

基础教育系列



21世纪高校计算机应用技术系列规划教材

丛书主编 谭浩强

计算机组成原理 (第二版)

宋 红 主编 李庆义 宋 勇 武彩宏 编著



35

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



21 世纪高校计算机应用技术系列规划教材

丛书主编 谭浩强

计算机组成原理 (第二版)

宋 红 主编

李庆义 宋 勇 武彩宏 编著

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理 / 宋红主编. —北京: 中国铁道出版社, 2008.11

ISBN 978-7-113-09341-9

I. 计… II. 宋… III. 计算机组成原理—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆(CIP)数据(2008)第167528号

作 者: 计算机组成原理(第二版)
参 考: 宋 红 等

责任编辑: 李 红
封面设计: 李 红
印刷: 李 红

联系电话: 010-51873667
封面材料: 李 红

出版发行: 中国铁道出版社(北京市西城区百万庄大街2号) (100044)
印 刷: 北京铁路印刷厂
定 价: 2008年12月第2版 2008年12月第1次印刷
开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13 字数: 325千字
印 数: 0.000份
书 号: ISBN 978-7-113-09341-9
定 价: 29.00元

责任编辑: 李 红

中国铁道出版社 CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

计算机组成原理在计算机专业基础课中占有重要的地位。本书讲述了单机系统范围内计算机各部件和系统的组成原理及其内部工作机制,使读者能够掌握计算机各大部件的组成原理、逻辑实现、设计方法及其互连构成整机系统的技术。

全书内容包括:计算机的发展概况,计算机的分类和应用、计算机的系统结构,计算机中数据的表示方法及其主要部件,计算机内部的指令系统,如指令格式、指令类型、寻址方式等,计算机内部的存储系统,各类存储介质的存储原理以及今后的发展方向;CPU的逻辑组成和工作过程;常用输入/输出设备的结构和工作原理;输入/输出系统的组成,CPU与外设间传送数据的控制方式;计算机的系统结构。

本书为计算机专业基础课教材,适合作为应用型本科计算机专业及相近专业的教材,高职高专和成人院校也可参考使用;也适用于信息管理与信息系统、管理工程、技术经济、系统工程、工业自动化及其他非计算机专业的师生和开发应用计算机系统的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/宋红主编.—2版.—北京:中国铁道出版社,2008.11

(21世纪高校计算机应用技术系列规划教材·基础教育系列)

ISBN 978-7-113-09341-9

I. 计… II. 宋… 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(2008)第167576号

书 名: 计算机组成原理(第二版)

作 者: 宋 红 主编

策划编辑: 严晓舟 秦绪好

责任编辑: 王占清

编辑助理: 侯 颖 郝霁江

责任印制: 李 佳

编辑部电话: (010) 63583215

封面制作: 白 雪

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号)

邮政编码: 100054)

印 刷: 河北省遵化市胶印厂

版 次: 2008年12月第2版 2008年12月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13 字数: 296千

印 数: 5 000册

书 号: ISBN 978-7-113-09341-9/TP·3008

定 价: 23.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

21 世纪高校计算机应用技术系列规划教材

主 任：谭浩强

副主任：陈维兴 严晓舟

委 员：（按姓氏音序排列）

安淑芝	安志远	陈志泊	韩 劼	侯冬梅
李 宁	李雁翎	林成春	刘宇君	秦建中
秦绪好	曲建民	尚晓航	邵丽萍	宋 红
宋金珂	王兴玲	魏善沛	熊伟建	薛淑斌
张 玲	赵乃真	訾秀玲		

序

PREFACE

21 世纪是信息技术高度发展且得到广泛应用的时代,信息技术从多方面改变着人类的生活、工作和思维方式。每一个人都应当学习信息技术、应用信息技术。人们平常所说的计算机教育其内涵实际上已经发展为信息技术教育,内容主要包括计算机和网络的基本知识及应用。

对多数人来说,学习计算机的目的是为了利用这个现代化工具工作或处理面临的各种问题,使自己能够跟上时代前进的步伐,同时在学习的过程中努力培养自己的信息素养,使自己具有信息时代所要求的科学素质,站在信息技术发展和应用的前列,推动我国信息技术的发展。

