



高等院校规划教材

季福坤 主 编  
荆淑霞 杨 彬 副主编

# 计算机组织与系统结构

注重学科体系的完整性，兼顾考研学生需要  
强调理论与实践相结合，注重培养专业技能



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

21 世纪高等院校规划教材

# 计算机组织与系统结构

季福坤 主 编

荆淑霞 杨 彬 副主编

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书内容涉及计算机组成和计算机体系结构。全书共 8 章, 主要内容包括: 计算机系统概述、计算机体系结构、计算机中的数值运算与运算器、计算机的存储器系统、指令系统、控制器、外部设备与输入/输出系统、计算机系统结构的发展趋势等。

本书针对应用型本科的特点组织编写, 注重先进性、实用性, 以教授基础知识和基本技能为主, 但不忽视基本理论, 既有一定的知识深度, 又突出实用技能, 并跟踪最新技术, 在介绍了计算机的一般原理的同时注意与实际应用相结合。全书从简单的系统概念引入, 进而详细剖析各个组成部分, 最后又形成完整的体系结构。内容充实、概念清晰、语言简洁、重点突出, 每章后均附有习题, 便于教学与自学。

本书适合作为应用型本科计算机及相关专业的教材, 也可供成人高校、高职高专院校计算机及相关专业教学选用, 还可作为成人自学考试的参考书。

本书配有电子教案, 可从中国水利水电出版社网站下载, 网址为 [www.waterpub.com.cn/softdown/](http://www.waterpub.com.cn/softdown/)。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组织与系统结构 / 季福坤主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2006  
(21 世纪高等院校规划教材)  
ISBN 7-5084-3787-X

I. 计... II. 季... 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 (2006) 第 048196 号

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名   | 计算机组织与系统结构                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 作 者   | 季福坤 主 编 荆淑霞 杨 彬 副主编                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 出版 发行 | 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:mchannel@263.net">mchannel@263.net</a> (万水)<br><a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a><br>电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点 |
| 经 售   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 排 版   | 北京万水电子信息有限公司                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 印 刷   | 北京市天竺颖华印刷厂                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 规 格   | 787mm×1092mm 16 开本 15.25 印张 371 千字                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 版 次   | 2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 印 数   | 0001—4000 册                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 定 价   | 24.00 元                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换  
版权所有·侵权必究

## 序

随着计算机科学与技术的飞速发展,计算机的应用已经渗透到国民经济与人们生活的各个角落,正在日益改变着传统的人类工作方式和生活方式。在我国高等教育逐步实现大众化后,越来越多的高等院校会面向国民经济发展的第一线,为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为了大力推广计算机应用技术,更好地适应当前我国高等教育的跨越式发展,满足我国高等院校从精英教育向大众化教育的转变,符合社会对高等院校应用型人才培养的各类要求,我们成立了“21世纪高等院校规划教材编委会”,在明确了高等院校应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下,组织编写了本套“21世纪高等院校规划教材”。

众所周知,教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱及基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索和建设适应新世纪我国高等院校应用型人才培养体系需要的配套教材已经成为当前我国高等院校教学改革和教材建设工作面临的紧迫任务。因此,编委会经过大量的前期调研和策划,在广泛了解各高等院校的教学现状、市场需求,探讨课程设置、研究课程体系的基础上,组织一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的工程实践能力的学术带头人、科研人员和主要从事该课程教学的骨干教师编写出一批有特色、适用性强的计算机类公共基础课、技术基础课、专业及应用技术课的教材以及相应的教学辅导书,以满足目前高等院校应用型人才培养的需要。本套教材消化和吸收了多年来已有的应用型人才探索与实践成果,紧密结合经济全球化时代高等院校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新。教材编写采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批地启动编写计划,编写大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论,以确保该套教材的高质量和实用性。

教材编委会分析研究了应用型人才与研究型人才在培养目标、课程体系和内容编排上的区别,分别提出了3个层面上的要求:在专业基础类课程层面上,既要保持学科体系的完整性,使学生打下较为扎实的专业基础,为后续课程的学习做好铺垫,更要突出应用特色,理论联系实际,并与工程实践相结合,适当压缩过多过深的公式推导与原理性分析,兼顾考研学生的需要,以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法;在程序设计类课程层面上,把握程序设计方法和思路,注重程序设计实践训练,引入典型的程序设计案例,将程序设计类课程的学习融入案例的研究和解决过程中,以学生实际编程解决问题的能力为突破口,注重程序设计算法的实现;在专业技术应用层面上,积极引入工程案例,以培养学生解决工程实际问题的能力为突破口,加大实践教学内容的比重,增加新技术、新知识、新工艺的内容。

