



免费提供  
电子教案

高等院校规划教材  
计算机科学与技术系列

# 计算机组成原理

主 编 耿恒山  
副主编 张 军 田红丽  
参 编 董永峰 刘 肃 翟艳东



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等院校规划教材·计算机科学与技术系列

# 计算机组成原理

主 编 耿恒山

副主编 张 军 田红丽

参 编 董永峰 刘 肃 翟艳东



机械工业出版社

本书共 10 章,第 1~6 章主要讲述计算机组成的基本原理,包括计算机系统概述、计算机中的数据表示、运算方法与运算器、存储系统、指令系统、中央处理器等计算机组成的基本知识。第 8 章、第 9 章讲述总线和输入输出系统,是计算机系统与外部的接口部分。第 10 章讲述计算机外部设备。

第 7 章讲述一个模型计算机的设计实例。这一章的内容是作者所在学校教师多年来进行计算机组成原理实践教学的成果总结,是学生实验的实用电路。读者可以根据教材内容搭建一台教学模型计算机进行实验,更加深入地理解计算机组成原理。

本书参照 2009 年全国硕士研究生入学统一考试计算机学科专业基础课综合考试大纲编写,可以作为计算机专业大学本科及相关专业大学本科“计算机组成原理”课的教材和考研用书,也可作为计算机工程技术人员的参考书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/耿恒山主编. —北京:机械工业出版社,2009.3

(高等院校规划教材·计算机科学与技术系列)

ISBN 978-7-111-26744-7

I. 计… II. 耿… III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 048978 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:唐德凯 郭娟

责任印制:乔宇

北京双青印刷厂印刷

2009 年 6 月·第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·445 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26744-7

定价:31.00 元

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294 68993821

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

# 出版说明

计算机技术的发展极大地促进了现代科学技术的发展，明显地加快了社会发展的进程。因此，各国都非常重视计算机教育。

近年来，随着我国信息化建设的全面推进和高等教育的蓬勃发展，高等院校的计算机教育模式也在不断改革，计算机学科的课程体系和教学内容趋于更加科学和合理，计算机教材建设逐渐成熟。在“十五”期间，机械工业出版社组织出版了大量计算机教材，包括“21世纪高等院校计算机教材系列”、“21世纪重点大学规划教材”、“高等院校计算机科学与技术‘十五’规划教材”、“21世纪高等院校应用型规划教材”等，均取得了可喜成果，其中多个品种的教材被评为国家级、省部级的精品教材。

为了进一步满足计算机教育的需求，机械工业出版社策划开发了“高等院校规划教材”。这套教材是在总结我社以往计算机教材出版经验的基础上策划的，同时借鉴了其他出版社同类教材的优点，对我社已有的计算机教材资源进行整合，旨在大幅提高教材质量。我们邀请多所高校的计算机专家、教师及教务部门针对此次计算机教材建设进行了充分的研讨，达成了许多共识，并由此形成了“高等院校规划教材”的体系架构与编写原则，以保证本套教材与各高等院校的办学层次、学科设置和人才培养模式等相匹配，满足其计算机教学的需要。

本套教材包括计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息管理与信息系统、计算机应用技术以及计算机基础教育等系列。其中，计算机科学与技术系列、软件工程系列、网络工程系列和信息管理与信息系统系列是针对高校相应专业方向的课程设置而组织编写的，体系完整，讲解透彻；计算机应用技术系列是针对计算机应用类课程而组织编写的，着重培养学生利用计算机技术解决实际问题的能力；计算机基础教育系列是为大学公共基础课层面的计算机基础教学而设计的，采用通俗易懂的方法讲解计算机的基础理论、常用技术及应用。

本套教材的内容源自致力于教学与科研一线的骨干教师与资深专家的实践经验和研究成果，融合了先进的教学理念，涵盖了计算机领域的核心理论和最新的应用技术，真正在教材体系、内容和方法上做到了创新。同时本套教材根据实际需要配有电子教案、实验指导或多媒体光盘等教学资源，实现了教材的“立体化”建设。本套教材将随着计算机技术的进步和计算机应用领域的扩展而及时改版，并及时吸纳新兴课程和特色课程的教材。我们将努力把这套教材打造成为国家级或省部级精品教材，为高等院校的计算机教育提供更好的服务。

