



21世纪高等院校规划教材

# 单片机原理及应用教程

## (C语言版)

主 编 周国运  
副主编 鲁庆宾 赵天翔 李云强 全选悦



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

21 世纪高等院校规划教材

# 单片机原理及应用教程（C 语言版）

主 编 周国运

副主编 鲁庆宾 赵天翔 李云强 仝选悦



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书以应用最广泛的 MCS-51 增强型单片机为对象,系统地讲解了单片机原理、编程方法、接口技术及应用。内容包括: MCS-51 单片机结构原理,指令系统,单片机 C 语言及编程,中断、定时器、串行口,系统扩展接口、系统设备接口,以及单片机各个部分的应用,并且介绍了单片机的软硬件开发工具 Keil C 和 Proteus。

本书从教学和初学的角度讲解单片机的基本内容和应用,概念清晰准确;以 C 为主要编程语言,讲解、举例编程均用 C 语言,并且有汇编语言对照;以程序开发软件 Keil C、电路设计模拟运行调试软件 Proteus 为教学、学习和训练工具,理论与实践紧密结合。

本书适用于具有 C 语言基础的计算机、电子、通信、自动化、电气、测控技术与仪器等专业的本、专科学生作为教材,也可以作为各种培训机构和自学教材,以及工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及应用教程 : C语言版 / 周国运主编  
— 北京 : 中国水利水电出版社, 2014. 1  
21世纪高等院校规划教材  
ISBN 978-7-5170-1490-4

I. ①单… II. ①周… III. ①单片微型计算机—C语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第288271号

策划编辑: 杨庆川 责任编辑: 李 炎 封面设计: 李 佳

书 名	21世纪高等院校规划教材 单片机原理及应用教程 (C语言版)
作 者	主 编 周国运 副主编 鲁庆宾 赵天翔 李云强 仝选悦
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16印张 402千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	29.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换  
版权所有·侵权必究

## 序

随着计算机科学与技术的飞速发展,计算机的应用已经渗透到国民经济与人们生活的各个角落,正在日益改变着传统的人类工作方式和生活方式。在我国高等教育逐步实现大众化后,越来越多的高等院校会面向国民经济发展的第一线,为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为了大力推广计算机应用技术,更好地适应当前我国高等教育的跨跃式发展,满足我国高等院校从精英教育向大众化教育的转变,符合社会对高等院校应用型人才培养的各类要求,我们成立了“21世纪高等院校规划教材编委会”,在明确了高等院校应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下,组织编写了本套“21世纪高等院校规划教材”。

众所周知,教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱及基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索和建设适应新世纪我国高等院校应用型人才培养体系需要的配套教材已经成为当前我国高等院校教学改革和教材建设工作面临的紧迫任务。因此,编委会经过大量的前期调研和策划,在广泛了解各高等院校的教学现状、市场需求,探讨课程设置、研究课程体系的基础上,组织一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的工程实践能力的学术带头人、科研人员和主要从事该课程教学的骨干教师编写出一批有特色、适用性强的计算机类公共基础课、技术基础课、专业及应用技术课的教材以及相应的教学辅导书,以满足目前高等院校应用型人才培养的需要。本套教材消化和吸收了多年来已有的应用型人才培养的探索与实践成果,紧密结合经济全球化时代高等院校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新。教材编写采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批地启动编写计划,编写大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论,以确保该套教材的高质量和实用性。

教材编委会分析研究了应用型人才与研究型人才在培养目标、课程体系和内容编排上的区别,分别提出了3个层面上的要求:在专业基础类课程层面上,既要保持学科体系的完整性,使学生打下较为扎实的专业基础,为后续课程的学习做好铺垫,更要突出应用特色,理论联系实际,并与工程实践相结合,适当压缩过多过深的公式推导与原理性分析,兼顾考研学生的需要,以原理和公式结论的应用为突破口,注重它们的应用环境和方法;在程序设计类课程层面上,把握程序设计方法和思路,注重程序设计实践训练,引入典型的程序设计案例,将程序设计类课程的学习融入案例的研究和解决过程中,以学生实际编程解决问题的能力为突破口,注重程序设计算法的实现;在专业技术应用层面上,积极引入工程案例,以培养学生解决工程实际问题的能力为突破口,加大实践教学内容的比重,增加新技术、新知识、新工艺的内容。

本套规划教材的编写原则是:

在编写中重视基础,循序渐进,内容精炼,重点突出,融入学科方法论内容和科学理念,反映计算机技术发展要求,倡导理论联系实际和科学的思想方法,体现一级学科知识组织的层次结构。主要表现在:以计算机科学的科学体系为依托,明确目标定位,分类组织实施,兼容互补;理论与实践并重,强调理论与实践相结合,突出学科发展特点,体现学科发展的内在规律;教材内容循序渐进,保证学术深度,减少知识重复,前后相互呼应,内容编排合理,整体

结构完整；采取自顶向下设计方法，内涵发展优先，突出学科方法论，强调知识体系可扩展的原则。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 面向应用型高等院校，在保证学科体系完整的基础上不过度强调理论的深度和难度，注重应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在课程体系方面打破传统的研究型人才培养体系，根据社会经济发展对行业、企业的工程技术需要，建立新的课程体系，并在教材中反映出来。

