

## 微型计算机基础知识

计算机的快速发展及其在各领域的广泛应用,对人类社会的发展具有积极的推动作用,尤其是微型计算机的出现,进一步推动了计算机在人们日常生活、学习和工作等各个领域的应用,对社会发展产生了重大影响。其中,作为微型计算机发展的一个重要分支,单片微型计算机拥有独特的结构和性能,在国民经济建设各个领域得到广泛的应用。例如 Microchip 公司生产的 PIC(peripheral interface controller)单片机,除了拥有单片机的通用功能之外,还具有哈佛总线结构、精简指令集和低功耗等特点,从而得到许多用户的青睐。

### 1.1 概 述

#### 1.1.1 微型计算机的发展历史

计算机(personal computer,PC)是一种用于进行高速计算的电子计算机器,其具有数值计算、逻辑运算以及储存记忆功能。计算机由硬件系统和软件系统组成,其中硬件系统主要包括中央处理器(central processing unit,CPU)、内存储器、外存储器和输入设备、输出设备等单元,如图 1-1 所示。

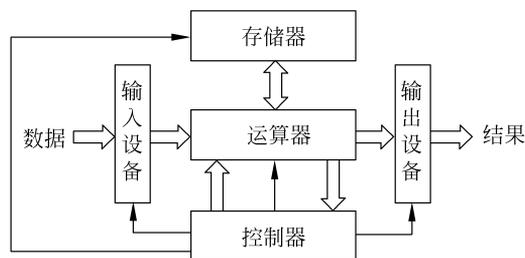


图 1-1 计算机硬件系统组成

1939 年,英国著名计算机科学之父艾伦·麦席森·图灵(Alan Mathison Turing)提出了计算机结构三大设想:①利用足够长的磁带,将计算所需指令和数据存储起来;②利用读写磁头,实现磁带上的信息读写;③利用有限的控制部件,实现数据计算、推理等功能。1946 年,英籍匈牙利数学家约翰·冯·诺依曼(John von Neumann)首次提出了存储程序计算机的体系结构,把程序与其所处理的数据采用相同的方式储存,构成了一个较完整的现代计算机雏形。

随着工业革命的兴起,计算工具开始向机械化发展。1642 年,法国数学家布莱士·帕

斯卡(Blaise Pascal)设计并制作出世界上第一台手摇机械式计算器,通过齿轮传动原理实现加减法运算;1889年,美国科学家赫尔曼·霍尔瑞斯(Herman Hollerith)设计了电动制表机,可储存计算资料;1930年,美国科学家范内瓦·布什(Vannevar Bush)研制出第一台模拟电子计算机;1933年,美国数学家德里克·亨利·莱默(D. H. Lehmer)设计了一台电气计算机,可实现1~1000万所有自然数的素数因子分解;1946年,首台电子管计算机在美国宾夕法尼亚大学问世,该计算机为电子数字积分计算机(electronic numerical integrator and calculator, ENIAC),其共有17840支电子管,占地面积约为170m<sup>2</sup>、重达28t、功耗为150kW,可实现5000次/s的加法运算。ENIAC的诞生具有划时代的意义,表明电子计算机时代的到来。在接下来的70多年里,计算机向集成化、微型化、智能化、网络化和多媒体化等方向飞速发展。

## 1. 计算机的发展历史

自1946年世界上第一台电子管计算机问世以来,计算机的发展主要经历了以下4代。

1) 第1代:电子管计算机(1946—1958年)

第1代计算机为电子管计算机。它的体积庞大、能耗高、运行速度慢、造价高昂。该代计算机为后续发展奠定了基础。硬件方面:主要采用真空电子管为逻辑元件,阴极射线示波管静电存储器、磁鼓、磁芯和汞延迟线为主存储器,磁带为外存储器。软件方面:采用汇编语言和机器语言。应用领域:主要应用于科学计算和军事领域。

2) 第2代:晶体管计算机(1958—1964年)