本套规划教材的编写原则是:

在编写中重视基础,循序渐进,内容精炼,重点突出,融入学科方法论内容和科学理念,反映计算机技术发展要求,倡导理论联系实际和科学的思想方法,体现一级学科知识组织的层次结构。主要表现在:以计算机学科的科学体系为依托,明确目标定位,分类组织实施,兼容互补;理论与实践并重,强调理论与实践相结合,突出学科发展特点,体现

学科发展的内在规律；教材内容循序渐进，保证学术深度，减少知识重复，前后相互呼应，内容编排合理，整体结构完整；采取自顶向下设计方法，内涵发展优先，突出学科方法论，强调知识体系可扩展的原则。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 面向应用型高等院校，在保证学科体系完整的基础上不过度强调理论的深度和难度，注重应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在课程体系方面打破传统的研究型人才培养体系，根据社会经济发展对行业、企业的工程技术需要，建立新的课程体系，并在教材中反映出来。

(2) 教材的理论知识包括了高等院校学生必须具备的科学、工程、技术等方面的要求，知识点不要求大而全，但一定要讲透，使学生真正掌握。同时注重理论知识与实践相结合，使学生通过实践深化对理论的理解，学会并掌握理论方法的实际运用。

(3) 在教材中加大能力训练部分的比重，使学生比较熟练地应用计算机知识和技术解决实际问题，既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生思考问题、解决问题的能力。

(4) 教材采用“任务驱动”的编写方式，以实际问题引出相关原理和概念，在讲述实例的过程中将本章的知识点融入，通过分析归纳，介绍解决工程实际问题的思想和方法，然后进行概括总结，使教材内容层次清晰，脉络分明，可读性、可操作性强。同时，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。

(5) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进，举一反三，突出重点，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据各校的教学计划在内容上适当加以取舍。此外还注重了配套教材的编写，如课程学习辅导、实验指导、综合实训、课程设计指导等，注重多媒体的教学方式以及配套课件的制作。

(6) 大部分教材配有电子教案，以使教材向多元化、多媒体化发展，满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 [www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn) 下载。此外还提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套规划教材凝聚了众多长期在教学、科研一线工作的教师及科研人员的教学科研经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。本套规划教材适用于应用型高等院校各专业，也可作为本科院校举办的应用技术专业的课程教材，此外还可作为职业技术学院和民办高校、成人教育的教材以及从事工程应用的技术人员的自学参考资料。

我们感谢该套规划教材的各位作者为教材的出版所做出的贡献，也感谢中国水利水电出版社为选题、立项、编审所做出的努力。我们相信，随着我国高等教育的不断发展和高校教学改革的不深入，具有示范性并适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等院校教学质量的提高。

我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见，以便进一步修订，使该套规划教材不断完善。

21 世纪高等院校规划教材编委会

2004 年 8 月

# 前 言

《计算机组织与系统结构》是为应用型本科计算机科学与技术专业及相关专业编写的教材。根据“21 世纪高等院校规划教材”的编写原则和指导思想，书中的内容及组织方法直接面向应用型本科院校人才培养目标和培养模式。

“计算机组织与系统结构”是高等学校相关专业中理论性强且又与实际结合密切的一门课程，内容宽泛，基本概念多，较为抽象，初学者会觉得难度较大。本书根据作者多年的经验，吸取了众多优秀教材尤其是国外最新教材的精华，组织了书中的基本内容。全书内容由浅入深，从简单的系统概念引入，使读者能够初步建立起整机系统的概念，进而详细剖析各个组成部分，最后又形成完整的体系结构。内容充实、概念清晰、重点突出、语言简洁，每章之后均附有习题，便于教学与自学。

全书共分 8 章，内容涉及计算机组成和计算机体系结构。第 1 章对计算机系统的组成及常用概念进行阐述，为后续章节的学习打下基础；第 2 章对计算机指令系统与汇编语言、基本的计算机组成、总线结构、时钟与指令周期、CPU 的组成、存储器系统组成与接口、输入/输出系统及接口等作了进一步介绍并给出了一个简单的计算机模型，给读者建立起一个计算机系统的整体概念；第 3 章重点介绍计算机中数值数据的表示方法以及如何用硬件实现数值运算；第 4 章主要讲述存储器的基本概念、计算机中的存储器系统、半导体存储器的基本原理及内存储器的扩展，以及高速缓冲存储器和虚拟存储器的原理与应用；第 5 章介绍指令系统的功能分类、指令的格式、寻址方式、指令的执行过程和指令的执行方式；第 6 章重点介绍控制器的工作原理、时序的概念、控制器的实现方式；第 7 章对计算机各大组成部分进行了详细分析与论述，使读者在系统的概念上对计算机各部分的工作机理进行详细的学习与研究，有的小节还给出了一些实例加以对照；第 8 章又一次给出了系统的概念，读者能够在详细研究了计算机组成的各部分原理的基础上，在更高的层面上对系统进行认识，同时介绍了当今计算机界对计算机体系结构的最新研究结果。

