



中等职业学校电子信息类教材 电气运行与控制专业

MCS-51单片机 实用技术

饶庆和 主编
任德齐 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

中等职业学校电子信息类教材(电气运行与控制专业)

MCS-51 单片机实用技术

饶庆和 主编

任德齐 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部颁布的中等职业学校 83 个重点建设专业之一,即“电气运行与控制”专业中“微机原理及应用”课程教学大纲编写的。主要内容有:微型计算机基础知识、MCS-51 单片微型计算机的组成结构、指令系统、汇编语言及程序设计、中断与定时、存储器及其扩展技术、I/O 接口扩展技术、单片机应用系统的开发和实验。此外,每章均按大纲要求给出了内容提要、本章小结和思考题与习题。

本书以技术应用为主线,简明扼要,浅显易懂,便于自学,既可作为中职中专电气、电工、电子类专业教材,也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

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

MCS-51 单片机实用技术/饶庆和主编. —北京:电子工业出版社,2003.4

中等职业学校电子信息类教材·电气运行与控制专业

ISBN 7-5053-8222-5

I. M… II. 饶… III. 单片微型计算机, MCS-51—专业学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 017441 号

责任编辑:陈晓明

印 刷:北京李史山胶印厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:14 字数:358 千字

版 次:2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:18.00 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

前 言

本教材是贯彻教育部“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设”精神，根据教育部最新颁布的全国中等职业学校 83 个重点建设专业《电气运行与控制》中主干专业课程“微机原理及应用”教学大纲编写的。

本教材结合我国目前广泛使用的 MCS-51 单片机，以“必需，够用”为原则，以能力为本位，突出应用能力和实践技能的培养，力求反映高新技术的应用，重点介绍单片机的硬件组成结构和软件应用技术。

本教材在内容选取、章节体例和文字表述等方面具有以下特点：

(1) 以技术应用能力培养为主线，突出器件外部特性和使用方法。

(2) 采用模块化结构，以利于目标任务驱动式教学和课件式辅助教学，达到对学生的创新意识和实践能力的形成和培养。

(3) 突出高新技术应用，注重教材内容，特别是应用实例的准确性和新颖性，体现基础知识与最新应用的结合，基本能力与典型应用的结合。

(4) 适应学生认知能力、技能鉴定和岗位群需要，注意体现“宽、浅、新、用”的需求。

(5) 根据职业教育特色，淡化理论难度和深度，强化工程实践基础和应用技能要领。

(6) 适应职教三段体系，注意职教本科，专科和中职教育的知识结构和能力结构的内涵联系和区别。

本教材共分九章，分别介绍了 MCS-51 单片机的硬件结构、指令系统、程序设计、扩展接口技术和开发设计实例。按教育部颁发的本课程参考学时数为 76~90 学时，含实验学时。本教材不仅可以作为电气类，自动化类和电子类相关专业的教学用书，而且对从事计算机应用、智能仪器仪表、工业控制、自动控制等工程技术人员和技术工人也是一本具有实用价值的参考书。

本教材由重庆工业职业技术学院副教授饶庆和主编，上海新侨职业技术学院讲师张钦东、安徽省国防科技工业学校讲师张晟、安徽省轻工业学校高级讲师洪应参编。其中张晟编写第 2、9 章，张钦东编写第 3 章、洪应编写第 7、8 章；饶庆和编写第 1、4、5、6 章和各章教学要求及附录并统稿。重庆电子职业技术学院副教授任德齐任主审，主审以严谨的科学态度和高度负责的精神详细审阅了全书，并提出了许多建设性宝贵意见。编者在教材的酝酿、编写出版过程中，得到了主、参编各院校领导大力支持，在此一并表示诚挚的感谢，并对提供大量参考文献资料的专家学者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，错误和不妥之处势必难免，敬请使用本书的广大教师和读者批评指正。

