

中等职业学校电类专业基础课系列教材

根据教育部中等职业学校新教学大纲要求编写

单片机原理与应用

刘洪涛 主编

北京工业大学出版社

中等职业学校电类专业基础课系列教材

单片机原理与应用

刘洪涛 主编

北京工业大学出版社

内 容 提 要

本书是中等职业学校电类专业的单片机原理与应用课教材。全书内容按照教学大纲，组织该专业领域的骨干教师，结合现在流行的技术，精心编写而成，共分 8 章：计算机基础知识、MCS-51 单片机结构、指令系统、汇编程序设计、MCS-51 系统内部资源、I/O 接口电路、A/D 和 D/A 转换电路以及单片机应用系统。除此之外，本书的内容还包括 10 个实验和 Keil μ Vision2 的使用介绍。

本书内容编排合理、深入浅出、通俗易懂，可作为中等职业学校电类专业基础课教材，也可作为从事有关电子专业的生产和维修人员培训及自学用书。

图书在版编目（CIP）数据

单片机原理与应用/刘洪涛主编. —北京：北京工业大学出版社，2007.1

ISBN 978-7-5639-1635-1

I. 单... II. 刘... III. 单片微型计算机—专业学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（

单片机原理与应用

刘洪涛 主编

★

北京工业大学出版社出版发行

邮编：100022 电话：（010）67392308

各地新华书店经销

北京东方圣雅印刷有限公司

★

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

787 mm×1 092 mm 16 开本 12.75 印张 315 千字

印数：1~5 000 册

ISBN 978-7-5639-1635-1/T · 279

定价：18.00 元

前 言

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设计划,我们组织本专业领域的骨干教师精心编写了本教材。

“单片机原理与应用”是中等职业学校电类专业的一门基础课程,其任务是使学生掌握单片机工作原理,具备基本的单片机应用与开发能力。

这本《单片机原理与应用》作为单片机原理与应用课程的教材,严格按照教学大纲进行编写,其内容包括基础知识和实验技能训练两部分。由于单片机原理与应用课程的理论性和实践性都很强,且部分内容抽象,知识更新快,为了让学生能更好地理解本课程的知识,在学习本课程时应注意掌握以下学习方法。

(1) 做好课前预习。在教师上课之前,应先浏览要讲的内容,初步了解新课内容,对于难理解的内容做好标志,便于有针对性地听课。

(2) 学会听课。听课是学习的重要环节,课上一定要高度集中注意力,开动脑筋,积极思考,做到“三到”,即眼到、耳到、心到,使思维一直处于积极、活跃的状态,并认真做好笔记,便于课后复习。

(3) 课后认真复习。课后应认真阅读教材,必要时参考其他相关的参考书,翻阅课堂笔记,独立完成教师布置的作业,这样有助于加深对教师所讲内容的理解,并掌握其应用。

(4) 多动手,加强实践。“单片机原理与应用”是一门实践性很强的课程,因此实验技能训练在课程中占有非常重要的地位,应认真完成课程中的每个实验和技能训练,进一步加深对理论知识的理解,提高自己的实际动手能力。

为了与现在流行的技术相适应,本教材在实验中均使用 Keil μ Vision2 作为 IDE 软件。如果实验所使用的仿真器不支持,也可使用其他 IDE 软件,但最好能简单地介绍一下 Keil μ Vision2,这样学生以后如果接触 C 语言,就不需要重新学习了。

本教材由成都职业技术学院电子信息系刘洪涛、成都财政贸易学校计算机专业廖茂萍主编,参与编写工作的人员还有电子科技大学陈刚、成都职业技术学院高颂、成都财政贸易学校刘晓蓉等。四川师范大学吴均副教授为本书提出了不少好的建议,在此表示衷心感谢。

