型机和单片机之间的是大型机、中型机、小型机和微型机，它们的结构规模和性能指标依次递减。但是随着超大规模集成电路的迅速发展，微型机、小型机和中型机彼此之间的概念也在发生变化，因为今天的小型机可能就是明天的微型机，而今天的微型机可能就是明天的单片机。专用计算机是针对某一任务设计的计算机，一般来说，其结构要比通用机简单。目前已经出现了多种型号的单片专用机，用于测试或控制。

1.1.2 计算机的应用

计算机所以迅速发展，其生命力在于它的广泛应用。目前，计算机的应用范围几乎涉及人类社会的所有领域：从国民经济各部门到个人家庭生活，从军事部门到民用部门，从科学教育到文化艺术，从生产领域到消费娱乐，无一不是计算机应用的天下。对于这么多的应用，这里不可能一一介绍，下面归纳成七个方面来叙述。

1. 科学计算

科学研究和工程技术计算领域，是计算机应用最早的领域，也是应用得较广泛的领域。例如数学、化学、原子能物理学、天文学、地球物理学、生物学等基础科学的研究，以及航天飞行、飞机设计、桥梁设计、水力发电、地质找矿等方面的大量计算都要用到计算机。利用计算机进行数值计算，可以节省大量时间、人力和物力。

人们曾遇到这样一类问题，即计算这些问题的方法并不很复杂，但计算的工作量实在太太大，以致于根本无法计算。例如 19 世纪中叶，数学上提出了地图着色的“四色定理”问题。意思是说，画一张地图要使相邻的两国不同一种颜色，只要用四种颜色就够了。但这一定理在数学上长期得不到精确的证明，成为一大难题。100 多年后，直到 1976 年科学家们才利用高速电子计算机作出了证明，轰动了世界。它在高速电子计算机上共算了 1200 小时才完成，若用人工来算，一个人日夜不停地算，要算十几万年！

还有一类问题，人工计算太慢，算出来也失去了实际意义。例如，大范围地区的日气象预报，采用计算机计算，不到一分钟就可算出结果。若用手摇计算机计算，就得几个星期，那么“日预报”就毫无价值了。

还有一类问题，用人工计算不一定能选出最佳方案。现代技术工程往往投资大、周

期长，因此设计方案的选择非常关键。为了选择一个理想的方案，往往需要详细地计算几十个乃至几百个方案，然后从中选优。如果没有计算机帮助，仅计算一个方案就要花费大量人力和时间，而要计算出很多方案来选优，谈何容易！即使有个选择，所选方案也不一定是最佳的。

总之，计算机在科学计算和工程设计中的应用，不仅减轻了大量繁琐的计算工作量，更重要的是，一些以往无法解决、无法及时解决或无法精确解决的问题得到了圆满的解决。

2. 自动控制

自动控制是涉及面极广的一门学科，应用于工业、农业、科学技术、国防以至我们日常生活等各个领域。特别是有了体积小、价廉可靠的微型计算机和单片机后，自动控制就有了强有力的工具，使自动控制进入了以计算机为主要控制设备的新阶段。

据统计，目前国内外大约 20% 的微型机用于生产过程的自动控制，应用于冶金、化工、电力、交通、机械、军事等部门。

用计算机控制各种加工机床，不仅可以减轻工人的劳动强度，而且生产效率高，加工精度高。例如，微型机控制的铣床可以加工形状复杂的涡轮叶片，加工精度可以提高到 0.013 毫米，加工时间从原来的三星期缩短至四小时。

更进一步发展，用一台或多台计算机控制很多台设备组成的生产线，还可以控制一个车间以至整个工厂的生产，其经济和技术效果更为显著。例如一台年产 200 万吨的标准带钢热轧机，如用人工控制，每周产量 500 吨就很不简单了。采用计算机控制后，大大提高了轧机速度，每周可达 5 万吨，产量提高了 100 倍。有人说“计算机是提高生产力最简便的办法”，这是很有道理的。

计算机在自动控制领域中的应用，例子不胜枚举，不再赘述。表 1.2 列出了近几年国内各部门研制的计算机控制系统部分实例。

表 1.2 计算机控制系统实例

机械	线切割机床控制，五坐标铣床控制，自动磨床控制，印制电路板钻床控制，六角车床控制，多头钻床控制，LSI 引线焊接缝合装置控制，锻造水压机控制，弯管机控制，激光加工控制，印制板加工控制，随动系统定时定位控制，200 千瓦汽轮机启停控制，电镀生产线，加工控制中心
冶金	高炉配料上料控制，铝板轧制机控制，环形加热炉温度控制，钛还原炉温度控制，电炉温度控制，转炉副枪控制，均热炉控制，冲天炉熔炼过程最优控制，平炉节能控制，电解炉自动控制，轧钢飞剪自动控制，粒子炉生产过程控制
石油化工	合成塔温度、压力、流量控制，玻璃窑炉料道温度控制，石油裂解和煤气生产炉控制，炼油厂装油台控制，水泥生产过程控制，流体流量、混合比控制
轻工纺织	五色提花织机控制，32 台化纤织袜机群控制，塑料轮转印刷套色控制，纺棉机纱锭监控，高温高压染色机监控，喷液印花控制，双头注塑机控制，圆纬机控制，地毯织机提花控制，味精发酵过程控制，照相制版控制
交通邮电	船舶导航，大型车站自动化调度，城市交通控制，惯性导航，自动报损，自动电话交换系统控制，光导纤维拉丝控制，包裹自动分拣
水利电力	城市供水过程控制，水纯化系统控制，自来水厂生产过程控制，水位控制系统，电站监测控制，电站运动控制，发电厂程序控制，变电所实时监控