

高等学校计算机教育规划教材

# 单片机 原理及应用

孙俊逸 盛秋林 张 铮 编著  
张彦铎 主审

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

清华大学出版社



高等学校计算机教育规划教材

# 单片机 原理及应用

孙俊逸 盛秋林 张 铮 编著 / 张彦铎 主审

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书介绍了 MCS-51 系列单片微型计算机的基本结构、指令系统、汇编语言程序设计、系统扩展、I/O 接口技术以及单片机应用实例。

单片机是一门实践性很强的课程。全书本着理论和实践相结合的原则,在保证理论完整性的基础上,更加强调实用性。本书配套的单片机仿真软件能很好地解决做单片机实验难的问题。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用 / 孙俊逸, 盛秋林, 张铮编著. —北京: 清华大学出版社, 2006. 3

(高等学校计算机教育规划教材)

ISBN 7-302-12306-3

I. 单… II. ①孙… ②盛… ③张… III. 单片微型计算机-高等学校-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 159316 号

出 版 者: 清华大学出版社                      地      址: 北京清华大学学研大厦  
http://www.tup.com.cn                      邮      编: 100084  
社 总 机: 010-62770175                      客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 张瑞庆

文稿编辑: 李玮琪

印 刷 者: 北京国马印刷厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开      本: 185 × 260    印 张: 16    字 数: 374 千字

版      次: 2006 年 3 月第 1 版    2006 年 3 月第 1 次印刷

书      号: ISBN 7-302-12306-3/TP · 7899

印      数: 1 ~ 5000

定      价: 21.00 元

# 序 言

## PREFACE

随着信息社会的到来,我国的高等学校计算机教育迎来了大发展时期。在计算机教育不断普及和高等教育逐步走向大众化的同时,高校在校生的入数也随之增加,就业压力随之加大。灵活应用所学的计算机知识解决各自领域的实际问题已经成为当代大学生必须具备的能力。为此,许多高等学校面向不同专业的学生开设了相关的计算机课程。

时代的进步与社会的发展对高等学校计算机教育的质量提出了更高、更新的要求。抓好计算机专业课程以及计算机公共基础课程的教学,是提高计算机教育质量的关键。现在,很多高等学校除计算机系(学院)外,其他系(学院)也纷纷开设了计算机相关课程,在校大学生也必须学习计算机基础课程。为了适应社会的需求,满足计算机教育的发展需要,培养基础宽厚、能力卓越的计算机专业人才和掌握计算机基础知识、基本技能的相关专业的复合型人才迫在眉睫。为此,在进行了大量调查研究的基础上,通过借鉴国内外最新的计算机科学与技术学科和计算机基础课程体系的研究成果,规划了这套适合计算机专业及相关专业人才培养需要的、适用于高等学校学生学习的《高等学校计算机教育规划教材》。

“教育以人为本”,计算机教育也是如此,“以人为本”的指导思想则是将“人”视为教学的主体,强调的是“教育”和“引导”,而不是“灌输”。本着这一初衷,《高等学校计算机教育规划教材》注重体系的完整性、内容的科学性和编写理念的先进性,努力反映计算机科学技术的新技术、新成果、新应用、新趋势;针对不同学生的特点,因材施教、循序渐进、突出重点、分散难点;在写作方法上注重叙述的逻辑性、系统性、适用性、可读性,力求通俗易懂、深入浅出、易于理解、便于学习。

本系列教材突出计算机科学与技术学科的特点,强调理论与实践紧密结合,注重能力和综合素质的培养,并结合实例讲解原理和方法,引导学生学会理论方法的实际运用。

本系列教材在规划时注重教材的立体配套,教学资源丰富。除主教材外,还配有电子课件、习题集与习题解答、实验上机指导等辅助教学资源。有些课程将开设教学网站,提供网上信息交互、文件下载,以方便师生的教与学。

《高等学校计算机教育规划教材》覆盖计算机公共基础课程、计算机应用技术课程和计算机专业课程。既有在多年教学经验和教学改革基础上新编

著的教材，也有部分已经出版教材的更新和修订版本。这套教材由国内三十余所知名高校从事计算机教学和科研工作的一线教师、专家教授编写，并由相关领域的知名专家学者审读全部书稿，多数教材已经经受了教学实践的检验，适用于本科教学，部分教材可用于研究生学习。

