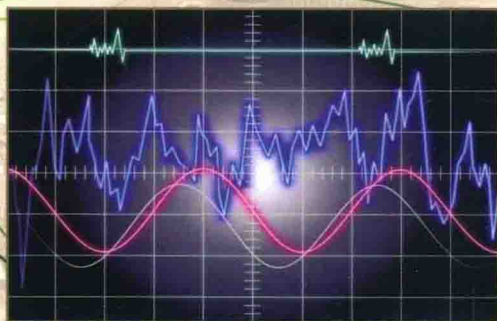


高等院校规划教材

单片机原理及智能仪表技术

DANPIANJI YUANLI JI ZHINENG YIBIAO JISHU

主 编 郭海文



煤炭工业出版社

高等院校规划教材

单片机原理及智能仪表技术

主编 郭海文

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及智能仪表技术 / 郭海文主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2013

高等院校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4301 - 8

I. ①单… II. ①郭… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材②智能仪器—高等学校—教材 IV. ①TP368.1②TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 208682 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 20³/₄

字数 491 千字 印数 1—2 000

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 7129 定价 38.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

内 容 提 要

本书共 14 章。第 1 章至第 8 章讲述了 MCS-51 单片机的基础知识；第 9 章和第 10 章介绍了智能仪表应用领域的基本概念和主要应用电路；第 11 章和第 12 章主要介绍了当下流行的 16 位单片机 MSP430 的基础知识及应用；第 13 章介绍了单片机在应用领域的大部分电路和扩展实用技术，具有很好的实用性和参考价值；第 14 章介绍了单片机系统设计中经常遇到的问题和开发阶段常用软件的使用方法，以便于学生非常容易地上手学习。

本书可以作为高等院校计算机科学与技术、电子信息工程、通信工程、自动控制及电气自动化等相关专业的基础教材，也可以作为从事电子电器新产品设计开发、电子产品的检测和维护等技术人员的参考用书。

前 言

单片机是一种集成电路芯片，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器（CPU）、随机存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计时器等功能的器件集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统，从 20 世纪 80 年代的 4 位、8 位单片机，发展到了现在的 32 位 300M 以上的高速单片机。目前单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。

因此，单片机原理是电子技术类专业一门非常重要的专业基础课。一方面它以电路、模拟电子技术、数字电子技术、C 语言等课程为基础；另一方面它又是变频技术、传感技术、电子测量仪器等专业课的基础。本书不但为后续课程提供了必需的基础知识，而且也为电子类专业课程设计、毕业设计、各类竞赛（包括省物理大赛、省电子设计大赛、全国电子设计大赛）提供了必要的理论及实践指导。通过本课程的学习，使学生掌握单片机技术及其在工业控制、经济建设和日常生活中的应用，培养学生实践能力、创新能力和新产品设计开发能力。

本书由郭海文主编。其中，第 1 章由张涛编写，第 2 章、第 10 章、第 14 章由马可编写，第 3 章、第 4 章、第 5 章由王辉俊编写，第 7 章由魏景新编写，第 8 章由郭海文编写，第 9 章由张晓宇编写，第 11 章由黄轶编写，第 12 章由刘永涛编写，第 13 章第 1 节至第 5 节及第 6 章由王江华编写，第 13 章第 6 节至第 10 节由李香娜编写。华北科技学院靳文涛教授担任主审，北京精仪达盛科技有限公司给予大力支持，在此深表感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，望广大读者批评指正。

编 者

2013 年 7 月

目 次

1 单片机概述	1
1.1 概述	1
1.2 常用单片机介绍	4
复习思考题	6
2 MCS-51 系列单片机的内部结构和工作原理	7
2.1 内部结构和引脚功能	7
2.2 存储器结构和配置	10
2.3 并行 I/O 口结构及工作原理	15
2.4 时钟电路与 CPU 时序	19
2.5 复位电路	24
复习思考题	26
3 MCS-51 系列单片机指令系统	27
3.1 指令的基本格式	27
3.2 MCS-51 单片机的寻址方式	28
3.3 数据传送指令	30
3.4 算术运算指令	33
3.5 逻辑运算指令	37
3.6 控制转移指令	39
3.7 位操作指令	45
复习思考题	46
4 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	49
4.1 汇编语言程序设计概述	49
4.2 常用的伪指令	50
4.3 汇编程序的基本设计	51
4.4 程序设计举例	64
复习思考题	69
5 C51 程序设计	71
5.1 MCS-51 与 C 语言	71

