

普.通.高.等.学.校
计算机教育“十二五”规划教材

PIC18F452 单片机 原理及编程实践

*PRINCIPLE AND PROGRAMMING
PRACTICE OF PIC18F452
MICROCONTROLLER*

陈育斌 ◆ 主编
秦晓梅 ◆ 副主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

普.通.高.等.学.校
计算机教育“十二五”规划教材

PIC18F452 单片机 原理及编程实践

*PRINCIPLE AND PROGRAMMING
PRACTICE OF PIC18F452
MICROCONTROLLER*

陈育斌 ◆ 主编
秦晓梅 ◆ 副主编

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

PIC18F452单片机原理及编程实践 / 陈育斌主编. —
北京: 人民邮电出版社, 2016.6
普通高等学校计算机教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-41635-3

I. ①P… II. ①陈… III. ①单片微型计算机—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第018816号

内 容 提 要

本书系统地讲解了 PIC18F452 单片机的相关知识。全书共 7 章, 系统地论述了 PIC18F452 单片机的特点、输入/输出端口结构、定时计数器的组成原理、中断技术、片内 ADC 模块的结构、低功耗的 SLEEP 模式、看门狗 WDT 技术、SPI、I2C 总线的通信协议及接口结构, 以及 CCP 模块等诸多内容。本书不仅对每一模块都配有详实的编程实验案例, 还对编程调试工具 IDE 和 ICD2 的使用以及单片机的指令系统和 C18 的使用进行了讲解。本书还配有习题, 以便读者考查和把握自己的学习效果。

本书既可以作为高等院校、高职高专各专业学生学习单片机的教材, 也可以作为单片机技术与应用的培训或技术人员自学的参考资料。

-
- ◆ 主 编 陈育斌
副 主 编 秦晓梅
责任编辑 武恩玉
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 ptpress@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 25.5 2016 年 6 月第 1 版
字数: 672 千字 2016 年 6 月北京第 1 次印刷
-

定价: 59.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

单片机应用技术已经成为现代电子行业工程师必须掌握的一个重要技能。快速发展的嵌入式系统对单片机产品的设计提出了越来越高的要求,也促进了高性能单片机产品的不断出现。这些新型单片机的共同特点是采用哈佛总线框架、精简指令结构,具有指令运行速度快、代码效率高和工作稳定可靠的特点。同时,新型单片机内部设计有大量的高性能功能模块以满足各项工程的需要。

PIC18F452 单片机是美国微芯片技术公司 (Microchip Technology Inc) 基于 PIC16F877 单片机改进、升级的 8 位通用型单片机。它不仅具有 8 位单片机的简洁、易学和价格相对低廉的特点,又具备较多的高性能硬件模块资源和低功耗运行特性,是一种低价位、高性能的 8 位单片机,非常适合各类工科大学、技术院校的学生以及电气电子类工程师学习掌握的单片机产品。

如何学习掌握单片机一直是读者最关注的问题,而无论在大学里还是工作实践中,学习方法是十分重要的,希望本书能够提供一种行之有效的方法。本书具有如下特点。

① 侧重基础。单片机是基于计算机发展而来的,但它又比计算机简洁实用。本书尽可能规避复杂难学的计算机原理,从简单实用的数字电路入手,详细描述单片机内部各个功能模块的组成结构和工作原理。本书采用浅而易懂的方法将较为复杂的功能模块进行分析和描述,以适合不同基础的读者学习。掌握必要的硬件电路分析,对完整的掌握单片机原理是非常重要的。

② 注重实践。单片机的学习除了要学习掌握基本的理论知识 (内部各个功能模块的结构、工作原理) 以外,还要进行大量的汇编语言 (C 语言) 编程训练。编程实践是学习单片机的重要环节。“‘程序是调出来’的而不是‘写出来的’”,这是在教学提醒学生最多的一句话。本书配有大量的编程环节,在编写、调试程序的过程中可以及时发现学习中的问题、提高学习效率,起到了“事半功倍”的效果。编程训练还可以培养读者分析问题、解决问题的能力。

③ 面向时代。在学习单片机基本原理的同时还要充分考虑到单片机在工程中的实际应用,这包括单片机的选型、外围接口芯片的选择及系统电路的设计等。其中主要的环节是能否迎合现代应用领域中高速发展的需求,合理地采用各种新型接口器件,设计出结构简洁、性能优异、工作可靠的应用系统。本书在充分地描述了 PIC18F 单片机优越的内部模块资源基础上,还引入了 SPI、I²C 和单总线等全新接口的外围接口芯片及电路设计和编程原理,使学习内容更加实用、合理。

④ 关注读者。在多年的单片机教学实践和在与学生面对面的指导、交流过程中积累了许多经验,在教材的设计上充分考虑到了学习的渐进性和趣味性。对应每一部分的编程实践都是从最基本、最简单的编程开始,尽可能地降低编程难度,做到通俗易懂,然后再逐渐深入,并向工程应用靠拢,以提高读者的学习效率。

单片机原理属于一门基于数字电路、模拟电路和计算机原理的专业课程。建议读者阅读本书时不用刻意地复习相关的基础课程，在教材的每一个章节中都有简单通俗的原理描述。要想学好单片机，需有一种持之以恒的精神，要通过大量的编程训练才能学好和掌握单片机的精髓。本书是在经历了多年 PIC 单片机的教学实践基础上，不断改进、完善而编写的单片机学习教材。