编 者

2006 年 12 月

目 录

第1章 计算机基础知识	1
1.1 单片机	1
1.1.1 单片机的发展概况	1
1.1.2 单片机的发展趋势	3
1.1.3 单片机的应用	3
1.2 数制与编码	4
1.2.1 数制的基与权	4
1.2.2 数制的转换	5
1.2.3 常用二进制编码	7
1.2.4 数据在计算机中的表示	8
1.3 计算机电路基础	9
1.3.1 基本逻辑电路	9
1.3.2 触发器	11
1.3.3 寄存器	13
1.3.4 数据锁存器及数据缓冲器	15
1.3.5 存储器	15
1.3.6 译码及寻址电路	17
【本章小结】	18
【习题】	19
第2章 MCS-51 单片机结构	20
2.1 MCS-51 单片机内部结构	20
2.1.1 计算机的基本组成	20
2.1.2 MCS-51 组成	21
2.1.3 CPU	22
2.1.4 存储器	22
2.1.5 I/O 端口	23
2.1.6 总线	24
2.1.7 复位和复位电路	25
2.1.8 80C51 引脚说明	27
2.2 MCS-51 存储器	28
2.2.1 程序存储器	29
2.2.2 数据存储器	29

2.3 特殊功能寄存器	29
2.4 80C51 的指令时序	32
【本章小结】	33
【习题】	33
第3章 指令系统	35
3.1 指令系统概述	35
3.1.1 指令系统的分类及特点	35
3.1.2 指令格式及符号说明	36
3.1.3 指令的寻址方式	37
3.2 数据传递类指令	39
3.2.1 内部数据存储器数据传送指令	39
3.2.2 外部数据存储器传送指令	40
3.2.3 查表指令	41
3.2.4 堆栈操作类指令	42
3.2.5 数据交换指令	43
3.3 算术运算类指令	44
3.3.1 加法指令	44
3.3.2 带进位的加法指令	45
3.3.3 加1指令	45
3.3.4 带借位的减法指令	46
3.3.5 减1指令	47
3.3.6 乘法指令	47
3.3.7 除法指令	48
3.3.8 十进制调整指令	48
3.4 逻辑操作类指令	50
3.4.1 逻辑“与”指令	50
3.4.2 逻辑“或”指令	51
3.4.3 逻辑“异或”指令	51
3.4.4 清零指令	52
3.4.5 求反指令	52
3.4.6 循环移位指令	52
3.5 控制转移类指令	53
3.5.1 无条件转移指令	54
3.5.2 条件转移指令	54
3.5.3 调用子程序及返回指令	57
3.5.4 空操作指令	59
3.6 位操作类指令	59

3.6.1 位数据传送指令	60
3.6.2 位修正指令	60
3.6.3 位逻辑运算指令	61
3.6.4 位条件转移指令	61
【本章小结】	62
【习题】	62
第4章 汇编程序设计	64
4.1 汇编程序设计概述	64
4.1.1 机器语言、汇编语言和高级语言	64
4.1.2 汇编语言设计规范和步骤	65
4.1.3 程序流程图	68
4.2 顺序与循环程序设计	68
4.2.1 顺序程序设计	69
4.2.2 循环程序设计	70
4.3 分支选择程序设计	73
4.3.1 单分支选择结构	73
4.3.2 多分支选择结构	74
4.4 查表程序设计	77
4.4.1 简单查表程序	78
4.4.2 多字节查表程序	79
4.5 子程序设计	80
4.5.1 子程序概述	80
4.5.2 子程序的调用与返回	81
4.5.3 多重子程序的嵌套	82
【本章小结】	82
【习题】	83
第5章 MCS-51 系统内部资源	84
5.1 MCS-51 系统内部资源概述	84
5.1.1 中断及其功用	84
5.1.2 定时器/计数器	85
5.1.3 串行端口	85
5.2 中断控制系统	85
5.2.1 中断控制的过程	86
5.2.2 外部中断触发方式和控制寄存器	87
5.2.3 中断服务程序的设计	90
5.3 定时器/计数器	95

