



21世纪高职高专规划教材·计算机系列



# 计算机组成原理

蒋 璞 主 编

郑 坤 副主编

国防科技大学出版社

21 世纪高职高专规划教材

计算机系列

# 计算机组成原理

蒋 璞 主 编  
郑 坤 副主编

国防科技大学出版社

**【内容简介】**本书是为高职高专计算机及相关专业编写的教材。

本书系统地介绍了计算机各组成部件的基本概念、基本结构及工作原理,主要包括计算机概论、计算机中数据的表示、运算方法和运算器、指令系统、中央处理器、存储器、系统总线、输入/输出系统、计算机外围设备。

本书适合作为高职高专计算机及其相关专业的教材或教学参考书,也可作为有关职业人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/蒋璞主编. —长沙:国防科技大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-81099-884-0

I. ①计… II. ①蒋… III. ①计算机组成原理—教材  
IV. ①TP310

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 107640 号

出版发行:国防科技大学出版社

网 址: <http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:唐卫威

印 刷 者:北京振兴源印务有限公司

开 本:787mm×1 092mm 1/16

印 张:16.75

字 数:418 千字

版 次:2011 年 8 月第 1 版

印 次:2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

# 21 世纪高职高专规划教材·计算机系列

## 编审委员会

- 顾问** 郑启华 清华大学教授  
计算机教育资深专家
- 主任** 黄维通 清华大学计算机科学与技术系  
全国计算机基础教育研究会副秘书长
- 副主任** 李俊 清华大学信息科学技术学院  
骆海峰 北京大学软件与微电子学院  
梁振方 上海交通大学电子信息与电气工程学院
- 委员** (以姓氏笔画为序)
- |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 卫世浩 | 王玉芬 | 王军号 | 王建平 | 卢云宏 |
| 付俊辉 | 朱广丽 | 刘庆杰 | 刘春霞 | 江枫  |
| 李永波 | 李光杰 | 李克东 | 李学勇 | 张春飞 |
| 张岩  | 郑义  | 姚海军 | 高国红 | 徐桂保 |
| 殷晓波 | 程华安 | 谢广彬 | 詹林  |     |
- 课程审定** 张歆 清华大学信息科学技术学院  
战扬 北京大学软件与微电子学院
- 内容审定** 倪铭辰 清华大学信息科学技术学院  
谢力军 北京大学软件与微电子学院  
李振华 北京航空航天大学计算机学院

# 出版说明

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,承担着培养高素质技术、技能型人才的重任。近年来,在国家和社会的支持下,我国的高职高专教育取得了不小的成就,但随着我国经济的腾飞,高技能人才的缺乏越来越成为影响我国经济进一步快速健康发展的瓶颈。这一现状对于我国高职高专教育的改革和发展而言,既是挑战,更是机遇。

要加快高职高专教育改革的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高职高专教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职高专教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为促进高职高专教育的发展,加强教材建设,教育部在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中,提出了“重点建设好3000种左右国家规划教材”的建议和要求,并对高职高专教材的修订提出了一定的标准。为了顺应当前我国高职高专教育的发展潮流,推动高职高专教材的建设,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的人员成立了21世纪高职高专规划教材编审委员会。

编审委员会依据教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,调研了百余所具有代表性的高等职业技术学院和高等专科学校,广泛而深入地了解高职高专的专业和课程设置,系统地研究了课程的体系结构,同时充分汲取各院校在探索培养应用型人才方面取得的成功经验,并在教材出版的各个环节设置专业的审定人员进行严格审查,从而确保了整套教材“突出行业需求,突出职业的核心能力”的特色。

本套教材的编写遵循以下原则:

(1)成立教材编审委员会,由编审委员会进行教材的规划与评审。

(2)按照人才培养方案以及教学大纲的需要,严格遵循高职高专院校各学科的专业规范,同时最大程度地体现高职高专教育的特点及时代发展的要求。因此,本套教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化了对学生实际操作能力的培养。

(3)教材的定位更加强调“以就业为导向”,因此也更为科学。教育部对我国的高职高专教育提出了“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。根据这一原则,本套教材在编写过程中,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现“以行业为导向,以能力为本,以学生为中心”的风格,从而使本套教材更具实用性和前瞻性,与就业市场结合也更为紧密。

(4)采用“以案例导入教学”的编写模式。本套教材力图突破陈旧的教育理念,在讲解的过程中,援引大量鲜明实用的案例进行分析,紧密结合实际,以达到编写实训教材的

目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本套教材涵盖了公共基础课系列、财经管理系列、物流管理系列、电子商务系列、计算机系列、电子信息系列、机械系列、汽车系列和化学化工系列的主要课程。目前已经规划的教材系列名称如下:

