

高等学校计算机科学与技术教材

计算机组成原理

Computer

张钧良 主编

张钧良 林雪明 范剑波 编著



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

北方交通大学出版社

<http://press.njtu.edu.cn>

高等学校计算机科学与技术教材

计算机组成原理

张钧良 主编

张钧良 林雪明 范剑波 编著

清华大学出版社
北方交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书是计算机及相关专业计算机组成原理课程的本科教材。全书共分为 10 章，其内容包括：计算机系统概述、信息编码及在计算机中的表示、运算方法和运算器、指令系统、存储系统、中央处理器、系统总线、外围设备、输入输出系统和计算机系统。

本书内容充实，概念清晰，重点突出，语言简洁，深入浅出，通俗易懂，例题丰富，图文并茂，每章后均附有相当数量的习题可供教师布置作业。

本书适宜作为计算机本科及相关专业计算机组成原理课程的教材，也可作为高等教育自学考试计算机（组成）原理课程的教材及考研学生的复习用书。

版权所有，翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签，无标签者不得销售。

图书在版编目（CIP）数据

计算机组成原理 / 张钧良主编；张钧良，林雪明，范剑波编著. —北京：北方交通大学出版社，2003. 8

（高等学校计算机科学与技术教材）

ISBN 7-81082-143-1

I. 计… II. ①张… ②张… ③林… ④范… 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（2003）第 055699 号

责任编辑：段连平

印刷者：北京市黄坎印刷厂

出版发行：北方交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686045, 62237564

清华大学出版社 邮编：100084

经 销：各地新华书店

开 本：787×1 092 1/16 印张：23 字数：557 千字

版 次：2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数：6 000 册 定价：29.00 元

前 言

本书是为计算机科学与技术、信息技术本科专业的学生学习计算机组成原理而编写的。计算机组成原理是计算机科学与技术专业的一门重要的专业基础课，在各门课程中起着承上启下的作用。学生通过本课程的学习，掌握一定的计算机硬件基础知识，为学习专业课和相关课程打下基础，也为毕业后从事相关的计算机工作奠定基础。

作者根据自己长期教授计算机组成原理的经验，精心设计内容，为普通高校的计算机科学与技术、信息技术专业编写了这本计算机组成原理教材。

根据计算机组成原理课程所具有的知识面广、内容多、难度大、更新快的特点，本教材在编写过程中，考虑到内容既要适合本科层次学生，又要照顾到广泛的读者群；教材系统性强，使学生能建立计算机的整机概念；知识结构合理，循序渐进，逐步深入，便于掌握。

在本书的编写过程中，脱开了具体的机型，充分展示当代计算机技术硬件的发展成果，尽量吸收当代计算机硬件发展的先进技术。具体内容共分 10 章：第 1 章介绍计算机系统概述；第 2 章讲述计算机的运行基础，即信息编码及在计算机中的表示；第 3 章叙述运算方法和运算器，包括组成计算机的基本器件，机器数的运算方法及运算器的组成和结构；第 4 章是计算机的指令系统，叙述寻址方式和指令格式、种类及执行方式；第 5 章讲述计算机的存储系统，主要是主存储器及存储体系结构；第 6 章论述中央处理器，主要讲述控制器的功能和构成；第 7 章是系统总线；第 8 章是外围设备；第 9 章是输入输出系统，讲述主机与外设的数据传输方式；第 10 章是计算机系统。

考虑到计算机组成原理是计算机专业的一门核心课程，也是很多高校招收计算机专业研究生考试的科目之一。本书在具体内容选取和编写中，结合了考研的具体要求，高度概括和总结了计算机组成原理的基本要点，也适宜作为考研学生的复习用书。

