

Information

全国高职高专应用型规划教材
信息技术类



计算机组成原理

陈美成 苏 畅 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高职高专应用型规划教材·信息技术类

计算机组成原理

陈美成 苏 畅 编 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机的基本组成原理和内部工作机制,共分9章,主要内容分成两个部分:第1~3章介绍了计算机的基础知识、电路基础知识;第4~9章介绍了计算机的各子系统(包括运算器、存储器、控制器、外部设备和输入输出子系统等)的基本组成原理、设计方法、相互关系以及各子系统互连接构成整机系统的技术。

本书内容由浅到深,并提供了大量的习题,可以作为高职高专计算机及相关专业计算机组成原理课程的教材,也可供从事计算机工作的技术人员作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/陈美成,苏畅编著. —北京:北京大学出版社,2011.12

(全国高职高专应用型规划教材·信息技术类)

ISBN 978-7-301-18910-8

I. ①计… II. ①陈… ②苏… III. ①计算机组成原理—高等职业教育—教材 IV. ①TP301

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第093020号

书 名: 计算机组成原理

著作责任者: 陈美成 苏 畅 编著

责任编辑: 吴坤娟

标准书号: ISBN 978-7-301-18910-8/TP·1170

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62756923 出版部 62754962

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 12.25印张 265千字

2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

定 价: 25.00元

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

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

计算机组成原理课程是计算机专业的专业基础课，是计算机体系结构、微型计算机接口技术、计算机网络等专业课的先修课。通过本课程的学习，可以掌握单处理器计算机系统中各个部件的工作原理、组成结构以及相互的连接方式，掌握其中的主要部件的设计方法，建立完整的计算机系统的整机概念。

全书共分 10 章，各章内容如下。

第 1 章是开篇。指导学习如何理解和学习计算机组成原理。

第 2 章是概述。主要介绍计算机组成和体系结构的基本概念，讨论了计算机的工作过程，给出了主要的计算机性能指标，最后简要介绍了计算机的发展简史和计算机的应用。

第 3 章是计算机电路基础。由于现在大多数高职院校都不开设电路基础课程，而学习计算机组成原理需要这部分知识，所以此章补充了这部分的内容。

第 4 章是数据表示。主要介绍数据在计算机中如何表示和存储的。

第 5 章是数据运算和运算器。主要介绍数据如何进行运算，运算器是怎样工作的。

第 6 章是指令系统。这一章从设计的角度介绍了指令系统设计的一般原则，而不是针对某一种具体机器的指令系统。主要包括指令系统概述、操作数类型、指令类型、寻址方式、指令格式等内容。

第 7 章是存储器系统。计算机的存储器是存放数据和程序的设备。可分为主存储器（memory，也称内存储器或简称为主存）和辅助存储器（也称为外存储器或简称为辅存）。此章介绍了存储器的工作原理。

第 8 章是控制器。此章介绍了控制器的组成和工作原理。

第 9 章是输入输出系统。此章介绍了 I/O 接口、主机与 I/O 设备间的连接及信息交换等内容。

第 10 章是总线系统。此章介绍了包括总线概述、总线仲裁、总线操作与定时、总线标准等。

本书可作为高等职业技术学院计算机专业的教材，也可作为自学计算机组成原理的入门教材。本书由陈美成编写大纲，编写了 1, 3, 7—10 章。苏畅编写了 2, 4—6 章，整理了本书全部内容。本教材的参考学时是 60~80 学时。

限于编者的水平，加之编写时间比较紧，对书中的错误和不足，恳切希望读者和同行专家批评指正。

编 者

2011 年 8 月

目 录

第 1 章 开篇之说	1
第 2 章 概述	3
2.1 基本概念	3
2.2 层次结构和硬件组成	5
2.2.1 计算机的层次结构	5
2.2.2 计算机硬件组成	5
2.2.3 计算机的简单工作过程	6
2.2.4 微机的分类	7
2.3 计算机主要技术指标	7
2.4 双核处理器技术	8
2.4.1 双核处理器	8
2.4.2 多核处理器的创新意义	8
2.5 应用举例	9
第 3 章 计算机电路基础	10
3.1 基本半导体器件	10
3.1.1 半导体的导电特性	10
3.1.2 半导体二极管	11
3.1.3 半导体三极管	13
3.1.4 场效应管 (FET)	15
3.2 门电路	17
3.2.1 与门 (与运算)	17
3.2.2 或门 (或运算)	17
3.2.3 非门 (非运算)	18
3.2.4 与非门 (与非运算)	18
3.2.5 或非门 (或非运算)	19
3.2.6 与或非门 (与或非运算)	19
3.2.7 异或门 (异或运算)	19
3.2.8 逻辑代数初步	20
3.3 触发器	22
3.3.1 基本 RS 触发器	22
3.3.2 时钟触发器	26
3.3.3 D 触发器	28