#### 财经管理系列

- 财经管理基础课
- 工商管理类
- 财务会计类
- 经济贸易类
- 财政金融类
- 市场营销类

#### 机械系列

- 机械基础课
- 机械设计与制造类
- 数控技术类
- 模具设计与制造类
- 机电一体化类

#### 计算机系列

- 公共基础课
- 计算机专业基础课
- 计算机网络技术类
- 计算机软件技术类
- 计算机应用技术类

#### 公共基础课系列

#### 物流管理系列

#### 电子商务系列

#### 电子信息系列

#### 化学化工系列

#### 汽车系列

对于教材出版及使用过程中遇到的各种问题,欢迎您通过电子邮件及时与我们取得联系(联系方式详见“教师服务登记表”)。同时,我们希望有更多经验丰富的教师加入到我们的行列当中,编写出更多符合高职高专教学需要的高质量教材,为我国的高职高专教育作出积极的贡献。

**21 世纪高职高专规划教材编审委员会**

# 序

21 世纪是科技和经济高速发展的重要时期。随着我国经济的持续快速健康发展, 各行各业对高技能专业型人才的需求量迅速增加, 对人才素质的要求也越来越高。高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分, 在加快培养高技能专业型人才方面发挥着重要的作用。

与国外相比, 我国高职高专教育起步晚, 发展时间短, 这种状况与我国经济发展对人才大量需求的现状是很不协调的。因此, 必须加快高职高专教育的发展步伐, 提高应用型人才的培养水平。

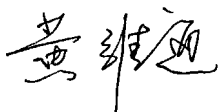
高职高专教育水平的提高, 离不开课程体系的完善。相关领域人才的培养需要一批兼具前瞻性和实践性的优秀教材。教育部职业教育与成人教育司针对高职高专教育人才培养模式提出了“以就业为导向”的指导思想, 这也正是本套高职高专教材的编写宗旨和依据。

如何使高职高专教材既突出行业的需求特点, 又突出职业的核心能力? 这是教材编写的过程中必须首先解决的问题。本系列教材编委会深入研究了高职高专教育的课程和专业设置, 并对以往的教材进行了详细分析和认真考察, 力图在不破坏教材系统性的前提下, 加强教材的创新和实践性内容, 从而确保学生在学习专业知识的同时多动手, 增强自己的实践能力, 以加强“知”与“行”的结合。

同时, 本系列教材在编写过程中还充分重视群体和类别的差异性, 面对不同学校 and 不同专业方向的定位差异, 精心设计了与其相配套的辅助实验指南及相关的习题解答等。这些栏目的设计使本系列教材内容更加丰富, 条理更为清晰, 为老师的讲授和学生的学习都提供了很大的便利。

经过编委会的辛勤努力, 本套教材终于顺利出版了, 相信本套教材一定能够很好地适应现代高职高专教育的教学需求, 也一定能够在高职高专教育计算机课程的改革中发挥积极的推动作用, 为社会培养更多优秀的应用型人才。

全国计算机基础教育研究会副秘书长



# 前 言

计算机技术发展很快,现在已经进入了“无所不在的计算”时代,计算机的表现形态也多种多样,但它们都是以计算机基本体系结构为基础的。计算机组成原理是一门十分重要的理论与实践技术相结合的专业基础课程。

计算机的组成及运行原理的基本思想已渗透到由计算机衍生出来的许多领域。要想真正理解软件,就必须理解硬件,软件和硬件共存于计算机系统中。

当前的计算机系统都是很复杂的,本书的编写目的是让读者可以通过基础知识的学习,简化问题,理解模型机的工作过程,从而建立计算机系统、计算机整机运行原理的概念。当用户从基础和本质上理解计算机之后,再来认识更复杂、更具体的计算机知识,就会变得很容易了。

本书共分9章,各章的内容安排如下:

第1章是计算机概论,简单介绍计算机的发展、分类、应用、工作过程、性能指标、基本组成和层次结构。

第2章介绍计算机中数据的表示,主要包括数据的概念、进位计数制及其相互转换、数值和非数值数据的表示和数据校验码等。

第3章介绍运算方法和运算器,主要包括基本逻辑电路、时序逻辑电路、定点数与浮点数的运算、运算器的基本原理和组成等。

第4章介绍指令系统,主要包括指令的格式、寻址方式、指令的种类、指令的执行方式等。

第5章介绍中央处理器,主要包括CPU的组成、指令周期、微程序设计技术和微程序控制器,以及CPU的新技术。

第6章介绍存储器,主要包括主存储器、高速缓冲存储器和虚拟存储器。

第7章介绍系统总线,主要包括总线的概念及工作原理、总线的控制与通信、总线接口等。

第8章介绍输入/输出系统,主要介绍其功能、组成、寻址方式,程序查询方式、程序中断方式、DMA方式和通道方式等。

第9章介绍计算机外围设备,主要有输入设备、输出设备、显示设备、打印设备等。

本书第1~5章由蒋璞编写,第6章和第9章由郑坤编写,第7章和第8章由潘继强编写。

由于作者知识水平有限,书中难免存在不妥之处,希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                              |    |                                  |    |
|------------------------------|----|----------------------------------|----|
| <b>第 1 章 计算机概论</b> .....     | 1  | 2.5.1 奇偶校验码 .....                | 33 |
| 1.1 计算机的发展、分类及应用 .....       | 1  | 2.5.2 海明校验码 .....                | 34 |
| 1.1.1 计算机的发展 .....           | 1  | 2.5.3 循环冗余校验码 .....              | 36 |
| 1.1.2 计算机的分类 .....           | 4  | 习题 2 .....                       | 39 |
| 1.1.3 计算机的应用 .....           | 7  | <b>第 3 章 运算方法和运算器</b> .....      | 41 |
| 1.2 计算机的工作过程与性能指标 .....      | 10 | 3.1 计算机硬件的基本逻辑电路 .....           | 41 |
| 1.2.1 计算机的工作过程 .....         | 10 | 3.1.1 逻辑器件的概念 .....              | 41 |
| 1.2.2 计算机的性能指标 .....         | 10 | 3.1.2 基本逻辑运算 .....               | 43 |
| 1.3 计算机系统的基本组成 .....         | 11 | 3.1.3 组合逻辑电路 .....               | 44 |
| 1.3.1 计算机硬件 .....            | 12 | 3.2 时序逻辑电路 .....                 | 47 |
| 1.3.2 计算机软件 .....            | 13 | 3.2.1 基本时序逻辑电路 .....             | 47 |
| 1.4 计算机系统的层次结构 .....         | 15 | 3.2.2 寄存器和计数器 .....              | 50 |
| 习题 1 .....                   | 18 | 3.3 定点数的运算 .....                 | 53 |
| <b>第 2 章 计算机中数据的表示</b> ..... | 19 | 3.3.1 定点数的加减法运算 .....            | 53 |
| 2.1 数据的概念 .....              | 19 | 3.3.2 定点乘法运算 .....               | 55 |
| 2.2 进位计数制及其相互转换 .....        | 20 | 3.3.3 定点除法运算 .....               | 58 |
| 2.2.1 进位基数和位的权 .....         | 21 | 3.4 浮点数的运算 .....                 | 61 |
| 2.2.2 二进制数制 .....            | 21 | 3.4.1 浮点数的加减法运算 .....            | 61 |
| 2.2.3 十六进制数制 .....           | 22 | 3.4.2 浮点数的乘除法运算 .....            | 63 |
| 2.2.4 二进制与十进制间的相互转换 .....    | 22 | 3.4.3 浮点运算器 .....                | 64 |
| 2.3 计算机中数值的表示 .....          | 23 | 3.5 运算器及算术逻辑单元 .....             | 65 |
| 2.3.1 机器数的编码表示 .....         | 23 | 3.5.1 运算器的功能和组成 .....            | 65 |
| 2.3.2 定点数和浮点数 .....          | 26 | 3.5.2 SN74181 算术/逻辑运算单元的组成 ..... | 66 |
| 2.3.3 十进制数的编码 .....          | 28 | 3.5.3 SN74181 算术/逻辑运算单元的分析 ..... | 68 |
| 2.4 非数值数据的表示 .....           | 29 | 习题 3 .....                       | 68 |
| 2.4.1 ASCII 码编码 .....        | 29 | <b>第 4 章 指令系统</b> .....          | 71 |
| 2.4.2 汉字的表示 .....            | 30 | 4.1 指令系统概述 .....                 | 71 |
| 2.4.3 其他信息的表示 .....          | 31 | 4.1.1 指令系统基本概念 .....             | 71 |
| 2.5 数据校验码 .....              | 33 | 4.1.2 指令系统的设置要求 .....            | 73 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 4.1.3 指令的含义 .....        | 73  |
| 4.2 指令的格式 .....          | 74  |
| 4.2.1 指令的编码格式 .....      | 74  |
| 4.2.2 指令字长与扩展方法 .....    | 77  |
| 4.2.3 指令助记符 .....        | 79  |
| 4.3 寻址方式 .....           | 80  |
| 4.3.1 寻址方式和有效地址的概念 ..... | 80  |
| 4.3.2 常用的寻址方式 .....      | 80  |
| 4.4 指令的种类 .....          | 84  |
| 4.4.1 传送类指令 .....        | 85  |
| 4.4.2 算术运算类指令 .....      | 86  |
| 4.4.3 逻辑运算指令 .....       | 88  |
| 4.4.4 移位、循环类指令 .....     | 89  |
| 4.4.5 程序控制类指令 .....      | 91  |
| 4.4.6 处理器控制指令 .....      | 92  |
| 4.4.7 串操作指令 .....        | 93  |
| 4.4.8 位操作指令 .....        | 94  |
| 4.4.9 其他指令 .....         | 94  |
| 4.5 指令的执行方式 .....        | 95  |
| 4.5.1 顺序执行方式 .....       | 95  |
| 4.5.2 重叠执行方式 .....       | 95  |
| 4.5.3 流水线方式 .....        | 96  |
| 4.6 指令系统分类及高级语言 .....    | 97  |
| 4.6.1 RISC 与 CISC .....  | 97  |
| 4.6.2 指令系统与高级语言 .....    | 99  |
| 习题 4 .....               | 100 |