编者

2002 年 10 月

目 录

第1章 微型计算机基础知识	(1)
1.1 微型计算机与单片计算机	(1)
1.1.1 一般的微型计算机	(1)
1.1.2 单片微型计算机	(2)
1.2 单片机的发展及特点	(2)
1.2.1 单片机的发展历史及发展趋势	(2)
1.2.2 单片机的特点	(4)
1.3 计算机中的数与代码	(5)
1.3.1 数的进制及转换	(5)
1.3.2 带符号的二进制数	(8)
1.3.3 计算机中的基本逻辑运算	(9)
1.3.4 BCD 码和文字符号代码	(13)
1.4 微型计算机的基础知识	(14)
1.4.1 微型计算机的基本组成	(14)
1.4.2 常用计算机语言	(18)
1.4.3 计算机的工作过程	(19)
本章小结	(21)
思考题与习题	(22)
第2章 MCS-51 单片机的组成结构	(23)
2.1 MCS-51 单片机的内部结构	(23)
2.2 MCS-51 单片机的引脚及其功能	(24)
2.3 MCS-51 单片机的中央处理器	(26)
2.3.1 运算部件	(26)
2.3.2 控制部件	(27)
2.4 MCS-51 单片机的存储器结构	(30)
2.4.1 程序存储器	(31)
2.4.2 数据存储器	(32)
2.4.3 特殊功能寄存器 (SFR)	(33)
2.5 MCS-51 单片机的可编程并行 I/O 端口	(35)
2.5.1 MCS-51 单片机的并行 I/O 口结构	(35)
2.5.2 MCS-51 单片机的三总线	(36)
本章小结	(36)
思考题与习题	(37)
第3章 MCS-51 单片机的指令系统	(38)
3.1 MCS-51 单片机指令编码格式及分类	(38)
3.1.1 指令格式	(38)
3.1.2 指令系统分类	(39)

3.2 寻址方式	(39)
3.3 数据传送类指令	(41)
3.3.1 数据传送操作	(42)
3.3.2 数据传送类指令	(42)
3.4 算术运算类指令	(50)
3.4.1 算术运算操作	(50)
3.4.2 算术运算类指令	(51)
3.5 逻辑运算类指令	(55)
3.5.1 单操作数逻辑运算指令	(55)
3.5.2 双操作数逻辑运算指令(共18条)	(57)
3.6 控制转移类指令	(58)
3.6.1 无条件转移指令(共4条)	(58)
3.6.2 有条件转移指令(共7条)	(60)
3.6.3 调用了程序指令和返回指令	(61)
3.7 布尔(位)处理类指令	(63)
3.7.1 布尔数据传送类指令(共2条)	(63)
3.7.2 布尔状态设置类指令(共4条)	(64)
3.7.3 位逻辑操作类指令(共6条)	(64)
3.7.4 位条件转移类指令	(65)
本章小结	(65)
思考题与习题	(65)
第4章 MCS-51 单片机汇编语言及程序设计	(68)
4.1 MCS-51 单片机汇编语言的格式	(68)
4.2 MCS-51 单片机汇编语言中的伪指令	(70)
4.3 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	(73)
4.3.1 汇编语言程序设计的一般步骤和方法	(73)
4.3.2 简单程序设计	(75)
4.3.3 分支程序设计	(76)
4.3.4 循环程序设计	(79)
4.3.5 查表程序设计	(82)
4.3.6 子程序设计	(83)
4.3.7 汇编语言程序设计应用举例	(85)
本章小结	(89)
思考题和习题	(89)
第5章 MCS-51 单片机的中断与定时	(92)
5.1 输入/输出的控制方式	(92)
5.1.1 程序查询方式	(92)
5.1.2 中断控制方式	(93)
5.2 中断控制系统	(94)
5.2.1 中断控制系统结构	(95)

