

华东交通大学教材(专著)基金资助项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

**M**icrocontroller Principle and Application  
—Based on Keil C and Proteus

# 单片机原理及应用技术 ——基于 Keil C 和 Proteus 仿真

邓胡滨 陈梅 周洁 黄德昌 编著



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

华东交通大学教材（专著）基金资助



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

**M**icrocontroller Principle and Application  
—Based on Keil C and Proteus

# 单片机原理及应用技术

## ——基于 Keil C 和 Proteus 仿真

邓胡滨 陈梅 周洁 黄德昌 编著



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用技术：基于Keil C和Proteus仿真/  
邓胡滨等编著. — 北京：人民邮电出版社，2014.12  
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
ISBN 978-7-115-37499-8

I. ①单… II. ①邓… 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(2014)第302115号

## 内 容 提 要

本书选用的STC89C52单片机是51系列单片机的增强型，它完全兼容传统51系列单片机产品性能，具有在线编程、开发方便的特点。由于开发成本低，学生普遍使用该单片机进行开发。

本书详细介绍该单片机的片内所有资源，如：单片机的硬件基本结构、引脚功能、存储器结构、特殊功能寄存器功能以及并行I/O口的结构和特点、中断、定时/计数器、串行口，同时介绍了单片机最新版的集成开发环境Keil  $\mu$ Vision4和集成开发工具Proteus7 Professional以及单片机两种开发语言（汇编和C51）。

本书由浅入深地介绍常用的片外资源以及单片机接口扩展方法，包括键盘、显示器、A/D和D/A转换器，以及存储器扩展、串/并行接口扩展。串行接口以单总线、IIC总线、SPI总线为例，介绍用单片机软件模拟串行接口总线时序以及单片机扩展串行总线接口的具体应用实例。同时，综合实例还选用大学生竞赛获奖案例，贴近实际应用。全书每章都附有小结和习题，并免费提供电子课件。

本书内容丰富实用，层次清晰，叙述详尽，方便教学与自学，可作为高等院校电子信息工程、通信工程、电气自动化、自动控制、智能仪器仪表、电气工程、机电一体化、计算机科学与技术等专业单片机原理及应用课程教学教材，也可以作为全国大学生电子设计竞赛培训教材，以及工程技术人员进行单片机系统开发的参考书。

- 
- ◆ 编 著 邓胡滨 陈 梅 周 洁 黄德昌  
责任编辑 刘 博  
责任印制 沈 蓉 彭志环
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本：787×1092 1/16  
印张：21.25 2014年12月第1版  
字数：521千字 2014年12月北京第1次印刷
- 

定价：45.00元

读者服务热线：(010)81055256 印装质量热线：(010)81055316  
反盗版热线：(010)81055315

本书选用 STC89C52 单片机，它以 MCS-51 为内核。选用该单片机最主要的原因是该单片机具有在系统可编程功能（ISP），无需专用编程器，可通过串口直接下载用户程序，便于开发，因此受到初学者特别是学生的青睐。同时，由于该单片机可有效减少系统开发时间，因此亦被一些开发人员所选用。

本书以让读者掌握单片机应用技能为目标，将先进的单片机仿真软件 Proteus 和 Keil  $\mu$  Vision 引入到单片机课堂教学和实践教学中，并使之与现行教学大纲和实验大纲基本内容紧密融合。通过单片机仿真实验，在近似真实的应用环境下培养学生的单片机专业技能，不再受实验器材和实验学时的限制，并解决了以往基于电路实验箱教学验证性实验偏多所带来的学生难以得到足够的动手机会和教学实践效果不理想的问题。这种虚拟仿真平台便于学习者灵活、大胆地进行单片机电路设计、软件开发和系统调试的训练，能够极大程度地激发学生的学习兴趣，提高其学习效果。

本书作者为华东交通大学精品课程——单片机原理及应用课程负责人，因此，书中也融入了作者多年来从事单片机原理及应用课程教学工作以及科研工作的经验。

全书共分 13 章。

第 1 章将传统的 51 系列单片机与 STC 系列单片机进行了比较，指出了 STC 单片机的优势所在；并在此处还涉及了嵌入式系统的概念及相关知识。

第 2 章介绍了 STC89C52 单片机的集成开发环境 Keil  $\mu$  Vision，并介绍了集成开发工具 Proteus7 Professional，这是本书的特色之处。

第 3 章既讲解了 51 单片机汇编语言又讲解了目前单片机设计中普遍采用的 C51 编程语言，并且特别指出 C51 语言与标准 C 的区别，即 C 语言在单片机设计中的注意点。

第 4 章针对 STC89C52 单片机的硬件结构进行详细说明，特别是 STC89C52 的存储器结构、I/O 端口、时钟复位方式和省电工作模式，指出了该单片机与传统 51 单片机的不同之处。

第 5 章介绍 STC89C52 单片机中断基本概念、常用中断术语、中断系统的结构图，中断源、中断优先级、中断响应和中断处理方法；并阐述传统单片机与 STC89C52 单片机在中断系统异同点，即传统单片机有 2 级中断优先级，STC89C52 有 4 级中断优先级以及 STC89C52 单片机中断系统优势。

第 6 章介绍 STC89C52 单片机定时/计数器 T0 和 T1 的组成、4 种工作方式、它们的电

路结构模型以及各自的适合应用范围；由于其他教材对定时/计数器 T2 讲解内容不多甚至缺少，针对这一情况，增加了该部分内容，详细叙述定时/计数器 T2 的工作原理、3 种工作方式和 2 种工作模式以及定时器 T2 的应用实例。

