



普通高等教育“十三五”规划教材  
电子信息科学与工程类专业规划教材

# 51单片机原理及应用

◆ 李精华 李云 主编  
◆ 邓 酩 卢 望 副主编

Electronic Information  
Science and Engineering



 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“十三五”规划教材  
电子信息科学与工程类专业规划教材

# 51 单片机原理及应用

李精华 李 云 主 编

邓 酪 卢 望 副主编

電 子 工 業 出 版 社

Publishing

ndustry

## 内 容 简 介

本书系统地介绍 51 单片机的基本原理及其应用系统的构成和设计方法,最后完成一个实际的工程设计,达到知识大综合的目的。本书使用汇编语言和 C51 程序设计,案例分析使用当前流行的 Keil 和 Proteus 软件,并经过实验调试。全书共 11 章,主要包括:认识 51 单片机、51 系列单片机基本结构、51 单片机汇编语言程序设计、单片机 C51 程序设计、51 单片机系统的显示和按键接口、51 单片机的中断应用、51 单片机定时/计数器应用、51 单片机串行通信、51 单片机系统的存储器扩展、A/D 和 D/A 转换接口设计、51 单片机综合实验开发板设计。本书提供配套 PPT、案例程序、习题参考答案等。

本书可作为应用型本科院校和高职高专院校电子信息类各专业的教材,还可供从事电子技术的工程技术人员学习、阅读参考。

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

51 单片机原理及应用 / 李精华, 李云主编. —北京: 电子工业出版社, 2017.7

电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-31445-2

I. ①5… II. ①李… ②李… 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(2017)第 095312 号

策划编辑: 王晓庆

责任编辑: 王晓庆

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.75 字数: 541 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 2000 册 定价: 42.00 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: (010) 88254113, wangxq@phei.com.cn。

# 前 言

李克强总理提出要实施“中国制造 2025”，坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展，加快从制造大国转向制造强国。基于单片机技术的设计方法正在成为电子系统设计的主流，单片机技术将为国家战略——智能制造提供强有力的支持，因此单片机技术已经成为高等学校电子信息类专业学生必须掌握的一门重要技术。

本书在编写过程中，根据多年来对不同专业单片机课程的教学经验，总结出一种新的教学思想——诱导和小模块制作教学思想，力求在内容、结构、理论教学与实践教学等方面充分体现单片机教学的特点。与同类教材相比，本书具有以下特点。

(1) 教、学、做相结合，将理论与实践相结合。

单片机技术及应用是一门应用性很强的课程，我们在多年的教学过程中，一直采用教、学、做相结合的教学模式，教学效果良好。这种经验充分体现在本书内容的编排上，从最基本的实际应用出发，由实际问题入手，列举大量的与教学内容相关的应用实例，希望通过这些实例使读者对课程产生兴趣，达到更好理解相关教学内容的目的。

(2) 理论够用为度，着眼于应用。

结合应用型本科和高职高专教育的特点，本书在编写时按照贴近目标、保证基础、面向更新、联系实际、突出应用，以“必需、够用”为度的原则，突出重点，注重学生的操作技能、分析问题、解决问题的能力培养。

(3) 内容安排合理，注重学生学习需要。

为了方便教学和学生自学，在本书的案例中对所涉及的元器件、电路图、程序流程图及程序代码都进行了详细介绍；在课程内容上常结合具体案例，分别用汇编语言和 C51 语言同时编程，让读者体会两种语言的优缺点。在一些地方还对用两种语言完成同一项内容做了比较，这与目前大部分单片机教材基本都使用单一语言进行编程是有一定区别的。每个章节案例分析都用当前流行的 Keil 和 Proteus 软件进行仿真调试，使抽象的软件学习与形象的硬件仿真结合起来，对初学者的学习是有帮助的，部分解决了没有硬件环境就不能有效完成单片机教学的问题，也为学生自学提供了条件。

全书由 11 章和 3 个附录组成，系统地介绍了 51 单片机的基本知识和设计开发过程。李精华教授对本书的编写思路与大纲进行了总体策划，指导全书的编写，对全书统稿，并具体编写了第 1、2、8、9 章，第 3、4 章由桂林理工大学的邓酩老师编写，第 5、6、7 章由桂林航天工业学院的李云老师编写，第 10、11 章由广东省机械技师学院的陈冬鸥老师编写，附录 A、B、C 由桂林航天工业学院的卢望老师编写。

本书使用汇编语言和 C51 程序设计，案例分析使用当前流行的 Keil 和 Proteus 软件，并经过实验调试。本书提供配套 PPT、案例程序、习题参考答案等，请登录华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 注册下载，也可联系本书编辑 (010-88254113, wangxq@phei.com.cn) 索取。

本书在编写过程中查阅和参考了相关参考文献和其他资料，从中得到很多帮助和启示；还得到“2017年桂林航天工业学院校级重点课程建设项目基金”的资助，桂林航天工业学院为本书配备了全套的实验板和元器件，在此表示深深的感谢。单片机技术是发展的，相应的教学内容和教学方法也应不断改进，其中一定有许多问题值得深入探讨。我们真诚地希望广大读者对书中的错误和不妥之处给予批评指正。作者 E-mail: lijh@glcat.edu.cn。

