

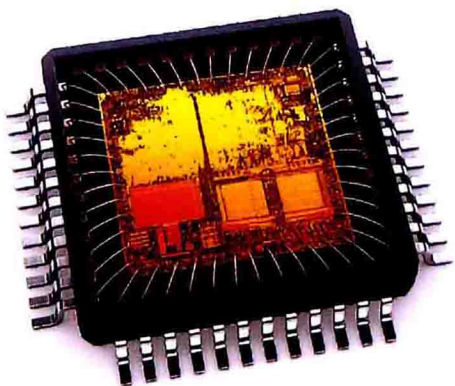


普通高等教育“十二五”规划教材——信息技术类

单片机

原理及应用技术

◎主 编 陈铁军 余旺新
◎副主编 黄志文 莫燕斌



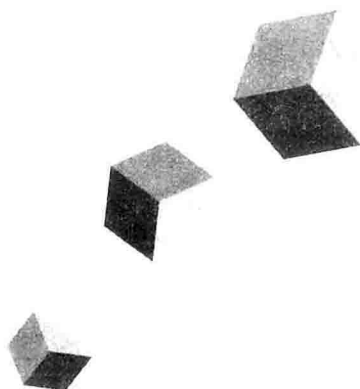
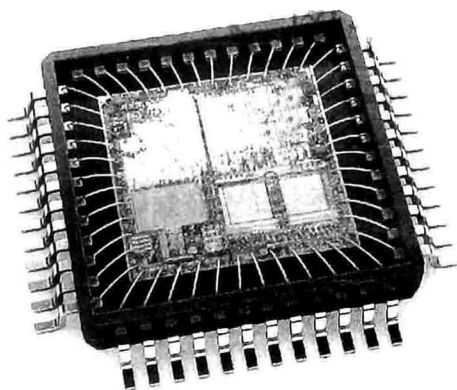
西南交通大学出版社



普通高等教育“十二五”规划教材——

单片机 原理及应用技术

◎主 编 陈铁军 余旺新
◎副主编 黄志文 莫燕斌



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及应用技术 / 陈铁军, 余旺新主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.8
普通高等教育“十二五”规划教材. 信息技术类
ISBN 978-7-5643-3338-6

I. ①单… II. ①陈… ②余… 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 (2014) 第 196504 号

普通高等教育“十二五”规划教材——信息技术类

单片机原理及应用技术

主编 陈铁军 余旺新

责任编辑	李芳芳
助理编辑	宋彦博
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	19
字 数	499 千字
版 次	2014 年 8 月第 1 版
印 次	2014 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3338-6
定 价	39.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

单片机因其体积小、质量轻，具有很强的灵活性，而且价格不高，得到越来越广泛的应用。8051 在小型和中型应用场合均很常见，已成为单片机领域的实际标准。20 世纪 80 年代中期，Intel 公司将 8051 内核使用权以专利互换或出售形式转让给世界许多著名 IC 制造厂商，如 Philips, Atmel, Dallas, Infineon, ADI, TI, Winbond 和 Cygnal 等公司。这样，8051 就变成有众多制造厂商支持，拥有上百个品种的大家族。到目前为止，其他任何一个单片机系列均未发展到如此规模。

用 C 语言进行 8051 单片机程序设计是单片机开发与应用的必然趋势。单片机的程序设计应该以 C 语言为主，以汇编语言为辅。汇编语言只需要掌握到可以读懂程序，能在时间要求比较严格的模块中进行程序的优化即可。采用 C 语言时也不必对单片机和硬件接口的结构有很深入的了解，编译器可以自动完成变量的存储单元的分配，因此编程者可以专注于应用软件部分的设计，大大加快软件开发的速度。采用 C 语言可以很容易地进行单片机的程序移植工作，有利于产品中单片机的重新选型。

本书以具有 8051 内核的 Atmel 公司的 AT89S51 单片机为蓝本，采用 C 语言程序设计方法介绍单片机的开发与应用。本书通过大量程序实例的讲解，使读者可以在较短的时间内熟悉单片机的入门编程以及单片机基本外围电路的连接，从而具备基本的单片机开发能力。

本书共包括 9 章内容，每章的内容概要如下：

第 1 章 单片机的结构及工作原理。本章首先介绍了单片机的几个基本概念、单片机技术的发展、单片机应用系统开发过程以及应用领域等。然后介绍了单片机的硬件结构、引脚功能以及存储器的配置，CPU 的工作时序，单片机的几种工作方式。最后，介绍了单片机最小系统电路。本章内容是单片机的硬件基础，特别是引脚功能、存储器配置部分，应重点掌握。

第 2 章 51 单片机的指令系统。本章内容包括指令概述、寻址方式、指令集合，最后还介绍了汇编程序设计基础。本章内容为单片机汇编语言基础，读者应重点掌握单片机的寻址方式，熟记一些常用指令的用法。学习汇编语言有助于了解单片机的硬件结构及工作原理。

第 3 章 单片机 C 程序设计基础。本章首先介绍了 C 语言编程的基础知识以及 C51 对标准 C 语言的扩展，然后简单介绍了 C 语言编程风格，最后介绍单片机 C 程序开发过程。有 C 语言基础的读者，通过学习本章可以很快地掌握单片机的 C 程序设计。

