



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 计算机系列教材

计算机组成与设计

薛宏熙 胡秀珠 编著

清华大学出版社





清华大学“985工程”国家级精品课程系列教材

计算机组成与设计

清华大学出版社

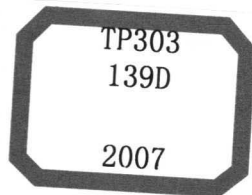
清华大学出版社

清华大学出版社



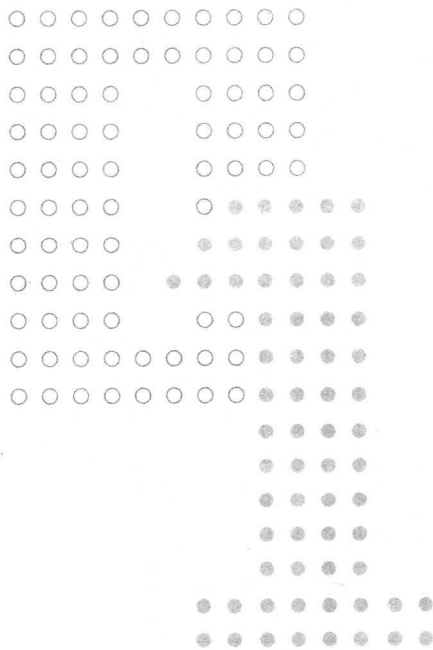


普通高等教育“十一五”国家级规划教材 计算机系列教材



薛宏熙 胡秀珠 编著

计算机组成与设计



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分7章和2个附录,第1章是概论;第2章介绍数据在计算机内部的表示形式;第3章介绍如何用数字电路实现数据的存储与运算;第4~7章是计算机组成原理和设计方法的主体内容,包括中央处理器(CPU)、存储系统、外围设备和输入输出系统。附录A介绍EDA工具Quartus II,附录B介绍硬件描述语言VHDL。本书附有光盘,其中包含Quartus II 6.0网络版安装软件、本书中的图片以及VHDL源代码,方便学生学习和教师制作课件。

本书的特点是引入电子设计自动化(EDA)工具和硬件描述语言VHDL,使理论教学和上机实验相结合,学习基本原理和掌握设计方法相结合。

本书可作为高等院校计算机及相关专业“计算机组成原理”课程的教材,也可作为从事相关工作的工程技术人员参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与设计/薛宏熙,胡秀珠编著. —北京:清华大学出版社,2007.1

(计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-14343-7

I. 计… II. ①薛… ②胡… III. ①计算机体系结构 ②微型计算机—接口设备 IV. ①TP303 ②TP364

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第154464号

责任编辑:马瑛珺

责任校对:白蕾

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

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

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京市昌平环球印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:23.75 字 数:574千字

(附免费光盘1张)

版 次:2007年1月第1版

印 次:2007年1月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:36.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:021208-01

计算机系统由硬件和软件组成,计算机组成原理课程偏重于硬件,并且把硬件和软件之间的桥梁搭建起来。目标是让学生了解计算机的内部结构,以便为他们将来的发展奠定一个良好的专业基础。作者发现某些计算机专业毕业的大学生在后续课程中暴露出以下弱点:他们对计算机组成的细节知道不少,而总体把握不足,在实际应用时概念模糊,不知如何下手。为此本书在写作风格上贯彻以下特点:

首先,在教学体系上提供一个理论与实践结合的实验平台。为此,本书引入电子设计自动化(electronic design automation,EDA)工具和硬件描述语言 VHDL,使理论教学和上机实验相结合。这样做带来的好处是:①学生的注意力可以集中于对计算机及其部件功能的深刻理解和精确描述,深刻理解各功能部件的相互连接关系,而不陷入手工设计的繁琐细节中,因为这些繁琐的细节工作可以交给 EDA 工具去做。②检验一个设计正确与否可以在 EDA 工具(模拟验证)的帮助下完成,因而使学生具备自我检查的能力。③通过实验完成一个计算机部件的设计,必然印象深刻,并且这个设计不是纸面上的图形和文字,而是可以提交给 EDA 工具、可直接被综合为集成电路的设计。虽然学习 EDA 工具的使用方法以及学习硬件描述语言 VHDL 都需要花费一定的时间和精力,但是这种付出和收获相比,收获将远大于付出。从更长远的角度看,掌握 EDA 工具的使用方法以及硬件描述语言对学生的发展极为有益,学生毕业后走上工作岗位,如果遇到硬件设计问题,用这种方法进行设计必然省时、省力,效果好。

