

普通高等教育规划教材

PIC 单片机原理及应用

彭树生 庄志洪 赵惠昌 编著

1-43

机械工业出版社
China Machine Press

156

TP368.1-43
P43

普通高等教育规划教材

PIC 单片机原理及应用

彭树生 庄志洪 赵惠昌 编著



机械工业出版社

本书根据国家教育部教学改革指导思想,着重于对学生实际能力的培养,其内容的深度和广度符合本科教学的要求。

本书以美国 Microchip 公司 PIC 单片机为背景,系统地介绍了 PIC 单片机的组成原理、体系结构、指令系统和应用等基础知识。主要包括:单片机的发展与现状、PIC 单片机的种类、PIC16F87X 系列微控制器系统硬件结构、PIC16F87X 系列单片机端口功能与扩展、PIC 系列单片机指令系统、PIC 系列单片机汇编语言程序设计、实用程序及其设计方法、PIC 单片机的应用等。

全书共 7 章,为配合教学使用,每章都配有适量的思考题。

本书可作为大学本科单片机原理及应用课程使用教材,也可作为有关工程技术人员学习 PIC 单片机的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机原理及应用/彭树生等编著. —北京:机械工业出版社,
2001.11

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-09456-5

I . P . . . II . 彭 . . . 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(2001)第 071057 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:商红云 王霄飞 版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·15.75 印张·387 千字

0 001—5 000 册

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

20 世纪 80 年代初,微处理器(单片机)开始进入电子产品设计领域。由于单片机的诞生,使得电子技术的应用进入智能化时代。多年来,一直由美国 INTEL 公司开发的 Intel8051 系列单片机占领着主要市场,在开发工具、应用开发方面也占着主导地位。

随着电子技术以及应用需求的发展,单片机技术得到迅速的发展,在高集成度、高速、低功耗以及高性能方面取得了很大的进展。

美国 Microchip 公司推出的 PIC 8 位单片机系列是业内首先采用 RISC 结构的高性价比嵌入式控制器,其高速度、低电压工作、低功耗、强大驱动能力、低价 OTP 技术、体积小等体现了单片机工业的新趋势。PIC 单片机从覆盖市场的角度出发,发展出三个层次系列多种型号的产品来满足不同的产品设计需求。所以,在全球都可以看到 PIC 单片机在从电脑外设、家电控制、电信通信、智能仪器仪表到汽车电子、金融电子各领域的广泛应用。它像“旋风”一样在短短的几年时间里扫遍了世界的每一个角落。PIC 单片机已经是世界上最有影响力的嵌入式微控制器之一。

PIC 单片机总线结构采取数据总线和指令线分离独立的哈佛(Harvard)结构,具有很高的流水处理速度。它的精简指令集结构(RISC)基本上使它所有的指令都是单字节,因此其程序空间的效率比一般单片机高很多。

PIC 进入我国时间不长,有关这方面的资料和书籍比较缺乏。针对这一情况,在美国微芯公司—南京理工大学单片机联合实验室的支持下,我们编写了 PIC 单片机的本科和研究生教材。这套教材包括《PIC 单片机原理及应用》、《PIC 单片机实验教程》、《PIC 单片机接口技术》和《PIC 单片机的应用系统设计》,侧重介绍 PIC16F87X 系列单片机的原理、接口技术和应用。

《PIC 单片机原理及应用》作为这套教材的第一本,着重于 PIC16F87X 系列单片机的基本原理和基础知识的介绍,力求为读者学习和使用 PIC 单片机打好基础。全书共分为七章,第一章绪论,介绍了单片机的发展、种类和 PIC 单片机的种类;第二章 PIC16F87X 系列微控制器系统硬件结构,介绍了 PIC 单片机的内部硬件特性和内部功能以及控制方法;第三章 PIC16F87X 系列单片机端口功能与扩展,介绍了 PIC 单片机常用端口的功能和功能扩展硬件设计;第四章 PIC 系列单片机指令系统,介绍了 PIC16F87X 单片机的指令功能和使用方法;第五章 PIC 系列单片机汇编语言程序设计,介绍了采用汇编语言设计 PIC 软件的方法和技术;第六章实用程序及其设计方法,介绍了 PIC 单片机常用一些子程序的设计方法;第七章 PIC 单片机的应用,介绍了 PIC 的一些基础应用技术。在作教材使用时,建议安排 32~40 学时授课、16~20 学时实验。实验内容可参见《PIC 单片机实验教程》一书。

本书由南京理工大学的彭树生编写了第一章、第二章和第三章;庄志洪编写了第六章和第七章;赵惠昌编写了第四章和第五章。本书中的部分程序调试、校对工作由实验室张恩泽实验员,研究生黄光明、刘建峰和帅建星等协助完成。

本书编写过程中主要参考的原版英文资料是由美国微芯公司—南京理工大学单片机联合

IV

实验室提供的,在此谨致诚挚的谢意。同时,我们也浏览了如下的一些网站:英蓓特网站([www. embed. com. cn](http://www.embed.com.cn))、宋荣网站(www. teachersong. com)、福州高齐科技有限公司网站(www. mcusolutio. com)、中国电子网(www. 21IC. com)、周立功公司网站(www. zlgmcu. com)、微芯公司网站(www. microchip. com, www. microchip. com. cn)、《电子产品世界》网站(www. edw. com. cn)、《国外电子元器件》网站(www. 56789. com)、武汉力源公司网站(www. p8s. com)、Maxim公司网站(www. maxim-ic. com, www. maxim-ic. com. cn.)等等。从这些网站中受益不少,在此也对他们表示感谢。