5.2	C51 数据类型与 MCS-51 的存储方式	71
5.3	C51 数据存储类型与存储模式	73
5.4	C51 定义 SFR	74
5.5	C51 定义片外 I/O 地址	75
5.6	C51 定义位变量	76
5.7	C51 中断服务函数的定义方法	76
5.8	C51 的库函数	78
5.9	MCS-51 汇编语言与 C51 的混合编程	79
	复习思考题	81
6	中断系统	83
6.1	中断请求源和中断请求标志	83
6.2	中断控制	85
6.3	中断响应	86
6.4	外部中断触发方式	87
6.5	多个外部中断源系统设计	88
6.6	MCS-51 对中断请求的撤除	90
6.7	MCS-51 中断系统的初始化	92
6.8	应用举例	93
	复习思考题	99
7	单片机定时器/计数器原理及应用	100
7.1	单片机定时器/计数器概述	100
7.2	与定时器/计数器有关的特殊功能寄存器	101
7.3	定时器/计数器的工作方式	102
7.4	定时器/计数器的应用	104
	复习思考题	111
8	单片机串行通信技术	112
8.1	串行通信基础	112
8.2	串行通信总线标准	114
8.3	单片机串口转 USB	118
8.4	MCS-51 单片机串行接口	120
8.5	MCS-51 单片机串口通信应用	124
	复习思考题	131
9	智能仪表概述	132
9.1	智能仪表的基本内容	132
9.2	智能仪表的发展	133

复习思考题	136
10 智能仪表硬件结构	137
10.1 智能仪表的组成	137
10.2 智能仪表主机电路	138
10.3 智能仪表信号测取	140
10.4 智能仪表信号放大	142
10.5 通信接口电路	145
复习思考题	153
11 高性能智能仪表处理器概述	154
11.1 单片机的基本知识	154
11.2 MSP430 系列单片机介绍	158
11.3 MSP430 系列单片机的发展和应用	159
11.4 MSP430 系列单片机最小系统	161
复习思考题	163
12 MSP430 系列单片机内外围模块设计	164
12.1 基本时钟系统概述	164
12.2 低功耗模块简介	169
12.3 I/O 端口	172
12.4 WDT 看门狗定时器	176
12.5 Timer - A 16 位定时器 A 模块	181
12.6 HM 硬件乘法器	189
12.7 Flash 存储器的操作	192
12.8 CA 比较器 A 模块	194
12.9 DMA 模块	198
12.10 USART 串行通信模块	204
12.11 ADC12 模/数转换模块	213
12.12 DAC12 数/模转换模块	218
复习思考题	220
13 系统的扩展与接口技术	222
13.1 I/O 接口扩展技术	222
13.2 键盘接口技术	226
13.3 显示器接口技术	233
13.4 I ² C 总线 24C02 存储芯片原理及应用	244
13.5 A/D 转换接口技术	254
13.6 D/A 转换接口技术	266

13.7	DS1302 实时时钟原理及应用	275
13.8	数字测温芯片 DS18B20 应用	281
13.9	红外遥控	293
13.10	功率开关驱动技术	296
	复习思考题	302
14	应用系统的设计与开发	303
14.1	单片机系统开发过程	303
14.2	电平兼容性设计	311
14.3	单片机常用开发软件	314
14.4	单片机在控制系统中的应用设计	319
	复习思考题	322
	参考文献	323

1 单片机概述

单片微型计算机是指在一块大规模或超大规模集成电路芯片上制成的微型计算机，简称单片机。单片机是单芯片形态作为嵌入式应用的计算机，具有体积小、功耗低、性价比高、使用灵活等特点，它有唯一的、专门为嵌入式应用而设计的体系结构和指令系统，因此单片机又称为嵌入式微控制器（Embedded Microcontroller）。

1.1 概述

1.1.1 微型计算机概述

现代计算机所遵循的是冯·诺依曼提出的经典体系结构，即计算机由运算器、控制器、存储器和输入设备、输出设备组成。随着大规模与超大规模集成电路技术的快速发展，微计算机技术形成了两大分支：微处理器（Micro Processor Unit, MPU）和单片机（Micro Controller Unit, MCU）。

