



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information •
Science and Technology

单片机原理与应用

第③版

赵德安 等编著



附赠电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

单片机原理与应用

第 3 版

赵德安 等编著



机械工业出版社

本书全面系统地讲述了 MCS-51 系列单片机的基本结构和工作原理、基本系统、指令系统、汇编语言程序设计、并行和串行扩展方法、人机接口,以及片内资源丰富的高速 SOC 单片机 C8051F。为便于电路设计能力及仿真软件操作能力的培养,补充了 EDA 工具软件 Proteus;为使读者对 C8051F 的应用有一个全面的了解,增加了“智能电动执行机构控制系统”一节,作为 C8051F 应用系统设计实例。

本书每章都附有习题,以供课后练习。附录中还列出了单片机应用资料的网上查询方法等内容。

全书内容自成体系,语言通俗流畅,结构合理紧凑,既可作为高等院校单片机课程的教材,也可作为相关电子技术人员的参考书。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 2399929378, 电话 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用 / 赵德安等编著. —3 版. —北京: 机械工业出版社, 2017. 5

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

ISBN 978-7-111-56801-8

I. ①单… II. ①赵… 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 (2017) 第 096649 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 时 静 责任编辑: 时 静

责任印制: 常天培 责任校对: 陈秀丽 李锦莉

北京京丰印刷厂印刷

2017 年 6 月第 3 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·23 印张·560 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-56801-8

定价: 59.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21 世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

单片微型计算机简称单片机，是典型的嵌入式微控制器。单片机具有集成度高，功能强，结构简单，易于掌握，应用灵活，可靠性高，价格低廉等优点，在工业控制、机电一体化、通信终端、智能仪表、家用电器等诸多领域中得到了广泛应用，已成为传统机电设备进化为智能化机电设备的重要手段。因此高等理工院校师生和工程技术人员了解和掌握单片机的原理和应用技术是十分必要的。

本书以单片机经典体系结构的 MSC-51 系列为背景机，较系统地介绍了单片机的发展概况和基本结构、工作原理、基本系统、指令系统、汇编语言程序设计、并行扩展和串行扩展方法、人机接口，以及片内资源丰富的高速 SOC 单片机 C8051F。为便于电路设计能力及仿真软件操作能力的培养，补充了 EDA 工具软件 Proteus；为使读者对 C8051F 的应用有一个全面的了解，增加了“智能电动执行机构控制系统”一节，作为 C8051F 应用系统设计实例。

为便于读者自学，本书配套了电子课件，每章都附有习题，以供课后练习。附录中还列出了单片机应用资料的网上查询方法等内容。

本书第 1、2、7 章由盛占石编写，第 3、6 章由赵德安编写，第 5 章由周重益编写，第 8 章由张建生编写，第 10 章主要由鲍可进编写，C8051F 应用系统设计实例由秦云编写，第 4 章由周重益、赵文祥共同编写，第 9 章由潘天红、赵德安、孙月平、王伟共同编写。全书由赵德安统一整理。李金伴教授认真审阅了部分书稿，提出了指导性的建议和中肯的意见。

在编写过程中，我们参考了有关书刊、资料，在此对有关作者一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论 1

