

第 1 章 概 述

为适应嵌入式应用的需要，单片机应运而生，标志着微型计算机进入了通用计算机与嵌入式计算机两大分支并行发展的时代，推动了计算机产业革命的高速发展。从 1976 年开始至今 40 多年的时间里，单片机已发展成为一个品种齐全、功能丰富的庞大家族。

目前单片机已成为工控领域、尖端武器、日常生活中最广泛使用的控制器，因而对广大理工科高等院校的学生和科技人员来说，单片机原理及应用已成为一门重要的基础知识课程。

1.1 单片机发展概况

单片机一词最初是源于“Single Chip Microcomputer”，简称 SCM。在单片机诞生时，因为它的组成与原理都基于计算机，所以 SCM 是一个准确的、流行的称谓。随着 SCM 在技术上、体系结构上的不断进步，使其控制功能不断扩展，它的主要作用已不是计算，而是控制。国际上也逐渐采用“MCU”（Micro Controller Unit），即微控制器来代替 SCM，形成了单片机界公认的、最终统一的名词。为了与国际接轨，以后应将中文“单片机”一词和“MCU”作为唯一的对应翻译。在国内因为单片机一词已约定成俗，所以可继续沿用。

1.1.1 单片机的发展历史

如果将 8 位单片机的推出作为起点（1976 年），那么，单片机的发展历史大致可分为 4 个阶段。

1. 单片机的探索阶段（1974 年—1976 年）

主要是探索如何把计算机的主要部件集成在单芯片上。Intel 公司推出的 MCS-48 就是在工控领域探索的代表，参与这一探索的还有 Motorola, Zilog 等公司，也都取得了满意的效果。这是单片微型计算机的诞生年代，单片机一词即由此而来。

2. 单片机完善阶段（1976 年—1978 年）

Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的 MCS-51 单片机系列。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 设置了经典、完善的 8 位单片机的并行总线结构。
- ② 外围功能单元由 CPU 集中管理的模式。
- ③ 体现控制特性的位地址空间、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。

由于 MCS-51 系列单片机在结构上的逐渐完善，奠定了它在这一阶段的领先地位。它的产品曾经在世界单片机市场占有 50% 以上的份额，因而多年来国内一直以 MCS-51 系列单片

机作为教学的主要机型。在这一阶段，Motorola 公司的 M68 系列和 Zilog 公司的 Z8 系列也占据了一定的市场份额。

3. 向微控制器发展的阶段（1978 年—1983 年）

为满足测控系统要求的各种外围电路与接口电路，突出其智能化控制能力，Philips 等一些著名半导体厂商在 8051 基本结构的基础上，加强了外围电路的功能，突出了单片机的控制功能，将一些用于测控对象的模/数转换器、数/模转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入芯片中，体现了单片机的微控制器特征。

为了进一步缩小单片机体积，出现了为满足串行外围扩展要求的串行总线及接口，如 I²C、SPI、MICROWIRE 等串行总线及接口。同时带有这些接口的各种外围芯片也应运而生，例如存储器、A/D、时钟等，出现了有较高性能的 16 位单片机。

单片机的首创公司 Intel 将其 MCS-51 系列中的 8051 内核使用权以专利互换或出售形式转让给世界许多著名 IC 制造厂商，如 Philips、Atmel、NEC、SST、华邦等。这些公司的产品都在保持与 8051 单片机兼容的基础上增强了 8051 的许多特性，在工艺上都采用了 CHMOS 和闪存技术。为了与 Intel 早期的 MCS-51 系列产品区别，后来统称为 80C51 系列，也有人简称为 51 系列。这样 80C51 系列得到众多制造厂商的支持，继而发展成上百个品种的大家族。从此作为单片机领军代表的 Intel 公司退出了 8 位单片机市场，但它的历史功绩是不会被抹杀的。在本书中提到的 80C51 已经不是 MCS-51 系列中的 80C51 型号单片机，而是 80C51 系列的一个统称。专家认为虽然世界上的 MCU 品种繁多，功能各异，开发装置也互不兼容，但是客观发展表明：尽管 80C51 系列单片机现在并不是最完善和最先进的单片机，但从综合因素（如教学的连续性和更换教学设备的资金等问题）考虑，它仍然适合作为单片机教学的首选机型。

4. 单片机的全面发展阶段（1983 年—今）

由于很多大半导体和电气厂商都开始加入单片机的研制和生产，单片机世界出现了百花齐放，欣欣向荣的景象。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用，出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 16 位、32 位通用型单片机以及小型廉价的专用型单片机，还有功能全面的片上单片机系统。其中 8 位单片机是目前品种最多，应用最广泛的单片机，众多半导体厂商在竞争中发展，在发展中互相取长补短，使单片机的发展与完善速度始终处于其他各类产品的前列。

目前单片机正朝着高性能和多品种方向发展，嵌入式应用对产品的主要要求是更高的集成度、更低的功耗和更丰富的外设。所以今后单片机的发展趋势将是进一步向着低功耗、小体积、大容量、高性能、高可靠性、串行扩展技术、低价格和混合信号集成化（即数字—模拟相混合的集成技术）等几个方面发展。此外，单片机开始由复杂指令系统计算机（CISC，Complex Instruction Set Computer）向精简指令系统计算机（RISC，Reduced Instruction Set Computer）发展，CISC 功能较全，但指令条数较多，RISC 指令条数大为精简，且多数情况均为单周期指令，因而它的指令执行速度可大幅度提高。

近年来，随着信息技术的飞速发展，对嵌入式系统提出了更高的要求，随后产生了许多新型设备，如手持电脑、可上网的无线移动手机、机顶盒、可上网的电视机、智能家用电器等等。相应地对嵌入式软件也提出了更高的要求，促使软件也随着硬件同步发展。

1.1.2 单片机的组成及特点

单片机是微型机的一个主要分支，它在结构上的最大特点是把 CPU、存储器、定时器和多种输入/输出接口电路集成在一块超大规模集成电路芯片上。就其组成和基本工作原理而言，一块单片机芯片就是一台计算机。

1. 单片机的组成

图 1-1 为单片机的结构框图。由图可见，单片机的核心部分是中央处理器 CPU，它是单片机的大脑，由它统一指挥和协调各部分的工作。时钟电路用于给单片机提供工作时所需要的时钟信号。程序存储器和数据存储器分别用于存放单片机工作的用户软件和临时数据。中断系统用于处理系统工作时出现的突发事件。定时/计数器用于对时间定时或对外部事件计数。它通过内部总线把计算机的各主要部件连接为一体，其内部总线包括地址总线、数据总线和控制总线。其中，地址总线的作用是为数据交换时提供地址，CPU 通过它们将地址输出到存储器或 I/O 接口；数据总线用于 CPU 与存储器或 I/O 接口之间，或 I/O 接口与外设之间交换数据；控制总线包括 CPU 发出的控制信号线和外部送入 CPU 的应答信号线等。输入/输出接口（I/O 接口）是计算机与输入/输出设备之间的接口。输入/输出设备（I/O 设备）是计算机与设备交换信息的装置，如显示器、键盘和打印机等。

