

全国高等职业教育规划教材

新
版

单片机原理与 控制技术

第2版

◎张志良 主编



提供电子教案增值服务



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

单片机原理与控制技术

第2版

张志良 主编



机械工业出版社

本书内容包括：微机系统基本知识，80C51 单片机内部结构和工作原理，指令系统，中断、定时/计数器和串行口，并、串行扩展，常用外围设备接口以及单片机应用系统的开发、设计和应用实例。

根据职业技术教育的要求和学生特点，本书降低了理论深度和难度，尽量做到内容精炼，突出重点，图文并茂。书中选编了很多例题和习题，便于教学和自学。另有与本书配套的《单片机学习指导与习题解答》。

本书可作为高等职业技术教育电子类专业“单片机原理与应用”课程教材，并可供工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与控制技术/张志良主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2005.3 (2011.6 重印)

(全国高等职业教育规划教材)

ISBN 978-7-111-08314-6

I. 单… II. 张… III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校：技术学校—教材②单片微型计算机—计算机控制—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 (2004) 第 111318 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：胡毓坚

责任编辑：王 颖 版式设计：霍永明

责任校对：吴美英 责任印制：乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 6 月第 2 版·第 16 次印刷

184mm×260mm·19.5 印张·480 千字

93001-98000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-08314-6

定价：36.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子技术专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳
俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬
任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪	邓 红	王树忠	王新新	尹立贤
白直灿	包中婷	冯满顺	华天京	吉雪峰
刘美玲	刘 涛	孙吉云	孙津平	朱晓红
李菊芳	邢树忠	陈子聪	杨元挺	张立群
张锡平	苟爱梅	姚建永	曹 毅	崔金辉
黄永定	章大钧	彭文敏	曾日波	谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《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》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

随着单片机技术的飞速发展，本书第1版中的部分内容已不能适应教学的需要，本次改版，主要体现在以下三个方面：

1) 以80C51代替第1版中MCS-51和8031（虽然两者并无本质区别）。

80C51系列单片机源于Intel公司的MCS-51系列。Intel公司将MCS-51系列单片机技术开放以后，世界上许多知名芯片制造厂商，如Philips、Dallas、Siemens、ATMEL、华邦、LG等都以MCS-51中的80C51为基核，推出了许多各具特色和性能优异的单片机，其引脚和指令系统与80C51兼容，几乎形成了事实上的8位单片机标准MCU芯片。由于80C51具有高性能价格比、开发装置多而成熟、国内技术人员熟悉、芯片功能够用适用等特点，再加上世界知名厂商加盟。编者估计，80C51可能还有10年以上的应用寿命。

2) 突出串行扩展技术，压缩精简并行扩展内容。

近年来，单片机广泛使用在片ROM技术，除了OTPROM，MaskROM外，大量使用FlashROM。并行扩展EPROM和E²PROM在实际应用中已很少见，使单片机成为名副其实的“单片”机。腾出了P0口和P2口作为用户I/O口，用户一般不需并行扩展I/O口。目前，串行扩展技术已成为流行的扩展方式。串行扩展具有方便、灵活、电路系统简单，占用I/O口资源少等优点。因此第2版将第1版中的并行扩展ROM、RAM和I/O口有关内容压缩精简，同时增添了串行扩展技术，包括A/D、D/A、显示、键盘等常用接口的串行应用技术。

3) 从教学角度出发，力求编成一本学生易学，老师愿意选用的教材。

众所周知，单片机是一门难教难学的课程，为适应这一情况，适当降低教材的理论深度和难度，精选内容，突出重点，多用图表，多举例题，多编适用习题，对于学生不易理解和容易混淆的概念，讲细讲透，便于自学，力求编成一本学生易学、老师愿意选用的教材。

改版时增加了一些浅显易懂的例题（例题中的程序指令几乎每条都给出了注释）。在一段教学内容后，增加了相应的课堂练习题，帮助学生进一步理解和掌握巩固教学内容。同时扩编了大量不同难度的习题，供教师选用。需要说明的是，课堂练习题与习题均属习题性质，相对来说，课堂练习题更有针对性，更重要些。

本书第1版由张志良主编，马彪主审，其中1.1节及第8章由朱旭平编写；1.2~1.4节及第2章由陈玉华编写；第3、4章由任条娟编写；第5、6、7、9、10章由张志良编写。第2版在第1版基础上由张志良修改。

另外，编者还编写了与第2版配套的《单片机学习指导与习题解答》，给出了全部课堂练习题和习题的解答。

为了配合本书的教学，机械工业出版社为读者提供了电子教案，读者可在www.cmpedu.com上下载。

限于编者水平和单片机技术飞速发展，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 微型计算机系统基本知识 1