## 第 5 章 中央处理器 .....

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 5.1 CPU 概述 .....         | 102 |
| 5.2 CPU 的组成 .....        | 103 |
| 5.2.1 构成 CPU 的主要部件 ..... | 103 |
| 5.2.2 CPU 中的寄存器 .....    | 104 |
| 5.2.3 CPU 中的运算器 .....    | 105 |
| 5.3 指令周期 .....           | 109 |
| 5.3.1 指令周期的概念 .....      | 109 |
| 5.3.2 指令运行过程中的事务处理 ..... | 116 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 5.3.3 时序及功能 .....        | 116 |
| 5.3.4 CPU 的控制方式 .....    | 118 |
| 5.4 微程序设计技术和微程序控制器 ..... | 119 |
| 5.4.1 微程序设计技术 .....      | 119 |
| 5.4.2 微程序控制器 .....       | 124 |
| 5.5 CPU 的新技术 .....       | 129 |
| 5.5.1 流水线技术 .....        | 130 |
| 5.5.2 CPU 多核技术 .....     | 131 |
| 习题 5 .....               | 132 |

## 第 6 章 存储器 .....

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 6.1 存储器概述 .....              | 134 |
| 6.1.1 存储器的基本概念 .....         | 134 |
| 6.1.2 存储器的分类 .....           | 135 |
| 6.1.3 存储器的性能指标 .....         | 136 |
| 6.1.4 存储系统的层次结构 .....        | 137 |
| 6.2 主存储器 .....               | 138 |
| 6.2.1 主存储器概述 .....           | 138 |
| 6.2.2 主存储器的基本组成 .....        | 138 |
| 6.2.3 随机存储器 .....            | 141 |
| 6.2.4 只读存储器 .....            | 151 |
| 6.3 高速缓冲存储器 .....            | 155 |
| 6.3.1 cache 的概念 .....        | 155 |
| 6.3.2 cache 的基本组成与工作原理 ..... | 156 |
| 6.3.3 替换算法 .....             | 158 |
| 6.3.4 cache 的地址映像 .....      | 159 |
| 6.4 虚拟存储器 .....              | 162 |
| 6.4.1 虚拟存储器的功能与特点 .....      | 162 |
| 6.4.2 虚拟存储器的管理方式 .....       | 164 |
| 6.4.3 虚拟存储器的类型 .....         | 164 |
| 习题 6 .....                   | 167 |

## 第 7 章 系统总线 .....

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 7.1 总线概述 .....      | 169 |
| 7.1.1 总线的基本概念 ..... | 169 |
| 7.1.2 总线的工作原理 ..... | 170 |