限于作者的水平,加上时间仓促,编写中难免出错,敬请读者批评指正。

作者

2001年7月于南京

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 单片机的发展 1

第二节 单片机的类别 4

第三节 PIC 系列单片机的种类与特点 6

第二章 PIC16F87X 系列微控器

系统硬件结构 10

第一节 概述 10

第二节 PIC16F87X 系列微控器的内部

功能及时序 11

一、内部组成 11

二、指令周期和时序图 14

三、指令流 14

第三节 PIC16F87X 系列微控器的引脚

功能 15

第四节 PIC16F87X 系列微控器存储器

组织 19

一、程序存储器组织 19

二、数据存储器组织 19

第五节 PIC16F87X 系列微控器的 I/O

端口 34

一、端口 A (PORTA) 和它的方向

寄存器 (TRISA) 34

二、端口 B (PORTB) 和它的方向

寄存器 (TRISB) 36

三、端口 C (PORTC) 和它的方向

寄存器 (TRISC) 37

四、端口 D (PORTD) 和它的方向

寄存器 (TRISD) 38

五、端口 E (PORTE) 和它的方向

寄存器 (TRISE) 38

六、并行从动端口 41

第六节 PIC16F87X 系列微控器数据存储

器 E²PROM 和闪存组织 42

一、寄存器 EECON1 和 EECON2 43

二、E²PROM 数据存储器的读和写

操作 44

三、FLASH 程序存储器的读和写操作 ... 46

四、写校验与写保护 48

第七节 PIC16F87X 系列微控器定时/计

数器组织 49

一、定时/计数器 0 (TIMER0) 49

二、定时/计数器 1 (TIMER1) 51

三、定时/计数器 2 (TIMER2) 54

第八节 PIC16F87X 系列微控器 CCP

(捕捉/比较/PWM) 56

一、捕捉 (Capture) 工作方式 58

二、比较 (Compare) 工作方式 59

三、脉宽调制 (PWM) 工作方式 59

第九节 PIC16F87X 系列微控器 A/D

转换模块 61

一、概述 61

二、A/D 采集要求 65

三、A/D 转换时钟选择 65

四、模拟输入引脚设置 66

五、正常 A/D 转换 66

六、睡眠 A/D 转换 67

七、复位对 A/D 转换的影响 67

八、A/D 精度和误差 67

第十节 PIC16F87X 系列微控器 MSSP 68

一、概述 68

二、SPI 工作方式 70

三、I²C 工作方式 73

第十一节 PIC16F87X 系列微控器

USART 89

一、USART 波特率发生器 (BRG) 90

二、USART 异步工作方式 91

三、USART 同步主控模式 96

四、USART 同步从动模式 99

第十二节 PIC16F87X 系列微控器看门

狗电路 101

第十三节 PIC16F87X 系列微控器振荡

电路 102

一、振荡方式 102

二、晶体振荡器/陶瓷振荡器	102	第四章 PIC 系列单片机指令系统	130
三、外部晶体振荡器电路	103	第一节 PIC 系列单片机指令系统的	
四、RC 振荡电路	103	分类及说明	130
第十四节 PIC16F87X 系列微控制器中断		一、指令系统分类	130
组织	104	二、指令描述符号说明	131
一、中断源	104	三、指令速查表	132
二、中断的控制	105	第二节 数据传送类指令	132
三、中断现场的保护	105	第三节 算术操作类指令	141
第十五节 PIC16F87X 系列微控制器复位		第四节 逻辑操作类指令	147
与复位状态	106	第五节 控制转移类指令	155
第十六节 PIC16F87X 系列微控制器低		第六节 位操作类指令	161
功耗设置(休眠模式)	110	思考题	163
一、进入休眠(SLEEP)省电方式	110	第五章 PIC 系列单片机汇编语言	
二、CPU 从休眠状态唤醒	111	程序设计	164
三、中断唤醒状态	111	第一节 汇编语言程序的基本格式	164
第十七节 PIC16F87X 系列微控制器在线		一、标号	164
串行编程与调试	112	二、操作码	164
一、在线调试	112	三、操作数	165
二、在线串行编程	112	四、注释	166
思考题	113	第二节 汇编程序 MPASM 的伪指令	166
第三章 PIC16F87X 系列单片机		第三节 宏定义与宏调用	174
端口功能与扩展	114	第四节 一个汇编语言程序设计例子	176
第一节 I/O 端口的功能与应用	114	一、程序清单及说明	176
一、端口 A 的功能与应用	114	二、汇编与调试	188
二、端口 B 的功能与应用	115	第五节 汇编语言程序结构化设计	189
三、端口 C 的功能与应用	116	一、顺序结构	189
四、端口 D 的功能与应用	116	二、循环结构	193
五、端口 E 的功能与应用	117	三、分支结构	194
第二节 数据存储器的扩展	117	思考题	195
一、概述	117	第六章 实用程序及其设计方法	196
二、并行总线数据存储器的扩展	118	第一节 实用宏的定义	196
三、I ² C 总线数据存储器的扩展	119	一、带进位的加法宏 ADDWFC	196
四、SPI 总线数据存储器的扩展	121	二、置溢出标志的带进位加法宏	
第三节 异步串行通信接口的扩展	122	ADDWFCV	197
一、概述	122	三、带借位的减法宏 SUBWFB	199
二、RS-232-C 标准	123	四、置溢出标志的带借位减法宏	
三、硬件实现方法与电路	124	SUBWFBV	200
四、通信程序的设计	126	五、乘法宏 MUL	202
第四节 外中断功能	127	六、除法宏 DIV	202
一、PIC 单片机中断的“级”	127	七、寄存器内容为某常数跳转宏	
二、RB0/INT 外中断	128	JFZK	204
三、端口 B 状态变化的中断	128	第二节 定点整数的算术运算子程序	205
思考题	129		