(2) 教材的理论知识包括了高等院校学生必须具备的科学、工程、技术等方面的要求，知识点不要求大而全，但一定要讲透，使学生真正掌握。同时注重理论知识与实践相结合，使学生通过实践深化对理论的理解，学会并掌握理论方法的实际运用。

(3) 在教材中加大能力训练部分的比重，使学生比较熟练地应用计算机知识和技术解决实际问题，既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生思考问题、解决问题的能力。

(4) 教材采用“任务驱动”的编写方式，以实际问题引出相关原理和概念，在讲述实例的过程中将本章的知识点融入，通过分析归纳，介绍解决工程实际问题的思想和方法，然后进行概括总结，使教材内容层次清晰，脉络分明，可读性、可操作性强。同时，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。

(5) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进，举一反三，突出重点，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据各校的教学计划在内容上适当加以取舍。此外还注重了配套教材的编写，如课程学习辅导、实验指导、综合实训、课程设计指导等，注重多媒体的教学方式以及配套课件的制作。

(6) 大部分教材配有电子教案，以使教材向多元化、多媒体化发展，满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 [www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn) 下载。此外还提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套规划教材凝聚了众多长期在教学、科研一线工作的教师及科研人员的教学科研经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。本套规划教材适用于应用型高等院校各专业，也可作为本科院校举办的应用技术专业的课程教材，此外还可作为职业技术学院和民办高校、成人教育的教材以及从事工程应用的技术人员的自学参考资料。

我们感谢该套规划教材的各位作者为教材的出版所做出的贡献，也感谢中国水利水电出版社为选题、立项、编审所做出的努力。我们相信，随着我国高等教育的不断发展和高校教学改革的不断深入，具有示范性并适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等院校教学质量的提高。

我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见，以便进一步修订，使该套规划教材不断完善。

21 世纪高等院校规划教材编委会

2004 年 8 月

# 前 言

MCS-51 单片机虽然走过了 30 多年的历史，但以其独特的系统结构、不断增加的片内设备，以及强大的指令系统，不仅没有被淘汰，而且依然是单片机中的主流。随着技术的发展和应用的需求，MCS-51 单片机片内设备越来越丰富，应用也越来越多。所以 MCS-51 单片机仍然是单片机教学的主要对象。

本书在内容组织和讲解上以初学者为对象，结合作者多年来讲授单片机、微机原理与接口技术和 C 语言等课程的教学体会，以及从事单片机、计算机应用项目开发的经验，在《单片机原理及应用（C 语言版）》教材的基础上，经过修改编写而成（本书从内容上可看作《单片机原理及应用（C 语言版）》的第二版）。本书主要有以下特点：

(1) 以增强型单片机 89C52 为对象讲解。当今在实际中使用的单片机多数是增强型，而现在又多用 C 语言编程，程序的长度很容易超过 4KB，另外增强型单片机的价格比 89C51 多出得很少，并且有更多的片内设备。书中讲解了增强型片内高 128 字节的存储器，定时器/计数器 2 的多种用途，片内的 A/D 转换器等。

(2) 以 C 语言作为主要编程语言，注重编程能力的培养，用一章内容讲解了单片机的 C 语言。在实际应用中，程序设计多以 C 语言为主、汇编语言为辅，为了适应实际工作的需要，必须要掌握 C 语言编程。本书在第 2 章讲解单片机结构原理时，就把 C51 的概念引入了进来，强调存储区域概念；在第 4 章“单片机 C 语言及程序设计”之后，内容讲解、编程举例、程序设计，都采用 C 语言；在第 5、6、7 章这些讲解单片机基本内容的章节，为了便于学习汇编语言，也列出了汇编语言程序。

(3) C 语言一章更具特色，不仅精选了内容，而且结合单片机的实际讲解 C 语言。一是只讲了与单片机结构密切相关的、与普通 C 语言不同的内容：变量的定义、特殊功能寄存器的定义、位变量的定义、指针的定义、C51 的输入/输出、C51 函数的定义、汇编语言与 C 语言混合编程等，没有涉及 C 语言的基础内容，因为现在理工科都开设有 C 语言课程。二是内容讲解透彻，定义格式明确、属性阐述准确，并且在每一种定义中都写有“使用说明”或“注意”，这些都是作者的应用经验总结。三是书中设置的例子、思考题与习题（30 个）都是结合对内容的理解和实际应用编写的，学完该章内容后，应该对 C 语言在单片机中的应用没有任何障碍。

(4) 注重开发工具应用、实践能力培养。一是在第 1 章就专门介绍了程序开发软件 Keil C 和单片机电路设计、系统模拟运行软件 Proteus 的使用方法，教师稍加引导学生就可以完成一些简单的 I/O 口实验。二是书中的例题尽可能地使用 Proteus 绘制单片机应用电路，其程序在电路中模拟运行。三是书中的部分习题要求用 Keil C 编程，用 Proteus 绘制电路并模拟运行程序。

(5) 注意接口能力的培养。一是接口概念明确，使读者真正理解接口含义，8255A 是典型的接口芯片，通过该芯片的介绍，能够使读者较全面地理解接口的相关概念和接口的相关功能（从简单和实用的角度考虑，只讲了 8255A 的工作方式 0）。二是重视接口时序的分析和