学习计算机课程有两种不同的方法:一是从理论入手;二是从实际应用入手。不同的人有不同的学习内容和学习方法。大学生中的多数人将来是各行各业中的计算机应用人才。对他们来说,不仅需要“知道什么”,更重要的是“会做什么”。因此,在学习过程中要以应用为目的,注重培养应用能力,大力加强实践环节,激励创新意识。

根据实际教学的需要,我们组织编写了这套“21 世纪高校计算机应用技术系列规划教材”。顾名思义,这套教材的特点是突出应用技术,面向实际应用。在选材上,根据实际应用的需要决定内容的取舍,坚决舍弃那些现在用不到、将来也用不到的内容。在叙述方法上,采取“提出问题-解决问题-归纳分析”的三部曲,这种从实际到理论、从具体到抽象、从个别到一般的方法,符合人们的认知规律,且在实践过程中已取得了很好的效果。

本套教材采取模块化的结构,根据需要确定一批书目,提供了一个课程菜单供各校选用,以后可根据信息技术的发展和教学的需要,不断地补充和调整。我们的指导思想是面向实际、面向应用、面向对象。只有这样,才能比较灵活地满足不同学校、不同专业的需要。在此,希望各校的老师把你们的要求反映给我们,我们将会尽最大努力满足大家的要求。

本套教材可以作为大学计算机应用技术课程的教材以及高职高专、成人高校和面向社会的培训班的教材,也可作为学习计算机的自学教材。

由于全国各地区、各高等院校的情况不同,因此需要有不同特点的教材以满足不同学校、不同专业教学的需要,尤其是高职高专教育发展迅速,不能照搬普通高校的教材和教学方法,必须要针对它们的特点组织教材和教学。因此,我们在原有基础上,对这套教材作了进一步的规划。

本套教材包括以下五个系列:

- 基础教育系列
- 高职高专系列
- 实训教程系列
- 案例汇编系列
- 试题汇编系列

其中基础教育系列是面向应用型高校的教材，对象是普通高校的应用性专业的本科学生。高职高专系列是面向两年制或三年制的高职高专院校的学生的，突出实用技术和应用技能，不涉及过多的理论和概念，强调实践环节，学以致用。后面三个系列是辅助性的教材和参考书，可供应用型本科和高职学生选用。

本套教材自 2003 年出版以来，已出版了 70 多种，受到了许多高校师生的欢迎，其中有多种教材被国家教育部评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。《计算机应用基础》一书出版三年内发行了 50 万册。这表示了读者和社会对本系列教材的充分肯定，对我们是有力的鞭策。

本套教材由浩强创作室与中国铁道出版社共同策划，选择有丰富教学经验的普通高校老师和高职高专院校的老师编写。中国铁道出版社以很高的热情和效率组织了这套教材的出版工作。在组织编写及出版的过程中，得到全国高等院校计算机基础教育研究会和各高等院校老师的热情鼓励和支持，对此谨表衷心的感谢。

本套教材如有不足之处，请各位专家、老师和广大读者不吝指正。希望通过本套教材的不断完善和出版，为我国计算机教育事业的发展和人才培养做出更大贡献。

全国高等院校计算机基础教育研究会会长
“21 世纪高校计算机应用技术系列规划教材”丛书主编

谭浩强

- 计算机系统基础 ·
- 计算机系统组成 ·
- 操作系统原理 ·
- 数据库系统原理 ·
- 计算机网络原理 ·

第二版前言

“计算机组成原理”是计算机应用专业及相关专业的专业基础课,同时又是信息管理与信息系统专业必修的核心课程。《计算机组成原理(第二版)》讲述单处理系统电子数字计算机的组成和工作原理。本教材从底层剖析了电子数字计算机的基本组成和工作原理,以便学生掌握计算机系统的基本组成,掌握对计算机系统的分析能力和设计能力,同时为后继的“微机原理及应用”、“接口技术”、“汇编语言程序设计”等课程的学习奠定基础。

本教材在教学内容的选择上遵循两个原则:一是阐述单机系统范围内计算机各部件、系统的组成原理以及内部工作机制,使学生掌握计算机各大部件的组成原理、逻辑实现、设计方法及其互连构成整机系统的技术;二是阐述计算机组成中具有的特性问题,注意把教学重点放在基本概念、基本原理和具体的实现方法上,适当地介绍一些体现当代计算机发展特征的新知识和新技术。