1.1 概述 1

1.1.1 微型计算机 1

1.1.2 微型计算机的发展概况 2

1.1.3 单片机的发展概况 2

1.1.4 80C51 系列单片机 4

1.1.5 单片机的特点和应用 4

1.1.6 单片机技术的发展趋势 5

1.2 单片机系统的组成 7

1.2.1 微处理器 (CPU) 8

1.2.2 总线 9

1.2.3 存储器 9

1.2.4 输入/输出设备及其接口电路 12

1.2.5 单片机系统的软件 12

1.3 计算机中数的表示方法 及运算 12

1.3.1 二进制、十进制和十六进制数 13

1.3.2 数制转换 14

1.3.3 二进制数和十六进制数运算 17

1.3.4 原码、反码和补码 20

1.4 常用编码 23

1.4.1 8421 BCD 码 23

1.4.2 ASCII 码 25

1.5 习题 27

第 2 章 80C51 单片机内部结构 和工作原理 29

2.1 内部结构和引脚功能 29

2.1.1 内部结构 29

2.1.2 引脚功能 30

2.2 存储空间配置和功能 32

2.2.1 程序存储器 (ROM) 33

2.2.2 外部数据存储器 (外 RAM) 33

2.2.3 内部数据存储器 (内 RAM) 34

2.2.4 特殊功能寄存器 (SFR) 35

2.2.5 程序计数器 PC 38

2.3 I/O 端口结构及工作原理 38

2.3.1 P0 口 39

2.3.2 P1 口 40

2.3.3 P2 口 40

2.3.4 P3 口 41

2.4 时钟和时序 41

2.4.1 时钟电路 41

2.4.2 时钟周期和机器周期 42

2.4.3 一般指令取指/执行时序 43

2.4.4 读外 ROM 时序 43

2.4.5 读写外 RAM 时序 44

2.5 复位和低功耗工作方式 45

2.5.1 复位方式 45

2.5.2 低功耗工作方式 46

2.6 AT89C51 系列单片机 47

2.6.1 AT89C51 系列单片机 48

2.6.2 AT89C2051 系列单片机 49

2.7 习题 50

第 3 章 80C51 系列单片机

指令系统 51

3.1 指令系统基本概念 51

3.1.1 指令基本格式 51

3.1.2 指令分类 52

3.1.3 指令系统中的常用符号 52

3.1.4 寻址方式 53

3.2 指令系统 55

3.2.1 数据传送类指令 55

3.2.2 算术运算类指令 65

3.2.3 逻辑运算及移位指令 72

3.2.4 位操作类指令 77

3.2.5 控制转移类指令 79

3.3 习题 89

第 4 章 汇编语言程序设计 97

4.1 汇编语言程序设计基本概念 97

4.1.1 汇编语言及其语句结构 97

4.1.2 伪指令	97	7.1.2 并行扩展寻址方式	166
4.1.3 汇编	99	7.2 并行扩展外 ROM	170
4.1.4 程序设计的基本方法	100	7.2.1 并行扩展 EPROM	170
4.2 程序设计举例	101	7.2.2 并行扩展 E ² PROM	172
4.2.1 顺序程序	101	7.3 并行扩展外 RAM	176
4.2.2 分支程序	103	7.4 用 74 系列芯片并行扩展	
4.2.3 循环程序	106	I/O 口	178
4.2.4 查表程序	112	7.4.1 74373 扩展输入口	179
4.2.5 散转程序	114	7.4.2 74377 扩展输出口	180
4.3 习题	115	7.4.3 扩展总线驱动能力	181
第 5 章 中断系统和定时/计数器	118	7.5 并行扩展 I/O 口可	
5.1 80C51 中断系统	118	编程芯片介绍	182
5.1.1 中断概述	118	7.6 习题	184
5.1.2 中断源和中断控制寄存器	119	第 8 章 80C51 串行扩展技术	186
5.1.3 中断处理过程	122	8.1 串行扩展概述	186
5.1.4 中断响应等待时间	124	8.1.1 串行扩展特点	186
5.1.5 中断请求的撤除	124	8.1.2 串行扩展方式分类	187
5.1.6 中断优先控制和中断嵌套	125	8.1.3 虚拟串行扩展概念	188
5.1.7 中断系统的应用	126	8.2 80C51 移位寄存器串行扩展	
5.2 80C51 定时/计数器	131	技术	188
5.2.1 定时/计数器概述	131	8.2.1 移位寄存器串行扩展方式	188
5.2.2 定时/计数器的控制寄存器	131	8.2.2 串行方式 0 归一化子程序	189
5.2.3 定时/计数器工作方式	133	8.2.3 80C51 I/O 虚拟串行接口	191
5.2.4 定时/计数器的应用	134	8.2.4 移位寄存器串行扩展应用	193
5.3 习题	143	8.3 I ² C 总线串行扩展技术	194
第 6 章 串行通信	146	8.3.1 I ² C 总线串行扩展概述	194
6.1 串行通信概述	146	8.3.2 80C51 单主系统虚拟 I ² C	
6.1.1 异步通信和同步通信	146	总线软件包	197
6.1.2 串行通信波特率	147	8.4 虚拟 I ² C 总线扩展 I/O 口	202
6.1.3 串行通信的制式	147	8.4.1 I ² C 总线扩展 I/O 口通用	
6.1.4 串行通信的校验	148	器件 PCF8574	202
6.2 80C51 串行口	149	8.4.2 PCF8574 应用实例	203
6.2.1 串行口特殊功能寄存器	149	8.5 虚拟 I ² C 总线扩展 AT24CXX	
6.2.2 串行工作方式	150	系列 E ² PROM	204
6.3 多机通信	157	8.5.1 I ² C 总线 E ² PROM 芯片	
6.3.1 多机通信原理	157	AT24C02	204
6.3.2 多机通信应用举例	158	8.5.2 扩展 AT24C02 应用举例	205
6.4 习题	162	8.6 串行扩展 93CX6 系列	
第 7 章 80C51 并行扩展技术	165	E ² PROM	208
7.1 并行扩展概述	165	8.6.1 AT93C46 特点、引脚功能和	
7.1.1 并行扩展连接方式	165	指令系统	208