对于本套教材的组织出版工作，希望计算机教育界的专家和老师们能提出宝贵的意见和建议。衷心感谢计算机教育工作者和广大读者的支持与帮助！

机械工业出版社

## 前 言

作为一个工科计算机科学与技术专业的教育工作者，本书的主要作者教过许多门硬件方面的课程，用过许多教材，在获益匪浅的同时，总感到有些不足，那就是许多教材存在的冗余较多。随着近年来新课程的进一步增多，每门课所给的课时也越来越少，使这个问题显得尤为突出。除此之外，就是教材与本门课程的相关课程呼应较少，造成教材的不必要重复。为此，编写一本适用于计算机科学与技术专业和相近专业大学本科生的“计算机组成原理”教材，是编者们的夙愿。

本教材注意到了相关课程的设置，先导课程“数字电路”的内容这里不再讲授。后续课程“计算机系统结构”的内容这里不重点讲授。第1~6章是基本内容，第7~9章是取舍内容，第10章是阅读内容。后续课不开“微机原理与接口”课的学校可讲第8章和第9章；要求高的学校可以讲授第7章。第7章讲述一个模型计算机的设计实例，是本教材的特色，这是作者所在学校教师多年来进行计算机组成原理实践教学的成果总结，是学生实验的实用电路。读者可以在所学知识的基础上，自己动手组成一台教学模型计算机进行实验，更加深入地理解计算机组成原理。

为了使读者更好、更快地学懂计算机组成原理，本教材精选了与教材内容配套的习题，供读者练习。

参加本教材编写的都是讲授本课程的一线教师，其中，第6章、第8~10章由耿恒山编写；第1章、第5章由张军编写；第2章、第3章由田红丽编写；第7章由刘肃编写；第4章由董永峰编写；第6章、第8章、第9章的插图由翟艳东绘制，并编写了附录；全书由耿恒山统稿。

本书参照2009年全国硕士研究生入学统一考试计算机学科专业基础课综合考试大纲编写，可以作为考研参考书。

由于编者的学识水平有限，教材中总会有一些缺憾与不足，诚挚地期望广大读者提出宝贵意见。

编者

东南大学

# 目 录

出版说明	1
前言	1
第 1 章 计算机系统概述	1
1.1 计算机的基本概念	1
1.1.1 电子数字计算机的基本含义	1
1.1.2 计算机的特点	1
1.1.3 计算机的分类	1
1.1.4 计算机的主要性能指标	3
1.2 计算机的发展历程	4
1.2.1 现代计算机的发展	4
1.2.2 我国计算机的发展	4
1.3 计算机系统的硬件结构	5
1.3.1 “存储程序控制”的概念	5
1.3.2 冯·诺依曼计算机硬件结构	6
1.3.3 计算机的各功能部件简介	7
1.4 计算机系统的软件结构	8
1.4.1 计算机软件的组成及分类	8
1.4.2 计算机软件的发展	9
1.5 计算机系统的层次结构	9
1.5.1 计算机系统的多级层次	10
1.5.2 软、硬件关系	10
1.6 计算机处理问题的过程	10
1.6.1 计算机处理问题的一般步骤	10
1.6.2 计算机执行指令的过程	10
1.7 计算机的应用领域	11
1.8 习题	11
第 2 章 计算机中数据表示	12
2.1 数据的编码	12
2.2 数值数据的编码表示	12
2.2.1 进位计数制及其各进制数之间的转换	13
2.2.2 定点与浮点表示	16
2.2.3 编码系统	17
2.2.4 浮点数的编码表示	21
2.2.5 无符号数的表示	23
2.2.6 十进制数的二进制编码	23