应用，几乎在每个接口中都有体现，使读者能够正确使用各种接口芯片。

(6) 提出了多个新概念，以方便讲解和理解相关内容。在第 4 章提出了“变量存储区(域)”和“设备变量”的概念。“变量存储区(域)”的概念在《单片机原理及应用(C 语言版)》中首次提出，该概念符合单片机变量保存位置区域的特征，并且与 ANSI C 变量属性(存储类型)不冲突。“设备变量”的概念为本书首次提出，虽然该概念不是必需的，但“设备变量”本身访问过程的复杂性和它的特指性，对于初学者理解、掌握这类访问过程复杂的变量会有帮助，对于教师则方便讲解。第 5 章提出了“中断通道”的概念，该概念符合串行口、定时器 T2 中断结构的特征，使中断结构的相关概念更清晰，更容易理解中断系统结构，方便教师讲解(见表 5-1)。

本书由周国运任主编，组织内容及统稿，并且编写了第 4 章、与仝选悦共同编写了第 2 章、详细指导了第 5、6 章，李云强编写了第 1 章和附录，仝选悦还编写了第 3 章，赵天翔编写了第 5、6、8 章，鲁庆宾编写了第 7、9 章。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请同行和读者批评指正。作者邮箱：[zhouguoyun@sina.com](mailto:zhouguoyun@sina.com)。

编者  
2013 年 10 月

# 目 录

序

前言

第1章 单片机及其开发工具	1	2.3.1 程序存储器结构	36
1.1 单片机的基本概念	1	2.3.2 片内数据存储器结构	37
1.2 单片机的发展概况	1	2.3.3 片外数据存储器结构	40
1.2.1 单片机的发展历史	1	2.4 MCS-51 单片机的时钟及 CPU 时序	41
1.2.2 单片机技术的发展	3	2.4.1 时钟电路及时钟信号	41
1.3 单片机的特点及应用	4	2.4.2 CPU 时序	42
1.3.1 单片机的特点	4	2.5 MCS-51 单片机的复位	43
1.3.2 单片机的应用	4	2.5.1 复位状态	43
1.4 常用单片机简介	5	2.5.2 复位电路	44
1.4.1 MCS-51 系列单片机	5	2.6 MCS-51 单片机的低功耗工作方式	45
1.4.2 ATME89 系列单片机	5	2.6.1 低功耗工作结构及控制	45
1.4.3 STC 系列单片机	7	2.6.2 空闲工作方式	46
1.4.4 常见的其他系列单片机介绍	8	2.6.3 掉电工作方式	46
1.5 单片机程序开发软件 Keil C 简介	9	2.7 MCS-51 单片机的输入/输出端口	47
1.5.1 Keil C 操作简介	9	2.7.1 P1 口	47
1.5.2 Keil C 程序开发方法	11	2.7.2 P2 口	48
1.5.3 Keil C 调试运行方法	14	2.7.3 P3 口	49
1.6 单片机系统模拟软件 Proteus 简介	17	2.7.4 P0 口	50
1.6.1 Proteus ISIS 操作简介	18	2.7.5 端口负载能力和接口要求	51
1.6.2 Proteus ISIS 原理图设计方法	22	思考题与习题	51
1.6.3 Proteus ISIS 原理图设计举例	24	第3章 MCS-51 指令系统及汇编程序设计	53
1.6.4 Proteus ISIS 模拟方法	26	3.1 汇编语言概述	53
思考题与习题	26	3.1.1 指令和机器语言	53
第2章 MCS-51 单片机的结构与原理	28	3.1.2 汇编语言	53
2.1 MCS-51 单片机的内部结构及 CPU	28	3.1.3 汇编语言格式	54
2.1.1 MCS-51 单片机的结构及特点	28	3.2 MCS-51 单片机寻址方式	55
2.1.2 MCS-51 单片机的内部原理结构	29	3.2.1 立即数寻址	55
2.1.3 MCS-51 单片机的 CPU	29	3.2.2 寄存器寻址	56
2.2 MCS-51 单片机的引脚与总线结构	32	3.2.3 直接寻址	56
2.2.1 MCS-51 单片机的引脚信号	32	3.2.4 寄存器间接寻址	57
2.2.2 MCS-51 单片机的外部总线结构	35	3.2.5 变址寻址	58
2.3 MCS-51 单片机的存储器结构	35	3.2.6 位寻址	58