第 7 章介绍了 STC89C52 单片机串行口的内部结构、串行口的 4 种工作方式以及 4 种工作方式下波特率的计算方法、串行口多机通信的工作原理及双机串行通信的软件编程。

第 8 章介绍了 STC89C52 单片机外部扩展数据存储器 and 程序存储器地址空间分配的方法和具体设计。

第 9 章介绍单片机 I/O 扩展方法，讲述应用广泛的单总线、SPI 总线、IIC 总线，还详细叙述其他教材没有涉及的单总线连接多个外设器件设计方法和软硬件设计方案。

第 10 章叙述 STC89C52 单片机应用系统的人机接口，配置输入外设和输出外设。常用的输入外设有关键盘、BCD 键盘等，常用的输出外设有 LED 点阵、LED 数码管、LCD 显示器等，此处对这些设备都有详细介绍，这对单片机系统的应用具有指导意义。

第 11 章介绍了典型的 ADC、DAC 集成电路芯片，以及与 STC89C52 单片机的硬件接口设计及软件设计。

第 12 章通过介绍基于 STC89C52 单片机的智能交通灯、倒车雷达和万年历 3 个实例，阐述 STC 单片机的实际应用意义。

第 13 章分为基础实验部分和课程设计部分。基础实验包括硬件实验和软件实验两部分，针对每一章都有相应的实验内容来巩固所学知识，将理论联系实际，培养学习者动手、动脑学习习惯；课设部分内容进一步培养学习者单片机应用系统开发技术的技能和技巧。

全书绝大部分程序，均配有与此程序相对应的 Proteus 格式的电路原理图，打开原理图文件，单击“运行”按钮可以看到该示例程序的仿真运行情况。

为了方便教师备课和读者学习，本书提供配套教辅资料，内容除教学课件外，还包括各章 Proteus 单片机仿真电路、相应源程序和工程文件，单击课件中的 CAI 图标，即可打开相应的仿真电路。请登录人民邮电出版社教学服务与资源网 (<http://www.ptpedu.com.cn>) 免费下载。课程的讲授也不必完全拘泥于本书，教师可根据实际情况，对各章所讲授的内容进行取舍。

本书由邓胡滨拟订编写了本书大纲和目录。邓胡滨编写第 5 章、第 6 章、第 9 章、第 13 章，陈梅编写第 1 章、第 3 章、第 4 章，周洁编写第 7 章、第 8 章、第 11 章，黄德昌编写第 2 章、第 10 章、第 12 章、附录内容。华东交通大学甘岚教授、东华理工大学何月顺教授、华东交通大学信息工程学院 11 级通信卓越班的黄健、詹灵、周佳丽和林洪城，12 级通信卓越班的曾德平、沈文波、李振邦、王一帆，12 级通信班陈越亮等同学为本书的编写做了大量的工作，在此一并表示衷心的感谢。同时感谢华东交通大学信息工程学院领导给予的支持和鼓励，感谢华东交通大学教材著作出版基金委员会的基金资助。

由于时间仓促和水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请各位读者批评指正（请发邮件至 [hubind66@aliyun.com](mailto:hubind66@aliyun.com)）。

作者

2014 年 9 月



# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1	2.3 Keil $\mu$ Vision4 与 Proteus 7 Professional 的联调 .....	25
1.1 单片机概述 .....	1	2.4 小结 .....	27
1.2 单片机的发展历史及趋势 .....	2	2.5 习题 .....	27
1.3 单片机的特点及应用 .....	3	第 3 章 单片机编程语言 .....	28
1.4 MCS-51 系列与 STC 系列单片机 .....	5	3.1 STC89C52 单片机指令系统 基本概念 .....	28
1.4.1 MCS-51 系列单片机 .....	5	3.1.1 指令书写格式 .....	28
1.4.2 STC 系列单片机 .....	6	3.1.2 指令编码格式 .....	29
1.5 其他常见系列单片机 .....	6	3.1.3 指令系统中常用的符号 .....	30
1.5.1 AT89 系列单片机 .....	6	3.1.4 指令系统的寻址方式 .....	31
1.5.2 AVR 系列单片机 .....	7	3.2 STC89C52 单片机指令分类介绍 .....	34
1.5.3 PIC 系列单片机 .....	9	3.2.1 数据传送类指令 .....	34
1.6 嵌入式系统定义及组成 .....	9	3.2.2 算术运算类指令 .....	39
1.6.1 嵌入式系统定义 .....	9	3.2.3 逻辑操作类指令 .....	42
1.6.2 嵌入式系统组成 .....	10	3.2.4 控制转移类指令 .....	44
1.7 常见的各类嵌入式处理器 .....	12	3.2.5 位操作类 .....	47
1.7.1 嵌入式微控制器 .....	12	3.3 STC89C52 单片机汇编语言程序 设计概述 .....	52
1.7.2 嵌入式数字信号处理器 .....	12	3.3.1 汇编语言程序设计基础 .....	52
1.7.3 嵌入式微处理器 .....	13	3.3.2 基本程序结构与程序 设计举例 .....	56
1.7.4 嵌入式片上系统 .....	13	3.4 C51 程序设计语言 .....	62
1.8 小结 .....	14	3.4.1 Keil C51 简介 .....	62
1.9 习题 .....	14	3.4.2 Keil C51 语言基础知识 .....	65
第 2 章 单片机应用系统开发简介 .....	15	3.4.3 C51 程序设计举例 .....	73
2.1 集成开发环境 Keil $\mu$ Vision4 简介 .....	15	3.5 小结 .....	78
2.1.1 Keil $\mu$ Vision4 运行环境介绍 .....	15	3.6 习题 .....	78
2.1.2 Keil $\mu$ Vision4 集成开发环境 的 STC 单片机开发流程 .....	17	第 4 章 STC89C52 单片机硬件结构 .....	79
2.2 集成开发工具 Proteus 7 Professional 简介 .....	20	4.1 STC89C52 单片机的内部组织 结构及特点 .....	79
2.2.1 Proteus 基本用法 .....	20		
2.2.2 实例分析 .....	22		

