



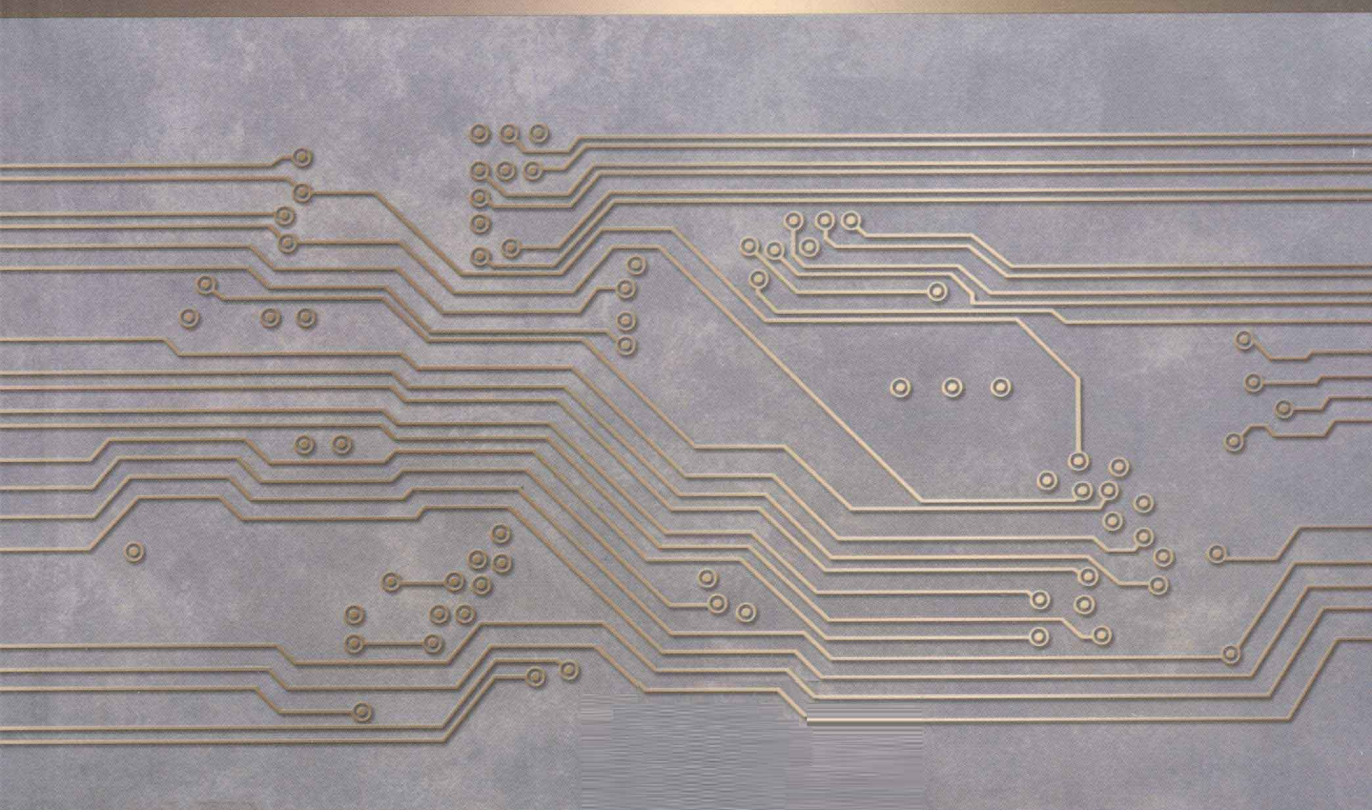
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新编电气与电子信息类本科规划教材

# 单片机原理与接口技术

## (第2版)

李晓林 牛昱光 阎高伟 主编 李临生 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
新编电气与电子信息类本科规划教材

# 单片机原理与接口技术

## （第2版）

李晓林 牛昱光 阎高伟 主编  
李临生 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书在第1版基础上,保留并修订了MCS-51单片机的硬件结构、指令系统、内部资源的应用方法、51汇编语言及C51语言程序设计方法、Keil C51调试工具软件等51内核单片机的基本应用扩展技术和单片机应用系统的抗干扰技术等内容,补充完善了实验和课程设计内容及每章后的习题与思考题。增加了目前较为流行的I<sup>2</sup>C和SPI等串行接口扩展技术、短距离无线扩展技术和Proteus仿真调试工具软件等内容,以使读者能达到以当今主流技术开发单片机应用产品的目的。新增内容包括:以串行接口技术扩展存储器、I/O接口、键盘、显示器、A/D转换、D/A转换、日历时钟芯片和IC卡的方法;点对点无线通信和ZigBee无线网络通信等单片机系统短距离无线扩展技术;单片机系统供电电源解决方案和典型实用电路;应用Proteus电路分析仿真软件进行仿真调试的方法。为配合初学者学习,本书还专门设计并为读者提供一套单片机实验开发系统(学习板)的硬件原理图、PCB版图设计资料和软件源程序包,供读者搭建一个实际开发环境进行开发训练,以增强实际开发能力。

本书可作为高等学校通信工程、电子信息工程、测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化、计算机科学与技术等专业的“单片机原理与接口技术”相关课程的教材,也可作为从事单片机系统开发应用的工程技术人员及单片机爱好者的自学用书或参考书。

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

单片机原理与接口技术/李晓林,牛昱光,阎高伟主编.—2版.—北京:电子工业出版社,2011.2  
新编电气与电子信息类本科规划教材  
ISBN 978-7-121-12619-2

I. ①单… II. ①李…②牛…③阎… III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校—教材②单片微型计算机—接口—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第249700号

责任编辑:凌 毅

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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:23.75 插页:1 字数:638千字

印 次:2011年2月第1次印刷

册 数:4000册 定价:39.00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。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

在电子技术日新月异的今天，各类生产活动和产品中都可以看到单片机应用的实例，如仪器仪表、机电设备、车辆船舶、通信系统、制造业、过程控制、航空航天、军事领域和家电产品等，单片机已成为各类机电产品的核心控制部件。作为一个完整的数字处理系统，单片机具备了构成计算机的核心单元，并集成了大量的外围功能器件，使得用单片机实现某个特定的控制功能变得十分方便。单片机的应用使得产品的硬件成本大大降低，设计工作灵活多样，往往只需要改动部分软件程序，就可以增加和改善产品的功能和性能。

单片机的神奇功效，给人一种神秘莫测、难以驾驭之感。学习单片机技术需要加强实践，初学者应树立在“学中做”，在“做中学”的思想。先学习单片机硬件结构、存储结构、指令系统和中断系统，然后学习单片机芯片内集成的定时器/计数器和通信等各种接口功能，再进一步学习使用并行或串行扩展方法去扩展各种应用接口。从最小系统板开始，结合实验板进行控制硬件的编程练习，不断循序渐进，进而逐步掌握单片机的应用技术。

单片机的型号和种类繁多，MCS-51 单片机在中小型应用中极为常见，已经成为单片机领域的实际标准。20 世纪 80 年代中期，Intel 公司将 MCS-51 内核使用权以专利互换或出售的形式转让给世界许多著名的 IC 制造厂商，使得 MCS-51 得到众多制造厂商的支持，发展出上百个品种，成为一个大家族。到目前为止，其他任何一个单片机系列均未发展到如此规模。正是由于 MCS-51 单片机技术的成熟和以 51 单片机技术为内核的众多单片机品种的广泛应用，以及丰富的 51 系列单片机技术资料 and 教学资源，51 系列单片机已经成为人们学习单片机技术的很好选择。本书从介绍 MCS-51 单片机的结构、原理和扩展方法入手，使读者掌握 51 内核单片机的应用技术。

本书在第 1 版的基础上，结合编者在单片机技术方面多年的教学和应用经验，对本书内容做了修订、补充和完善。本书编写的主导思想是以 51 系列单片机技术知识为基础，在讲清讲透 51 系列单片机系统原理的基础上，增加目前较为流行的串行接口扩展新技术，如 I<sup>2</sup>C 总线技术、SPI 总线技术，以及 IC 卡技术和短距离无线通信技术等，使读者能达到以当今主流技术开发单片机应用产品的目的。补充和新增内容有：

(1) 以串行接口技术扩展存储器、I/O 接口、键盘、显示器、A/D 转换、D/A 转换、日历时钟芯片和 IC 卡的方法；

(2) 点对点无线通信和 ZigBee 无线网络等短距离无线通信技术；

(3) 单片机系统供电电源解决方案及方法；

(4) 应用 Proteus 电路分析仿真软件和 Keil C51 进行仿真调试的方法；

(5) 专门为初学者学习单片机开发技术而设计的单片机实验开发系统（学习板）硬件原理图和 PCB 的设计资料及软件源程序包，供读者搭建一个实际开发环境进行开发训练，以增强实际开发能力。

本书共分为 15 章。第 1 章，介绍单片机的结构、特点和应用，以及 51 内核单片机系列，并从一个实例出发说明单片机的应用及其设计方法；第 2 章，以 MCS-51 为例介绍单片机的硬件结构；第 3 章，介绍 MCS-51 的指令系统；第 4 章，介绍 MCS-51 汇编语言程序设计；第 5

章,介绍 MCS-51 单片机 C51 程序设计;第 6 章,以 MCS-51 为例介绍单片机的中断系统;第 7 章,以 MCS-51 为例介绍单片机的内部定时/计数器和串行通信接口等;第 8 章,介绍单片机系统的存储器、并行接口、键盘、显示器、打印机等基本并行扩展技术;第 9 章,介绍 I<sup>2</sup>C 和 SPI 等常用串行总线协议、串行存储器扩展、串行/并行 I/O 接口扩展、串行键盘和 LED 显示器扩展等单片机系统常用串行扩展技术;第 10 章,介绍并行和串行接口的模拟量输入/输出扩展、日历时钟芯片和 IC 卡接口等扩展技术;第 11 章,介绍点对点无线通信和 ZigBee 无线网络通信等单片机系统短距离无线扩展技术;第 12 章,介绍单片机系统供电电源解决方案和典型实用的电源电路;第 13 章,介绍单片机应用系统抗干扰技术;第 14 章,介绍应用 Proteus 和 Keil C51 等工具软件进行单片机应用系统设计的硬件和软件仿真调试及分析方法;第 15 章,给出了与本书配套的实验指导和课程设计选题与要求。每章都配有适量的习题与思考题。本书配有电子课件、习题答案、例题源程序包、单片机实验开发系统(学习板)硬件设计资料及软件源程序包等教学资源,读者可以登录华信教育资源网([www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn))免费注册下载。

本书教学安排 40~60 学时(含实验 12~20 学时),具体教学内容可根据实际情况取舍。建议第 1~7 章作为基本教学内容,以使 学生掌握单片机的基本结构和原理,其中第 4~5 章程序设计方法应侧重于 C51 语言编程一章;第 8 章是传统的并行接口扩展,为的是让学生了解利用地址、数据和控制三总线扩展接口的方法,可根据教学时数取舍;第 9 章和第 10 章中的串行接口扩展部分是目前较为流行和广泛应用的技术,可作为重点内容介绍,第 10 章中的并行 A/D、D/A 内容可同第 8 章作同样处理;第 11 章无线扩展可根据学时取舍;第 12~13 章留给学生自学;第 14 章的仿真调试可做简要介绍;第 15 章可在实验和课程设计中选择安排。

本书由太原理工大学李晓林、牛昱光、阎高伟共同主编,太原理工大学李丽宏、温景国、武娟萍、张兴忠、马春燕、陈泽华、山西大学尹王保、广东工业大学许鸥、中北大学苏淑靖、太原科技大学田启川、潘峰、太原工业学院郭芸俊等参与编写。李晓林编写第 3 章,牛昱光编写第 5 章,阎高伟编写第 10 章,李丽宏编写第 14 章,温景国编写第 8 章,武娟萍编写第 7 章,张兴忠编写第 13 章,马春燕编写第 15 章,陈泽华编写第 2 章,尹王保编写第 1 章,许鸥编写第 9 章,苏淑靖编写第 6 章,田启川编写第 11 章,潘峰编写第 12 章,郭芸俊编写第 4 章。本书的多媒体课件、源程序包、习题答案和单片机实验开发系统(学习板)设计资料及软件源程序等教学资源由牛昱光、李晓林、阎高伟、石兵、李闯勤等负责开发设计和制作。全书由李晓林、牛昱光和阎高伟负责整理和统稿。

太原科技大学李临生教授负责审稿,为本书提出了许多宝贵意见和建议。广东梅州嘉应学院朱向庆对本书的编写提出了许多宝贵意见。石兵和李闯勤等多位硕士研究生为本书的多媒体课件、习题答案和单片机实验开发系统(学习板)的设计和制作做出了很大贡献。编者在此一并表示衷心感谢。

由于单片机技术的发展日新月异,且编者的水平有限,书中难免有不尽如人意之处,敬请广大读者提出意见和建议。编者电子信箱:niuyuguang@tyut.edu.cn。

编 者

2010 年 12 月

# 目 录

|                       |    |                     |    |
|-----------------------|----|---------------------|----|
| 第1章 概述                | 1  | 2.6 时钟电路和时序         | 32 |
| 1.1 单片机的结构组成、特点和指标    | 1  | 2.6.1 时钟电路          | 32 |
| 1.1.1 微型计算机的基本结构      | 1  | 2.6.2 时序            | 33 |
| 1.1.2 单片机的基本结构        | 2  | 2.7 单片机的工作方式        | 35 |
| 1.1.3 单片机的特点          | 3  | 2.7.1 复位方式          | 35 |
| 1.1.4 单片机的重要指标        | 3  | 2.7.2 程序执行方式        | 36 |
| 1.2 单片机的发展历史和产品类型     | 4  | 2.7.3 低功耗运行方式       | 36 |
| 1.2.1 单片机的发展历史        | 4  | 习题与思考题 2            | 37 |
| 1.2.2 单片机的产品类型        | 5  | 第3章 MCS-51 单片机指令系统  | 38 |
| 1.2.3 80C51 系列单片机     | 5  | 3.1 指令系统简介          | 38 |
| 1.2.4 其他系列单片机         | 9  | 3.1.1 指令系统的分类       | 38 |
| 1.3 单片机的应用            | 9  | 3.1.2 指令格式          | 39 |
| 1.3.1 单片机应用领域         | 9  | 3.1.3 指令中的常用符号      | 39 |
| 1.3.2 单片机应用举例         | 10 | 3.1.4 寻址方式          | 40 |
| 1.4 单片机技术相关网站         | 14 | 3.2 指令系统            | 44 |
| 习题与思考题 1              | 15 | 3.2.1 数据传送指令        | 44 |
| 第2章 MCS-51 单片机硬件结构和原理 | 16 | 3.2.2 算术运算指令        | 48 |
| 2.1 MCS-51 系列单片机的分类   | 16 | 3.2.3 逻辑运算指令        | 52 |
| 2.2 单片机硬件结构           | 16 | 3.2.4 控制转移指令        | 55 |
| 2.2.1 单片机的引脚功能        | 16 | 3.2.5 位操作指令         | 59 |
| 2.2.2 单片机的内部结构        | 18 | 习题与思考题 3            | 61 |
| 2.3 中央处理器 (CPU)       | 19 | 第4章 MCS-51 汇编语言程序设计 | 64 |
| 2.3.1 运算器             | 19 | 4.1 程序设计概述          | 64 |
| 2.3.2 控制器             | 20 | 4.1.1 程序设计的步骤       | 64 |
| 2.3.3 布尔 (位) 处理器      | 21 | 4.1.2 程序设计的方法       | 65 |
| 2.4 存储器               | 21 | 4.1.3 汇编语言的规范       | 65 |
| 2.4.1 程序存储器           | 22 | 4.1.4 汇编语言程序编辑和汇编   | 68 |
| 2.4.2 数据存储器           | 22 | 4.2 结构化程序设计方法       | 69 |
| 2.5 并行输入/输出 (I/O) 端口  | 26 | 4.2.1 顺序结构程序        | 69 |
| 2.5.1 P1 口            | 27 | 4.2.2 分支结构程序        | 70 |
| 2.5.2 P2 口            | 27 | 4.2.3 循环结构程序        | 71 |
| 2.5.3 P3 口            | 28 | 4.2.4 查表程序          | 74 |
| 2.5.4 P0 口            | 29 | 4.2.5 子程序           | 75 |
| 2.5.5 并行口的应用          | 30 | 4.3 汇编语言程序设计实例      | 78 |



|                                         |            |                                     |            |
|-----------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|
| 4.3.1 算术运算程序 .....                      | 78         | 6.1.2 中断的概念 .....                   | 121        |
| 4.3.2 数据排序程序 .....                      | 82         | 6.2 MCS-51 中断系统 .....               | 123        |
| 4.3.3 数制转换程序 .....                      | 83         | 6.2.1 中断系统的内部结构 .....               | 123        |
| 4.3.4 线性标度变换程序 .....                    | 86         | 6.2.2 中断源与中断方式 .....                | 123        |
| 习题与思考题 4 .....                          | 86         | 6.2.3 中断控制寄存器 .....                 | 125        |
| <b>第 5 章 MCS-51 单片机 C51 程序设计</b> .....  | <b>88</b>  | 6.2.4 中断响应 .....                    | 129        |
| 5.1 C51 概述 .....                        | 88         | 6.3 中断应用举例 .....                    | 131        |
| 5.2 C51 语法基础 .....                      | 89         | 6.3.1 中断服务程序设计 .....                | 131        |
| 5.2.1 标识符和关键字 .....                     | 89         | 6.3.2 中断系统应用实例 .....                | 132        |
| 5.2.2 数据类型 .....                        | 90         | 习题与思考题 6 .....                      | 136        |
| 5.2.3 C51 运算符和表达式 .....                 | 92         | <b>第 7 章 MCS-51 单片机定时/计数器和</b>      |            |
| 5.2.4 程序结构 .....                        | 93         | <b>串行接口</b> .....                   | <b>137</b> |
| 5.3 C51 对 MCS-51 单片机的访问 .....           | 94         | 7.1 定时/计数器 .....                    | 137        |
| 5.3.1 存储类型 .....                        | 94         | 7.1.1 定时/计数器的结构与原理 .....            | 137        |
| 5.3.2 存储模式 .....                        | 95         | 7.1.2 定时/计数器的工作方式 .....             | 139        |
| 5.3.3 对特殊功能寄存器的访问 .....                 | 96         | 7.1.3 定时/计数器对输入信号的要求 .....          | 142        |
| 5.3.4 对存储器和并行口的访问 .....                 | 97         | 7.1.4 定时/计数器的应用 .....               | 142        |
| 5.3.5 位地址访问 .....                       | 100        | 7.2 串行通信接口 .....                    | 149        |
| 5.4 C51 函数 .....                        | 100        | 7.2.1 串行通信基础知识 .....                | 149        |
| 5.4.1 函数的分类 .....                       | 101        | 7.2.2 MCS-51 串行通信接口 .....           | 151        |
| 5.4.2 函数的定义 .....                       | 101        | 7.2.3 串行通信接口的应用 .....               | 155        |
| 5.4.3 函数的调用 .....                       | 102        | 习题与思考题 7 .....                      | 162        |
| 5.4.4 对被调函数的说明 .....                    | 102        | <b>第 8 章 单片机系统基本并行扩展技术</b> .....    | <b>164</b> |
| 5.4.5 中断函数 .....                        | 103        | 8.1 概述 .....                        | 164        |
| 5.5 C51 结构化程序设计 .....                   | 104        | 8.2 外部总线扩展 .....                    | 164        |
| 5.5.1 顺序结构程序 .....                      | 104        | 8.3 外部存储器扩展 .....                   | 165        |
| 5.5.2 选择结构程序 .....                      | 104        | 8.3.1 外部程序存储器扩展 .....               | 165        |
| 5.5.3 循环结构程序 .....                      | 107        | 8.3.2 外部数据存储器扩展 .....               | 170        |
| 5.6 C51 程序设计实例 .....                    | 109        | 8.3.3 多片存储器芯片扩展 .....               | 172        |
| 5.6.1 查表程序 .....                        | 109        | 8.4 并行接口扩展 .....                    | 173        |
| 5.6.2 单片机内/外部资源应用<br>程序设计 .....         | 110        | 8.4.1 并行接口的简单扩展方法 .....             | 173        |
| 5.6.3 C51 语言和 MCS-51 汇编语言<br>混合编程 ..... | 116        | 8.4.2 8155 可编程并行 I/O 接口<br>扩展 ..... | 175        |
| 5.6.4 编程优化的概念 .....                     | 118        | 8.5 显示器与键盘扩展 .....                  | 179        |
| 习题与思考题 5 .....                          | 118        | 8.5.1 LED 显示器接口扩展 .....             | 179        |
| <b>第 6 章 MCS-51 单片机中断系统</b> .....       | <b>120</b> | 8.5.2 LCD 显示器接口扩展 .....             | 181        |
| 6.1 中断概述 .....                          | 120        | 8.5.3 键盘接口扩展 .....                  | 183        |
| 6.1.1 CPU 与外设的输入/输出方式 .....             | 120        | 8.5.4 键盘和显示器接口设计实例 .....            | 187        |
|                                         |            | 8.6 打印机扩展 .....                     | 189        |

|                                         |                    |     |                             |                        |     |
|-----------------------------------------|--------------------|-----|-----------------------------|------------------------|-----|
| 8.6.1                                   | TPuP-16A/40A 微型打印机 | 189 | 10.4.4                      | 单片机与 SLE4442 IC 卡的接口方法 | 255 |
| 8.6.2                                   | 打印机接口扩展方法          | 190 | 习题与思考题 10                   |                        | 256 |
| 习题与思考题 8                                |                    | 192 | <b>第 11 章 单片机系统无线扩展技术</b>   |                        | 257 |
| <b>第 9 章 单片机系统常用串行扩展技术</b>              |                    | 194 | 11.1 点对点无线通信                |                        | 257 |
| 9.1 常用串行总线协议                            |                    | 194 | 11.1.1 nRF905 芯片介绍          |                        | 257 |
| 9.1.1 I <sup>2</sup> C 串行总线             |                    | 194 | 11.1.2 应用 nRF905 扩展单片机无线接口  |                        | 261 |
| 9.1.2 SPI 总线                            |                    | 198 | 11.2 ZigBee 无线网络技术简介        |                        | 265 |
| 9.1.3 单线总线                              |                    | 201 | 11.2.1 ZigBee 网络框架          |                        | 266 |
| 9.2 串行存储器扩展                             |                    | 204 | 11.2.2 ZigBee 网络中的设备        |                        | 266 |
| 9.2.1 I <sup>2</sup> C 接口 EEPROM 的存储器扩展 |                    | 204 | 11.2.3 ZigBee 网络拓扑结构        |                        | 266 |
| 9.2.2 SPI 接口的大容量 Flash 存储器扩展            |                    | 209 | 11.2.4 ZigBee 技术的特点和应用领域    |                        | 267 |
| 9.3 串行转并行 I/O 接口扩展                      |                    | 214 | 11.3 ZigBee 无线网络技术应用实例      |                        | 268 |
| 9.3.1 串行转并行 I/O 扩展芯片的工作原理               |                    | 214 | 11.3.1 支持 ZigBee 无线网络的单片机选择 |                        | 268 |
| 9.3.2 串行总线扩展 I/O 接口实例                   |                    | 216 | 11.3.2 串行总线接口的数字式温湿度传感器选择   |                        | 272 |
| 9.4 串行键盘和 LED 显示器扩展                     |                    | 218 | 11.3.3 ZigBee 无线网络节点的硬件电路设计 |                        | 276 |
| 9.4.1 串行键盘和 LED 显示器控制芯片的工作原理            |                    | 218 | 11.3.4 软件设计                 |                        | 277 |
| 9.4.2 串行键盘和 LED 显示器扩展实例                 |                    | 221 | 习题与思考题 11                   |                        | 280 |
| 9.5 串行总线扩展实例简介                          |                    | 226 | <b>第 12 章 单片机系统电源设计</b>     |                        | 281 |
| 习题与思考题 9                                |                    | 228 | 12.1 单片机系统电源设计的考虑因素         |                        | 281 |
| <b>第 10 章 单片机系统模拟量及其他扩展技术</b>           |                    | 229 | 12.2 线性稳压供电电源               |                        | 281 |
| 10.1 A/D 转换扩展                           |                    | 229 | 12.2.1 三端固定输出集成稳压器电源电路      |                        | 282 |
| 10.1.1 并行 A/D 转换扩展                      |                    | 229 | 12.2.2 三端可调输出集成稳压器电源电路      |                        | 282 |
| 10.1.2 串行 A/D 转换扩展                      |                    | 231 | 12.2.3 低压差线性稳压器 (LDO) 电源电路  |                        | 283 |
| 10.2 D/A 转换扩展                           |                    | 241 | 12.3 DC/DC 供电电源             |                        | 284 |
| 10.2.1 并行 D/A 转换扩展                      |                    | 241 | 12.3.1 降压型 DC/DC 电源电路       |                        | 284 |
| 10.2.2 串行 D/A 转换扩展                      |                    | 244 | 12.3.2 升压型 DC/DC 电源电路       |                        | 286 |
| 10.3 日历时钟芯片扩展                           |                    | 248 | 12.3.3 DC/DC 模块电源的选择与应用     |                        | 288 |
| 10.3.1 日历时钟芯片 8563                      |                    | 248 | 12.4 AC/DC 供电技术             |                        | 289 |
| 10.3.2 单片机与日历时钟芯片的接口方法                  |                    | 250 | 12.4.1 AC/DC 电源技术           |                        | 289 |
| 10.4 IC 卡扩展                             |                    | 251 | 12.4.2 AC/DC 模块电源           |                        | 291 |
| 10.4.1 SLE4442 IC 卡                     |                    | 251 | 12.5 基准电源的产生方法              |                        | 292 |
| 10.4.2 SLE4442 IC 卡数据传送协议               |                    | 252 |                             |                        |     |
| 10.4.3 SLE4442 IC 卡操作命令                 |                    | 254 |                             |                        |     |



|                                            |            |                                             |            |
|--------------------------------------------|------------|---------------------------------------------|------------|
| 12.5.1 稳压管基准电压源电路·····                     | 292        | 14.3 Proteus 电路分析与实物仿真软件及<br>调试方法·····      | 325        |
| 12.5.2 集成块基准电压源电路·····                     | 292        | 14.3.1 Proteus 仿真软件·····                    | 325        |
| 习题与思考题 12·····                             | 295        | 14.3.2 应用 Proteus 进行单片机应用<br>系统仿真调试的方法····· | 326        |
| <b>第 13 章 单片机应用系统抗干扰技术</b> ·····           | <b>296</b> | 14.3.3 应用 Proteus 进行单片机系统<br>仿真调试举例·····    | 327        |
| 13.1 干扰源及其分类·····                          | 296        | 14.4 单片机应用系统设计举例·····                       | 331        |
| 13.1.1 干扰的定义·····                          | 296        | 14.4.1 需求分析·····                            | 331        |
| 13.1.2 干扰的种类·····                          | 296        | 14.4.2 功能说明·····                            | 332        |
| 13.2 干扰对单片机应用系统的影响·····                    | 298        | 14.4.3 体系结构设计·····                          | 332        |
| 13.3 硬件抗干扰技术·····                          | 299        | 14.4.4 硬件系统设计·····                          | 334        |
| 13.3.1 无源滤波·····                           | 299        | 14.4.5 软件系统设计·····                          | 335        |
| 13.3.2 有源滤波·····                           | 299        | 14.4.6 系统调试·····                            | 339        |
| 13.3.3 去耦电路·····                           | 299        | 习题与思考题 14·····                              | 339        |
| 13.3.4 屏蔽技术·····                           | 300        | <b>第 15 章 实验及课程设计</b> ·····                 | <b>340</b> |
| 13.3.5 隔离技术·····                           | 300        | 15.1 概述·····                                | 340        |
| 13.3.6 接地技术·····                           | 302        | 15.2 实验·····                                | 340        |
| 13.4 软件抗干扰技术·····                          | 304        | 15.2.1 实验 1——BCD 码/十六进制<br>码转换·····         | 340        |
| 13.4.1 软件抗干扰的一般方法·····                     | 304        | 15.2.2 实验 2——排序程序·····                      | 341        |
| 13.4.2 指令冗余技术·····                         | 305        | 15.2.3 实验 3——定时/计数器·····                    | 343        |
| 13.4.3 软件陷阱技术·····                         | 305        | 15.2.4 实验 4——基本输入/输出·····                   | 347        |
| 13.4.4 “看门狗”技术·····                        | 308        | 15.2.5 实验 5——外部中断·····                      | 349        |
| 13.5 数字滤波技术·····                           | 310        | 15.2.6 实验 6——并行接口扩展·····                    | 351        |
| 13.5.1 一阶低通滤波法·····                        | 310        | 15.2.7 实验 7——A/D 转换·····                    | 354        |
| 13.5.2 程序判断滤波法·····                        | 311        | 15.2.8 实验 8——D/A 转换·····                    | 355        |
| 13.5.3 算术平均滤波法·····                        | 311        | 15.2.9 实验 9——单片机与<br>PC 通信·····             | 356        |
| 13.5.4 中位值平均滤波法·····                       | 312        | 15.2.10 实验 10——综合实验(温度<br>控制系统设计实例)·····    | 360        |
| 13.5.5 中值滤波法·····                          | 313        | 15.3 课程设计·····                              | 364        |
| 13.5.6 递推平均滤波法·····                        | 313        | 15.3.1 课程设计的目的·····                         | 364        |
| 13.5.7 防脉冲干扰平均值滤波法·····                    | 314        | 15.3.2 课程设计要求·····                          | 364        |
| 习题与思考题 13·····                             | 315        | 15.3.3 课程设计题目及要求·····                       | 365        |
| <b>第 14 章 单片机系统开发工具与<br/>设计实例</b> ·····    | <b>316</b> | <b>附录 A MCS-51 汇编指令-机器码<br/>对照表</b> ·····   | <b>369</b> |
| 14.1 单片机应用系统开发环境·····                      | 316        | <b>附录 B ASCII 编码表</b> ·····                 | <b>371</b> |
| 14.1.1 开发系统的功能·····                        | 316        | <b>参考文献</b> ·····                           | <b>372</b> |
| 14.1.2 开发系统的分类·····                        | 316        |                                             |            |
| 14.2 Keil C51 开发工具及仿真调试方法·····             | 317        |                                             |            |
| 14.2.1 Keil C51 开发工具·····                  | 317        |                                             |            |
| 14.2.2 应用 Keil C51 进行单片机<br>软件开发调试的方法····· | 319        |                                             |            |
| 14.2.3 应用 Keil C51 调试 C51 应用<br>程序举例·····  | 322        |                                             |            |

# 第 1 章 概 述

本章教学要求:

- (1) 了解单片机与微型计算机的区别。
- (2) 熟悉单片机的结构组成。
- (3) 了解单片机的特点与指标。
- (4) 了解单片机的发展历史、常用产品及应用领域。
- (5) 了解单片机基本应用系统的组成。

## 1.1 单片机的结构组成、特点和指标

微型计算机由运算器、控制器、存储器、输入/输出接口 4 个基本部分和输入/输出设备等组成。如果把运算器与控制器封装在一小块芯片上,则该芯片称为微处理器。如果将 CPU 与大规模集成电路制成的存储器和输入/输出接口电路在印制电路板上用总线连接起来,再配以适当的输入/输出设备(如磁盘存储器、键盘和显示器等),就构成了微型计算机。如果在一块芯片上,集成了一台微型计算机的 4 个基本组成部分,则这种芯片就称为单片微型计算机(single-chip microcomputer),简称单片机。以单片机为核心的硬件电路称为单片机系统。

### 1.1.1 微型计算机的基本结构

微型计算机的基本结构如图 1-1 所示。

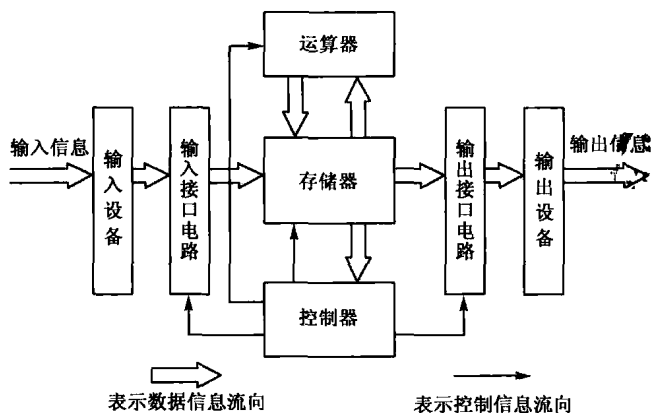


图 1-1 微型计算机的基本结构

#### 1. 控制器

控制器(controller)是计算机的控制核心,它的功能是负责从内部存储器中取出指令,对指令进行分析、判断,并根据指令发出控制信号,使计算机有条不紊地协调工作。

#### 2. 运算器

运算器的核心部件是算术/逻辑单元(ALU),主要完成算术运算和逻辑运算。

#### 3. 存储器

存储器(memory)是具有记忆功能的部件,用于存储程序和数据。存储器根据其位置不同可分为两类:内部存储器和外部存储器。内部存储器(简称内存)和 CPU 直接相连,存放当前

要运行的程序和数据，故称主存储器（简称主存）。它的特点是存取速度快，基本上可与 CPU 处理速度相匹配，但价格较高，存储容量较小。外部存储器（简称外存），主要用于保存暂时不用但又需长时间保留的数据和程序。存放在外存的程序必须调入内存才能运行。外存的存储容量大，价格较低，但存取速度较慢。

4. 输入/输出接口

输入/输出接口（Input/Output, I/O）又称 I/O 接口，是 CPU 与外设相连的逻辑电路，外设必须通过接口才能和 CPU 相连。不同的外设所用接口不同。每个 I/O 接口有一个地址，CPU 按照地址通过对不同的 I/O 接口进行操作来完成对外设的操作。

5. 输入和输出设备

输入和输出设备（如键盘、鼠标、显示器、打印机等）用于和计算机进行信息交流的输入和输出操作。

6. 总线

总线（bus）是控制器、运算器、存储器、I/O 接口之间相连的一组线。数据总线（Data Bus, DB）是用于传送程序或数据的总线；地址总线（Address Bus, AB）用于传送地址，以识别不同的存储单元或 I/O 接口；控制总线（Control Bus, CB）用于传输控制信号，这些控制信号控制计算机按一定的时序有规律地自动工作。

1.1.2 单片机的基本结构

单片机的基本结构可用图 1-2 所示的框图描述。图 1-2 与图 1-1 的对应关系是：中央处理器（CPU）包含了控制器和运算器；只读存储器（ROM）和随机存储器（RAM），ROM 存放程序，RAM 存放数据；I/O 对应输入接口和输出接口。另外，在单片机内部还集成了定时/计数器（T/C）、中断控制器和系统时钟电路等。单片机用总线实现 CPU，ROM，RAM，I/O 各模块之间的信息传递。其实，具体到某一种型号的单片机，其芯片内部集成的 ROM 和 RAM 的大小、I/O 端口的多少、定时/计数器的多少和位数都不尽相同，但 CPU 只有一个，各模块的功能大致相同。

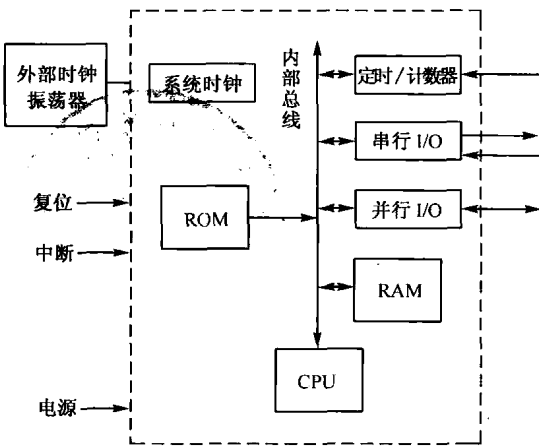


图 1-2 单片机的基本结构

1. 中央处理器

中央处理器(CPU)是单片机的核心单元，由算术逻辑运算部件和控制部件构成。

2. 程序存储器

程序存储器采用 ROM，用来存放用户程序，可分为 EPROM，Mask ROM，OTP ROM 和 Flash ROM 等。

3. 数据存储器

数据存储器采用 RAM，用来存放程序运行中的工作变量和数据。

4. 并行输入/输出端口

并行输入/输出端口通常为独立的双向 I/O 口，一般既可以用做输入方式，又可以用做输出方式，通过软件编程设定。I/O 口是单片机的重要资源，也是衡量单片机功能的重要指标之一。

## 5. 串行输入/输出端口

串行输入/输出端口用于单片机和串行设备或其他单片机系统的通信。串行通信有同步和异步之分，可用硬件或通用串行收/发器件实现。

## 6. 定时/计数器

定时/计数器 (T/C) 用于单片机内部精确定时或对外部事件进行计数，有的单片机内部有多个定时/计数器。

## 7. 系统时钟

系统时钟通常需要外接石英晶体或其他振荡源提供时钟信号输入，也有的使用内部 RC 振荡器。系统时钟相当于 PC 中的主频。

以上只是单片机的基本结构，现代的单片机又加入了许多新的功能部件，如模拟/数字转换器 (ADC)、数字/模拟转换器 (DAC)、温度传感器、液晶驱动电路、电压监控、“看门狗”电路、低压检测电路等。

### 1.1.3 单片机的特点

单片机除了具备体积小、价格低、性能强大、速度快、用途广、灵活性强、可靠性高等优点外，它与通用微型计算机相比，在硬件结构和指令功能方面还具有以下独特之处。

#### 1. 存储器 ROM 和 RAM 严格分工

ROM 用做程序存储器，只存放程序、常数和数据表格；而 RAM 用做数据存储器，存放临时数据和变量。这样的设计方案使单片机更适合用于实时控制（也称为现场控制或过程控制）系统。配置较大的程序存储空间，将已调试好的程序固化（即对 ROM 编程，也称为烧录或者烧写），这样不仅掉电时程序不会丢失，还避免了程序被破坏，从而确保了程序的安全性。实时控制仅需容量较小的 RAM，用于存放少量随机数据，这样有利于提高单片机的操作速度。

#### 2. 采用面向控制的指令系统

单片机的指令系统有很强的端口操作和位操作能力，在实时控制方面，尤其是在位操作方面单片机有着不俗的表现。

#### 3. I/O 端口引脚具有复用功能

I/O 端口引脚通常设计有多种功能，以充分利用数量有限的芯片引脚。在应用时，究竟使用多功能引脚的哪一种功能，可以由用户编程确定。

#### 4. 品种规格的系列化

属于同一个产品系列、不同型号的单片机，通常具有相同的内核、相同或兼容的指令系统。其主要的差别仅在于片内配置了一些不同种类或不同数量的功能部件和容量大小不同的 ROM 或 RAM，以适用于不同的被控对象。

#### 5. 硬件功能具有广泛的通用性

单片机的硬件功能具有广泛的通用性。同一种单片机可以用在不同的控制系统中，只是其中所配置的软件不同而已。换言之，给单片机固化上不同的软件，便可形成用途不同的专用智能芯片。

### 1.1.4 单片机的重要指标

#### 1. 位数

位数是指单片机能够一次处理的数据的宽度，有 1 位机（如 PD7502）、4 位机（如 MSM64155A）、8 位机（如 MCS-51）、16 位机（如 MCS-96）、32 位机（如 IMST414）。

## 2. 存储器

存储器包括程序存储器和数据存储器。程序存储器空间较大，字节数一般从几 KB 到几十 KB ( $1\text{ KB}=2^{10}\text{ B}=1\,024\text{ B}$ )，另外还有不同的类型，如 ROM，EPROM，EEPROM，Flash ROM 和 OTP ROM。数据存储器的字节数则通常为几十字节到几百字节之间。程序存储器的编程方式也是用户选择的一个重要因素，有的是串行编程，有的是并行编程，新一代的单片机有的还具有在系统编程 (In-System-Programmable, ISP) 或在应用编程 (In-Application re-Programmable, IAP) 功能，有的还有专用的 ISP 编程接口 JTAG 口。

## 3. I/O 端口

I/O 端口即输入/输出端口，一般有几个到几十个，用户可以根据自己的需要进行选择。

## 4. 速度

速度指的是 CPU 的处理速度，以每秒执行多少条指令衡量，常用单位是 MIPS (百万条指令每秒)，目前最快的单片机可达到 100 MIPS。单片机的速度通常是和系统时钟 (相当于 PC 的主频) 相联系的，但并不是频率高的处理速度就一定快，对于同一种型号的单片机来说，采用频率高的时钟一般比频率低的速度要快。

## 5. 工作电压

单片机的工作电压通常是 5 V，范围是  $\pm 5\%$  或  $\pm 10\%$ ，也有 3 V/3.3 V 电压的产品，更低的可在 1.5 V 工作。现代单片机又出现了宽电压范围型，即在 2.5~6.5 V 内都可正常工作。

## 6. 功耗

低功耗是现代单片机所追求的一个目标，目前低功耗单片机的静态电流可以低至微安 ( $\mu\text{A}$ ,  $10^{-6}\text{ A}$ ) 或纳安 ( $\text{nA}$ ,  $10^{-9}\text{ A}$ ) 级。有的单片机还具有等待、关断、睡眠等多种工作模式，以此来降低功耗。

## 7. 温度

单片机根据工作温度可分为民用级 (商业级)、工业级和军用级 3 种。民用级的温度范围是  $0\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，工业级是  $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，军用级是  $-55\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$  (不同厂家的划分标准可能不同)。

# 1.2 单片机的发展历史和产品类型

## 1.2.1 单片机的发展历史

在 1970 年微型计算机研制成功之后，单片微型计算机就随之出现了。1976 年，Intel 公司首先推出了 MCS-48 系列的单片微型计算机，它具有体积小、功能全、价格低等特点，获得了广泛的应用，为单片机的发展奠定了基础。

单片机的发展历史大致可分为 3 个阶段。

第 1 阶段 (1976—1978 年): 这是单片机刚开始出现时的初级阶段，以 Intel 公司的 MCS-48 系列为代表，此系列单片微型计算机具有 8 位 CPU、并行 I/O 端口、8 位时序同步计数器，寻址范围不大于 4 KB，但没有串口。

第 2 阶段 (1978—1982 年): 高性能单片微型计算机阶段，如 Intel 公司的 MCS-51、Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z-8 等系列。该类单片微型计算机具有串口、多级中断处理系统和 16 位时序同步计数器，RAM 和 ROM 容量加大，寻址范围可达 64 KB，有的芯片还有 A/D 转换接口。

第 3 阶段 (1982 年至今): 8 位单片微型计算机改良型及 16 与 32 位单片微型计算机阶段，如 Intel 公司的 16 位单片机 MCS-96 系列、32 位单片机 ARM 系列。

Intel 公司在 20 世纪 80 年代初发布了 MCS-51 系列单片机，其代表芯片包括基本型 8051/8751/8031 和增强型 8052/8752/8032，随后几年又相继推出了 80C51/87C51/80C31 和 80C52/87C52/80C32，这些统称为 51 系列单片机。

到目前为止，世界各地厂商研制出大约 50 个系列、300 多个各具特色的单片机产品。尽管目前单片机的品种繁多，但其中最典型性的仍当属 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机和以 51 技术为内核的众多派生单片机产品，目前市场上流行并占据主导地位的仍是 51 内核及其兼容单片机。这些单片机和 MCS-51 单片机的指令完全兼容，资料 and 开发设备比较齐全，价格也比较便宜。另外，从学习的角度来看，有了 51 单片机的基础后，再学习其他单片机时则非常容易。这也正是学习单片机技术要从学习 MCS-51 开始的原因。

## 1.2.2 单片机的产品类型

自从 8 位单片机诞生至今已 30 多年，在百花齐放的单片机家族中，Intel 公司的 MCS-51 以其典型的结构和完善的总线专用寄存器的集中管理，众多的逻辑位操作功能及面向控制的丰富的指令系统，堪称为一代“名机”，为以后的其他单片机的发展奠定了基础。正因为其优越的性能和完善的结构，导致后来的许多半导体厂商多沿用或参考 MCS-51 体系结构，以 8051 为基核，推出了许多兼容性单片机产品，丰富和发展了 MCS-51 单片机，形成了品种丰富的 80C51 系列产品。MCS-51 系列在 Intel 公司转让技术给 Philips 公司后也产生出很多个型号，产品性能也有所提高。

### 1. 80C51 系列单片机产品

80C51 系列单片机产品繁多，已成为单片机应用的主流产品。除了 Intel 公司的 80C51 系列产品之外，近年来各半导体厂商相继推出的与 80C51 兼容的主要产品有：Atmel 公司融入 Flash 存储器技术的 AT89 系列；宏晶公司的成本低、高性能 STC89 系列；SST 公司的 SST89 系列；Siemens 公司的高抗扰性和电磁兼容性 C500 系列；Philips 公司的 80C51、80C552 系列；Winbond（台湾华邦）的 W78C51、W77C51 高速低价系列；ADI 公司的 AD $\mu$ C8XX 高精度 ADC 系列；LG 公司的 GMS90/97 低压高速系列；Maxim 公司的 DS89C420 高速（50 MIPS）系列；Cygna! 公司的 C8051F 高速 SOC 系列。

### 2. 非 80C51 结构的单片机产品

非 80C51 结构的单片机新品不断推出，给用户提供了更为广泛的选择空间，近年来推出的非 80C51 系列的主要产品有：Intel 的 MCS-96 系列 16 位单片机；Microchip 的 PIC 系列 RISC 单片机；德州仪器的 TMS370 和 MSP430F 系列 16 位低功耗单片机；Atmel 公司的 AT90 系列 AVR 单片机；Ubicom 公司的 Scenix 单片机；Zilog 公司的 Z86 系列单片机；美国国家半导体公司的 NSCOP8 单片机；台湾义隆电子的 EM78 系列单片机；以及 Motorola、ARM、NEC、EPSON、东芝、三星、富士通等单片机。

## 1.2.3 80C51 系列单片机

### 1. MCS-51 系列

MCS-51 是 Intel 公司生产的单片机系列名称。属于这一系列的单片机有 8051/8751/8031；8052/8752/8032；80C51/87C51/80C31；80C52/87C52/80C32 等。该系列生产工艺有 HMOS（具有高速度和高密度的特点）和 CHMOS（具有 CMOS 低功耗和 HMOS 高速高密度的特点）两种工艺。在产品型号中凡带有字母“C”的即为 CHMOS 芯片。CHMOS 芯片的电平既能与 TTL 电平兼容，又与能 CMOS 电平兼容。

在本书的其他章节论述中，常用到 MCS-51 或 8031 这两个词。前者的含义包括了 8051/8751/8031 和 80C51/87C51/80C31 这一系列产品。

本书在第 2~7 章中通过详细讲解 MCS-51 的结构、原理和使用方法，以使读者详细了解 MCS-51 单片机的应用技术，并作为应用其他 51 内核单片机的基础。

2. 80C51 系列

80C51 是 MCS-51 系列中 CHMOS 工艺的一个典型品种，其他厂商以 8051 为基核开发出的 CMOS 工艺单片机产品统称为 80C51 系列。当前常用的 80C51 系列单片机产品种类繁多，性能各异，各有所长。

1) Intel 公司的 MCS-51 系列单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司生产的功能较强、价格较低、较早应用的单片机，目前仍被广泛应用。MCS-51 系列单片机的主要产品及其性能见表 1-1。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的主要产品及其性能

| 子系列               | 型 号           | 片内存储器/ B          |         | I/O 口 | UART | 中断源 | 定时/计数器  | 时钟频率/MHz                      | A/D 通道 | 空闲和掉电模式 |
|-------------------|---------------|-------------------|---------|-------|------|-----|---------|-------------------------------|--------|---------|
|                   |               | ROM/EPROM         | RAM     |       |      |     |         |                               |        |         |
| 8X51/52 系列        | 8031/32       | ROMless           | 128/256 | 32    | 1    | 5   | 2/3     | 12                            | 0      | no      |
|                   | 8051/52       | 4/8 K ROM         | 128/256 | 32    | 1    | 5   | 2/3     | 12                            | 0      | no      |
|                   | 8751/52       | 4/8 K EPROM       | 128/256 | 32    | 1    | 5   | 2/3     | 12                            | 0      | no      |
| 8XC51/52 系列       | 80C31/32      | ROMless           | 128/256 | 32    | 1    | 5/6 | 2/3     | 12 or 16/12 or 16 or 20 or 24 | 0      | yes     |
|                   | 80C51/52      | 4/8 K ROM         | 128/256 | 32    | 1    | 5/6 | 2/3     | 12 or 16/12 or 16 or 20 or 24 | 0      | yes     |
|                   | 87C51/52      | 4/8 K EPROM       | 128/256 | 32    | 1    | 5/6 | 2/3     | 12 or 16 or 20 or 24          | 0      | yes     |
| 8XC54/58 系列       | 80C54/58      | 16/32 K ROM       | 256     | 32    | 1    | 6   | 3       | 12 or 16 or 20 or 24          | 0      | yes     |
|                   | 87C54/58      | 16/32 K EPROM     | 256     | 32    | 1    | 6   | 3       | 12 or 16 or 20 or 24          | 0      | yes     |
| 8XC51/FA/FB/FC 系列 | 80C51FA       | ROMless           | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16                      | 0      | yes     |
|                   | 83C51FA       | 8 K ROM           | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16                      | 0      | yes     |
|                   | 83C51FB/FC    | 16/32 K ROM       | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16 or 20 or 24          | 0      | yes     |
|                   | 87C51FA/FB/FC | 8/16/32 K EPROM   | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16 or 20 or 24          | 0      | yes     |
| 8XL51/FA/FB/FC 系列 | 80L51FA       | ROMless           | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16 or 20                | 0      | yes     |
|                   | 83L51FA/FB/FC | 8/16/32 K ROM     | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16 or 20                | 0      | yes     |
|                   | 87L51FA/FB/FC | 8/16/32 K OTP ROM | 256     | 32    | 1    | 7   | 3+5PCA  | 12 or 16 or 20                | 0      | yes     |
| 8XC51GX 系列        | 80C51GB       | ROMless           | 256     | 48    | 1    | 15  | 3+10PCA | 12 or 16                      | 8      | yes     |
|                   | 83C51GB       | 8 K ROM           | 256     | 48    | 1    | 15  | 3+10PCA | 12 or 16                      | 8      | yes     |
|                   | 87C51GB       | 8 K EPROM         | 256     | 48    | 1    | 15  | 3+10PCA | 12 or 16                      | 8      | yes     |
| 8XC152 系列         | 80C152JA/B    | ROMless           | 256     | 40/58 | 1    | 11  | 2       | 16.5                          | 0      | yes     |
|                   | 83C152JA      | 8 K ROM           | 256     | 40    | 1    | 11  | 2       | 16.5                          | 0      | yes     |

2) Philips 公司的 80C51 系列单片机

在 Intel 公司将 MCS-51 系列技术转让给 Philips 公司后，Philips 主要任务是改善其性能。在原来的基础上发展了高速 I/O 口、A/D 转换器、PWM（脉宽调制）、WDT、复位电路等增强功能，并在低电压、微功耗、掉电检测、扩展串行总线（I<sup>2</sup>C）和控制网络总线（CAN）等功能加以完善。

在同一时钟频率下，Philips 的 80C51 的运行速度是 8051 的 6 倍，在应用编程（IAP）和在线编程（ICP）功能允许用户 EPROM 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，芯片仅有 8 个引脚。Philips 的增强型 80C51 系列单片机的主要产品及其性能见表 1-2。

表 1-2 Philips 的增强型 80C51 系列单片机的主要产品及其性能

| 子系列       | 型 号             | 片内存储器/B           |                 | I/O 口 | UART | 中断源     | 定时/<br>计数器 | 时钟频率<br>/MHz | A/D<br>通道 | 其他<br>特性 |
|-----------|-----------------|-------------------|-----------------|-------|------|---------|------------|--------------|-----------|----------|
|           |                 | 程序存储器             | RAM             |       |      |         |            |              |           |          |
| 通用型系列     | P80C31/P80C32   | ROMless           | 128/256         | 32    | 1    | 5/6     | 2/3        | 33           | 0         |          |
|           | P80C51/52/54/58 | 4/8/16/32 K ROM   | 128/256/256/256 | 32    | 1    | 5/6/6/6 | 2/3/3/3    | 33           | 0         |          |
|           | P87C51/52/54/58 | 4/8/16/32 K OPT   | 128/256/256/256 | 32    | 1    | 5/6/6/6 | 2/3/3/3    | 30 or 33     | 0         |          |
| Flash 型系列 | P89C51/52/54/58 | 4/8/16/32 K Flash | 128/256/256/256 | 32    | 1    | 6       | 3          | 33           | 0         |          |
|           | P89C51RX2       | 16~64 K Flash     | 512             | 32    | 1    | 7       | 4          | 33           | 0         | ISP/IAP  |

Philips 公司在发展 C51 的低功耗、高速度和增强型功能上做了不少贡献，当初主要由其来发展 C51 单片机，其 83Cxx 和 87Cxx 系列省去了并行扩展总线，适合于作为家用电器类控制的经济型单片机。

3) Atmel 公司的 AT89 系列单片机

Atmel 公司推出的 AT89 系列兼容 C51 的单片机，完美地将 Flash(非易失闪存技术)EEPROM 与 80C51 内核结合起来，仍采用 C51 的总体结构和指令系统，Flash 的可反复擦写程序存储器能有效地降低开发费用，并能使单片机作多次重复使用。在我国单片机应用产品中被大量使用。Atmel 公司的 AT89 系列单片机主要产品及其性能见表 1-3。

