

单片机C语言应用开发丛书

PIC单片机 实用C语言程序设计 与典型实例

孙安青 编著



附光盘
CD-ROM

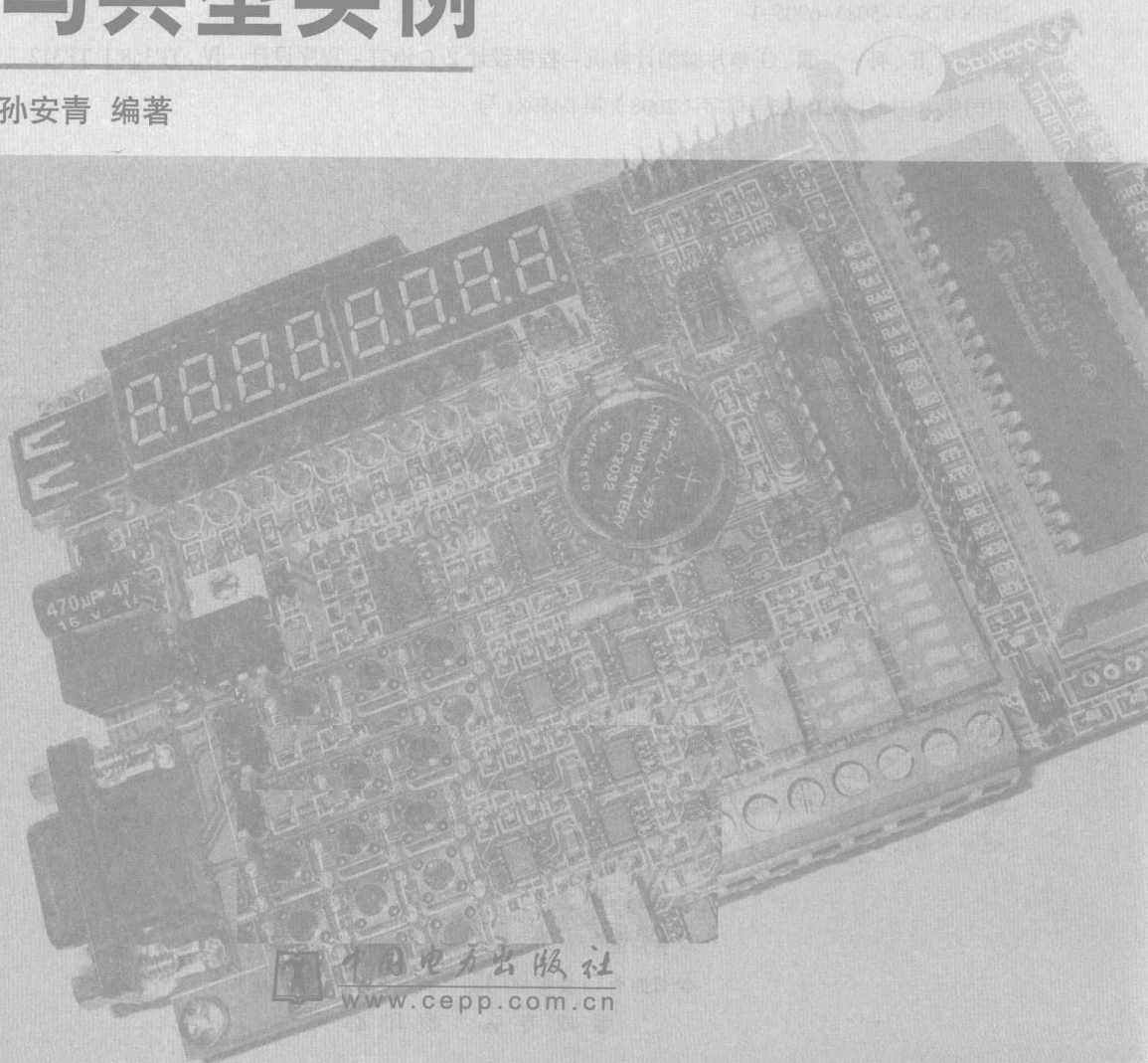


中国电力出版社
www.cepp.com.cn

PIC单片机

实用C语言程序设计 与典型实例

孙安青 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书针对目前市场上关于 PIC18 系列单片机注重理论、实例少的特点而推出。重点给出了 PIC18 系列单片机的 7 个综合性的实例,引领读者直接掌握 PIC18 系列单片机的应用。全书共 11 章,主要内容包括 PIC18F2X20/4X20 的内部结构、PIC18FXXX 中断系统、PIC18F2X20/4X20 外围功能模块、具有温度日历功能的闹钟开发实例、直流电机调速测速系统开发实例、智能风扇控制系统开发实例、半导体恒温控制器开发实例、语音通信 DTMF 拨号器开发实例、长时间数字语音录放机开发实例、MP3 播放器开发实例等。

本书实例丰富、讲解深入浅出,非常适合从事 PIC 单片机 C 语言开发的初中级人员使用,也可作为各高等院校单片机、嵌入式系统课程的教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

PIC 单片机实用 C 语言程序设计与典型实例 / 孙安青编著. —北京: 中国电力出版社, 2008
(单片机 C 语言应用开发丛书)