4.2 STC89C52 单片机的外部引脚及功能 .....	81	5.5 小结 .....	112
4.3 STC89C52 单片机存储器结构 .....	84	5.6 习题 .....	112
4.3.1 STC89C52 单片机程序存储器 .....	84	<b>第 6 章 STC89C52 单片机定时/计数器</b> .....	114
4.3.2 STC89C52 单片机数据存储器 .....	85	6.1 STC89C52 单片机定时/计数器的组成 .....	114
4.3.3 STC89C52 单片机特殊功能寄存器 .....	86	6.2 定时/计数器 0 和 1 .....	115
4.4 STC89C52 单片机 I/O 口 .....	91	6.2.1 与 T0/T1 相关的寄存器 .....	115
4.4.1 P0 端口 .....	91	6.2.2 定时/计数器 0/1 的 4 种工作方式 (与传统 51 单片机完全兼容) .....	117
4.4.2 P1/P2/P3/P4 端口 .....	92	6.2.3 定时/计数器 0/1 的应用 .....	119
4.4.3 5 V 单片机连接 3 V 器件 .....	93	6.3 定时/计数器 2 .....	127
4.5 STC89C52 单片机的时钟与复位 .....	93	6.3.1 与定时器/计数器 2 相关的寄存器 .....	127
4.5.1 传统 51 单片机时序 .....	93	6.3.2 定时/计数器 2 的 3 种工作方式 .....	129
4.5.2 STC89C52 单片机时钟电路 .....	94	6.3.3 定时/计数器 2 的应用 .....	133
4.5.3 STC89C52 单片机的复位电路 .....	95	6.4 小结 .....	138
4.5.4 STC89C52 单片机的复位状态 .....	96	6.5 习题 .....	138
4.6 STC89C52 单片机的省电工作模式 .....	97	<b>第 7 章 STC89C52 单片机串行通信</b> .....	139
4.7 小结 .....	98	7.1 串行通信概述 .....	139
4.8 习题 .....	98	7.1.1 数据通信 .....	139
<b>第 5 章 STC89C52 单片机中断系统</b> .....	99	7.1.2 异步通信和同步通信 .....	140
5.1 中断的概念 .....	99	7.1.3 波特率 .....	141
5.2 STC89C52 单片机中断系统 .....	99	7.2 串行口的结构 .....	142
5.2.1 中断系统结构 .....	99	7.2.1 内部硬件结构 .....	142
5.2.2 中断源 .....	100	7.2.2 串行口特殊功能寄存器 .....	143
5.2.3 中断请求标志 .....	101	7.3 串行口的 4 种工作方式 .....	145
5.2.4 中断控制寄存器 .....	103	7.3.1 方式 0 .....	145
5.3 中断响应 .....	106	7.3.2 方式 1 .....	148
5.3.1 中断响应条件 .....	106	7.3.3 方式 2 和方式 3 .....	150
5.3.2 外部中断响应时间 .....	106	7.4 波特率的设定与计算 .....	151
5.3.3 中断请求的撤销 .....	107	7.5 STC89C52 单片机之间的通信 .....	154
5.4 中断程序的设计 .....	108	7.5.1 串行通信接口 .....	154
		7.5.2 双机串行通信编程 .....	157

7.5.3 多机通信 .....	160	9.4 串行扩展总线接口 .....	200
7.6 PC 与单片机间的通信 .....	164	9.4.1 单总线串行扩展 .....	200
7.6.1 PC 与单片机的点对点 通信设计 .....	164	9.4.2 SPI 总线串行扩展 .....	214
7.6.2 PC 与多个单片机的串行 通信接口设计 .....	165	9.4.3 IIC 总线串行扩展 .....	220
7.7 小结 .....	166	9.5 小结 .....	236
7.8 习题 .....	167	9.6 习题 .....	237
<b>第 8 章 STC89C52 单片机存储器的 扩展 .....</b>	<b>169</b>	<b>第 10 章 STC 单片机与 I/O 外部设备 接口 .....</b>	<b>238</b>
8.1 系统扩展结构 .....	169	10.1 STC 单片机与键盘接口 .....	238
8.2 地址锁存与地址空间分配 .....	171	10.1.1 键盘接口工作原理 .....	238
8.2.1 地址锁存 .....	171	10.1.2 键盘的工作方式 .....	240
8.2.2 地址空间分配 .....	172	10.1.3 键盘接口硬件电路及其程序 设计 .....	241
8.3 程序存储器的扩展 .....	175	10.2 STC 单片机与 LED 数码管的 接口 .....	243
8.3.1 外扩程序存储器的 操作时序 .....	176	10.2.1 数码管的结构与分类 .....	243
8.3.2 程序存储器的扩展方法 .....	177	10.2.2 数码管的工作原理 .....	243
8.4 数据存储器的扩展 .....	181	10.2.3 数码管接口实例分析 .....	244
8.4.1 外扩数据存储器的读写 操作时序 .....	181	10.3 STC 单片机与 LCD 显示器的 接口 .....	245
8.4.2 数据存储器扩展方法 .....	183	10.3.1 LCD 显示器简介 .....	245
8.5 EPROM 和 RAM 的综合扩展 .....	186	10.3.2 STC 单片机与 1602 液晶 显示器的接口及软件编程 .....	251
8.6 小结 .....	189	10.3.3 STC 单片机与 12864 液晶 显示的接口及软件编程 .....	253
8.7 习题 .....	189	10.4 小结 .....	255
<b>第 9 章 STC89C52 单片机 I/O 扩展与设计 .....</b>	<b>191</b>	10.5 习题 .....	255
9.1 I/O 接口概述 .....	191	<b>第 11 章 STC89C52 与 A/D、D/A 转换器的接口 .....</b>	<b>256</b>
9.2 TTL 电路扩展并行接口 .....	193	11.1 STC89C52 与 A/D 转换器的 接口 .....	256
9.2.1 TTL 电路扩展并行 I/O 口 .....	193	11.1.1 A/D 转换器简介 .....	256
9.3 可编程接口芯片 82C55 扩展 并行接口 .....	194	11.1.2 STC89C52 与并型 8 位 A/D 转换器 ADC0809 的接口 .....	258
9.3.1 82C55 芯片介绍 .....	194	11.1.3 STC89C52 与并型 12 位 A/D 转换器 AD1674 的接口 .....	262
9.3.2 82C55 控制字 .....	196		
9.3.3 STC89C52 单片机与 82C55 的 接口设计 .....	198		