一、无符号双精度数的定点算术运算 子程序	205	第一节 LED 显示控制	223
二、有符号双精度数的定点算术 运算子程序	208	一、LED 显示器	223
第三节 浮点数的算术运算子程序	212	二、PIC 单片机直接驱动 LED 显示 接口方法	224
一、浮点数的表示及其规格化子程序 ..	212	三、硬件译码驱动显示接口方法	226
二、浮点数加/减法子程序	216	第二节 异步串行通信	228
三、浮点数乘法子程序	216	一、异步串行通信及接口概念	228
第四节 BCD 码程序	217	二、异步串行通信的软件模拟	229
一、二进制数转换为 BCD 数子程序	217	第三节 串行通信 (SCI) 模式的应用	232
二、无符号 2 位 BCD 码加法子程序	219	第四节 PIC16F877 中 A/D 转换模块的 应用	239
三、无符号 2 位 BCD 码减法子 程序	220	思考题	241
思考题	222	后记	242
第七章 PIC 单片机的应用	223	参考文献	243

第一章 绪 论

第一节 单片机的发展

单片机是单片微计算机 (Single-Chip Microcomputer) 的简称, 也称为微处理器 (μP : Microprocessor) 或微控制器 (μC : Micro-controller), 通常统称为微型处理部件 (MCU : Micro Controller Unit)。它是微电子技术和集成电路 IC 技术迅速发展的结晶, 是在一块硅片上集成 CPU、RAM、ROM、定时器/计数器、中断处理器和多种 I/O 端口完整的数字处理系统。在电子技术应用中, 由于单片机的诞生, 电子应用进入了“智能化”时代。单片机以其功能强、体积小、可靠性高、面向控制及价格低廉等一系列优点, 牢固地树立了其在嵌入式微控制系统中的“霸主”地位, 在工业控制、智能化仪器仪表、计算机通信、家电、汽车、玩具等领域得到了广泛的应用。在 PC 机以 286、386、Pentium、PIII 高速更新换代的同时, 单片机却“始终如一”保持旺盛的生命力。随着电子技术的迅猛发展, 单片机将更广泛地应用于军事、工业、通信、家用电器、智能玩具、便携式智能仪表等领域, 使产品功能、精度和质量大幅度提高, 而电路设计却更简单、故障率更低、可靠性更高且成本低廉。

第一款单片机是 Intel 公司 1971 年生产的, 命名为 Intel-4004。此时, Intel 公司就给单片机取名为嵌入式微控制器 (Embedded micro-controller), 1976 年 Intel 公司生产出 MCS-48 单片机, 从此单片机及其周边应用技术得到迅猛发展。纵观各系列单片机各阶段的特性和发展动向, 从最初的准确地体现单片形态微计算机的内容发展到突破微计算机的传统内涵, 着力扩展各种控制功能, 单片机大致经历了三个发展阶段: 第一阶段以 MCS-48 系列为代表, 它将 CPU 和计算机外围电路集成到一个芯片上, 构成新型工业微控制器, 取得了很大的成功。第二阶段以 MCS 系列中的 8031 为代表, 它将单片机配置了完善的外部并行总线和具有多机识别功能的串行通信接口, 规范了功能单元的特殊功能寄存器 (SFR) 控制模式及适应控制器特点的布尔处理系统和指令系统, 为发展具有较好兼容性的新一代单片机奠定了良好的基础。第三阶段以 80C51 系列为代表, 它扩展了外部接口电路, 在总线方面配置了芯片间的串行总线, 为单片机应用系统设计提供了更加灵活的手段。

随着现代微电子技术、超大规模集成电路的发展, 单片机技术日趋成熟, 单片机向单片机系统及单片机应用系统不断扩展其功能, 从而无论是在较复杂的总线方式应用系统, 如工控系统、智能仪表、监测系统或满足这些应用而构成的多机与网络系统中, 还是在规模较小的非总线方式应用系统, 如小型控制器、测控单元、单元仪表中, 发展了形形色色、具有不同功能的单片机品种。从当前各系列单片机产品的特性可以看出, 单片机正朝着两个方向发展。一方面, 单片机的性能不断提高, 功能越来越强, 如带有 A/D、PWM、PCA、WDT、或带有大量高速 I/O 口、计数器捕获/比较逻辑、增强型通信接口等, 其内部结构、指令系统及开发工具均较为完善、复杂。该类产品以 Intel 公司的 MCS-96 系列、MOTOROLA 公司的 MC68HC11 系列为代表, 它们可以满足各种复杂应用系统的需求。另一方面, 单片机朝着超小型、超低功耗、低成本、多品种等方向发展。它们不搞单纯的功能堆积, 而是从实

际出发,重视产品的性能价格比,发展多种型号来满足各种中小型智能化产品,尤其是消费类电子产品的应用,这些产品以美国 MICROCHIP 公司的 PIC 系列、ZILOG 公司的 CCP 系列为代表,而 PIC 系列以推出低价格一次性用户可编程 OTP 型单片机而构成了单片机家族中的后起之秀。近年来,它像旋风一样横扫全球,将单片机的应用扩大到电子产品的每一个角落。

