

21世纪电子信息与自动化系列规划教材

单片机原理及应用

主 编 李英顺
副主编 沈怀洋 李桂君
张冬梅 徐 毅



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以单片机实际应用为目的,理论与实际相结合,讲解知识点时结合了大量的实例。本书共分 10 章,以常用的 MCS-51 系列单片机为核心,主要包括单片机概述、内部结构及工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统、定时器/计数器、存储器扩展、并行 I/O 接口扩展、串行通信技术、测控接口等内容,并在此基础上介绍单片机应用系统的设计方法,以培养学生在工程应用中解决实际问题的能力。

本书编写力求简而精,突出重点和要点,既保持了知识的系统性,又注重以浅显易懂的方式切入主题透析难点,使学生花不多的时间就能对单片机的相关知识要素有一个较全面的了解,适应现代快节奏的学习需要。

本书可作为高等院校的电气工程及其自动化专业、自动化专业、测控技术及仪器专业、电子信息类及相近专业单片机原理及应用课程的教学用书,也可作为广大科技人员的参考用书。

本书配有电子教案,读者可以从中国水利水电出版社网站和万水书苑免费下载,网址为:
<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>和 <http://www.wsbookshow.com>。

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及应用 / 李英顺主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 3

(21 世纪电子信息与自动化系列规划教材)

ISBN 978-7-5084-7347-5

I. ①单… II. ①李… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 041828 号

策划编辑: 崔新勃 责任编辑: 张玉玲 加工编辑: 徐 雯 封面设计: 李 佳

书 名	21 世纪电子信息与自动化系列规划教材 单片机原理及应用
作 者	主 编 李英顺 副主编 沈怀洋 李桂君 张冬梅 徐 毅
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 15 印张 367 千字
版 次	2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	26.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

单片机原理及应用是一门技术性和实践性很强的专业课，其理论与实践是高等院校、特别是应用型本科学生不可缺少的知识和技能。教材是课程内容的依据，选择恰当的教材有助于学生更好地理解、掌握知识，进而把握整个课程知识体系。近年来，专业课教材如何满足课程的需要，符合应用型本科教育的要求和学生就业的实际需求，已成为进一步深化开展课程建设的一道难题。

但是，目前没有完全针对应用型本科学生的应用型培养模式的适用教材。我们根据高等院校应用型本科培养人才的指导思想，编写出了这本适合本层次学生的实用性教材。在本教材的编写过程中，我们研究了市场上国内外同类教材的长处和不足，取长补短，用新的方法处理了现有国内外教材未能解决或解决得不好的问题，体现出自己的特色。国内单片机课程教材对于实际设计原理讲解较多，而有些内容在其他课程中已经讲授，造成内容重复叙述，这种教材对于应用型本科学生并不适用，学生在对内容的理解掌握上感到比较困难。本教材在总体结构和内容上与其他教材都有所不同，删减不必要的烦琐内容，避免将宝贵的时间和精力浪费在不重要的、非本质的东西上，每章节以具体实例为落脚点，便于学生对本章内容的消化理解，提高学习效率，简单而精彩。与市场上同类教材相比，本教材目标明确，重点突出，内容编写有利于教师教学和学生自学。

本教材以 MCS-51 系列单片机和汇编语言等经典内容为主，注重归纳共性和总结规律，结构以人的认识规律为导向，较好地处理了经典内容与现代内容的关系，针对单片机课程教学实践性强的特点，从应用型本科学生教育的要求出发，充分体现本课程的“实践技术性”教学特色。从应用的角度出发，由浅入深、突出重点来编排单片机教学内容，打破传统的单一教学模式，章节编排更趋于合理，通用性、系统性和实用性更好。

教材内容基本上是为应用型本科学生的应用型培养模式而设计。本书以常用的 MCS-51 系列单片机为核心，共分 10 章，主要包括单片机概述、内部结构及工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统、定时器/计数器、存储器扩展、并行 I/O 接口扩展、串行通信技术、测控接口等内容，并在此基础上介绍单片机应用系统的设计方法，以培养学生在工程应用中解决实际问题的能力。

本教材编写力求简而精，突出重点和要点，既保持了知识的系统性，又注重以浅显易懂的方式切入主题透析难点，使学生花不多的时间就能对单片机的相关知识要素有一个较全面的了解，适应现代快节奏的学习需要。

全书由李英顺担任主编，沈怀洋、李桂君、张冬梅、徐毅担任副主编。本书是集体劳动成果，是作者多年来从事教学科研的经验积累。在本书的编写过程中，得到了沈阳工业大学工程学院领导的关心和支持，更得到了中国水利水电出版社的鼓励和帮助，本书才得以顺利出版。

感谢读者阅读本书，由于时间仓促及作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月

目 录

前言

第1章 MCS-51 系列单片机基础.....	1
1.1 单片机的发展历程.....	1
1.2 单片机的应用	2
1.3 单片机的发展趋势.....	3
1.4 单片机的分类	3
1.5 MCS-51 系列单片机	4
本章总结	6
习题.....	6
第2章 MCS-51 单片机的结构和工作原理	7
2.1 单片机的内部结构.....	7
2.2 单片机的存储器结构	11
2.3 单片机引脚功能.....	16
2.4 时钟电路与时序.....	19
2.4.1 时钟信号的产生.....	19
2.4.2 时钟周期、机器周期与指令周期.....	20
2.4.3 单片机指令时序.....	20
2.5 复位及复位电路.....	22
本章总结	23
习题.....	24
第3章 MCS-51 单片机指令系统.....	25
3.1 单片机指令系统概述.....	25
3.1.1 指令与指令系统的概念	25
3.1.2 指令格式	26
3.1.3 指令系统说明.....	27
3.2 寻址方式	27
3.2.1 寄存器寻址	27
3.2.2 直接寻址	27
3.2.3 寄存器间接寻址.....	28
3.2.4 立即寻址	28
3.2.5 变址寻址	29
3.2.6 相对寻址指令.....	29
3.2.7 位寻址	30
3.3 数据传送指令	30
3.3.1 片内数据传送指令.....	30