11.2 STC89C52 与 D/A 转换器的接口	266	12.4.3 系统硬件设计	292
11.2.1 D/A 转换器简介	266	12.4.4 系统软件设计	293
11.2.2 STC89C52 与 8 位 D/A 转换器 DAC0832 的接口设计	268	12.5 小结	305
11.3 小结	272	12.6 习题	306
11.4 习题	273	<b>第 13 章 实验</b>	<b>307</b>
<b>第 12 章 STC 单片机应用系统设计实例</b>	<b>274</b>	13.1 基础实验部分	307
12.1 STC89C52 单片机最小系统简介	274	13.1.1 实验一 数据传送	307
12.2 基于 STC89C52 单片机的智能交通灯设计	276	13.1.2 实验二 多分支实验	309
12.2.1 系统需求分析	276	13.1.3 实验三 外部中断与定时器/计数器中断实验	311
12.2.2 系统设计方案	276	13.1.4 实验四 串口双机通信	312
12.2.3 系统硬件设计	277	13.1.5 实验五 存储器扩展实验	315
12.2.4 系统软件设计	277	13.1.6 实验六 82C55 控制交通灯	316
12.3 基于 STC89C52 单片机的倒车雷达设计	278	13.1.7 实验七 键盘和显示实验	319
12.3.1 系统需求分析	278	13.1.8 实验八 A/D 转换	321
12.3.2 系统设计方案	278	13.1.9 实验九 D/A 转换	323
12.3.3 系统硬件设计	279	13.1.10 实验十 实时时钟	323
12.3.4 系统软件设计	279	13.2 单片机课程设计	325
12.4 基本 STC89C52 单片机的万年历设计	291	13.2.1 自动交通管理系统	325
12.4.1 系统需求分析	291	13.2.2 基于单片机的函数发生器设计和开发	326
12.4.2 系统设计方案	291	13.2.3 数字温度计设计	326
		13.2.4 简易家电定时控制仪	327
		<b>附录 单片机程序 ISP 烧录</b>	<b>328</b>
		<b>参考文献</b>	<b>332</b>

计算机对人类社会的发展起到了极大的推动作用。然而，真正使计算机的应用深入到社会生活的各个方面，促使人类社会跨入计算机时代的，是微型计算机和单片微型计算机的产生和发展。

## 1.1 单片机概述

单片机就是在一片半导体硅片上集成了中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、输入/输出接口及外围设备（并行 I/O、串行 I/O、定时器/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线等）的微型计算机。这样一块集成电路芯片具有一台微型计算机的属性，因而被称为单片微型计算机，简称单片机。在个人计算机上，这些部分被分成若干块芯片，安装在一个称之为主板的印制线路板上。在单片机中，这些部分全部被做到一块集成电路芯片中了，所以被称为单片机。

单片机使用时，通常是处于测控系统的核心地位并嵌入其中，国际上，通常把单片机称为嵌入式控制器（Embedded Micro Controller Unit, EMCU），或微控制器（Micro Controller Unit, MCU）。在我国，大部分工程技术人员还是习惯于使用“单片机”这一名称。

单片机体积小、成本低，由于单片机具有较高的性价比、良好的控制性能和灵活的嵌入特性，使单片机在各个领域都获得了极为广泛的应用，它可广泛地嵌入到工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、汽车电子系统、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、玩具、个人信息终端及通信产品中。

单片机是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，标志着计算机正式形成了通用计算机系统 and 嵌入式计算机系统两大分支。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

通用型单片机就是其内部可开发的资源（如存储器、I/O 等各种外围功能部件等）可以全部提供给用户。用户根据需要，设计一个以通用单片机芯片为核心，配以外围接口电路及其他外围设备，并编写相应的软件来满足各种不同需要的测控系统。通常所说的和本书介绍的单片机均是指通用型单片机。