第 4 章 编译和仿真工具。本章首先以 Keil μ Vision4 为蓝本，介绍单片机开发环境 Keil 软件的基本应用，然后介绍了仿真软件 Proteus 的使用方法。Proteus 可以在某种程度上代替开发板，进行简单电路的仿真调试，是一个非常实用的仿真工具。

第5章 单片机的内部资源及应用。本章介绍了51系列单片机内部资源 I/O 端口、中断系统、定时/计数器以及串行通信的基本应用。本章内容是单片机最有特色的部分，是设计精巧系统的关键。学习单片机无非是学会中断与 I/O 口的使用，因此应重点掌握。

第6章 单片机常用接口电路设计。本章介绍了显示器接口、键盘接口、A/D 和 D/A 接口等常见电路的设计方法，并结合实例对软硬件做了详细的介绍。

第7章 单片机常用串行总线扩展技术。本章列举了几种典型的串行总线通信协议，包括 1-Wire 总线、IIC 总线接口、SPI 总线接口及应用。通过本章的学习可以了解三种总线的工作原理和使用方法。

第8章 51 单片机应用系统开发与设计。本章简单介绍了单片机系统的设计步骤、设计方法，以及常见抗干扰设计、低功耗设计、加密技术。最后列举了一个综合实例，供大家练习参考。

第9章 单片机软件工程基础。本章介绍了软件的可移植性概念及实现可移植性的一些方法，并为读者详解一种常用的程序架构，以及在相应架构下的编程方法。此外，本章还介绍了“状态机建模”这一强大的并行多任务建模手段。通过本章的学习，应初步掌握软件工程方法，编写高质量的程序，实现多个功能（任务）同时执行。

对于51单片机的初学者来说，应该从本书的第1章开始学习，以了解51单片机的基本知识和51单片机的使用方法，掌握51单片机的结构和相应的接口的具体使用方法，以及51单片机的汇编语言编程和C语言编程相关技术。

对于已经掌握C语言并有一定51单片机技术基础的读者来说，可以直接从第5章开始学习，重点掌握51单片机开发应用系统的相关技术和开发过程。

建议本书的理论课安排在60学时左右，实验16学时。如果只学习C51程序设计，理论课学时可适当减少。课程学习完成后，可安排相应的课程设计，以便对学习内容进行巩固和提高。

本书的编写分工如下：陈铁军教授对全书的编写思路 and 大纲进行了总体策划，并编写了第1、5章的全部内容 & 第2、3、8章的部分内容；余旺新编写了第6、7章；黄志文编写了第4章的全部内容 & 第8章的部分内容；莫燕斌编写了第2、3章的部分内容；谢春榕编写了第9章；郑金存参与了第1章和附录的编写工作。全书由陈铁军教授统稿和定稿。

本书突出内容的系统性、实用性和典型性，理论联系实际，可作为高等院校电子信息、自动化和计算机等专业的本、专科学生学习单片机的教材或参考书，也可供广大爱好单片机的初学者作为入门工具书。

本书取材于最新资料，并总结了实际教学和应用经验，编程实例丰富，内容覆盖面广，希望能对单片机的教学和应用推广工作起到一定的作用。由于编者水平有限，加之程序和图表较多，难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2014年2月

目 录

第 1 章 单片机的结构及工作原理	1
1.1 单片机概述	1
1.2 AT89S51 单片机简介	6
1.3 AT89S51 单片机的存储器配置	10
1.4 单片机最小系统	18
知识梳理与总结	21
习题 1	22
第 2 章 51 单片机的指令系统	23
2.1 51 单片机指令系统概述	23
2.2 寻址方式	24
2.3 51 单片机指令集	27
2.4 51 单片机汇编语言程序设计	39
知识梳理与总结	41
习题 2	41
第 3 章 单片机 C 程序设计基础	43
3.1 C51 程序开发概述	43
3.2 C51 单片机的 C 语言基础	44
3.3 文件管理	55
3.4 程序设计的风格	57
3.5 汇编语言与 C 语言混合编程	60
3.6 模块化程序设计	65
3.7 51 单片机 C 程序开发过程	65
习题 3	68
第 4 章 编译和仿真工具	69
4.1 Keil μ Vision4 编译环境	69
4.2 单片机 Proteus 仿真	79
知识梳理与总结	88
习题 4	88
第 5 章 单片机的内部资源及应用	90
5.1 并行 I/O 端口	91

5.2 中断系统	102
5.3 定时/计数器	120
5.4 串行口通信技术	136
知识梳理与总结	157
习题 5	158
第 6 章 单片机常用接口电路设计	162
6.1 显示器接口原理及应用	162
6.2 键盘接口原理及应用	178
6.3 D/A 与 A/D 接口电路	186
知识梳理与总结	198
习题 6	198
第 7 章 单片机常用串行总线扩展技术	201
7.1 1-Wire 单总线	201
7.2 IIC 总线	215
7.3 SPI 总线扩展接口及应用	226
知识梳理与总结	236
习题 7	236
第 8 章 51 单片机应用系统开发与设计	237
8.1 单片机应用系统开发过程及设计步骤	237
8.2 单片机应用系统的可靠性及抗干扰设计	241
8.3 单片机应用系统实用技术	246
8.4 单片机应用系统设计综合举例	250
知识梳理与总结	261
习题 8	261
第 9 章 单片机软件工程基础	262
9.1 软件可移植性	262
9.2 前后台程序结构	265
9.3 状态机建模	283
知识梳理与总结	292
习题 9	292
附录 A C 语言运算符优先级和结合性	294
附录 B ASCII (美国标准信息交换码) 表	296
参考文献	297