本书针对应用型本科的特点组织编写，内容立足于计算机专业，兼顾非计算机专业，注重先进性、实用性，以教授基础知识和基本技能为主，但不忽视基本理论，既有一定的知识深度，又突出实用技能，并跟踪最新技术。

本书由季福坤主编，荆淑霞、杨彬任副主编。各章主要编写人员分工如下：第 1 章至第 3 章由杨彬编写，第 4 章和第 5 章由荆淑霞编写，第 6 章、第 8 章由季福坤编写，第 7 章由曲凤娟编写。另外参加本书编写的还有安志远、杨立、邓振杰、苏英如、张景峰、韩煜、王振夺、康宏、刘剑、刘静、刘一霖、胡斌等，全书由季福坤统稿。

在本书的编写过程中，编者参考了很多相关书籍和大量的技术资料，采用了一些内容，对此在参考文献及相关章节的标注中给出了说明。我们是在吸取了很多同仁的宝贵经验的基础上完成的该书稿，在此表示感谢。

在本书的编写过程中，作者尽可能地作了一些探索，尤其是在方便教师处理教材和讲授等方面，而且力求反映计算机科学的最新技术。但由于时间仓促及作者的水平所限，加之计算机技术发展日新月异，书中错误和不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。作者 E-mail: jifk\_1108@sina.com 或 jifk@nciae.edu.cn

编 者  
2006 年 1 月

# 目 录

序

前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 计算机系统概论 .....       | 1  |
| 本章学习目标 .....              | 1  |
| 1.1 电子计算机与存储程序控制 .....    | 1  |
| 1.1.1 存储程序概念 .....        | 1  |
| 1.1.2 计算机的硬件组成 .....      | 2  |
| 1.2 计算机系统 .....           | 6  |
| 1.2.1 计算机软件基本概念 .....     | 6  |
| 1.2.2 计算机系统的多层次结构 .....   | 9  |
| 1.3 计算机的工作过程与性能 .....     | 10 |
| 1.3.1 计算机的工作过程 .....      | 10 |
| 1.3.2 计算机系统的性能评价 .....    | 11 |
| 1.4 计算机系统结构 .....         | 12 |
| 1.4.1 系统结构概念 .....        | 12 |
| 1.4.2 计算机组成和系统结构 .....    | 13 |
| 1.4.3 大中型计算机系统的典型结构 ..... | 13 |
| 习题 .....                  | 14 |
| 第 2 章 计算机体系结构 .....       | 15 |
| 本章学习目标 .....              | 15 |
| 2.1 计算机指令系统与汇编语言 .....    | 15 |
| 2.1.1 计算机指令与汇编语言 .....    | 15 |
| 2.1.2 指令系统初步 .....        | 16 |
| 2.2 基本的计算机组成 .....        | 18 |
| 2.2.1 总线结构 .....          | 18 |
| 2.2.2 计算机的时钟与指令周期 .....   | 19 |
| 2.3 CPU 的组成 .....         | 21 |
| 2.4 存储器组成系统与接口 .....      | 23 |
| 2.4.1 半导体存储器芯片的内部组成 ..... | 25 |
| 2.4.2 存储器子系统的配置 .....     | 26 |
| 2.4.3 多字节数据的组成 .....      | 27 |
| 2.5 输入/输出系统及接口电路 .....    | 28 |



