

电气工程应用技术丛书

Microchip PIC24系列单片机 原理与程序设计

何此昂 邓颖 编著



书中实例的源代码
可到人民邮电出版社网站下载



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电气工程应用技术丛书

Microchip PIC24 系列单片机

原理与程序设计

何此昂 邓 颖 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

Microchip PIC24系列单片机原理与程序设计 / 何此昂, 邓颖编著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2011.9
(电气工程应用技术丛书)
ISBN 978-7-115-26019-2

I. ①M… II. ①何… ②邓… III. ①单片微型计算机—理论②单片微型计算机—程序设计 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第138751号

内 容 提 要

本书内容以 Microchip 的 16 位高性能微处理器 PIC24 系列为主, 主要介绍了 PIC24 系列单片机内核和系统外设的特点及模块应用, PIC24 系列开发环境以及常见问题解答, 综合应用开发的部分 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 移植, Bootloader 串口在线升级, 通信电源蓄电池在线监测系统软件和硬件详细设计等内容, 从实践的角度进一步强化对于 PIC24 单片机的理解。书中所有程序均通过调试, 相关功能模块和参考资料编写力求准确、详细、完整, 尽量使读者能在开发工程中“一册解决”。

本书可作为 Microchip 单片机应用系统开发工程技术人员的参考书, 也可作为高等院校计算机、电子、自动化类专业单片机课程的教学参考书。

电气工程应用技术丛书

Microchip PIC24 系列单片机原理与程序设计

◆ 编 著 何此昂 邓 颖

责任编辑 韦 毅

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市潮河印业有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 19.5

字数: 474 千字

印数: 1—3 000 册

2011 年 9 月第 1 版

2011 年 9 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-26019-2

定价: 48.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号



前 言

Microchip 公司作为世界上 8 位单片机的出货量最大的半导体厂家之一,推出了 8 位的 PIC12、PIC16、PIC18 内核的单片机(Micro Controller Unit, MCU)。Microchip PIC MCU 的交付量在一年之间由 40 亿颗增加到 50 亿颗,反映出公司在全球市场的占有率有增无减。Microchip 现生产 400 多种 PIC MCU。随着程序规模的增加,客户需要改变平台结构。PIC MCU 的 8 位架构可扩展至 2MB,有助于保护客户既有的软件投资,让他们可以在多元化 MCU 产品中重复利用现有软件。目前, Microchip 为全球超过 65 个国家和地区的 5 万多个客户提供服务,至今已交付了超过 47 万套开发工具,同时与全球超过 130 家第三方工具制造商建立了合作伙伴关系。

近几年来, Microchip 开始进入 16 位 MCU 市场。Microchip 16 位 MCU 是在 8 位 MCU 的基础上开发出来的,它不会取代 8 位 MCU 的应用。8 位单片机的生产厂家很多,中国大陆有 STC、中颖等,中国台湾的义隆、麦肯等厂家也出产超低价单片机。低端市场竞争激烈,各厂家都寻求新的利润增长途径。有许多半导体厂家纷纷把目光瞄准高端市场,比如 ARM 内核处理器(ST 公司)、ColdFire 处理器(Freescale 公司)、SH 内核处理器(Renesas 公司)。从 MCU 市场的发展趋势来看,16 位 MCU 市场增长速度要比 32 位的快,市场潜力很大。因此,16 位 MCU 市场大有作为,这也正是 Microchip 将公司业务重心向 16 位 MCU 转移的原因。目前我国用于高端的处理器也不太多,而且有些由于芯片资料很难读懂,项目开发进度迟缓,而导致项目止步于低端市场。对于 Microchip 中高端的处理器而言, Microchip 16 位 PIC24 系列 MCU 拥有卓越的性能和良好的架构,其架构比业界 ARM7 32 位 MCU 的架构性能要高出 52%,从这个角度上说,目前已进入了 32 位 MCU 市场。它兼容以前的 8 位机的开发平台,开发简便方便,同时价格比行业的高端 8 位机价格低,封装小巧,集成度高,功耗低,性能高,非常适合于产品升级替代的应用。