专用型单片机是专门针对某些产品的特定用途而制作的单片机。例如，各种家用电器中的控制器等。由于用于特定用途，单片机芯片制造商常与产品厂家合作，设计和生产专用的

单片机芯片。由于在设计中已经对专用型单片机系统结构的最简化、可靠性和成本的最优化等方面都做了全面的综合考虑，所以专用型单片机具有十分明显的综合优势。

无论专用单片机在用途上有多么“专”，其基本结构和工作原理都是以通用单片机为基础的。

## 1.2 单片机的发展历史及趋势

1970 年微型计算机研制成功后，随后就出现了单片机。因工艺限制，单片机采用双片的形式而且功能比较简单。Intel 公司 1971 年推出了 4 位单片机 4004，1972 年推出了雏形 8 位单片机 8008；1974 年仙童公司推出了 8 位的 F8 单片机。1976 年 Intel 公司推出 MCS-48 单片机以后，单片机的发展和其相关的技术经历了数次的更新换代，其发展速度要三四年更新一代、集成度增加一倍、功能翻一番。

尽管单片机出现的历史并不长，按其处理的二进制位数不同，主要可分为：4 位单片机、8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机。但以 8 位单片机的推出为起点，单片机的发展史大致分为 4 个阶段。

第一阶段（1976 年—1978 年）：初级单片机阶段。以 1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 为代表。这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、I/O 接口、8 位定时器/计数器，寻址范围不大于 4 KB，具有简单的中断功能，无串行接口。

第二阶段（1978 年—1982 年）：单片机完善阶段。在这一阶段推出的单片机其功能有较大的加强，能够应用于更多的场合。这个阶段的单片机普遍带有串行 I/O 口、有多级中断处理系统、16 位定时器/计数器，片内集成的 RAM、ROM 容量加大，寻址范围可达 64 KB，一些单片机片内还集成了 A/D 转换接口。这类单片机的典型代表有 Intel 公司的 MCS-51、Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。

第三阶段（1982 年—1992 年）：8 位单片机巩固发展及 16 位高级单片机发展阶段。在此阶段，尽管 8 位单片机的应用已广泛普及，但为了更好地满足测控系统嵌入式应用的要求，单片机集成的外围接口电路有了更大的扩充。这个阶段单片机的代表为 8051 系列。许多半导体公司和生产厂以 MCS-51 的 8051 为内核，推出了满足各种嵌入式应用的多种类型和型号的单片机。其主要技术发展有：

① 外围功能集成：满足模拟量直接输入的 ADC 接口；满足伺服驱动输出的 PWM；保证程序可靠运行的程序监控定时器 WDT（俗称看门狗电路）。

② 出现了为满足串行外围扩展要求的串行扩展总线和接口，如 SPI、I<sup>2</sup>C、1-Wire 单总线等。

③ 出现了为满足分布式系统，突出控制功能的现场总线接口，如 CAN Bus 等。

④ 在程序存储器方面广泛使用了片内程序存储器技术，出现了片内集成 EPROM、E<sup>2</sup>PROM、Flash ROM 以及 Mask ROM、OTP ROM 等各种类型的单片机，以满足不同产品的开发和生产的需要，也为最终取消外部程序存储器扩展奠定了良好的基础。

与此同时，一些公司面向更高层次的应用，发展推出了 16 位的单片机，典型代表有 Intel 公司的 MCS-96 系列的单片机。

第四阶段（1993 年至今）：百花齐放阶段。现阶段单片机发展的显著特点是百花齐放、技术创新，以满足日益增长的广泛需求，主要包括以下方面：

① 推出适应不同领域需求的单片机系列。单片嵌入式系统的应用是面对最底层的电子技

术应用,从简单的玩具、小家电到复杂的工业控制系统、智能仪表、电器控制,以及机器人、个人通信信息终端、机顶盒等。因此,面对不同的应用对象,应不断推出适合不同领域要求的、从简单功能到多功能、全功能的单片机系列。

② 大力发展专用型单片机。早期的单片机是以通用型为主的,随着单片机设计生产技术的提高,其周期缩短、成本下降。同时,许多特定类型电子产品(如家电类产品)的巨大的市场需求,也推动了专用型单片机的发展。在这类产品中采用专用型单片机,具有成本低、系统外围电路少、可靠性高、可有效利用资源的优点。因此专用单片机也是单片机发展的一个主要方向。

③ 致力于提高单片机的综合品质。采用更先进的技术来提高单片机的综合品质,如提高 I/O 口的驱动能力、增加抗静电和抗干扰措施、宽(低)电压低功耗等。

综观单片机 40 多年的发展过程,预计其今后的发展趋势主要体现在以下几方面:

#### (1) CPU 的改进。

增加单片机的 CPU 数据总线宽度。例如,各种 16 位单片机和 32 位单片机,数据处理能力要优于 8 位单片机。另外,8 位单片机内部采用 16 位数据总线,其数据处理能力明显优于一般 8 位单片机。另外,采用双 CPU 结构,可以提高数据处理能力。

#### (2) 存储器的发展。

一方面,片内程序存储器普遍采用闪速(Flash)存储器,可不用外扩程序存储器,简化了系统结构。另一方面,应加大片内存储容量,目前有的单片机片内程序存储器容量可达 128 KB 甚至更多。

#### (3) 片内 I/O 的改进。

有的单片机增加并行口驱动能力,以减少外部驱动芯片;有的单片机可以直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动 LED 和 VFD(荧光显示器);有的单片机设置一些特殊的串行 I/O 功能,为构成分布式、网络化系统提供方便条件。

#### (4) 低功耗化。

使单片机 CMOS 化,配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等工作方式可以降低功耗,消耗电流仅在  $\mu\text{A}$  或  $\text{nA}$  量级,因此可适用于电池供电的便携式、手持式的仪器仪表以及其他消费类电子产品。

