

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



DANPIANJI
YUANLI JI YINGYONG

单片机 原理及应用

(第二版)

张国勋 孙海 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DANPIANJI
YUANLI JI YINGYONG

单片机 原理及应用

(第二版)

主 编 张国勋 孙 海
主 审 曹振军



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

本书系统介绍了 MCS-51 单片机的硬件结构、工作原理和指令系统，单片机内部的主要资源定时/计数器、中断系统、内部接口、串行通信接口的使用方法，单片机常用的外部设备，接口电路的设计及单片机最小系统扩展方法等内容；同时，还介绍了单片机常用开发工具的使用方法、应用系统的开发过程。另外，本书给出了一系列基本的操作实验并提供了详细的实验内容、所需器材、实验调试步骤、程序代码及说明。

本书语言流畅，内容通俗易懂、简洁明了；对于某些难懂的内容，采用图解、图表、实例加以说明；在编排上由浅入深、循序渐进；精选内容，突出重点，适当增加一些当今流行的新器件和新技术；对于单片机的开发工具、开发过程、实验、实例等实用内容，则给予详细的介绍。

本书可作为高职高专院校计算机、电力技术、自动化、电子信息和机电等专业的教材，也可以作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用/张国勋，孙海主编. —2 版. —北京：
中国电力出版社，2007
普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5083-5231-2

I. 单... II. ①张... ②孙... III. 单片微型计算机—高等学校：技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 023133 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 4 月第一版

2007 年 3 月第二版 2007 年 3 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 477 千字

印数 9001—12000 册 定价 29.80 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

单片机原理及应用是电类各专业一门实践性、实用性较强的专业课程，在实际工作中具有广泛的用途。但该课程历来是电类专业教学中的“硬骨头”、“拦路虎”，要学好该课程，既要求有扎实的电路、电子、检测技术等基础，又要求有一定的实践经验。因此，进行该课程的教学改革一直是业内同行关注的焦点。目前，一些院校正在理论与实践的结合、加强实践训练等方面进行改革，并在研制相配套的实训装置。一些行业协会、高职教育研究机构也开始关注这方面的改革，并召开教材规划研讨会及相关课程教学改革研讨会，确定要努力组织编写一批具有高职教育特色的高质量教材，教材要加强针对性、实用性、先进性和前瞻性，要有体现新知识、新技术、新工艺、新方法的内容，改变简单套用高等学校教材或沿用内容陈旧的老教材的状况，本书正是在此背景之下编写完成的。

目前，国内市场上单片机方面的教材在编排上一般都从深奥难懂的工作原理、器件结构、时序入手，再逐次展开，这样会使初学者难以接受，在学习中产生了畏难情绪。另外，对其原理阐述较多，而对实验、实训方面的内容重视不够，使学生学完本课程后，仍然不知道该如何动手设计制作一个简单的单片机应用系统；还有，对新器件、新技术体现不够。因此，对现有教材体系进行调整，突出实践性、实用性，使读者真正达到学以致用目的是十分必要的。

作为教材本书力求语言流畅，内容通俗易懂、简洁明了。对于某些难懂的内容，采用了图解、图表、实例加以说明。在内容编排上由浅入深、循序渐进；对于一开始较难理解而又与后续内容联系不密切的概念和内容，尽量向后安排或穿插融入到基本概念的介绍中。对单片机的开发工具、开发过程、实验、实例等实用内容给予详细的介绍，使学生学完本课程后尽快地能以单片机为工具解决工程实际问题。在精选内容上，适当增加了一些当今流行的新器件和新技术，并尽量将作者的工程实践经验、成果应用到教材的编写中。考虑到单片机应用的现状及大部分学校的课程设置，本书仍以 MCS-51 系列单片机为主线，不再涉及其他类型的单片机。

全书共分十章。第一章概述；第二章介绍 MCS-51 单片机基本原理与指令系统；第三章是汇编语言程序设计基础；第四章介绍 MCS-51 单片机内部的主要资源，包括定时/计数器和中断系统；第五章介绍 MCS-51 单片机的系统扩展；第六章介绍 MCS-51 单片机的串行通信；第七章介绍单片机常用外部设备；第八章介绍单片机的开发工具；第九章介绍单片机基本实验项目；第十章介绍单片机应用系统的开发。每章后附小结和一定量的习题，便于读者学习、巩固和提高。

本书第二、三章和第七章的一、二、四、五节及附录 A、第八章有关 KEIL C 部分，由

北华大学孙海编写；第四、五章由邢台职业技术学院贾建中编写；第六章及第七章的第三节由北华大学孟祥编写；其余内容由邢台职业技术学院张国勋编写并负责全书统稿、定稿工作。