从技术的角度看,单片机的进步反映在内部结构、功率消耗、外部电压等级、制造工艺以及高可靠性设计上。在内部结构方面,单片机集成了越来越多的部件,这些部件除包括一般常用的电路(例如:定时器,比较器,A/D 转换器,D/A 转换器,串行通信接口,Watchdog 电路,LCD 控制器等)外,还包括一些专用的部件,如局部网络控制模块 CAN 和脉宽调制控制电路。通过 CAN 模块,连接到 Internet 上或自构成一个控制网络,通过标准网络浏览器进行过程控制。这类产品有 Motorola 公司的 68HC08AZ 系列和 Infineon 公司的 C505C、C515C、C167CR、C167CS-32FM 和 81C90 等。为了能在变频控制中方便使用单片机,形成最具经济效益的嵌入式控制系统,有的单片机内部设置了专门用于变频控制的功能模块,这些单片机有 Fujitsu 公司的 MB89850 系列、MB89860 系列;Motorola 公司的 MC68HC08MR16、MR24 等。特别引人注目的是:现在有的单片机已采用所谓的三核(TnCore)结构,这是一种建立在系统级芯片(System on a chip)概念上的结构。这种单片机由三个核组成:一个是微控制器和 DSP 核,一个是数据和程序存储器核,最后一个是外围专用集成电路(ASIC)。这种单片机的最大特点在于把 DSP 和微控制器同时做在一个芯片上。虽然从结构定义上讲,DSP 是单片机的一种类型,但其作用主要反映在高速计算和特殊处理如快速傅立叶变换等上面。把它和传统单片机结合集成大大提高了单片机的功能。这是目前单片机最大的进步之一。这种单片机最典型的有 Infineon 公司的 TC10GP;Hitachi 公司的 SH7410,SH7612 等。这些单片机都是高档单片机,MCU 都是 32 位的,而 DSP 采用 16 或 32 位结构,工作频率一般在 60MHz 以上。

在功耗、封装及电源电压等方面,由于自 20 世纪 80 年代中期以来 NMOS 工艺单片机逐渐被 CMOS 工艺代替,功耗得以大幅度下降。全静态设计使时钟频率从直流到数十兆任选,也使功耗不断下降。新单片机的功耗越来越小,特别是很多单片机都设置了多种工作方式,这些工作方式包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。Philips 公司的单片机 P87LPC762 是一个很典型的例子,在空闲时,其电流为 1.5mA;而在节电方式中,其电流只有 0.5mA。而在功耗上最令人惊叹的是被称为“绿色单片机”的 TI 公司 MSP430 系列单片机,它有超低功耗工作方式,它的低功耗方式有 LPM1、LPM3、LPM4 三种,当电源为 3V 时,如果工作于 LPM1 方式,即使外围电路处于活动,由于 CPU 不活动,振荡器处于 1~4MHz,这时电流只有 50 μ A。在 LPM3 时,振荡器处于 32kHz,这时电流只有 1.3 μ A。在 LPM4 时,CPU、外围及振荡器 32kHz 都不活动,则电流只有 0.1 μ A。现在单片机的封装水平已大大提高,随着贴片工艺的出现,单片机也采用了各种符合贴片工艺的封装方式,以大量减少体积。在这种形势中,MICROCHIP 公司推出的 8 引脚的单片机特别引人注目,这是 PIC12CXXX 系列。它含有 0.5~2K 程序存储器,25~128 字节数据存储器,6 个 I/O 端口以及一个定时器,有的还含 4 通道 A/D,完全可以满足一些低档系统的应用。扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能工作是今天单片机发展的目标之一。目前,一般单片机都可以在 3.3~5.5V 的条件下工作。而有些厂家,则生产出可以在 2.2~6V 的条件下工作的单片

机。这些单片机有 Fujitsu 公司的 MB89191 - 89195、MB89121 - 125A、MB89130 系列等,应该说该公司的 F2MC - 8L 系列单片机绝大多数都满足 2.2~6V 的工作电压条件。而 TI 公司的 MSP430X11X 系列的工作电压也是低达 2.2V。

在工艺方面,现在的单片机基本上采用 CMOS 技术,随着超大规模集成电路技术由 $3\mu\text{m}$ 工艺发展到 $1.5\mu\text{m}$ 、 $1.2\mu\text{m}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.35\mu\text{m}$,甚至实现了 $0.2\mu\text{m}$ 光刻工艺,有个别的公司,如 Motorola 公司则已采用 $0.35\mu\text{m}$ 甚至是 $0.25\mu\text{m}$ 技术。这些技术的进步大大地提高了单片机的内部密度和可靠性,也进一步降低了单片机的功耗。

在可靠性方面,生产厂家在单片机设计上采用了多种新技术,目的是为提高单片机系统的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境,满足电磁兼容性方面更高标准的要求。这些新技术包括:EFT (Electrical Fast Transient) 技术、低噪声布线技术与驱动技术以及低频时钟技术。EFT 技术是一种抗干扰技术,它是指在振荡电路的正弦信号受到外界干扰时,其波形上会迭加各种毛刺信号,如果使用施密特电路对其整形,则毛刺会成为触发信号干扰正常的时钟。采用交替使用施密特电路和 RC 滤波电路方法,可以消除这些毛刺而令其作用失效,从而保证系统的时钟信号正常工作。这样,就提高了单片机工作的可靠性。Motorola 公司的 MC68HC08 系列单片机就采用了这种技术。