其次,易学易懂是本书的一个重要目标。为此,在每章的开头有【课前思考】和【学习指南】,为学习本章提供指导性意见,每章的末尾有习题供学生作练习。在文字表述上,尽量避免长篇的文字描述,而尽量多用图形、表格、提纲等方式,醒目地介绍有关知识。学习计算机组成原理会涉及许多专业术语和概念,为了使学生便于接受这些术语和概念,本书采用实例引导的方法,逐步深入地引入概念。在描述比较复杂的概念或定义的时候,采取先粗略、后精确的方法,经过若干步骤达到由表及里、由浅入深。当涉及深入的数学问题的时候,本书先给出初始出发点和有关定义,再给出相应的结论,而略去中间的推导(或证明)过程。因为我们的读者不是数学专业的学生,我们的目的是了解这些结论如何应用于计算机中。

本书在取材方面以基本内容为主,当涉及某些难度较大,而又需要一般了解的知识点时,本书给有关章节加上星号,提示该部分内容不属于基本要求。

本书采用的 EDA 工具是 ALTERA 公司的 Quartus II,该公司有一个支持教育的大学计划(university program),为学生免费提供 Quartus II 学生版。在此我们要感谢 ALTERA

公司,感谢他们为学校的理论教学和上机实验相结合提供了实验平台。

全书共分7章和2个附录。第1章是概论,以形象、概括的方式介绍计算机的组成,使读者尽早地对计算机有一个整体的认识。其中包括计算机的基本部件,计算机的硬件、软件及其相互关系,计算机的应用和发展等。

第2章介绍计算机内部的编码系统。主要介绍数据表示形式的多样性:在计算机外部,数据的表示形式要尽量方便人的理解;在计算机内部,数据表示形式要尽量适合计算机的存储与处理。由此而产生了多种编码系统,其中补码应用最广,也是本章的重点。

第3章介绍用数字电路实现数据的存储与运算。数字电路中最基本的逻辑元件是逻辑门,最基本的存储元件是触发器,用逻辑门和触发器可以构建计算机的各种部件。如何理解逻辑门、触发器的基本功能,如何用逻辑门和触发器构建计算机的各种部件,如何检验设计的部件是否和预期的功能相符,这就要用到EDA工具和硬件描述语言VHDL。应当说明的是,本章的内容和“数字逻辑”的内容有部分重叠之处,出现重叠的原因是出发点不完全相同,本书的着重点在于如何使用基本逻辑元件构建计算机,而不是介绍这些逻辑元件本身。读者可把重叠之处作为复习,也可以跳过不看。

第4章介绍计算机的核心部件——处理器。处理器的主要功能是执行指令,因此需要了解指令的格式和指令的执行过程。处理器由数据通路和控制器组成,控制器向数据通路发出控制信号,使数据沿着指定的通路前进,从而完成指令所要求的操作。学习处理器有2个难点:①指令的执行过程;②控制器的设计。本书采用的教学方法是:用VHDL描述一个简化的处理器,使学生从总体上把握处理器的功能和指令的执行过程,至于设计的细节则交给EDA工具去完成。这样做避开了难点和繁琐的细节,有利于学生从总体上掌握关于处理器的知识,同时也符合将来工作的实际环境。因为EDA工具已经比较成熟,教科书应当在技术上与时俱进,把先进的工具引入教学过程,提高教学效果。

第5章介绍计算机的存储系统,存储系统由内(主)存储器、外(辅助)存储器、高速缓冲存储器和虚拟存储器4部分组成。我们知道,计算机的指令和数据都存储在存储器中,存储器是计算机不可缺少的重要部件。存储系统为什么要由4部分组成而不是单一品种?最重要的原因是为了提高性能价格比。

第6章介绍计算机的外围设备,包括输入设备和输出设备。

第7章介绍总线和输入输出系统,主要内容为外围设备和处理器的连接方式。

附录A介绍Quartus II,通过精选的实例进行引导,读者可以跟随这些例子并实际操作,从而掌握Quartus II的使用方法和技巧。

附录B介绍硬件描述语言VHDL。

从第3章开始,理论学习要和上机实验相结合,这就必然涉及EDA工具Quartus II和硬件描述语言VHDL。在学习方法上,我们不是先学习了Quartus II和VHDL之后才学第3章以及此后的章节。建议初学者先快速浏览附录A和附录B,然后在学习有关理论知识的过程中边学边查,穿插进行。先对Quartus II和VHDL有个粗略的了解,最后达到全面

