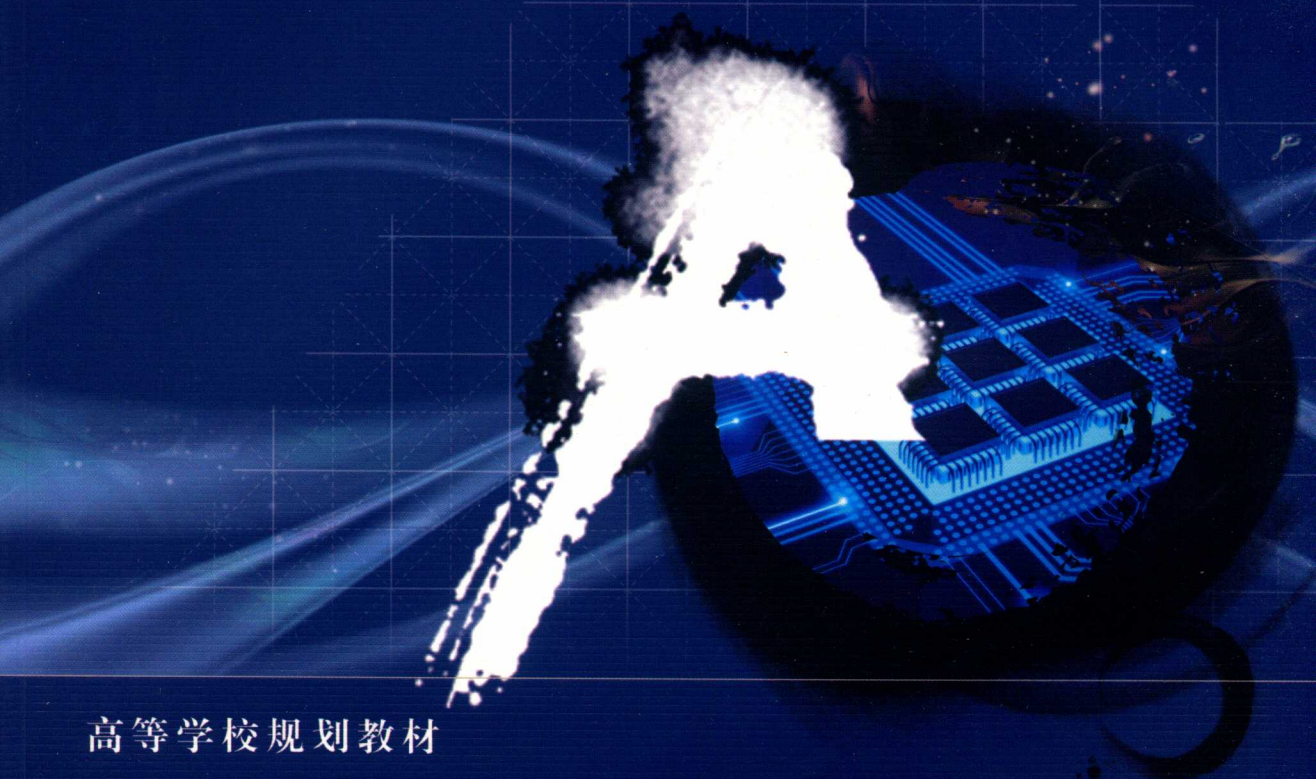




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等学校规划教材

单片机原理与应用设计 (C51编程+Proteus仿真)

(第3版)

◎张毅刚 主编 ◎潘大为 邓立宝 副主编



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>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

哈尔滨工业大学“单片机原理”国家精品课程主讲教材

高等学校规划教材

单片机原理与应用设计

(C51 编程+Proteus 仿真)

(第3版)

张毅刚 主编

潘大为 邓立宝 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材和国家精品课程主讲教材。本书详细介绍美国 Atmel 公司的 AT89S51 单片机的内部硬件资源及工作原理,采用 C51 语言编程,并以虚拟仿真平台 Proteus 作为设计与开发工具,同时还简要介绍了 Keil μ Vision 的使用方法。本书从应用角度出发,重点介绍单片机应用的各种技术实现,如信息的显示与输入、中断、定时/计数、串行通信、模数与数模转换、系统的并行/串行扩展、应用系统设计等,并且给出较多虚拟仿真设计实例。扫描前言中的二维码可获得实验和课程设计题目。本书提供电子课件和习题参考答案,登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)注册后即可免费下载。

本书可作为各类工科高等学校和职业技术学院电气工程、电子电气信息技术、智能仪器仪表、机电一体化、计算机、自动化等专业单片机原理与应用课程的教材,也可供从事单片机应用设计的工程技术人员参考。

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

单片机原理与应用设计: C51 编程+Proteus 仿真/张毅刚主编. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2020.1
高等学校规划教材
ISBN 978-7-121-37407-4

I. ①单… II. ①张… 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(2019)第 204867 号

责任编辑: 冉 哲

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 21.75 字数: 584.6 千字

版 次: 2008 年 4 月第 1 版

2020 年 1 月第 3 版

印 次: 2020 年 6 月第 2 次印刷

定 价: 59.80 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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询方式: ran@phei.com.cn。

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材的第3版，同时也是哈尔滨工业大学“单片机原理”国家精品课程主讲教材。自2008年本书第1版出版以来，已印刷多次，被全国几十所院校选为“单片机原理”课程的教材。

由于Intel 8051内核单片机获得的巨大成功，使其成为国内外公认的8位单片机的标准体系结构，被许多厂家作为基核，推出了各种高集成化的兼容机型，且在世界范围得到了广泛应用。由于8051单片机结构简单、清晰、易学，是目前单片机初学者最容易掌握的机型，因此以8051内核技术为主导的单片机仍是目前我国多所高校讲授的机型。