作者  
2017年6月

# 目 录

第 1 章 认识 51 单片机	1	3.1.2 51 单片机的指令符号	35
1.1 单片机基本概念	1	3.1.3 51 单片机汇编语言的语句格式	35
1.2 51 系列单片机介绍	2	3.1.4 51 单片机汇编语言的操作码的中英文含义	36
1.2.1 51 单片机的特点和分类	2	3.2 51 单片机指令的寻址方式	38
1.2.2 MCS-51 系列单片机	4	3.2.1 立即寻址	38
1.2.3 Atmel 的 51 系列单片机	4	3.2.2 直接寻址	38
1.2.4 STC-51 单片机	4	3.2.3 寄存器寻址	39
1.2.5 51 单片机产品标号与引脚信息	5	3.2.4 寄存器间接寻址	39
1.2.6 单片机的应用	6	3.2.5 变址寻址	40
1.3 51 单片机应用系统开发流程与开发工具	7	3.2.6 相对寻址	40
1.3.1 51 单片机应用系统的开发流程	7	3.2.7 位寻址	41
1.3.2 Keil C51 开发工具简介	8	3.3 数据传送类指令	42
1.3.3 Proteus 软件使用简介	8	3.3.1 内部 RAM 间的数据传送	42
1.3.4 单片机开发仿真器	9	3.3.2 ACC 与外部数据存储器(或扩展的 I/O 口)传递数据	43
1.3.5 编程器	9	3.3.3 程序存储器数据传送类指令	44
本章小结	10	3.3.4 堆栈操作	45
习题一	10	3.3.5 数据交换指令	46
第 2 章 51 系列单片机基本结构	11	3.4 算术运算类指令	47
2.1 51 单片机的内部结构	11	3.4.1 加法指令	47
2.1.1 中央处理器 (CPU)	12	3.4.2 减法指令	47
2.1.2 存储器	13	3.4.3 加 1 减 1 指令	48
2.2 51 系列单片机的端口及引脚介绍	19	3.4.4 十进制调整指令	49
2.3 51 单片机最小系统	23	3.4.5 乘法和除法指令	50
2.3.1 51 单片机最小系统设计	23	3.5 逻辑运算类指令	50
2.3.2 51 单片机复位电路	24	3.6 循环移位类指令	52
2.3.3 时钟电路	26	3.7 控制转移类指令	53
2.4 51 单片机的 CPU 时序	26	3.7.1 无条件转移指令	53
本章小结	27	3.7.2 条件转移指令	55
习题二	28	3.7.3 数值比较不相等转移指令	55
实验一 51 单片机最小系统电路设计	30	3.7.4 循环转移指令	55
实验二 51 存储器数据存取实验	31	3.7.5 子程序调用及返回指令	56
第 3 章 51 单片机汇编语言程序设计	33	3.8 位操作类指令	58
3.1 51 单片机指令系统简介	33	3.8.1 位数据传送指令	58
3.1.1 51 单片机汇编指令格式	34		

3.8.2	置位和清零指令	58	5.2.3	单片机控制的数码管动态显示设计	109
3.8.3	位逻辑运算指令	58	5.2.4	单片机控制的字符型 LCD 液晶显示及接口设计	111
3.9	51 单片机汇编语言程序设计	59	5.2.5	单片机与 LED 点阵屏的接口设计	119
3.9.1	汇编语言概述	59	5.3	51 单片机系统的按键接口	121
3.9.2	汇编语言指令	59	5.3.1	常用按键	121
3.9.3	顺序程序设计	62	5.3.2	51 单片机独立式按键设计	124
3.9.4	分支程序设计	63	5.3.3	51 单片机矩阵键盘设计	127
3.9.5	循环程序设计	64	本章小结		131
3.9.6	查表程序设计	65	习题五		132
本章小结		66	实验五	51 单片机控制的跑马灯实验	133
习题三		66	实验六	51 单片机控制的数码管动态显示实验	134
实验三	无符号数加法运算案例分析实验	68	实验七	51 单片机控制的简易计算器实验	136
实验四	逻辑运算案例分析实验	70	第 6 章	51 单片机的中断应用	138
第 4 章	单片机 C51 程序设计	72	6.1	中断系统概述	138
4.1	单片机 C51 语言的基本结构	72	6.1.1	中断的相关概念	138
4.2	C51 语言数据	75	6.1.2	CPU 与外设之间的数据传送方式	138
4.2.1	C51 数据类型	75	6.1.3	中断的种类	139
4.2.2	标识符和关键字	80	6.2	51 系列单片机的中断系统	140
4.2.3	常量和变量	82	6.2.1	51 单片机中断类型	140
4.3	C51 运算符和表达式	85	6.2.2	中断控制寄存器	141
4.4	C51 语句	89	6.2.3	中断向量地址与中断控制	143
4.4.1	简单语句与复合语句	89	6.2.4	中断处理过程	144
4.4.2	分支控制语句	89	6.3	中断服务程序设计	147
4.4.3	循环控制语句	92	6.3.1	中断初始化	147
4.4.4	转移语句	93	6.3.2	中断子程序	147
4.5	C51 函数与预处理命令	94	6.3.3	运用中断法设计信号灯	148
4.5.1	函数的说明与定义	94	本章小结		151
4.5.2	函数的调用	96	习题六		151
4.5.3	内部函数与外部函数	97	实验八	51 单片机控制的交通灯控制系统设计实验	152
4.5.4	C51 语言的预处理命令	98	第 7 章	51 单片机定时/计数器应用	157
本章小结		99	7.1	定时/计数器的结构及工作原理	157
习题四		100	7.1.1	定时/计数器的组成	157
第 5 章	51 单片机系统的显示和按键接口	102	7.1.2	定时/计数器的控制寄存器与	
5.1	LED 与 51 单片机接口设计	102			
5.2	LED 数码显示原理及应用实现	105			
5.2.1	LED 数码管显示原理	105			
5.2.2	单片机控制的数码管静态显示设计	107			

