

全国高职高专规划教材

# 计算机硬件 技术基础

Computer  
Fundamentals of Hardware

方 程 主 编  
戴亚娥 副主编

 科学出版社  
www.sciencep.com

全国  
高职高专  
规划教材

全国高职高专规划教材

# 计算机硬件技术基础

方 程 主 编

戴亚娥 副主编

## 内 容 简 介

本书主要介绍计算机特别是微型计算机硬件方面的基础知识、基本原理和相关技术。全书共分7章,第1章介绍微型计算机系统的基本概念和硬件基本组成;第2章介绍计算机中央微处理器的基本结构组成和相关技术;第3章介绍计算机存储管理的硬件及相关技术;第4章介绍微型计算机的指令系统及精简指令集的概念;第5章介绍计算机常用外部设备和目前流行的多媒体设备的基本结构和性能特点;第6章介绍微型计算机中汇编语言程序设计的基本概念和设计方法;第7章介绍微型计算机常用接口技术和有关芯片的功能。全书提供了大量实例,每章前面有学习要点和难点,其后附有习题,全书内容紧凑,结构清晰,编排新颖,实践性强。

本书既可作为高职高专类学校相关专业的教材,也可作为各类成人教育和培训用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础/方程主编,一北京:科学出版社,2004

(全国高职高专规划教材)

ISBN 7-03-012869-9

I. 计… II. 方… III. 硬件—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007447号

策划编辑:李振格/责任编辑:袁永康  
责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年2月第一次印刷 印张:22 1/4

印数:1-5000 字数:507 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

## 全国高职高专规划教材编委会名单

主任 俞瑞钊

副主任 陈庆章 周必水 刘加海

委员 (以姓氏笔画为序)

王雷	王筱慧	方 程	方锦明	卢菊洪	代绍庆
吕何新	朱 炜	刘向荣	江爱民	江锦祥	孙光弟
李天真	李永平	李良财	李明钧	李益明	余根墀
汪志达	沈凤池	沈安衢	张 元	张学辉	张锦祥
张德发	陈月波	陈晓燕	邵应珍	范剑波	欧阳江林
周国民	周建阳	赵小明	胡海影	秦学礼	徐文杰
凌 彦	曹哲新	戚海燕	龚祥国	章剑林	蒋黎红
董方武	鲁俊生	谢 川	谢晓飞	楼 丰	楼程伟
鞠洪尧					

秘书长 熊盛新

## 本书编写人员名单

主 编 方 程

副主编 戴亚娥

撰稿人 方 程 戴亚娥 王真富 任一波 黄建设

# 前 言

人类已经进入 21 世纪,信息技术的发展日新月异。计算机在软硬件技术领域都有新的进展,其中在硬件方面涉及体系结构、外部设备、存储部件等多个领域。特别是在外部设备方面,随着制造工艺的改进和设备成本的降低,多媒体设备如扫描仪、打印机、数码影音设备等越来越普及,移动存储设备的容量不断增加,使用更加方便。计算机、网络、通信和微电子等信息技术的发展呈现一派繁荣景象。掌握一定的计算机硬件技术,对于了解和使用计算机起着不可忽视的作用,同时也对今后接触新的计算机设备和技术打下一定的基础。

为了让学生能对计算机硬件技术有一个比较全面的了解,编者在浙江省高校计算机教育研究会的有关专家指导下,经过参与研究会的省内部分高等职业院校专业教师的深入讨论,在科学出版社暨杭州开元书局的大力协助下,组织编写了这本教材。按照这套教材的服务对象、特点、内容和形式要求,本书在编写中力图坚持科学性、实用性、先进性的原则,并着力反映计算机硬件技术应用领域的新知识、新技术、新方法,努力与计算机应用技术发展同步;注重计算机应用能力的培养,突出职业教育的特点,与教育改革同步;在编排风格上,力求活泼新颖,重点突出,以增强学习兴趣,提高学习效率。