5.3.1	定时器/计数器的工作方式	95
5.3.2	定时器/计数器的程序设计	98
5.4	串行接口	99
5.4.1	串行接口控制寄存器及波特率选择位	99
5.4.2	串行接口工作方式	100
5.4.3	串行接口程序设计	103
【本章小结】		104
【习题】		105
第6章	I/O 接口电路	106
6.1	键盘接口	106
6.1.1	查询式键盘	106
6.1.2	行列式键盘	109
6.2	LED 显示器接口	115
6.2.1	LED 显示器的结构与原理	115
6.2.2	静态显示接口	117
6.2.3	动态显示接口	117
【本章小结】		119
【习题】		120
第7章	A/D、D/A 转换电路	121
7.1	模/数转换 (A/D) 接口	121
7.1.1	ADC 电路原理	121
7.1.2	A/D 转换器的主要技术指标	123
7.1.3	典型 A/D 转换器及接口	124
7.2	数/模转换 (D/A) 接口	126
7.2.1	DAC 电路原理	126
7.2.2	D/A 转换器的主要技术指标	128
7.2.3	D/A 转换器与单片机的接口	128
【本章小结】		132
【习题】		132
第8章	单片机应用系统	133
8.1	单片机应用系统	133
8.1.1	最小应用系统	133
8.1.2	单片机系统的扩展	134
8.2	单片机系统开发	137
8.2.1	单片机系统的开发过程	137
8.2.2	单片机系统的开发工具	138

8.2.3 单片机软件的调试	139
8.3 单片机系统的功率接口	140
8.3.1 单片机的继电器接口	141
8.3.2 单片机的可控硅接口	142
【本章小结】	144
【习题】	144
实验	146
实验 1 端口输出实验	147
实验 2 继电器控制与声效实验	149
实验 3 端口输入实验	152
实验 4 动态扫描显示实验	155
实验 5 静态串行显示实验	157
实验 6 行列式键盘实验	160
实验 7 定时器实验	163
实验 8 外部中断实验	165
实验 9 ADC0809 模数转换实验	168
实验 10 DAC0832 数/模转换实验	171
附录 A Keil μ Vision2 仿真软件的使用	174
附录 B MCS-51 指令系统分类表	186

第 1 章 计算机基础知识

【学习目标】

1. 了解单片机的发展和应用。
2. 掌握几种数制的相互转换方法。
3. 掌握二进制编码 (BCD 码), 了解 ASCII 码的编码特点。
4. 掌握数据的原码、反码和补码表示方法。
5. 理解基本门电路、基本触发器电路的工作原理和应用。
6. 理解寄存器、计数器、三态门、缓冲器的特点和应用。
7. 理解存储器的分类、特点, 掌握存储单元和存储地址等概念。

1.1 单 片 机

人类在长期的生产实践中, 通过对工具的使用弥补了自身的不足; 通过对自然界能量的使用扩展了自己的力量; 通过计算机的使用扩展了自己的智慧, 使机器也具备了人的某些智能。

一台完整的计算机, 有中央处理器、存储器、输入设备和输出设备等硬件。这些硬件和软件一起组成了一个完整的计算机系统, 这个系统具备复杂的结构和功能。但在某些场合, 比如对一些简单设备的控制, 往往不需要如此完善的功能和复杂的结构, 因此, 人们将计算机进行了简化, 将所有的计算机必需部件都集成到了一块集成电路芯片之中, 这块芯片就是单片机。

在单片机的芯片中, 有中央处理器、内存及输入、输出的端口, 对于不同的单片机有不同的复杂程度和功能区分, 如字长位宽就有 4 位、8 位、16 位及 32 位等, 而在内存上又有不同类型和不同大小的区别, 在端口上也有各种不同端口的区别。单片机是一个大家族, 由于单片机主要用于对特定设备的控制, 因而它的正式名称是微控制器 (micro-controller)。单片机虽然是一个完整的计算机系统, 但它与被控制的对象设备又是融为一体的, 因而也将单片机称为嵌入式微控制器 (embedded micro-controller), 而具备了单片机的设备系统常常也被称为嵌入式系统 (embedded system)。

1.1.1 单片机的发展概况

1. 计算机的发展

由于战争的需要, 1946 年由美国宾夕法尼亚大学研制出第一台计算机。这台计算机字长

为 12 位, 运算速度为 5 000 次/秒, 占地面积为 150 平方米, 质量达 30 吨, 耗电量达 140 千瓦时。这台计算机虽然十分原始, 但却是现代计算机的先驱, 对计算机技术的发展起到了巨大的作用。

