HZ BOOKS
华章教育

高等院校计算机教材系列

COMPUTER ORGANIZATION AND ARCHITECTURE

计算机组成与结构

袁静波 丁顺利 宋欣 王和兴 编著

机械工业出版社
China Machine Press

COMPUTER ORGANIZATION AND ARCHITECTURE

计算机组成与结构

袁静波 丁顺利 宋欣 王和兴 编著

机械工业出版社
China Machine Press

本书系统地讲解了计算机组成与结构的基础知识及工作原理。全书共8章，主要内容包括：计算机系统概述、运算方法和运算器、存储系统、指令系统、中央处理器、总线、输入/输出系统、流水线与多处理机。

全书内容全面，层次分明，结构合理，概念清楚，例题丰富，可作为高等学校计算机科学与技术、软件工程、网络工程和信息技术等专业“计算机组成原理”、“计算机组成原理与系统结构”课程的教材，以及研究生入学考试的参考教材，也可供从事计算机相关工作的科技人员及各类自学人员学习参考。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问　北京市展达律师事务所

图书在版编目（CIP）数据

计算机组成与结构 / 袁静波等　编著．—北京：机械工业出版社，2011.8
（高等院校计算机教材系列）

ISBN 978-7-111-35501-4

Ⅰ．计…　Ⅱ．袁…　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（2011）第151383号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号　邮政编码　100037）
责任编辑：王春华　李　荣
北京诚信伟业印刷有限公司印刷
2011年9月第1版第1次印刷
185mm×260mm・21.25印张
标准书号：ISBN 978-7-111-35501-4
定价：36.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
客服热线：（010）88378991；88361066
购书热线：（010）68326294；88379649；68995259
投稿热线：（010）88379604
读者信箱：hzjsj@hzbook.com

前言

“计算机组成原理”是计算机专业的主干课程，也是其他相关专业学生掌握计算机应用技术的一门专业基础课程。本书以冯·诺伊曼机结构为主线，比较全面地介绍了计算机硬件系统的工作原理和组成结构。同时，为了适应部分高校新教学计划的要求，以计算机组成原理为重点，将“计算机组成原理”和“计算机系统结构”两门课程内容有机地整合在一起，旨在加深读者对计算机硬件系统的整体化理解，增强对学生的计算机系统设计能力的培养。

作者在查阅了大量国内外相关教材及参考书的基础上，结合自己多年教学经验编写了本书，力求做到内容全面、概念清楚、结构合理。本教材对计算机主要部件的基本概念、基本组成和基本原理进行了较详细的描述，并尽可能用通俗易懂的语言和图表进行讲解，以减少读者在学习过程中的困难。

本教材具有如下特点：

1）突出计算机组成的一般原理，强调系统性，重视功能部件的性能分析。精心设计教学内容，使读者能够运用计算机组成的基本原理和基本方法，对有关计算机硬件系统中的理论问题与实际问题进行计算、综合分析和设计。

2）重视各章主要知识点及重点、难点内容的指导。本书为保证读者在各章节完整的学习之后，对本章的主要知识点、重点和难点有更清晰的理解，在每章的小结中，采用了表格的形式进行归纳说明，有利于抓住知识的核心部分，由面到点地梳理所学知识，形成系统的知识架构。

3）丰富的例题和设计实例。作者在编写本书时充分总结了自己多年从事计算机组成原理教学的经验，在全面介绍系统原理知识的同时，对难学、难理解的部分进行充分的解释和举例说明，将原本比较复杂、抽象的问题通过一些特定的实例进行阐述和分析。

4）结合考研大纲，整合教材内容。涵盖全国硕士研究生入学统一考试计算机科学与技术学科考研大纲的所有内容，并将部分考研试题融入到教材的例题与习题当中，有利于考研学生有针对性地学习，强化重点知识。

5）计算机组成与系统结构知识的有机结合。本书在重点阐述计算机组成原理的主要概念和基本原理的同时，兼顾了计算机系统结构的重点知识，有利于读者在学习过程中系统地、全面地理解计算机系统的组成、工作原理及设计。该教材的编写适应了部分高等院校硬件课程改革的需求。

本书的第1章、第4章、第5章由袁静波编写，第3章由丁顺利编写，第2章、第7章由宋欣编写，第6章、第8章由王和兴编写，全书由袁静波统稿。

在编写过程中参考了大量相关文献，在此向这些文献的作者表示感谢，同时感谢机械工业出版社的大力支持。

由于时间紧迫及水平有限，错误和不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正！

编　者

2011年8月

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

教学建议

课程学时建议在64～80学时，对各章的教学内容可作如下安排：

第1章　计算机系统概述（4～5学时）

教学内容：计算机的产生与发展；计算机的硬件系统；计算机的软件系统；计算机系统的层次结构；计算机系统结构的定义与分类；计算机组成、实现与结构之间的关系；计算机系统的主要性能指标；CPU性能分析。

教学要求：了解计算机器件的发展；了解计算机体系结构方面的基础知识；理解计算机的性能指标；理解计算机组成与体系结构、实现之间的关系；掌握计算机的硬件组成；掌握计算机系统的多级层次结构；掌握计算机系统性能分析方法。