ISBN 978-7-5083-6905-1

I. P… II. 孙… III. ① 单片微型计算机 - 程序设计 ② C 语言 - 程序设计 IV. TP368.1 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 045981 号

责任编辑: 夏华香

责任校对: 王开云

责任印制: 郭华清

书 名: PIC 单片机实用 C 语言程序设计与典型实例

编 著: 孙安青

出版发行: 中国电力出版社

地址: 北京市三里河路 6 号 邮政编码: 100044

电话: (010) 68362602 传真: (010) 68316497

印 刷: 北京丰源印刷厂

开本尺寸: 185mm × 260mm 印 张: 25.25 字 数: 619 千字

书 号: ISBN 978-7-5083-6905-1

版 次: 2008 年 6 月北京第 1 版

印 次: 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 0001—4000 册

定 价: 39.80 元 (含 1CD)

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

单片微型计算机（简称单片机）的诞生是计算机发展史上的一个里程碑，它以体积小、功能全、性价比高等诸多优点而独具特色，在工业控制、尖端武器、通信设备、信息处理、家用电路等各种测控领域的应用中独占鳌头。8 位单片机由于其价格低廉、使用方便，仍然是市场的主流产品。学习单片机原理，掌握单片机技术，具有重要的现实意义。

在众多的单片机中，美国 Microchip 公司的 PIC 系列单片机异军突起，率先推出了采用精简指令集计算机（Reduced Instruction Set Computer, RISC）、哈佛（Harvard）双总线和两级精指令流水线结构的高性价比的 8 位单片机，具有速度快、功耗低、驱动电流大、控制能力强等优点，能满足用户的各种需要。在所有的单片机中，PIC 单片机是最容易学习、最容易应用的单片机品种之一。

Microchip 公司推出的 8 位 PIC 单片机以低档、中档和高档 3 个不同层次系列、几十种型号的产品来满足不同的产品设计需求。随着技术的发展、更多功能的需求，高档 PIC18 系列在指令运算速度、大容量的程序存储和数据存储上有了很大的改进，能够很好地满足应用的需要。

目前，市场上关于 PIC18 系列单片机的参考书很少，且大都偏重讲述原理，对应用实例涉及得不多。本书在介绍原理的同时，重点给出了 PIC18 系列单片机的几个综合性的实例，引导读者直接掌握 PIC18 系列单片机的应用。全书共 11 章，主要内容如下。

第 1 章：概述，介绍单片机的发展，PIC18 系列单片机的品种及优越性。此外，还介绍了 PIC 单片机的开发工具，使读者对开发 PIC 单片机有一定的了解。

第 2 章：PIC18F2X20/4X20 的内部结构。

第 3 章：PIC18FXXX 中断系统。

第 4 章：PIC18F2X20/4X20 外围功能模块，详细介绍了 PIC18F2X20/4X20 单片机的各个功能模块的工作原理，包括输入/输出端口、定时/计数器、ADC 模块、CCP/ECCP 模块，MSSP 通信模块和增强型 EUSART 通信模块、模拟比较器、HLVD 模块等。

第 5 章：具有温度日历功能的闹钟开发实例，介绍一种多功能的闹钟仪表的软/硬件设计，主要涉及温度检测、实时日历、数码管显示、按键识别等，属于入门级的开发实例，帮助初学者快速入门。

第 6 章：直流电机调速测速系统开发实例，介绍了对直流电机速度检测的方法，以及通过 PWM 信号控制电机速度的实现方法。

第 7 章：智能风扇控制系统开发实例，介绍了利用低成本的 PIC 单片机实现风扇的智能控制的硬件、软件设计。内容涉及风速的调整、自然风、睡眠风等产生的原理，红外遥控模块的识别与使用等。

第 8 章：半导体恒温控制器开发实例，介绍了一种利用 PIC 单片机实现温度设置、采用

PID 算法进行恒温控制的软/硬件设计。内容涉及 PID 算法、PS7219 驱动 LED 数码管显示等。

第 9 章：语音通信 DTMF 拨号器开发实例，介绍了利用 PIC 单片机的 PWM 模块来产生 DTMF 信号的软/硬件设计。实例中详细介绍了 DTMF 信号产生的原理及实现方法。

第 10 章：长时间数字语音录放机开发实例，直接利用 PIC18 单片机内置的高速 A/D 转换器资源实现语音信号的采集，通过扩展 128MB 的存储器实现长时间的低成本语音录放过程。内容涉及 A/D、大容量存储器、D/A 转换等相关知识。

第 11 章：MP3 播放器开发实例，这是本书内容最为丰富的一个实例，涉及 MP3 播放芯片 VS1001、硬盘接口、USB 通信、红外收发通信等的应用。

附录 A：MPLAB IDE 集成开发环境的使用涉及的内容有安装、使用、项目工程的创建、编译与调试。

附录 B：MPLAB C18 编译器的安装与使用涉及的内容有 MPLAB C18 的语法说明，MPLAB C18 的安装和使用。

附录 C：PIC 单片机开发板和开发工具的介绍。

在本书的策划和编写过程中，笔者参阅了大量的参考书籍和文献资料，并在书中引用了其中的部分文字和插图。此外，桂林电子科技大学应用科技学院院长陈岳琳教授、桂林电子科技大学机电工程学院机器人中心主任郝卫东副教授对本书的编写给予了许多中肯的建议和无私的帮助，在此表示衷心地感谢。

