

高等学校计算机专业教材

GAODENG XUEXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI

# 计算机组成原理 与系统结构

◎ 马礼 主编



GAODENG XUEXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI  
GAODENG XUEXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI  
GAODENG XUEXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI  
GAODENG XUEXIAO JISUANJI ZHUANYE JIAOCAI

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

908567

227485

599

高等学校计算机专业教材

# 计算机组成原理 与系统结构

马礼 主编

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组成原理与系统结构 / 马礼主编. —北京: 人民邮电出版社, 2004.7  
高等学校计算机专业教材  
ISBN 7-115-12059-5

I. 计… II. 马… 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 (2004) 第 042666 号

## 内 容 提 要

本书是计算机科学与技术学科高年级本科生使用的专业基础教材。全书共 12 章, 从计算机组成与体系结构的基本概念出发, 全面介绍了计算机系统结构和计算机组成原理的主要内容。包括计算机系统结构的相关概念, 计算机运算方法与运算器, 数据表示与数据校验, 指令系统及其优化方法, 控制器组成原理与实现方法, 流水线技术与流水线处理机, 主存储系统与辅助存储系统, 输入输出设备与输入输出系统, 向量处理机, 并行处理, 多处理器系统与互连网络等内容。

本书既可以作为计算机科学与技术专业高年级本科生的教材, 也可以作为电子类及相关专业的研究生、教师和对计算机组成与系统结构感兴趣的广大科技工作者的参考书。

### 高等学校计算机专业教材 计算机组成原理与系统结构

- ◆ 主 编 马礼  
责任编辑 邹文波  
执行编辑 魏红梅
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线: 010-67129259  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
人民邮电出版社河北印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 26  
字数: 632 千字 2004 年 7 月第 1 版  
印数: 1-5 000 册 2004 年 7 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-12059-5/TP · 3820

定价: 33.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

# 前 言

随着计算机技术的迅速发展, 计算机专业教育从教学计划到教学内容等方面的改革与试验正在国内各高校之间展开, 不同的学校对其本科生的培养计划和培养方案都做了适当的调整, 对教学大纲进行了不同程度的修订, 业内人士普遍认为, 传统的计算机专业教学计划已经不能适应快速发展的技术需求。

目前在国内计算机科学与技术学科的本科生计算机教育普遍存在着教学计划、教学大纲以及教材落后于计算机技术发展的趋势, 而且这种差距还有继续扩大的趋势。为此, 我们根据教学要求启动了教学计划的调整和培养计划的改革。

在目前计算机专业课程的设置上, 经过仔细分析就会发现, 部分内容有重复。在各部门课程中重复讲述同一个内容, 是不符合教育目的的。针对这种情况, 我们将计算机专业的硬件类课程进行了课程群规划和建设, 把硬件类专业技术课程中相近的内容进行整合, 将《计算机组成原理》和《计算机系统结构》两门课程的内容进行有机整合, 合为一门课程, 即《计算机组成原理与系统结构》。经过整合, 重复的内容被删掉, 新的课程中包含了原来两门课程的全部主要内容, 这样做既保证了覆盖专业基础课程的内容, 同时又从总体上节约了教学时数。

本书就是在上述思路的基础上, 结合作者多年来的教学实践经验而编写的。

全书共包含 12 章。在内容上兼顾了计算机组成原理和系统结构的主要内容。第 1 章对计算机系统概念, 计算机系统的发展以及计算机系统的性能评价等方面内容进行了介绍; 第 2 章讲述了构成计算机硬件的基本逻辑电路基础, 使用时可以根据学生的先修课程情况来选择。对于数字电路基础较好的学生, 本章可以简略; 第 3 章介绍了运算方法和运算器实现, 其中讲述了数据在计算机内部的表示方法, 同时讲述了定点数和浮点数的运算方法。在内容的安排上, 为了保持运算方法描述的连贯性, 将“浮点数的运算”安排在了“浮点数据表示”之前。这样做是为了使学生在学习时先有一个基本的浮点数概念, 再引入较深入的数据表示, 更有利于理解浮点数; 第 4 章到第 5 章是描述处理器内部的, 包括指令系统的设计、指令系统的优化设计, 控制器的基本组成、基本功能、组合逻辑控制器的组成原理与实现方法、微程序控制器的组成原理与实现方法等内容; 第 6 章讲述主存储器的分类与构成、存储系统、Cache 的组成原理与地址映射方式和虚拟存储器的构成原理等; 第 7 章讲述辅助存储器的构成、原理、性能指标以及记录方式等内容; 第 8 章讲述输入输出设备原理与输入输出系统; 第 9 章到第 12 章重点是计算机系统结构的内容, 包括流水线处理技术、向量处理机、并行处理、多处理机系统以及机群系统等, 读者可以从中了解到高性能计算机设计所使用的一些新技术。