第 1 章 单片机的结构及工作原理

本章首先从单片机的概念入手，简要介绍单片机应用系统的概念，然后重点介绍 MCS-51 单片机硬件结构和工作原理，以及单片机存储器结构和单片机的最小系统。

【教学导航】

教	知识重点	1. 单片机及单片机应用系统的概念； 2. 单片机外部引脚及功能； 3. 单片机内部结构及工作原理； 4. 单片机存储器结构； 5. 单片机最小系统
	知识难点	单片机的内部结构
	推荐教学方式	理论讲授，实物演示
	建议学时	2~4 学时
学	推荐学习方法	通过单片机最小系统的制作与调试，理解本章的基本概念；对单片机的管脚和存储器的结构以理解为主
	必须掌握的理论知识	1. 单片机基本概念； 2. 单片机内部结构； 3. 单片机存储器结构； 4. 单片机最小系统
	必须掌握的技能	单片机最小系统的制作与调试

1.1 单片机概述

单片机是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，它使计算机从海量数值计算用途中发现并发展了另一重要用途——智能化控制。它集成度高、体积小、功能强、速度快、功耗低、抗干扰能力强、使用方便、性价比高、容易产品化，因此在智能仪器仪表、工业测控、家用电器、汽车、机电一体化、电力电子、航空航天器等很多领域得到了广泛应用。

1.1.1 单片机的基本概念

1. 单片机

单片机是单片微型计算机（single chip microcomputer）的简称，是指集成在一个芯片上的微型计算机。它的各种功能部件，包括 CPU（Central Processing Unit）、存储器（memory）、基本输入/输出（Input/Output，I/O）接口电路、定时/计数器和中断系统等，都制作在一块集成芯片

上，构成一个完整的微型计算机。单片机内部基本结构如图 1.1 所示。由于它的结构与指令功能都是按照工业控制要求设计的，故又称为微控制器（Micro-Controller Unit，MCU）。

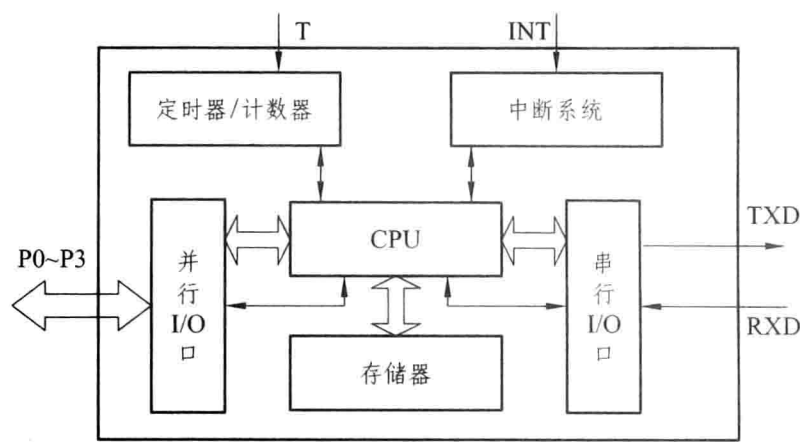


图 1.1 单片机内部基本结构

单片机实质上是一块芯片。它具有结构简单、控制功能强、可靠性高、体积小、价格低等特点。由于单片机有为嵌入式应用而设计的专用体系结构和指令系统，因此有良好的发展前景。在其基本体系结构上，可以衍生出能满足各种应用系统要求的兼容系统，用户可根据应用系统的各种要求广泛选择。目前 MCS-51 内核已被各大厂家采用，并发展了许多系列，所有的这些系统我们都统称为 51 系统。

2. 单片机应用系统

单片机应用系统是以单片机为核心，配以输入、输出、显示、测量和控制等外围电路和软件，能实现一种或多种功能的实用系统。单片机应用系统除了有单片机芯片，还有许多外围电路。

单片机应用系统是由硬件和软件组成的，硬件是单片机应用系统的基础，软件则是在硬件的基础上对其资源进行合理调配和使用，从而完成应用系统所要求的任务。硬件和软件二者相互依赖，缺一不可。单片机应用系统的组成示意图如图 1.2 所示。

因此，单片机应用系统的设计人员必须从硬件和软件两个角度来深入了解单片机，并能将二者有机地结合起来，才能设计制作出具有特定功能的单片机应用系统或整机产品。

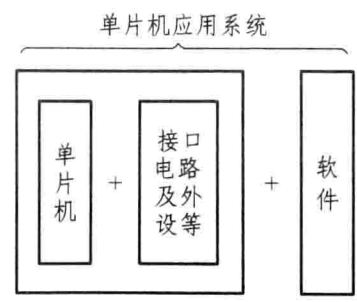


图 1.2 单片机应用系统示意图

1.1.2 单片机技术的发展及应用领域

1. 单片机技术的发展历程

1970 年，微型计算机研制成功，随后就出现了单片机。美国 Intel 公司在 1971 年推出了 4 位单片机 4004，接着又在 1972 年推出了雏形 8 位单片机 8008。在 1976 年推出 MCS-48 单片机以后的三十多年中，单片机的发展大致可分为四个阶段。