全书共分 7 章,第 1 章介绍微型计算机系统的基本概念和硬件基本组成;第 2 章介绍计算机中央微处理器的基本结构组成和有关技术;第 3 章介绍计算机存储管理的硬件及有关技术;第 4 章介绍微型计算机的指令系统及精简指令集的概念;第 5 章介绍计算机常用外部设备和目前流行的多媒体设备的基本结构和性能特点;第 6 章介绍微型计算机中汇编语言程序设计的基本概念和设计方法;第 7 章介绍微型计算机常用接口技术和有关芯片的功能。全书内容紧凑,结构清晰,编排新颖,实践性强,既可作为中高级职业学校的教材,也适用于各类成人教育和培训用书。

本书第 1 章和第 4 章由戴亚娥编写,第 2 章由王真富编写,第 3 章由任一波编写,第 5 章由方程编写,第 6 章由黄建设编写,第 7 章由戴亚娥、任一波和黄建设合作编写。全书由方程主编,戴亚娥任副主编。此外,在本书的编写和出版中,得到了各有关学校的领导、特别是浙江省高校计算机教育研究会和科学出版社的大力协助和支持,编者在此深表感谢。

由于编者学识所限,书中难免会有错误和不当之处,恳请读者不吝批评指正,我们将在修订中认真改进,使本书不断完善。

编 者

2003 年 9 月

# 目 录

第 1 章 微型计算机系统概论 .....	1
1.1 微型计算机概述 .....	1
1.1.1 微机的硬件结构 .....	1
1.1.2 微机特点 .....	3
1.1.3 微处理器、微机与微机系统 .....	4
1.2 计算机中的数和编码系统 .....	5
1.2.1 常用进数制及相互转换 .....	5
1.2.2 二进制数的运算 .....	7
1.2.3 字符二进制编码 .....	9
1.2.4 带符号数的表示及码制转换 .....	11
1.2.5 数据单元表示法 .....	13
1.3 总线 .....	14
1.3.1 总线的概念 .....	14
1.3.2 总线标准 .....	17
1.3.3 总线传送控制 .....	17
1.3.4 总线类型 .....	19
1.4 微机性能指标 .....	22
小结 .....	23
习题 .....	23
第 2 章 中央处理器 .....	25
2.1 中央处理器的基本构成 .....	25
2.1.1 微处理器的基本结构及功能 .....	25
2.1.2 CPU 工作原理 .....	29
2.2 80x86 系列微处理器的总体结构 .....	35
2.2.1 8086 微处理器的内部结构与引脚 .....	35
2.2.2 8086 的存储器组织 .....	40
2.2.3 80486 的基本结构及引脚信号 .....	44
2.3 Pentium 系列微处理器 .....	50
2.3.1 Pentium 的系统结构 .....	50
2.3.2 流水线指令流及分支预测 .....	52
2.3.3 超标量与超流水线 .....	55
2.4 中央处理器与外围芯片组的联络 .....	57
2.4.1 CPU 的主要技术参数 .....	57

2.4.2 CPU 外围芯片组与 CPU 构成的系统 .....	59
小结 .....	66
习题 .....	66
<b>第 3 章 存储管理</b> .....	<b>67</b>
3.1 概述 .....	67
3.1.1 存储器定义及分类 .....	67
3.1.2 存储器的分级结构 .....	70
3.1.3 存储器的主要性能指标 .....	71
3.2 主存储器结构 .....	72
3.2.1 随机存取存储器 .....	73
3.2.2 只读存储器和闪速存储器 .....	77
3.2.3 高速主存储器 .....	77
3.3 高速缓冲存储器 (Cache) .....	80
3.3.1 Cache 的工作原理及结构 .....	81
3.3.2 地址映象与变换方法 .....	82
3.3.3 Cache 替换算法及其实现 .....	87
3.3.4 Cache 读 / 写操作 .....	88
3.3.5 PC 系统中的 Cache 技术 .....	89
3.4 虚拟存储器 .....	90
3.4.1 虚拟存储器工作原理 .....	91
3.4.2 段式虚拟存储器 .....	93
3.4.3 页式虚拟存储器 .....	95
3.4.4 段页式虚拟存储器 .....	97
3.4.5 加快内部地址变换的方法 .....	99
3.5 存储保护 .....	100
3.5.1 存储区域保护 .....	100
3.5.2 访问方式保护 .....	102
3.6 几种新型的半导体存储器 .....	103
小结 .....	105
习题 .....	105
<b>第 4 章 指令系统</b> .....	<b>106</b>
4.1 80x86 的指令格式 .....	106
4.1.1 操作码字段 .....	107
4.1.2 地址码字段 .....	107
4.2 80x86 的寻址方式 .....	107
4.2.1 8086/8088 的寻址方式 .....	107
4.2.2 80x86 的寻址方式 .....	111
4.3 指令系统 .....	113