工作方式	158	设计	205
7.1.3 定时/计数器的工作方式	159	9.3.3 51 单片机的 Flash 存储器扩展	
7.2 定时/计数器的应用	162	设计	207
7.2.1 51 单片机控制的蜂鸣器设计	163	9.3.4 I <sup>2</sup> C 总线和串行 E <sup>2</sup> PROM	
7.2.2 运用 51 单片机的定时中断方式		芯片 AT24C02 介绍	210
控制 8 个 LED 闪烁	166	9.4 E <sup>2</sup> PROM 芯片 AT24C02 与 51 单片机的通信设计	216
7.2.3 运用 51 单片机的定时/计数器		本章小结	220
设计简易频率发生器	169	习题九	220
本章小结	172	<b>第 10 章 A/D 与 D/A 转换接口设计</b>	221
习题七	172	10.1 A/D 转换基本知识	221
实验九 简易秒表设计	173	10.2 ADC0809 模数转换器	222
<b>第 8 章 51 单片机串行通信</b>	176	10.3 基于 ADC0809 的简易数字电压表	
8.1 串行通信基础	176	设计	225
8.1.1 波特率	176	10.4 D/A 转换的基本知识	229
8.1.2 串行通信的方式	177	10.5 集成 D/A 转换器——DAC0832	231
8.1.3 RS-232C 电平与 TTL 电平的转换	178	10.6 51 单片机控制简单波形发生器	
8.2 认识 51 单片机串行口	181	设计	234
8.2.1 51 单片机串行口结构	181	10.7 I <sup>2</sup> C 总线 A/D 与 D/A 转换器	
8.2.2 51 单片机串行口工作方式	183	PCF8591	235
8.2.3 波特率的设置	186	10.7.1 PCF8591 芯片介绍	235
8.3 51 单片机串行口设计	188	10.7.2 PCF8591 的 I <sup>2</sup> C 总线连接	
8.3.1 用 51 单片机的串行口扩展		与通信	236
控制流水灯设计	188	10.7.3 PCF8591 的 A/D 和 D/A	
8.3.2 51 单片机串行口的并行转		转换器程序设计	237
串行设计	190	本章小结	242
8.3.3 51 单片机与单片机之间的		习题十	242
双机通信设计	192	<b>第 11 章 51 单片机综合实验开发板设计</b>	243
8.3.4 51 单片机与 PC 之间的通信		11.1 单片机应用系统开发过程	243
设计	196	11.1.1 总体设计	243
本章小结	198	11.1.2 硬件设计	244
习题八	198	11.1.3 资源分配	244
实验十 51 单片机双机通信实验	199	11.2 单片机开发工具及选择	245
<b>第 9 章 51 单片机系统的存储器扩展</b>	200	11.2.1 仿真器	245
9.1 51 单片机的总线结构	200	11.2.2 其他工具	245
9.2 51 单片机系统扩展结构与编址		11.3 系统可靠性设计	246
技术	201	11.4 51 单片机综合实验系统设计	247
9.3 51 单片机系统的存储器并行扩展	203	11.4.1 电源电路	247
9.3.1 存储器简介	203	11.4.2 51 单片机最小系统	248
9.3.2 51 单片机系统存储器并行扩展		11.4.3 数码管动态显示接口电路	249



11.4.4	液晶接口电路	251	11.4.12	实时时钟电路	271
11.4.5	矩阵键盘电路	253	附录 A	51 系列单片机指令表	272
11.4.6	与 PC 串行通信电路	255	附录 B	Keil $\mu$ Vision 集成开发环境	275
11.4.7	LED 控制电路	257	附录 C	基于 51 单片机仿真的 Proteus 软件使用简介	283
11.4.8	I <sup>2</sup> C 总线器件电路	259	部分习题参考答案	290	
11.4.9	继电器、蜂鸣器和电机 控制电路	260	参考文献	292	
11.4.10	温度控制电路	264			
11.4.11	红外遥控系统	268			

# 第1章 认识51单片机

单片机是在一块硅芯片上集成了 CPU、存储器和输入/输出单元的集成电路，以单片机为核心的硬件电路称为单片机系统，单片机存储器嵌入了应用程序的单片机系统则统称为单片机应用系统。

## 1.1 单片机基本概念

自从 1946 年世界上第一台电子管数字计算机 ENIAC 在美国宾西法尼亚大学研制成功，电子计算机技术得到了迅速发展。计算机技术的发展主要朝着高速的巨型超级机和嵌入式的微型计算机两个方向发展。一般来说，微型计算机包括运算器、控制器、存储器（Memory）及输入/输出单元（I/O）这 4 个基本组成部分。如果将运算器和控制器封装在一块芯片上，则称为微处理器（MCU, Micro Controller Unit）或中央处理器（CPU, Central Process Unit）。如果将中央处理器（CPU）、存储器（Memory）及输入/输出单元（I/O）集成在一小块硅片上，如图 1-1 所示，这样一块芯片就具有了计算机的功能属性，因而被称为微型单片计算机，简称单片机。所以单片机就是将 CPU、存储器和输入/输出单元（I/O）等集成在一块硅片上，再配置几个小的器件，如电阻、电容、石英晶体、连接器等，即组成一个完整的单片机系统，在此基础上嵌入应用软件的单片机系统称为单片机应用系统。