3.2.7 指令寻址 .....	59	4.6.2 存储器专用指针 .....	95
3.2.8 寻址空间及指令中符号注释 .....	59	4.6.3 指针变换 .....	96
3.3 MCS-51 单片机指令系统 .....	60	4.6.4 C51 指针应用 .....	97
3.3.1 数据传送指令 .....	61	4.6.5 C51 结构体定义 .....	100
3.3.2 算术运算指令 .....	65	4.7 C51 的输入/输出 .....	100
3.3.3 逻辑操作指令 .....	67	4.7.1 基本输入/输出函数 .....	101
3.3.4 控制程序转移指令 .....	69	4.7.2 格式输出函数 printf .....	101
3.3.5 位操作指令 .....	72	4.7.3 格式输入函数 scanf .....	102
3.4 MCS-51 单片机伪指令 .....	74	4.8 C51 函数的定义 .....	104
3.5 汇编语言程序设计 .....	76	4.8.1 C51 函数定义的一般格式 .....	104
3.5.1 简单程序设计 .....	76	4.8.2 C51 中断函数的定义 .....	105
3.5.2 分支程序设计 .....	77	4.9 C51 与汇编语言混合编程 .....	106
3.5.3 循环程序设计 .....	78	4.9.1 在 C51 函数中嵌入汇编程序 .....	106
3.5.4 子程序设计 .....	79	4.9.2 C51 程序与汇编程序混合编程 .....	107
思考题与习题 .....	81	思考题与习题 .....	112
<b>第 4 章 单片机 C 语言及程序设计 .....</b>	<b>84</b>	<b>第 5 章 MCS-51 单片机的中断系统 .....</b>	<b>114</b>
4.1 C51 概述 .....	84	5.1 中断系统概述 .....	114
4.1.1 C 语言编程的优势 .....	84	5.1.1 中断的基本概念 .....	114
4.1.2 C51 与 ANSI C 的区别 .....	85	5.1.2 中断的功能 .....	114
4.1.3 C51 扩充的关键字 .....	86	5.2 中断系统结构、原理及控制 .....	115
4.2 C51 数据类型及存储 .....	86	5.2.1 中断系统结构与原理 .....	115
4.2.1 C51 的数据类型 .....	86	5.2.2 中断通道和中断源 .....	116
4.2.2 C51 的数据存储 .....	87	5.2.3 外中断触发方式 .....	116
4.3 C51 一般变量的定义 .....	88	5.2.4 中断请求标志 .....	117
4.3.1 C51 变量的定义 .....	88	5.2.5 中断允许控制 .....	118
4.3.2 C51 变量的存储类型 .....	89	5.2.6 中断优先级控制 .....	119
4.3.3 C51 变量的存储区 .....	89	5.3 中断响应及处理过程 .....	121
4.3.4 C51 变量定义举例 .....	90	5.3.1 中断响应 .....	121
4.3.5 C51 变量的存储模式 .....	91	5.3.2 中断处理和中断返回 .....	122
4.3.6 C51 变量的绝对定位 .....	91	5.4 外部中断应用举例 .....	123
4.3.7 C51 设备变量的概念 .....	92	5.4.1 中断应用程序结构 .....	123
4.4 C51 特殊功能寄存器的定义 .....	92	5.4.2 外部中断应用举例 .....	126
4.4.1 8 位特殊功能寄存器的定义 .....	92	思考题与习题 .....	129
4.4.2 16 位特殊功能寄存器的定义 .....	93	<b>第 6 章 MCS-51 单片机的定时器/计数器 .....</b>	<b>131</b>
4.5 C51 位变量的定义 .....	93	6.1 MCS-51 单片机定时器/计数器的	
4.5.1 bit 型位变量的定义 .....	93	结构及原理 .....	131
4.5.2 sbit 型位变量的定义 .....	94	6.1.1 MCS-51 单片机定时器/计数器的结构 .....	131
4.6 C51 指针与结构体的定义 .....	95	6.1.2 MCS-51 单片机定时器/计数器的	
4.6.1 通用指针 .....	95	工作原理 .....	132

6.2 定时器/计数器 T0、T1	132	8.2 用并行方式扩展数据存储器	179
6.2.1 T0、T1 的特殊功能寄存器	132	8.2.1 MCS-51 单片机三总线结构	179
6.2.2 T0、T1 的工作模式	134	8.2.2 常用的数据存储器	180
6.2.3 T0、T1 的使用方法	136	8.2.3 单片机访问片外 RAM 的 操作时序	181
6.3 定时器/计数器 T2	140	8.2.4 扩展数据存储器	182
6.3.1 T2 的特殊功能寄存器	140	8.3 用简单芯片扩展并行 I/O 口	182
6.3.2 T2 的工作方式	142	8.3.1 扩展 I/O 口常用的门电路芯片	182
6.4 定时器/计数器应用举例	145	8.3.2 简单扩展 I/O 口举例	183
思考题与习题	153	8.4 用可编程芯片扩展并行 I/O 口	184
<b>第 7 章 MCS-51 单片机的串行口</b>	<b>154</b>	8.4.1 8255A 的结构	184
7.1 串行通信基础知识	154	8.4.2 8255A 的引脚定义	185
7.1.1 数据通信	154	8.4.3 8255A 的控制字	186
7.1.2 异步通信和同步通信	155	8.4.4 8255A 的工作方式	187
7.1.3 波特率	156	8.4.5 8255A 的应用举例	187
7.1.4 通信方向	156	8.5 用串行方式扩展数据存储器	189
7.1.5 串行通信接口种类	157	8.5.1 I <sup>2</sup> C 总线及操作	189
7.2 串行口结构及控制	157	8.5.2 I <sup>2</sup> C 总线扩展存储器	193
7.2.1 MCS-51 单片机串行口结构	157	思考题与习题	195
7.2.2 串行口特殊功能寄存器	158	<b>第 9 章 单片机应用系统接口技术</b>	<b>197</b>
7.2.3 波特率设计	159	9.1 键盘接口技术	197
7.3 串行口工作方式	162	9.1.1 键盘基本问题	197
7.3.1 串行口方式 0	162	9.1.2 独立式键盘结构及处理程序	198
7.3.2 串行口方式 1	163	9.1.3 行列式键盘结构及处理程序	199
7.3.3 串行口方式 2 和方式 3	165	9.2 LED 显示器及接口技术	202
7.4 串行口应用举例	166	9.2.1 LED 显示器结构及原理	202
7.4.1 串行口方式 0 应用	166	9.2.2 LED 显示器的显示方式	203
7.4.2 串行口方式 1、方式 3 应用	169	9.2.3 LED 显示器与单片机的接口	204
7.5 单片机与 PC 机通信接口电路	173	9.3 LCD 显示器及接口技术	205
7.5.1 接口芯片 MAX232 简介	173	9.3.1 LM016L 的引脚信号	205
7.5.2 单片机与 PC 机串行通信 接口电路	174	9.3.2 操作指令	206
思考题与习题	175	9.3.3 数据存储器	207
<b>第 8 章 单片机系统扩展接口技术</b>	<b>176</b>	9.3.4 基本操作函数	207
8.1 接口的基本概念	176	9.4 D/A 转换器及接口技术	210
8.1.1 单片机应用系统构成	176	9.4.1 并行接口 D/A 转换器 DAC0832 及 接口技术	210
8.1.2 接口的概念	177	9.4.2 串行接口 D/A 转换器 TLC5615 及 接口技术	213
8.1.3 接口的基本功能	177	9.5 A/D 转换器及接口技术	215
8.1.4 接口的结构	177		
8.1.5 端口及编址	178		