本书内容以 Microchip 公司 PIC24 系列高性能 16 位处理器为主。由于 PIC24 系列芯片具有极高的性价比,内部具备高精度 10/12 位 A/D、内部可擦写 Flash 存储器、PWM 输出、I²C 和 SPI 接口、异步串行通信接口等许多功能,对刚接触 PIC24 系列的初学人员来说有一定难度,因为相关的参考资料少,更没有介绍应用实例和应用程序库的书。为了方便大家使用和学习,针对 Microchip 公司的 PIC24FJ64GA006、PIC24FJ128GA008、PIC24HJ64GP210、PIC24FJ64GA002 等常用的几款单片机,我们详细地介绍了其芯片功能结构和寄存器的使用方法。本书一大特色就是采用完全兼容 PIC 8 位机的开发工具和软件开发平台,从理论和实际的代码例子两方面进行阐述,方便那些使用 Microchip 的广大老用户学习和快速移植,同时针对芯片外围设备功能模块给出了具体的 C 语言例程,为初学者学习提供了极大的方便。

本书共分 6 章。第 1 章为 PIC24 系列概述,从宏观上对 PIC24 系列进行描述。第 2 章为开发环境及常见问题解答,讲述了 MPLAB IDE 集成开发环境, C 语言和汇编语言混合编程,以及中断函数编写等常见的开发注意事项。第 3 章为 CPU 和存储器,对芯片的基本架构进行阐述。第 4 章为系统设计部分,对芯片的时钟配置、看门狗设计、低功耗、系统复位、编程调试等系统功能进行详细讲述。第 5 章为功能模块部分,通过对 Flash 模拟 EEPROM、定时器 1/2/3、输入捕获/比较/脉冲 PWM、I²C、SPI、UART、并行端口 PMP、10/12 位 A/D 等功能模块,进行理论和详细的代码实例的阐述。第 6 章为 PIC24 综合应用开发,讲述了大家比较熟悉的 μ C/OS 移植, Bootloader 串口在线升级,以及通信电源蓄电池在线监测系统软件和硬件详细设计,进一步强化对于 PIC24 系列单片机的理解。附录 A 为指令集综述。章节的编写由理论到实际、由浅到深、从基础到综合应用设计,逐步进行阐述,使读者一目了然,通过此书能全面掌握 PIC24 的精髓是本书的最大目的。

相关功能模块和参考文献的编写力求准确、详细、完整,书中所有程序均通过调试,尽量使读者能在开发工程中“一册解决”,不必左找右翻,为一个数据或者参数寻寻觅觅从这本书跳到那本书。书中第 4~6 章的代码可在人民邮电出版社网站上下载(在网站上搜索本书,在本书页面上,点击“资源”一栏,进入下载页面。请注意,注册用户才有权限下载)。此书可以作为大学生的单片机原理以及应用课程的实验指导书,对单片机开发者来说也是一本很好的开发参考书。

本书第 3~5 章由北京建筑工程学院周渡海老师编写,在成书的过程中,得到了北京建筑工程学院信息工程学院陈一民、樊青等人的帮助,以及武汉理工大学信息工程学院硕士研究生熊莉、华中农业大学的徐源、武汉工业大学邓超的大力协助,他们编写了部分章节,并做了校对、录入以及程序调试工作。在此一并表示感谢。

感谢 Microchip 处理器专业推广公司——北京昊天诚业科技有限公司的大力支持。

限于编者的水平,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。如有任何问题和疑问请发邮件联系 nxp.arm@hotmail.com。

目 录

第 1 章 PIC24 系列概述	1
1.1 内核特性	3
1.1.1 16 位架构	3
1.1.2 低功耗技术	3
1.1.3 振荡器选项和性能	4
1.1.4 简便移植性能	4
1.2 其他特殊性能	4
1.3 系列中各产品的具体信息	5
第 2 章 开发环境及常见问题解答	15
2.1 MPLAB 集成开发环境软件介绍	16
2.2 PIC24 编译环境配置	19
2.3 中断服务程序的编写	19
2.3.1 编写中断服务程序	20
2.3.2 写中断向量	21
2.3.3 中断服务程序现场保护	26
2.3.4 中断响应延时	26
2.3.5 中断嵌套	26
2.3.6 允许/禁止中断	26
2.3.7 中断服务程序和主程序代码共用存储空间	27
2.3.8 开发注意要点	28
2.3.9 开发方案	29
2.3.10 中断服务程序中 PSV 的使用	30
2.4 汇编语言和 C 语言混合编程	31
2.4.1 在汇编语言中使用 C 变量和 C 函数	31
2.4.2 在 C 语言函数中使用行内汇编	33
2.5 开发仿真调试常见问题解答	38