|                            |     |                              |     |
|----------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 7.1.3 总线的结构 .....          | 170 | 9.1.1 外围设备的功能 .....          | 213 |
| 7.1.4 总线的分类 .....          | 173 | 9.1.2 外围设备的分类 .....          | 214 |
| 7.2 总线的控制与通信 .....         | 174 | 9.1.3 外围设备与主机的连接 .....       | 215 |
| 7.2.1 总线的控制 .....          | 174 | 9.1.4 外围设备的应用和发展<br>趋势 ..... | 216 |
| 7.2.2 总线的通信 .....          | 176 | 9.2 输入设备 .....               | 217 |
| 7.3 总线接口 .....             | 178 | 9.2.1 键盘 .....               | 217 |
| 7.3.1 总线接口的概念 .....        | 178 | 9.2.2 鼠标 .....               | 220 |
| 7.3.2 常用的总线接口 .....        | 181 | 9.2.3 扫描仪 .....              | 222 |
| 习题 7 .....                 | 188 | 9.2.4 数码相机 .....             | 225 |
| <b>第 8 章 输入/输出系统</b> ..... | 190 | 9.2.5 其他输入设备 .....           | 227 |
| 8.1 输入/输出系统概述 .....        | 190 | 9.3 显示设备 .....               | 228 |
| 8.1.1 I/O 系统的功能和组成 .....   | 190 | 9.3.1 显示设备的分类 .....          | 228 |
| 8.1.2 I/O 设备的寻址方式 .....    | 193 | 9.3.2 显示技术的术语 .....          | 229 |
| 8.1.3 输入/输出方式 .....        | 194 | 9.3.3 显示器的工作原理 .....         | 231 |
| 8.2 程序查询方式 .....           | 195 | 9.3.4 显示器的主要性能指标 .....       | 231 |
| 8.2.1 程序查询方式的工作原理 .....    | 195 | 9.3.5 显示控制卡 .....            | 232 |
| 8.2.2 程序查询方式的接口 .....      | 196 | 9.4 打印设备 .....               | 234 |
| 8.3 程序中断方式 .....           | 198 | 9.4.1 打印机的分类 .....           | 234 |
| 8.3.1 中断的基本概念 .....        | 198 | 9.4.2 打印机的主要技术指标 .....       | 237 |
| 8.3.2 中断的工作过程 .....        | 199 | 9.5 其他输出设备 .....             | 238 |
| 8.3.3 中断处理 .....           | 202 | 9.5.1 绘图仪 .....              | 238 |
| 8.3.4 单级中断与多级中断 .....      | 203 | 9.5.2 音箱 .....               | 239 |
| 8.4 DMA 方式 .....           | 203 | 9.6 辅助存储器 .....              | 240 |
| 8.4.1 DMA 方式的基本概念 .....    | 204 | 9.6.1 磁盘存储器 .....            | 241 |
| 8.4.2 DMA 传送方式 .....       | 205 | 9.6.2 磁带存储器 .....            | 244 |
| 8.4.3 DMA 控制器 .....        | 206 | 9.6.3 光盘存储器 .....            | 247 |
| 8.4.4 DMA 工作过程 .....       | 207 | 9.6.4 新型存储器 .....            | 248 |
| 8.5 通道方式 .....             | 208 | 习题 9 .....                   | 249 |
| 8.5.1 通道的功能 .....          | 209 | <b>参考文献</b> .....            | 251 |
| 8.5.2 通道的工作过程 .....        | 210 |                              |     |
| 8.5.3 通道的类型 .....          | 211 |                              |     |
| 习题 8 .....                 | 212 |                              |     |
| <b>第 9 章 计算机外围设备</b> ..... | 213 |                              |     |
| 9.1 计算机外围设备概述 .....        | 213 |                              |     |

# 第 1 章 计算机概论

## 知识目标

- ◎了解计算机的发展过程、分类及应用范围。
- ◎掌握计算机的整体工作过程及性能指标。
- ◎掌握计算机系统的硬件及软件结构。

## 技能目标

- ◎掌握计算机的硬件组成框图和各部件的基本作用。
- ◎掌握计算机硬件和软件的基本关系。
- ◎掌握高级语言、汇编语言和机器语言的差别及联系。

计算机是 20 世纪人类最伟大的发明创造之一,它的诞生、发展和应用既是科学技术的卓越成就,也是技术革命的基础,计算机对人类社会产生了巨大而深远的影响,并不断改变着人们的生活方式。

## 1.1 计算机的发展、分类及应用

回顾 20 世纪的科技发展史,人们会深刻地体会到计算机的诞生和广泛应用对其工作和生活所产生的深远影响。

计算机最初是指用于计算的工具。但这里所说的计算机是指以数字电路为基础,结合历年来致力于计算机科学与技术研究并作出贡献的科技人员的思想,用人类现有的工程手段制造的电子数字计算机。计算机的一个比较确切的定义是:计算机是一种以电子器件为基础,在预定程序的控制下,对各种数字化信息进行处理的工具,它是一个由硬件和软件组成的复杂的自动化设备。

### 1.1.1 计算机的发展

几十年来,随着电子技术、计算机技术和制造工业的飞速发展,计算机所采用的物理器件获得了很快的发展,体积不断缩小,操作由机械开关及复杂的编程到在方便的操作系统下用手指触摸操作。人们一般把电子计算机的发展分为 4 个阶段,与采用的电子器件相关,同时由于器件的改进,计算机的工作速度、系统结构和集成度也得以提高,这些因素让计算机可以以合理的开销实现复杂的功能。人们习惯上称计算机的 4 个阶段为 4 代。但随着近几

年计算机科学与技术的发展,人们又给出了第五代的概念——无所不在的计算。相邻两代计算机之间时间上有重叠。

### 1. 第一代

第一代为电子管计算机时代(从 1946 年第一台计算机研制成功到 20 世纪 50 年代后期)。第一代的主要特点是采用电子管和继电器作为基本器件。这一时期,主要是为军事需要设计和研制计算机,并进行有关的理论研究工作,为计算机技术的发展奠定了基础,使其研究成果扩展到民用,并转为工业产品,形成了计算机工业。

20 世纪 50 年代中期,美国 IBM 公司在计算机行业中崛起。1954 年 12 月推出的 IBM 650(小型机)是第一代计算机中行销最广的机器,销售量超过 1 000 台;1958 年 11 月问世的 IBM 709(大型机)是 IBM 公司性能最好的电子管计算机。