9.5.1 并行接口 A/D 转换器 ADC0809 及 接口技术 .....	216	9.6.3 直流电机控制接口技术 .....	228
9.5.2 串行接口 A/D 转换器 TLC2543 及 接口技术 .....	219	9.6.4 步进电机控制接口技术 .....	229
9.5.3 单片机片内 A/D 转换器及应用 .....	224	思考题与习题 .....	230
9.6 开关量输出接口技术 .....	225	附录 A ASCII 码表 .....	232
9.6.1 继电器接口技术 .....	226	附录 B MCS-51 指令表 .....	233
9.6.2 光电耦合器件接口技术 .....	227	附录 C C51 库函数 .....	237
		附录 D LCD1602 字符表 .....	245
		参考文献 .....	246

# 第 1 章 单片机及其开发工具

本章包括单片机概述和单片机开发工具两部分内容。概述介绍了单片机的概念、发展概况、应用及特点，以及一些常用的单片机；开发工具介绍了程序开发软件 Keil C、电路设计和软硬件模拟运行调试软件 Proteus。通过本章的学习，可以对单片机有一个基本的认识；基本掌握 Keil C 和 Proteus 的使用方法，为学好单片机打下基础。

## 1.1 单片机的基本概念

大家都知道计算机由控制器、运算器、存储器和输入/输出设备五大部分组成。那么，什么是单片机呢？简单来说，单片机就是把计算机除了输入/输出设备以外的其他组成部分集成在一块集成电路芯片上构成的。单片机具有计算机的基本功能，因此叫做单片微型计算机（Single Chip Micro-computer, SCM），简称为单片微机、单片机。

单片机内部集成有微处理器、程序存储器、数据存储器、中断系统、定时器/计数器以及 I/O 接口电路等，相当于微型计算机的主机部分部件，如图 1-1 虚线框内所示。

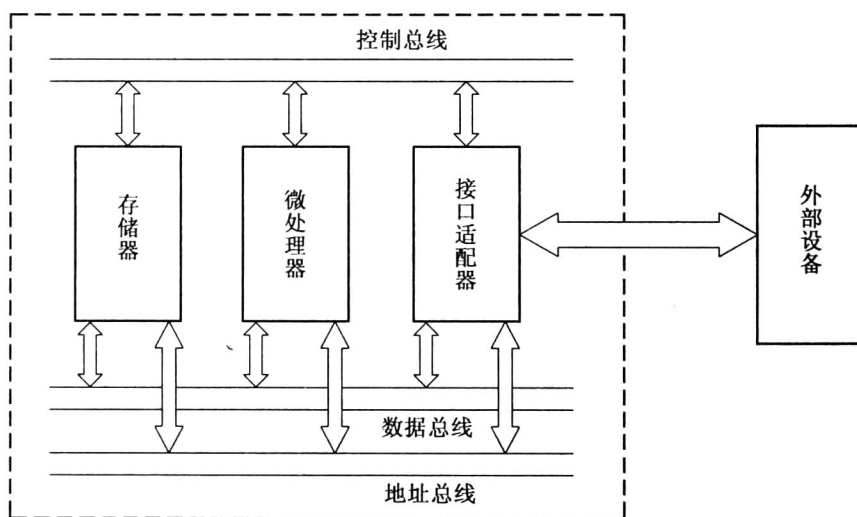


图 1-1 单片机的组成

## 1.2 单片机的发展概况

### 1.2.1 单片机的发展历史

#### 1. 4 位单片机阶段

1975 年美国德克萨斯仪器公司 (TI) 首次推出 4 位单片机 TMS-1000，而后各个计算机生

产公司也都竞相推出 4 位单片机。例如美国国家半导体公司 (National Semiconductor) 的 COP402 系列, 日本电气公司 (NEC) 的  $\mu$ PD75XX 系列, 美国洛克威尔公司 (Rockwell) 的 PPS/1 系列, 日本松下公司的 MN1400 系列, 富士通公司的 MB88 系列等。