在传统的单片机中,电源及地线是在集成电路外壳的对称引脚上,一般是在左上、右下或右上、左下的两对对称点上。这样,就使电源噪声穿过整块芯片,对单片机的内部电路造成干扰。现在,很多单片机都把地和电源引脚安排在两条相邻的引脚上。这样,不仅降低了穿过整个芯片的电流,另外还在印制电路板上容易布置去耦电容,从而降低系统的噪声。现在为了适应各种应用的需要,很多单片机的输出能力都有了很大提高,Motorola 公司的单片机 I/O 口的灌拉电流可达 8mA 以上,而 Microchip 公司的单片机可达 25mA。其他公司:AMD、Fujitsu、NEC、Infineon、Hitachi、Ateml、Toshiba 等基本上可达 8~20mA 的水平。这些电流较大的驱动电路集成到芯片内部在工作时带来了各种噪声,为了减少这种影响,现在单片机采用多个小管子并联等效一个大管子方法,并在每个小管子的输出端串上不同等效阻值的电阻,以降低电流变化率 (dI/dt),这也就是所谓“跳变沿软化技术”,从而消除大电流瞬变时产生的噪声。

高频外时钟是噪声源之一,不仅能对单片机应用系统产生干扰,还会对外界电路产生干扰,令电磁兼容性不能满足要求。对于要求可靠性较高的系统,低频外时钟有利于降低系统的噪声,使用较低的时钟而不牺牲运算速度是单片机技术发展之追求。在一些单片机中采用内部锁相环技术或内部倍频技术,使在外部时钟较低时,也能产生较高的内部总线速度,从而保证了速度又降低了噪声。Motorola 公司的 MC68HC08 系列及其 16/32 位单片机就采用了这种技术以提高可靠性。

纵观单片机的发展过程,单片机目前的发展表现出几大趋势:①网络化,单片机作为工业控制器的主力军,直接和互联网连接已是一个必然的发展方向;②集成化,集成越来越多的功能模块,如语音处理功能,图像处理功能,网络管理功能等,使得单片机的功能越来越强大;③低功耗和宽电压,追求低功耗是每一个电子产品的发展方向之一;④数字-模拟化,将数字技术和模拟技术融为一体,形成功能独特的单片机;⑤多种数据总线单片机共同发展,单片机的数据总线实现多种并存,有 4 位、8 位、16 位和 32 位等,它们适应不同领域的需求。

第二节 单片机的类别

单片机从用途上可分成通用型单片机和专用型单片机两大类。专用型单片机是指用途比较专一，出厂时程序已经一次性固化好，不能再修改的单片机。这种单片机的生产成本很低，例如电子表里的单片机就是其中的一种。通用型单片机的用途很广泛，使用不同的接口电路及编制不同的应用程序就可完成不同的功能。通常所说的都是通用型单片机。通用型单片机是把所有资源（如 ROM、I/O 等）全部提供给用户使用。当今通用型单片机的生产厂家已不下几十家，种类有几百种之多。从生产厂家来说，有 Intel 公司、美国国家半导体公司、TI 公司、Zilog 公司、Atmel 公司、Motorola 公司、美国微芯公司、韩国现代（LG）公司、韩国三星公司、台湾华邦公司、台湾义隆电子股份有限公司、日本 EPSON 公司、日本东芝公司等等。

美国 Intel 公司是最早的单片机生产商，8051 单片机是它的最早最典型的产品，由 8051 发展起来的 MCS-51 系列单片机包括了好些品种，如 8031、8051、8751、8032、8052、8752 等，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，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。MCS-51 系列单片机由 Intel 公司推出后，多家公司购买了 8051 的内核并生产以 8051 为核心的单片机，使得以 8051 为内核的 MCU 系列单片机在世界上产量最大，应用也最广泛，有人推测 8051 可能最终形成事实上的标准 MCU 芯片。

Motorola 是世界上最大的单片机厂商，其产品特点是品种齐全、选择余地大、新产品多，多年来一直雄居单片机销售量的榜首。从 M6800 开始，开发了众多的品种：4 位、8 位、16 位和 32 位单片机。Motorola 单片机的特点之一是在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多（相当于提高了单片机的速度），因而使得高频噪声低，抗干扰能力强，更适用于工控领域及恶劣的环境。在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08，68HC05 有三十多个系列，二百多个品种，产量已超过 20 亿片。8 位增强型单片机 68HC11 也有三十多个品种，年产量在 1 亿片以上，升级产品有 68HC12。16 位机 68HC16 也有十多个品种。32 位单片机的 683XX 系列也有几十个品种。

ATMEL 公司是全球著名的半导体公司之一，它生产基于 8051 内核的 AT89 系列单片机和基于精简指令集（RISC）AVR 系列单片机。20 世纪 90 年代初，ATMEL 率先把 MCS-51 内核与其擅长的 Flash 技术相结合，推出轰动业界的 AT89 系列单片机。AT89C51 系列单片机完全与 Intel8051 系列兼容，在 MCS-51 市场上仍占据主要份额。AVR 单片机是增强型 RISC 内载 Flash 的单片机，芯片上的 Flash 存储器附在用户的产品中，可随时编程，再编程，使用户的产品设计容易，更新换代方便。AVR 单片机由于采用了精简指令，处理速度得到提高，处理能力也相应改善。几年来，AVR 单片机已形成系列产品，其 ATtiny、AT90 与 ATmega 分别对应为低、中、高档产品。AVR 的单片机广泛应用于计算机外围设备，工业实时控制，仪器仪表，通信设备，家用电器，宇航设备等各个领域。

