

# 第一章 绪 论

现在, 单片机(Micro-controller)、嵌入式系统(Embedded System)和实时操作系统(Real-Time Operating System)等都不是什么陌生的名词了, 它们已经成为计算机的另一个重要分支——嵌入式计算机系统的重要组成部分。单片机是嵌入式计算机系统的核心部件, 实时操作系统是嵌入式计算机系统的软件平台。在某些领域, 嵌入式计算机系统正逐步取代计算机的另一个分支——通用计算机系统。

在嵌入式计算机系统出现之前, 为了满足各种应用需求, 必须将通用计算机系统通过机械的、电气的改装加固后才能嵌入到目标系统中。由于通用计算机系统的体积、功耗较大, 因而无法嵌入到诸如家用电器、汽车、机器人、仪器仪表等小体积、电池供电系统中。从单片机诞生至今已经有 20 多年的历史了, 它的单芯片结构具有体积小、重量轻、功耗低、抗干扰能力强、价格低廉、灵活性好等优点, 可以广泛地嵌入到汽车电子系统、家用电器、机器人、仪器仪表、工业控制单元、个人信息终端及通信产品中。

## 1.1 单片机的发展概况

单片机是把 CPU 和外设都集成在单个芯片中的单片计算机, 其内部一般都带有程序存储器和数据存储器、I/O 端口、模拟输入和输出通道、定时/计数器、并行通信端口、串行通信端口、中断等资源, 它是一种单芯片结构的微型计算机。

单片机按照其用途可以划分为通用型和专用型两大类。目前在国内常用的是通用型单片机。

通用型单片机的特点是其片内所有的可开发资源(如存储器、I/O 等)对用户都是开放的。这种类型的单片机可以应用于各种领域。

专用型单片机的硬件结构和指令都是为某个特殊应用而设计的, 例如频率合成调谐器、打印机控制器等。专用型单片机又称为专用控制器, 这种类型的单片机一般不能在其他领域应用。

单片机按照其基本操作处理的位数分类, 可以分为 1 位单片机、4 位单片机、8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机。

单片机的发展历史可以分为下面几个阶段。

第一阶段(1974 年~1976 年): 单片机初级阶段。由于受当时的半导体技术、集成电路工艺的限制, 此阶段的单片机不得不采用双片结构, 而且功能比较简单。如 Fairchild Semiconductor 的 F8 单片机, 它仅包含了一个 8 位 CPU、64 字节 RAM 和 2 个并行端口, 没有内部程序存储器, 必须增加一片 3851(包括 1 KB ROM、定时/计数器和 2 个并行 I/O 端

口)才能构成一台完整的微型计算机。

第二阶段(1976年~1978年):低性能单片机阶段。以 Intel 的 MCS-48 为代表,完全采用单芯片结构,片内带有一个 8 位 CPU、并行 I/O 端口、8 位定时/计数器、中断系统、RAM 和 ROM 等资源。但是,其片内无串行口,中断处理比较简单,RAM 和 ROM 的容量较小,寻址范围有限(一般小于 4 KB)。

第三阶段(1978年~1981年):高性能单片机阶段。这个阶段推出的单片机一般都带有串行口,支持多源多优先级中断系统,片内 RAM 和 ROM 的容量都有不同程度的扩大,寻址范围也被扩大,执行速度亦有提高,部分类型的单片机已经具有 A/D 功能。这个阶段有代表性的单片机有: Intel 的 MCS-51 系列、Motorola 的 6801 和 Zilog 的 Z80 系列等。由于这些类型的单片机的性能价格比较高,目前它们仍被不断改进和发展,应用领域日趋广泛。

第四阶段(1982年至今):8位单片机巩固发展及16位和32位单片机的推出阶段。在这个阶段中,不仅涌现出了许多高性能、增强型8位单片机,而且还逐步推出了各种系列的16位、32位单片机及专用控制器。比较典型的16位单片机是 Intel 的 MCS-96 系列单片机,其内部不仅包含了一定容量的 RAM 和 ROM、多源多优先级中断系统,而且还带有 10 位分辨率的 A/D 功能部件和高速输入/输出部件(HSIO)。32 位单片机的代表是 ARM 公司的 ARM7 系列单片机,它们具有 16/32 位双指令集,支持全 32 位总线宽度的寻址空间,而且具有 DSP(Digital Signal Processor)应用功能。目前的 ARM 系列单片机已经形成 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10 等 4 个通用系列,在无线通信、图像和语音处理、自动化、工业、网络、智能卡和 SIM 卡等领域被广泛应用。8 位单片机结构和处理能力经过这个阶段的不断完善和发展,在性能、速度、体积和功耗等方面也有了非常大的改善,譬如由 8051 单片机衍生出来的 MCS-51 系列单片机出现了数百种之多。同时为了适应单片机日益广泛的应用,在这个阶段还出现了数十种 RISC(Reduced Instruction Set Computer)单片机,如 Microchip 的 PIC16/17/18 系列单片机、Atmel 的 AVR90 系列单片机。它们具有高速、高可靠性、更低功耗等特点,在许多领域也得到了广泛应用。

## 1.2 单片机的发展趋势

计算机两大分支的出现,使得通用计算机系统已经不需要兼顾控制功能,而是向海量存储、高速数值计算、图像和语音处理、模拟仿真、人工智能、多媒体和网络通信等应用方向发展。而单片机作为嵌入式计算机系统的核心,将实时控制作为其主要发展方向,不断增强其控制性能,降低成本,减小体积,提高可靠性和稳定性,将逐步取代传统的纯电路的电子控制系统。单片机技术的飞速发展,也极大地推动了嵌入式系统的发展。近些年来,以通用单片机为控制核、扩展一些外围功能器件的通用嵌入式控制系统已经成为工业现场的过程控制主流设备,在早些年这些领域的应用主要是以工业控制计算机(或称为工控机、IPC)为主。

目前,为了适应各种嵌入式系统的应用需求,单片机将向着高集成度、增强功能、提高速度、降低成本和功耗等方向发展。这主要表现在以下几个方面。

### 1. 处理性能的增强

单片机的处理性能取决于其内部数据总线宽度、指令执行速度、片内存储器容量等指标。近年发展起来的 16 位和 32 位单片机就体现了这个发展趋势。提高单片机的指令执行速度的主要手段包括提高其工作频率、改善取指令和执行指令的流水结构,目前已经有许多单片机的执行指令速度达到几十 MIPS(Million Instruction Per Second)。采用“冯-纽曼结构”的 MCS-51 系列单片机和 MC68 系列单片机都采用单流水结构,其数据存储器 and 程序存储器共用同一数据总线和地址总线。这些单片机取指令、指令译码、执行指令依次分时进行,执行一条指令分为几个阶段,每个阶段都占用若干机器周期,单片机的指令执行速度每提高一倍,就需要将其工作频率提高若干倍。近些年出现的“哈佛结构”单片机的数据存储器 and 程序存储器具有各自独立的地址总线 and 数据总线,使得这些结构的单片机取指令 and 执行指令可以同时进行,即双流水结构执行指令。未来多流水结构的单片机内部带有指令队列,将具有更快的执行速度。

为了适应那些需要高速数值计算的应用领域能够使用单片机作为其控制核心,单片机内部将被植入专用的数学协处理器,以提高单片机系统的幂、开方等数学运算速度,从而适合于在高速、大量数值计算的嵌入式系统中应用。