4 位单片机主要应用于家用电器、电子玩具等领域。

## 2. 8 位单片机阶段

1976 年 9 月美国 Intel 公司率先推出了 MCS-48 系列 8 位单片机, 此后单片机发展进入了一个新的阶段, 8 位单片机纷纷应运而生。例如, 莫斯特克 (Mostek) 和仙童 (Fairchild) 公司共同合作生产的 3870 (F8) 系列, 摩托罗拉 (Motorola) 公司的 6801 系列等。

1978 年以前各厂家生产的 8 位单片机, 由于受集成度 (几千只晶体管/片) 的限制, 一般没有串行接口, 并且寻址空间的范围小 (小于 8 KB), 从性能上看属于低档 8 位单片机。

随着集成电路工艺水平的提高, 在 1978 年到 1983 年间集成度提高到几万只晶体管/片, 因而一些高性能的 8 位单片机相继问世。例如, 1978 年摩托罗拉公司的 MC6801 系列, 齐洛格 (Zilog) 公司的 Z8 系列, 1979 年 NEC 公司的  $\mu$ PD78XX 系列, 1980 年 Intel 公司的 MCS-51 系列。这类单片机的寻址能力达 64 KB, 片内 ROM 容量达 4~8 KB, 片内除带有并行 I/O 口外, 还有串行 I/O 口, 甚至有些还有 A/D 转换器功能。因此, 把这类单片机称为高档 8 位单片机。

在高档 8 位单片机的基础上, 单片机功能进一步得到提高, 后来还推出了超 8 位单片机。如 Intel 公司的 8X252、UPI-45283C152, 齐洛格公司的 Super8, 摩托罗拉公司的 MC68HC 等, 它们不但进一步扩大了片内 ROM 和 RAM 的容量, 而且增加了通信功能、DMA 传输功能以及高速 I/O 功能等。自 1985 年以来, 各种高性能、大存储容量、多功能的超 8 位单片机不断涌现, 它们代表了单片机的发展方向, 在单片机应用领域发挥着越来越大的作用。

8 位单片机由于功能强, 被广泛用于工业控制、智能接口、仪器仪表等各个领域。

## 3. 16 位单片机阶段

1983 年以后, 集成电路的集成度达到十几万只晶体管/片, 16 位单片机逐渐问世。这一阶段的代表产品有 1983 年 Intel 公司推出的 MCS-96 系列, 1987 年 Intel 公司推出的 80C96, 美国国家半导体公司推出的 HPC16040 和 NEC 公司推出的 783XX 系列等。

16 位单片机把单片机的功能又推向了一个新的阶段。如 MCS-96 系列的集成度为 12 万只晶体管/片, 片内含 16 位 CPU、8KB ROM、232 字节 RAM、5 个 8 位并行 I/O 口、4 个全双工串行口、4 个 16 位定时器/计数器、8 级中断处理系统。MCS-96 系列还具有多种 I/O 功能, 如高速输入/输出 (HSIO)、脉冲宽度调制 (PWM) 输出、特殊用途的监视定时器 (Watchdog) 等。

16 位单片机可用于高速复杂的控制系统。

## 4. 32 位单片机

近年来, 各计算机生产厂家已进入更高性能的 32 位单片机研制、生产阶段。由于控制领域对 32 位单片机需求并不十分迫切, 所以 32 位单片机的应用并不是很多。

需要提及的是, 单片机的发展虽然按先后顺序经历了 4 位、8 位、16 位和 32 位等阶段, 但从实际使用情况看, 并没有出现推陈出新、以新代旧的局面。4 位、8 位、16 位单片机仍各有应用领域, 如 4 位单片机在一些简单家用电器、高档玩具中仍有应用, 8 位单片机在中、小规模应用场合仍占主流地位, 16 位、32 位单片机在比较复杂的控制系统中才有应用。

## 1.2.2 单片机技术的发展

### 1. 片内程序存储器的发展

程序存储器 (ROM) 用于存放程序和表格等固定数据, 掉电数据不丢失, 每种单片机在其内部都会有 0~64K 容量不等的 ROM。如果单片机片内 ROM 空间不够, 可以在单片机外部扩展 ROM, 但建议尽量避免外扩 ROM。51 系列单片机有 1000 多种型号, 一定可以找到内部 ROM 容量符合要求的单片机。

程序存储器的发展历程: 由掩膜 ROM (只读的), 发展到可编程 ROM (PROM, 写入内容后不能修改), 到 EPROM (电信号编程, 紫外线擦除), 再到 E<sup>2</sup>PROM (电信号编程, 电信号擦除), 最后是大行其道的 Flash ROM (电擦除, 速度快, 成本低)。

目前市面上单片机的 ROM 主要有 Flash Memory 和 OTP (One Time Programmable, 一次性可编程) 两种, PROM、EPROM 等形式的单片机已经很少见了。就开发而言 Flash Memory 的单片机更加合适, 如宏晶公司的 STC89CXX 单片机和 ATMEL 公司的 AT89CXX 单片机等。