1.1 单片机的发展概况 1

1.1.1 单片机的发展历史 1

1.1.2 典型的单片机产品 1

1.2 单片机的应用领域和应用方式 5

1.3 习题 6

第2章 单片机的基本结构与工作

原理 7

2.1 MCS-51 系列单片机总体结构 7

2.1.1 MCS-51 单片机的引脚描述 7

2.1.2 MCS-51 单片机的硬件资源 9

2.1.3 MCS-51 单片机的片外总线 结构 10

2.2 MCS-51 单片机的时钟电路及 CPU 的工作时序 11

2.2.1 时钟电路 11

2.2.2 CPU 的工作时序 12

2.3 MCS-51 单片机存储器分类及配置 14

2.3.1 程序存储器 15

2.3.2 数据存储器 15

2.4 CHMOS 型单片机的低功耗工作 方式 19

2.4.1 空闲方式 20

2.4.2 掉电方式 20

2.4.3 节电方式的应用 20

2.5 习题 22

第3章 单片机的指令系统 23

3.1 指令格式 23

3.1.1 汇编指令 23

3.1.2 常用的缩写符号 25

3.1.3 伪指令 26

3.2 寻址方式 28

3.2.1 寄存器寻址 28

3.2.2 立即寻址 29

3.2.3 直接寻址 29

3.2.4 寄存器间接寻址 29

3.2.5 基寄存器加变址寄存器 间接寻址 30

3.2.6 相对寻址 30

3.2.7 位寻址 31

3.3 指令的类型、字节和周期 32

3.3.1 指令系统的结构及分类 32

3.3.2 指令的字节和周期 32

3.4 数据传送指令 33

3.4.1 一般传送指令 33

3.4.2 累加器专用数据交换指令 38

3.5 算术运算指令 39

3.5.1 加减指令 39

3.5.2 乘法和除法指令 43

3.6 逻辑运算指令 44

3.6.1 累加器 A 的逻辑运算指令 44

3.6.2 两个操作数的逻辑运算指令 45

3.6.3 单位变量逻辑运算指令 46

3.6.4 双位变量逻辑运算指令 46

3.7 控制转移指令 47

3.7.1 无条件转移指令 47

3.7.2 条件转移指令 48

3.7.3 子程序调用和返回指令 50

3.8 习题 52

第4章 单片机的其他片内功能

部件 54

4.1 并行 I/O 口 54

4.1.1 P1 口 54

4.1.2 P2 口 55

4.1.3 P0 口 57

4.1.4 P3 口 58

4.2 定时器/计数器 59

4.2.1 定时器的一般结构和工作原理 59

4.2.2 定时器/计数器 T0 和 T1	60	6.3 数据存储器扩展	130
4.2.3 定时器/计数器的初始化	64	6.3.1 常用的数据存储器	130
4.2.4 8052 等单片机的定时器/计数器 T2	65	6.3.2 数据存储器扩展方法	131
4.3 串行通信接口	68	6.4 并行接口的扩展	132
4.3.1 串行通信及基础知识	68	6.4.1 用 74 系列器件扩展并行 I/O 口	133
4.3.2 串行接口的组成和特性	69	6.4.2 可编程并行 I/O 扩展接口 8255A	134
4.3.3 串行接口的工作方式	70	6.4.3 带 RAM 和计数器的可编程并行 I/O 扩展接口 8155	141
4.3.4 波特率设计	73	6.5 D-A 接口的扩展	145
4.3.5 单片机双机通信和多机通信	76	6.5.1 梯形电阻式 D-A 转换原理	145
4.4 中断系统	79	6.5.2 DAC0832	146
4.4.1 中断系统概述	79	6.6 A-D 接口的扩展	149
4.4.2 中断处理过程	84	6.6.1 MC14433	149
4.4.3 中断系统的应用	86	6.6.2 ADC0809	152
4.5 习题	92	6.7 习题	156
第 5 章 汇编语言程序设计	93	第 7 章 单片机系统的串行扩展	158
5.1 汇编语言概述	93	7.1 MCS-51 系统的串行扩展原理	158
5.1.1 汇编语言的优点	93	7.1.1 SPI 三线总线	158
5.1.2 汇编语言程序设计的步骤	93	7.1.2 I ² C 公用双总线	159
5.1.3 评价程序质量的标准	93	7.2 单片机的外部串行扩展	159
5.2 简单程序设计	94	7.2.1 串行扩展 E ² PROM	159
5.3 分支程序	97	7.2.2 串行扩展 I/O 接口	162
5.3.1 简单分支程序	97	7.2.3 串行扩展 A-D 转换器	163
5.3.2 多重分支程序	98	7.3 习题	168
5.3.3 N 路分支程序	100	第 8 章 单片机的人机接口	170
5.4 循环程序	103	8.1 键盘接口	170
5.4.1 循环程序的导出	103	8.1.1 键盘的工作原理和扫描方式	170
5.4.2 多重循环	106	8.1.2 键盘的接口电路	171
5.5 查表程序	110	8.1.3 键盘输入程序设计方法	173
5.6 子程序的设计及调用	114	8.2 LED 显示器接口	174
5.6.1 子程序的概念	114	8.2.1 LED 显示器的工作原理	174
5.6.2 调用子程序的要点	114	8.2.2 LED 显示器的工作方式和显示程序设计	176
5.6.3 子程序的调用及嵌套	118	8.3 LCD 显示器接口	177
5.7 习题	121	8.3.1 LCD 显示器的工作原理	177
第 6 章 单片机系统的并行扩展	123	8.3.2 LCD 显示器的接口电路和显示程序设计	178
6.1 MCS-51 系统的并行扩展原理	123		
6.1.1 MCS-51 并行扩展总线	123		
6.1.2 地址译码方法	125		
6.2 程序存储器扩展	128		
6.2.1 常用 EPROM 存储器电路	128		
6.2.2 程序存储器扩展方法	129		

8.4	8279 专用键盘显示器	183
8.4.1	8279 的内部原理	183
8.4.2	8279 的引脚分析	184
8.4.3	8279 的键盘显示器电路	185
8.4.4	8279 的设置	186
8.4.5	8279 的应用程序介绍	188
8.5	习题	189

第9章 MCS-51 单片机系统的开发

与应用

9.1	单片机应用系统的研制过程	191
9.1.1	总体设计	192
9.1.2	硬件设计	192
9.1.3	可靠性设计	194
9.1.4	软件设计	194
9.1.5	系统调试	196
9.2	磁电机性能智能测试台的研制	198
9.2.1	系统概述	198
9.2.2	测试系统硬件设计	198
9.2.3	测控算法	200
9.2.4	程序设计	203
9.2.5	实验结果	204
9.3	水产养殖水体多参数测控仪	205
9.3.1	系统概述	205
9.3.2	水体多参数测控仪的基本组成 及工作原理	205
9.3.3	硬件设计	206
9.3.4	软件设计	211
9.3.5	可靠性措施	212
9.3.6	运行效果	212
9.4	课程设计: 单片机温度控制实验 装置的研制	213
9.4.1	系统的组成及控制原理	213
9.4.2	控制系统软件编制	214
9.4.3	课程设计的安排	214
9.4.4	教学效果	215
9.5	单片机的 C 语言程序开发	215
9.5.1	Keil IDE μ Vision2 集成开发 环境	216
9.5.2	WAVE6000 IDE 集成开发 环境	227
9.5.3	常用的 C 语言程序模块和主程序 结构	234

