



21世纪全国高职高专机电类规划教材

单片机原理与应用

DANPIANJI YUANLI YU YINGYONG

高宇 主 编
李岩 副主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电类规划教材

单片机原理与应用

高 宇 主 编

李 岩 副主编

姚旭东 刘 琨 马敬东 马艳杰 参 编

侯百民 主 审



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书以 MCS-51 单片机为背景,介绍单片机的原理与应用。从初学者的角度出发,由浅入深地介绍单片机的硬件系统、组成原理、指令系统。以掌握实际操作能力为目标,对汇编语言程序设计、单片机系统扩展、实用接口电路设计和应用实例方面进行了较为细致的讲述。

为了提高读者的应用能力,在各章中安排了相关的应用实例,使读者全面了解实际应用的全过程,提高学习自信心和创新能力。

全书分为 9 章,主要内容包括:单片机概述、单片机组成、单片机汇编语言程序设计、单片机的计数/定时器和中断系统、并行接口技术、单片机外部设备接口技术、串行接口与串行通信技术、最新单片机实用开发工具、单片机开发系统应用技术。

本书既可作为高校、高职院校的自动化、电气技术、计算机应用、机电一体化等专业的教学用书,亦可作为从事与单片机应用与产品开发相关的技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用/高宇主编. —北京:北京大学出版社, 2007.4

(21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 978-7-301-09966-7

I. 单… II. 高… 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(2005)第 132742 号

书 名: 单片机原理与应用

著作责任者: 高宇 主编

责任编辑: 温丹丹 董超

标准书号: ISBN 978-7-301-09966-7/TH·0050

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 14.5 印张 317 千字

2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

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

举报电话: 010-62752024; 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

1974年,第一块单片机诞生。单片机作为计算机家族中的一个分支,在自动控制、国防、日常生活领域得到全面的应用和发展。

经过几十年的发展,单片机门类和功能更加齐全。当今世界上比较知名的单片机生产企业主要有 Intel、Motorola、NEC、GI 等公司。

以单片计算机为代表的控制系统嵌入技术在汽车、飞机、舰船、电器等控制领域中发挥了越来越重要的作用。

本书以 MCS-51 单片机为背景,介绍单片机的原理与应用。本书由浅入深地介绍单片机的硬件系统、组成原理、指令系统。以掌握实际操作能力为目标,对单片机汇编语言程序设计、单片机系统扩展、实用接口电路设计和应用实例方面进行了较为细致的讲述。

本书由高宇任主编、李岩任副主编、侯百民任主审,姚旭东、刘琨、马敬东、马艳杰任参编。

第 1、2、3、4 章由高宇编写,第 5、6 章由刘琨、马敬东、马艳杰编写,第 7、8、9 章由李岩、姚旭东编写,最后由侯百民负责审定。

由于编者的时间和水平有限,不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年3月

目 录

第1章 单片机概述	1
1.1 单片机简介	1
1.2 MCS-51 单片机介绍	2
1.2.1 MCS-51 单片机构成	2
1.2.2 MCS-51 单片机特点	2
1.2.3 单片机常用术语	3
1.3 单片机系统开发流程	3
1.4 本章小结	4
1.5 复习思考题	5
第2章 MCS-51 单片机组成	6
2.1 MCS-51 单片机结构	6
2.2 MCS-51 单片机工作方式	12
2.2.1 复位工作方式	12
2.2.2 程序执行工作方式	13
2.3 MCS-51 单片机时序	17
2.3.1 单片机的机器周期和指令周期	17
2.3.2 单片机的取指令和执行指令时序	17
2.4 存储器的扩展	19
2.4.1 8051 单片机的程序存储器扩展原理	20
2.4.2 程序存储器扩展的方法	20
2.4.3 数据存储器的扩展	22
2.5 本章小结	26
2.6 复习思考题	26
第3章 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	27
3.1 MCS-51 单片机汇编语言基础	28
3.1.1 寻址方式	28
3.1.2 MCS-51 指令系统	32
3.2 MCS-51 单片机汇编语言程序设计	46
3.2.1 MCS-51 单片机汇编程序设计步骤	46