4.3.1	8086/8088 指令系统	113
4.3.2	Pentium 指令系统	132
4.4	RISC	139
4.4.1	CISC	139
4.4.2	RISC	139
	小结	140
	习题	140
<b>第 5 章</b>	<b>计算机常用外部设备</b>	<b>144</b>
5.1	概述	144
5.1.1	外部设备分类	144
5.1.2	终端设备	145
5.1.3	外部设备的典型应用	146
5.2	输入设备	147
5.2.1	键盘	147
5.2.2	鼠标器	149
5.2.3	触摸屏	152
5.2.4	扫描仪	154
5.2.5	数码相机	158
5.2.6	数码摄像机	166
5.2.7	数字摄像头	167
5.3	输出设备	171
5.3.1	显示器	171
5.3.2	打印机	184
5.3.3	绘图仪	193
5.4	外部存储器	197
5.4.1	软盘存储器	198
5.4.2	硬磁盘存储器	201
5.4.3	光盘存储器	210
	小结	221
	习题	221
<b>第 6 章</b>	<b>汇编语言程序设计</b>	<b>224</b>
6.1	汇编语言基础	224
6.1.1	指令格式	224
6.1.2	语句格式	224
6.1.3	数据项及表达式	227
6.2	汇编语言程序结构	230
6.2.1	源程序结构	230
6.2.2	伪操作（指示性）语句	232

6.2.3 宏操作 .....	239
6.2.4 过程 .....	245
6.3 汇编程序设计 .....	246
6.3.1 编制程序的步骤 .....	246
6.3.2 顺序结构程序设计 .....	247
6.3.3 分支程序设计 .....	250
6.3.4 循环程序设计 .....	256
6.3.5 子程序与 DOS 中断 .....	264
小结 .....	273
习题 .....	273
<b>第 7 章 人机接口 .....</b>	<b>280</b>
7.1 输入输出系统 .....	280
7.1.1 I/O 接口的功能 .....	280
7.1.2 CPU 与 I/O 间接口 .....	281
7.1.3 I/O 端口的寻址 .....	282
7.1.4 I/O 数据传送控制方式 .....	283
7.2 输入接口 .....	286
7.2.1 键盘接口 .....	286
7.2.2 鼠标接口 .....	288
7.2.3 并行打印机接口 .....	288
7.2.4 串行通信接口 .....	290
7.3 显示接口 .....	294
7.3.1 CRT 接口 .....	294
7.3.2 LCD 接口 .....	296
7.3.3 LED 接口 .....	297
7.4 存储器接口 .....	299
7.4.1 软盘接口 .....	299
7.4.2 硬盘接口 .....	300
7.4.3 光盘接口 .....	303
7.5 外围接口芯片 .....	307
7.5.1 可编程并行接口芯片 8255A .....	307
7.5.2 中断控制器 8259A .....	315
7.5.3 DMA 控制器 8237 .....	330
小结 .....	341
习题 .....	341
<b>主要参考文献 .....</b>	<b>342</b>

# 第 1 章 微型计算机系统概论

## 本章要点

了解微型计算机的硬件结构及特点、微机主要性能指标、数据传送机制；基本掌握总线的概念、总线标准及总线类型、数据单元表示法；熟练掌握常用各进制数及相互转换、二进制数的运算规则、字符二进制编码、带符号数的表示及码制转换方法。

## 本章难点

数据传送机制和微机部件的参数分析等。

微处理器出现于 20 世纪 70 年代初，是大规模集成电路发展的产物，它作为计算机的主要功能部件，标志着计算机的微型化成为趋势。在这以前，计算机的发展经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路三个时期。

全球第一块微处理器 4004 由 Intel 于 1971 年开发，主要用来处理算术运算。之后，Intel 加大了在微处理器上的开发研制力度，于 1974 年又推出了新一代 8 位微处理器 8080，这是第一种真正意义上的微处理器。紧接着它分别于 1978 年和 1979 年推出了 16 位 CPU-8086 和 8088，8086 的出现成为 20 世纪 70 年代微处理器发展过程中的重要分水岭，而 8088 是 8086 的一个简化版本，1979 年，IBM 采用 8086 与 8088 作为个人计算机 IBM PC 的 CPU，个人计算机 PC 时代从此开始。