美国Atmel公司的AT89S51单片机是目前各种8051内核单片机中最具代表性的机型，本书基于AT89S51单片机，详细介绍其工作原理及应用设计。

本书采用C51语言编程，并融入了先进的虚拟仿真工具Proteus，给出较多的经过验证的Proteus仿真案例。本次修订，反映了由作者负责的“单片机原理”国家精品课程的教学模式与教学方法改革的部分成果及对课程体系结构的改进也体现在本教材的修订之中。

本书在编写时重点考虑了如下问题：

(1) 将虚拟仿真工具Proteus应用在单片机课程教学中，使课程的教学模式及传统的设计开发模式发生了革命性的变化，Proteus平台为学习者提供了一个功能强大的、流动的单片机系统设计虚拟实验室。

(2) 传统教学模式存在的弊病是，学生听完课堂讲授，往往得不到软、硬件设计的训练，使得教学与实际设计脱节。本书采用Proteus与Keil μ Vision作为工具，将软、硬件设计与案例设计有机地结合为一体，使学生真正从概念出发，设计出一个能够虚拟运行的应用系统，真正得到软、硬件设计与调试的完整训练，从而达到课程教学的最终目的。把Proteus融入课程教学各环节中，是课程教学深入改革的必然趋势。

(3) 本书的编程语言采用C51。为提高读者的编程调试能力，本书对C51的开发调试工具Keil μ Vision及Proteus的使用从实际使用角度进行了介绍，使读者尽快掌握这两种软件平台的使用方法。

本书共分为12章，涵盖了单片机应用技术的基本内容。

第1章介绍有关单片机的基本概念，以及目前流行的各类单片机与嵌入式处理器。

第2章介绍AT89S51单片机的内部基本硬件结构及硬件资源。

第3章介绍C51语言编程基础及Keil μ Vision开发平台的使用。

第4章介绍Proteus虚拟仿真平台的基本功能与使用方法。

第5章介绍单片机系统的显示及开关与键盘检测的实现，为后续各章的案例仿真、观察系统运行的结果、设定运行条件打下基础。

第6章至第8章分别介绍单片机的内部硬件资源，即中断系统、定时/计数器、串行口的工作原理及应用案例。

第9章为单片机系统的并行扩展介绍。

第10章对目前流行的单片机系统串行扩展技术，如I²C总线、单总线、SPI总线，进行了详细介绍，并给出应用案例。

第11章介绍模数转换与数模转换的设计。

第12章介绍单片机应用系统的设计，并给出应用案例，供读者参考借鉴。

此外，扫描二维码可获取：紧密结合课程内容的实验和课程设计题目，用于实验教学和课程设计环节；头文件LCD1602.h和DS1302.h的清单。

全书参考学时为40~60学时，教师可根据实际情况，对讲授内容进行取舍或补充。

本书由哈尔滨工业大学张毅刚教授担任主编，负责完成全书整体架构、目录确定及全书的统稿工作，此外还完成了第1、2、3、5章的编写。潘大为完成了第4、6、7、9、12章的编写，邓立宝完成了第8、10、11章及附录A（见二维码）的编写。

本书提供教学大纲、PPT课件和习题参考答案等教学资源，任课教师可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册下载。

在本书出版之际，特别感谢广州风标电子有限公司总经理匡载华先生为本书的编写出版给予的大力支持和帮助，感谢广州风标电子有限公司提供的有关技术资料、网络版Proteus仿真实验平台及配套的F型模块化实验装置。

由于作者学识有限，书中错误及疏漏之处敬请读者批评指正。

主编邮箱：zyg@hit.edu.cn。

主 编
于哈尔滨工业大学



实验和课程
设计题目



头文件清单

目 录

| | | | |
|-------------------------------|----|-----------------------------------|----|
| 第1章 单片机概述 | 1 | 2.4.4 位地址空间 | 21 |
| 1.1 单片机简介 | 1 | 2.5 AT89S51 单片机的并行 I/O 口 | 23 |
| 1.2 单片机的发展历史 | 1 | 2.5.1 P0 口 | 23 |
| 1.3 单片机的特点 | 2 | 2.5.2 P1 口 | 24 |
| 1.4 单片机的应用领域 | 3 | 2.5.3 P2 口 | 24 |
| 1.5 单片机的发展趋势 | 3 | 2.5.4 P3 口 | 25 |
| 1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机 | 4 | 2.6 时钟电路与时序 | 26 |
| 1.6.1 MCS-51 系列单片机 | 4 | 2.6.1 时钟电路设计 | 26 |
| 1.6.2 AT89S5x 系列单片机 | 5 | 2.6.2 机器周期、指令周期与 指令时序 | 27 |
| 1.7 各种衍生的 8051 单片机 | 6 | 2.7 复位操作和复位电路 | 28 |
| 1.7.1 STC 系列单片机 | 6 | 2.7.1 复位操作 | 28 |
| 1.7.2 C8051Fxxx 系列单片机 | 7 | 2.7.2 复位电路设计 | 28 |
| 1.7.3 AD μ C812 系列单片机 | 8 | 2.8 AT89S51 单片机的最小应用系统 | 29 |
| 1.7.4 华邦 W77 系列、W78 系列 单片机 | 8 | 2.9 看门狗定时器的使用 | 29 |
| 1.8 PIC 系列单片机与 AVR 系列单片机 | 8 | 2.10 低功耗节电模式 | 30 |
| 1.8.1 PIC 系列单片机 | 8 | 2.10.1 空闲模式 | 31 |
| 1.8.2 AVR 系列单片机 | 9 | 2.10.2 掉电模式 | 31 |
| 1.9 其他嵌入式处理器简介 | 10 | 思考题及习题 2 | 32 |
| 1.9.1 DSP | 10 | 第3章 C51 语言编程基础与 Keil μ Vision | 34 |
| 1.9.2 嵌入式微处理器 | 11 | 3.1 C51 语言概述 | 34 |
| 思考题及习题 1 | 11 | 3.1.1 C51 语言与 8051 汇编语言的 比较 | 34 |
| 第2章 AT89S51 单片机的内部硬件结构 | 12 | 3.1.2 C51 语言与标准 C 语言的 比较 | 34 |
| 2.1 AT89S51 单片机的硬件组成 | 12 | 3.2 C51 程序设计基础 | 35 |
| 2.2 AT89S51 单片机的引脚功能 | 13 | 3.2.1 C51 语言的数据类型与存储 类型 | 35 |
| 2.2.1 电源及时钟引脚 | 13 | 3.2.2 C51 语言的特殊功能寄存器及 位变量定义 | 39 |
| 2.2.2 控制引脚 | 13 | 3.2.3 C51 语言的绝对地址访问 | 41 |
| 2.2.3 并行 I/O 口引脚 | 14 | 3.2.4 C51 语言的基本运算 | 43 |
| 2.3 AT89S51 单片机的 CPU | 15 | 3.2.5 C51 语言的分支与循环程序 结构 | 45 |
| 2.3.1 运算器 | 15 | 3.2.6 C51 语言的数组 | 51 |
| 2.3.2 控制器 | 16 | | |
| 2.4 AT89S51 单片机存储器的结构 | 17 | | |
| 2.4.1 程序存储器空间 | 17 | | |
| 2.4.2 数据存储器空间 | 18 | | |
| 2.4.3 特殊功能寄存器 | 18 | | |