3.2.2	MCS-51 单片机汇编程序结构	48
3.3	程序设计举例	61
3.4	本章小结	64
3.5	复习思考题	64
第 4 章	MCS-51 单片机的中断系统与计数定时器	65
4.1	中断系统	65
4.1.1	数据传送方式	65
4.1.2	单片机对外设的寻址方式	66
4.1.3	CPU 与外设的数据传送方式	67
4.1.4	中断系统概述	69
4.1.5	MCS-51 中断系统结构	72
4.2	中断控制举例	78
4.3	MCS-51 定时/计数器	81
4.3.1	定时/计数器结构	81
4.3.2	定时/计数器的工作方式	84
4.4	定时/计数器应用举例	87
4.5	本章小结	91
4.6	复习思考题	91
第 5 章	并行接口技术	92
5.1	并行接口扩展概述	92
5.1.1	MCS-51 单片机 I/O 接口扩展性能	92
5.1.2	并行接口扩展通用芯片	92
5.1.3	并行 I/O 接口扩展方法	93
5.2	8155 可编程通用并行接口芯片介绍	93
5.2.1	8155 的结构及引脚	93
5.2.2	8155 的 RAM 和 I/O 接口地址编码	94
5.2.3	8155 的命令字和状态字	95
5.2.4	8155 定时器/计数器工作原理	97
5.2.5	8031 与 8155 的硬件连接	98
5.2.6	8155 内部定时器应用举例	98
5.3	8255 可编程通用并行接口芯片	99
5.3.1	8255 的外部引脚	99
5.3.2	8255 的内部结构	99
5.3.3	8255 的扩展逻辑电路	100

5.3.4	8255 的工作方式	101
5.3.5	8255 的控制字及初始化程序	102
5.4	本章小结	104
5.5	复习思考题	104
第 6 章	单片机外部设备接口	105
6.1	键盘接口技术	105
6.1.1	键盘按键的消抖	105
6.1.2	行列式键盘的工作原理	107
6.1.3	键盘的工作方式	107
6.2	键盘/显示器接口 8279	111
6.2.1	8279 的内部结构	111
6.2.2	8279 的引脚及功能	113
6.2.3	8279 的操作命令和控制字	114
6.2.4	MCS-51 与 8279 的接口	118
6.3	A/D、D/A 转换技术	119
6.3.1	A/D、D/A 转换器的性能指标	119
6.3.2	MCS-51 单片机与 D/A 转换器的接口	120
6.3.3	MCS-51 单片机与 A/D 转换器的接口	126
6.4	本章小结	129
6.5	复习思考题	130
第 7 章	串行通信技术	131
7.1	串行通信技术	131
7.1.1	异步通信方式	132
7.1.2	同步通信方式	133
7.2	单片机串行通信接口	133
7.2.1	数据缓冲寄存器 SBUF	133
7.2.2	串行控制寄存器 SCON	133
7.2.3	电源控制寄存器 PCON	135
7.2.4	串行接口的工作方式	135
7.2.5	多机通信原理	145
7.3	单片机串行通信应用	146
7.3.1	双机通信程序设计	146
7.3.2	串行接口发送/接收带奇偶校验位的数据块	149
7.4	本章小结	154

7.5	复习思考题	154
第8章	单片机实用开发工具	155
8.1	单片机开发软件简介	155
8.1.1	伟福系列仿真器及其开发环境	155
8.1.2	软件开发环境介绍	156
8.2	Keil C51 简介	166
8.2.1	概述	166
8.2.2	集成开发环境 (IDE) 的使用	167
8.3	本章小结	167
8.4	复习思考题	168
第9章	单片机应用技术	169
9.1	单片机抗干扰技术	169
9.1.1	硬件系统的抗干扰设计	169
9.1.2	软件抗干扰技术	175
9.2	“看门狗”技术	177
9.3	常用子程序	177
9.3.1	四字节十进制除法子程序	178
9.3.2	最小二乘法拟合直线程序	180
9.3.3	定点 16 位整数乘法	191
9.3.4	滑动平均子程序	195
9.3.5	BCD 减法子程序	196
9.3.6	查表子程序	198
9.3.7	多字节 BCD 码加法	203
9.3.8	多字节 BCD 码减法	204
9.3.9	多字节 BCD 码取补	205
9.3.10	多字节 BCD 码左移十进制一位 (乘十)	205
9.3.11	双字节二进制无符号数乘法	206
9.3.12	双字节二进制无符号数平方	207
9.3.13	双字节二进制无符号数除法	208
9.3.14	双字节二进制无符号数除以单字节二进制数	209
9.3.15	求平均值子程序	210
9.3.16	数字滤波子程序	211
9.4	单片机实践	212
9.4.1	认识实验	212

