



21世纪高职高专规划教材·计算机系列

(第2版)

计算机组成原理

张钧良 林雪明 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

（第2版）

计算机组成原理

唐朔飞 主编 张松海 副主编

电子工业出版社
www.eel.com.cn

ISBN 7-302-25422-7



21 世纪高职高专规划教材·计算机系列

计算机组成原理

(第 2 版)

张钧良 林雪明 编著

電子工業出版社

publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是专门为高职高专的计算机专业及相关专业编写的计算机课程教材。

全书按基础、组成、系统3个层次介绍了计算机的组成原理。基础部分包括计算机系统概述、信息编码及其在计算机中的表示、代码校验、计算机的基本器件、机器数的运算方法；组成部分包括运算器、指令系统、主存储器和中央处理器；系统部分包括计算机的存储系统、系统总线、外围设备和输入输出系统。

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。

本书是高职高专层次计算机专业及相关专业的合适教材，也可作为有关职业人员的学习参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/张钧良, 林雪明编著. —2版. —北京: 电子工业出版社, 2004. 5
21世纪高职高专规划教材·计算机系列
ISBN 7-5053-9900-4

I. 计… II. ①张…②林… III. 计算机体系结构—高等学校: 技术学校—教材
IV. TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第040346号



责任编辑: 张荣琴 特约编辑: 王宝祥

印 刷: 北京天宇星印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 565千字

印 次: 2005年1月第3次印刷

印 数: 5000册 定价: 27.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

第 2 版前言

本书第 1 版出版以后,深受广大高职高专院校的欢迎。许多同行老师在采用本书作为计算机课程的教材后,一方面肯定了本书的成功之处,同时也提出了许多中肯的意见,希望本书能进行再版,补充适当的内容。为了使广大读者更好地学习《计算机组成原理》这门课,本书进行了修订。

《计算机组成原理》第 2 版主要按照以下 4 条原则修订:

- (1) 充分利用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,使教材体现先进性;
- (2) 内容要适合高职高专层次学生,不涉及计算机系统结构方面太深的内容;
- (3) 基本概念必须清楚;系统性要强,使学生能建立计算机的整机概念;
- (4) 为了让教师更好地布置作业和学生练习,适当增加习题内容。本书习题答案将公布在教学资源网上,网址: <http://edu.phei.com.cn>。

与第 1 版相比,总体结构保持不变,适当地增加了一些内容。第 7 章中增加了 CPU 的新发展,总线单独列为一章(第 8 章),第 9 章外围设备中增加了移动存储设备。增加了第 11 章计算机组成实验指南。

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了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

2004 年 2 月于宁波

目 录

第 1 章 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 计算机的分类及其应用	(7)
1.3.1 计算机的分类	(7)
1.3.2 计算机的应用	(8)
1.4 计算机的特点和主要性能指标	(10)
1.4.1 计算机的特点	(10)
1.4.2 计算机的性能指标	(12)
1.5 电子计算机的发展	(13)
1.5.1 电子计算机的发展历史	(13)
1.5.2 微型计算机的发展	(15)
1.5.3 计算机的发展趋势	(16)
1.5.4 我国计算机产业的发展	(18)
习题 1	(20)
第 2 章 信息编码及在计算机中的表示	(22)
2.1 信息的数字化编码	(22)
2.2 进位计数制及其相互转换	(22)
2.2.1 常用的进位计数制	(23)
2.2.2 常用进位计数制间的相互转换	(24)
2.3 非数值数据的表示	(27)
2.3.1 字符数据的表示	(27)
2.3.2 汉字编码	(29)
2.4 数值数据的表示和运算	(34)
2.4.1 机器数	(34)
2.4.2 定点数的原码、反码、补码和移码	(38)
2.4.3 定点数和浮点数	(41)
2.4.4 十进制数的编码	(43)
2.5 数据校验码	(47)
2.5.1 码制的距离	(47)
2.5.2 奇偶校验码	(47)
2.5.3 汉明校验码	(48)
2.5.4 循环冗余校验码	(50)
习题 2	(52)
第 3 章 计算机的基本器件	(55)
3.1 逻辑代数与逻辑电路	(55)
3.1.1 逻辑代数	(55)