|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 2.6 一个简单的计算机模型 .....                | 31        |
| 2.7 基于 Intel 8086/8088 的计算机系统 ..... | 33        |
| 习题 .....                            | 35        |
| <b>第 3 章 计算机中的数值运算与运算器 .....</b>    | <b>36</b> |
| 本章学习目标 .....                        | 36        |
| 3.1 数值数据的表示 .....                   | 36        |
| 3.1.1 机器数和真值 .....                  | 36        |
| 3.1.2 原码表示法 .....                   | 37        |
| 3.1.3 补码表示法 .....                   | 38        |
| 3.1.4 反码表示法 .....                   | 39        |
| 3.1.5 三种码制的比较与转换 .....              | 40        |
| 3.2 数的定点表示与浮点表示 .....               | 41        |
| 3.2.1 定点表示法 .....                   | 41        |
| 3.2.2 浮点表示法 .....                   | 43        |
| 3.2.3 浮点数阶码的移码表示法 .....             | 44        |
| 3.2.4 实用浮点数举例 .....                 | 45        |
| 3.3 数值运算 .....                      | 46        |
| 3.3.1 定点四则运算 .....                  | 46        |
| 3.3.2 浮点四则运算 .....                  | 53        |
| 3.4 算术逻辑运算单元 ALU .....              | 57        |
| 3.4.1 ALU 电路 .....                  | 58        |
| 3.4.2 加法器与进位链电路 .....               | 61        |
| 习题 .....                            | 65        |
| <b>第 4 章 计算机的存储系统 .....</b>         | <b>66</b> |
| 本章学习目标 .....                        | 66        |
| 4.1 存储器概述 .....                     | 66        |
| 4.1.1 存储器的作用 .....                  | 66        |
| 4.1.2 存储器分类 .....                   | 67        |
| 4.1.3 存储器的层次结构 .....                | 69        |
| 4.2 半导体存储器 .....                    | 70        |
| 4.2.1 半导体存储器的性能指标及分类方法 .....        | 70        |
| 4.2.2 随机存取存储器 .....                 | 71        |
| 4.2.3 DRAM 的刷新 .....                | 75        |
| 4.2.4 只读存储器 .....                   | 77        |
| 4.3 主存储器与 CPU 的连接 .....             | 80        |
| 4.3.1 主存容量扩展 .....                  | 80        |
| 4.3.2 存储器地址与片选信号 .....              | 82        |