Intel 一直致力于 CPU 的开发研制，在 1993 年推出了高性能的 32 位微处理器 Pentium（奔腾），于 1996 年推出了新 x86 系列 CPU Pentium Pro（多能奔腾）与 Pentium 系列的改进版本 Pentium MMX。在 1997 年 5 月，Intel 又推出了与 Pentium Pro 同档次的 Pentium II，于 1999 年 2 月发布了 Pentium III 芯片。随后，Intel 又推出了更新一代高性能 32 位微处理器 Pentium 4，采用的是 Net Burst 的新式处理器结构，可加快以突发方式传送数据速度。微机已得到越来越广泛的应用。

本章简要介绍微机的基本结构、特点及一些基本概念。

## 1.1 微型计算机概述

### 1.1.1 微机的硬件结构

在介绍微机的硬件结构前，我们先来了解一般计算机的基本组成，它由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分构成，是典型的冯·诺依曼结构。图 1.1 给出了一台通用计算机的结构。下面对各部分进行介绍：

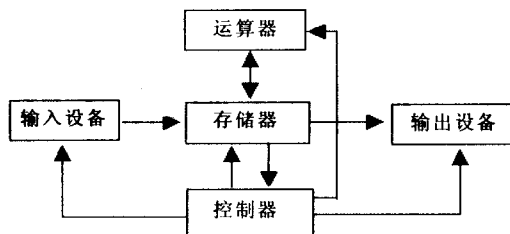


图 1.1 通用计算机结构图

### 1. 输入设备

输入设备用来输入原始数据和处理这些数据的程序，输入的信息有数字、字母和控制符等。输入设备键盘、鼠标、扫描仪、光笔、纸带输入机以及卡片读入机等。慢速输入装置通常是在收到数据时就进行数据传送，快速输入装置则通常是先将数据积累起来（称为缓冲），然后再送给计算机，因只有在积累一定数据量之后才传送，故缓冲作用提高了计算机的效率。当要求输入速度更高时，可采用称为 DMA（直接存储器存取）的传送方式，即外部设备利用专门的接口电路直接向存储器进行高速传送。

### 2. 存储器

存储器用来存放程序、数据及运算处理结果，是微机中各种信息的存储和交流中心。程序必须以机器所能识别和执行的指令代码形式存放在存储器中，以便机器按顺序取出、译码并交由控制单元去执行。

存储器可分为内存储器（又称主存储器）和外存储器。内存储器通常由存取速度较高的半导体存储器组成，容量不是很大，一般微机的内存容量在几十 MB 到几百 MB 之间。外存储器包括磁盘、光盘、优盘、磁带等，它的存取速度不是很高，但存储容量较大，如当前较新的优盘，存储容量可达几百 MB，硬盘的空间已高达上百 GB。外存储器通过 I/O 接口电路与计算机相连，它既可将数据送进计算机，也可接受计算机输出的数据。因此，外存储器件可以被当成输入输出设备，但在系统中的主要功能仍是存储器的一部分。

### 3. 输出设备

输出设备用来输出计算机的处理结果，可以是数字、字母、表格及图形等。例如显示器、打印机、绘图仪、投影仪等。

输出设备包括最简单的指示灯到最复杂的实时接口，这些接口可以控制一条生产线甚至整个工厂。我们也可以设想，把一台计算机当作另一台计算机的输入设备或输出设备，从而引出多处理机和计算机网络的概念，这是近些年来在数据处理技术中发展较快的两个领域。