3.1.2 基本逻辑电路	(59)
3.2 组合逻辑电路	(60)
3.2.1 加法器	(60)
3.2.2 算术逻辑单元	(62)
3.2.3 译码器	(62)
3.2.4 数据选择器	(63)
3.3 时序逻辑电路	(64)
3.3.1 触发器	(64)
3.3.2 寄存器	(66)
3.3.3 计数器	(68)
3.4 总线缓冲器和总线控制器	(69)
3.4.1 总线缓冲器	(69)
3.4.2 总线控制器	(70)
3.5 时钟发生器	(70)
3.5.1 时钟发生器芯片 8284 介绍	(70)
3.5.2 8284 与 CPU 的连接	(71)
习题 3	(72)
第 4 章 机器数的运算方法及运算器	(74)
4.1 机器数的加减运算及其实现	(74)
4.1.1 原码加法	(74)
4.1.2 补码加法	(75)
4.1.3 减法运算	(78)
4.1.4 补码加减运算线路的实现	(79)
4.2 定点乘法及其实现	(80)
4.2.1 原码一位乘法及其实现	(80)
4.2.2 定点补码一位乘法及其实现	(82)
4.2.3 原码两位乘法	(85)
4.2.4 补码两位乘法	(86)
4.3 定点除法及其实现	(88)
4.3.1 定点原码除法	(88)
4.3.2 定点补码除法	(91)
4.4 浮点数的算术运算	(92)
4.4.1 浮点数的补码加法运算	(92)
4.4.2 浮点数的乘法运算	(93)
4.4.3 浮点数的除法运算	(93)
4.5 运算器的组成和结构	(94)
4.5.1 算术逻辑单元 ALU	(94)
4.5.2 通用寄存器组	(96)
4.5.3 状态寄存器	(97)
4.5.4 数据通路	(97)
4.5.5 运算器的基本结构	(100)
4.5.6 运算器组成实例	(102)
4.6 浮点运算器	(103)
4.6.1 80387 的主要性能	(103)

4.6.2	80387 的内部结构	(104)
4.6.3	80387 的硬件特性	(106)
4.6.4	协处理器的工作方式	(107)
习题 4		(107)
第 5 章	指令系统	(110)
5.1	机器指令的格式	(110)
5.1.1	指令的含义	(110)
5.1.2	指令格式	(110)
5.1.3	指令格式举例	(112)
5.1.4	指令操作码的编码格式	(113)
5.1.5	指令字长度与机器字长的关系	(114)
5.1.6	指令助记符	(115)
5.2	寻址方式	(115)
5.2.1	寻址方式和有效地址的概念	(115)
5.2.2	基本寻址方式	(116)
5.2.3	寻址方式举例	(119)
5.3	指令的种类	(120)
5.3.1	数据传送类指令	(120)
5.3.2	算术逻辑运算类指令	(122)
5.3.3	字符串处理指令	(123)
5.3.4	输入/输出 (I/O) 指令	(123)
5.3.5	特权指令和陷阱指令	(124)
5.3.6	转移指令	(124)
5.3.7	子程序调用指令	(126)
5.3.8	处理器控制指令	(126)
5.4	指令的执行方式	(126)
5.4.1	指令的顺序执行方式	(127)
5.4.2	重叠执行方式	(127)
5.4.3	流水线方式	(128)
5.4.4	指令的执行过程	(128)
5.5	精简指令系统计算机 (RISC) 的指令系统	(132)
5.5.1	RISC 的由来与发展	(132)
5.5.2	RISC 的特点	(132)
5.5.3	RISC 指令系统举例	(133)
习题 5		(135)
第 6 章	计算机的存储系统	(139)
6.1	存储器与存储系统概述	(139)
6.1.1	存储器的作用	(139)
6.1.2	存储器分类	(140)
6.1.3	存储器的层次结构	(142)
6.2	主存储器	(143)
6.2.1	主存储器的性能技术指标	(143)
6.2.2	随机存取存储器	(144)
6.2.3	只读存储器	(157)