第 3 章 CPU 和存储器	47
3.1 编程模型	48
3.2 CPU 控制寄存器	50
3.3 算术逻辑单元 (ALU)	52
3.3.1 乘法器	52
3.3.2 除法器	53
3.3.3 多位移位运算	53
3.4 程序地址空间	53
3.4.1 程序存储器构成	54
3.4.2 硬存储器向量	55
3.4.3 闪存配置字	55
3.5 数据地址空间	55
3.5.1 数据空间宽度	56
3.5.2 数据存储器构成和对齐方式	56
3.5.3 Near 数据空间	57
3.5.4 SFR 空间	57
3.5.5 软件堆栈	69
3.6 程序和数据存储空间的接口	69
3.6.1 寻址程序空间	70
3.6.2 使用表操作指令访问程序存储器	71
3.6.3 使用程序空间可视化方法从程序存储器读取数据	72
第 4 章 系统设计部分	75
4.1 PIC24 系列配置位	76
4.2 PIC24 系列片内稳压器	80
4.3 看门狗定时器 (WDT)	81
4.3.1 WDT 控制寄存器	81
4.3.2 看门狗 C 语言例程	82
4.4 PIC24 系列编程和调试接口	83
4.5 PIC24 系列复位部分	84
4.6 PIC24 系列 CPU 时钟振荡器的配置	88
4.7 PIC24 系列低功耗特性	94
第 5 章 功能模块部分	97
5.1 PIC24 系列闪存存储器 Flash 模拟 EEPROM	98
5.1.1 RTSP 工作原理和控制寄存器	98
5.1.2 闪存程序存储器的编程操作和算法	99
5.1.3 使用 Flash 模拟 EEPROM 的 C 代码例程	101
5.2 I/O 端口的配置	107
5.2.1 配置端口引脚功能	107
5.2.2 对 I/O 端口的 C 代码操作示例	109

5.3 中断控制寄存器以及中断设置过程	111
5.3.1 中断控制和状态寄存器	111
5.3.2 中断设置过程以及 C 代码例程	133
5.4 Timer1 定时器以及 C 代码例程	134
5.5 Timer2/3/4/5 定时器	137
5.6 输入捕捉	141
5.6.1 输入捕捉寄存器	142
5.6.2 输入捕捉功能的 C 代码示例	143
5.7 输出比较	143
5.7.1 单输出脉冲模式以及 C 代码例程	144
5.7.2 连续输出脉冲模式以及 C 代码例程	145
5.7.3 脉宽调制模式以及 C 代码例程	147
5.8 串行外设接口 (SPI)	150
5.8.1 SPI 概述	150
5.8.2 SPI 读写 SD/MMC 卡的 C 代码例程	157
5.9 I ² C	164
5.9.1 作为主机在单主机环境中通信	164
5.9.2 作为总线主控制器件工作时设置波特率	166
5.9.3 从机地址屏蔽	166
5.9.4 I ² C 读写 EEPROM 的 C 代码例程	169
5.10 通用异步收发器 (UART)	183
5.10.1 UART 波特率发生器 (BRG)	184
5.10.2 8 位数据发送模式	184
5.10.3 9 位数据发送模式	185
5.10.4 间隔和同步发送操作	185
5.10.5 8 位或 9 位数据接收模式	185
5.10.6 UxCTS 和 UxRTS 控制引脚操作	185
5.10.7 支持红外	185
5.10.8 外部 IrDA 支持 IrDA 时钟输出	185
5.10.9 内置 IrDA 编解码器	186
5.10.10 UART 的 C 语言例程	188
5.11 并行主控端口	191
5.11.1 并行主控端口概述	191
5.11.2 LCD 的 C 语言例程	199
5.11.3 使用 PMP 功能模块的 NAND Flash 的 C 代码驱动例程	202
5.12 实时时钟和日历	209
5.12.1 RTCC 模块寄存器	210
5.12.2 校准	216
5.12.3 闹钟	216

5.13	可编程循环冗余校验 (CRC) 发生器	217
5.13.1	寄存器	217
5.13.2	用户接口	219
5.13.3	在节电模式下的操作	220
5.14	10/12 位高速 A/D 转换器	220
5.14.1	A/D 转换器功能概述	220
5.14.2	10 位和 12 位 A/D 转换器的 C 代码例程	229
5.15	比较器模块工作模式	233
5.15.1	配置比较器参考电压	235
5.15.2	使用片内比较器的 C 代码例程	236
第 6 章	PIC24 综合应用开发	237
6.1	基于 PIC24 的 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统移植	238
6.1.1	移植过程	238
6.1.2	在移植中注意的问题	241
6.1.3	PIC24 系列 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 操作系统应用程序源代码	242
6.2	PIC24 在通信电源蓄电池监控系统中的应用	244
6.2.1	硬件设计	244
6.2.2	软件设计	250
6.2.3	在 PIC24 系统中使用数字滤波技术实现电池内阻测量	253
6.3	PIC24 系列的串行自举 (Bootloader) 设计	272
6.3.1	Bootloader 原理	272
6.3.2	Boot 存储区映射	273
6.3.3	Boot 源代码设计	274
附录 A	指令集综述	295
	参考文献	303