3.3.2 片外 RAM 数据传送指令.....	34
3.3.3 片外 ROM 数据传送指令.....	34
3.4 算术运算和逻辑运算指令.....	35
3.4.1 算术运算指令	35
3.4.2 逻辑运算指令	39
3.5 控制转移类指令	42
3.5.1 无条件转移指令	42
3.5.2 条件转移指令	43
3.5.3 子程序调用及返回指令.....	45
3.5.4 空操作指令	47
3.6 位操作指令	47
3.6.1 位传送指令	47
3.6.2 位置 1、位清 0 指令.....	48
3.6.3 位逻辑运算指令	48
3.6.4 位控制转移指令	48
本章总结	49
习题	50
第4章 汇编语言程序设计.....	53
4.1 汇编语言程序设计概述.....	53
4.1.1 程序设计语言	53
4.1.2 汇编语言程序设计步骤.....	54
4.1.3 汇编语言格式与伪指令.....	54
4.2 顺序程序设计	57
4.2.1 顺序程序设计方法	57
4.2.2 程序举例	57
4.3 分支程序设计	58
4.3.1 分支程序设计方法	58
4.3.2 程序举例	58
4.4 循环程序设计	59
4.4.1 循环程序设计方法	59
4.4.2 程序举例	60
4.5 子程序的设计	63
4.5.1 子程序设计方法	63
4.5.2 程序举例	64

4.6 常用程序设计	65	6.5.1 LED 显示器与接口	128
4.6.1 查表程序设计	65	6.5.2 液晶显示技术	134
4.6.2 运算程序设计	67	6.6 功率驱动接口技术	136
4.6.3 码制转换程序设计	68	6.6.1 光电耦合器输出接口电路	136
本章总结	69	6.6.2 继电器输出接口电路	137
习题	69	6.6.3 晶闸管接口电路	138
第 5 章 MCS-51 单片机定时系统与中断系统	71	本章总结	140
5.1 中断系统及应用	71	习题	140
5.1.1 中断的概念	71	第 7 章 MCS-51 单片机测控接口	142
5.1.2 中断源	71	7.1 D/A 转换器及应用	142
5.1.3 中断系统控制	72	7.1.1 D/A 转换器概述	143
5.1.4 中断处理过程	74	7.1.2 DAC0832 芯片及与单片机接口	144
5.2 定时器/计数器的结构及应用	77	7.2 A/D 转换器及应用	151
5.2.1 定时器/计数器的结构及功能	78	7.2.1 A/D 转换器概述	151
5.2.2 定时器/计数器的控制	79	7.2.2 ADC0809 芯片及其与单片机的 接口	152
5.2.3 定时器/计数器的四种工作方式	81	7.3 开关量接口	156
5.3 MCS-51 单片机外部中断源的扩展	83	7.3.1 开关量输入接口	156
5.4 中断系统的应用	85	7.3.2 开关量输出接口	157
本章总结	87	本章总结	159
习题	88	习题	159
第 6 章 MCS-51 单片机的系统扩展与接口技术	90	第 8 章 MCS-51 单片机串行通信	162
6.1 概述	90	8.1 串行通信基础	162
6.1.1 外部系统总线的构成	90	8.1.1 串行通信的基本原理	163
6.1.2 地址空间的分配	92	8.1.2 串行通信的数据通信形式	166
6.1.3 I/O 接口电路	93	8.1.3 串行通信的传送速率	167
6.2 外部存储器的扩展	94	8.1.4 串行通信的错误校验	167
6.2.1 外部程序存储器的扩展	95	8.1.5 串行通信的接口标准	168
6.2.2 外部数据存储器的扩展	103	8.2 MCS-51 单片机串行接口	173
6.3 并行 I/O 口扩展	106	8.2.1 MCS-51 单片机串行接口的结构	173
6.3.1 简单 I/O 口扩展电路	106	8.2.2 串行接口的控制寄存器	174
6.3.2 利用可编程并行接口芯片 8255A 扩展 I/O 口	109	8.2.3 串行接口的工作方式	176
6.3.3 利用可编程接口芯片 8155 扩展 I/O 口	116	8.3 单片机串行接口应用	182
6.4 键盘接口	121	本章总结	186
6.4.1 键盘的工作原理	121	习题	186
6.4.2 独立式键盘	122	第 9 章 MCS-51 单片机应用系统的可靠性及抗 干扰设计	188
6.4.3 矩阵式键盘	124	9.1 干扰的来源及影响	188
6.5 显示器接口	127	9.1.1 干扰的来源	188