自第一台计算机出现后, 在短短的 50 多年间, 计算机技术有了巨大的发展, 产生了如下四代计算机。

第一代是电子管计算机, 其发展在 20 世纪 40 年代中期到 20 世纪 50 年代后期。这个时期的计算机采用的逻辑元件为电子管, 内存采用磁鼓和磁芯, 外存采用磁带和纸带, 软件大都采用机器语言, 异常复杂和难懂。

第二代是晶体管计算机, 其发展在 20 世纪 50 年代末到 20 世纪 60 年代中期。计算机的逻辑元件为晶体管, 外存已开始使用软盘。这一时期软件的发展很快, 不仅迅速地从机器语言过渡到汇编语言, 而且还出现了高级语言。

第三代是集成电路计算机, 其发展大约在 20 世纪 60 年代中期到 20 世纪 70 年代初。此时计算机已从单个的晶体管过渡到使用小规模集成电路。这一时期计算机的软件进一步快速发展, 出现了操作系统, 并且已经开始进入个人计算机时代。

第四代是大规模集成电路计算机, 是从 20 世纪 70 年代后发展起来的。此时集成电路的规模迅速增大, 从大规模集成电路 (每个芯片上集成 1 000 个以上晶体管) 到超大规模集成电路 (每个芯片上集成 100 万个以上晶体管)。随着集成电路规模和工艺的提高, 计算机的速度也极大地提高, 功能也迅速加强, 而体积和功耗却迅速减小。

这一时期计算机不仅从硬件上得到了巨大的发展, 软件上也取得了前所未有的进步: 操作系统越来越完善、多媒体功能越来越强、网络的应用越来越广泛。计算机的应用从原来的科学应用和工业应用上扩展到工作应用、学习应用、生活应用、娱乐应用及其他应用上。

2. 单片机的发展

由于单片机是计算机家族中的一员, 故单片机的发展是与计算机的发展不可分的。计算机的某些发展也体现了单片机发展的趋势, 如集成度越来越高、速度越来越快、功能越来越强等, 但对于单片机而言, 还有其自身的发展特征。

(1) 多功能化。为了能更好地适应现在单片机的应用, 不少单片机已在单片机芯片中集成了更多的应用性接口和特定模块, 使单片机的应用更为简单和便宜。如在单片机中集成数/模转换或模/数转换, 使得单片机具备了处理模拟信号的能力; 又如在单片机中集成了语音系统, 使得单片机具备了语音功能等。

(2) 高性能。由于单片机的应用不断向高级应用和复杂应用扩展, 因此, 单片机的性能也越来越高, 如单片机的内存越来越大、处理字长越来越长、速度越来越快、抗干扰性也越来越强等。

(3) 低电压和低功耗。由于单片机被大量应用于手机等便携式设备中, 所以对单片机的功耗提出了很高的要求, 现在的单片机在功耗上已达到了极高的水平, 不少芯片的功耗已达到微安级, 在一粒纽扣电池供电的情况下就可长期运行。

(4) 低价格。单片机的大量使用为单片机的低价格创造了条件。低价格不仅是因为制造成本降低了, 而且它还是各个公司的竞争筹码。

1.1.2 单片机的发展趋势

现在, 单片机的发展趋势有3个突出的特点。

1. 操作系统的引入

在单片机中引入操作系统, 可以使单片机的应用更为简单和广泛。如在没有操作系统时, 一个单片机要同时完成多个任务是十分困难的, 而在具备了操作系统后, 就比较容易办到了。

在单片机中引入操作系统是一件十分困难的工作, 对单片机的硬件功能也有较高的要求。现在已有一些单片机操作系统进入实用阶段和商业阶段, 但这仍然是一个需要进一步完善的课题。

2. 网络功能的增强

未来的电子设备大都需要进入互联网, 因此就需要使用具有网络功能的单片机。现在有不少单片机已将TCP/IP固化到了其中, 这些芯片在增加某些上层应用电路和软件后, 就可以直接接入互联网。