表 1-3 Atmel 公司的 AT89 系列单片机主要产品及其性能

| 子系列                       | 型 号                 | 片内存储器/B  |             | I/O 口 | UART | 中断源   | 定时/<br>计数器 | 时钟频率<br>/MHz | A/D<br>通道 | 其 他 特 性     |
|---------------------------|---------------------|----------|-------------|-------|------|-------|------------|--------------|-----------|-------------|
|                           |                     | Flash    | RAM         |       |      |       |            |              |           |             |
| 8 位 Flash 系列              | AT89C51/52          | 4/8 K    | 128/256     | 32    | 1    | 5     | 2/3        | 33           | 0         |             |
|                           | AT89C51RC           | 32 K     | 512         | 32    | 1    | 6     | 3          | 40           | 0         | WDT         |
|                           | AT89LV51/52/55      | 4/8/20 K | 128/256/256 | 32    | 1    | 6     | 2/3/3      | 16/16/12     | 0         |             |
|                           | AT89C1051/2051/4051 | 1/2/4 K  | 64/128/128  | 15    | 1    |       | 2          | 24/25/26     | 0         |             |
| ISP_Flash 系列              | AT89S51/52/53       | 4/8/12 K | 128/256/256 | 32    | 1    | 5/5/6 | 2/3/3      | 124/25/24    | 0         | WDT/ISP     |
|                           | AT89LS51/52/53      | 4/8/12 K | 128/256/256 | 32    | 1    | 6     | 2/3/3      | 16/16/12     | 0         | ISP         |
|                           | AT89S8252           | 8 K      | 256         | 32    | 1    | 6     | 3          | 24           | 0         | ISP         |
|                           | AT89C5115           | 16 K     | 256         |       | 1    | 6     | 2          | 40           | 8         | WDT/ISP     |
| I <sup>2</sup> C_Flash 系列 | AT89C51RB2/ED2      | 16/64 K  | 256         | 32/44 | 1    | 6/9   | 3          | 60/40        | 0         | WDT/SPI/ISP |
|                           | AT89C51RD2          | 64 K     | 256         | 32/48 | 1    | 6     | 3          | 40           | 0         | WDT/SPI/ISP |
|                           | AT89C51AC2          | 32 K     | 256         | 34    | 1    | 6     | 3          | 40           | 8         | WDT/ISP     |

Atmel 的 8 位单片机有 AT89、AT90 两个系列。AT89 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 RISC 结构、全静态工作方式、内载在线可编程 Flash 的单片机，也称为 AVR 单片机。

4) 宏晶公司的 STC89 系列单片机

宏晶公司的 STC89 系列单片机是以 8051 为内核派生出的一款成本低、高性能单片机，增加了大量的新功能。STC89C51RC/RD+系列单片机支持 ISP（在系统编程）及 IAP（在应用编程）技术。使用 ISP 技术可不需要编程器，而直接在用户系统板上烧录用户程序，修改调试非常方便。利用 IAP 技术能将内部部分专用 Flash 当作 EEPROM 使用，实现停电后保存数据的功

能，擦写次数为 100 000 次以上，可省去外接 EEPROM（如 93C46、24C02 等）。而且指令代码完全兼容传统 8051，硬件无须改动，速度比传统 8051 快 8~12 倍，带 ADC，4 路 PWM，双串口，有全球唯一 ID 号，加密性好，抗干扰强。宏晶公司的 STC89 系列单片机主要产品及其性能见表 1-4。

表 1-4 宏晶公司的 STC89 系列单片机主要产品及其性能

| 型 号                | 最高时钟频率 |      | Flash<br>存储器/B | RAM<br>/B | 串口<br>UART | DPTR | 中断<br>源 | 定时<br>器 | EEPROM/B | 降低<br>EMI | WDT | 双倍<br>数 | P4<br>口 | ISP | IAP | A/D |
|--------------------|--------|------|----------------|-----------|------------|------|---------|---------|----------|-----------|-----|---------|---------|-----|-----|-----|
|                    | 5 V    | 3 V  |                |           |            |      |         |         |          |           |     |         |         |     |     |     |
| STC89C51RC/52RC    | 0~80   |      | 4/8 K          | 512       | 1          | 2    | 8       | 3       | 1 K+     | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89C53RC         | 0~80   |      | 15 K           | 512       | 1          | 2    | 8       | 3       |          | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89C54RD+/58RD+  | 0~80   |      | 16/32 K        | 1280      | 1          | 2    | 8       | 3       | 8 K+     | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89C516RD+       | 0~80   |      | 63 K           | 1280      | 1          | 2    | 8       | 3       |          | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89LE51RC/52RC   |        | 0~80 | 4/8 K          | 512       | 1          | 2    | 8       | 3       | 1 K+     | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89LE53RC        |        | 0~80 | 15 K           | 512       | 1          | 2    | 8       | 3       |          | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89LE54RD+/58RD+ |        | 0~80 | 16/32 K        | 1280      | 1          | 2    | 8       | 3       | 8 K+     | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89LE516RD+      |        | 0~80 | 64 K           | 1280      | 1          | 2    | 8       | 3       |          | yes       | yes | yes     | yes     | yes | yes |     |
| STC89LE516AD       |        | 0~90 | 64 K           | 512       | 1          | 2    | 8       | 3       |          | yes       |     |         | yes     | yes |     | yes |
| STC89LE516X2       |        | 0~90 | 64 K           | 512       | 1          | 2    | 8       | 3       |          | yes       |     | yes     | yes     | yes |     | yes |

5) SST 公司的 SST89 系列单片机

SST 公司生产的 SST89 系列单片机以 51 为内核，与 MCS-51 系列单片机完全兼容。SST89 系列单片机主要产品及其性能见表 1-5。

表 1-5 SST89 系列单片机主要产品及其性能

| 型 号         | 时钟频率/MHz |           | Flash 存储器/B | RAM/B | 串 口  |     | PCA | 中 断 |     | DPTR | 降低<br>EMI | 掉电<br>检测 | WDT |
|-------------|----------|-----------|-------------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----------|----------|-----|
|             | 5 V      | 2.7~3.6 V |             |       | UART | SPI |     | 源   | 优先级 |      |           |          |     |
| SST89C54    | 0~33     | 0~12      | 16 K+4 K    | 256   | 1ch  |     | 0   | 6   | 2   | 1    |           |          | yes |
| SST89C58    | 0~33     | 0~12      | 32 K+4 K    | 256   | 1ch  |     | 0   | 6   | 2   | 1    |           |          | yes |
| SST89E554RC | 0~40     |           | 32 K+8 K    | 1 K   | 1ch+ | yes | 5ch | 9   | 4   | 2    | yes       | yes      | yes |
| SST89E564RD | 0~40     |           | 64 K+8 K    | 1 K   | 1ch+ | yes | 5ch | 9   | 4   | 2    | yes       | yes      | yes |
| SST89V554RC |          | 0~40      | 32 K+8 K    | 1 K   | 1ch+ | yes | 5ch | 9   | 4   | 2    | yes       | yes      | yes |
| SST89V564RD |          | 0~40      | 64 K+8 K    | 1 K   | 1ch+ | yes | 5ch | 9   | 4   | 2    | yes       | yes      | yes |

6) Siemens 公司的 C500 系列单片机

Siemens 公司也沿用 C51 的内核，相继推出了 C500 系列单片机，在保持了与 C51 指令兼容的前提下，其产品的性能得到了进一步的提升，特别是在抗干扰性能、电磁兼容和通信控制总线功能上独树一帜，其产品常用于工作环境恶劣的场合，也适用于通信和家用电器控制领域。

7) Winbond 公司的 W78/W77 系列单片机

中国台湾的 Winbond 公司也开发了一系列兼容 C51 的单片机，其产品具备丰富的功能特性，而且以其质优价廉在市场也占有一定的份额。W78 系列与标准的 8051 兼容，W77 系列为增强型 51 系列，对 8051 的时序作了改进，在同样时钟频率下，速度提高了 2.5 倍。Flash ROM 容量从 4~64 KB，有 ISP 功能。