第2章　运算方法与运算器（12～14学时，★）

教学内容：数据表示方法；定点数加减法运算及溢出判断方法；定点数乘除法运算；浮点数四则运算；加法器；ALU的组成与工作原理；定点运算器的组成和结构；浮点运算器的组成。

教学要求：了解浮点运算器的工作原理；了解一个典型的定点运算器芯片实例；理解数据的编码；理解定点数的补码一位除法和浮点数的乘除法运算；掌握数制及转换；掌握定点小数、整数、浮点数在计算机内的表示及特点；掌握补码加减法的运算规则；掌握定点数的算术运算方法；掌握浮点数的加减运算方法及特点；掌握加法器的基本设计；掌握算术逻辑单元的设计与工作原理；掌握运算器的功能与组成。本章的目标是在掌握运算方法和加法器设计的基础上，进行运算器的分析与设计。

第3章　存储系统（14～16学时，★）

教学内容：存储系统的层次结构；存储器的分类；主存储器分类与技术指标；随机存取存储器；只读存储器；硬磁盘存储设备；光盘存储设备；高速缓冲存储器；虚拟存储器；双端口存储器；多体交叉存储器；相联存储器。

教学要求：了解只读存储器、双端口存储器、多体交叉存储器及相联存储器的工作原理；理解外存储器（磁盘、光盘）的组成与工作原理；理解虚拟存储器的原理；掌握存储系统的层次结构及作用；掌握主存与CPU的连接及读/写过程；掌握随机存取存储器的存储原理及逻辑结构；掌握Cache存储器的工作过程、地址映像方法与替换策略；掌握存储系统性能

分析方法。本章的重点是主存的随机存取存储器与 Cache 的工作原理，在掌握各种存储器组成与原理的基础上，掌握整个存储系统的工作原理。

第 4 章　指令系统（4～6 学时，★）

教学内容：指令格式；指令和数据的寻址方式；指令的类型；典型指令系统介绍；CISC 与 RISC。

教学要求：了解 RISC 和 CISC 及它们的特点；理解指令的分类与应用；掌握指令系统的概念；掌握指令的格式与操作码扩展方法；掌握指令和数据的寻址方式。本章目标是在掌握指令格式设计和寻址方式的基础上，掌握指令系统综合分析与设计。

第 5 章　中央处理器（12～14 学时，★）

教学内容：CPU 的功能和基本结构；控制器的组成与功能；指令周期；时序产生器和时序控制方式；指令执行过程；组合逻辑控制器；微程序控制器；微程序设计技术。

教学要求：了解时序系统的作用与体制；了解控制器的控制方式；掌握中央处理器的功能与组成；掌握控制器的功能与组成；掌握 PC、IR、AR 等专用寄存器的作用；掌握指令周期的基本概念；掌握指令周期与指令流程设计；掌握组合逻辑控制器的组成与基本原理；掌握微程序控制器原理；掌握微程序设计技术。本章内容是课程的重点和难点，对掌握计算机整机工作原理至关重要。本章的目标是在掌握指令执行过程分析的基础上，能够进行简单的组合逻辑控制器和微程序控制器的设计。

第 6 章　总线（2～3 学时）

教学内容：总线的概念与类型；总线结构；总线的控制和通信；总线标准。

教学要求：了解总线通信方式和定时方式；了解典型总线的特点及应用；理解总线控制的原理与方法；掌握总线的工作原理、分类与性能指标；掌握单机系统的总线结构；掌握总线仲裁的集中控制方法。

第 7 章　输入/输出系统（6～8 学时，★）

教学内容：输入/输出系统；输入设备；输出设备；I/O 端口的编址方式；输入/输出接口；输入/输出控制方式（程序查询方式；程序中断方式；DMA 方式；通道方式；外围处理机方式）。

教学要求：了解输入/输出设备的分类与作用；了解外围处理机方式；理解输入/输出接口的组成与作用；理解字符显示器的显示原理；理解程序查询方式的特点与原理；理解通道方式的类型与原理；掌握 I/O 系统的作用；掌握 I/O 端口的编址方式；掌握中断处理全过程及中断判优逻辑；掌握 DMA 的传送方式与数据传送过程。

第 8 章　流水线与多处理机（8～10 学时）

教学内容：流水线概念；指令的重叠执行方式；先行技术；流水线性能指标与流水线性能分析；流水线相关性；非线性流水线调度；超标量处理机；超流水线处理机；向量处理机；互连网络；阵列处理机；多处理机。

教学要求：了解向量处理机、阵列处理机、多处理机的特点与组成；理解流水线相关性、超标量处理机与超流水线处理机等概念；掌握指令流水线概念及指令的重叠执行方式、流水线的分类、流水线性能指标、非线性流水线调度等内容；掌握多处理机之间相互连接的

简单互连网络。对于计算机组成原理和计算机体系结构分开开课的院校，这章内容可不讲或简单介绍，重点在流水线技术。

习题和习题课（2～4 学时）

本书主要章节都安排有若干综合例题，在教学过程中，教师可以结合教学内容，选择部分题目作为例题讲解。如有时间，可以安排 1 至 2 次习题课，尤其重视运算器设计、主存与 CPU 的连接、Cache 地址映像、指令系统设计与分析、微程序设计、多重中断等难点知识的练习。各章最后都附有习题，任课教师可以根据情况，给学生指定部分习题作为课外作业。