本书在编写过程中，童有为、付强、严素清老师在技术支持方面做了大量的工作，研究生王君荣、靳永秀和李静在书稿校对、资料整理方面也做了大量的工作，在此一并向他们表示谢意！此外，还要特别感谢我的家人，他们在本书的统写过程中给了我很大的鼓励和支持。

本书在出版过程中得到了中国电力出版社的大力支持和帮助，在此也表示衷心地感谢。

限于作者水平和时间，错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正（网站：www.supermcu.com，邮箱：supermcu@126.com）。

作 者

2008 年 5 月

目 录

前 言

第 1 章 概述 1

- 1.1 单片机应用 1
- 1.2 单片机发展趋势 1
- 1.3 PIC 单片机分类 2
- 1.4 PIC 单片机优越性 3
- 1.5 PIC 单片机系列产品 4
- 1.6 PIC 系列单片机开发工具 7
 - 1.6.1 PIC 系列单片机仿真器 7
 - 1.6.2 PIC 系列单片机编程器 10
 - 1.6.3 PIC 系列单片机的集成开发环境 14

本章小结 15

第 2 章 PIC18F2X20/4X20 内部结构 16

- 2.1 PIC18F2X20/4X20 主要特色 16
 - 2.1.1 PIC18F2X20/4X20 内核特色 16
 - 2.1.2 PIC18F2X20/4X20 外围模块特色 17
 - 2.1.3 PIC18F2X20/4X20 配置及特性表 17
- 2.2 PIC18FXXX 系列的特殊模块特色 18
 - 2.2.1 CAN 通信模块特色 19
 - 2.2.2 USB2.0 引擎通信模块特色 19
 - 2.2.3 以太网 (Ethernet) 通信模块特色 19
- 2.3 PIC18F2X20/4X20 的内部结构分析 20
 - 2.3.1 PIC18F2X20/4X20 核心模块 21
 - 2.3.2 PIC18F2X20/4X20 外围模块 23
- 2.4 PIC18F2X20/4X20 的引脚功能 24
- 2.5 CPU 的特殊功能 29
 - 2.5.1 配置位 29
 - 2.5.2 振荡器配置 35
 - 2.5.3 时钟源与振荡器的切换 39
 - 2.5.4 复位电路 41

- 2.5.5 看门狗定时器 42
- 2.5.6 双速启动 43
- 2.5.7 故障保护时钟监视器 44
- 2.5.8 代码保护 46
- 2.5.9 ID 单元 47
- 2.5.10 在线串行编程 47

本章小结 47

第 3 章 PIC18FXXX 中断系统 48

- 3.1 中断 48
 - 3.1.1 中断的概念 48
 - 3.1.2 中断的好处 48
 - 3.1.3 中断的功能 49
- 3.2 PIC18F2X20/4X20 中断 49
 - 3.2.1 概述 50
 - 3.2.2 INTCON 寄存器 51
 - 3.2.3 PIR 寄存器 53
 - 3.2.4 PIE 寄存器 55
 - 3.2.5 IPR 寄存器 57
 - 3.2.6 RCON 寄存器 58
 - 3.2.7 INTn、TMR0 和 RB 电平变化中断 59
 - 3.2.8 中断现场保护 59

本章小结 60

第 4 章 PIC18F2X20/4X20 外围功能模块 61

- 4.1 I/O 端口 61
 - 4.1.1 概述 61
 - 4.1.2 RA 端口 61
 - 4.1.3 RB 端口 62
 - 4.1.4 RC 端口 64
 - 4.1.5 RD 端口 64
 - 4.1.6 RE 端口 65
- 4.2 PIC18F2X20/4X20 的定时/计数器 67
 - 4.2.1 Timer0 模块 67

4.2.2	Timer1 模块	69
4.2.3	Timer2 模块	74
4.2.4	Timer3 模块	75
4.3	输入捕捉/输出比较/脉宽调制 (CCP/ECCP) 模块	78
4.3.1	CCP 模块	78
4.3.2	增强型捕捉/比较/PWM (ECCP) 模块	85
4.4	主控同步串口通信模块	96
4.4.1	SPI 模式	97
4.4.2	I ² C 模式	103
4.5	增强型通用同步/异步收发器	112
4.5.1	波特率发生器	116
4.5.2	EUSART 异步通信模式	118
4.5.3	EUSART 同步主控模式	121
4.5.4	EUSART 同步从动模式	122
4.6	10 位模数转换器模块	124
4.6.1	A/D 采样要求	128
4.6.2	选择与配置采集时间	129
4.6.3	选择 A/D 转换时钟	129
4.6.4	在功耗管理模式下的工作方式	130
4.6.5	配置模拟端口的引脚	130
4.6.6	A/D 转换	131
4.6.7	CCP 触发器的使用	131
4.7	比较器模块	132
4.7.1	比较器的配置	134
4.7.2	比较器的工作原理	134
4.7.3	比较器的参考电压	135
4.7.4	比较器的输出	135
4.7.5	比较器的中断	135
4.8	比较器参考电压源模块	136
4.9	高/低电压检测模块	138
4.9.1	工作原理	139
4.9.2	设置 HLVD 模块	140
	本章小结	140