|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| 4.3.3        | 存储器与 CPU 的连接 .....   | 84         |
| 4.4          | 双端口存储器和并行存储器 .....   | 87         |
| 4.4.1        | 双端口存储器 .....         | 87         |
| 4.4.2        | 并行主存储器 .....         | 87         |
| 4.5          | 高速缓冲存储器 .....        | 90         |
| 4.5.1        | 高速缓冲存储器的工作原理 .....   | 90         |
| 4.5.2        | 地址映像与变换方法 .....      | 92         |
| 4.5.3        | 替换策略 .....           | 97         |
| 4.5.4        | Cache 的写操作策略 .....   | 99         |
| 4.6          | 虚拟存储器 .....          | 100        |
| 4.6.1        | 虚拟存储器的基本概念 .....     | 100        |
| 4.6.2        | 页式虚拟存储器 .....        | 101        |
| 4.6.3        | 段式虚拟存储器 .....        | 103        |
| 4.6.4        | 段页式虚拟存储器 .....       | 104        |
| 4.7          | 辅助存储器 .....          | 106        |
| 4.7.1        | 概述 .....             | 106        |
| 4.7.2        | 硬磁盘存储器 .....         | 108        |
| 4.7.3        | 软磁盘存储器 .....         | 111        |
| 4.7.4        | 光盘存储器 .....          | 112        |
| 4.8          | 磁盘阵列 (RAID) 技术 ..... | 114        |
| 4.9          | 闪速存储器 .....          | 115        |
| 4.9.1        | 概述 .....             | 115        |
| 4.9.2        | 闪速存储器的结构及工作原理 .....  | 116        |
| 4.9.3        | 闪存的应用 .....          | 117        |
|              | 习题 .....             | 117        |
| <b>第 5 章</b> | <b>指令系统 .....</b>    | <b>119</b> |
|              | 本章学习目标 .....         | 119        |
| 5.1          | 指令系统的发展与性能要求 .....   | 119        |
| 5.1.1        | 指令系统的发展 .....        | 119        |
| 5.1.2        | 对指令系统的性能的要求 .....    | 120        |
| 5.2          | 基本概念 .....           | 120        |
| 5.2.1        | 基本概念 .....           | 120        |
| 5.2.2        | 机器指令的基本格式 .....      | 121        |
| 5.3          | 寻址方式 .....           | 122        |
| 5.3.1        | 编址方式 .....           | 122        |
| 5.3.2        | 寻址方式 .....           | 123        |
| 5.4          | 堆栈与堆栈操作 .....        | 127        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 5.4.1 堆栈结构 .....               | 127        |
| 5.4.2 堆栈的应用 .....              | 128        |
| 5.5 指令类型 .....                 | 128        |
| 5.5.1 数据传送类指令 .....            | 129        |
| 5.5.2 运算类指令 .....              | 129        |
| 5.5.3 程序控制类指令 .....            | 131        |
| 5.5.4 字符串处理指令 .....            | 134        |
| 5.5.5 输入/输出类指令 .....           | 134        |
| 5.6 指令执行过程和方式 .....            | 134        |
| 5.6.1 指令执行的基本过程 .....          | 134        |
| 5.6.2 指令执行方式 .....             | 136        |
| 习题 .....                       | 139        |
| <b>第6章 控制器</b> .....           | <b>141</b> |
| 本章学习目标 .....                   | 141        |
| 6.1 控制器概述 .....                | 141        |
| 6.1.1 控制器的基本组成 .....           | 141        |
| 6.1.2 控制器的实现 .....             | 143        |
| 6.2 组合逻辑控制与时序系统 .....          | 144        |
| 6.2.1 指令周期 .....               | 144        |
| 6.2.2 指令的微操作序列 .....           | 146        |
| 6.2.3 时序发生器与控制方式 .....         | 148        |
| 6.2.4 组合逻辑控制器 .....            | 151        |
| 6.3 微程序控制器 .....               | 159        |
| 6.3.1 微程序控制的基本概念 .....         | 159        |
| 6.3.2 微指令编码法 .....             | 161        |
| 6.3.3 微程序控制器的组成与工作原理 .....     | 162        |
| 6.3.4 微程序设计与执行 .....           | 165        |
| 6.4 并行处理 CPU 与流水线技术 .....      | 167        |
| 6.4.1 并行处理技术 .....             | 167        |
| 6.4.2 流水线技术 .....              | 168        |
| 6.5 精简指令系统计算机 RISC .....       | 171        |
| 6.5.1 从 CISC 到 RISC .....      | 171        |
| 6.5.2 RISC 的主要特征 .....         | 172        |
| 6.6 Intel Pentium CPU .....    | 173        |
| 6.6.1 Pentium 简介 .....         | 173        |
| 6.6.2 Pentium 处理器的结构及其特点 ..... | 176        |
| 习题 .....                       | 178        |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第7章 外部设备与输入/输出系统</b> | 181 |
| 本章学习目标                  | 181 |
| 7.1 外部设备概述              | 181 |
| 7.1.1 外部设备的分类           | 181 |
| 7.1.2 外部设备的地位和作用        | 182 |
| 7.2 主机与外设的连接            | 183 |
| 7.2.1 输入/输出接口           | 183 |
| 7.2.2 外设的识别与端口寻址        | 184 |
| 7.2.3 输入/输出控制方式         | 185 |
| 7.3 程序查询方式及接口           | 186 |
| 7.3.1 程序查询方式            | 186 |
| 7.3.2 程序查询方式接口          | 186 |
| 7.3.3 程序查询输入/输出方式       | 187 |
| 7.4 中断控制方式              | 188 |
| 7.4.1 中断的基本概念           | 188 |
| 7.4.2 中断判优              | 190 |
| 7.4.3 中断响应              | 192 |
| 7.4.4 中断处理和返回           | 193 |
| 7.4.5 多重中断与中断屏蔽         | 193 |
| 7.5 DMA 方式              | 194 |
| 7.5.1 DMA 方式的基本概念       | 194 |
| 7.5.2 DMA 接口            | 195 |
| 7.5.3 DMA 传送方法与传送过程     | 197 |
| 7.5.4 基本的 DMA 控制器       | 198 |
| 7.6 通道控制方式              | 199 |
| 7.6.1 通道的基本概念           | 199 |
| 7.6.2 通道的类型与结构          | 200 |
| 7.6.3 通道程序及工作过程         | 202 |
| 7.7 系统总线及结构             | 204 |
| 7.7.1 总线的接口及数据传输模式      | 204 |
| 7.7.2 常用的总线标准           | 207 |
| 习题                      | 210 |
| <b>第8章 计算机系统结构的发展趋势</b> | 211 |
| 本章学习目标                  | 211 |
| 8.1 概论                  | 211 |
| 8.2 多处理机系统              | 212 |
| 8.2.1 多处理机系统的特点与分类      | 212 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 8.2.2 多处理机系统的 Cache 一致性问题 ..... | 215 |
| 8.3 机群系统 .....                  | 216 |
| 8.3.1 机群系统的特点 .....             | 216 |
| 8.3.2 机群系统的关键技术 .....           | 217 |
| 8.4 网格计算技术 .....                | 218 |
| 8.4.1 网格概论 .....                | 218 |
| 8.4.2 网格的发展 .....               | 220 |
| 8.4.3 网格研究现状 .....              | 221 |
| 8.4.4 网格相关组织 .....              | 224 |
| 8.4.5 网格展望 .....                | 224 |
| 8.5 计算机体系结构的研究 .....            | 225 |
| 8.5.1 SoC-芯片上的系统 .....          | 225 |
| 8.5.2 高生产率计算机 .....             | 227 |
| 8.5.3 Intel 公司的新产品与技术 .....     | 229 |
| 习题 .....                        | 231 |
| 参考文献 .....                      | 232 |