掌握。教师讲课时,也可以在讲第3章之前用2个课时简单介绍 Quartus II,然后布置作业让学生在实践中逐步掌握 Quartus II 的使用方法和技巧。

有关 Quartus II、VHDL 及可编程逻辑器件的详细资料,可参阅文献[7~12]。

本书的适用对象是大学本科生,以及想通过自学掌握计算机内部结构的工程技术人员。

本书附有光盘,其中包含 EDA 工具 Quartus II 6.0 网络版,使读者得以方便地使用该软件;光盘中还包含本书中所有表格、图片以及 VHDL 源代码,方便学生学习和教师制作课件。

致谢

研究生陈美杉和董龙仔细阅读了本书第1~6章,提出了许多宝贵意见,许忠信博士对附录 A 进行了审校,ALTERA 公司中国区项目经理徐平波为本书提供了 EDA 工具 Quartus II 6.0 网络版并授权发行,在此一并致谢。

限于作者的经验和水平,错误或不当之处在所难免,欢迎读者和使用此教科书的教师、学生提出宝贵意见。

作 者

2006年9月于清华园
xuehx@tsinghua.edu.cn

P r e f a c e

第 1 章 概论 /1

- 1.1 从外部观察计算机 /2
- 1.2 数字计算机与模拟计算机 /6
- 1.3 计算机的内部结构 /6
 - 1.3.1 计算机硬件的组成 /7
 - 1.3.2 计算机软件的组成 /11
- 1.4 微型计算机的主要指标 /13
- 1.5 计算机的发展与应用 /14
 - 1.5.1 制造工艺进步导致计算机性能提高 /14
 - 1.5.2 计算机的普及与应用导致计算机产业发展 /15
 - 1.5.3 远景展望 /16
- 本章小结 /17
- 习题 /17

第 2 章 数码系统——数据在计算机内部的表示形式 /19

- 2.1 数据表示形式的多样性 /19
 - 2.1.1 适合于人的数据表示形式 /19
 - 2.1.2 适合于计算机的表示形式——编码 /20
 - 2.1.3 数据格式的相互转换 /28
- 2.2 机器数的编码格式 /31
 - 2.2.1 二进制定点数的原码表示形式 /32
 - 2.2.2 二进制定点数的补码表示形式 /34
 - 2.2.3 二进制定点小数的反码表示形式 /42
 - 2.2.4 十进制数的二进制编码及运算 /43
 - 2.2.5 浮点数的编码形式 /46
- 2.3 信息传输过程中的检错/纠错码 /47
 - 2.3.1 奇偶校验码 /48
 - 2.3.2* 海明校验码 /49
 - 2.3.3* 循环冗余校验码 /51
- 本章小结 /56
- 习题 /57

第 3 章 用数字电路实现数据的存储与运算	/62
3.1 数字集成电路的基本元件——逻辑门	/63
3.1.1 MOS 晶体管	/63
3.1.2 逻辑门	/65
3.2 定点数的简单算术运算	/70
3.2.1 简单二进制加法器的实现(举例)	/70
3.2.2 简单二进制减法器的实现(举例)	/78
3.2.3 定点二进制数的补码加减法 运算器	/78
3.2.4 定点二进制数乘法运算部件的实现	/80
3.2.5 定点二进制数除法运算部件的实现	/82
3.2.6 逻辑运算的实现(举例)	/82
3.3 数据的存储	/83
3.4 二进制定点数的乘法运算	/87
3.4.1 正数的定点小数乘法运算	/87
3.4.2 补码的乘法运算	/92
3.5 二进制定点数的除法运算	/97
3.5.1 正数的定点小数除法运算	/97
3.5.2* 补码的除法运算	/100
3.6 浮点数的算术运算	/104
3.6.1 浮点数的加减运算	/104
3.6.2 浮点数的乘除运算	/105
3.6.3 阶码的表示形式——补码和移码	/107
3.6.4 浮点数四则运算的小结	/108
3.7 算术逻辑运算单元(ALU)举例	/109
本章小结	/111
习题	/111
第 4 章 计算机的核心部件——处理器	/114
4.1 处理器的工作过程简介	/114
4.2 数据在内存中与在处理器中的表示方式	/116
4.3 指令格式(机器码格式)	/116
4.3.1 操作码	/117