当要求高速输出时，可采用 DMA 方式由存储器向输出设备直接进行传送。

### 4. 运算器

运算器是执行算术与逻辑运算的部件，是计算机对数据进行加工处理的中心。运算

器主要由算术逻辑单元 ALU (Arithmetic and Logic Unit)、寄存器组和状态寄存器组成, 具体将在第 2 章中进行介绍。

## 5. 控制器

控制器负责控制整个计算机系统的运行, 是计算机的控制中心, 它决定了计算机运行过程的自动化。

控制器接受来自存储器里的程序命令(这些程序以指令代码形式事先存放在存储器中), 经译码后产生一系列定时和控制信号, 以控制计算机中的其他各个部件。

人们常把运算器、控制器和存储器合在一起称为计算机主机, 而把各种输入输出设备称为计算机的外部设备。主机、外部设备加上电源构成了计算机的硬件结构。

微机是计算机中的一个分支, 上面我们简介了计算机的基本结构, 下面再介绍一下微机的基本结构, 图 1.2 表示了微机的基本构成。从系统结构看, 它和通用计算机基本上是一样的, 只不过是将运算器和控制器集成在一个芯片上, 称之为微处理器, 又称中央处理器 CPU (Central Processing Unit)。所以微机和通用计算机没有本质上的区别, 其主要不同点是微机广泛采用了集成度相当高的器件和部件, 以及采用了独特的总线结构。有关总线的知识将在本章第 3 节进行介绍。

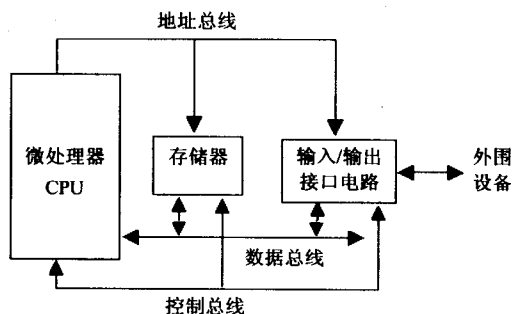


图 1.2 微机的基本结构图

### 1.1.2 微机特点

如上所述, 微机中广泛采用了高集成度的器件和部件, 这就带来如下一系列特点:

#### 1. 体积小、耗电少

由于集成电路工艺技术的提高, 使得微机能够采用大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI) 的芯片, 这样就使得微机的体积和耗电都大为降低。

#### 2. 可靠性高

集成度的提高使微机内部的器件数目大为减少, 器件间的连线也大为减少, 这样促使微机的无故障运行率大为提高。

#### 3. 结构灵活、适应性强

这使得微机的应用面非常广泛, 现在微机几乎在各行各业都有应用天地。

#### 4. 价格便宜

由于集成芯片的大规模机械化生产,降低了微机的成本,加上制造厂家的商业竞争,使微机价格一再下跌。

#### 1.1.3 微处理器、微机与微机系统

在日常使用中,有些读者常会将微处理器、微机和微机系统混为一谈,下面对这些基本概念作一个简单介绍。

##### 1. 微处理器 (microprocessor)

简称  $\mu P$  或  $MP$ , 是微机的核心, 用  $CPU$  表示, 由运算器与控制器组成, 因此本身兼有算术逻辑运算和控制功能。CPU 一般包括下述几个部分:

(1) 运算器: 用来执行算术或逻辑运算以及移位循环等操作, 运算结果的一些特征位送标志寄存器。

(2) 累加器和寄存器组: 用来保存参加运算的数据及运算的中间结果。累加器是一个特殊的寄存器, 也是用得最频繁的一个寄存器, 在进行算术逻辑运算时, 通常以累加器为中心, 运算前, 用来保存一个操作数; 运算后, 用来保存结果。

(3) 程序计数器 (指令指针): 用于保存 CPU 当前正在执行的下一条指令的地址。我们知道, 程序是以指令代码的形式存放在内存中的一个连续区域中, 当顺序执行这些程序时, 每取出一个指令字节, 程序计数器加 1。

(4) 指令寄存器和译码器: 用于存放从内存中取来的指令代码, 译码器则对指令代码进行译码, 并加以分析, 确定指令的功能及寻址方式, 并根据寻址方式取得操作数, 以完成指令的操作。

(5) 时序和控制单元: 当译码器对程序中的指令进行译码时, 产生相应的控制信号送时序电路, 形成一定的时序控制信号, 送到控制逻辑电路, 由控制逻辑电路发出相应的控制信号, 控制微机中各部件协调工作。

##### 2. 微机 (microcomputer)

简称  $\mu C$  或  $MC$ , 如前面图 1.2 所示。它是以微处理器为核心, 外加存储器、输入/输出接口电路及系统总线所组成的计算机。其组成部分主要如下:

(1) 微处理器 CPU: 这是微机的核心部件, 其性能直接影响整个微机的关键指标。

(2) 存储器: 用于存储程序和数据, 包括随机存储器 RAM 和只读存储器 ROM。

(3) 输入/输出 (I/O) 接口电路: 用于连接微机和外部设备。输入/输出接口通常分为并行接口和串行接口两类, 另还有当前较新 USB、IEEE1394 等接口。

(4) 系统总线: 包括地址总线、数据总线和控制总线, 主要用于微处理器和其他部件传输地址、数据及控制信号。注意图 1.2 中箭头的方向, 具体将在下面介绍。

##### 3. 微机系统 (microcomputer system)

简称  $\mu CS$  或  $MCS$ , 它是以微机为基础, 配上相应的外部设备、系统软件和电源所构成的系统。系统软件包括操作系统和一系列实用程序, 如汇编程序、编辑程序、编译程序、调试程序和诊断程序等。

简单地说,微机系统由硬件和软件两部分组成。如前所述,硬件由微机、外部设备上加上电源构成。软件则是为了运行、管理和维护微机而编制的各类程序的总和。软件通常分为系统软件和应用软件两大类,应用软件是用户为解决各自不同任务而开发的应用程序。需要指出的是软件和硬件是同样重要的:硬件是基础,固然很重要,但只有硬件而没有软件,微型机系统是不能正常工作的。

## 1.2 计算机中的数和编码系统

计算机的最基本功能是处理信息,如数值、文字、符号、语言、图形和图像等。而在计算机内部,这些信息都必须采用数字化的形式进行编码后,才能进行传送、存储和处理加工。为表示更为方便和可靠,在计算机中采用了二进制数字系统,即计算机只认识二进制数,这样计算机所有处理的信息都必须用二进制编码来表示。

### 1.2.1 常用进数制及相互转换

因计算机内部的数据均以二进制形式表示、运算和存储。但在人一机界面,数据最好采用人们熟悉的十进制、八进制或十六进制形式表示,否则会给人们的处理带来一定的不便。同一个数用不同的数制表示,就存在各数制之间的相互转换。

#### 1. 常用进数制

(1) 十进制:十进制数有10个数字符号:0~9,逢十进位。每一个数字符号在不同的位置上具有不同的值,即位权值。如938.25,3在小数点左边第2位上,它代表的数值是 $3 \times 10^1$ ,位权为10,2在小数点右边第1位上,它代表的数值是 $2 \times 10^{-1}$ ,位权为0.1,依次类推,其按权展开式为:

$$(938.25)_{10} = 9 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

说明:为简化表示,经常用下标来表示数的进制。

(2) 二进制:二进制数只有两个数字符号0与1,逢二进位。每一个数字符号在不同位置上有不同的值,如:

$$(101101.01)_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

即为其按权展开式。

(3) 八进制:八进制数有0~7八个数字符号,逢八进位。同理,各数字在不同位置有不同的值,如:

$$(716.5)_8 = 7 \times 8^2 + 1 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1}$$

(4) 十六进制:十六进制数有0、1、…、9、A、B、C、D、E、F十六个数字符号,其中A~F分别表示十进制数的10~15,逢十六进位。每个数字符号在不同位置有不同的值,如:

$$(2BF.D6)_{16} = 2 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 13 \times 16^{-1} + 6 \times 16^{-2}$$

即为其按权展开式。

因此,通常所说的“进位基数”指的是在该进制数中可以用到的数码个数,如十六进制数的进位基数为16。每一位计满这个基数后,应向高位进位,即十进制数应“逢十

进一”，对于十六进制数应“逢十六进一”。

各进位制书写时，通常以字母 D 来表示十进制，以 B 来表示二进制，以 O 来表示八进制，以 H 来表示十六进制，所以 $(938.25)_{10}=938.25D$ ， $(101101.01)_2=101101.01B$ ， $(716.5)_8=716.5O$ ， $(2BF.D6)_{16}=2BF.D6H$ 。