2.3	非数值数据的编码表示	24
2.3.1	逻辑数据	24
2.3.2	字符数据	25
2.4	数据校验	25
2.4.1	奇偶校验	26
2.4.2	海明校验	28
2.4.3	循环冗余校验	31
2.5	习题	34
<b>第3章</b>	<b>运算方法与运算器</b>	<b>35</b>
3.1	定点数加减法运算	35
3.1.1	补码加法运算	35
3.1.2	补码减法运算	35
3.1.3	溢出判断	36
3.2	定点数乘法运算	38
3.2.1	原码乘法	39
3.2.2	补码乘法	42
3.3	定点数除法运算	47
3.3.1	原码恢复余数除法	48
3.3.2	原码加减交替除法	49
3.3.3	并行阵列除法器	50
3.4	浮点数运算	52
3.4.1	浮点数的加减法运算	52
3.4.2	浮点数的乘除法运算	55
3.5	定点运算器	57
3.5.1	加法器	57
3.5.2	算术逻辑运算单元	60
3.6	浮点运算器简介	64
3.7	习题	64
<b>第4章</b>	<b>存储系统</b>	<b>66</b>
4.1	存储器概述	66
4.1.1	存储器分类	66
4.1.2	存储器的分级结构	67
4.1.3	存储器的技术指标	69
4.2	主存储器	70
4.2.1	SRAM 存储器	70
4.2.2	DRAM 存储器	75
4.2.3	主存储器与 CPU 的连接	79
4.2.4	只读存储器	81
4.2.5	闪存存储器	83



110	4.3	并行存储器	83
120	4.3.1	双端口存储器	83
121	4.3.2	多体交叉存储器	84
123	4.3.3	相联存储器	86
124	4.4	Cache	87
130	4.4.1	Cache 的基本原理	87
131	4.4.2	主存与 Cache 的地址映像	88
132	4.4.3	替换算法	90
133	4.4.4	写策略	91
136	4.5	虚拟存储器	92
138	4.5.1	虚拟存储器的基本概念	92
141	4.5.2	虚拟存储器的特点	93
141	4.5.3	页式虚拟存储器	93
143	4.5.4	段式虚拟存储器	95
146	4.5.5	段页式虚拟存储器	96
148	4.6	习题	97
149	第 5 章	指令系统	99
149	5.1	指令系统的发展与性能要求	99
151	5.1.1	指令系统的发展	99
152	5.1.2	对指令系统性能的要求	100
152	5.2	指令格式	100
152	5.2.1	操作码	100
152	5.2.2	地址码	102
153	5.2.3	指令字长度	103
153	5.2.4	指令助记符	104
153	5.3	寻址方式	104
153	5.3.1	指令的寻址方式	105
153	5.3.2	操作数的寻址方式	106
153	5.3.3	堆栈寻址方式	110
153	5.4	指令系统举例	112
153	5.4.1	Pentium 指令系统的指令格式	112
153	5.4.2	Pentium 指令系统的寻址方式	113
153	5.5	复杂指令系统与精简指令系统	114
153	5.5.1	复杂指令系统计算机	114
153	5.5.2	精简指令系统计算机	115
153	5.6	习题	115
153	第 6 章	中央处理器	118
153	6.1	控制器的功能与组成	118
153	6.1.1	控制器的功能	118



6.1.2	控制器的组成	119
6.1.3	指令执行过程举例	120
6.2	微程序控制器的基本工作原理	123
6.2.1	微程序控制的基本概念	123
6.2.2	实现微程序控制的基本原理	124
6.3	微程序设计技术	130
6.3.1	微指令的编译法	130
6.3.2	微程序流的控制	132
6.3.3	微指令的格式	135
6.3.4	微程序控制存储器和动态微程序设计	136
6.3.5	微程序设计语言	139
6.4	组合逻辑控制的计算机	141
6.4.1	时序与节拍	141
6.4.2	操作控制信号的产生	142
6.4.3	组合逻辑控制器的组成	146
6.4.4	组合逻辑控制器与微程序控制器的比较	147
6.5	控制器的控制方式	147
6.6	指令流水线技术	149
6.6.1	流水线与超标量流水线	149
6.6.2	超流水线	150
6.6.3	流水线中的主要问题及动态流水线	151
6.7	习题	152
<b>第7章</b>	<b>模型计算机设计</b>	<b>156</b>
7.1	设计思想	156
7.2	运算器设计	156
7.2.1	运算器数据通路方案	156
7.2.2	运算器数据通路调试	157
7.3	存储器设计	159
7.3.1	存储器数据通路方案	159
7.3.2	存储器数据通路调试	159
7.4	时序电路设计	160
7.4.1	对启/停电路的要求	160
7.4.2	启/停电路的工作过程	161
7.4.3	节拍脉冲形成电路	161
7.5	数据格式和指令系统设计	163
7.5.1	数据格式	163
7.5.2	寻址方式	164
7.5.3	指令系统设计	164
7.5.4	面板控制指令	167

