

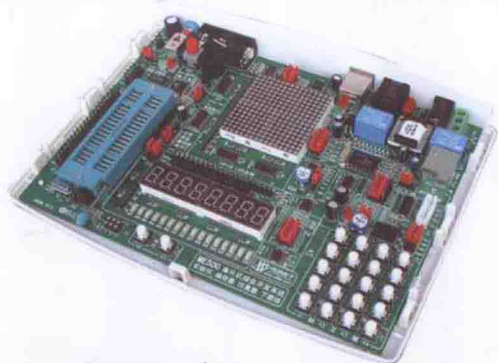
高职高专教育“十二五”规划教材



单片机原理与 应用项目化教程

DANPIANJI YUANLI YU YINGYONG XIANGMUHUA JIAOCHENG

主 编 任照富 李学平



中国建材工业出版社

高职高专教育“十二五”规划教材

单片机原理与应用 项目化教程

主 编 任照富 李学平
副主编 崔保记 赵国平 徐双君
 王文杰 何媛媛
参 编 武金山 郭学会

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用项目化教程 / 任照富, 李学平主

编. —北京: 中国建材工业出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5160-0221-6

I. ①单… II. ①任… 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 (2012) 第 149556 号

内 容 提 要

本书根据高等教育的特点和人才培养目标, 将理论教学和实践教学融为一体, 以强化学生实践能力的培养为最终目的。全书共分七个项目, 分别讲述了: 制作简易信号灯, 制作流水灯和交通信号灯, 制作简易秒表, 单片机显示技术与键盘接口, 制作单片机之间的通信系统, 制作智能小车, 掌握一些单片机的拓展技术等内容。

本书可作为高等院校电子信息、自动化、机电类等相关专业“单片机原理及应用技术”的课程教材, 也可用作从事单片机开发的工程技术人员的培训教材, 以及电子设计爱好者初学单片机的参考用书。

单片机原理与应用项目化教程

主 编: 任照富 李学平

封面设计: 华盛英才

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京天宇万达印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 368 千字

版 次: 2013 年 1 月第 1 版

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5160-0221-6

定 价: 35.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

“单片机原理与应用”是随着微电子技术的发展而迅速发展起来的一门应用科学。单片机是一种高集成度的微芯片，由于其体积小，价格便宜，使得它在很多计算机无法应用的领域大显身手。这些领域包括仪器仪表、计算机外部设备、过程及工业设备控制、人工智能等。单片机是按工业标准设计的，它具有丰富的外部接口功能芯片、很好的环境适应能力和抗干扰能力，是工程测控系统中不可或缺的核心器件。

本书既是机电专业的基础课教材，它为测控技术的具体实现提供了物质基础和技术手段；同时，它又自成体系，是一门专业课教材，它的任务是使学生逐步掌握测控信号的聚集与控制处理等，为进一步研制工业设备及过程中的测控系统打好基础。

应用型高等教育的特点是侧重于学生能力的培养和技能的训练。传统的单片机教材已不能适应新的教学要求，本书正是为了满足不断深化的职业教育和高职人才培养目标而编写的。本教材在编写过程中力求在内容、结构、理论教学与工程实践的衔接方面充分体现高职教育的特点。

(1) 本书按照高等院校学生的认知规律，以单片机的应用为主线，采用任务驱动的模式来组织相关知识点。针对每个任务首先引导学生对任务进行分析，诱发学生的学习兴趣，继而激发学生对完成任务所需知识的学习热情，最后利用所学的知识点水到渠成地完成预定任务的软、硬件设计及仿真。这样的内容结构安排，使学生带着任务来主动学习，在享受利用所学知识完成任务的成就感中，轻松地掌握了单片机的基本开发应用技术。同时，也在潜移默化中提高了学生分析问题、解决问题的能力。本教材中的所有应用实例均采用 Proteus 仿真软件调试通过，以方便学生参考学习。这种通过任务驱动而不是靠理论体系的逻辑关系引导的内容体系，是本教材的最大特点。

(2) 本书以理论“必需、够用”为原则，简化了单片机理论的难度和深度，突出实用性和操作性，加强理论联系实际，体现做中学、学中练的教学思路。书中提供的大量实用程序和应用实例，大多是编者在多年的教学中总结积累的经典案例或科研中实际工程项目，通过这些实例的学习，使学生未出校门就已具备单片机系统的开发经验，直接与人才岗位的需求接轨，符合高职高技能应用型人才培养的要求。

(3) 根据职业岗位实践要求，全书主要采用 C 语言编程。单片机应用系统设计的实践表明，使用 C 语言编程更为简练，大大缩短单片机的开发周期，而且程序便于移植。但汇编语言作为一种传统单片机程序设计语言，在行业内将长期存在，在某些环境下还必须借助汇编语言来开发，希望读者能够理解汇编程序代码功能，所以书中也同时介绍了单片机汇编语言的相关知识，在具体的教学过程中可根据实际情况进行取舍。