9.1.2 干扰产生的后果.....	188	10.2.3 单片机应用系统硬件、软件的设计原则.....	209
9.2 单片机系统中的硬件抗干扰设计.....	189	10.2.4 硬件设计.....	210
9.2.1 干扰的耦合方式.....	189	10.2.5 软件设计.....	211
9.2.2 常用硬件抗干扰技术.....	190	10.2.6 资源分配.....	212
9.3 软件抗干扰措施.....	192	10.3 单片机应用系统的开发.....	213
9.3.1 模拟输入信号抗干扰.....	192	10.3.1 单片机应用系统的仿真.....	213
9.3.2 克服系统“死机”的现象.....	192	10.3.2 单片机应用系统的制版.....	213
9.3.3 系统复位特征.....	193	10.3.3 单片机应用系统的调试.....	213
9.4 “看门狗”技术和掉电保护.....	194	10.3.4 单片机应用系统的编程、下载与运行.....	214
9.4.1 “看门狗”技术.....	194	10.4 单片机在温度数据采集系统中的应用.....	214
9.4.2 掉电保护电路.....	200	10.4.1 系统硬件设计.....	214
习题.....	202	10.4.2 系统软件设计.....	218
第 10 章 单片机应用系统设计与开发.....	204	本章总结.....	224
10.1 单片机应用系统结构与设计内容.....	204	习题.....	224
10.1.1 单片机应用系统的一般硬件组成.....	204	附录 A MCS-51 系列单片机指令系统表.....	225
10.1.2 单片机应用系统的设计内容.....	207	附录 B ASCII（美国信息交换标准码）表.....	230
10.2 单片机应用系统的一般设计方法.....	207	参考文献.....	233
10.2.1 确定系统的功能与性能.....	207		
10.2.2 确定系统基本结构.....	208		

第1章 MCS-51 系列单片机基础

本章学习任务：

- 了解单片机的分类和发展历史。
- 了解单片机的特点及应用。
- 了解 MCS-51 系列单片机的种类和特点。

在一块硅片上集成了中央处理器（CPU）、存储器（ROM、RAM 或 EPROM）、I/O 接口、定时器/计数器、中断控制、系统时钟及总线等，这样的一块芯片具有一台计算机的功能，因而被称为单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）或单片微控制器（Microcontroller Unit），简称为单片机（SCM 或 MCU）。单片机只需要与适当的软件及外部设备相结合，便可成为一个单片机控制系统。

1.1 单片机的发展历程

从 1946 年世界上公认的第一台电子数字计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer)在美国宾西法尼亚大学诞生起，在计算机的发展过程中，它主要是朝着大型和快速发展。计算机功能的大致演变过程为：从数值计算的人力替代到近代计算机的海量数值计算，再到过程的模拟仿真、分析和决策。在此期间，随着大规模集成电路技术的不断发展和人们需求的多样化，微型计算机异军突起，从而导致计算机向两个方向发展：一个是向高速度、高性能的通用计算机方向发展；另一个是向稳定可靠、小而廉价的嵌入式计算机或专用计算机方向发展。

计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术，不必兼顾嵌入式应用的要求，通用微处理器迅速从 286、386、486、586 发展到奔腾系列，操作系统则迅速升级到高速海量的数据文件处理水平，使通用计算机进入了一个新的阶段。嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的道路，这条独立发展的道路就是单片化道路，将计算机做在一块芯片上，从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

单片机是最典型的嵌入系统，起源于微型计算机时代。单片机的出现实现了最底层的嵌入式系统应用，带有明显的电子系统设计模式的特点。此时大多数单片机应用开发的人员都是对象系统领域中的电子工程师，他们将单片机以智能化器件的身份用于电子系统，脱离了计算机专业领域，没有代入“嵌入式系统”概念，但从学科的角度应该把它统一为“嵌入式系统”。单片机的产生与应用将发展计算机技术人为扩展到传统的电子系统领域，使计算机成为人类社会全面智能化的有力工具。

单片机的发展大致经历了 4 个阶段：



第一阶段（1970～1973 年），为 4 位单片机阶段；

第二阶段（1974～1977 年），为低中档 8 位单片机阶段；

第三阶段（1978～1982 年），为高档 8 位单片机阶段；

第四阶段（1983 年至今），为 8 位单片机巩固发展阶段及 16 位、32 位单片机推出阶段。

1.2 单片机的应用

1. 单片机的主要特点

（1）小巧灵活、成本低、易于产品化。它能方便地组装成各种智能式测控设备及各种智能仪器仪表。

（2）可靠性好，适应温度范围宽。单片机芯片本身是按工业测控环境要求设计的，能适应各种恶劣的环境，这是其他机种无法比拟的。

（3）易扩展，很容易构成各种规模的应用系统，控制能力强。单片机的逻辑控制能力很强，指令系统有各种控制功能专用指令。

（4）可以很方便地实现多机和分布式控制。

2. 单片机的应用

目前单片机渗透到我们生活的各个领域，几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。

（1）智能仪器仪表上的应用。

单片机广泛应用于仪器仪表中，结合不同类型的传感器，可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化，且功能比起采用电子或数字电路更加强大。

（2）工业控制中的应用。

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如流水线的智能化管理，电梯智能化控制、各种报警系统，与计算机联网构成二级控制系统等。

（3）家用电器中的应用。

现在的家用电器基本上都采用了单片机控制，从电饭煲、洗衣机、空调机、彩电、其他音响视频器材，再到电子称量设备，单片机的控制方式五花八门。

（4）计算机网络和通信领域中的应用。

现代的单片机普遍具备通信接口，可以很方便地与计算机进行数据通信，为其在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制，从手机、电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信，再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。