5.2.2	中断系统的控制	(97)
5.2.3	中断的响应过程	(99)
5.2.4	中断系统的应用举例	(100)
5.3	定时器/计数器	(103)
5.3.1	定时器/计数器的内部结构和功能	(103)
5.3.2	定时器/计数器的工作方式	(105)
5.3.3	定时器/计数器的应用举例	(107)
	本章小结	(113)
	思考题与习题	(114)
第6章	MCS-51 单片机存储器及其扩展技术	(115)
6.1	存储器及其分类	(115)
6.2	程序存储器的扩展	(116)
6.2.1	程序存储器的扩展方法	(116)
6.2.2	程序存储器的常用扩展芯片	(118)
6.2.3	程序存储器的常见扩展电路	(124)
6.3	静态数据存储器的扩展	(126)
6.3.1	数据存储器的扩展方法	(126)
6.3.2	数据存储器的常用扩展芯片	(128)
6.3.3	数据存储器常用扩展电路	(130)
6.4	存储器扩展的应用举例	(132)
6.4.1	扩展 16KB EPROM 和 16KB RAM 的电路	(132)
6.4.2	外部程序存储器和数据存储器的兼容使用电路	(133)
6.4.3	静态 RAM 的断电数据保护	(134)
6.4.4	EPROM 的正确使用和快速固化	(135)
	本章小结	(137)
	思考题与习题	(138)
第7章	MCS-51 单片机 I/O 接口及扩展技术	(139)
7.1	I/O 接口扩展概述	(139)
7.1.1	I/O 接口的扩展方法	(139)
7.1.2	I/O 接口的扩展性能	(140)
7.1.3	I/O 接口扩展用芯片及应用	(140)
7.2	8255A 可编程并行接口芯片	(142)
7.2.1	8255A 的组成结构及引脚功能	(142)
7.2.2	8255A 的控制字与工作方式	(145)
7.2.3	8255A 的应用举例	(147)
7.3	8155H 可编程并行接口芯片	(149)
7.3.1	8155H 的组成结构及引脚功能	(149)
7.3.2	8155H 的 I/O 口工作方式	(151)
7.3.3	8155H 的应用举例	(153)
7.4	扩展技术的应用	(156)

7.4.1 显示器接口及应用举例	(156)
7.4.2 键盘及其接口应用举例	(162)
7.4.3 BCD 码拨盘及其接口应用举例	(166)
本章小结	(168)
思考题与习题	(168)
第 8 章 MCS-51 单片机应用系统的开发	(170)
8.1 单片机应用系统的开发	(170)
8.1.1 单片机应用系统开发概述	(170)
8.1.2 应用系统的硬件开发	(172)
8.1.3 应用系统的软件设计	(179)
8.2 开发装置	(185)
8.2.1 仿真器的组成	(185)
8.2.2 应用系统常用仿真器的功能	(186)
本章小结	(189)
思考题与习题	(189)
第 9 章 MCS-51 单片机实验	(190)
实验一 常用实验开发装置的认识实验	(190)
实验二 数码转换程序实验	(191)
实验三 算术运算类指令编程实验	(192)
实验四 数据传输类指令编程实验	(193)
实验五 布尔(位)处理类指令编程实验	(194)
实验六 定时器/计数器实验	(195)
实验七 存储器扩展与 EPROM 编程实验	(196)
实验八 I/O 接口和中断实验	(198)
实验九 8155H 接口扩展及其应用实验	(199)
实验十 显示器与 8031 接口实验	(201)
附录	(203)
附录 1 ASCII (美国标准信息交换码) 表	(203)
附录 2 MCS-51 单片机指令系统常用符号及操作码说明	(204)
附录 3 MCS-51 单片机指令系统表	(205)
附录 4 MCS-51 单片机常用特殊功能寄存器	(210)
附录 5 MCS-51 单片机特殊功能寄存器地址表	(213)
参考文献	(214)

第 1 章 微型计算机基础知识

内容提要

本章主要介绍了微型计算机的基本知识，包括微型计算机的基本概念、基本特点、基本组成、基本工作过程、计算机常用语言、发展历史，以及计算机中数、代码和基本逻辑运算、逻辑电路等。通过本章的学习使读者对微型计算机有一个概括的了解，并掌握微型计算机的一些基本知识，为后续章节的学习奠定一定的基础。

1.1 微型计算机与单片计算机

1.1.1 一般的微型计算机

人们通常所说的一般微型计算机是指电子数字计算机。它是一种能够自动地、高速地处理信息的电子设备。它所接收和处理的信息可以是数字、符号、图像、声音等，它能实时准确、迅速地对接收的信息进行运算、判断、分析、控制，帮助人们完成部分脑力劳动。所以人们又称一般的微型计算机为“电脑”。