承蒙河北机电职业技术学院曹振军副教授主审本书稿，并提出了许多宝贵意见。孔维功、刘京中参加部分图稿的绘制工作。谨此表示感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 单片机简介	1
第二节 常用单片机	3
小结	8
习题与思考题	8
第二章 MCS-51 单片机基本原理与指令系统	9
第一节 MCS-51 单片机结构	9
第二节 MCS-51 单片机的工作过程	15
第三节 MCS-51 单片机的指令系统	17
小结	38
习题与思考题	39
第三章 汇编语言程序设计基础	41
第一节 汇编语言程序设计概述	41
第二节 如何设计汇编语言源程序	47
第三节 汇编语言程序设计实例	49
小结	66
习题与思考题	66
第四章 MCS-51 单片机内部的主要资源	68
第一节 MCS-51 单片机的时序电路	68
第二节 MCS-51 单片机的复位、掉电处理与低功耗运行	71
第三节 MCS-51 单片机的中断系统	74
第四节 定时/计数器	79
小结	87
习题与思考题	87
第五章 MCS-51 单片机的系统扩展	89
第一节 系统扩展概述	89
第二节 存储器扩展技术	91
第三节 I/O 口及扩展	100
小结	109
习题与思考题	110

第六章 MCS-51 单片机的串行通信	111
第一节 串行通信概述	111
第二节 MCS-51 单片机的串行 I/O 口	114
第三节 PC 机与单片机的串行通信	139
小结	153
习题与思考题	153
第七章 单片机常用外部设备	155
第一节 键盘及接口	155
第二节 LED 显示器及接口	162
第三节 LCD 显示器及接口	171
第四节 打印机及接口	194
第五节 D/A、A/D 转换器及接口	200
小结	216
习题与思考题	216
第八章 单片机的开发工具	217
第一节 单片机开发工具概述	217
第二节 开发单片机必备的附属工具	219
第三节 典型单片机开发工具简介	221
小结	236
习题与思考题	236
第九章 单片机基本实验项目	237
第一节 基本实验程序	237
第二节 基本实验电路	248
第三节 综合实验	261
第十章 单片机应用系统的开发	278
第一节 单片机应用系统开发的一般流程	278
第二节 单片机应用设计实例——钢轨超声探伤数据记录器	283
附录 A 常用芯片引脚图	292
附录 B MCS-51 系列单片机指令系统速查表	299
附录 C 二进制逻辑单元图形符号对照表	302
附录 D ASCII 码表	303
参考文献	304

第一章 概 述

第一节 单 片 机 简 介

一、什么是单片机

到目前为止，世界上出现的各类计算机从逻辑结构上看都属于冯·诺依曼结构，即计算机是由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备五大基本部件组成，程序和数据均存放在存储器中，所有的数据和程序都用二进制的 0、1 代码表示。而人们在实际设计和制造微型计算机系统时，往往将运算器和控制器集成到一个芯片中形成所谓的 CPU（Central Processing Unit），将 CPU、存储器（Memory）、输入/输出接口（I/O）等部件组装到一块电路板上就形成了计算机主板，如图 1-1（a）所示。计算机主板再配上硬盘、显示器、鼠标、键盘等外设，就构成了一个完整的计算机硬件系统。

随着大规模集成电路技术的发展，将 CPU、Memory、I/O 接口等计算机的主要电路部件“浓缩”在一块集成电路芯片上，就形成了芯片级的计算机系统，因为该系统是由单一芯片构成，故称之为单片微型计算机（Single Chip Micro-computer），简称单片机，如图 1-1（b）所示。如果从单片机的结构和设计特点来看，由于它主要面向控制，要作为被控设备的一部分而“嵌入”其中。因此，单片机也常被称为嵌入式控制器（Embedded Microcontroller）。

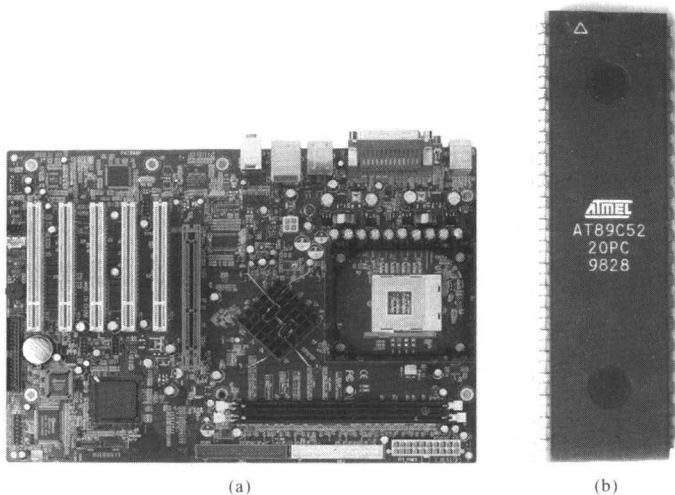


图 1-1 微机与单片机实物照片

（a）微型计算机主板；（b）单片机

能够准确反映单片机本质、较为严格的称谓应该是微控制器（Microcontroller Unit），简称 MCU。由于约定俗成的原因，本书仍将使用传统的叫法——单片机。

二、单片机的特点与应用

（一）单片机的特点

单片机与一般的微型计算机系统相比，具有许多独到之处，概括起来主要有以下几点。

（1）具有很强的控制功能，能够针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务，这是单片机的主要优点。

（2）体积小，价格低，使用灵活，能够方便地嵌入到各种控制设备和仪器中，实现仪器和设备的智能化。

(3) 具有很强的抗干扰能力和较宽的温度适应范围,能在恶劣环境下可靠工作,这也是其他计算机所不及的。

(4) 易于实现多机系统,向网络化方向发展。

(5) 具有一定的保密性,能够使自己设计的产品和知识产权得到一定程度的保护。

(二) 单片机的应用领域

单片机由于具有如上所述的特点,因此在实际中应用十分广泛,大到航天飞机,小至日常生活中的冰箱、彩电,都能见到单片机的身影,归纳起来主要有以下领域。

(1) 工业控制领域:如完成生产过程中温度、压力、流量、液位等参数的控制。

(2) 机电一体化产品:多用于数控机床、医疗设备、工业机器人、高级轿车等。

(3) 仪器仪表:用单片机与传统仪表结合,不仅能完成测量,还具有修正误差、线性化处理等传统手段难以实现的功能,促进仪表向数字化、智能化方向发展。

(4) 通信与网络:如食堂售饭系统、机房计费系统、电话计费等。

(5) 家用电器:这方面的应用更是不胜枚举,常见的有全自动洗衣机、空调器、电视机、电子玩具、厨房设备等。

不仅如此,单片机的应用还彻底改变了传统的产品设计理念和办法,以往只能由硬件电路实现的控制功能,现在可以用单片机通过软件的办法实现。这种以软件取代硬件的高性能控制技术称之为微控制技术。微控制技术将促使单片机的应用向更广阔、更深层次的领域发展。

三、单片机的发展及意义

单片机的历史并不长,自1971年美国Intel公司首先研制成功4位微机处理器4004至今,只有几十年的时间,在这短短的几十年内,单片机无论是性能价格、品种类型还是应用范围都发生了巨大变化。目前,单片机虽没有形成明确统一的历史阶段划分方法,但可粗略地分为以下几个时期。

(1) 1971~1976年,这是单片机发展的初始阶段。这个时期主要发展的是各种4位单片机,内部结构简单、功能较少,主要用于家用电器、计算器等简单控制。

(2) 1976~1980年,属于8位单片机的初级阶段。1976年,Intel公司推出了MCS-48系列单片机,因其体积小、功能强、价格低等特点获得了广泛应用,成为单片机发展过程中的一个重要阶段。这一时期,在MCS-48单片机巨大成功的影响下,其他公司也先后推出各自的单片机产品,如Zilog公司的Z-8系列、Rockwell公司的6500系列、Motorola公司的M6800系列等。这时的单片机在性能上较4位机有较大提高,但中断能力较弱、不含串行接口、存储器容量较小,主要用于简单的工业控制和早期智能仪器仪表。

(3) 1980~1983年,这是高性能8位单片机发展阶段。如1980年,Intel公司在MCS-48系列基础上推出了MCS-51系列单片机,这种单片机带有串行口,中断能力和存储器容量也大大增强。因这些芯片功能强、适用范围宽,成为后来生产8位单片机事实上的标准。同时期的其他单片机芯片还有Motorola的6801等。

(4) 1983年以后,单片机进入全面发展和稳步提高阶段。这个时期16位单片机和32位单片机先后问世,1983年Intel公司推出MCS-96系列单片机,与8位单片机相比,不仅字长增加1倍,而且还集成了10位A/D转换电路、脉宽调制等功能。

为适应科学技术发展的需要,1989年MOTOROLA公司推出M68300系列32位单片

机,其代表性的产品是 MC68332。它具有较高的执行速度、较完善的系统保护功能、较强的 I/O 功能和数据处理能力。MC68332 是世界上最早进入应用领域的 32 位单片机之一,它已被广泛地应用到许多高技术领域,其应用范围还在不断扩大。在许多方面,它代表了单片机今后的发展方向。另外,英国的 ARM 公司设计的 ARM 系列 32 位嵌入式 RISC 微处理器在低功耗移动通信设备方面占有绝对优势。NEC、HITACHI、EPSON 也有各自的 32 位处理器产品。

进入 90 年代后,各厂家在推出 16 位和 32 位等高档单片机的同时,还对已有的 8 位单片机进行功能扩充,产生了许多具有各自特色的新型单片机。例如:Atmel 公司生产的内部含有 Flash 存储器的 AT89 系列单片机;LG 公司生产的 GMS90 系列单片机,CPU 主频高达 40MHz。单片机经过几个重要的历史转折时期之后,发展到目前,形成了以 8 位单片机为主流机型、专用单片机和 32 位单片机快速发展、各种新的衍生产品不断出现这样一种“百花齐放,百家争鸣”的局面。

在未来相当长的时期内,8 位单片机仍将是市场主流产品,这是因为单片机主要是以功能为主的,不会像 CPU 芯片一样发展得那么迅速,如果能用 4 位或 8 位单片机满足应用需求,就没必要用 16 位单片机去做。但随着移动通信、网络技术、多媒体技术等高科技产品进入家庭,在此领域 32 位单片机将大显身手。随着技术发展及开发成本和产品价格的下降,32 位单片机将会与 8 位单片机并驾齐驱。

从单片机的结构上看,单片机的发展趋势将向着大容量高性能化、小容量低价格化和外围电路内装化等方面发展。

综上所述,单片机发展的前景十分广阔,应用领域遍及各行各业,掌握好单片机技术十分必要。

第二节 常用单片机

一、常用单片机产品型号、性能特点

目前单片机种类和型号繁多,约有几十个系列上千个品种,现将目前较为流行,具有一定代表性的单片机产品及性能特点简单介绍如下。

(1) Motorola 是世界上最大的单片机厂商。从 M6800 开始,开发了各种类型的单片机。其中典型代表有:8 位机 M6805、M68HC05 系列;8 位机增强型 M68HC11、M68HC12;16 位机 M68HC16;32 位机 M683XX。Motorola 单片机由于采用锁相环技术或内部倍频技术,使内部总线速度大大高于时钟产生器的频率,即在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多,因而使得高频噪声低、抗干扰能力强,更适合于工控领域及恶劣的环境。

(2) Atmel 公司是美国在 20 世纪 80 年代中期发展起来的半导体公司。该公司的技术优势在于 Flash 存储器技术。为了介入单片机市场,Atmel 公司以 EEPROM 技术和 Intel 公司的 80C31 单片机核心技术进行交换,从而取得 80C31 核的使用权。Atmel 公司把自身的先进 Flash 存储器技术和 80C31 核相结合,从而生产出了 AT89C51/52 系列单片机。所以,在产品开发及生产便携式仪器等方面应用十分广泛,也是目前取代传统 MCS-51 系列单片机的主流单片机之一。

(3) Microchip 单片机是市场份额增长最快的单片机。它的主要产品是 PIC16C 系列和 PIC17C 系列 8 位单片机。其 CPU 采用 RISC (Reduced Instruction Set Computer) 结构, 具有指令少、运行速度快、低工作电压、低功耗、较大的输入输出驱动能力等特点。另外, 它的低价位优势 (一般在 1 美元以下), 使其在用量大、价格敏感的低端电子产品获得广泛应用。

(4) Z8 单片机以低价位面向低端应用。Z8 系列单片机是 Zilog 公司的产品, 采用多累加器结构、有较强的中断处理能力、开发工具价廉物美。

(5) EPSON 单片机以低电压、低功耗和内置 LCD 驱动器的特点著称于世, 广泛用于工业控制、医疗设备、家用电器, 通信设备和手持式消耗类产品等领域, 目前 EPSON 已推出 4 位单片机 SMC60 系列、SMC62 系列、SMC63 系列和 8 位单片机 SMC88 系列。

(6) 东芝单片机的特点是从 4 位机到 64 位机门类齐全。4 位机在家电领域仍有较大的市场。8 位机主要有 870 系列、90 系列等, 该类单片机允许使用慢模式, 采用 32K 时钟时功耗降至 10 μ A 数量级。CPU 内部多组寄存器的使用, 使得中断响应与处理更加快捷。东芝的 32 位单片机采用 MIPS 3000A RISC 的 CPU 结构, 面向 VCD、数码相机、图像处理等市场。

(7) 华邦公司的 W77 和 W78 系列 8 位单片机与 MCS-51 系列单片机兼容, 但每个指令周期只需要 4 个时钟周期, 速度提高了三倍, 工作频率最高可达 40MHz。在 4 位单片机方面华邦的 W741 系列带液晶驱动, 具有在线烧录、保密性高、低操作电压 (1.2~1.8V) 等特点。

上面提到的产品只是琳琅满目的单片机世界中的一小部分, 如此众多, 让人眼花缭乱的单片机品种, 给应用单片机的工程师提供了巨大的选择空间。

二、性能优越的 8 位单片机——MCS-51 系列单片机

单片机当中谁优谁劣很难断定, 只要是最符合你需求的就应该是最好的单片机。不过从 8 位单片机诞生至今将近 30 年, 在单片机家族中, MCS-51 系列单片机一直扮演着一个独特的角色。由于 Intel 公司在推出 MCS-51 不久便实施了技术开放政策, 在众多厂家的积极参与下, 已将 MCS-51 发展成了众多型号系列的 MCU 家族。据不完全统计, Intel 公司系列单片机产品占有国际市场的 67%, 其中 MCS-51 系列产品又占 54%。目前, 我国 8 位机市场仍以 MCS-51 系列或其兼容产品为主流机型。因此本书仍将介绍 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机。

(一) MCS-51 单片机产品类别

MCS-51 系列单片机品种很多, 又可分为 51 和 52 两个子系列, 每种型号都有各自的差异性, 有侧重增加存储空间, 有侧重降低功耗的, 也有侧重 I/O 处理能力的, 但是它们内部的 CPU 是相同的、I/O 接口与存储器的结构也是一样的, 只有 I/O 与存储器的多少、半导体制造工艺的不同而已。MCS-51 系列单片机芯片型号比照如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-51 系列单片机芯片型号比照表

系列	片内 ROM 形式			片内存储容量		片外寻址范围		I/O 口线		中断线	定时计数器
	无	ROM	EPROM	ROM	RAM	EPROM	RAM	并行	串行口		
51	8031	8051	8751	4KB	128B	64KB	64KB	4 $\times$ 8 位	1 个	5	2 $\times$ 16 位
	80C31	80C51	87C51	4KB	128B	64KB	64KB	4 $\times$ 8 位	1 个	5	2 $\times$ 16 位

续表

系列	片内 ROM 形式			片内存储容量		片外寻址范围		I/O 口线		中断线	定时计数器
	无	ROM	EPROM	ROM	RAM	EPROM	RAM	并行	串行口		
52	8032	8052	8752	8KB	256B	64KB	64KB	4×8 位	1 个	6	3×16 位
	83C252	80C252	87C252	8KB	256B	64KB	64KB	4×8 位	1 个	7	3×16 位

在表 1-1 中, MCS-51 系列单片机若按存储器配置形式可分为三类: 片内没有配置程序存储器类 (8031、80C31、8032 等); 片内程序存储器是 ROM 类 (8051、80C51、8752 等); 片内程序存储器是 EPROM 类 (8751、87C51、8752 等)。这三类单片机各有不同特点, 应根据不同需要进行选择, 可参考 MCS-51 系列三类单片机比较表 1-2 进行。

表 1-2 MCS-51 系列三类单片机比较表

类 型	价 格	程 序 写 入	选 用 说 明
无 ROM 型	便宜		需外接 EPROM 存放程序, 使用灵活, 早期应用较广泛
ROM 型	最便宜	生产时由厂家写入	产品定型后大量生产用
EPROM 型	昂贵	使用者能自行多次改写	实验、科研中选用

MCS-51 也可以按功能分成基本型、增强型、低功耗型等几种类型。

基本型是 MCS-51 单片机的标准结构, 与其他各类型完全兼容, 其主要配置有 8 位 CPU、片内 128 字节的 RAM、4KB 程序存储器 (8031 无)、2 个 16 位定时/计数器、1 个全双工串行通信接口 (UART)、4 个 8 位的并行 I/O 口、5 个中断源、片外可扩展 64KBROM 和 64KB RAM。此类产品有 8031、8051、8751 等。

增强型在基本型的基础上对存储容量、输入/输出能力、中断处理能力等方面进行了进一步的扩展。如片内 ROM 由 4KB 增加到 8KB、RAM 由 128B 增加到 256B、定时/计数器由 2 个增加到 3 个、具有高速 I/O 或脉冲宽度调制输出等功能。此类产品有 8052、8752、80C252、87C252 等。

低功耗型采用 CHMOS 半导体工艺制造, 具有软件启动待机工作方式和掉电工作方式的能力, 可以使功耗进一步降低。此类产品型号中均带有“C”字标, 如 80C31、80C51、87C51 等。

(二) MCS-51 单片机外形和引脚

图 1-2 所示为几种不同类型的单片机实物照片。其中右面的单片机上有个小透明窗口, 这是含有 EPROM 型的单片机, 若要想将调试好的程序固化进去, 需要使用特制的烧录器完成。当需要重新改写已烧制的程序时, 应先利用紫外线光照射小透明窗口, 将旧程序擦除掉,

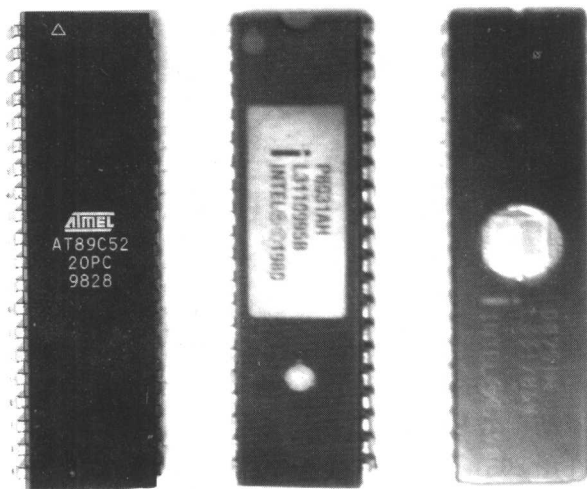


图 1-2 单片机 IC 图片

然后再重新烧录才行。当然现在人们正普遍采用含有 Flash Memory 的单片机, 可以实现电擦除, 省去紫外线擦除的麻烦操作, 更加方便快捷。

MCS-51 单片机大多采用 40 引脚双列直插塑料封装 (DIP) 形式。其引脚图如图 1-3 (a) 所示。

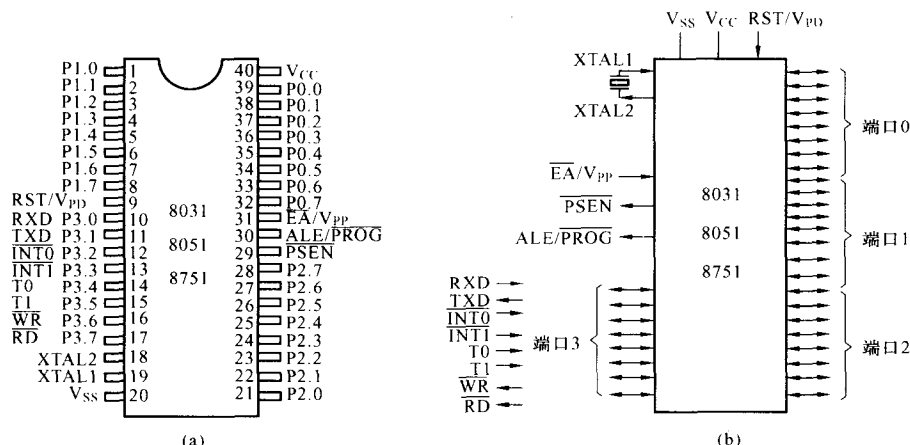


图 1-3 MCS-51 引脚图

(a) DIP 引脚图; (b) 逻辑符号

MCS-51 单片机因受封装形式的限制, 有不少引脚具有 2 种功能, 40 只引脚大致可分为电源、时钟, I/O 口、地址总线、数据总线和控制总线等部分。下面我们分别介绍各个引脚的功能, 有些功能或许现在还无法理解, 但学完后面的内容再回头来看, 就能有深刻的理解。

1. 电源引脚 V_{CC} 和 V_{SS}

V_{CC} (40 脚): 电源正端, 接 +5V 直流电源。

V_{SS} (20 脚): 电源负端, 接电源地线。

2. 时钟引脚 XTAL1 和 XTAL2

XTAL1 (19 脚): 内部振荡器外接晶振的一个输入端。

XTAL2 (18 脚): 内部振荡器外接晶振的另一个输入端。

3. 输入/输出引脚 P0、P1、P2、P3

P0.0~P0.7 口 (39~32 脚): 它是一个 8 位漏极开路型双向 I/O 口。在访问片外存储器时, 它分时作低 8 位地址线和 8 位双向数据总线用。P0 口能驱动 8 个 LSTTL 负载。

P1.0~P1.7 口 (1~8 脚): P1 口是一个带有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口。P1 能驱动 4 个 LSTTL 负载。

P2.0~P2.7 (21~28 脚): P2 口是一个带有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口。在访问外部存储器时, 它送出高 8 位地址。P2 口可以驱动 4 个 LSTTL 负载。

P3.0~P3.7 (10~17 脚): P3 口是一个带有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口。P3 口能驱动 4 个 LSTTL 负载。P3 口除了具有一般 I/O 口的功能外, 还具有第二功能, 见表 1-3。在用 8051 构造应用系统时, P3 口的第二功能常常是不可或缺的。

表 1-3

P3 口第二功能表

口 线	第二功能名称	说 明
P3.0	RXD	串行口输入端
P3.1	TXD	串行口输出端
P3.2	INT0	外部中断 0 输入端
P3.3	INT1	外部中断 1 输入端
P3.4	T0	定时/计数器 0 外部输入端
P3.5	T1	定时/计数器 1 外部输入端
P3.6	WR	片外数据存储器写选通
P3.7	RD	片外数据存储器读选通

4. 控制信号引脚 RST/V_{PD}、ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ 、 $\overline{\text{PSEN}}$ 和 $\overline{\text{EA}}$ /V_{PP}

RST/V_{PD} (9 脚): 单片机上电后, 在此引脚上出现两个机器周期的高电平将使单片机复位。另外, 若在此引脚上接上备用电源, 一旦芯片在使用中主电源掉电, 则该引脚的备用电源 (V_{PD}) 就向内部 RAM 供电, 以保护片内 RAM 中的信息不丢失。

ALE ($\overline{\text{PROG}}$) (30 脚): 当访问片外存储器时, ALE (地址锁存允许) 的输出用于锁存低字节地址信号。即使不访问外部存储器, ALE 端仍以不变的频率周期性地出现正脉冲信号, 此频率为振荡器频率的 1/6。因此, 它可用于对外输出时钟或定时; 但要注意的是: 当访问片外数据存储器时, 将跳过一个 ALE 脉冲。ALE 可以驱动 8 个 1STTL 负载, 对于 EPROM 型单片机在对片内 EPROM 编程期间, 此引脚用于输入编程脉冲 ($\overline{\text{PROG}}$)。

$\overline{\text{PSEN}}$ (29 脚): 此引脚输出访问片外程序存储器的读选通信号。CPU 在由外部程序存储器取指令 (或常数) 期间, 每个机器周期两次有效。 $\overline{\text{PSEN}}$ 同样可以驱动 8 个 1STTL 负载。

$\overline{\text{EA}}$ /V_{PP} (31 脚): 当 $\overline{\text{EA}}$ 端保持高电平时, 访问片内程序存储器, 但当 PC (程序计数器) 值超过片内存储单元最大值时, 将自动转向执行外部程序存储器内的程序。当 $\overline{\text{EA}}$ 保持低电平时, 则只访问外部程序存储器。

对于 EPROM 型单片机, 在 EPROM 编程期间, 此引脚用于施加编程电压 V_{PP}。

(三) MCS-51 单片机的主要性能特点

MCS-51 单片机是一种高性能的 8 位单片机, 具有经典的体系结构、良好的兼容性和开放性, 有许多独具特色的功能, 下面简要概括一下, 使大家有一个整体的认识。

1. 独特的存储器

一般的微机通常只有一个逻辑空间, 可以随意安排 ROM 和 RAM, 即 ROM 和 RAM 共用同一个地址空间、统一编址, 而 MCS-51 的 ROM 和 RAM 分别占用各自独立的地址空间, 即 ROM 和 RAM 是独立编址的, 好处是增大了寻址能力, 当有 16 条地址线时, 前者只能寻址 64KB 空间, 而后者可达 128KB (ROM 和 RAM 各 64KB)。

2. 可编程的定时/计数器

MCS-51 中有 2 个 16 位定时/计数器 (8052 有 3 个), 可通过编程选择是定时还是对外部事件计数, 通过编程设置定时/计数范围等, 使用灵活, 很实用。

3. 能够实现多机通信的串行通信接口

MCS-51 单片机中有一个全双工的串行通信接口, 该接口共有 4 种不同的工作方式, 可通过编程进行选择, 其中第 4 种工作方式可以用来实现多机通信, 便于构造网络化的单片机应用系统。

4. 强大的中断处理能力

中断处理能力是判断微机性能优劣的重要指标。MCS-51 具有处理 5 个中断源 (8052 为 6 个) 的能力, 分为 2 个优先级, 每个中断源的优先级是可编程的。

5. 灵活可变的堆栈区

有些栈区是固定的且长度有限, MCS-51 的堆栈位置是可编程的, 原则上可以是整个片内数据存储区, 使用时根据实际需要确定位置和大小。

6. 布尔处理机

在 MCS-51 内部硬件电路中有一个布尔处理机, 即位逻辑处理器能够直接进行位寻址, 相应的指令系统中包含了一个指令子集, 专用于对布尔处理机的各位进行各种逻辑处理, 特别适用于控制和解决逻辑问题, 超强的位逻辑控制和处理能力是 MCS-51 单片机的又一特色。

7. 精减高效的指令系统

MCS-51 系列单片机指令系统一共只有 111 条指令, 大部分都是单字节或双字节指令, 当振荡器频率为 12MHz 时, 大部分指令执行时间为 $1\mu\text{s}$, 少部分为 $2\mu\text{s}$, 最长的乘除指令也只有 $4\mu\text{s}$ 。所以 MCS-51 指令系统在存储空间和时间利用率上是较高的。

小 结

单片机全称单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer), 又称微控制器 (Microcontroller Unit) 或嵌入式控制器 (Embedded Controller)。通常片内含有 CPU、ROM、RAM、并行 I/O 口、串行通信接口、定时/计数器、中断控制、系统时钟和系统总线等。

单片机具有体积小、功耗低、功能强、性能价格比高、易于推广应用等显著优点, 在自动化装置、智能仪器仪表、过程控制、通信、家用电器等许多领域广泛应用。

生产单片机的产家众多, 品种、型号各异, 其中 MCS-51 系列单片机及其兼容产品性能优越, 在我国应用最为广泛。

通过本章的学习, 应了解单片机的结构、性能、特点、应用领域等内容, 为今后的学习打下基础。

习 题 与 思 考 题

- 1-1 什么叫单片机? 它有哪些主要特点?
- 1-2 简述单片机的应用领域。
- 1-3 MCS-51 系列单片机主要有哪几种型号的芯片? 在程序存储器配置上各有什么区别?
- 1-4 MCS-51 单片机的典型配置由哪些基本部件构成?
- 1-5 单片机产品型号的“C”字标有什么含义?
- 1-6 MCS-51 单片机的存储器地址编址有什么特色?

第二章 MCS-51 单片机基本原理与指令系统

MCS-51 系列单片机有多种型号，引脚功能兼容，指令系统完全相同，主要区别在于片内程序存储器配置不同，其他性能结构一致。

第一节 MCS-51 单片机结构

一、MCS-51 单片机内部结构组成

（一）基本组成与结构

MCS-51 系列单片机的基本结构如图 2-1 所示，它们都具有以下硬件资源。

- 1) 8 位中央处理单元 CPU。
- 2) 4K 字节 ROM (8051) 或 EPROM (8751)，8031 无 ROM 及 EPROM。
- 3) 128 个字节的数据存储器 RAM。
- 4) 21 个特殊功能寄存器 SFR。
- 5) 4 个 8 位并行 I/O 口。其中 P0 和 P2 分别为地址线，P0 同时也是数据线，可外扩 64KROM 和 64KRAM。

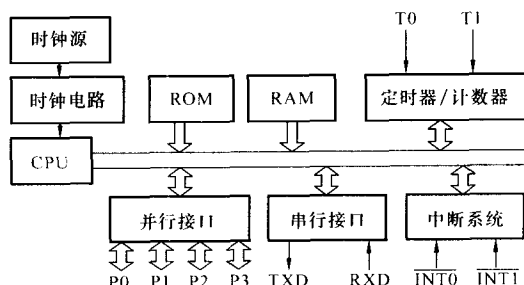


图 2-1 MCS-51 单片机的基本结构

- 6) 两个 16 位可编程的定时/计数器 T0、T1，用来对外部脉冲进行计数，也可设置成定时器，并根据计数或定时的结果进行控制。
- 7) 5 个中断源：其中 3 个内部中断源 2 个外部中断源，软件可编程为两个中断优先级。
- 8) 一个全双工的异步串行接口。
- 9) 内部时钟产生电路，石英晶体振荡器和微调电容需要外接。

（二）中央处理器

算术逻辑单元 ALU (Arithmetic Logic Unit) 和控制器一起组成 CPU。控制器在单片机内部协调各功能部件之间的数据传送、运算等操作，并对单片机外部引脚发出若干控制命令信息，运算器完成算术和逻辑操作。

1. 运算器

运算器主要实现对操作数据的算术运算、逻辑运算和位操作，主要包括算术逻辑单元 (ALU)、累加器 A、寄存器 B、暂存器、程序状态字 (PSW)、十进制调整电路及布尔处理器等。

(1) 算术逻辑单元 ALU (Arithmetical Logic Unit)。算术逻辑单元 ALU 主要对 8 位二进制数据进行算术与逻辑操作：带进位和不带进位加法；BCD 码调整；带借位的减法、加 1、减 1；两个 8 位数乘法和除法运算；逻辑与、或、异或操作；求反；左或右循环移位；半字节交换；比较和条件转移的判断操作等。ALU 也可以通过指令对位 (Bit) 变量进行布尔处理，如置 1、清 0，测试转移及位逻辑与、或操作等。

(2) 累加器 ACC (Accumulator)。累加器 A 是 CPU 中使用最频繁的一个寄存器，在算术与逻辑操作中，A 存放一个操作数或运算结果。在与外部存储器或 I/O 口进行数据传送时，都要经过 A 完成。

(3) 寄存器 B (Register)。B 用于乘、除法指令时，与 A 配合使用。做乘法时，有一个乘数来自于 B，并存放乘积的高 8 位；做除法时，除数来自于 B，并存放余数。在其他指令中，B 可作为一般寄存器使用。

(4) 程序状态字 PSW (Program Status Words)。PSW 是用来存放 ALU 本次操作结果的某些特征，以供程序查询和判断，是一个 8 位寄存器。其格式及每位的具体含义如下：

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PSW	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

1) CY (Carry flag)：进位标志。在 ALU 中两个 8 位代码进行加、减运算时，最高位 D7 可能产生向上的进位或借位，该进位或借位被保存在 CY 中。当加法有进位或减法有借位时，CY = 1，否则 CY = 0。在布尔处理机中 CY 作为“位”累加器使用。

2) AC (Auxiliary Carry)：辅助进位标志，又称半进位标志。当两个 8 位数进行加、减操作时，D3 向 D4 位有进或借位时，结果保存在 AC 中。若 D3 向 D4 有进位或借位时，AC=1，否则 AC=0。AC 标志常用于 BCD 码运算时的十进制自动调整。用户不直接使用这个标志。

3) F0：用户标志，由用户定义的状态标志位。用户根据需要对 F0 赋以一定含义，通过指令对 F0 置 1、置 0 或测试来决定程序的走向和执行方式。

4) OV (Overflow flag)：溢出标志。它用来表示两个补码数在 ALU 中进行加、减操作时，结果是否产生溢出。对 8 位表示的补码来说，若运算结果大于 +127 或小于 -128 时，则产生溢出，此时 OV=1，否则 OV=0。

注意：①OV 标志只有在补码运算时才有意义；②进位 CY 和溢出是两个不同概念，有进位不一定有溢出；③MCS-51 指令系统除加、减指令外，有些其他指令对 OV 也产生影响，但这不意味着产生溢出。

5) P (Parity flag)：奇偶校验标志。在每条指令执行完后，P 用于检测 A 中 1 的个数奇偶性。当 A 中 1 的个数为奇数时 P=1，否则 P=0。P 标志用于单片机串行通信，通过奇偶校验可知是否发生传输跳码现象。

6) RS1、RS0：片内工作寄存器组选择控制位。MCS-51 单片机片内 RAM 地址为 00H~1FH 的区间共定义 32 个 8 位通用寄存器，这 32 个寄存器分成 4 组，每组 8 个，都用名称 R0~R7 表示。在某一时刻，CPU 只能选定 4 组中的一组投入工作，需要用指令对 RS1、RS0 来设定，使用户只用 8 个名称 R0~R7 来定义使用 32 个 8 位通用寄存器。其对应关系如表 2-1 所示。

表 2-1 RS1、RS0 与片内工作寄存器组对应关系

PSW 控制位		对应寄存器组	对应片内 RAM 地址	对应通用寄存器名称
RS1	RS0			
0	0	0 组	00H~07H	R0~R7