由于编写时间紧迫，编者水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请各位专家、同行、读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 制作简易信号灯	1
任务一 搭建单片机最小系统	1
任务二 简易信号灯的软件设计	29
项目二 制作流水灯和模拟交通灯	51
任务一 流水灯设计	51
任务二 模拟交通灯设计	77
项目三 制作简易秒表	85
任务一 了解定时器/计数器	85
任务二 制作简易秒表	94
项目四 单片机显示技术与键盘接口	111
任务一 多位数码管显示器设计	111
任务二 点阵显示器设计	118
任务三 LCD 字符显示器设计	126
任务四 制作 4×4 阵列式键盘按键	137
项目五 制作单片机之间的通信系统	146
任务一 测试串行口的通信状态	146
任务二 制作双机通信系统	163
项目六 制作智能小车	182
任务一 制作调速小车	182
任务二 制作智能小车	195
项目七 掌握一些单片机的扩展技术	200
任务一 了解存储器的系统扩展	200
任务二 了解 I/O 口的扩展	211
任务三 了解 I ² C 总线 E ² PROM 的扩展	222
附录一 MCS-51 指令集	236
附录二 ASCII 表	241
参考文献	242

项目一

制作简易信号灯

任务一 搭建单片机最小系统

任务目标

- 掌握单片机的概念；
- 掌握 MCS-51 单片机的外部引脚功能；
- 掌握 MCS-51 单片机的内部结构组成；
- 掌握 MCS-51 单片机的复位电路；
- 掌握 MCS-51 单片机的时钟电路。

一、单片机的基本概念

微处理器 MP (Micro Processor) 就是传统计算机的 CPU, 是集成在同一块芯片上的具有运算和逻辑控制功能的中央处理器, 简称 MP。它是构成微型计算机系统的核心部件。

微型计算机 MC (Micro Computer) 以微处理器为核心, 再配上存储器、I/O 接口和中断系统等构成的整体, 称为微型计算机。它们可集中装在同一块或数块印制电路板上, 一般不包括外围设备和软件。

微型计算机系统 MCS (Micro Computer System) 是指以微型计算机为核心, 配上外围设备、电源和软件等, 构成能独立工作的完整计算机系统。

单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer), 简称单片机, 是将微处理器、存储器、I/O (Input/Output) 接口和中断系统集成在同一块半导体芯片上, 具有完整功能的微型计算机, 该芯片就是其硬件。由于它的结构及功能均是按照工业控制要求设计的, 所以其确切的名称应是单片机微控制器 (Single Chip Microcontroller)。

单片机结构上的设计, 在硬、软件系统及 I/O 接口控制能力等方面都有独到之处, 具有较强且有效的功能。因而, 无论从其组成还是逻辑功能上来看, 单片机都有微机系统的含义。但是, 单片机毕竟还只是一个芯片, 只有外加接口芯片、输入/输出设备等, 才可以构成实用的单片机应用系统。

图 1-1 所示为单片机实物图。

位、字节、字及字长都是计算机中常用的名词术语。

(1) 位 (Bit)

位是指一个二进制位，它是计算机中信息存储的最小单位。位用 b 表示。

(2) 字节 (Byte)

字节指相邻的 8 个二进制位，通常存储器是以字节为单位存储信息的。字节用 B 表示。

(3) 字 (Word) 及字长

字是计算机内部进行数据传递、数据处理的基本单元。一个字所包含的二进制位数称为字长。字用 W 表示。在一般的计算机中定义一个字长为 2 字节。

电子计算机高速发展到今天，通常可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机 5 类。它们在系统结构和基本工作原理方面并无本质的区别，只是在体积、性能和应用领域方面有所不同。

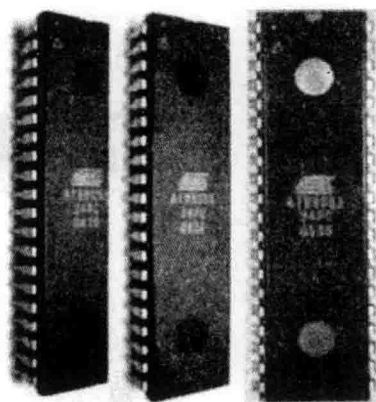


图 1-1 单片机实物图

二、单片机的应用与发展

自从 1975 年美国得克萨斯仪器公司 (TI 公司) 的第一个单片机 TMS-1000 问世以来，迄今为止，仅有近 30 年的历史，但是单片机技术已成为计算机技术的一个独特分支，在众多领域尤其在智能化仪器仪表、检测和控制系统中有着广泛的应用。

单片机作为微型计算机的一个分支，它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体同步，主要分为三个阶段。

第一阶段 (1974~1978)：初级单片机阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。该系列单片机在片内集成了 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、RAM 等，无串行 I/O 口，寻址范围不大于 4KB。

第二阶段 (1978~1983)：高性能单片机阶段。以 MCS-51 系列为代表，该阶段的单片机内均带有串行 I/O 口，具有多级中断处理系统，定时/计数器为 16 位，片内 RAM 和 ROM 容量相对增大，且寻址范围可达 64KB。这类单片机应用领域极为广泛，由于其优良的性价比，特别适合我国的国情，故在我国得到广泛应用。