| | | | |
|------------------------------------|----|----------------------------------|-----|
| 3.2.7 C51 语言的指针 | 53 | 4.7.4 硬件断点的设置 | 101 |
| 3.3 C51 语言的函数 | 54 | 第 5 章 单片机开关检测、键盘输入与显示 | |
| 3.3.1 函数的分类 | 54 | 接口设计 | 104 |
| 3.3.2 函数的调用 | 55 | 5.1 用单片机控制发光二极管显示 | 104 |
| 3.3.3 中断服务函数 | 56 | 5.1.1 单片机与发光二极管的连接 | 104 |
| 3.3.4 变量及存储方式 | 56 | 5.1.2 I/O 口的编程控制 | 105 |
| 3.3.5 宏定义与文件包含 | 57 | 5.2 开关状态检测 | 108 |
| 3.3.6 库函数 | 57 | 5.2.1 开关状态检测实例 1 | 108 |
| 3.4 使用 Keil μ Vision 开发 C51 程序 | 58 | 5.2.2 开关状态检测实例 2 | 109 |
| 3.4.1 Keil μ Vision 的基本操作 | 58 | 5.3 用单片机控制 LED 数码管显示 | 110 |
| 3.4.2 添加用户源程序文件 | 60 | 5.3.1 LED 数码管的显示原理 | 110 |
| 3.4.3 程序的编译与调试 | 61 | 5.3.2 LED 数码管的静态显示与 | |
| 3.4.4 工程的设置 | 64 | 动态显示 | 112 |
| 思考题及习题 3 | 66 | 5.4 用单片机控制 LED 点阵显示屏 | |
| 第 4 章 虚拟仿真平台 Proteus 的使用 | 67 | 显示 | 115 |
| 4.1 Proteus 的基本功能 | 67 | 5.4.1 LED 点阵显示屏的结构与 | |
| 4.2 Proteus ISIS 的虚拟仿真 | 68 | 显示原理 | 115 |
| 4.3 Proteus ISIS 环境简介 | 69 | 5.4.2 16 \times 16 LED 点阵显示屏设计 | |
| 4.3.1 原理图编辑窗口 | 69 | 实例 | 116 |
| 4.3.2 预览窗口 | 70 | 5.5 用单片机控制 LCD 1602 显示 | 119 |
| 4.3.3 对象选择窗口 | 70 | 5.5.1 LCD 1602 简介 | 119 |
| 4.3.4 主菜单栏 | 71 | 5.5.2 LCD 1602 设计实例 | 125 |
| 4.3.5 主工具栏 | 73 | 5.6 用单片机控制 LCD12864 显示 | 128 |
| 4.3.6 工具箱 | 74 | 5.6.1 引脚功能与显示原理 | 129 |
| 4.3.7 仿真工具栏 | 75 | 5.6.2 控制命令 | 130 |
| 4.3.8 元件列表 | 75 | 5.6.3 LCD12864 设计实例 | 131 |
| 4.4 Proteus ISIS 的编辑环境设置 | 76 | 5.7 键盘接口设计 | 136 |
| 4.5 Proteus ISIS 的系统运行环境设置 | 77 | 5.7.1 键盘接口设计需要解决的 | |
| 4.6 单片机系统的电路设计与虚拟仿真 | 78 | 问题 | 136 |
| 4.6.1 电路设计与虚拟仿真的步骤 | 78 | 5.7.2 独立式键盘接口设计实例 | 137 |
| 4.6.2 新建或打开一个设计文件 | 78 | 5.7.3 矩阵式键盘接口设计实例 | 143 |
| 4.6.3 选择需要的元件到元件 | | 5.7.4 非编码键盘扫描方式的选择 | 146 |
| 列表中 | 79 | 5.7.5 单片机与 HD7279A 的接口 | |
| 4.6.4 放置元件并连接电路 | 81 | 设计 | 147 |
| 4.6.5 加载目标代码文件、设置 | | 思考题及习题 5 | 156 |
| 时钟频率及仿真运行 | 85 | 第 6 章 中断系统的工作原理及应用 | 158 |
| 4.7 Proteus 的各种虚拟仿真工具 | 85 | 6.1 AT89S51 单片机中断技术概述 | 158 |
| 4.7.1 虚拟激励信号源 | 85 | 6.2 AT89S51 单片机中断系统结构 | 158 |
| 4.7.2 虚拟仪器 | 90 | 6.2.1 中断源 | 158 |
| 4.7.3 虚拟仪器的图表仿真 | 99 | 6.2.2 中断请求标志寄存器 | 159 |

| | | | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-------|--------------------------------|-----|
| 6.3 | 中断允许控制与中断优先级控制 | 160 | 8.1.1 | 并行通信与串行通信 | 190 |
| 6.3.1 | 中断允许寄存器 IE | 160 | 8.1.2 | 同步通信与异步通信 | 191 |
| 6.3.2 | 中断优先级寄存器 IP | 161 | 8.1.3 | 串行通信的传输模式 | 191 |
| 6.4 | 响应中断请求的条件 | 162 | 8.1.4 | 串行通信的错误校验 | 192 |
| 6.5 | 外部中断请求的响应时间 | 163 | 8.2 | 串行口的结构 | 192 |
| 6.6 | 外部中断的触发方式选择 | 163 | 8.2.1 | 串行口控制寄存器 SCON | 193 |
| 6.7 | 中断请求的撤销 | 164 | 8.2.2 | 电源控制寄存器 PCON | 194 |
| 6.8 | 中断函数 | 165 | 8.3 | 串行口的 4 种工作方式 | 194 |
| 6.9 | 中断系统的应用 | 166 | 8.3.1 | 方式 0 | 194 |
| 6.9.1 | 单一外部中断的应用 | 166 | 8.3.2 | 方式 1 | 199 |
| 6.9.2 | 两个外部中断的应用 | 167 | 8.3.3 | 方式 2 | 200 |
| 6.9.3 | 中断嵌套的应用 | 169 | 8.3.4 | 方式 3 | 201 |
| | 思考题及习题 6 | 170 | 8.4 | 多机通信 | 201 |
| 第 7 章 | 定时/计数器的工作原理及应用 | 171 | 8.5 | 波特率的定义方法 | 202 |
| 7.1 | 定时/计数器的结构 | 171 | 8.5.1 | 波特率的定义 | 203 |
| 7.1.1 | 定时/计数器方式控制寄存器 TMOD | 171 | 8.5.2 | 计算 T1 产生的波特率 | 203 |
| 7.1.2 | 定时/计数器控制寄存器 TCON | 172 | 8.6 | 串行口的应用 | 204 |
| 7.2 | 定时/计数器的 4 种工作方式 | 172 | 8.6.1 | RS-232C、RS-422A 与 RS-485 简介 | 204 |
| 7.2.1 | 方式 0 | 172 | 8.6.2 | 方式 1 的应用设计实例 | 207 |
| 7.2.2 | 方式 1 | 173 | 8.6.3 | 方式 2 和方式 3 的应用 设计实例 | 213 |
| 7.2.3 | 方式 2 | 174 | 8.6.4 | 多机通信的应用设计实例 | 215 |
| 7.2.4 | 方式 3 | 174 | 8.6.5 | 单片机与 PC 机串行通信的 设计实例 | 222 |
| 7.3 | 定时/计数器对外部输入信号的要求 | 176 | 8.6.6 | PC 机与单片机或与多个 单片机的串行通信 | 226 |
| 7.4 | 定时/计数器的编程和应用 | 176 | | 思考题及习题 8 | 227 |
| 7.4.1 | 用 P1 口控制 8 个 LED 每 0.5s 闪亮一次 | 176 | 第 9 章 | 单片机系统的并行扩展 | 228 |
| 7.4.2 | 计数器的应用 | 177 | 9.1 | 系统并行扩展技术 | 228 |
| 7.4.3 | 控制 P1.0 引脚产生周期为 2ms 的方波 | 179 | 9.1.1 | 系统并行扩展结构 | 228 |
| 7.4.4 | 利用 T1 控制发出频率为 1kHz 的音频信号 | 180 | 9.1.2 | 地址空间分配 | 229 |
| 7.4.5 | 制作 LED 数码管秒表 | 182 | 9.1.3 | 外部地址锁存器 | 231 |
| 7.4.6 | 测量脉冲宽度——门控位的 应用 | 184 | 9.2 | 外部 RAM 的并行扩展 | 233 |
| 7.4.7 | LCD 时钟的设计 | 186 | 9.2.1 | 常用的静态 RAM 芯片 | 233 |
| | 思考题及习题 7 | 188 | 9.2.2 | 读/写外部 RAM 的操作时序 | 234 |
| 第 8 章 | 串行口的工作原理及应用 | 190 | 9.2.3 | 并行扩展外部 RAM 设计实例 | 235 |
| 8.1 | 串行通信基础 | 190 | 9.2.4 | 单片机扩展 RAM 6264 设计实例 | 237 |

