

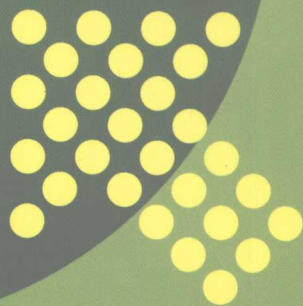
21世纪高等学校规划教材



DANPIANJI YUANLI JIQI JIEKOU JISHU

单片机原理及其接口技术

王懿华 主 编
时 军 副主编
乐年华 卢 燕 姜志强 参 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

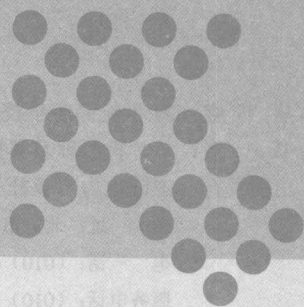
21世纪高等学校规划教材



DANPIANJI YUANLI JIQI JIEKOU JISHU

单片机原理及其接口技术

主 编 王懿华
副主编 时 军
参 编 乐年华 卢 燕 姜志强



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内容提要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书以 MCS-51 单片机为主要对象,从实际应用出发,充分考虑职业技术教育的特点,系统地介绍了 80C51 单片机结构、指令系统、汇编语言设计、中断技术、扩展技术、常用接口电路及单片机应用开发设计等知识。书中内容尽量降低理论深度和难度,通俗易懂、编排合理、系统全面,各章节都配有丰富的例题讲解,同时还安排了大量的习题,以便读者及时地复习、巩固和提高。

本书可作为高职院校及各大、中专院校计算机及相关专业单片机课程教材,还可作为单片机培训用书和相关工程技术人员的学习的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及其接口技术 / 王懿华主编. —北京:中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-7986-9

I. 单… II. 王… III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校—教材②单片微型计算机—接口—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 198124 号

丛 书 名: 21 世纪高等学校规划教材

书 名: 单片机原理及其接口技术

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市三里河路 6 号

邮政编码: 100044

电 话: (010) 68362602

传 真: (010) 68316497, 88383619

服务电话: (010) 58383411

传 真: (010) 58383267

E-mail: infopower@cepp.com.cn

印 刷: 航远印刷有限公司

开本尺寸: 184mm×260mm 印 张: 11.5 字 数: 253 千字

书 号: ISBN 978-7-5083-7986-9

版 次: 2009 年 1 月北京第 1 版

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 0001—3000 册

定 价: 19.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

随着单片机技术的飞速发展，其应用领域日趋扩大，现如今，单片机应用已从工业控制领域进入到人们日常生活的方方面面，并从根本上改变了我们的生活。可以预见，单片机将在各行各业中扮演越来越重要的角色。

目前，各个行业的设计者在开发新产品时，首先想到的就是如何充分利用单片机强大的实用功能。对设计者而言，新产品的性能和其高科技含量的高低往往集中在单片机应用水平上。因此，为了顺应单片机越来越普及的形势，现各大、中专院校，特别是职业技术学院，都开设了单片机课程。

编者在职业技术学院从事计算机专业教学 20 余载，深切地体会到要真正地选择一本适合职业技术教育特点的单片机教材，并非是件容易的事情。因此，在江西电力职业技术学院领导和计算机信息系领导的大力支持和关心下，组织一批多年从事单片机教学、科研和应用开发的老师，根据职业技术教育的特点编写了本教材。

在本教材的编写过程中，从内容的安排到提纲的编写，经过了多次讨论和修改，同时参考了大量其他单片机专业书籍和教材，博采众家之长，并及时地得到有关专家的指导和建议，保证了本书的质量和水平。

在内容编排方面，以 80C51 系列单片机为主线，突出职业技术教育的特点，理论够用，注重实践，内容丰富，重点突出，层次清晰，前后呼应；各章节的例题浅显易懂，并与实践紧密结合，利于读者理解和掌握。每章节都配有难度不一的习题，供不同层次的读者巩固和提高所学知识内容。

本书由王懿华担任主编，并编写第 8 章和第 9 章；时军编写第 1 章；卢燕编写第 3 章和第 4 章；姜志强编写第 2 章和第 5 章；乐年华编写第 6 章和第 7 章。对于本书的编写，孙奕学和时军同志给予了诸多建设性的意见，在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评和指正。