9.4.2 数码转换实验	213
9.4.3 算术运算实验	214
9.4.4 排序实验	217
9.4.5 定时器实验	218
9.4.6 串行通信实验	219
9.5 本章小结	220
9.6 复习思考题	221
参考文献	222

第 1 章 单片机概述

内容提要：本章主要讲述单片机系统的基本知识，简单介绍了单片机的发展概要、单片机的组成、单片机的术语，重点讲述了单片机系统的开发流程。

近年来随着计算机技术的不断发展，计算机在科研、工业、商业、农业、国防等领域发挥了越来越重要的作用。

单片机作为计算机家族中的一个分支，在自动控制、国防、日常生活领域得到全面的应用和发展。

从 1974 年第一块单片机诞生，到现在的几十年中，单片机门类和功能更加齐全。当今世界上比较知名的单片机生产企业主要有 Intel、Motorola、NEC、GI 等公司，这些公司均有一套自己比较完整的单片机体制，数据总线有 4 位、8 位、16 位甚至于 32 位机。

1.1 单片机简介

通用型微型计算机主要由中央处理器、存储器、I/O 接口及数据/控制总线组成，它主要担当数据计算、信息处理等工作，因其应用于各行各业，因此又称为通用型计算机系统。

随着计算机在系统控制、逻辑运算等方面的发展，计算机被大量引用到了控制领域的某些具体环节上，这些地方要求计算机的功能单一化、体积小型化、运算快速化。由于传统的通用型计算机功能齐全、体积庞大，如果仅仅用于某种小型控制或检测系统，如自动控制仪器仪表、电子游艺机、汽车电气控制系统、扫描系统、数控系统等，既不经济，又在有限体积空间上无法满足要求。

电子工程人员将通用计算机的基本组成部分：中央处理器、存储器、输入/输出接口、定时/计数器等功能模块，集成于一个芯片上，组成了单片计算机。从此，计算机出现了通用型和单片机两个分支。其中，单片计算机多用于各种控制系统中，起到某种功能的局部嵌入作用，如汽车、飞机、舰船中相应的控制设备，因其不再以数据、数值计算为主，单片机又称为嵌入式系统。

1.2 MCS-51 单片机介绍

单片机由以下几个部分构成：中央处理器（CPU）、RAM（可读写存储器，负责数据存储）、ROM（只读存储器，负责程序存储）、输入/输出设备（I/O 接口设备）。

在个人计算机中，以上这些部分被分成若干块芯片，安装在主板上。在单片机中，这些部分全部集成在一块电路芯片中，因此被称为单片机，有些单片机中还集成了 A/D（模拟/数字转换）、D/A（数字/模拟转换）接口。

1.2.1 MCS-51 单片机构成

（1）中央处理器。它与普通微机的相应部分功能相同，主要进行算术、逻辑运算，完成数据处理、控制指令在计算机中的运行及相应的操作。

（2）存储器。由 RAM 和 ROM 组成，用于存放数据和程序。ROM 称为只读存储器，用于存储程序，当单片机关闭时其内容不消失；RAM 称为读写存储器，可用于存储计算中间结果。

（3）输入/输出设备。又称为 I/O 接口设备，是单片机与外界进行数据传输的通道。如键盘、显示器、打印机、信号输入与输出的接口设备，MCS-51 单片机结构如图 1-1 所示。

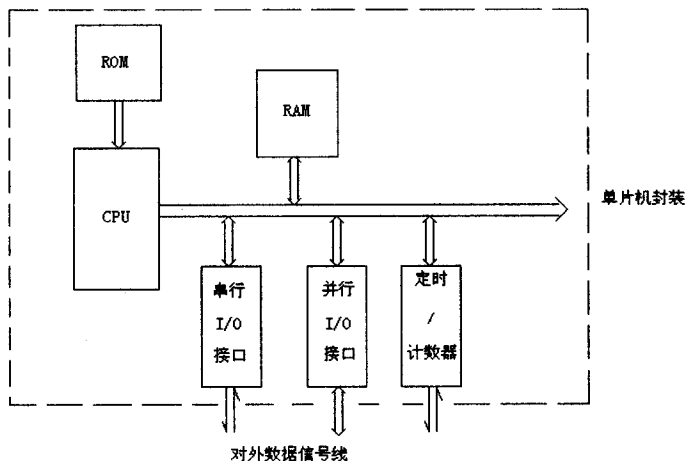


图 1-1 单片机结构图

1.2.2 MCS-51 单片机特点

（1）体积小。一般单片机用 40 脚封装，功能多一些单片机也有 68 引脚，功能少的只

有 10 多个或 20 多个引脚，有的甚至只有 8 个引脚。

(2) 集成度高。单片机将各组成部分集中于一块芯片中，时钟频率可达几十 MHz。

(3) 运算速度高。单片机主要应用于工业实时控制系统中，要求计算机的控制速度精度高、反映速度快。由于单片机将各主要功能部分集成一体，加快了各部分的寻址速度，且程序存储器与数据存储器分别进行数据存储也能加速数据的传输。

(4) 抗干扰能力强。由于各部分集中于一块芯片中，而且数据流通距离短，不易受到外界的信号干扰，使系统运行可靠。

(5) 指令丰富。单片机特有的算术、逻辑、移位指令，既适应工程中的运算，也适应现场环境中对过程控制开关量的要求，因此单片机能在逻辑、开关、顺序控制中得到广泛应用。

1.2.3 单片机常用术语

(1) 位 (Bit)。位是计算机所能表示的最基本、最小的数据单位。在计算机中所采用的数据是二进制数，一个二进制数就对应一位。每一位的数据只能有两种状态：1 或 0。若干个二进制位就能表示各种数据和字符。

(2) 字节 (Byte)。相邻的 8 位二进制数称为字节。字节的长度是固定的，1 Byte=8 Bit，即一个字节的长度是 8 位。在计算机中的数据是以字节为单位进行存储的，即一次操作 8 位。

(3) 字 (Word)。字是计算机内部进行数据处理的基本单位。通常与计算机内部的寄存器、运算器、数据总线宽度一致。计算机中每一个字所包含的二进制位数称为字长。8 位计算机的字长等于 1 个字节，16 位计算机的字长等于 2 个字节。通常把一个字节定为 8 位、一个字定为 16 位、一个双字定为 32 位。

(4) 指令 (Instruction)。指令规定计算机进行某种操作的命令，它是由以字节为单位组成的二进制编码，也称为机器码。指令有 1 字节、2 字节等。

(5) 程序 (Program)。程序是为完成某种功能而使用指令的有序集合，也可以称为指令序列。

(6) 指令系统 (Instruction Set)。指令系统是指一台计算机所能执行的全部指令集合。

1.3 单片机系统开发流程

单片机的开发过程包括硬件和软件的联合开发。本书将以讲解单片机的软件开发为主要内容，硬件开发方面以应用实例为基础进行讲述。

单片机的开发流程如下所述。

(1) 单片机系统硬件设计组成 (由设计者进行电路设计)

包括组成单片机系统、设计印刷线路板、设计 I/O 接口电路。

(2) 编写单片机应用软件 (在普通计算机中完成)

① 在编写软件之前, 首先要确定一些常数、地址, 这些常数、地址在设计阶段已被直接或间接地确定下来。当器件的连线设计好后, 其地址也相应确定了; 器件的功能被确定下来后, 其控制字也相应确定。

② 用文本编辑软件 (如 Windows 的写字板、Word 等) 或单片机开发集成环境编写单片机应用软件。

③ 用编译器对源程序文件编译, 查错, 直到没有语法错误。

(3) 进行软件仿真 (由普通计算机和仿真器联合完成)

应用仿真器 (单独购买的专用调试工具) 对所编制的单片机应用软件进行调试, 直到程序运行正确为止。

仿真是单片机开发过程中非常重要的一个环节, 除了一些极简单的任务, 一般产品开发过程都需要进行仿真。仿真的主要目的是进行软件调试, 也能进行一些硬件排错。一块单片机应用电路板包括单片机部分及为达到使用目的而设计的应用电路, 仿真就是利用仿真机来代替应用电路板 (称目标机) 的单片机部分, 对应用电路部分进行测试、调试。仿真有 CPU 仿真和 ROM 仿真两种形式。所谓 CPU 仿真是指用仿真机代替目标机的 CPU, 由仿真机向目标机的应用电路部分提供各种信号、数据, 进行调试的方法。这种仿真可以通过单步运行、连续运行等多种方法来运行程序, 并能观察到单片机内部的变化, 便于改正程序中的错误。所谓 ROM 仿真, 就是用仿真机代替目标机的 ROM, 目标机的 CPU 工作时, 从仿真机中读取程序, 并执行。这种仿真其实就是将仿真机当作一片 EPROM, 只是省去了擦片、写片的麻烦, 并没有多少调试手段可言。通常这是两种不同类型的仿真机, 也就是说, 一台仿真机不能既做 CPU 仿真, 又做 ROM 仿真。可能的情况下, 当然做 CPU 仿真最好。

(4) 向单片机系统中写入程序 (由普通计算机和编程器联合完成)

程序经仿真调试正确后, 就可以写片 (即将程序固化在单片机系统中的集成块 EPROM 中)。编译源程序后, 生成扩展名为 HEX 的目标文件, 一般编程器能够识别这种格式的文件, 只要将此文件调入即可写片。

1.4 本章小结

本章阐述了单片机的结构特点, 对单片机的常用术语进行了讲述。重点介绍了单片机

系统的开发流程，读者应结合实践操作过程体会单片机开发系统的应用过程。

1.5 复习思考题

1. 单片机通常由哪几部分组成？它们各有什么作用？
2. 单片机的主要特点有哪些？
3. 位、字节、字、指令、程序、指令系统各有什么含义？
4. 简述单片机系统的开发流程。

第2章 MCS-51 单片机组成

内容提要：本章主要讲述了单片机的构成、单片机的工作方式、单片机的时序和单片机存储器的扩展，重点介绍了单片机的组成特点和存储器的扩展方法。

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了许多品种，如 8031、8051、8751、8032、8052、8752 等。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。而 8031 是前些年在我国最流行的单片机，所以很多场合会看到 8031 的名称。Intel 公司将 MCS-51 的核心技术授权给了其他公司，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。89C51 是这几年在我国非常流行的单片机，由美国 ATMEL 公司开发生产。

2.1 MCS-51 单片机结构

MCS-51 系列单片机，均以 8051 技术核心为主，它包括了通用计算机的基本部件，集成在一个集成块中，如图 2-1 所示。

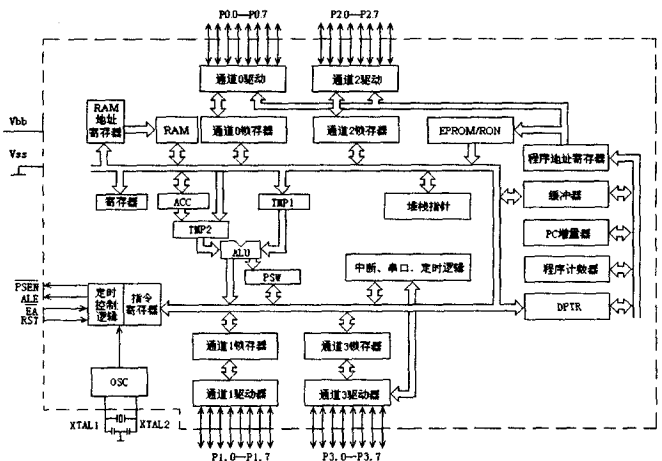


图 2-1 MCS-51 系列单片机结构图

MCS-51 单片机结构

- (1) 8 位 CPU
- (2) 4 KB ROM 片内程序存储器
- (3) 60 KB ROM 片外程序存储器
- (4) 128B RAM 片内数据存储器
- (5) 64 KB RAM 片外数据存储器
- (6) 专用寄存器 (SFR)
- (7) I/O 端口
- (8) 定时/计数器
- (9) 中断系统

1. CPU (中央处理器)

CPU 由算术逻辑部件、控制器、专用寄存器三个部分组成。

(1) 算术逻辑部件 (ALU)。可以进行算术和逻辑运算, 其中的功能部件不专门对用户开放, 用户仅了解其运算功能即可。

(2) 控制器。是单片机的指挥中枢, 主要功能是识别指令, 控制单片机各部分的工作。

单片机运行时从程序存储器中读出指令, 送至指令寄存器, 由指令译码器进行译码, 译码后送至控制逻辑电路, 产生相应的定时和控制信号, 控制单片机各部分的相应操作。

控制器包括指令寄存器 (IR)、指令译码器、定时控制电路、数据指针、程序计数器 (PC)、堆栈指针 (SP)、地址寄存器等。

(3) 专用寄存器。专用寄存器包括程序计数器、累加器、通用寄存器、程序状态字寄存器、堆栈指针寄存器和数据指针寄存器。

① 程序计数器 (PC)。PC 是一个 16 位计数器, 用于存放下一条指令的地址。

② 累加器 (A)。是一个 8 位寄存器, 专门用来存放操作数或运算结果。

③ 通用寄存器 (B)。既是专门用于为乘法和除法服务的寄存器, 也是一个 8 位通用寄存器。

④ 程序状态字寄存器 (PSW)。是一个 8 位寄存器, 用来存放指令执行后的相关状态, 可以被程序中的相关指令所引用。

⑤ 堆栈指针寄存器 (SP)。是一个 8 位专用寄存器, 专门用于存放堆栈的栈顶地址。

⑥ 数据指针寄存器 (DPTR)。是一个 16 位专用寄存器, 用于存放数据的地址。

2. MCS-51 存储器

存储器主要用来保存程序和数据, 是单片机和单片机应用系统中最重要的功能单元之一。

根据存储器存放数据的类型,可以将存储器分为程序存储器和数据存储器两类。

根据存储器存储介质的性质不同,存储器可以分成以下三类。

- ① 只读存储器。包括 ROM、可编程只读存储器 PROM。
- ② 随机存取存储器。包括 RAM、静态读写存储器 SRAM、动态读写存储器 DRAM。
- ③ 非易失性存储器。包括可擦写只读存储器 EPROM、可电擦写只读存储器 EEPROM、闪速擦写存储器 FlashMemory 等。

下面分别介绍上述常用器件的性能和特点。

(1) 只读存储器 (ROM)。只读存储器主要是指单片机在工作过程中,只能读出其信息,不能写入信息,断电后存储器中的信息不会丢失。程序存储器一般采用只读存储器。但是随着技术的发展,也出现了一些可写入的 ROM,如 EEPROM 和 FlashMemory 等,因此也可以作为数据存储器。

① 掩膜 ROM。掩膜 ROM 中的程序和数据是在生产过程中由制造厂商用掩膜的技术输入进去的,用户只能对其进行读出操作,不能进行写入操作。掩膜 ROM 主要用于需求量很大的场合。

② 可编程 ROM。可编程 ROM 中的数据可以通过简单的编程设备写入,而不需要在产过程中写入。可编程 ROM 价格较低,但是用户只能对其进行一次性的写入操作。

③ 用紫外线擦除编程 ROM——EPROM。EPROM 的特点是,可以进行多次擦除、写入程序或数据操作。但是,要对 EPROM 进行擦除必须先用紫外线照射 15~20 分钟进行整片数据擦除,然后才可以重新写入,否则写入的程序或数据将出现错误。EPROM 的缺点是必须整片擦除,而且操作时间较长,对大批量的 EPROM 进行擦写,需要花费很长的时间。

④ 电可擦除可编程 ROM (EEPROM)。EEPROM 的特点是,通过电信号就可以对 ROM 进行多次擦写操作。除了可以进行整体擦写操作外,还可以以字节为单位进行擦除和写入。与 EPROM 相比,EEPROM 使用更为方便。

EEPROM 有并行和串行操作芯片两种。并行 EEPROM 可用作程序和数据存储器,串行 EEPROM 由于操作速度较慢,只能用作数据存储器。但是,串行 EEPROM 占用单片机 I/O 管脚少,因此单片机应用系统中常用串行 EEPROM 来存储比较重要的数据。

(2) 随机存取存储器 (RAM)。随机存取存储器是指在工作过程中,单片机不但可以读出其中的信息,而且可以写入新的信息,但是存储器在断电后,所存储的信息有可能全部丢失。

RAM 主要用于数据存储器,即用于存放程序执行期间要变化的数据或中间运算结果。RAM 可以分成两种,静态 RAM 和动态 RAM。

① 静态 RAM (SDRAM)

SDRAM 是利用半导体触发器的两个稳定状态来表示 0 或 1 的数据信息的。SDRAM