3.3.4 JK 触发器	29
3.3.5 T 触发器	29
3.4 常用的组合逻辑电路	31
3.4.1 编码器和优先编码器	32
3.4.2 译码器	34
3.4.3 多路选择器	37
3.4.4 数值比较器	38
3.4.5 半加器和全加器	40
3.5 常用的时序逻辑电路	41
3.5.1 计数器	42
3.5.2 寄存器及其应用	43
3.6 计算机中的寄存器 (Register)	44
3.6.1 寄存器分类 (寄存器按功能分)	45
3.6.2 8086/8088CPU 中的寄存器	45
3.6.3 80386CPU 中的寄存器	47
第 4 章 数据表示法	48
4.1 数制	48
4.1.1 进位计数制	48
4.1.2 计算机中使用二进制的原理	48
4.1.3 二进制数与十进制数之间的转换	48
4.1.4 二进制数与十六进制数之间的转换	49
4.1.5 二进制数与八进制数之间的转换	50
4.1.6 八进制数、十六进制数和十进制数之间的互相转换	50
4.2 定点数表示方法	51
4.2.1 几个基本概念	51
4.2.2 定点表示法	52
4.2.3 定点数的原码、反码和补码表示	53

第1章 开篇之说

一、计算机组成原理讲述的主要内容

什么叫计算机组成原理？

我们在理解这个概念时，不要理解成“计算机组成的原理”，而要理解成“计算机的组成与工作原理”。我们就应该明白在“计算机组成原理”这门课程里要讲述的主要内容应包括三个方面：

- (1) 计算机的组成
- (2) 计算机的工作原理
- (3) 与实现工作原理有关的接口技术

二、计算机组成原理要讲述的知识背景

我们通过计算机应用基础的学习，已经知道计算机硬件是由五大部件组成的，它们分别是：

- (1) 控制器
 - (2) 运算器
 - (3) 存储器
 - (4) 输入设备
 - (5) 输出设备
- 合称为 CPU
- 内存储器：内存或主存
外存储器：外存
- 合称为外设（或者称为外部设备）

同时，我们还已经知道：计算机的发展和电子技术的发展密切相关，尤其是集成电路技术的发展，带动着计算机大约每隔 18 个月就更新换代一次（摩尔定律），到今天，计算机已经经历了四代的演变。

如果按照使用元器件来划分，可分为：电子管时代；晶体管时代；集成电路时代；大规模集成电路和超大规模集成电路时代。

如果按其 CPU 的字长（所谓字长，是指 CPU 一次能处理二进制数的位数。）来划分：

- (1) 第一代：4 位和低档 8 位字长的计算机（MCS-4、MCS-8）；
- (2) 第二代：8 位中高档的计算机（8080、MC6800、Z80、8085）；
- (3) 第三代：16 位的计算机（8086、Z8000、MC68000、80286）；
- (4) 第四代：32 位的计算机（80386、80486、Pentium）。

目前，国内大部分高校仍然以 Intel8086 为背景来讲述微型计算机的组成原理，但由于 Intel8086 微处理器的性能和 1M 字节的物理存储空间已远远不能满足现代信息处理系统的要求。所以，我们这门课要以 Intel80386、80486、Pentium 为背景来讲述微型计算机的组成原理，以跟上计算机系统的发展。

虽说 80386 以后的计算机在指令系统（微处理器所能处理的所有指令的集合）与 8086 兼容，但是有许多优点，采用了许多先进技术：

(1) 速度快。

(2) 有两种工作模式：实地址模式（实模式）和虚地址模式（保护模式）。在实地址模式下，相当于一高速 8086。在保护虚地址模式下，它提供了 4G 字节的寻址能力。