我们相信通过高水平、高质量的编写和出版，这套教材不仅能够得到大家的认可和支持，也一定能打造成一套既有时代特色，又特别易教易学的高质量系列教材，为我国计算机教材建设及计算机教学水平的提高，为计算机教育事业的发展和高素质人才的培养作出我们的贡献。

《高等学校计算机教育规划教材》编委会

2005年7月

# 前言

## FOREWORD

单片微型计算机(简称单片机,又称微控制器)是微型计算机的一个重要分支。它将 CPU、ROM、RAM、I/O 接口、定时器/计数器等计算机的主要部件集成在一块大规模集成电路芯片中,具有体积小、价格低、性能高、应用开发简便等优点,在工业控制、生产自动化、机械、电器、智能仪器仪表、信息家电、航空航天、通信导航、汽车电子等领域,都得到了日益广泛的应用。

单片机是一门实践性很强的课程,在学习过程中,学生应该将学习的重点放在应用所学的知识训练开发单片机的应用能力上。

作者根据多年来从事单片机的教学和开发实践经验,并参考了大量最新的文献资料,编写了本书。

本书内容深入浅出,每章都配有典型的例题,配合教学,也便于自学。学生学完每章后,通过做习题,促进对所学知识的理解,巩固已学的知识。对每章的重点、难点及例题适量增加。本书配有免费的单片机仿真软件,读者按照书上所提供的实验练习,可增强动手能力,进一步提高学习单片机的兴趣。本书编写了单片机较新的应用实例,还介绍了与 MCS-51 系列单片机兼容的新型单片机和与单片机相配合的新型功能芯片及其应用实例,使本教材变得更加实用。

本书系统全面地介绍了 MCS-51 型单片机的结构原理和应用技术,全书共分为 8 章。第 1 章介绍计算机的基本组成,第 2 章系统介绍 MCS-51 系列单片机的系统结构,第 3 章介绍 MCS-51 系列单片机的指令系统,第 4 章介绍汇编语言程序设计基础,第 5 章介绍 MCS-51 单片机的系统扩展技术,第 6 章介绍 MCS-51 单片机的接口技术,第 7 章介绍 MCS-51 型单片机的应用,第 8 章介绍单片机的系统开发设计方法。本书可作为计算机类及相近专业的教材,也可供自学者学习参考。

参加本书编写工作的有孙俊逸、盛秋林、张铮、杨习伟、徐元中等,全书由孙俊逸、盛秋林统稿。

在本书的编写过程中,得到了胡金柱教授和张彦铎教授的大力支持,在此表示感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者和同仁批评指正。

作者

2005 年 10 月

# 目 录

# CONTENTS

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 计算机的基本组成 .....          | 1  |
| 1.1 概述 .....                  | 1  |
| 1.1.1 计算机的组成 .....            | 1  |
| 1.1.2 运算器 .....               | 4  |
| 1.1.3 控制器 .....               | 4  |
| 1.1.4 存储器 .....               | 5  |
| 1.1.5 输入输出接口电路 .....          | 6  |
| 1.2 计算机中的数制及其转换 .....         | 9  |
| 1.2.1 常用数制 .....              | 10 |
| 1.2.2 数制间的相互转换 .....          | 13 |
| 1.3 单片微型计算机 .....             | 16 |
| 1.3.1 单片机的特点 .....            | 16 |
| 1.3.2 单片机的发展趋势 .....          | 17 |
| 1.3.3 MCS 系列单片机简介 .....       | 19 |
| 1.3.4 单片机的应用 .....            | 21 |
| 习题 1 .....                    | 23 |
| 第 2 章 MCS-51 系列单片机的系统结构 ..... | 25 |
| 2.1 总体概述 .....                | 25 |
| 2.1.1 主要特性 .....              | 25 |
| 2.1.2 内部结构 .....              | 27 |
| 2.1.3 引脚图和逻辑符号图 .....         | 28 |
| 2.2 中央处理器 .....               | 29 |
| 2.2.1 运算器 .....               | 29 |
| 2.2.2 定时控制部件 .....            | 30 |
| 2.2.3 专用寄存器组 .....            | 30 |
| 2.2.4 振荡器和 CPU 时序 .....       | 34 |
| 2.3 存储器 .....                 | 37 |
| 2.3.1 程序存储器 .....             | 38 |
| 2.3.2 内部数据存储器 .....           | 38 |
| 2.3.3 位存储器 .....              | 39 |