| | | | |
|---|-----|--------------------------------------|-----|
| 9.3 内部 Flash 存储器的编程 | 238 | 11.1 单片机扩展 D/A 转换器概述 | 278 |
| 9.3.1 使用通用编程器 | 239 | 11.2 单片机扩展 8 位并行 D/A 转换器 | 279 |
| 9.3.2 使用 ISP 下载线 | 239 | 11.2.1 DAC0832 简介 | 279 |
| 9.4 E ² PROM 的并行扩展 | 240 | 11.2.2 单片机并行扩展 DAC0832 的程控电压源设计实例 | 280 |
| 9.4.1 并行 E ² PROM 芯片简介 | 240 | 11.2.3 波形发生器设计实例 | 281 |
| 9.4.2 单片机扩展 2864A 设计实例 | 241 | 11.3 单片机扩展 10 位串行 D/A 转换器 | 286 |
| 9.5 利用 82C55 扩展并行 I/O 口 | 242 | 11.3.1 TLC5615 简介 | 286 |
| 9.5.1 并行 I/O 口扩展概述 | 242 | 11.3.2 单片机扩展 TLC5615 设计实例 | 287 |
| 9.5.2 82C55 简介 | 243 | 11.4 单片机扩展 A/D 转换器概述 | 290 |
| 9.5.3 82C55 的三种工作方式 | 246 | 11.5 单片机扩展 8 位并行 A/D 转换器 | 291 |
| 9.5.4 单片机与 82C55 的接口电路 设计实例 | 250 | 11.5.1 单片机扩展 ADC0809 设计实例 | 292 |
| 9.6 利用 74LSTTL 电路扩展并行 I/O 口 | 252 | 11.5.2 两路输入的数字电压表 设计实例 | 294 |
| 9.7 利用单片机的串行口扩展并行 I/O 口 | 253 | 11.6 单片机扩展 8 位串行 A/D 转换器 | 297 |
| 9.7.1 利用 74LS165 扩展并行 输入口设计实例 | 253 | 11.6.1 TLC549 简介 | 297 |
| 9.7.2 利用 74LS164 扩展并行 输出口设计实例 | 254 | 11.6.2 单片机扩展 TLC549 设计 实例 | 298 |
| 思考题及习题 9 | 255 | 11.7 单片机扩展 12 位串行 A/D 转换器 | 300 |
| 第 10 章 单片机系统的串行扩展 | 257 | 11.7.1 TLC2543 简介 | 300 |
| 10.1 单总线串行扩展 | 257 | 11.7.2 单片机扩展 TLC2543 设计实例 | 302 |
| 10.1.1 数字温度传感器 DS18B20 简介 | 257 | 思考题及习题 11 | 305 |
| 10.1.2 单总线串行扩展 DS18B20 实现温度测量系统 | 260 | 第 12 章 单片机应用系统的设计 | 306 |
| 10.2 SPI 总线串行扩展 | 263 | 12.1 单片机应用系统的设计步骤 | 306 |
| 10.3 I ² C 总线串行扩展 | 264 | 12.2 单片机应用系统设计应当考虑的 问题 | 307 |
| 10.3.1 I ² C 总线系统的基本结构 | 264 | 12.2.1 硬件设计应当考虑的问题 | 307 |
| 10.3.2 I ² C 总线数据传送的规定 | 265 | 12.2.2 典型的单片机应用系统 组成 | 308 |
| 10.3.3 单片机的 I ² C 总线扩展 系统 | 267 | 12.2.3 系统设计中的总线驱动 | 309 |
| 10.3.4 I ² C 总线数据传送的模拟 | 268 | 12.3 单片机应用系统的仿真开发与 调试 | 310 |
| 10.3.5 利用 I ² C 总线扩展 AT24C02 的 IC 卡设计实例 | 271 | 12.4 单片机应用系统设计实例 | 314 |
| 思考题及习题 10 | 277 | 12.4.1 单片机控制步进电机 设计实例 | 314 |
| 第 11 章 单片机与 D/A 转换器、A/D 转换器 的接口 | 278 | | |

| | | |
|--------|-------------------------|-----|
| 12.4.2 | 单片机控制直流电机 设计实例 | 316 |
| 12.4.3 | 频率计设计实例 | 318 |
| 12.4.4 | 模拟电话拨号设计实例 | 321 |
| 12.4.5 | 8 位竞赛抢答器设计实例 | 326 |

| | | |
|--------|------------------------------------|-----|
| 12.4.6 | 基于时钟/日历芯片 DS1302 的电子钟设计实例 | 331 |
| | 思考题及习题 12 | 337 |
| | 参考文献 | 338 |

1.1 单片机的应用

单片机在工业控制、仪器仪表、家用电器、医疗设备、汽车电子、航空航天、国防工业、农业自动化、环保监测、智能玩具、消费电子等领域得到了广泛的应用。随着单片机技术的不断发展，其应用范围也在不断扩大。

单片机在工业控制中的应用主要体现在以下几个方面：1. 数据采集与处理；2. 运动控制；3. 过程控制；4. 设备故障诊断与保护。在仪器仪表领域，单片机主要用于信号采集、放大、滤波、模数转换、数据存储和显示等。

在家用电器领域，单片机广泛应用于空调、洗衣机、冰箱、微波炉、电视机、音响设备等。单片机在这些设备中主要用于控制设备的运行状态、调节温度、转速、亮度等参数。在医疗设备领域，单片机用于心率监测、血压测量、血糖检测等。

在汽车电子领域，单片机用于发动机控制、变速器控制、制动系统控制、安全气囊控制等。在航空航天领域，单片机用于飞行控制、导航系统、通信系统等。在国防工业领域，单片机用于武器控制、目标识别、通信加密等。

在农业自动化领域，单片机用于灌溉控制、温室控制、病虫害监测等。在环保监测领域，单片机用于水质监测、空气质量监测、噪声监测等。在智能玩具领域，单片机用于控制玩具的动作、声音、灯光等。

在消费电子领域，单片机广泛应用于数码相机、手机、MP3播放器、数码相机、数码相机、数码相机等。单片机在这些设备中主要用于控制设备的拍摄、播放、充电等功能。随着单片机技术的不断发展，其在消费电子领域的应用也将越来越广泛。

单片机技术的发展推动了工业自动化、智能化、信息化的进程。随着单片机技术的不断进步，其在各个领域的应用也将越来越深入，为人类社会的发展做出更大的贡献。

1.2 单片机的发展历史

单片机的出现是人类历史上的一件大事，它标志着微电子技术进入了一个新的时代。单片机的发明和发展经历了以下几个阶段：

第1章 单片机概述

导读：Intel 公司的 8 位单片机 8051 的体系结构已成为国内外公认的标准。它被许多厂家作为基核，推出了多种兼容机型，在世界范围内得到广泛应用。其中，美国 Atmel 公司的 AT89S51（或 AT89S52）单片机是最具代表性的机型，也是单片机初学者首选的入门机型。本章介绍单片机的基础知识、发展历史、发展趋势及应用领域，同时也对嵌入式处理器家族中其他成员，如 DSP、嵌入式微处理器等进行概括性介绍，以使读者对其有初步了解，为后续学习 DSP、嵌入式微处理器等打下基础。

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来，已广泛应用于工业自动控制系统、自动检测设备、智能仪器仪表、机电一体化设备、汽车电子系统、家用电器等各个方面。那么，什么是单片机呢？