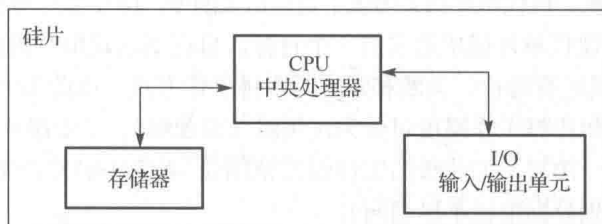


图 1-1 单片机的内部结构框图

单片机从 20 世纪 70 年代发展到现在，大致经历了 SCM、MCU、SoC 三大阶段。单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用面广，发展快，已发展为上百种系列的近千个机种。目前，单片机正朝着高性能、低功耗、小体积、大容量、低价格和外围电路内装化等几个方向发展。

(1) SCM (Single Chip Microcomputer) 即单片微型计算机阶段，主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。这种嵌入式的体系结构奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展的道路上，Intel 公司功不可没。SCM 的诞生以 Intel 公司的 MCS-51 为代表，“单片机”一词由此而来。

(2) MCU (Micro Controller Unit) 即微控制器阶段，主要的技术方向是：电子系统在不断扩展满足嵌入式应用时，对象系统要求对各种外围电路与接口电路具有智能化的控制能力。它所涉及的领域都与对象系统相关，因此，发展 MCU 的重任不可避免地落在电气、电子技术厂家。从这一角度来看，Intel 逐渐淡出 MCU 的发展也有其客观因素。在发展 MCU 方面，最著名的厂家当数 Philips 公司。Philips 公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势，将 MCS-51 从单片微型计算机迅速发展到了微控制器。

(3) SoC (System on Chip) 称为芯片级系统，也称为片上系统，是一个有专用目标的集成电路，其中包含完整系统并有嵌入软件的全部内容。从狭义角度讲，它是信息系统核心的芯片集成，将系统

关键部件集成在一块芯片上；从广义角度讲，SoC 是一个微小型系统，如果说中央处理器（CPU）是大脑，那么 SoC 就是包括大脑、心脏、眼睛和手的系统。国内外学术界一般倾向将 SoC 定义为将微处理器、模拟 IP 核、数字 IP 核和存储器（或片外存储控制接口）集成在单一芯片上，它通常是客户定制的，或是面向特定用途的标准产品。

单片机的几个重要指标如下。

(1) 位数。位数是单片机能够一次处理的数据的宽度，有 1 位机（AD7502）、4 位机（Intel4004）、8 位机（MCS-51）、16 位机（MCS-96）、32 位机（ARM 内核单片机）。

(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 到几百 KB，另外程序存储器还有不同的类型，如掩膜 ROM、EPROM、E<sup>2</sup>PROM、FlashROM 等，程序存储器的编程方式又分为串行编程、并行编程、在线编程（ISP，In System Programmable）、应用再编程（IAM，In Application re-Programmable）和专用的 ISP 编程接口。数据存储器的字节数通常从几十 B 到几十 KB。

(3) I/O 口。单片机一般都有几个到几十个 I/O 口，即输入/输出口，用户可以根据自己的需要进行选择。

(4) 速度。单片机的运行速度是指 CPU 的运行速度，以每秒执行多少条指令衡量，常用单位是 Mps（百万条指令每秒），目前最快的单片机可达到 100MIps。单片机的速度通常是与系统时钟（相当于 PC 的主频）相关的，但并不是频率越高的处理速度就一定越快，但对于同一型号的单片机，时钟频率越高，运行的速度就越快。

(5) 工作电压。单片机的工作电压通常是 5V（±5%或±10%），也有 3V/3.3V 的电压产品，也有在更低的 1.5V 电压工作的单片机。现代单片机又出现了宽电压范围型，即在 2.5~6.5V 内都可以正常工作。

(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  $\mu\text{A}$  级甚至 nA 级，有的单片机还有等待、关断和睡眠等多种工作方式，以此来降低功耗。

(7) 工作温度。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 种产品。民用级的工作温度范围是 0℃~70℃，工业级的工作温度范围是 -40℃~85℃，军用级的工作温度范围是 -55℃~150℃（不同厂家划分标准也不尽相同）。

(8) 附加功能。有的单片机有更多的功能，用户根据自己的需要选择最适合自己的产品。比如有的单片机内部有 A/D 转换、D/A 转换、串行口和 LCD 驱动等，使用这一类单片机可以减少外部器件，提高系统的可靠性。

## 1.2 51 系列单片机介绍

### 1.2.1 51 单片机的特点和分类

#### 1. 单片机的特点

##### (1) 集成度高、体积小、可靠性高

单片机为芯片级的计算机，计算机所具备的基本功能部件全部集成于一块芯片上，体积虽小，但“五脏俱全”，内部结构简单化、低功耗、抗干扰能力大为增强，稳定性极大地提高。

##### (2) 具有优异的性价比

单片机不但具备计算机的基本功能，且价格极其低廉，如一块高档型 STC89S51 单片机，售价仅为几元人民币。

### (3) 控制功能强

单片机在实时控制方面具有较强功能，在指令系统中，除了有能处理复杂逻辑关系的位操作指令外，还有功能极强的中断控制指令，使多种 I/O 接口电路的应用显得更灵活、更易实现。