编 者

2008 年 10 月于南昌

目 录

前 言	
第 1 章 绪论	1
1.1 单片机概述	1
1.2 单片机系统组成	4
1.3 MCS-51 单片机系列	6
1.4 计算机数制和常用编码	7
习题和思考题	14
第 2 章 MCS-51 单片机结构和原理	16
2.1 8051 单片机内部结构和引脚功能	16
2.2 8051 片内存储器空间配置	18
2.3 四个并行 I/O 端口结构及工作原理	24
2.4 时钟电路和时序	27
2.5 MCS-51 单片机工作方式	32
习题和思考题	34
第 3 章 MCS-51 单片机指令系统	36
3.1 指令系统概述	36
3.2 数据传送类指令	39
3.3 算术运算类指令	45
3.4 逻辑运算及移位类指令	50
3.5 控制转移类指令	54
3.6 位操作类指令	61
习题和思考题	63
第 4 章 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	66
4.1 汇编语言程序设计基本概述	66
4.2 汇编语言程序设计方法	70
4.3 汇编语言程序设计举例	76
习题和思考题	79
第 5 章 中断和定时 / 计数器	81
5.1 中断技术概述	81
5.2 MCS-51 单片机中断系统	85
5.3 MCS-51 定时 / 计数器	92

习题和思考题	100
第 6 章 单片机存储器	102
6.1 单片机系统扩展概述	102
6.2 扩展存储器编址技术	105
6.3 程序存储器扩展	108
6.4 数据存储器扩展	112
6.5 存储器综合扩展举例	115
思考与练习题	115
第 7 章 单片机串行数据通信	116
7.1 串行数据通信概述	116
7.2 MCS-51 串行口及控制寄存器	119
7.3 MCS-51 串行通信工作方式及其应用	121
7.4 单片机多机通信	128
习题与思考题	131
第 8 章 单片机常用外围设备接口电路	132
8.1 键盘接口技术	132
8.2 LED 数码管显示接口	138
8.3 数 / 模 (D/A) 转换器	144
8.4 模 / 数 (A/D) 转换器	150
习题与思考题	155
第 9 章 单片机应用系统开发与设计	156
9.1 单片机应用系统设计过程	156
9.2 单片机应用系统开发工具	161
9.3 单片机应用系统调试方法	164
9.4 单片机应用系统实例分析	166
习题与思考题	174
参考文献	175

第 1 章 绪 论

计算机的发展经历了从电子管、晶体管、集成电路到大规模集成电路共四个发展阶段，即所谓的第一代计算机、第二代计算机、第三代计算机和第四代计算机。

微型计算机是大规模集成技术发展的产物，因此它属于第四代计算机。自从 1971 年微型机问世以来，随着大规模集成技术的不断发展，导致微型机向两个主要方向发展：一个是向高速度、高性能的高档方向发展；另一个向稳定可靠、小而廉的单片机方向发展。

所谓单片机，就是把中央处理器 CPU (Central Processing Unit)、随机存取存储器 RAM (Random Access Memory)、只读存储器 ROM (Read Only Memory)、定时 / 计数器以及 I/O (Input/Output) 通过接口电路等主要计算机部件，集成在一块集成电路芯片上的微型计算机。虽然单片机只是一块芯片，但从组成和功能上看，它已具有微机系统的含义。

1.1 单片机概述

1.1.1 单片机的发展历史

单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用面很广，发展很快，自单片机诞生至今，已发展成上百种系列近千个机种。

如果把 8 位单片机的推出作为起点，那么单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段：

1. 第一阶段 (1976—1978)

单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表，MCS-48 的推出是在工业控制领域的探索，参与这一探索的公司还有 Motorola、Zilog 等，都取得了令人满意的效果。

2. 第二阶段 (1978—1982)

单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 的基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。

(1) 完善的外部总线。MCS-51 设置了典型的 8 位单片机的总线结构，包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

(2) CPU 外围功能单元的集中管理模式。

(3) 体现工控特性的位地址空间和位操作方式。

(4) 指令系统趋于丰富和完善，并且增加了许多突出控制功能的指令。

3. 第三阶段 (1982—1990)

8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段，也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机，将一些用于测控系统的模 / 数转换器、程序运行监

视器、脉宽调制器等纳入片内，体现了单片机的微控制特征。随着 MCS-51 单片机系列的广泛应用，许多电气厂商竞相使用 80C51 为内核，将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中，增强了外围电路功能，强化了智能控制器的特征。