Chapter 1

第 1 章

PIC24 系列概述

- 内核特性
- 其他特殊性能
- 系列中各产品的具体信息

PIC24 系列是 Microchip 新的产品系列, 具有丰富的外设功能, 是高性能的 16 位 RISC 单片机。PIC24 采用改进型的哈佛架构, 工作时钟在 32MHz 频率下, 指令速度高达 16MIPS。它支持 8MHz 内部振荡器 (4 倍频 PLL 选项和多个分频模式选项), 以及 17 位×17 位的单周期硬件小数/整数乘法器和 32 位/16 位的硬件除法器, 便于进行高速浮点算法运算 (例如电机 FFT 算法逆变器控制)。同时, PIC24 具备 16 位×16 位工作寄存器阵列和优化的 C 编译器指令集架构, 只需要 76 条基本操作指令, 支持灵活的寻址模式。PIC24 的线性程序存储器寻址最多 12MB, 线性数据存储器寻址最多 64KB, 其地址单元可分别对数据存储器执行读和写寻址。

此外, PIC24 系列还具备以下特殊的性能。

- ① 工作电压范围为 2.0~3.6V, 适合于便携式产品的嵌入式系统的设计。
- ② 闪存程序存储器的耐擦/写次数达 1000 次 (典型值), 可以用来保存系统关键参数。
- ③ 软件控制下可自行再编程, 支持 Bootloader 自编程模式, 可以直接应用于板上在线编程。
- ④ 可选的功耗管理模式: 休眠模式、空闲模式和备用时钟模式。
- ⑤ 具备故障保护时钟监视器。一旦检测到时钟故障, 将时钟源切换到片内低功耗 RC 振荡器, 保证系统正常运行, 提高系统运行的可靠性。
- ⑥ 片上 LDO (线性稳压输出) 稳压器。
- ⑦ 支持 JTAG 边界扫描和编程模式。
- ⑧ 上电复位 (Power-on Reset, POR)、上电延时定时器 (Power-up Timer, PWRT) 和振荡器起振定时器 (Oscillator Start-up Timer, OST)。
- ⑨ 灵活的可编程看门狗定时器 (Watchdog Timer, WDT) 和片上低功耗 RC 振荡器可保证器件可靠工作, 进一步提高了系统抗干扰的能力。
- ⑩ 通过两个引脚可实现在线串行编程 (In-Circuit Serial Programming™, ICSP™) 和在线仿真 (In-Circuit Emulation, ICE)。
- ⑪ 10/12 位最多 16 路通道的模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, A/D 转换器), A/D 的转换速率达 500ksample/s, 可在休眠模式和空闲模式下进行转换。该功能在一定的应用场合可以完全替代专用的高精度 A/D 转换芯片, 节省系统设计成本。
- ⑫ 两个具有可编程输入/输出配置的模拟比较器。
- ⑬ 两个 3 线/4 线 SPI 模块, 利用 4 级 FIFO 缓冲器支持 4 种帧模式。
- ⑭ 两个支持多主/从动模式和 7 位/10 位寻址的 I2C™模块。
- ⑮ 两个 UART 模块, 支持 RS-232、RS-485 和 LIN 1.2 总线连接, 利用片上硬件编码解码器支持 IrDA 红外数据传输功能, 可以通过 UART 起始位自动唤醒, 自动波特率自适应检测而不需要设置固定的波特率数值, 同时, 它具备 4 级 FIFO 缓冲器, 可以有效防止数据冲突出错。
- ⑯ 并行主/从端口 (PMP/PSP), 支持 8 位或 16 位数据, 以及支持 16 条地址线。
- ⑰ 硬件实时时钟/日历 (Real-Time Clock/Calendar, RTCC), 支持时钟、日历和闹钟功能。
- ⑱ 5 个带可编程预分频器的 16 位定时器/计数器。
- ⑲ 5 个 16 位捕捉输入, 适合数字光电编码器等多路脉冲输入的应用。

⑳ 5 个 16 位比较/PWM 输出引脚，为无刷直流电机、伺服电机、步进电机、逆变电源等的控制提供了方便。

㉑ 某些 I/O 引脚上的最高灌/拉电流为 18mA/18mA，这样 PIC24 引脚可以直接驱动 LED 数码管，而不需要像其他单片机一样外扩 74HC04 或者 74HC595 驱动等芯片。

㉒ 数字 I/O 引脚可配置为漏极开路输出，这种方式支持大电流的输出控制，比如外界继电器等强电控制器件。

㉓ 支持最多 5 个外部中断源。

可见 PIC24 系列器件的优点很多。本书将以 PIC24FJ128GA、PIC24FJ64GA002 和 PIC24HJ64GP210 系列等典型 PIC24 系列芯片为主，主要针对那些适用于高于 8 位的嵌入式平台应用场合，以点及面详细地介绍了其内核功能外设和 C 语言应用实例。书中所有 C 代码采用高效的编译器 MPLAB C30 进行编译，在 MPLAB IDE 环境最新版本 V8.33 下开发调试完成。下面首先讲述 PIC24 系列的内核特性。

1.1 内核特性

1.1.1 16 位架构

PIC24 器件的核心是 16 位改进型哈佛架构，这种架构最早是由 Microchip 的 dsPIC[®] 数字信号控制器采用的。PIC24 CPU 内核提供了大量增强功能，如下所示：

- ① 16 位数据路径和 24 位地址路径，可在数据空间和存储器空间传递信息；
- ② 线性寻址空间最多可达 8MB（程序）和 64KB（数据）；
- ③ 利用内建软件堆栈支持 16 位×16 位工作寄存器阵列；
- ④ 支持整数运算的 17 位×17 位硬件乘法器；
- ⑤ 支持 32 位/16 位除法运算的硬件；
- ⑥ 支持多种寻址模式并为高级语言（如 C 语言）而优化的指令集；
- ⑦ 工作性能可达 16MIPS。

1.1.2 低功耗技术

PIC24 系列的所有器件都具有一系列能显著降低工作功耗的功能，主要包括以下几项。

（1）动态时钟切换模式

在器件工作过程中，器件时钟可在软件控制下切换为定时器 1 时钟源或内部低功耗 RC 振荡器，允许用户把低功耗理念融入软件设计中去。

（2）打盹模式

当那些对时间要求很高的应用（如串行通信）要求外设不间断地工作时，该模式可以适当降低 CPU 时钟速度，从而可在不丢失数据的前提下进一步节约功耗。

（3）基于指令的低功耗模式

通过在软件中使用一条指令，单片机可以暂停所有的操作或仅关闭内核，而让外设处于活动状态。

1.1.3 振荡器选项和性能

PIC24FJ、PIC24HJ 系列中的所有器件提供 5 个不同的振荡器选项，使用户在开发硬件时有很大的选择范围。这 5 个选项如下。

① 两个晶振模式，使用晶振或陶瓷谐振器。

② 两个外部时钟模式，提供 2 分频时钟输出选项。

③ 一个标称输出值为 8MHz 的快速内部振荡器（Fast Internal Oscillator, FRC），可以在软件控制下被分频，从而使时钟速度可低至 31kHz。

④ 一个锁相环（Phase Locked Loop, PLL）倍频器，可在外部振荡器模式和 FRC 振荡器下使用，从而可使时钟速度最高达 32MHz。

⑤ 具有固定的 31kHz 输出的独立内部 RC 振荡器（LPRC），可为对时间要求很高的应用场合提供低功耗时钟选项。

内部振荡器模块还为故障保护时钟监视器提供了一个稳定的参考源。故障保护时钟监视器不断地监视主时钟源，将其与内部振荡器提供的参考信号做比较。一旦发生时钟故障，允许控制器将时钟源切换到内部振荡器，继续保持低速工作。

1.1.4 简移植性能

无论存储器大小如何，所有器件均共享同一组外设，使得应用程序可在升级时很方便地移植。整个系列使用相同的引脚配置策略也有助于器件之间的移植，可以在具有相同引脚数的器件间移植，甚至还可以从 64 引脚器件移植到 80 引脚器件，或再次移植到 100 引脚器件。

PIC24 系列器件的引脚与 dsPIC33 系列器件的引脚是兼容的，并与 PIC18 和 dsPIC30 的引脚部分兼容。这样全部采用 Microchip 器件，就可将应用从相对简单的功能顺利移植到强大和复杂的功能。

1.2 其他特殊性能

1. 通信方式

PIC24 系列器件包含一系列串行通信外设。所有器件均配备两个独立的内置 IrDA 编解码器的 UART，此外还配备了两个独立的 SPI 模块和两个支持主/从工作模式的独立的 I²C 模块。

2. 并行主控/增强型并行从动端口

PIC24 系列可以将一个通用 I/O 端口配置为用于增强型并行数据通信。在这种模式下，可以将端口配置为工作在主控或从动模式下。在主控模式下支持 8 位或 16 位数据传输，并具有最多 16 条外部地址线。

3. 实时时钟/日历

采用 PIC24 系列的实时时钟模块，通过硬件实现带有闹钟功能的全功能时钟和日历，从

而释放了定时器资源和程序存储空间，供系统其他应用使用。

4. 10/12 位 A/D 转换器

采用 PIC24 系列的 A/D 转换器可以实现可编程采集时间的设置，可以设置选择多通道同步或者顺序 A/D 采集，无需等待 A/D 采样周期结束，同时可以设置 A/D 采样速度。

1.3 系列中各产品的具体信息

PIC24 系列选型指南表如表 1-1 所示。

表 1-1

PIC24 系列选型指南表

16 bit PIC [®] Microcontrollers																							
Product	Release (R) Not Indicated (N/A)	MO Pins	Core	Program Memory (Kb)	Data Memory (Kb)	EEPROM	DMA Ch.	Voltage Range	Maximum MHz	Internal Oscillator	Charge Time Measurement Unit	10-bit ADC	12-bit ADC Precision 10/12	Comparators	Complex Controller	Output Comparators	Input Capture	16-bit Timer ¹	Communication	FS USB OTG	PMU	RTOS	1 to 100%
																			Digital Communication				

续表

16-bit PIC [®] Microcontrollers																											
Product	Release Date (approx.)	IO Pin	Core	Memory					Voltage Range	Operating Speed		Analog				Circuit Controller Output Compensation	EEPROM Capable	Flash mem [†]	Communication		FSUB OF 6	PMB	RECEIVE	PPS	Sleep mode [†]	Monitors System Input Features	Packages (Designator)
				Program ROM	Data RAM	EEPROM	SRAM (Kb)	Maximum MIPS		Internal Oscillator	Charge Time Measurement Unit	WALD ADC	WALD AC-DC Conversion	Negative Comparator	Light Communication												
PIC24F128SA10	R	B5	PIC24	128	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.33	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F164SA10	R	B4	PIC24	64	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	16	8 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.12	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F192SA10	R	B5	PIC24	192	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	16	8 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.24	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F128SB10	R	B4	PIC24	128	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	16	16 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.41	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F128SB10	R	B5	PIC24	256	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	16	8 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.41	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F192SB10	R	B4	PIC24	192	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	16	8 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.52	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	128	98304	ANV0591*	-	-	2.2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	24	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.79	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT), BGAS121 (BG)		
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	128	24576	ANV0591*	-	-	2.2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	24	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.83	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT), BGAS121 (BG)		
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	256	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	16	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$4.83	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT)		
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	256	98304	ANV0591*	-	-	2.2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	24	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$5.14	TQFP (PT), BGAS121 (BG)			
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	256	24576	ANV0591*	-	-	2.2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	24	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$5.18	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT), BGAS121 (BG)		
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	128	98304	ANV0591*	-	-	2.2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	24	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$5.25	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT), BGAS121 (BG)		
PIC24F128B210	R	B4	PIC24	256	98304	ANV0591*	-	-	2.2V-3.0V	15	8 MHz, 32 kHz	-	24	-	3	-	9	5	5	4 UART, 3 SPI, 3 PC	-	-	\$5.50	BOR, LVD, POR, WDT	TQFP (PT), BGAS121 (BG)		
PIC24H128SP21	R	I3	PIC24	128	1024	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	6-dt	-	2	4	3	1 UART, 1 SPI, 1 PC	-	-	\$2.58	PBOR, POR, WDT	PDP-PN, SOC (SC)			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	128	1024	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	-	2	4	3	1 UART, 1 SPI, 1 PC	-	-	\$2.24	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM), SDOSSPS			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	32	2048	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	-	2	4	3	1 UART, 1 SPI, 1 PC	-	-	\$2.42	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM)			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	32	4096	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$2.78	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM)			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	64	4096	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$3.12	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM)			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	64	4096	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	1	-	\$3.33	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM)			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	128	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$3.44	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM)			
PIC24H128SP22	R	I3	PIC24	128	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	10-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	1	-	\$3.65	PBOR, POR, WDT	SOC (SC), SPDP (SPI, QFN, MM)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	16	2048	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	13-dt	-	2	4	3	1 UART, 1 SPI, 1 PC	-	-	\$2.42	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (ML)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	32	2048	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	13-dt	-	2	4	3	1 UART, 1 SPI, 1 PC	-	-	\$2.49	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (ML)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	32	4096	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	13-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$2.82	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (ML)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	64	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	13-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$3.29	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (ML)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	64	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	13-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$3.58	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (ML)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	128	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	13-dt	2	4	4	5	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$3.88	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (ML)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	64	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	18-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 1 PC	-	-	\$3.39	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (MR)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	64	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	18-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	-	-	\$3.50	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (MR)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	128	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	18-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	-	-	\$3.85	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT), QFN (MR)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	128	8192	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	18-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	-	-	\$4.25	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT, FS)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	256	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	18-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	-	-	\$4.31	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT, FS)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	256	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	32-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	1	-	\$4.53	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT, FS)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	256	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	32-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	1	-	\$4.53	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT, FS)			
PIC24H128SP24	R	I3	PIC24	256	15384	ANV0591*	-	-	2V-3.0V	42	7.37 MHz, 32 kHz	-	-	32-dt	-	8	8	9	2 UART, 2 SPI, 2 PC	2	-	\$5.08	PBOR, POR, WDT	TQFP (PT, FS)			

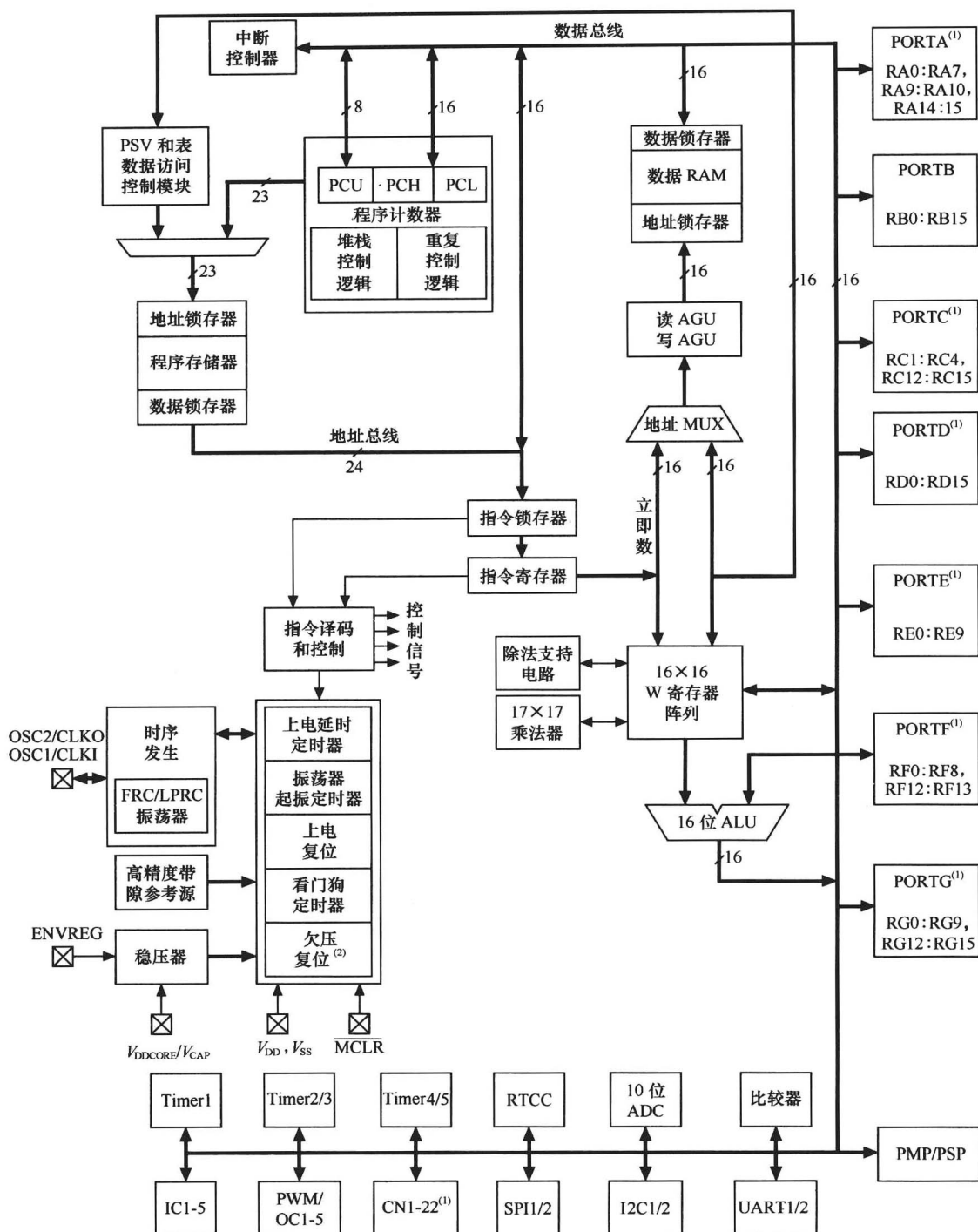
PIC24 系列器件具有 14 引脚、18 引脚、20 引脚、28 引脚、44 引脚、64 引脚、80 引脚和 100 引脚封装形式。图 1-1 中显示了适用于所有器件的通用框图(以 PIC24FJ128GA 为例)。

PIC24 系列器件在以下两方面存在差异。

① 闪存程序存储器大小(例如:PIC24FJ64GA 器件为 64KB,PIC24FJ96GA 器件为 96KB,而 PIC24FJ128GA 器件为 128KB)。

② 可用的 I/O 引脚数和端口数 (64 引脚的器件有 6 个端口 56 个引脚, 80 引脚的器件有 7 个端口 69 个引脚, 而 100 引脚的器件有 7 个端口 84 个引脚)。该系列器件的其他外设功能模块都是相同的。表 1-2 对此进行了总结。

以 PIC24FJ 系列为例，表 1-3 列出了 PIC24FJ128GA 系列器件上可用的引脚功能，按功能名称排序。注意此表只显示了各个外设功能所使用的引脚，而没有显示同一引脚上的多种功能的复用方式。



注 1: 图中引脚或特性并非在所有器件引脚配置中都能实现。请参见表 1-3 了解 I/O 端口引脚说明。

注 2: 当使能片上稳压器时可提供 BOR 功能。

图 1-1 PIC24FJ128GA 系列的通用框图

表 1-2 PIC24FJ128GA 系列器件的性能指标

性能指标	PIC24 FJ64 GA006	PIC24 FJ96 GA006	PIC24 FJ128 GA006	PIC24 FJ64 GA008	PIC24 FJ96 GA008	PIC24 FJ128 GA008	PIC24 FJ64 GA010	PIC24 FJ96 GA010	PIC24 FJ128 GA010
工作频率	DC-32MHz								
程序存储器（字节）	64K	96K	128K	64K	96K	128K	64K	96K	128K
程序存储器（指令）	22 016	32 768	44 032	22 016	32 768	44 032	22 016	32 768	44 032
数据存储器（字节）	8192								
中断源（软向量/NMI 陷阱）	43 (39/4)								
I/O 端口	端口 B、C、D、E、F 和 G			端口 A、B、C、D、E、F 和 G			端口 A、B、C、D、E、F 和 G		
I/O 引脚总数	53			69			84		
定时器：	5								
总数（16 位）									
32 位（由一对 16 位定 时器组成）	2								
输入捕捉通道	5								
输出比较/PWM 通道	5								
输入变化通知中断	19				22				
串行通信：	2								
增强型 UART									
SPI（3 线/4 线）									
I ² C TM	2								
并行通信（PMP/PSP）	有								
JTAG 边界扫描	有								
10 位模数转换模块(输 入通道)	16								
模拟比较器	2								
复位（和延时）	POR、BOR、RESET 指令、 $\overline{\text{MCLR}}$ 、WDT、非法操作码和重复硬件陷阱（以及 PWRT、OST 和 PLL 锁定）								
指令集	76 条基本指令和多种寻址模式								
封装	64 引脚 TQFP			80 引脚 TQFP			100 引脚 TQFP		

表 1-3 PIC24FJ128GA 系列引脚配置说明

功 能	引脚数			I/O	输入 缓冲器	说 明
	64 引脚	80 引脚	100 引脚			
AN0	16	20	25	I	ANA	A/D 模拟输入
AN1	15	19	24	I	ANA	
AN2	14	18	23	I	ANA	
AN3	13	17	22	I	ANA	
AN4	12	16	21	I	ANA	
AN5	11	15	20	I	ANA	
AN6	17	21	26	I	ANA	
AN7	18	22	27	I	ANA	
AN8	21	27	32	I	ANA	
AN9	22	28	33	I	ANA	
AN10	23	29	34	I	ANA	