8.6.2	AT93C46 读写应用	209	10.1	单片机应用系统的设计	255
8.7	习题	213	10.1.1	总体设计	256
第 9 章	常用外围设备接口电路	215	10.1.2	硬件设计	257
9.1	LED 数码管显示接口	216	10.1.3	软件设计	258
9.1.1	LED 数码管	216	10.1.4	抗干扰设计	259
9.1.2	LED 数码管编码方式	216	10.2	单片机应用系统的开发	
9.1.3	静态显示方式及其典型 应用电路	218	工具	261	
9.1.4	动态显示方式及其典型 应用电路	221	10.2.1	开发工具概述	261
9.1.5	虚拟 I ² C 总线串行显示电路	223	10.2.2	单片机开发系统的功能	262
9.2	键盘接口	226	10.2.3	单片机应用系统的调试	264
9.2.1	键盘接口概述	226	10.3	单片机温度控制系统	
9.2.2	独立式按键及其接口电路	228	应用实例	265	
9.2.3	矩阵式键盘及其接口电路	230	10.3.1	系统要求和控温方案	266
9.3	A/D 转换接口电路	234	10.3.2	硬件设计	266
9.3.1	A/D 转换的基本概念	234	10.3.3	软件设计	268
9.3.2	并行 A/D ADC0809 及其 接口电路	235	10.3.4	改进提高	271
9.3.3	串行 A/D ADC0832 及其 接口电路	239	10.4	汽车倒车测距仪应用实例	272
9.3.4	I ² C 串行 A/D 典型应用电路	241	10.4.1	工作原理	272
9.4	D/A 转换接口电路	243	10.4.2	硬件电路	272
9.4.1	D/A 转换的基本概念	243	10.4.3	软件程序	274
9.4.2	DAC0832 及其接口电路	244	10.5	大电流正弦波稳流电源	
9.4.3	DAC0832 应用实例	246	控制实例	278	
9.4.4	I ² C 串行 D/A 典型应用电路	248	10.5.1	概述	278
9.5	开关量驱动输出接口电路	249	10.5.2	主控电路工作原理	278
9.5.1	驱动发光二极管	249	10.5.3	单片机控制电路	280
9.5.2	驱动继电器	249	10.5.4	程序设计	281
9.5.3	光电隔离接口	249	10.6	智能型即热式热水器	
9.5.4	驱动晶闸管	250	控制实例	290	
9.6	习题	251	10.6.1	控制电路和工作原理	290
第 10 章	单片机应用系统	255	10.6.2	模糊控制简介	291
			10.6.3	程序设计	292
			附录	80C51 反汇编指令表	300
			参考文献	301	

第 1 章 微型计算机系统基本知识

本章要点

- 微型计算机和单片机的发展概况
- 单片机系统组成概述（CPU、总线、存储器和 I/O 口等）
- 二进制、十进制和十六进制数（数制转换和运算）
- 计算机中数的表示（原码、反码和补码）
- 单片机常用编码（BCD 码、ASCII 码）

1.1 概述

电子计算机是 20 世纪人类最伟大的发明之一。自从 1946 年第一台电子计算机诞生以来，计算机得到了飞速的发展和广泛的应用，对人类社会的发展起到了极大的推动作用。然而，真正使计算机的应用能够深入到社会生活的各个方面，导致人类社会大步跨入电脑时代的一个重要原因，则是由于微型计算机的产生和发展。

1.1.1 微型计算机

在微型计算机出现之前，计算机已经有了很大的发展。但这时的计算机主要是大、中、小型机，体积大、功耗大、价格昂贵，只用于政府部门、大学、科研部门及一些公司企业，应用范围有限，个人更不可能拥有。