未来嵌入式计算机系统的功能要求将会越来越复杂,系统的软件越来越庞大,对单片机的程序空间 and 数据暂存空间的要求也越来越高。目前许多单片机的片内 ROM 空间已经达到几十 KB 以上,外部寻址空间已经达到几百 KB,甚至几兆字节;片内的数据存储器容量也已经有几百字节至几兆字节,使得可以在单片机系统中运行嵌入式操作系统。

### 2. 增强功能

未来单片机的增强功能主要在网络功能、A/D 和 D/A 功能、ISP(In System Programmable)功能、DMA 功能、显示器驱动等方面。嵌入式计算机系统网络技术的高速发展,使我们进入了后 PC 时代,网络不是通用计算机系统的专利,嵌入式计算机系统通过 Internet 网络相互连接也已经实现。后 PC 时代出现了信息家电、PDA(Personal Digital Assistant)、可视电话、机顶盒(Set Top Box)等信息设备,它们都是具有强大网络功能的嵌入式信息设备。

单片数据采集系统的发展是高速单片机被植入高速、高分辨率 A/D 功能部件的混合信号微处理器,为了适应智能传感器、智能仪器仪表 and 工业实时控制系统的应用需要,在这些领域应用的单片机片内带有 A/D 和 D/A 功能部件是发展趋势。

为了能够有效地保护嵌入式系统的知识产权,对单片机内部的软件进行加密是必要的,单片机内部的程序代码存储器带有加密特性是单片机的一种增强功能。

### 3. 高集成度

在嵌入式计算机系统的应用领域中,输入/输出控制和特殊器件扩展都可以通过对 I/O 端口的编程实现。大多数的单片机都具有一定数量的 I/O 端口,以满足外围功能器件的扩展。随着集成电路技术和工艺的不断提高,单片机技术的发展及其应用领域不断拓展,提高单片机的集成度,增加片内功能器件,减少外围器件的扩展,实现真正的“单片”系统,已成为发展的趋势:

集成更多的 I/O 端口 and 特殊接口,直接驱动 LED、VFD、LCD 等显示器,带有直接中断方式键盘端口等,在单片机系统中实现人机操作界面而无须扩展外围器件;

在单片机片内增加可编程逻辑器件(PLD), 利用 PLD 的在系统可编程、可重新配置等特点, 使单片机 I/O 端口的应用更加灵活。

#### 4. 低功耗、宽供电电源

在那些利用电池供电的移动式、便携式嵌入式计算机系统中, CPU 和外围功能电路的功耗是每位产品设计者都关心的重要指标。宽供电电源范围有利于减少系统电源电路的成本开销, 甚至不需要稳压电路而直接采用电池供电。CMOS 器件具有功耗低的优点, 目前绝大多数单片机都采用 CMOS 技术, 以降低单片机的功耗。为了充分降低 CMOS 型单片机的功耗, 大多数单片机都具有全速运行模式、空闲模式和睡眠模式。当单片机在不需处理 and 响应事务时, 单片机自动进入空闲或睡眠模式, 在这两种模式下单片机所消耗的电流最小。目前有些低功耗型单片机在睡眠模式下消耗的电流仅为几个微安。

## 1.3 各种单片机的主要性能特点

下面分别介绍目前应用比较广泛的各类单片机的主要性能特点。

### 1. 各种 8 位单片机的主要特点

(1) Intel 公司的 MCS-51 系列单片机。以 8051 或 8052 为内核的 MCS-51 系列单片机是目前应用最广泛的单片机之一, 其衍生产品具有数百种之多, 支持加、减、乘、除运算指令和逻辑运算指令, 具有一定的数据运算、处理能力。除了 Intel 公司提供 MCS-51 系列单片机外, 全球还有数百家集成电路(IC)制造公司提供这个系列的各种增强功能的单片机。

(2) Zilog 公司的 Z80、Z180 和 eZ80 系列单片机。eZ80 单片机是 Zilog 公司近年才推出的、适合于网络应用的高档 8 位单片机; Z80 和 Z180 系列是早期的通用型 8 位单片机, 目前仍被广泛使用。它们的衍生单片机种类也比较多, 如 Rabbit 半导体公司提供的 RABBIT2000 和 RABBIT3000 单片机都以 Z180 为内核, 同时比 Z180 具有更大的寻址能力、更丰富的片内资源, 并且速度更快。

(3) Motorola 公司的 MC68HC05、HC08、HC11 系列 8 位单片机。它们都属于高档 8 位单片机, 片内带有存储器、I/O 端口以及锁相环模块, 支持汇编语言和 C 语言编程, 具有低功耗、高抗干扰性能, 广泛应用于各种工业过程控制及其相关应用领域。

(4) Atmel 公司的 AVR 系列单片机。该系列单片机属于精简指令集单片机(Reduce Instructions Set Computer)。AVR 单片机具有速度高、保密性好、功耗低的特点, 其片内带有可反复编程的 Flash 程序存储器、SRAM 和 EEPROM 数据存储器、定时器/计数器、可编程 I/O 端口、同步/异步串行口、A/D 转换器及 PWM 等丰富资源。

(5) Microchip(微芯)公司的 PIC16、17、18 系列单片机。该系列单片机采用精简指令集、哈佛总线结构、2 级流水线取指令和执行指令方式, 片内带有 ROM、RAM 和 EEPROM 存储器、I/O 端口、ADC 和 PWM 等资源, 具有功耗低、体积小、速度高、价位低等特点, 部分型号的 PIC 单片机的片内还具有 LCD 驱动能力。但是, 该系列单片机不支持外围直接扩展数据或程序存储器。

其他主要的 8 位单片机还有 Hitachi(日立)公司的 HD63 系列单片机, Mitsubishi(三菱)公司的 M3850 单片机, NEC(日电)公司的  $\mu$ PD78 系列单片机, NS(美国国家半导体)公司的

COP8 系列单片机, Epson 公司的 EOC88 系列单片机等。

在上面所有的 8 位单片机中, 以 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机应用最为广泛, 占有 8 位单片机市场较大的份额。由于 MCS-51 系列单片机不仅具有丰富的片内资源, 以“单片”结构的系统就可以实现强大的功能, 而且扩展外围器件简单, 容易组成“大系统”, 因此可满足复杂的嵌入式应用系统的需求。

随着 PIC16、17、18 系列单片机和 AVR 系列单片机的快速发展和推广, 这些高性能的 RISC 型 8 位单片机也已成为后起之秀, 各自占有 8 位单片机市场的一定份额。

## 2. 各种 16 位单片机的主要特点

(1) Intel 公司的 MCS-251 系列 8 位/16 位结构单片机。该系列单片机兼容 Intel 公司的 MCS-51 系列 8 位单片机, 是从 MCS-51 单片机衍生出来的高性能 16 位增强型单片机, 兼容 MCS-51 单片机的基本指令集和扩展指令集。

(2) Intel 公司的 MCS-96 和 MCS-196 系列单片机。该系列单片机具有高速运算和高速处理能力, 片内具有 ROM、RAM 型存储器, 带有采样/保持电路的多通道高分辨率 ADC 功能部件、脉宽调制(PWM)输出通道、片内“看门狗(Watchdog)”定时器、高速输入/输出(HSI/HSO)通道以及串行和并行端口等, 支持 16 位乘法和除法指令。