本书在编写过程中，宁波大学信息学院计算机科学与技术系和计算机基础教学部的同仁们对本书的编写大纲和具体内容提出过许多宝贵的修改意见，作者表示衷心感谢。

限于作者的经验和水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

张钧良

2003 年 7 月于宁波

目 录

1 计算机系统概述	(1)
1.1 计算机系统的硬件与软件	(1)
1.1.1 计算机硬件和软件的概念	(1)
1.1.2 计算机的硬件	(2)
1.1.3 计算机程序、指令和语言	(5)
1.2 计算机系统的层次结构	(7)
1.3 计算机的分类及应用	(8)
1.3.1 计算机的分类	(8)
1.3.2 计算机的应用	(8)
1.4 计算机的特点和性能指标	(11)
1.4.1 计算机的特点	(11)
1.4.2 计算机的性能指标	(13)
1.5 电子计算机的发展	(14)
1.5.1 电子计算机的发展历史	(14)
1.5.2 微型计算机的发展	(16)
1.5.3 计算机的发展趋势	(18)
1.5.4 我国计算机产业的发展	(19)
习题一	(22)
2 信息编码及在计算机中的表示	(25)
2.1 信息的数字化编码	(25)
2.2 进位计数制及其相互转换	(25)
2.2.1 常用的进位计数制	(26)
2.2.2 常用进位计数制间的相互转换	(27)
2.3 非数值数据的表示	(30)
2.3.1 字符数据的表示	(30)
2.3.2 汉字编码	(32)
2.4 数值数据的表示和运算	(37)
2.4.1 机器数	(37)
2.4.2 定点数的原码、反码、补码和移码表示	(41)
2.4.3 定点数和浮点数	(44)
2.4.4 十进制数的编码	(47)
2.5 数据校验码	(52)
2.5.1 码制的距离	(52)
2.5.2 奇偶校验码	(52)
2.5.3 汉明码	(53)

2.5.4	循环冗余检验	(55)
	习题二	(57)
3	运算方法和运算器	(61)
3.1	组成计算机硬件电路的基本部件	(61)
3.1.1	逻辑部件的概念	(61)
3.1.2	基本逻辑运算	(61)
3.1.3	逻辑代数基本运算	(63)
3.1.4	逻辑门的实现	(65)
3.1.5	组合逻辑电路	(66)
3.1.6	时序逻辑电路	(70)
3.2	机器数的加减运算及其实现	(76)
3.2.1	原码加法	(76)
3.2.2	补码加法	(77)
3.2.3	减法运算	(80)
3.3	定点乘法及其实现	(82)
3.3.1	原码一位乘法	(82)
3.3.2	定点补码一位乘法	(84)
3.3.3	原码两位乘法	(88)
3.3.4	补码两位乘法	(89)
3.4	定点除法及其实现	(90)
3.4.1	定点原码除法	(90)
3.4.2	定点补码除法	(93)
3.5	浮点数的算术运算	(95)
3.5.1	浮点数的补码加法运算	(95)
3.5.2	浮点数的乘法运算	(96)
3.5.3	浮点数的除法运算	(96)
3.6	运算器的组成和结构	(96)
3.6.1	算术逻辑部件	(97)
3.6.2	通用寄存器组	(99)
3.6.3	状态寄存器	(100)
3.6.4	数据通路	(100)
3.6.5	运算器的基本结构	(103)
3.6.6	运算器组成实例	(104)
3.7	浮点运算器	(106)
3.7.1	80387 的主要性能	(106)
3.7.2	80387 的内部结构	(107)
3.7.3	80387 的硬件特性	(109)
3.7.4	协处理器的工作方式	(110)
	习题三	(111)
4	计算机的指令系统	(113)

4.1	机器指令的格式	(113)
4.1.1	指令的含义	(113)
4.1.2	指令格式	(113)
4.1.3	指令格式举例	(115)
4.1.4	指令操作码的编码格式	(116)
4.1.5	指令字长度与机器字长的关系	(117)
4.1.6	指令助记符	(118)
4.2	寻址方式	(119)
4.2.1	寻址方式和有效地址的概念	(119)
4.2.2	基本寻址方式	(119)
4.2.3	寻址方式举例	(123)
4.3	指令的种类	(124)
4.3.1	数据传送类指令	(124)
4.3.2	算术逻辑运算类指令	(126)
4.3.3	字符串处理指令	(126)
4.3.4	输入输出 (I/O) 指令	(127)
4.3.5	特权指令和陷阱指令	(128)
4.3.6	转移指令	(128)
4.3.7	子程序调用指令	(130)
4.3.8	处理器控制指令	(131)
4.4	指令的执行方式	(131)
4.4.1	指令的顺序执行方式	(131)
4.4.2	重叠执行方式	(131)
4.4.3	流水线方式	(132)
4.4.4	指令的执行过程	(133)
4.5	指令系统举例	(136)
4.5.1	PDP-11 的指令系统	(136)
4.5.2	Intel 8086/8088 指令系统	(139)
4.5.3	Intel 32 位微处理器的指令系统	(143)
4.6	指令系统	(146)
4.6.1	RISC 的由来与发展	(146)
4.6.2	RISC 的特点	(147)
4.6.3	RISC 指令系统举例	(147)
	习题四	(149)
5	计算机的存储系统	(153)
5.1	存储器与存储系统概述	(153)
5.1.1	存储器的作用	(153)
5.1.2	存储器分类	(153)
5.1.3	存储器的层次结构	(156)
5.2	主存储器	(157)