4. 第四阶段（1990 至今）

微控制器全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入的发展和应⤵用，世界各大电气、半导体厂商普遍投入人力物力研发，出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位 / 16 位 / 32 位通用单片机以及小型廉价的专用型单片机，百花齐放、全面发展，单片机已进入一个可广泛选择和全面发展的应用时代。

1.1.2 单片机的特点和应用

由于单片机是把微型计算机主要部件都集成在一块芯片上，即一块芯片就是一个微型计算机。因此，单片机具有以下特点：

(1) 有优异的性能价格比。目前国内市场上，有些单片机的芯片只要几元人民币，加上少量外围元件，就构成一台功能相当丰富的智能化控制装置。

(2) 集成度高、体积小、可靠性好。单片机把各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各芯片之间的连线，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。而且由于单片机体积小，易于采取电磁屏蔽或密封措施，适合于在恶劣环境下工作。

(3) 控制能力强。单片机指令丰富能满足工业控制的各种要求。

(4) 低功耗、低电压，便于生产便携式产品。

(5) 易扩展。可根据需要并行或串行扩展构成各种不同规模的计算机控制系统。

由于单片机有如此多的优点，因此其应用领域之广，几乎到了无孔不入的地步。单片机应用的重要领域有：

(1) 智能化家用电器。各种家用电器普遍采用单片机智能化控制代替传统的电子线路控制，升级换代，提高档次。如洗衣机、空调、录像机、微波炉、电冰箱、电饭煲以及各种视听设备等。

(2) 办公自动化设备。现代办公室中使用的大量通信与办公设备多数嵌入单片机。如打印机、复印机、传真机、绘图仪、考勤机、电话以及通用计算机中的键盘译码、磁盘驱动等。

(3) 商业营销设备。在商业营销系统中广泛使用的电子秤、收款机、条形码阅读器、IC 卡刷卡机、出租车计价器以及仓储安全监测系统、冷冻保险系统等都采用了单片机控制。

(4) 工业自动化控制。工业自动化控制是最早采用单片机控制的领域之一。如过程控制、程序控制、机电一体化等各种控制系统。在化工、建筑、冶金等各种工业领域都要用到单片机控制。

(5) 智能化仪表。采用智能化仪表大大提升了仪表的档次，强化了功能。如数据处理和存储、故障诊断、联网集控等。

(6) 智能化通信产品。最突出的是手机，手机中的芯片属专用型单片机。

(7) 汽车电子产品。现代汽车的集中显示系统、动力监测控制系统、自动驾驶系统、通信系统和运行监视器都离不开单片机。

(8) 航空航天系统和国防军事、尖端武器等领域更是不言而喻。

单片机应用的意义不在于它的广泛范围及所带来的经济效益,更重要的意义在于,单片机的应用从根本上改变了控制系统传统的设计思想和设计方法。以前采用硬件电路实现的大部分控制功能,正在用单片机通过软件方法来实现。以前自动控制中的 PID 调节,现在可以用单片机实现具有智能化的数字计算机控制、模糊控制和自适应控制。这种以软件替代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控制技术。随着单片机应用的推广,微控制技术将不断发展完善。

1.1.3 单片机技术发展趋势

目前,单片机正朝着高性能和多品种方向发展,下面是单片机的主要发展趋势。

(1) CMOS 化。近年由于 CHMOS 技术的进步,大大促进了单片机的 CMOS 化,CMOS 芯片除了低功耗特性之外,还具有功耗的可控性,使单片机可以工作在功耗精细管理状态。随着技术和工艺水平的提高,又出现了 HMOS (高密度、高速度 MOS) 和 CHMOS 工艺,CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 工艺的结合。目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度,传输延迟时间小于 2ns。

(2) 低功耗化。单片机的功耗已从 mA 级降到 μA 级,甚至 $1\mu\text{A}$ 以下。使用电压在 3~6V 之间,完全适合电池工作。低功耗化的效应不仅是功耗低,而且带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

(3) 低电压化。几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等省电运行方式,允许使用的电压范围越来越宽,一般在 3~6V 范围内工作。低电压供电的单片机电源下限可达 1~2V,目前 0.8V 供电的单片机已经问世。

(4) 低噪声与高可靠性。为提高单片机的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境满足电磁兼容性方面更高标准的要求,各单片机厂家都在单片机内部电路中采用了新的技术措施。

(5) 大容量化。以往单片机内部 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B,但在需要复杂控制的场合,该存储容量是不够的,必须进行外接扩展。为了适应这种领域的要求,需运用新的工艺,使片内存储器大容量化。