# 第 1 章 计算机系统概论

## 本章学习目标

本章将介绍计算机存储程序控制的概念，重点讲解计算机的硬件和软件组成、计算机的工作过程以及计算机的系统结构。通过本章的学习，应该重点掌握和理解以下内容：

- 掌握存储程序控制的概念
- 掌握计算机硬件、软件的基本概念以及它们之间的关系
- 了解计算机的工作过程、性能评价
- 掌握计算机的组成和系统结构
- 了解大中型计算机的典型结构

## 1.1 电子计算机与存储程序控制

1946 年 2 月，以 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) 命名的世界上第一台电子计算机诞生了。它是在美国陆军部的主持下，由美国宾西法尼亚大学设计研制出来的。电子计算机是一种不需要人工直接干预，能够自动、高速、准确地对各种信息进行处理和存储的电子设备。从今天的角度来看，ENIAC 的性能并不好，但是它的历史意义远远超出其实用价值，它是科学发展史上一个重要的里程碑，揭开了计算机时代的序幕。从第一台电子计算机诞生至今，随着计算机逻辑元件的不断发展，把电子计算机分为电子管、晶体管、集成电路及大规模集成电路、超大规模集成电路四个发展阶段，称为四代。现在正在研制第五代计算机——人工智能计算机，第五代计算机是具有智能的知识信息处理系统，实现对自然语言、图形、图像与文字的综合处理，能积累知识，总结经验，具有再学习的能力。

### 1.1.1 存储程序概念

第一台计算机 ENIAC 存在着存储量极小、用线路连接的方法编排程序等缺点，因此需要人工改变接线来解题，准备时间大大超过了实际计算时间。

针对这一问题，美籍匈牙利数学家约翰·冯·诺依曼 (John Von Neumann) 等人于 1946 年 6 月在一篇题为《关于电子计算机仪器逻辑设计的初步探讨》的报告中，首次提出了“存储程序控制”的概念，其内容可以概括为以下三点：

(1) 计算机由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件组成。运算器是计算机的中心，能进行加、减、乘、除等基本运算以及附加操作。存储器能存放指令和数据；控制器能自动执行指令；操作人员可以通过输入/输出设备与主机进行相互通信。输入/输出设备与存储器之间的数据传送都要经过运算器；存储器、输入/输出设备的操作以及它们之

间的联系是由控制器集中控制的。

(2) 计算机内部采用二进制数来表示指令和数据。在存储程序的计算机中, 数据和指令都是以二进制形式存储在存储器中的。从存储器存储的内容来看两者并无区别, 都是由 0 和 1 组成的代码序列, 只是各自约定的含义不同而已。计算机在读取指令时, 把从计算机读到的信息看作是指令; 而在读取数据时, 把从计算机读到的信息看作是操作数。数据和指令在软件编制中就已加以区分, 所以正常情况下两者不会产生混乱。有时我们也把存储在存储器中的数据和指令统称为数据, 因为程序信息本身也可以作为被处理的对象进行加工处理, 例如对程序进行编译就是将源程序当作被加工处理的对象。每条指令由操作码和地址码组成, 其中操作码用于表示操作类型, 地址码用来指出操作数和操作结果在主存储器中的位置。实现指定功能的一串指令组成了程序。

(3) 采用存储程序方式, 这是冯·诺依曼思想的核心内容。如前所述, 它意味着将事先编好的程序(包含指令和数据)存入主存储器中, 计算机在运行程序时就能自动地、连续地从存储器中依次取出指令并执行, 这就是“存储程序控制”的基本含义, 它是计算机能高速自动运行的基础。计算机的工作体现为执行程序, 计算机功能的扩展在很大程度上也体现为所存储程序的扩展。计算机的许多具体工作方式也是由此派生的。

