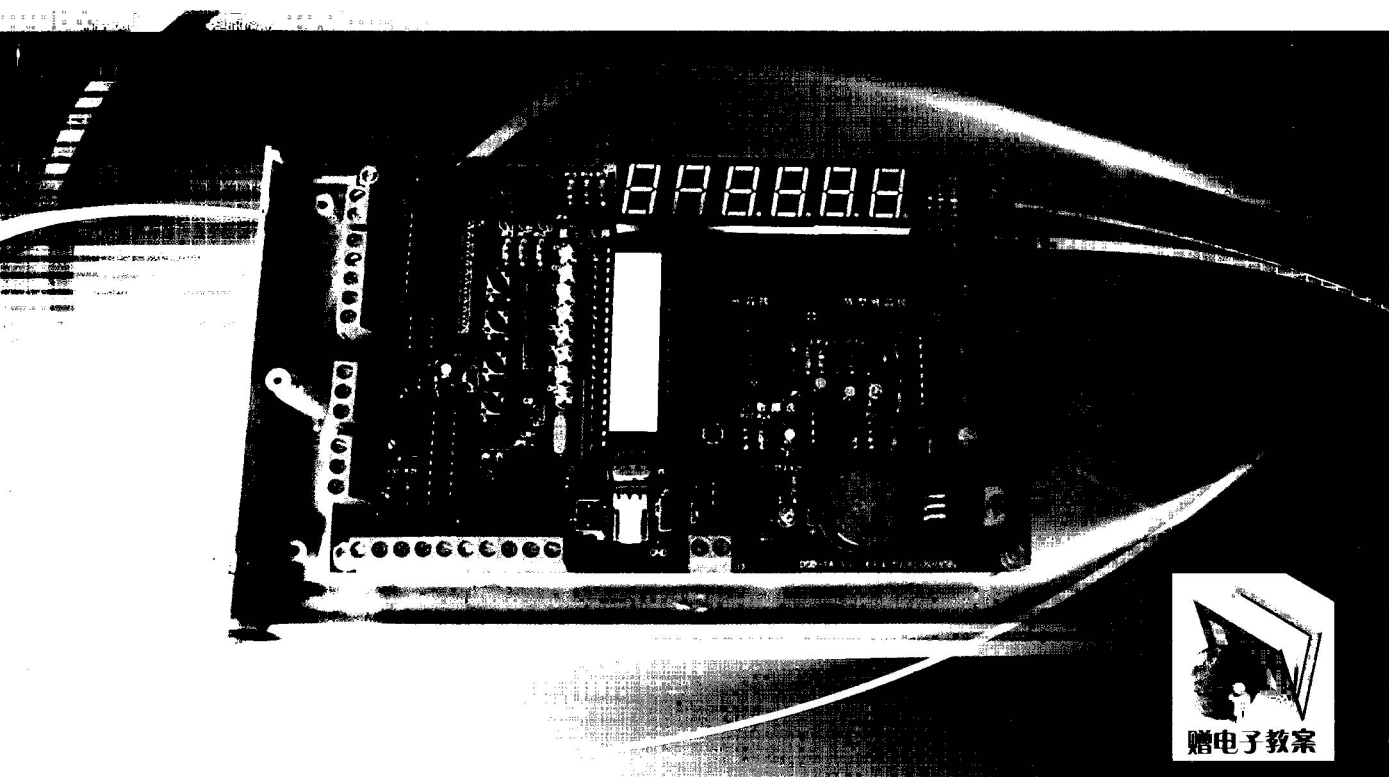




“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材
电工电子类专业教学用书

单片机应用 与接口技术

周坚 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材
电工电子类专业教学用书

单片机应用与接口技术

周 坚 等编著



机械工业出版社

本书是在多年课程改革的工程实践的基础上编写的。以 80C51 单片机为主芯片,按照理实一体化的编写模式,将内容分为除绪论外的 15 个课题,涵盖了 80C51 单片机软件实验环境的建立、硬件实验电路板的制作、Proteus 仿真软件的使用以及 80C51 单片机的 I/O 口、中断系统、定时器/计数器、指令系统和串行接口与串行通信,还讲解了单片机与外围设备接口的具体实现,包括显示接口、模拟量转换接口、键盘接口、I²C 串行接口总线等,并介绍了实时时钟芯片、LED 点阵显示屏、液晶显示屏等几种常用的接口芯片及其具体应用。

根据单片机应用技术实战性很强的特点,本书在编写过程结合理论与实践,边学边练。同时,为了消除读者硬件资源的差别,书中所有的应用程序都采用 Proteus 仿真实现,选用切合生活实际的任务,具有很强的可操作性和趣味性。