(3) 采用虚拟存储器管理技术。

(4) 支持多处理机和多任务操作系统。

三、学习计算机组成原理的目的

(1) 掌握 16 位和 32 位微型计算机的特点和基本组成。建立起有关计算机系统的知识架构。

(2) 能根据系统开发的要求，扩充微型计算机系统功能。

(3) 应用编程接口技术，编制应用程序。

(4) 具有初步设计组成微机系统的能力。

四、如何学好计算机组成原理

这门课有一定的深度且比较抽象，在学习时要注意基本概念的理解。要以计算机的组成为主线，围绕三个问题：

(1) 为什么要这样组成？

(2) 是怎样工作的？

(3) 了解各部件有怎样的发展趋势。

如果对计算机组成的每一部分都能回答这三个问题，那么就一定能够较为全面地掌握计算机系统，为将来从事计算机领域的工作打下良好的基础。

第 2 章 概 述

2.1 基本概念

通过前面知识的学习，我们已经知道，计算机系统就是由硬件子系统和软件子系统两大部分组成，那么什么是组成计算机的硬件？什么是软件？

1. 硬件

硬件 (Hard Ware)：构成计算机的金属部分，即那些看得见摸得看的东西。

从外看：由主机、显示器、键盘、鼠标、音响等组成，其中主机是计算机硬件的核心部件。打开主机的机箱外壳，我们可以看到一些什么呢（如图 2-1 所示）？

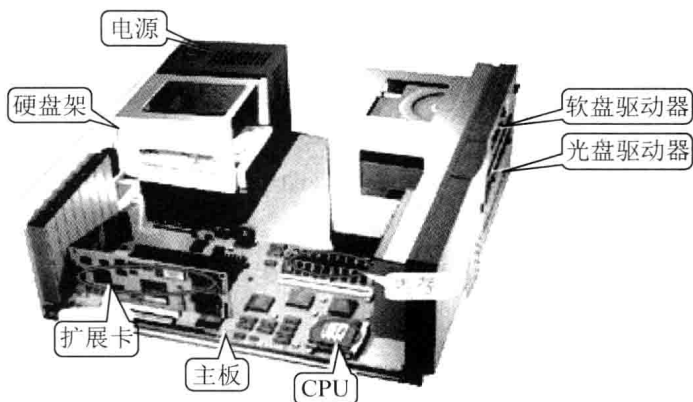


图 2-1 计算机硬件

2. 软件

软件 (Software)：是计算机程序及相关文档的集合。按照其功能和扮演角色的不同，软件分为两大类。

(1) 系统软件：是保证计算机硬件正常工作的必备软件，如操作系统，诊断程序，测试程序，编译、连接、解释程序，数据库管理系统 (DBMS)。

(2) 应用软件：是为了扩展计算机的应用领域，由软件商家开发并销售的软件或用户自己编写的应用软件。如：WPS2000，OFFICE 和应用于各行各业的管理软件。

3. 程序

程序 (Program)：是为了解决给定问题，计算机所要执行的指令或语句的有序集合。一般都是由用户借助某一门计算机语言编写出来的。

4. 指令

指令 (Instruction): 是指挥计算机完成特定操作的命令。

例如: `mov ax, 40`
`scanf ("%d", &x);`
`printf ("%d", y);`

5. 指令系统

指令系统 (Instruction Set): 一台计算机所能执行的全部指令的集合。

6. 语言

语言: 用来相互交流情感的词句。

计算机语言: 用户指挥计算机工作的指令或命令。

由于计算机只认识二进制数, 所以能够直接被计算机认识的命令, 只能用二进制数来描述, 我们把直接用二进制数来表示的语言称为机器语言 (机器码)。

使用机器语言来编写程序最大的优点: 运行速度快, 执行效率高, 是计算机唯一能认识的语言。但缺点也十分明显: 编写和阅读程序异常困难, 调试和修改程序更是难上加难。所以现在已经没有这种程序。

为了提高编辑效率, 人们开始思考用一些有助于记忆的符号来代替相应的机器语言指令, 形成一种符号语言, 这种符号语言后来就发展成了汇编语言。但是问题也就随之而来, 因为计算机无法认识这些符号, 所以必须借助一种类似于翻译官功能的软件把汇编语言程序翻译成机器语言程序。