本书由陈育斌任主编，秦晓梅任副主编，王开宇和秦力舒参与了本书的编写。感谢仲崇权教授对本书进行了全面的专业指导与审核。

本书可作为大学或各技术院校学习 PIC18F 单片机的教材，也可作为从事单片机应用领域工程师学习的参考资料。由于篇幅所限，本书不可能覆盖单片机原理及应用的所有内容，不当之处敬请读者谅解。

作 者

2015 年 11 月

目 录

第1章 单片机与嵌入式系统..... 1

- 1.1 单片机与嵌入式系统..... 1
 - 1.1.1 什么是嵌入式系统..... 1
 - 1.1.2 什么是“单片机”..... 2
- 1.2 单片机的结构及组成简介..... 2
 - 单片机的特点和设计理念..... 2
- 1.3 单片机应用系统设计举例..... 4
 - 1.3.1 自制的单片机最小系统实例..... 4
 - 1.3.2 采用专用软件设计的单片机应用系统..... 5
- 1.4 如何学习单片机..... 7
 - 1.4.1 编程训练是学习单片机的重要环节..... 7
 - 1.4.2 运用基础知识构建单片机的应用系统..... 7
 - 1.4.3 必要的工具..... 8

第2章 PIC18F 系列单片机核心模块的组成结构..... 10

- 2.1 PIC18F 系列单片机的组成结构及特点 10
 - 2.1.1 PIC18F 系列单片机的主要特点..... 10
 - 2.1.2 PIC18F 系列单片机的内部结构及组成..... 11
- 2.2 PIC18F 系列单片机的哈弗总线结构..... 13
 - 2.2.1 冯—诺依曼体系结构..... 13
 - 2.2.2 哈弗总线体系结构..... 13
 - 2.2.3 哈弗总线结构的特点之一——流水作业..... 13
 - 2.2.4 哈弗总线结构的特点之二——指令的单字节化..... 14
- 2.3 PIC18F 系列单片机 ROM 的结构..... 14
 - 2.3.1 PIC18F 系列单片机的 ROM 容量及存储单元的宽度..... 14
 - 2.3.2 PIC18F 系列单片机 ROM 的 3 个

特定的单元..... 15

- 2.4 PIC18F 系统单片机的程序计数器..... 16
 - 2.4.1 PC 在系统中的功能..... 16
 - 2.4.2 PC 的增量..... 16
 - 2.4.3 PC 的寻址范围..... 16
- 2.5 PIC18F 系列单片机的堆栈..... 17
 - 2.5.1 堆栈数据的操作特点..... 17
 - 2.5.2 堆栈指针..... 17
 - 2.5.3 子程序的调用与堆栈的功能..... 18
 - 2.5.4 PIC18F 系列单片机的堆栈结构及特点..... 18
- 2.6 PIC18F 系列单片机 RAM 的结构..... 19
 - 2.6.1 PIC18F 系列单片机的 RAM 的组成结构..... 19
 - 2.6.2 PIC18F 系列单片机的 RAM 分区与区选择寄存器..... 20
 - 2.6.3 PIC18F 系列单片机的 RAM 的快速访问区..... 21
 - 2.6.4 指令中参数 a 的设定与快速访问区的选择..... 21
 - 2.6.5 PIC18F 的工作寄存器..... 21
 - 2.6.6 与 RAM 存储单元相关的指令参数 d..... 22
 - 2.6.7 特殊功能寄存器..... 22
 - 2.6.8 状态寄存器..... 24

第3章 PIC18F452 单片机内部外围功能模块的组成结构..... 26

- 3.1 PIC18F452 单片机的输入/输出并行端口..... 26
 - 3.1.1 PIC18F452 单片机的 I/O 端口配置..... 26
 - 3.1.2 PIC18F452 单片机 I/O 端口的驱动能力..... 26
 - 3.1.3 与 I/O 端口相关的 SFR..... 27