(6) 高性能化。主要是指进一步改善 CPU 的性能,加快指令的运算速度和提高系统控制的可靠性,采用精简指令集 (RISC) 体系结构和流水线技术。早期的单片机大多是 CISC 结构体现,指令复杂,指令代码、周期数不统一,指令运行很难实现流水线操作。而精简指令集 (RISC) 体系结构,绝大部分是单周期指令,实现一个地址单元存放一条指令,可以大幅度提高运行速度。

(7) 外围电路内装化。随着集成度的不断提高,有可能把众多的各种外围功能器件集成在片内。除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时 / 计数器以外,片内集成的部件还有模 / 数转换器、数 / 模转换器、DMA 控制器、声音发生器、监视定时器、液晶

显示驱动器等。

(8) 串行控制技术。在很长一段时间里，通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着低价位 OTP (One Time Programmable) 及各种类型片内程序存储器的发展，加之外围接口不断进入片内，推动了单片机“单片”应用结构的发展，特别是 IC、SPI 等串行总线的引入，可以使单片机的引脚设计得更少，单片机系统结构更加简化及规范化。

1.2 单片机系统组成

一个完整的单片机系统可由两大部分组成：硬件部分和软件部分。硬件是组成单片机系统的物理实体；软件则是对硬件使用和管理的程序。单片机系统的硬件由单片机芯片和外部设备组成。而单片机芯片则包含微处理器 (CPU)、存储器 (存放程序指令或数据的 ROM、RAM 等)，输入 / 输出 (I/O 口) 及其他功能部件如定时 / 计数器、中断系统等，它们通过地址总线 (AB)、数据总线 (DB) 和控制总线 (CB) 连接起来，如图 1-1 所示。

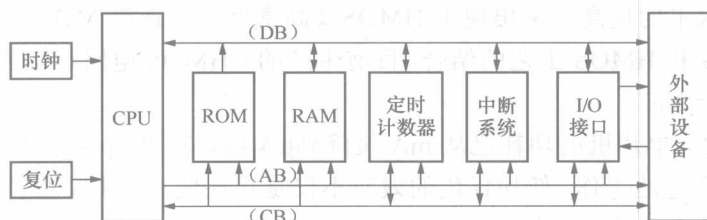


图 1-1 单片机系统的硬件结构框图

1.2.1 单片机硬件系统

1. 微处理器 (CPU)

微处理器是单片机的核心。它主要由三部分组成：寄存器阵列、运算器和控制器。

(1) 寄存器阵列。寄存器阵列是微处理器内部的临时存储单元，包括通用寄存器组和专用寄存器。

(2) 运算器。运算器用来完成算术运算和逻辑运算，是处理信息的主要部件。

(3) 控制器。控制器是分析和执行指令的部件，是统一指挥单片机按一定时序协调工作的核心。

2. 总线

总线是用于传送信息的公共途径。总线可分为数据总线、地址总线和控制总线。

采用总线结构，可以减少信息传输线的根数，提高系统的可靠性，增加系统的灵活性。

(1) 数据总线。数据总线用来在微处理器与存储器以及输入 / 输出接口之间传送指令代码和数据信息。通常微处理器的位数和外部数据总线的位数一致，8 位微处理器就有 8 根数据线。数据总线是双向的。

(2) 地址总线。地址总线用于传送地址信息。当微处理器与存储器或外部设备交换信

息时, 必须指明要与哪个存储单元或哪个外部设备交换, 因此, 地址总线必须和所有存储器的地址线相连, 也必须和所有 I/O 接口设备相连。地址总线是单向的。地址线的数目决定了 CPU 可以直接访问的存储器的单元数目, 如在 8 位单片机中, 它通常为 16 根, CPU 可以直接访问的存储器的单元数目为 $2^{16}=65536B=64KB$ (64K 字节)。

(3) 控制总线。控制总线用来传送使单片机各个部件协调工作的定时信号和控制信号, 从而保证正确执行指令所要求的各种操作。控制总线是双向的, 可分为两类, 一类由 CPU 发向存储器或外部设备进行某种控制, 例如读写操作控制信号; 另一类由存储器或外部设备向 CPU 表示某种信息或请求, 例如忙信号、中断请求信号等。