|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
| 2.3.4 | 特殊功能寄存器 FSR .....       | 39 |
| 2.3.5 | 外部 RAM .....            | 41 |
| 2.4   | 并行输入输出端口 .....          | 42 |
| 2.4.1 | P0 口的结构 .....           | 42 |
| 2.4.2 | P1 口的结构 .....           | 43 |
| 2.4.3 | P2 口的结构 .....           | 44 |
| 2.4.4 | P3 口的结构 .....           | 45 |
| 2.4.5 | 端口的驱动能力与使用 .....        | 46 |
| 2.5   | 定时器/计数器 .....           | 46 |
| 2.5.1 | 定时器/计数器的结构 .....        | 46 |
| 2.5.2 | 定时器/计数器的控制寄存器 .....     | 47 |
| 2.5.3 | 定时器/计数器的工作模式 .....      | 49 |
| 2.5.4 | 定时器/计数器常数的计算 .....      | 51 |
| 2.6   | 串行输入输出端口 .....          | 52 |
| 2.6.1 | 串行口的组成和特点 .....         | 54 |
| 2.6.2 | 串行口的工作方式 .....          | 55 |
| 2.6.3 | 波特率 .....               | 59 |
| 2.6.4 | 多机通信 .....              | 60 |
| 2.7   | 中断系统 .....              | 61 |
| 2.7.1 | MCS-51 单片机中断系统结构 .....  | 61 |
| 2.7.2 | 中断系统的控制寄存器 .....        | 63 |
| 2.7.3 | 中断系统的响应过程 .....         | 65 |
| 2.8   | 特殊工作方式 .....            | 65 |
| 2.8.1 | 复位方式 .....              | 66 |
| 2.8.2 | 程序执行方式 .....            | 67 |
| 2.8.3 | 节电工作方式 .....            | 68 |
| 2.8.4 | 编程和校验方式 .....           | 70 |
|       | 习题 2 .....              | 72 |
| 第 3 章 | MCS-51 系列单片机的指令系统 ..... | 74 |
| 3.1   | 指令系统 .....              | 74 |
| 3.1.1 | 基本概念 .....              | 74 |
| 3.1.2 | MCS-51 系列单片机的指令系统 ..... | 75 |
| 3.1.3 | MCS-51 系列单片机的指令类型 ..... | 76 |
| 3.1.4 | 指令描述符号介绍 .....          | 76 |
| 3.2   | 寻址方式 .....              | 77 |
| 3.2.1 | 立即寻址 .....              | 77 |
| 3.2.2 | 直接寻址 .....              | 78 |
| 3.2.3 | 寄存器寻址 .....             | 78 |
| 3.2.4 | 寄存器间接寻址 .....           | 78 |

|       |                        |     |
|-------|------------------------|-----|
| 3.2.5 | 变址寻址 .....             | 79  |
| 3.2.6 | 相对寻址 .....             | 80  |
| 3.2.7 | 位寻址 .....              | 81  |
| 3.3   | 数据传送类指令 .....          | 81  |
| 3.3.1 | 内部数据传送指令 .....         | 81  |
| 3.3.2 | 外部数据存储器传送指令 .....      | 84  |
| 3.3.3 | 查表指令 .....             | 85  |
| 3.3.4 | 数据传送类指令汇总 .....        | 85  |
| 3.4   | 算术操作类指令 .....          | 86  |
| 3.4.1 | 加法指令 .....             | 86  |
| 3.4.2 | 减法指令 .....             | 88  |
| 3.4.3 | 乘法指令 .....             | 88  |
| 3.4.4 | 除法指令 .....             | 89  |
| 3.4.5 | 十进制调整指令 .....          | 89  |
| 3.4.6 | 算术操作类指令汇总 .....        | 90  |
| 3.5   | 逻辑操作类指令 .....          | 90  |
| 3.5.1 | 与指令 .....              | 91  |
| 3.5.2 | 或指令 .....              | 91  |
| 3.5.3 | 异或指令 .....             | 91  |
| 3.5.4 | 累加器 A 的逻辑操作指令 .....    | 91  |
| 3.5.5 | 逻辑操作类指令汇总 .....        | 92  |
| 3.6   | 位操作指令 .....            | 93  |
| 3.6.1 | 位变量传送指令 .....          | 93  |
| 3.6.2 | 位状态修改指令 .....          | 94  |
| 3.6.3 | 位变量逻辑操作指令 .....        | 94  |
| 3.6.4 | 位转移指令 .....            | 94  |
| 3.6.5 | 位操作类指令汇总 .....         | 95  |
| 3.7   | 程序转移类指令 .....          | 96  |
| 3.7.1 | 无条件转移指令 .....          | 96  |
| 3.7.2 | 条件转移指令 .....           | 97  |
| 3.7.3 | 调用子程序及返回指令 .....       | 99  |
| 3.7.4 | 空操作指令 .....            | 100 |
| 3.7.5 | 程序转移类指令汇总 .....        | 100 |
| 3.8   | 指令的应用 .....            | 101 |
| 3.8.1 | 数据传送类指令的应用 .....       | 101 |
| 3.8.2 | 算术运算类指令的应用 .....       | 102 |
| 3.8.3 | 条件转移类指令的应用 .....       | 103 |
| 3.8.4 | 位操作类指令的应用 .....        | 104 |
| 3.8.5 | 定时器/计数器与中断系统应用举例 ..... | 105 |

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 3.8.6 串口通信的应用 .....                                    | 108 |
| 习题 3 .....                                             | 112 |
| <b>第 4 章 汇编语言程序设计基础</b> .....                          | 116 |
| 4.1 汇编语言源程序的格式 .....                                   | 117 |
| 4.2 伪指令 .....                                          | 118 |
| 4.3 顺序程序设计 .....                                       | 121 |
| 4.4 循环程序 .....                                         | 122 |
| 4.5 分支程序 .....                                         | 126 |
| 4.6 子程序 .....                                          | 129 |
| 4.7 程序设计举例 .....                                       | 132 |
| 习题 4 .....                                             | 141 |
| <b>第 5 章 单片机的系统扩展</b> .....                            | 142 |
| 5.1 MCS-51 单片机系统扩展方法 .....                             | 142 |
| 5.1.1 地址总线 .....                                       | 143 |
| 5.1.2 数据总线 .....                                       | 144 |
| 5.1.3 控制总线 .....                                       | 144 |
| 5.2 程序存储器的扩展 .....                                     | 145 |
| 5.2.1 程序存储器的一般连接方式 .....                               | 145 |
| 5.2.2 EPROM 扩展电路 .....                                 | 145 |
| 5.3 数据存储器的扩展 .....                                     | 150 |
| 5.4 E <sup>2</sup> PROM 的扩展 .....                      | 153 |
| 5.4.1 E <sup>2</sup> PROM 的工作方式 .....                  | 154 |
| 5.4.2 单片机外扩 E <sup>2</sup> PROM 的方法 .....              | 156 |
| 5.5 输入输出接口的扩展 .....                                    | 158 |
| 5.5.1 用 TTL 芯片的扩展 .....                                | 159 |
| 5.5.2 可编程接口芯片的扩展 .....                                 | 160 |
| 习题 5 .....                                             | 175 |
| <b>第 6 章 单片机接口技术</b> .....                             | 176 |
| 6.1 D/A 转换器及接口技术 .....                                 | 177 |
| 6.1.1 D/A 转换的基本原理 .....                                | 177 |
| 6.1.2 通用 D/A 转换器 DAC0832 .....                         | 179 |
| 6.1.3 DAC0832 芯片与 MCU 的连接 .....                        | 181 |
| 6.2 A/D 转换器及接口技术 .....                                 | 183 |
| 6.2.1 并行 A/D 转换器 ADC0809 .....                         | 183 |
| 6.2.2 $\Sigma$ - $\Delta$ A/D 转换器 AD7705/06 及其应用 ..... | 186 |
| 6.3 键盘接口技术 .....                                       | 191 |
| 6.3.1 独立式键盘接口 .....                                    | 191 |
| 6.3.2 行列式键盘 .....                                      | 191 |
| 6.4 LED 显示器接口 .....                                    | 196 |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 6.4.1 LED 显示器结构与原理           | 196        |
| 6.4.2 LED 显示器接口实例            | 199        |
| 习题 6                         | 205        |
| <b>第 7 章 MCS-51 型单片机应用举例</b> | <b>206</b> |
| 7.1 应用实例 1 数据采集及处理系统         | 206        |
| 7.1.1 系统要求                   | 206        |
| 7.1.2 硬件设计                   | 207        |
| 7.1.3 软件设计                   | 210        |
| 7.2 应用实例 2 自动剪板机顺序控制系统       | 212        |
| 7.2.1 系统要求                   | 212        |
| 7.2.2 硬件设计                   | 213        |
| 7.2.3 软件设计                   | 215        |
| 习题 7                         | 219        |
| <b>第 8 章 单片机系统开发设计方法</b>     | <b>220</b> |
| 8.1 单片机应用系统的设计               | 220        |
| 8.1.1 单片机应用系统研制过程            | 220        |
| 8.1.2 总体设计                   | 220        |
| 8.1.3 硬件设计                   | 225        |
| 8.1.4 软件设计                   | 230        |
| 8.2 单片机开发工具概述                | 231        |
| 8.2.1 开发系统的组成与功能             | 231        |
| 8.2.2 集成调试软件 MedWin 的使用      | 234        |
| 习题 8                         | 239        |
| <b>参考文献</b>                  | <b>240</b> |

# 第 1 章

## 计算机的基本组成

### 1.1 概述

#### 1.1.1 计算机的组成

##### 1. 计算机硬件系统组成

从 1946 年第一台以电子管为基本元件的计算机诞生到今天，计算机经过了几代的更新换代，已经形成了一个庞大的计算机家族。尽管计算机在应用领域、硬件配置和工作速度上有着很大的差别，然而从组成结构上来看，各种计算机的硬件结构基本上还是相同的。

任何一台计算机，其硬件都是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大功能部件组成的，其硬件结构框图如图 1-1 所示。

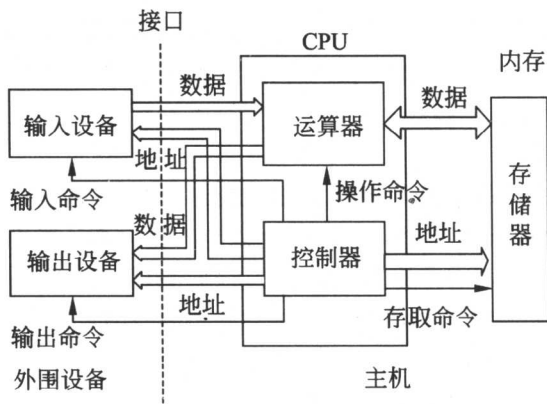


图 1-1 计算机硬件结构框图

在硬件系统中，通常把 CPU、内存以及连接主要输入输出设备的接口电路统称为主机，其他部分则称为外部设备。现在，生产厂家已能将主机制作在一块印制电路板上，这就是通常所说的主机板，简称主板。

## 2. 指令和指令系统

### (1) 指令 (instruction)

指令是指要计算机完成某个操作所发出的指示或命令, 且由计算机直接识别执行。一台计算机可以有許多指令, 作用也各不相同, 所有指令的集合称为计算机的指令系统。

指令通常包含操作码 (operation code) 和操作数 (operand) 两个部分, 操作码指明计算机应该执行的某种操作的性质与功能, 即指示计算机执行何种操作; 操作数指出参加操作的数据或数据所在单元的地址。

用机器指令编写的程序称为机器语言程序。

指令按其功能可分为两种类型: 一类是命令计算机的各个部件完成基本的算术逻辑运算、数据存取和数据传送等操作, 属于操作类指令; 另一类则是用来控制程序本身的执行顺序, 实现程序的分支、转移等操作, 属于控制转移类指令。

### (2) 指令系统

指令系统能具体而集中的体现计算机的基本功能。从计算机系统结构的角度看, 指令系统是软件和硬件的界面, 指令是对计算机进行程序控制的最小单位。

指令系统的内核是硬件, 当一台机器指令系统确定之后, 硬件设计师根据指令系统的约束条件构造硬件组织, 由硬件支持指令系统使其功能得以实现。而软件设计师在指令系统的基础上建立程序系统, 扩充和发挥机器的功能。

对不同种类的机器而言, 指令系统的指令数目与种类呈现出比较大的差异。指令系统决定了计算机的能力, 也影响着计算机的体系结构。一台计算机的指令种类总是有限的, 但在人们的精心设计下, 可以编制出各式各样的程序。计算机的能力固然取决于它自身的性能, 但更取决于编程人员的聪明才智。

## 3. 计算机软件概述

所谓软件, 就是计算机用户把要求计算机执行的各种操作按照一定的格式编写成的命令集。有了软件, 计算机就能脱离人的直接干预自动进行运算和处理。计算机在运行时, 预先将相应的软件存入计算机的存储器中, 这些软件称为用户程序 (又称源程序), 然后再用编译的方法或解释的方法把源程序翻译成计算机能够认识的机器指令 (又称目标程序), 并执行该机器指令。

### (1) 机器语言

所谓机器语言, 是指能为计算机识别的指令代码, 它是一组二进制代码, 每一种计算机都有一种指令代码集。指令代码的功能越丰富, 则计算机的性能越好, 能执行操作的种类越多。由于机器语言的形式是以二进制代码出现的, 所以对于一般的人员来说, 辨认它很不方便, 即使是专业人员要认识它并熟练地用它进行编程也不是一件容易的事, 因此机器语言被称为低级语言。

### (2) 高级语言

为了克服低级语言的不易认识的缺点, 人们用英文字符按一定的格式组成命令符号来代替机器语言的二进制代码。由于英文的命令符号的形式可以组合得很接近实际命令的意思, 所以这一类的命令容易记忆, 也容易理解, 因此称为高级语言。显然, 要使计算机能够执行用高级语言编写出来的命令程序, 计算机在执行该程序之前, 就要把高级语言编写的程序翻译成计算机能够辨认的机器语言。

#### 4. 微型计算机结构特点

计算机通常分成大、中、小和微型计算机。

微型计算机（简称微型机，微机）与一般大、中、小型计算机并无本质区别，但微型机有自己的特点，主要表现在两个方面。

##### (1) 采用微处理器作为 CPU

微处理器是采用大规模或超大规模集成电路技术将运算器和控制器集成在一块芯片上，各种类型的微型机均采用微处理器作为 CPU。此外，内存存储器、接口电路也采用大规模集成电路器件，从而使微型机的主机可由为数不多的几块芯片组装而成，使微型机体积小、重量轻、成本低、工作可靠。

##### (2) 采用总线实现系统连接

所谓总线（BUS）是指信号线的集合，通过总线可以实现相互的信息或数据交换。在微型机中，各个有联系的部件不是单独地使用导线连接，而是连到总线上，这就使部件间的通信关系变成面向总线的单一关系，所以总线是各部件共用的。采用总线结构，简化了连线，增加了可靠性，并便于部件和设备的扩充，尤其是制定了统一的总线标准后，不同设备之间容易实现互连。

根据总线上传送信息的不同，微型机中的总线分为数据总线（data bus, DB）、地址总线（address bus, AB）和控制总线（control bus, CB）。

##### • 数据总线

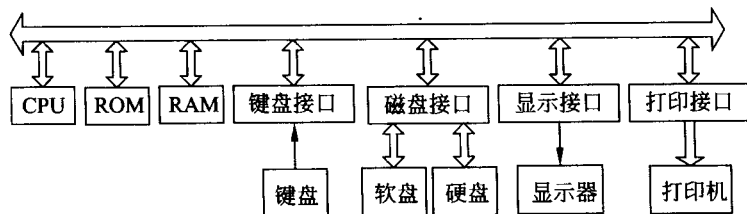
一般是双向三态控制，用来实现 CPU、存储器和 I/O 设备之间的数据交换。数据总线的宽度一般与 CPU 的字长相同。

##### • 地址总线

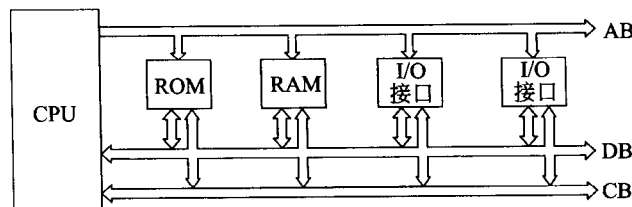
一般是单向三态控制。地址信息由 CPU 发出，通过地址总线传送到存储器或 I/O 接口，指出相应的存储单元或 I/O 设备。

##### • 控制总线

主要用于传送由 CPU 发出的对存储器和 I/O 接口进行控制的信号，以及这些接口芯片对 CPU 的应答、请求等信号。图 1-2 所示的是以总线形式表示的微型机结构图。



(a) 总线结构示意图



(b) 3 种总线传送方向示意图

图 1-2 微型机总线结构图

图 1-2 (a) 体现了各部件通过总线相连的情况, 图 1-2 (b) 则以 3 种总线明确指出不同信息及其传送方向。

## 1.1.2 运算器

运算器是对数据进行运算的部件, 它能够快速地对数据进行加、减、乘、除等基本算术运算以及“与”、“或”、“非”等逻辑运算。在运算过程中, 运算器不断得到由存储器提供的数据, 运算后把结果(包括中间结果)送回存储器保存起来。整个运算过程是在控制器统一指挥下, 按程序中编排的操作次序进行的。

运算器主要由算术逻辑单元(arithmetic logic unit, ALU)、寄存器(包括通用寄存器、暂存寄存器、标志寄存器等)以及一些控制数据传送的电路组成。算术逻辑单元是运算器中实现算术和逻辑运算的电路; 寄存器是运算器中的数据暂存器, 在运算器中往往设置多个寄存器, 每个寄存器能够保存一个数据。寄存器可以直接为算术逻辑单元提供参加运算的数据, 运算的中间结果也可以保存在寄存器中。这样, 一个简单的运算过程就可以在运算器内部完成, 避免了频繁地访问存储器, 从而提高了运算速度。运算器中还设有标志寄存器, 它用来存放运算结果的特征, 如进位标志(C)、零标志(Z)、符号标志(S)等。在不同的机器中, 标志寄存器的标志位有不同的规定。

## 1.1.3 控制器

控制器是计算机的控制中心, 计算机的工作就是在控制器的控制下有条不紊地协调进行的。控制器通过地址访问内存储器, 逐条取出选中单元的指令, 然后分析指令, 并根据指令产生相应的控制信号作用于其他部件, 控制这些部件完成指令所要求的操作。上述过程周而复始, 保证了计算机能自动、连续地工作。

控制器主要由程序计数器(program counter, PC)、指令寄存器(instruction register, IR)、指令译码器(instruction decoder, ID)、时序电路及操作控制器等电路组成。当计算机执行程序时, 程序计数器中保存的是要执行的下一条指令的地址, 控制器根据这个地址, 从内存中取出指令并送入指令寄存器。指令译码器对指令寄存器中的指令代码进行分析后, 发出各种相应的操作命令, 指挥计算机的有关部件进行工作, 比如一次内存读写操作, 一个算术/逻辑运算操作, 或一个输入输出操作等。

程序计数器是控制器中的一个重要部件, 它的功能是指示程序的执行顺序。在取指令阶段, 它保留本条指令的地址; 当指令执行完成后, 它存放的是下一条将要执行的指令地址。程序计数器的位长一般是能表示内存的最大容量。下一条指令地址的形成有两种可能, 一种是顺序执行, 下一条指令地址通过指令计数器自动加 1 完成; 另一种是通过转移指令形成下一条指令地址。

通常将运算器和控制器合在一起称为中央处理单元(central processing unit, CPU), CPU 是计算机的核心部件, 在生产制作时将其集成在一块芯片里。

## 1.1.4 存储器

### 1. 内存和外存

存储器是用来存放信息的部件。计算机的存储器可分为内存储器（简称内存，也称主存储器）和外存储器（简称外存，也称辅助存储器）。

内存直接与 CPU 相连，可由 CPU 直接读写信息，是 CPU 能根据地址线直接寻址的存储空间。它一般用来存放正在执行的程序或正在处理的数据。由于内存的数据交换非常频繁，因此内存的速度会直接影响整机的性能。目前的内存大都是由半导体存储器芯片组成的，其特点是体积小、耗电低、存取速度快、可靠性好，并且集成度越来越高，而成本越来越低，因此，即使是个人微机也可配置较大的内存（如 64MB 或 256MB）。

外存储器不能与 CPU 直接交换信息，CPU 需按输入输出方式访问这部分存储空间。外存一般用来存放暂时不用但又需长期保留的程序或数据。存放在外存的程序必须调入内存后才能运行。外存一般是由磁性介质材料（如磁盘、磁带）或光盘制成的，其中存放的信息不会因断电而丢失。与内存相比，外存的存储容量较大，价格也相对便宜，但存取速度较慢。常用的外存有软盘、硬盘、磁带及光盘等。

### 2. 半导体存储器的分类

目前各类计算机的内存普遍采用半导体存储器，从不同的角度可以对半导体存储器进行不同的分类。

（1）按读写功能来划分，半导体存储器可分为只读存储器和随机存储器。

只读存储器简称 ROM（read only memory），它需要预先写入程序或数据，写入的程序称为固化程序，具有很高的可靠性。ROM 的特点是在计算机正常工作时，其内容可以反复被读出，但不能改写，掉电后片内信息不会丢失。只读存储器适用于数据写入后不变或极少需要改变的应用场合，如存放字库、固定的数据和程序等。

只读存储器又分为掩模、可编程、可擦写可编程等多种类型。

随机存储器简称 RAM（random access memory），其特点是在计算机正常工作时，可随时对存储器写入或读出信息，读写信息的时间和地址都是任意的、无关的。但 RAM 中存储的信息在掉电后会丢失。随机存储器常用于存放频繁访问或频繁更新的程序或数据，计算机的内存就是由随机存储器构成的。

（2）按半导体制造工艺来划分，半导体存储器可分为双极型和 MOS 型存储器。

双极型存储器是用晶体管-晶体管逻辑电路（TTL）做成的，一般为随机存储器。其特点是工作速度快，但功耗大、集成度低，且工艺较复杂，主要用作高速缓存、超高速计算机的主存等。

MOS 型（metal oxide semiconductor）存储器是用金属氧化物半导体管制成的，其特点是功耗小、集成度高，但速度略低于双极型存储器，是当前计算机内存的主要芯片。

（3）按信息保存方式来划分，半导体存储器可分为静态随机存储器与动态随机存储器。

静态随机存储器（SRAM）不需要刷新，即在通电状态下，只要不写入新的信息，信息始终保持不变。静态随机存储器的电路设计简单，但其集成度要低于动态随机存储器，且成本较高。常用于小容量或高速的存储系统，如高速缓存、视频存储器等。

动态随机存储器 (DRAM) 所存放的信息将随时间而衰减, 所以必须定时刷新。由于动态随机存储器必须设计相应的刷新电路, 因此其结构和实现上均比静态随机存储器复杂, 并且刷新时, 存储器处于占用状态, 不能读写, 因此对总体性能有一定的影响。不过由于动态随机存储器具有容量大、集成度高、价格低等优点, 它仍是当前计算机内存采用的主要芯片。

综上所述, 半导体存储器的类型可归纳为如图 1-3 所示。

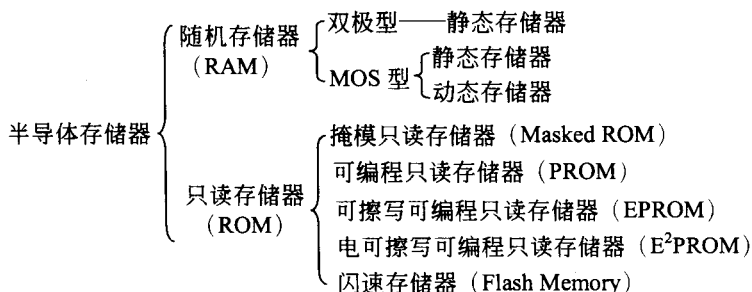


图 1-3 半导体存储器的分类

现代微型计算机为追求更大容量的内存空间, RAM 主要采用动态 MOS 器件, ROM 空间也有逐渐增大之势, 利用它的掉电不丢失性可以固化一些系统软件。

### 3. 存储器的主要技术指标

#### (1) 存储容量

存储容量是指存储器所能存取的二进制信息的位数, 一般以字节为单位。一个字节(byte, 简称为 B) 可以存放 8 位 (bit, 简称为 b) 二进制数。在此基础上, 有下面的换算关系:

$$1\text{KB} = 2^{10}\text{B} = 1024\text{B}$$

$$1\text{MB} = 2^{10}\text{KB} = 1024\text{KB}$$

$$1\text{GB} = 2^{10}\text{MB} = 1024\text{MB}$$

例如, 16MB 内存容量表示可以存放  $8 \times 16 \times 2^{20}$  位二进制信息。

#### (2) 存取时间

存取时间指存取一个数据所需的时间, 即指读、写周期, 它直接影响到计算机的运行速度。现阶段半导体存储器的存取时间已达几十纳秒。

#### (3) 可靠性

存储器用来存放程序和数据, 要求工作时有很高的可靠性, 即每个单元的每一个位存储单元均能正确无误地存取二进制信息, 否则计算机将无法正常工作。通常, 计算机加电后, 首先对内存每个单元进行检查, 正确后才可继续工作。

#### (4) 功耗

一般是指每个存储单元或每个芯片的功耗。该指标关系到芯片的集成度、组装和散热等问题。通常产品技术参数手册中会给出工作功耗和维持功耗。

## 1.1.5 输入输出接口电路

微型计算机与外围设备之间的数据传送称为输入输出 (I/O)。输入输出设备是用来输入、输出程序 and 数据的部件, 微型计算机是通过输入输出接口电路与输入输出设备相