### (4) 低电压、低功耗

由于大多单片机采用 CMOS 半导体材料制造，功耗低。有的单片机可在 2.2V 甚至更低电压下运行，工作电流降至微安级。低电压、低功耗使单片机大量应用于便携式产品和家用消费类产品当中。

## 2. 单片机的分类

当前世界上的单片机种类繁多，各国生产厂家、厂商琳琅满目，产品性能各有所长，共有几十种单片机系列、上百个品种，可根据结构和性能来进行分类。

### (1) 按制造工艺分类

单片机芯片的半导体材料制造工艺可分为 HMOS 和 CHMOS 两大类型，目的是使单片机芯片具有高密度、高速度、低功耗的特点。

### (2) 按单片机字长分类

所谓字长，即 CPU 一次仅能处理二进制的位数，单片机的字长目前可分为 1 位机、4 位机、8 位机、16 位机、32 位机和 64 位机，使单片机能基本满足各种场合的不同应用要求和开发需要。

### (3) 按单片机内存储器的类型分类

单片机片内的程序存储器可分为无 ROM 型、带不可擦除 ROM 型、带可擦除 EPROM 型或 E<sup>2</sup>PROM 型，以及近几年来新发展的带闪速存储器 Flash 型等。随着新技术的发展，单片机的应用开发将更易实现、成本更低廉。

### (4) 按单片机系统结构分类

单片机的存储器结构，可分为冯·诺依曼型和哈佛型两种形式，如图 1-2 所示。

一般的通用计算机及某些单片机（如 MCS-96 系列），均是采用冯·诺依曼型结构，程序和数据公用一个存储器。而大部分单片机通常采用哈佛结构，将数据与程序分别存放在两个相互独立的存储器内，这是由单片机的应用特点所决定的。单片机应用往往是针对某个特定控制对象服务的，程序设计、调试一旦取得成功，便固化在程序存储器，这样不仅省去了每次开机后的重新装入程序的步骤，且能有效地防止因突然掉电和其他干扰而引起的程序丢失和错误。

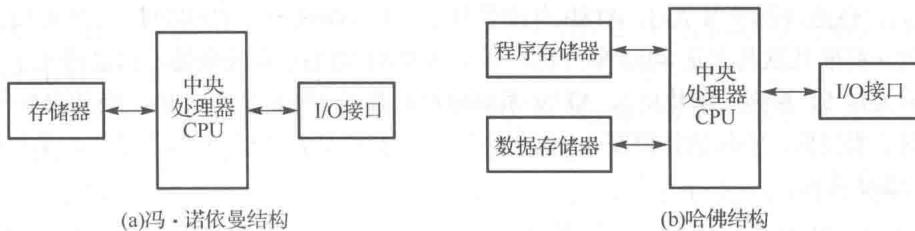


图 1-2 单片机存储器结构

### (5) 按应用场合分类

#### ① 通用性单片机

把内部部件功能及指令系统等开发资源全部面向用户提供使用，用户可根据不同场合的控制任务进行开发应用，其适应性较强，应用非常广泛。MCS-51 系列及 STC89S 系列单片机均为通用性机型。

#### ② 专用性单片机

生产制造厂家根据某种特殊需要而专门针对相应设计的芯片，如智能仪表、智能传感器、智能万向摄像机等电脑芯片；电视机、空调机、洗衣机、电冰箱、风扇等家用电器专用单片机芯片。

## 1.2.2 MCS-51 系列单片机

MCS-51 是指由美国 Intel 公司生产的一系列单片机的总称, 这一系列单片机包括很多品种, 如 8031、8051、8751、8032、8052、8752 等, 将它们分为 51 和 52 两大类。52 类是 51 类的增强型, 其最大特色是 52 类内部存储器的容量更大, 增加了一个定时/计数器。其中 8051 是最早最典型的产品, 该系列其他单片机都是在 8051 的基础上进行功能的增、减、改变而来的, 所以人们习惯于用 8051 来称呼 MCS-51 系列单片机。Intel 公司将 MCS-51 的核心技术授权给了很多其他公司, 所以有很多公司在做以 8051 为核心的单片机。当然, 功能或多或少有些改变, 以满足不同的需求, 其中 89C51 是由美国 Atmel 公司开发生产的。STC89S51 是宏晶公司的产品, 是当前国内高校学生在学习中用得最广泛的单片机。

MCS-51 系列单片机按芯片内部的 ROM 来区分, 可分为无 ROM 型 (8031/8032)、MaskROM 型 (8051/8052)、EPROM 型 (8751/8752) 及 E<sup>2</sup>PROM (89C51/89C52、89S51/89S52), 如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-51 单片机分类表