说明：★代表本课程的重点教学内容，教学时应加强这些内容的讲解与练习。

目 录

前言

教学建议

第 1 章　计算机系统概述 …… 1
1.1　计算机的发展 …… 1
1.2　计算机系统的组成 …… 3
1.2.1　硬件系统 …… 3
1.2.2　软件系统 …… 4
1.3　计算机系统的层次结构 …… 5
1.4　计算机系统结构 …… 7
1.4.1　计算机组成与系统结构 …… 7
1.4.2　计算机系统结构的分类 …… 8
1.5　计算机系统性能分析 …… 9
1.5.1　计算机系统的主要性能指标 …… 9
1.5.2　CPU 性能分析 …… 10
1.5.3　系统性能的改进 …… 11
1.6　本章小结 …… 12
习题 1 …… 14
第 2 章　运算方法和运算器 …… 15
2.1　计算机中的数据表示 …… 15
2.1.1　计算机中常用数制 …… 15
2.1.2　数据编码 …… 16
2.1.3　数值型数据的表示 …… 17
2.1.4　定点数和浮点数表示 …… 20
2.1.5　数据校验码 …… 22
2.2　定点数加、减法运算 …… 24
2.2.1　补码定点加、减法运算方法 …… 25
2.2.2　溢出判断方法 …… 25
2.3　定点数乘法运算 …… 27
2.3.1　原码一位乘法 …… 27
2.3.2　原码两位乘法 …… 29
2.3.3　补码一位乘法 …… 30
2.3.4　补码两位乘法 …… 33
2.3.5　阵列乘法器 …… 34
2.4　定点数除法运算 …… 35
2.4.1　原码除法 …… 35
2.4.2　补码除法 …… 38
2.4.3　阵列除法器 …… 39
2.5　浮点数运算 …… 40
2.5.1　浮点数加、减法 …… 40
2.5.2　浮点数乘、除法 …… 42
2.6　运算器的组成与结构 …… 43
2.6.1　加法器 …… 44
2.6.2　算术逻辑单元 …… 47
2.6.3　定点运算器 …… 50
2.6.4　浮点运算器 …… 53
2.7　运算方法与运算器的综合例题 …… 54
2.8　本章小结 …… 58
习题 2 …… 59
第 3 章　存储系统 …… 61
3.1　存储系统概述 …… 61
3.1.1　存储器分类 …… 61
3.1.2　存储系统的层次结构 …… 63
3.1.3　存储系统的性能评价 …… 65
3.2　主存储器 …… 66
3.2.1　主存储器概述 …… 66
3.2.2　静态随机存取存储器 …… 71
3.2.3　动态随机存取存储器 …… 75
3.2.4　只读存储器 …… 80
3.2.5　主存储器设计 …… 83
3.3　辅助存储器 …… 90
3.3.1　磁记录原理与记录方式 …… 90
3.3.2　硬盘存储器 …… 93
3.3.3　磁表面存储器的主要技术指标 …… 95
3.3.4　磁盘阵列 …… 97
3.3.5　光盘存储器 …… 99

3.4 高速缓冲存储器（Cache） … 102
3.4.1 Cache 的工作原理 …… 103
3.4.2 地址映像与替换策略 …… 104
3.4.3 Cache 的性能与结构 …… 113
3.4.4 Cache 存储器实例 …… 115
3.5 虚拟存储器 …… 116
3.5.1 虚拟存储器概述 …… 116
3.5.2 段式虚拟存储器 …… 117
3.5.3 页式虚拟存储器 …… 119
3.5.4 段页式虚拟存储器 …… 121
3.5.5 虚拟存储器的工作过程 … 122
3.6 并行存储器 …… 124
3.6.1 多体交叉存储器 …… 124
3.6.2 双端口存储器 …… 126
3.6.3 相联存储器 …… 127
3.7 存储系统综合分析与设计举例 …… 129
3.8 本章小结 …… 136
习题 3 …… 138
第 4 章 指令系统 …… 141
4.1 指令系统概述 …… 141
4.2 指令格式 …… 142
4.2.1 指令的基本格式 …… 142
4.2.2 操作码编码 …… 146
4.2.3 操作数的类型 …… 150
4.3 寻址方式 …… 151
4.3.1 指令的寻址方式 …… 151
4.3.2 操作数的寻址方式 …… 152
4.4 指令类型 …… 159
4.4.1 数据传送指令 …… 159
4.4.2 算术运算与逻辑运算指令 …… 159
4.4.3 移位操作指令 …… 159
4.4.4 程序控制指令 …… 160
4.4.5 输入/输出指令 …… 163
4.4.6 其他指令 …… 163
4.5 CISC 与 RISC …… 163
4.6 典型指令系统简介 …… 165
4.6.1 PDP-11 机指令系统 …… 165
4.6.2 Pentium 机指令系统 …… 168
4.7 指令系统综合分析与设计举例 …… 169
4.8 本章小结 …… 174
习题 4 …… 176
第 5 章 中央处理器 …… 178
5.1 CPU 概述 …… 178
5.2 控制器的功能、组成及类型 … 179
5.2.1 控制器的功能 …… 179
5.2.2 控制器的组成 …… 180
5.2.3 控制器的类型 …… 182
5.3 时序及控制方式 …… 183
5.3.1 指令时序 …… 183
5.3.2 时序信号发生器 …… 186
5.3.3 时序控制方式 …… 187
5.4 指令执行过程 …… 188
5.4.1 指令执行的基本步骤 …… 188
5.4.2 典型指令的指令周期 …… 189
5.4.3 指令执行流程设计举例 … 192
5.5 组合逻辑控制器 …… 197
5.5.1 组合逻辑控制的基本原理 …… 197
5.5.2 组合逻辑控制器的设计 … 200
5.6 微程序控制器 …… 203
5.6.1 微程序控制的相关基本概念 …… 203
5.6.2 微程序控制的基本原理 … 205
5.6.3 微程序控制器与组合逻辑控制器的比较 …… 206
5.7 微程序设计 …… 207
5.7.1 微指令的分类 …… 207
5.7.2 微程序流控制 …… 211
5.7.3 微程序控制方式及时序控制 …… 216
5.7.4 微程序设计方法 …… 217
5.7.5 微程序设计举例 …… 220
5.8 CPU 综合分析与设计举例…… 223
5.9 本章小结 …… 234
习题 5 …… 236
第 6 章 总线 …… 239
6.1 总线概述 …… 239
6.1.1 总线的工作原理 …… 239