微型计算机与巨、大、中、小型计算机的主要区别是，其中央处理器 CPU（Central Processing Unit）是集成在一小片硅片上，而巨、大、中、小型计算机的 CPU 则是由相当多的电路组成的，为了与之区别，微型计算机的 CPU 也可称为微处理器 MPU（Micro Processing Unit 或 Micro Processor）。

微型计算机由于具有体积小、功耗低、重量轻、价格低、可靠性高、使用方便等一系列优点，自问世以来便得到了非常广泛的发展和应用。

随着半导体技术的发展，集成电路的集成度越来越高。1971 年 11 月，Intel 公司成功地将运算部件和逻辑控制功能部件集成在一起，制成了世界上第一片中央处理芯片——微处理器 Intel 4004。由此揭开了微型计算机发展的序幕。

微处理器（Microprocessor，通常也称为 CPU）是一种大规模集成电路器件，其中包含了计算机的控制部

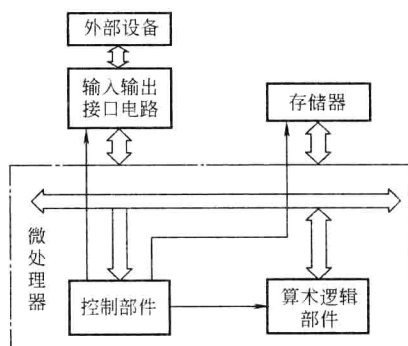


图 1-1 微型计算机的基本组成框图

件和运算部件，具有控制和运算功能。

微处理器加上同样采用大规模集成电路制成的用于存储程序和数据的存储器，以及与输入输出设备相衔接的输入输出接口电路就构成了微型计算机（Microcomputer，简称 MC）。图 1-1 是微型计算机的基本组成框图。

如果将微处理器、存储器和输入输出接口电路集成在一块集成电路芯片上，称为单片微型计算机，简称单片机。

1.1.2 微型计算机的发展概况

微型计算机的发展，按其核心器件——微处理器的功能，大致可分为两个时期：

第一时期，微处理器的发展初期。以 1971 年 Intel 公司推出 4004 开始，然后推出了 Intel 8008、8080、8085、Motorola 的 MC 6800 和 Zilog 公司的 Z80。此时的微处理器功能逐步增强，速度不断提高，已开始具有实用意义。

第二时期，微处理器飞速发展时期。从 20 世纪 70 年代中期起，微处理器开始形成两大分支，并分道扬镳。

一类是 PC 机，以 Intel 公司的 8086、80286、386、486、586、奔 II ~ 奔 IV 为代表，以满足海量高速数值计算为己任，其数据宽度不断更新，迅速从 8 位、16 位过渡到 32 位、64 位，不断完善其通用操作系统，突出发展高速海量数值计算能力，并在数据处理、模拟仿真、人工智能、图像处理、多媒体和网络通信中得到了广泛的应用。

另一类是嵌入式微处理器，也就是我们常说的单片机，以面对工业控制领域为对象，突出控制能力，实行嵌入式应用。以 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51……为代表，在工业测控系统、智能仪表、智能通信产品、智能家用电器和智能终端设备等许多领域内得到了广泛应用。

嵌入式微处理器的出现是微型计算机发展史上的一个重要里程碑。嵌入式系统和 PC 机系统形成了微型计算机技术发展的两大分支。PC 机系统全力实现海量高速数据处理，兼顾控制功能。嵌入式系统全力满足测控对象的测控功能，兼顾数据处理能力。并且，两大分支之间串行通信、优势互补，形成了网络控制系统，使功能更强大、更完善。两大分支的形成与发展，实现了近代计算机技术的突飞猛进。

1.1.3 单片机的发展概况

单片机一词最初源于“Single Chip Microcomputer”，它忠实地反映了早期单片机的形态和本质。随后按照面向对象，突出控制功能，在片内集成了许多外围电路及外设接口，突破了传统意义的计算机结构，发展成 Microcontroller 的体系结构，目前国外已普遍称之为微控制器 MCU（Micro Controller Unit）。鉴于它完全作为嵌入式应用，故又称为嵌入式微控制器。由于国内对单片机一词已约定成俗，因此仍沿用至今。但是，对“单片机”一词的理解，不应再限于“Single Chip Microcomputer”，而应接轨于国际上对单片机的标准称呼“Micro Controller Unit”（MCU）。

单片机的发展大致可分为四个阶段：

第一阶段：单片机探索阶段。以 Intel 公司 MCS-48，Motorola 公司 6801 为代表，属低档型 8 位机。

第二阶段：单片机完善阶段。以 Intel 公司 MCS-51，Motorola 公司 68HC05 为代表，属高档型 8 位机。此阶段，8 位单片机体系进一步完善，特别是 MCS-51 系列单片机在世界和我国得到了广泛的应用，奠定了它在单片机领域的经典地位，形成了事实上的 8 位单片机标准结构。

第三阶段：8 位机和 16 位机争艳阶段，也是单片机向微控制器发展的阶段。此阶段 Intel 公司推出了 16 位的 MCS-96 系列单片机，世界其他芯片制造商也纷纷推出了性能优异的 16 位单片机，但由于价格不菲，其应用面受到一定限制。相反 MCS-51 系列单片机，由于其性能价格比高，却得到了广泛的应用，并吸引了世界许多知名芯片制造厂商，竞相使用以 80C51 为内核，扩展部分测控系统中使用的电路技术、接口技术、A/D、D/A 和看门狗等功能部件，推出了许多与 80C51 兼容的 8 位单片机。强化了微控制器的特征，进一步巩固和发展了 8 位单片机的主流地位。

第四阶段：微控制器全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用，世界各大电气、半导体厂商普遍投入，出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机以及小型廉价的专用型单片机，百花齐放，全面发展，单片机已进入一个可广泛选择和全面发展的应用时代。

在我国国内，单片机也得到了广泛的应用。据笔者了解，最初是 MCS-51 系列单片机中的 8031 芯片，因其价格低廉，易于扩展而得到广泛应用。继而是 MCS-96 系列中的 8098 芯片，因其功能强大，价格相对低廉而一度被广泛用于代替 8031。目前，在国内广泛应用的芯片是 80C51 系列，其中 ATMEL 公司生产的具有 Flash ROM 的 AT89 系列芯片最为流行。需要指出的是，近年来美国 Microchip 公司生产的具有 RISC（精简指令集计算机）体系结构的 PIC 系列 8 位微控制器异军突起，其高速、低工作电压、低功耗、强驱动能力、低价位、小体积、多品种和指令简单易学等特点获得了技术人员的青睐，其市场份额逐年提高，大有与 80C51 系列单片机一争雌雄的趋势。

从应用的角度来看，单片机大致可分为以下几类：

（1）通用型/专用型

所谓通用/专用，是指其应用范围。如 80C51，属于通用型单片机，它不是为某种专门用途设计的。还有一些单片机是针对某一类产品，甚至某一个产品而设计生产的，如 VCD、DVD 以及 PC 机声卡、显卡中的 CPU 芯片。专用型单片机可最大限度地简化系统结构，提高资源利用率，降低成本。目前，开发专用型芯片是单片机发展的一个重要分支。

（2）总线型/非总线型

总线型单片机普遍设置有并行地址总线、数据总线和控制总线，这些引脚可以用来并行扩展外围器件。

非总线型单片机从使用角度可分为两类，一类是有并行总线但不并行扩展，原用于并行扩展的地址总线、数据总线引脚直接用于 I/O 口，即使需要扩展也通过串行口扩展；另一类是将需要的外围器件及外设接口直接集成在单片机内，省去原用于并行扩展的地址总线、数据总线和无用的控制端线，这样减少了芯片引脚数和芯片体积。

由于串行扩展技术的发展，以及在片 Flash ROM 的应用，非总线型单片机逐渐成为单片机发展的主流方向。

（3）CISC/RISC 指令结构

早期的单片机大多是 CISC 结构体系，指令复杂，指令代码、周期数不统一，因此指令运行很难实现流水线操作，大大阻碍了运行速度的提高，如 MCS-51 系列单片机。

采用 RISC 结构体系，精简指令后绝大部分成为单周期指令，而且通过增加程序存储器的宽度，实现一个存储地址单元存放一条指令，从而实现流水线操作，在 fosc 相同的条件下，大大提高了指令运行的速度，如 PIC 系列单片机。

据笔者推测，RISC 结构体系的 PIC 单片机有望替代 CISC 结构的 80C51 系列单片机，成为单片机应用主流。

(4) OTPROM 型/EPROM 型/Flash ROM 型

单片机的片内 ROM 主要有以下几种形式：Mask ROM、OTPROM、EPROM 和 Flash ROM。MaskROM 和 OTPROM 仅适用于大批量生产的成熟产品。在开发阶段或中小批量生产的产品，一般用 EPROM 或 Flash ROM，早期的单片机系统多用 EPROM 或 E²PROM，但由于其价贵和使用不便，EPROM 和 E²PROM 已逐渐退出。Flash ROM 因其可多次编程擦写，价廉且使用方便，目前已成为应用的主流品种。

1.1.4 80C51 系列单片机

80C51 单片机属于 Intel 公司 MCS-51 系列单片机，MCS-51 系列单片机最初是 HMOS 制造工艺，其芯片根据片内 ROM 结构可分为 8031（片内无 ROM），8051（片内有 4KB 掩膜 ROM），8751（片内有 4KB EPROM），统称为 51 系列单片机。其后又有增强型 52 系列，包括 8032、8052、8752 等。

HMOS 工艺的缺点是功耗较大，随着 CMOS 工艺的发展，Intel 公司生产了 CHMOS 工艺的 80C51 芯片，大大降低了功耗，并引入了低功耗管理模式，使低功耗具有可控性。CHMOS 工艺的 80C51 芯片，根据片内 ROM 结构，也有 80C31、80C51、87C51 三种类型，引脚与 51 系列兼容，指令相同。