3. 存储器

存储器是用来存放程序和数据部件, 可分为随机存储器 RAM 和只读存储器 ROM。

随机存储器 RAM 可以随机写入或读出, 读写速度快, 读写方便。缺点是电源断电后, 被存储的信息即丢失, RAM 主要用来临时存放各种数据。

只读存储器 ROM 的特点是信息写入后, 能长期保存, 不会因断电而丢失。ROM 一般用来存放固定的程序和数据。按照写入和擦除的方式不同, ROM 又可分为 Mask ROM (掩膜)、OTPROM (一次性可编程)、EPROM (紫外线擦除可编程)、E²PROM (电擦除可编程) 和 Flash ROM (快擦写)。

4. I/O 接口与外部设备

单片机系统的输入 / 输出设备也称为外部设备, 简称 I/O 设备。这些设备与 CPU 交换信息, 并对它们进行输入 / 输出控制, 必须有输入 / 输出接口电路, 简称 I/O 接口电路。

(1) 输入设备。输入原始数据、程序和控制命令, 例如键盘、鼠标、扫描仪等。

(2) 输出设备。输出计算机数据处理的结果信息和计算机工作状态信息, 例如屏幕显示器、打印机、LED 数码显示器、绘图仪等。

(3) I/O 接口电路。通过某种电路完成寻址、数据缓冲、输入 / 输出控制、功率驱动、A/D、D/A 等功能, 例如 8255、8155、0809、0832 等芯片。

1.2.2 单片机软件系统

单片机能正常工作, 除了有良好的硬件设施外, 还必须配置必需的软件, 即程序。单片机程序设计语言分为三类: 机器语言、汇编语言和高级语言。

(1) 机器语言。是计算机可以识别和直接执行的语言, 它由一组二进制代码组成, 不同的微处理器机器语言也不相同。用机器语言编写程序, 直观性差、可读性差、麻烦费时、容易出错, 实际上不可行。

(2) 汇编语言。是用助记符替代机器语言中的操作码, 用十六进制数替代二进制代码。这种语言比较直观易于记忆和检查, 可读性较好。但在计算机执行时, 必须将汇编语言翻译成机器语言。翻译的方法有两种, 一种是手工汇编即由编程者查阅指令表或凭记忆来完成这一工作; 另一种是机器汇编, 即应用专门的汇编软件自动将汇编语言转换成机器语言。一般来说, 由于机器汇编方便快捷, 已很少有人采用手工汇编了。汇编语言与机器语言一样, 随不同的微处理器而不同, 即不同的微处理器有不同的汇编语言。

(3) 高级语言。是采用类似自然语言并与具体计算机类型无关的程序设计语言。高级语言克服了汇编语言的缺点，更直观、更便于阅读，且不随微处理器的不同而不同。高级语言编写的程序必须通过编译程序翻译成机器语言，才能被计算机执行，高级语言与汇编语言相比，汇编语言具有占用内存少执行速度快的优点，更适合快速实时处理系统。目前应用于 MCS-51 的高级语言有 Basic、C、PL/M 等语言。

综上所述，三种语言的特点是显而易见的。本书介绍的是汇编语言，虽然不同的单片机汇编语言不同，但语言规则有许多相同之处，掌握一种汇编语言对其他机型也可达到举一反三的效果。

1.3 MCS-51 单片机系列

1.3.1 Intel 公司系列单片机特点

Intel 公司自 1976 年以来共推出了三个系列 (MCS-48、MCS-51 与 MCS-96) 的几十种产品，销量居各单片机生产公司之首。他们之所以能取得这样的成果，是因为他们始终坚持把 VLSI 技术与用户的要求紧密结合在一起，也就是随着集成电路工艺的发展，不断革新自己的产品，使其集成度更高、性能更优，同时又根据用户的需要研制各种高性能产品。

Intel 的单片机每一类芯片的 RAM 和 ROM 根据工艺的许可和用户的要求，往往有三种类型，这是 Intel 公司的首创，现已成为单片机的统一规范。

这三种形式是：片内带掩膜式 ROM、片内带 EPROM 和片外接 EPROM。片内带掩膜式 ROM 适合定型大批量应用产品的生产，片内带 EPROM 适合研制产品样机，片外接 EPROM 适合研制新产品。因片内带 EPROM 的单片机成本较高，因此目前应用较多的还是片外接 EPROM 方式的单片机。