6.1.2 总线的类型 …… 239
6.1.3 总线的性能指标 …… 240
6.2 总线的连接方式 …… 241
6.3 总线控制 …… 242
6.3.1 总线仲裁 …… 243
6.3.2 数据传送控制 …… 244
6.3.3 总线数据传送模式 …… 245
6.4 总线标准 …… 245
6.5 本章小结 …… 248
习题 6 …… 249
第 7 章 输入/输出系统 …… 250
7.1 输入/输出设备 …… 250
7.1.1 外围设备的作用与分类 … 250
7.1.2 输入设备 …… 251
7.1.3 输出设备 …… 252
7.2 I/O 接口 …… 257
7.2.1 I/O 接口的功能与组成 … 257
7.2.2 I/O 设备的编址方式 …… 258
7.2.3 I/O 接口的类型 …… 259
7.3 程序直接控制方式 …… 260
7.4 程序中断传送方式 …… 260
7.4.1 中断系统概述 …… 260
7.4.2 中断的处理过程 …… 262
7.4.3 多级中断与中断屏蔽 …… 265
7.4.4 中断源识别与判优电路 … 267
7.5 直接存储器存取方式 …… 268
7.5.1 DMA 方式概述 …… 268
7.5.2 DMA 控制器 …… 269
7.5.3 DMA 的传送方式 …… 271
7.5.4 DMA 的数据传送过程 … 273
7.6 通道方式与外围处理机方式…… 274
7.6.1 通道的功能 …… 274
7.6.2 通道的类型 …… 275
7.6.3 通道的工作过程 …… 276
7.6.4 外围处理机方式 …… 277
7.7 输入/输出系统综合举例 …… 277
7.8 本章小结 …… 281
习题 7 …… 283
第 8 章 流水线与多处理机 …… 285
8.1 流水线工作原理 …… 285
8.1.1 指令的重叠执行与先行控制 …… 285
8.1.2 流水线的表示方法 …… 288
8.1.3 流水线的分类 …… 289
8.1.4 流水线性能分析 …… 291
8.2 流水线调度 …… 298
8.2.1 流水线相关性及其处理 … 298
8.2.2 非线性流水线的冲突 …… 304
8.2.3 非线性流水线的调度 …… 306
8.3 超标量处理机与超流水线处理机 …… 307
8.4 向量处理机 …… 310
8.4.1 向量处理的方式 …… 310
8.4.2 向量处理机的结构 …… 311
8.4.3 向量处理机的性能指标 … 313
8.5 互连网络 …… 313
8.5.1 互连网络的特征与特性参数 …… 314
8.5.2 互连函数 …… 314
8.6 阵列处理机 …… 317
8.6.1 阵列处理机模型 …… 317
8.6.2 阵列处理机的基本结构 … 318
8.7 多处理机 …… 319
8.7.1 多处理机的结构及特点 … 319
8.7.2 多处理机的分类 …… 321
8.8 本章小结 …… 323
习题 8 …… 324
参考文献 …… 327

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第1章

计算机系统概述

计算机是一种能够按照事先存储的程序，自动、高速地进行大量数值计算和各种信息处理的现代化智能电子设备。本章重点讲述计算机系统的组成与多级层次结构，分析计算机系统结构、计算机组成与计算机实现的含义，讨论计算机系统结构性能分析的方法。通过本章的学习，可以使读者建立初步的计算机整机概念。

1.1 计算机的发展

1946年正式公布的ENIAC（Electronic Numerical Integrator And Computer，电子数字积分计算机）是世界上第一台由程序控制的电子数字计算机。ENIAC宣告了一个新时代的开始，从此揭开了电子计算机发展和应用的序幕。