(3) Motorola 公司的 HCS12 系列、M68HC12 系列、M68HC16 系列和 DSP56F8 系列单片机。前三种都是适合于过程控制领域应用的高档 16 位单片机; DSP56F8 系列是采用数字信号处理器(DSP)结构的单片机, 比较适合于那些复杂系统的应用。Motorola 公司的 16 位单片机的片内一般都带有多通道的 12/16 位分辨率的 ADC 部件、多个 PWM 通道、ROM 和 RAM 存储器、可编程并行和串行端口等资源。

(4) TI(德州仪器)公司的 MSP430 系列单片机。该系列单片机具有片内 FlashROM 型程序存储器, 并且支持 JTAG(Joint Test Action Group, 测试行动联合组织)方式的在系统编程、仿真和调试。片内还具有 RAM 型数据存储器、高分辨率的 ADC 部件、DAC 部件、片内“看门狗(Watchdog)”定时器、可编程并行端口和同步/异步串行端口, 部分型号的 MSP430 单片机的片内还具有直接 LCD 显示器驱动接口。MSP430 系列单片机的最大特点是功耗极低, 但是这些单片机不支持直接扩展外围程序或数据存储器。

(5) Infineon(亿恒, 原西门子半导体)公司的 C166 系列单片机。它们都是基于 C166S 内核, 目前有 V1 和 V2 两种版本, 其中 V2 版本具有高性能 DSP 的结构, 5 级执行流水线, 具有高速处理能力及 16 MB 线性寻址能力, 多达 128 个中断源(其中包括 2 个快速中断), 支持位处理, 片内带有可编程 I/O 端口和高速异步串行通信端口。C166 系列单片机是一款高性能的 16 位单片机, 广泛应用于各种复杂工业过程控制和集散控制系统(DCS)。

(6) NS 公司的 CR16 系列单片机。它们是一种 RISC 单片机, 片内带有 ROM、RAM 和 EEPROM 存储器, 以及 8 位分辨率的 ADC 部件、多个可编程通用 I/O 端口、同步/异步串行通信接口单元等资源, 支持 32 个可屏蔽中断源和 1 个不可屏蔽中断源。

在上面这些常见的 16 位单片机中, MCS-196 系列、M68HC12/16 系列单片机应用最为广泛, 使用这些单片机可以组成任何从简单到复杂的嵌入式计算机系统。MSP430 系列单片机是 TI 公司近年才推出的适合于智能仪器、仪表领域应用的低功耗、高速单片机。

### 3. 各种 32 位单片机的主要特点

(1) ARM(安慕)公司的 ARM 系列单片机。它包括 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10、SecurCore 和 StrangARM 等子系列。ARM 公司是英国的一家设计公司,是 ARM 知识产权(IP)供应商,其本身不生产 ARM 单片机芯片。ARM 单片机芯片主要由 ARM 公司的全球合作伙伴生产,其全球合作伙伴已经超过 100 家,包括 Intel、Atmel、Samsung、Cirrus Logic 等世界著名的半导体工业公司。ARM 公司成立至今仅有十几年的历史,但是采用 ARM 内核的 32 位高性能单片机的种类已经有数十种,ARM 系列单片机是目前世界上性价比最优的高档单片机。ARM 单片机虽然是 32 位设计,但也配备 16 位指令集,以允许软件编码为更短的 16 位指令。ARM 单片机是微控制器的灵活性和 DSP 的强大数据处理能力的完美结合,所有 ARM 系列单片机的片内都带有 RAM 存储器、多源中断控制器、大容量存储器管理单元、多个可编程通用 I/O 端口、多路同步/异步串行通信端口和定时/计数器等资源,支持 JTAG 方式的在系统编程、仿真和调试,部分 ARM 单片机还具有片内 ROM 和 1 个以上的片内网络控制器。高性能的 ARM 单片机主要应用于便携式计算机、音频处理、图形(图像)处理、Internet 设备(路由器、网桥、交换机等)、PDA 等领域。

(2) Motorola 公司的 M68K 和 ColdFire 系列、M.Core 系列、MPC500 系列单片机。这些系列的单片机在高档嵌入式计算机系统中被广泛使用,其中 MPC500 系列 32 位单片机兼容 PowerPC 指令集,容易构成单片结构的嵌入式计算机系统,兼容 PC 运行环境,与 PC 相比,具有体积小、功耗低、成本低等特点。

其他 32 位单片机还有 Infineon 公司采用 MCU-DSP 结构的 TriCore1 和 TriCore2 单片机、Intel 公司的 x86 结构的 32 位单片机等。

## 1.4 MCS-51 系列单片机的性能特点

Intel 公司的 MCS-51 系列 8 位单片机是目前应用最广泛、衍生品种最多的单片机,它们的内核——8051 和 8052 已经逐步成为 8 位单片机的标准结构。与其他 8 位单片机相比,MCS-51 系列单片机具有丰富的片内资源和方便扩展外围功能器件的能力,特别适合于嵌入式实时控制、智能仪器和仪表、集散控制系统、测控系统等应用领域。

MCS-51 系列单片机具有下列特点:

(1) 集成度高。MCS-51 系列单片机都以 8051 或 8052 为内核,它们内部至少具有 128 或 256 字节的 SRAM,4 个 8 位并行可编程 I/O 端口,2 或 3 个 16 位定时/计数器,5 或 6 个 2 级中断源,至少 1 个全双工的通用同步/异步串行通信收发器(USART),以及一个功能强大的中央处理器。部分 MCS-51 单片机片内的程序存储器的容量可达 4~64 KB,SRAM 数据存储器的容量可达 512 B~8 KB。

(2) 系统扩展方便。为了实现功能复杂的“大系统”,必须在单片机的外围扩展各种功能部件,譬如程序存储器、数据存储器、I/O 端口、ADC 和 DAC 部件等。目前市场上大多数存储器、I/O 端口扩展器件、ADC 和 DAC 器件的时序都兼容 Intel Bus 时序,可以直接与 MCS-51 系列单片机连接,从而方便扩展系统功能。

(3) 高速度、强处理能力。MCS-51 系列单片机的指令集支持加、减、乘、除运算及逻辑

辑运算、位运算和处理,进行数值运算和逻辑运算的速度和效率都较高。目前市场上已经有超过 80 MHz 的指令执行速度,随着 MCS-51 系列单片机片内的 CPU 性能不断提高,其处理能力和速度也在不断地提高。MCS-51 系列单片机片内特有的位处理器(或称布尔处理器)和丰富的可编程 I/O 端口,非常适合在工业控制应用领域的嵌入式系统中应用。

(4) 可靠性高。MCS-51 系列单片机的数据、地址和控制总线的抗干扰能力非常强,不易被环境噪声干扰,它们能够在各种恶劣环境中可靠地执行程序。MCS-51 系列单片机按其可靠性划分为商业级、工业级和军工级三种级别,其中军工级的可靠性最高,能够在  $-50\sim+125^{\circ}\text{C}$  的宽温范围内、 $+2.7\sim+5.5\text{V}$  的宽电压范围内可靠工作。