第三阶段 (1983~今)：8 位单片机巩固完善及 16 位单片机推出阶段。以 MCS-96 系列为 16 位单片机的代表，其内部除了 CPU 为 16 位以外，还采用了新颖的寄存器堆/逻辑部件 (RALU)，片内 RAM 和 ROM 的容量进一步增大，ROM 为 8KB 甚至更大且可以加密，片内还带有高速输入/输出部件、多通道 10 位 A/D 转换器，以及 8 级中断等。近年来，32 位单片机也已进入实用阶段。

目前，单片机正朝着高性能和多品种的方向发展，但由于 MCS-51 系列的 8 位单片机仍能满足绝大多数应用领域的需要，所以以 MCS-51 系列为主的 8 位单片机，目前及以后相当长的一段时期内仍将占据单片机应用的主导地位。

1. 单片机的应用领域

单片机的应用极为广泛，已深入到国民经济的各个领域，对各行业的技术改造和产品的更新换代起着积极的推动作用，单片机的应用领域主要有以下几个方面。

(1) 生产自动化

自动化生产不但能够降低劳动强度，而且可以提高经济效益、改善产品质量，广泛应用于机械、汽车、电子、石油、化工、食品等工农业生产领域。自动化生产线、机器人、数控机床等自动化生产设备都能由单片机实现其智能化的自动控制功能。

(2) 实时测控

测控系统的工作环境往往比较恶劣，干扰繁杂，并且要求实时测量控制，如工业窑炉的温度、酸度、化学成分的测量和控制等。单片机工作稳定、可靠，抗干扰能力强，体积小，使用灵活，适用于各种恶劣环境，最宜承担测控工作。

(3) 智能化产品

现代工业产品的一个重要发展趋势是不断提高其智能化程度，而智能化的提高离不开单片机的参与。传统的机电产品与单片机结合后，可简化产品结构、升级产品功能并实现控制智能化。单片机与机械技术相结合，称为机电一体化，是机械工业的发展方向。单片机在家电产品上更得到普遍应用，出现了程控洗衣机、电脑空调机等。为提高汽车的动力性、经济性、舒适性、稳定性，减少污染排放，现代汽车上都大量使用了单片机。

(4) 智能化仪表

用单片机改造、设计制造仪器仪表，大大促进了仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化和柔性化方向发展，并能同时提高仪器仪表的精度和准确度，简化结构，减小体积。

(5) 信息通信技术

多机系统（各种网络）中的各计算机之间的通信联系，计算机与其外围设备（键盘、打印机、传真机、复印机等）之间的协作都有单片机的参与。

(6) 科学研究

小到实验测控台，大到卫星、运载火箭，单片机都发挥着极其重要的作用。

(7) 国防现代化

各种军事装备、管理通信系统都有单片机深入其中。例如，数字化部队的武器、通信等装备都大量应用了单片机。

单片机技术的应用遍布国民经济与人民生活的各个领域，如图 1-2 所示。



图 1-2 单片机技术的应用领域

2. 单片机的应用特点

(1) 面向控制的应用

由于单片机内部采用了微控制技术，其结构及功能均按自动控制的要求设计，因而主要应用于控制领域。微控制技术从根本上改变了传统的控制系统设计思想，它通过对单片机编程方法的代替，由模拟电路或数字电路实现大部分控制功能，是对传统控制方式的一次革命。

传统控制系统的控制功能是通过电气元件和线路连接等硬件手段实现的，一经完成，功能很难更改。若要改变功能，必须重新连接电路，十分不便。而微控制技术是由硬件和软件共同实现的。只要改变程序的内容就可在硬件线路基本功能的基础上实现多种功能。例如，彩灯的控制，若由传统控制系统实现，则线路完成之后，彩灯的闪烁变换方式也就确定了；而由单片机系统控制，不改变线路连接，只简单地改变程序即可实现多种不同的彩灯闪烁方式。

(2) 在线应用

在线应用就是以单片机代替常规模拟或数字控制电路，使其成为测控系统的一部分，在被控对象工作过程中实行实时检测及控制。在线应用为实时测控提供了可能和方便。

(3) 嵌入式应用

单片机在应用时通常装入到各种智能化产品之中，所以又称嵌入式微控制器 (Embedded Micro Controller Unit, EMCU)。单片机应用系统就是典型的嵌入式系统。

嵌入式系统是作为其他系统的组成部分使用的。由于通用计算机系统有限的可靠性、较高的价位及庞大的身躯，限制了其在嵌入式系统的广泛应用，尤其限制了以嵌入式系统作为核心控制产品的发展。单片机以较小的体积、现场运行环境的高可靠性满足了许多对象的嵌入式应用要求。在嵌入式系统中，单片机是最重要也是应用最多的智能核心器件。

将单片机系统嵌入到对象体系中后，单片机就成为对象体系的专用指挥中心。嵌入式系统的广泛应用和不断发展的美好前景，极大地影响着每个人的学习、工作和生活。

3. 单片机的应用系统

单片机应用系统按扩展及配置状况，可分为最小系统、最小功耗系统、典型系统等。

单片机最小系统是指单片机嵌入一些简单的控制对象（如开关状态的输入/输出控制等），并能维护单片机运行的控制系统。该系统成本低，结构简单，其功能完全取决于单片机芯片技术的发展水平。

单片机最小功耗系统是指系统功耗最小。设计该系统时，必须使系统内所有器件及外围设备都有最小的功耗，该系统常用在一些袖珍式智能仪表及便携式仪表中。

单片机典型系统是单片机控制系统的一般模式，它是单片机要完成工业测控功能必须具备的硬件结构系统，其系统框图如图 1-3 所示。

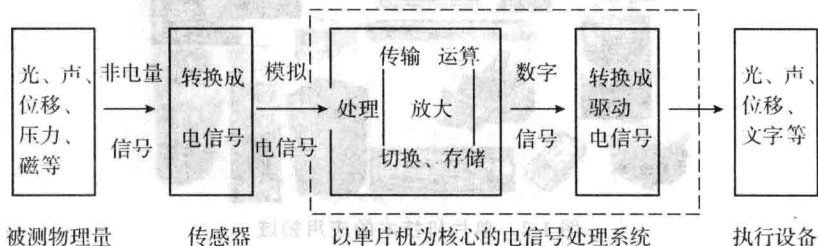


图 1-3 单片机典型系统

下面简要说明图中主要部分的作用。该系统中,通过传感器把被控对象的物理量转换成标准的模拟电量。如把 $0^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 温度转换成 $4\sim 20\text{mA}$ 标准直流电流输出。该输出经滤波器滤除掉输入通道的干扰信号,然后送入多路采样器。多路模拟采样开关分时地对多个模拟量进行采样、保持,使 A/D 转换器能将某时刻的模拟量转换成相应的数字量,然后该数字量输入单片机。单片机对输入的数据进行运算处理后,输出相应的数字量,经 D/A 转换器转换为模拟量,该模拟量经保持器控制相应的执行机构,对被控对象的相关参数进行调节,从而控制被调参数的物理量,使之按给定规律变化。

4. 单片机的发展趋势

(1) 微型化

芯片集成度的提高为单片机的微型化提供了可能。早期单片机大量使用双列直插式封装,随着贴片工艺的出现,单片机也大量采用了各种符合贴片工艺的封装,大大减小了芯片的体积,为嵌入式系统提供了可能。

(2) 低功耗

现在新的单片机的功耗越来越小,特别是很多单片机都设置了多种工作方式,包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等。扩大电源电压范围及在较低电压下仍然能工作是当今单片机发展的目标之一。目前,一般单片机都可在 $3.3\sim 5.5\text{V}$ 的条件下工作,一些厂家甚至生产出可以在 $2.2\sim 6\text{V}$ 条件下工作的单片机。

(3) 高速化

早期 MCS-51 单片机的典型时钟频率为 12MHz ,目前西门子公司的 C500 系列单片机(与 MCS-51 兼容)的时钟频率为 36MHz ;EMC 公司的 EM78 系列单片机的时钟频率高达 40MHz ;现在已有更快的 32 位 100MHz 的单片机产品出现。

(4) 集成更多资源

单片机在内部已集成了越来越多的部件,这些部件包括一些常用的电路,例如,定时器、比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、串行通信接口、Watchdog(看门狗)电路、LCD 控制器等。有的单片机为了构成控制网络或形成局部网,内部含有局部网络控制模块,甚至将网络协议固化在其内部。

(5) 通信及网络功能加强

在某些单片机内部由于封装了局部网络控制模块,因此这类单片机十分容易构成网络。特别是在控制系统较为复杂时,构成一个控制网络十分有用。目前,将单片机嵌入式系统和 Internet 连接起来已是一种趋势。

(6) 专用型单片机发展加快

专用型单片机具有最大程度简化的系统结构,资源利用率最高,大批量使用有着可观的经济效益。

三、单片机的种类

1. 单片机的主要生产厂商及产品

自单片机诞生以来,其产品在近 30 年里得到了迅猛的发展,形成了多公司、多系列、多型号的局面。在国际上影响较大的公司及其产品如表 1-1 所示。

表 1-1 单片机主要生产厂商及产品

公 司	典型产品系列
Intel	MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列
Philips	与 MCS 系列兼容的 51 系列
Motorola	MC68 系列
ATMEL	与 MCS 系列兼容的 51 系列
Microchip	PIC16C5X 系列
Zilog	Z8 系列

除上述公司及其产品外，还有一些其他公司如 Siemens、OKI、Fairchild、Mostek 公司等，也生产各种类型的单片机。

(1) Intel 公司系列单片机

Intel 公司的系列单片机可分为 MCS-48、MCS-51、MCS-96 三个系列。每一系列芯片的 ROM 根据其型号一般分为片内掩膜 ROM、片内 EPROM 和外接 EPROM 三种方式，这是 Intel 公司的首创，现已成为单片机的统一规范。最近 Intel 公司又推出了片内带 E²PROM 型单片机。片内掩膜 ROM 型单片机适合于已定型的产品，可以大批量生产；片内带 EPROM 型、外接 EPROM 型及片内带 E²PROM 型单片机适合于研制新产品和生产产品样机。

MCS-48 系列单片机是 1976 年推出的 8 位单片机，其典型产品为 8048。MCS-51 系列单片机是 Intel 公司 1980 年推出的高性能的 8 位单片机。与 MCS-48 系列相比，无论是在片内 RAM/ROM 容量、I/O 功能、种类和数量，还是在系统扩展能力方面均有很大改善，性能全面提高，其许多功能超过了 8085CPU 和 Z80CPU，成为当前工业测控类应用系统的优选单片机。MCS-51 系列单片机，其主要产品及性能如表 1-2 所示。MCS-96 系列单片机是 Intel 公司 1983 年推出的 16 位单片机，其功能更加强大。

表 1-2 MCS-51 系列单片机主要产品及性能

型 号		程序存储器	RAM (B)	I/O 口线	定时器 (个×位)	中断源	晶振 (MHz)
8051	8031	无	128	32	2×16	5	2~12
	8051	4KB ROM	128	32	2×16	5	2~12
	8751	4KB EPROM	128	32	2×16	5	2~12
8052	8032	无	256	32	3×16	6	2~12
	8052	8KB ROM	256	32	3×16	6	2~12
	8752	8KB EPROM	256	32	3×16	6	2~12
80C51	80C31	无	128	32	2×16	5	2~12
	80C51	4KB ROM	128	32	2×16	5	2~12
	87C51	4KB EPROM	128	32	2×16	5	2~12
80C52	80C32	无	256	32	3×16	6	2~12
	80C52	8KB ROM	256	32	3×16	6	2~12
80C54	87C54	16KB ROM	256	32	3×16	6	2~20
	80C54	16KB ROM	256	32	3×16	6	2~20
80C58	87C58	32KB EPROM	256	32	3×16	6	2~20

(2) Philips 公司单片机

Philips 公司生产与 MCS-51 兼容的 80C51 系列单片机，片内具有 I²C 总线、A/D 转换器、定时监视器、CRT 控制器 (OSD)、看门狗 (WTD) 电路、电源监测和时钟监测等丰富的外围部件。其某些产品工作电压甚至可低至 1.8V，并且扩大了接口功能，如设置高速口，扩展 I/O 数量，增加外部中断源，以及将 ADC、PWM 做入片内。为提高运行速度，时钟频率已达 16/24MHz。主要产品有 80C51、80C52、80C31、80C32、80C528、80C552、80C562、80C751 等。

Philips 单片机的独特之处是具有 I²C 总线，这是一种集成电路和集成电路之间的串行通信总线。可以通过总线对系统进行扩展，使单片机的系统结构更简单，体积更小。

(3) Motorola 公司单片机

Motorola 公司的单片机从应用角度可以分成两类：高性能的通用型单片机和面向家用消费领域的专用型单片机。

通用型单片机具有代表性的是 MC68HC11 系列，有几十种型号：其典型产品为 MC68HC11A8，具有准 16 位的 CPU、8KB ROM、256B RAM、512B E²PROM、16 位 9 功能定时器、38 位 I/O 口线、2 个串行口、8 位脉冲累加器、8 路 8 位 AD 转换器、WTD 电路、17 个中断向量等功能，既可单片工作，也可以扩展方式工作。

专用型单片机性价比较高，应用时一般采用“单片”形式，原则上一块单片机就是整个控制系统。这类单片机无须外接存储器，如 MC68HC05/MC68HC04 系列。

(4) ATMEL 公司单片机

ATMEL 公司生产的 CMOS 型 51 系列单片机，具有 MCS-51 内核，用 Flash ROM 代替 ROM 作为程序存储器，具有价格低、编程方便等优点。例如，89C51 就是拥有 4KB FlashROM 的单片机。

ATMEL 公司生产的单片机主要有 89C51、89F51、89C52、89LV52、89C55 等。

(5) Microchip 公司的单片机

Microchip 公司推出了 PIC16C5X 系列的单片机。它的典型产品 PIC16C57，具有 8 位 CPU、2KB×12 位 E²PROM 程序存储器、80BRAM、1 个 8 位定时计数、21 根 I/O 口线等硬件资源。指令系统采用 RISC 指令，其中 33 条基本指令，长度为 12 位，工作速度较高。主要产品有 PIC16C54、PIC16C55、PIC16C56 等。

(6) Zilog 公司的单片机

Zilog 公司推出的 Z8 系列单片机是一种中档的 8 位单片机。它的典型产品为 Z8601，具有 8 位 CPU、2KB ROM、124B RAM、2 个 8 位定时/计数器、32 位 I/O 二线、1 个异步串行通信口、6 个中断向量等。主要产品型号有 Z8600/10、Z8601/11、Z86C06、Z86C21、Z86C40、Z86C93 等。

2. MCS-51 系列单片机的分类

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司开发的非常成功的产品，具有性价比高、稳定、可靠、高效等特点。自从开放技术以来，不断有其他公司生产各种与 MCS-51 兼容或者具有 MCS-51 内核的单片机。它已成为当今 8 位单片机中具有事实“标准”意义的单片机，应用非常广泛。本书以 8051 为核心，讲述 MCS-51 系列单片机。该系列单片机采用模块化设计，各种型号的单片机都是在 8051（基本型）的基础上通过增、减部件的方式获得的。

1) MCS-51 系列单片机按照系列分类

(1) 8031/8051/8751

这 3 种芯片常称为 8051 子系列，它们之间的区别仅在于片内程序存储器不同。8031 片内无程序存储器，8051 片内有 4KB 的 ROM，8751 片内有 4KB 的 EPROM，其他结构性能相同。其中，8031 易于开发，价格低廉，应用广泛。

(2) 8032/8052/8752

这是 8031/8051/8751 的改进型，常称为 8052 子系列。其片内 ROM 和 RAM 比 8051 子系列各增加一倍，ROM 为 8KB，RAM 为 256B；另外，增加了一个定时/计数和一个中断源。

(3) 80C31/80C51/87C51

这 3 个型号是 8051 子系列的 CHMOS 型芯片，可称为 80C31 子系列，两者功能兼容。CHMOS 型芯片的基本特点是高集成度和低功耗。

(4) 其他系列产品

其他系列产品有 80C52、80C54、80C58 等。

2) MCS-51 系列单片机按照功能分类

(1) 基本型

基本型主要有 8031、8051、8751、8031AH、8051AH、8751AH、8751BH、80C31BH、80C51BH、87C51BH 等。后缀有 AH 或 BH 型单片机采用 HMOS 工艺制造，中间有一个“C”字母的单片机采用 CMOS 工艺制造，具有低功耗的特点，支持节能模式。

(2) 增强型

① 增大内部存储器型。

该型产品将内部的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 增加一倍，如 8032AH、8052AH、8752BH 等，内部拥有 8KB ROM 和 256B RAM，属于 52 子系列。

② 可编程计数阵列 (PCA) 型。

型号中含有字母“F”的系列产品，如 80C51FA、83C51FA、87C51FA、83C51FB、87C51FB、83C51FC、87C51FC 等，均是采用 CHMOS 工艺制造的，具有比较捕捉模块及增强的多机通信接口。

③ A/D 型。

该型产品如 80C51GB、83C51GB、87C51GB 等具有下列新功能：8 路 8 位 A/D 转换模块，256B 内部 RAM，2 个 PGA 监视定时器，A/D 和串行口中断，7 个中断源，振荡器失效检测功能。

四、引脚的定义及其功能

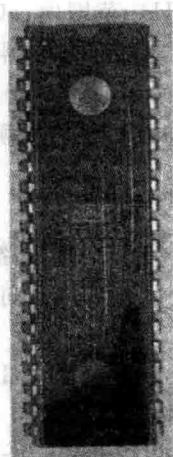
本书从用户应用的角度出发，主要以 8051 子系列为背景，具体分析 MCS-51 单片机的外部引脚、内部结构和工作原理。

8051 单片机芯片采用 40 引脚双列直插封装 DIP (Double in Line Package) 方式，CHMOS 的 80C31/80C51 除采用 DIP 封装方式外，还采用方形封装 PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) 方式。图 1-4 (a) 为 DIP 封装引脚排列图，图 1-4 (b) 为逻辑符号图。

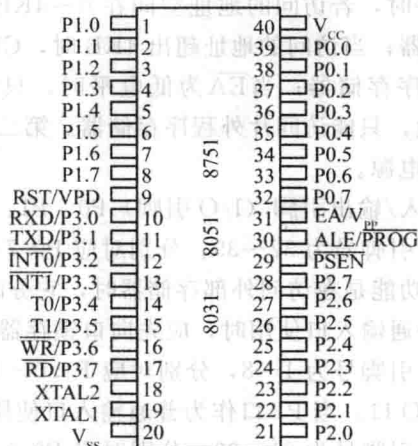
1. 单片机引脚编号说明

要使用单片机，必须要搞清楚单片机的引脚号、引脚名及引脚功能。单片机引脚编号

的方法是：把单片机有字的一面正对自己，即如图 1-4 (a) 所示标有“AT89S5224PC0530”字样一面正对自己，然后把其上带有一个半圆形的缺口及有一个小圆点及小三角形标记的一端朝上，从左上角开始从上往下编号，第一个引脚就是 1 号，第二个引脚是 2 号，依次类推，直到左下角最后一个引脚为 20 号；右边引脚编号是从右下角开始的，第一个为 21 号，第二个为 22 号，依次类推，直到右上角引脚为 40 号，如图 1-4 (b) 所示。



(a) DIP 引脚排列图



(b) 逻辑符号图

图 1-4 MCS-51 引脚图

2. 单片机引脚名及引脚功能说明

MCS-51 是高性能单片机，因为受到集成电路芯片引脚数目的限制，所以有许多引脚具有双功能。它们的功能简要说明如下。

(1) 主电源引脚

V_{CC}：芯片电源端正极，引脚号为 40，接电源正极，工作电源和编程校验为 +5V。

V_{SS}：接地端，引脚号为 20。

(2) 时钟振荡电路引脚 XTAL1 和 XTAL2

XTAL1、XTAL2：引脚号分别为 18、19，这两个引脚用来外接石英晶体振荡器，该振荡器产生的振荡信号送至内部时钟电路产生时钟脉冲信号。

(3) 控制总线

ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ ：引脚号为 30，ALE 为地址锁存允许信号。在访问外部存储器时，ALE 用来把扩展地址低 8 位锁存到外部锁存器。在不访问外部存储器时，ALE 引脚以不变的频率（时钟振荡器频率的 1/6）周期性地发出正脉冲信号，因而它又可用作外部定时或其他需要。但要注意，在遇到访问外部数据存储器时，会丢失一个 ALE 脉冲，ALE 能驱动 8 个 LSTTL 负载。在 8751 单片机内部 EPROM 编程期间，此引脚接编程脉冲（ $\overline{\text{PROG}}$ 功能）。

RST/VPD：引脚号为 9，RST 为复位信号输入端。当 RST 引脚持续接入两个机器周期（24 个时钟周期）以上的高电平时，使单片机完成复位操作。此引脚还可以接入备用电源。当主电源 V_{CC} 一旦发生断电（也称掉电或失电），降到一定低电压值时，可由 VPD 向内部 RAM 提供电源，以保护片内 RAM 中的信息不丢失，使上电后能继续正常运行。

(有关此方面的电路可查阅其他书籍)。

$\overline{\text{PSEN}}$: 引脚号为 29, 外部程序存储器 ROM 的读选通信号。在从外部程序存储器取指令(或数据)期间, $\overline{\text{PSEN}}$ 产生负脉冲作为外部 ROM 的选通信号。而在访问外部数据 RAM 或片内 ROM 时, 不会产生有效的 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号。 $\overline{\text{PSEN}}$ 可驱动 8 个 LSTTL 负载。

$\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$: 引脚号为 31, $\overline{\text{EA}}$ 访问外部程序存储器控制信号。对 8051 和 8071 而言, 当 $\overline{\text{EA}}$ 为高电平时, 若访问的地址空间在 0~4KB (0000H~0FFFH) 范围内, CPU 访问片内程序存储器; 当访问的地址超出 4KB 时, CPU 将自动执行外部程序存储器的程序, 即访问片外程序存储器; 当 $\overline{\text{EA}}$ 为低电平时, 只能访问片外程序存储器。对于 8031 而言, $\overline{\text{EA}}$ 必须接地, 只能访问片外程序存储器。第二个功能为对 8751 的 EPROM 编程期间, 接 +21V 编程电源。

(4) 输入/输出引脚 (I/O 引脚) P0、P1、P2 和 P3 口

P0 口: 引脚号为 32~39, 分别对应 P0.7~P0.0。它是一个 8 位漏极开路的双向 I/O 口。第二个功能是在访问外部存储器时, 它分时作为低 8 位地址线和 8 位双向数据线。当 P0 口作为普通输入/输出使用时, 应先向口锁存器写“1”。

P1 口: 引脚号为 1~8, 分别对应 P1.0~P1.7, P1.0~P1.7 是一个内部带上拉电阻的准双向 I/O 口。当 P1 口作为普通输入/输出使用时, 应先向口锁存器写“1”。

P2 口: 引脚号为 21~28, 分别对应 P2.0~P2.7, P2.0~P2.7 也是一个内部带上拉电阻的 8 位准双向 I/O 口。第二个功能是在访问外部存储器时, 作为高 8 位地址线。

P3 口: 引脚号为 10~17, 分别对应 P3.0~P3.7, P3.0~P3.7 也是一个内部带上拉电阻的 8 位准双向 I/O 口。P3 口除了作为一般准双向口使用外, 每个引脚还有第二功能, 见表 1-3。

表 1-3 P3 口各位的第二功能

口 线	第二功能	信号名称
P3.0	RXD	串行数据接收 (输入口)
P3.1	TXD	串行数据发送 (输出口)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	外部中断 0 申请输入
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	外部中断 1 申请输入
P3.4	T0	定时/计数器 0 计数输入
P3.5	T1	定时/计数器 1 计数输入
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	外部 RAM 写脉冲输出
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	外部 RAM 读脉冲输出

五、MCS-51 单片机的内部结构

1. MCS-51 单片机的结构框图

前面已经提到, 单片机是在一块芯片上集成了 CPU、RAM、ROM、定时/计数器、I/O 接口及串行通信接口等基本功能部件的一个完整的单片微型计算机, 其内部结构如图 1-5 所示。

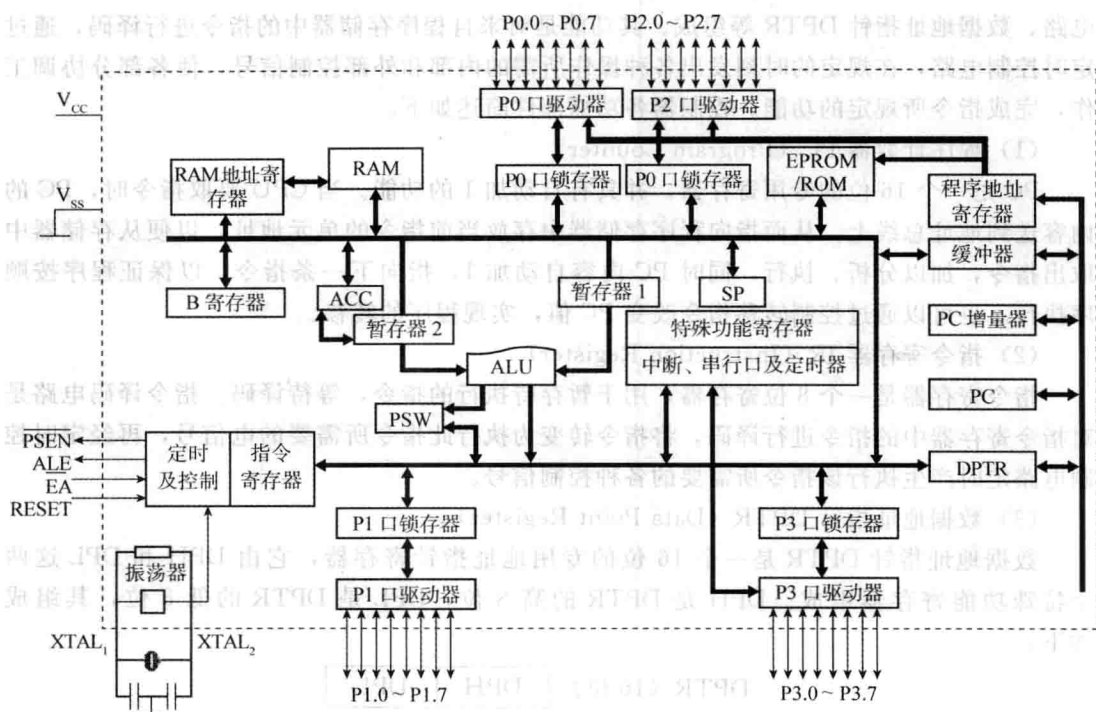


图 1-5 8051 单片机内部结构图

MCS-51 单片机内部包括以下部件：

- (1) 一个 8 位 CPU；
- (2) 一个片内时钟振荡器，最高时钟频率为 12MHz；
- (3) 4KB 程序存储器 ROM/EPROM (8031 片内无 ROM)；
- (4) 128B 数据存储器 RAM；
- (5) 可寻址的外部程序存储器和数据存储器空间为 64KB 的机构；
- (6) 21 个 8 位的特殊功能寄存器 SFR；
- (7) 4 个 8 位并行 I/O 口，共 32 根 I/O 线；
- (8) 1 个全双工串行口；
- (9) 2 个 16 位定时/计数器；
- (10) 5 个中断源，2 个优先级的中断结构；
- (11) 具有位寻址功能的位处理器，适用于位（布尔）处理。

MCS-51 系列单片机的典型芯片是 8051。与 8051 结构相同的产品还有 8031 和 8751。8031 无 ROM，它从外部 ROM 取所用的指令；8751 用 EPROM 代替 ROM 的 8051。除此之外，三者的内部结构及引脚完全相同。今后，除特别说明外，用 8051 这个名称来代表 8031、8051 和 8751。

2. CPU 结构

CPU 从功能上可分为控制器和运算器两部分，下面分别介绍这两部分的组成及功能。

1) 控制器

控制器由程序计数器 PC、指令寄存器 IR、指令译码电路、定时控制与条件转移逻辑

电路、数据地址指针 DPTR 等组成。其功能是对来自程序存储器中的指令进行译码，通过定时控制电路，在规定的时刻发出各种操作所需的内部和外部控制信号，使各部分协调工作，完成指令所规定的功能。控制器各功能部件简述如下。

(1) 程序计数器 PC (Program Counter)

PC 是一个 16 位的专用寄存器，并具有自动加 1 的功能。当 CPU 要取指令时，PC 的内容送到地址总线上，从而指向程序存储器中存放当前指令的单元地址，以便从存储器中取出指令，加以分析、执行，同时 PC 内容自动加 1，指向下一条指令，以保证程序按顺序执行。也可以通过控制转移指令改变 PC 值，实现程序的转移。

(2) 指令寄存器 IR (Instruction Register)

指令寄存器是一个 8 位寄存器，用于暂存待执行的指令，等待译码。指令译码电路是对指令寄存器中的指令进行译码，将指令转变为执行此指令所需要的电信号，再经定时控制电路定时产生执行该指令所需要的各种控制信号。

(3) 数据地址指针 DPTR (Data Point Register)

数据地址指针 DPTR 是一个 16 位的专用地址指针寄存器，它由 DPH 和 DPL 这两个特殊功能寄存器组成。DPH 是 DPTR 的高 8 位，DPL 是 DPTR 的低 8 位，其组成如下：



DPTR 用于存放 16 位地址，可对外部数据存储器 RAM 64KB (0000H~0FFFFH) 地址空间寻址。

2) 运算器

运算器由算术逻辑运算部件 ALU、累加器 ACC、寄存器 B、暂存寄存器、程序状态字寄存器 PSW、堆栈指针 SP 等组成，另外为提高数据处理和位操作功能，还增加了一些专用寄存器。运算器各功能部件简述如下。

(1) 算术逻辑运算部件 ALU

算术逻辑运算部件 ALU 在定时控制逻辑电路发出的内部控制信号的控制下，可以进行如下的算术/逻辑操作。

①带进位和不带进位的加法。

②带借位减法。

③8 位无符号数乘法和除法。

④逻辑与、或、异或操作。

⑤加 1、减 1 操作。

⑥按位求反操作。

⑦循环左、右移位操作。

⑧半字节交换。

⑨二—十进制调整。

⑩比较和条件转移的判断等操作。

(2) 累加器 ACC