为了方便教学,本书配有免费电子教案及交流网站 (www.mcustudio.com),欢迎大家在线索取和交流。

本书可作为职业学校和成人教育单片机课程教材,也是电子爱好者自学单片机的首选。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机应用与接口技术 / 周坚等编著. —北京:机械工业出版社, 2010.1

(“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材)

ISBN 978-7-111-29097-1

I. 单… II. 周… III. 单片微型计算机-接口-职业高中-教材
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 212788 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:王娟 责任编辑:王娟 版式设计:霍永明

封面设计:路恩中 责任校对:陈立辉 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 415 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29097-1

定价:28.00 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

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

“工学结合、校企合作”是遵循了职业教育发展规律，体现了职业教育特色的技能型人才培养模式。实行“工学结合、校企合作”是职业教育坚持以就业为导向、有效促进学生就业的需要，是减轻学生负担、优化职业教育资源、扩大职业教育规模的需要。

为了贯彻落实《教育部关于职业院校试行工学结合、校企合作的意见》以及《教育部关于全面提高职业教育教学质量的若干意见》的精神，由机械工业出版社牵头，组织来自全国中、高等职业学校教学工作一线的骨干教师和学科带头人，通过社会调研、对劳动力市场人才需求分析和进行课题研究，在企业有关人员的积极参与下，结合职业教育相关专业学生的基础情况，参考国家劳动和社会保障部最新颁布实施的国家职业标准的要求；开发了数控技术应用、机电技术应用、电工电子等专业“工学结合、校企合作”课程改革系列教材，力争为全面提升职业教育教学质量、为社会培养更多技能型应用人才提供基础保障。

本书是在长期进行“工学结合、校企合作”人才培养模式改革的基础上编写的，融进了编者多年教学、科研实践所获取的经验及实例，着重从职业院校学生、业余电子爱好者的实际需求出发，适当增加常用计算机基础知识，力求深入浅出，尽量结合实例说明问题。

本书在内容安排上，打破学科体系的束缚，以满足读者的实际需求为目标，将全书分为绪论和15个课题。绪论部分介绍了单片机的基本知识、计算机中数据的表示方法及常用的基本术语、存储器的工作原理及分类等。课题1和课题2分别介绍了建立单片机软件实验环境和硬件实验环境的方法；课题3~课题6分别介绍了单片机片内常用外围部件，即I/O口、中断系统、定时器/计数器、串行接口的结构特点、编程方法；课题7和课题8是单片机的指令系统和程序设计初步；课题9~课题15是单片机各种接口电路的实现和应用，包括显示接口、模拟量转换接口、键盘接口、I²C串行接口总线、实时时钟芯片及其应用、液晶显示屏及其应用等。每个课题都包含若干个任务，以任务为核心，配置为完成该任务而必须掌握的指令、硬件结构知识、软件操作知识等。通过这种方式将学习者普遍感到比较困难的知识分解，使其一开始就能体会到成功的喜悦，有利于学习的顺利进行。如I/O口部分由“单片机控制LED”、“用单片机发声”、“用指拨开关设置音调”、“用单片机制作风火轮玩具”等4个任务组成；围绕这些任务配置知识点，如单片机I/O口的结构、单片机的时序、单片机的内存等；通过一些指令编写的简单程序来实现相应的功能；通过Proteus模拟看到、听到的效果，同时提供硬件实现方法。读者既可以用模拟仿真的方法来观察效果，也可以做出硬件，成为一个“小作品”。教师在讲授这部分内容时，可以按照项目教学法的要求来组织教学。

本书将定时器/计数器、中断、串行接口等内容安排在指令系统的前面，但在进行教学时，需要用到一些指令来编写程序。在编者实际教学过程中，并没有因为指令系统



单片机应用与接口技术

未学而不举例子，而是直接将指令拿来使用。实践证明，学生并不会因为尚未学“指令”、“程序”概念而无法接受这些例子；同时，单片机的指令系统枯燥乏味又较抽象，是教学中的另一个难点，按此种方式来安排教学内容，在学习指令知识之前，学生已掌握多条指令的用法。更重要的是，通过前面内容的学习，学生能够理解一些指令的用途，因此，学习指令系统变得比较轻松。

为了给读者一个完整的练习环境，编者使用 Proteus 设计了一系列的仿真文件，读者既可以直接利用这些仿真文件来练习 LED 显示、键盘操作、数码管显示、串行通信等程序，也可利用 Proteus 软件来完成更多的仿真设计。读者获得的不仅是一本文字教材，更是一个完整的学习环境。

本书安排的例子大部分是由编者独立编写的，还有一些是参考其他资料改写而成。全部程序都由编者调试并通过，例子的使用说明也尽量详细，力争让读者“看则能用，用则能成”，保证学习者在动手的过程中常常体会到成功的乐趣。

在提供文字教材的同时，编者还提供了免费电子教案、程序源代码、仿真结果演示等电子资源包及网络交流平台，开通了个人门户网站——平凡单片机工作室(<http://www.mcustudio.com>)为广大读者提供服务，欢迎读者在线交流。