1. 计算机的发展概况

科学技术的进步，尤其是在逻辑器件、存储设备以及体系结构等方面的更新与改进，极大地推动着计算机的迅速发展。

1）在逻辑器件方面，计算机从电子管、晶体管、集成电路发展到大规模集成电路、超大规模集成电路。大规模集成电路LSI（Large Scale Integration）通常指含逻辑门数为100～9999门（或含元件数为1000～99999个）的集成电路。到20世纪80年代，超大规模集成电路VLSI（Very LSI）在芯片上容纳了几十万个元件，后来的特大规模集成电路ULSI（Ultra LSI）将数字扩充到百万级，这使得计算机的体积和价格不断下降，而功能和可靠性不断增强。

2）在存储设备方面，主存储器从磁鼓、磁芯发展到现在的半导体存储器，辅助存储器从磁盘、磁带发展到光盘存储器等。存储容量越来越大，存取速度越来越快，位价格越来越低。外部设备多种多样，应用越来越广。器件与设备的发展，使得计算机体积更小、价格更低、可靠性更高、计算速度更快。

3）在器件更新的同时，计算机的系统结构也在不断地改进。许多新的概念不断产生，新的组成方式不断得以实现。例如，采用大量的通用寄存器，以减少访问存储器的次数；增设浮点运算器，以提高浮点运算能力；采用变址寄存器、间接寻址方式、虚拟存储器、Cache等技术，以提高存储器的性能；设立中断控制系统，采用输入/输出通道技术，以提高数据输入输出能力；此外，还有微程序控制器、并行处理技术、多处理机技术及系列化产品等概念。正是由于器件的更新与系统结构的改进，才促使了计算机的不断发展和更新换代。

2. 计算机的发展方向

未来的计算机将采用更先进的数据存储技术（如光学、永久性半导体、量子技术等）；

外设将走向高性能、网络化和集成化，并且更易于使用；输出/输入技术将更加智能化、人性化，随着手写输入、语音识别、生物测定等技术的不断发展和完善，人与计算机的交流将更加便捷。未来的计算机将向巨型化、微型化、网络化与智能化的方向发展。

1）巨型计算机（Supercomputer，又称“超级计算机”）的运算速度在每秒一万亿次以上，数据存储容量很大，结构复杂，价格昂贵，具有很强的计算和处理数据的能力。从运算性能上讲，巨型计算机一般比同时期的其他类型的计算机要高，可同时执行数百万条用户指令，一般用于国防与军事、科学研究等领域，它也是衡量一个国家科学实力的重要标志之一。

2）微型计算机（Microcomputer）的CPU采用大规模集成电路，具有体积小、重量轻、成本低、性能稳定、可靠性高等特点。微型计算机的发展可以说是计算机发展史上的一个里程碑。因为微型计算机对环境无特殊要求，适合于大量的应用场合，所以其发展速度最快，已进入数据处理、工业控制、计算机辅助设计等人们生活的各个领域。

3）计算机网络是现代通信技术与计算机技术相结合的产物，已在政治、军事、生产、管理及人们生活等领域发挥着越来越重要的作用。

4）智能计算机具有智能接口，能模拟人的智能，有语音识别、图形识别、视觉、感知、理解能力；具有学习和解题推理能力；具有知识库管理能力，能完成知识的获取、检索和更新。智能计算机是超大规模集成电路、高级软件工程、人工智能、新型计算机系列的综合产物。此外，光计算机、量子计算机、生物计算机、神经计算机等均属于新一代计算机。这代计算机真正实现后，会对社会的发展带来不可估量的影响，必将在各个领域得到最广泛的应用。

随着计算机的应用越来越广，越来越复杂，计算机技术也将面临着一系列新的重大变革。冯·诺伊曼体系结构的简单硬件与专门逻辑已不能适应软件日趋复杂庞大的趋势，这就要求创建服从于软件需要的新体系结构。并行、联想、专用功能化以及硬件、固件、软件相复合，是新体系结构的重要实现方法。计算机将由数据处理过渡到知识处理。用自然语言、图像、手写体等进行人机会话将是输入/输出的主要形式。总之，随着技术的进步，计算机会越来越智能化，越来越人性化。