冯·诺依曼计算机的这种工作方式可称为控制流(指令流)驱动方式, 即按照指令的执行序列依次读取指令, 然后根据指令所含的控制信息调用数据进行处理。因此在执行程序的过程中, 始终以控制信息流为驱动工作的因素, 而数据信息流则是被动地被调用处理。为了控制指令序列的执行顺序, 设置一个程序(指令)计数器 PC (Program Counter), 让它存放当前指令所在的存储单元的地址。如果程序现在是顺序执行的, 每取出一条指令后 PC 内容加 1, 指示下一条指令该从何处取得; 如果程序将转移到某处, 就将转移的目标地址送入 PC, 以便按新地址读取后继指令。所以, PC 就像一个指针, 一直指示着程序的执行进程, 也就是指示控制流的形成。虽然程序与数据都采用二进制代码, 但仍可按照 PC 的内容作为地址读取指令, 再按照指令给出的操作数地址去读取数据。由于多数情况下程序是顺序执行的, 所以大多数指令需要依次紧挨着存放, 除了个别即将使用的数据可以紧挨着指令存放外, 一般将指令和数据分别存放在该程序区的不同区域内。

上述这些概念奠定了现代计算机的基本结构思想, 到目前为止, 绝大多数计算机仍沿用这一体制, 即冯·诺依曼型计算机体制。随着计算机技术的不断发展, 应用领域的逐步扩大, 目前已出现了一些突破冯·诺依曼结构的计算机, 统称为非冯·诺依曼结构计算机, 如数据驱动的数据流计算机、需求驱动的规约计算机和模式匹配驱动的智能计算机等。

### 1.1.2 计算机的硬件组成

根据“存储程序控制”的概念, 由运算器、存储器、控制器、输入设备、输出设备五大基本部件组成的计算机称为冯·诺依曼计算机, 其典型结构框图如图 1-1 所示, 图中实线表示数据线, 虚线表示控制线。

早期的冯·诺依曼计算机在结构上是以运算器为中心的, 但演变到现在, 已转向以存储器为中心了。图 1-2 所示为计算机最基本的组成框图。

通常将控制器和运算器合称为中央处理器 (Central Processing Unit, CPU), 中央处理器和主存储器一起组成主机部分, 除去主机以外的硬件装置(如输入/输出设备、外部存储器等)