第2代计算机为晶体管计算机。与第1代计算机相比,第2代计算机体积有所减小,能耗也有所降低,但性能得到了大幅度提升。硬件方面:采用晶体管等半导体器件,以磁鼓和磁盘为辅助存储器。软件方面:一些高级程序设计语言相继问世,开始出现操作系统。应用领域:开始进入民用和工业领域。

3) 第3代:集成电路计算机(1964—1971年)

第3代计算机为集成电路计算机。该代计算机运算速度更快( $10^6 \sim 10^7$ 次/s),其可靠性也大幅度提高、造价降低,并开始出现行业标准和规范。硬件方面:采用中、小规模集成电路,但仍采用磁芯介质的主存储器。软件方面:相继出现了分时操作系统、结构化程序设计方法和规模化程序设计方法。应用领域:逐渐开始应用于文字和图像处理领域。

4) 第4代:大规模集成电路计算机(1971年至今)

第4代计算机为大规模集成电路计算机。该代计算机体积小、速度快,能够满足从军用到民用、从工业到家庭等相关领域的需求。硬件方面:采用大规模和超大规模集成电路。软件方面:出现了数据库管理系统、面向对象的程序设计,以及网络管理系统等软件技术,使计算机的数据计算和信息处理能力得到了进一步提高。应用领域:用于计算量极大的高精尖技术及国民经济领域。

## 2. 微型计算机的发展历史

微处理器(microprocessor, MP)是由一片或几片大规模集成电路组成,具有运算器和控制器的中央处理部件,又称中央处理器(CPU)。而微型计算机是以CPU为核心,配上电源、接口电路、存储器和一些外部设备构成的计算机。通常将微处理器的发展作为微型计算

机发展的标志,即以微处理器的发展来划分微型计算机的发展阶段。微型计算机和微处理器的发展历程可分为以下 6 个阶段。

1) 第 1 代: 4 位和低档 8 位微处理器(1971—1973 年)

1971 年,Intel 公司设计并推出了世界上第一个微处理器 Intel 4004,其能同时处理 4 位二进制数,采用 PMOS 大规模集成电路技术,集成约 2000 个晶体管,运算速度达 6 万次/s,运行频率为 108kHz。同年,采用 Intel 4004 芯片的首台微型计算机诞生。1972 年,Intel 公司又设计出 8 位微处理器 Intel 8008,其采用简单、速度较低的 PMOS 工艺来集成约 9000 个晶体管,指令的执行时间为  $1\sim 2\mu\text{s}$ ,时钟频率约为 0.5MHz 和 0.8MHz。该代微处理器主要使用机器语言及简单的汇编语言。

2) 第 2 代: 中高档 8 位微处理器(1973—1977 年)

该代为中高档 8 位微处理器,如 Intel 8080、MC6800 和 Z80 等,具有 16 位地址总线。1974 年,Intel 公司的 Intel 8008 改进版 Intel 8080 问世,随后 Zilog 公司的 Z80、Motorola 公司的 MC6800、Rockwell 公司的 R6502 相继问世。Intel 公司于 1976 年又开发出 Intel 8085,这代微处理器采用 NMOS 工艺,时钟频率可以达到  $2\sim 4\text{MHz}$ ,运算速度是第 1 代微处理器的 10~15 倍。该代微处理器支持的语言增加了 BASIC、FORTRAN 和 PL/M 等高级语言。

3) 第 3 代: 16 位微处理器(1977—1982 年)

该代为 16 位微处理器,如 Intel 8086、Z8000 和 MC68000 等,均具有 20 位地址总线。从 20 世纪 70 年代开始,随着半导体以及通信技术的发展,集成电路的研究、发展也逐步展开,这使得微处理器有了进一步的发展。1978 年,Intel 公司推出了 16 位微处理器 Intel 8086,其片内集成了约 2.9 万个晶体管。1979 年,Zilog 公司和 Motorola 公司分别推出 16 位的 Z8000 和 MC68000。同年,Intel 公司又推出了更为先进的微处理器 Intel 8088,其内部具有 16 位结构,外部数据总线为 8 位,时钟频率达到  $4\sim 8\text{MHz}$ 。1981 年,IBM 公司基于该微处理器生产出世界上第一台通用微型计算机,即 IBM PC。1982 年 Intel 公司推出了 Intel 80286,其内部和外部数据总线皆为 16 位,时钟频率达到 20MHz。