第 5 章 具有温度日历功能的 闹钟开发实例

5.1	系统功能说明	141
5.2	系统硬件设计	141
5.2.1	温度测量模块的硬件设计	142
5.2.2	实时日历模块的硬件设计	143

5.2.3	大 LED 数码管显示驱动模块 的硬件设计	144
5.2.4	按键设置模块的硬件设计	147
5.2.5	电路原理图	147
5.3	系统软件设计	149
5.3.1	温度采集与处理模块 的软件设计	149
5.3.2	DS1302 日历模块的软件设计	151
5.3.3	大数码管显示驱动模块 的软件设计	155
5.3.4	功能键和数字调节模块 的软件设计	157
5.4	源程序清单及注释	159
	本章小结	179

第 6 章 直流电机调速测速 系统开发实例

6.1	测速原理	180
6.2	系统硬件设计	180
6.2.1	系统工作原理	181
6.2.2	光栅盘	182
6.2.3	光电传感器	182
6.2.4	信号调理电路	183
6.2.5	LCD 液晶显示电路	183
6.2.6	直流电机驱动电路	184
6.3	软件设计与剖析	186
6.3.1	系统初始化模块	186
6.3.2	电机运转控制模块	189
6.3.3	按键识别模块	189
6.3.4	LCD 显示模块	191
6.3.5	T/M 测速程序设计	192
6.4	源程序清单及注释	192
6.4.1	MotorSpeed.c 主程序源代码	192
6.4.2	16x2LCDDriver.c LCD 显示 驱动源文件	202
6.4.3	16x2LCDDriver.h LCD 显示 驱动头文件	203
	本章小结	204

第 7 章 智能风扇控制系统开发实例

7.1	功能说明	205
7.2	系统硬件设计	205

7.2.1 PIC 单片机的选择	206
7.2.2 电机调速驱动模块硬件设计	206
7.2.3 本地键盘与显示模块硬件设计	208
7.2.4 红外遥控接收与发射 模块硬件设计	209
7.3 系统软件设计	209
7.3.1 系统初始化模块的软件设计	210
7.3.2 按键识别模块的软件设计	210
7.3.3 红外遥控解码模块的软件设计	213
7.3.4 LED 数码管动态扫描模块 的软件设计	215
7.3.5 PWM 式周期波发生器模块 的软件设计	215
7.3.6 自然风和睡眠风产生模块 的软件设计	216
7.4 源程序清单及注释	217
本章小结	230

第 8 章 半导体恒温控制器开发实例

8.1 系统原理	231
8.2 系统硬件设计	231
8.2.1 温度采集与调理硬件模块设计	232
8.2.2 热电制冷半导体与 H 桥及 驱动电路设计	235
8.2.3 PS7219 驱动的数码管 显示硬件设计	236
8.2.4 按键硬件设计	239
8.3 系统软件设计	239
8.3.1 PIC18 单片机主程序模块	239
8.3.2 PIC18 单片机中断服务 程序模块	241
8.4 源程序清单及注释	243
8.4.1 主程序源代码及注释	243
8.4.2 PS7219.c 显示驱动源 代码及注释	248
8.4.3 PS7219.h 头文件源代码及注释	250
本章小结	251

第 9 章 语音通信 DTMF 拨号器

开发实例	252
9.1 概述	252
9.2 DTMF 信号的产生原理	253

9.3 实现原理	253
9.4 硬件实现	255
9.4.1 PIC18 单片机	255
9.4.2 矩阵键盘模块	256
9.4.3 二阶低通滤波放大器模块	257
9.4.4 共阴 LED 显示模块	257
9.5 软件实现	258
9.6 源程序清单及注释	260
本章小结	265

第 10 章 长时间数字语音录放

机开发实例	266
10.1 系统功能描述	266
10.2 实现原理	266
10.2.1 采样	267
10.2.2 量化	267
10.2.3 编码	268
10.3 硬件设计	269
10.3.1 微控制器单元	269
10.3.2 低通滤波器设计及实现	269
10.3.3 语音输入通道	270
10.3.4 语音输出通道	271
10.3.5 NAND 数据存储器 K9F1G08U 硬件设计	273
10.4 软件设计	277
10.4.1 系统初始化模块	277
10.4.2 录音模块软件设计	278
10.4.3 放音模块软件设计	279
10.5 源程序清单及注释	280
10.5.1 AudioRecordPlay 实例的 主程序 (main.c)	280
10.5.2 大容量存储器 K9F1G08U 操作的头文件及源文件	286
10.5.3 8 位 D/A 转换器 TLV5625 的头文件及源文件	291
本章小结	292