微处理器是微型计算机的核心部件，它的性能决定了微型计算机的性能。通用型的计算机已从早期的数值计算、数据处理发展到当今的人工智能阶段。它不仅可以处理文字、字符、图形、图像等信息，而且还可以处理音频、视频等信息，并正向多媒体、人工智能、数字模拟和仿真、网络通信等方向发展。它的存储容量和运算速度正在以惊人的速度发展。高性能的32位、64位微型计算机系统正向中、大型计算机挑战。

单片机主要用于控制领域。它构成的检测控制系统有实时的、快速的外部响应，能迅速采集到大量数据，能在做出正确的逻辑推理和判断后实现对被控制对象参数的调整与控制。单片机的发展直接利用了MPU的成果，也发展了16位、32位的机型。但它的发展方向是高性能、高可靠性、低功耗、低电压、低噪声和低成本。目前，单片机的主流仍然是以8位机为主，16位、32位机为辅。单片机的发展主要还是表现在其接口和性能不断满足多种多样检测控制对象的要求上，尤其突出表现在它的控制功能上，构成了各种专用的控制器和多机控制系统。

1.1.2 单片机概述

1. 单片机的基本组成

单片机的结构特征是将组成计算机的基本部件集成在一块晶体芯片上，构成一台功能独特的、完整的单片微型计算机。图1-1所示为单片机的典型结构框图。

1) 中央处理器

单片机中的中央处理器和通用微处理器基本相同，由运算器和控制器组成；另外增设了“面向控制”的处理功能，如位处理、查表、多种跳转、乘除法运算、状态检测、中断处理等，增强了实时性。

2) 存储器

单片机的存储空间有两种基本结构，一种是普林斯顿结构，将程序和数据合用一个存储器空间，即ROM和RAM的地址同在一个空间里分配不同的地址。CPU访问存储器时，

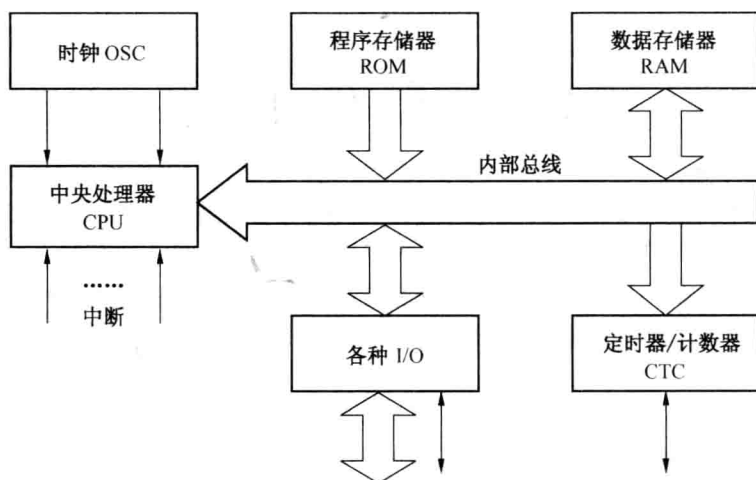


图 1-1 单片机的典型结构框图

一个地址对应唯一的一个存储单元，可以是 ROM，也可以是 RAM，用同类的访问指令。另一种是将程序存储器和数据存储器截然分开，分别寻址的结构，称为哈佛结构。CPU 用不同的指令访问不同的存储器空间。由于单片机实际应用中“面向控制”的特点，一般需要较大的程序存储器。目前，MCS-51 和 80C51 系列的单片机均采用程序存储器和数据存储器截然分开的哈佛结构。

(1) 数据存储器。在单片机中，用随机存取的存储器来存储数据，暂存运行期间的数据、中间结果、缓冲和标志位等，所以称之为数据存储器。一般在单片机内部设置一定容量（64~256B）的 RAM，并以高速 RAM 的形式集成在单片机内，以加快单片机的运行速度。同时，单片机内还把专用的寄存器和通用的寄存器放在同一片内 RAM 中统一编址，以利于运行速度的提高。对于某些应用系统，还可以外部扩展数据存储器。