	51 类				52 类			
型号	8031	8051	8751	89C51 89S51	8032	8052	8752	89C52 89S52
类型	无 ROM	MaskROM	EPROM	E <sup>2</sup> PROM	无 ROM	MaskROM	EPROM	E <sup>2</sup> PROM
ROM	内部 0KB 外接 64KB	内部 4KB, 外接 64KB			内部 0KB 外接 64KB	内部 8KB, 外接 64KB		
RAM	内部 128B, 外接最大 64KB				内部 256B, 外接最大 64KB			
定时/计数器	2 个 16 位定时/计数器				2 个 16 位定时/计数器			
中断源	5				6			
I/O	4 个 8 位输入/输出端口				4 个 8 位输入/输出端口			

## 1.2.3 Atmel 的 51 系列单片机

Atmel 的 51 单片机是 Atmel 半导体公司以 51 内核为标准的单片机, 它是改进型的 51 单片机。比如, 标准的 8051 单片机没有 20pin 封装的芯片, 但是 AT89C2051、AT89C4051 都是 20pin 封装的单片机。它主要是把原 51 单片机的 P0 口和 P2 口省略了, 然后再改进了一些功能。可以认为它们是精简型 51 单片机, 比较适合初学者学习。AT89 有许多型号, 如 AT89C51、AT89S51、AT89C52、AT89S52 和 AT89S8252 (后面几款其实是 8052 单片机, 但是和 8051 的指令系统兼容, 只是增加了一些功能而已, 也可以认为是 51 系列的单片机)。AT89 系列单片机都是 Flash 型单片机, 烧录次数至少在 1000 次以上 (数据手册提供, 实际估计要在 4000 次以上了), 只要芯片上带有“s”字样的单片机, 都可以支持 ISP (在线烧录)。

## 1.2.4 STC-51 单片机

宏晶科技公司生产的 51 单片机现已成为全球单片机的第一品牌, 是中国大陆本土 MCU 领航者。STC-51 单片机是 STC 宏晶公司以 51 内核为标准的单片机, 是一款高性能的增强型 51 单片机。比如典型产品 STC89C51RC 是采用 8051 核的 ISP 在系统可编程芯片, 具有以下特点。

1. 增强型 8051 单片机, 6 时钟/机器周期和 12 时钟/机器周期可以任意选择, 指令代码完全兼容传统 8051。
2. 工作电压: 5.5~3.3V (5V 单片机) / 3.8~2.0V (3V 单片机)。
3. 时钟频率 0~35MHz, 相当于普通 8051 的 0~420MHz, 实际工作频率可达 48MHz。

4. 用户应用程序空间 12K/10K/8K/6K/4K/2K 字节；片内 Flash 程序存储器，擦写次数可达 10 万次以上。
5. 片上集成 512 字节 RAM。
6. 通用 I/O 口，复位后为准双向口/弱上拉，每个 I/O 口的驱动能力均可达到 20mA，但整个芯片最大不得超过 55mA。
7. ISP（在系统可编程）/IAP（在应用可编程），无须专用编程器，可通过串口（P3.0/P3.1）直接下载用户程序，数秒即可完成一片。
8. 具有 E<sup>2</sup>PROM 功能。
9. 具有看门狗功能。
10. 工作温度范围：0℃~75℃/ -40℃~+85℃。
11. 封装：PDIP、SOP、PLCC 等多种封装。

## 1.2.5 51 单片机产品标号与引脚信息

### 1. 51 单片机的产品标号信息

单片机芯片上的标号通过图 1-3 来说明，其他厂商的单片机芯片大同小异，图 1-3 所示芯片的全部标号为 STC 89C51RC40C-PDIP40 1015COK816.CD。

图 1-3 中的标示含义如下：

STC——前缀，表示芯片为 STC 公司生产的产品，其他前缀还有 AT、i、SST 等。

8——表示该芯片为 8051 内核芯片。

9——表示内部含 Flash E<sup>2</sup>PROM 存储器。80C51 中的 0 表示内部含 Mask ROM 存储器（掩膜 ROM），87C51 中的 7 表示内部含 EPROM 存储器（紫外线可擦除 ROM）。

C——表示该器件为 CMOS 产品。89LV52 和 89LE 中的 LV 和 LE 都表示该芯片为低压产品（通常为 3.3V 电压供电）；而 89S51 中的 S 表示该芯片含有可串行下载功能的 Flash 存储器，即具有 ISP 可在线编程功能。

5——表示固定不变。

1——表示该芯片内部程序存储器空间的大小，1 为 4KB，2 为 8KB，3 为 12KB，即乘以 4KB 就是该芯片内部的程序存储器的空间大小。

RC——表示该芯片内部的 RAM 为 512B，RC<sup>+</sup>表示内部的 RAM 为 1280B。

第一个 40——表示该芯片外部晶振最高可接入 40MHz。

C——产品级别，C 表示商业级，温度范围为 0℃~+70℃；I 表示工业产品级，温度范围为 -40℃~+85℃；A 表示汽车用产品，温度范围为 -40℃~+125℃；M 表示军用产品，温度范围为 -55℃~+150℃。

PDIP——表示产品封装型号，PDIP 表示双排直插式，单片机的封装还有 PLCC（带引线的塑料芯片封装）、QFP（塑料方形扁平式封装）和 PGA（插针网格阵列封装）等。