(5) 开发用辅助工具齐全。全球有许多 IC 制造公司都持有 Intel 公司的 8051 或 8052 内核的版权,各 IC 制造公司结合自身的半导体技术优势以及其市场领域,发展出各种增强型 8051 或 8052 及其衍生的系列单片机,使得 MCS-51 系列单片机的品种最丰富、货源最充足。在 8 位单片机市场中,由于其性能价格比最优,因而 MCS-51 系列单片机的市场占有率最高。MCS-51 单片机是较早进入中国市场的单片机,其推广工作比较好,目前供应 MCS-51 系列单片机的仿真和编程器、汇编语言编译器、高级语言编译器等开发工具的商家非常多,而且价格低廉,学习和掌握 MCS-51 系列单片机相对容易。随着 MCS-51 系列单片机及其衍生品种越来越多,开发工具越来越齐全,使得 MCS-51 系列单片机系统更容易开发,成本更低,更容易产品化。

所有的 MCS-51 系列单片机都是以 8051 或 8052 为内核,学习和掌握 MCS-51 系列单片机的原理及其应用技术就必须首先掌握 8051 和 8052 的基本原理,然后逐步深入掌握其存储器的扩展、I/O 端口的扩展、ADC 和 DAC 部件的扩展、键盘和显示部件的扩展技术,以这种循序渐进方式了解以 MCS-51 系列单片机为控制核心的嵌入式计算机系统。随着 MCS-51 系列单片机的发展,这些扩展的功能部件将逐渐被集成在单片机内部,无论它们是外围扩展的部件还是集成在片内的部件,其应用都是相同的。

## 1.5 MCS-51 单片机的应用和开发步骤

MCS-51 系列单片机的应用领域非常广泛,在所有应用领域它们都采用的是单机应用系统或多机网络应用系统。

### 1. 单机应用系统

所谓 MCS-51 单片机的单机应用系统,就是系统仅使用一片 MCS-51 单片机作为系统的控制核心。例如,在智能仪器和仪表中使用 MCS-51 单片机对测量信号进行误差修正、漂移补偿、非线性校正、显示和存储等,与传统的仪器和仪表相比,其电路简单,测量和自动控制一体化;在机电一体化产品中应用 MCS-51 单片机系统,同样可以简化复杂的电气回路,具有智能检测、控制功能,可以实现自适应工况、执行结构自动控制和人机协同控制的智能机电一体化。MCS-51 单片机的其他单机应用系统还包括智能家电、智能办公设备、测控系统、智能接口设备、数控系统等。

### 2. 多机网络应用系统

MCS-51 系列单片机都带有通用同步/异步通信收发器(USART),并且支持多机通信网

络,支持各种现场总线网络,如 RS485、RS422、CAN 等。

大型的复杂控制系统一般都采用网络结构,系统由网络主控制器和若干网络节点组成,主控制器用于管理各网络节点,是网络型系统的控制核心;各网络节点可以监控一定数量的执行结构。采用网络结构的优点是复杂系统被合理划分为若干模块,便于协作开发,便于安装、调试和维护,有利于降低系统成本。集散控制系统(DCS)就是典型的多机网络应用系统,这种系统一般都采用工业计算机或高档嵌入式计算机系统作为网络主控制器,各网络节点可以是以 MCS-51 系列单片机为控制核心的嵌入式系统。在化工厂中,DCS 的网络节点可以对流量、温度、湿度、阀门、伺服机构等进行实时监控,同时还接收和执行来自主控制器的指令。

MCS-51 单片机的其他多机网络应用系统还有机器人、汽车智能控制系统、机械加工中心、楼宇消防自动报警系统、粮仓温湿度自动监控系统、电力网络监控系统等。

以 MCS-51 系列单片机为核心的嵌入式系统的开发包括硬件和软件两个方面。硬件开发工作主要包括 MCS-51 单片机外围电路原理设计、印制电路板制造、元件装配(焊接)、电路调试等设计;软件开发工作主要是按照应用系统的功能需要设计 MCS-51 单片机的应用程序和硬件电路的驱动程序。通常,以 MCS-51 系列单片机为控制核心的嵌入式系统的开发步骤如下:

- (1) 进行应用系统功能需求分析和资源需求分析。
- (2) 选择合适的 MCS-51 系列单片机,设计电路原理图,仿真和校验原理图。
- (3) 设计和加工印制电路板,进行元件装配和调试。
- (4) 编写与硬件相关的驱动程序,调试和校正硬件电路。
- (5) 设计和调试应用程序。
- (6) 进行应用程序和驱动程序的连接调试,最终使程序代码固化在程序存储器中并连续运行。
- (7) 完成系统的所有硬件和软件开发。

## 习 题 一

- 1-1 简述嵌入式计算机系统和通用计算机系统的主要区别。
- 1-2 未来单片机的发展趋势包括哪些方面?
- 1-3 目前主要有哪些 8 位、16 位和 32 位单片机?它们各有什么特点?
- 1-4 MCS-51 系列单片机有哪些主要特点?
- 1-5 开发以 MCS-51 系列单片机为核心的嵌入式系统的过程分哪几步?
- 1-6 请利用网络资源查找除了本章中提到的其他单片机,并比较它们的特点。



## 第二章 MCS-51 系列单片机硬件内核

本章主要介绍 MCS-51 系列单片机的内核硬件结构，这部分内容是学习 MCS-51 系列单片机原理的基础。通过对本章的学习，可以使读者掌握 MCS-51 系列单片机的内核硬件资源配置。

### 2.1 MCS-51 系列单片机的引脚配置及其特性

MCS-51 系列单片机的引脚配置如图 2-1 所示。

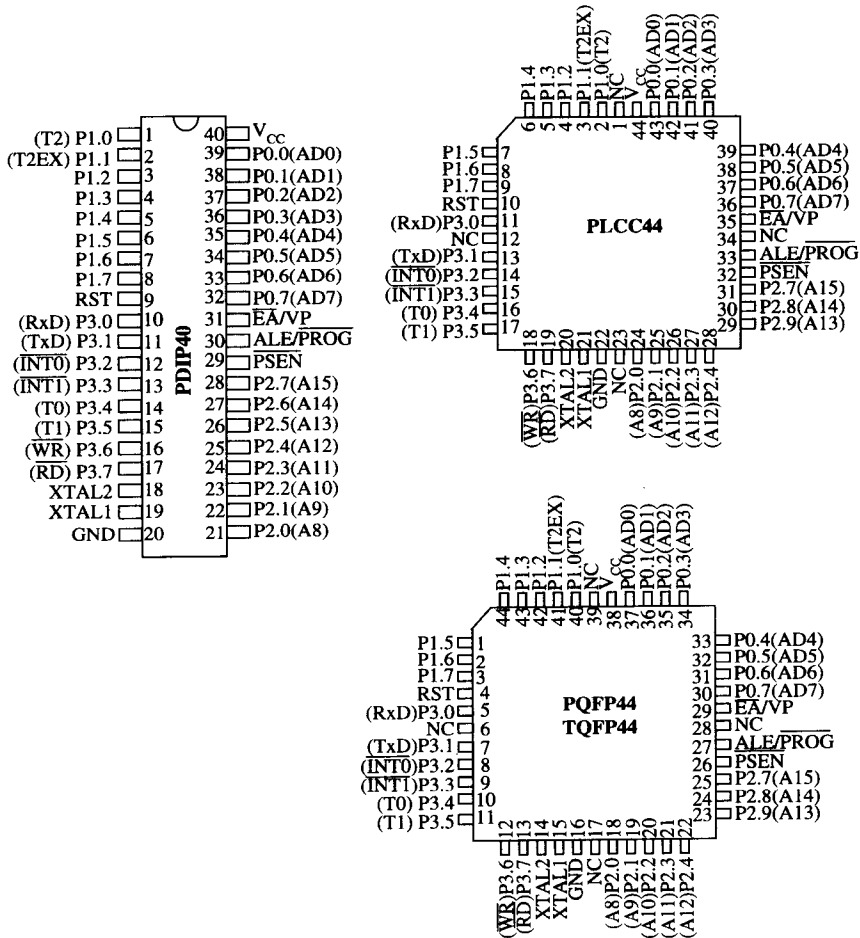


图 2-1 MCS-51 系列单片机引脚配置

MCS-51 系列单片机的封装形式主要有三种：PDIP40、PLCC44 和 PQFP/TQFP44，不同封装的芯片其引脚的排列位置有所不同(见图 2-1)，但它们的功能和特性都相同。