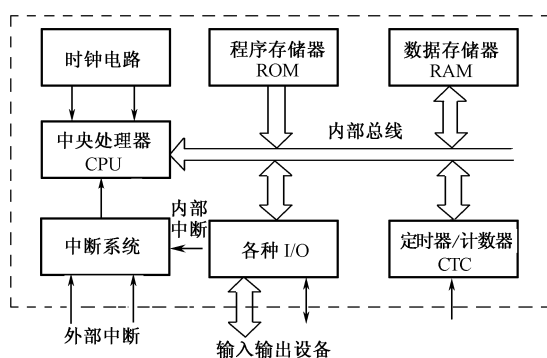


图 1-1 单片机结构框图

2. 单片机的特点

正是由于单片机的这种结构形式及它所采取的半导体工艺，使其具有很多显著的优点和特点，因而能在各个领域得到广泛的应用。

单片机主要特点如下：

(1) 控制功能强。其指令丰富，因而控制灵活、方便，容易满足一般控制的要求。对于所有的被控对象，均可实现一旦启动将自动循环操作，不需要人工干预。

(2) 集成度高，可靠性强。由于单片机把各功能部件集成在一块芯片上，减少了芯片内部之间的连线，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。对于强磁场环境易于采取屏蔽措施，适合于在恶劣环境下工作。

(3) 有优异的性能价格比。

- (4) 低功耗、体积小、低电压，便于生产便携式产品。
- (5) 单片机的系统扩展、系统配置较典型、规范，容易构成各种规模的应用系统。

1.1.3 单片机与嵌入式系统

正是由于单片机具有上述显著的优点，它已成为科技领域的有力工具，人类生活的得力助手。它的应用遍及各个领域，应用形式主要为嵌入式。

1. 嵌入式系统的定义与分类

所谓嵌入式系统 (Embedded System)，实际上是“嵌入式计算机系统”的简称，它是相对于通用计算机而言的。

简言之，嵌入式系统就是一个嵌入到对象 (目标) 系统中的一个专用计算机系统，这个计算机就成为系统的一部分。它是面向产品、面向实际应用的系统，主要用于对目标系统各种信号的处理和控制，应用范围遍及各个领域，通常要求它具有很高的可靠性和稳定性。

2. 嵌入式系统的分类

嵌入式计算机是嵌入式系统的核心，它是一种软、硬件高度专业化的特定计算机，它的核心部件是嵌入式处理器，根据目前发展现状，嵌入式处理器可以分成下面几类：

(1) 嵌入式微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMPU)

微处理器实际是计算机或单片机的 CPU，即他们的中央处理器。

目前采用的嵌入式微处理器主要是 32 位的，常用的型号有 ARM、MIPS、AM186/88、68000 等，其中广为流行的微处理器是 32 位的 ARM，ARM 是 Advanced RISC (Reduced Instruction Set Computer) Machines 的缩写，是设计 ARM 处理器技术的公司 (英国) 简称，同时可以认为它是一种技术的名称，它几乎变成 32 位微处理器的代名词，目前全世界较大的半导体厂家都在利用 ARM 技术。

(2) 微控制器 (Micro Controller Unit, MCU)

微控制器即单片机。为适应不同的应用需求，一般一个系列的单片机具有多种衍生产品，每种衍生产品的处理器内核都是一样的，不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配，从而减少功耗和成本，提高可靠性。

(3) 嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

为满足数字滤波、FFT、谱分析等运算量大的智能系统的要求，DSP 算法已经大量进入嵌入式领域，为适合执行 DSP 算法，DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计，使其编译效率较高，指令执行速度也较快，能满足高速算法的要求。实际上现在已经出现了很多 DSP 单片机，它是把单片机中的 CPU 改为 DSP 内核，其他基本不变。

DSP 处理器的典型产品是 TI 公司的 TMS320 系列、Motorola 公司的 DSP56800 系列等。

(4) 嵌入式片上系统 (System on Chip, SoC)

随着电子技术、半导体技术的迅速发展，已经实现了把嵌入式系统的大部分功能集成到一块芯片上去，这就是片上系统 SoC，在这上面除了具有计算机的主要部件之外，还增加了 A/D、D/A 及通信单元等用户需要的各种功能模块。这使应用系统电路板变得更简洁，体积更小，功耗更低，可靠性更高。

在上述 4 种嵌入式系统中，单片机应用最广泛，因为它有专门为嵌入式应用设计的体系结构和指令系统，此外，它还具有体积小、价格低、易于掌握和普及的特点。

3. 单片机与嵌入式系统应用

单片机以单片器件的形式进入到了电子技术领域，主要用于电子系统的智能化。嵌入式系统起源于微型计算机时代，然而微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足广大对象系统的嵌入式应用要求，因此，嵌入式系统的单芯片化应运而生，从而进入了嵌入式系统独立发展的单片机时代。从此，以单片机为主的嵌入式系统迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。嵌入式系统目前在应用数量上远远超过了一般的通用计算机。

现在，从需要高、精、尖技术的火箭、飞船到日常生活中常见的手机、汽车电子、智能玩具、家用电器、医疗器械等，都已经嵌入了单片机。单片机已经成为人类社会进入全面智能化时代不可或缺的工具。

即将来临的物联网时代是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。物联网的英文名称是“The Internet of things”。由此，可以把物联网理解为“物物相连的互联网”。物联网是把任何物体通过信息传感设备，按照约定的协议，通过各种接入技术与互联网连接起来，进行信息交换和通信，以实现对物体的识别、跟踪、监控与管理的网络。无论何时何地，世界上任何物体都可以通过物联网实现连接。这将使我们的工作和生活更加方便和快捷，可以推动各行业的快速发展，因而物联网被称为继计算机、互联网之后，世界信息产业的第三次浪潮。在嵌入式系统具有互联网接入功能时，将互联网变革到物联网。

物联网需要感测、控制、计算和通信相结合。物联网给 MCU 应用创造了更多机会，物联网时代是高低端交叉融合的时代，物联网的前端需要依赖软件与硬件结合的嵌入式系统技术，所以物联网的发展将进一步扩大单片机的应用范围。

1.2 80C51 系列单片机简介

单片机作为嵌入式系统的一员，应用面很广，发展很快。自单片机诞生至今的 40 多年中，加入单片机生产和研制的厂家在世界已经有上百家，它已发展为几百个系列的上千个机种，使用户有较大的选择余地。随着集成电路的发展，单片机从 4 位发展到 8 位、16 位、32 位，根据近年来的使用情况看，8 位单片机仍然是低端应用的主要机型，专家预测，在未来的相当长时间中，仍将保持这个局面。所以，目前教学的首选机型还是 8 位单片机，而 8 位单片机中最有代表性和最经典的机型是 80C51 系列单片机。