5.2.1	主存储器的性能技术指标	(157)
5.2.2	随机存储器	(158)
5.2.3	只读存储器	(173)
5.3	并行主存储器	(176)
5.4	高速缓存	(180)
5.4.1	高速缓存的工作原理	(180)
5.4.2	高速缓存的地址映像与替换	(182)
5.5	虚拟存储器	(186)
5.5.1	虚拟存储器的基本概念	(186)
5.5.2	页式虚拟存储器	(187)
5.5.3	段式虚拟存储器	(191)
5.5.4	段页式虚拟存储器	(192)
5.6	存储保护	(193)
5.6.1	存储区域保护	(193)
5.6.2	访问方式保护	(195)
	习题五	(196)
6	中央处理器	(198)
6.1	CPU 的功能及组成	(198)
6.1.1	CPU 的功能	(198)
6.1.2	CPU 的组成	(198)
6.1.3	CPU 中的主要寄存器	(200)
6.1.4	操作控制器和时序产生器	(201)
6.2	指令周期	(202)
6.2.1	指令周期的基本概念	(202)
6.2.2	非访内指令的指令周期	(204)
6.2.3	直接访内指令的指令周期	(205)
6.2.4	间接访内指令的指令周期	(208)
6.2.5	程序控制指令的指令周期	(210)
6.3	组合逻辑控制器	(211)
6.3.1	组合逻辑控制器原理	(211)
6.3.2	组合逻辑控制器举例	(212)
6.4	微程序控制器	(215)
6.4.1	微程序控制器的基本原理	(215)
6.4.2	微指令结构	(217)
6.4.3	串/并行微程序控制	(223)
6.4.4	动态微程序设计	(223)
6.4.5	毫微程序设计	(224)
6.4.6	例题	(225)
6.5	门阵列控制器	(230)
6.5.1	通用可编程逻辑器件	(230)

6.5.2	门阵列控制器	(232)
6.6	流水线处理器	(234)
6.6.1	流水线原理	(234)
6.6.2	流水线分类	(236)
6.6.3	流水线中的相关问题	(237)
6.7	RISC 硬件结构	(239)
6.7.1	RISC 特点	(239)
6.7.2	RISC CPU	(240)
6.7.3	RISC 寄存器	(242)
6.8	CPU 的发展	(244)
6.8.1	CPU 采用的新技术	(244)
6.8.2	CPU 的新发展	(245)
	习题六	(249)
7	系统总线	(252)
7.1	总线概述	(252)
7.1.1	总线原理	(252)
7.1.2	总线结构类型	(253)
7.1.3	总线的分类	(255)
7.2	总线的组成	(257)
7.2.1	总线驱动和三态门	(257)
7.2.2	总线控制	(258)
7.2.3	总线通信	(260)
7.2.4	出错处理	(262)
7.2.5	总线缓冲器和总线控制器的典型芯片	(262)
7.3	微机总线	(264)
7.3.1	工业标准总线	(264)
7.3.2	微通道总线	(265)
7.3.3	扩充的工业标准总线	(266)
7.3.4	局部总线	(266)
7.3.5	AGP 总线	(267)
7.3.6	通用串行总线	(267)
	习题七	(269)
8	外围设备	(272)
8.1	外围设备概述	(272)
8.1.1	什么是外围设备	(272)
8.1.2	外围设备的分类和功能	(272)
8.1.3	外围设备与主机系统的联系	(274)
8.1.4	外围设备的发展方向	(276)
8.2	输入设备	(277)
8.2.1	键盘	(277)