第一阶段（1976—1978年）：单片机初级阶段。这一时期的单片机以 Intel 公司 MCS-48 为代表。这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、I/O 接口、8 位定时/计数器，寻址范围不大于 4 KB，有简单的中断功能，无串行接口。

第二阶段（1978—1982年）：单片机完善阶段。在这一阶段推出的单片机的功能有较大的加强，能够应用于更多的场合。这个阶段的单片机普遍带有串行 I/O 口，有多级中断处理系统、16 位定时/计数器，片内集成的 RAM、ROM 容量加大，寻址范围可达 64 KB。一些单片机片内还集成了 A/D 转换接口。这类单片机的典型代表有 Intel 公司的 MCS-51、Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。

第三阶段（1982—1992年）：8 位单片机巩固发展及 16 位高级单片机发展阶段。在此阶段，尽管 8 位单片机的应用已广泛普及，但为了更好地满足测控系统的嵌入式应用的要求，单片机集成的外围接口电路有了更大的扩充。这个阶段单片机的典型代表为 8051 系列。许多半导体公司和生产商以 MCS-51 的 8051 为内核，推出了满足各种嵌入式应用的多种类型和型号的单片机。与此同时，一些公司面向更高层次的应用，推出了 16 位的单片机，其典型代表有 Intel 公司的 MCS-96 系列单片机。

第四阶段（1993 至今）：百花齐放阶段。单片嵌入式系统的应用是面对最底层的电子技术应用，不断推出适合不同领域要求的单片机系列。目前，单片机设计与生产技术的提高、周期的缩短、成本的下降，以及许多特定类型电子产品的巨大的市场需求，推动了专用单片机的发展。专用单片机具有成本低、资源利用率高、系统外围电路少、可靠性高等优点。同时，采用更先进的技术来提高单片机的综合品质，如提高 I/O 口的驱动能力，增加抗静电和抗干扰措施，宽（低）电压低功耗等。

2. 单片机的应用领域

单片机技术经历了多年的市场考验，目前依然是电子工程师手上最受欢迎的器件，这主要是得益于单片机在其应用领域所具有的独特优势。体积小、功耗低、性能稳定、价格便宜等特征使得单片机的身影出现在生活的每一个角落。其应用大致可分如下几个范畴：

（1）在智能仪器仪表上的应用。单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点，广泛应用于仪器仪表中，结合不同类型的传感器，可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化，且功能比起采用硬件电路更加强大，例如精密的测量设备（功率计、示波器、各种分析仪）。

（2）在工业控制中的应用。用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统，例如工厂流水线的智能化管理系统、电梯智能化控制系统、各种报警系统，以及与计算机联网构成二级控制系统等。

（3）在家用电器中的应用。可以这样说，现在的家用电器，如电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电等，基本上都采用了单片机控制。

（4）在计算机网络和通信领域中的应用。现代的单片机普遍具备通信接口，可以很方便地与计算机进行数据通信，这为其在计算机网络和通信设备中的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制，如手机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信、集群移动通信系统、无线电对讲机等。

(5) 单片机在医用设备中的应用。单片机在医用设备中的用途亦相当广泛，如医用呼吸机，各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

(6) 在各种大型电器中的模块化应用。某些专用单片机用于实现特定功能，从而在各种电路中进行模块化应用，而不要求使用人员了解其内部结构。如音乐集成单片机，看似简单的功能，微缩在电子芯片中（有别于磁带机的原理），就需要复杂的类似于计算机的原理。例如：音乐信号以数字的形式存于存储器中（类似于 ROM），由微控制器读出，转化为模拟音乐信号（类似于声卡）。在大型电路中，这种模块化应用极大地缩小了体积，简化了电路，降低了损坏率、错误率，也便于更换。

此外，单片机在工商、金融、科研、教育、国防、航空航天等领域都有着十分广泛的用途。

1.1.3 常用 51 系列单片机简介

1. Intel 公司的 51 单片机

MCS-51 系列单片机是一种高性能的 8 位单片机，按片内有无程序存储器及程序存储器的形式，分为三种基本产品：8051、8751 和 8031。8051 单片机片内含有 4 KB 的 ROM，ROM 中的程序是由单片机芯片生产厂家固化的，适合于大批量的产品；8751 单片机片内含有 4 KB 的 EPROM，单片机应用开发人员可以把编好的程序用开发机或编程器写入其中，需要修改时，可以先用紫外线擦除器擦除，然后再写入新的程序；8031 片内没有程序存储器，当在单片机芯片外扩展 EPROM 后，就相当于一片 8751，此种应用方式方便灵活。这三种芯片只是在程序存储器的形式上不同，在结构和功能上都一样。表 1.1 为 51 系列单片机常用产品特性一览表。