3.1.4	端口的位结构与工作原理	28	3.4.4	PIC18F452 单片机 ADC 的配置及工作原理	82
3.1.5	PIC18F 系列单片机端口的编程举例	31	3.4.5	PIC18F452 的 ADC 编程实例	87
3.1.6	PIC18F452 端口的复用功能定义	33	3.4.6	ADC 模拟输入通道配置的非易失性问题	88
3.1.7	端口复用功能的“非易失性”问题	34	3.5	PIC18F452 单片机的 WDT 模块	89
3.2	PIC18F452 单片机的定时计数器	35	3.5.1	什么是 WDT	89
3.2.1	定时计数器的核心电路——二进制计数器	35	3.5.2	PIC18F452 单片机的 WDT 模块结构及工作原理	90
3.2.2	定时计数器的简化模型	36	3.5.3	WDT 编程举例	93
3.2.3	PIC18F452 单片机定时计数器的配置	37	3.6	PIC18F452 单片机的 SLEEP 技术	94
3.2.4	PIC18F452 单片机定时计数器的分频器技术	38	3.6.1	单片机的 SLEEP 技术	94
3.2.5	定时计数器 TMR0 的结构及编程原理	38	3.6.2	“睡眠状态”的唤醒	95
3.2.6	定时计数器 TMR1 的结构及编程原理	46	3.6.3	SLEEP 模式下的 WDT 运用	95
3.2.7	定时计数器 TMR2 的结构及编程原理	51	3.6.4	SLEEP 模式下的 WDT 综合运用编程实例	96
3.2.8	定时计数器 TMR3 的结构及编程原理	58	3.7	PIC18F452 单片机的 EEPROM 模块	98
3.3	PIC18F452 单片机的中断系统	60	3.7.1	PIC18F452 单片机的 EEPROM 的特性	98
3.3.1	中断的概念与中断响应的过程	60	3.7.2	PIC18F452 内部 EEPROM 模块的配置及编程原理	98
3.3.2	PIC18F452 的中断结构、特点及工作原理	61	3.7.3	利用 IDE 观察 EEPROM 单元中的原始数据	100
3.3.3	PIC18F452 中断响应后的 GIE	64	3.7.4	从 EEPROM 单元中读出数据的操作	100
3.3.4	与中断相关的 SFR	65	3.7.5	向 EEPROM 写入数据及过程	102
3.3.5	外部中断 INT0、INT1 和 INT2 的特点及编程原理	72	3.7.6	EEPROM 的数据读与写操作及非易失性验证	104
3.3.6	PORTB 端口电平变化中断的特点及编程原理	75	3.8	PIC18F452 单片机的 USART 模块	105
3.3.7	PIC18F452 单片机其他模块的中断编程	79	3.8.1	串行通信的分类与特点	105
3.3.8	PIC18F452 单片机的软件触发中断	80	3.8.2	异步串行通信模式	105
3.4	PIC18F452 单片机的 ADC 模块	80	3.8.3	异步串行通信的电平标准	106
3.4.1	什么是 ADC	80	3.8.4	同步串行通信模式	107
3.4.2	模/数转换器的功能与应用	81	3.8.5	PIC18F452 的 USART 对单片机引脚的定义	108
3.4.3	ADC 的类型与特点	81	3.8.6	PIC18F452 的异步发送模块的结构与工作原理	108
			3.8.7	PIC18F452/458 的异步接收模块的组成结构与工作原理	109
			3.8.8	与 USART 模块相关的 SFR	110

3.8.9	USART 的波特率发生器 BRG	112
3.8.10	SPBRG 中的初值计算及波特率的设置	113
3.8.11	异步串行通信的编程举例	113
3.9	PIC18F452 主控串行端口 MSSP 的 SPI 模块结构与工作原理	114
3.9.1	SPI 的内部结构及工作原理	114
3.9.2	PIC18F452 单片机的 SPI 模块结构	117
3.9.3	与 SPI 模块相关的 SFR	118
3.9.4	SPI 模块的编程实例	120
3.10	PIC18F452 主控串行端口 MSSP 的 I ² C 接口模式	122
3.10.1	I ² C 总线的特点	122
3.10.2	I ² C 总线的“时钟同步”与“总线仲裁”功能原理	123
3.10.3	I ² C 总线的通信协议及过程	124
3.10.4	I ² C 通信的时序	125
3.10.5	PIC18F452 的 MSSP 与 I ² C 模式相关的 SFR	126
3.10.6	MSSP 的 I ² C 模式	130
3.10.7	I ² C 的主模式的数据发送操作	132
3.10.8	一个主模式的多字节数据发送应用实例	135
3.10.9	I ² C 的主模式的数据接收操作	137
3.10.10	一个主模式的多字节数据接收应用实例	140
3.10.11	I ² C 通信编程小结	142
3.11	PIC18F452 单片机的 CCP 模块	143
3.11.1	CCP 模块的概念和功能	143
3.11.2	PIC18F452 单片机 CCP 模块的基本结构	144
3.11.3	CCP 模块的控制寄存器 CCP1CON	144
3.11.4	CCP 模块相关的 T3CON 寄存器	146
3.11.5	CCP 模块的输入捕捉模式	146
3.11.6	CCP 模块的输出比较模式	150
3.11.7	CCP 模块的脉宽调制模式	153

3.11.8	PIC18F452 单片机 CCP1 模块相关的 SFR	160
--------	------------------------------	-----

第 4 章 PIC18F 系列单片机的汇编语言及指令系统 161

4.1	PIC18F 系列单片机的指令格式及执行周期	161
4.2	PIC18F452 单片机指令系统的寻址方式	162
4.2.1	立即数寻址	162
4.2.2	直接寻址	164
4.2.3	长地址寻址	167
4.2.4	间接寻址	168
4.3	PIC18F452 单片机指令系统的类型与分类	170
4.3.1	面向字节操作的指令	170
4.3.2	面向位数据的操作指令	173
4.3.3	面向立即数 K 的操作指令	174
4.3.4	控制操作类指令	175
4.3.5	写表、查表操作类指令	179
4.4	PIC18F 系列单片机的伪指令	182
4.4.1	ORG 伪指令	183
4.4.2	EQU 伪指令	185
4.4.3	DB, DW 伪指令	187
4.4.4	END 伪指令	188
4.4.5	SET 伪指令	189
4.4.6	LIST 伪指令	190
4.4.7	#include 伪指令	190
4.4.8	_config 伪指令	191
4.4.9	radix 伪指令	191
4.5	PIC18F 汇编语言的数据格式	191
4.5.1	十六进制数据格式	192
4.5.2	二进制数据格式	192
4.5.3	十进制数据格式	192
4.5.4	ASCII 码字符格式	193
4.6	PIC18F 汇编语言源程序的格式	193
4.6.1	标号	194
4.6.2	指令的助记符	194
4.6.3	注释段	194
4.6.4	运用举例	194