虽然有三种不同封装形式的 MCS-51 单片机芯片，但实际使用的引脚都是 40 个。按引脚的功能分类，有下面三类引脚：

(1) 供电电源引脚： $V_{CC}$  和 GND，占用 2 个引脚。

(2) 控制及时钟引脚： $\overline{RST}$ 、 $\overline{EA}/VP$ 、 $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ 、 $\overline{PSEN}$ 、XTAL1 和 XTAL2，占用 6 个引脚。

(3) 可编程输入/输出引脚： $P0.0\sim 0.7$ 、 $P1.0\sim 1.7$ 、 $P2.0\sim 2.7$  和  $P3.0\sim 3.7$ ，占用 32 个引脚。

下面分别介绍各引脚的功能。

- $V_{CC}$ ：供电电源的正输入端。如果为 5 V 器件，则  $V_{CC}$  与供电电源的 +5 V 输出相连。
- GND：供电电源地和信号参考地(Ground)。GND 直接与供电电源的地连接。
- RST：复位信号输入端。在这个引脚上输入大于两个机器周期宽度的高电平信号时，MCS-51 单片机将被复位，当该高电平保持时，CPU 一直处于复位状态。当 RST 引脚上的高电平被撤消转为低电平后(CPU 被复位之后)，CPU 将从程序的起点重新开始顺序执行程序，即 CPU 进入运行状态。

- $\overline{EA}/VP$ ：外部程序访问使能(External Access Enable)控制输入或编程电压输入引脚。当该引脚与 GND 直接连接时，CPU 被复位并退出复位状态之后，将从外部程序存储器的 0000H 地址开始执行程序；反之，该引脚与  $V_{CC}$  直接连接时，CPU 被复位并退出复位状态之后，将从内部程序存储器的 0000H 地址开始执行程序。

可以看出，对于片内没有程序存储器的 MCS-51 系列单片机(如 8031 和 8032)来讲， $\overline{EA}/VP$  引脚必须与 GND 连接；对于那些片内带有程序存储器的 MCS-51 系列单片机(如 8751 和 78E52)来讲，需要使用片内程序存储器时， $\overline{EA}/VP$  引脚必须与  $V_{CC}$  连接，而当该引脚与 GND 连接时，其片内程序存储器中的程序将不被执行。

- $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ ：低 8 位地址锁存使能(Address Latch Enable)信号的输出端或片内程序存储器被写入时的编程控制脉冲的输入端。当 MCS-51 系列单片机需要访问外部程序存储器或数据存储器时，在  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$  引脚将输出一个脉冲信号来锁存低 8 位地址信号。在正常操作期间，从该引脚输出的脉冲信号频率为 CPU 外部晶体振荡器频率( $f_{osc}$ )的 1/6。

- $\overline{PSEN}$ ：外部程序存储器的读/输出使能(Program Store Enable)信号输出端。该引脚作为外部程序存储器的控制信号，当 CPU 到外部程序存储器读取指令时，该信号允许外部程序存储器将指令发送到数据总线，指令最终被锁存在 CPU 的指令锁存器中，在访问片内程序存储器时，该信号保持在无效状态(高电平)。它的有效电平为低电平。一般将该引脚固定与外部扩展的程序存储器的  $\overline{OE}$  (输出使能信号)引脚连接。在一个机器周期内， $\overline{PSEN}$  和  $\overline{ALE}$  信号一样出现两次，即在一个机器周期内 CPU 将访问程序存储器两次。因此，在一个机器周期内，CPU 可以从程序存储器中读取两个字节的指令码。

- XTAL1：外部晶体振荡器的输入端。该引脚与内部反相振荡器放大器以及内部时钟电路相连接。

- XTAL2：内部反相振荡器放大器的输出端。

- P0.0~0.7: 8 位并行可编程输入/输出端口。P0.0~0.7 包括 8 个引脚, 集合名称为 P0 端口, 可以位寻址。大多数的 MCS-51 系列单片机的 P0 端口都采用双向开漏极结构, 作为输出端口时, 每个引脚最多可以驱动 8 个 TTL 负载, 当向该端口的引脚写“1”时, 这些引脚可以作为高阻输入端口。

在 CPU 访问外部程序存储器或数据存储器期间, P0 端口分时复用作为 8 位数据总线和低 8 位地址总线, 在该模式下, 大多数的 MCS-51 系列单片机的 P0 端口都带有内部强上拉电阻。对于那些片内带有程序存储器的 MCS-51 系列单片机来讲, 在对其片内程序存储器写入(即编程)期间, P0 端口还可以作为程序代码的并行输入端口, 在此期间如果需要写入校验操作, 必须使用外部上拉电阻。

- P1.0~1.7: 8 位并行可编程输入/输出端口。P1.0~1.7 包括 8 个引脚, 集合名称为 P1 端口, 可以位寻址。大多数的 MCS-51 系列单片机的 P1 端口都采用带有内部上拉电阻的双向结构, 作为输出端口使用时, P1 端口的驱动器可以驱动 4 个 TTL 负载; 作为输入端口使用时, 一般还需要外部上拉或下拉电阻。对于那些片内带有程序存储器的 MCS-51 系列单片机来讲, 在对其片内程序存储器写入(即编程)和校验期间, P1 端口还可以作为低 8 位地址的输入端口。

另外, 对于 8032 内核的 8752 和 78E52 等单片机来讲, 这些器件的 P1 口部分引脚还具有第二功能, 见表 2-1。P1.0 和 P1.1 可以分别配置为定时/计数器 2 的外部计数信号的输入端(P1.0/T2)和触发信号输入端(P1.1/T2EX)。

表 2-1 8032 的 P1 端口的第二功能

引 脚	第二功能名称	第 二 功 能
P1.0	T2	定时/计数器 2 的外部计数信号的输入端
P1.1	T2EX	定时/计数器 2 的捕获或重装触发信号输入端

- P2.0~2.7: 8 位并行可编程输入/输出端口。P2.0~2.7 包括 8 个引脚, 集合名称为 P2 端口, 可以位寻址。大多数的 MCS-51 系列单片机的 P2 端口都采用带有内部上拉电阻的双向结构, 作为输出使用时, P2 端口的驱动器可以驱动 4 个 TTL 负载; 作为输入使用时, 一般还需要外部上拉或下拉电阻。