另外，其单片机的指令具有紧凑格式和快速执行的特征，例如 MCS-51 系列的单片机指令系统 50% 为单字节指令，同时在时序上能在一个机器周期内二次访问存储器，这样即可节省存储空间，又可加快指令执行速度。MCS-96 系列单片机一次可取两个字节的指令或数据。另外，它还采用高速的算术逻辑部件和灵活的寻址方式来加快指令的执行。

正由于 Intel 公司的单片机产品具有以上特点及优势，使其能在世界单片机市场上独占鳌头。

1.3.2 MCS-51 系列单片机介绍

单片机种类繁多，而且还在不断地推出新的更高性能的单片机品种。从使用情况来看，MCS-51 型系列单片机的应用最为广泛。因此本书将以 MCS-51 型系列为主，介绍单片机的原理和应用。

MCS-51 型单片机系列共有十几种芯片，表 1-1 中列出了比较典型的几种芯片型号以及它们的主要技术性能指标。

表 1-1 MCS-51 型单片机芯片型号对照表

子系统	片内 ROM 形式			片内存储容量		片外寻址范围		I/O 特征			中断源
	无	ROM	EPROM	ROM	RAM	EPROM	RAM	计数器	并行口	串行口	
51	8031	8051	8751	4KB	128B	64KB	64KB	2×16 位	4×8 位	1	5
	80C31	80C51	87C51	4KB	128B	64KB	64KB	2×16 位	4×8 位	1	5
52	8032	8052	8752	8KB	256B	64KB	64KB	3×16 位	4×8 位	1	6
	83C252	80C252	87C252	8KB	256B	64KB	64KB	3×16 位	4×8 位	1	7

MCS-51 型系列可分为 51 和 52 两个子系列，并以芯片型号的最末位数字作为标志。其中 8x51 是基本型，8x52 是增强型，8xC252 是超级型。

采用 HMOS 工艺的基本型 8x51，片内集成有 8 位 CPU、4KB ROM(8031 片内无 ROM)、128B RAM、两个 16 位的定时 / 计数器、一个全双工的串行通信接口 (UART) 并拥有乘除运算指令和位处理指令。采用 CHMOS 工艺的基本型 8xC51，有三种低功耗控制方式，能有效降低功耗。

增强型 8x52 与 8x51 不同的是片内 ROM 增加到 8KB，RAM 也增加到 256B，定时 / 计数器增加到 3 个，串行接口的通信速率快了 6 倍。

超级型 8xC252，在 8x52 的基础上采用了 CHMOS 工艺，并具有 MCS-96 系列中的高速输入 / 输出、脉冲宽度调制输出等功能。

采用 CHMOS 工艺的 87C51 和 8xC22 还具有两级程序保密系统，可禁止外部对片内 ROM 中的程序进行读取，为用户提供了一种保护软件不被窃取的有效手段。

近年来，市场上比较流行的 ATMEL89C51 系列单片机，采用也是 CHMOS 工艺，其中内含有 4KB 快闪可编程 / 可擦除只读存储器 FPEROM (Flash Programmable and Erasable Read Only Memory)，使用高密度、非易失存储技术制造，并且与 80C51 引脚和指令系统完全兼容。芯片上的 FPEROM 允许在线编程或采用通用的非易失存储编程器对程序存储器重复编程，因而 89C51 性能价格比远高于 87C51。

MCS-51 型系列单片机片内的程序存储器有多种配置形式：没有 ROM、掩膜 ROM 和 EPROM，不同的配置形式分别对应不同的芯片，使用时可根据需要进行选择。

1.4 计算机数制和常用编码

1.4.1 数制

1. 十进制

主要特点如下：

- (1) 基数是 10。由 10 个数码 (数符) 构成：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。
- (2) 进位规则是“逢十进一”。

所谓基数是指计数制中用到的数码的个数，如十进制数有 0~9 共十个数码，故基数

是 10，计数规则是“逢十进一”。当基数为 M 时，便是“逢 M 进一”。在进位计数制中常用“基数”来区分不同的进制。

$$\begin{aligned} \text{例如：} 1457.86 &= 1 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2} \\ &= 1000 + 400 + 50 + 7 + 0.8 + 0.06 \end{aligned}$$

上述 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 称为十进制数各位的“权”。

2. 二进制

主要特点如下：

(1) 基数是 2。只有 2 个数码：0、1。

(2) 二进制的进位规则是“逢二进一”。每左移一位，数值增大一倍；右移一位，数值减少一半。

二进制数可以在数的后面放一个字母 B (Binary)，作为标识符，表示这个数是二进制数。

例如：二进制数 1111.11B，转化为十进制数可表示为：

$$\begin{aligned} 1111.11 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 2 + 1 + 0.5 + 0.25 = 15.75 \end{aligned}$$