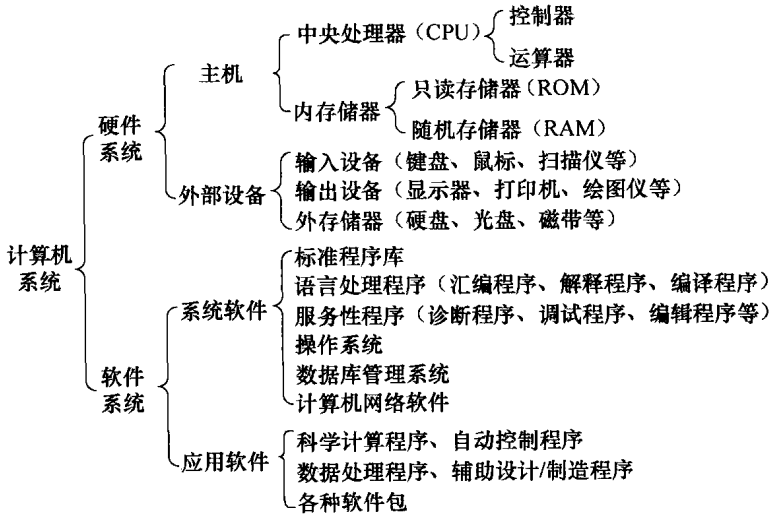

图 1-1　计算机系统的组成

1.2　计算机系统的组成

一个完整的计算机系统应包括硬件系统和软件系统两大部分，如图 1-1 所示。计算机硬件是指组成一台计算机的各种物理装置。计算机软件是指在硬件设备上运行的各种程序以及相关信息的总称。所谓程序，是用于指挥计算机执行各种操作以便完成指定任务的指令集合。

1.2.1　硬件系统

1946 年，美籍匈牙利科学约翰·冯·诺伊曼（John Von Neurmann）提出了计算机的工作原理——存储程序和程序控制。其主要思想是根据计算机要完成的功能，事先编写好相应的程序，并将程序和所需数据存放到计算机内部的存储器中，计算机在程序的控制下一步一步地进行处理，直到得出结果。根据这一原理制造的计算机被称为冯·诺伊曼结构计算机。今天我们所使用的计算机，不管机型大小，都属于冯·诺伊曼结构计算机。

冯·诺伊曼型计算机的硬件系统主要由控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备等五大部分组成，如图 1-2 所示。其中控制器与运算器又合称为中央处理器（Central Processing Unit，CPU），CPU 与主存储器合称为主机。在计算机中，存储器完成记忆功能，运算器完成运算功能，控制器完成控制功能，输入、输出设备完成输入、输出功能，这些部件有机地连接在一起，通过相互作用构成了一个完整的计算机硬件系统。

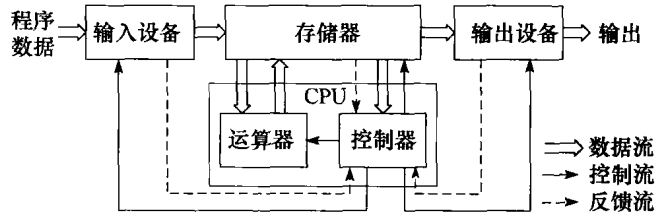

图 1-2　冯·诺伊曼型计算机的组成结构图

1. 存储器

存储器（Memory）是计算机各种信息存储和交流的中心，主要功能是存放程序和数据，程序是计算机操作的依据，数据是计算机操作的对象。计算机中的全部信息，包括输入的原始数据、计算机程序、最终运行结果等都保存在存储器中。存储器是具有记忆功能的部件，因此，它的操作一般只有两种：存信息（写）和取信息（读）。两种操作统称为访问存储器。

按用途进行划分，存储器可分为主存储器（主存）和辅助存储器（辅存）。主存是指主机内的存储部件，用来存放当前正在执行的程序和数据。由于价格和技术方面的因素，主存的存储容量受到限制。为了存储大量信息，需要采用价格便宜、容量较大的辅存。但辅存存取信息的速度要比主存慢，所以主要用于存放一些在计算过程中不频繁使用的数据和程序。常用的辅存有磁带存储器、磁盘存储器、光盘存储器等，这些存储器可以长期保存信息，多用于数据备份。为了提高存储系统的性能，现代计算机广泛采用高速缓冲存储器、虚拟存储器、并行存储器等技术。有关存储器的详细知识将在第 3 章介绍。

2. 运算器

运算器（Arithmetic Unit）是计算机中执行各种算术和逻辑运算操作的部件，主要由 ALU、寄存器和一些控制电路组成。算术逻辑单元（Arithmetic Logical Unit，ALU）一般是一个多功能的运算电路，执行各种数据运算操作。ALU 对数据进行什么运算取决于控制器发出的控制信号，它接受控制器的命令而进行动作，所以它是执行部件。寄存器用于存储来自存储器的数据、参与运算的数据、运算结果、最频繁使用的数据、一些中间结果等。不

同的计算机设置寄存器的个数是不一样的。

为了提高运算速度，某些大型计算机有多个运算器。它们可以是不同类型的运算器，如定点加法器、浮点加法器、乘法器等，也可以是相同类型的运算器。有关运算器的详细内容将在第 2 章中介绍。

3. 控制器

控制器是计算机的控制中枢，发布各种操作命令和控制信息，控制各部件协调工作。对信息的输入、输出、存储与运算，都必须在控制器的控制下有序地进行。例如，向存储器发出读/写命令，向运算器发出做运算的操作命令，向外设发出启动并取回有关的状态信息等命令。

控制器产生控制信号的依据是指令、状态和时序。当前要执行的指令存放在指令寄存器中。状态寄存器反映着机器运行的状态，是指令执行的制约条件，也是控制信号产生的条件。时序电路产生的时序信号控制着各个控制信号作用到相应部件的时机，保证控制信号按序出现，使机器有条不紊地运行。有关控制器的详细内容将在第 5 章中介绍。