(2) 程序存储器。单片机应用中常常将开发调试成功后的应用程序存储在程序存储器中，因为不再改变，所以这种存储器都采用只读存储器的形式。

3) 并行 I/O 口

单片机为了突出控制的功能，提供了数量多、功能强、使用灵活的并行 I/O 口。使用上不仅可灵活地选择输入或输出，还可作为系统总线或控制信号线，从而为扩展外部存储器和 I/O 接口提供了方便。

4) 串行 I/O 口

高速的 8 位单片机都可提供全双工串行 I/O 口，因而能和某些终端设备进行串行通信，或者和一些特殊功能的器件相连接。

5) 定时器/计数器

在实际的应用中，单片机往往需要精确地定时，或者需要对外部事件进行计数，因而在单片机内部设置了定时器/计数器电路，通过中断，实现定时/计数的自动处理。

2. 单片机的特点

单片机独特的结构决定了它具有如下特点：

(1) 优异的性能价格比。目前国内市场上,很多单片机的芯片只有几元人民币,加上少量外围元器件,就能构成一台功能相当丰富的智能化控制装置。

(2) 控制能力强。单片机指令丰富,能充分满足工业控制的各种要求。单片机对 I/O 实时控制功能特别强,CPU 可以对 I/O 端口直接进行操作,位操作能力更是其他计算机无法比拟的。

(3) 集成度高,体积小,可靠性高。单片机把 CPU、存储器及 I/O 接口集成在同一芯片内,各部件间的连接紧凑,体积小,数据在传送时受干扰的影响较小,且不易受环境条件的影响,所以单片机的可靠性非常高。

(4) 低功耗,易扩展。有些单片机产品内部集成有高速 I/O 口、ADC、PWM、WDT 等部件,并在低电压、低功耗、串行扩展总线、控制网络总线和开发方式(如系统编程 ISP)等方面都有了进一步的增强。可根据需要进行扩展,构成各种不同应用规模的计算机控制系统。

3. 单片机的应用

由于单片机功能的飞速发展,它的应用范围日益广泛,已远远超出了计算机科学的领域。小到玩具、信用卡,大到航天器、机器人,从数据采集、过程控制、模糊控制等智能系统到人类的日常生活,到处都离不开单片机。其主要的应用领域如下。

1) 在测控系统中的应用

单片机可以用于构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等。例如,工业上的锅炉控制、电机控制、车辆检测系统、水闸自动控制、数控机床及军事上的雷达、导弹系统等。

2) 在智能接口中的应用

计算机系统,特别是较大型的工业测控系统中采用单片机进行接口的控制管理,单片机与主机并行工作,可大大提高系统的运行速度。例如,在大型数据采集系统中,用单片机对模/数转换接口进行控制不仅可提高采集速度,还可以对数据进行预处理。如数字滤波、误差修正、线性化处理等。

3) 在智能化仪器仪表中的应用

单片机用于各种仪器仪表,一方面提高了仪器仪表的使用功能和精度,使仪器仪表智能化;另一方面还简化了仪器仪表的硬件结构,从而可以方便地完成仪器仪表产品的升级换代,如各种智能电气测量仪表、智能传感器等。

4) 在机电一体化中的应用

机电一体化产品是集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的各种机电产品。典型产品有机器人、数控机床、自动包装机、点钞机、医疗设备、打印机、传真机和复印机等。

5) 在人类生活中的应用

单片机由于其价格低廉、体积小,被广泛应用在人类生活的诸多场合,如洗衣机、电冰箱、空调器、电饭煲、视听音响设备、大屏幕显示系统、电子玩具、信用卡、楼宇防盗系统等。单片机将使人类的生活更加方便舒适,丰富多彩。

1.2 常用单片机介绍

单片机品种繁多，从应用情况看，功能最强者有日立公司的 H8/3048 系列的 16 位机，应用最广者当属 Intel 公司的 MCS - 51 系列 8 位机。在 Philips 等公司推出新一代 80C51 系列单片机后，各种型号的 80C51 层出不穷。ATMEL 公司的闪速存储器单片机 AT89C51 等更有后来者居上之势。