7.6	整机数据通路设计	168
7.7	指令的微程序操作流程	171
7.8	微程序控制器设计	172
7.9	指令的执行过程举例	181
7.10	习题	182
<b>第8章</b>	<b>总线系统</b>	<b>184</b>
8.1	总线的概念及结构	184
8.1.1	总线的基本概念	184
8.1.2	总线的连接方式	185
8.1.3	总线结构对计算机系统性能的影响	187
8.1.4	总线的内部结构	187
8.2	总线接口	189
8.2.1	信息的传递方式	189
8.2.2	总线接口的基本概念	190
8.3	总线仲裁	192
8.3.1	集中式仲裁	192
8.3.2	分布式仲裁	194
8.4	总线定时	194
8.4.1	同步定时	194
8.4.2	异步定时	195
8.5	总线数据的传送模式	196
8.6	常用的系统总线	196
8.6.1	ISA 总线	196
8.6.2	EISA 总线	198
8.6.3	VESA 总线	199
8.6.4	PCI 总线	200
8.6.5	Future bus <sup>+</sup> 总线简介	203
8.7	外部总线实例	204
8.7.1	RS-232C 总线	204
8.7.2	USB 总线	205
8.7.3	IEEE 1394	208
8.7.4	IDE/EIDE 总线接口	210
8.7.5	SCSI 总线接口	211
8.8	习题	213
<b>第9章</b>	<b>I/O 接口</b>	<b>214</b>
9.1	I/O 接口的功能与类型	214
9.1.1	I/O 接口的基本功能	215
9.1.2	I/O 接口的基本类型	215

9.2	I/O 接口的结构	216
9.2.1	接口硬件的结构	216
9.2.2	接口软件	218
9.3	I/O 接口的编址方式	218
9.3.1	I/O 端口与存储器单元统一编址	219
9.3.2	I/O 端口独立编址	219
9.4	I/O 接口的数据传送机制	221
9.4.1	无条件传送方式及其接口	221
9.4.2	程序查询方式	222
9.5	程序中中断方式	224
9.5.1	中断的功能、类型与过程管理	224
9.5.2	程序中中断的基本接口	226
9.5.3	单级中断与多级中断	227
9.6	DMA 方式	230
9.6.1	DMA 的几种传送方式	231
9.6.2	DMA 控制器	232
9.7	通道方式	234
9.7.1	通道的概念	234
9.7.2	通道的功能	235
9.7.3	通道的类型	237
9.8	习题	238
<b>第 10 章</b>	<b>外部设备</b>	<b>240</b>
10.1	外部设备概述	240
10.1.1	外部设备的功能	240
10.1.2	外部设备的分类	240
10.2	输入设备	241
10.2.1	键盘	241
10.2.2	鼠标	244
10.2.3	光笔、游动标和图形板	246
10.2.4	触摸屏	246
10.2.5	声音输入/输出设备——声卡	248
10.2.6	图形与文字输入设备——扫描仪	251
10.2.7	数码相机/摄像机	252
10.3	输出设备	253
10.3.1	显示器	253
10.3.2	打印机	257
10.4	外存储器设备	264
10.4.1	硬磁盘存储设备	264

10.4.2 光盘存储设备 .....	267
10.5 习题 .....	270
附录 .....	271
附录 A 模型计算机总图 .....	271
附录 B 模型计算机微指令总表 .....	273
参考文献 .....	276

# 第1章 计算机系统概述

科学技术的发展，导致了计算机的诞生。计算机系统是一个由软件和硬件组成的复杂的自动化设备。本章从计算机的基本概念、发展历程，计算机系统的层次结构，计算机的工作过程等几个方面，简要地介绍计算机的概貌及工作原理。

## 1.1 计算机的基本概念

### 1.1.1 电子数字计算机的基本含义

——电子数字计算机是一种不需要人的干预，能够自动连续地、快速地、准确地完成信息存储、数值计算、数据处理和过程控制等多种功能的电子机器。电子逻辑器件是它的物质基础，其基本功能是进行数字化信息处理，人们常称其为电子计算机或计算机。计算机自问世以来，发展异常迅速，应用十分广泛。从尖端科学领域到人类社会生活，到处都可看到由计算机所带来的深刻变化和深远的影响。不少科学家认为：计算机的发明和应用，在人类文明史中像蒸汽机的发明一样，具有划时代的历史意义。