1.1 单片机简介

单片机就是在一个半导体硅片上，集成了中央处理单元（CPU）、存储器（RAM 和 ROM）、并行口、串行口、定时/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线，用于测控领域的单片微型计算机，简称单片机。

由于单片机在使用时，通常处于测控系统的核心地位并嵌入其中，所以国际上通常把单片机称为嵌入式微控制器（Embedded MicroController Unit, EMCU）或微控制器（MicroController Unit, MCU）。而在我国，大部分工程技术人员则习惯使用“单片机”这一名称。

单片机的问世，是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，它标志着计算机正式形成了通用计算机和嵌入式计算机两大分支。单片机芯片体积小、成本低，可广泛嵌入工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、汽车电子系统、玩具、个人信息终端及通信产品中。

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 口等各种外围部件等）全部提供给用户。用户可根据实际需要，设计一个以通用型单片机芯片为核心的系统，再配以外围接口电路及其他外部设备（简称外设），并编写相应的程序来控制其功能，以满足各种不同测控系统的功能需求。通常所说的和本书所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。例如，各种家用电器中的控制器等。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。因为在设计中，已经对“专用”单片机在系统结构最简化、成本最佳化和可靠性提高等方面都做了全面综合考虑，所以“专用”单片机具有十分明显的综合优势。但是，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型单片机为基础的。

1.2 单片机的发展历史

单片机根据其基本操作处理的二进制位数主要分为：8 位单片机、16 位单片机和 32 位单片机。

单片机的发展历史大致可分为4个阶段。

第一阶段：初级单片机阶段。因工艺限制，单片机采用双片形式，且功能简单。1974年12月，仙童公司推出了8位F8单片机，实际上它只包括了8位CPU、64B RAM和两个并行口。

第二阶段：低性能单片机阶段。1976年，Intel公司推出的MCS-48单片机（8位）极大地促进了单片机的变革和发展。1977年，GI公司推出了PIC1650。但这一阶段的单片机仍然处于低性能阶段。

第三阶段：高性能单片机阶段。该阶段使应用跃上了一个新的台阶。这一阶段推出的单片机普遍带有串行口、多级中断系统、16位定时/计数器，其内部ROM、RAM容量加大，且寻址范围可达64KB，有的内部还带有A/D转换器。由于其性价比高，所以得到广泛应用。典型产品为Intel公司的MCS-51系列、Motorola公司的6801单片机。此后，各公司生产的与MCS-51系列兼容的8位单片机得到了迅速发展，新机型不断涌现。

第四阶段：8位单片机巩固发展及16位、32位单片机推出阶段。20世纪90年代是单片机制造业大发展的时期，这一时期的Motorola、Intel、Microchip、Atmel、德州仪器（TI）、三菱、日立、飞利浦、LG等公司相继开发了一大批性能优越的单片机，极大地推动了单片机的推广与应用。近年来，又有不少新型的高集成度的单片机涌现出来，出现了单片机产品百花齐放、丰富多彩的局面。目前，除8位单片机得到广泛应用之外，16位、32位单片机也得到广大用户的青睐。

1.3 单片机的特点

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。单片机体积小、价格低、应用方便、性能稳定可靠，因此单片机的发展普及给工业自动化等领域带来了一场重大革命和技术进步。单片机很容易嵌入系统之中，便于实现各种方式的检测或控制，这是一般微型计算机根本做不到的。单片机只要在其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，如工业自动控制系统、自动检测监视系统、数据采集系统、智能仪器仪表等。

为什么单片机应用如此广泛？主要是因为单片机应用系统具有以下优点。

(1) 简单方便，易于掌握和普及。单片机应用系统设计、组装、调试已经变成一件容易的事情，广大工程技术人员通过学习可很快掌握其应用系统的设计与调试技术。

(2) 功能齐全，性能可靠，抗干扰能力强。

(3) 发展迅速，前景广阔。在短短几十年的时间里，单片机就经历了8位机、16位机、32位机等发展阶段。尤其是形式多样、集成度高、功能日臻完善的单片机不断问世，更使得单片机在工业控制及自动化领域获得了长足发展和大量应用。近几年，单片机内部结构愈加完美，配套的内部外围部件越来越完善，一个芯片就是一个应用系统，为应用系统向更高层次和更大规模的发展奠定了坚实基础。

(4) 嵌入容易，用途广泛。单片机的体积小、性价比高、灵活性强等特点，使之在嵌入式微控制系统中具有十分重要的地位。在单片机问世前，人们要想制作一套测控系统，往往需要采用大量的模拟电路、数字电路、分立元件来完成，系统体积庞大，且因为线路复杂，连接点太多，极易出现故障。单片机问世后，电路组成和控制方式都发生了很大变化。在单片机应用系统中，各种测控功能的实现绝大部分都已经由单片机的程序来完成，其他电子线路则由内部

外围部件来替代。

1.4 单片机的应用领域

单片机具有软/硬件结合、体积小、易于嵌入各种应用系统中的优点。因此，以单片机为核心的嵌入式控制系统在下述各个领域得到了广泛应用。

(1) 工业控制与检测。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愈来愈重要的作用，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。在智能仪器仪表中使用单片机，有助于提高仪器仪表的精度和准确度，简化结构，减小体积，便于携带和使用，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已经非常普及，如洗衣机、电冰箱、微波炉、空调、电风扇、电视机、加湿机、消毒柜等。在这些设备中嵌入单片机后，使其功能与性能大大提高，并实现了智能化、最优化控制。

(4) 通信。在调制解调器、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、航天飞机导航系统等，都有单片机的嵌入。

(6) 各种终端及计算机外部设备。计算机网络终端设备（如银行终端）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) 汽车电子系统。单片机已经广泛地应用在各种汽车电子系统中，如汽车安全系统、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、汽车卫星导航系统、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。多机系统一般由若干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的测量和控制。

综上所述，从工业控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等方面，直到国防等尖端技术领域，单片机都发挥着十分重要的作用。