本书可以作为高等院校计算机专业本专科生的教材使用, 也可作为计算机专业及计算机工程技术人员的参考书。

本书由马礼主编, 并编写了其中第 1 章、第 10 章、第 11 章和第 12 章。第 2 章、第 3 章、第 6 章的 6.1 和 6.2 由吴志华编写; 第 4 章、第 6 章、第 8 章由张永梅编写; 第 5 章、第 7 章、第 9 章的 9.1 和 9.2 由李华玲编写。

在本书的编写和出版过程中，得到了韩燮教授，刘仁富教授的指导，并提出了许多宝贵意见。在此谨向对本书的编写和出版过程中指导和帮助过的各位学友表示深深谢意！

由于作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者提出宝贵意见。

编者  
2004年4月

# 目 录

<b>第 1 章 计算机组成与系统结构概述</b> .....	1
1.1 计算机系统概念 .....	1
1.1.1 计算机的产生与发展 .....	1
1.1.2 计算机的应用 .....	3
1.1.3 计算机系统结构、计算机组成和计算机实现 .....	5
1.2 计算机系统的层次结构 .....	6
1.3 计算机系统组成 .....	7
1.4 计算机系统结构的分类 .....	8
1.4.1 弗林分类法 .....	8
1.4.2 冯氏分类法 .....	10
1.4.3 海德勒分类法 .....	11
1.5 计算机系统结构的评价 .....	11
1.5.1 系统运行速度 .....	12
1.5.2 加速比 .....	14
1.5.3 CPU 性能 .....	16
1.5.4 系统的性能价格比 .....	18
1.6 计算机系统结构的发展 .....	19
1.6.1 冯·诺依曼机系统结构的演变 .....	19
1.6.2 软件、应用和器件对系统结构的影响 .....	20
1.6.3 系统结构中并行性的发展 .....	22
习题 .....	23
<b>第 2 章 逻辑部件基础</b> .....	24
2.1 计算机中常用的组合逻辑电路 .....	24
2.1.1 加法器 .....	25
2.1.2 算术逻辑单元 .....	28
2.1.3 数值比较器 .....	32
2.1.4 数据选择器 .....	34
2.1.5 译码器 .....	36
2.2 时序逻辑电路 .....	37
2.2.1 触发器 .....	38
2.2.2 寄存器和移位寄存器 .....	39
2.2.3 计数器 .....	41
2.3 时序逻辑电路设计基础——有限状态机理论 .....	42

2.4	阵列逻辑电路	44
2.4.1	只读存储器 (ROM)	44
2.4.2	可编程逻辑阵列 PLA	46
2.4.3	可编程阵列逻辑 PAL	47
2.4.4	通用阵列逻辑 GAL	48
2.4.5	复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 与现场可编程门阵列 (FPGA)	48
	习题	49
<b>第3章</b>	<b>运算方法与实现电路</b>	<b>52</b>
3.1	计算机中数据的表示与数制之间的转换	52
3.1.1	计算机中数据的表示方法与转换	52
3.1.2	十进制数的编码与运算	55
3.2	机器数的编码表示及加减运算	57
3.2.1	机器数的编码表示	57
3.2.2	定点数加减运算	61
3.2.3	定点数加减运算溢出的处理	64
3.3	二进制乘除法运算	66
3.3.1	二进制乘法运算	66
3.3.2	二进制除法运算	75
3.4	浮点数的运算方法	80
3.4.1	浮点数的加减法运算	80
3.4.2	浮点数的乘除法运算	81
3.5	浮点数设计	84
3.5.1	浮点数的表示格式	85
3.5.2	浮点数的表示范围	86
3.5.3	浮点数的表数精度	87
3.5.4	浮点数的表数效率	90
3.5.5	浮点数的尾数基值的选择	90
3.5.6	浮点数格式的设计	94
3.5.7	浮点数尾数的下溢处理方法	95
3.6	数据校验码	97
3.6.1	奇偶校验码	97
3.6.2	海明校验码	98
3.6.3	循环冗余校验码	100
3.7	高级数据表示	103
3.7.1	自定义数据表示	103
3.7.2	向量数组数据表示	108
3.7.3	堆栈数据表示	108
3.7.4	引入数据表示的原则	109