### 1.1.2 计算机的特点

**快速性：**由于计算机中使用了具有高速开关性能的电子逻辑元件和“存储程序”(Stored Program)结构原理，这两者相结合从而获得了快速性和自动连续性。

**准确性：**被计算机程序加工处理的对象，除了数值量之外，还有语言、文字、图形、符号和音乐等各种各样的信息。这些信息在计算机中都是用数字化信息编码来表示的，而数字化编码技术可以用增加数位的方法来保证运算和控制的极高准确性。

**逻辑性：**由于计算机中常用的数字化编码是二进制编码，便于采用逻辑函数，具有逻辑判断和处理的能力。因此，它能把各种运算有机地组成复杂多变的计算机控制流程。

**记忆性：**计算机能够自动连续地进行工作，是因为它具有存储器。存储器能够记忆各种程序和数据，可以根据不同任务的需要，方便、灵活地进行调用。“记忆”是实现自动化工作的关键。

**通用性：**任何复杂而繁重的信息处理任务，计算机都能把它分解为大量的基本算术运算和逻辑操作，并通过相应的指令，按先后执行的次序组成各种程序来完成。这些程序中既有由用户编写、利用输入设备随时输入的用户程序，又有大量事先编好的由厂商提供的常驻计算机内部的系统程序和应用程序包。这些存储于计算机中的程序，可以根据不同任务的需要从存储器中调出来运行，而且非常灵活，易于变更，具有极大的通用性。

### 1.1.3 计算机的分类

计算机一般分为两大类。

电子模拟计算机 (Electronic Analog Computer): 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, 故它又有连续作用计算机之称。

电子数字计算机 (Electronic Digital Computer): 它是用离散的数字量和逻辑量作为操作对象, 其数值是按位计算的不连续量, 又称为断续作用计算机。

表 1-1 列出了电子数字计算机和电子模拟计算机的主要差别。

表 1-1 电子数字计算机和电子模拟计算机的比较

比较内容	电子数字计算机	电子模拟计算机
数据形式	数字“0”和数字“1”	电压
计算方式	数字计算	电压组合或测量值
控制方式	程序控制	手工连线, 自动运行
精度	高	低
存储量	大	小
逻辑判断	有	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”。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。本书只介绍电子数字计算机。

电子数字计算机可进一步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。通用计算机的适应性很好, 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 6 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, 如图 1-1 所示。

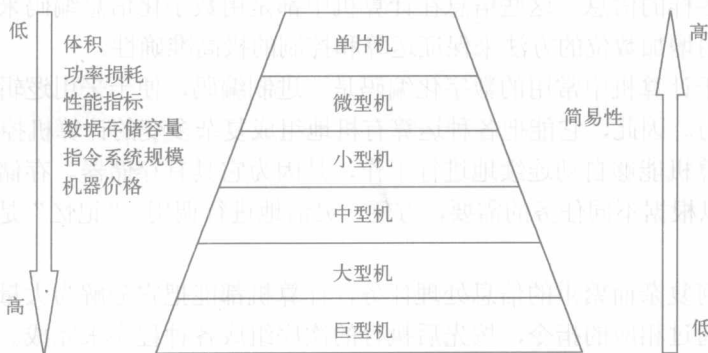


图 1-1 通用机各类机型之间的差别

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、小型机和中型机的概念也在发生变化，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。

### 1.1.4 计算机的主要性能指标

一台计算机的性能如何，要由多项技术指标来综合评价，对于不同用途的计算机，强调的侧面也不相同。下面介绍一些主要的技术指标。

**字长：**字长是指计算机内部一次可以处理的二进制数的位数。一般计算机的字长取决于它的通用寄存器、内存储器、ALU 的位数和数据总线的宽度。微型计算机字长有 4 位、8 位、16 位，高档微机字长为 32 位或 64 位。

**主频：**主频是指计算机中 CPU 的时钟频率（CPU Clock Speed）。CPU 的主频表示在 CPU 内数字脉冲信号振荡的速度，也就是 CPU 运算时的工作频率。CPU 的主频不代表 CPU 的速度，但提高主频可以提高 CPU 的运算速度。