第二个 40——表示该产品的引脚为 40 个。

1015——表示该芯片的产生日期为 2010 年第 15 周。

COK816.CD——不详（有关资料显示，此标号表示芯片制造工艺或处理工艺）。

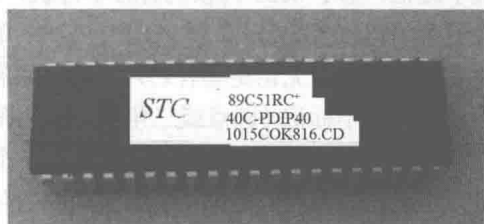


图 1-3 STC89C51RC40C-PDIP40 1015COK816.CD 单片机芯片

### 2. 51 单片机的引脚分布

下面进一步来认识单片机的引脚。图 1-4 和图 1-5 所示为 51 单片机不同封装的引脚分布图。

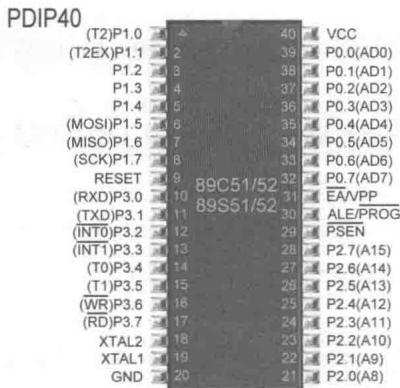


图 1-4 51 单片机 PDIP 封装引脚分布图

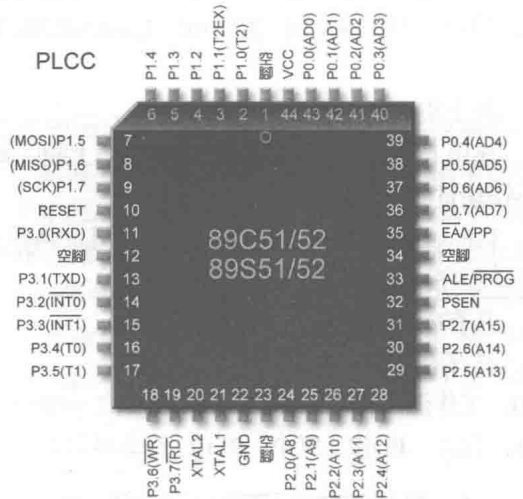


图 1-5 51 单片机 PLCC 封装引脚分布图

初次看见这些引脚时，一定会感觉太难记忆，其实纯粹去记忆引脚是没有意义的，最好的方法是边学边记。基于 8051 内核的各种单片机，若引脚相同或者封装相同，它们的引脚功能是相通的，其中教学中用得较多的是 40 脚 PDIP 封装 51 单片机，也有 20、28、32、44 等不同引脚数的 51 单片机，读者也要了解。无论是哪种芯片，在观察它的表面时，大都能找到一个凹进去的小圆点，或者一个用颜色标识的小标记（圆点或三角或其他小图形），这个小标记所对应的引脚就是这个芯片的第 1 脚，然后沿逆时针方向数下去，即为 1 到最后一个引脚。图 1-4 所示的 51 单片机的左上方有一个白色的小三角，那就是该单片机的第 1 脚，逆时针数依次是第 2, 3, ..., 40 脚。图 1-5 所示的 51 单片机的最上面的正中间有一个小圆坑，这个小圆坑所对应的引脚就该单片机的第 1 脚，然后逆时针方向排序，分别为第 2, 3, ..., 44 脚。在焊接或绘制电路板时，一定要注意它们的引脚标号。

### 3. 51 单片机的引脚电平特性

51 单片机是一种数字集成芯片，数字电路只有两种电平，即高电平和低电平。51 单片机的逻辑电平也只有这两种电平，并且是常用的 TTL 电平，其中高电平为 +5V，低电平为 0V。

## 1.2.6 单片机的应用

单片机以高性能、高速度、体积小、价格低廉、可重复编程和可功能扩展等独特的优点，广泛地应用在各个领域，大致归纳为以下几个方面。

### 1. 在智能仪器仪表中的应用

单片机广泛应用于工业设备中的智能测控、医疗器械、医疗分析仪、色谱仪、示波器、扫频仪等各类仪器仪表（包括温度、湿度、压力、流量、电压、电流、功率、频率、角度、长度、厚度、硬度、元素测定等）之中，使仪器仪表的数字化、智能化、微型化、专用化等功能得到了极大地提高，性价比更显优势。

### 2. 在工业监控领域中的应用

单片机在工业监控领域得到了广泛的应用。在供电系统中，单片机对各种参数仪表及开关进行自动监控；在工业生产过程中，单片机对工业机器人、机械手、电动机速度转矩、伺服系统、数据传输等进行实时控制。

### 3. 在通信领域中的应用

在智能线路运行控制、程控交换机、光电交换器、手机、电话机、智能调制解调器等通信系统中，都可以看到单片机的身影。

### 4. 在军用领域中的应用

单片机在智能武器装置、导弹控制、鱼雷制导控制、精确炸弹、电子干扰系统、自动火炮、航空导航系统等军用领域发挥着巨大的作用。

### 5. 在数据处理领域中的应用

在图文传真机、图表终端、激光打印机、复印机、打字机、硬盘录像机、数码相机、数字电视等数字领域中，单片机也得到了广泛应用。

### 6. 在消费电子领域中的应用

目前，几乎所有的家用电器中，均以单片机为核心构成控制线路，不但提高了自动化程度，而且增强了功能。运用单片机实现家电的模糊控制、智能控制已成为家用电器的主要发展方向。

