

教育“十三五”规划教材

电子设计系列规划教材

# 单片机原理及应用

(第3版)

◎ 张迎新 王盛军 邢春香 等编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

“十三五”规划教材  
教材

# 单片机原理及应用

## (第3版)

张迎新 王盛军 邢春香 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书以 80C51 系列中的 89 系列单片机为例介绍单片机的硬件结构、工作原理、指令系统、汇编语言及 C 语言程序设计、接口技术、中断系统及单片机应用等内容。主要内容包括：概况、单片机结构及原理、指令系统、汇编语言程序设计、C51 语言程序及开发环境、定时/计数器、80C51 的串行接口、中断系统、单片机的系统扩展、接口技术、单片机应用系统的设计与开发等。本书在各章中对关键性内容都结合实例予以说明，并附大量思考题和习题，配套电子课件、程序代码、参考答案等。

本书可作为高等学校本专科单片机课程的教材，也可作为相关领域科技人员学习开发单片机的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用 / 张迎新等编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.8  
电子设计系列规划教材

ISBN 978-7-121-32305-8

I. ①单… II. ①张… III. ①单片微型计算机—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 182462 号

策划编辑: 王羽佳

责任编辑: 裴 杰

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 512 千字

版 次: 2004 年 10 月第 1 版

2017 年 8 月第 3 版

印 次: 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 49.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zllts@phei.com.cn](mailto:zllts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式：(010) 88254535, [wjy@phei.com.cn](mailto:wjy@phei.com.cn)。

# 前 言

《单片机原理及应用》第2版自2009.2发行以来，已多次印刷，说明此书有一定的读者群。在此期间单片机技术又有了很大的发展，因而电子出版社决定对原书内容进行修订更新。在重新编写时，对原书内容作了多处改进。在本书的实例中多数都采用汇编与C语言双语编程，使读者更易于从中比较两种语言的特长，可以有选择地掌握一种，并认识另一种。

本书还增加了Proteus硬件仿真环境的内容，Keil C51和Proteus仿真软件是在单片机应用系统设计中用最广泛的软件。Proteus是一种电子设计自动化软件，它不仅能完成各种电路的设计与仿真，还能仿真单片机及其外围电路系统。这些软件使单片机的学习更加简单易懂，是学校进行单片机教学的首选软件。

此外，对部分章节内容进行了调整与修改，例如修改了C51语言章节与Keil集成开发环境编排顺序，使学生更容易掌握汇编与C51语言，使得单片机的学习更容易入门。对于各章节中比较过时的内容做了删减，例如删除了关于8255接口的内容（8255已经停产多年）。对于全书均做了适当改进，力求重点更突出，语言更精炼，表述更清晰。

目前物联网与移动互联技术正迅速地改变着世界，随着嵌入式技术的发展，32位MCU（单片机）成为主流，64位MCU也开始进入这个市场，但是8位MCU的市场占有率并没有降低，至今仍然是开发嵌入式系统的主要器件，物联网给MCU应用创造了更多机会，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，所以不论是8位还是32位MCU都有用武之地。一些厂商一直致力于8位MCU的创新与研发，使8位MCU仍然保持旺盛的生命力。

因为以8051为内核的80C51系列单片机在世界上生产量比较大，派生产品比较多，可以满足大多数用户的需要；而且80C51的软件工具也比较成熟，因而80C51系列单片机仍然是单片机教学的首选机型，特别是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。基于这种情况，本书在介绍单片机时，是以80C51系列为例进行讲述的。而在介绍具体型号时选用了美国ATMEL公司的AT89系列产品。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SST公司的SST89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。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，从教学角度看，由于8位单片机具有稳定、便宜、易用等特点，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，因而本书的单片机芯片实例将采用ATMEL公司的AT89S51/52单片机，在做一般共性介绍时还是用80C51符号代表。

本教材在章节的安排顺序和内容上都有不同程度的改进。第1章概述，增加了存储器的介绍，第2章以AT89S51/52单片机为例介绍单片机的结构及原理，第3章介绍指令系统，第4章介绍汇编语言程序设计，第5章介绍C51语言程序及开发环境，增加了Keil集成开发环境与Proteus仿真软件的内容，第6章介绍定时/计数器，第7章介绍串行接口，第8章介绍中断系统，第9章介绍系统扩展方法，第10章介绍接口技术，第11章介绍单片机应用系统设计。为了能给读者较多的应用实例和方法，同时又不至于使篇幅过长，在举例时对于关键和核心的内容尽量讲透，其他内容点到为止。