第5章 PIC18F 系列单片机的 C 语言编程

5.1 C18 的数据类型	196
5.1.1 C18 语言的数据类型	196
5.1.2 C18 语言的无符号数据	197
5.1.3 C18 语言的有符号数据	198
5.1.4 C18 语言的无符号整型数据	199
5.1.5 C18 语言的有符号整型数据	199
5.1.6 C18 语言的长整型数据	199
5.1.7 C18 语言的其他类型数据	199
5.2 C18 的软件延时	200
5.2.1 示波器测量法调试延时时间	200
5.2.2 调用库函数设计延时时间	201
5.3 C18 的位操作	202
5.3.1 C18 对 I/O 端口 PORTx 的位表达方式	202
5.3.2 C18 对 I/O 端口方向控制寄存器 TRISx 的位表达方式	202
5.3.3 C18 对 SFR 的位表达方式	203
5.3.4 C18 的位逻辑操作	203
5.3.5 C18 的位移位操作	204
5.4 C18 对程序存储器的配置	204
5.4.1 C18 为常数数据分配 ROM 空间	205
5.4.2 C18 为常数数据分配 ROM 空间的限定词 near 和 far	205
5.4.3 C18 的 #pragma 对程序或数据的限定	207
5.5 C18 对数据存储器的配置	208
5.5.1 C18 对数据存储器 RAM 的使用方法	209
5.5.2 用于数据存储器 RAM 的限定词 near 和 far	209
5.5.3 指定 RAM 地址的数据存放	210
5.6 C18 对中断编程的定义	211
5.6.1 C18 对中断向量单元的定义与中断服务子函数的表达方式	211
5.6.2 C18 对中断服务程序 ISR 的定义与表达方式	213

第6章 PIC 单片机的调试工具 MPLAB IDE 和 MPLAB ICD

6.1 PIC18F452 单片机开发系统的软硬件设备简介	215
6.1.1 MPLAB IDE 集成调试软件	215
6.1.2 MPLAB ICD2 硬件调试器	216
6.1.3 PIC 单片机调试系统的连接及通电操作	219
6.2 MPLAB IDE 的 3 种运行方式及特点	220
6.2.1 MPLAB IDE 的模拟仿真模式 (MPLAB SIM)	222
6.2.2 MPLAB IDE 的在线调试模式	234
6.2.3 MPLAB IDE 的脱机模式	240
6.3 MPLAB-ICD2 与 IDE 的连接问题	241
6.4 使用 C 语言编程时 3 个相关文件的路径设定	241
6.5 MPLAB IDE 在线调试模式时的快速指南	243

第7章 PIC18F452 单片机编程实践

7.1 PIC 单片机的输入/输出端口编程实践	245
7.1.1 利用 PORTD 端口做输出的编程实践	245
7.1.2 利用 PORTD 实现流水灯显示的编程实践	246
7.1.3 利用 PORTD 端口实现按键计数的编程实践	250
7.1.4 利用输入/输出端口模拟交通灯控制的编程实践	253
7.1.5 步进电机驱动编程实践	255
7.1.6 直流电机驱动编程实践	261
7.2 PIC18F452 单片机的定时计数器结构及编程实践	263
7.2.1 利用 TMR0 定时器实现秒定时的编程实践	263