习题 .....	111
<b>第 4 章 指令系统 .....</b>	<b>113</b>
4.1 引言 .....	113
4.1.1 传统计算机指令系统的设计技术 .....	113
4.1.2 指令系统发展的两种途径 CISC 和 RISC .....	114
4.2 指令格式 .....	117
4.2.1 指令字长度 .....	117
4.2.2 操作码 .....	117
4.2.3 地址码 .....	119
4.2 寻址技术 .....	122
4.3.1 指令寻址方式 .....	122
4.3.2 操作数寻址方式 .....	123
4.4 典型的指令系统 .....	125
4.4.1 指令的分类 .....	125
4.4.2 精简指令系统 .....	127
4.5 指令系统的优化设计 .....	129
4.5.1 操作码的优化设计 .....	129
4.5.2 地址码的优化设计 .....	133
习题 .....	137
<b>第 5 章 控制器组成原理 .....</b>	<b>140</b>
5.1 控制器的基本功能及结构 .....	140
5.1.1 控制器的功能 .....	140
5.1.2 控制器的基本组成 .....	141
5.2 指令的执行过程 .....	143
5.2.1 时序系统 .....	143
5.2.2 指令的执行过程 .....	144
5.2.3 指令的执行过程举例 .....	145
5.3 硬布线控制器的组成原理与实现方法 .....	146
5.3.1 硬布线控制器的组成原理 .....	147
5.3.2 硬布线控制器的设计实例 .....	148
5.4 微程序控制器的组成原理与实现方法 .....	151
5.4.1 微程序控制器的基本原理 .....	151
5.4.2 微程序设计的技术问题 .....	153
5.4.3 微程序控制器的设计实例 .....	158
5.5 控制器的控制方式 .....	160
习题 .....	161



<b>第 6 章 主存储器与存储系统</b> .....	163
6.1 存储器分类 .....	163
6.2 主存储器的主要技术指标 .....	164
6.3 读写存储器 .....	165
6.3.1 静态 RAM .....	165
6.3.2 动态 RAM .....	169
6.4 非易失性半导体存储器 .....	172
6.4.1 只读存储器 (ROM) .....	173
6.4.2 可编程只读存储器 (PROM) .....	173
6.4.3 可擦除可编程只读存储器 (EPROM) .....	174
6.4.4 电可擦除可编程只读存储器 (E <sup>2</sup> PROM) .....	175
6.4.5 快速擦写存储器 (Flash Memory) .....	177
6.4.6 几种新型存储器 .....	178
6.5 主存储器组成 .....	179
6.5.1 位扩展 .....	180
6.5.2 字扩展 .....	180
6.5.3 字位扩展 .....	181
6.6 相联存储器 .....	182
6.7 存储系统与并行存储器 .....	183
6.7.1 存储系统的概念 .....	183
6.7.2 增加存储器的数据宽度 .....	186
6.7.3 多体交叉存储技术 .....	187
6.7.4 一种无冲突访问的存储器 .....	190
6.8 高速缓冲器 Cache .....	193
6.8.1 Cache 的工作原理 .....	193
6.8.2 Cache 的地址映像与地址变换 .....	194
6.8.3 替换算法 .....	199
6.8.4 Cache 的加速比 .....	200
6.9 虚拟存储器原理 .....	201
6.9.1 虚拟存储器的工作原理 .....	201
6.9.2 地址映像与变换 .....	201
6.9.3 页面替换算法及其实现 .....	204
6.9.4 虚拟存储器实例 .....	205
习题 .....	206
<b>第 7 章 辅助存储器</b> .....	208
7.1 硬盘存储设备 .....	208
7.1.1 磁记录原理与记录方式 .....	208

7.1.2	硬盘机的基本组成与分类 .....	211
7.1.3	硬盘驱动器和硬盘控制器 .....	211
7.1.4	硬盘的主要技术指标 .....	213
7.2	RAID (冗余磁盘阵列) .....	215
7.2.1	RAID 0 级 .....	216
7.2.2	RAID 1 级 .....	217
7.2.3	RAID 2 级 .....	218
7.2.4	RAID 3 级 .....	219
7.2.5	RAID 4 级 .....	220
7.2.6	RAID 5 级 .....	221
7.3	软盘存储设备 .....	221
7.3.1	软盘片 .....	221
7.3.2	软盘驱动器和控制器 .....	222
7.4	激光存储设备 .....	223
7.4.1	光盘存储器的种类 .....	224
7.4.2	光盘的读写原理 .....	225
7.4.3	光盘驱动器及接口 .....	226
	习题 .....	227
<b>第 8 章</b>	<b>输入输出设备及系统 .....</b>	<b>228</b>
8.1	输入输出设备的概述 .....	228
8.1.1	输入输出设备的作用 .....	228
8.1.2	输入输出设备的分类 .....	229
8.2	显示设备 .....	230
8.2.1	显示设备的概念与分类 .....	230
8.2.2	CRT 显示器 .....	231
8.2.3	字符/图形显示设备 .....	235
8.2.4	图像显示设备 .....	237
8.2.5	液晶显示器 .....	238
8.3	输入设备 .....	241
8.3.1	图形输入设备 .....	241
8.3.2	图像输入设备 .....	242
8.3.3	语音输入设备 .....	242
8.4	打印设备 .....	243
8.4.1	打印设备的分类 .....	243
8.4.2	点阵针式打印机 .....	243
8.4.3	激光打印机 .....	244
8.5	输入输出系统 .....	246
8.5.1	输入输出系统的概述 .....	246

8.5.2	程序查询方式 .....	248
8.5.3	程序中斷方式 .....	249
8.5.4	直接存储器存取 (DMA) 方式 .....	256
8.5.5	通道控制方式 .....	260
8.5.6	通道的流量分析 .....	262
8.6	总线 .....	265
8.6.1	总线的概念 .....	265
8.6.2	总线的连接方式 .....	265
8.6.3	总线的内部结构 .....	267
8.6.4	几种常用的总线结构 .....	267
	习题 .....	272
<b>第 9 章</b>	<b>流水线处理机及设计 .....</b>	<b>274</b>
9.1	先行控制技术 .....	274
9.1.1	重叠控制与先行控制 .....	274
9.1.2	先行控制方式中处理机的结构 .....	276
9.1.3	先行控制方式中缓冲深度的设计 .....	277
9.1.4	数据相关 .....	278
9.1.5	控制相关 .....	279
9.2	流水线工作原理 .....	280
9.2.1	流水线的工作原理及定义 .....	280
9.2.2	流水线的分类 .....	281
9.3	流水线性能分析 .....	284
9.3.1	线性流水线的性能分析 .....	284
9.3.2	线性流水线的性能分析举例 .....	289
9.3.3	非线性流水线的调度技术简介 .....	291
9.4	其他结构的高性能处理机 .....	292
9.4.1	超标量处理机 .....	293
9.4.2	超流水线处理机 .....	294
9.4.3	超标量超流水线处理机 .....	295
9.4.4	超长指令字技术 .....	296
	习题 .....	298
<b>第 10 章</b>	<b>向量处理机 .....</b>	<b>299</b>
10.1	向量处理机的基本概念 .....	299
10.1.1	向量的概念 .....	299
10.1.2	向量运算指令 .....	302
10.2	向量处理机的结构 .....	306
10.2.1	存储器—存储器结构 .....	306

10.2.2	寄存器—寄存器结构 .....	308
10.3	向量处理机实例 .....	310
10.3.1	银河 YH-1 向量处理机 .....	310
10.3.2	Cray 系列机 .....	311
10.3.3	Fujitsu VP2000/VPP 500 系列向量处理机 .....	311
10.4	向量协处理机 .....	313
10.4.1	向量协处理器的地位 .....	313
10.4.2	向量协处理器实例 .....	314
10.5	向量处理机的性能分析 .....	316
	习题 .....	321
<b>第 11 章</b>	<b>并行处理 .....</b>	<b>323</b>
11.1	并行处理的概念 .....	323
11.1.1	并行性 .....	323
11.1.2	并行性的等级和分类 .....	324
11.2	并行处理机基本结构 .....	325
11.2.1	并行处理机的典型结构 .....	325
11.2.2	并行处理机的特点 .....	327
11.3	SIMD 计算机基本结构 .....	327
11.3.1	Illiac IV 计算机 .....	328
11.3.2	Burroughs BSP 计算机 .....	332
11.3.3	CM-2 计算机 .....	336
11.4	SIMD 计算机的应用 .....	339
11.4.1	连续模型及差分计算 .....	339
11.4.2	阵列处理机的几种基本算法 .....	341
	习题 .....	345
<b>第 12 章</b>	<b>互连网络与多处理机 .....</b>	<b>347</b>
12.1	互连网络的基本概念 .....	347
12.1.1	互连网络在计算机系统中的作用 .....	347
12.1.2	主要特性和性能参数 .....	348
12.1.3	互连函数 .....	350
12.1.4	互连网络的种类 .....	354
12.2	静态互连网络 .....	355
12.2.1	静态互连网络结构 .....	356
12.2.2	静态互连网络特性 .....	359
12.3	动态互连网络 .....	360
12.3.1	动态互连网络的互连形式 .....	360
12.3.2	多级互连网络 .....	364