8.2.2	图形输入设备	(279)
8.2.3	其他输入设备	(280)
8.3	显示设备	(282)
8.3.1	显示设备分类及显示技术的有关术语	(282)
8.3.2	字符显示器	(284)
8.3.3	图形显示器	(287)
8.3.4	图像显示器	(289)
8.4	打印机	(289)
8.4.1	打印机的分类	(289)
8.4.2	点阵针式打印机	(290)
8.4.3	激光打印机	(293)
8.4.4	喷墨打印机	(295)
8.5	磁存储器	(295)
8.5.1	磁存储器的基本原理	(295)
8.5.2	软磁盘存储器	(300)
8.5.3	硬磁盘存储器	(302)
8.5.4	磁带存储器	(305)
8.6	光盘存储器	(307)
8.6.1	光盘存储器概述	(307)
8.6.2	CD-R/RW 驱动器(刻录机)	(309)
8.6.3	DVD	(310)
8.7	新型存储器	(311)
8.7.1	大容量软盘存储器	(311)
8.7.2	磁光存储器和 PD 光盘	(312)
8.7.3	移动存储设备	(313)
	习题八	(316)
9	输入输出系统	(319)
9.1	I/O 系统概述	(319)
9.1.1	I/O 系统的功能与组成	(319)
9.1.2	输入输出设备的寻址方式	(320)
9.1.3	输入输出数据传送控制方式	(321)
9.2	程序查询方式	(322)
9.2.1	程序查询方式的接口	(322)
9.2.2	程序查询方式	(322)
9.3	中断方式	(324)
9.3.1	中断的基本概念	(324)
9.3.2	中断方式的接口	(325)
9.3.3	中断的响应和处理	(326)
9.3.4	多级中断	(327)
9.4	DMA 方式	(329)

9.4.1	DMA 方式的基本概念	(329)
9.4.2	DMA 传送方式	(330)
9.4.3	基本的 DMA 控制器	(331)
9.4.4	DMA 工作过程	(332)
9.5	通道方式	(333)
9.5.1	通道的作用和功能	(333)
9.5.2	通道的种类	(334)
9.5.3	通道的工作过程	(334)
	习题九	(336)
10	计算机系统	(339)
10.1	计算机系统的分类	(339)
10.2	阵列处理机	(340)
10.2.1	阵列处理机的结构	(341)
10.2.2	ILLIAC-IV阵列处理机	(342)
10.2.3	互连网络	(343)
10.3	多处理机	(344)
10.3.1	多处理机与阵列处理机的区别	(344)
10.3.2	多处理机类型	(344)
10.3.3	多处理机互连结构	(346)
	习题十	(348)
	附录 A 英文缩写	(350)
	参考文献	(353)

1 计算机系统概述

在学习本课程的具体内容之前，首先要搞清楚“计算机”这个术语。

什么是计算机？它是从英语“Computer”这个词翻译过来的，因为在20世纪40年代开始研制这种机器时，其目的就是为了研制新型的计算工具，并且早期Computer的主要用途是进行武器研制中的科学计算。20世纪50年代初，我们接触到这个词，把它翻译成“计算机”是非常恰当的。随着计算机技术的迅速发展，计算机的应用范围迅速扩大，从20世纪60年代开始，数据处理和事务处理已成为计算机的主要应用领域。计算机的其他重要应用领域还有过程控制、计算机辅助系统、计算机通信等。现在看来，把“Computer”单纯当成“计算机”似乎不太确切。假如现在才接触到“Computer”，科技界会把它翻译成“信息处理机”。既然50多年来一直认为“Computer”就是“计算机”，现在我们就无须改动它了。那么如何正确理解“计算机”这个术语呢？凡是能完成以下3类工作的机器就是计算机：①能接受程序和数据的输入，并存储起来；②能按照存储的程序对输入的数据进行自动处理并得出结果；③能把结果输出。所以，计算机是一种能够接收信息，存储信息，并按照存储在其内部的程序（这些程序是人们意志的体现）对输入的信息进行加工、处理，得到人们所期望的结果，然后把处理结果输出到高度自动化的电子设备。本章讲述计算机系统的基本概念。

1.1 计算机系统的硬件与软件

1.1.1 计算机硬件和软件的概念

硬件和软件是学习计算机知识中经常遇到的术语。

硬件（Hardware），是指计算机系统中实际装置的总称。它可以是电子的、电的、磁的、机械的、光的元件或装置，或由它们组成的计算机部件或整个计算机硬件系统，如中央处理器、存储器、各种外围设备等。

计算机的硬件由输入设备、输出设备、运算器、控制器和存储器5部分组成。

软件（Software），是相对于硬件而言的。计算机软件是指在计算机硬件上运行的各种程序及有关的文档资料，如操作系统、汇编程序、编译程序、诊断程序、数据库管理系统、专用软件包、各种维护使用手册、程序流程图和说明等。软件分为系统软件和应用软件两大类。系统软件包括操作系统、各种语言处理程序、服务支撑软件和数据库管理系统，应用软件包括计算机软件研制商出售的应用软件包（如办公自动化套件Office XP、WPS Office等）和用户程序。软件是计算机在正常运行时不可缺少的，它可以扩大计算机的功能和提高计算机的效率，它是计算机系统的组成部分。

图1-1表示了计算机系统的构成。

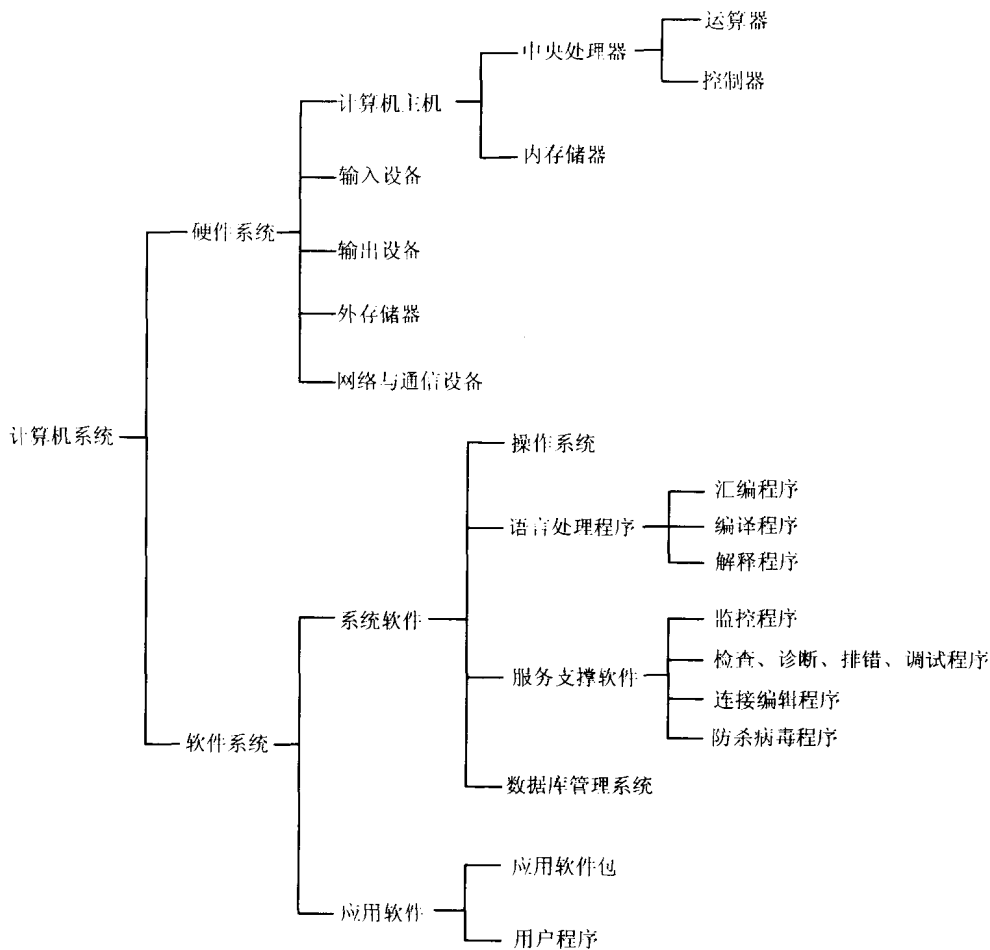


图 1-1 计算机系统的构成

通常，把不装备任何软件的计算机称为硬件计算机或裸机。裸机是不能工作的。但用户所面对的一般都不是裸机，而是在裸机之上配置若干软件之后所构成的计算机系统。在计算机技术的发展过程中，计算机软件随硬件技术的迅速发展而发展；反过来，软件的不断发展与完善，又促进了硬件的新发展；两者的发展密切地交织着。实际上计算机某些硬件的功能可以由软件来实现，而某些软件的功能也可以由硬件来实现。

1.1.2 计算机的硬件

计算机的硬件是指组成一台计算机的各种物理装置，是由各种实实在在的器件组成的，是计算机进行工作的物质基础。计算机的硬件由输入设备、输出设备、运算器、存储器和控制器 5 部分组成，图 1-2 表示了由这 5 部分组成的以存储器为中心的计算机硬件组成框图。

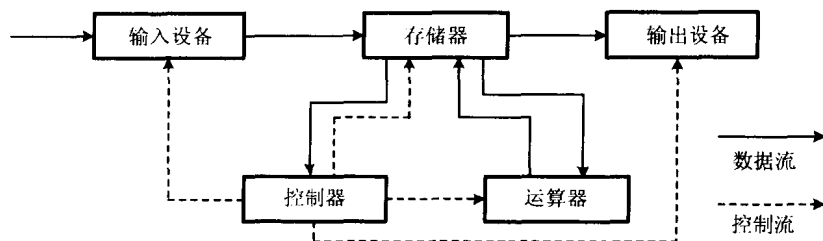


图 1-2 以存储器为中心的计算机组成框图

1. 输入设备

输入设备的功能是从计算机外部把信息和处理这些信息的程序通过输入接口输入到计算机的存储器中。

键盘（Keyboard）是最常用的输入设备，它是现代计算机系统，特别是微型计算机系统中不可缺少的人机对话工具，用来输入主要由字符和数字组成的数据和程序。

鼠标（Mouse）用以确定显示器屏幕位置坐标，是近年来在一些菜单式软件和图形系统中常用的输入设备。鼠标上有 2 个（或 3 个）按键，在专门软件的支持下，操作者可手持鼠标在桌面或一块专用板上滑动，光标就在显示器屏幕上移动，移到所选位置，按下有关按键，就可完成菜单选择、定位拾取等操作。

其他输入设备还有：把图形的模拟量转换成数字量输入计算机的图形输入设备图形数字化仪，在显示器屏幕上输入、修改图形或写字的光笔，广泛应用于商品流通管理、图书管理等领域的条码阅读器，以及各种模数转换器（ADC）等。

2. 输出设备

输出设备的功能是用来输出计算机的处理结果。输出的形式，可以是数字、字母、文字、表格、图形、图像和声音等。最常用的输出设备是显示器和打印机，还有绘图仪、XY 记录仪、音箱、各种数模转换器（DAC）等。

从数据输入输出的角度看，磁盘机（硬盘和软盘）和磁带机也可以被看做输入输出设备。当从磁盘或磁带读取文件时，它们是输入设备，当向磁盘或磁带保存文件时，它们是输出设备。

输入设备和输出设备又统称为输入输出设备，简称 I/O 设备。键盘、鼠标和显示器是每台现代微型计算机必备的 I/O 设备，其他的设备则根据应用的需要有选择地配置。

I/O 设备属于外围设备，但外围设备除 I/O 设备外，还应包括外存储器设备、多媒体设备、网络通信设备和输入输出处理机等。外围设备分类如图 1-3 所示。

3. 存储器

存储器（Memory）是计算机用来存放程序和数据的记忆部件，是计算机各种信息存放和交流的中心。它的基本功能是在控制器的控制下按照指定的地址存入和取出信息。

存储器可分为内存器与外存储器，简称内存与外存。

内存是由中央处理器直接访问的存储器，它存放着现在运行的程序和数据，也可以存储计算的结果或中间结果。由于其直接和运算器、控制器交换信息，因此要求存取速度快，

但存储容量较小。目前计算机的内存储器都采用大规模集成电路制成的半导体存储器。半导体存储器具有存储密度大、体积小、重量轻、存取速度快等优点，并且使用灵活。现在微型计算机内存容量一般都在 64 MB 以上，以 Pentium 4 为处理器的微机，其基本内存已配到 128 MB，并可扩充到 256 MB，甚至更高。内存通常由两种半导体存储芯片，即随机存储器（RAM）和只读存储器（ROM）组成，内存通常又叫做主存储器。

外存是主机的外围设备，用来存储大量的暂时不参加运算或处理的数据和程序，因而允许速度较慢。一旦需要，可成批地与内存交换信息。它是主存储器的后备和补充，因此叫它为“辅助存储器”，如磁盘存储器、磁带存储器、光盘存储器等。外存的特点是存储容量大，可靠性高，价格低，在脱机情况下可以永久地保存信息。

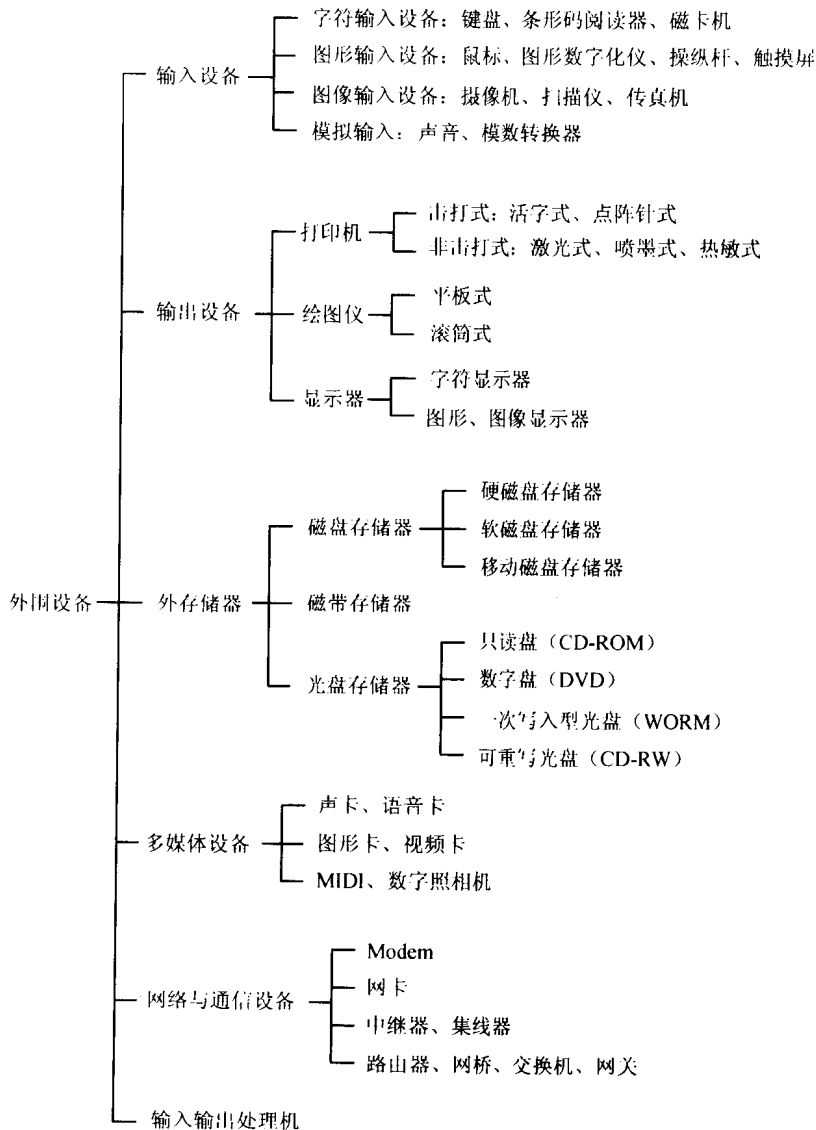


图 1-3 计算机外围设备分类

4. 运算器

运算器的功能是在控制器的指挥下，对信息或数据进行处理和运算（包括算术运算和逻辑运算），所以在其内部有一个算术逻辑部件（ALU）。因为所有的算术运算基本上都可以分解为加法和移位两种基本操作，运算器中还应有存放操作数和运算结果的寄存器，包括移位寄存器和若干通用寄存器。运算器的功能可以归纳为：

- (1) 实现对数据的算术和逻辑运算；
- (2) 暂时存放参与运算的数据和某些中间运算结果；
- (3) 挑选参加运算的数据，选中要执行的运算功能，并把运算结果输送到所要求的部件中。

5. 控制器

控制器是计算机的控制中心，用来实现计算机本身运算过程的自动化。它指挥计算机各部件按照指令功能的要求进行所需要的操作。它从存储器中取出指令，分析指令的功能（指令译码），产生一系列的控制信号，去控制计算机各部件协调地工作，并控制程序的执行顺序。因此，控制器的主要工作是不断地取指令、分析指令和执行指令。

运算器和控制器之间在结构关系上是非常密切的，它们之间有大量的信息频繁地交换。在第三代计算机中，还可以从结构上分清楚哪个是运算器，哪个是控制器；到了第四代计算机，由于半导体制造工艺的进步，把运算器和控制器集成在一个芯片上，这样的集成电路称为中央处理器（CPU）。CPU 对外有标准的信号连接线，我们称之为总线，总线包括地址总线、数据总线和控制总线。通过总线可以把整个计算机的各个部件连接起来。