随后，Intel 公司将 80C51 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、NEC、Atmel、AMD、Dallas、siemens、Fujitsu、OKI、华邦、LG 等。在保持与 80C51 单片机兼容的基础上，这些公司融入了自身的优势，扩展了针对满足不同测控对象要求的外围电路，如满足模拟量输入的 A/D、满足伺服驱动的 PWM、满足高速输入/输出控制的 HSL/HSO、满足串行扩展要求的串行扩展总线 I²C、保证程序可靠运行的 WDT、引入使用方便且价廉的 Flash ROM 等，开发出上百种功能各异的新品种。这样，80C51 单片机就变成了有众多芯片制造厂商支持的大家族，统称为 80C51 系列单片机。客观事实表明，80C51 已成为 8 位单片机的主流，成了事实上的标准 MCU 芯片。

现在，虽然世界上 MCU 品种繁多，功能各异，且 16 位/32 位芯片肯定比 8 位芯片功能强大。但 80C51 系列单片机因其性能价格比高、开发装置多、国内技术人员熟悉、芯片功能够用适用并可广泛选择等特点，再加上众多芯片制造厂商加盟等因素，据笔者估计，80C51 系列单片机可能还有 10 年以上的应用寿命。

综上所述，选择 80C51 系列单片机作为研究分析对象，既符合教学特点的典型性，又不失教学内容的先进性。

1.1.5 单片机的特点和应用

由于单片机是把微型计算机主要部件都集成在一块芯片上，即一块芯片就是一个微型计

算机。因此，单片机具有以下特点：

- 1) 有优异的性能价格比。目前国内市场上，有些单片机的芯片只有几元人民币，加上少量外围元件，就能构成一台功能相当丰富的智能化控制装置。
- 2) 集成度高，体积小，可靠性好。单片机把各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各芯片之间的连线，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。而且，由于单片机体积小，易于采取电磁屏蔽或密封措施，适合于在恶劣环境下工作。
- 3) 控制能力强。单片机指令丰富，能充分满足工业控制的各种要求。
- 4) 低功耗，低电压，便于生产便携式产品。
- 5) 易扩展。可根据需要并行或串行扩展，构成各种不同应用规模的计算机控制系统。

由于单片机有如此多的优点，因此其应用领域之广，几乎到了无孔不入的地步。单片机应用的主要领域有：

- 1) 智能化家用电器。各种家用电器普遍采用单片机智能化控制代替传统的电子线路控制，升级换代，提高档次。如洗衣机、空调、电视机、录像机、微波炉、电冰箱、电饭煲以及各种视听设备等。
- 2) 办公自动化设备。现代办公室中使用的大量通信和办公设备多数嵌入了单片机。如打印机、复印机、传真机、绘图仪、考勤机、电话以及通用计算机中的键盘译码、磁盘驱动等。
- 3) 商业营销设备。在商业营销系统中已广泛使用的电子称、收款机、条形码阅读器、IC卡刷卡机、出租车计价器以及仓储安全监测系统、商场保安系统、空气调节系统、冷冻保险系统等都采用了单片机控制。
- 4) 工业自动化控制。工业自动化控制是最早采用单片机控制的领域之一。如各种测控系统、过程控制、程序控制、机电一体化、PLC等。在化工、建筑、冶金等各种工业领域都要用到单片机控制。
- 5) 智能化仪表。采用单片机的智能化仪表大大提升了仪表的档次，强化了功能。如数据处理和存储、故障诊断、联网集控等。
- 6) 智能化通信产品。最突出的是手机，当然手机内的芯片属专用型单片机。
- 7) 汽车电子产品。现代汽车的集中显示系统、动力监测控制系统、自动驾驶系统、通信系统和运行监视器（黑匣子）等都离不开单片机。
- 8) 航空航天系统和国防军事、尖端武器等领域更是不言而喻。

单片机应用的意义不仅在于它的广阔范围及所带来的经济效益。更重要的意义在于，单片机的应用从根本上改变了控制系统传统的设计思想和设计方法。以前采用硬件电路实现的大部分控制功能，正在用单片机通过软件方法来实现。以前自动控制中的PID调节，现在可以用单片机实现具有智能化的数字计算控制、模糊控制和自适应控制。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控制技术。随着单片机应用的推广，微控制技术将不断发展完善。

1.1.6 单片机技术的发展趋势

展望当今单片机技术的发展方向，有以下几个方面的趋势：

- (1) 8位单片机仍然是主流机型

由于 80C51 单片机具有许多优点,如性能价格比高;世界许多知名厂商加盟,不断改进完善拓宽其功能,并可选择各种功能的兼容芯片;开发装置多;技术人员熟悉;芯片功能够用适用等。在未来较长一段时期内,8 位单片机仍然是主流机型。