（5）医用设备领域中的应用。

单片机在医用设备中的用途也相当广泛，例如医用呼叫机，各种分析仪，监护仪，超声诊断设备及病床呼叫系统等。

此外，单片机在工商、金融、科研、教育、国防航空航天等领域也都有着十分广泛的用途。



1.3 单片机的发展趋势

1. 制作工艺 CMOS 化（全盘 CMOS）

出于对低功耗的普遍要求，目前各大厂商推出的各类单片机产品都采用了 CHMOS 化工艺。

80C51 系列单片机采用两种半导体工艺生产，一种是 HMOS 工艺，即高密度短沟道 MOS 工艺，另外一种 CHMOS 工艺，即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合，除保持了 HMOS 的高速度和高密度的特点之外，还具有 CMOS 低功耗的特点。例如 8051 的功耗为 630mW，而 80C51 的功耗只有 120mW。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上低功耗是非常有意义的。因此，在这些产品中必须使用 CHMOS 的单片机芯片。

2. 尽量实现单片化

由于工艺和其他方面的原因，很多功能部件并未集成在单片机芯片内部，用户通常的做法是根据系统设计的需要在外围扩展功能芯片。随着集成电路技术的快速发展，很多单片机生产厂家充分考虑到用户的需求，将一些常用的功能部件，如 A/D、D/A、PWM 以及 LCD 驱动器等集成到芯片内部，尽量做到单片化；同时，用户可以提出要求，由厂家量身定做（SOC 设计）或自行设计。

3. 共性与个性共存

如今的市场上为我们提供了种类繁多的单片机产品、从宏观上讲，有 RISC 和 CISC 两大类类型；从微观上说，有 Intel、Motorola、Philips、Microchip、EMC、NEC 等公司的相关产品。在未来相当长的时间内，都将维持这种群雄并起、共性与个性共存的局面。

1.4 单片机的分类

20 世纪 80 年代以来，单片机有了新的发展，各半导体器件厂商也纷纷推出自己的产品系列。迄今为止，市销单片机产品已达 60 多个系列，600 多个品种。按照 CPU 对数据处理位数来分，单片机通常可以分为以下四类。

1. 4 位单片机

4 位单片机的控制功能较弱，CPU 一次只能处理 4 位二进制数。这类单片机常用于计算器、各种形态的智能单元以及作为家用电器中的控制器。

2. 8 位单片机

8 位单片机的控制功能较强，品种最为齐全。和 4 位单片机相比，它不仅具有较大的存储容量和寻址范围，而且中断源、并行 I/O 接口和定时器/计数器个数都有了不同程度的增加，并集成有全双工串行通信接口。在指令系统方面，普遍增设了乘除指令和比较指令。特别是 8 位机中的高性能增强型单片机，除片内增加了 A/D 和 D/A 转换器以外，还集成有定时器捕捉/比较寄存器、监视定时器、总线控制部件和晶体振荡电路等。这类单片机由于其片内资源丰富且功能强大，主要在工业控制、智能仪表、家用电器和办公自动化系统中应用。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Philips 公司的 80C51 系列机（同 MCS-51 兼容）、Motorola 公司



的 M6805 系列机、Microchip 公司的 PIC 系列机和 Atmel 公司的 AT89 系列机（同 MCS-51 兼容）等。

3. 16 位单片机

16 位单片机是在 1983 年以后发展起来的。这类单片机的特点是：CPU 是 16 位的，运算速度普遍高于 8 位机，有的单片机寻址能力高达 1MB，片内含有 A/D 和 D/A 转换电路，支持高级语言。这类单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器以及作为计算机外部设备的控制器，典型产品有 Intel 公司的 MCS-96/98 系列机、Motorola 公司的 M68HC16 系列机、NS 公司的 HPC×××× 系列机等。

4. 32 位单片机

32 位单片机的字长为 32 位，是单片机的顶级产品，具有极高的运算速度。近年来，随着家用电子系统的新发展，32 位单片机的市场前景看好。这类单片机的代表产品有 Motorola 公司的 M68300 系列机、Inmos 公司的 IM-ST414 和日立公司的 SH 系列机等。

1.5 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号，例如 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。MCS-51 系列单片机既包括三个基本型 8031、8051、8751，也包括对应的低功耗型 80C31、80C51、87C51，因而 MCS-51 系列特指 Intel 公司的这几种型号的单片机。

20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司以专利转让的形式把 8051 内核技术转让给了许多半导体芯片厂家，如 Atmel、Philips、Analog Devices、Dallas 等公司。这些厂家生产的芯片是 MCS-51 指令系统兼容的单片机。这些兼容机与 8051 的系统结构（主要是指令系统）相同，采用 CMOS 工艺，因而常用 80C51 系列来称呼所有具有 8051 指令系统的单片机。它们对 8051 一般都作了一些扩充，更有特点，其功能和市场竞争力更强，不应该把它们直接称为 MCS-51 系列单片机，因为 MCS 只是 Intel 公司专用的单片机系列符号。

在 MCS-51 系列里，所有产品都是以 8051 为核心电路发展起来的，它们都具有 8051 的基本结构和软件特征。从制造工艺来看，MCS-51 系列中的器件基本上可分为 HMOS 和 CMOS 两类。MCS-51 系列芯片及制造工艺如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-51 系列芯片及制造工艺

ROM 型	无 ROM 型	EPROM 型	片内 ROM (KB)	片内 RAM (B)	16 位定时器	制造工艺
8051	8031	8751	4	128	2	HMOS
8051AH	8031AH	8751H	4	128	2	HMOS
8052AH	8032AH	8752BH	8	256	3	HMOS
80C51BH	80C31BH	87C51	4	128	2	CHMOS

MCS-51 系列及 80C51 系列单片机有多种品种。它们的指令系统相互兼容，主要在内部硬件结构上有些区别。目前使用的 MCS-51 系列单片机及其兼容产品通常分为以下几类。