表 1.1 Intel 公司的 51 系列单片机常用产品特性一览表

子系列	片内 ROM 形式			片内 ROM 容量	片内 RAM 容量	寻址 范围	I/O 特性			中断源
	无	ROM	EPROM				计数器	并行口	串行口	
51 子系列	8031	8051	8751	4 KB	128 B	64 KB	2 个×16 位	4 个×8 位	1	6
	80C31	80C51	87C51	4 KB	128 B	64 KB	2 个×16 位	4 个×8 位	1	6
52 子系列	8032	8052	8752	8 KB	256 B	64 KB	3 个×16 位	4 个×8 位	1	8
	80C32	80C52	87C52	8 KB	256 B	64 KB	3 个×16 位	4 个×8 位	1	8

表中列出了 51 单片机系列的芯片型号，以及它们的部分性能指标，使我们对其基本情况有一个概括的了解。下面我们就在这个表的基础上对 51 系列单片机作进一步说明。

1) 51 子系列和 52 子系列

MCS-51 系列又分为 51 和 52 两个子系列，并以芯片型号的最末位数字作为标志。其中，51 子系列是基本型，而 52 子系列则属增强型。52 子系列功能增强的具体方面，从表 1.1 所列内容中可以看出：

- 片内 ROM 从 4 KB 增加到 8 KB。
- 片内 RAM 从 128 B 增加到 256 B。
- 定时/计数器从 2 个增加到 3 个。
- 中断源从 5 个增加到 6 个。

2) 单片机芯片半导体工艺

51 系列单片机采用两种半导体工艺生产。一种是 HMOS 工艺,即高速度高密度短沟道 MOS 工艺。另外一种是 CHMOS 工艺,即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。表 1.1 所列芯片型号中带有字母“C”的,为 CHMOS 芯片,其余均为一般的 HMOS 芯片。

CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合,除保持了 HMOS 高速度和高密度的特点之外,还具有 CMOS 低功耗的特点。例如,8051 的功耗为 630 mW,而 80C51 的功耗只有 120 mW。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上,低功耗是非常有意义的,因此在这些产品中必须使用 CHMOS 的单片机芯片。

3) 片内 ROM 配置形式

51 单片机片内 ROM 有四种配置形式,即掩膜 ROM、EPROM、EEPROM 和无 ROM。一般情况下,片内带掩膜型 ROM 适应于定型大批量应用产品的生产;片内带 EPROM 型适合于研制产品样机;片内带 EEPROM 型的单片机,可以在线写入程序。

2. Atmel 公司的单片机

AT89 系列单片机是美国 Atmel 公司的 8 位 Flash 单片机产品,它以 MCS-51 为内核,与 51 系列的单片机软硬件兼容。AT89 系列单片机的常见型号如表 1.2 所示。

表 1.2 AT89 系列单片机常用产品特性一览表

子系列	型号	片内 FLASH 容量	片内 EEPROM 容量	片内 RAM 容量	$f_{\max}$ /MHz	V_{cc} /V	计数器	并行口	串行口	中断源	WDT	ISP	模拟比较器
51 子系列	AT89C1051	1 KB	—	64 B	24	2.7~6.0	1×16 位	15 位	1	3	×	×	√
	AT89C2051	2 KB	—	128 B	24	2.7~6.0	2×16 位	15 位	1	6	×	×	√
	AT89C4051	4 KB	—	128 B	24	2.7~6.0	2×16 位	15 位	1	6	×	×	√
	AT89C51	4 KB	—	128 B	24	4.0~6	2×16 位	4×8 位	1	6	×	×	×
	AT89S51	4 KB	—	128 B	33	4.0~5.5	2×16 位	4×8 位	1	6	√	√	×
	AT89LV51	4 KB	—	128 B	12	2.7~6.0	2×16 位	4×8 位	1	6	×	×	×
52 子系列	AT89C52	8 KB	—	256 B	24	4.0~6	3×16 位	4×8 位	1	8	×	×	×
	AT89S52	8 KB	—	256 B	33	4.0~5.5	3×16 位	4×8 位	1	8	√	√	×
	AT89LV52	8 KB	—	256 B	12	2.7~6.0	3×16 位	4×8 位	1	8	√	√	×
	AT89S8253	12 KB	2 KB	256 B	24	2.7~5.5	3×16 位	4×8 位	1	9	√	√	×

AT89 系列单片机有如下特点:

(1) 内部含 Flash 存储器。在系统开发过程中可以十分容易地进行程序的修改,这就大大缩短了系统的开发周期。同时,在系统工作过程中,能有效地保存一些数据信息,即使外界电源损坏也不会影响信息的保存。

(2) 和 80C51 插座兼容。AT89 系列单片机的引脚是和 80C51 一样的, 所以, 当用 AT89 系列单片机取代 80C51 时, 可以直接进行替换。

(3) 静态时钟方式。AT89 系列单片机采用静态时钟方式, 因此可以节省电能, 这对于降低便携式产品的功耗十分有用。

(4) 错误编程亦无废品产生。一般的 OTP (One Time Programmable) 产品, 一旦错误编程就成了废品。而 AT89 系列单片机内部采用了 Flash 存储器, 所以, 错误编程之后仍可以重新编程, 直到正确为止, 故不存在废品。

(5) 可进行反复系统试验。用 AT89 系列单片机设计的系统, 可以反复进行系统试验; 每次试验可以编入不同的程序, 这样可以保证用户的系统设计达到最优。而且随用户的需要和发展, 还可以进行修改, 使系统能不断追随用户的最新要求。该系列中有 20 引脚封装的产品, 体积的减小使其应用更加灵活。时钟频率的提高可使运算速度加快。在片内含有 Flash 存储器, 这是一种可以电擦除和电写入的闪速存储器, 这使开发调试更为方便。

3. 其他 51 系列兼容单片机

为了进一步增强 51 系列单片机的功能, 一些单片机生产厂商还对 51 系列单片机的硬件进行了扩充。如 Philips 的 8XC552 系列, 在 80C51 的基础上增加了一个 16 位的定时/计数器和一个 8 路输入的 10 位 A/D 转换器, 并配有串行总线接口。80C51XA 使单片机位数增至 16 位。Intel 公司的 80C51GA/GB 也增加了 A/D 转换功能。

本教程以 Atmel 的 89 系列单片机中的 AT89S51 为典型机, 介绍单片机的硬件结构、原理、接口技术、编程及其应用技术。

1.2 AT89S51 单片机简介

1.2.1 AT89S51 单片机的主要特性

AT89S51 是美国 Atmel 公司生产的低功耗、高性能 CHMOS 型 8 位单片机, 片内含 4 KB 的可编程 Flash 只读程序存储器。该器件采用 Atmel 公司的高密度、非易失性存储技术生产, 兼容标准 8051 指令系统及引脚。它功能强大, 低价位, 可灵活应用于各种控制领域。

其主要性能参数如下:

- 与 MCS-51 产品指令系统完全兼容;
- 4.0 ~ 5.5 V 的工作电压范围;
- 全静态工作模式: 0 ~ 33 MHz;
- 三级程序加密锁;
- 128 × 8 位内部 RAM;
- 4 KB 在线系统编程 (ISP) Flash 闪速存储器, 可擦写 1 000 次;
- 32 个可编程 I/O 口线, 2 个 16 位定时/计数器, 6 个中断源;
- 全双工串行 UART 通道;
- 低功耗空闲和掉电模式, 中断可从空闲模式唤醒系统;
- 掉电标识和快速编程特性, 看门狗 (WDT) 及双数据指针;
- 灵活的 ISP 编程 (字节或页写模式)。

1.2.2 AT89S51 单片机的引脚及功能

对于一个单片机应用系统的开发设计者,熟悉并掌握单片机的硬件结构是十分重要的。这里从实际需要出发,只介绍与程序设计和系统扩展应用有关的内容。

AT89S51 提供以下标准功能:4 KB 闪速存储器,128 B 内部 RAM,32 个 I/O 口线,看门狗(WDT),两个数据指针,两个 16 位定时/计数器,一个 5 向量两级中断结构,一个全双工串行通信口,片内振荡器及时钟电路。同时,AT89S51 可降至 0 Hz 的静态逻辑操作,并支持两种软件可选的节电工作模式。空闲方式停止 CPU 的工作,但允许 RAM、定时/计数器、串行通信口及中断系统继续工作。掉电方式保存 RAM 中的内容,但振荡器停止工作并禁止其他所有工作部件直到下一个硬件复位。

AT89S51 是标准的 40 引脚双列直插式集成电路芯片,如图 1.3 所示。其引脚功能可分为电源、时钟、控制和 I/O 接口四大部分。

1. 电源引脚

VCC: 芯片主电源,外接 +5 V。

GND: 电源地线。

2. 时钟引脚

XTAL1: 振荡器反相放大器及内部时钟发生器的输入端。

XTAL2: 振荡器反相放大器的输出端。

3. 控制引脚

(1) RST: 复位输入(reset input)。当振荡器工作时,RST 引脚出现两个机器周期以上高电平将使单片机复位。WDT 溢出将使该引脚输出高电平。设置特殊功能寄存器 AUXR 的 DISRTO 位(地址 8EH)可打开或关闭该功能。DISRTO 位缺省为 RST 输出高电平打开状态。

(2) ALE/ $\overline{\text{PROG}}$: 地址锁存控制信号/编程脉冲输入端。当访问外部程序存储器或数据存储器时,地址锁存允许(Address Latch Enable, ALE)输出脉冲用于锁存地址的低 8 位字节。即使不访问外部存储器,ALE 仍以时钟振荡频率的 1/6 输出固定的正脉冲信号,因此它可对外输出时钟或用于定时。要注意的是:每当访问外部数据存储器时将跳过一个 ALE 脉冲。

对 Flash 存储器编程期间,该引脚还用于输入编程脉冲(the program pulse input, $\overline{\text{PROG}}$)。

如有必要,可通过对特殊功能寄存器(SFR)区中的 AUXR 的 DISALE 位置位,禁止 ALE 操作。该位置位后,只有执行一条 MOVX 或 MOVC 指令 ALE 才会被激活。此外,该引脚会被微弱拉高,单片机执行外部程序时,应设置 ALE 无效。

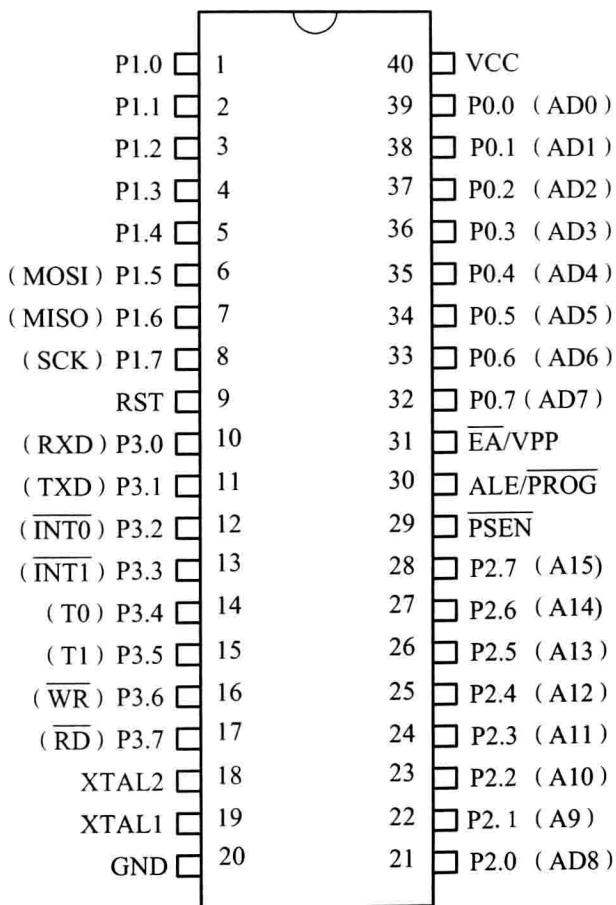


图 1.3 AT89S51 引脚图

(3) $\overline{\text{PSEN}}$ ：程序储存允许 (Program Store Enable) 输出，是外部程序存储器的读选通信号。当 AT89S51 由外部程序存储器取指令时，每个机器周期两次 $\overline{\text{PSEN}}$ 有效，即输出两个脉冲。当访问外部数据存储器，没有两次有效的 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号。

(4) $\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$ ：外部访问允许 (External Access Enable)。欲使 CPU 仅访问外部程序存储器 (地址为 0000H ~ FFFFH)， $\overline{\text{EA}}$ 端必须保持低电平 (接地)。需要注意的是：如果加密位 LB1 被编程，复位时内部会锁存 $\overline{\text{EA}}$ 端状态。

如 $\overline{\text{EA}}$ 端为高电平 (接 VCC 端)，CPU 则执行内部程序存储器中的指令。

对 Flash 存储器编程时，该引脚加上 +12 V 的编程电压 VPP。

4. I/O 引脚

1) P0 口

P0 口是一组 8 位漏极开路型双向 I/O 口，即地址/数据总线复用口。作为输出口用时，每位能驱动 8 个 TTL 逻辑门电路。对端口写“1”，可作为高阻抗输入端用。

在访问外部数据存储器或程序存储器时，这组口线分时复用低 8 位地址总线 and 数据总线，在访问期间激活内部上拉电阻。

在对 Flash 编程时，P0 口接收指令字节，而在程序校验时，输出指令字节。校验时要求外接上拉电阻。

2) P1 口

P1 是一个带内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口。P1 口的输出缓冲级可驱动 4 个 TTL 逻辑门电路。对端口写“1”，通过内部的上拉电阻把端口拉到高电平，此时可作为输入口。作输入口使用时，因为内部存在上拉电阻，某个引脚被外部信号拉低时会输出一个电流。

Flash 编程和程序校验期间，P1 口接收低 8 位地址。P1 口部分引脚的第二功能如表 1.3 所示。

表 1.3 P1 口部分引脚的第二功能

端口引脚	第二功能	第二功能信号名称
P1.5	MOSI	串行数据输入 (用于 ISP 编程)
P1.6	MISO	串行数据输出 (用于 ISP 编程)
P1.7	SCK	串行时钟输入 (用于 ISP 编程)

3) P2 口

P2 口是一个带有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口。P2 口的输出缓冲级可驱动 4 个 TTL 逻辑门电路。对端口写“1”，通过内部的上拉电阻把端口拉到高电平，此时可作为输出口。作输入口使用时，因为内部存在上拉电阻，某个引脚被外部信号拉低时会输出一个电流。

在访问外部程序存储器或 16 位地址的外部数据存储器 (例如执行 MOVX @DPTR 指令) 时，P2 口送出高 8 位地址数据。在访问 8 位地址的外部数据存储器 (如执行 MOVX @Ri 指令) 时，P2 口送出特殊功能寄存器 (SFR) 中 P2 寄存器的内容。

Flash 编程或程序校验时，P2 亦接收高位地址和其他控制信号。

4) P3 口

P3 口是一组带有内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口。P3 口输出缓冲级可驱动 4 个 TTL 逻辑门电路。对 P3 口写入“1”时，它们被内部上拉电阻拉高，可作为输出端口。作输入端时，被外部拉低的 P3 口将用上拉电阻输出电流。

P3 口除了作为一般的 I/O 口线外，更重要的用途是它的第二功能，如表 1.4 所示。

表 1.4 P3 口各引脚对应的第二功能

端口引脚	第二功能	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 输入，低电平或下降沿有效
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	外部中断 1 输入，低电平或下降沿有效
P3.4	T0	定时/计数器 0 外部输入
P3.5	T1	定时/计数器 1 外部输入
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	外部数据存储器写选通，低电平有效
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	外部数据存储器读选通，低电平有效