1.2.1 MCS - 51 系列单片机

MCS - 51 系列单片机是 Intel 公司在总结 MCS - 48 系列单片机的基础上于 20 世纪 80 年代初推出的高档 8 位单片机。MCS - 51 系列单片机的制成及发展与 HMOS 工艺的发展密切相关。HMOS 是高性能的 NMOS 工艺，而 CMOS 与 HMOS 工艺的结合则产生了 HCMOS 工艺的产品，如 80C51、80C31 等。这类产品既保持了 HMOS 高速和高封装密度的特点，又具有 CMOS 低功耗的优点。HCMOS 工艺的单片机具有掉电保护和冻结运行两种独特的处理方式。MCS - 51 系列的基本产品见表 1 - 1。

表 1 - 1 MCS - 51 系列的基本产品

类型 特征	8051	8051AH	8052AH	80C51BH	83C51FA	83C51FB	83C51GA	83C512JA	83C512JC	83C451	83C452
无 ROM 型	8031	8031 AH	8032 AH	8031 BH	80C51 FA	80C51 FB	80C51 GA	80C51 JA	80C152 JC	80C451	80C452
EPROM 型		8751 8751BH	8752 BH	87C51	87C51 FA	87C51 FB	87C51 GA				87C452P
ROM/KB	4	4	8	4	8	16	4	8	8	4	8
RAM/KB	128	128	256	128	256	256	256	128	256	128	256
8 位 I/O 口	4	4	4	4	4	4	4	5	5	7	5
16 位定时器/计数器	2	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2
可编程计数器 (PCA)					√	√					
异步串行口 (UART)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
串行扩展口 (SEP)							√				
多功能串行口 (GSC)								√	√		
DMA 通道								2	2		2
A/D 转换器							8				

表 1-1 (续)

类型 特征	8051	8051AH	8052AH	80C51BH	83C51FA	83C51FB	83C51GA	83C512JA	83C512JC	83C451	83C452
中断源/ 中断向量	6/5	6/5	8/6	6/5	14/7	14/7	8/7	19/11	19/11	6/5	9/8
掉电和 空闲方式				√	√	√	√	√	√	√	√

80C51 系列原系 Intel 公司 MCS-51 系列中一个采用 HCMOS 制造工艺的品种。自 Intel 公司将 MCS-51 系列单片机实行技术开放政策后,许多公司诸如 Philips、Dallas、Siemens、ATMEL、华邦和 LG 等都以 MCS-51 系列中的基础结构 8051 为内核,推出了具有优异性能的各具特色的单片机。这样,现在的 80C51 已不局限于 Intel 公司,而是把所有厂家以 8051 为内核的各种型号的 80C51 兼容型单片机统称为 80C51 系列。因此在本书中所提到的 80C51 不是专指 Intel 公司的 80C51,而是泛指 80C51 系列中的基础结构,它是以 8051 为内核通过不同资源配置而推出的一系列以 HCMOS 工艺制造生产的新一代的单片机系列。

1.2.2 含 51 内核的单片机

1. ATMEL 单片机

ATMEL 公司的 8 位单片机有 AT89C、AT90 两个系列,AT89C 系列是 8 位 Flash 单片机,与 8051 系列单片机相兼容,静态时钟模式;AT90 系列单片机是增强型 RISC 结构、全静态工作方式、内载在线可编程 Flash 的单片机,也叫 AVR 单片机。

2. SST89 系列单片机

SST89 系列单片机为 MCS-51 标准系列单片机,是目前所有的 51 单片机产品中应用编程(IAP)技术最强的单片机,其特点是速度快、功耗低、稳定性高,为客户的在线升级和加密技术提供强有力的技术保障。

3. Philips 单片机

Philips 公司的增强型 8 位 80C51 单片机系列提供了完整的产品类型,可满足各个应用领域的需求。其产品类型包括通用型、Flash 型、OTP 型和低成本经济型。在同一时钟频率下这类单片机的运行速度是 8051 的 6 倍,应用编程(IAP)和在线编程(ISP)允许用户实现简单的串行代码编程,使得程序存储器可用于非易失性数据的存储,配有模拟比较器、WDT、复位电路等。