### 2. 第二代

第二代为晶体管计算机时代(从 20 世纪 50 年代中期到 20 世纪 60 年代后期)。1948 年,贝尔实验室发明了晶体管,这个时期计算机的主要器件逐步由电子管改为晶体管,从而缩小了体积,降低了功耗,提高了速度和可靠性,而且价格不断下降。后来又采用了磁芯存储器,使速度得到进一步提高。从此,计算机在军事与尖端技术上的应用范围进一步扩大,而且在气象、工程设计、数据处理以及其他科学研究等领域也应用起来。在这一时期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。

1964 年,美国控制数据公司(CDC)研制的高速大型计算机系统 CDC 6600,取得了巨大成功,深受美国和西欧各原子能、航空与宇航、气象研究机构和大学的欢迎,这使该公司在研究和生产科学计算高速大型机方面处于领先地位。1969 年 1 月,水平更高的超大型机 CDC 7600 研制成功,平均速度达到每秒千万次浮点运算,成为 20 世纪 60 年代末、70 年代初性能最高的计算机。

这一时期,设计计算机时需解决的编译器简化问题成了硬件与软件同时设计思想的开端。

### 3. 第三代

第三代为集成电路计算机时代(从 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代初期)。这一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供应市场。这种小型机占领了许多数据处理的应用领域。

IBM 360 系统是最早采用集成电路制成的通用计算机,也是影响最大的第三代计算机。1964 年公布 IBM 360 系统时就有大、中、小型等 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、标准化。

(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 各档机器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,从而保证了程序兼容,当用户更新机器时,原来在低档机上编写的程序可以不做修改就使用在高档机中。IBM 360 系统后来陆续增加的几种型号,仍保持与前面产品的兼容。后来,西欧与日本的一些通用计算机

也保持与 IBM 360 系统的兼容。

(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、外围设备都采用标准部件组装。

#### 4. 第四代

第四代为大规模集成电路的个人计算机时代(20 世纪 70 年代初至今)。随着半导体制造工艺的提升,CPU 及半导体存储器的问世,微型计算机诞生了。随着时间的推移,计算机应用飞速发展,数量急剧膨胀,计算机进入了全民普及阶段。

半导体制造工艺的提升,使得单芯片上等效晶体管的数量以指数级增长。以 CPU 为例,从 1971 年内含 2 300 个晶体管的 Intel 4004 芯片(见图 1-1),到 2002 年包含了 5 500 万个晶体管的 Northwood 核心的 Pentium 处理器,到现在,四核的 Core i7 拥有 7.31 亿个晶体管,核心面积为  $270\text{ mm}^2$ ;双核版本 Penryn Core 2 拥有 4.1 亿个晶体管(6 MB 二级缓存,核心面积为  $107\text{ mm}^2$ ),四核版本则有 8.2 亿个晶体管(核心面积为  $214\text{ mm}^2$ )。可以看出,近 30 年计算机硬件发展已经超越了 1965 年摩尔文章中提出的——被称为摩尔定律的——芯片上集成的晶体管数量大约每 18 个月就将翻一番的预测。随着 Intel 4004 CPU 由当年的  $10\text{ }\mu\text{m}$  进化到今天 Core i3/i5/i7 处理器(见图 1-2)的  $32\text{ nm}$ ,随着量子效应的出现,可能摩尔定律会放缓,但从 Intel 在处理器芯片上另加一片 GPU(图形处理器)的做法上,可以期待人类会用其他的方式来加速集成度的提高。

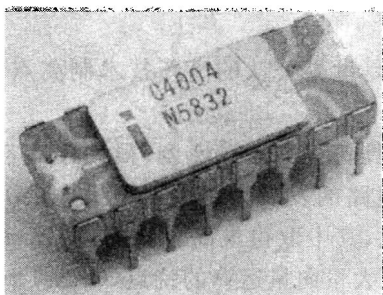


图 1-1 Intel 4004 芯片

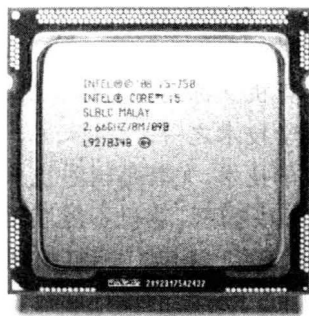


图 1-2 Core i5 处理器

#### 5. 第五代

1981 年,日本政府宣布计划投资 5 亿美元,资助日本公司开发以人工智能技术为基础的第五代计算机,以期全面超越不具智能的第四代计算机。欧美国家的相关机构与大学也纷纷要求政府提供资助,研制以人工智能为基础的第五代计算机。然而现在的技术还无法支持相关的思路,其思想超越了技术现实,最终日本的第五代计算机研制计划宣布失败。