P3 口还接收一些用于 Flash 闪速存储器编程和程序校验的控制信号。

P1、P2、P3 口片内均有固定的上拉电阻，故称为准双向并行 I/O 接口；P0 口片内无固定的上拉电阻，由两个 MOS 管串接，既可开路输出，又可处于高阻的“悬空”状态，故称为双向三态并行 I/O 接口。读者在学完后面的章节后会有更深刻的理解。

以上是对 AT89S51 单片机芯片全部 40 个信号引脚的定义及功能所作的简单说明。对于各种型号的芯片，其引脚的第一功能信号是相同的，所不同的是引脚的第二功能信号。

1.2.3 AT89S51 单片机的内部结构

AT89S51 单片机的内部结构如图 1.4 所示。由图可知，AT89S51 单片机由微处理器（包括运算器和控制器）、片内存储器 RAM/ROM、P0~P3 组成的 I/O 端口以及各种存储器组成的特殊功能寄存器 SFR 和串行接口、定时/计数器、中断系统、振荡器等构成。

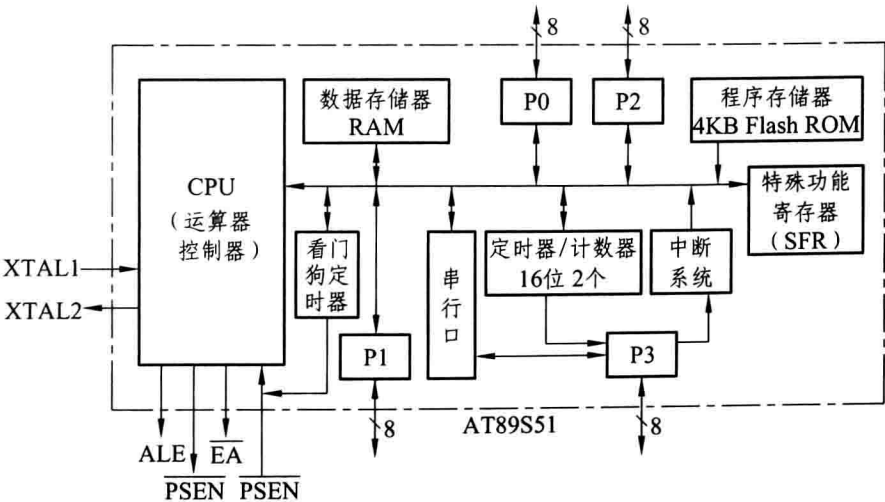


图 1.4 单片机 AT89S51 内部结构框图

1) 微处理器 (CPU)

微处理器是单片机的核心部分,完成运算和控制功能。AT89S51 的 CPU 能处理 8 位二进制数或代码,它由运算器(包括算术/逻辑运算单元 ALU、累加器 A、寄存器 B、暂存寄存器、程序状态字寄存器 PSW)、控制器(包括指令寄存器 IR、指令译码器 ID、定时及控制逻辑电路)、程序计数器 PC 等组成。

2) 片内数据存储器(片内 RAM)

AT89S51 芯片中共有 256 B RAM,但其中高 128 B 被专用寄存器 SFR 占用,能作为寄存器供用户使用的只是低 128 B,地址范围是 00H~7FH,用于存放可读写的数。因此,通常所说的内部数据存储器是指低 128 B,简称片内 RAM。

3) 片内程序存储器(片内 ROM)

AT89S51 芯片中共有 4 KB Flash 闪速存储器,地址范围是 0000H~0FFFH,用于存放程序、原始数据或表格,因此称为程序存储器,简称片内 ROM。

4) 定时/计数器

AT89S51 芯片有两个 16 位的定时/计数器,以实现定时或计数功能,并以其定时或计数结果实现控制功能。

5) 并行 I/O 口

AT89S51 芯片有 4 个 8 位的 I/O 口(P0、P1、P2、P3),以实现数据的并行输入/输出。

6) 串行口

AT89S51 单片机有一个全双工的串行口,以实现单片机和其他设备之间的串行数据传送。该串行口功能较强,既可作为全双工异步通信收发器使用,也可作为同步移位器使用。

7) 中断控制系统

AT89S51 单片机的中断功能较强,以满足控制应用的需要。AT89S51 共有 6 个中断源,包括 2 个外部中断源、2 个定时/计数中断源、2 个串行中断源(RXD 或 TXD)。全部中断分为高级和低级两个优先级别,因此构成一个 5 向量两级中断的结构。

8) 时钟电路

AT89S51 芯片的内部有时钟电路,但石英晶体和微调电容需外接。时钟电路为单片机产生时钟脉冲序列。系统允许的晶振频率一般为 6~12 MHz。

从上述内容可以看出,AT89S51 虽然是一个单片机芯片,但作为计算机应该具有的基本部件它都具有,因此,实际上它已属于一个简单的微型计算机系统了。

1.3 AT89S51 单片机的存储器配置

存储器的功能是存储信息——程序和数据。存储器按其存取方式可以分成两大类:一类是随机存取存储器(RAM),另一类是只读存储器(ROM)。

对于 RAM,CPU 在运行过程中能随时对其进行写入和读出操作,但在关闭电源时,其存储信息将丢失,所以它只能用来存放暂时性的输入/输出数据、运算的中间结果或用作堆栈。因