Microship 单片机是市场份额增长最快的单片机，发展非常迅速。它的主要产品是 PIC 16C/F 系列、17C/F 系列和 18F 系列 8 位单片机。CPU 采用 RISC 结构，分别仅有 33、35、58 条指令，采用 Harvard 双总线结构，运行速度快，低工作电压，低功耗，较大的输入输

出直接驱动能力，价格低，一次性编程，小体积。在办公自动化设备、消费电子产品、电信通信、智能仪器仪表、汽车电子、金融电子、工业控制、智能监控不同领域都有广泛的应用。Microship 单片机没有掩膜产品，全部是 OTP 器件，Microship 强调节约成本的最优化设计，适于用量大、档次低、价格敏感的产品。

美国国家半导体公司主要生产 COP8 单片机。COP8 单片机内部集成并不多见的 16 位 A/D 和使用了抗 EMI 电路，在看门狗电路以及 STOP 方式下单片机的唤醒方式上也有独到之处。此外，COP8 的程序加密也做得比较好。

TI 公司主要生产 MSP430 系列单片机。MSP430 系列是一种特低功耗的 FLASH 微控制器，有业界最佳“绿色微控制器”称号，其技术特征代表了单片机的发展方向。其存储器模块是目前业界所有内部集成 FLASH 存储器产品中能耗最低的一种，功耗仅为其他 FLASH MCU 的五分之一。MSP430 微控制器具有高效的 16 位 RISC 内核、27 条指令、125ns 指令周期，绝大多数指令在一个时钟周期内完成，供电电压为 1.8~3.6V，程序代码加密后无法解密；只需外接一个电阻、一个电容即可实现高精度斜率 A/D，待机激活时间仅需 6 μ s，串行在线编程的开发方式可以迅速地开发新品。另外，MSP430 系列具有强大的中断功能、10 万次擦写、ESD 保护和超强抗干扰能力等。MSP430 微控制器广泛地应用于煤气表、电子电表、火警智能接头、通信产品、家庭自动化产品、便携式监视器及其他低功耗产品。由于其功耗极低，可设计出只需一节电池就可使用近十年的应用仪表，同时内部集成 FLASH 使 MSP430 微控制器系列产品的应用更加完整。

Zilog 公司生产的单片机以 Z8 系列为主，Z80 单片机 20 世纪 80 年代在中国大陆曾得到广泛的应用。Zilog 公司的单片机采用多累加器结构，有较强的中断处理能力，产品为 OTP 型，开发工具可称价廉物美。Z8 单片机以低价位的优势面向低端应用，以 18 引脚封装为主，ROM 为 0.5~2K。最近 Zilog 公司又推出了 Z86 系列单片机，该系列内部可集成廉价的 DSP 单元。

台湾义隆电子股份有限公司生产的单片机是 OTP 型的 EM78 系列单片机，管脚与 PIC16CXX 兼容，可以直接替代。软件可以相互转换。

Micon 公司生产的 MDT20XX 系列单片机是工业级 OTP 单片机，与 PIC 单片机管脚完全一致，海尔集团的电冰箱控制器、TCL 通信产品、长安奥拓铃木小轿车功率分配器就采用这种单片机。

EPSON 公司生产的单片机以低电压、低功耗和内置 LCD 驱动器为主要特点，包含 4 位 SMC62 系列、SMC63 系列、SMC60 系列和 8 位 SMC88 系列。广泛用于工业控制、医疗设备、家用电器、仪器仪表、通信设备和手持式消费类产品等领域。Epson 公司生产的单片机主要是与液晶显示器相配套，LCD 驱动部分做得特别好。在低电压、低功耗方面也很有特点。目前 0.9V 供电的单片机已经上市，不久的将来，LCD 显示的手表类单片机将使用 0.5V 供电。

NEC 生产的单片机自成体系，以 8 位单片机 78K 系列产量最高，也有 16 位、32 位单片机。16 位以上单片机采用内部倍频技术，以降低外时钟频率。有的单片机采用内置操作系统。

东芝公司生产单片机从 4 位机到 64 位机门类齐全。4 位机在家电领域仍有较大的市场。8 位机主要有 870 系列、90 系列等，该类单片机允许使用慢模式，采用 32K 时钟时功耗降

至 $10\mu\text{A}$ 数量级。CPU 内部多组寄存器的使用,使得中断响应与处理更加快捷。东芝的 32 位单片机采用 MIPS 3000A RISC 的 CPU 结构,面向 VCD、数码相机、图像处理等市场。

富士通公司生产的单片机有 8 位、16 位和 32 位。8 位机使用的是 16 位机的 CPU 内核,使得 8 位机与 16 机所用的指令相同,开发比较容易。8 位单片机有著名的 MB8900 系列,16 位机有 MB90 系列。

现代公司生产的 GMS90 系列单片机与 Intel MCS-51 系列、Atmel 89C51 系列等单片机兼容,CMOS 技术,高达 40MHz 的时钟频率。主要应用于多功能电话、智能传感器、电度表、工业控制、防盗报警装置、各种计费器、各种 IC 卡装置、DVD、VCD 和 CD-ROM 等中。

三星公司生产的单片机有 KS51 和 KS57 系列 4 位单片机、KS86 和 KS88 系列 8 位单片机、KS17 系列 16 位单片机和 KS32 系列 32 位单片机。三星单片机为 OTP 型,具有 ISP 在片编程功能。三星公司在单片机技术上以引进消化发达国家的技术、生产与之兼容的产品,然后以价格优势取胜。例如在 4 位机上采用 NEC 的技术,8 位机上引进 Zilog 公司 Z8 的技术,在 32 位机上购买 ARM7 内核,还有 DEC 的技术、东芝的技术等。其单片机裸片的价格相当有竞争力。