#### (5) 外围电路内装化。

单片机系统的单片化是目前发展趋势之一,即众多外围电路全部装入片内。例如,美国 Cygnal 公司的 C8051F020 这款 8 位单片机,内部采用流水线结构,大部分指令的完成时间为 1 或 2 个时钟周期,峰值处理能力为 25 MIPS,片上集成有 8 通道 A/D、两路 D/A、两路电压比较器,内置温度传感器、定时器、可编程数字交叉开关和 64 个通用 I/O 口、电源监测、看门狗、多种类型的串行接口(两个 UART、SPI)等,一片芯片就是一个“测控”系统。

综上所述,单片机正朝着多功能、高性能、高速度、大容量、低功耗、低价格和外围电路内装化的方向发展。

## 1.3 单片机的特点及应用

单片机是集成电路技术与微型计算机技术高速发展的产物,其体积小、价格低、应用方便、稳定可靠,因此给工业自动化等领域带来了重大变革和技术进步。

单片机因其体积小，可很容易地嵌入到系统之中，实现各种方式的检测、计算或控制，而一般的微型计算机很难做到。由于单片机本身就是一个微型计算机，因此只要在单片机的外部适当增加一些必要的外围扩展电路，就可以灵活地构成各种应用系统，如工业自动检测监视系统、数据采集系统、自动控制系统、智能仪器仪表等。

单片机之所以能被广泛应用，主要是因为其具有以下特点。

(1) 功能较齐全，抗干扰能力很强，应用可靠。

(2) 简单易学，使用方便，易于普及。单片机技术是一门较易掌握的技术，其应用系统设计、组装、调试已是一件容易的事情，工程技术人员通过学习可很快掌握相关知识。

(3) 发展迅速，前景广阔。短短几十年，单片机经过 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机等几大发展阶段。尤其随着形式多样、集成度高、功能日臻完善的单片机不断问世，使单片机在工业控制及工业自动化领域获得长足发展和大量应用。目前，单片机内部结构愈加完美，配套的外围功能部件越来越完善，这为单片机应用系统向更高层次和更大规模发展奠定了坚实的基础。

(4) 嵌入容易，用途广泛。在单片机出现以后，电路的组成和控制方式都发生了很大变化，因为单片机具有体积小、性价比高、应用灵活性强等特点，使得完成一套测控系统不再需要大量的分立元件，简化了线路的复杂性，提高了电路的可靠性，并且测控功能的绝大部分都已经由单片机的软件程序实现，因此在嵌入式微控制系统中单片机具有十分重要的地位。

因此，以单片机为核心的嵌入式控制系统在下述的各个领域得到了广泛的应用。

(1) 工业检测与控制。

在工业领域，单片机的主要应用有：工业过程控制、智能控制、设备控制、数据采集和传输、测试、测量、监控等。在工业自动化领域，机电一体化技术将发挥越来越重要的作用，在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术（如机器人技术）中，单片机发挥着非常重要的作用。

(2) 仪器仪表。

目前对仪器仪表的自动化和智能化要求越来越高。单片机的使用有助于提高仪器仪表的精度和准确度，简化结构，减小体积且易于携带和使用，加速仪器仪表向数字化、智能化、多功能化方向发展。

(3) 消费类电子产品。

单片机在家用电器中的应用也已经是非常普及。目前，家电产品的一个重要发展趋势是不断提高其智能化程度。例如，洗衣机、电冰箱、空调机、电风扇、电视机、微波炉、加湿器、消毒柜等，在这些设备中嵌入了单片机后，功能和性能大大提高，并实现了智能化、最优化控制。

(4) 通信。

在调制解调器、各类手机、传真机、程控电话交换机、信息网络及各种通信设备中，单片机也已经得到广泛应用。

(5) 武器装备。

在现代化的武器装备中，如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、智能武器装备、航天飞机导航系统，都有单片机嵌入其中。

(6) 各种终端及计算机外部设备。

计算机网络终端（如银行终端）以及计算机外部设备（如打印机、硬盘驱动器、绘图机、传真机、复印机等）中都使用了单片机作为控制器。

(7) 汽车电子设备。

单片机已经广泛地应用在各种汽车电子设备中，如汽车安全系统、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、卫星汽车导航系统、汽车紧急请求服务系统、汽车防撞监控系统、汽车自动诊断系统以及汽车黑匣子等。

(8) 分布式多机系统。

在比较复杂的多节点测控系统中，常采用分布式多机系统。它一般由若干台功能各异的单片机组成，各自完成特定的任务，它们通过串行通信相互联系、协调工作。在这种系统中，单片机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测量和控制。

综上所述，从工业自动化、自动控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等领域，到国防尖端技术领域，单片机都发挥着十分重要的作用。

## 1.4 MCS-51 系列与 STC 系列单片机

20 世纪 80 年代以来，单片机发展迅速，世界一些著名厂商投放市场的产品就有几十个系列，数百个品种，比如 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51，Motorola 公司的 6801、6802，Zilog 公司的 Z8 系列，Rockwell 公司的 6501、6502 等。此外，荷兰的 Philips 公司、日本的 NEC 公司、日立公司等也相继推出了各自的产品。

尽管机型很多，但是在 20 世纪 80 年代以及 90 年代，在我国使用最多的 8 位单片机还是 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机以及与其兼容的单片机（都被称为 51 系列单片机）。

### 1.4.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司单片机的系列符号，如 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。MCS-51 系列是在 MCS-48 系列基础上于 20 世纪 80 年代初发展起来的，是最早进入我国，并在我国得到广泛应用的单片机主流品种。