除此之外, 汇编语言和机器语言还有一个共同的特点: 即一种面向机器的语言。也就是说不管是汇编语言还是机器语言都严格地依赖于具体的机器。不同 CPU 就有不同的汇编程序和机器语言, 这样一来就会造成同一个汇编语言或机器语言程序在不同的机器上是不能运行的, 程序的通用性和可移植性极差, 这对于编程人员来讲是一件很痛苦的事。

鉴于此, 人们就不得不思考, 若是能用一种语言编写出来程序放到任何一种机器上都能运行, 那该多好。实践的需要是事物发展的根本动力。

到了 20 世纪 50 年代后期, 人们终于研制出一种接近于数学语言书写习惯, 阅读时近似于英语习惯的高级语言, 如 FORTRAN, COBOL, 经过几十年的发展, 计算机高级语言已经形成了几大系列。

(1) Basic → Turbo basic (quick basic) → Vb

(2) Pascal → Turbo pascal → Delphi

(3) Dbase → Foxbase → FoxPro → Vfp

(4) C → Turbo C → C++ → VC

当然不管使用哪一种高级语言编写的程序, 都必须像汇编语言程序那样转换成机器语言程序, 计算机才能执行 (如图 2-2 所示), 实现这种转换功能的程序按照转换方式的不同分为以下两种。



(1) 编译程序：把高级语言编写的源程序全部翻译成目标代码程序（即二进制代码文件），然后才能加以执行。

(2) 解释程序：对高级语言编写的源程序逐句分析并立即执行，即一边分析一边执行。Basic 语言就是这种形式最典型的例子。

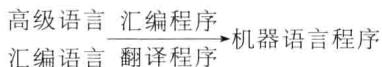


图 2-2 转换过程

7. 操作系统

操作系统：是一种管理计算机软件、硬件资源，以便使计算机资源更有效地发挥作用和方便计算机用户使用计算机的一组程序。

2.2 层次结构和硬件组成

2.2.1 计算机的层次结构

从用户的角度，作为一个用户要使用计算机完成一定的工作，到底需要哪些东西作依托：以使用 WORD 来完成一篇文稿的录入、输出工作为例。

用户→启动 WORD（应用程序）→WINDOWS（操作系统）→指令系统→硬件

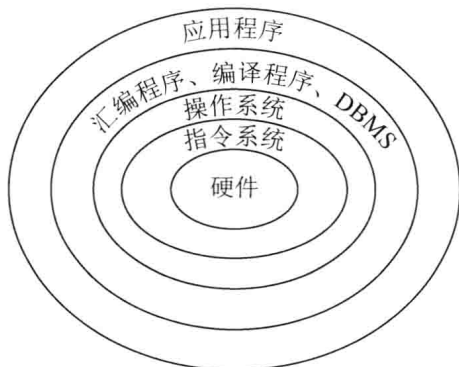


图 2-3 计算机层次结构

从图 2-3 我们可以看出：

(1) 指令系统是硬件和软件的接口；

(2) 操作系统是用户于计算机硬件的接口，是用户的工作平台；

(3) 计算机和其他电子设备不同，只有硬件没有软件的计算机是一堆废铁，即使接通电源也无法工作。

2.2.2 计算机硬件组成

计算机由五大部分组成：

(1) 控制器：分析指令，控制其他部件协调工作；

- (2) 运算器：执行算术，逻辑运算的部件；
- (3) 存储器：记忆数据，指令的部件；
- (4) 输入设备：从外部输入信息的部件；
- (5) 输出设备：把信息记录下来或显示出来的部件。