9.6	Proteus ISIS 软件简介	242
9.6.1	Proteus ISIS 软件的工作界面	242
9.6.2	Proteus ISIS 环境下的电路图 设计	246
9.6.3	Proteus 下单片机仿真	251
9.7	习题	259

第10章 高速 SOC 单片机

C8051F

10.1	Cygnal C8051F 系列单片机 特点	260
10.2	C8051F020 单片机	262
10.2.1	C8051F020 单片机概述	262
10.2.2	存储器组织	264
10.2.3	I/O 口与数字交叉开关	270
10.3	模/数转换器	274
10.4	电压输出数/模转换器	281
10.5	电压基准 (C8051F020/2)	283
10.6	SMBus	285
10.7	串行外设接口总线	295
10.8	定时器	301
10.9	可编程计数器阵列	308
10.10	系统其他控制功能	318
10.11	Cygnal 单片机集成开发环境	325
10.11.1	Cygnal 集成开发环境软件 简介	325
10.11.2	Cygnal IDE 界面	326
10.11.3	软件的基本操作	331
10.12	应用程序举例	335
10.13	应用系统举例——智能电动执行机构 控制系统	341
10.13.1	执行机构总体结构简介	341
10.13.2	控制系统的总体设计	342
10.13.3	主要硬件电路设计	342
10.13.4	系统软件设计	348
10.14	习题	353

附录

附录 A	单片机应用资料的网上查询	354
附录 B	MCS-51 单片机的指令表	354

参考文献

第1章 绪 论

1.1 单片机的发展概况

1946 年第一台电子计算机的诞生, 引发了一场数字化的技术革命。如果说当初计算机的出现纯粹是为了解决日益复杂的计算问题, 那么现在计算机已无处不在。随着大规模集成电路技术的不断进步, 一方面微处理器由 8 位向 16 位、32 位甚至 64 位发展, 再配以存储器和外围设备后构成微型计算机 (也称个人计算机, Personal Computer), 在办公自动化方面得到广泛应用; 另一方面将微处理器、存储器和外围设备集成到一块芯片形成单片机 (Single_chip Microcomputer), 在控制领域大显身手; 这种单入机嵌入到各种智能化产品之中, 所以又称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller)。

1.1.1 单片机的发展历史

单片机的发展可以分为三个阶段:

20 世纪 70 年代为单片机发展的初级阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为典型代表, 在一块芯片内含有 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 存储器, 这是一种真正的单片机。这个阶段的单片机因受集成电路技术的限制, 单片机的 CPU 指令系统功能相对较弱、存储器容量小、I/O 部件种类和数量少, 只能用在比较简单的场合, 而且价格相对较高, 单片机的应用未引起足够的重视。

20 世纪 80 年代为高性能单片机的发展阶段。以 Intel 公司的 MCS-51、MCS-96 系列单片机为典型代表, 出现了不少 8 位或 16 位的单片机, 这些单片机的 CPU 和指令系统功能加强了, 存储器容量显著增加, 外围 I/O 部件品种多、数量大, 有的包含了 A-D 之类的特殊 I/O 部件。单片机应用得到了推广, 典型单片机开始应用到各个领域。

20 世纪 90 年代至今为单片机的高速发展阶段。世界上著名的半导体厂商都重视新型单片机的研制、生产和推广。单片机性能不断地完善, 性能价格比显著提高, 种类和型号快速增加。从性能和用途上看, 单片机正朝着面向多层次用户的多品种多规格方向发展, 哪一个应用领域前景广阔, 就有这个领域的特殊单片机出现。既有特别高档的单片机, 用于高级家用电器、掌上电脑、复杂的实时控制系统等领域, 又有特别廉价、超小型、低功耗单片机, 应用于智能玩具等消费类应用领域。对单片机应用的技术人员来说, 选择单片机有了更大的自由度。

1.1.2 典型的单片机产品

本节将介绍世界上一些著名的半导体厂商典型的单片机产品, 以使读者对目前的单片机产品有个大概的了解, 在开发单片机应用系统时, 为读者选择单片机提供参考。

1. Intel 公司的单片机

Intel 公司是最早推出单片机的大公司之一，其产品有 MCS-48、MCS-51 和 MCS-96 三大系列几十个型号的单片机。目前 Intel 公司已不再推出新品种的单片机，但 Intel 公司 MCS-51 系列单片机的结构为其他一些大公司所采纳，它们推出了许多适用与不同场合的新型的 51 系列单片机，使这个系列的单片机仍被广泛应用。Intel 公司 MCS-51 系列单片机的选型可以登录公司网站：www.intel.com

2. ATMEL 公司的单片机

ATMEL 公司生产的具有 8051 结构的 Flash 型和 EEPROM 型单片机（尤其是 89C51 和 89C52），由于和 Intel 的 MCS-51 系列单片机中典型产品完全兼容、开发和使用简便，在我国得到了广泛的应用。1997 年，ATMEL 公司推出了全新配置的精简指令集（RISC）的 AVR 单片机，由于 AVR 单片机优良的性能，在越来越多的领域得到应用。ATMEL 公司单片机的选型可以登录公司网站：www.atmel.com