1.2.1 80C51 系列单片机的发展

80C51 系列单片机是在 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机基础上发展起来的。MCS-51 和 80C51 系列单片机现在常简称为 51 系列单片机。90 年代中期随着 Intel 公司对 8051 内核彻底的技术开放，使得众多的半导体厂商（例如 Philips、Atmel、SST、Winbond 等）参与了 MCS-51 单片机的技术开发。不同厂家在发展 80C51 系列时都保证了产品的兼容性，主要是指指令兼容、总线兼容和引脚兼容。与此同时，这些公司又融入了自身的优势，扩展了针对满足不同测控对象要求的外围电路，从而众多厂家的参与使 80C51 的发展长盛不衰，形成了一

个既具有经典性，又有旺盛生命力的单片机系列。

纵观 80C51 系列单片机的发展史，可以看出它曾经历过 3 次技术飞越。

1) 从 MCS-51 到 MCU 的第一次飞越

在 Intel 公司实行技术开放后，著名半导体厂商 Philips 利用它在电子应用方面的优势，在 8051 基本结构的基础上，着重发展 80C51 的控制功能及外围电路的功能，突出了单片机的微控制器特征，这使得单片机出现了第一次飞越。

2) 引入快擦写存储器的第二次飞越

1998 年以后 80C51 系列单片机又出现了一个新的分支，称为 AT89 系列单片机。这种单片机是由美国 Atmel 公司率先推出的，它的最突出优点是把 Flash 存储器（详见 2.2）应用于单片机中。这使得单片机系统的开发周期大大缩短，因此它很快从单片机市场脱颖而出。这使得单片机的发展出现了第二次飞越。

3) 向 SoC (System on Chip) 转化的第三次飞越

美国 Silabs 公司推出的 C8051F 系列单片机把 80C51 系列单片机从 MCU（微控制器）推向 SoC 时代，它的主要特点是改进了 8051 内核，使得其指令运行速度比一般的 80C51 系列单片机提高了大约 10 倍，在片上增加了多种功能模块如模数和数模转换模块等。这是 80C51 单片机的第三次飞越。

1.2.2 AT89 系列单片机的特点及分类

AT89 系列单片机的成功使得几个著名的半导体厂家也相继生产了类似的产品，例如，Philips 的 P89 系列、美国 STC 公司的 STC89 系列、华邦公司的 W78 系列等。后来人们就简称这一类产品为 89 系列单片机，它实际上还是属于 80C51 系列。这些产品主要功能类似，但又各具特色。在这些型号中 AT89S51、P89C51、STC89C51、W78E51 都是与 MCS-51 系列的 80C51 兼容的型号。这些芯片互相之间也是兼容的，所以如果不写前缀，仅写 89C51 可能是其中任何一个厂家的产品。

89 系列单片机的主要特点如下：

- 内部含 Flash 存储器；
- 89 系列单片机的内部结构和 80C51 相近；
- 工作原理和指令系统完全相同。

89 系列单片机可分成标准型号、低档型号和高档型号 3 类。标准型单片机的主要结构与性能详见第 2 章。低档 AT89 单片机是在标准型结构的基础上，适当减少某些功能部件，例如减少 I/O 引脚数，减少存储器和 RAM 容量等，这样可使其体积更小，价格更便宜。在 89 系列单片机中，高档（即增强）型产品是在标准型的基础上增加了一些功能形成的，所增加的功能部件主要有串行外围接口 SPI、CAN 和 A/D 功能模块等。

89 系列单片机是 80C51 系列单片机的典型代表，89 系列单片机目前在世界上应用很广泛，可以满足大多数用户的需要。由于 80C51 系列中的典型型号在基本结构、工作原理和引脚上与 MCS-51 系列单片机的 8051 是完全兼容的，所以 89 系列单片机虽然并不是功能最强，最先进的单片机，但它是源于经典的 MCS-51 系列，考虑到教学的连续性及 89 系列单片机和所用开发装置的普及性，因而 89 系列单片机成为单片机教学的首选机型。

本书在介绍具体单片机结构时选用 AT89S51/52 单片机（因为 AT89C51/52 在 2003 年已

经停产，AT89S51/52 是其替代产品，不过 Philips 等公司的 89C51/52 仍然有产品)，但在作一般共性介绍时还是用符号 80C51 代表，注意此时它指的是 80C51 系列芯片，而不是 Intel 以前生产的 80C51 型号芯片。掌握了这种单片机对于其他型号单片机的学习可以起到举一反三、触类旁通的作用。

1.3 其他常用单片机系列简介

在准备用单片机进行应用开发时，首先应了解单片机市场的常用单片机系列概况。目前加入单片机生产和研制的厂家在世界已经有上百家，他们的产品都各具有一定特色。

1.3.1 低端产品概述

低端产品主要是指 8 位及少数 16 位单片机，它们可以满足各领域一般的智能化与控制要求。在大多数应用场合采用 8 位单片机就可以圆满解决问题，所以 8 位单片机还是目前产品最多、用量最大的单片机，由于篇幅关系，在此仅简介知名度较高，销量较大的几种产品。

1. Freescale 单片机

Freescale（音译为飞思卡尔）是从原 Motorola 半导体部分分离出来的，是世界上最大的单片机厂商，在 8 位单片机方面主要有 68HC08、68HC05 等 30 多个系列的 200 多个品种。

其 8 位单片机的主要特点如下：

- 品种全，选择余地大，它能生产 8 位、16 位和 32 位各种档次单片机，除了有通用单片机之外，还有具有电动机控制的、具有 CAN 接口的、具有 USB 接口的、具有彩色液晶监视器控制和无线通讯功能等的单片机。
- 抗干扰能力强，适于恶劣的工作环境：在同样的指令速度下所用的时钟频率较低。

2. Philips 单片机简介

Philips 公司是较早生产 51 系列单片机的厂商，先后推出了基于 8051 内核的普通型 8 位单片机、增强型单片机、LPC700 系列、LPC900 系列等多种类型。

Philips 单片机主要特点如下：

- EMI 电磁兼容性能好：可以在上电初始化时“静态关闭 ALE”，还可以在运行中“动态关闭 ALE”，以改善电磁兼容性能。
- 有 6/12Clock 时钟频率切换功能：可以在运行中“动态切换 6/12Clock”。
- 速度快：在同一时钟频率下，其速度为标准 80C51 器件的 6 倍。

3. PIC 系列单片机简介

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司推出的高性能 8 位系列单片机。

PIC 系列单片机主要特点如下：

- 开发易、周期短：PIC 采用精简指令集，指令执行速度比一般单片机要快 4~5 倍。
- 低功耗：PIC 的 CMOS 设计结合了诸多的节电特性，使其功耗较低。
- 低价实用：PIC 配备有多种形式的芯片，特别是其 OTP 型芯片的价格很低。