一个典型的微型计算机通常由五大部分组成，即运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备。如果将运算器和控制器集成在同一块半导体芯片上，则称该芯片为中央处理器 CPU，如果将 CPU 与大规模集成电路制成的存储器和输入、输出设备用总线连接起来，就构成一个微型计算机系统。总线包括控制总线、地址总线和数据总线，如图 1.1 所示。

1. 中央处理器 CPU

中央处理器 CPU 是微型计算机中的核心部件，由运算器和控制器组成，它负责信息的传送、处理和控制，是数据运算中心，也是控制调度中心。其中，运算器主要完成计算机中所需要进行的算术运算和逻辑运算任务；控制器是整个计算机的控制中心，通过它向运算器、存储器、输入和输出设备等发出控制指令，使整个计算机系统自动地、协调地工作。

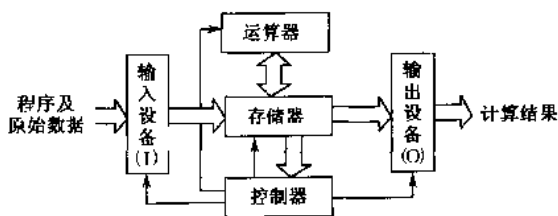


图 1.1 微型计算机基本结构框图

2. 存储器

存储器由许多具有记忆功能的存储单元组成，每个存储单元可以存放一个数据代码或一个程序指令代码。存储器在运算之前，用来接收存放外界送来的数据和程序；在运算过程中提供

指令和数据信息，并保存中间结果：运算结束后，存放运算结果。

3. 输入和输出设备

它们是计算机与外界交换信息的入口和出口装置。通过输入设备可向计算机输入原始数据、程序和其他信息，常见的输入设备有键盘、鼠标等；通过输出设备可将计算机运算、处理的中间结果、最终结果或其他信息以数字、字符、图像等形式表示出来，常见的输出设备有数码字符显示器、图文显示器、打印机等。

1.1.2 单片微型计算机

所谓单片微型计算机是指将组成微型计算机的各功能部件，如中央处理器（CPU）、存储器（RAM、ROM 或 EPROM 等）、定时器/计数器以及各种输入/输出设备（I/O）接口集成在一块大规模集成电路芯片上，构成一个完整的具有一定规模和独立功能的计算机。单片微型计算机简称为单片计算机或单片机。单片机是微型计算机的一个重要分支。图 1.2 为 Intel 公司生产的 8051 单片机结构框图。

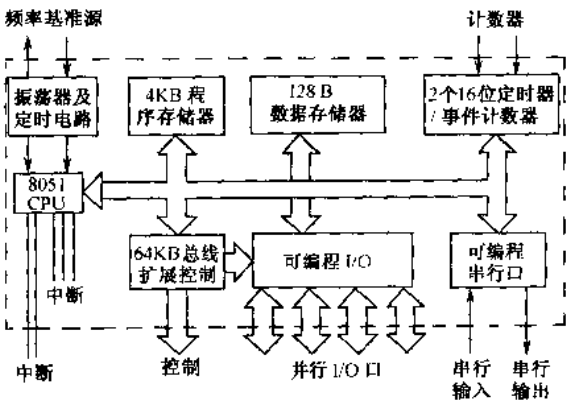


图 1.2 8051 单片机结构框图

有的单片机还将模-数转换器（A/D）、数-模转换器（D/A）以及其他专用部件集成在单片机芯片内，使其功能更加强大，使用更加方便。由于单片机芯片将很多功能部件集成在一块芯片内，因此结构紧凑、体积小、重量轻、运行速度快、抗干扰能力强、使用灵活、开发容易，大大地提高了性能价格比。

1.2 单片机的发展及特点

1.2.1 单片机的发展历史及发展趋势

（一）单片机的发展历史

单片机按其用途可分为两大类，即通用型单片机和专用型单片机。人们通常所说的单片机和本书所介绍的单片机均为通用型单片机。

通用型单片机将可开发资源，如存储器、输入/输出接口等全部提供给设计者或使用者，可根据实际需要自主开发，灵活运用。因此在仪器仪表、工业测控、家电产品等各个领域都有

广泛应用。

专用型单片机是指其硬件结构和指令程序均针对某一特定的应用场合而专门设计的单片机。通常这种专用型单片机一旦制成，人们只能按其功能使用，因此它的应用范围常受到一定的限制。