3. Cygnal 公司的单片机

Cygnal 公司是一家总部设在美国德克萨斯州的半导体公司，该公司于 2003 年并入 Silicon Labs 公司，后者更新原有的单片机结构，设计具有自主知识产权的 CIP-51 内核的新 C8051F 系列单片机，集成了丰富的模拟和数字外设，采用流水线结构，70% 的指令执行时间为 1 或 2 个系统时钟周期，是标准 8051 指令执行速度的 12 倍；其峰值执行速度可达 100MIPS（C8051F120 等），是目前世界上速度最快的 8 位单片机。新华龙电子有限公司是 Silicon Labs 公司的一级代理商，可以到该公司官网下载 C8051F 系列单片机的资源：www.xhl.com.cn

4. Freescale 公司的单片机

Freescale（飞思卡尔）是全球十大半导体厂商之一，也是最大的汽车和通信产业嵌入芯片制造商。2004 年，飞思卡尔从摩托罗拉公司剥离了出来。飞思卡尔的 8 位单片机系列主要包括 RS08、HC08 和 HCS08 系列。飞思卡尔的 16 位单片机系列主要包括 S12、S12C、S12HZ、S12R、S12X、S12XB、S12XD、S12XE、S12XF、S12XH、S12XS、S12Q 和 56F8000 系列。飞思卡尔的 32 位处理器主要包括 Power Architecture、68K/ColdFire、ARM® 和 MCORE 处理器。该公司单片机的选型可以登录公司网站：www.freescale.com

5. NXP 公司的单片机

NXP（恩智浦）是全球十大半导体公司之一，创立于 2006 年，先前由飞利浦于 50 多年前所创立。NXP 公司的 8 位单片机 51LPC 是基于 80C51 内核的单片机，嵌入了掉电检测、模拟以及片内 RC 振荡器等功能。NXP 公司的 32 位 LPC 系列单片机是基于 ARM 内核的单片机。恩智浦单片机在汽车、医疗、工业、个人消费电子等领域被广泛应用。该公司单片机的选型可以登录公司网站：www.nxp.com

6. Microchip 公司的单片机

Microchip 公司有 12 位程序存储器的低档单片机、14 位程序存储器的中档单片机、16 位程序存储器的高档单片机和新推出的 PIC32MX 系列高性能 32 位单片机。Microchip 公司的 PIC 单片机品种丰富，在各类电子产品中被广泛应用。该公司单片机的选型可以登录公司网站：www.microchip.com

7. TOSHIBA 公司的单片机

TOSHIBA 公司有 TLCS-470 系列 4 位单片机, TLCS870、TLCS870/X、TLCS870/C、TLCS-90 系列 8 位单片机和 TLCS-900 系列 16/32 位单片机。这些单片机不但 CPU 和指令系统的功能强, 而且片内外围部件丰富, 提供汇编语言和 C-Like 语言的软件开发手段。随着 TOSHIBA 单片机开发工具的国产化和开发成本的降低, TOSHIBA 单片机在我国有很大的应用前景。目前已提供 TLCS-870 系列国产的单片机开发工具——STF870A, 可开发该系列的多种型号的产品。TOSHIBA 公司的单片机可广泛应用于工业控制、家用电路、仪器仪表等领域。该公司单片机的选型可以登录公司网站: www.toshiba.com

8. Renesas 公司的单片机

Renesas (瑞萨) 电子由 NEC 电子、日立制作所、三菱电机的半导体部门合并而成, 瑞萨的 4 位单片机系列主要包括 H4、720 系列。瑞萨的 8 位单片机系列主要包括 H8、78K0、740 系列。瑞萨的 16 位单片机系列主要包括 H8S、RL78、R8C、M16C 系列。瑞萨的 32 位单片机系列主要包括 H8SX、SH2、M32、RX21A 系列。瑞萨是 MCU 市场占有率位居全球第一的企业, 业务范围更是涵盖了“移动通信”“数码家电”和“汽车电子”三大领域。该公司单片机的选型可以登录公司网站: www.renesas.com

9. Infineon 公司的单片机

Infineon (英飞凌) 公司于 1999 年 4 月 1 日在德国慕尼黑正式成立, 是全球领先的半导体公司之一。其前身是西门子集团的半导体部门, 2002 年后更名为英飞凌科技。英飞凌单片机从 8 位 XC800 系列, 16 位 XC166 系列, 到 32 位 TriCore™ 系列都集成了专为不同类型电机控制设计的高性能硬件单元, 可以很好地解决从低端到高端的需要。该公司单片机的选型可以登录公司网站: www.infineon.com

10. NS 公司的单片机

NS (美国国家半导体) 公司有 COP4 系列 4 位单片机、COP8 系列 8 位单片机、HPC 系列 16 位单片机, 其中 COP8 系列是 NS 公司的主要产品。COP8 是面向控制的 8 位单片机, 该系列品种齐全, 应用范围广, 根据应用对象的不同可以分为特色型、基本型和新型三大种类。该公司单片机的选型可以登录公司网站: www.national.com