除了与互联网相连外, 单片机还可以组成一些具有特定功能的专用网络, 这些都对单片机的网络功能提出了很高的要求。

3. 多媒体功能越来越强

现在的单片机在语音功能、视频功能、图像处理功能上有了很大的发展, 这些发展使得单片机的应用更加人性化, 也更具有娱乐性。如机器人的发展就对单片机的多媒体功能提出了越来越高的要求。

1.1.3 单片机的应用

现在, 电子产品大都使用了单片机, 可以说, 单片机的应用已深入到生活和工作的方方面面。下面从单片机在几个典型的领域中的应用来对此做一个简单的介绍。

1. 家用电器领域

现今家用电器中, 大都使用了单片机作为其控制器件, 如洗衣机、电冰箱、空调机、微波炉、电视机、摄像机和数码相机, 甚至在收音机中都使用了单片机。

2. 通信领域

在人们使用的手机、小灵通、传真机甚至一些电话机中, 也使用了单片机作为其控制器件, 为这些设备提供了诸如电话号码的存储、使用历史的存储、短信的显示、时间及闹钟等智能功能。

更为重要的是, 通信中的编码、解码、发送、接收、转发和路由等大都由单片机来完成, 可以说, 单片机是数字通信的主要承担者。

3. 办公自动化领域

在现代办公室中, 所使用的传真机、复印机、打印机、绘图仪和考勤机等都使用了单片机技术。

4. 商业和公共领域

在商业和公共领域有很多设备要使用单片机,如电子秤、条码识别器、收款机、监视系统、中央空调、交通灯、公共汽车上的报站器等。

5. 工业自动化领域

单片机在工业自动化领域的应用在很早就开始了,可以说,从单片机产生之日就开始了其工业自动化的应用,如生产线的控制、机械手的控制、过程控制、过程监测和智能仪表等。

同时,在一些特殊工业中,如航空航天领域、核工业、汽车工业等,单片机也被广泛地使用。

6. 机器人领域

这是目前一个十分受人关注的领域。现在不仅有一些专用机器人,还有可以跳舞的机器人、可以踢足球的机器人以及机器猫、机器狗等。机器人的发展目前可以说只是到了一个初级阶段,这一领域的发展将会从很大程度上改变人们的生活。

1.2 数制与编码

数制是人们利用符号进行计数的科学方法,一般来说,数制是以计数所使用的独立符号的个数来区分的。人们常用的数制为十进制,这是因为古人在最初进行计数时就使用了手指,人类的手有10个手指,故世界上各个早期文明都不约而同地使用了十进制。但在计算机中,由于只有两种信号(即高电平与低电平),故使用的是二进制,二进制又可使用八进制和十六进制来表示,因此在学习单片机时,应习惯读二进制和十六进制的数。

1.2.1 数制的基与权

数制所使用的数码的个数称为基,如十进制的基为10;数制每一位所具有的幂次称为权,如十进制中,个位的权为1,而百位的权为100。

1. 十进制(decimal)

十进制数的数字符号为0、1、2、…、9,共十个数码,因而基为10。其进位规则是逢十进一,因而它的权是以10为底的幂。例如:一个十进制数可以写成

$$30681D = 3 \times 10^4 + 0 \times 10^3 + 6 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 1 \times 10^0$$

可见在十进制中,每个位的数字的值都是以该位数字乘以基数的幂次来表示的。

由于在本书中有多种数制出现,因此特别在十进制数的后面加上一个大写的D或不加任何字母,表示它是一个十进制数。还有一些书上将十进制数写为 $(\times \times \times)_{10}$ 的形式,读者应注意。

2. 二进制(binary)

二进制的数字符号为0、1,共两个数码,它的权是以2为底的幂,例如一个二进制数可以写成1011B

$$1011\text{B}=1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+1\times 2^0$$

二进制数在计算机中可由高低电平来表示,也可由开关的断开与闭合来表示,因此二进制十分适合于在计算机中使用。

为了表示一个数是二进制数,特别在其后加上一个大写的 B。

3. 十六进制(hexadecimal)