第 11 章 MP3 播放器开发实例

11.1 MP3 基础知识	293
11.1.1 MP3 帧格式	294
11.1.2 MP3 解码流程	295
11.2 系统结构	295

11.3	MP3 播放器主机硬件实现	296	11.7.1	MP3Player.c 源代码及注释	320
11.3.1	PIC18 主控器件选择	297	11.7.2	ATA.h 与 ATA.c 源代码	325
11.3.2	MP3 解码的硬件电路设计	297	11.7.3	FAT.h 和 FAT.c 源代码	333
11.3.3	IDE 硬盘接口电路设计	302	11.7.4	VS1001.h 和 VS1001.c 源代码	339
11.3.4	USB 接口电路设计	304	11.7.5	USB.h 和 USB.c 源代码	343
11.3.5	红外收发模块硬件设计	306	11.7.6	IRDA.h 和 IRDA.c 源代码	346
11.4	面板操作管理硬件电路	307	本章小结		350
11.4.1	PIC 单片机选择	307	附录 A	MPLAB IDE 集成开发 环境的使用	351
11.4.2	液晶显示硬件电路设计	307	附录 B	MPLAB C18 编译器的 安装与使用	371
11.4.3	红外收发硬件电路设计	310	附录 C	PIC 单片机开发板与开发工具	392
11.4.4	键盘操作硬件电路设计	310	参考文献		395
11.5	原理图	311			
11.5.1	面板操作硬件电路原理图	311			
11.5.2	MP3 播放主机电路原理图	311			
11.6	系统软件设计	313			
11.7	MP3 主机源程序清单及注释	320			

第 1 章



概 述



单片机微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 简称单片机, 又称 MCU (Micro Controller Unit), 是将计算机的基本部分微型化, 使之集成在一块芯片上的计算机。片内含有中央处理器单元 (CPU)、只读存储器 (ROM)、随机存储器 (RAM)、并行 I/O 接口、串行 I/O 接口、定时器/计数器、中断控制、系统时钟及系统总线等。

1.1 单片机应用

单片机体积小, 质量轻, 功耗低, 价格便宜, 控制能力强, 运行稳定、可靠, 自问世以来, 在各种领域得到广泛地应用。

1. 工业控制

工业控制包括数控机床、温度控制、可编程顺序控制、电机控制、工业机器人、智能传感器、离散与连续过程控制等。

2. 仪器仪表

仪器仪表包括智能仪器、医疗器械、液体和气体谱仪、数字示波器等。

3. 电信技术

电信技术包括声像处理、数字滤波、智能线路运行控制、通信设备和调制解调器等。

4. 办公自动化和计算机外部设备

此类设备包括图形终端机、传真机、复印机、打印机、绘图仪和智能终端机等。

5. 汽车与节能

汽车与节能包括点火控制、变速控制、排气控制、最佳燃料控制、计费器、交通控制等。

6. 导航

导航包括导弹控制、鱼雷制导、智能武器装置、航天导航系统等。

7. 商用产品

商用产品包括自动售货机、电子收款机、电子秤、银行统计机等。

8. 家用电器

家用电器包括微波炉、电视机、录像机、音响设备、游戏器等。

1.2 单片机发展趋势

单片机的字长由 4 位、8 位、16 位发展到 32 位。这几种字长的单片机目前同时存在于



市场,用户可根据需求进行选择。目前的单片机具有以下特点:

(1) 运行速度不断提高。单片机的使用最高频率已由 6MHz、12MHz、24MHz、33MHz 发展到 40MHz。

单片机内的存储容量越来越大,由 1KB、2KB、4KB、8KB、16KB、32KB、64KB 发展到 128KB。ROM 存储器的编程也越来越方便,有 ROM 型(掩模型)、OTP 型(一次性编程)、EPROM(紫外线擦除编程)、EEPROM(电擦除编程)及 FLASH(闪速编程)。编程(烧录)方式也越来越方便,目前有脱机编程、在系统编程(ISP)、在应用编程(IAP)。各类产品并存,供用户选择。

(2) I/O 口多功能化。单片机除集成有并行接口、串行接口之外,还集成有 A/D 转换器、D/A 转换器,LED/LCD 显示驱动、DMA 控制、PWM(脉宽调制输出)、PLL(锁相环控制)、PCA(逻辑阵列)和 WDT(看门狗)等。

(3) 功耗越来越低。采用 CHMOS 制作工艺使单片机集 HMOS 的高速、高集成度和 CMOS 的低功耗技术为一体,使其功耗进一步降低,适应的电压范围更宽(2~6V)。

(4) 结合专用集成电路 ASIC、精简指令集和 RISC 技术,使单片机发展为嵌入式处理器,深入到数字信号处理、图像处理、人工智能、机器人等领域。

1.3 PIC 单片机分类

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列产品,首先采用了 RISC 结构的嵌入式微控制器,其高速度、低电压、低功耗、大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP 技术等都体现出单片机产业的新趋势。目前,PIC 系列单片机在世界单片机市场的份额排名中已逐年升位,尤其在 8 位单片机市场,据称已从 1990 年的第 20 位上升到目前的第二位。PIC 单片机从覆盖市场出发,已有 3 种(又称三层次)系列多种型号的产品问世,所以在全球都可以看到 PIC 单片机从电脑的外设、家电控制、电讯通信、智能仪器、汽车电子到金融电子各个领域的广泛应用。现在的 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 的 8 位单片机产品共有基本级、中档级和高档级 3 个系列。

(1) 基本级系列。该级产品的特点是价位低,如 PIC16C5X,适用于各种对成本要求严格的家电产品选用。又如,PIC12C5XX 是世界第一个 8 脚的低价位单片机,因其体积很小,完全可以应用在以前不能使用单片机的家电产品中。

(2) 中档级系列。该级产品是 PIC 最丰富的品种系列,它在基本级产品上进行了改进,并保持了很高的兼容性。其外部结构也是多样的,具有从 8 引脚到 68 引脚的各种封装,如 PIC12C6XX。该级产品的性能很高,如内部带有 A/D 变换器、E²PROM 数据存储器、比较器输出、PWM 输出、I²C 和 SPI 等接口。PIC 中级系列产品适用于各种高、中和低档的电子产品的设计中。