4. TI 公司的 MSP430 系列

MSP430 系列单片机是 TI 公司（美国德州仪器公司）生产的，它的最主要特点是超低功耗，MSP430 是属于 16 位单片机。

MSP430 系列单片机的主要特点如下：

- 低电压、超低功耗：MSP430 系列单片机一般在 1.8~3.6V 电压、1MHz 的时钟条件下运行，耗电电流（在 0.1~400 μ A 之间）因不同的工作模式而不同。
- 丰富的片内外设：单片机的片上外设除了具有定时器、看门狗等常见功能模块之外还具有液晶驱动器、10/12/14 位 ADC 等。

5. 深圳宏晶科技有限公司的 STC15 系列

深圳宏晶科技有限公司生产的 STC15 系列单片机是我国生产的 8 位单片机，其内核也是 8051，目前在国内市场占有较高的市场份额。

STC15 系列单片机的主要特点如下：

- 其在抗干扰、运行速度等方面都有创新，且还进行了特别加密设计，集成了更多的功能模块，例如 A/D、PWM 以及更多的定时器。还集成了时钟振荡器，内部上电复位电路，可省去外部晶振电路和复位电路。
- 具有 2KB 的大容量 SRAM，64KB 的闪存，还有 1~2KB 的 EEPROM。

除上述厂家之外较著名的还有 NEC、东芝、富士通等公司，由于篇幅关系在此不可能全面介绍上述厂家产品，也不能一一列举所有厂家的产品，

1.3.2 高端产品概述

嵌入式系统的高端产品是在低端产品的基础上发展起来的，是为了满足复杂图像处理、手机、网络、机器人及通信等方面的需求而产生的，由于 32 位高端产品的高性能，使嵌入式系统的应用面更广、更深，把嵌入式系统提高到一个新的水平，随后各大单片机厂商都推出了自己的 32 位单片机，对嵌入式系统市场产生了巨大的冲击力，使嵌入式系统从普遍的低端应用进入到高、低端并行发展阶段。

目前广为流行的 32 位单片机的内核主要是英国 ARM 公司开发的微处理器，简称 ARM，它几乎变成 32 位微处理器的代名词，目前全世界较大的半导体厂家都在利用 ARM 技术。基于 ARM 技术的处理器约占据了 32 位微处理器 80% 以上的市场，被授权厂商有 Intel、NEC、Motorola、IBM、Philips 等 100 多家著名芯片厂商。ARM 公司开发了很多系列的 ARM 处理器核，应用较多的主要有 ARM7、ARM9、ARM10、ARM11 等系列，还有 Intel 的 XScale 系列和 MPCore 系列等。

32 位单片机虽然在基本概念与工作原理上与 8 位单片机有相同之处，但其功能与性能上要强大得多。其主要特点如下：

- ARM 微处理器采用 RISC（精简指令集）体系结构，支持 16/32 位双指令集。
- 采用多级流水线预取指令，这样可使几个操作（取指、译码和执行）同时进行，所以执行速度比 8 位机高多倍。
- 其体积小，功耗低、功能强大，具有很高的性价比。
- 寻址方式灵活，执行效率高，还可以很好地兼容 8 位/16 位机。

- 具有 30 个以上的 32 位通用寄存器，且均可作为累加器。
- 寻址范围可达 64MB，片内 RAM 可达 8KB。

上述特点使 32 位机适于进行高速海量的数据处理。可以满足网络、通信及多媒体的高端应用。

由于人工智能的感知与控制终端领域的多样性，需要功能特点不同的 MCU，所以在嵌入式系统市场中，不论是 8 位、32 位或者 64 位 MCU，都有各自的用武之地，总之单片机世界不是一枝独秀，而是百花齐放，他们既有共性，也有个性。不同的单片机适合不同的应用场合，当然，同一应用场合，也可以选择不同的单片机实现。在准备用单片机进行应用开发时，首先应了解单片机市场的常用单片机系列概况。对于用户来说最重要的是学会针对不同需要，选择最适合的单片机。选择的依据是在充分考虑应用对象的特点、要求及应用环境等情况下，如何使产品达到性能、功能以及成本的最佳平衡。

1.4 单片机基础知识

单片机的基本原理基于计算机，计算机是计算数学与微电子学相结合的产物。微电子学的基本元件及其集成电路是计算机的硬件基础，而计算数学的计算方法与数据结构则形成计算机的软件基础。

本节简要地介绍计算机中最主要的数学知识及最基本的单元电路。本节的内容是必要的入门知识，是以后各章的基础。

1.4.1 数制与编码

1. 数制

数制是人们利用符号来计数的科学方法。数制有很多种，按一定进位方式计数的数制，简称进位制。在计算机的设计与使用上常用到的进位制是十进制、二进制和十六进制。

(1) 数制的基与权

数制所使用的数码的个数称为基，基数是某种进位制中产生进位的数值，它等于每个数位中所允许的最大数码值加 1，即各数位允许的数码个数。数制每一位所具有的值称为权。在进位制中每个数位都有自己的权值，显然各位的权是不同的。

① 十进制 十进制是在一般的数学计算中最常用的数制，十进制的基为“十”，即它所使用的数码为 0~9 共 10 个数字。十进制各位的权是以 10 为底的幂，每个数所处的位置不同，它的值是不同的。每一位数是其右边相邻那个位数的 10 倍，例如，数 368 按权的展开式为：

$$368D = 3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0$$

上式中的后缀 D 表示十进制数 (Decimal)，通常对十进制可不加后缀。

由上式可见，在十进制中，每个（位）数字的值都是以该个（位）数字乘以基数的幂次来表示，通常将基数的幂次称为权。

② 二进制 十进制所用数字较多，如果用电路实现其计算则电路会很复杂，而二进制数只有两个数码，即 0 和 1，在电子计算机中容易实现。例如用高电平表示 1，低电平表示 0。采用二进制，就可以方便地利用电路进行计数工作。所以，计算机中常用的进位制是二

进制。

二进制的基为“二”，即其使用的数码为 0、1，共两个数字。二进制各位的权是以 2 为底的幂，例如二进制数 1101 按权的展开式为：

$$1101B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

上式中的后缀 B (Binary) 表示二进制数。

③ 十六进制 由于二进制位数太长，不易记忆，不易书写，所以人们又提出了十六进制的书写形式。十六进制的基为“十六”，即其数码共有 16 个：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其中 A~F 相当于十进制数的 10~15。十六进制的权是以 16 为底的幂，有时也称其各位的权为 0 权、1 权、2 权等。例如数 A3EH 按权的展开式为：

$$A3EH = 10 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = 2560 + 48 + 14 = 2622$$