7.2.2 利用 TMR0 定时器驱动蜂鸣器的编程实践·····	265	7.7 PIC18F452 的 CCP 模块的编程实践·· 321	
7.2.3 利用 TMR0 定时器实现单键切换方波频率的编程实践·····	267	7.7.1 CCP 模块的输入捕捉模式编程实践·····	321
7.2.4 利用 TMR0 定时器模拟车辆行驶里程计数的编程实践·····	270	7.7.2 CCP 模块的输出比较模式编程实践·····	323
7.2.5 利用 TMR1 定时器自带低功耗振荡器做秒脉冲发生器的编程实践···	273	7.7.3 CCP 模块的 PWM 模式编程实践(一)脉宽固定的 PWM 编程·····	326
7.2.6 利用 TMR2 定时器做路标指向灯的编程实践·····	278	7.7.4 CCP 模块的 PWM 模式编程实践(二)脉宽可变的 PWM 编程·····	329
7.2.7 利用 TMR2 定时器做 8kHz 对称方波发生器的编程实践·····	281	7.8 PIC18F452 的 USART 模块结构与编程实践·····	333
7.3 PIC18F452 单片机的中断系统编程实践·····	284	7.8.1 USART 模块的编程实践(一)全双工异步通信的自发自收编程实践·····	333
7.3.1 TMR0 的中断法实现流水灯的编程实践·····	284	7.8.2 USART 模块的编程实践(二)点对点的异步串行通信编程实践·····	336
7.3.2 外部中断——RB0 (INT0) 触发 LED 灯翻转编程实践·····	287	7.9 PIC18F452 的 MSSP 模块的 SPI 模式编程实践·····	342
7.3.3 具有 I/O 功能的双通道方波发生器编程实践·····	293	7.9.1 SPI 接口 ADC 转换芯片 TCL549 数据采集编程实践·····	342
7.3.4 利用 INT0 外部中断模拟断电检测及电源切换的编程实践·····	294	7.9.2 SPI 接口 DAC 芯片 TCL5620 函数发生器编程实践·····	346
7.3.5 利用 INT0 外中断实现唤醒 CPU 的 SLEEP 状态的编程实践·····	299	7.10 PIC18F452 的 MSSP 模块的 I ² C 模式编程实践·····	353
7.4 PIC18F452 的 WDT 模块编程及实践·····	304	7.10.1 I ² C 接口的 ZLG7290 芯片的 LED 数码管显示编程实践·····	353
7.4.1 WDT 模块对 CPU 复位的验证性编程实践·····	304	7.10.2 I ² C 接口的 ZLG7290 芯片的键盘扫描编程实践·····	359
7.4.2 SLEEP 模式下调用 WDT 功能的编程实践·····	306	7.10.3 I ² C 接口的 PCF8563 的电子时钟编程实践·····	363
7.5 PIC18F452 的 ADC 模块编程及实践·····	309	7.11 12864LCD 点阵显示模块的特点及编程实践·····	368
7.5.1 ADC 模块的查询法和中断法编程实践·····	309	7.11.1 ST7920 液晶模块的内部结构、系统结构与编程原理·····	369
7.5.2 ADC 模块实现模拟键盘的编程实践·····	313	7.11.2 ST7920 液晶模块的基本指令集·····	369
7.6 PIC18F452 的 EEPROM 模块及编程实践·····	317	7.11.3 128*64 LCD 液晶屏编程实践(一)字符显示编程实践·····	371
非易失性汽车里程数据显示存储编程实践·····	318	7.11.4 128*64 LCD 液晶屏编程实践(二)	

变量显示编程实践	376
7.12 DS18B20 单总线智能温度传感器的编 程实践	381
7.12.1 DS18B20 的功能及特点	381
7.12.2 DS18B20 单总线的通信协议	383
7.12.3 DS18B20 单总线温度传感器的 编程实践	385

附录 1 PIC18F 系列单片机指令 系统简表	390
-----------------------------------	-----

附录 2 PIC18F452/458 的 I ² C 通信 子程序库 (汇编语言)	394
---	-----

参考文献	398
------------	-----

第 1 章

单片机与嵌入式系统

在电子和信息高度发达的今天，计算机的普及和应用已经渗透到各行各业、各个领域之中。单片机技术的普及与应用代表了计算机技术发展的一个重要里程。

1.1 单片机与嵌入式系统

与通常意义的计算机不同，以单片机为代表的嵌入式系统无论是在结构、外形特征、应用对象和设计理念都与计算机有着很大的差别。

1.1.1 什么是嵌入式系统

图 1.1.1 所示列举出常见的个人计算机以及生活当中的各种家用电器。如果稍加留意就会发现越来越多的家电产品在设计中都添加了微电脑控制技术，这里所说的微电脑实质就是一个计算机的小系统。

在这种场合下，被镶嵌到被控制对象体内的计算机已经改变了它原有的外部特征与形态，将这种计算机系统称为嵌入式系统。



图 1.1.1 生活中的计算机与嵌入式系统

不只是在家用电器中，在工业仪表、医疗设备、汽车电子和武器装备等许多产品中也大量使用了嵌入式系统作为控制器件，以构成性能优异并具有智能化的嵌入式产品。

1.1.2 什么是“单片机”

嵌入式系统的本质就是一个计算机系统。嵌入式系统的核心被称为嵌入式控制器，它就像计算机的主板一样重要，能够运行程序、实现对宿主设备的控制。而嵌入式控制器又是通过单片计算机实现的。

单片计算机（Single Chip Microcomputer）也称单片机，它实际上是指一个大规模（或超大规模）的集成电路芯片，将传统意义计算机主板上的各个功能模块尽可能集成在 1 个芯片之中，如图 1.1.2 所示。这种结构上的变化使嵌入式系统的应用成为可能，无论多小的设备都可以满足其嵌入式设计的要求。