本书提供配套电子课件、程序代码和参考答案，请登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）注册下载。

本书是作者多年教学和科研的积累，同时为了使本书的内容更加丰富和完整，书中也引用了部分国内外的参考文献、书籍，主要来源见参考文献。在此，对有关作者表示衷心感谢。

本书由张迎新担任主编，王盛军编写了第5章和各章节中的C语言程序，邢春香编写了10.2、10.4、11.5节，姚静波编写了2.3和2.4节，陈胜编写了11.4节，迟明华编写了1.2节，其余由张迎新编写。参加本教材编写及审稿的还有雷道振、樊桂花、刘绍南、雷文。

在本书的编写中，清华大学的陆延丰老师、浙江大学城市学院的万光毅老师等都提出了很好的建议，并提供了部分素材，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中的错误与不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....1	2.5.3 P1 口.....42
1.1 单片机发展概况.....1	2.5.4 P2 口.....42
1.1.1 单片机的发展历史.....1	2.5.5 P3 口.....43
1.1.2 单片机的组成及特点.....3	2.6 时序及时钟电路.....44
1.1.3 单片机与嵌入式系统.....4	2.6.1 CPU 时序及有关概念.....44
1.2 80C51 系列单片机简介.....5	2.6.2 振荡器和时钟电路.....45
1.2.1 80C51 系列单片机的发展.....5	2.6.3 80C51 的指令时序.....47
1.2.2 AT89 系列单片机的特点 及分类.....6	2.7 复位和复位电路.....47
1.3 其他常用单片机系列简介.....7	2.7.1 内部复位信号的产生.....47
1.3.1 低端产品概述.....7	2.7.2 复位状态.....48
1.3.2 高端产品概述.....8	2.7.3 外部复位电路设计.....48
1.4 单片机基础知识.....9	2.8 80C51 系列单片机的低功耗方式.....49
1.4.1 数制与编码.....9	2.8.1 电源控制寄存器 PCON.....49
1.4.2 计算机的基本组成电路.....12	2.8.2 待机方式.....50
1.4.3 存储器简介.....15	2.8.3 掉电方式.....50
思考与练习.....19	思考与练习.....51
<b>第 2 章 单片机结构及原理</b> .....20	<b>第 3 章 指令系统</b> .....52
2.1 单片机结构.....20	3.1 指令系统简介.....52
2.1.1 单片机组成及结构.....20	3.2 寻址方式.....53
2.1.2 引脚定义及功能.....22	3.2.1 符号约定.....53
2.2 80C51 的存储器.....	3.2.2 寻址方式说明.....54
2.2.1 存储器结构和地址空间.....	
2.2.2 程序存储器.....	
2.2.3 数据存储器.....	
2.3 特殊功能寄存器 SFR.....	
2.3.1 80C51 系列的 SFR.....	
2.3.2 SFR 地址分布及寻址.....	
2.3.3 SFR 的功能与作用.....	
2.4 单片机的工作原理.....	
2.4.1 指令与程序概述.....	
2.4.2 CPU 的工作原理.....	
2.4.3 单片机执行程序过程.....	
2.5 输入/输出端口结构.....	
2.5.1 4 个 I/O 端口的主要异同点.....	
2.5.2 P0 口.....	
	6.2.....32
	6.1.2.....253
	6.2.1 定时/计数器及初始化.....256
	6.2.2 定时/计数器接口及应用举例.....257
	6.2.3 定时/计数器接口件及接口电路.....263
	输出接口的隔离技术.....264
	3.2 直流负载驱动电路.....264
	10.3.3 晶闸管负载驱动电路.....265
	10.3.4 继电器接口电路.....266