这种结构是冯·诺依曼提出，所以人们把这个结构称为冯·诺依曼体系结构。从有了计算机以来至今计算机都遵循这种体系结构。具有冯·诺依曼结构的计算机具有以下特点：

- (1) 指令和数据都以二进制的形式顺序存放在存储器中（二进制原理）；
- (2) 计算机自动顺序取出每条指令进行分析，执行其规定的操作（程序控制原理）。

由五大部件组成的基本结构如图 2-4 所示。

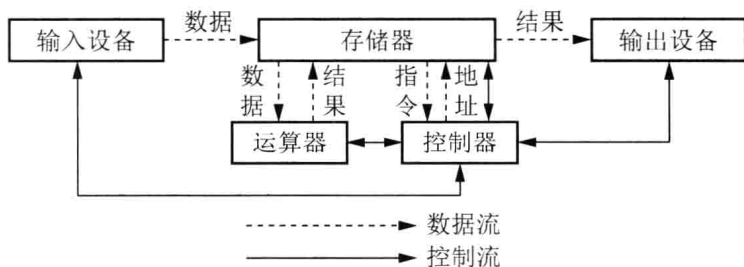


图 2-4 计算机硬件组成

(1) 通过输入设备将程序和数据送到存储器中，然后将程序的第一条指令的地址送到控制器中的程序计数器 PC 中。

(2) 控制器根据 PC 中的地址取出第一条指令，同时 $PC \leftarrow PC + 1$ ，然后分析指令要求干什么，根据分析结果向运算器发出控制信号进行取数据并运算。

(3) 如果是取数指令，就会在控制器的控制下，从存储器中取出参加运算的数据；如果是运算指令，就会在控制器的控制下进行运算，并将运算结果送到存储器中保存起来；如果是打印指令，就会在控制器的控制下，从存储器中取出要打印的数据送到输出设备进行输出。

.....
取数 2
取数 1
计算 1+2
结果 3 送存储器
打印结果 3
停机
.....
.....
数 2
数 1
.....

2.2.3 计算机的简单工作过程

如计算 $1+2=?$ (如图 2-5 所示)：

- ① 从存储器中取数 2，暂存；
- ② 从存储器中取数 1，暂存；
- ③ 计算 $1+2$ ，结果暂存；
- ④ 结果 3 送存储器保存；
- ⑤ 打印结果 3；
- ⑥ 停机。

为了保证程序正常自动执行，必须将这个程序的第一条指令的地址放到一个叫做程序计数器 (PC) 的寄存器中，PC 具有自动加 1 的功能。

当程序开始执行时，从 PC 中存放的地址中取出第一条指

图 2-5 计算机工作过程



令,同时 $PC \leftarrow PC+1$ (指向第二条指令),然后分析是干什么(取数2),找到数2取出并暂存(即执行了第一条指令)。接着又从 PC 中存放的地址中取出第二条指令,同时 $PC \leftarrow PC+1$ (指向第三条指令),然后分析是干什么(取数1),找到数1取出并暂存(即执行了第二条指令),如此反复,直到执行完“停机”指令,整个程序执行完成。

讲到这儿,就有两个问题请大家思考:

程序的执行过程实际上是怎样一个过程?(反复“取指令—分析指令—执行指令”称为程序执行的三部曲)上述程序执行完后, PC 的内容指向何处?(指向“停机”指令的下一个存储单元)

2.2.4 微机的分类

- (1) 按字长分:4、8、16、32位机。
- (2) 按集成芯片片数来分:单片机和多片机。
- (3) 按印刷电路板数来分:单板机和多板机。
- (4) 按所用微处理器来分:286、386、486、586。

2.3 计算机主要技术指标

描述计算机系统性能的好坏涉及的因素较多,不是由某一两个部件的性能来决定的,而是一个综合指标,但其主要技术指标有以下几个。

1. 基本字长

- (1) 字:计算机在进行存储、传送、运算等操作时作为一个整体的一串二进制数码。
- (2) 字长:一个字中所含二进制数的位数。也可以说是参与运算的数的基本位数,它是由加法器、寄存器和数据总线的位数决定的。直接影响硬件的价格。
- (3) 字节:8位二进制数。

2. 数据通路宽度

数据通路宽度,即数据总线一次所能并行传输的位数。一般内部数据总线等于字长,而外部数据总线依赖于系统总线(如 Pentium:内32位,外64位)。

3. 内存容量

内存容量即存储器所能存储二进制信息的多少(KB, MB, GB, TB)。

4. 运算速度

- (1) 每秒做多少次加法。(为什么用加法来衡量?)
- (2) 平均每秒执行多少条指令。MIPS(标量机)和MFLOTPS(矢量机)。

5. 主频

主频:主时钟的频率,即CPU的工作频率。

6. 挂接外设的能力

7. 可靠性

可靠性指平均无故障时间（连续两次故障之间的时间间隔）。

对于微机来说，描述计算机系统性能好坏还有主板、显卡、显示器、硬盘等诸多因素。

2.4 双核处理器技术

2.4.1 双核处理器

简而言之，双核处理器即基于单个半导体的一个处理器上拥有两个一样功能的处理器核心。换句话说，将两个物理处理器核心整合入一个核中。企业 IT 管理者们也一直坚持寻求增进性能而不用提高实际硬件覆盖区的方法。多核处理器解决方案针对这些需求，提供更强的性能而不需要增大能量或实际空间。