## 1.3 51 单片机应用系统开发流程与开发工具

### 1.3.1 51 单片机应用系统的开发流程

51 单片机应用系统的开发流程与一般单片机的开发流程类似，其基本开发流程可分为软件与硬件两部分，这两部分是并行开发的。在硬件方面，主要是设计原理图、绘制 PCB、选择合适的元器件等工作；在软件开发方面，则是运用 C 语言或汇编语言编写源程序，然后进行编译、链接生成可执行文件，再次进行软件调试/仿真。当完成软件设计后，即可应用在线仿真器（ICE, In-Circuit Emulator）加载编译后生成的可执行程序，在目标板上进行在线仿真。若软件、硬件设计无误，则可利用 IC 编程器，将可执行文件烧录到 51 单片机，最后将该 51 单片机插入目标电路板，即完成了设计，如图 1-6 所示。

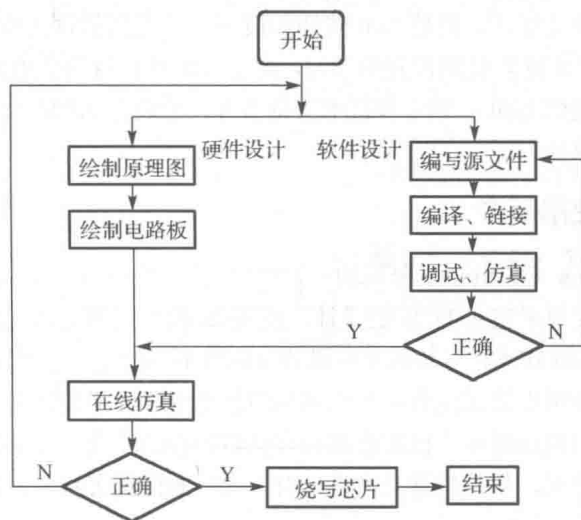


图 1-6 传统的 51 单片机应用系统的开发流程



51 单片机应用系统的核心元件是 51 单片机，当应用 51 单片机来设计控制电路时，除了要进行电路设计外，还要编写 51 程序。传统的 51 单片机程序开发流程如图 1-7 所示。



图 1-7 传统的 51 单片机程序开发流程

早期的源程序（Source Code，即\*.c 或\*.asm）编辑，通常是通过文本编辑器编写的，国内单片机开发者常使用 Keil C51 软件来完成。51 单片机源程序的编译与链接也是在 Keil C51 软件中完成的，其中源程序编译得到的是目标文件（Object Code，即\*.obj），再利用链接程序（link），将目标文件链接产生可执行文件（Intel 的十六进制文件\*.hex）。软件仿真就是利用软件仿真程序进行简单的软件仿真分析。在线仿真就是将前面生成的\*.hex 文件加载到在线仿真器，再把在线仿真器当做 51 单片机，插入到所开发的目标电路板上，即可进行在线仿真。如果一切都正确，则可利用单片机编程器，将\*.hex 文件烧录到 51 单片机中去，将含程序代码的 51 单片机插入到目标电路板上，就完成了 51 单片机应用系统的设计。

### 1.3.2 Keil C51 开发工具简介

Keil C51 是美国 Keil Software 公司出品的 51 系列兼容单片机 C 语言软件开发系统，与汇编语言相比，C 语言在功能、结构性、可读性、可维护性上有明显的优势，因而易学易用。Keil 提供了包括 C 编译器、宏汇编、链接器、库管理和一个功能强大的仿真调试器等在内的完整开发方案，通过一个集成开发环境（ $\mu$ Vision）将这些部分组合在一起。运行 Keil 软件需要 NT、WINXP、WIN7 等操作系统。如果使用 C 语言编程，那么 Keil 几乎就是不二之选，即使不使用 C 语言而仅用汇编语言编程，其方便易用的集成环境、强大的软件仿真调试工具也会使开发人员事半功倍。Keil C51 的集成环境是  $\mu$ Vision 系列，其版本目前已经达到  $\mu$ Vision5，各种不同版本的使用界面大致相同，只不过高版本内的芯片种类多些而已。Keil C51 软件介绍见附录 B。

Keil 的网站虽然没有中文版本，但是 Keil 软件却被 80% 的中国软件工程师使用，但凡与电子相关的专业学生，都会从单片机和计算机编程开始学习，而学习单片机自然会用到 Keil 软件。国内由米尔科技、亿道电子、英倍特提供 Keil 的销售和技术支持服务，他们是 ARM 公司的合作伙伴，也是国内领先的嵌入式解决方案提供商。

### 1.3.3 Proteus 软件使用简介

Proteus 软件是 Labcenter Electronics 公司的一款电路设计与仿真软件，它包括 ISIS 和 ARES 两个软件模块。ARES 模块主要用来完成 PCB 的设计，而 ISIS 模块用来完成电路原理图的布图与仿真。Proteus 的软件仿真基于 VSM 技术，与其他单片机仿真软件不同的是，它不仅能仿真单片机 CPU 的工作情况，也能仿真单片机外围电路或没有单片机参与的其他电路的工作情况，因此在仿真和程序调试时，关心的不再是某些语句执行时单片机寄存器和存储器内容的改变，而是从工程的角度直接看程序运行和电路工作的过程和结果。从某种意义上讲，对于这样的仿真实验，弥补了实验和工程应用间脱节的矛盾和现象。

Proteus 不仅可以作为学校单片机（电子等）实验的模拟仿真，也可以作为个人工作室的仿真实验。