4) 第 4 代: 32 位微处理器(1982—1993 年)

该代为 32 位微处理器,如 Intel 80386、Intel 80486 和 Pentium 系列处理器等,均具有 32 位地址总线。1985 年,Intel 公司制造出具有跨时代意义的 80386DX CPU,其集成了约 27.5 万个晶体管,时钟频率可达 33MHz,具有 32 位数据线和地址线。该 CPU 的应用推动了个人计算机(PC)的发展。

5) 第 5 代: 奔腾系列微处理器(1993—2006 年)

该代的典型产品为奔腾系列处理器及与之兼容的 AMD 的 K6 系列处理器。20 世纪 90 年代,Intel 公司生产的 80586 采用更多先进技术,其工作频率达 66MHz,计算性能有了显著提升。在往后的数十年间,Intel 公司推出了奔腾系列微处理器,AMD 公司推出了 K6-2、K6-III 等处理器,微处理器行业呈现井喷式发展。

6) 第 6 代: 酷睿系列微处理器(2006 年至今)

该代的典型产品为酷睿 2(Core 2)、Intel Core i7 处理器。“酷睿”是一款领先、节能的新型微架构,地址总线宽度为 64 位。2006 年,Intel 公司推出了新一代基于 Core 微架构的产品体系酷睿 2,其是一个跨平台的构架体系,包括服务器版、桌面版、移动版三大领域。随

后 Intel 公司相继推出“Core 2 Duo”和“Core 2 Quad”品牌,以及最新出的 Core i3、Core i5、Core i7 和 Core i9 四个级别的 CPU。2019 年,Intel 正式宣布了第十代酷睿处理器。

微处理器的出现是一次伟大的工业革命,从 1971 年至今,在短短半个世纪内,微处理器的发展日新月异。如今微处理器的应用领域越来越广,如手机、平板电脑、GPS 导航仪和智能汽车等。同时,半导体设计和加工技术的提高,极大地降低了微处理器芯片的制造难度,促进了微处理器的发展。

### 1.1.2 单片机发展历程与分类

单片微型计算机简称单片机,是指将计算机的基本部件微型化,使之集成在一块芯片上。单片机在芯片内集成了 CPU、ROM、RAM、并行输入/输出(I/O)、串行 I/O、定时器/计数器、中断控制器、系统时钟及总线等部件,与微型计算机有着明显区别,如图 1-2 所示。单片微型计算机(SCM)是早期 Single Chip Microcomputer 的直译,它反映了早期单片微机的形态和本质。随后,在原单片机片内集成外围电路及外设接口,逐渐突破了传统意义的微机结构,发展成微控制器结构体系,称之为微控制器(micro controller unit,MCU)。

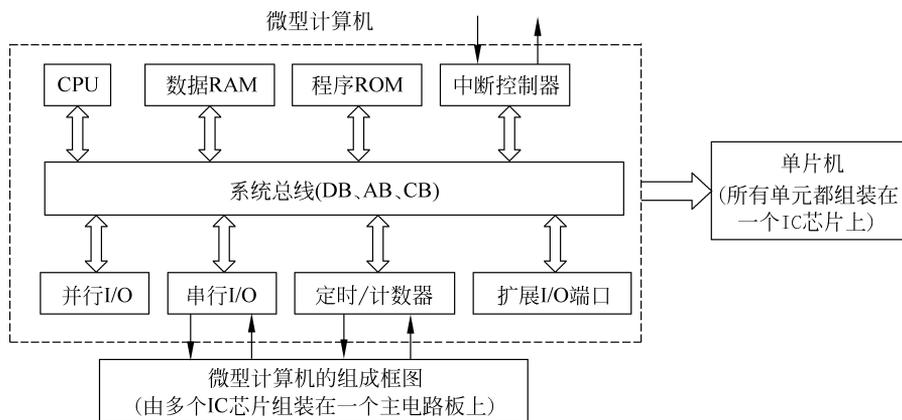


图 1-2 微型计算机与单片机硬件结构的比较

## 1. 单片机的发展历程

自 1974 年美国仙童半导体公司(Fairchild Semiconductor)的第一块单片机问世后,单片机发展迅速,不断推陈出新。单片机的发展历程可划分为 3 个阶段。