本书由周坚统稿；龚益民、冷雪锋两位老师分别编写了课题 9、10 和课题 11、12，并负责全书 Proteus 软件相关的绘图、仿真调试等工作；顾德祥和蔡妍娜两位老师分别编写了课题 14、15；其余课题和绪论由周坚编写。

由于水平所限，错误和不妥之处在所难免，恳请大家批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
0.1 单片机简介	1
0.2 常见的单片机品种	2
0.3 计算机中数据的表示	4
0.3.1 常用的数制	5
0.3.2 二进制的算术运算	6
0.3.3 数制间的转换	6
0.3.4 数的表示方法及常用计数制的对应关系	7
0.3.5 逻辑数据的表示	7
0.4 计算机中常用的基本术语	8
0.5 存储器	9
0.5.1 存储器的工作原理	9
0.5.2 半导体存储器的分类	11
课题1 80C51 单片机软件实验环境的建立	13
任务1 Keil 软件简介、安装与使用	13
1.1.1 Keil 软件简介	13
1.1.2 安装 Keil 软件	14
1.1.3 使用 Keil 软件	14
任务2 Proteus 软件简介、安装与使用	22
1.2.1 Proteus 软件简介	22
1.2.2 安装 Proteus 软件	22
1.2.3 使用 Proteus 软件	24
课题2 80C51 单片机硬件实验环境的建立	32
任务1 使用 STC89C51 单片机制作实验板	32
2.1.1 电路原理图	32
2.1.2 实验板的制作与代码的写入	32
任务2 让实验板具有仿真功能	36
2.2.1 仿真的概念	36
2.2.2 仿真芯片制作	36
任务3 认识和使用成品实验板	39
2.3.1 实验板功能简介	39
2.3.2 成品实验板硬件结构	40



2.3.3 成品实验板的基本使用方法	42
课题3 认识 80C51 单片机 I/O 端口	44
任务1 用单片机控制 LED	44
3.1.1 任务分析	44
3.1.2 用 Proteus 仿真实现	45
任务2 用单片机发出声音	46
3.2.1 任务分析	47
3.2.2 用 Proteus 仿真实现	47
3.2.3 延时工作过程分析	49
任务3 用指拨开关设置音调	53
3.3.1 音名与频率的关系	53
3.3.2 用 Proteus 仿真实现	53
3.3.3 单片机内部的并行 I/O 口	55
任务4 用单片机制作风火轮玩具	59
3.4.1 用 Proteus 仿真实现	59
3.4.2 用硬件仿真实现	61
3.4.3 单片机的内部结构	62
课题4 80C51 单片机的中断系统	66
任务1 紧急停车控制器	66
4.1.1 中断的概念	66
4.1.2 用 Proteus 仿真实现	67
4.1.3 80C51 单片机的中断结构	68
任务2 通过外部信号来改变风火轮的转速	70
4.2.1 任务分析	71
4.2.2 用 Proteus 仿真实现	71
4.2.3 中断响应分析	73
课题5 80C51 单片机的定时器/计数器	76
任务1 包装流水线中的计数器	76
5.1.1 定时/计数的基本知识	76
5.1.2 用 Proteus 仿真实现	77
5.1.3 单片机中的定时器/计数器工作原理	78
任务2 用单片机来唱歌	84
5.2.1 歌谱与歌曲的基本知识	84
5.2.2 用定时中断来获得不同频率的信号	84
5.2.3 用单片机实现唱歌	87
课题6 80C51 单片机的串行口与串行通信	92
任务1 使用串行口扩展并行口	92
6.1.1 用串行口扩展并行输出口	92
6.1.2 用串行口扩展并行输入口	94



6.1.3 80C51 单片机的串行口	95
任务 2 单片机与 PC 通信	98
6.2.1 串行通信的基本知识	98
6.2.2 单片机与 PC 通信的具体实现	100
6.2.3 串行口工作方式与波特率设置	103
课题 7 80C51 单片机的指令系统	107
任务 1 指令的概念	107
7.1.1 有关指令与程序的基本概念	107
7.1.2 汇编语言指令格式	108
任务 2 指令的寻址方式	108
7.2.1 寻址的概念	109
7.2.2 寻址方式	109
7.2.3 指令中的操作数标记	112
任务 3 数据传送类指令	112
7.3.1 数据传送类指令介绍	112
7.3.2 用仿真软件进行指令练习	116
任务 4 算术运算类指令	119
任务 5 逻辑运算类指令	122
任务 6 控制转移类指令	125
任务 7 位操作类指令	130
课题 8 程序设计初步	135
任务 1 数制转换程序	135
任务 2 双字节数运算程序	137
任务 3 多字节移位程序	138
任务 4 子程序设计	139
课题 9 显示接口	142
任务 1 一位计数器	142
9.1.1 单个数码管的结构	142
9.1.2 用单个数码管显示数字	142
9.1.3 数码管显示中的其他问题	145
任务 2 银行利率屏的制作	147
9.2.1 相关知识	147
9.2.2 任务实现	148
9.2.3 使用普通 I/O 扩展串行口	150
任务 3 秒表的制作	151
9.3.1 LED 数码管动态接口原理	151
9.3.2 动态显示程序编写	152
9.3.3 秒表的实现	157
课题 10 模拟量转换接口	163