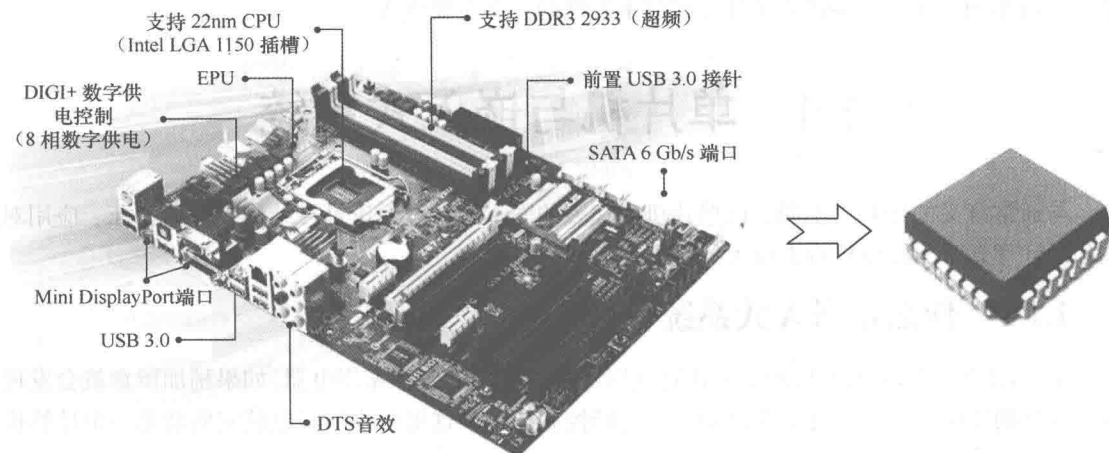


图 1.1.2 电路板级的计算机与芯片级的单片机

实际上仅靠 1 块单片机芯片是无法构成嵌入式系统的，它还要添加电源、键盘或显示器设备等必要的模块构成一个完整的硬件电路。但尽管如此，与通用计算机相比嵌入式系统在实际应用中带来了极大的灵活性，满足了许多产品和设备的设计要求。

作为嵌入式控制器，单片机主要用来实现输入/输出，以及一些简单的数据处理过程，所以单片机内部的各个功能模块与通用计算机相比都是经过简化设计的。同时为了满足应用的要求，在单片机内部还增添了 ADC、EEPROM、看门狗电路以及 CCP 模块等较为特殊的功能模块，使单片机的应用更为方便，系统设计更为灵活。

1.2 单片机的结构及组成简介

单片机在组成原理上与计算机有相似之处，其内部由总线构成，通过片内总线将内部各个功能模块有机连接。

单片机的特点和设计理念

从物理结构上讲，单片机是一个大规模（或超大规模）集成电路芯片，即将传统意义的电路

板级的系统集成在一个芯片之中,所以单片机是一个芯片级的计算机系统,如图 1.2.1 所示。

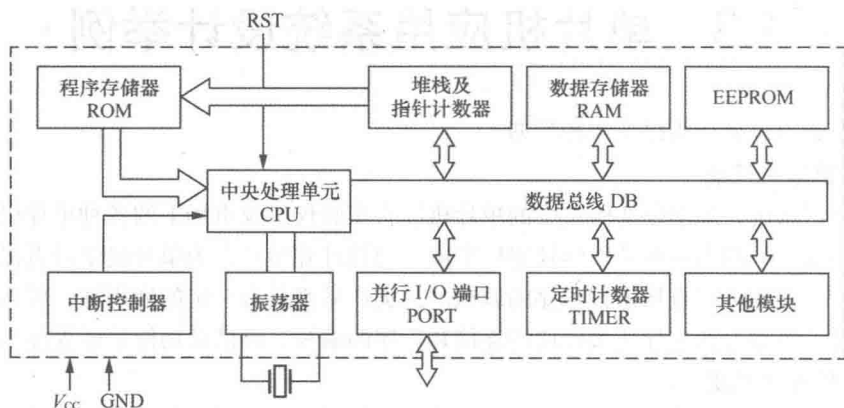


图 1.2.1 PIC18F 系列单片机内部结构示意图

尽管单片机是计算机技术发展和延伸出的产品,但与之相比有着完全不同的设计理念。

1. 更小的芯片尺寸

双列直插式（DIP）封装以及贴片工艺的单片机满足了各种嵌入式系统在体积上的苛刻要求。

2. 尽可能低的功率消耗

单片机在芯片的设计中全部采用 COMS 工艺制造以减小芯片的工作电流。配合 SLEEP（睡眠）技术的应用,使单片机的工作电流可降低到微安级以下。此种设计更适合电池供电和微功耗的系统要求。

3. 具有专一功能的设计

有些单片机采用“针对性”的设计。如应用于直流无刷电机的控制、触摸屏、开关电源的 PWM 控制,以及用于 WIFI 电路设计等。这种设计可以简化单片机的内部结构,减少芯片的引脚和尺寸,从而降低了制造成本。这种专用单片机甚至可以被作为一个“普通元件”在系统中使用。

4. 丰富的接口资源

新型串行接口技术是当今单片机发展的趋势,SPI、I²C 和单总线已经成为系统设计的主流。这种极为简单的总线结构简化了系统结构,提高系统的可靠性。

5. 丰富的片内资源

单片机内部集成了 ADC、EEPROM、WDT 以及 CCP 等功能模块,使应用系统设计变得更为方便。

6. 面向工程师的一种开发工具

单片机应用系统是由工程师自主开发、设计,从单片机选型、外围接口设计以及系统的 PCB 的布局,直到后期的系统软件编写和调试完全由工程师完成,所以单片机技术也是当今工程师必须掌握的一种“设计工具”。

7. 系统软件开发容易

采用 C 语言（或汇编语言）自主编程,可以利用丰富的库函数实现简化编程。

1.3 单片机应用系统设计举例

单片机系统可以划分为以下 3 种类型。

1. 单片机学习系统

单片机学习系统，如学校实验室中的单片机综合实验仪以及市场上的各种单片机实验开发模板等。这些系统一般都由专业的教学仪器厂家或公司设计并生产，为单片机学习者提供一个硬件的调试平台，学习者可以直接进行程序的调试。这类产品都具有一定的通用性，所有的模块都采用开放式设计，由学习者主导相关模块的连接和程序的编写、调试及功能验证等环节。