11. 三星电子的单片机

三星电子成立于 1938 年 3 月, 三星单片机有 KS51 和 KS57 系列 4 位单片机, KS86 和 KS88 系列 8 位单片机, KS17 系列 16 位单片机和 KS32 系列 32 位单片机。三星电子在 4 位机上采用 NEC 的技术, 8 位机上引进 Zilog 公司 Z8 的技术, 在 32 位机上购买了 ARM7 内核, 还有 DEC、东芝技术等。其单片机裸片的价格相当有竞争力。该公司单片机的选型可以登录公司网站: www.samsung.com

12. TI 公司的单片机

德州仪器 (Texas Instruments), 简称 TI, 是全球领先的半导体公司, TI 公司有 TMS370 的 8 位单片机; MSP430 系列的 16 位单片机, 以及 2000、5000、6000 系列的 DSP (数字信号处理器); TI 公司还采用 ARM 内核, 推出了 OMAP 等系列处理器, 不同系列的微控制器有不同的适用场合。该公司单片机的选型可以登录公司网站: www.ti.com

13. Fujitsu 公司的单片机

Fujitsu (富士通) 成立于 1935 年, 富士通 8 位单片机有 8L 和 8FX 两个系列, 主要应用

于空调、洗衣机、冰箱、电表、小家电、汽车电子等领域；16 位主流单片机有 MB90F387、MB90F462、MB90F548、MB90F428 等，适用于电梯、汽车电子车身控制及工业控制等领域；32 位单片机采用 RISC 结构，主要产品有 MB91101A、MB91F362GA、MB91F364GA，适用于 POS 机、银行税控打印机、电力及工业控制等场合。该公司单片机的选型可以登录公司网站：www.fujitsu.com

14. ARM 系列单片机

ARM (Advanced RISC Machines) 是微处理器行业的一家知名企业，设计了大量高性能、廉价、耗能低的 RISC (精简指令集计算机) 处理器、相关技术及软件。ARM 架构是面向低预算市场设计的第一款 RISC 微处理器，基本是 32 位单片机的行业标准。ARM 公司本身不直接从事芯片生产，作为知识产权供应商，靠转让设计许可，由合作公司生产各具特色的芯片。目前，全世界有几十家大的半导体公司从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核，根据各自不同的应用领域，加入适当的外围电路，从而生产出具有自己特色的 ARM 单片机。

ARM 系列单片机与普通单片机的主要区别体现在以下几个方面：

(1) ARM 单片机速度快

ARM 单片机主频一般较高，执行一条指令所用时间较短；ARM 具有指令流水线，可以多条指令并行执行；ARM 的 32 位运算单元，做与普通单片机相同的运算，所用的指令数目少。以上的几个因素导致 ARM 单片机比普通单片机快得多。

(2) ARM 单片机存储器容量大

ARM 单片机采用 32 位总线，最多可配置 4G 容量的存储器；ARM 单片机的大容量存储器可以存放大量的数据和程序，ARM 单片机特别适合具有复杂功能的嵌入式系统。

(3) ARM 单片机外部通信接口丰富

ARM 单片机的通信接口要比普通单片机丰富得多，有 UART、USB、Ethernet、CAN、SPI 和 I²C 等通信接口，可以满足嵌入式系统通信多样化的要求。

(4) ARM 单片机有许多第三方的软件支持

随着 ARM 单片机在越来越多的嵌入式系统中得到应用，许多软件公司纷纷推出基于 ARM 单片机的操作系统，如 Windows CE、Linux、VxWorks、 μ COS-II 等都有了基于 ARM 的版本。操作系统的使用，大大减少了 ARM 嵌入式系统的软件开发成本，加快了产品的开发周期，减低了产品成本，提高了产品性能，使产品更具有竞争力。

目前比较流行的 ARM 核有 ARM7TDMI、StrongARM、ARM720T、ARM9TDMI、ARM922T、ARM940T、RM946T、ARM966T、ARM10TDMI 等。在中国，Philips、ATMEL、Samsung 等公司做了大量的 ARM 单片机的技术推广工作，有较强的技术支持机构，因而这几家公司的 ARM 单片机产品也得到了比较多的应用。

15. DSP 系列单片机

DSP (Digital Signal Processor) 是数字信号处理器的简称。DSP 的起源是在 1960 和 1970 年代，DSP 微处理器当时主要应用于雷达、原油探勘、太空探索和医学影像等领域。现在来看 DSP 微处理器也是一种单片机，是一种运行速度高，擅长于数字信号处理的单片机。随着微电子技术的发展，DSP 微处理器的外设功能不断增加；DSP 处理器在电机控制、通信等越来越多的领域发挥作用。

DSP 系列单片机与普通单片机的主要区别体现在以下几个方面：

(1) DSP 单片机速度快

DSP 单片机主频一般较高，执行一条指令所用时间较短；DSP 具有指令流水线，可以多条指令并行执行；许多 DSP 单片机采用 32 位运算单元，做与普通单片机相同的运算，所用的指令数目少。以上的几个因素导致 DSP 单片机比普通单片机快得多。