单片机应用与接口技术

任务 1 数字电压表的制作	163
10.1.1 A/D 转换器工作原理	163
10.1.2 数字电压的制作	165
任务 2 数字化信号发生器	168
10.2.1 D/A 转换器工作原理	168
10.2.2 数字化信号发生器的实现	171
课题 11 键盘接口	177
任务 1 键控风火轮	177
11.1.1 单片机键盘简介	177
11.1.2 键控风火轮的实现	178
任务 2 可预置数的倒计时时钟	181
11.2.1 倒计时时钟功能描述	181
11.2.2 倒计时时钟的实现	181
11.2.3 单片机键盘处理的方法	187
任务 3 智能仪器的键盘	188
11.3.1 相关知识	188
11.3.2 智能仪器键盘功能的实现	189
课题 12 I ² C 串行接口总线	195
任务 1 I ² C 串行接口与 VHC 软件包	195
12.1.1 I ² C 总线简介	195
12.1.2 典型 I ² C 总线接口芯片 AT24 系列 EEPROM	196
任务 2 AT24C01A 编程器的制作	200
12.2.1 编程器功能描述	200
12.2.2 编程器的制作	201
课题 13 实时时钟芯片及其应用	209
任务 1 认识 DS1302 芯片	209
任务 2 用 DS1302 制作实时时钟	212
任务 3 使用 DS1302 片内 RAM 存取数据	219
课题 14 LED 点阵显示屏及其应用	223
任务 1 认识 LED 点阵显示屏及字模	223
14.1.1 LED 点阵显示屏的结构	223
14.1.2 字模的产生	224
任务 2 用 LED 点阵显示屏显示汉字	228
14.2.1 用 LED 点阵显示屏显示单个汉字	229
14.2.2 用 LED 点阵显示屏显示多个汉字	233
课题 15 液晶显示屏及其应用	239
任务 1 小小迎宾屏	239
15.1.1 字符型液晶显示器简介	239
15.1.2 字符型液晶显示屏驱动程序	240



15.1.3 小小迎宾屏的实现	244
任务2 认识点阵式液晶显示屏	246
15.2.1 FM12864I 及其控制芯片 HD61202	247
15.2.2 HD61202 及其兼容控制驱动器的特点	247
15.2.3 HD61202 及其兼容控制驱动器的指令系统	248
任务3 用点阵式液晶屏显示汉字	249
15.3.1 硬件电路	249
15.3.2 字模生成	250
15.3.3 编程实现	250
参考文献	259

绪 论

计算机是应数值计算要求而诞生的，在相当长的时期内，计算机技术都是以满足越来越多的计算量为目标来发展。但是单片机的出现，使计算机从海量数值计算进入到智能化控制领域，从此，计算机就开始沿着通用计算机领域和嵌入式领域两条不同的道路发展。

0.1 单片机简介

单片机就是一个小型计算机系统，为了解释清楚这个问题，要从计算机说起。打开计算机的机箱观察主板，可见中央处理器（CPU）、内存（RAM）、只读存储器（ROM-BIOS）基本输入输出系统等部件，这些部件通过主板上的连线相互连接，如图 0-1 所示。

不论计算机复杂程度如何，它总是由运算器、控制器、存储器、输入/输出端口、总线这 5 个部分组成。通常将运算器和控制器做成一块芯片，也就是 CPU（中央处理器）。在计算机主板上，RAM 和 ROM-BIOS 芯片是存储器，键盘、鼠标接口和 25 针打印机接口就属于输入/输出接口，而总线设计在主板上，用于主板上各个部件之间的电气连接。