各进制数的关系如表 1.1 所示。

表 1.1 各种数制对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

## 2. 数制的相互转换

(1) 二（八、十六）进制数转换成十进制数：将二（八、十六）进制数按权展开后，再求和，所得结果即为这个二（八、十六）进制数所对应的十进制数。例如：

$$(11011.101)_2=1 \times 2^4+1 \times 2^3+0 \times 2^2+1 \times 2^1+1 \times 2^0+1 \times 2^{-1}+0 \times 2^{-2}+1 \times 2^{-3}=(27.625)_{10}$$

$$(123)_8=1 \times 8^2+2 \times 8^1+3 \times 8^0=(83)_{10}$$

$$(1AB.5)_{16}=1 \times 16^2+10 \times 16^1+11 \times 16^0+5 \times 16^{-1}=(427.3125)_{10}$$

(2) 十进制数转换成二（八、十六）进制数：将十进制数转换成二进制数时，要注意区分数的整数部分和小数部分，分别按除以 2 取余数和乘以 2 取整数两种不同的方法来原因。

对整数部分，用 2 去除，取其余数为转换后的二进制整数数字，直到商为 0 结束，且注意先得到的余数为所求结果的低位；对小数部分，用 2 去乘，取乘积的整数部分为转换后的二进制小数数字，注意先得到的整数为二进制小数的最高位。

例 1.1：将十进制数 357.48 转换成二进制数（假设要求小数点后取 5 位）。

求解时，整数和小数部分分别处理如图 1.3 所示：

整数	余数	小数
2   357		
2   178	..... 1 (低位)	0. 48×2
2   89	..... 0	. 96×2
2   44	..... 1	1 . 92×2
2   22	..... 0	1 . 84×2
2   11	..... 0	1 . 68×2
2   5	..... 1	1 . 36
2   2	..... 1	
2   1	..... 0	
2   0	..... 1 (高位)	

图 1.3 十进制转换成二进制



因此, 最终所求结果为  $357.48D=101100101.01111B$ 。

同样道理, 当将十进制数转换成八进制或十六进制形式时, 整数部分用除 8 或 16 取余数处理, 小数部分则用乘 8 或 16 取整来处理, 在此不再举例说明。

(3) 二进制与八进制、十六进制的相互转换: 1 位八进制的数可用 3 位二进制的数编码表示, 1 位十六进制的数可用 4 位二进制的数编码表示, 因此八进制、十六进制只是二进制的特定的表示形式而已。

1) 二进制转换为八、十六进制: 在把二进制数转换成八进制或十六进制表示形式时, 应从小数点分别向左和向右按每 3 位或每 4 位进行划分, 若小数点左侧 (即整数部分) 的位数不足 3 或 4 位, 则在高位补 0, 对小数点右侧 (即小数部分), 则应在低位补 0 来补足 3 位或 4 位。例如:

$$(1100111.10101101)_2=(001\ 100\ 111.101\ 011\ 010)_2=(147.532)_8; \text{高位补 0, 凑足 3 位。}$$

$$(1100111.10101101)_2=(0110\ 0111.1010\ 1101)_2=(67.AD)_{16}; \text{高位补 0, 凑足 4 位。}$$

2) 八、十六进制转换为二进制: 与上述相反, 将八进制数或十六进制数转换成二进制表示形式时, 则每位分别用 3 位或 4 位二进制来表示。例如:

$$(5DE.B8)_{16}=(0101\ 1101\ 1110.1011\ 1000)_2=(10111011110.10111)_2$$

$$(253.7)_8=(010\ 101\ 011.111)_2=(10101011.111)_2$$

### 1.2.2 二进制数的运算

二进制数之间可执行算术 (加、减、乘、除) 与逻辑 (与、或、非、异或) 运算, 其运算规则与十进制数类似, 但因二进制数只有 0 和 1 两个数, 故比十进制数要简单得多。

#### 1. 加法运算

二进制数的加法规则为:

$$0+0=0$$

$$0+1=1+0=1$$

$$1+1=0 \quad \text{向高位产生进位}$$

例 1.2: 有两数 1101 和 1011 相加, 其加法过程为:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ +) 1011 \\ \hline 11000 \end{array} \quad \text{各位从低位开始都有进位}$$

#### 2. 减法运算

二进制数的减法规则为:

$$0-0=0$$

$$0-1=1 \quad \text{向高位借位 1 次}$$

$$1-0=1$$

$$1-1=0$$

例 1.3: 二进制数 10101010 减去 00110100。减的过程如下: