

COMPUTER

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



高等学校计算机基础及应用教材

单片机应用系统设计技术

—— 基于C语言编程

张 齐 杜群贵 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校计算机基础及应用教材

单片机应用系统设计技术 ——基于 C 语言编程

张 齐 杜群贵 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍 80C51 系列单片机及其应用系统的构成和设计方法,包括单片机系统电路基础、单片机应用系统的研制与开发环境、单片机软件和硬件基础知识、单片机内部资源应用与外部资源的扩展方法等。书中的实例多采用 C 语言作为编程教学语言,实用性较强。本书中的 C 语言是针对 80C51 特有结构描述的,即使无编程基础,也可以通过对本书的学习掌握单片机应用系统的软件设计方法。

本书既可作为非计算机专业本、专科计算机应用系统设计类课程的教材,也可作为从事单片机项目开发与应用的工程技术人员的参考书。

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

单片机应用系统设计技术——基于 C 语言编程/张齐,杜群贵编著. —北京:电子工业出版社,2004.8
高等学校计算机基础及应用教材

ISBN 7-121-00244-2

I. 单… II. ①张…②杜… III. ①单片微型计算机, 80C51 系统—程序设计—高等学校—教材
②C 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(2004)第 082788 号

策划编辑:刘宪兰

责任编辑:王羽佳

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:24.75 字数:521 千字

印 次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:31.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。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。

总 序

当今,很难找出一个不需要应用计算机技术的领域,这意味着几乎所有技术人员都需要学会使用计算机。对计算机了解的深度,不同领域、不同岗位上的工作人员有不同的要求。有些领域要求每个技术人员都对计算机技术有较深入的了解,例如,高等学校的电子类专业都开设了大量计算机技术课程。有些领域的大多数工作人员只要对计算机应用有一般性了解就可以了。无论哪一类专业都要开发本领域的专用计算机应用系统,因而需要一大批既懂计算机技术又懂领域业务的技术人才。造就这类人才的途径无非三种:一是设立专门的培养复合型人才的专业,由于行业种类、人员层次太多,需求不易量化,难以规划;二是由计算机专业人员深入某个应用领域,学习必要的专业知识并与该领域技术人员合作;三是非计算机专业领域的技术人员(在学的或在职的)根据工作需要和个人志趣进一步学习有关的计算机技术。由途径二和途径三成长起来的计算机应用人员各有长处,可以互相补充,数量自然会由需求调节,无需行政规划。

编写本系列教材的主要目的是为选择上述第三条途径的人员(首先是高校非计算机专业的学生)提供一套比较系统又比较灵活、实用的学习材料。“系统”是指系列教材的编排从入门开始,循序渐进,涉及的预备知识均包含在教材中。“灵活”是指读者在读完系列教材中的“计算机实用技术”(内容大致相当于教育部提出的计算机基础教育第一层次的要求)、一门“程序设计”语言和“计算机技术导论”(基本属于第二层次的内容)后,可以根据需要任意选择学习其他课程。“实用”是指根据本系列教材的主要目标,取材注重应用,不追求完备。为了方便教学,每门教材都配有CAI课件,有些教材还有配套的习题集或实验指导,供任课教师和读者选用。

从上述关于内容的说明可见,系列教材中的“计算机实用技术”和一门语言的“程序设计”事实上是理工科非计算机专业学生的必修课,其余课程是选修课。

某些非计算机专业对计算机技术训练的要求与计算机应用专业的某些方向的要求交叉,各领域计算机应用系统开发所涉及的技术也有许多相同之处。因此,本系列教材中有一部分也可供计算机专业的相关课程选用。例如,本系列教材中的各种高级语言程序设计的教材,对于选择该语言作为第一门程序设计语言的任何专业都是适用的。又如“计算机组成原理”、“微型计算机接口技术”、“网络技术应用基础”等也可供计算机应用专业选用。

系列教材的作者都是有丰富教学经验的在职一线教师，以计算机系的教师为主，广泛征求相关专业教师的意见并且吸收部分相关专业教师参与编写。尽管经过反复讨论修改，但限于作者水平和其他条件的限制，在总体布局、内容取舍或其他方面一定还存在不足和值得商榷之处，敬请批评指正。

系列教材编委会

2004 年 8 月

前 言

单片机的问世和飞速发展掀起了计算机工程应用的一场新革命,使计算机技术冲破了实验室和机房的界限,广泛地应用于工业控制系统、数据采集系统、自动测试系统、智能仪表和接口以及各类功能模块等广阔的领域。单片机应用系统已经成为实现许多控制系统的常规性工具。我们说,单片机开辟了计算机应用的一个新时代是并不过分的。单片机的发展历史虽然只有短短 20 年,但由于计算机科学和微电子集成技术的飞速发展,单片机自身也在不断地向更高层次和更大规模发展。世界各大半导体厂商纷至沓来争先挤入这一市场,激烈的市场竞争也促进了单片机迅速更新换代,带来了它们更为广泛的应用。由于单片机应用系统的高可靠性,软、硬件的高利用系数,优异的性能价格比,使它的应用范围由开始传统的过程控制,逐步进入数值处理、数字信号处理以及图像处理等高新技术领域。

本书作者长期从事单片机的教学工作,在许多工程与科学研究中大量地采用了单片机控制系统,近年来发表有关单片机应用的科研论文 30 余篇。本书根据编者多年来教学和开发实践工作的经验,依据目前可能得到的最新技术资料,以 80C51 系列单片机为背景加以介绍,为单片机应用设计人员提供了这方面的原理和功能描述,从应用设计的角度提供了一些实用的应用要点指导。

本书作为非计算机专业计算机应用系统设计类教材,读者只要具备数字电路和 C 语言基础知识,通过本书的学习,就可以循序渐进地掌握单片机知识以及单片机应用系统的设计和编程方法。

全书共分 8 章。第 1 章介绍单片机、单片机系统和单片机应用系统的组成,常见单片机系列和单片机的应用特点;第 2 章简要地阐述最主要的数学知识及单片机系统中最基本的单元电路;第 3 章从实用的角度对单片机应用系统的研制和开发环境做一概要的介绍,使读者对单片机化产品的研制步骤、开发环境和单片机编程语言有一个大概的了解;第 4 章以 80C51 系列单片机为背景介绍单片机内部的主要组成部件,包括:存储器结构、并行 I/O 端口、时钟电路、复位电路,并进一步介绍了 80C51 单片机最小系统构成方法;第 5 章以 80C51 单片机为背景,介绍单片机指令系统、汇编程序设计语言和单片机高级程序设计语言;第 6 章介绍 80C51 单片机内部资源中断、定时器/计数器、串行通信接口的使用方法;第 7 章介绍单片机系统常用的扩展资源的一般设计方法。第 8 章介绍以 80C51 系列单片机为核心设计可编程控制器 PLC 的一个应用实例。

为简单片机系统编程,增加单片机应用系统程序的可读性和可移植性,单片机的编程也从传统的汇编语言转向 C 语言编程。为适应这一形势的需要,本教材的大部分程序都采用 C 语言编程,但了解单片机的寻址方法和指令系统,有助于读者设计更高效的单片机 C 程序。

单片机应用系统设计是一门实践性很强的课程,许多单片机专业公司提供了廉价的简易单片机学习板,为读者提供了很好的实验平台。本书第 8 章介绍的可编程控制器也可以作为单片机自学开发板。

本书第 1~5、7~8 章由张齐编写,第 6 章由杜群贵编写。

在本书编写过程中,华南理工大学许兴存副教授(审阅第 1、2 章)、黄钦胜副教授(审阅第 3、4 章)、周蔼如副教授(审阅第 5 章)、广东三九智慧电子有限公司陈德锋高级工程师(审阅第 6、7 章)在百忙之中对本书进行了仔细的审阅并提出许多宝贵的意见。华南理工大学齐德昱教授对本书的编写给予了大力的支持。在本书出版之际,谨向他们致以最诚挚的谢意。

由于编著者水平有限,书中误漏在所难免,敬请读者批评指正(请发邮件至 zqcom@126.com)。

编著者

2004 年 8 月

目 录

第1章 单片机概论	(1)
1.1 微处理器、微型计算机与单片机	(2)
1.2 单片机的结构与组成	(4)
1.3 单片机的分类和指标	(5)
1.4 常用的单片机系列	(6)
1.5 单片机的特点	(8)
1.6 单片机应用系统	(9)
1.7 单片机的应用领域	(9)
本章小结	(11)
习题1	(11)
第2章 单片机系统电路基础	(13)
2.1 数制与编码	(14)
2.1.1 进位计数制	(14)
2.1.2 进位计数制的相互转换	(15)
2.1.3 数码和字符的代码表示	(16)
2.2 单片机系统常用数字集成电路	(19)
2.2.1 常用的逻辑门电路	(19)
2.2.2 集电极开路门输出电路	(23)
2.2.3 常用组合逻辑电路	(25)
2.2.4 常用时序逻辑电路	(33)
2.3 单片机系统中的常用存储器电路	(35)
2.3.1 RAM 存储器	(36)
2.3.2 ROM 存储器	(42)
本章小结	(46)
习题2	(47)
第3章 单片机应用系统的研制与开发环境	(49)
3.1 单片机应用系统的研制步骤和方法	(50)
3.1.1 总体设计	(50)

3.1.2	硬件电路设计	(51)
3.1.3	软件设计	(53)
3.2	单片机应用系统开发的软硬件环境	(55)
3.2.1	单片机应用系统开发的软硬件环境构成	(55)
3.2.2	单片机应用系统开发工具选择原则	(57)
3.2.3	使用 JTAG 界面单片机仿真开发环境	(58)
3.2.4	单片机的在线编程	(59)
3.3	单片机系统编程语言	(59)
3.4	80C51 单片机集成开发环境	(61)
3.4.1	安装 Keil C51 和 MedWin	(61)
3.4.2	MedWin 的使用方法	(64)
3.4.3	多文件项目的建立、调试和输出	(68)
3.5	单片机应用系统软件在线编程方法	(71)
3.6	单片机应用系统电路设计环境	(72)
	本章小结	(74)
	习题 3	(74)
第 4 章	80C51 单片机硬件基础知识	(77)
4.1	MCS-51 系列及 80C51 系列单片机简介	(78)
4.1.1	MCS-51 系列和 80C51 系列单片机	(78)
4.1.2	80C51 系列单片机的命名规则	(79)
4.1.3	80C51 系列单片机的选择特性	(83)
4.2	80C51 系列单片机外引脚功能	(85)
4.3	80C51 单片机内部结构	(89)
4.3.1	中央处理器 CPU	(90)
4.3.2	存储器组织	(93)
4.3.3	并行输入/输出端口结构	(102)
4.3.4	时钟电路	(110)
4.3.5	复位电路	(112)
4.4	低功耗运行方式	(115)
4.4.1	电源控制寄存器 PCON	(115)
4.4.2	待机方式	(116)
4.4.3	掉电方式	(117)
4.5	80C51 单片机最小系统	(118)
	本章小结	(120)

习题 4	(120)
第 5 章 80C51 单片机软件基础知识	(123)
5.1 80C51 单片机指令系统概述	(124)
5.1.1 指令的概念	(124)
5.1.2 指令系统说明	(125)
5.1.3 80C51 指令系统助记符	(126)
5.1.4 指令系统中的特殊符号	(127)
5.2 80C51 单片机寻址方式	(128)
5.2.1 寄存器寻址方式	(129)
5.2.2 直接寻址方式	(129)
5.2.3 寄存器间接寻址方式	(130)
5.2.4 立即寻址方式	(131)
5.2.5 变址间接寻址方式	(132)
5.2.6 相对寻址方式	(132)
5.2.7 位寻址方式	(133)
5.3 80C51 单片机指令系统	(134)
5.3.1 数据传送类指令	(135)
5.3.2 算术运算类指令	(140)
5.3.3 逻辑运算类指令	(143)
5.3.4 控制转移类指令	(147)
5.3.5 位操作指令	(151)
5.4 80C51 汇编语言程序设计	(155)
5.4.1 伪指令	(157)
5.4.2 汇编语言程序设计举例	(157)
5.5 80C51 单片机 C51 程序设计语言	(159)
5.5.1 C51 的标识符和关键字	(161)
5.5.2 C51 编译器能识别的数据类型	(163)
5.5.3 变量的存储种类和存储器类型	(168)
5.5.4 绝对地址的访问	(173)
5.5.5 中断服务程序	(177)
5.6 C51 的运算符和表达式	(178)
5.6.1 赋值运算符	(179)
5.6.2 算术运算符	(179)
5.6.3 关系运算符	(180)

5.6.4	逻辑运算符	(180)
5.6.5	位运算符	(181)
5.6.6	复合运算符	(181)
5.6.7	指针和地址运算符	(182)
5.7	C51 的库函数	(182)
5.7.1	本征库函数和非本征库函数	(182)
5.7.2	几类重要的库函数	(183)
5.8	C51 的应用技巧	(183)
	本章小结	(187)
	习题 5	(190)
第 6 章	80C51 单片机内部资源及应用	(193)
6.1	中断系统和外中断	(194)
6.1.1	中断技术概述	(194)
6.1.2	80C51 单片机中断系统	(196)
6.1.3	C51 中断服务函数	(204)
6.1.4	外部中断的应用实例	(207)
6.2	定时器/计数器	(209)
6.2.1	定时器/计数器 0、1 的结构及工作原理	(209)
6.2.2	定时器/计数器 0、1 的四种工作方式	(212)
6.2.3	定时器/计数器对输入信号的要求	(219)
6.2.4	定时器/计数器 0、1 的编程和应用实例	(220)
6.2.5	定时器/计数器 2	(225)
6.3	串行通信	(227)
6.3.1	串行通信基础知识	(227)
6.3.2	80C51 串行接口	(230)
6.3.3	应用实例	(241)
	本章小结	(250)
	习题 6	(252)
第 7 章	单片机外部扩展资源及应用	(255)
7.1	单片机外部扩展资源和扩展编址技术概述	(256)
7.1.1	单片机外部扩展资源分类	(256)
7.1.2	单片机系统扩展结构与编址技术	(257)
7.1.3	单片机系统存储器扩展方法	(260)
7.2	并行 I/O 口扩展	(261)

7.2.1	8255 可编程并行 I/O 接口芯片	(261)
7.2.2	用 74HC 系列芯片扩展 I/O 接口	(268)
7.3	大容量闪速存储器 Flash 的扩展	(270)
7.3.1	Super Flash 28SF040A 简介	(270)
7.3.2	89C52 单片机和 28SF040A 接口方法	(272)
7.4	单片机系统中的键盘接口技术	(276)
7.4.1	键盘工作原理及消抖	(277)
7.4.2	独立式键盘与工作原理	(278)
7.4.3	行列式键盘与工作原理	(280)
7.4.4	键盘扫描的控制程序	(282)
7.5	单片机系统中的显示技术	(284)
7.5.1	LED 显示器的结构与原理	(284)
7.5.2	LED 静态显示接口	(285)
7.5.3	LED 动态扫描显示接口	(287)
7.6	可编程键盘/显示器接口芯片 8279 及应用	(288)
7.6.1	8279 的内部结构和基本工作原理	(288)
7.6.2	8279 的引脚、引线及功能说明	(291)
7.6.3	8279 的命令和状态字	(292)
7.6.4	82C79 与 89C52 单片机接口与编程	(297)
7.7	日历时钟接口芯片及应用	(300)
7.7.1	并行接口日历时钟芯片 DS12887	(300)
7.7.2	串行接口日历时钟芯片 DS1302	(306)
7.8	单片机数据采集系统	(317)
7.8.1	串行 A/D 转换器 TLC2543 概述	(317)
7.8.2	TLC2543 与 89C52 的接口电路	(319)
7.8.3	数据采集程序设计	(320)
7.9	I ² C 总线接口电路 EEPROM 及应用	(322)
7.9.1	串行 EEPROM 电路 CAT24WCXX 概述	(322)
7.9.2	串行 EEPROM 芯片的操作	(323)
7.9.3	串行 EEPROM 芯片与 89C52 的接口与编程	(327)
7.10	RS-232C 和 RS-485/422 通信接口	(333)
	本章小结	(338)
	习题 7	(340)
第 8 章	单片机应用系统设计实例	(341)

8.1 可编程控制器的硬件组成	(342)
8.2 可编程控制器的软件系统	(350)
8.3 可编程控制器 PC 机集成开发环境	(352)
8.4 可编程控制器监控程序 C51 部分源程序清单	(354)
本章小结	(366)
附录 A 单片机选型指南	(367)
附录 B 单片机及部分常用外围器件	(370)
附录 C 指令速查表	(373)
附录 D ASCII 码字符集	(378)

第 1 章

单片机概论

单片机即一块芯片上的计算机，以单片机为核心组成的硬件电路称为单片机系统，嵌入了应用软件的单片机系统则称为单片机应用系统。

1.1 微处理器、微型计算机与单片机

典型的微型计算机,包括运算器、控制器、存储器、输入输出接口四个基本组成部分。如果把运算器与控制器封装在一小块芯片上,则称该芯片为微处理器(MPU, Micro Processing Unit)或称中央处理器(CPU, Central Processing Unit)。如果将它与大规模集成电路制成的存储器、输入输出接口电路在印制电路板上用总线连接起来,就构成了微型计算机。显然,单硅片的中央处理器是微型计算机区别于大、中、小型计算机的主要结构特征。一个只集成了中央处理器的集成电路(IC, integrate circuit)封装,只是微型计算机的一个组成部分。

如果在一块芯片上,集成了一台微型计算机的四个基本组成部分,则这种芯片就被称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),简称单片机。也就是说,单片机是一块芯片上的微型计算机。以单片机为核心的硬件电路称为单片机系统,单片机系统属于嵌入式系统的应用范畴。嵌入式系统一般指非 PC(Personal Computer)系统,它包括硬件和软件两部分。硬件包括中央处理器、存储器、外设器件、I/O(输入/输出)端口和图形控制器等。软件部分包括操作系统软件(OS)(要求实时和多任务操作)和应用程序编程,有时设计人员把这两种软件组合在一起。应用程序控制着系统的运作和行为,而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

为了进一步突出单片机在嵌入式系统中的主导地位,许多半导体公司在单片机内部还集成了许多外围功能电路和外设接口,如中断、定时/计数、串行通信、模拟/数字转换(ADC)、脉冲宽度调制(PWM)等单元。这些单元突出了单片机的控制特性。一般地说,单片机利用大规模集成电路技术把中央处理器和数据存储器(RAM)、程序存储器(ROM)及其他 I/O 通信口集成在一块芯片上,构成一个最小的计算机系统。而现代的单片机则加上了中断单元、定时单元及 A/D 转换等更复杂、更完善的电路,使得单片机的功能越来越强大,应用更广泛。国外目前习惯称单片机为微控制器(MCU, Micro Control Unit),本书仍然沿用单片机一词。

20 世纪,微电子、IC 集成电路行业发展迅速,其中单片机行业的发展最引人注目。单片机功能强大、价格便宜、使用灵活,在计算机应用领域中发挥着极其重要的作用。从 Intel 公司于 1971 年生产的第一片单片机 Intel-4004 开始,单片机开创了电子应用的智能化新时代。单片机以其高性价比和灵活性,牢固树立了其在嵌入式系统中的“霸主”地位,在 PC 机以 286、386、486、Pentium 高速更新换代的同时,单片机却“始终如一”地保持着其旺盛的生命力。例如,80C51 系列单片机已有十多年的生命期,如今仍保持着上升的趋势,就充分证明了这一点。

尽管单片机主要是为控制目的而设计的,但它仍然具备微型计算机(如 PC 机)的全

部特征, 因此, 单片机的功能部件和工作原理与微型计算机也是基本相同的, 我们可以通过参照微型计算机的基本组成和工作原理逐步接近单片机。

图 1.1 所示为一台微型计算机的基本结构。由图 1.1 可知, 一台微型计算机是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分组成的。虽然微型计算机技术得到了最充分的发展, 但是微型计算机在体系结构上仍属于经典的计算机结构。这种结构是由计算机的开拓者——数学家约翰·冯·诺依曼最先提出的, 所以称之为冯·诺依曼计算机体系结构。至今为止, 计算机的发展已经经历了 4 代, 尚未冲出冯·诺依曼体系。当前, 市场上常见的大多数型号的单片机也还遵循着冯·诺依曼体系的设计思路。

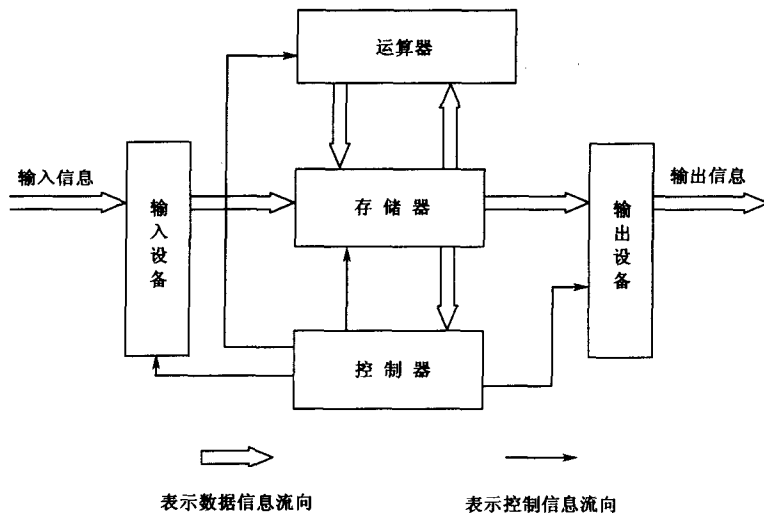


图 1.1 微型计算机的基本结构

下面分析微型计算机各部分的作用和微型计算机的工作原理。如果要使微型计算机按照需要解决某个具体问题, 人们并不是把这个问题直接让微型计算机去解决, 而是要用微型计算机可以“理解”的语言, 如 C、Pascal、Basic 和 PL/M 语言, 编写出一系列解决这个问题的步骤并输入到计算机中, 命令它按照这些步骤顺序执行, 从而使问题得以解决。编写解决问题的步骤, 就是人们常说的编写程序 (也叫程序设计或软件开发)。计算机是严格按照程序对各种数据或者输入信息进行自动加工处理的, 因此必须预先把程序以及数据用输入设备送入微型计算机内部的存储器中, 处理完成后还要把结果用输出设备输送出来, 其中运算器完成程序中规定的各种算术和逻辑运算操作, 而为了使微型计算机的各部件有条不紊地工作, 必须由控制器理解程序的意图, 并指挥各部件协调完成规定的任务。

1.2 单片机的结构与组成

单片机的一般结构可用图 1.2 所示的方框图描述。图 1.2 与图 1.1 的对应关系是：CPU 包含了控制器和运算器；ROM 和 RAM 对应存储器，ROM 存放程序，RAM 存放数据；I/O 对应输入设备和输出设备。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，其芯片内部集成的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 可大可小，输入和输出端口 I/O 可多可少，但 CPU 只有一个。

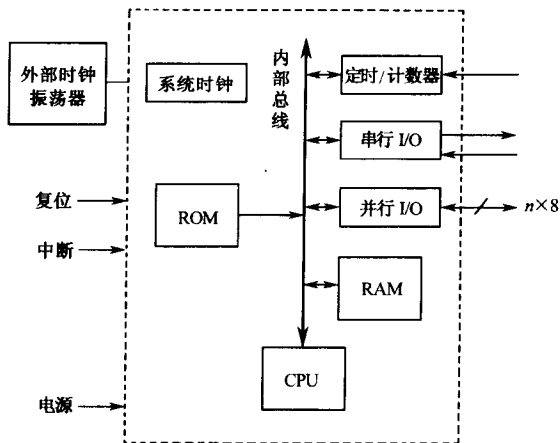


图 1.2 单片机的内部基本组成

首先介绍单片机内部各部分的功能。

程序存储器 (ROM)：用来存放用户程序，可分类为 EPROM、Mask ROM、OTP ROM 和 Flash ROM 等。EPROM 型存储器编程（把程序代码通过一种算法写入程序存储器的操作）后，其内容可用紫外线擦除，用户可反复使用，故特别适用于开发过程，但 EPROM 型单片机价格很高。Mask ROM 型存储器的单片机价格最低，适用于大批量生产。由于 Mask ROM 型单片机的代码只能由生产厂商在制造芯片时写入，故用户更改程序代码十分不便，在产品未成熟时选用此型单片机风险较高。OTP ROM 型（一次可编程）单片机价格介于 EPROM 和 Mask ROM 型单片机之间，它允许用户自己对其编程，但只能写入一次。OTP ROM 型单片机生产多少完全可由用户自己掌握，不存在 Mask ROM 型有最小起订量和掩膜费的问题，另外，该类单片机价格已同掩膜型十分接近，故特别受中小批量客户的欢迎。Flash ROM 型单片机可采用电擦除的方法修改其内容，允许用户使用编程工具或在系统中快速修改程序代码（In-System-Programmable），且可反复使用，故一推出就受到广大用户的欢迎。Flash ROM 型单片机既可用于开发过程，也可用于批量生产，随着制造工