称为外围设备或外部设备，简称外设。

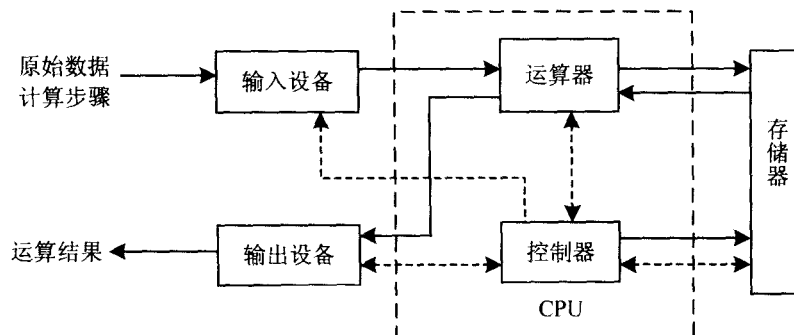


图 1-1 典型的冯·诺依曼计算机结构框图

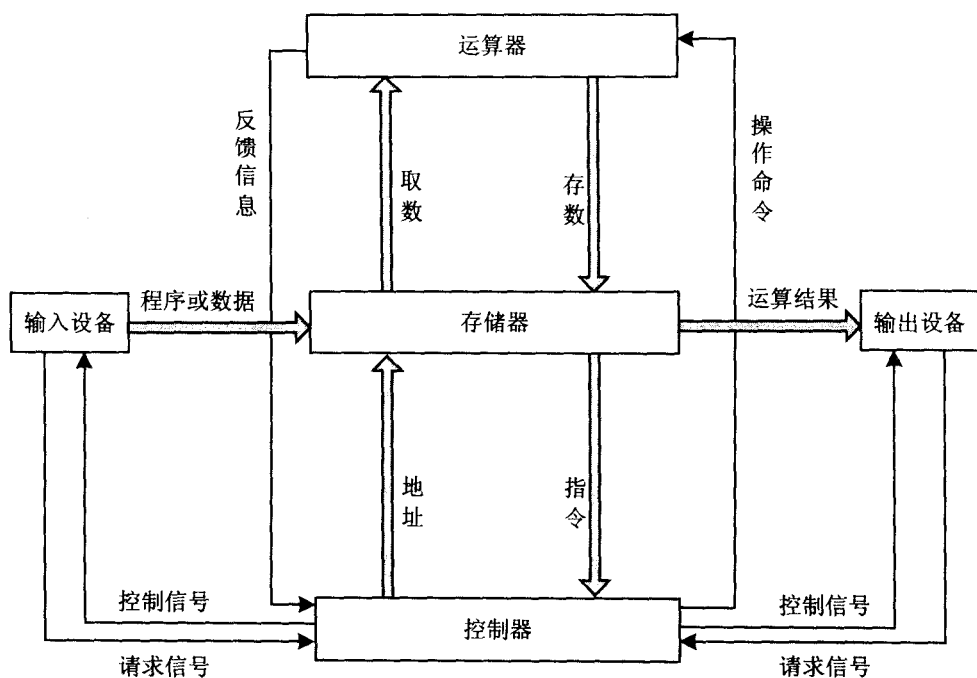


图 1-2 计算机最基本的组成框图

下面简单介绍计算机的五大功能部件。

### 1. 运算器

运算器是对数据信息进行处理部件，经常执行的运算是算术运算和逻辑运算，所以运算器又称为算术逻辑部件（Arithmetic and Logical Unit, ALU）。

算术运算包括加、减、乘、除及其复合运算，但最终都可归结为加法和移位两种基本操作，因此通常把加法器看作运算器的核心。逻辑运算一般指逻辑加、逻辑乘、逻辑反及异或操作等。

运算器中还有若干个通用寄存器，用来暂存操作数，并存放运算结果。寄存器的存取速



度比存储器的存储速度快得多。

在日常生活中，人们习惯于十进制数的运算，但是考虑到电子器件的特性，计算机中通常采用二进制数。二进制数以 2 为基数来计数，即“逢二进一”。在二进制数中，只有 0 和 1 两个数字。1 和 0 可以用电压的高低、脉冲的有无来表示。这种电平的高低、脉冲的有无在电子器件中最容易实现，而且设备也最简单。

二进制数的运算规律非常简单，例如加法： $0+0=0$ ， $0+1=1$ ， $1+0=1$ ， $1+1=10$ ，最后一个加式中等号右边的“1”表示向上一位的进位。又如乘法： $0\times 0=0$ ， $0\times 1=0$ ， $1\times 0=0$ ， $1\times 1=1$ 。正是由于二进制数运算规律简单，在电子器件中比较容易实现，因此在电子计算机中广泛采用二进制数。

二进制数和十进制数一样，在运算中，当数的位数越多时，计算的精度就越高。从理论上讲，数的位数可以任意多，但是位数越多，所需的电子器件也越多。运算器一次运算二进制数的位数称为字长，目前常用的计算机字长有 8 位、16 位、32 位和 64 位。图 1-3 所示为运算器结构的示意图。

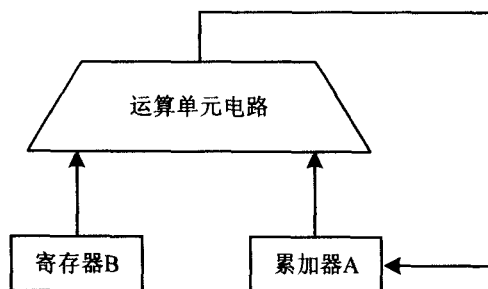


图 1-3 运算器结构示意图

## 2. 存储器

存储器是用来存储程序和各种数据信息的记忆部件，是计算机能够实现“存储程序控制”的基础。

在计算机系统中，规模较大的存储器往往分为若干级，称为存储系统。如图 1-4 所示的是常见的三级存储系统。主存储器（简称主存或内存）可以和 CPU 直接交换信息，存取速度快但容量较小，一般用来存放当前正在执行的程序和数据。辅助存储器（简称辅存或外存）设置主机外部，它的存储容量大，但存取速度较慢，一般用来存放暂时不参与运算的程序和数据，这些程序和数据在需要时可传送到主存，因此它是主存的补充和后援。当 CPU 速度很高时，为了使访问存储器的速度能与 CPU 的速度相匹配，可在主存和 CPU 之间增设一级 Cache（高速缓冲存储器）。Cache 的存取速度比主存更快，但容量更小，用来存放当前正在执行的程序中的活跃部分，以便快速地向 CPU 提供指令和数据。

主存的工作方式是按存储单元的地址存放或读取各类信息的。主存由若干存储单元组成，每个单元可存放一串若干位的二进制码表示的信息。该信息的总位数称为一个存储单元的字长。全部存储单元统一编号，称为存储单元的地址。注意，要把存储单元的地址和存储单元里存放的内容（指令和数据）区分开，存储单元地址只有一个，是固定不变的，而存储在其中的信息是可以更换的。