单片机的发展历史可根据其数据处理的位数分类，如：1 位单片机、8 位单片机、32 位单片机等。

单片机的发展历史通常按其功能和 CPU 的字长位数划分为四个阶段。

第一阶段，单片机初级阶段，从 1974 年开始。这一阶段的单片机由于工艺限制，采用双片的形式才能组成一台完整的计算机，它的硬件结构简单，而且功能也相对较弱。

第二阶段，低性能单片机阶段，从 1976 年开始。这一阶段的典型产品有 Intel 公司制造的 MCS-48 系列单片机，其芯片中不仅集成有 8 位 CPU、RAM 存储器和并行 I/O 接口，还集成有 8 位定时器/计数器、ROM 存储器等。但是，片内 RAM 和 ROM 存储器的存储容量较小，寻址范围不大，中断系统比较简单，无串行 I/O 接口，功能还不太强。

第三阶段，高性能单片机阶段，从 1978 年开始。这一阶段推出的单片机普遍带有串行 I/O 接口、多级中断系统、16 位定时器/计数器，芯片内的 ROM 和 RAM 存储器容量增大，寻址范围增加，有的片内还带有 A/D 转换器。这一阶段的单片机虽然推出时间较早，由于性能价格比较高，因此仍然是目前应用范围较广泛，应用数量较多的机种。这一阶段的代表性产品有 Intel 公司的 MCS-51，Motorola 公司的 6801 等。

第四阶段为 8 位单片机巩固发展及 16 位、32 位单片机推出阶段，从 1982 年开始至现在。这一阶段产品的主要特征是一方面不断完善高档 8 位单片机，改进结构，以满足不同用户的需求；另一方面发展 16 位、32 位单片机及专用型单片机，典型产品如 Intel 公司的 MCS-96 系列单片机，它在硬件结构和指令系统的设计上较 8 位机有很多不同之处，如 CPU 采用存储器-寄存器结构，片内有多通道 10 位 A/D 转换器和高速 I/O 部件，片内的 ROM、RAM 存储器编程、实时处理能力很强。32 位单片机除了有更高的集成度外，数据处理速度更快，性能比 8 位、16 位单片机更加优越，这一阶段推出的高性能单片机，特别适用于要求很高的定时控制系统。

（二）单片机的发展趋势

单片机的发展非常迅速，就通用型单片机来说，目前世界上一些著名的计算机生产厂家投放市场的产品已有 50 多个系列，400 多个品种，单片机的产量已占整个微机（含一般的微处理器）产品的 80% 以上，其中 8 位单片机的产量又占整个单片机产量的 60% 以上。

单片机的发展趋势将向大容量、高性能化、外围电路内装化等方面发展，各生产厂家为满足不同用户的要求，竞相研制开发出满足不同需求的产品。

1. CPU 改进

改进后的 CPU 及其效果是：

（1）采用双 CPU 结构，以增强单片机实时快速处理多重任务的能力。

（2）增加数据总线宽度，使单片机数据处理能力加强。

（3）采用流水线结构，使指令以队列形式出现在 CPU 中，且具有很高的运算速度，更加有利于对数字信号的处理。

(4) 改进串行总线结构, 使单片机引线减少, 进一步降低单片机成本。

2. 存储器改进

改进后的存储器及其效果是:

(1) 加大存储器容量。增加片内存储容量不仅使存取信息的周期缩短, 而且可以使因片内存储容量不够, 向外部配置存储器的数量减少, 达到简化系统电路的目的。

(2) 片内的 EPROM 采用 EEPROM 化。这样改进后, 不仅读写操作简便, 而且会大大简化应用系统结构。

(3) 程序保密化。对片内 EPROM 或 EEPROM 采用加锁方式。加锁后, 无法复制其中的程序, 若要复制则将抹去 EEPROM 中的信息, 从而达到程序保密的目的。