虽然以人工智能为基础的第五代计算机研制失败了,然而可以称为第五代的计算机还是出现了:微缩的计算机系统及相关设备。它们被嵌入家用电器、手机、银行卡、公交卡及其他设备中,成为这些应用设备的核心,带来了无所不在的计算(信息处理),计算机广泛渗透于普通人的生活中。“无所不在”的计算机,功能丰富、价格低廉、用途广泛。目前“无所不在的计算”时代,也有人称之为“后 PC 时代”,能否将它划分为计算机史上的一代是值得讨论的。但它确实从根本上改变了很多电器和设备的运作方式,已经对社会的发展产生了巨大

的影响,其影响在以后还将不断扩大。这些被称为嵌入式系统的计算机的硬件和软件经常是协同设计的。

如果把计算机的第一代看做电子管计算机(如 ENIAC),第二代为晶体管计算机(如 IBM 7094),第三代为集成电路计算机(如 IBM 360),第四代为个人计算机(如采用 Intel CPU 的计算机),则实际的第五代计算机并不特指一种新的结构的产生,而是代表机型的转变。将来,计算机将嵌入任何对象中,从而真正做到无所不在。它将成为人们日常生活的一部分,存在于开门、开灯、提款等所有的事情当中。这个模型称为无所不在的计算,但现在也经常使用“普适计算”这一术语。它将和工业革命一样,对世界产生深远影响。

计算机的发展历史深刻揭示了计算机科学与技术是人的主观能动性创造理论、方法、思路,并在现实技术基础上,通过工业手段设计和实现这些理想、理念的过程,上升到哲学层面即物质与意识的关系。

### 1.1.2 计算机的分类

随着大规模集成电路技术的迅速发展,计算机进入快速发展时期,各种类型的计算机都得到了迅速发展,根据计算机的应用范围分类,可将其分为专用计算机和通用计算机。专用计算机是为特定应用问题而设计的计算机,具有可靠、经济、快速等特点,但它的设计是针对特定应用的,使用面较窄。通用计算机使用面广,通用性强,操作相对简单。计算机也可根据其规模分为巨型机、大型机、小型机、微型机、工程工作站、联机系统和网络等。

#### 1. 巨型机

巨型计算机又称高性能计算机、超级计算机,是世界公认的高新技术制高点和 21 世纪最重要的科学技术之一。

现代科学技术,尤其是国防技术的发展,需要具备很高运算速度、很大存储容量的计算机,一般的大型通用计算机不能满足需求。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 70 年代相继出现了一些巨型机,其中取得最高成就的是 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 8 000 万次,并兼顾了一般的标量运算。1983 年研制成功的 Cray X-MP 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。这些却是 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,所以不少单位展开了性能更高的巨型机的研究工作。后来微处理器的发展为阵列结构的巨型机发展带来了希望。例如,古德伊尔公司为美国国家航空航天局(NASA)研制了一台处理卫星图像的计算机 MPP,该机由 16 384 个微处理器组成  $128 \times 128$  方阵。这种采用并行处理技术的多处理器系统是巨型机发展的一个重要方面,称为小巨型机。

2009 年 10 月,国防科技大学成功研制出峰值为每秒千万亿次的巨型机“天河一号”(见图 1-3),它标志着我国是全球掌握千万亿次巨型机技术的第二个国家。每秒千万亿次的速度意味着,“天河一号”24 小时的信息处理工作量,如果用现在最先进的双核高性能 PC 来操作,需要整整 160 年才能完成。“天河一号”的存储量,则相当于 4 个国家图书馆藏书量之和。

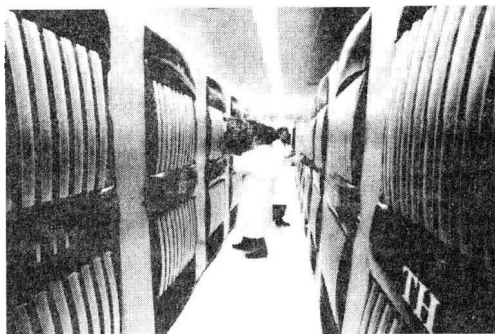


图 1-3 科研人员在调试“天河一号”巨型机

## 2. 大型机

大型计算机是计算机中的一种,作为大型商业服务器,应用范围较广。它们一般用于大型事务处理系统,特别是过去完成的且不值得重新编写的数据库应用系统方面,其应用软件成本通常是硬件本身成本的好几倍。

大型机是反映各个时期先进计算技术的大型通用计算机,其中以 IBM 公司的大型机系列影响最大。20 世纪 60 年代到 80 年代,信息处理主要是主机系统加终端(大型机)的集中式数据处理方式,如美国的大型航空公司订票系统等。进入 20 世纪 80 年代以后,随着微机性能的极大提高和网络技术的普及,客户机/服务器(client/server,C/S)模式技术得以飞速发展并普及,大型机的作用曾一度受到怀疑。