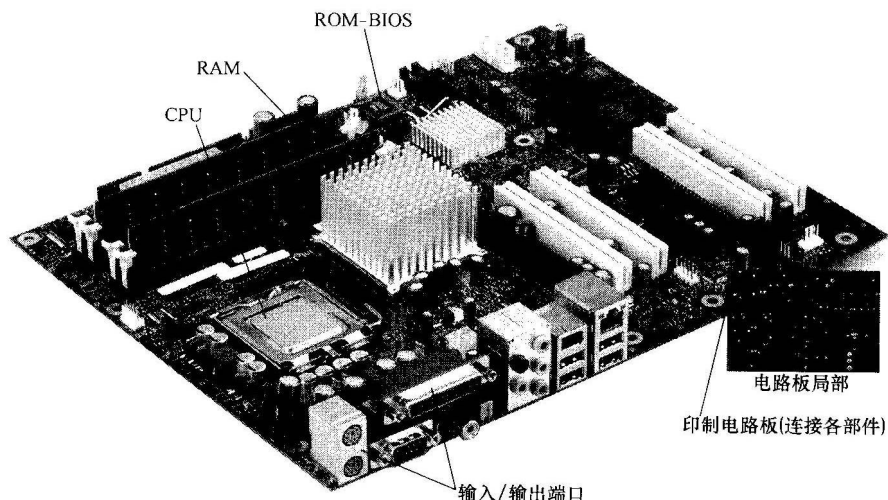


图 0-1 计算机主板

在一些应用场合，人们不需要计算机完成十分复杂的运算，但却希望计算机小巧、可靠、价格低。于是就把组成计算机的这 5 个部分全部集成到一块芯片上，即一块芯片就能构成一个独立的计算机，人们用这个特征来为之命名，“单片机”由此得名。随着单片机技术



单片机应用与接口技术

的不断发展，“单片机”已无法确切地表达其内涵，国际上逐渐采用 MCU（Micro Controller Unit，微控制单元）来称呼这一类计算机，并成为界内公认的、最终统一的名词。但国内由于多年来一直使用“单片机”这个称呼，已约定俗成，所以目前仍然采用。

将构成一个计算机所需要的 5 个部分全部集成到一块芯片中，这块芯片是否要很大、价格是否很高呢？并非如此。如果要把图 0-1 所示主板上的所有元件都集成到一块芯片中，那当然非常昂贵，可能技术上也无法实现，但很多单片机的功能完全没必要那么强大，因此很多单片机体积很小，价格也很低。市场上常见的单片机有 8、14、16、18、20、28、40、84 等不同数目的引脚，有些甚至只有 6 个引脚，如图 0-2 所示。而单片机的价格从几元到几十、上百元的都有，有些品种在大批量订购时甚至可以低至 1 元（人民币）以下。

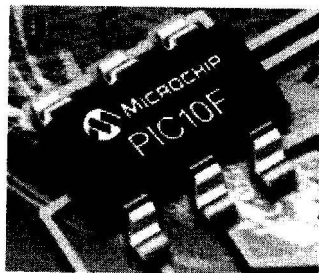


图 0-2 仅 6 个引脚的单片机

刚接触到单片机的人往往会有个疑惑：既然人们已经有能力制造功能强大的计算机，为何还要生产这些功能不强的计算机？其实，功能强弱并非是生产与否的决定因素，产品的性能、价格合理配置，能满足市场需求才是关键。例如，用来控制一台电冰箱的计算机显然没必要使用“奔腾”那样具有强大运算能力的芯片，只要能进行非常简单的计算，作个比较，判断温度是否在所控制区间之内，然后控制压缩机运行或者停止工作就行了。

0.2 常见的单片机品种

20 世纪 70 年代，美国仙童公司首先推出了第一款单片机 F-8，随后 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机系列，其他一些公司如 Motorola、Zilog 等也先后推出了自己的单片机。

随着集成技术的提高以及 CMOS 技术的发展，单片机的性能也随之改善，高性能的 8 位单片机相继问世。1980 年 Intel 公司推出了 8 位高档 MCS-51 系列单片机，单片机的性能得到很大的提高，应用领域大为扩展。

1983 年 Intel 公司推出了 16 位 MCS-96 系列单片机，加入了更多的外围接口，如模/数转换器（ADC）、看门狗（WDT）、脉宽调制器（PWM）等，其他一些公司也相继推出了各自的高性能单片机系统。随后许多用在高端单片机上的技术被移植到 8 位单片机上，这些单片机内部一般都有非常丰富的外围接口，强化了智能控制器的特征。

近年来，Atmel、Microchip 等公司又先后推出了性能更为优异的 32 位单片机，单片机的应用达到了一个更新的层次。

目前，单片机的发展呈现百花齐放的态势，从简单的 4 位机到高性能的 32 位机，都在大量地生产和应用，生产厂商、单片机品种也非常多。在单片机家族中，80C51 系列是其中的佼佼者。Intel 公司将 80C51 单片机的内核以专利互换或出售的方式转让给其他许多公司，如 Philips、Atmel、NEC 等，因此，有很多公司在生产以 80C51 为内核的单片机，这些单片机在保持与 80C51 单片机兼容的基础上，改善了 80C51 单片机的许多特性。这样，80C51 就成为有众多制造厂商支持的、在 CMOS 工艺基础上发展出上百品种的大家族，现统称为 80C51 系列。以下对常用的单片机系列作一简介。