上式中的后缀 H 表示为十六进制数 (Hexadecimal)。十六进制数如果是字母打头，则在使用汇编指令时前面需加一个 0。

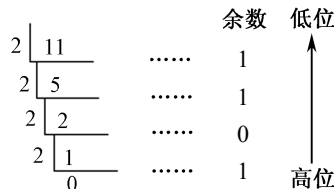
由于十六进制数易于书写和记忆，而且与二进制之间的转换十分方便，因而人们在书写计算机的语言时多用十六进制。

(2) 数制的转换

① 二、十六进制数转换成十进制数 根据定义，只需将二、十六进制数按权展开后相加。

例：
$$1101B = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 13$$
$$B5H = 11 \times 16^1 + 5 \times 16^0 = 181$$

② 十进制数转换成二、十六进制数 一个十进制整数转换成二进制数时，通常采用“除二取余”法，即用 2 连续除十进制数，直至商为 0，逆序排列余数即可得到。例如，将 11 转换成二进制数：



结果：11=1011B

同理，将十进制数“除十六取余”即可得到十六进制数。

2. 计算机中数的表示及运算

计算机中的数均是以二进制表示的，通常称为机器数，其数值为真值。真值可以分别用有符号数和无符号数表示，下面分别介绍其表示方法及运算。

(1) 有符号数的表示方法

数学上有符号数的正负号分别用“+”和“-”来表示。在计算机中由于采用二进制，只有“1”和“0”两个数字，一般规定最高位是符号位，最高位 D7 为“0”表示正数，为“1”表示负数。因为符号位占据了最高位 D7，所以 8 位二进制数实际可表达的数据位为 D0~D6。

计算机中的有符号数有三种表示法，即原码、反码和补码。因在 8 位单片机中多数情况以 8 位二进制数为单位表示数字，下面所举例子均为 8 位二进制数。用 2 个数值相同，但符号相反的二进制数 X1、X2 举例说明。

① 原码

正数的符号位用 0 表示，负数的符号位用 1 表示。这种表示法称为原码。

例如：X1=+1010111 [X1]_原=01010111

 X2=-1010111 [X2]_原=11010111

左边数称为真值，即为某数的实际有效值。右边为用原码表示的数，两者的最高位分别用“0”、“1”代替了“+”、“-”。

② 反码

反码是在原码的基础上求得的。如果是正数，则其反码和原码相同；如果是负数，则其反码除符号为 1 外，其他各数位凡是 1 转换为 0，0 转换为 1。

例如：X1=+1010111 [X1]_反=01010111

 X2=-1010111 [X2]_反=10101000

③ 补码

补码是在反码的基础上求得的。如果是正数，则其补码和反码相同，亦即与原码相同；如果是负数，则其补码为反码加 1。

例如：X1=+1010111 [X1]_补=01010111

 X2=-1010111 [X2]_补=10101001

(2) 有符号数的运算

显然，原码简单、直观容易理解。但在计算机中采用原码进行加、减运算时，所需要的电路将比较复杂；如果采用补码，就可以把减法变成加法运算，省去了减法器，大大简化了硬件电路。

因为在 8 位机中，最高位 D7 的进位已超出计算机字长的范围，所以是自然丢失的。由此可见，在不考虑最高位产生进位的情况下，作减法运算与补码相加的结果完全相同。

当数用补码表示时，无论是加法还是减法运算都可采用加法运算，而且是连同符号位一起进行的，不必关心符号位，并能得到正确结果，因此在计算机中普遍用补码来表示带符号的数。

(3) 无符号数的表示方法

无符号数因为不需要专门的符号位，所以 8 位二进制数的 D7~D0 均为数值位，它的表示范围为 0~+255。

在计算机中的同一个二进制数，当采用不同表达方式时，它所表达的实际数值是不同的，例如在此特别典型的数值即 128。当用原码、反码和补码表达时，其对应的十进制数分别是 -0、-127 和 -128。要确切地知道计算机中的二进制数所对应的十进制数究竟是多少，首先要确定这个数是有符号数（一定要用补码表示）还是无符号数。注意：在单片机中的有符号数通常是用补码表示的。

3. 二进制编码

由于计算机中采用二进制数，所以，要在计算机中表示数字、字母、字符、汉字等都要用特定的二进制码表示。在计算机中把二进制代码按一定规律编排，使每组代码具有一个特定含义，即为计算机中的编码。

(1) 二—十进制编码

因为人们最熟悉和习惯使用的数码还是十进制数，而在计算机中常采用一种二进制编码表示的十进制数，即二—十进制数。

① 二一十进制的表示

二一十进制数称为二进制编码的十进制数 (Binary Coded Decimal), 简称 BCD 码。在 BCD 码中是用 4 位二进制数给 0~9 这 10 个数字编码的。例如, 十进制数 78 用压缩 BCD 码表示为 01111000。

使用这种数制既考虑了计算机的特点, 又顾及到人们使用十进制数的习惯, 在计算机中输入和输出数据时常采用这种数制。

② BCD 码与十进制数的相互转换

按照 BCD 的 10 位编码与十进制的关系, 可以很容易地实现 BCD 码与十进制数之间的转换。

例: 0101 1000 0110 BCD = 586

BCD 码与二进制数之间的转换不是直接的, 要先经过十进制转换, 然后再转换为二进制数, 反之过程类似。

上述四种数制的对照表见附录 B, 由此可见各数制的异同。

4. 字母与字符的编码

计算机除了要处理数字量之外, 还要处理字母、字符等。因此计算机中的字母、字符等也必须采用特定的二进制码表示。

字母与字符用二进制码表示的方法很多。目前在计算机中最普遍采用的是美国标准信息交换码, 简称为 ASCII 码 (American Standard Code for Information Interchange)。编码表见附录 C。它是 7 位 (b₀~b₆) 二进制编码, 故可以表示 128 个字符, 其中包括数字 (0~9) 以及英文字母等可打印的字符。

1.4.2 计算机的基本组成电路

无论多么复杂的计算机, 都是由若干基本电路单元组成的。本节针对计算机中最常见的基本电路做一简单介绍, 这些电路是组成计算机的硬件基础。

1. 常用逻辑电路

逻辑电路是计算机实现运算、控制功能所必需的电路, 是计算机的基本单元电路。

逻辑电路中, 其输入和输出只有两种状态, 即高电平和低电平。通常以逻辑 1 和 0 表示电平高低。下面简单介绍常用逻辑电路的逻辑符号和逻辑功能, 具体电路可参看有关书籍。

常用逻辑电路主要包括与门、或门、非门、异或门、与非门、或非门等, 它们的真值表如表 1-1 所示。

表 1-1 常用逻辑电路真值表

输 入		输 出					
A	B	与门	或门	非门	异或门	与非门	或非门
0	0	0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0

注: 非门没有 B 端。

2. 触发器和寄存器

触发器是计算机记忆装置的基本单元，各类触发器是由不同的门电路组成的。它具有把以前的输入“记忆”下来的功能，一个触发器能存储 1 位二进制代码。计算机中常用的几种触发器包括 R-S 触发器、D 触发器、J-K 触发器等。