华邦公司主要生产 4 位单片机和 8 位单片机,也生产 32 位单片机。4 位单片机主要是 W741 系列,4 位单片机带 LCD (液晶显示器) 驱动、在线烧录、保密性高、低操作电压 ($1.2\sim 1.8\text{V}$)。8 位单片机主要是 W77 系列和 W78 系列,W78 系列与标准的 8051 兼容,W77 系列为增强型 51 系列。华邦单片机对 8051 的时序作了改进,每个指令周期从 12 个时钟周期改为只需要 4 个,速度提高了三倍,工作频率最高可达 40MHz,FLASH 容量从 4K 到 64K,有 ISP 功能。同时增加了 WatchDog 定时器、6 组外部中断源、2 组 UART、2 组数据指针及等待状态控制针。在 32 位机方面,华邦使用惠普公司 PA-RISC 单片机技术,生产低位的 32 位 RISC 单片机。

Scenix 公司推出的 8 位 RISC 结构 SX 系列单片机与 Intel 的 Pentium II 等一起被《Electronic Industry Yearbook 1998》评选为 1998 年世界十大处理器。在技术上有其独到之处——设置双时钟。指令运行速度可达 50/75/100MIPS (每秒执行百万条指令,XXX M Instruction Per Second);具有虚拟外设功能,柔性化 I/O 端口,所有的 I/O 端口都可单独编程设定,公司提供各种 I/O 的体函数,用于实现各种 I/O 模块的功能,如多路 UART、多路 A/D、PWM、SPI、DTMF、FS、LCD 驱动等等。采用 EEPROM/FLASH 程序存储器,可以实现在线系统编程。通过计算机 RS232C 接口,采用专用串行电缆即可对目标系统进行在线实时仿真。

以上的单片机产品是在国内比较容易见到的产品,随着电子应用技术的发展,单片机的产品进入了缤纷的时代,不再像 20 世纪 80 年代那样单片机品种少、门类单一。但由于各个品种不兼容,使得开发系统也不能兼容,这给用户的选择带来一定的局限性。

第三节 PIC 系列单片机的种类与特点

PIC 系列单片机成本低、功耗低、性能高、全静态设计、片内带有 EPROM、具有精简

指令集 RISC 结构, 仅 30 几条单字节指令, 除跳转指令为双周期指令外, 其余均为单周期指令, 使得用户易学易用, 编程简洁。CPU 采用指令线与数据线分离的哈佛结构, 两级流水线指令取数与执行, 这使得 PIC 单片机在代码压缩与执行速度方面和同类 8 位单片机相比, 具有较大的优势。

PIC 系列单片机 I/O 口是双向的, 其输出电路为 CMOS 互补推挽输出电路, 每一个 I/O 引脚高电平输出电路可驱动 20mA 电流, 低电平可吸收 25mA 电流, 因此 PIC 单片机能理想地直接驱动数码管显示, 节省了外接驱动三极管。PIC 端口 B 的每一个引脚都有一个弱的内部上拉电流, 而其中的四个引脚在改变特性时, 端口 B 就有一个中断, 如果将该中断与这四个引脚上的软件可配置上拉电流相结合使用, 我们就会使得单片机与键阵的接口十分简单, 节省了外接上拉电路, 并使通过按键唤醒器件成为可能。它对于要求低功耗的手持式仪表非常合适。PIC 系列单片机片内带有 8 位或 10 位精度的 A/D 转换器, 它对于精度要求不高的低成本应用十分理想, 如恒温控制、压力传感等。PIC 系列单片机的中断源十分丰富, 最多可达 14 个, 并配以 8 级硬件堆栈, 各个中断请求由中断控制寄存器中的标志位来记录, 用户可通过相应的标志位来判断发生了何种中断, 并转入相应的中断处理程序。

PIC 系列单片机的外围器件还包括定时/计数器及其预分频器, 将它们结合使用可十分方便地产生任何频率的时基, PIC 的睡眠方式可节省功耗。另外具有片内 RC 振荡的 WDT 可使系统工作可靠。当 PIC 系列单片机检测到 V_{DD} 上升到 1.2~1.8V 时, 就会自动产生一个上电复位脉冲, 引起芯片复位。在大多数应用中, 可以利用这一优点, 将复位引脚直接连到 V_{DD} 端, 从而节省了外部复位电路。

Microchip 可提供几款 (8 位) RISC 结构 PIC 单片机系列, 按指令的位数, 可分为三个种类: 基本级产品、中级产品和高级产品, 每种产品有包含了多种型号, 如表 1-1 所示。所有的产品都提供 OTP 或 Flash 编程, 低电压和低功耗选择, 多种封装选择, 存储选择 (ROM, EEPROM, FLASH) 等。

1. 基本级产品——PIC16C5X/PIC12C5XX: 8 位指令系列

PIC16C5X 是最早发展的系列。它的特点是低价, 适用于各种对成本要求严格的嵌入式控制。从应用范围到采用的数量, PIC16C5X 都是首屈一指的。而 PIC12C5XX 是世界第一个 8 脚低价单片机, 其小巧低价足以使其应用在很多以前不能用单片机的地方, 前景广阔。