(2) 全盘 CMOS 化趋势

CMOS 工艺很早就已出现,虽具有十分优异的性能,但由于运行速度较慢,长期被冷落。HCMOS 工艺出现后, HCMOS 器件得到了飞速发展。非 HCMOS 单片机已逐渐淘汰,如今不但单片机,而且与之配套的外围器件都已普遍 CMOS 化。单片机全盘 CMOS 化的显著优点是本质低功耗和低功耗管理技术的飞速发展。

(3) OTP ROM/Flash ROM 成为 ROM 供应主流状态

早期单片机 ROM 的供应状态主要是 Mask ROM, EPROM 和 ROMLess 三种型式, Mask ROM 周期长、投资大,无法改写; EPROM 成本高,使用不方便; ROMLess 电路结构复杂;三种型式已基本趋于淘汰。目前应用最广泛的是 OTP ROM (One Time Programmable) 和 Flash Rom。OTP ROM 可由用户编程,绝大多数单片机系列都可提供 OTP ROM,其价格已逐渐逼近 Mask ROM。Flash ROM 则由于可多次编程改写,在系统开发阶段使用十分方便,且价格低廉,在中小批量应用系统中广泛使用。目前 Flash ROM 可靠性尚不及 OTP ROM,但随着 Flash ROM 技术的改进,可靠性不断提高,应用前景十分看好。

(4) 推行串行扩展总线

通用型单片机应用系统大多要扩展一些外围器件。早期的单片机大多采用并行扩展,OTP ROM 和 Flash ROM 应用技术的成熟,使得扩展 ROM 已无必要。许多具有并行总线的单片机推出了删去并行总线的非总线型单片机。采用串行接口虽较并行接口数据传输速度要慢,但随着 MCU 主振频率的提高,加之一般单片机应用系统面对对象的有限速度要求,以及串行扩展器件的发展,串行扩展减少引脚数量、简化系统结构等优点,使得移位寄存器接口、SPI、I²C、Microwire、1—Wire 等串行扩展成为单片机扩展的主流。

(5) RISC 体系结构大发展

早期的单片机大多是 CISC 结构体系,指令复杂,指令代码、周期数不统一,指令运行很难实现流水线操作,大大阻碍了运行速度的提高。例如 MCS-51 系列单片机, $f_{osc} = 12\text{MHz}$ 时,单周期指令速度为 1 MIPS (Million Instruction Per Second)。如果采用 RISC 体系结构,指令精简后绝大部分成为单周期指令,而且通过增加 ROM 的宽度,实现一个地址单元存放一条指令,很容易实行并行流水线操作,结果是大大提高了指令运行的速度,同样在 12MHz 时钟下,单周期指令运行速度可达 12 MIPS。若在相同指令运行速度下,可大大降低时钟频率,从而有利于获得良好的电磁兼容效果。

(6) 实现全面低功耗管理

采用 CMOS 工艺后,单片机具有极佳的本质低功耗和功耗管理功能,芯片厂商对单片机实现了全面低功耗管理,它包括:

①传统的 CMOS 单片机低功耗运行方式: 休闲方式 (Idle) 和掉电方式 (Power Down);

②双时钟技术。配置高速 (主时钟) 和低速 (子时钟) 两种时钟系统,在不需高速运行时,转入子时钟状态,以降低功耗。或只设一个时钟。通过高速时钟下分频或低速时钟下倍频技术,控制总线速度,降低功耗。

③低电压节能技术。允许使用电压范围 3 ~ 6V,低电压供电的单机电源下限已达 1 ~

2V，最低已有 0.8V 单片机问世。

④外围电路的电源管理。对集成在片内的外围电路实行供电管理，外围电路不运行时关闭其电源。

(7) 根据不同需求发展个性化单片机。

不同的单片机应用系统对单片机的功能资源有不同的要求，为追求高性价比，各生产厂商推出了各种个性化的单片机，它包括：

①ROM RAM 大容量化。一般单片机片内 ROM 为 1~4KB，RAM 为 64~128B，在需要复杂控制的场合，存储器容量不够，需要扩展。为适应这种领域的要求，有的单片机已使片内 ROM RAM 大容量化，目前最多为 64KB ROM，2KB RAM。

②小容量低价化。与上述 ROM RAM 大容量化相反，为适应某些家电产品的要求，小容量低价化的单片机也是发展的方向之一。

③外围电路内装化。为适应不同需求和真正实行单片化，随着集成技术的发展，将众多外围器件集成在片内，如 A/D（模数转换）、D/A（数模转换）、I²C（串行传输总线）、PWM（脉宽调制）、HSL/HSO（高速输入/输出）、WDT（监视定时器）和显示驱动等。

(8) 大力发展专用型单片机

专用型单片机是专门针对某一类产品系统要求而设计的。使用专用型单片机可以最大限度的简化系统结构，提高资源利用效率，大批量使用时有可观的经济效益和可靠性效益。目前市场上智能化电子产品几乎都是专用型的单片机。