虽然在计算机中使用的是二进制数,但二进制数太长,不利于表达、记忆与书写,因而人们又提出了十六进制的书写形式。

十六进制的数字符号为 0、1、2、…、9、A、B、C、D、E、F,共 16 个,其中 A~F 相当于十进制的 10~15。它的权是以 16 为底的幂,例如一个十六进制数可以写为 5DF3H

$$5\text{DF3H}=5\times 16^3+13\times 16^2+15\times 16^1+3\times 16^0$$

为了表示一个数是十六进制,特别在其后加上一个大写的 H。

1.2.2 数制的转换

1. 二、十六进制数转换成十进制数

根据定义,只需将二、十六进制数按权展开后相加即可。

【例 1-1】将 1011B、5DF3H 转换为十进制数。

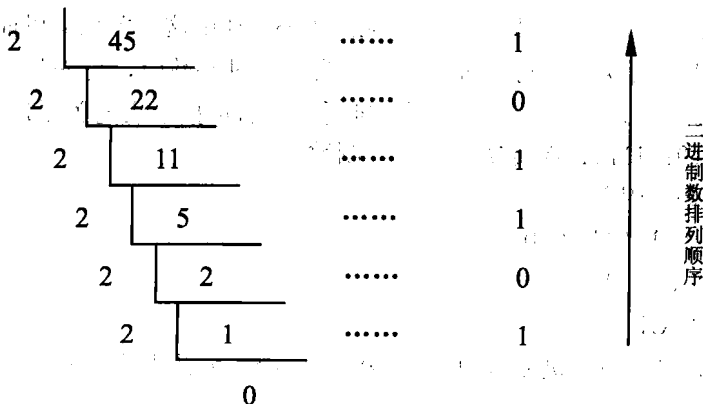
$$1011\text{B}=1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+1\times 2^0=11\text{D}$$

$$5\text{DF3H}=5\times 16^3+13\times 16^2+15\times 16^1+3\times 16^0=24051\text{D}$$

2. 十进制数转换为二进制数

一个十进制数转换成二进制数时,通常采用“除 2 取余”法,即用 2 连续除十进制数,直至商为 0,再从尾到头排列所得的各余数即可得到二进制数。

【例 1-2】将十进制数 45 转换为二进制数。



结果为 $45\text{D}=101101\text{B}$ 。

注意上面计算过程中最后余 1 时的计算。

3. 十进制数转换为十六进制数

与十进制数转换为二进制数一样,十进制数转换为十六进制数的方法为“除 16 取余”法,

但要注意此时最后的余数应为十六进制数。

【例 1-3】 将十进制数 235 转换为十六进制数。

十进制余数

十六进制数排列顺序

16

235

.....

11 (B)

16

14

.....

14 (E)

0

结果为 235D=EBH。

4. 二进制数与十六进制数的相互转换

二进制数与十六进制数有相应的转换关系，因此转换十分简单。按前面所述，二进制与十六进制的对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 十、二、十六进制数的对应关系

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	8	1000	8
1	0001	1	9	1001	9
2	0010	2	10	1010	A
3	0011	3	11	1011	B
4	0100	4	12	1100	C
5	0101	5	13	1101	D
6	0110	6	14	1110	E
7	0111	7	15	1111	F

可见，4 位的二进制数与十六进制数有一一对应的关系，利用这一关系可以简单地将二进制数与十六进制数进行相互转换。在将二进制数转换为十六进制数时，可先将二进制数由低位到高位 4 个一组地划分开，最高的不足 4 位用 0 补足，然后再按上表的关系进行转换即可。

【例 1-4】 将 10011010111010B 转换为十六进制数。

10011010111010

= 0010 0110 1011 1010

= 2 6 B A

即 10011010111010B=26BAH。

同样，将十六进制数转换为二进制数时，只需将每一个十六进制数按对应关系写为 4 个一组的二进制数即可。

【例 1-5】 将 A5B78H 转换为二进制数。

A5B78

= A 5 B 7 8

$= 1010\ 0101\ 1011\ 0111\ 1000$

$= 10100101101101111000$

即 $A5B78H = 10100101101101111000B$ 。

1.2.3 常用二进制编码

在计算机中,不仅有数据,还有各种符号,如字母、标点符号、汉字等,这些符号也只能使用0和1的组合来表示,称为“二进制编码”或简称“编码”。

编码的方式很多,这是一门专门的学问,十分复杂。这里只介绍两种单片机中常用的编码。

1. BCD 码 (binary coded decimal)

BCD 码也称为“8421 码”或“二-十进制编码”,它是使用二进制方式来表示十进制数的一种方法。

4 位的二进制数一共有 16 个,而十进制则只有 10 个,故只取前 10 个作为十进制的表示,而后 6 个舍弃。BCD 码有两种形式,即压缩的 BCD 码和非压缩的 BCD 码。