双核心处理器技术的引入是提高处理器性能的有效方法。因为处理器实际性能是处理器在每个时钟周期内所能处理指令数的总量，因此增加一个内核，处理器每个时钟周期内可执行的单元数将增加一倍。在这里我们必须强调的一点是，如果你想让系统达到最大性能，你必须充分利用两个内核中的所有可执行单元：即让所有执行单元都有活可干！

为什么 IBM、HP 等厂商的双核产品无法实现普及呢？因为它们相当昂贵，从来没得到广泛应用。比如拥有 128MB L3 缓存的双核心 IBM Power4 处理器的尺寸为 115mm×115mm，生产成本相当高。因此，我们不能将 IBM Power4 和 HP PA8800 之类双核心处理器称为 AMD 即将发布的双核心处理器的前辈。

目前，x86 双核处理器的应用环境已经颇为成熟，大多数操作系统已经支持并行处理，目前大多数新的或即将发布的应用软件都对并行技术提供了支持，因此双核处理器一旦上市，系统性能的提升将能得到迅速的提升。因此，目前整个软件市场其实已经为多核心处理器架构提供了充分的准备。

2.4.2 多核处理器的创新意义

x86 多核处理器标志着计算技术的一次重大飞跃。这一重要进步发生之际，正是企业和消费者面对飞速增长的数字资料和互联网的全球化趋势，开始要求处理器提供更多便利和优势之时。多核处理器，较之当前的单核处理器，能带来更多的性能和生产优势，因而最终将成为一种广泛普及的计算模式。

多核处理器还将在推动 PC 安全性和虚拟技术方面起到关键作用，虚拟技术的发展能够提供更好的保护、更高的资源使用率和更可观的市场价值。普通消费者也将比以往拥有更多的途径获得更高性能，从而提高家用 PC 和数字媒体计算系统的使用。

在单一处理器上安置两个或更多强大的计算核心的创举开拓了一个全新的充满可能性的世界。多核心处理器可以为战胜今天的处理器设计挑战提供一种立竿见影、经济有效的



技术——降低随着单核心处理器的频率（即“时钟速度”）的不断上升而增高的热量和功耗。多核心处理器有助于为将来更加先进的软件提供卓越的性能。现有的操作系统（例如 MS Windows、Linux 和 Solaris）都能够受益于多核心处理器。

在将来市场需求进一步提升时，多核心处理器可以为合理地提高性能提供一个理想的平台。因此，下一代软件应用程序将会利用多核处理器进行开发。无论这些应用是否能帮助专业动画制作公司更快、更节省地生产出更逼真的电影，或开创出突破性的方式生产出更自然、更富灵感的 PC 机，使用多核处理器的硬件所具有的普遍实用性都将永远地改变这个计算世界。

虽然双核甚至多核芯片有机会成为处理器发展史上最重要的改进之一。需要指出的是，双核处理器面临的最大挑战之一就是处理器能耗的极限！性能增强了，能量消耗却不能增加。根据著名的汤氏硬件网站得到的文件显示，代号 Smithfield 的 CPU 热设计功耗高达 130 瓦，比现在的 Prescott 处理器再提升 13%。由于今天的能耗已经处于一个相当高的水平，我们需要避免将 CPU 作成一个“小型核电厂”，所以双核甚至多核处理器的能耗问题将是考验 AMD 与 Intel 的重要问题之一。