12.4	互连网络的消息传递机制	373
12.4.1	消息寻径	374
12.4.2	死锁和虚拟通道	376
12.4.3	单播方式的寻径	378
12.4.4	广播方式下的寻径	381
12.5	多处理机系统特点与分类	382
12.5.1	基本结构	382
12.5.2	多处理机系统特点	383
12.5.3	多处理机系统的 Cache 一致性问题	384
12.6	典型的多处理机系统	388
12.6.1	MPP 大规模并行多处理机系统	388
12.6.2	CM-5 系统	389
12.6.3	SGI Origin 2000 系列服务器	392
12.7	机群系统	397
12.7.1	机群系统的结构特点	397
12.7.2	机群系统的关键技术	398
12.7.3	几种典型的机群系统	400
	习题	401
	参考文献	403

# 第 1 章 计算机组成与系统结构概述

**本章主要内容：**本章将讲述计算机发展、计算机系统构成、计算机组成、计算机实现和计算机系统结构等概念；同时介绍计算机系统结构的分类、计算机系统的性能评价等内容。重点掌握计算机系统结构的层次结构、计算机系统结构的分类和计算机系统的性能评价标准等。

计算机的诞生到现在已将近 60 年的历程了，在这短短的几十年中，计算机系统发生了翻天覆地的变化。集成电路芯片按照摩尔定律发展，其集成度几乎每 3 年提高 4 倍，而加工特征尺寸缩小 1/2。第一台微型机的 Intel 4004 微处理器在 3mm×4mm 上共集成了 2 300 个晶体管，而到 2000 年 3 月推出的 Celeron 处理器，其核心集成了 19 000 个晶体管，采用 0.18μm 工艺制造。最近新推出的新一代 P4 Northword 处理器，它采用 0.13μm 工艺制造，设计工作频率达到 3GHz 以上。这些改变现在仍然在继续。计算机系统的这种变化，极大地方便了用户，同时也促进了社会的发展。

## 1.1 计算机系统概念

一个完整的计算机系统是由计算机硬件系统和计算机软件系统构成的，只有硬件系统的计算机不是完整的计算机系统，而只是计算机的躯体，是硬件。只有结合计算机软件系统才能构成一个完整的计算机系统。下面从计算机的发展角度来描述计算机系统。

### 1.1.1 计算机的产生与发展

世界上第一台电子计算机诞生于 1946 年，是由美国宾西法尼亚大学摩尔学院机电系莫克利(J.Mauchly)教授及其同事们共同研制成功的，称为电子数字积分器和计算机。(Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC)。ENIAC 采用十进制运算，电路结构十分复杂，一共使用了 18 000 多个电子管，运行时耗电量达 150kW，体积庞大，占地面积约 1 500 平方英尺，重 30 吨，每秒可以进行 5 000 多次加法运算。

ENIAC 的出现，标志着人类计算工具进入了一个崭新的时代，是人类文明发展史中的一个里程碑。

从第一台计算机诞生到现在，在不到 60 年的时间内，计算机作为主要贡献者已经使人类社会从制造业社会发展到了信息化社会，它的发展改变了社会的结构，也促使人们的工作和生活方式发生了惊人的变化。计算机已经成为了科技发展中具有影响力的商品。