### 2. 看门狗定时器 (WDT)

单片机在运行时由于干扰等原因, 可能会出现程序运行混乱。这时为了尽快将程序纳入正途, 常常用软件或硬件的方法发现混乱并纠正。看门狗电路就是用于在 CPU 处于软件混乱时使系统恢复正常工作的一种方法。现在不少的单片机都集成有硬件的看门狗电路。

WDT 由看门狗计数器和看门狗控制寄存器 (WDT\_CONTR) 组成。WDT 默认设置为无效, 若启动 WDT, 需要对看门狗控制寄存器进行写操作, 以设置时钟分频值、计数器清 0、启动看门狗等控制字, 使 WDT 启动工作。在时钟分频后脉冲信号的作用下, 每一个脉冲看门狗计数器加 1, 当计数溢出后, 看门狗使 CPU 复位, 单片机从头开始运行, 使跑飞的或死循环的单片机恢复正常工作; 如果在计数溢出之前又把控制字重新写入了控制寄存器, 则计数器从 0 开始计数, 不影响程序的正常运行。在设置看门狗控制寄存器时, 看门狗的定时时间应该大于程序运行的最长时间, 通过调整时钟分频值设置 (如 STC89 系列单片机), 写看门狗控制寄存器应放在主程序的循环体中。

### 3. 节电模式

节电模式分为空闲方式和掉电方式。

在空闲方式下, CPU 自身进入睡眠状态, 但片上其他外围部件处于激活状态。这种方式由软件设置。在空闲方式期间, 片内 RAM 和所有特殊功能寄存器的内容保持不变。空闲方式可被任何允许的中断或硬件复位来终止。当空闲方式由硬件复位终止时, 通常系统在空闲处恢复程序的执行。

在掉电方式下, 片内振荡器停止工作。调用掉电指令是执行的最后一条指令。片内 RAM 和特殊功能寄存器的值保持不变, 直到掉电方式终止。退出掉电方式可以通过硬件复位或一个允许的外部中断。复位后将重新定义所有专用寄存器, 但不改变 RAM 的内容。

### 4. 加强输入输出功能

有些单片机具备大功率的输入/输出接口, 可直接驱动 VFD (荧光显示管)、LCD (液晶显示器) 和 LED (数码显示管)。有些增加了 P4 口, 增加了定时器/计数器的数量。还有一些单片机, 片内集成了 A/D、D/A 转换器, 或者 SPI 接口, 可编程计数器阵列 PCA, CRT 控制器, LCD、LED 驱动器, 正弦波发生器, 声音发生器, 字符发生器, 脉宽调制 PWM, 频率合成器等。

### 5. 单片机制造工艺提高

半导体制作工艺的提高,使单片机的体积可以做得更小,时钟频率更高,也可以集成更多的存储器和部件,降低产品的价格。

### 6. 在线编程和调试技术

SST 公司推出的 SST89C54 和 SST89C58 芯片分别有 20KB 和 30KB 的 Super Flash 存储器,利用这种存储器可以进行高速读写的特点,能够实现在系统编程 (ISP) 和在应用编程 (IAP) 功能。首先在 PC 机上完成应用程序的编辑、汇编 (或编译)、模拟运行,然后实现目标程序的串行下载。现在的单片机,基本上都采用了 Flash 存储器和在线编程技术。

Microchip 公司推出的 RISC 结构单片机 PIC16F87X 中内置有在线调试器 ICD (In-Circuit Debugger) 功能;该公司还配置了具有 ICSP (In-Circuit Serial Programming) 功能的简单仿真器和烧写器。通过 PC 机串行电缆就可以完成对目标系统的仿真调试。

## 1.3 单片机的特点及应用

### 1.3.1 单片机的特点

1) 单片机的存储器 ROM 和 RAM 是严格区分的。ROM 称为程序存储器,只存放程序、固定常数及数据表格。RAM 则为数据存储器,用作工作区及存放用户数据。采用这样的结构主要是考虑到单片机用于控制系统中,有较大的程序存储器空间,把开发成功的程序固化在 ROM 中,而把少量的随机数据存放在 RAM 中。这样,小容量的数据存储器能以高速 RAM 形式集成在单片机内,以加速单片机的执行速度。但单片机内的 RAM 是作为数据存储器用,而不是当作高速缓冲存储器 (Cache) 使用。

2) 采用面向控制的指令系统。为满足控制的需要,单片机有更强的逻辑控制能力,特别是具有很强的位处理能力。

3) 单片机的 I/O 引脚通常是多功能的。由于单片机芯片上引脚数目有限,为了解决实际引脚数和需要的信号线的矛盾,采用了引脚功能复用的方法。引脚处于何种功能,可由指令来设置或由机器状态来区分。

4) 单片机的外部扩展能力强。在内部的各种功能部分不能满足应用需求时,均可在外部进行扩展 (如扩展 ROM、RAM、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统等),与许多通用的微机接口芯片兼容,给应用系统设计带来极大的方便和灵活性。

5) 单片机体积小,成本低,运用灵活,易于产品化,它能方便地组成各种智能化的控制设备和仪器,做到机电一体化。

6) 面向控制,能有针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务,因而能获得最佳的性能价格比。

7) 抗干扰能力强,适用温度范围宽,在各种恶劣的环境下都能可靠地工作,这是其他类型计算机无法比拟的。

8) 可以方便地实现多机和分布式控制,使整个控制系统的效率和可靠性大为提高。

### 1.3.2 单片机的应用

单片机的应用范围十分广泛,主要的应用领域有:

- 1) 工业控制。单片机可以构成各种工业控制系统、数据采集系统等。如数控机床、自动生产线控制、电机控制、测控系统等。
- 2) 仪器仪表。如智能仪表、医疗器械、数字示波器等。
- 3) 计算机外部设备与智能接口。如图形终端机、传真机、复印机、打印机、绘图仪、磁盘/磁带机、智能终端机等。
- 4) 商用产品。如自动售货机、电子收款机、电子秤等。
- 5) 家用电器。如微波炉、电视机、空调、洗衣机、录像机、音响设备等。
- 6) 消费类电子产品。
- 7) 通讯设备和网络设备。
- 8) 儿童智能玩具。
- 9) 汽车、建筑机械、飞机等大型机械设备。
- 10) 智能楼宇设备。
- 11) 交通控制设备。

## 1.4 常用单片机简介

### 1.4.1 MCS-51 系列单片机

Intel 在 1980 年到 1982 年间陆续推出和 8051 指令系统完全相同，内部结构基本相同的 8031、8051 和 8751 等型号单片机，初步形成 MCS-51 系列，被奉为“工业控制单片机标准”。MCS-51 系列单片机是目前在国内使用最广泛的单片机系列之一，因此，本书就以 MCS-51 系列单片机为例，来介绍一下单片机的原理和应用。

1984 年 Intel 出售了 8051 的核心技术给多家公司，发展至今形成了一个拥有近千种型号的庞大的 51 单片机家族。

这些 51 家族的单片机从形态到功能可能差别很大，但是它们的指令是完全一致的。在 51 系列单片机之间进行移植的时候，只要注意两者之间资源上的差别，代码基本上不用修改。

MCS-51 系列单片机除了 89C51 之外，主要包括 89C52、89C54、89C58、89C516 等型号，它们的区别主要是三个方面：一是片内 RAM 由 128B 增加到 256B；二是多一个定时器/计数器；三是片内 Flash ROM 由 4KB 分别增加到了 8KB、16KB、32KB 和 64KB。不同厂家的产品可能还增加有其他外设或功能，但引脚和指令都是完全兼容的。为了讨论方便起见，我们将 89C51（包括 8031、8051 等）称为基本型，其他的型号称为增强型。

下面我们来介绍一些国内市场上比较常见的 MCS-51 系列单片机。

### 1.4.2 ATMEL89 系列单片机

ATMEL 公司生产的 89 系列单片机是市场上比较常见，也比较具有代表性的 MCS-51 单片机。

#### 1. ATMEL89 系列单片机型号说明

AT89 系列单片机型号由三个部分组成，分别是前缀、型号和后缀，其格式如下：

AT89C (LV, S) XXXX-XXXX

- 1) 前缀。前缀由字母“AT”组成，它表示该器件是 ATMEL 公司的产品。



2) 型号。型号由“89CXXXX”或“89LVXXXX”或“89SXXXX”等表示。“9”表示芯片内部含 Flash 存储器;“C”表示是 CMOS 产品;“LV”表示是低电压产品;“S”表示含可下载的 Flash 存储器。“XXXX”为表示型号的数字,如:51、52、2051、8252 等。

3) 后缀。后缀由“XXXX”四个参数组成,与产品型号间用“-”号隔开。

后缀中的第一个参数“X”表示速度,其意义如下:

X=12,表示速度为 12MHz;

X=16,表示速度为 16MHz;

X=20,表示速度为 20MHz;

X=24,表示速度为 24MHz。

后缀中的第二个参数“X”表示封装,其意义如下:

X=D,表示陶瓷封装;

X=J,表示 PLCC 封装;

X=P,表示塑料双列直插 DIP 封装;

X=S,表示 SOIC 封装;

X=Q,表示 PQFP 封装;

X=A,表示 TQFP 封装;

X=W,表示裸芯片。

后缀中的第三个参数“X”表示温度范围,其意义如下:

X=C,表示商业用产品,温度范围为  $0^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ;

X=I,表示工业用产品,温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ;

X=A,表示汽车用产品,温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$ ;

X=M,表示军用产品,温度范围为  $-55^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ 。

后缀中的第四个参数“X”用于说明产品的处理情况,其意义如下:

X 为空,表示为标准处理工艺;

X=/883,表示处理工艺采用 MIL-STD-883 标准。

例如:单片机型号为“AT89C51-12PI”,则表示该单片机是 ATMEL 公司的 Flash 单片机,采用 CMOS 结构,速度为 12 MHz,封装为塑封 DIP (双列直插),是工业用产品,按标准处理工艺生产。

## 2. AT89S52 单片机

AT89S52 单片机特点:

- 1) 与 MCS-51 产品兼容。
- 2) 具有 8KB 可在系统编程的 Flash 内部程序存储器,可擦/写 1000 次。
- 3) 4.0~5.5V 的工作电压范围。
- 4) 全静态操作: 0Hz~24MHz。
- 5) 三级程序存储器加密。
- 6) 256 字节内部 RAM。
- 7) 32 根可编程 I/O 线。
- 8) 3 个 16 位定时器/计数器。
- 9) 8 个中断源。
- 10) 全双工异步串行通信设备。