CPU 主要包括运算器、控制器、总线和时钟等部件，计算机的主机则由 CPU 和内存组成。在微机中使用的 CPU 也称为微处理器。

1.1.3 计算机程序、指令和语言

1. 程序

计算机的程序（Program），就是用某种特定的符号系统（指令或语言）对被处理的数据和实现算法的过程进行的描述，它是由一系列指令或语句组成的，是为解决某一问题而设计的一系列排列有序的指令或语句的集合。程序送入计算机，存放在存储器中，计算机按照程序，即按照为解决某一问题而设计的一系列排好顺序的指令或语句进行工作。人们要让计算机做的工作可能是很复杂的，因而指挥计算机工作的程序也就可能是庞大而复杂的，还可能经常要对程序进行修改与完善。为了便于阅读和修改，必须对程序作必要的说明，并整理出有关的资料。要运行程序，有时需要输入一些必要的数。所以，计算机软件就是能指挥计算机工作的程序和程序运行时所需要的数据，以及与这些程序和数据有关的文字说明和图表资料，其中文字说明和图表资料又称为文档。

2. 指令

指令（Instruction）是指挥计算机如何工作的命令，它由操作码和地址码两部分组成。操作码规定了操作的类型，即进行什么样的操作；地址码规定了要操作的数据及操作结果存放的位置。因此，指令就是由操作码和地址码组成的一串二进制数码。比如，下面一串

二进制数是某小型机的一条加法指令（指令字长 16 位）：

0110000010000001

为了清楚起见，我们用八进制数表示为：060201，即 0 110 000 010 000 001。这里，八进制数 06（二进制数 0 110）是操作码，它表示加法操作；八进制数 0201（二进制数 000 010 000 001）是地址码，有两个操作数的地址，源操作数地址 02，表示是 2 号寄存器，目的操作数地址 01，表示是 1 号寄存器。这条指令的含义是把 2 号寄存器中的数加上 1 号寄存器中的数，其和存放在 1 号寄存器中。

一台机器上的全部指令称为这台机器的指令集（Instruction set）。机器类型不同，其指令集也不同。

3. 计算机语言

计算机语言指的是程序设计语言。要使用计算机解决某一实际问题，就需要编写程序。编写计算机程序，就必须掌握计算机的程序设计语言。程序设计语言分为 3 种类型：机器语言、汇编语言和高级语言。

1) 机器语言

机器语言是一种二进制语言，它是用二进制代码表示的机器指令来描述的。用机器语言编写程序就是用机器指令来描述所求解问题的过程和步骤，这样的程序称为机器语言程序，或称二进制语言程序。

由于计算机的机器指令与计算机的硬件密切相关，用机器语言编写的程序具有充分发挥硬件功能的特点，程序也容易编写得紧凑。机器语言又是计算机惟一能直接识别、直接执行的计算机语言，所以程序的运行速度很快。但是用机器语言所编写的程序很不直观，难懂，难写，难记，也难以修改和维护。同时，机器语言是每种计算机所固有的，不同类型的计算机，其指令系统和指令格式都不一样，针对某一种型号的计算机所编写的程序就不能在另一种型号计算机上运行，即机器语言程序没有通用性。机器语言在计算机发明初期使用。

2) 汇编语言

由于用机器语言编写程序有很多困难和缺点，为了便于人们使用计算机，20 世纪 50 年代初发明了汇编语言。汇编语言和机器语言基本上是一一对应的，但在表示方法上做了根本性的改进。汇编语言用一种助记符来代替操作码，用符号来表示操作数地址（地址码），这些助记符通常使用指令功能英文单词的缩写，以便于记忆。例如，用 ADD 表示加法，用 MOVE 表示传送，等等。用助记符和符号地址来表示指令，既容易辨认，又缩短了冗长的书写，给程序的编写带来很大的方便。

汇编语言比较直观，易懂，易用，而且容易记忆，它的特点是与特定的计算机结构及其指令系统密切相关，其助记符与其机器语言操作码是一一对应的。不同类型 CPU 的计算机，针对同一问题所编写的汇编语言程序往往是互不通用的。

用汇编语言编写的程序质量高，执行速度快，占用内存空间少，因此常用于编写系统软件、实时控制程序、经常使用的标准子程序和用于直接控制计算机的外围设备或端口数据输入输出程序等。

汇编语言和机器语言一样，也是面向机器的程序设计语言，通用性差，使用仍不太方