全书共分8章。第1章简要介绍了计算机的发展概况,以及计算机的分类和应用、计算机的系统结构;第2章介绍了计算机中数据的表示方法及其主要部件;第3章介绍了计算机内部的指令系统,包括指令格式、指令类型、寻址方式等;第4章详细地介绍了计算机内部的存储系统,各类存储介质的存储原理以及今后的发展方向;第5章介绍了中央处理器的逻辑组成和工作过程;第6章介绍了常用外部设备的结构和工作原理;第7章介绍了输入/输出系统的组成,CPU与外设间传送数据的控制方式;第8章介绍了计算机系统结构。

根据高校应用技术系列教材的要求,本教材第二版加入了计算机体系结构中软硬件联系的内容,同时根据应用型本科教育的特点,尽量避开原理的推导和说明,以浅显易懂的实例来说明原理。第二版还修订了第一版教材中图形上的一些不足,加入了目前计算机组成原理的新内容和新技术的知识点,使学生在了解计算机组成原理和软件设计技术的同时,学会规范的计算机硬件设计技术。第二版本着化难为易的理念,简化了原理性的内容,更加适合于应用型本科的学生使用。

本书适合作为应用型本科计算机专业及相近专业的教材,高职高专、成人高校也可参考使用。本书为计算机专业基础课教材,也可用于信息管理与信息系统、管理工程、技术经济、系统工程、工业自动化以及其他非计算机专业的师生学习计算机组成原理,还适合于社会上开发应用计算机系统的工程技术人员。

本书重点突出,内容全面系统,可读性好,有比较好的层次结构,语言简洁,图文并茂,深入浅出,通俗易懂,符合学生的认知规律,对学好计算机组成原理会有所帮助。

本书由宋红教授担任主编,李庆义、宋勇、武彩宏老师参加编写。宋勇编写了第1章~第3章,李庆义编写了第4章、第5章,武彩宏编写了第6章~第8章,宋红负责全书的审核、统稿。

由于作者水平有限,书中不免有不足与疏漏之处,欢迎各位读者批评指正。同时,我们也会在适当的时间对本书的内容进行修订和补充,并发布在天勤网站:<http://www.tqbooks.net>“图书修订”栏目中。

编著者

2008年9月

第一版前言

FOREWORD

《计算机组成原理》是讲述单处理系统计算机的组成和工作原理的一本教材。它是计算机专业的一门专业基础必修课程,对学好计算机专业的后续课程起着很重要的作用。同时它又是信息管理与信息系统专业的必修的核心课程。

从信息技术的角度来看,信息管理与信息系统专业属于非计算机类专业。信息管理与信息系统专业与计算机专业不同,它还要开设管理类课程,没有时间开设很多的硬件课程。但是,让学生熟悉信息系统中硬件系统的结构,掌握其参数的选择技术是很有必要的。

全书共分8章。第1章简要介绍计算机的发展概况,以及计算机的分类和应用、计算机的系统结构;第2章主要介绍计算机中数据的表示方法及其主要部件;第3章主要介绍计算机内部的指令系统,包括指令格式、指令类型、寻址方式;第4章详细地介绍了计算机内部的存储系统,各类存储介质的存储原理以及今后的发展方向;第5章介绍了CPU的逻辑组成和工作过程;第6章介绍了常用输入/输出设备的结构和工作原理;第7章介绍了输入/输出系统的组成,CPU与外设间传送数据的控制方式;第8章介绍了新一代计算机的发展方向和控制机制原理。

本书既可以作为高职高专、成人高校和应用型本科计算机专业和相近专业的教材,也适合于信息管理与信息系统、管理工程、技术经济、系统工程、工业自动化以及其他非计算机专业的师生,也适合于社会上开发应用计算机系统的工程技术人员。

本书重点突出、语言简洁、图文并茂、深入浅出、通俗易懂、内容全面系统、可读性强,对学好计算机组成原理会有所帮助。这本教材的突出特点还体现在以下两个方面:

一是本书突出授课内容的系统性与完整性,在简明讲解计算机组成一般性原理知识的基础上,特别强调计算机基本组成的实际知识。此外,书中素材较新,体现了最近几年出现的新知识、新技术、新工艺。

二是在知识组织中有比较好的层次结构,符合学生的认识规律。

本书由宋红担任主编,李庆义、郭静参加编写。李庆义老师编写了第1章~第5章,郭静老师编写了第6章~第8章,宋红老师负责全书的审核、统稿。陈兰芳、崔仙翠、程瑞芬等同志参与了本书的编排工作,在此表示感谢!