4.3.2	地址码	/118
4.4	寻址(编址)方式	/119
4.4.1	基本寻址方式概述	/120
4.4.2	寻址方式举例	/122
4.5	一个简单处理器(简化模型)的指令系统	/123
4.6	处理器的组成与设计	/125
4.6.1	处理器的组成	/125
4.6.2	处理器和内存的相互联系	/127
4.6.3	控制器	/127
4.6.4	处理器指令执行的详细流程	/130
4.6.5	处理器的(VHDL)行为描述	/135
4.6.6	处理器与内存相连组成一台计算机	/143
4.7	流水线技术	/149
4.8	精简指令系统计算机(RISC)	/151
	本章小结	/152
	习题	/152
第5章	多级结构的存储器系统	/154
5.1	概述	/154
5.2	存储器分类	/155
5.3	主存储器的基本原理	/156
5.3.1	静态存储器的基本原理	/158
5.3.2	动态存储器的基本原理	/159
5.3.3	只读存储器(ROM)	/160
5.3.4	主存储器的主要技术指标	/162
5.4	构成主存储器的有关技术	/163
5.4.1	主容量的扩展	/163
5.4.2	单向数据总线和双向数据总线	/164
5.4.3	地址码的一级译码和二级译码	/165
5.4.4	主存的检错与纠错	/167
5.4.5	主存的并行读写技术	/167

- 5.4.6 CPU 与主存的协同工作——同步与异步 /169
- 5.4.7* 同步动态随机存储器 /169
- 5.4.8* Rambus DRAM /170
- 5.4.9* 双端口存储器 /170
- 5.4.10* 在 DRAM 芯片内加入缓存 /171
- 5.5 辅助存储器 /171
 - 5.5.1 磁记录原理与记录方式 /171
 - 5.5.2 磁盘存储器 /174
 - 5.5.3 磁盘阵列存储器 /176
 - 5.5.4 光盘存储器 /178
 - 5.5.5 移动式存储器 /181
- 5.6 高速缓冲存储器 /181
 - 5.6.1 高速缓存的工作原理 /182
 - 5.6.2 地址映像 /183
 - 5.6.3 替换算法和更新策略 /185
- 5.7 虚拟存储器 /187
 - 5.7.1 虚拟存储器的基本概念 /187
 - 5.7.2 段式虚拟存储器 /187
 - 5.7.3 页式虚拟存储器 /188
 - 5.7.4 段页式虚拟存储器 /189
 - 5.7.5 快表与慢表 /190
- 本章小结 /191
- 习题 /191

第 6 章 计算机的输入输出设备 /194

- 6.1 图形和图像的点阵表示 /195
- 6.2 键盘输入设备 /196
- 6.3 定位输入设备 /197
 - 6.3.1 鼠标器 /197
 - 6.3.2 轨迹球 /198
 - 6.3.3 触摸板 /198
- 6.4 扫描仪 /198

- 6.4.1 扫描仪的工作原理 /198
- 6.4.2 扫描仪的性能指标 /199
- 6.5 显示器 /199
 - 6.5.1 CRT 显示器 /200
 - 6.5.2 液晶显示器 /202
- 6.6 打印机 /203
 - 6.6.1 针式打印机 /203
 - 6.6.2 喷墨打印机 /205
 - 6.6.3 激光打印机 /206
- 6.7 汉字输入 /206
- 本章小结 /208
- 习题 /208

第7章 计算机的输入输出系统 /210

- 7.1 概述 /210
- 7.2 计算机总线 /212
 - 7.2.1 总线类型 /212
 - 7.2.2 总线判优与仲裁 /213
 - 7.2.3 总线通信控制 /216
 - 7.2.4 总线的标准化和性能指标 /218
 - 7.2.5 总线举例 /219
- 7.3 输入输出接口 /222
 - 7.3.1 接口的功能与组成 /222
 - 7.3.2 接口的分类 /224
 - 7.3.3 串行接口的通信协议 /224
- 7.4 程序直接控制的输入输出方式 /226
- 7.5 程序中断输入输出方式 /228
 - 7.5.1 中断的基本概念 /228
 - 7.5.2 中断请求与判优 /229
 - 7.5.3 中断响应与中断处理 /232
 - 7.5.4 多重中断中的现场保存与恢复 /234
- 7.6 DMA 输入输出方式 /235