### 1) 第 1 阶段: 低性能阶段(1976—1978 年)

最初的单片机设计思路较为朴素,仅在一个芯片上集成 CPU、RAM、ROM 以及 I/O 口等功能单元,如 8 位的 MCS-48 系列单片机。该阶段单片机初具雏形,运算速度较慢,普及程度不高。

### 2) 第 2 阶段: 高性能阶段(1978—1982 年)

从技术角度看,该阶段单片机的设计思路主要是满足嵌入式控制需求,各厂家纷纷推出接口较多的单片机,如 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 MC6801 系列和 Zilog 公司的 Z8 系列等。与上阶段相比,单片机的存储容量和寻址范围有所增大,其中断源、并行 I/O 接

口和定时/计数器模块有所增加,部分单片机还具有通信接口,且运算能力也有所提高。

1980 年 Intel 公司推出的 MCS-51 单片机,具有良好的兼容性,为新一代微控制器的发展奠定了良好基础。随后,Philips、Atmel、Dallas 和 Siemens 等公司纷纷推出了基于 80C51 内核(8051 的 CMOS 版本)的微控制器。这些产品能满足大量嵌入式应用需求。此外, Rockwell、NS 和日本松下公司也先后推出了各自的 51 系列单片机。

### 3) 第 3 阶段:性能完善阶段(1982 年至今)

该阶段单片机的主要特点包括:普遍采用 CMOS 工艺,扩大接口硬件功能,如高速输入/输出(I/O)、模/数转换器(ADC)和脉宽调制 PWM 等,RAM 和 ROM 容量进一步增大,集成通信协议和控制方式,并提高芯片及系统工作的可靠性等。该阶段主要是巩固发展 8 位单片机,以及相继推出 16 位、32 位单片机。其中,16 位代表性产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列、TI 公司的 TMS 9900 系列和 Motorola 公司的 MC68HC16 系列等;32 位代表性产品有 Intel 公司的 MCS-80960 系列、Motorola 公司的 M68300 系列和 Hitachi 公司的 SH 系列等。

## 2. 单片机的分类

20 世纪 90 年代以后,单片机得到了飞速发展。世界各大半导体公司相继开发了功能更为强大的单片机。美国 Microchip 公司推出了新一代 PIC 单片机,引起了业界的广泛关注。该产品基本级系列仅有 33 条精简指令集,而 MCS-51 单片机采用 111 条复杂指令集,因此 PIC 单片机得到了不少用户的青睐,在业界占有一席之地。单片机发展至今,已有上千种产品类型,广泛应用于汽车行业以及航空航天、军事等领域。根据不同的划分依据,单片机有不同的分类方法。

### 1) 按 CPU 和存储器构成划分

根据 CPU 读写程序存储器和数据存储器的方式,可将单片机分为冯·诺依曼架构(von Neumann architecture)和哈佛架构(Harvard architecture)两种架构。冯·诺依曼架构将指令(程序)和数据存储在同一块区域,也称普林斯顿架构(Princeton architecture),其指令和数据统一编址,共用总线。而在哈佛架构中,数据和指令存储在各自独立的存储区,采用不同的寻址和总线。