寄存器是由触发器组成的。一个触发器就是一个 1 位寄存器。多个触发器就可以组成一个多位寄存器。由于寄存器在计算机中的作用不同，从而被命名为不同的名称。常见的寄存器有：缓冲寄存器、移位寄存器、计数器等，它们是组成计算机中存储器和定时器的基础。下面简要介绍这些寄存器的电路结构及工作原理。

(1) 缓冲寄存器 (Buffer)

它是用来暂存某个数据，以便在适当的时间节拍和给定的计算步骤将数据输入或输出到其他记忆元件中去。由于单片机与外设的传送速度不同，为达到速度匹配，常常需要采用数据缓冲器实现缓冲。

图 1-2 是一个并行输入与并行输出 4 位寄存器的电路原理图，它由 4 个 D 触发器组成。

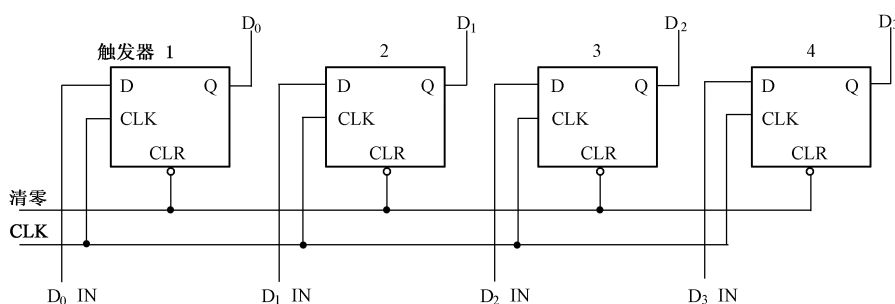


图 1-2 4 位缓冲寄存器电路原理图

启动时，先在清零端加清零脉冲，把各触发器置 0，即 Q 端为 0。然后把数据加到触发器的 D 输入端，在 CLK 时钟信号作用下，输入端的信息就保存在各触发器中 ($D_0 \sim D_3$)。

(2) 移位寄存器 (Shifting Register)

移位寄存器除了可以存放二进制数码外，还具有移位功能。移位寄存器能将所存储的数据逐位向左或向右移动，以达到计算机运行过程中所需的功能。图 1-3 所示即为一串行输入移位寄存器电路。

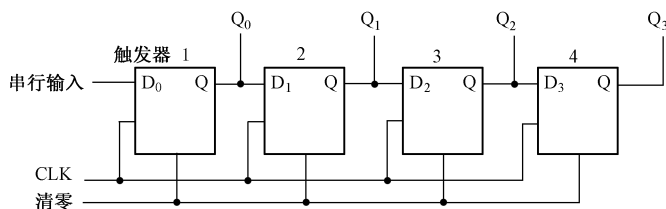


图 1-3 4 位串行输入移位寄存器

启动时，先在清零端加清零脉冲，使触发器输出置 0。然后第一个数据 D_0 加到触发器 1 的串行输入端，在第一个 CLK 脉冲的上升沿 $Q_0 = D_0$, $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 0$ ；其后第二个数据 D_1 加到串行输入端，在第二个 CLK 脉冲到达时， $Q_0 = D_1$, $Q_1 = D_0$, $Q_2 = Q_3 = 0$ 。以此类推，当第四个 CLK 来到之后，各输出端分别是 $Q_0 = D_3$, $Q_1 = D_2$, $Q_2 = D_1$, $Q_3 = D_0$ 。输出数据可用

串行的形式取出，也可用并行形式取出。

(3) 计数器 (Counter)

计数器也是由若干个触发器组成的寄存器。计数器是一种累加时钟脉冲的逻辑部件，其特点是能够把存储在其中的数字进行加 1 操作（也有可以进行减 1 操作的计数器）。它不仅可用于时钟脉冲计数，还可以产生节拍脉冲；可用于定时、分频及数字运算等。它可以按触发方式，计数容量，数的增、减等方法分类。触发方式又分为同步和异步。同步计数器输入脉冲时触发器同时翻转，而异步计数器不是同时翻转。

由计数器组成的顺序脉冲发生器又称为节拍脉冲发生器，能产生一组在时间上有先后顺序的脉冲。这组脉冲可以使控制器形成所需要的各种控制信号。

计数器的种类很多，有行波计数器，同步计数器等，在此仅以行波计数器为例加以介绍。

图 1-4 是由 J-K 触发器组成的行波计数器的工作原理图。这种计数器的特点是：各位的 J、K 输入端都是悬浮的。这相当于 J、K 输入端都是置 1 的状态，亦即各位都处于准备翻转的状态。只要时钟脉冲边沿一到，最右边的触发器就会翻转，第一个时钟脉冲促使其最低有效位加 1，使其由 0 变 1。第二个时钟脉冲促使最低有效位由 1 变 0，同时推动第二位，使其由 0 变 1；同理，第二位由 1 变 0 时又去推动第三位，使其由 0 变 1。这样犹如水波前进一样逐位进位下去。

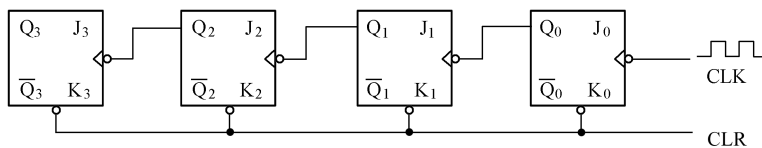


图 1-4 行波计数器工作原理图

图 1-4 中的计数器是 4 位的，因此可以计 0~15 的数。如果要计更多的数，需要增加位数，如 8 位计数器可计 0~255 的数，16 位则可以计 0~65 535 的数。

(4) 三态门 (三态缓冲器)

为减少信息传输线的数目，大多数计算机中的信息传输线均采用总线形式，即凡要传输的同类信息都走同一组传输线，且信息是分时传送的。在计算机中一般有三组总线，即数据总线、地址总线、控制总线。为防止信息相互干扰，要求凡挂到总线上的寄存器或存储器的输出端不仅能呈现 0、1 两个信息状态，而且还应能呈现第三种状态——高阻抗状态（又称悬浮状态），即此时它们的输出好像被开关断开，对总线状态不起作用，此时总线可由其他器件占用。三态门可实现上述功能，它除具有输入、输出端之外，还有控制端，如图 1-5 所示。