1. 80C51 及其兼容系列

(1) 80C51 基本系列 包括 80C31、80C51、87C51、80C32、80C52、87C52 等芯片，虽然这些芯片已基本不再使用，但它们是后续发展芯片的基础。表 0-1 列出了 80C51 系列单片机内部资源，图 0-3 所示为 80C51 系列单片机内部结构示意图。

表 0-1 80C51 系列单片机内部资源

型 号		只读存储器 (ROM)	随机存取存储器 (RAM)	定时器	输入/输出端口	中 断
80C51 系列	80C31	无	128Byte	2-16bit	4 个 8 位	5 个中断源
	80C51	4KB ROM				
	87C51	4KB EPROM				
80C52 系列	80C32	无	256Byte	3-16bit	4 个 8 位	6 个中断源
	80C52	8KB ROM				
	87C52	8KB EEPROM				

从表 0-1 中可以看到，80C31 单片机片内没有 ROM，80C51 内部有 4KB 一次性可写 ROM，87C51 内部有 4KB 的 EEPROM，这几种芯片内部 RAM 均为 128Byte。而后三种芯片其内部 RAM 均为 256Byte，后两种芯片的片内 ROM 为 8KB。

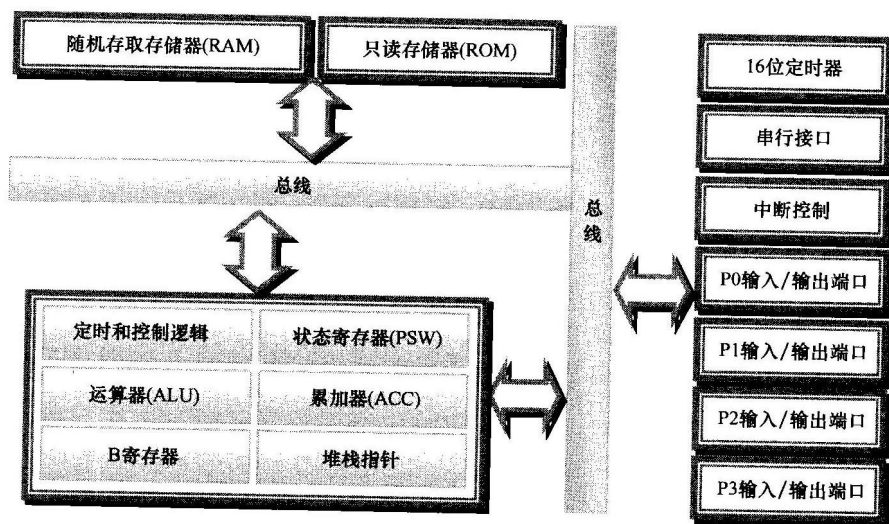


图 0-3 80C51 系列单片机内部结构示意图

(2) 80C51 兼容系列 这些芯片通常与 80C51 基本系列硬件结构类似，但生产厂商各不相同，一般都扩充了一些新功能。以下是两种常见的品种。

AT89S 系列，其主要特点有：内置看门狗，内部 ROM 为 FLASH 型，可以通过下载线对其进行在线编程。

STC89 系列，其主要特点有：直接通过串行接口对单片机编程；可编程为倍速运行；超低功耗；内置看门狗；内部 FLASH 型 ROM，可作为 EEPROM 使用以实现断电时数据保存。

(3) 80C51 扩展系列 这类芯片通常在硬件结构上与 80C51 有较大区别，但它们仍保



持与 80C51 在指令一级的兼容，以下是一些常见的品种。

STC12、STC10F、STC11F 系列，其主要特点有：单时钟周期，工作频率 0~35MHz，相当于普通 80C51 的 0~420MHz；宽工作电压范围；低功耗；芯片内置 EEPROM 功能；内置硬件看门狗；通用 I/O 口可以设置为四种工作模式，在强上拉模式时可以“吐出”电流。

Philips 的 LPC 系列，其主要特点有：内置 RC 振荡器，选择 RC 振荡器时不需外接振荡器件；所有输入/输出口线均有 20mA 的 LED 驱动能力；有较宽的工作电压范围。

C8051F 系列，其主要特点有：一个机器周期仅为一个时钟周期；增加了中断源；有内部独立的时钟源或接外部时钟，并能在程序运行时实现内、外部时钟的切换。每个 I/O 端口引脚都可以设置为推挽或漏极开路输出，C8051F 系列单片机 I/O 口最为独特的是增加了数字交叉开关，可将内部数字系统资源定向到 P0、P1 和 P2 口引脚。这个系列很多型号的芯片具有模/数转换（ADC）、数/模转换（DAC）、可编程计数器阵列（PCA）等功能。