(9) 在单片机中嵌入驻机软件

目前单片机只提供了程序空间，没有任何驻机软件。随着片内 ROM 空间的扩大，会有许多空余空间，可以嵌入一些工具软件，大大提高产品的开发效率，提高单片机的性能。这些驻机软件包括：

①实施多任务操作系统 RTOS（Real Time Operating System），在 RTOS 支持下，可实现按任务分配的规范化应用程序设计。

②平台软件。可将通用子程序及函数库嵌入，以供应用程序调用。

③虚拟外设软件包。用于构成软件模拟外围电路的软件包，可用来设定虚拟外围的功能电路。

④其他用于系统诊断、管理的软件等。

(10) 启动和发展 ASMIC 技术

ASMIC（Application Specific Microcontroller Intergrated Curcuit）是以 MCU 为核心的专用功能集成电路，专用单片机的发展为启动和大力发展 ASMIC 技术奠定了基础，由于基于 MCU 的系统集成，专用功能集成电路有更好的柔性特性，是单片机应用系统实现系统集成的重要途径。

1.2 单片机系统的组成

一个完整的单片机系统可有两大部分组成：硬件部分和软件部分。硬件是组成单片机系统的物理实体；软件则是对硬件使用和管理的程序。单片机系统的硬件由单片机芯片和外部设备组成。而单片机芯片则包含微处理器（CPU）、存储器（存放程序指令或数据的 ROM、

RAM 等), 输入/输出 (I/O 口) 及其他功能部件如定时/计数器、中断系统等, 它们通过地址总线 (AB)、数据总线 (DB) 和控制总线 (CB) 连接起来, 如图 1-2 所示。

1.2.1 微处理器 (CPU)

微处理器是单片机的核心。它主要由三部分组成: 寄存器阵列、运算器和控制器。

1. 寄存器阵列

寄存器阵列是微处理器内部的临时存储单元, 包括通用寄存器组和专用寄存器。

- 1) 通用寄存器组。用来存放数据和地址, 减少 CPU 访问存储器的次数, 从而提高运行速度。
- 2) 专用寄存器。用来存放特定的数据或地址。例如程序计数器 PC、堆栈指针 SP、地址锁存器、地址缓冲器等。其中程序计数器 PC, 专门用于存放现行指令的 16 位地址。CPU 就是根据 PC 中的地址到 ROM 中去读取程序指令。每当取出现行指令一个字节后, PC 就自动加 1, $PC + 1 \rightarrow PC$, 当遇到转移指令或子程序时, PC 内容会被指定的地址取代, 实现程序转移。

2. 运算器

运算器用来完成算术运算和逻辑运算操作, 是处理信息的主要部件。运算器主要由累加器 A、暂存寄存器 TMP、标志寄存器 F、算术逻辑单元 ALU 等组成。

- 1) 累加器 A。用来存放参与算术运算和逻辑运算的一个操作数和运算结果。
- 2) 暂存寄存器 TMP。用来存放参与算术运算和逻辑运算的另一个操作数。
- 3) 标志寄存器 F。用来保存 ALU 操作结果的条件标志, 如进位标志、奇偶标志等。
- 4) 算术逻辑单元 ALU。由加法器和其他逻辑电路组成, 其基本功能是进行加法和移位, 并由此实现其他各种算术和逻辑运算。

3. 控制器

控制器是分析和执行指令的部件。是统一指挥单片机按一定时序协调工作的核心。控制器主要由程序计数器 PC、指令寄存器 TP、指令译码器 ID、定时和控制逻辑电路等组成。

- 1) 程序计数器 PC。CPU 总是根据程序计数器 PC 中的地址到 ROM 中去读相应地址存储单元中的指令码或数据。
- 2) 指令寄存器 IR。存放从 ROM 中读出的指令操作码。
- 3) 指令译码器 ID。是分析指令操作的部件。指令操作码经译码后产生相应于某一特定操作的信号。
- 4) 定时和控制逻辑电路。可分为定时和微操作两部分。定时部件用来产生脉冲序列和各种节拍脉冲, 每种节拍脉冲对应于一种微操作。微操作控制部件根据指令译码器产生的信号, 按一定时间顺序发出一系列节拍脉冲, 作为一系列微操作控制信号, 来完成指令规定的全部操作。

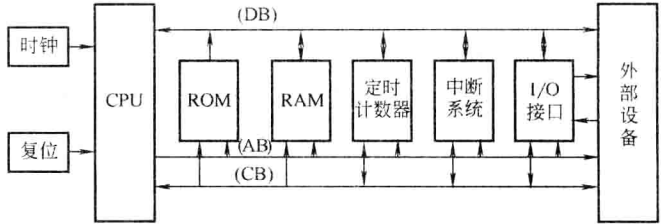


图 1-2 单片机系统的硬件结构框图