2.5 应用举例

例题：某系统由两个子系统 S1 和 S2 串联构成，S1 由两个部件并联构成，S2 由三个部件并联构成。设所有部件的可靠性相同，均为 R ，求系统的可靠性。

解：S1 的可靠性为： $1 - (1 - R)^2$

S2 的可靠性为： $1 - (1 - R)^3$

整个系统的可靠性为： $S1 \text{ 的可靠性} \times S2 \text{ 的可靠性} = 6R^2 - 9R^3 + 5R^4 - R^5$

第 3 章 计算机电路基础

3.1 基本半导体器件

3.1.1 半导体的导电特性

在自然界中存在着各种物质，它们的导电性能各不相同。按其导电能力的强弱，可以分为三大类：导体、半导体和绝缘体。

我们常用的半导体材料是硅（Si）或锗（Ge），其导电性能介于导体和绝缘体之间。把完全纯净的、具有晶体结构的半导体称为本征半导体。硅在元素周期表中是 14 号，最外层原子轨道上的电子是 4 个，极易与相邻原子的电子形成共价键，这些价电子因束缚不能自由移动，此时不能导电，相当于绝缘体。但在受到热或光的激发时，少数电子获得能量挣脱束缚而成为自由电子，原来位置处就会少一个束缚电子形成“空穴”，这个空穴又可能被相邻原子中的价电子填充。这就构成了束缚电子的导电形式。

这种现象和影剧院中的情形很相似。如果前面座位走了一位观众，出现了一个空位，后面的人就会填补空位向前就座，这样座位的人依次向前了，而空位却从前面移到了后面。

由此不难理解：束缚电子的运动就相当于空穴向相反方向运动。因此，这种导电又可以称为空穴导电。于是我们可以得出结论：半导体的主要导电形式有两种，即电子导电和空穴导电（或称为两种载流子）。

在实际应用中，为了加强半导体的导电性能，往往会采用特殊工艺在本征半导体中掺入适量的杂质，从而形成杂质半导体。根据掺入杂质的不同，杂质半导体有 N 型（电子型）和 P 型（空穴型）两种。

1. P 型半导体

在本征半导体中掺入适量的三价元素杂质，如硼或铟，就形成了 P 型半导体。在 P 型半导体中，自由电子少，空穴多，因此是以空穴导电为主。

2. N 型半导体

在本征半导体中掺入适量的五价元素杂质，如磷或锑，就形成了 N 型半导体。在 N 型半导体中，自由电子多，空穴少，因此是以自由电子导电为主。

3. PN 结

单纯的一个 P 型半导体或 N 型半导体，在电路中的作用仅相当于一个电阻。但若在同一块本征半导体中，使一部分成为 P 型，另一部分成为 N 型，将会怎样呢？



由于 N 型中电子多，而 P 型中空穴多，这样电子和空穴都要从浓度高的地方向浓度低的地方扩散。于是就会在交界处形成这样一个区域（如图 3-1 所示）：N 区一侧留下一些不能移动的带正电的杂质离子，P 区一侧留下一些不能移动的带负电的杂质离子，我们就把这个区域称为 PN 结。

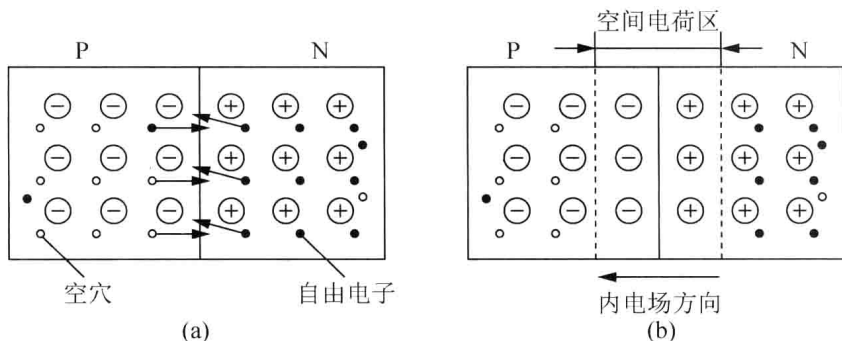


图 3-1 PN 结

PN 就好像一个特殊的阀门一样，加上正向电压（P 极接正，N 极接负）时，其电阻很小，电流几乎可以畅通无阻；而加反向电压时，其电阻很大，电流很难通过。可见，PN 结只允许电流单向通过，也就是说，PN 结的基本特性是单向导电性（如图 3-2 所示）。