(2) DSP 单片机具有适合数字信号处理的特殊指令

数字信号处理时，DSP 单片机需要做大量的乘法和累加运算；DSP 单片机专门的乘累加指令，使乘法和累加运算可以在一条指令中完成，大大提高了数字信号处理的效率。

(3) DSP 单片机具有独特的寻址方式

数字信号处理中，需要对采集来的数据进行重新排序，DSP 单片机的“反比特”寻址方式使排序很容易实现，从而有很高的排序效率。

16. STC 系列单片机

中国深圳宏晶科技有限公司研发的 STC 系列单片机，是中国本土推出的第一款具有全球竞争力的单片机。STC 系列单片机在指令系统上与 MCS-51 完全兼容。STC 系列单片机是新一代增强型单片机，它运行速度快、抗干扰能力强、加密性能好。而且还增加了许多新的内部集成功能部件，如片内 A-D 转换器、可编程 PCA 阵列、同步串行 SPI 接口、大规模片内 Flash 和 XRAM 存储器等，另外还增加了 IAP 在线仿真调试功能。宏晶公司还根据市场需求，在 STC89C51、STC89C52 的基础上，先后推出了 STC10、STC11、STC12 和 STC15 系列的单片机。STC 单片机的选型可以登录宏晶官网：www.stcmcu.com

17. 其他公司的单片机

除以上介绍的单片机外，尚有许多单片机未能列入，有兴趣读者可查阅有关资料。

1.2 单片机的应用领域和应用方式

由于单片机具有体积小、重量轻、价格便宜、功耗低，控制功能强及运算速度快等特点，因而在国民经济建设、军事及家用电器等各个领域均得到了广泛的应用。对各个行业的技术改造和产品的更新换代起重要的推动作用。

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机广泛地应用于实验室、交通运输工具、计量等各种仪器仪表之中，使仪器仪表智能化。提高它们的测量精度，加强其功能，简化仪器仪表的结构，便于使用、维护和改进。例如：电度表校验仪，电阻、电容、电感测量仪，船舶航行状态记录仪，烟叶水分测试器，智能超声波测厚仪等。

2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体，具有智能化特征的机电产品。例如：微机控制的铣床、车床、钻床、磨床等等。单片微型机的出现促进了机电一体化，它作为机电产品中的控制器，能充分发挥它的体积小、可靠性高、功能强、安装方便等优点，大大强化了机器的功能，提高了机器的自动化、智能化程度。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机也广泛地用于各种实时控制系统中，如对工业上各种窑炉的温度、酸度、化学成分的控制和测量。将测量技术、自动控制技术和单片机技术相结合，充分发挥数据处理和实时控制功能，使系统工作于最佳状态，提高系统的生产效率和产品的质量。在航空航天、通信、遥控、遥测等各种实时控制系统中都可以用单片机作为控制器。

4. 单片机在分布式多机系统中应用

分布式多机系统具有功能强、可靠性高的特点。在比较复杂的系统中，都采用分布式多机系统。系统中有若干台功能各异的计算机，各自完成特定的任务，它们又通过通信相互联系、协调工作。单片机在这种多机系统中，往往作为一个终端机，安装在系统的某些节点上，对现场信息进行实时的测量和控制。高档的单片机多机通信（并行或串行）功能很强，它们在分布式多机系统中将发挥很大作用。

5. 单片机在家用电器等消费类领域中的应用

家用电器等消费类领域的产品特点量多面广，市场前景看好。单片机应用到消费类产品之中，能大大提高它们的性能价格比，因而受到用户的青睐，提高产品在市场上的竞争力。目前家用电器几乎都是单片机控制的电脑产品。例如：空调、冰箱、洗衣机、微波炉、彩电、音响、家庭报警器、电子宠物等。

1.3 习题

1. 单片机内部至少应包含哪些部件？
2. 根据程序存储器的差别，单片机可以分为哪几种类型？
3. 单片机的主要特点是什么？它适宜构成通用微机系统还是专用微机系统？为什么？
4. 研制微机应用系统时，如何选择单片机的型号？

第 2 章 单片机的基本结构与工作原理

2.1 MCS-51 系列单片机总体结构

20 世纪 80 年代初 Intel 公司推出 MCS-51 系列单片机以后，世界上许多著名的半导体厂商相继生产和这个系列兼容的单片机，使产品型号不断增加、品种不断丰富、功能不断增强。从系统结构上看，所有的 51 系列单片机都是以 Intel 公司最早的典型产品 8051 为核心，增加了一定的功能部件后构成的。下面以 8051 为主，阐述 MCS-51 系列单片机的系统结构、工作原理和应用中的一些技术性问题，使读者对 MCS-51 单片机有一个大概的了解。

2.1.1 MCS-51 单片机的引脚描述

HMOS 制造工艺的 8051 是 MCS-51 系列单片机的典型产品，其采用 40 引脚的双列直插封装（DIP 方式），图 2-1 是它的引脚图。按引脚功能，这些引脚可分为四类：