(3) 高档级系列。该系列产品如 PIC17CXX、PIC18FXXX,其特点是速度快,所以适用于高速数字运算的应用场合中,加之它具备一个指令周期内(160ns)可以完成 8×8(位)二进制乘法的运算能力,所以可取代某些 DSP 产品。此外,PIC17CXX 还具有丰富的 I/O 控制功能,并可外接扩展 EPROM 和 RAM,使其成为目前 8 位单片机中性能最高的机种之一。因此,很适用于在高、中档的电子设备中使用。

上述的三层次的 PIC 8 位单片机还具有很高的代码兼容性,用户很容易将代码从某型号转换到另一个型号中。本书的实例都是以 PIC18FXXX 系列增强型高档单片机做一些应用上的介绍。

1.4 PIC 单片机优越性

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司所生产的 8 位单片机,内核采用精简指令集、哈佛总线结构、二级流水线结构。除了具有一般单片机所具有的实用、低价、低功耗、高速度、体积小、功能强等特点之外,还具有品种多、指令集小、简单易学等特点。PIC 系列单片机的品种达近百种,用户可根据需要选择不同档次和不同功能的芯片。通常,无需外扩展程序存储器、数据存储器、A/D、CAN、USB、以太网模块等,真正体现了单片机的“单片”特性。

PIC 系列单片机的内核采用双总线结构,即哈佛总线结构,这种结构使得程序存储器与数据存储的地址及总线位数分开,因而具有程序指令总线和数据总线两种。这两种总线可以采用不同的字长,两种总线之间不会产生冲突。对于 PIC 的内核来说,指令总线是 16 位,数据总线是 8 位。

PIC 系列单片机由于指令总线和数据总线是分开的,因此取指令和取数据有可能是同时进行的。在 PIC 系列单片机的内核采用了流水线结构,即在一条指令被执行的同时读取下一条指令。在这样的流水线结构中取指令和执行指令在时间上是相互重叠的,从而实现单周期指令。PIC 系列单片机的吞吐率高,运行速度也很快,最高运行速度可以达到 12MIPS。

PIC 系列单片机具有很多优点,且容易学习,因此如果能很好地利用 PIC 系列单片机的各种特性,可以设计出许多在电路合理性、成本控制、性能指标各方面都很优秀的产品。与其他单片机相比,它具有如下特点。

(1) 品种多,选择余地大。PIC 系列单片机有近百种可供选择,从 18 脚到 100 脚,最高时钟频率为 4~48MHz,程序存储器容量从几 KB 到一百多 KB。

(2) 高速度。PIC 系列单片机的内核吞吐率最高可达 12MIPS (Million Instruction Per Second),每条指令最快可达 83ns。因此, PIC 特别适合对于时间要求苛刻的实时应用。

(3) 指令少,易学易用。PIC 系列单片机内核是采用精简指令 (RISC),指令集比 CISC 内核单片机要少得多,总共只有 58 条。

(4) 用户可选择振荡器多。PIC 系列单片机内核的振荡器内部集成有高精度的 RC 振荡器,频率从 32kHz~8MHz 共有 8 个档位可供选择,同时支持外部的晶振荡器 (4~48MHz)、陶瓷振荡器、外部 RC 振荡器等。此外,内部还集成有 4 倍频的 PLL 锁相环技术,用户只需要低频的振荡器,就可以让内核工作于 4 倍于振荡器的时钟上,从而提高了系统的电磁干扰。

(5) 低功耗。PIC 系列单片机内核采用全静态 CMOS 工艺设计,电源操作能耗很低。PIC 系列单片机可以用软件在必要的时候降低主频频率,大幅降低功耗,并可在程序不运行时进入休眠状态, CPU 不执行运算,只维持 RAM 的供电,所需要的电流极小。

(6) 程序代码加密保护,具有较强的保密性能。

(7) I/O 口功能强大。I/O 口除了具有基本的输入/输出功能之外,还复用于其他模块的



功能，通过软件配置，每个 I/O 引脚都可以对输入/输出分别分时进行多路复用。

(8) 驱动能力强。数据输入允许有 25mA 的灌电流，输出允许也有 25mA 的拉电流，可以直接驱动发光二极管。

1.5 PIC 单片机系列产品

PIC 系列单片机根据其指令总线的位数可分为 12 位（基本型）、14 位（中档）和 16 位（高档）三种。其具体的型号分类情况如表 1-1 所示。

本书主要针对 PIC18 系列高档单片机进行介绍，故只列举一些高档 PIC18 系列单片机的选型。

高档 PIC 系列单片机 PIC17CXX 和 PIC18C/FXXX 系列采用的是 16 位的 RISC 指令系统，其中 PIC18F 系列为 FLASH 类型，是目前世界上工业用微控制器中速度最快的 8 位微控制器。这种民间片有 16 位字宽的指令系统，时钟频率可以从直流到 48MHz，指令周期可达 83ns。具有增强指令集和功能强大的适量中断处理能力。功能强大的一组片内精确的外围特性可以提供 8 位应用中最多的要求。其先进的特性包括复杂的定时器、嵌入式模数转换器、扩展指令/数据存储区、处理器间的通信（I²C、SPI、EUSART）以及 ROM、RAM、EEPROM 存储器。