由于作者水平有限,书中难免会有不足与疏漏之处,欢迎各位读者批评指正。作者E-mail为sxysqsh@163.com。

编者

2003年11月

目录

CONTENTS

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的发展简史	1
1.2 计算机的分类和应用	5
1.2.1 计算机的分类	5
1.2.2 计算机的应用	5
1.3 计算机的硬件和软件	8
1.3.1 计算机的硬件	8
1.3.2 计算机软件	10
1.4 计算机系统的层次结构	13
1.5 计算机系统结构、计算机组成和计算机实现的关系	14
1.6 本章小结	16
习题	17
第 2 章 数据表示方法及其部件	18
2.1 数据表示方法和运算器	18
2.1.1 计算机中数据的表示方法	18
2.1.2 计算机中的算术运算和逻辑运算	28
2.2 逻辑部件	32
2.2.1 寄存器	32
2.2.2 计数器	34
2.2.3 译码器	35
2.3 控制部件	36
2.3.1 控制器的基本功能	36
2.3.2 控制器的实现(硬布线逻辑/微程序控制)	38
2.4 本章小结	40
习题	41
第 3 章 指令系统	42
3.1 指令系统的发展与要求	42
3.2 指令格式	43
3.2.1 操作码	44
3.2.2 地址码	44
3.2.3 指令助记符	45
3.2.4 指令长度	46

3.3 寻址方式	46
3.3.1 操作数寻址	46
3.3.2 指令寻址	50
3.3.3 堆栈寻址	51
3.4 指令类型	52
3.4.1 指令的分类	52
3.4.2 指令系统举例	54
3.5 精简指令系统(RISC)	56
3.5.1 RISC的产生和发展	56
3.5.2 RISC的指令系统	57
3.5.3 RISC和CISC比较	58
3.6 本章小结	60
习题	60
第4章 存储系统	61
4.1 存储系统概论	61
4.1.1 存储器的分类	61
4.1.2 存储器的层次结构	62
4.1.3 存储器的技术指标	63
4.2 随机存储器	64
4.2.1 静态随机存储器	64
4.2.2 动态随机存储器	70
4.3 只读存储器	76
4.3.1 只读存储器的分类	76
4.3.2 可擦除可编程只读存储器	77
4.3.3 闪速存储器	77
4.4 高速缓冲存储器	78
4.4.1 高速缓冲存储器的结构	78
4.4.2 高速缓冲存储器与主存之间的地址变换	79
4.4.3 替换方法	82
4.5 虚拟存储器	82
4.5.1 虚拟存储器的定义	82
4.5.2 页式虚拟存储器	83
4.5.3 段式虚拟存储器	84
4.5.4 段页式虚拟存储器	85
4.6 存储保护	86
4.6.1 存储区域保护	87
4.6.2 访问方式保护	89

4.7 本章小结	89
习题	90
第 5 章 中央处理器	91
5.1 CPU 的基本组成和功能	91
5.1.1 CPU 的组成	91
5.1.2 CPU 的功能	92
5.1.3 CPU 中的主要寄存器	93
5.1.4 操作控制器与时序产生器	94
5.2 CPU 的指令周期	95
5.2.1 指令周期的定义	95
5.2.2 CLA 指令的指令周期	96
5.2.3 ADD 指令的指令周期	97
5.2.4 STA 指令的指令周期	98
5.2.5 NOP 指令和 JMP 指令的指令周期	99
5.3 微程序控制器	99
5.3.1 微命令和微操作	100
5.3.2 微指令和微程序	101
5.3.3 微程序控制器原理框图	102
5.4 时序产生器和控制方式	103
5.4.1 时序信号	103
5.4.2 时序信号产生器	104
5.4.3 控制方式	105
5.5 早期的 CPU	105
5.5.1 M6800 CPU	106
5.5.2 Intel 8088 CPU	107
5.5.3 IBM 370 系列 CPU	108
5.5.4 Intel 80486 CPU	109
5.6 流水线方式的 CPU	110
5.6.1 并行处理技术	110
5.6.2 流水线 CPU 的结构	111
5.6.3 流水线中的主要问题	113
5.6.4 奔腾 CPU	115
5.7 RISC CPU	118
5.7.1 RISC 计算机的特点	118
5.7.2 RISC 的硬件组织	118
5.8 多媒体 CPU	120
5.8.1 多媒体技术的主要问题	120