4.2.3	分支程序设计	86	6.3.1	方式 0	134
4.2.4	查表程序设计	89	6.3.2	方式 1	134
4.2.5	子程序设计	91	6.3.3	方式 2	135
	思考与练习	95	6.3.4	方式 3	135
<b>第 5 章</b>	<b>C51 语言程序及开发环境</b>	<b>97</b>	6.4	定时器 T0、T1 应用举例	137
5.1	C51 语言基础知识	97	6.4.1	定时应用举例	137
5.1.1	C51 语言简介	97	6.4.2	计数应用举例	138
5.1.2	C51 语言的运算符及 表达式	97	6.4.3	门控位应用举例	139
5.1.3	C51 语言的程序结构	99	6.5	定时/计数器 T2	141
5.1.4	C51 语言的流程控制语句	99	6.5.1	T2 的寄存器	142
5.2	C51 语言对通用 C 语言的扩展	102	6.5.2	定时器 T2 的工作方式	143
5.2.1	数据类型	102	6.5.3	应用例题	147
5.2.2	数据的存储类型	104	6.6	定时器 T3——WDT 监视定时器	149
5.2.3	指针	106	6.6.1	WDT 的功能及应用特点	149
5.2.4	函数	107	6.6.2	辅助寄存器 AUXR	149
5.2.5	C51 语言对单片机硬件的 访问	109		思考与练习	150
5.3	C51 语言编程举例	110	<b>第 7 章</b>	<b>80C51 的串行接口</b>	<b>151</b>
5.4	Keil C51 软件开发环境	114	7.1	串行通信概述	151
5.4.1	Keil 软件简介	114	7.1.1	同步通信和异步通信方式	151
5.4.2	项目的建立与设置	116	7.1.2	串行通信的数据传送速率	152
5.4.3	运行调试	118	7.1.3	串行通信的方式	152
5.5	Proteus 硬件仿真环境	121	7.1.4	通信协议	153
5.5.1	Proteus 软件简介	121	7.2	80C51 串行口简介	153
5.5.2	Proteus ISIS 窗口功能	121	7.2.1	串行口结构与工作原理	153
5.5.3	Proteus ISIS 的基本操作	123	7.2.2	串行口控制寄存器 SCON	154
	思考题与练习	129	7.2.3	80C51 的帧格式	155
<b>第 6 章</b>	<b>定时/计数器</b>	<b>130</b>	7.2.4	波特率的设置	156
6.1	定时/计数器 T0、T1 概述	130	7.3	串行通信工作方式	157
6.1.1	定时器/计数器 T0、T1 的 结构	130	7.3.1	方式 0	157
6.1.2	定时/计数器的原理	131	7.3.2	方式 1	158
6.2	定时/计数器的控制方法	131	7.3.3	方式 2 和方式 3	158
6.2.1	定时/计数器寄存器	131	7.3.4	多机通信	159
6.2.2	定时/计数器的初始化	133	7.4	串行口应用举例	160
6.2.3	定时/计数器初值的 确定方法	133	7.4.1	用串行口扩展 I/O 口	160
6.3	定时/计数器 T0、T1 的 工作方式	134	7.4.2	用串行口进行异步通信	163
				思考与练习	169
			<b>第 8 章</b>	<b>中断系统</b>	<b>170</b>
			8.1	概述	170
			8.1.1	中断的概念	170
			8.1.2	引进中断技术的优点	170

8.1.3	中断源	171	9.5.3	I <sup>2</sup> C 总线的通用模拟软件包	208
8.1.4	中断系统的功能	171	9.5.4	I <sup>2</sup> C 总线应用举例	213
8.2	AT89S51 单片机的中断系统	173	9.6	扩展数/模转换器	217
8.2.1	中断系统的结构	173	9.6.1	数/模转换器简介	218
8.2.2	中断源及中断入口	173	9.6.2	数/模转换电路原理	218
8.2.3	与中断控制有关的寄存器	175	9.6.3	D/A 转换器的主要技术指标	219
8.3	中断处理过程	178	9.6.4	并行 D/A 转换器	220
8.3.1	中断响应	178	9.7	扩展模/数转换器	223
8.3.2	中断处理	179	9.7.1	模/数转换器简介	223
8.3.3	中断返回	180	9.7.2	模/数转换器的主要技术指标	224
8.3.4	中断请求的撤除	180	9.7.3	逐次逼近式 A/D 转换器	224
8.3.5	中断响应时间	181	9.7.4	双积分 A/D 转换器	228
8.3.6	扩充外中断源	181	9.7.5	串行 A/D 转换器	232
8.4	中断程序的设计与应用	182	思考与练习		234
8.4.1	中断程序的一般设计方法	183	<b>第 10 章 接口技术</b>		236
8.4.2	中断程序应用举例	185	10.1	键盘接口	236
思考与练习		192	10.1.1	键盘工作原理	236
<b>第 9 章 单片机的系统扩展</b>		193	10.1.2	独立式按键	237
9.1	并行扩展概述	193	10.1.3	行列式键盘	239
9.1.1	系统扩展常用接口芯片	193	10.2	显示器接口	246
9.1.2	外部并行扩展总线	195	10.2.1	LED 显示器的结构与原理	246
9.1.3	并行扩展的寻址方法	196	10.2.2	LED 静态显示方式	247
9.2	存储器的并行扩展	197	10.2.3	LED 动态显示方式	248
9.2.1	数据存储器扩展概述	197	10.2.4	液晶显示器概述	251
9.2.2	访问片外数据存储器的操作时序	197	10.2.5	字符型液晶显示模块 LCM 的组成及原理	252
9.2.3	数据存储器扩展举例	198	10.2.6	字符型液晶显示模块 LCM 的引脚及说明	253
9.3	并行 I/O 接口的扩展	199	10.2.7	LCM 的指令	254
9.3.1	扩展并行 I/O 口简述	199	10.2.8	LCM 的复位及初始化	256
9.3.2	简单并行 I/O 口的扩展	200	10.2.9	LCM 的接口及应用举例	257
9.4	串行扩展概述	201	10.3	功率驱动器件及接口电路	263
9.4.1	常用串行总线与串行接口简介	201	10.3.1	输出接口的隔离技术	264
9.4.2	单片机串行扩展的模拟技术	205	10.3.2	直流负载驱动电路	264
9.4.3	串行扩展的主要特点	205	10.3.3	晶闸管负载驱动电路	265
9.5	I <sup>2</sup> C 总线	206	10.3.4	继电器接口电路	266
9.5.1	I <sup>2</sup> C 总线的组成及基本工作原理	206			
9.5.2	I <sup>2</sup> C 总线的传输时序	206			

10.3.5 固态继电器接口电路	267	11.4 PC 机与单片机间的	
10.4 打印机接口	268	串行通信设计	286
10.4.1 微型打印机简介	268	11.4.1 RS-232C 标准接口	286
10.4.2 字符代码及打印命令	269	11.4.2 单片机与 PC 机之间的	
10.4.3 打印机与单片机接口		电平转换芯片	287
举例	270	11.4.3 PC 机与单片机串行通信	
思考与练习	272	应用实例	288
<b>第 11 章 单片机应用系统的设计</b>		11.5 步进电机控制设计	293
<b>与开发</b>	273	11.5.1 步进电机的工作原理	294
11.1 应用系统研制过程	273	11.5.2 步进电机的控制方法	294
11.1.1 总体方案设计	273	11.5.3 步进电机控制应用举例	295
11.1.2 硬件设计	274	思考与练习	299
11.1.3 软件设计	276	<b>附录 A 80C51 指令表</b>	300
11.2 开发工具和开发方法	278	<b>附录 B 各数制对照表</b>	305
11.2.1 开发工具	278	<b>附录 C ASCII</b>	
11.2.2 开发方法	280	(美国标准信息交换码) 表	306
11.3 恒温箱温度控制监测系统	281	<b>附录 D 二进制逻辑单元图形符号</b>	
11.3.1 题目分析	282	对照表	307
11.3.2 硬件设计	282	<b>附录 E 常用芯片引脚图</b>	308
11.3.3 软件设计	283	<b>参考文献</b>	310

# 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 I<sup>2</sup>C、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。

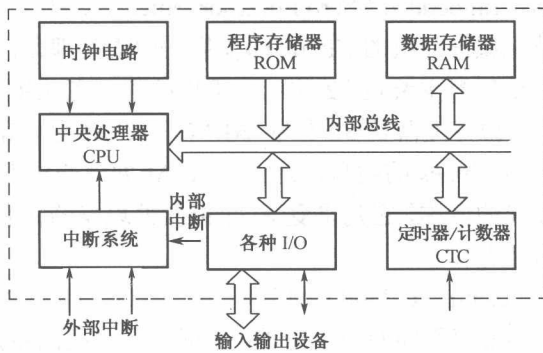


图 1-1 单片机结构框图

### 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 $\mu$ 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 XScall 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。