1. 基本型

典型产品为 8031、8051、8751。

8031 内部包括 1 个 8 位 CPU、128B RAM, 21 个特殊功能寄存器 (SFR)、4 个 8 位并行 I/O 口、1 个全双工串行口, 2 个 16 位定时器/计数器, 但片内无程序存储器, 需外扩 EPROM 芯片。

8051 在 8031 的基础上片内又集成有 4KB ROM, 作为程序存储器, 是 1 个程序不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是公司制作芯片时, 代为用户烧制的, 出厂的 8051 都是含有特殊用途的单片机。所以 8051 应用的程序已定, 且多用于批量大的单片机产品中。

8751 在 8031 基础上增加了 4KB 的 EPROM, 它构成了 1 个程序小于 4KB 的小系统, 用户可以将程序固化在 EPROM 中, 可以反复修改程序。但其价格相对于 8031 较贵。8031 外扩 1 片 4KB 的 EPROM 就相当于 8751。

2. 增强型

Intel 公司在 MCS-51 系列三种基本型产品的基础上, 又推出了增强型系列产品, 即 52 子系列, 典型产品为 8032、8052、8752。它们的内部 RAM 增加到 256B, 8052、8752 的内部程序存储器扩展到 8KB, 16 位定时器/计数器增至 3 个, 6 个中断源, 串行口通信速率提高 5 倍。

3. 低功耗型

代表性产品为 80C31、87C51、80C51, 均采用 CMOS 工艺, 功耗很低。例如, 8051 的功耗为 630mW, 而 80C51 的功耗只有 120mW, 它们用于低功耗的便携式产品或航天技术中。此类单片机有 2 种掉电工作方式: 一种掉电工作方式是 CPU 停止工作, 其他部分仍继续工作; 另一种掉电工作方式是除片内 RAM 继续保持数据外, 其他部分都停止工作。此类单片机的功耗低, 非常适于电池供电或其他要求低功耗的场合。

4. 专用型

如 Intel 公司的 8044、8744, 它们在 8051 的基础上, 又增加一个串行接口部件, 主要用于利用串行口进行通信的总线分布式多机测控系统。

再如美国 Cypress 公司最近推出的 EZU SR-2100 单片机, 它在 8051 单片机内核的基础上, 又增加了 USB 接口电路, 可专门用于 USB 串行接口通信。

5. 超 8 位型

超 8 位型单片机是指在 8052 的基础上, 采用 CHMOS 工艺, 并将 MCS-96 系列 (16 位单片机) 中的一些 I/O 部件如高速输入/输出 (HSI/HSO)、A/D 转换器、脉冲宽度调制 (PWM)、看门狗定时器 (WDT) 等移植进来构成的新一代 MCS-51 产品, 功能介于 MCS-51 和 MCS-96 之间。Philips 公司生产的 80C552、87C552、83C552 系列单片机即为此类产品。目前此类单片机在我国已得到了较为广泛的使用。

6. 片内闪烁存储器型

随着半导体存储器制造技术和大规模集成电路制造技术的发展, 片内带有闪烁 (Flash) 存储器的单片机在我国已得到广泛应用, 例如 Atmel 公司推出的 AT89C51 单片机。

在众多的 MCS-51 单片机及各种增强型、扩展型等衍生品种的兼容机中, Philips 公司生产的 80C552、87C552、83C552 系列单片机和 Atmel 公司的 AT89C51 单片机在我国使用较多。尤其是 AT89C51 单片机, 它是 1 个低功耗、高性能的含有 4KB 闪烁存储器的 8 位 CMOS 单片机, 时钟频率高达 20MHz, 与 MCS-51 的指令系统和引脚完全兼容。闪烁存储器允许在线



(+5V) 电擦除、电写入或使用编程器对其重复编程。此外, 89C51 还支持由软件选择的 2 种掉电工作方式, 非常适于电池供电或其他要求低功耗的场合。由于片内带 EPROM 的 87C51 价格偏高, 而 89C51 芯片内的 4KB 闪烁存储器可在线编程或使用编程器重复编程, 且价格较低, 因此 89C51 受到了应用设计者的欢迎。

尽管 MCS-51 系列以及 80C51 系列单片机有多种类型, 但是掌握好 MCS-51 的基本型 (8031、8051、8751 或 80C31、80C51、87C51) 是十分重要的, 因为它们是具有 MCS-51 内核的各种型号单片机的基础, 也是各种增强型、扩展型等衍生品种的核心。

本书常用 MCS-51 或 8031 这两个名称, MCS-51 是包括了 8031、8051 和 8751 三个基本产品的总称, 后者仅指特定的 8031。

本章总结

单片机的主要特点是集成度高、控制功能强、可靠性高、低功耗、低电压、外部总线丰富、功能扩展性强、体积小、性价比高。单片机按数据处理位数可分为 4 位机、8 位机、16 位机和 32 位机, 按适用范围可分为通用型和专用型。

Intel 公司 MCS-51 系列单片机是我国目前应用最为广泛的单片机。8051、80C51 是整个 MCS-51 系列单片机的核心, 该系列其他型号的单片机都是在这一内核的基础上发展起来的。

习 题

- 1-1 单片机与普通计算机的不同之处是什么?
- 1-2 单片机的发展大致分为哪几个阶段?
- 1-3 单片机根据其基本操作处理的位数可分为哪几种类型, 分别应用于哪些领域?
- 1-4 MCS-51 系列单片机的基本型芯片分别为哪几种? 它们的差别是什么?
- 1-5 MCS-51 系列单片机与 80C51 系列单片机的异同点是什么?
- 1-6 单片机主要应用在哪些领域?