当 CPU 处于访问外部 16 位地址时(使用 MOVX @DPTR, A 或 MOVX A, @DPTR 等指令), 根据 DPTR 的值, P2 端口发送出高 8 位地址信号, 在这种模式下应用时, P2 口内部具有强上拉电阻。当 CPU 访问外部 8 位地址时(使用 MOVX @R0, A 或 MOVX A, @R0 等指令), P2 端口发送的数据取决于特殊功能寄存器 P2 的内容。对于那些片内带有程序存储器的 MCS-51 系列单片机来讲, 在对其片内程序存储器写入(即编程)和校验期间, P2 端口还可以作为高 8 位地址和某些控制信号的输入端。

- P3.0~3.7: 8 位并行可编程输入/输出端口。P3.0~3.7 包括 8 个引脚, 集合名称为 P3 端口, 可以位寻址。大多数的 MCS-51 系列单片机的 P3 端口都采用带有内部上拉电阻的双向结构, 当向该端口的任何位写“1”时, 由于内部上拉电阻的作用, 对应的引脚保持高电平; 当外部被强制为低电平时, P3 端口的对应引脚将为外部负载提供电流。

P3 端口的每一个引脚都具有第二功能, 见表 2-2。对于那些片内带有程序存储器的 MCS-51 系列单片机来讲, 在对其片内程序存储器写入(即编程)和校验期间, P3 端口还可以作为某些控制信号的输入端。

表 2-2 P3 端口的第二功能

引 脚	第二功能名称	第 二 功 能
P3.0	RxD	通用异步串行(UART)通信口的数据信号输入端
P3.1	TxD	通用异步串行(UART)通信口的数据信号输出端
P3.2	INT0	外部中断 0 的触发信号输入端, 可编程低电平或下降边沿触发
P3.3	INT1	外部中断 1 的触发信号输入端, 可编程低电平或下降边沿触发
P3.4	T0	定时器/计数器 0 的外部计数信号的输入端
P3.5	T1	定时器/计数器 1 的外部计数信号的输入端
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	外部数据存储器的写控制信号输出端(低电平有效)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	外部数据存储器的读控制信号输出端(低电平有效)

前面关于 MCS-51 系列单片机的引脚功能和配置都是以 8051 或 8052 作为基本内核的 CPU。随着微电子技术的飞速发展以及目前工业控制等领域的应用需求的不断增长, 以 8051 或 8052 为基本内核的增强(Enhance)型的 MCS-51 系列单片机将越来越多, 它们在指令和内核结构方面兼容标准的 8051 或 8052, 为了适应不同应用领域的特殊需求, 各自的引脚配置、功能等有些区别。譬如一些适用于通信领域的 MCS-51 单片机增加了通用异步串行收发端口(UART)、控制器现场网络(CAN)端口, 提高了指令的执行速度等; 还有一些为实现数据采集, 内部增加了电压比较器、ADC 和 DAC 等部件, 相应就增加了模拟输入/输出功能的引脚。

随着微电子技术和计算机技术的发展, 未来的 MCS-51 系列单片机的功能将不断增强, 其更多的引脚可能具有第二或第三功能。

## 2.2 MCS-51 系列单片机的内部结构

MCS-51 系列单片机都具有基本相同的内部结构, 其内部组成如图 2-2 所示。

MCS-51 系列单片机的基本内核包括 ALU(算术逻辑运算单元)、ACC(累加器)、PSW(程序状态字)、SP(堆栈指针)、PC(程序计数器)、DPTR(数据指针)、RAM(静态随机存储器)、ROM(只读存储器)、I/O(输入/输出)端口以及时钟和控制信号等部件。这些部件通过内部数据总线相互连接。需要注意的是, 对于那些 ROM-less 型的 MCS-51 系列单片机来讲其片内 ROM 是不存在的, 譬如 8031 和 8032、DS80C320 等器件的内部都没有 ROM。

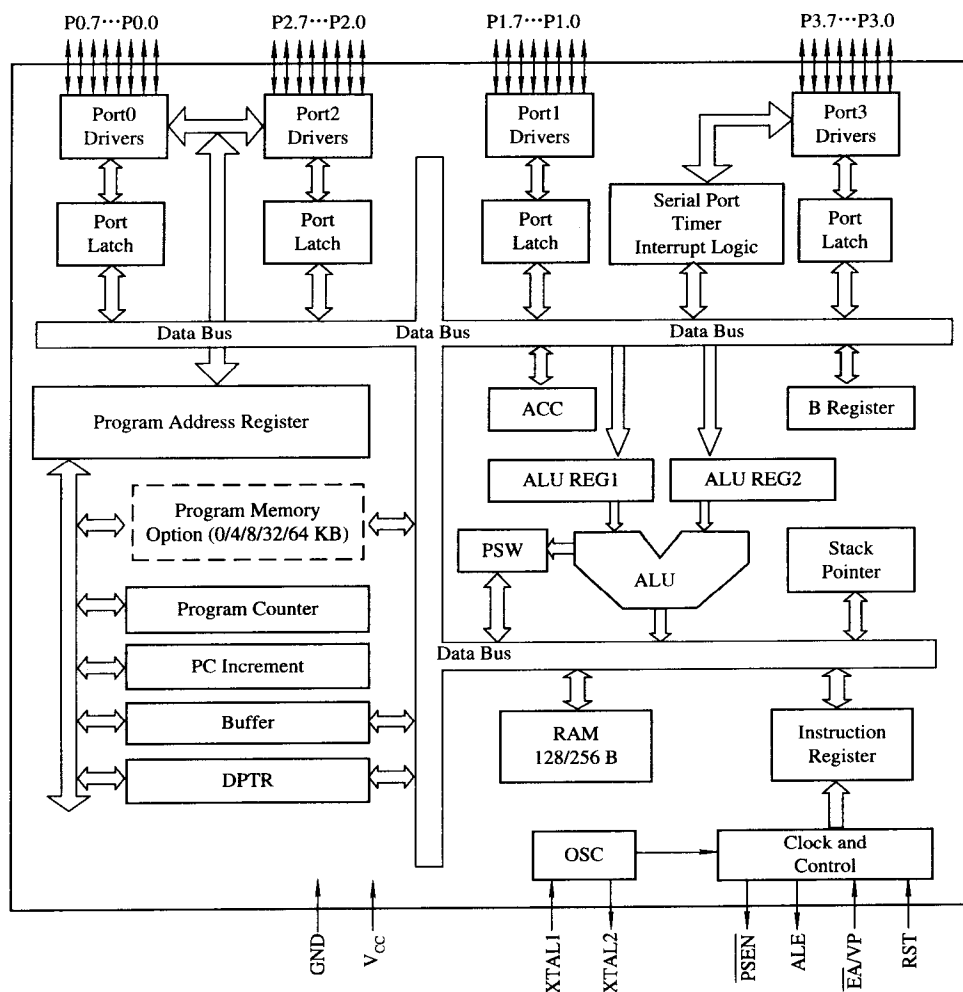


图 2-2 MCS-51 系列单片机内部功能结构

下面分别介绍各部件的功能。

### 1. ALU(算术逻辑运算单元)

ALU 是 MCS-51 单片机的运算器核心,所有的算术运算和逻辑运算都是由它来完成的。ALU 是由门电路组成的功能网络,没有记忆功能,在时钟和控制信号的控制下,可以完成不同的操作。ALU 与内部总线相连接,以便从内部寄存器接收数据信息或将数据结果输出到数据总线上,再将其传送给内部寄存器。