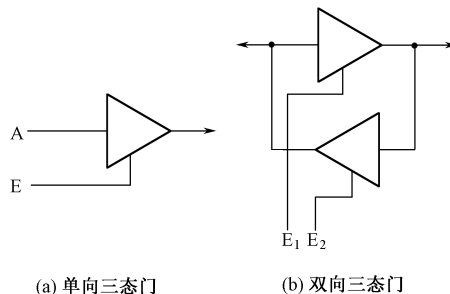


图 1-5 三态门

对于图 1-5 (a) 单向三态门的情况，当控制端 $E=1$ 时，输出=输入，此时总线由该器件驱动，总线上的数据由输入数据决定，当 $E=0$ 时，输出端呈高阻抗状态，该器件对总线不起作用。当寄存器输出端接至三态门，再由三态门输出端与总线连接起来，就构成三态输出的缓冲寄存器。图 1-6 所示即为一个 4 位的三态输出缓冲寄存器，对于单向三态门，数据只能从寄存器输出至数据总线。如果来实现双向传送，则要用双向三态门，如图 1-5 (b) 所示。上述电路是构成计算机的基础电路。

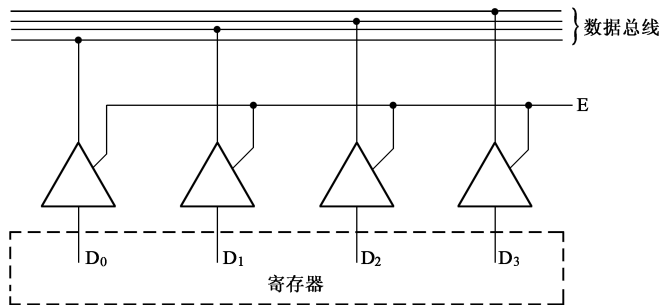


图 1-6 三态输出缓冲寄存器

1.4.3 存储器简介

存储器是计算机的主要组成部分，其用途是存放程序和数据，使计算机具有记忆功能。这些程序和数据在存储器中是以二进制代码表示的，根据计算机命令，按照指定地址，可以把代码取出来或是存入新代码。在计算机的指令中几乎有一半都涉及存储器，因而了解存储器便于对后面章节的学习与理解。

1. 存储器的分类

与计算机有关的存储器种类很多，因而存储器的分类方法也较多。例如，从其组成材料和单元电路类型来划分，可分为磁芯存储器（早期产品）、半导体存储器（从制造工艺方面又可分为 MOS 型存储器、双极型存储器等）、电荷耦合存储器等；从其与微处理器的关系来划分，又可分为内存和外存。通常把直接同微处理器进行信息交换的存储器称为“内存”，其特点是存取速度快，但容量有限；而把通过内存间接与 CPU 进行信息交换的存储器称为“外存”，如磁盘、光盘、磁带等，其特点是容量大，速度较慢，且独立于计算机之外，便于携带与存放。可根据需要，随时把外存的内容调入内存，或把内存的内容写入外存。因为在单片机中主要是采用半导体存储器，因而在此仅对半导体存储器进行介绍。

2. 半导体存储器的分类

通常人们习惯于按存储信息的功能分类，下面将按照半导体存储器的不同功能特点进行分类。

1) 只读存储器 ROM (Read Only Memory)

只读存储器在使用时只能读出而不能写入，断电后 ROM 中的信息不会丢失。因此一般用来存放一些固定程序，如监控程序、字库及数据表等。按存储信息的方法 ROM 又可分为以下 3 种。

(1) 掩膜 ROM。

掩膜 ROM 也称固定 ROM，它是由厂家编好程序写入 ROM（称固化）供用户使用，用户不能更改它。其价格最便宜。

(2) 可程序的一次只读存储器 OTP (Only Time Programmable)

它的内容可一次性写入，一旦写入，只能读出，而不能再进行更改。这类存储器以前称为可程序的只读存储器 PROM (Programmable Read Only Memory)。

(3) 可电改写只读存储器 EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)。

EEPROM 可用电的方法写入和清除其内容，其编程电压和清除电压均与 CPU 的 5V 工作电压相同，不需另加电压，它既有 RAM 读写操作简便、又有数据不会因掉电而丢失的优点。除此，E²PROM 保存的数据至少可达 10 年以上，每块芯片可擦写 1 千次以上。

2) 随机存储器 RAM (Random Access Memory)

这种存储器又叫读写存储器，它不仅能读取存放在存储单元中的数据，还能随时写入新的数据，写入后原来的数据就丢失了，断电后 RAM 中的信息全部丢失，因此 RAM 常用于存放经常要改变的程序或中间计算结果等。

RAM 按照存储信息的方式，又可分为静态和动态两种。

(1) 静态 SRAM (Static RAM)

其特点为只要有电源加于存储器，数据就能长期保留。

(2) 动态 DRAM (Dynamic RAM)

写入的信息只能保持若干毫秒时间，因此每隔一定时间必须重新写入一次，又称刷新，以保持原来的信息不变。故动态 RAM 控制电路较复杂，但动态 RAM 价格比静态便宜。

3) 可改写的非易失存储器

由于多数 E²PROM 的最大缺点是改写信息的速度还比较慢。随着新的半导体存储技术的发展，各种新的可现场改写信息的非易失存储器被推上市场，且发展速度很快，这主要有快擦写存储器 (Flash Memory)、新型非易失静态存储器 NVSRAM (Non Volatile SRAM)、磁阻式存储器 MRAM (Magnetic-Resistive RAM) 和铁电存储器 FRAM (Ferroelectric RAM)。这些存储器的共同特点是从原理上看，它们属于 ROM 型存储器，但是从功能上看，它们又可以随时改写信息，因而作用又相当于 RAM。随着存储器技术的发展，过去传统意义上的易失性存储器、非易失性存储器的概念已经发生变化，所以 ROM、RAM 的定义和划分已不是很严格。但由于这类存储器写的速度还是慢于一般的 RAM，所以在单片机中主要还是用作程序存储器；只是当需要重新编程，或者某些数据修改后需要保存时，采用这种存储器十分方便。

目前应用最广泛的是 Flash 存储器，它是在 EEPROM 的制造基础上产生的一种非易失存储器，它的读写速度比一般的 EEPROM 快得多。Flash 存储器现在均简称为闪存，现在的单片机产品多数程序存储器都已经配置为闪存。

3. 存储器中常用名词术语

(1) 存储单元——存储器是由大量缓冲寄存器组成的，其中每一个寄存器就称为一个存储单元。如图 1-2 中的缓冲寄存器就可以作为一个 4 位的存储单元，它可存放一个有独立意义的二进制代码。

(2) 位 (bit) ——计算机中最小的数据单元，是一个二进制位。

(3) 字长——代码的位数称为字长，习惯上也称为位长。基本字长一般是指参加一次运算的操作数的位数。基本字长可反映寄存器、运算部件和数据总线的位数。在计算机中每个存储单元存放二进制数的位数一般情况下和它的算术运算单元的位数是相同的。例如 8 位单片机的算术运算单元是 8 位，则其字长就是 8 位。

(4) 字节 (Byte) ——在计算机中把一个 8 位的二进制代码称为一个字节 (Byte)，常简称为 B。这是计算机中最通用的基本单元。一个字节的最低位称为第 0 位 (位 0)，最高位称为第 7 位 (位 7)。2 个字节称为一个字 (Word)，4 个字节称为双字 (Double Word)，以上均为代码位数常用单位。