**CPU 时间：**它指的是 CPU 计算的时间，它不包括 I/O 等待时间，可以分为用户 CPU 时间和系统 CPU 时间。CPU 性能指的是用户 CPU 时间。

**CPI：**表示执行每条指令所需的时钟周期数。

**MIPS：**表示每秒百万条指令，适于衡量标量计算机性能，这里说的指令一般指加、减运算类短指令。

**MFLOPS：**表示每秒百万次浮点运算，适于衡量向量计算机性能。

**吞吐量：**单位时间内流水线所完成的任务数量或输出的结果数量。

**响应时间：**指用户发出请求或指令到系统做出反应的时间。

**存储容量：**以字（Word）为单位的计算机常以字数乘以字长来表示主存储器的存储容量。如  $8192 \times 16$  表示有 8192 个存储单元，每个单元字长为 16 个二进制位。以字节（Byte）为单位的计算机则以字节的数量表示存储容量。一个字节由 8 位二进制位组成。上述 8192 个字，可以表示成 16384 个字节。可以直接访问的主存容量一般都受地址码长度的限制。如 20 位二进制数码表示的地址，只能最大限度地访问到 1M（兆）单元。在计算机中， $1024B=1KB$ ， $1024KB=1MB$ 。由于现代计算机中字长是变化的，存储容量一般用字节表示。

**软硬件配置：**全面衡量一台计算机的优劣，还要分析整个软件和硬件的配置情况。例如，指令系统的功能；外部设备的配备情况；有无功能很强的操作系统和丰富的程序设计语言；有无其他支持软件和必要的应用软件等。有的计算机系统还配有诊断程序，便于计算机维护。

**可靠性：**计算机的可靠性一般用平均无故障运行时间来衡量。平均无故障运行时间是指在相当长的运行时间内，计算机的工作时间除以运行时间内的故障次数。它是一个统计值，这个统计值越大，则计算机的可靠性越高。这个值与计算机的规模（含元件数量）有关。微型机的平均无故障运行时间可高达几千小时。

**性能价格比：**性能与价格的比值是衡量计算机产品优劣的综合指标。性能包括了上述各指标，价格是指计算机的售价。一般来说，微型计算机的性价比较高，超级小型机次之。在同一系列的计算机中，新型号的机器性价比较高。



## 1.2 计算机的发展历程

自 1946 年第一台电子数字计算机问世以来,其发展主要经历了四代,目前第五代、第六代计算机的研制正在进行。计算机的发展速度之快、应用范围之广,对科技的进步和社会的影响都是巨大的。

### 1.2.1 现代计算机的发展

电子计算机诞生:1946 年,世界上第一台电子计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer, 电子数字积分计算机),诞生于美国宾夕法尼亚大学,其设计师是 Manchly 和他的学生 Eckert。

第一代计算机:电子管计算机,其逻辑元件采用电子管,存储器件为声延迟线和磁鼓,典型逻辑结构为定点运算。典型机器除 ENIAC 外,还有完成于 1951 年的 EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer, 离散变量自动电子计算机),该机器方案由约翰·冯·诺依曼领导的小组于 1945 年 3 月发布,采用存储程序方式,这宣告了现代计算机结构思想的诞生。在 EDVAC 方案启发下,英国剑桥大学的 Maurice Vincent Wilkes 和他的学生于 1949 年研制成的 EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator, 电子延迟存储自动计算机)是世界上第一台存储程序式的现代计算机。

第二代计算机:晶体管计算机,其内存储器由磁芯构成,外存储器为磁鼓与磁带,计算机的逻辑结构实现了浮点运算,并提出了变址、中断、I/O 处理等新概念。此时计算机软件也得到了发展,出现了多种高级语言及其编译程序。

第三代计算机:集成电路计算机,其逻辑元件与存储器均由集成电路实现。采用半导体存储器,管理程序发展成为操作系统,采用微程序控制技术,高级语言更加流行。

第四代计算机:大规模和超大规模集成电路计算机。从体系结构上看是前三代计算机的扩展和延伸。集成电路技术把计算机的控制单元和算术逻辑单元集成到一个芯片上,制成了微处理器芯片。半导体集成电路集成度越来越高,运算速度越来越快,其发展遵循摩尔定律:“由于硅技术的不断改进,每 18 个月,集成度将翻一番,速度将提高一倍,而价格将降低一半”。