2. 单片机最小系统

单片机最小系统是指单片机爱好者利用廉价的多孔板（也称洞洞板）自行设计、安装的一个简易单片机小系统。它具有结构简单、安装容易和可扩展性好的特点。学习者首先要规划电路，购买、选择元件，然后进行元件在板上的布局、焊接、连线，最后在板子上调试各种程序。这是一种比较系统全面的实践环节，会给实践者带来单片机设计的乐趣。

3. 单片机应用系统

单片机应用系统也称为嵌入式系统。这是单片机在面向实际工程应用时，由工程师亲自设计、安装并完成调试的应用系统。这种系统一般是面向 1 个具体的设备、具体的要求，有针对性地实现某一特定的任务，如智能电冰箱、洗衣机的控制系统。这种系统是针对 1 个具体的任务，没有通用性。从系统的电路设计、PCB 的布局到程序的编写都需要由工程师独立完成。这就要求工程师要具备以下 3 种基本的技能：一是要有扎实的单片机系统设计基础；二是要掌握 PCB 的设计工具软件（如 Altium Designer）以及熟练的程序设计和调试能力。

对于初学者来说，如果有条件，可以购买单片机的学习板或 DIY “单片机最小系统”，一个单片机硬件系统是学习单片机非常必要的实践平台。

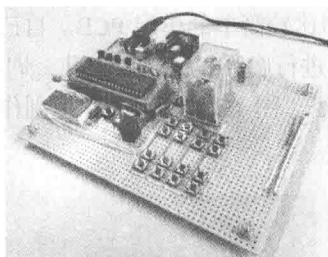
1.3.1 自制的单片机最小系统实例

利用 1 个多孔板来搭建、焊接单片机最小系统，是许多初学者梦寐以求的事情，但对于一些没有实际经验的初学者往往会感到不知所措。这里介绍一些由学生制作的作品，供参考。

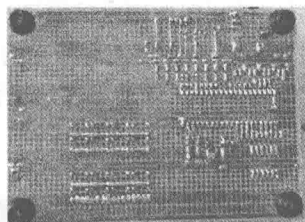
制作最小系统，首先要设计出正确的电路（本书的第 6 章描述的 PIC18F452 单片机的最小系统设计电路可供参考），还要有较好的焊接技能（避免焊点“虚焊”），但这些又是在实践中逐步学习和提高的。对于比较复杂的系统，还需要使用专用的电路板（PCB）设计软件，设计出元件排列整齐、性能可靠的单片机系统。

单片机最小系统包括了电源电路、单片机插座、单片机的外接晶体和复位电路等，另外还至少要有一组 8 位 LED 以便于与 I/O 端口连接，以验证 I/O 端口功能。单片机最小系统是初学单片机时最好的也是廉价的学习平台。随着学习的不断深入，最小系统板上的电路会不断丰富和完善。图 1.3.1、图 1.3.2 所示是两个利用多孔板设计的“单片机最小系统板”的实例。

两个系统板的区别在于导线的连接方法不同。前者的导线是在系统板的元件面上布局，这样焊接面就显得干净、整齐，便于线路的检测和故障的查找；后者的系统板采用的是在焊接面上布局导线，此种方案的优点是系统板的元件面整齐、漂亮，没有多余的导线，缺点是焊接面导线多，导线与焊盘相互叠压，如果出现故障，不利于查找故障点。

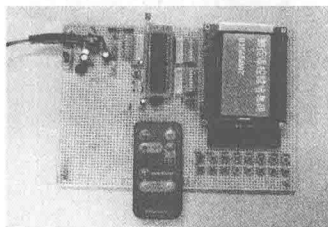


(a) 系统板的元件面

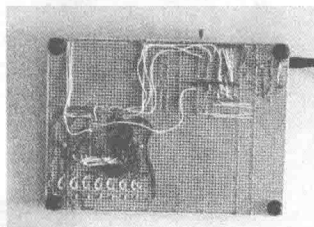


(b) 系统板的焊接面

图 1.3.1 采用多孔板设计的单片机系统最小系统板



(a) 系统板的元件面



(b) 系统板的焊接面

图 1.3.2 采用多孔板设计的单片机红外遥控系统板

1.3.2 采用专用软件设计的单片机应用系统

利用专用软件设计（包含原理图设计及 PCB 的布局），这种方法要求设计者熟练地掌握一种 PCB 的设计软件，从原理图到 PCB 一气呵成。此方法的优点是系统设计准确，PCB 的工艺水平高、质量好，这也是工程应用中必须采用的方法。

图 1.3.3 所示是采用专用软件设计的（双面 PCB）单片机学习板。用专用软件设计的 PCB 具有元件紧凑、整齐，导线布局合理、可靠，组装方便快捷、不易出错等优点。常用的软件有 Altium Designer 等。当设计工作完成后，需要将 PCB 的文件（file.pcb）发送到专业的 PCB 加工厂家进行板材的加工即可。