1.5 单片机的发展趋势

单片机将向大容量、高性能、外围部件内装化等方面发展。

1. CPU 的改进

(1) 增加数据总线的宽度。例如，各种 16 位单片机和 32 位单片机，其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，其数据处理能力也明显优于一般的 8 位单片机。

(2) 采用双 CPU 结构，以提高数据处理能力。

2. 存储器的发展

(1) 内部程序存储器普遍采用 Flash 存储器。Flash 存储器能在+5V 下进行读/写操作，既有静态 RAM 的读/写操作简便的优点，又有在掉电时数据不会丢失的好处。单片机可不用扩展外部程序存储器，大大简化了系统的硬件结构。有的单片机内部程序存储器容量可达 128KB，甚至更多。

(2) 加大内部数据存储器容量。例如，8 位单片机 PIC18F452 内部集成了 4KB RAM，可以满足动态数据存储的需要。

3. 内部 I/O 的改进

(1) 增加并行口的驱动能力，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，以便直接驱动 LED 显示屏和 VFD 荧光显示器。

(2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能，为构成分布式、网络化系统提供了方便条件。

(3) 引入数字交叉开关，改变了以往内部外围部件与外部 I/O 引脚的固定对应关系。交叉开关是一个大的数字开关网络，可通过编程设置交叉开关控制寄存器，对定时/计数器、串行口、中断系统、A/D 转换器等内部外围部件进行灵活配置，使之出现在端口的 I/O 引脚上，允许用户根据自己的特定应用，将内部外围部件资源分配给端口的 I/O 引脚。

4. 低功耗

目前的单片机产品大多为 CMOS 芯片，功耗小。这些单片机普遍配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等工作方式。在这些状态下低电压工作的单片机，其消耗的电流仅在 μA 或 nA 量级，适合于电池供电的便携式、手持式仪器仪表及其他消费类电子产品。

5. 外围部件内装化

随着集成电路技术及工艺的不断发展和进步，把所需的众多外围部件全部装入单片机内，即系统的单片化是目前单片机发展的趋势之一，一个芯片就是一个“测控”系统。

6. 编程及仿真的简单化

目前，大多数单片机都支持在线编程，有两种实现方法：在系统编程 (ISP) 和在应用编程 (IAP)。只需一根与 PC 机相连的 ISP 下载线 (多为 USB 口或串行口)，就可以把仿真调试通过的程序代码从 PC 机在线写入单片机的 Flash 存储器内，省去了编程器。某些机型还支持在线升级或销毁单片机中的应用程序，省去了仿真器。

综上所述，单片机正在向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围部件内装化，以及内部程序存储器、数据存储器容量不断增大的方向发展。

1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机

20 世纪 80 年代以来，单片机的发展非常迅速，其中 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机是一类设计成功、易于掌握并在世界范围得到广泛普及应用的机型。

1.6.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号，MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 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机型。

1. 基本型

典型产品：8031、8051、8751。

8031 内部包含一个 8 位 CPU，一个 128B RAM，21 个特殊功能寄存器（SFR），4 个 8 位并行口，一个全双工串行口，两个 16 位定时/计数器，5 个中断源，但内部无程序存储器，需外部扩展程序存储器。

8051 在 8031 的基础上，内部集成了 4KB ROM 作为程序存储器。所以 8051 是一个程序空间不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是芯片厂商在制作芯片时代为用户烧制的。它主要用在程序已定且批量大的单片机产品中。

8751 用内部集成的 4KB EPROM 取代了 8051 的 4KB ROM，也是一个程序空间不超过 4KB 的小系统。用户可以将程序固化在 EPROM 中，其中内容可反复擦写修改。8031 外扩一个 4KB EPROM 就相当于一个 8751。

2. 增强型

Intel 公司的增强型系列产品，即 52 子系列，其典型产品有 8032、8052、8752。它们的内部 RAM 增至 256B；8052、8752 的内部程序存储器扩展到 8KB；16 位定时/计数器增至 3 个，中断源有 6 个。

表 1-1 列出了基本型和增强型 MCS-51 系列单片机的内部基本硬件资源。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的内部基本硬件资源

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

1.6.2 AT89S5x 系列单片机

MCS-51 系列单片机的代表性产品是 8051，目前其他公司推出的兼容扩展型单片机都是在 8051 内核的基础上进行了功能的增减。20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上，逐渐淡出单片机的开发和生产。由于 MCS-51 系列单片机设计上的成功及较高的市场占有率，得到众多公司的青睐。Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多芯片生产厂家，如 Atmel、飞利浦、Cygnal、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等公司。这些公司生产的兼容机型均采用 8051 的内核结构，其指令系统相同，采用 CMOS 工艺；有的公司还在 8051 内核的基础上又增加了一些内部外围部件，其集成度更高，功能和市场竞争力更强。人们常用 8051（或 80C51，C 表示采用 CMOS 工艺）来称呼所有这些具有 8051 内核，且使用 8051 指令系统的单片机，并习惯性地把这些兼容扩展型的各种衍生机型统称为 8051 单片机。

在众多的兼容扩展型衍生机型中，美国 Atmel 公司的 AT89 系列，尤其是该系列中的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机在全世界 8 位单片机市场中占有较大的份额。

Atmel 公司是美国 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的半导体公司。该公司于 1994 年用

E²PROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行了交换。Atmel 公司的技术优势是其 Flash 存储器技术。将 Flash 存储器技术与 80C51 内核相结合，形成了内部带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。该系列单片机与 MCS-51 系列单片机在原有功能、引脚及指令系统方面完全兼容，系列中的某些机型又增加了一些新的功能，如看门狗定时器（WDT）、ISP 及 SPI 串行口等，内部 Flash 存储器可直接使用编程器重复编程。此外，它还支持两种节电工作方式，非常适于电池供电或其他低功耗场合。