表 1-1 PIC 系列单片机具体的型号分类情况

引 脚	型 号	特 点
18	PIC18F1220	4KB FLASH、256B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP
	PIC18F1230	4KB FLASH、256B RAM、128B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、2 个定时器、ECCP
	PIC18F1320	8KB FLASH、256B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP
	PIC18F1330	8KB FLASH、256B RAM、128B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、2 个定时器、ECCP
28	PIC18F2220	4KB FLASH、512B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2221	4KB FLASH、512B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2320	8KB FLASH、512B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2321	8KB FLASH、512B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2331	8KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT、功率控制 PWM
	PIC18F2410	16KB FLASH、768B RAM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2420	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2423	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2431	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT、功率控制 PWM

续表

引 脚	型 号	特 点
28	PIC18F2450	16KB FLASH、768B RAM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、USB2.0 引擎
	PIC18F2455	24KB FLASH、2048B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、USB2.0 引擎
	PIC18F2458	24KB FLASH、2048B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT
	PIC18F2480	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎
	PIC18F2510	32KB FLASH、1536B RAM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2515	48KB FLASH、3968B RAM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2520	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2523	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2525	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2550	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、USB2.0 引擎
	PIC18F2580	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎
	PIC18F2620	64KB FLASH、3968B RAM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F2680	64KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎
40	PIC18F4220	4KB FLASH、512B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、2 个模拟比较器、LVDT
	PIC18F4320	8KB FLASH、512B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、2 个模拟比较器、LVDT
	PIC18F4331	8KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、CCP、MSSP、模拟比较器、LVDT、8 通道 14 位功率控制 PWM
	PIC18F4431	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、CCP、MSSP、模拟比较器、LVDT、8 通道 14 位功率控制 PWM
	PIC18F4420	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、1 个 EUSART、13 通道 10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F4520	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、1 个 EUSART、13 通道 10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F4423	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、13 通道 12 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT
	PIC18F4523	32KB FLASH、2048B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、13 通道 12 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT
	PIC18F4450	16KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、USB2.0 引擎
	PIC18F4550	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、LVDT、USB2.0 引擎
	PIC18F4480	16KB FLASH、768B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、11 通道 10 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎



续表

引脚	型号	特点
40	PIC18F4580	32KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、11 通道 10 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎
	PIC18F4458	24KB FLASH、2048B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、13 通道 12 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT
	PIC18F4553	32KB FLASH、2048B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、13 通道 12 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT
	PIC18F4620	64KB FLASH、1536B RAM、256B EEPROM、8×8 乘法器、1 个 EUSART、13 通道 10 位 A/D、4 个定时器、ECCP、MSSP、模拟比较器、LVDT
	PIC18F4585	48KB FLASH、3328B RAM、1024B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、11 通道 10 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎
	PIC18F4680	64KB FLASH、3328B RAM、1024B EEPROM、8×8 乘法器、EUSART、11 通道 10 位 A/D、2 个比较器、4 个定时器、ECCP、LVDT、CAN2.0 引擎
64	PIC18F6520	32KB FLASH、2048B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块
	PIC18F6620	64KB FLASH、3840B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块
	PIC18F6720	128KB FLASH、3840B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块
	PIC18F6585	48KB FLASH、3328B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、1 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、1 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块、CAN2.0 模块
	PIC18F65J50	32KB FLASH、3904B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、2 个 MSSP 模块、8 通道 10 位 A/D 模块
	PIC18F66J50	64KB FLASH、3904B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、1 个 CCP 模块、2 个 MSSP 模块、8 通道 10 位 A/D 模块
	PIC18F67J50	128KB FLASH、3904B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、2 个 MSSP 模块、8 通道 10 位 A/D 模块
	PIC18F66J60	64KB FLASH、3808B RAM、8×8 硬乘法器、1 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、11 通道 10 位 A/D 模块、1 个以太网模块
80	PIC18F67J60	128KB FLASH、3808B RAM、8×8 硬乘法器、1 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、11 通道 10 位 A/D 模块、1 个以太网模块
	PIC18F6680	64KB FLASH、3328B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、1 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块、CAN2.0 模块
	PIC18F8520	32KB FLASH、2048B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、扩展存储器接口
	PIC18F8620	64KB FLASH、3840B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、扩展存储器接口
80	PIC18F8720	128KB FLASH、3840B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、扩展存储器接口
	PIC18F8585	48KB FLASH、3328B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、1 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、1 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、CAN2.0 模块、扩展存储器接口

续表

引 脚	型 号	特 点
80	PIC18F8680	64KB FLASH、3328B RAM、1024B EEPROM、8×8 硬乘法器、1 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、1 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、CAN2.0 模块、扩展存储器接口
	PIC18F85J50	32KB FLASH、3904B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、2 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块、扩展存储器接口
	PIC18F86J50	64KB FLASH、3904B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、2 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块、扩展存储器接口
	PIC18F87J50	128KB FLASH、3904B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、2 个 MSSP 模块、12 通道 10 位 A/D 模块、扩展存储器接口
	PIC18F86J60	64KB FLASH、3808B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、15 通道 10 位 A/D 模块、1 个以太网模块
	PIC18F87J60	128KB FLASH、3808B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、15 通道 10 位 A/D 模块、1 个以太网模块
100	PIC18F96J60	64KB FLASH、3808B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、1 个以太网模块、有扩展存储器接口
	PIC18F97J60	128KB FLASH、3808B RAM、8×8 硬乘法器、2 个 EUSART、5 个定时器、2 个比较器、5 个 CCP 模块、1 个 MSSP 模块、16 通道 10 位 A/D 模块、1 个以太网模块、有扩展存储器接口