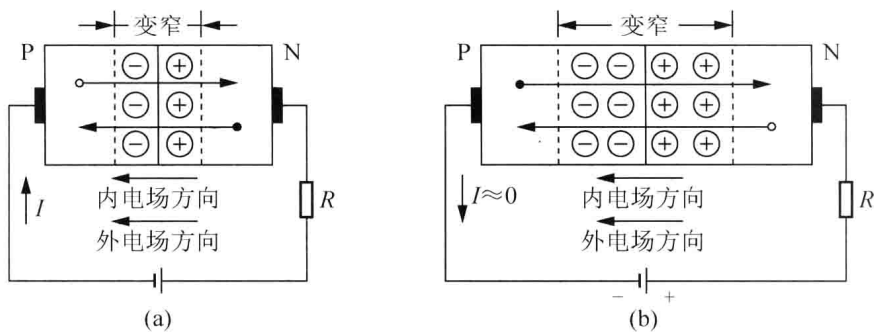


图 3-2 PN 结的单向导电性

3.1.2 半导体二极管

半导体二极管就是以 PN 结为基础制成的器件。不言而喻，它具有单向导电性能，常用于整流（把交流电变成单向脉冲直流电的过程）和滤波（把一个具有多种成分的信号中不要的成分过滤掉）。

1. 二极管的电路符号
2. 半导体二极管的分类

二极管的种类很多，按照不同的分类标准，可以分成不同的类型。图 3-3 所示是部分常用二极管的电路符号。

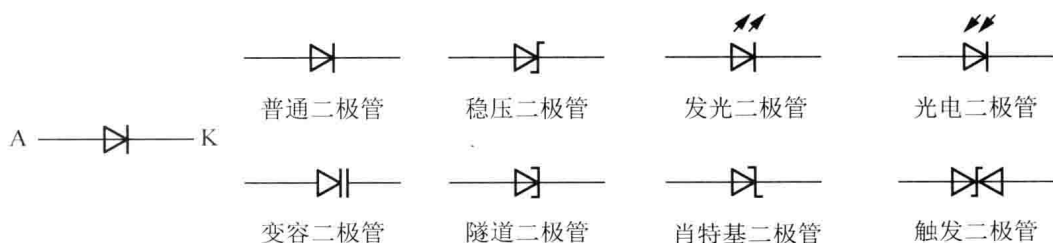


图 3-3 二极管的电路符号

- ① 按其材料，可分为硅二极管、锗二极管、砷化镓二极管等；
- ② 按其制作工艺，可分为点接触型二极管和面接触型二极管；
- ③ 按其用途，可分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光电二极管、开关二极管等；
- ④ 按其封状形式，可分为塑封二极管、玻封二极管、金属封二极管等。

3. 半导体二极管的特性

描述半导体二极管的端压 U 与流过它的电流 I 之间的关系的曲线称为伏安特性曲线，如图 3-4 所示。

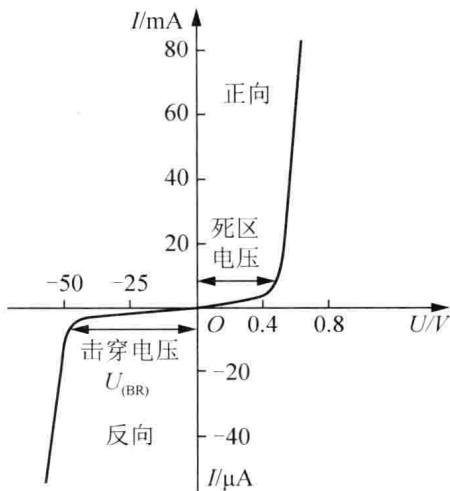


图 3-4 伏安特性曲线

- (1) 正向特性。对应于图 3-4 中 U 大于 0 的曲线段称为正向特性。
- (2) 反向特性。对应于图 3-4 中 U 小于 0 的曲线段称为反向特性。
- (3) 图 3-4 中死区电压也叫“门坎电压”，即克服内电场所需的电压。
- (4) 当反向电压增加到一定数值时，反向电流剧增，称为二极管反向击穿。普通二极管不允许在击穿状态下工作。

4. 稳压二极管

稳压二极管是一种工作在反向击穿区并且当反向电压撤除后其性能仍恢复正常的特殊