第 2 章 MCS-51 单片机的结构和工作原理

本章学习任务：

- 掌握单片机内部结构。
- 掌握单片机引脚功能。
- 掌握单片机的存储器空间分配。
- 掌握单片机的复位电路、时钟电路及指令时序。

2.1 单片机的内部结构

8051 单片机内部包含了作为微型计算机所必需的基本功能部件，各功能部件相互独立集成在同一块芯片上。8051 单片机内部结构如图 2-1 所示，包含中央处理器 CPU、存储器、定时器/计数器、I/O 接口器、中断控制系统等。

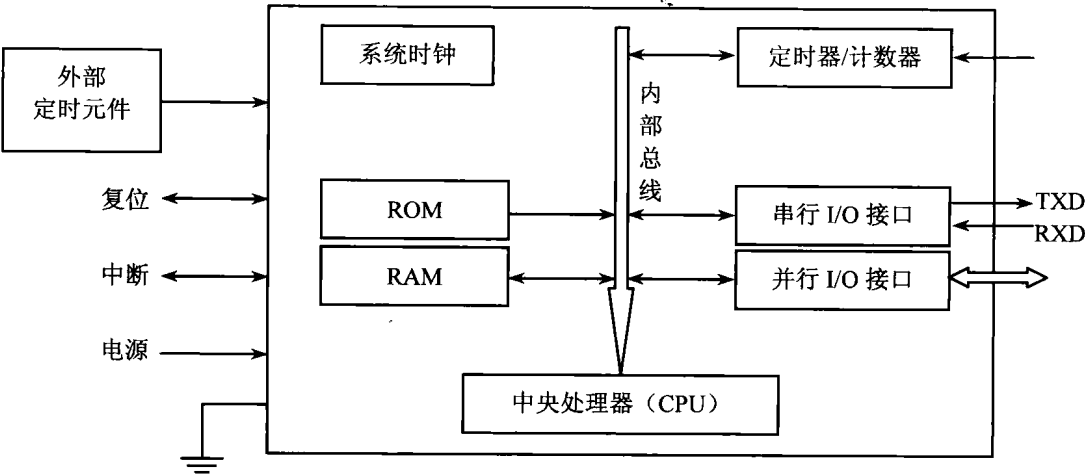


图 2-1 单片机内部结构

1. 存储器

在单片机内部，ROM 和 RAM 存储器是分开制造的。通常，ROM 存储器容量较大，RAM 存储器的容量较小。

(1) ROM (Read Only Memory, 只读存储器)。ROM 一般为 1KB~32KB，用于存放应用程序，故又称为程序存储器。正常工作时，只能读不能写，停电后再加电期间信息不丢失。为了提高系统的可靠性，应用程序通常固化在片内 ROM 中。根据片内 ROM 的结构，单片机又可分为无 ROM 型、ROM 型和可擦除可编程只读存储器 EPROM (Electrically Programmable Read-Only Memory) 型三类。



(2) RAM (Random Access Memory, 随机存取存储器)。通常, 单片机内 RAM 容量为 64B~256B, 最多可达到 48KB。RAM 主要用来存放实时数据或作为通用寄存器、数据堆栈和数据缓冲器。正常工作时, 既能读又能写, 停电后再加电期间信息会丢失。 16×8 RAM 的内部结构如图 2-2 所示。

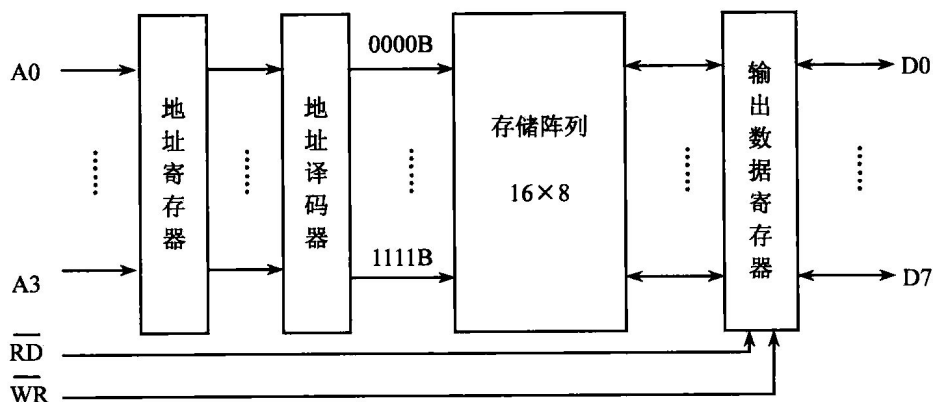


图 2-2 16×8 RAM 的内部结构

2. 中央处理器 (CPU)