4. 输入设备与输出设备

输入设备的任务是把用户要求计算机处理的数据、字符、文字、图形和程序等各种形式的信息转换为计算机所能接受的编码形式存入到计算机内。常见的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪、光电输入机等。输出设备的任务是把计算机的处理结果以用户需要的形式输出。常见的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。

输入/输出设备的作用就是在计算机和其他机器之间，以及计算机与用户之间提供联系。在现代计算机系统中，输入/输出设备是通过接口，再经过总线和主机连接在一起的，如图 1-3所示。输入/输出接口是外部设备与中央处理器之间的缓冲装置，负责电气性能的匹配和信息格式的转换。有关输入/输出相关内容将在第 7 章介绍。

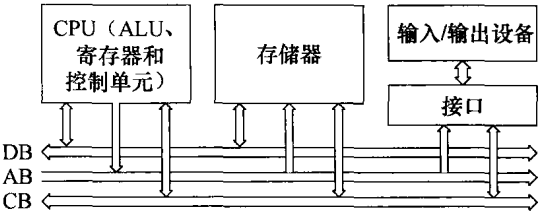

图 1-3 采用总线相连的计算机结构

总线是计算机内部各部件之间或计算机之间相互连接、实现信息传输的公共线路。计算机内部连接各部件的总线称为系统总线。系统总线分数据总线（DB）、地址总线（AB）和控制总线（CB）。数据总线用于传送数据信息，地址总线用于传送地址，控制总线用于传送控制信号和时序信号。总线内容将在第 6 章介绍。

1.2.2 软件系统

1. 系统软件

系统软件是指控制和协调计算机及外部设备，支持应用软件开发和运行的系统，是无需用户干预的各种程序的集合。系统软件的主要功能是对整个计算机系统进行调度、管理、监视及服务，负责管理计算机系统中各种独立的硬件，使得它们可以协调工作。系统软件相当丰富，主要包括语言处理程序、操作系统、数据库管理系统和各种服务性程序等。

2. 应用软件

应用软件是用户利用计算机软、硬件资源为解决各类应用问题而编写的软件，如科学计算程序、自动控制程序、数据处理程序、辅助设计/制造程序等。应用软件是否存在并不影响整个计算机系统的运行，但它必须在系统软件的支持下才能工作。

综上所述，一个完整的计算机系统是由硬件、软件按照一定的结构组成的。软件是用户与硬件之间的接口界面，是计算机系统设计的重要依据。应用软件、系统软件和硬件构成了计算机系统的三个层次。应用软件是最高层，建立在系统软件之上，为用户提供一个应用系统的界面，使用户能够方便地使用计算机解决具体问题。系统软件则向用户提供一个基本的操作界面，并向应用软件提供基本功能上的支持。硬件系统是最底层，所有的功能最终由硬件完成。总之，硬件是整个计算机系统的物资基础与核心，软件是硬件功能的扩充和完善，两者相互依存，相互促进。

1.3　计算机系统的层次结构

计算机系统由硬件系统和软件系统组成，而硬件系统和软件系统各自又包含着许多子系统。在构造一个完整的系统时，可以分层次地逐级实现，按这种结构化方法设计的系统，易于实现、调试、维护和扩充。

1. 多级层次结构

计算机系统以硬件为基础，通过配置软件扩充功能，形成一个可能是相当复杂的有机组合的系统。我们常采用一种层次结构的观点进行分析设计，也就是将计算机系统从不同的角度分为若干级（层次），根据不同的工作需要，选择某一层去观察、分析计算机的组成、性能和工作原理。图 1-4 描述了典型的现代计算机的多级层次结构。

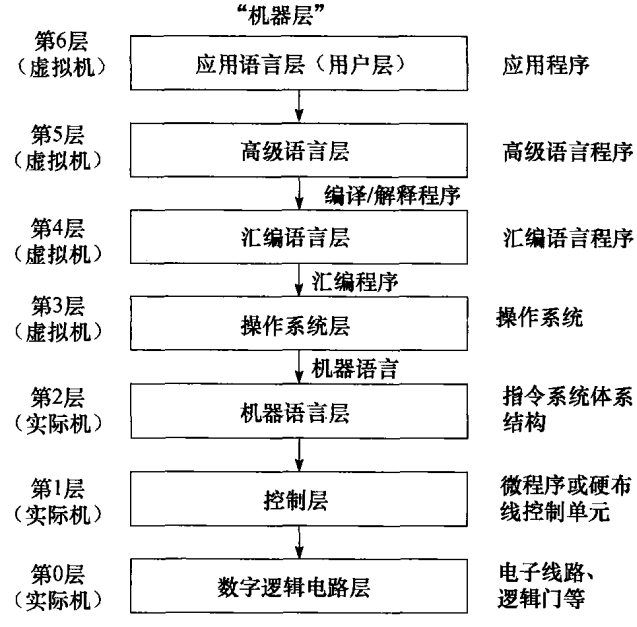

图 1-4　现代计算机系统的多级层次结构

第 6 层：应用语言层（用户层）。面向用户的，由各种应用组成，主要是运行各种程序，比如科学计算程序文字处理程序、图形图像处理程序、声音处理程序和游戏程序等。

第 5 层：高级语言层。这层由各种高级语言组成，如 C、java 等。用这些语言所编写的程序一般要由编译程序或解释程序翻译到第 4 层或第 3 层上的语言。

第 4 层：汇编语言层。这层的“机器语言”是汇编语言。用汇编语言编写的程序首先翻译成第 3 层或第 2 层语言，然后再由相应的机器进行解释。完成翻译的程序叫做汇编程序。