3. 片内 I/O 接口改进

一般单片机都有较多的 I/O 接口, 以满足外围设备、芯片扩展的需要; 并配有串行 I/O 接口, 以满足多机通信功能的要求。

(1) 增加并行 I/O 接口的驱动能力, 以减少外部驱动用芯片数量, 简化应用系统结构。

(2) 增加 I/O 接口的逻辑控制功能, 加强单片机的位处理功能, 实现对 I/O 接口进行位寻址及位操作, 提高 I/O 接口的灵活性。

(3) 根据需要设置一些特殊的串行 I/O 接口, 为单片机构成网络控制系统提供便利条件。

4. 外围电路内装化

随着集成制造工艺的不断发展, 将众多不同功能的外围电路器件集成装入单片机芯片内, 实现系统的单片化。

5. 低功耗化

采用 CMOS 和 HMOS 相结合的 C-HMOS 集成制造工艺, 使单片机既保持 CMOS 低功耗特点, 又具有 HMOS 高组装密度的特点。为了充分发挥低功耗的特点, 这类单片机普遍配置有 Wait 和 Stop 两种节电工作方式。如正常运行时工作电流为十几 mA, 同样条件下 Wait 工作方式时工作电流则为几 mA 左右, 而进入 Stop 工作方式下其工作电流仅为几至几十 μA 。

1.2.2 单片机的特点

单片机的发展历史虽然十分短暂, 但是在许多领域都得到了广泛的应用, 这是因为单片机具有卓越的性能。此外, 还有以下特点:

(1) 结构功能优化。能方便灵活地组成各种智能测、控仪器仪表和设备。

(2) 易扩展。片内含有计算机正常运行所必需的各种部件, 芯片外部有许多供扩展用的三总线端口和串、并行 I/O 端口, 指令系统丰富, 可以很容易构成各种规模的、控制功能很强的应用系统。

(3) 可靠性高。为了满足各种测控场合, 单片机芯片是按工业测控环境要求设计的。产品在 120°C 温度条件下经 44 小时老化处理, 又通过 100% 的电气测试及最终质量检验, 以适应各种恶劣的工作环境。这是其他机种无法比拟的。

(4) 受集成度限制, 片内存储器容量较小, 但可在芯片外部进行扩展。

(5) 可方便地实现多机和分布式控制。

1.3 计算机中的数与代码

进位计数制是按进位原则进行计数的一种方法。长期以来,人们在日常生活中形成了多种进位计数制,而计算机只能使用二进制计数和计算方式。这是因为在计算机内部只能通过电位的高低来表示数码0和1。二进制由于数码冗长,且书写和阅读都不太方便,所以在编写程序时,习惯用十进制或十六进制代替二进制。此外,在计算机中采用二进制,不仅“0”和“1”两种状态易于实现区分、存储、传输、处理,而且能方便地使用逻辑代数进行数字信号及电路的分析、设计、综合,并使计算机具有逻辑运算、判断和控制能力。因此在学习计算机时,需要熟悉并掌握二进制数的表示方法及二进制数与其他常用进制数之间的转换方法。

1.3.1 数的进制及转换

(一) 进位计数制

1. 十进制数

十进制数是我们日常生活和工作中最常用的进位计数制,它有两个主要特点:

(1) 由十个不同的数码0、1、2、3、4、5、6、7、8、9,按照一定的规律排列起来表示数值的大小。

(2) 由低位向高位的进位规则是“逢十进一”。因此,同一个数码在十进制数中不同的位置所代表的含义不同。如,

$$5856.8 = 5 \times 10^3 + 8 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1}$$

所以任意一个正的十进制数 D 都可以展开为

$$[D]_{10} = \sum_{i=0}^{n-1} k_i 10^i \quad (1-1)$$

其中, k_i 是第 i 位的系数,它可能是0~9十个数码中的任何一个数,若整数部分的位数是 n ,小数部分的位数是 m ,则 i 包含从 $n-1$ 到0的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。

若用 N 代替式(1-1)中的10,就可以得到任意的 N 进制数, N 进制数展开的普遍形式为

$$[D]_N = \sum_{i=0}^{n-1} k_i N^i \quad (1-2)$$

2. 二进制数

二进制数有两个主要特点:

(1) 由二个不同的数码0和1,按照一定的规律排列起来表示数值的大小。

(2) 由低位向高位的进位规则是“逢二进一”。

根据式(1-2)可知,任何一个二进制数均可展开为

$$[D]_2 = \sum_{i=0}^{n-1} k_i 2^i \quad (1-3)$$

这里 k_i 的取值只有0或1两种可能。例如,

$$[101.01]_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

3. 十六进制数

十六进制数有两个主要特点：

(1) 用十六个不同的数码 0~9 和 A、B、C、D、E、F 按照一定的规律排列起来表示数值的大小。

(2) 由低位向高位进位规则是“逢十六进一”。

(3) 根据式 (1-2) 可知，任何一个十六进制数均可展开为

$$[D]_{16} = \sum_{i=0}^{n-1} k_i 16^i \quad (1-4)$$

其中， k_i 可以是 0~F 这十六个数码当中的任何一个。例如，

$$[3A.5E]_{16} = 3 \times 16^1 + A \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + E \times 16^{-2}$$

表 1.1 为十进制数、二进制数和十六进制数对照表。

表 1.1 十进制数、二进制数和十六进制数对照表

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

(二) 几种常用进制数之间的转换

1. 二进制数与十进制数的转换

(1) 二进制数转换为十进制数。将二进制数按式 (1-3) 展开，然后把所有各项的数值按十进制相加，就可以得到等值的十进制数。例如，

$$[101.01]_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 4 + 0 + 1 + 0 + 0.25 = [5.25]_{10}$$

(2) 十进制数转换为二进制数。十进制数转换为二进制时，可先将十进制数的整数部分和小数部分分别转换成相应的二进制的整数和小数部分，然后合并在一起，就可以得到等值的二进制数。

a. 整数部分的转换。转换的方法是：“除 2 取余，逆序排列。”即将十进制数的整数部分连续除以 2，取出余数 (0 或 1)，将余数逆序排列便可得到与十进制数整数部分等值的二进制数整数部分。

例如，将 $[25.8125]_{10}$ 转换为二进制数。先将 $[25.8125]_{10}$ 中的整数部分取出，并转换：

2	25	 余1	↑ (低位)
2	12	 余0	
2	6	 余0	
2	3	 余1	
2	1	 余1	
	0		↓ (高位)

故整数 $[25]_{10}=[10011]_2$

b. 小数部分的转换。转换的方法是：“以 2 乘取整数，顺序排列。”即将十进制数的小数部分乘以 2，得到一个乘积，取出整数（0 或 1），再将乘积中的小数部分乘以 2……如此连续做下去，直到乘积中的小数部分为 0 或达到一定的精度为止，然后将逐次得到的乘积的整数部分顺序排列便得到与十进制数小数部分等值的二进制小数部分。

例如，将 $[25.8125]_{10}$ 的小数部分取出，并转换：

	0.8125		↑ (高位)
×	2		
	1.6250	 整数部分为1取出	
	0.6250		
×	2		
	1.2500	 整数部分为1取出	↓ (低位)
	0.2500		
×	2		
	0.5000	 整数部分为0	
	0.5000		
×	2		
	1.0000	 整数部分为1取出	

故 $[0.8125]_{10}=[0.1101]_2$ ，将所得二进制数的整数部分和小数部分合并，即得

$$[25.8125]_{10}=[11001.1101]_2$$

2. 二进制数与十六进制数的转换

因为 $2^4=16$ ，每四位二进制数便相当于一位十六进制数，所以二进制数和十六进制数之间的转换存在着简单且又直接的关系，即用四位二进制数可表示一位十六进制数。只要熟悉这一关系，二进制数与十六进制数的转换就十分简便了。

(1) 二进制数转换为十六进制数。转换的方法是：“四位合一位”，即二进制数的整数部分由小数点向左，每四位为一组，不足四位的前面补 0；小数部分由小数点向右，每四位为一组，不足四位后面补 0，便可得到与二进制数等值的十六进制数。

例如，将 $[1011101.1110011]_2$ 转换为十六进制数：

<u>0101</u>	<u>1101</u>	<u>1110</u>	<u>0110</u>
5	D	E	6

故 $[1011101.1110011]_2=[5D.E6]_{16}$

(2) 十六进制数转换为二进制数。转换的方法是：“一位拆为四位”，即无论是十六进制的整数部分还是小数部分，只需将十六进制数逐位用相应的四位二进制数代替，便可得到所要求

的二进制数。

例如，将 $[9DA.F4]_{16}$ 转换为二进制数：

 9 D A F 4
1001 1101 1010 1111 0100

故 $[9DA.F4]_{16}=[100111011010.11110100]_2$

1.3.2 带符号的二进制数

在数学运算中，表示一个数的正负，可以在该数前面用“+”和“-”符号表示。计算机无法识别“+”和“-”符号，而是将“+”、“-”符号分别“0”和“1”两个数码代替。例如在字长为8位的二进制数中，把它的最高位定义为符号位，当最高位为0时表示该数为正，当最高位为1时表示该数为负。例如 $D_1=1101001$ ， $D_2=-1101001$ ，其中 D_1 为正数， D_2 为负数。在计算机中应分别用下面方式表示：

0	1101001	1	1101001
符号	数值部分	符号	数值部分

这种将高位定义为符号位的二进制数称为带符号的二进制数，又称为机器数，原来的数称为真值。

同样一个二进制数，例如数 $[11001001]_2$ ，如果是一个无符号数，它等于十进制的 $[201]_{10}$ 。如果是一个有符号数，它等于十进制的 $[+73]_{10}$ 。可见由于二进制数有带符号数和无符号数之别，因此使用前要加以说明。对于带符号的二进制数有以下三种表示方法。

1. 原码

所谓原码，就是将真值的“+”和“-”符号分别按规定用“1”和“0”代替，数值部分和真值完全相同，保持真值的“原”样。例如，

数 D_1 真值 $+1101001$ 原码 01101001

数 D_2 真值 -1101001 原码 11101001

原码的表示符号为：若真值为 X ，则其原码为 $[X]_{原}$

原码的表示方法简单，比较容易写和阅读，但运算过程却比较复杂，在计算机中不用原码。

2. 反码

反码同样也规定最高位为符号位，对于正数的反码与原码相同。例如，

原码：01101001

反码：01101001

对于负数的反码，符号位数不变，将原码各位的“1”换成“0”，“0”换成“1”，简言之，就是除符号位以外，将原码各位依次求反。例如，

原码：11101001

反码：10010110

反码的表示符号为： $[X]_{反}$

3. 补码

正数的补码与原码相同。例如，

原码：01101001

反码：01101001

对于负数的补码，先将原码除符号位以外的各位依次求反，将反码的最低位加“1”。例如，

原码：11101001

补码：10010111

补码的表示符号为： $[X]_{\text{补}}$

表 1.2 为二进制数原码、反码和补码对照表

表 1.2 二进制数原码、反码和补码对照表

十进制数	二进制数	原码	反码	补码
+0	+0000000	00000000	00000000	00000000
+1	+0000001	00000001	00000001	00000001
+2	+0000010	00000010	00000010	00000010
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
+126	+1111110	01111110	01111110	01111110
+127	+1111111	01111111	01111111	01111111
-0	-0000000	10000000	11111111	00000000
-1	-0000001	10000001	11111110	11111111
-2	-0000010	10000010	11111101	11111110
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
-126	-1111110	11111110	10000001	10000010
-127	-1111111	11111111	10000000	10000001
-128	-10000000	无法表示	无法表示	10000000

1.3.3 计算机中的基本逻辑运算

能够根据逻辑关系进行因果判断的运算称为逻辑运算，实现这一逻辑运算的电路称为逻辑运算电路。逻辑运算是计算机的基本功能之一，而逻辑运算电路则是计算机的硬件基本组成电路。这里就计算机中的一些基本逻辑运算做一概略介绍。

(一) 三种基本逻辑关系及逻辑运算

1. 三种基本逻辑关系

(1) 基本逻辑关系电路。如图 1.3 所示的电路，即是反映与、或、非三种基本逻辑关系最简单的例子。

分析图 1.3 所示电路中开关分断、闭合与灯亮、灭之间的逻辑关系，可以很容易得到如表 1.3 所示的功能表。