6.3 并行主存储器·····	(161)
6.4 高速缓冲存储器·····	(163)
6.4.1 高速缓冲存储器的工作原理·····	(164)
6.4.2 高速缓冲器的组织与管理·····	(166)
6.5 虚拟存储器·····	(169)
6.5.1 虚拟存储器的基本概念·····	(169)
6.5.2 页式虚拟存储器·····	(170)
6.5.3 段式虚拟存储器·····	(173)
6.5.4 段页式虚拟存储器·····	(174)
6.6 存储保护·····	(175)
6.6.1 存储区域保护·····	(175)
6.6.2 访问方式保护·····	(177)
习题 6 ·····	(178)
第 7 章 中央处理器 ·····	(180)
7.1 CPU 的功能及组成 ·····	(180)
7.1.1 CPU 的功能 ·····	(180)
7.1.2 CPU 的组成 ·····	(180)
7.1.3 CPU 中的主要寄存器 ·····	(181)
7.1.4 操作控制器和时序产生器·····	(183)
7.2 指令周期·····	(184)
7.2.1 指令周期的基本概念·····	(184)
7.2.2 非访内指令的指令周期·····	(186)
7.2.3 直接访内指令的指令周期·····	(188)
7.2.4 间接访内指令的指令周期·····	(190)
7.2.5 程序控制指令的指令周期·····	(192)
7.3 组合逻辑控制器·····	(192)
7.3.1 组合逻辑控制器原理·····	(192)
7.3.2 组合逻辑控制器举例·····	(193)
7.4 微程序控制器·····	(196)
7.4.1 微程序控制器的基本原理·····	(196)
7.4.2 微指令结构·····	(198)
7.4.3 串/并行微程序控制 ·····	(203)
7.4.4 动态微程序设计·····	(204)
7.4.5 毫微程序设计·····	(204)
7.5 门阵列控制器·····	(206)
7.5.1 通用可编程逻辑器件·····	(206)
7.5.2 门阵列控制器·····	(207)
7.6 流水线处理器·····	(209)
7.6.1 流水线原理·····	(209)
7.6.2 流水线分类·····	(211)
7.6.3 流水线中的相关问题·····	(212)
7.7 RISC 硬件结构 ·····	(214)
7.7.1 RISC 的特点 ·····	(215)
7.7.2 RISC CPU ·····	(215)

7.7.3 RISC 寄存器	(217)
7.8 CPU 的发展	(218)
7.8.1 CPU 采用的新技术	(218)
7.8.2 CPU 的新发展	(220)
习题 7	(225)
第 8 章 总线结构	(227)
8.1 总线概述	(227)
8.1.1 总线原理	(227)
8.1.2 总线结构类型	(228)
8.1.3 总线的分类	(229)
8.1.4 数据总线、地址总线和控制总线	(231)
8.2 总线的组成	(232)
8.2.1 总线驱动和三态门	(232)
8.2.2 总线控制	(233)
8.2.3 总线通信	(235)
8.2.4 出错处理	(237)
8.3 微机总线	(237)
8.3.1 工业标准总线 ISA	(237)
8.3.2 微通道总线 MCA	(238)
8.3.3 扩充的工业标准总线 EISA	(239)
8.3.4 局部总线 PCI	(239)
8.3.5 AGP 总线	(240)
8.3.6 通用串行总线 USB	(240)
习题 8	(242)
第 9 章 外围设备	(244)
9.1 外围设备概述	(244)
9.1.1 什么是外围设备	(244)
9.1.2 外围设备的分类和功能	(244)
9.1.3 外围设备与主机系统的联系	(247)
9.1.4 外围设备的发展方向	(248)
9.2 输入设备	(249)
9.2.1 键盘	(249)
9.2.2 图形输入设备	(253)
9.2.3 其他输入设备	(254)
9.3 显示设备	(256)
9.3.1 显示设备分类及显示技术的有关术语	(256)
9.3.2 字符显示器	(258)
9.3.3 图形显示器	(261)
9.3.4 图像显示器	(263)
9.4 打印机	(263)
9.4.1 打印机的分类	(263)
9.4.2 点阵针式打印机	(264)
9.4.3 激光打印机	(267)
9.4.4 喷墨打印机	(268)