1. 电源引脚 V_{CC} 和 V_{SS} （共 2 根）

V_{CC} （40 脚）：接 +5V 电压。

V_{SS} （20 脚）：接地。

2. 外接晶振引脚 XTAL1 和 XTAL2（共 2 根）

XTAL1（19 脚）和 XTAL2（18 脚）引脚接外部振荡器的信号，即把外部振荡器的信号直接连到内部时钟发生器的输入端。

3. 控制和复位引脚 ALE、PSEN、EA 和 RST（共 4 根）

ALE（30 脚）：当访问外部存储器时，ALE（允许地址锁存）的输出用于锁存地址的低位字节。即使不访问外部存储器，ALE 端仍以不变的频率周期性地出现正脉冲信号，此频率为振荡器频率的 1/6。它可用作对外输出的时钟，或用于定时。需要注意的是，每当访问外部数据存储器时，将跳过一个 ALE 脉冲。ALE 端可以驱动（吸收或输出电流）8 个 TTL 门电路。

PSEN（29 脚）：此引脚的输出是外部程序存储器的读选通信号。在从外部程序存储器取指令（或常数）期间，每个机器周期两次 PSEN 有效。但在此期间，每当访问外部数据存储器时，这两次有效的 PSEN 信号将不出现。PSEN 同样可以驱动 8 个 TTL 门电路。

EA（31 脚）：当 EA 端保持高电平时，访问内部程序存储器，但在 PC（程序计数器）值超过片内程序存储器容量（8051 为 4KB）时，将自动转向执行外部程序存储器。当 EA 保持低电平时，则只访问外部程序存储器，不管是否有内部程序存储器。对于常用的 8031 来

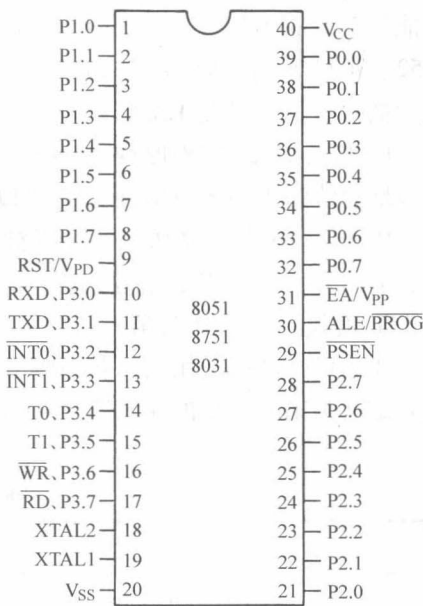


图 2-1 MCS-51 单片机引脚图

说，无内部程序存储器，所以EA脚必须常接地，这样才能选择外部程序存储器。单片机只在复位期间采样EA脚的电平，复位结束以后EA脚的电平对程序存储器的访问没有影响。

RST (9 脚)：当振荡器运行时，在此引脚上出现两个机器周期的高电平将使单片机复位。建议在此引脚与V_{SS}引脚之间连接一个约 8.2kΩ 的下拉电阻，与V_{CC}引脚之间连接一个约 10μF 的电容，以保证可靠复位。图 2-2a 为无手动复位功能的 MCS-51 单片机复位电路原理图，图 2-2b 为具有手动复位功能的 MCS-51 单片机复位电路原理图。

4. 输入/输出 (I/O) 引脚 P0、P1、P2、P3 (共 32 根)

P0 口 (32 脚~39 脚)：是双向 8 位三态 I/O 口，在外接存储器时，与地址总线的低 8 位及数据总线复用，能以吸收电流的方式驱动 8 个 TTL 负载。

P1 口 (1 脚~8 脚)：是 8 位准双向 I/O 口。由于这种接口输出没有高阻状态，输入也不能锁存，故不是真正的双向 I/O 口。P1 口能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 TTL 负载。对 8052、8032 来讲，P1.0 引脚的第二功能为定时/计数器 T2 的外部输入，P1.1 引脚的第二功能为捕捉、重装触发 T2EX，即 T2 的外部控制端。

P2 口 (21 脚~28 脚)：是 8 位准双向 I/O 口。在访问外部存储器时，它可以作为高 8 位地址总线送出高 8 位地址。P2 可以驱动 (吸收或输出电流) 4 个 TTL 负载。

P3 口 (10 脚~17 脚)：是 8 位准双向 I/O 口，在 MCS-51 中，这 8 个引脚除用于普通输入、输出外，还可用于专门功能，它是一个复用双功能口。P3 能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 TTL 负载。P3 口作为第一功能使用时，即作为普通 I/O 口用，功能和操作方法与 P1 口相同。作为第二功能使用时，各引脚的定义见表 2-1。值得强调的是，P3 口的每一条引脚均可独立定义为第一功能的输入输出或第二功能。

表 2-1 P3 口第二功能表

引 脚	第二功能
P3.0	RXD (串行口输入端)
P3.1	TXD (串行口输出端)
P3.2	INT0 (外部中断 0 请求输入端，低电平有效)
P3.3	INT1 (外部中断 1 请求输入端，低电平有效)
P3.4	T0 (定时器/计数器 0 计数脉冲输入端)
P3.5	T1 (定时器/计数器 1 计数脉冲输入端)
P3.6	WR (外部数据存储器写选通信号输出端，低电平有效)
P3.7	RD (外部数据存储器读选通信号输出端，低电平有效)

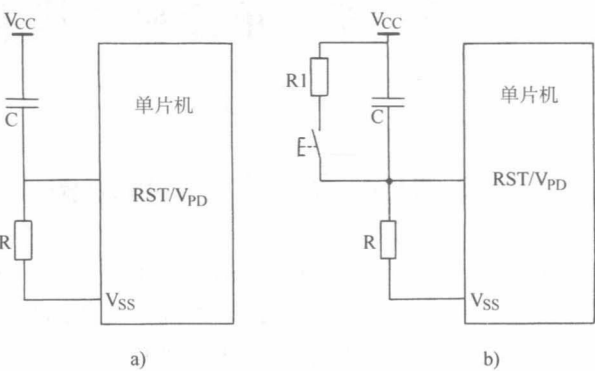


图 2-2 MCS-51 单片机复位电路原理图
a) 无手动复位功能 b) 有手动复位功能

2.1.2 MCS-51 单片机的硬件资源

MCS-51 单片机的内部硬件资源如图 2-3 所示。

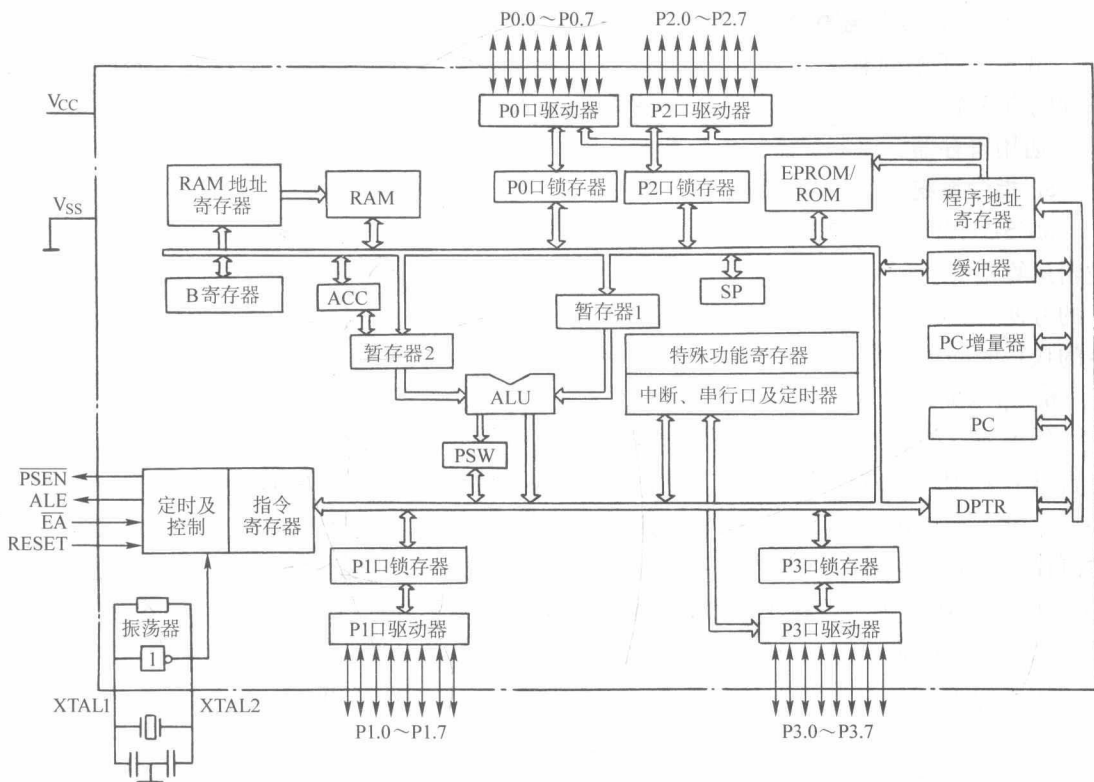


图 2-3 MCS-51 单片机内部硬件资源

1. MCS-51 的内部程序存储器（ROM）和内部数据存储器（RAM）

MCS-51 系列中的 8051 单片机内部有 4KB 的程序存储器，地址范围为 0000H ~ 0FFFH。当单片机的 EA 引脚为高电平时，程序存储器空间的 0000H ~ 0FFFH 在单片机的内部，1000H ~ FFFFH 在单片机的外部。8051 单片机的内部有 128B 的数据存储器，地址范围为 00H ~ 7FH（8052 内部有 256B，地址范围为 00H ~ FFH，其中 80H ~ FFH 单元只能用寄存器间接寻址访问）。

2. MCS-51 的特殊功能寄存器

MCS-51 单片机内部地址范围从 80H ~ FFH 为特殊功能寄存器区。单片机的输入/输出端口、计数器/定时器、串行通信口、累加器以及一些控制寄存器等都位于这个地址空间。特殊功能寄存器实际只占用了 80H ~ FFH 地址中的一部分，其余部分地址保留未用。MCS-51 单片机各种型号间的差别就在于特殊功能寄存器数量的多少。

3. 中断与堆栈

MCS-51 有 5 个中断源（对 8032/8052 为 6 个），分别为外部中断 0、外部中断 1、时钟中断 0、时钟中断 1 和串行通信中断（对 8032/8052 还有时钟中断 2），这些中断分为两个优