(1) 压缩的 BCD 码的每一位用 4 位二进制表示,一个字节表示两位十进制数。例如, $10001001B$ 表示 89D。

(2) 非压缩的 BCD 码一个字节只表示一位十进制数,高 4 位全是 0,低 4 位以 0000~1001 表示 0~9。例如, $0000100000001001B$ 表示 89D。

二进制、十进制、压缩的 BCD 码和非压缩的 BCD 码的对照表见表 1-2。

表 1-2 二进制、十进制、压缩 BCD 码与非压缩 BCD 码对照表

二进制	十进制	压缩 BCD 码	非压缩 BCD 码	二进制	十进制	压缩 BCD 码	非压缩 BCD 码
0000	0	0000	00000000	1000	8	1000	00001000
0001	1	0001	00000001	1001	9	1001	00001001
0010	2	0010	00000010	1010	10	00010000	0000000100000000
0011	3	0011	00000011	1011	11	00010001	0000000100000001
0100	4	0100	00000100	1100	12	00010010	0000000100000010
0101	5	0101	00000101	1101	13	00010011	0000000100000011
0110	6	0110	00000110	1110	14	00010100	0000000100000100
0111	7	0111	00000111	1111	15	00010101	0000000100000101

按这种对应关系,BCD 码与十进制的转换十分简单,如:

$0011\ 1001\ 0111\ 0101\ BCD = 3975D$

$4912D = 0100\ 1001\ 0001\ 0010\ BCD$

BCD 码在单片机应用中十分重要,特别是在数码显示中应用很多。

2. ASCII 码 (American Standard Code for Information Interchange)

为了在计算机中显示字符,普遍采用 ASCII 码。ASCII 码由 8 位二进制 (1 字节) 组成,

第 1 位始终为 0，后 7 位以不同的组合表示了数码 0~9、A~Z 所有大小写的字母及所有常用的标点符号，如表 1-3 所示。

表 1-3 ASCII 码表

b6b5b4 b3b2b1b0	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DEL	SP	0	@	P	,	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	>	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?/	O	_	o	.DEL

在 ASCII 码中，前两列主要是一些操作码，如 NUL 表示空格，ACK 表示打印校验等。

注意在 ASCII 码中，字母的大小写代码只有 b5 位有区别，因而要进行大小写的转换十分方便，如 A 的代码为 01000001，而 a 的代码则为 01100001，在运算上，大写字母的代码只需加上 32 (100000B) 就成为小写字母，而小写字母减去 32 就成为大写字母。

如果最高位为 1，就不再是 ASCII 码了，而可以成为其他代码，如在汉字系统中，两个最高位为 1 的字节组合在一起 (16 位) 就可代表一个汉字。

1.2.4 数据在计算机中的表示

除了无符号数，日常生活中还有大量带符号数。数的符号在计算机中也用二进制数表示，通常用二进制数的最高位表示数的符号。把一个数及符号在机器中的表示数值化，这样的数称为机器数，原来的数称为真值。常用的机器数表示方法有 3 种：原码、反码和补码。下面以一个字节为例进行说明。

(1) 原码。在一个字节中，将最高位用于表示数据的正负，而后 7 位为二进制数，这种表示方法即为原码。最高位为符号位，0 表示 +，而 1 表示 -。例如：

$$X = +1001011B \quad [X]_{\text{原}} = 01001011$$

$$X = -1001011B \quad [X]_{\text{原}} = 11001011$$

由于受位数的限制，原码能够表示的数的范围为 $-127 \sim +127$ ，超出这一范围的数就无