ALU 与位处理器、暂存寄存器(ALU REG1/2)、累加器(ACC)和程序状态字寄存器(PSW)等一起构成 MCS-51 单片机内部的执行单元。执行单元的任务是进行算术运算、逻辑运算及偏移地址计算,向单片机内部的其它功能单元提供指令执行结果的数据和偏移地址,并对 PSW 进行管理。

MCS-51 系列单片机的执行单元可以直接执行 8 位的数值加、减、乘和除等基本算术运算,同时还可以直接完成 8 位的逻辑“与”、“或”、“异或”、“循环移位”、“取反”以及“清

零”等逻辑运算。由于 MCS-51 系列单片机内部带有位处理器(俗称布尔处理器), 因此 MCS-51 系列单片机还提供位逻辑运算, 包括“置位”、“清零”、“取反”以及位判断操作。

### 2. ACC(累加器)

ACC 是一个 8 位的累加器(某些情况可以简写为 A)。ACC 具有两种功能: 其一, ACC 作为普通的通用寄存器, 可以暂存数据, 在传送数据时, 可以作为目的寄存器或源寄存器, 其内部的 8 个位都支持位操作, 分别被称做 ACC.0~ACC.7; 其二, ACC 可以作为算术和逻辑运算单元的目的寄存器或源寄存器, 并存储运算结果, 在 ALU 执行乘法和除法运算时必须使用 ACC 作为其源寄存器和结果寄存器使用。

ACC 是执行单元的关键部件之一。

### 3. PSW(程序状态字)

PSW 是一个 8 位的动态寄存器, 其各个位的值反映了程序的执行状态信息。其内部的 8 个位都支持位操作, 分别被称做 PSW.0~PSW.7。PSW 的各位定义如下:

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PSW	Cy	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

在 PSW 中除了 PSW.1 是保留位, 未被使用外, 其它 7 个位的意义如下:

- P(PSW.0): 累加器 ACC 内容的奇偶校验位。在程序执行过程中, 每执行一条指令后 CPU 自动按 ACC 的内容将 P 清零或置位。规则是: ACC 的 8 个位中值为 1 的位个数是奇数个时, P 被自动置位(P=“1”); 否则, P 被自动清零(P=“0”)。

P 在异步串行通信过程中有特殊意义, 使用该位可以容易实现奇偶校验, 常用于接收方检验接收到的数据是否有误。

- OV(PSW.2): 算术运算结果溢出标志位。在执行数值算术加法和减法运算时, 根据执行过程中位 6 和位 7 的进位或借位情况, CPU 自动将 OV 置位(OV=“1”)或清零(OV=“0”)。具体规则: 执行加法或减法过程中位 6 和位 7 中仅有一个位有进位或借位时, OV 被置位, 否则被清零。另外, 执行数值算术乘法运算时, 如果乘积大于 255, OV 被置位, 否则被清零; 在执行数值算术除法运算时, 如果除数为 0, OV 被置位, 否则被清零。

- RS0 和 RS1(PSW.3 和 PSW.4): 通用寄存器组选择控制位。这两个二进制位的组合有四种情况, 分别用于指示当前运行的程序所使用的通用寄存器组别。通用寄存器组位于 MCS-51 系列单片机内部 RAM 型存储区内。RSx 和通用寄存器组的对应关系见表 2-3。

- F0(PSW.5): 用户标志位。该位无特殊意义, 可以利用软件对其进行置位、清零或位判断等操作。

- AC(PSW.6): 低半字节进位标志位(或称辅助进位位)。当执行单元在执行数值算术加法和减法运算时, 低 4 位(即低半字节)运算结果有进位或借位, AC 将被自动置位, 否则被自动清零。

- Cy(PSW.7): 进位(或借位)标志位。当执行单元在执行数值算术加法和减法运算时, 运算的结果如果出现进位或借位, Cy 将被自动置位(Cy=“1”), 否则被自动清零(Cy=“0”)。当然 Cy 也可以被软件置位或清零。

PSW 中的 8 个位都可以被软件任意置位或清零, 或按字节操作同时修改 8 个位的值。

表 2-3 通用寄存器组的选择控制

RS1	RS0	组别	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
0	0	0	00H	01H	02H	03H	04H	05H	06H	07H
0	1	1	08H	09H	0AH	0BH	0CH	0DH	0EH	0FH
1	0	2	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H
1	1	3	18H	19H	1AH	1BH	1CH	1DH	1EH	1FH

#### 4. SP(堆栈指针)

SP 是一个 8 位的专用寄存器, 它用于指示堆栈顶部在 RAM 中的位置。其内容可以由软件赋值或修改, 当执行 PUSH(进栈操作)指令时, SP 先自动加 1, 然后将目标单元中的内容传送到堆栈区; 而在执行 POP(出栈操作)指令时, 硬件先自动把 SP 所指向的堆栈区内容传送到目标单元, 然后 SP 自动减 1。MCS-51 单片机的堆栈操作按照“先进后出”的原则进行。

#### 5. PC(程序计数器)

PC 是一个 16 位的程序计数器。PC 用于保存下一条将要执行的指令在程序存储器中的地址, 按此地址 CPU 可以从相应的程序存储器中取指令。一般来讲, 指令是顺序存放在程序存储器中的, 所以程序计数器也可以称做指令地址计数器。由此可见, 程序执行过程中所实现的程序跳转, 就是改变 PC 的内容。

#### 6. DPTR(数据指针)

DPTR 是一个 16 位的数据指针, 由 2 个 8 位的寄存器组成, 高 8 位是 DPH, 低 8 位是 DPL。DPTR 可以作为一个 16 位或 2 个独立 8 位的普通寄存器使用, 允许软件任意对其赋值或修改。DPTR 的最主要用途是用于访问 CPU 的外部数据存储器和 I/O 端口, 可以访问空间的大小为  $2^{16}$  bit(即 64 KB)。

#### 7. RAM(静态随机存储器)

所有 MCS-51 系列单片机的片内都至少具有 128 B 的 RAM, 用于执行指令时的缓存、通用寄存器和堆栈(俗称低 128 B RAM)。这部分 RAM 存储器可以采用直接地址或间接地址寻址, 部分还可以位寻址。另外, MCS-51 系列单片机内部的特殊功能寄存器(SFR)也是 RAM 型存储器, 它们位于上述的 128 B 之外。凡以标准 8051 为内核的 MCS-51 单片机内部一般都仅有 128 B 的 RAM(不包括 SFR 占用的空间)。凡以标准 8052 为内核的 MCS-51 单片机内部一般都有 256 B 的 RAM(不包括 SFR 占用的空间)。在 8052 内核中比 8051 内核中多出的 128 B RAM 被称为高 128 B RAM, 这部分存储器的地址范围与 SFR 重叠, 但是, 在物理上高 128 B RAM 与 SFR 区域是两块相互独立的存储器。注意, 为了区分这两部分独立的存储器区域, 软件在访问高 128 B RAM 时, 仅可以使用间接地址寻址方式, 而在访问 SFR 时仅可以使用直接地址寻址方式。