计算机从问世以来，技术的发展异常迅速，在推动计算机硬件发展的各种因素中，电子逻辑器件的发展是起决定作用的因素。因此，人们常常用计算机器件的发展来划分计算机的

发展史。

### 1. 机械计算时代 (1642~1945 年)

法国科学家 Blaise Pascal (1623~1662 年) 于 1642 年建成了世界上第一台能够工作的计算机。该机器是纯机械式的设备, 使用齿轮传动, 用手柄驱动。这台机器是 Pascal 为他的父亲——一名法国政府的税务官而设计的, 当时的 Pascal 只有 19 岁, 因为这一突出贡献, 在后来瑞士人 Worth 教授发明的程序设计语言以他的名字命名, 即 Pascal 语言。

Pascal 设计的机器只能做加法和减法运算。在 30 年之后, 伟大的德国数学家 Baron Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646~1716 年) 建造出还能做乘法和除法运算的另一台机械式计算机。在 18 世纪前 Leibniz 就建造出与四函数袖珍计算器同等功能的计算机了。

此后的 150 多年间, 计算机没有什么大的发展, 但在第一台电子计算机诞生之前, 人们一直做着各种各样的能提高运算速度的计算机。20 世纪 30 年代晚期, 一名德国学工程的学生 Konrad Zuse 用电磁继电器建造了一系列自动的计算机。战争开始后, 他无法从政府得到资助, 因为政府的官僚们预期战争很快会结束, 新的机器在战争结束后再进行也不妨。Zuse 的机器也在 1944 年盟军轰炸柏林时被损坏, 因此, 他的工作对后来的机器并没有太大的影响。但是他仍然是计算机领域的先锋之一。随后的几年中, 美国人做出过不同种类的计算机, 为电子计算机的诞生奠定了一定的基础。

### 2. 第一代电子计算机 (1946 年至 20 世纪 50 年代末期)

第一代计算机以 1946 年第一台电子计算机诞生为标志, 它由单个 CPU 组成, 将电子管和继电器存储器用绝缘导线互连在一起, 采用机器语言或汇编语言, 能完成定点运算。代表性的系统有 ENIAC、IBM 701 计算机等。在我国, 中国科学院数学研究所从 1952 年开始开展了一些小规模计算机的研究工作。1958 年, 由中国科学院、有关工业部门和国防单位的通力合作, 研制成功了“八一”型通用电子计算机 (又称 103 机), 这是我国的第一台电子计算机。

### 3. 第二代计算机 (20 世纪 50 年代末期至 60 年代中期)

第二代计算机的标志是以晶体管取代了电子管。晶体管的体积小、耗电小。这种取代完成以后, 计算机的性能有了很大的提高, 内部采用了更复杂的算术逻辑部件和控制部件, 而且使用了高级编程语言, 为计算机提供了系统软件。在这一代计算机中, 有代表性的系统有 IBM 7094、CDC 1604 和 DEC 公司的 PDP-11 计算机等。IBM 7094 与前面提到的 IBM 701 相比, 主存容量由 2KB 增加到 32KB, 存取周期从 30 $\mu$ s 下降到 1.4 $\mu$ s, 操作码数目从 24 增加到 185, 运算速度从每秒上万次提高到每秒 50 万次。

### 4. 第三代计算机 (20 世纪 60 年代中期至 70 年代初期)

集成电路的出现, 大大地缩小了计算机的体积、降低了耗电量, 极大地提高了机器的可靠性和运行速度。以集成电路作为计算机主要构成元件的计算机就是人们所说的第三代计算机。第三代计算机主要使用小规模集成电路 (SSI) 和中规模集成电路 (MSI)。

在第三代计算机中, 主要的代表机型有 IBM System/360 和 DEC 公司的 PDP-8。

### 5. 第三代以后的计算机（20世纪70年代初开始）

从第三代以后，计算机的构成器件，主要是以大规模集成电路（LSI）和超大规模集成电路（VLSI）为主。由于集成电路一直在发展，从小规模、中规模、大规模到超大规模。所以，三代以后的计算机不好划分。这一代的计算机一个突出的代表就是微型计算机的应运而生。

1971年，Intel公司的第一台微型计算机处理器4004诞生，应该说这是计算机发展史上的又一个里程碑。从此以后，微型计算机处理器的字长从4位→8位→16位→32位→64位迅速升级，其性能已经超过20世纪70年代中小型计算机的水平。微型计算机以其体积小、性能稳定、可靠性高、对环境无特殊要求为特点，尤其是价格便宜，吸引了越来越多的用户，显示出了强大的生命力。到20世纪80年代微型计算机进入了全盛时期，1989年Intel公司推出的80486处理器，其指令运行速度已经达到了90 MIPS，与同期的某些大型机不相上下，之后又相继推出Pentium、Pentium 2、Pentium 3和Pentium 4处理器，其机器字长已经达到了64位。这些处理器都是使用大规模或超大规模集成电路设计的。至此，用机器的构成器件来对计算机划分时代已不那么确切了。