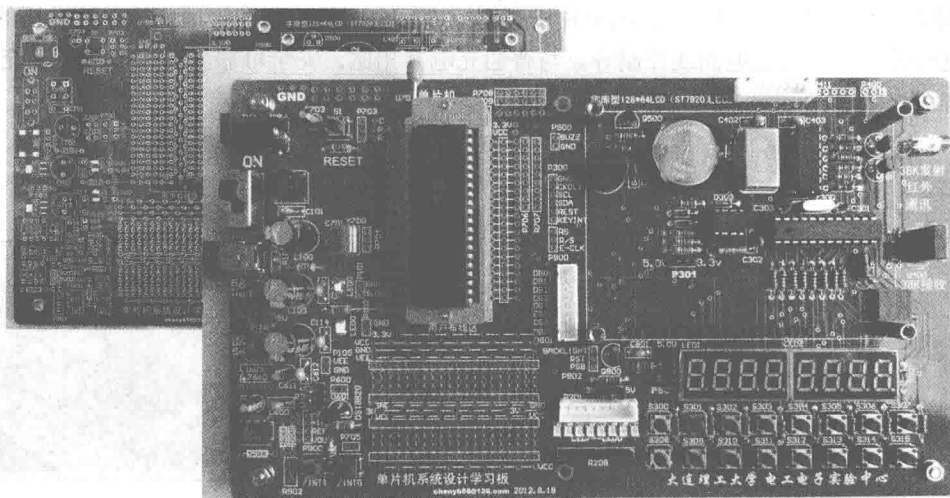


图 1.3.3 利用专用软件设计的单片机系统 PCB 和 Mini 实验系统

当然初学者可以尝试利用专用软件设计、制作比较简单的单层 PCB。自己动手，利用转印技术将 PCB 图转印到覆铜板上，再使用特定的液体进行腐蚀、清洗后钻孔，即可完成单面的 PCB 板的制作。有关 PCB 的设计软件就不在这里赘述了。图 1.3.4 所示是学生制作的单片机最小系统的单面 PCB。

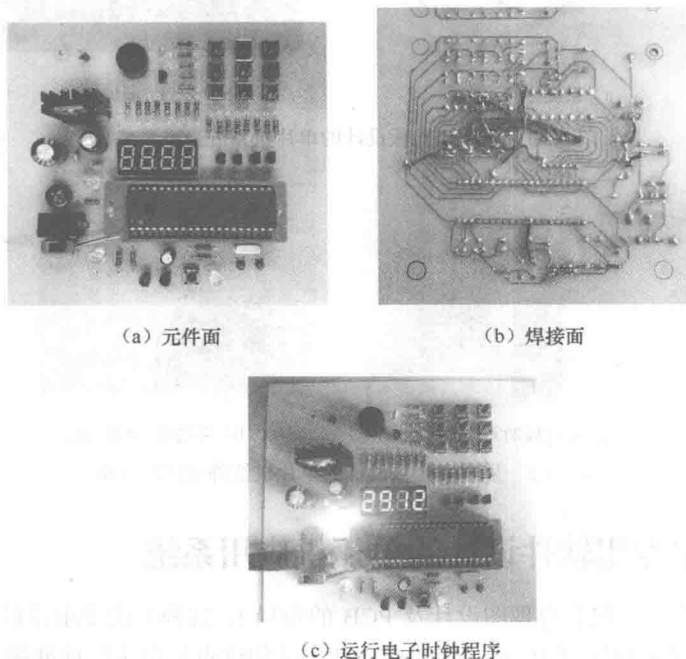


图 1.3.4 由大学生自己制作的单片最小系统 PCB 板

图 1.3.5 所示是大学生设计的一个嵌入式系统实例，即利用单片机实现的智能小车控制系统。单片机与超声波传感器、电机驱动等模块连接，实现小车的“行走”和“超声波避障”等控制。系统采用电池供电。

图 1.3.6 所示是一款消费类的嵌入式系统实例智能充电器的应用设计。系统具有多参数采集显示、充/放电多模式选择等功能。利用单片机对系统进行全面的管理和控制。如电池电压的检测、电池温度的监控，以及充电曲线控制等。与普通充电器相比，安全可靠，极大地提高了充电电池的使用寿命。

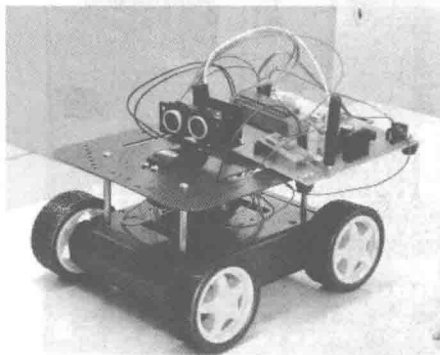


图 1.3.5 利用单片机系统实现智能小车的控制方案

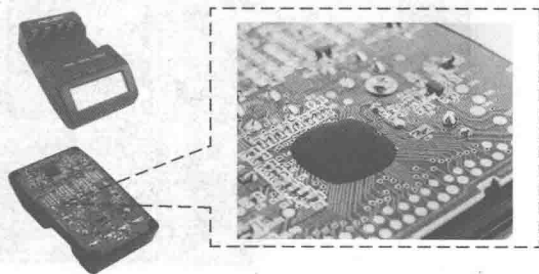


图 1.3.6 智能充电器及其内部单片机