9.5 磁记录设备	(269)
9.5.1 磁记录设备概述	(269)
9.5.2 硬磁盘存储器	(273)
9.5.3 软磁盘存储器	(277)
9.5.4 磁带存储器	(280)
9.6 光盘存储器	(282)
9.6.1 概述	(282)
9.6.2 光盘存储器的组成	(283)
9.6.3 光盘工作原理	(283)
9.7 移动存储设备	(284)
9.7.1 移动存储设备的分类	(284)
9.7.2 爱国者“迷你王”	(285)
9.7.3 快闪存储器	(286)
习题 9	(287)
第 10 章 输入/输出系统	(289)
10.1 I/O 系统概述	(289)
10.1.1 I/O 系统的功能与组成	(289)
10.1.2 输入/输出设备的寻址方式	(290)
10.1.3 输入/输出数据传输控制方式	(291)
10.2 程序查询输入/输出方式	(292)
10.2.1 程序查询方式的接口	(292)
10.2.2 程序查询输入/输出方式	(292)
10.3 程序中断输入/输出方式	(293)
10.3.1 中断的基本概念	(293)
10.3.2 中断方式的接口	(295)
10.3.3 中断的响应和处理	(295)
10.3.4 多级中断	(296)
10.4 DMA 方式	(298)
10.4.1 DMA 方式的基本概念	(298)
10.4.2 DMA 传送方式	(299)
10.4.3 基本的 DMA 控制器	(300)
10.4.4 DMA 工作过程	(301)
10.5 通道方式	(302)
10.5.1 通道的作用和功能	(302)
10.5.2 通道的种类	(303)
10.5.3 通道的工作过程	(303)
习题 10	(304)
第 11 章 计算机组成实验指南	(307)
11.1 THJZ-1 型计算机组成原理实验系统概述	(307)
11.1.1 引言	(307)
11.1.2 系统组成与特点	(307)
11.1.3 系统通用电路简介	(308)
11.1.4 系统控制信号定义及说明	(310)
11.1.5 系统技术指标	(312)

11.1.6	系统使用与初始化	(312)
11.2	实验内容	(314)
11.2.1	实验一 运算器组成实验	(314)
11.2.2	实验二 存储器实验	(316)
11.2.3	实验三 数据通路实验	(318)
11.2.4	实验四 微程序控制实验	(319)
11.2.5	实验五 计算机组成与指令周期实验	(322)
11.3	集成电路说明及其他	(327)
11.3.1	集成电路说明	(327)
11.3.2	微指令代码表	(329)
11.3.3	8 位数据通路原理图	(329)
参考文献		(332)

第 1 章 计算机系统概述

电子计算机的诞生、发展和应用的普及，是 20 世纪科学技术的卓越成就，是新的技术革命的基础。电子计算机是人类历史上最伟大的发明之一。在信息时代，计算机的应用必将加速信息革命的进程。计算机不仅能代替人类繁重的体力劳动，而且能代替人的脑力劳动。随着科学技术的发展及计算机应用的更广泛普及，它对国民经济的发展和社会的进步将起到越来越巨大的推动作用。

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，并且早期的 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”单纯当做“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。

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能接收程序和数据的输入，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的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