表1-1列出了计算机的各个发展阶段及特点。

表 1-1 计算机的发展阶段

发展阶段	大约时间（年）	主要器件	典型指令执行速度（次/秒）
0	1642~1945	机械式	很低
1	1946~1957	电子管	40 000
2	1958~1964	晶体管	200 000
3	1965~1971	SSI 和 MSI	1 000 000
4	1972~1977	LSI	10 000 000
5	1978~现在	VLSI	100 000 000

#### 1.1.2 计算机的应用

计算机的应用十分广泛，而且随着计算机技术的迅猛发展，其应用范围也在不断扩大。计算机的应用领域包括以下几个方面。

##### 1. 科学计算

科学计算从计算机诞生之初就是计算机应用的一个主要领域，在科学研究和各种工程设计中，常常会有大量需要计算和处理的数据。例如，天气预报系统，需要根据最近的气候条件和历史同期同一地区的气候变化等数据，结合当时的气象条件对未来的天气情况作出最为接近的预测和预报，这样的推算和预测，需要大量的数据分析，而单凭人力的计算是难以胜任的。我国自行研制的银河巨型机有一台就应用到了国家气象局。实践证明，计算机的速度和高精度改变了科学研究和工程设计方面的面貌，使得计算机成为广大科学工作者和工程设计人员的不可缺少的重要工具之一。



## 2. 数据处理

数据处理与科学计算不同，其任务是要对大量的数据进行分析、加工、变换和综合处理等。从一些得到的原始数据中发掘出有价值的信息。近年来的数据挖掘技术就是要对大量的原始数据进行分析、发现其中的对某一特定需求有用的信息。没有计算机的参与，靠人力来完成这些复杂的过程几乎是不可能的。地理信息系统、火车购票查询系统、图书资料管理系统、银行管理系统、股票分析系统、市场预测系统等均属于数据处理的范畴。

## 3. 实时控制

计算机广泛应用于工业生产过程当中。目前的工业控制系统比 20 世纪 60 年代先进得多，其中一个重要的原因就是引入了计算机的软硬件平台。使用计算机后，大大地减轻了工人的劳动强度。计算机在工业生产过程中的使用，使得产品的质量和生产效率有了大幅度的提高，一些靠人很难进行的生产过程使用计算机以后变得非常容易。各种种类的数控机床的推出和使用，对于提高产品的精度和合格率是任何人工都难以达到的。除此之外，化工产品的自动配料、冶炼中的温度控制、铸造中的成型工艺曲线的实现以及通信系统中的自动接续等均属于实时控制系统。

## 4. 计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机集成制造系统

计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）是人们借助计算机来进行设计的一项专门技术，它广泛应用于航空、航天、造船、建筑工程和电子设计等过程中。CAD 的使用，使得在加快设计速度，提高设计精度等方面有了大幅度的改善。使用 CAD 比人工绘图要迅速得多、精确得多。

计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）是利用计算机来代替人去完成制造系统以及与制造系统有关的工作。广义的 CAM 一般指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接或间接的活动，包括工艺内准备、生产作业计划、物料作业计划的运行控制、生产控制和质量控制等。狭义的 CAM 仅指数控程序的编制，包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真及数控代码的生成等。使用计算机控制可以完成数控、物料流控制及存储、机器人、柔性制造、生产过程仿真等过程，这些过程的相关技术统称为计算机辅助制造。

计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）是将企业生产过程中的有关人、技术、设备、经费管理及其信息流和物资流的有机集成，并优化运行。包括信息流、物资流与组织的集成；生产自动化，管理现代化与决策科学化的集成；设计制造、监测控制和经营管理的集成。

## 5. 计算机信息管理

计算机信息管理是指计算机在信息管理、办公自动化等领域的应用。在各种企业、事业单位，银行系统、图书馆等系统中，计算机的应用十分广泛。数字图书馆、数字城市、数字中国以至数字地球等系统的建设和实施，使得计算机在信息管理系统的的应用无所不在。有了计算机，信息管理过程中的数据查询、统计等功能变得十分方便。企事业单位使用了计算机