4. SM 系列单片机

SM 系列单片机是 SYNCMOS 半导体公司推出的与 MCS-51 系列产品兼容的 8 位单片机。SM 系列产品克服了其他产品之不足,可替代 Philips、WINBOND、ATMEL、HYNIX (HYUNDAI/LG)、ISSI 及 SST 单片机,性价比极高。同以上厂家 51 系列单片机不同的是 SM 系列单片机不可解密,可节省更多的空间与成本,成品更可靠,内带 Watchdog Timer 电路。例如,SM8951A 替代 AT89C51,SM8952A 替代 AT89C52,SM8958A 替代 AT89C55 和 W78E58,SM89516A 替代 W78E516B 等。

复习思考题

1. 说明单片机主要应用在哪些领域?
2. MCS-51 系列单片机与 80C51 系列单片机的异同点是什么?
3. 8051 系列与 8751 系列的区别是 ()。
 - A. 内部数据存储单元数目的不同
 - B. 内部数据存储器的类型不同
 - C. 内部程序存储器的类型不同
 - D. 内部寄存器的数目不同
4. 在家用电器中使用单片机应属于微型计算机的 ()。
 - A. 辅助设计应用
 - B. 测量、控制应用
 - C. 数值计算应用
 - D. 数据处理应用

2 MCS-51 系列单片机的内部结构和工作原理

80C51 系列单片机包括许多类型，但其内部结构基本相同，都具有 8051 的基本结构和软件特征。而在实际应用中，可以根据具体需要选择不同的芯片。在本书中，仍以标准的 MCS-51 系列为代表，介绍单片机的内部结构和工作原理。

2.1 内部结构和引脚功能

2.1.1 内部结构

MCS-51 系列单片机的典型芯片有 8031、8051、8751 和 8951 单片机。8051 单片机内部有 4KB 的掩膜 ROM，8751 内部有 4KB 的 EPROM，8951 内部有 4KB 的 Flash ROM，8031 内部无 ROM。除此之外，它们的内部结构及引脚功能完全相同。下面以 8051 单片机为例，说明本系列单片机的内部结构。

图 2-1 所示是 8051 单片机的内部结构框图。

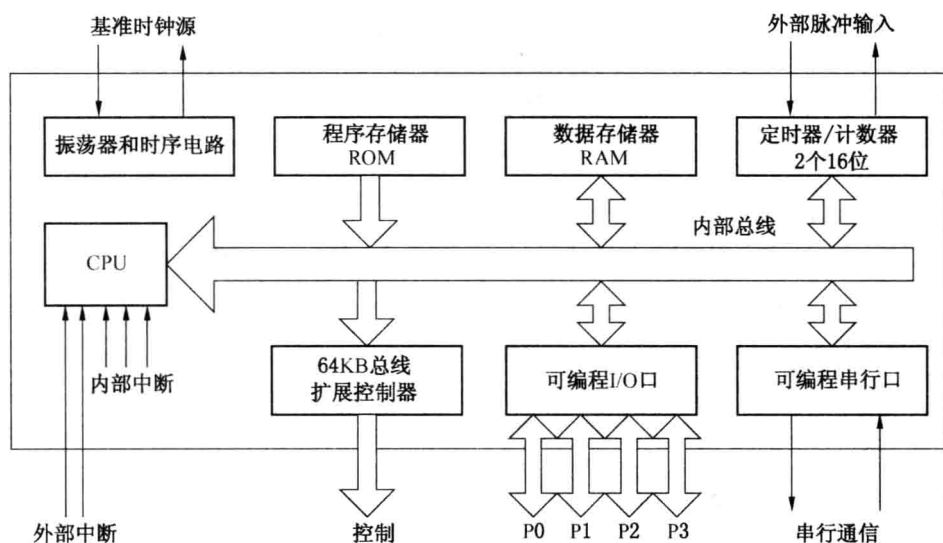


图 2-1 8051 单片机内部结构框图

从图 2-1 中可以看到，8051 芯片内部集成了 CPU、RAM、ROM、定时器/计数器、并行 I/O 接口、串行接口等基本功能部件，并由内部总线把这些部件连接在一起。

8051 单片机内部包含以下一些功能部件：

- (1) 一个 8 位微处理器 (CPU)。
- (2) 一个片内振荡器及时钟电路。
- (3) 4KB 片内程序存储器 (ROM)，用于存放程序代码、数据或表格。
- (4) 128B 片内数据存储器 (RAM)，用于存放随机数据、变量、中间结果等。