中央处理器的内部结构如图 2-3 所示。

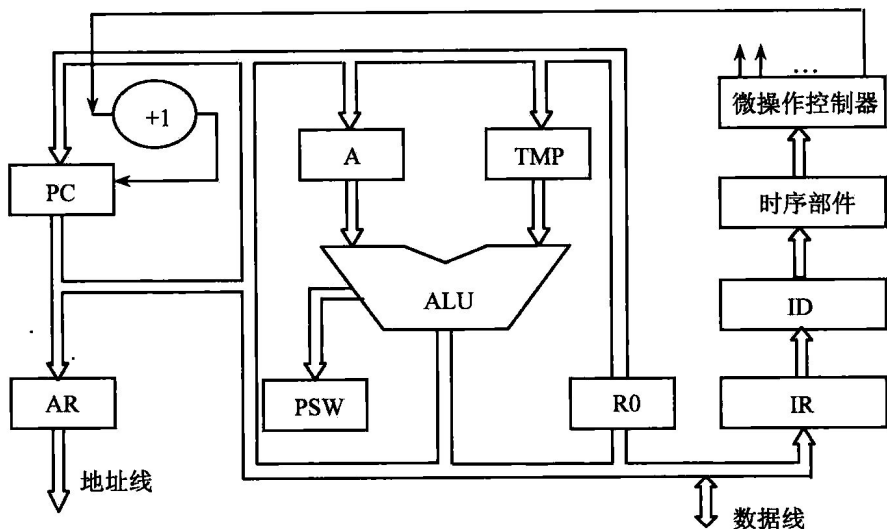


图 2-3 中央处理器的内部结构

8051 内部 CPU 由运算器 (ALU)、控制器 (定时控制部件等) 和专用寄存器三部分构成。

(1) 算术逻辑部件 ALU (Arithmetic Logic Unit)。

8051 的 ALU 是一个运算器, 进行加、减、乘、除四则运算, 也进行与、或、非、异或等逻辑运算, 还具有数据传送、移位、判断和程序转移等功能。

(2) 定时控制部件。

定时控制部件起着控制器的作用, 由定时控制逻辑、指令寄存器 IR 和振荡器 OSC 等电路



组成。指令寄存器 IR 用于存放从程序存储器中取出的指令码，定时控制逻辑用于对 IR 中的指令码译码，并在 OSC 配合下产生指令的时序脉冲，以执行相应的指令。

OSC (Oscillator) 是控制器的核心，能为控制器提供时钟脉冲。时钟频率越高，单片机控制器的控制节拍就越快，运算速度也就越快，其频率是单片机的重要性能指标之一。不同型号的单片机所需要的时钟频率不同。

定时与控制逻辑由时序部件（时钟系统和脉冲分配器构成）和微操作控制部件组成；发送控制信号，协调各部件工作。

(3) 专用寄存器组。

1) 累加器 A (Accumulator): 累加器 A 又记作 ACC，是一个最常用的 8 位特殊功能寄存器，它既可用于存放操作数，也可用于存放运算的中间结果。在进行算术或逻辑运算时，通常两个操作数中的一个放在 A 中，运算完成后，运算结果也存放在 A 中。指令系统中的 A 表示累加器，ACC 表示累加器的符号地址。

2) 通用寄存器 B (General Purpose Register): 是一个 8 位的特殊功能寄存器，主要用于乘法和除法运算。乘法运算时，A 中存放被乘数，B 中存放乘数，完成乘法操作后，乘积的高 8 位存于 B 中，低 8 位存于 A 中；除法运算时，A 中存放被除数，B 中存放除数，完成除法操作后，商存于 A 中，余数存于 B 中。在其他指令中，B 可作为一般的寄存器使用，用于暂存数据。

3) 程序状态字寄存器 PSW (Program Status Word): PSW 是一个 8 位标志寄存器，用来存放指令执行后的有关状态，如下所示。

PSW7	PSW6	PSW5	PSW4	PSW3	PSW2	PSW1	PSW0
Cy	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

① 进位标志位 Cy (Carry): 用于表示加减运算过程中最高位 A7 (累加器最高位) 有无进位或借位。在加法运算时，若累加器最高位 A7 有进位，则 Cy=1；否则 Cy=0。在减法运算时，若 A7 有了借位，则 Cy=1；否则 Cy=0，此外，CPU 在进行移位操作时也会影响这个标志位。

② 辅助进位标志位 AC (Auxiliary Carry): 用于表示加减运算时低 4 位 (即 A3) 有无向高 4 位 (即 A4) 进位或借位。若 AC=0，则表示加减过程中 A3 没有向 A4 进位或借位；若 AC=1，则表示加减过程中 A3 向 A4 有进位或借位。

③ 用户标志位 F0 (Flag zero): F0 标志位的状态通常不是机器在执行指令过程中自动形成的，而是由用户根据程序执行的需要通过传送指令确定。该标志位状态一经设定，便由用户程序直接检测，以决定用户程序的流向。

④ 寄存器选择位 RS1 和 RS0: 8051 共有 8 个 8 位工作寄存器，分别命名为 R0~R7。它在 RAM 中的实际物理地址可以根据需要选定。RS1 和 RS0 就是为了这个目的提供给用户使用的，用户通过改变 RS1 和 RS0 的状态可以方便地决定 R0~R7 的实际物理地址，工作寄存器 R0~R7 的物理地址和 RS1、RS0 之间的关系如表 2-1 所示。

采用 8051 或 8031 做成的单片机控制系统，开机后的 RS1 和 RS0 总是为零状态，故 R0~R7 的物理地址为 00H~07H，即 R0 的地址为 00H，R1 的地址为 01H，……，R7 的地址为 07H。



但若机器执行如下指令：

MOV PSW, #08H;

即 RS1、RS0 为 01B，则 R0~R7 的物理地址变为 08H~0FH。

表 2-1 RS1、RS0 对工作寄存器的选择

RS1、RS0	R0~R7 的组号	R0~R7 的物理地址
00	0	00H~07H
01	1	08H~0FH
10	2	10H~17H
11	3	18H~1FH

⑤ 溢出标志位 OV (Overflow)：可以指示运算过程中是否发生了溢出，在机器执行指令过程中自动形成。若机器在执行运算指令过程中，累加器 A 中运算结果超出了 8 位数能表示的范围，则 OV 标志自动置 1；否则 OV=0。因此，人们根据执行运算指令后的 OV 状态就可判断累加器 A 中的结果是否正确。

⑥ 奇偶标志位 P (Parity)：PSW1 为无定义位，用户也可不使用。PSW0 为奇偶标志位，P 用于指示运算结果中“1”的个数的奇偶性。若 P=1，则累加器 A 中“1”的个数为奇数；若 P=0，则累加器 A 中的“1”的个数为偶数。

例 2-1 RS1RS0=00B, F0=0, A=85H, R0=20H, (20H)=AFH, 执行如下指令, PSW 中各位的状态是什么?