2. PIC 系列

PIC 系列单片机的发展思路与 80C51 系列单片机不同，它不搞单纯的功能堆积，而是从实际出发，重视产品的性能与价格比，依靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求；目前有 PIC10、PIC12、PIC16、PIC18、PIC24、PIC32 等多个系列的数百个品种。

3. AVR 系列

AVR 系列单片机是增强型 RISC（Reduced Instruction Set Computer，精简指令集计算机），其主要特点是：速度快，一个机器周期仅为一个时钟周期；品种丰富，与 PIC 系列类似，依靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求；支持 ISP（In System Programming，在系统编程）、IAP（In Application Programming，在应用编程）功能，方便远程维护；工作电压范围宽、抗干扰能力强。

4. 其他系列

其他常用的单片机包括 ST（意法半导体）、EMC、Motorola（摩托罗拉）、Samsung（三星）等公司生产的单片机系列，这些单片机都有各自的特点并在特定的应用领域获得广泛的应用。

80C51 系列单片机进入我国较早，应用非常广泛，且关于 80C51 单片机的资料较多，因此，学习单片机往往从 80C51 系列开始。本书将以 80C51 系列单片机为例来介绍单片机有关知识。

0.3 计算机中数据的表示

计算机处理各种信息，首先需要将信息表示成为具体的数据形式。选择什么样的数制来表示数，对计算机的结构、性能和效率有很大的影响。二进制是计算机中数制的基础。

所谓二进制，是指每位数码只取两个值，要么是“0”，要么是“1”，数码最大值只能是 1，超过 1 就应向高位进位。为什么要采用二进制形式呢？这是因为二进制最简单，它仅有两个数字符号，特别适合用电子元器件来表示，因为制造有两个稳定状态的元器件一般比制造具有多个稳定状态的元器件要容易得多。

计算机内部采用二进制表示各种数据，对于单片机而言，其主要的数据类型分为数值数据和逻辑数据两种，下面分别介绍数制的概念和各种数据的机内表示、运算等知识。

按进位的原则进行计数，称为进位计数制，简称“数制”。数制有多种，在计算机中常



使用的有十进制、二进制和十六进制。

0.3.1 常用的数制

1. 十进制

按“逢十进一”的原则进行计数，称为十进制。十进制的基为“十”，即它所使用的数码为0~9，共10个数字。十进制各位的权是以10为底的幂，每个数所处的位置不同，它的数值是不同的，每一位数是其右边相邻那位数的10倍。

对于任意一个十进制数，都可以写成如下的式子：

$$D_3 D_2 D_1 D_0 = D_3 \times 10^3 + D_2 \times 10^2 + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0$$

上述式子各位的权分别是千、百、十、个，即以10为底的0次幂、1次幂、2次幂和3次幂，通常简称为0权位、1权位、2权位、3权位等，该式称为按权展开式。

【例0-1】 $3525 = 3 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0$

2. 二进制

按“逢二进一”的原则进行计数，称为二进制。二进制的基为“二”，即其使用的数码为0、1，共两个。二进制各位的权是以2为底的幂，任意一个四位二进制数按权展开式如下：

$$B_3 B_2 B_1 B_0 = B_3 \times 2^3 + B_2 \times 2^2 + B_1 \times 2^1 + B_0 \times 2^0$$

由此可知，四位二进制中各位的权为

2^3	2^2	2^1	2^0
8	4	2	1

【例0-2】 $(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11$

3. 十六进制

按“逢十六进一”的原则进行计数，称为十六进制。十六进制的基为“十六”，即其数码共有16个：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F，其中A、B、C、D、E、F所代表的数的大小相当于十进制的10、11、12、13、14和15。十六进制的权是以16为底的幂，任意一个4位的十六进制数的按权展开式为

$$H_3 H_2 H_1 H_0 = H_3 \times 16^3 + H_2 \times 16^2 + H_1 \times 16^1 + H_0 \times 16^0$$

【例0-3】 $(17F)_{16} = 1 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = 383$

由于十六进制数易于书写和记忆，且与二进制之间的转换十分方便，因而在书写计算机语言时多用十六进制。

4. 二—十进制编码

计算机中使用的是二进制数，但人们却习惯使用十进制数，为此需要建立一个二进制数与十进制数之间联系的桥梁，这就是二—十进制。

在二—十进制中，十进制的十个基数符0、1~9用二进制码表示，而计数方法仍采用十进制，即“逢十进一”。为了要表示十种状态，必须要用4位二进制数（3位只能表示0~7，不够用）。4位二进制一共有16种状态，可以取其中的任意十种状态来组成数码0~9。显然，最自然的方法就是取前十种状态，这就是BCD码，也称为8421码，因为这种码4个位置的1分别代表了8、4、2和1。