- (5) 可寻址 64KB 的片外 ROM 和片外 RAM 控制电路。
- (6) 21 个特殊功能寄存器 SFR（或称专用寄存器），用于控制内部各功能部件。
- (7) 4 个 8 位并行 I/O 口 P0 ~ P3，每个口都可以输入或输出。
- (8) 2 个 16 位定时器/计数器，都可以设置成定时器方式或者计数器方式。
- (9) 1 个可编程全双工串行口，用于实现单片机之间或单片机与 PC 机之间的串行通信。
- (10) 5 个中断源，2 个中断优先级的中断控制系统。
- (11) 1 个布尔处理机（位处理器），支持位变量的算术逻辑操作。

MCS-51 系列单片机一般分为 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，51 子系列是基本型，而 52 子系列属于增强型。52 子系列增强的功能有：

- (1) 片内 ROM 从 4KB 增加到 8KB。
- (2) 片内 RAM 从 128B 增加到 256B。
- (3) 定时/计数器从 2 个增加到 3 个。
- (4) 中断源从 5 个增加到 6 个。

除了上述几处增强的性能外，52 子系列和 51 子系列的引脚和指令系统完全兼容，在实际应用中可以直接用前者代替后者。

2.1.2 引脚功能

单片机的引脚不仅提供了单片机的工作条件，而且外部信号的输入和单片机输出信号都要通过引脚。只有对引脚有相应的了解，才能正确使用。MCS-51 系列单片机一般采用 40 引脚双列直插式封装（DIP）方式。图 2-2 给出了 MCS-51 系列单片机引脚配置图。

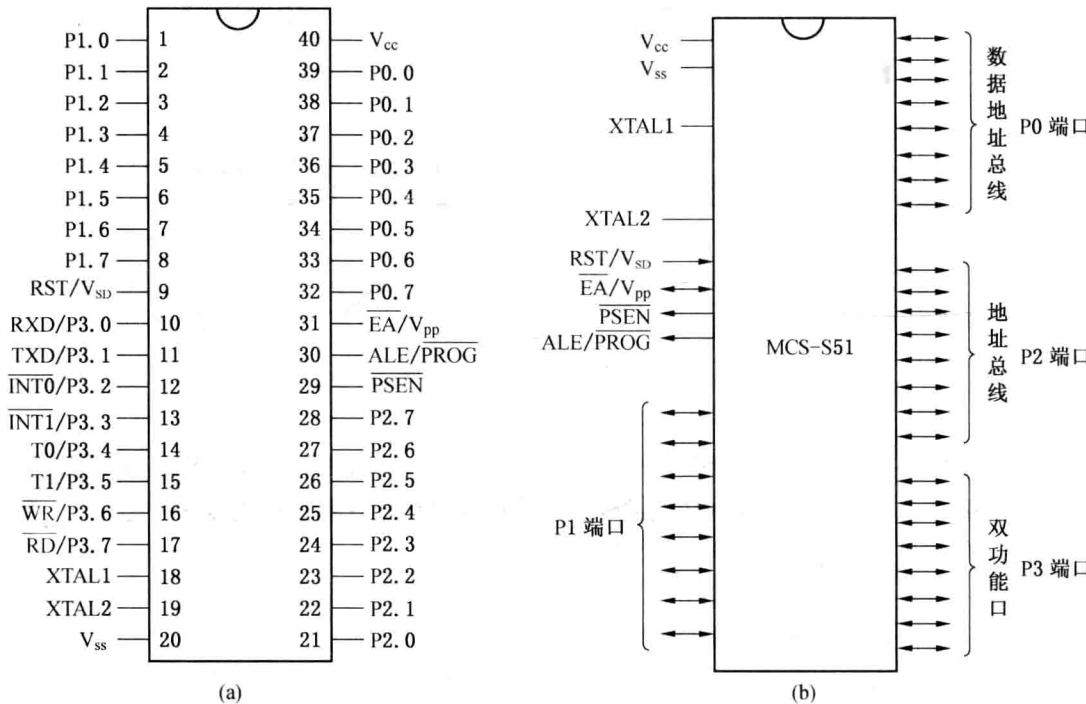


图 2-2 MCS-51 单片机引脚配置图