2. 中级产品——PIC12C6XX/PIC16C/FXXX: 12 位指令字系列

PIC 中级产品是品种最丰富的系列。它在 PIC16C5X 的基础上进行了很多改进, 并保持了很高的兼容性。从 8 脚到 68 脚各种形式的封装, PIC12C6XX/16CXXX 可应用于各种高、中、低档电子产品设计中。它的特点是在保持低价格的前提下具有很高的性能, 如带 A/D、内部 E^2 PROM 数据存储、双时钟工作、比较输出、捕捉输入、PWM 输出、I²C 和 SPI 接口、异步串行通信 (USART)、模拟电压比较器及 LCD 驱动等等, 使之成为业界瞩目的机种, 已被广泛应用在各种电子产品中, 表现极佳。

3. 高级产品——PIC17CXXX 和 PIC18CXXX: 16 位指令字系列

PIC17CXX 是目前世界上 8 位单片机中运行速度最快的, 它具备了一个指令周期内 (最短 160ns) 完成 8 位×8 位二进制乘法运算的能力, 可以在一些需要高速数字运算的应用场合中取代 DSP (数字信号处理器)。再加上 PIC17CXX 还具备了丰富的 I/O 控制功能, 并可以外接扩展 EPROM 和 RAM, 使它成为目前 8 位单片机中性能最高的机种之一, 被广泛应

表 1-1 PIC 系列单片机分类表

系列	主要特性	名称	工艺与特点	型号
基本级	PIC16C5X PIC12C5XX 8 位单片机	PIC16C5X	OTP/EPROM	PIC16C52 PIC16C54 PIC16C55 PIC16C56 PIC16C57 PIC16C58
		PIC12C5XX	OTP/EPROM 8 脚封装	PIC12C508 PIC12C509 PIC12CE518 PIC12CE519
中级	PIC16C/FXXX 8 位单片机	PIC12C6XX	OTP/EPROM 8 脚封装	PIC12C671 PIC12C672 PIC16CE673 PIC16CE674
		PIC16C55X	OTP/EPROM	PIC16C554 PIC16C555 PIC16C556 PIC16C557 PIC16C558
		PIC16C6X	OTP/EPROM	PIC16C61 PIC16C62 PIC16C63 PIC16C64 PIC16C65
		PIC16C6XX	OTP/EPROM 含比较器	PIC16C620 PIC16C621 PIC16C622 PIC16C641 PIC16C642 PIC16C661 PIC16C662
		PIC16C7X	OTP/EPROM 含 8 位 A/D	PIC16C70 PIC16C71 PIC16C72 PIC16C73 PIC16C74
		PIC16C8X	E ² PROM 程序存储器和数据 存储器	PIC16F83 PIC16F84
		PIC16F87X	FLASH 程序存储 器和 E ² PROM 数 据存储器	PIC16F873 IC16F873A PIC16F874 PIC16F874A PIC16F876 PIC16F876A PIC16F877 PIC16F877A
		PIC16C9XXX	OTP/EPROM 含 LCD 驱动	PIC16C923 PIC16C924
		PIC14000	OTP/EPROM 含 A/D, D/A 和温度 传感器	PIC14000
高级	PIC17CXXX 系列 8 位单片机	PIC17C4X PIC17C7XX	OTP/EPROM/ ROM	PIC17C42 PIC17C43 PIC17C44 PIC17C752 PIC17C756 PIC17C765A PIC17C763 PIC17C762
	PIC18CXXX 系列 8 位单片机	PIC18CXX2 PIC18FXXX	OTP/FLASH	PIC18FXXX PIC18 CXX2

用于高、中档电子设备中。

PIC18CXXX 系列是一款高性能、全静态设计、内带 A/D 转换器的 CMOS 16 位单片机，采用高性能增强型的 RISC 结构，具有 32 级硬件堆栈和多种内外中断。数据总线和指令总线分离独立的哈佛结构应允 16 位指令字和 8 位数据相结合。精简指令集，仅 68 条单字节指令，除地址分支跳转指令为双周期指令外，其余所有指令皆为单周期指令。另外，片内创新的寄存器组大大提高运行速度，可达到 10 MIPS（每秒百万条指令）。增加了一些特殊的功能部件，这样减少了外围元件，可降低成本，增强系统可靠性，减少功耗。

PIC 系列单片机还具有非常优秀的微处理特性，如多种复位方式、多种中断功能、低功耗睡眠功能、掉电复位锁定等等。在 PIC 单片机的内部还集成有上电复位电路（POR）、看门狗电路、I/O 口弱上拉等，可以大大减少外围器件，节省用户的空间和成本。

PIC 系列单片机所有型号都有商用级（ $0 \sim +70^{\circ}\text{C}$ ）、工业级（ $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$ ）和汽车工业级（ $-40 \sim +125^{\circ}\text{C}$ ）芯片，可以适应各种环境温度。

Microchip 公司的这三个层次的 PIC 单片机具有很高的代码兼容性。用户很容易将代码从某型号转移到另一个型号上，所以用户总是可以选择一种最适合于自己产品的型号，使自己的投资得到最好的回报。

综上所述，PIC 系列单片机以其独特的结构，为产品的设计提供了广阔的选择余地，以其高度的性能价格比极大地降低了产品开发的成本。另外，PIC 的低价一次性用户可编程 OTP 型芯片避免了为掩膜而冒风险，或委屈地使用带片外 EPROM 和 RAM 的单片机设计应用产品，铺设了一条从产品小批量试产到大批量生产的成功之路。PIC 系列单片机是当前控制型应用领域的最优选择。表 1-1 列出了 PIC 单片机类型。