### 2) 按指令及其执行过程划分

按指令及其执行过程,可以把单片机分为复杂指令集架构(complex instruction set computer, CISC)和精简指令集架构(reduced instruction set computer, RISC)。CISC 的特点是指令多样性和变长度,功能较强,可完成复杂任务。该类型单片机采用数据线和指令线分时复用的方式,即“冯·诺依曼架构”。RISC 的特点是指令较少,每条指令长度相同、功能单一,需通过多条命令实现某一复杂功能。该类单片机采用数据线和指令线分离独立的方式,即“哈佛架构”。其结构可同时读取指令和执行操作,一般来说速度比 CISC 快。此外,RISC 的指令多为单字节,可更好地利用程序存储器的空间,有利于实现超小型化。

### 3) 按存储介质划分

按程序存储的物理介质,可以把单片机分为掩膜(MASK)、测试工具编程(quick test professional, QTP)、一次可编程(one time programmable, OTP)以及多次可编程存储方式。

掩膜单片机是指半导体制造厂家在单片机生产的过程中直接进行程序编程,将程序与数据做成光刻板固化于单片机内,即程序与数据将被永久封存(除非单片机坏掉),不能进行

修改。一般在大批量生产时才会用到掩膜,采用该制造方式的单片机具有程序可靠、成本低等优点。但是每次修改程序就需要重新做光刻板,存有不同程序的单片机不能同时生产,供货周期长。此外,在产品设计时,如果出现程序问题,容易造成大量废片,风险较大。

QTP 单片机是指半导体制造厂家在裸片生产后的检测过程中利用测试机将已编好的程序烧录进单片机,采用该制造方式的单片机具有备货灵活、供货周期快等优点。但是每次修改运行程序都需重新修改测试机的程序,当程序一旦烧录便无法修改,该制造方式适合于单片机的大批量生产。

OTP 单片机是指一次可编程单片机,即程序只能被编程器烧录一次的单片机。这种单片机的程序可随时修改,供货周期短,不需要大批量生产,但其制造成本相对较高。

多次可编程单片机是指用户可进行在线擦除和写入程序的单片机,其存储介质主要包括“可擦写可编程只读存储器”(erasable programmable read-only memory, EPROM)、“电可擦除可编程只读存储器”(electrically erasable programmable read-only memory, E<sup>2</sup>PROM)和“闪存”(flash memory)。其中,EPROM 的特点为可多次修改存储器的内部信息,但擦除过程需使用紫外线照射一定时间;E<sup>2</sup>PROM 可直接用电信号擦除信息,也可用电信号写入信息;闪存为 E<sup>2</sup>PROM 的改进产品,是一种非易失性的内存。

#### 4) 按数据总线宽度划分

按数据总线的宽度,单片机可分 4 位、8 位、16 位和 32 位。其中,4 位单片机的功能较为简单,8 位、16 位和 32 位单片机共同发展。目前,8 位单片机仍以其价格低廉、品种齐全和开发便利等优点占着主导地位。32 位单片机主要应用于移动通信、网络技术、多媒体技术等高科技产品。

#### 5) 按照封装方式划分

按封装方式不同,主要有双列直插式封装(dual in-line package, DIP)、小外形封装(small out-line package, SOP)、带引线的塑料芯片封装(plastic leaded chip carrier, PLCC)、塑料方型扁平式封装(quad flat package, QFP)和插针网格阵列封装(pin grid array, PGA)等,如图 1-3 所示。