MCS-51 系列单片机主要包括：基本型 8031/8051/8751（对应的低功耗型为 80C31/80C51/87C51）和增强型 8032/8052/8752。它们都是 8 位单片机，兼容性强、性价比高，且软硬件应用设计资料丰富，已被我国广大技术人员熟悉和掌握。在 20 世纪 80 年代—90 年代，MCS-51 系列是在我国应用最为广泛的单片机机型之一。

MCS-51 系列品种丰富，经常使用的是基本型和增强型。

(1) 基本型的典型产品：8031/8051/8751。

8031 内部包括 1 个 8 位 CPU、128 B 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、5 个中断源，但片内无程序存储器，需外扩程序存储器芯片。

8051 是在 8031 的基础上在片内集成 4 KB ROM 作为程序存储器，所以 8051 是一个程序不超过 4 KB 的小系统。其 ROM 内的程序是公司制作芯片时为用户烧制的，主要用在程序已定制好且大批量生产的单片机产品中。

8751 与 8051 相比，片内集成的 4 KB EPROM 取代了 8051 的 4 KB ROM 来作为程序存储器。8031 外扩一个 4 KB 的 EPROM 就相当于 8751。



(2) 增强型的典型产品：8032/8052/8752。

它们是 Intel 公司在 3 种基本型产品的基础上推出的 52 子系列，其内部 RAM 增到 256 B。另外，8052、8752 的片内程序存储器扩展到 8 KB，增强型产品的 16 位定时器/计数器也均增至 3 个，中断源增至 6 个，串行口通信速率提高了 5 倍。

基本型和增强型的 MCS-51 系列单片机片内的基本硬件资源如表 1-1 所示。

表 1-1 基本型和增强型的 MCS-51 系列单片机片内的基本硬件资源

	型号	片内程序存储器	片内数据存储器 (B)	I/O 口线 (位)	定时器/计数器 (个)	中断源个数 (个)
基本型	8031	无	128	32	2	5
	8051	4KB ROM	128	32	2	5
	8751	4KB EPROM	128	32	2	5
增强型	8032	无	256	32	3	6
	8052	8KB ROM	256	32	3	6
	8752	8KB EPROM	256	32	3	6

### 1.4.2 STC 系列单片机

STC 系列单片机是深圳宏晶科技公司研发的基于 8051 内核的新一代增强型单片机，指令代码完全兼容传统 8051 单片机。相比传统的 8051 内核单片机，STC 系列单片机在片内资源、性能以及工作速度上都有很大的改进，有全球唯一的 ID 号，加密性好，抗干扰强。尤其采用了基于 Flash 的在线系统编程 (ISP) 技术，使得单片机应用系统的开发变得简单，无需仿真器或专用编程器就可进行单片机应用系统的开发，同时也便于单片机的学习。

STC 单片机产品系列化、种类多，现有超过百种的单片机产品，能满足不同单片机应用系统的控制需求。按照工作速度与片内资源配置的不同，STC 系列单片机有若干个系列产品。如按照工作速度可分为 12T/6T 和 1T 系列，其中 12T/6T 系列产品指一个机器周期可设置 12 个时钟或 6 个时钟，包括 STC89 和 STC90 两个系列；而 1T 系列产品是指一个机器周期仅为 1 个时钟，包括 STC11/10 系列和 STC12/15 等系列。

STC89、STC90 和 STC11/10 系列属于基本配置，而 STC12/15 系列产品则相应地增加了 PWM、A/D 和 SPI 等接口模块。在每个系列中包含若干个产品，其差异主要是片内资源数量上的差异。

在进行产品设计选型时，应根据控制系统的实际需求，选择合适的单片机，即单片机内部资源要尽可能地满足控制系统要求，且要减少外部接口电路，同时，选择片内资源时应遵循够用原则，以保证单片机应用系统具有最高的性价比和可靠性。

## 1.5 其他常见系列单片机

### 1.5.1 AT89 系列单片机

20 世纪 80 年代中期以后，Intel 精力集中在高档 CPU 芯片的开发、研制上，淡出单片机芯片的开发和生产。MCS-51 系列设计上的成功，以及较高的市场占有率，已成为许多厂家、电气公司竞相选用的对象。

Intel 公司以专利形式把 8051 内核技术转让给 Atmel、Philips、Cygna、Analog、LG、ADI、

Maxim、Dallas 等公司，他们生产的兼容机与 8051 兼容，采用 CMOS 工艺，因而常用 80C51 系列单片机来统称所有这些具有 8051 指令系统的单片机，这些兼容机的各种衍生品种又称为 51 系列单片机或简称为 51 单片机。若在 8051 的基础上又增加一些功能模块，则被称为增强型或扩展型子系列单片机。

在众多的衍生机型中，Atmel 公司的 AT89C5x/AT89S5x 系列，尤其是 AT89C51/AT89S51 和 AT89C52/AT89S52 在 8 位单片机市场中占有较大的市场份额。Atmel 公司 1994 年以 E<sup>2</sup>PROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行交换。Atmel 公司的技术优势是闪速 (Flash) 存储器技术，将 Flash 技术与 80C51 内核相结合，形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。

AT89C5x/AT89S5x 系列与 MCS-51 系列在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容。此外，某些品种又增加了一些新的功能，如看门狗定时器 WDT、ISP (在系统编程也称在线编程) 及 SPI 串行接口技术等。片内 Flash 存储器允许在线 (+5 V) 电擦除、电写入或使用编程器对其重复编程。另外，AT89C5x/AT89S5x 单片机还支持由软件选择的两种节电工作方式，非常适于低功耗的场合。与 MCS-51 系列的 87C51 单片机相比，AT89C51/AT89S51 单片机片内的 4 KB Flash 存储器取代了 87C51 片内的 4 KB EPROM。AT89S51 片内的 Flash 存储器可在线编程或使用编程器重复编程，且价格较低。