20 世纪 90 年代后,随着企业规模的扩大与信息技术的发展,很多采用 C/S 模式的用户发现,这种系统的管理极为复杂、运营成本高、安全可靠难以保证。企业需要开放的、安全的大型服务器作为计算平台,由于只有大型机才具有高可靠性、高安全性、高吞吐能力、高可扩展性、防病毒以及防黑客的能力。与此同时,大型机的性能在不断提高,成本不断下降,于是大型机被广泛应用。

20 世纪 90 年代 IBM 推出的大型机系列为 IBM S/390 系列,并不断推出新产品,ES/9000 是 S/390 系列中的知名产品之一,1997 年的主流产品是 9672 系列。1997 年 6 月推出的 S/390 第四代产品采用 CMOS 工艺,从而减小了功耗,提高了芯片的集成度;1998 年 5 月, S/390 第五代产品问世,主机速度达到每秒 10 亿次。近年来 S/390 的销售量大幅增加,并取得显著成绩。IBM S/390 不仅仍保持与 IBM 360、IBM 370 的兼容,还包含了许多新特点,如良好的开放性、并行计算环境等,被广泛用于企业服务器。至今 IBM 针对大型机的软件服务依然是其利润的重要来源。

2000 年后,IBM 推出 Z/Architecture 架构主机,目前 Z 系列主机的旗舰产品为 Z990。这一体系用来减少由于缺少可寻址的内存而产生的瓶颈,并通过智能资源导向器(intelligent resource director,IRD),自动将资源分配给高优先级的工作。Z/Architecture TM 是 ESA/390 的 64 位扩展机。Z990 利用新的超标量体系结构的微型处理器和 CMOS9S-SOI 技术,进一步扩展并集成了主要的平台特性。例如,混合和无法预测的负载环境中的动态灵活分区和资源管理,为新兴的电子商务应用(如 IBM WebSphere TM、Java TM 和 Linux 应用)提供了可靠的实时平台。

### 3. 小型机

小型机规模小、结构简单,所以设计试制周期短,便于及时采用先进工艺,其生产量大,硬件成本低,同时软件比大型机简单,所以软件成本也低。再加上小型机具有易操作、易维护和可靠性高等特点,使得管理机器和编写程序都比较简单,因而得以迅速推广,掀起了一个计算机普及应用的浪潮。DEC 公司的 PDP-11 系列是 16 位小型机的代表,20 世纪 70 年代中期,32 位高档小型机开始兴起,DEC 公司的 VAXII/780 于 1978 年开始生产,应用极为广泛。VAXII 系列与 PDP-11 系列是兼容的。20 世纪 80 年代以后,精简指令系统计算机(RISC)问世,使小型机性能大幅度提高。

小型机的出现打开了计算机在控制领域应用的局面,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进行自动控制。

小型机还广泛应用于工程设计、科学计算、信号处理、图像处理、企业管理以及在 C/S 结构中用做服务器等。

### 4. 微型机

微型机的出现与发展,掀起了计算机普及的浪潮。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,它于 1971 年问世。1978 年,Intel 开发的 Intel 8086 CPU 是第一个商业化成功的 16 位微处理器。1985 年,32 位微处理器 Intel 80386 问世,与原来的产品相比较,除了提高主频速度外,还将原芯片外的有关电路集成到片内。

32 位微处理器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,个人计算机热潮兴起。最早出现的是 Apple 公司的 Apple II 型微机,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,该机采用 Intel 8088 微处理器和 Microsoft 公司的 MS-DOS 操作系统,IBM 公司还公布了 IBM PC 的总线结构与技术规范,这些开放措施为微型计算机的大规模生产奠定了基础。后来又推出了扩充性能的 IBM PC/XT、IBM PC/AT 以及 386、486 和 Pentium 等多种机型。由于个人计算机具有设计先进、软件丰富、功能齐全、价格便宜和开放性等特点,很快成为微型机市场的主流。国内外有不少厂家相继生产了与 IBM 兼容的个人计算机及其配套的板级产品和外围设备。

微型机向小型化发展而出现的便携机(膝上型、笔记本型和掌上型),在 20 世纪 90 年代获得迅速发展。

与此同时,个人计算机走向家庭,并向多媒体方向发展,这就是家用计算机和多媒体计算机。

### 5. 工程工作站

工程工作站是 20 世纪 80 年代兴起的面向广大工程技术人员的计算机系统,一般具有高分辨率的显示器、交互式的用户界面和功能齐全的图形软件。工程工作站开始集中应用于各种工程方面的计算机辅助设计,如集成电路设计、机械设计、土木建筑设计等。Apollo 公司和 Sun 公司主要从事工作站的研制与生产工作。开始都采用 Motorola 的微处理器芯片,后来改用 RISC 微处理器。

1987 年以后,工作站普遍采用 32 位/64 位 RISC 微处理器,不仅处理速度快,而且具有