第 3 层：操作系统层。这一层主要处理操作系统指令，负责多用户编程、存储器保护等重要功能。计算机中的硬件和软件资源由这一层管理、统一调度，它支持着系统软件和应用软件，使计算机能够自动运行，并发挥高效率的特性。这一层是软件系统和硬件系统之间的纽带。

第 2 层：机器语言层（也称指令系统体系结构层）。这层由特定计算机系统结构所能识别的机器语言组成。使用机器语言编写的程序可以直接由硬件执行，不需要任何解释程序或编译程序。这一层为上面各层提供了支持，是上面各层的物质基础。

第 1 层：控制层。这一层为第 2 层提供了机器指令的解释执行功能。硬件系统的操作由该级控制，软件系统的各种程序也必须转换成该级的形式才能执行。在这个层次上，控制单元（CU）将确保正确地译码并执行机器指令。

第 0 层：数字逻辑电路层。这一层主要面对的是组成计算机系统的物理器件，是功能模块最终的数字逻辑电路实现，是各种计算机系统的共同部件。

第 0 至 2 层是直接面对硬件实现的，属于实际的机器，是硬件维护人员、硬件设计人员所关注的。第 0 层是数字逻辑电路课程主要讲授的内容，第 1、2 层是计算机组成原理课程所要重点研究的内容。其余的各虚拟机是相应软件课程和操作系统课程所要研究的。

在层次结构中，每一层都有某项特定的功能，并有一个特定的虚拟机或实际机与之对应。我们把以软件为主实现的机器称为**虚拟机器**（假想的计算机），而把由硬件和固件实现的机器称为**实际机器**。显然，虚拟机器的实现是构筑在实际机器之上的。语言与虚拟机之间存在着重要的对应关系，每种“机器”都有它能执行的指令集，每一层都能进行程序设计。同时，语言也定义了机器，即机器要能执行这种语言所编写的程序。这里的“机器”是指能存储和执行程序的算法和数据结构的集合体，其作用与组成如图 1-5 所示。它的功能体现在广义语言上，能对该语言提供解释，然后作用在信息处理和控制对象上。每一层对应一种机器，只对一定的观察者存在。例如，高级语言机器只对高级语言程序员（“观察者”）存在，采用高级语言（“广义语言”）编写程序，并通过解释程序或编译程序（“解释器”）将其翻译为可执行程序，作用对象就是运行的程序。

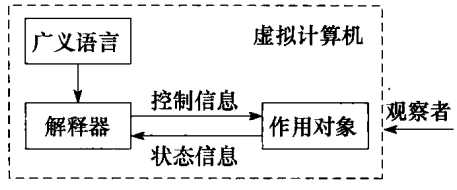

图 1-5　虚拟机器的作用与组成

站在不同的层次观察计算机系统，会得到不同的概念。例如，汇编程序员站在第 4 层看计算机是一个处理汇编语言的机器；系统操作员将第 3 层看做是系统的资源；而硬件设计人员在第 1、2 层看计算机，它是电子线路和逻辑器件集。但是，各层之间的关系又是十分密切的，高层是低层功能的扩展，低层是高层的基础。低层机器级的概念性结构和功能特性，对高级语言程序员来说是透明的。对于非计算机专业的高层次用户来说，总是希望透明性越多越好。但是，对于从事计算机系统结构研究的人来说，则要透过这种透明性，去发现或研究不同层次机器之间的差别。

从概念和功能上把一个复杂的计算机系统看成是由多个机器级构成的层次结构，有利于正确地理解计算机系统的工作；有利于了解各种语言的实质和实现途径；有利于明确软、硬件在系统中的地位和作用，推动系统结构的发展；有利于理解计算机系统结构的定义。

2. 软件和硬件逻辑功能上的等效性

软件系统虽然是为有效地、更好地使用硬件而配置的，但软件的功能又必须由硬件具体实现。从原理上讲，软件实现的功能完全可以用硬件或固件（将程序固定存放在其中的部件）完成；同样，硬件实现的逻辑功能也可以通过软件来完成，只是性能、价格以及实现的难易程度不同而已。例如，在计算机中实现十进制乘法这一功能，用硬件实现，需设计十进制乘法机器指令，其特点是速度快，但需要更多的器件。用软件来实现这个功能，则要采用加法、移位等指令通过编程来实现，其特点是实现的速度慢，但不需增加器件。可见，实现某一特定功能，既可以通过设计程序并执行这个程序实现，也可以用硬件实现，这称为软件与硬件的逻辑等效性，即软件和硬件在逻辑功能上是等效的。

具有相同功能的计算机系统，其软、硬件的功能分配比例可以在很宽的范围内变化，且这种变化是动态的，随不同时期以及同一时期的不同机器的变化而变化。因此在计算机系统

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com