(5) 容量单位——容量指一片存储器能容纳的最大存储单元数，由于现在存储器的位长有 4、8、16 位的，所以，在标注存储器容量时，经常同时标出存储单元的数目和位数；因此，存储芯片容量=单元数×数据线位数，通常把乘积结果再换算为字节单位。

例如：Intel 6264 芯片容量 = $8K \times 8\text{bit}/\text{片} = 64\text{Kb}/\text{片} = 8\text{KB}/\text{片}$ 。常用单位有 KB (1KB=1024B)，MB (1MB=1024KB)，GB (1GB 千兆=1024MB)，都为容量常用单位。

4. 存储单元和存储单元地址

本小节所介绍的半导体存储器 (以下简称“存储器”) 仅限于在单片机片内使用时的情况，暂不涉及作为一块独立的存储器芯片的情况。

存储器是由大量缓冲寄存器组成的，其中的每一个寄存器称为一个存储单元。例如图 1-2 中的缓冲寄存器就可以作为一个 4 位的存储单元，它可存放一个有独立意义的二进制代码。一个代码由若干位 (bit) 组成。

在计算机的存储器中往往有成千上万个存储单元。为了使存入和取出不发生混淆，必须给每个存储单元一个惟一的固定编号，这个编号就称为存储单元的地址。因为存储单元数量很大，为了减少存储器向外引出的地址线，故存储器内部都带有译码器。根据二进制编码、译码的原理，除地线公用之外， n 根导线可译成 2^n 个地址号。即地址线数 n 与存储单元数 N 的关系可以表达为 $N=2^n$ 。例如，当地址线为 3 根时，可译成 $2^3=8$ 个地址号；当地址线为 8 根时，可以译成 $2^8=256$ 个地址号。以此类推，在 80C51 单片机中，地址线为 16 根，则可译成 $2^{16}=65536$ 个地址号，也称为 16 根地址线的最大寻址范围。需要注意的是存储单元数是可以小于最大寻址范围的。

由此可见，存储单元地址与该存储单元的内容含义是不同的。存储单元如同一个旅馆中的每个房间，存储单元地址则相当于每个房间的房号，存储单元内容 (二进制代码) 就是这个房间中的房客。表 1-2 所列为程序存储器和数据存储器中部分存储单元的地址和内容，均用十六进制数表示。

表 1-2 存储器地址和内容

程序存储器		数据存储器	
地址	内容	地址	内容
0000	02	0206	3A
0001	00	0207	44
0002	30	0208	C0
...

5. 存储器的寻址原理

对于存储器工作原理的理解很大程度上决定于对存储器寻址原理的理解,由于篇幅所限,本书仅以随机存储器为例,简介 CPU 在读出存储单元信息时的寻址原理。

存储器一般由地址译码器、存储体、输入/输出缓冲器和读写控制电路等组成。一个随机存储器的基本结构框图如图 1-7 所示。

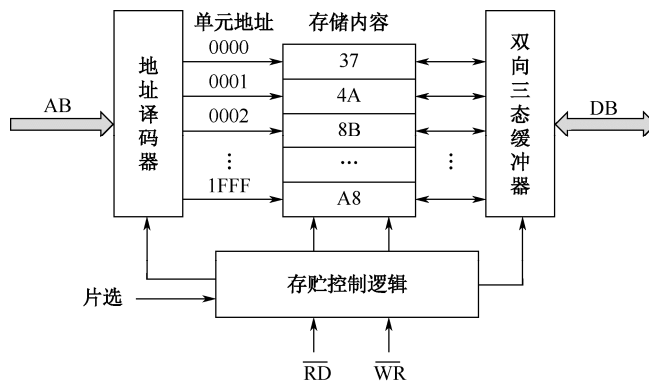


图 1-7 随机存储器的基本结构框图

图中 AB 为地址线, DB 为数据线, \overline{RD} 和 \overline{WR} 分别为读、写线, 片选线用于选择该存储体, 其主要部分说明如下。

1) 存储体

存储体也称为存储阵列, 它是存储器中所有存储单元的集合, 通常它是由一个或者几个存储器芯片组成。这些存储单元按一定方式排列, 每个单元都有一个唯一的地址, 在一个存储单元中可以存储一位或者多位二进制数, 在 8 位单片机中通常都是 8 位二进制数。假设图 1-7 中的地址线为 13 根, 8 位单片机每个存储单元是 8 位, 其最多可寻址 8192 个单元, 且该存储体的容量为 8 KB 个单元, 则其最大寻址单元地址如图示为 1FFFH。

2) 地址译码器

地址译码器用于对输入地址译码, 以选择指定的存储单元。译码器的译码方式与存储器的结构有关, 主要有单译码方式和复合译码方式, 篇幅关系在此省略。

3) 控制逻辑电路

控制逻辑电路接收来自 CPU 的读写信号, 并根据地址译码的结果, 控制存储器选中单元的数据读/写。片选信号将启动这个存储体进入工作状态。

4) 双向三态缓冲器

存储器与数据线相连的双向三态缓冲器用于暂存输出/输入的数据。

读/写操作过程如下:

① 存储器的读操作。

CPU 首先通过地址线, 经译码选中某一单元, 然后发读命令, 当读信号有效时, 则选中单元的数据读出, 经双向三态缓冲器送到数据总线。

② 存储器的写操作。

CPU 首先通过地址线, 经译码选中某一单元, 同时, 要写入的数据经数据总线送至双向三态缓冲器。当 CPU 发写信号时, 通过内部控制电路, 将外部数据线上的数据写入到所选中的单元。

思考与练习

- 将下列各二进制数转换为十进制数。
(1) 11011110B (2) 01011010B (3) 10101011B (4) 1011111B
- 将第 1 题中各二进制数转换为十六进制数。
- 将下列各数转换为十六进制数。
(1) 224D (2) 143D (3) 01010011BCD (4) 00111001BCD
- 什么叫原码、反码及补码？
- 已知原码如下，请写出其补码和反码（其最高位为符号位）。
(1) $[X]_{\text{原}}=01011001$ (3) $[X]_{\text{原}}=11011011$
(2) $[X]_{\text{原}}=00111110$ (4) $[X]_{\text{原}}=11111100$
- 当计算机把下列数看成无符号数时，它们相应的十进制数为多少？若把它们看成是补码，最高位为符号位，那么它们相应的十进制数是多少？
(1) 10001110 (2) 10110000 (3) 00010001 (4) 01110101
- 触发器、寄存器及存储器之间有什么关系？
- 三态门有何作用？其符号如何画？
- 除地线公用外，6 根地址线和 11 根地址线各可选多少个地址？
- 存储器分几类？各有何特点和用处？
- 假定一个存储器，有 4096 个存储单元，其首地址为 0，则末地址为多少？