- 7.6.1 基本概念 /235
- 7.6.2 DMA 接口 /237
- 7.6.3 DMA 的工作方式 /238
- 7.6.4 DMA 的数据传送过程 /238
- 7.7* 通道控制与外围处理机控制方式 /239
- 7.8* 可编程接口电路举例——8255 /240
- 7.9* 8255 的 VHDL 行为描述 /245
- 本章小结 /250
- 习题 /251

附录 A EDA 工具 Quartus II 简介 /253

- A.1 Quartus II 的安装与运行 /254
 - A.1.1 Quartus II 的首次安装 /254
 - A.1.2 申请授权文件 /255
 - A.1.3 改变 Quartus II 主界面的样式 /256
- A.2 设计流程 /257
- A.3 项目的建立与版本管理 /259
 - A.3.1 建立一个新项目 /259
 - A.3.2 Quartus II 项目的版本管理 /261
- A.4 设计的原理图描述 /263
 - A.4.1 进入原理图编辑器 /263
 - A.4.2 从元件库中调入元件符号 /264
 - A.4.3 绘制原理图 /265
- A.5 设计的 VHDL 描述 /266
 - A.5.1 进入文本编辑器 /267
 - A.5.2 在文本编辑器中编辑 VHDL 文件 /267
 - A.5.3 发现并纠正 VHDL 代码中的错误 /268
 - A.5.4 保存文件 /270
- A.6 综合和编译 /270
 - A.6.1 进入编译器 /270
 - A.6.2 发现并纠正原理图中的错误 /272
- A.7 模拟验证 /273
 - A.7.1 使用波形编辑器绘制测试向量波形 /273

- A. 7. 2 执行模拟 /276
- A. 8 层次化设计实例 /278
 - A. 8. 1 在原理图编辑器中实现层次化设计 /279
 - A. 8. 2 VHDL 设计描述与原理图混合使用的层次化设计 /281
- A. 9 时序分析器 /284
- A. 10 调用带参数的库元件 /286
 - A. 10. 1 在原理图编辑器中创建一个存储器 /286
 - A. 10. 2 初始化存储器的内容 /291
 - A. 10. 3 存储器的模拟实例 /291
- A. 11 可编程器件的物理实现 /292
 - A. 11. 1 引脚分配 /293
 - A. 11. 2 对目标器件编程 /296
- A. 12 用 SignalTap II 实时测试 FPGA 中的信号波形 /298

附录 B 硬件描述语言 VHDL 简介 /303

- B. 1 VHDL 的产生与发展 /303
- B. 2 用 VHDL 建立电路模型 /304
 - B. 2. 1 电路模型 /304
 - B. 2. 2 实体声明与结构体 /306
 - B. 2. 3 结构体的描述方式 /307
 - B. 2. 4 标识符 /308
- B. 3 面向模拟器的某些特性 /309
 - B. 3. 1 模拟周期 /310
 - B. 3. 2 延迟时间 /310
- B. 4 VHDL 中的对象 /311
- B. 5 数据类型 /312
 - B. 5. 1 标量类型 /313
 - B. 5. 2 复合类型 /314
 - B. 5. 3 子类型 /316

- B. 5. 4 文件类型 /316
- B. 5. 5 类型转换 /317
- B. 6 VHDL 的词法单元 /318
 - B. 6. 1 注释 /318
 - B. 6. 2 数字 /319
 - B. 6. 3 字符 /319
 - B. 6. 4 字符串 /320
 - B. 6. 5 位串 /320
- B. 7 属性 /320
- B. 8 表达式与运算符 /323
- B. 9 子程序——过程与函数 /326
- B. 10 程序包与设计库 /328
 - B. 10. 1 程序包——设计中的数据共享 /328
 - B. 10. 2 设计库 /329
 - B. 10. 3 VHDL 中名字的可见性 /330
 - B. 10. 4 library 语句和 use 语句 /331
- B. 11 行为描述 /332
 - B. 11. 1 进程语句 /332
 - B. 11. 2 行为模型的顺序性 /333
 - B. 11. 3 行为模型的并行性 /340
- B. 12 结构描述 /344
 - B. 12. 1 端口的基本特征 /345
 - B. 12. 2 元件例化语句 /346
 - B. 12. 3 配置指定 /347
 - B. 12. 4 规则结构 /348
 - B. 12. 5 无连接端口 /349
- B. 13 重载 /349
- B. 14 VHDL 保留字和预定义程序包 /351
 - B. 14. 1 VHDL 保留字 /351
 - B. 14. 2 标准程序包 STANDARD /352
 - B. 14. 3 IEEE 多值逻辑系统程序包
std_logic_1164 /359