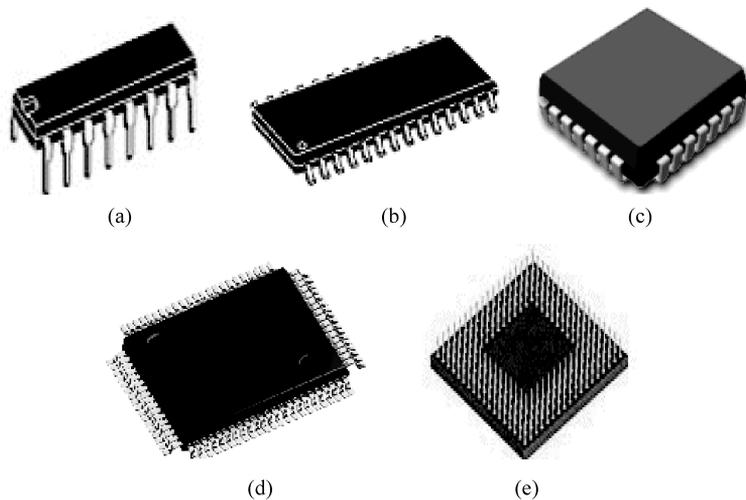


图 1-3 单片机的封装方式

(a) DIP 方式; (b) SOP 方式; (c) PLCC 方式; (d) QFP 方式; (e) PGA 方式

### 1.1.3 单片机的发展趋势

纵观单片机发展历程,单片机未来的发展趋势如下。

#### 1) 网络化、集成化

单片机作为工业控制器的主力军,直接与互联网连接是一个必然的发展方向。同时集成越来越多的功能模块,如语音处理功能、图像处理功能和网络管理功能等,使单片机的功能越来越强大;将数字技术和模拟技术融为一体,可形成功能独特的单片机。如有些单片机在集成定时器、比较器、模/数转换器(ADC)、数/模转换器(DAC)、串行通信接口和看门狗电路等基础上,还集成了一些专用的部件,如局部网络控制模块、CAN 总线和脉宽调制控制电路等。

#### 2) 小型化、低功耗、低成本

自 20 世纪 80 年代中期以来,CMOS 工艺逐渐代替 NMOS 工艺,单片机朝着低功耗、小型化、低成本方向发展。随着超大规模集成电路技术由  $3\mu\text{m}$  工艺发展到  $1.5\mu\text{m}$ 、 $1.2\mu\text{m}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.35\mu\text{m}$ ,现在甚至实现了纳米级光刻工艺。该技术的进步大大地提高了单片机的内部密度和可靠性,也进一步降低了单片机的功耗。另外,目前各大厂商推出的单片机,其功能并非简单堆积,而是从实际出发,重视产品的性价比,发展多种型号来满足中小型智能化产品,尤其是满足消费类电子产品的应用,有效降低产品的生产成本。此外,大多数单片机设置了等待、暂停、睡眠、空闲和节电等工作方式,从而降低了功耗。

#### 3) 低噪声与可靠性

为提高单片机的可靠性,使产品在恶劣的工作环境中正常工作,各厂家在单片机内部电路中不断采用新的技术措施。如采用电快速瞬变脉冲群(electrical fast transient, EFT)技术、低噪声布线技术、低噪声驱动技术以及低频时钟技术,提高单片机的抗干扰能力。

#### 4) 多种数据总线并存

单片机的数据总线多种并存,有 4 位、8 位、16 位和 32 位等,可根据相应的应用领域需求和生产成本等来选择具体型号。

## 1.2 数制和编码

数制是用一组统一的符号和规则来表示数的方法。在日常生活中最常用的数制是十进制,而在微机的设计与计算中,通常使用的数制有二进制、八进制和十六进制。因此,在计算机中,需要进行各种数制的转换。

### 1.2.1 数的表示与数制转换

在编程时,为了方便阅读和书写,人们经常用八进制数或十六进制数来表示二进制数。一个数可以用不同计数制形式表示其大小,但数的量值是相等的。

常见的数制表示有十进制(符合人们的习惯)、二进制(便于物理实现)、十六进制(便于

识别、书写和表示)和八进制(目前较少用)。为了便于区别不同数制表示的数,规定在数字后面用一个特定字符表示,用 H 表示十六进制数,D(或不加标志)表示十进制数,Q 表示八进制数,B 表示二进制数,如 82H、532D、352Q 和 1001B 分别表示十六进制数、十进制数、八进制数和二进制数。

## 1. 数的表示

数值所使用的数码个数称为基,数值每一位所具有的值称为权。数制是指用一组固定的数字符号和统一的规则表示数的方法。通常进制数第  $i$  位数值可表示为

$$(N)_r^i = d_i \times r^i \quad (1-1)$$

其中,  $(N)_r^i$  为进制数第  $i$  位数值;  $d_i$  为第  $i$  位数码,其取值范围为  $0 \leq d_i \leq r$ ;  $r$  称为数制的基数,  $r^i$  称为数制的权,  $i$  为整数。