5.8.2	MMX 技术	121
5.8.3	动态执行技术	121
5.9	本章小结	123
	习题	123
第 6 章	外部设备	125
6.1	外部设备概述	125
6.1.1	外设的重要性	125
6.1.2	外设的分类	125
6.2	输入设备	126
6.2.1	常用输入设备	127
6.2.2	其他输入设备	130
6.3	输出设备	132
6.3.1	显示器	132
6.3.2	字符/图形显示器	136
6.3.3	打印机	140
6.4	外存储器	144
6.4.1	磁盘存储器	144
6.4.2	光盘存储器	150
6.4.3	移动存储器	152
6.5	本章小结	153
	习题	153
第 7 章	输入/输出系统	154
7.1	输入/输出系统概述	154
7.1.1	输入/输出系统功能与组成	154
7.1.2	接口的功能与类型	154
7.1.3	外设的寻址方式	156
7.1.4	输入/输出指令	157
7.1.5	主机与外设的信息传送	157
7.2	程序控制方式及其接口	159
7.2.1	无条件传送方式	159
7.2.2	程序查询传送方式	159
7.3	程序中断方式及其接口	160
7.3.1	中断的基本概念	161
7.3.2	中断屏蔽与中断优先权	162
7.3.3	中断响应与中断处理	163
7.3.4	中断控制器 8259A	164

7.4	直接存取 DMA 方式.....	166
7.4.1	DMA 系统组成及其工作过程.....	166
7.4.2	DMAC.....	167
7.4.3	DMA 使用内存的方式.....	168
7.4.4	Intel 8237A 可编程 DMA 控制器.....	169
7.5	I/O 通道控制方式.....	171
7.5.1	通道方式及其特点.....	171
7.5.2	通道的类型.....	172
7.5.3	通道的基本功能.....	173
7.5.4	通道的工作过程.....	173
7.6	总线系统.....	174
7.6.1	总线的基本知识.....	174
7.6.2	总线的管理.....	176
7.6.3	总线的类型和标准总线.....	176
7.7	本章小结.....	178
	习题.....	178
第 8 章	计算机系统结构.....	180
8.1	流水线技术.....	180
8.1.1	先行控制技术.....	181
8.1.2	流水线.....	182
8.1.3	超标量处理机与超流水线处理机.....	186
8.2	向量处理机.....	187
8.2.1	向量流水的基本概念.....	187
8.2.2	向量处理机的结构与性能.....	188
8.3	多处理机.....	188
8.3.1	多处理机系统.....	189
8.3.2	多处理机结构.....	190
8.4	新型计算机系统结构.....	190
8.4.1	计算机系统结构的新概念.....	190
8.4.2	新概念系统结构计算机.....	191
8.5	本章小结.....	192
	习题.....	192
	参考文献.....	194

第1章 计算机系统概论

计算机系统不同于一般的电子设备，它是由硬件、软件组成的复杂系统。本章先介绍计算机的发展简史，然后说明计算机的分类和应用，最后简略地介绍硬件、软件的概念和组成，以便读者建立一个整体的概念。

1.1 计算机的发展简史

电子计算机是一个统称，实际上它被明确地分成两大类：“电子模拟计算机”和“电子数字计算机”。前者的输入/输出均是随时间连续变化的物理量（即模拟量），并使用连续变化的物理量（例如电流、电压等）来表示数值的大小并参加机内运算，其运算结果自然也是连续变化的物理量；后者的输入/输出均是不连续的数字量，它接受数字化的输入信息，按照存放在其存储器中的程序对该数字化信息进行运算，其运算结果和输出也是离散的数字信息；它运算速度快、运算精度高。现在人们所说的“电子计算机”或“计算机”，是指“电子数字计算机”，也是本书讨论的对象。

计算机的发展，如果从第一台计算机的问世算起，到现在已有 60 多年了，发展速度非常快。在人类科技史上还没有一种科技的发展速度可以与电子计算机的发展速度相提并论。

20 世纪 40 年代，无线电技术和无线电工业的发展为电子计算机的研制打下了物质基础。1943—1946 年美国宾夕法尼亚大学研制的电子数字积分和计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 是世界上第一台电子计算机。ENIAC 计算机共用 18 000 多个电子管，1 500 个继电器，重达 30t，占地 170m²，功率 140kW，每秒能计算 5 000 次加法，研制人是埃克特 (J.P.Eckert) 和莫克利 (J.W.Mauchly)。ENIAC 计算机存在两个主要缺点：一是存储容量太小，只能存 20 个字长为 10 位的十进制数；二是用线路连接的方法来编排程序，因此每次解题都要依靠人工改接连线，准备时间大大超过实际计算时间。

在 ENIAC 计算机研制的同时，冯·诺依曼 (Von Neumann) 与莫克利、埃克特小组合作研制 EDVAC 计算机，在这台计算机中确立了全新的存储程序计算机的方案：这个方案规定了计算机有 5 个基本部件：输入器、输出器、运算器、存储器、控制器，为了充分发挥电子元件的高速度而采用了二进制，程序和数据存放在存储器中，确立了存储程序的原则。存储程序不仅解决了速度匹配问题，它还带来了在计算机内部用同样的速度进行程序的逻辑选择的可能性，从而使全部运

算成为真正的自动过程。

冯·诺依曼计算机的工作原理可以概括为两点：一是以五大部件（运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备）为中心，程序和数据存放在内存中，并按地址访问和顺序执行；二是采用二进制数进行运算和控制，指令由操作码和地址码组成。

这些原则在现代的计算机中仍然有效，所以现代的计算机均被称作冯·诺依曼结构计算机。

60多年来，根据电子计算机所采用的电子物理器件的发展，一般把计算机的发展分成5个阶段。

第一代：电子管计算机时代（从1946年第一台计算机研制成功到20世纪50年代后期），将电子管、继电器和存储器用绝缘导线互连在一起，由单个CPU构成，CPU用程序计数器和累加器顺序完成定点运算，采用机器语言或汇编语言，用CPU程序控制I/O。其主要特点是采用电子管作为基本器件。代表性系统有由John von Neumann、Anhur Burks和Herman Goldstine于1946年在普林斯顿大学研制成功的IAS计算机、由宾夕法尼亚大学莫尔学院于1950年制造的ENIAC、由IBM于1953年制造的IBM701计算机。

第二代：晶体管计算机时代（1955—1964年），采用分立式晶体三极管、二极管和铁氧体的磁心，用印制电路将它们互连起来。采用了变址寄存器、浮点运算、多路存储器和I/O处理机。采用有编译程序的高级语言、子程序库、批处理监控程序。这时期计算机的主要器件逐步由电子管改为晶体管，因而缩小了体积，降低了功耗，提高了速度和可靠性，而且价格不断下降。后来又采用了磁心存储器，使速度得到进一步提高。在这一时期人们开始重视计算机产品的继承性，形成了适应一定应用范围的计算机“族”，这是系列化思想的萌芽。从而缩短了新机器的研制周期，降低了生产成本，实现了程序兼容，方便了新机器的使用。代表性系统有1951年制造的Univac I、20世纪60年代的CDC 1604和1962年制成的IBM 7030。1969年1月制成的超大型计算机CDC 7600，速度达到每秒千万次浮点运算，是这一时期设计最成功的产品。

第三代：集成电路计算机时代（1965—1974年），采用小规模或中规模集成电路和多层印刷电路。微程序控制在这一代开始普及。采用了流水线、高速缓存和并行处理机。软件方面采用多道程序设计和分时操作系统。这时期的计算机采用集成电路作为基本器件，因此功耗、体积、价格等进一步下降，而速度及可靠性相应地提高，这就促使了计算机的应用范围进一步扩大。正是由于集成电路成本的迅速下降，产生了成本低而功能不是太强的小型计算机，占领了许多数据处理的应用领域。代表性系统有IBM 360~IBM 370系列、CDC 6600/7600系列、Texas 仪表公司的ASC和Digital Equipment公司的PDP-8系列。IBM 360系统是最早采用集成电路的通用计算机，也是影响最大的第三代计算机。在1964年宣布IBM 360系统时，就有大、中、小等6个计算机型号，平均运算速度从每秒几千次到一百万次，它的主要特点是通用化、系列化和标准化。下面分别进行说明。

① 通用化：指令系统丰富，兼顾科学计算、数据处理、实时控制3个方面。

② 系列化：IBM 360各档计算机采用相同的系统结构，即在指令系统、数据格式、字符编码、中断系统、控制方式、输入/输出操作方式等方面保持统一，从而保证了程序的兼容性，当用户更新计算机时，原来在低档机上编写的程序可以不作修改就使用在高档机上。IBM 360系统后来陆续增加的几种型号仍保持与前面的产品兼容。后来，西欧与日本的一些通用计算机也保持与IBM 360系统兼容。前苏联和东欧国家联合制造的“统一系统”也是与IBM 360系统兼容的。

③ 标准化：采用标准的输入/输出接口，因而各个机型的外部设备是通用的。采用积木式结构设计，除了各个型号的CPU独立设计以外，存储器、外部设备等均采用标准部件组装。

第四代：大规模集成电路计算机时代（1974—1991年），采用大规模或超大规模集成电路和半导体存储器，出现了用共享存储器、分布存储器或向量硬件选择的不同结构的并行计算机，开发了用于并行处理的多处理操作系统、专用语言和编译器，同时产生了用于并行处理或分布处理的软件工具和环境。20世纪70年代初，半导体存储器问世，迅速取代了磁心存储器，并不断向大容量、高速度发展。此后，大体上集成度每3年翻两番（1971年每片1Kbit，到1984年达到每片256Kbit），价格平均每年下降30%。逻辑电路也得到相应的发展。

第五代：新一代计算机。自1982年以来，一些发达国家提出研制第五代计算机的任务。这一代计算机以超大规模集成电路或其他新型器件为基本元件，实现网络 and 智能处理为目标。

随着大规模集成电路的迅速发展，计算机进入大发展时期，通用机、巨型机、小型机、微型机都得到了发展。下面对其分别进行介绍：

1. 通用机

通用机是计算机工业中价值比重最大的产品，其中以IBM 370系统影响最大，它在与IBM 360系统兼容的前提下进行了改进。IBM公司为开发IBM 360系统的软件耗费了巨大的人力和财力。据估算，IBM用户在应用程序、培训等方面耗费了2000亿美元，是硬件投资的3~5倍，如此丰富的软件不能抛弃、只能继承，这已成为用户与计算机厂家共同遵守的原则，但也成了计算机发展的制约因素。继IBM 370以后，IBM 303X大型机系列仍与IBM 370系统兼容，但具有更强的科学计算处理能力，IBM 4300系列取代了IBM 370系统的低档机，但仍与IBM 370兼容。1982年宣布的IBM 3084K大型通用机速度达到每秒2500万次，主存容量为64MB。其他计算机厂家在发展新机种时也遵循兼容的原则。某些计算机厂家走上了与IBM计算机兼容的道路，称之为PCM（Plug Compatible Mainframe，插接兼容主机）或（Program Compatible Mainframe，程序兼容主机），制造与IBM兼容的计算机，它们按IBM系列机的系统结构制造主机，并直接引用IBM计算机的软件，因而使产品的性能价格比优于IBM原装机，以此来争夺市场。

2. 巨型机

现代科学技术，尤其是国防技术的发展，需要有很快运算速度、很大存储容量的计算机，一般的大型通用计算机不能满足要求。集成电路的发展，为制造巨型机提供了条件。从20世纪60年代到20世纪70年代相继完成了一些巨型机，其中取得最高成就的要推Cray-1计算机。针对天气预报、飞行器的设计和核物理研究中存在大量向量运算的特点，Cray-1计算机的向量运算速度达每秒8000万次，并兼顾了一般的标量运算。1983年研制成功的CrayX-MP计算机的向量运算速度达每秒4亿次。与此同时，CDC公司的Cyber 203和Cyber 205先后完成，Cyber 205每秒可进行4亿次浮点运算。这些是20世纪80年代初期水平最高的巨型机。但是这些成就还不能满足一些复杂问题的需要，所以不少单位开展了性能更高的巨型机的研究工作。近年来，微型处理机的发展为阵列结构巨型机的发展带来了希望，例如，古德伊尔公司为美国宇航局（NASA）研制了一台处理卫星图像的巨型计算机系统MPP，该机由16384个微处理器组成 128×128 方阵。并行处理、多处理器系统是巨型机发展的一个重要方面。日本、英国、前苏联和法国也先后开始研制巨型机。

3. 小型机

小型机规模小，结构简单，所以设计研制周期短，便于及时采用先进工艺，生产量大，硬件

成本低,同时由于软件比大型机简单,所以软件成本也低。再加上易于操作和维护及可靠性高等特点,使得管理机器和编制程序都比较简单,因而得以迅速推广,掀起一个计算机普及应用的浪潮。DEC公司的PDP-II系列是16位小型机的代表。到20世纪70年代中期,32位高档小型机开始兴起,DEC公司的VAX II/780于1978年开始生产,应用极为广泛。VAX II系列与PDP-II系列是兼容的。小型机的出现打开了在控制领域应用计算机的局面,许多大型分析仪器、测量仪器、医疗仪器使用小型机进行数据采集、整理、分析、计算等。应用于工业生产上的计算机除了进行上述工作外,还可以进行自动控制。

4. 微型机

微型机的出现与发展,掀起了计算机大量普及的浪潮。利用4位微处理器Intel 4004组成的MCS-4是世界上第一台微型机,于1971年问世。Intel 8086是最早开发成功的16位微处理器(1978年),Intel 80286、Intel 80386与Intel 8086兼容。1981年以后,32位微处理器相继问世,比较著名的32位微处理器有Intel 80386和Motorola的68020等。32位微处理机采用过去大中型计算机中所采用的技术,因此由它构成的微型机系统的性能可以达到20世纪70年代大中型计算机的水平。20世纪70年代后期,兴起个人计算机(一种独立微型机系统)热潮,最早出现的是Apple公司的Apple II微型机(1977年),此后各种型号的个人计算机纷纷出现。1981年一向以生产大中型通用机为主的IBM公司推出了IBM PC,后来又推出扩充了性能的IBM PC/XT、IBM PC/AT,由于具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价格便宜等特点,很快成为微型机市场的主流。国内外不少厂家相继生产了与IBM PC兼容的个人计算机。低档的个人计算机可供家庭娱乐和业余爱好者使用,高档的用于经营管理、科学计算以及教育等方面。

采用超大规模集成电路(VLSI)工艺更加完善的高密度、高速度处理机和存储器芯片。它的最重要特点是进行大规模并行处理,采用可扩展和允许时延的系统结构。第五代计算机具有下列功能:

- ① 智能接口功能:能识别自然语言(文字、语音)、图形、图像;
- ② 解题和推理功能:根据自身存储的知识进行推理,求解问题。
- ③ 知识库管理功能:计算机内存储大量知识,可供检索。代表性系统有Fujitsu的VPP 500、Cray Research的MPP、Thinking Machines公司的CM-5、Intel超级计算机系统Paragon、SGI的Origin 2000和Sun公司的Enterprise 10000服务器。

由于计算机技术和通信技术的迅速发展,为适应高度社会化生产和科技发展的需要,出现了由单个计算中心通过通信线路和若干个远程终端连接起来的连机系统(面向终端的网络),例如,库存管理系统、生产管理系统、银行业务系统、飞机订票系统、情报检索系统、气象观测系统等,使分散在各处的信息通过终端能很快集中于计算机中。同时,各处的工作人员可通过终端进行查询、获取资料。20世纪70年代,实现计算机之间的通信、资源共享的计算机网迅速发展起来。著名的美国ARPA网诞生于20世纪60年代末,在20世纪70年代不断扩充网上结点,到1975年已连接60个以上的结点,一百多台主机。地理范围遍布全美并扩展到欧洲。与此同时,其他网络相继建成。由于这些网络跨越的地理范围比较广阔,因而称为广域计算机网。一些主要计算机厂家为解决本公司生产的各种计算机和终端设备的连网问题,向用户提供相应的硬件(如通信接口板)和网络软件。随着计算机的广泛应用,特别是小型机和微型机的普及,一个单位在一幢大