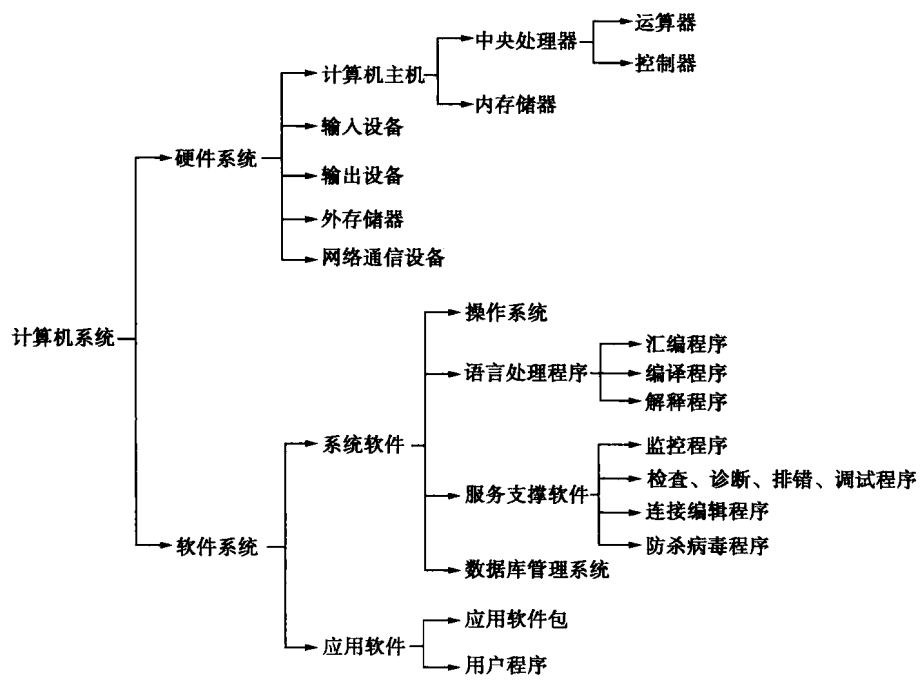
硬件和软件是学习计算机知识中经常遇到的术语。

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。例如中央处理器、存储器、各种外围设备等等。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以及有关的文档资料，例如操作系统、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。

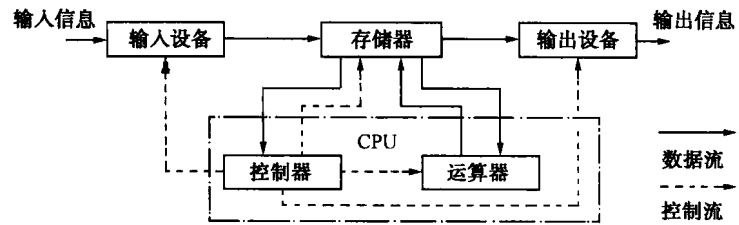
图 1.1 所示给出了计算机系统的构成。



通常, 把不装备任何软件的计算机称为硬件计算机或裸机。裸机是不能使用的。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, 它们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 所示给出了由这 5 部分组成的以存储器为中心的计算机硬件组成框图。



1. 输入设备

输入设备 (Input Equipment) 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。

鼠标器 (Mouse) 用以确定显示器屏幕位置坐标, 是近年来在一些选单式软件和图形系统中常用的输入设备。鼠标器上有两个 (或 3 个) 按键, 在专门软件的支持下, 操作者可手持鼠标器在桌面或一块专用板上滑动, 鼠标指针就在显示器屏幕上移动, 移到所选位置, 按下有关按键, 就可完成选单选择、定位拾取等操作。

其他输入设备还有: 扫描仪 (Scanner)、数字化仪 (Digitizer)、光笔 (Light Pen)、条形码扫描器 (Barcode Scanner)、触摸屏、各种模/数 (A/D) 转换器、数码相机等。

2. 输出设备和外围设备

输出设备 (Output Equipment) 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 (Display) 和打印机 (Printer), 还有绘图仪 (Plotter)、X-Y 记录仪、音箱、各种数-模 (D/A) 转换器等。

从数据输入和输出的角度看, 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 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。计算机外围设备分类如图 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。

存储器可分为内存储器与外存储器, 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、质量小、存取速度快等优点, 并且使用灵活。现代微型计算机内存容量一般都在 64MB 以上, 以 P4 为处理器的 PC 机基本内存为 128MB, 并可扩充到 256MB, 甚至更高。内存通常由两种半导体存储芯片随机存取存储器 RAM (Random Access Memory) 和只读存储器 ROM (Read-Only Memory) 组成, 并通常叫做主存储器。

外存储器简称外存, 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, 因此称它为“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

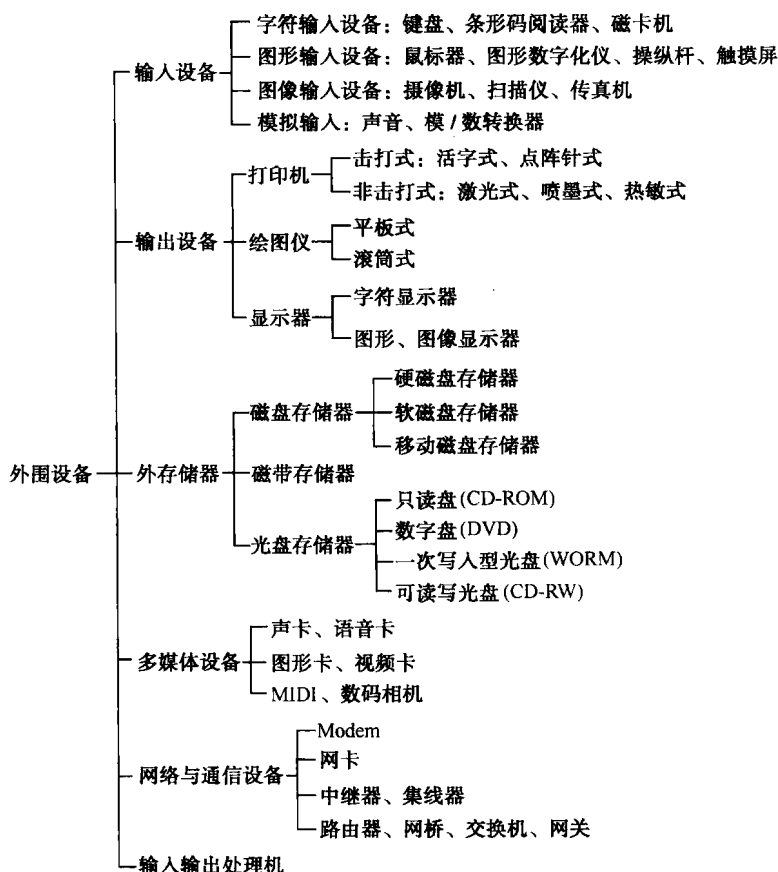


图 1.3 计算机外围设备分类

点是存储容量大、可靠性高、位价格低，在脱机情况下可以永久地保存信息。

4. 运算器

运算器 (Arithmetic Unit) 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，包括进行数据变换、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 (Arithmetic and Logical Unit)。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，包括累加器、标志寄存器、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，并把运算结果输出到所要求的部件中。

5. 控制器

控制器 (Control) 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。它的主要功能是为计算机的工作提供统一的时钟，按照程序，不断地从存储器中取指令、分析指令，把指令中的操作码译码成

相应的操作命令，并进行时序分配，变成相应的控制信号，驱动计算机的各部件按照节拍有序地完成程序规定的操作内容，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3代计算机中，还可以从结构上分清楚哪是运算器，哪是控制器；到了第4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，这样的集成电路芯片称为中央处理器（CPU）。CPU对外有标准的信号连接线，我们称它为总线，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。

中央处理器 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 和内存储器组成。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，必须对程序做出必要的说明，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，它通常由一串二进制数码组成，即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以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，下面一串二进制数码就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 0110）是操作码，它表示加法操作；八进制数 0201（二进制数 000010000001）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（Computer Language）指的是程序设计语言。要使用计算机解决某一实际