新一代计算机:对于新一代计算机如何判定是第五代还是第六代,人们看法不一,但大体方向十分清楚。一是更接近人体功能和人工智能,能够进行判断推理。二是计算机的核心元件不是传统的电子元件,而是更先进的光电子元件、超导电子元件或生物电子元件。这些方面的研究已经初具成果,相信不久的将来真正的新一代计算机一定会出现。

### 1.2.2 我国计算机的发展

古代中国就有计算机理论和计算工具:易经中的“阴阳八卦”,是世界上最早的二进制形式;殷墟甲骨文和周代青铜器上的铭文记载,十万以内的自然数可由 1~9 的 9 个符号和表示十、百、千、万位值的 4 个符号来表示,对应了十进制计数;算筹作为计算工具,春秋时期即被广泛使用;流传最广的以算盘为工具的珠算,在元代已广泛使用。

我国对现代计算机的研究始于 20 世纪 50 年代,以 1956 年国家制定的《1956—1967 年

科学技术发展规划》为标志，该规划将“计算机技术的建立”列为紧急措施之一。我国对现代计算机的研究虽起步较晚，但已逐渐跟上国际潮流。

1958年中科院计算所研制成功我国第一台小型电子管通用计算机103机（八一型）。1965年中科院计算所研制成功第一台大型晶体管计算机109乙，之后又推出109丙机，该机在两弹试验中发挥了重要作用。1974年清华大学等单位联合设计、研制成功采用集成电路的DJS-130小型计算机，运算速度达每秒100万次。1983年国防科技大学研制成功运算速度为每秒上亿次的银河-I巨型机，这是我国高速计算机研制的一个重要里程碑。20世纪80年代以后我国计算机的发展逐步跟上世界潮流。

1992年，国防科技大学研制成功银河-II通用并行巨型机，峰值速度达每秒4亿次浮点运算（相当于每秒10亿次基本运算操作），为共享主存储器的四处理机向量机，其向量中央处理机是采用中小规模集成电路自行设计的，总体上达到80年代中后期国际先进水平。

1997年，国防科技大学研制成功银河-III百亿次并行巨型计算机系统，采用可扩展分布共享存储并行处理体系结构，由130多个处理节点组成，峰值性能为每秒130亿次浮点运算，系统综合技术达到90年代中期国际先进水平。

2001年，我国第一款通用CPU——“龙芯”芯片在中科院计算所研制成功。它标志着我国拥有了具有自主知识产权的计算机核心芯片。

2002年，曙光公司推出完全自主知识产权的“龙腾”服务器。龙腾服务器采用了“龙芯-1”CPU，采用了曙光公司和中科院计算所联合研发的服务器专用主板，并采用了曙光Linux操作系统。该服务器是国内第一台完全实现自有产权的产品。

2008年，超百万亿次超级计算机曙光5000A在天津下线，再一次刷新了国产超级服务器的历史纪录。

## 1.3 计算机系统的硬件结构

硬件（Hardware）是组成电子计算机的所有电子器件和机电装置的总称。硬件是构成计算机的物质基础，是计算机系统的核心。现代电子计算机均遵照存储程序计算机体系结构。根据存储程序计算机的五大功能部件，计算机硬件系统均由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备以及将它们连接为有机整体的总线构成。

### 1.3.1 “存储程序控制”的概念

“存储程序控制”的概念，是美籍匈牙利数学家约翰·冯·诺依曼等人于1946年，在题为《关于电子计算仪器逻辑设计的初步探讨》的报告中提出来的。其内容可概括为以下三点。

计算机系统由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件组成。运算器能进行加、减、乘、除等基本运算及附加操作；存储器能存放指令和数据（计算机能区分是指令还是数据）；控制器应能自动执行指令；操作人员可以通过输入设备和输出设备与主机进行互相通信。

计算机内部采用二进制来表示指令和数据。每条指令都具有一个操作码和一个地址码，其中的操作码用来表示操作性质，地址码用来指出操作数在主存储器中的位置。由一串指令组成程序。