AT89S5x 系列是 Atmel 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型，S 表示含有支持串行下载的 Flash 存储器，其代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。AT89C51 单片机已不再生产，可用 AT89S51 直接替代。与 AT89C5x 系列相比，AT89S5x 系列的时钟频率及运算速度有了较大的提高。例如，AT89C51 的工作频率上限为 24MHz，而 AT89S51 则为 33MHz。AT89S51 内部集成有双数据指针 DPTR、看门狗定时器，具有低功耗空闲模式和掉电模式，还增加了 5 个特殊功能寄存器。

AT89S51 与 AT89S52 单片机的差别体现在，AT89S51 内部有 4KB Flash 存储器和 128B RAM，以及 5 个中断源、两个定时/计数器。而 AT89S52 内部有 8KB Flash 存储器和 256B RAM，以及 6 个中断源、3 个定时/计数器（比 AT89S51 多出的一个定时/计数器，具有捕捉功能）。

尽管 AT89S5x 系列有多种机型，但是掌握好基本型 AT89S51 十分重要，因为它是各种 8051 单片机的基础，最具代表性。

本书中将会经常用到“8051”，它泛指世界各芯片厂商生产的具有 8051 内核的各种增强扩展型单片机，而“AT89S51”仅指 Atmel 公司的 AT89S51 单片机。

除 8 位单片机得到广泛应用外，一些厂家的 16 位单片机也得到了用户的青睐。例如，美国 TI 公司 16 位的 MSP430 系列、Microchip 公司的 PIC24xx 系列单片机等。这些单片机本身带有 A/D 转换器，增加了各种串行口及各种数字控制部件，一个芯片就构成了一个测控系统，使用非常方便。此外，各公司还推出了 32 位单片机。尽管如此，8 位单片机的应用仍然非常广泛与普及，这是因为，目前在大多数应用场合中，8 位单片机的性能完全可以满足大部分实际需求，而且 8 位单片机的性价比也较好。

1.7 各种衍生的 8051 单片机

除 AT89S5x 系列单片机外，各半导体器件厂家基于 8051 内核也推出了各种集成度高、功能强的增强扩展型单片机，并已得到广泛应用。

1.7.1 STC 系列单片机

STC 系列单片机是我国具有自主知识产权，功能与抗干扰性强的增强型 8051 单片机。STC 系列单片机有多个子系列、几百个品种，可满足不同应用的需要。其中，STC12C5410/STC12C2052 系列的主要性能及特点如下。

(1) 高速。普通 8051 单片机的每个机器周期为 12 个时钟周期，而 STC 系列单片机的每个机器周期为一个时钟周期，指令执行速度大大提高，比普通的 8051 单片机快 8~12 倍。

(2) 宽工作电压。范围为 3.8V~5.5V，2.4V~3.8V（STC12LE5410AD 系列）。

(3) 12KB/10KB/8KB/6KB/4KB 内部 Flash 存储器，擦写次数可达 10 万次以上。

- (4) 512B 内部 RAM。
 - (5) 支持 ISP/IAP, 无须编程器/仿真器, 可远程升级。
 - (6) 8 通道 10 位 ADC, 4 路 PWM 输出。
 - (7) 4 通道捕捉/比较单元, 也可再实现 4 个定时/计数器或 4 个外部中断 (支持上升沿/下降沿中断)。
 - (8) 两个硬件 16 位定时/计数器, 兼容普通 8051 单片机定时/计数器。4 路可编程定时/计数器阵列 (PCA) 可再实现 4 个定时/计数器。
 - (9) 硬件看门狗定时器 (WDT)。
 - (10) 高速 SPI 串行口。
 - (11) 全双工异步串行口 (UART), 兼容普通 8051 单片机串行口。
 - (12) 通用 I/O 口 (27/23/15 个) 中的每个 I/O 口驱动能力均可达到 20mA, 但整个芯片最大不可超过 55mA。
 - (13) 超强抗干扰能力与高可靠性。
 - 高抗静电;
 - 通过 2kV/4kV 快速脉冲干扰测试 (EFT 测试);
 - 宽电压范围, 不怕电源抖动;
 - 宽温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$;
 - I/O 口经过特殊处理;
 - 内部电源供电系统、时钟电路、复位电路、看门狗电路均经过特殊处理。
 - (14) 采取降低单片机时钟以减小对外部电磁辐射的措施。如果选每个机器周期为 6 个时钟周期, 则外部时钟频率可降低一半。
 - (15) 超低功耗设计。
 - 掉电模式, 典型功耗小于 $0.1\mu\text{A}$;
 - 空闲模式, 典型功耗为 2mA ;
 - 正常工作模式, 典型功耗为 $4\text{mA}\sim 7\text{mA}$;
 - 掉电模式可由外部中断唤醒, 适用于电池供电系统, 如水表、气表、便携设备等。
- STC 系列单片机可直接替换 Atmel、飞利浦、Winbond (华邦) 等公司的 8051 单片机机型。
- 由此可见, STC 系列单片机是一类高性能、高可靠性且价格低廉的机型, 尤其是其具有较高的抗干扰特性, 用户应给予足够的重视。

1.7.2 C8051Fxxx 系列单片机

美国 Cygnal 公司的 C8051Fxxx 系列单片机, 是一类集成度高, 采用 8051 内核的 8 位单片机, 代表性产品为 C8051F020。

C8051F020 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 25MIPS, 与经典的 8051 单片机相比, 其可靠性和速度有很大提高。

C8051F020 内部集成了一个 8 位 ADC、一个 12 位 ADC、一个双 12 位 DAC; 一个 64KB 内部 Flash 存储器、一个 256B RAM、一个 128B SFR; 8 个并行 I/O 口共 64 根 I/O 口线; 5 个 16 位通用定时/计数器; 5 个捕捉/比较模块的可编程定时/计数器阵列, 一个 UART 串行口、一个 SMBus/I²C 串行口、一个 SPI 串行口; 另外还有两路电压比较器、电源监测器、内置温度传感器。