ADD A, @R0

1000 0101B

+ 1010 1111B

10011 0100B

在加法过程中，低 4 位向高 4 位有进位，所以 AC=1；最高位有进位，所以最高位进位 CP=1，即 Cy=1；次高位上无进位，所以次高位进位 CS=0；运算结果中 1 的个数为 3，是奇数，所以 P=1；OV 状态由如下关系确定：

$$OV=CP \oplus CS=1 \oplus 0=1$$

所以 PSW=11000101B=C5H。

4) 程序计数器 PC (Program Counter)：程序计数器 PC 是一个二进制 16 位的程序地址寄存器。当 CPU 顺序执行指令时，首先根据 PC 所指地址，取出指令，然后 PC 的内容自动加 1，指向下一条指令的地址。只有在执行转移、子程序调用指令及中断响应时例外，那时 PC 的内容不再加 1，而是被自动置入新的地址。单片机上电复位或按键复位时，PC=0000H，CPU 就从 ROM 区 0000H 处开始执行程序。

5) 堆栈指针 SP (Stack Pointer)：SP 是一个 8 位寄存器，能自动加 1 或减 1，专门用来存放堆栈的栈顶地址。堆栈是一种能按“先进后出”或“后进先出”规律存取数据的内部 RAM 区域，常称为堆栈区。8051 片内 RAM 共有 128 个字节，地址范围为 00H~7FH，故这个区域中的任何子域都可以用作堆栈区，即作为堆栈来用。堆栈有栈顶和栈底之分，栈底由栈底地址



标识, 栈顶由栈顶地址指示。栈底地址是固定不变的, 它决定了堆栈在 RAM 中的物理位置; 栈顶地址始终在 SP 中, 即由 SP 指示, 是可以改变的, 它决定堆栈中是否存放有数据。因此, 当堆栈中空、无数据时, 栈顶地址必定和栈底地址重合, 即 SP 中一定是栈底地址; 堆栈中存放的数据越多, SP 中的栈顶地址也越比栈底地址大。

6) 数据指针 DPTR (Data Pointer): DPTR 是一个 16 位的寄存器, 由两个 8 位寄存器 DPH 和 DPL 拼装而成, 其中, DPH 为 DPTR 的高 8 位, DPL 为 DPTR 的低 8 位。DPTR 可以用来存放片内 ROM 的地址, 也可以用来存放片外 RAM 和片外 ROM 的地址。

3. I/O 端口

(1) 并行 I/O 端口。

8051 有 4 个并行 I/O 端口, 分别命名为 P0、P1、P2 和 P3, 在这 4 个并行 I/O 端口中, 每个端口都有双向 I/O 功能。即 CPU 既可以从 4 个并行 I/O 端口中的任何一个输出数据, 又可以从它们那里输入数据。并行 I/O 端口将在单片机引脚功能中详细介绍。

(2) 串行 I/O 端口。

8051 有一个全双工的可编程串行 I/O 端口, 串行发送数据线 TXD, 串行数据接收线 RXD。在发送时, CPU 由一条写发送缓冲器的指令把数据写入串行口的发送缓冲器 SBUF 中, 然后从 TXD 端一位位地向外发送。与此同时, 接收端 RXD 也可一位位地接收数据, 直到收到一个完整的字符数据后通知 CPU, 再用一条指令把接收缓冲器中内容读入累加器。

4. 定时器/计数器

8051 有两个 16 位可程序的定时器/计数器, 命名为 T0 和 T1, 具有四种工作方式。定时器/计数器 T0 由 TH0 和 TL0 构成, T1 由 TH1 和 TL1 构成。TMOD (定时器方式寄存器) 用于控制和确定各定时器/计数器的功能和工作模式。TCON 用于控制定时器/计数器 T0、T1 启动和停止计数, 同时包含定时器/计数器的状态。定时器/计数器将在第 5 章 5.2 中详细介绍。

5. 中断系统

中断是指计算机暂时停止源程序的执行转而为外部设备服务 (执行中断服务程序), 并在服务完成后自动返回源程序执行的过程。中断系统是指能够实现中断功能的硬件电路和软件程序。MCS-51 单片机中断系统有外部中断 0 ($\overline{\text{INT0}}$)、外部中断 1 ($\overline{\text{INT1}}$)、定时器 T0、T1 和串行口中断五个中断源, 中断源有高级和低级两级中断优先权。中断系统将在第 5 章 5.1 中详细介绍。

2.2 单片机的存储器结构

8051 的存储器在物理结构上分为程序存储器 (ROM) 空间和数据存储器 (RAM) 空间, 共有四个存储器空间: 片内程序存储器和片外程序存储器空间以及片内数据存储器 and 片外数据存储器空间。这种程序存储器和数据存储器分开的结构形式, 称为哈佛结构。

从用户使用角度, 8051 存储器地址空间分为三类: 64KB 片内、片外统一编址的程序存储器地址空间, 地址范围 0000H~FFFFH (用 16 位地址); 64KB 片外数据存储器地址空间, 地址范围 0000H~FFFFH (用 16 位地址); 基本型单片机, 如 8031/8051 有 128B 片内数据空间存储器地址空间, 地址范围 00H~7FH (用 8 位地址), 增强型单片机, 如 8052AH/8752H 有