第 1 章 概 论

【课前思考】

- (1) 计算机已经从科学家的实验室走进政府机关、工厂、企业以及寻常百姓家,作为一个现代人,掌握计算机是一项必备的基本技能。
- (2) 计算机又称电脑,电脑和人脑各有什么优势?
- (3) 本书的目标是介绍计算机的内部组成原理及设计方法,本章则是全书的导引。

【学习指南】

- (1) 本章是入门介绍,但求宏观把握,不追求细节。欲知详情,且看后续章节。
- (2) 人们认识事物的过程都是由表及里,由粗略到细致,由具体到概念,认识计算机的过程也不例外。
- (3) 计算机的产生和发展的过程是:

电子管、晶体管等元件 → 数字电路 → 计算机部件 →
计算机硬件(裸机) → 硬件 + 软件(虚拟计算机) → ……

我们学习的顺序是:

计算机的外观 → 了解(硬件 + 软件)构成虚拟计算机 →
计算机硬件(裸机) → 计算机部件 → 计算机系统 → ……

【任务 1.1】

- (1) 从外部观察台式计算机,观察机箱与显示器、键盘、鼠标、电源线的连接情况。
- (2) 在断开电源的情况下,打开机箱,观察机箱内的部件。主要包括:
 - ① 硬盘(hard disc);
 - ② 软盘驱动器(floppy disc driver);
 - ③ 光盘驱动器(compact disc driver);
 - ④ 主板以及接插在主板上的接口电路板。

整个过程需要谨慎小心,以免损坏机器。

1.1 从外部观察计算机

计算机又称电脑,其英文名称为 computer。打个比方,机械是人手的延伸,汽车是人腿的延伸,电脑则是人脑的延伸。今日的电脑和人脑相比各有什么优势呢? 电脑的优势是:

- (1) 记忆能力强,因为计算机已经有了大容量的存储器;
- (2) 运算速度快,巨型计算机的运算速度已达每秒 110 000 亿次以上;
- (3) 不知疲劳,不会忘记(忽略计算机损坏这种特殊情况)。

人脑的优势是创造性:计算机的智能全是人赋予的,有的计算机具有自己学习的能力(智能计算机),但这种学习能力也是人教给的。举例来说,人可以和计算机下棋(五子棋、象棋、国际象棋以及围棋等),起初是人获胜,慢慢地计算机也可能获胜。原因是人不断地把制胜的规律教给计算机,把名家的棋谱输送给计算机,计算机全部记住了,而人则可能由于疲劳、忘记、情绪波动等原因出现“昏招”而导致失败。但是,人脑的创造性可以创出“新招”,使计算机不知如何应付。

按照规模的大小,计算机可分为巨型、大型、小型和微型计算机,人们最常看到的是微型计算机(micro-computer)。图 1.1 所示是一种常见的微型计算机——台式计算机。



图 1.1 台式计算机的外貌

如图 1.1 所示,台式计算机的主要部件是:

- (1) **键盘** 计算机的输入设备,使用者可以从这里向计算机输入命令或数据。
- (2) **鼠标** 使用者通过鼠标选择适当的命令或数据发送给计算机。
- (3) **显示器** 计算机的输出设备,使用者可以从显示屏上观察到计算机的输出信息。
- (4) **机箱** 计算机的主要部件安装在机箱内部(图 1.2),主要部件包括:

① **主板** 计算机的主要器件(集成电路)都焊接在主板上,主板上可能还有插座。内存条或某些接口电路以小板的形式插入插座,实现和主板的连接。

② **硬盘** 计算机的大容量存储器(通常称为外存),计算机用到的程序和数据大多存放在这里。硬盘名称的由来是因为记录信息的磁性材料涂敷在坚硬的金属(例如铝)圆盘上而得名,它属于可读可写型存储器,可以将信息写入硬盘,也可以将硬盘中的信息读出。目前应用最广的硬盘是将盘片和驱动器密封在一起的温彻斯特盘(简称温盘),外形是一个方盒子。其优点是可以避免尘埃进入,从而延长磁盘的寿命,其缺点是