其中， 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 称为二进制数各数位的“权”。

$$\text{又如：} 1110\text{B} = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 14$$

3. 十六进制

十六进制主要特点如下：

(1) 基数是 16。有 16 个数符构成：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其中 A、B、C、D、E、F 分别代表 10、11、12、13、14、15。

(2) 进位规则是“逢十六进一”。

与其他进制的数一样，同一数符在不同数位所代表的数值是不同的。左移一位，数值增大 16 倍；右移一位，数值缩小 16 倍。在十六进制数的后面加一个字母 H (Hexadecimal) 表示是十六进制数。

$$\begin{aligned} \text{例如：} 1111.11\text{H} &= 1 \times 16^3 + 1 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + 1 \times 16^0 + 1 \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} \\ &= 4096 + 256 + 16 + 1 + 0.0625 + 0.00390625 = 4369.06640625 \end{aligned}$$

其中， 16^3 、 16^2 、 16^1 、 16^0 、 16^{-1} 、 16^{-2} 称为十六进制数各数位的“权”。

$$\text{又如：} 3\text{BCH} = 3 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 12 \times 16^0 = 768 + 176 + 12 = 956$$

十六进制数与二进制数相比，大大缩小了位数，缩短了字长。一个 4 位二进制数只需要 1 位十六进制数表示。目前在计算机程序中普遍采用十六进制数表示。十六进制数、二进制数和十进制数对应关系见表 1-2 所示。

表 1-2 十六进制数、二进制数和十进制数对应关系表

十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数
0	00H	0000B	3	03H	0011B
1	01H	0001B	4	04H	0100B
2	02H	0010B	5	05H	0101B

续表

十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数
6	06H	0110B	14	0EH	1110B
7	07H	0111B	15	0FH	1111B
8	08H	1000B	16	10H	0001 0000B
9	09H	1001B	17	11H	0001 0001B
10	0AH	1010B	18	12H	0001 0010B
11	0BH	1011B	19	13H	0001 0011B
12	0CH	1100B	20	14H	0001 0100B
13	0DH	1101B	21	15H	0001 0101B

二进制数用尾缀 B 表示，十六进制数用尾缀 H 表示，十进制数用尾缀 D 表示，但通常十进制数尾缀 D 可省略，即无尾缀属十进制数。二进制数及十六进制数必须加尾缀。

1.4.2 数制转换

1. 二进制数与十六进制数相互转换

4 位二进制数具有 16 个状态 ($2^4=16$)，而一位十六进制数也具有 16 个状态，所以 1 位十六进制数对应于 4 位二进制数，转换十分方便。二进制数、十进制数、十六进制数之间的转换关系见表 1-2，要求熟记。

(1) 二进制数转换成十六进制数。只要将二进制数的整数部分自右向左分成 4 位一组，最后不足 4 位时在左边用 0 填充；小数部分自左向右 4 位一组，最后不足 4 位时在右边用 0 填充。每组用相应的十六进制数代替即可。

【例 1-1】 $101001101111101B = \underline{0101} \underline{0011} \underline{0111} \underline{1101}B = 537DH$

【例 1-2】 $10111.0110101B = \underline{0001} \underline{0111} \underline{0110} \underline{1010}B = 17.6AH$

(2) 十六进制数转换成二进制数。只要将每一位十六进制数用相应的 4 位二进制数表示。

【例 1-3】 $5C8AH = \underline{0101} \underline{1100} \underline{1000} \underline{1010}B$

【例 1-4】 $90.B1H = \underline{1001} \underline{0000} \underline{.1011} \underline{0001}B$

2. 二进制数、十六进制数转换成十进制数

只要将一个二进制数或十六进制数按权展开，然后相加即可。

【例 1-5】 $1011.01B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 8 + 2 + 1 + 0.25 = 11.25$

【例 1-6】 $3B6H = 3 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = 768 + 176 + 6 = 950$

3. 十进制整数转换成二进制数、十六进制数

(1) 十进制整数转换成二进制数。一个十进制整数转换成二进制数时通常采用“除二取余”法即可得到。

【例 1-7】将十进制数 51 转换成二进制数。

解:

2	51	余数	
2	25	1=b0	低位
2	12	1=b1	↓
2	6	0=b2	
2	3	0=b3	
2	1	1=b4	
2	0	1=b5	

$51 = (b5b4b3b2b1b0) = 110011B$

(2) 十进制整数转换成十六进制数。同理，一个十进制整数转换成十六进制数时通常采用“除十六取余”法即可得到。

【例 1-8】将十进制数 1236 转换成十六进制数。

解:

16	1236	余数	低位
16	77	4=b0	↓
16	4	13=b1 (D)	
	0	4=b2	

$1236 = (b2b1b0) = 4D4H$

1.4.3 码制

1. 原码、反码和补码

在数字中，数的正负是用“+”、“-”来表示。在计算机中，数的正负在最高位分别用“0”和“1”表示。8 位微型计算机中约定，最高位 D7 表示符号，其他 7 位表示数值，如图 1-2 所示。

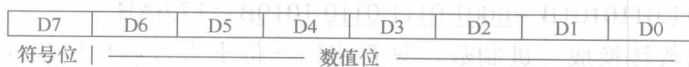


图 1-2 8 位有符号数表示方法

D7=1 表示负数，D7=0 表示正数。

例如：N1=+1001110B，N2=-1001110B，则在计算机中数为 N1=01001110B，N2=11001110B。为了区别原来的数与它在计算机中的表示形式，我们将已经数码化了的带符号数称为机器数。而把原来的数称为机器数的真值，上例中提到的+1001110B、-1001110B 为真值，而 01001110B、11001110B 为机器数。

在计算机中，机器数有三种表示方法：即原码、反码和补码。

(1) 原码。正数在符号位用 0 表示，负数在符号位用 1 表示，而数值位保持原样的机器数称为原码。

1) 正数。正数的原码与原来的数相同。 $[X]_{原} = X (X > 0)$

【例 1-9】求 X=+6 的原码。

解：X=+6=+0000101B $[X]_{原} = X = 0\ 0000101B$

2) 负数。负数的原码符号位置 1, 而数值位不变。

【例 1-10】求 $X = -6$ 的原码。

解: $X = -6 = -0000110B$ $[X]_{原} = X = 1\ 0000110B$

3) 0。0 的原码表示法有两种, $+0$ 与 -0 , 分别为:

$[+0]_{原} = 00000000B$ $[-0]_{原} = 10000000B$

由于最高位为符号位, 因此 8 位二进制原码表示的数的范围为 $-127 \sim +127$ 。

(2) 反码。

1) 正数。正数的反码与正数的原码相同。 $[X]_{反} = X (X > 0)$

【例 1-11】求 $X = +6$ 的反码。

解: $X = +6 = +0000110B$ $[X]_{反} = X = 0\ 0000110B$

2) 负数。负数的反码由其绝对值按位取反得到, 符号位取“1”。

【例 1-12】求 $X = -6$ 的反码。

解: $X = -6 = -0000110B$ $[X]_{反} = X = 1\ 1111001B$

负数的 $[X]_{反}$ 可理解为将 $[X]_{原}$ 符号位保持“1”不变, 数值位按位取反。

3) 0。在反码中 0 也有两种表示法, $+0$ 与 -0 , 分别为:

$[+0]_{反} = 00000000B$ $[-0]_{反} = 11111111B$

8 位二进制反码表示的数的范围为 $-127 \sim +127$ 。

(3) 补码。

1) 正数。正数的补码与正数的原码相同。 $[X]_{补} = X (X > 0)$

【例 1-13】求 $X = +6$ 的补码。

解: $X = +6 = +0000110B$ $[X]_{补} = X = 0\ 0000110B$

2) 负数。负数的补码由它的反码加 1 后得到: $[X]_{补} = [X]_{反} + 1 (X < 0)$

【例 1-14】求 $X = -6$ 的补码。

解: $X = -6 = -0000110B$

$[X]_{反} = X = 1\ 1111001B$ $[X]_{补} = [X]_{反} + 1 = 1\ 1111010B$

3) 0。0 的补码只有一种, 其表达式为:

$[+0]_{补} = [-0]_{补} = 00000000B$

对于 8 位二进制数, 补码表示的范围为 $-128 \sim +127$ 。

原码、反码和补码的对应关系见表 1-3。

表 1-3 原码、反码和补码的对应关系表

无符号二进制数	无符号十进制数	原 码	反 码	补 码
00000000	0	+0	+0	0
00000001	1	+1	+1	+1
00000010	2	+2	+2	+2
...
01111101	125	+125	+125	+125