AT89S5x 的 S 档系列机型是 Atmel 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型，代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。基本型的 AT89C51 与 AT89S51 以及增强型的 AT89C52 与 AT89S52 的硬件结构和指令系统完全相同。

使用 AT89C51 的系统，在保留原来软硬件的条件下，完全可以用 AT89S51 直接代换。与 AT89C5x 系列相比，AT89S5x 系列的时钟频率以及运算速度有了较大的提高，例如，AT89C51 工作频率的上限为 24 MHz，而 AT89S51 则为 33 MHz。AT89S51 片内集成有双数据指针 DPTR、看门狗定时器，具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式。目前，AT89S5x 系列已逐渐取代 AT89C5x 系列。

在我国，除 8 位单片机得到广泛应用外，16 位单片机也受到了广大用户的青睐，例如，美国 TI 公司的 16 位单片机 MSP430 和台湾的凌阳 16 位单片机。本身带有 A/D 转换器，一片芯片就构成了一个数据采集系统，这使得其设计使用起来非常方便。尽管如此，16 位单片机还远远没有 8 位单片机应用得那样广泛和普及，因为目前的主要应用中，8 位单片机的性能已能够满足大部分的实际需求，而且 8 位单片机的性格比也较高。

在众多厂家生产的各种不同的 8 位单片机中，与 MCS-51 系列单片机兼容的各种 51 单片机，目前仍然是 8 位单片机的主流品种，若干年内仍是自动化、机电一体化、仪器仪表、工业检测控制应用的主角。

### 1.5.2 AVR 系列单片机

除了 51 单片机外，目前某些非 51 单片机也得到了较为广泛的应用，目前应用较广泛的是 AVR 系列与 PIC 系列单片机，它们博采众长，具独特技术，受到广大设计工程师的关注。

AVR 系列是 1997 年 Atmel 公司挪威设计中心的 Alf-Egil Bogen 与 Vegard Wollan 共同研发出的精简指令集 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 的高速 8 位单片机，简称 AVR。

AVR 系列单片机的特点如下：

(1) 高速、高可靠性、功能强、低功耗和低价位。

早期单片机采取稳妥方案，即采用较高的分频系数对时钟分频，使指令周期长，执行速度慢。之后的单片机虽采用提高时钟频率和缩小分频系数等措施，但这种状态并未被彻底改观（例如 51 单片机）。虽有某些精简指令集单片机问世，但依旧沿袭对时钟分频的作法。

AVR 单片机的推出，彻底打破这种旧设计格局，废除了机器周期，抛弃复杂指令计算机（CISC）追求指令完备的做法。采用精简指令集，以字作为指令长度单位，将操作数与操作码安排在一个字中，指令长度固定，指令格式与种类相对较少，寻址方式也相对较少。且绝大部分指令都为单周期指令，取指周期短，又可预取指令，可实现流水作业，故可高速执行指令。当然这种“高速度”是以高可靠性来保障的。

(2) 采用片内 Flash 存储器给用户的开发带来方便。

AVR 单片机片内大容量的 RAM 不仅能满足一般场合的使用要求，同时也更有效地支持使用高级语言开发系统程序，并可像 MCS-51 单片机那样扩展外部 RAM。

(3) 丰富的片内外设。

AVR 单片机片内具有定时器/计数器、看门狗电路、低电压检测电路 BOD、多个复位源（自动上/下电复位、外部复位、看门狗复位、BOD 复位），可设置的启动后延时运行程序增强了单片机应用系统的可靠性。其片内还有多种串口，如通用的异步串行口（UART）、面向字节的高速硬件串行接口 TWI（与 I<sup>2</sup>C 接口兼容）、SPI。此外，还有 ADC、PWM 等部件。

(4) I/O 口功能强、驱动能力大。

AVR 的工业级产品，具有大电流（最大可达 40 mA），驱动能力强，省去了功率驱动器件，可直接驱动固态继电器（SSR）或可控硅继电器。

AVR 单片机的 I/O 口能正确反映 I/O 口输入/输出的真实情况。I/O 口的输入可设定为三态高阻抗输入或带上拉电阻输入，以便于满足各种多功能 I/O 口应用的需要，具备 10~20 mA 灌电流的能力。

(5) 低功耗。

AVR 单片机具有省电功能（Power Down）及休眠功能（Idle）的低功耗的工作方式。一般耗电在 1~2.5 mA；典型功耗为 WDT 关闭时 100 nA，更适用于电池供电。有的器件最低 1.8 V 即可工作。

(6) 支持程序的在系统编程（In System Program, ISP）即在线编程，开发门槛较低。

只需一条 ISP 并口下载线，就可以把程序写入 AVR 单片机，所以使用 AVR 门槛低、花钱少。其中 ATmega 系列还支持在线应用编程（IAP，可在线升级或销毁应用程序）。

(7) 程序保密性好。

AVR 单片机具有不可破解的位加密锁（Lock Bit）技术，且具有多重密码保护锁死（Lock）功能，使得用户编写的应用程序不被读出。

AVR 单片机系列齐全，有 3 个档次，可满足不同用户的各种要求：

低档 Tiny 系列：Tiny11/12/13/15/26/28 等；

中档 AT90S 系列：AT90S1200/2313/8515/8535 等；

高档 ATmega 系列：ATmega8/16/32/64/128（存储容量为 8/16/32/64/128 KB）以及 ATmega8515/8535 等。