### 1) 十进制

十进制使用的数码为 0、1、2、3、4、5、6、7、8 和 9 共 10 个,即基为 10。十进制各位的权是以 10 为底的幂,如十进制数 211408D,其各位的权为个、十、百、千、万和十万,即  $10^0$ 、 $10^1$ 、 $10^2$ 、 $10^3$ 、 $10^4$  和  $10^5$ ,故有时为了简便而顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位、3 权位、4 权位和 5 权位。

2	1	1	4	0	8
$10^5$	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	$10^0$
十万	万	千	百	十	个

### 2) 二进制

二进制使用的数码为 0 和 1 共 2 个,即基为 2。二进制各位的权是以 2 为底的幂,如二进制数 111001B,其各位的权为 1、2、4、8、16 和 32,即  $2^0$ 、 $2^1$ 、 $2^2$ 、 $2^3$ 、 $2^4$  和  $2^5$ ,故为了简便而顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位、3 权位、4 权位和 5 权位。

二进制	1	1	1	0	0	1
	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
十进制	32	16	8	4	2	1

### 3) 八进制

八进制使用的数码为 0、1、2、3、4、5、6 和 7 共 8 个,即基为 8。八进制各位的权是以 8 为底的幂,为了简便而顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

### 4) 十六进制

十六进制使用的数码为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E 和 F 共 16 个,即基为 16。十六进制各位的权是以 16 为底的幂,为了简便而顺次称其各位为 0 权位、1 权位、2 权位等。

**【实例 1-1】** 任何一个十进制数  $N_D$  的表示方法:

$$N_D = \dots + d_2 \times 10^2 + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + d_{-1} \times 10^{-1} + \dots \quad (1-2)$$

式中,10 称为基数,  $d_i$  为各位上的数码,  $10^i$  为各位的权,所对应的各位数值为  $d_i \times 10^i$ 。

十进制数 1976.128 可如下式展开:

$$1976.128 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} + 8 \times 10^{-3}$$

上式中  $10^1$ 、 $10^0$ 、 $10^{-1}$  等分别称为 1 权位、0 权位、-1 权位。

## 2. 数值的转换

### 1) 非十进制数转换为十进制数

二、八、十六进制数转换为十进制数的方法是“按权展开”。将每一位乘以其权，然后相加得到对应的十进制数值。

**【实例 1-2】** 将非十进制数转换为十进制数：

$$1001.01\text{B} = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 9.25\text{D}$$

$$137.2\text{Q} = 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} = 95.25\text{D}$$

$$3\text{FA}.4\text{H} = 3 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} = 1018.25\text{D}$$

### 2) 十进制数转换为其他进制数

任意十进制数  $N$  转换成其他进制数，需将整数和小数部分分开，采用不同方法分别进行转换，然后用小数点将这两部分连接起来。

整数部分采用“除基取余法”，直到商为零为止，每次所得的余数倒序依次排列即为相应进制的数码，即最初得到的为最低有效数字，最后得到的为最高有效数字，称为倒序取余。而小数部分要转换成其他进制，则采用“乘基取整法”，即最初得到的为最高有效数字，最后得到的为最低有效数字，即顺序取整。

下面以十进制数转换为二进制数、十进制数转换为八进制数为例加以说明，十六进制数以此类推。

**【实例 1-3】** 求十进制数 26.625 的二进制表示。

$\begin{array}{r} 2 \overline{) 26} \quad - 0 \\ 2 \overline{) 13} \quad - 1 \\ 2 \overline{) 6} \quad - 0 \\ 2 \overline{) 3} \quad - 1 \\ 2 \overline{) 1} \quad - 1 \\ \quad 0 \end{array}$	↑	$\begin{array}{r} 0.625 \\ \times \quad 2 \\ \hline 1.25 \quad - 1 \\ 0.25 \\ \times \quad 2 \\ \hline 0.50 \quad - 0 \\ \times \quad 2 \\ \hline 1.00 \quad - 1 \end{array}$	↓
整数部分		小数部分	