1.6 PIC 系列单片机开发工具

与其他单片机系统的开发一样，PIC 系列单片机的开发除了相应的硬件电路外，其关键在于应用系统软件的开发。而单片机本身没有软件开发功能，因此需要有开发系统来帮助人们完成应用程序的调试和修改、查找应用系统硬件和软件中的错误并把最后调试好的程序固化到单片机内部或外扩展的程序存储器中。一个完整的 PIC 单片机开发系统应该包括 PIC 汇编语言编译器、在线实时仿真器 ICE、软件模拟仿真器以及编程器或在线调试器等几个部分。

1.6.1 PIC 系列单片机仿真器

PIC 仿真器主要有两种类型。一种是软件模拟仿真器，它是在高速的 PC 上用软件模拟所用的 CPU 或单片机的运行环境，直接在 PC 上按程序的逻辑路径运行，并观察运行结果和 I/O 状态响应等。虽然它也有设置断点和单步运行等调试功能，但不能把运行过程和状态直接反映到用户的应用系统上，一切逻辑、时序都反映在 PC 上。它对纯逻辑调试很理想，但对一些实时性要求及外围硬件功能较多的应用系统，其仿真效果与实际运行结果有较大的差别，主要用于满足用户低成本的开发需要。

另一种仿真器是在线实时仿真器，可以做到完全的实时在线仿真。用户把仿真器的仿真头插到目标板上，即相当于 CPU 或单片机插到应用系统目标板上运行。这时，目标板和仿零点器共用一个 CPU，通过这种 CPU 的“出借”，就可以在仿真器上调试用户应用的系

统。另外，还可以利用仿真器中的 RAM 存放用户的应用程序，通过出借存储器的方式仿真应用系统的程序存储器。由于仿真器有强大的硬件和软件支持，利用仿真器的断点设置、单步跟踪运行等手段，就可以对用户程序的运行情况以及硬件的性能进行观察，大幅提高了程序调试的效率。软件仿真只能从逻辑功能上运行和调试用户程序，而在线仿真则是实时运行和调试用户程序，排除用户电路故障。仿真环境应保证与脱机时用户电路环境一致，因此产品的设计与开发都要经过在线调试才能排除用户电路所有的静态与动态故障。

一、PIC 在线仿真器的种类

目前，PIC 在线仿真器的产品型号很多，大多数的 PIC 在线仿真器在应用时需要与一台 PC 相连才能完成仿真调试工作。按其于 PC 连机方式的不同，PIC 在线仿真器可分为以下两种：

(1) 卡式在线仿真器：通过一个括在 PC 主机扩展槽中的接口卡与 PC 相连接，再通过接口卡上的插座用电缆把一个仿真模板引出到 PC 外部，用于对 PIC 芯片进行仿真调试。

(2) 接口式在线仿真器：仿真器通过一个并行接口或一个串行接口与 PC 相连，在线仿真器上的仿真插座用于连接 PIC 芯片，以便进行仿真调试。

二、几种常见的 PIC 仿真器

Microchip 公司及其在我国的代理商，为用户的应用开发提供了丰富的硬件和软件支持。近年来，Microchip 公司和国内一些公司先后推出了多种类型的 PIC 仿真器，如 MPLAB-ICD2、MPLAB-ICE2000、PICICE、PIC6000 和 E6000 等。

1. MPLAB-ICD2 实时在线调试器

Microchip 公司生产的 MPLAB-ICD2 是功能强大而成本较低的开发工具，如图 1-1 所示。它在 MPLAB-IDE 环境下运行，可以调试汇编和 C 源代码，查看、修改变量，单步执行以及设置断点。它支持除 PIC16F7X 和 PIC16F5X 以外的所有 FLASH PIC 单片机和 dsPIC 数字信号控制器的在线调试和编程。MPLAB-ICD2 通过 ICSP 对 PIC 系列单片机进行调试，在调试模式下它仅占用部分资源：一级堆栈、几个通用寄存器和很小部分的程序空间。

功能特性：

- (1) 全速运行。
- (2) 通过 USB 或 RS232 串口连接到 PC。
- (3) 支持 dsPIC 数字信号控制器的整个电源范围。
- (4) 可以用作廉价编程器。
- (5) 智能查看变量窗口。
- (6) 集成过压/短路检测。
- (7) 可通过 PC 在线升级 Firmware。
- (8) 支持断点、单步、连接单步和执行到光标处等多种调试方法。

支持型号：

PIC10F20X、PIC12FXXX、PIC16F6XXA、PIC16F68X、PIC16F716、PIC16F7X7、PIC17F87、PIC16F88、PIC16F81X、PIC16F87XA、PIC18C601、PIC18FC801、PIC18FXXX



图 1-1 MPLAB ICD2 在线调试器实物图