学习BCD码，一定要注意它与二进制的区别，表0-2列出几个数作为比较。



表 0-2 二进制、十进制、十六进制数、BCD 码的对应关系

十进制数	十六进制数	二进制数	BCD 码	十进制数	十六进制数	二进制数	BCD 码
0	0	00000000	00000000	10	A	00001010	00010000
1	1	00000001	00000001	11	B	00001011	00010001
2	2	00000010	00000010	12	C	00001100	00010010
3	3	00000011	00000011	15	F	00001111	00010101
4	4	00000100	00000100	100	64	10000000	10000000

从表 0-2 中不难看出,对于小于 10 的数来说,BCD 码和二进制数没有什么区别,但对于大于 10 的数,BCD 码和二进制数就不一样了。

0.3.2 二进制的算术运算

二进制算术运算的规则非常简单,这里介绍常用的加法和乘法规则。

1. 加法规则

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \\ 0 + 1 &= 1 \\ 1 + 0 &= 1 \\ 1 + 1 &= 10 \end{aligned}$$

2. 乘法规则

$$\begin{aligned} 0 \times 0 &= 0 \\ 0 \times 1 &= 0 \\ 1 \times 0 &= 0 \\ 1 \times 1 &= 1 \end{aligned}$$

【例 0-4】求 $11011 + 1101$ 的值。

$$\begin{array}{r} 11011 \\ + 1101 \\ \hline 101000 \end{array}$$

【例 0-5】求 11011×101 的值。

$$\begin{array}{r} 11011 \\ \times 101 \\ \hline 11011 \\ 00000 \\ 11011 \\ \hline 10000111 \end{array}$$

0.3.3 数制间的转换

将数由一种数制转换成另外一种数制称为数制间的转换。

1. 十进制数转换为二进制数

十进制转换为二进制采用“除二取余法”,即把待转换的十进制不断地用 2 除,一直到商是 0 为止,然后将所得的余数由下而上排列即可。

【例 0-6】把十进制数 13 转换为二进制数。



$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 13} \dots\dots\dots 1 \text{ 低位} \\
 2 \overline{) 6} \dots\dots\dots 0 \uparrow \\
 2 \overline{) 3} \dots\dots\dots 1 \uparrow \\
 \quad \underline{2} \quad 1 \dots\dots\dots 1 \text{ 高位} \\
 \quad \quad 0
 \end{array}$$

结果是十进制数 13 等于二进制数 $(1101)_2$ 。

2. 二进制数转换为十进制数

二进制数转换为十进制数采用“位权法”，即把各非十进制数按权展开，然后求和。

【例 0-7】 把 $(1110110)_2$ 转换为十进制数

$$(1110110)_2 = 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 118$$

3. 二进制数转换为十六进制数

十六进制也是一种常用的数制，将二进制数转换为十六进制数的规则是“从右向左，每 4 位二进制化为一位十六进制，最左侧不足 4 位部分用零补齐”。

【例 0-8】 将 $(11110000110110001111)_2$ 转化为十六进制

把 $(11110000110110001111)_2$ 写成下面的形式：

0111 0000 1101 1000 1111

其中最前面的 0 是为补足四位而添加的，因此 $(11110000110110001111)_2 = (70D8F)_{16}$ 。

4. 十六进制数转换为二进制数

十六进制数转换为二进制数的方法正好和上面的方法相反，即一位十六进制数化为四位二进制数，并省略最高为 1 位的左侧的 0 即可。

【例 0-9】 将 $(145A)_{16}$ 转化为二进制数。

将每位十六进制数写成四位二进制数，就是：0001 0100 0101 1010，即十六进制数 $(145A)_{16}$ 等于二进制数 $(1010001011010)_2$ 。

0.3.4 数的表示方法及常用计数制的对应关系

在学习了数的多种进制以后，有必要区分各种数的表达形式。例如同样是 10，二进制、十进制和十六进制所表达的数完全不同。

1. 数的表达方法

为了便于书写，特别是方便编程时书写，一般在数字后面加一个字母以示区别不同进制的数：二进制数后加 B，十六进制数后加 H，十进制数后面加 D，并规定 D 可以省略。这样 102 是指十进制的 102，102H 是指十六进制的 102，也就是 258；同样 1101 是十进制 1101，而 1101B 则是指二进制的 1101，即 13。

2. 常用数制对应关系

表 0-2 列出了常用数值 0 ~ 15 的各种数制间的对应关系，这在以后的学习中经常要用到，要求熟练掌握。

0.3.5 逻辑数据的表示

为了使计算机具有逻辑判断能力，就需要逻辑数据，并能对它们进行逻辑运算，得出一个逻辑判断结果。每个逻辑变量或逻辑运算的结果，产生逻辑值，该逻辑值仅取“真”或“假”两个值：判断成立为“真”，判断不成立为“假”。在计算机内常用 0 和 1 表示这两个逻辑值，一般用 0 表示假，1 表示真。

最基本的逻辑运算有“与”、“或”、“非”三种。