随着微电子技术的发展, 以及人们单片机应用领域需求的不断提高, 近些年各微电子厂商推出了各种增强型的 MCS-51 单片机以满足不同领域的需求。增强型 MCS-51 单片机的增强功能目前主要表现在支持 ISP(在系统编程)、增加内部程序存储器空间、增加内部 RAM 的空间和支持第二个串行通信接口等, 这些功能对原来的 8031、8051 或 8032、8052

来讲是没有限制的。增强型 MCS-51 单片机的内部 RAM 除了保留原来的 128/256 B 外, 还另外增加了几百个字节甚至更多, 部分型号的 MCS-51 单片机的 RAM 已经达到几千个字节。

## 8. ROM(只读存储器)

对绝大多数的 MCS-51 单片机来讲, ROM 是用于存放程序指令和常数表的存储器, 这里的 ROM 类型包括窗口型 EPROM、Flash EEPROM、OTP ROM 以及 Mask ROM 等, 有部分器件内部还包括另外独立的 EEPROM 用于存放数据。8031 和 8032 都是 ROM-less 型, 其它的 8x51、8x52、8x54、8x58 和 8x516 内部一般分别有 4、8、16、32 和 64 KB 的 ROM, 这些 ROM 都属于程序存储器。

在 MCS-51 系列单片机中常见的 ROM 主要有下面几种类型。

(1) 窗口型 EPROM 采用电压编程, 而擦除采用的是紫外线光照射, 所以, 这种存储器都有一个透明的玻璃窗, 在执行擦除操作时紫外线光通过玻璃窗口照射到存储器。这种存储器一般都需要较高的编程电压(不小于 12 V), 编程速度较慢, 而且紫外线光擦除的时间也较长(在较强紫外线光照射下至少需要 10 分钟)。由于太阳光包含有紫外线光成分, 因此在使用窗口型 EPROM 时, 为了防止存储器中的信息丢失, 其玻璃窗口必须被遮挡。

(2) Flash EEPROM 是近些年发展起来的快速电压编程电压擦除的 ROM。这种 EEPROM 的编程和擦除必须按扇区(或页面)方式进行, 编程和擦除的速度较快(譬如 64 KB 的 Flash EEPROM 的擦除和编程仅需几秒), 而且一般不需要专门的编程电压。Flash EEPROM 的读操作可以按字节方式进行。另外, Flash EEPROM 的最大特点是可以重复多次擦除和编程, 这对 MCS-51 系列单片机来讲, 可方便用户升级内部软件, 甚至可以通过在系统编程(ISP)方式升级软件, 即单片机不用从目标板上取下, 而直接更新单片机内部的软件。MCS-51 单片机的 ISP 技术得以发展, 应归功于 Flash EEPROM 的发展。

(3) OTP ROM 是一次性可编程只读存储器。它的优点是成本低, 缺点是一旦被编程便不能被擦除或重新编程, 但读操作可在任何时间重复执行。它采用的也是电压编程工艺。

(4) Mask ROM 是掩膜只读存储器。这类存储器具有更低的成本, 其编程工作必须在集成电路生产线上进行, 在器件插入系统使用时, 仅可以执行读操作。采用 Mask ROM 型的 MCS-51 系列单片机包括 83Cxxx 等型号, 其内部 Mask ROM 中的程序指令都是在 IC 制造过程中写入(所以被称做“掩膜”)的。

## 9. I/O(输入/输出)端口

采用 8051 或 8052 内核并使用标准 DIP40 封装的绝大多数 MCS-51 单片机都提供 4 个 8 位的双向可编程 I/O 端口, 即 Port0(P0)、Port1(P1)、Port2(P2)和 Port3(P3)。这些 I/O 端口都可以按位操作, 这对于 MCS-51 系列单片机在工业控制领域的应用是十分有意义的, 特别是实现开关式输入/输出控制非常方便。

## 10. 时钟和控制信号

这个单元可以产生 MCS-51 单片机工作必需的时钟信号, 以及执行程序指令的控制信号, 它是 MCS-51 单片机稳定工作的保障。

除上面提到的各功能单元外, MCS-51 系列单片机内部还有通用同步/异步通信收发器(USART)、定时器/计数器(Timer/Counter)以及中断(Interrupt)等部件, 请参考本书后面的有关内容。



## 2.3 MCS-51 系列单片机的 I/O 端口

MCS-51 系列单片机一般都提供 4 个 8 位的双向 I/O 端口。下面先了解其内部结构，然后进一步了解其读写操作控制。

### 2.3.1 I/O 端口的内部结构

#### 1. P0 端口的内部结构

P0 端口的内部结构原理如图 2-3 所示。从结构上可以看出，P0 端口的每一位都对应一个 D 型锁存器、一个多路选择开关、两个三态门、两个场效应管、一个非门和一个与门的结构。当 P0 端口用作 I/O 时，控制信号将使多路选择开关的输出端与 D 型锁存器的反相输出端连接，并且使与  $V_{CC}$  连接的场效应管关断，此时 P0 端口处于源极开路输出。P0 作为输出口使用时，需要外部上拉电阻，软件可以通过控制 D 型锁存器间接控制 P0 端口的输出电平状态；P0 作为输入口使用时，软件通过控制读引脚信号，使三态门工作，将 P0 端口的电平状态直接送到 CPU 的内部总线上。

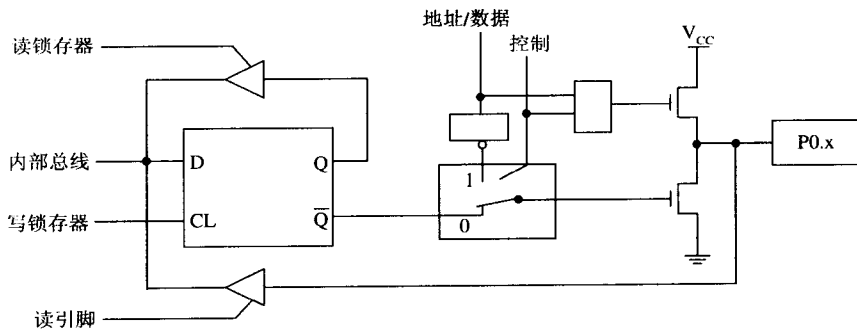


图 2-3 P0 端口的内部结构原理

当 MCS-51 系列单片机需要访问外部存储器时，P0 端口还可以分时复用作为 8 位数据总线和低 8 位地址总线。P0 处于数据和地址总线模式工作时，控制信号将使多路选择开关的输出端与地址和数据信号连接，D 型锁存器的输出不起作用，而两个场效应管的门极经过一个反相器相连，输出地址和数据信号。从 P0 端口读入的数据信号仍通过读引脚信号的使能控制将外部存储器的内容读到内部总线。

P0 端口能够直接驱动 8 个标准 TTL 门电路，作为 I/O 端口使用时，驱动 MOS 电路需要外加上拉电阻；作为地址和数据总线使用时，无需外加上拉电阻，可以直接驱动 MOS 电路。

#### 2. P1 端口的内部结构

P1 端口的内部结构原理如图 2-4 所示。其内部具有上拉电阻，仅可以作为 I/O 端口使用。P1 作为输入口使用时，各个位对应的锁存器必须先锁存“1”，使输出控制的场效应管被关断，通过读引脚控制信号使能三态门，可以把外部信号读入内部总线；P1 作为输出口