因此，十进制数 26.625D 转换成二进制为 11010.101B。

**【实例 1-4】** 求十进制数 32780.127 的八进制表示。

$\begin{array}{r} 8 \overline{) 32780} \quad - 4 \\ 8 \overline{) 4097} \quad - 1 \\ 8 \overline{) 512} \quad - 0 \\ 8 \overline{) 64} \quad - 0 \\ 8 \overline{) 8} \quad - 0 \\ 8 \overline{) 1} \quad - 1 \\ \quad 0 \end{array}$	↑	$\begin{array}{r} 0.127 \\ \times \quad 8 \\ \hline 1.016 \quad - 1 \\ 0.016 \\ \times \quad 8 \\ \hline 0.128 \quad - 0 \\ 8 \\ \hline 1.024 \quad - 1 \\ 0.024 \\ \times \quad 8 \\ \hline 0.192 \quad - 0 \end{array}$	↓
整数部分		小数部分	

因此,十进制数 32780.127D 转换成八进制为 100014.1010Q。

### 3) 二进制与八进制数之间的转换

八进制数的基为 8,即  $2^3$ 。因此二进制数转换为八进制数:以小数点为界,整数部分向左每 3 位二进制数为一组,小数部分向右每 3 位二进制数为一组,用 1 位八进制数码表示,不足 3 位的,整数部分高位补 0,小数部分低位补 0。若八进制数转换为二进制数,则用 3 位二进制数表示八进制每一位数码。

**【实例 1-5】** 求二进制数 10110.01B 的八进制表示。

$$\begin{array}{r} 10110.01 \text{ B} \\ \underbrace{010} \underbrace{110} \underbrace{.010} \text{ B} \\ 2 \quad 6 \quad . \quad 2 \quad \text{Q} \end{array}$$

因此,二进制数 10110.01B 转换成八进制为 26.2Q。

### 4) 二进制与十六进制数之间的转换

十六进制数的基为 16,即  $2^4$ 。因此二进制数转换为十六进制数:以小数点为界,整数部分向左每 4 位二进制数为一组,小数部分向右每 4 位二进制数为一组,用 1 位十六进制数码表示,不足 4 位的,整数部分高位补 0,小数部分低位补 0。若十六进制数转换为八进制数,则用 4 位二进制数表示十六进制每一位数码。

**【实例 1-6】** 求二进制数 10110.01B 的十六进制表示。

$$\begin{array}{r} 10110.01 \text{ B} \\ \underbrace{0001} \underbrace{0110} \underbrace{.0100} \text{ B} \\ 1 \quad 6 \quad . \quad 4 \quad \text{H} \end{array}$$

因此,二进制数 10110.01B 转换成十六进制为 16.4H。

**【实例 1-7】** 求十六进制数 4E.6H 的二进制表示。

$$\begin{array}{r} \underbrace{4} \quad \underbrace{\text{E}} \quad . \quad \underbrace{6} \quad \text{H} \\ 01001110.0110 \text{ B} \end{array}$$

因此,十六进制数 4E.6H 转换成二进制为 1001110.011B。

## 1.2.2 微机中的数字运算

二进制计数制不仅在物理上容易实现,而且运算方法也较十进制计数制简单。二进制数的计数规律:加法“逢二进一”,减法“借一当二”。

日常生活中遇到的数,除无符号数外,还有大量的有符号数。数的符号在微机中也用二进制数表示,通常用二进制数的最高位表示数的符号。带符号位二进制数在计算机内部的编码称为机器数,而机器数所代表的十进制数称为该机器数的真值。机器数可用原码、反码和补码表示,仅有符号数才有原码、补码和反码。

### 1. 原码

每一个数字的正负由最高位表示,最高位用 0 表示“+”,用 1 表示“-”,数值位与该数的绝对值一致。正数的原码与原来的数相同;负数的原码符号位为 1,数值位与对应的正数数值位相同。例如: