



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业规划教材

MSP430 单片机原理与应用

—MSP430F5xx/6xx系列单片机入门、提高与开发
(第2版)

◎ 任保宏 徐科军 编著

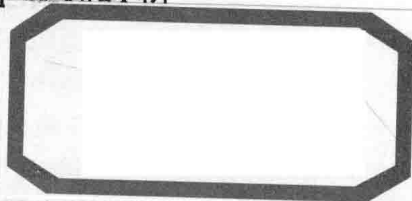


中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程类专业规划教材



MSP430 单片机原理与应用

——MSP430F5xx/6xx 系列单片机入门、提高与开发

(第2版)

任保宏 徐科军 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 TI 公司的 MSP430F5xx/6xx 系列单片机为例, 全面介绍 MSP430 单片机的原理及应用。全书分为 10 章。第 1 章为 MSP430 单片机概述; 第 2 章介绍 MSP430 单片机软件工程开发基础; 第 3 章介绍 MSP430F5xx/6xx 系列单片机的 CPU 与存储器; 第 4 章介绍 MSP430 单片机的中断系统; 第 5 章介绍 MSP430 单片机的时钟系统与低功耗结构; 第 6~8 章介绍 MSP430 单片机的输入/输出模块、片内通信模块和片内控制模块, 并给出各个模块的应用例程; 第 9 章为 MSP430 单片机应用系统设计实例; 第 10 章为 MSP-EXP430F5529 实验板简介。

本书可作为高等院校计算机、通信、电子、自动化、电气工程、机械工程、仪器科学与技术等专业 MSP430 单片机课程的教材, 也可供应用 MSP430 单片机的技术人员学习和参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

MSP430 单片机原理与应用: MSP430F5xx/6xx 系列单片机入门、提高与开发/任保宏, 徐科军编著. —2 版.
—北京: 电子工业出版社, 2018.6
电子信息科学与工程类专业规划教材
ISBN 978-7-121-34498-5

I. ①M… II. ①任… ②徐… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 129221 号

策划编辑: 凌毅

责任编辑: 凌毅

印 刷: 三河市良远印务有限公司

装 订: 三河市良远印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25.25 字数: 680 千字

版 次: 2014 年 1 月第 1 版

2018 年 6 月第 2 版

印 次: 2018 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

第2版前言

本书第1版于2014年出版,历经4次印刷和改进及完善。为了适应MSP430单片机技术的发展及读者学习的需要,在总结近年使用经验的基础上,编者对第1版进行了修订。

与第1版相比,本书在保持整体架构不变的基础上,对内容做了部分修订。具体修订说明如下:

(1) 在第1章MSP430单片机概述中,增加了MSP430最新产品说明,更新了应用领域,增加了“本书导读”一节,更有利于读者了解最新MSP430单片机的发展,以及对本书框架的把握和理解。

(2) 在第2章MSP430单片机软件工程开发基础中,对2.2节“MSP430单片机软件工程基础”重新编写,以更贴近实际软件工程需要。

(3) 在第6章MSP430单片机的输入/输出模块中,更新了GPIO模块寄存器说明和定时器A/B部分原理说明,以求描述更准确。

(4) 在第7章MSP430单片机片内通信模块中,对USCI模块的异步模式重新编写,修改了第1版中描述不清楚的部分;更新了SPI模式和I²C模式的原理介绍,以利于读者理解;增加了USB通信软件工程解析,希望读者能够对USB通信软件工程有深入理解并学习如何使用。

(5) 其余章节进行了简要的修订。

德州仪器(TI)公司大学计划王沁工程师对本书第1章部分内容进行了修订,在此表示衷心感谢。

作者于合肥工业大学

2018年5月

前 言

MSP430 单片机是业内最低工作功耗的超低功耗单片机,性能优良,在过程控制、便携仪表、无线通信、能量收集、消费类电子产品和公共事业计量等方面有着广泛的应用。MSP430F5xx/6xx 系列是 MSP430 单片机中最新的系列,本书以此系列为代表,全面介绍 MSP430 单片机的原理及应用。全书共有 10 章,具体内容包括:

第 1 章介绍 MSP430 单片机的发展历史及应用、MSP430 单片机的特点和 MSP430 单片机的应用选型。

第 2 章介绍 MSP430 单片机软件工程的开发基础,主要讲解 MSP430 单片机 C 语言编程基础、MSP430 单片机的软件编程方法及软件开发集成环境的基本操作。

第 3 章以 MSP430F5xx/6xx 系列单片机为例,简单介绍 MSP430 单片机的结构和特性,重点介绍 MSP430 单片机的 CPU 和存储器。

第 4 章介绍中断的一些基本概念,介绍 MSP430 单片机的中断源及中断处理过程,叙述 MSP430 单片机中断嵌套,最后以两个例程简单介绍 MSP430 单片机中断的应用。

第 5 章重点介绍 MSP430 单片机的时钟系统及其低功耗结构。

第 6 章重点介绍 MSP430 单片机各种典型输入/输出模块的结构、原理及功能,并针对各个模块给出了简单的应用例程。

第 7 章详细介绍 USCI 通信模块和 USB 通信模块的结构、原理及功能,并给出了简单的数据通信例程。

第 8 章重点介绍 Flash 控制器、RAM 控制器、DMA 控制器及硬件乘法控制器的结构、原理及功能,并针对各个控制器给出简单的控制例程。

第 9 章介绍 MSP430 单片机应用系统设计实例,即合肥工业大学 DSP 及 MSP430 实验室自行研制的基于 MSP430F5529 单片机的学生创新套件。该套件由 MSP430F5529 LaunchPad (最小系统)、频率与相位跟踪模块、程控放大与衰减模块、LED 串点亮模块、液晶与键盘模块和一个母板组成。

第 10 章简要介绍 TI 公司大力推广的 MSP-EXP430F5529 实验板。

本书由任保宏、徐科军编著。其中,任保宏编写第 1~8 章和第 10 章,徐科军编写第 9 章并审阅全书。陶波波、蒋荣慰、刘铮、许伟、朱文姣、叶国阳研制了基于 MSP430F5529 单片机的学生创新套件,并编写了实验指导书,为本书第 9 章的写作提供了素材。美国德州仪器(TI)公司大学计划的黄争经理和王沁工程师对本书的编写给予了极大的支持,就本书框架的确定和目录的编写提出了许多宝贵的意见。在此,表示衷心的感谢。

本书提供免费的电子课件和所有实例源程序代码,读者可登录华信教育资源网:www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。同时,可提供合肥工业大学 DSP 及 MSP430 实验室自行研制的基于 MSP430F5529 单片机的学生创新套件。

由于作者水平有限,书中肯定存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者于合肥工业大学

2013 年 9 月

目 录

第 1 章 MSP430 单片机概述	1	本章小结	33
1.1 MSP430 单片机发展及应用	1	思考题与习题 2	34
1.1.1 MSP430 单片机的发展	1	第 3 章 MSP430 单片机 CPU 与 存储器	35
1.1.2 MSP430 单片机的应用领域	2	3.1 MSP430F5xx/6xx 系列单片机结构 概述	35
1.2 MSP430 单片机的特点	4	3.2 MSP430F5529 单片机的特性、结构和 外部引脚	36
1.3 MSP430 单片机应用选型	5	3.2.1 MSP430F5529 单片机的特性	36
1.3.1 MSP430 单片机型号解码	5	3.2.2 MSP430F5529 单片机结构	37
1.3.2 MSP430 单片机选型	6	3.2.3 MSP430F5529 单片机外部引脚 介绍	37
1.4 本书导读	7	3.3 MSP430F5xx/6xx 系列单片机的中央 处理器	41
本章小结	8	3.3.1 CPU 的结构及其主要特性	41
思考题与习题 1	8	3.3.2 CPU 的寄存器资源	42
第 2 章 MSP430 单片机软件工程开发 基础	9	3.4 MSP430 单片机的存储器	46
2.1 MSP430 单片机 C 语言基础	9	3.4.1 MSP430 单片机存储空间结构	47
2.1.1 标识符与关键字	9	3.4.2 程序存储器	48
2.1.2 变量	10	3.4.3 RAM 存储器	48
2.1.3 C 语言运算符	10	3.4.4 信息存储器	48
2.1.4 程序设计的基本结构	13	3.4.5 引导存储器	48
2.1.5 函数	15	3.4.6 外围模块寄存器	48
2.1.6 数组	17	3.4.7 特殊功能寄存器	49
2.1.7 指针	18	本章小结	51
2.1.8 预处理命令	19	思考题与习题 3	51
2.2 MSP430 单片机软件工程基础	21	第 4 章 MSP430 单片机中断系统	52
2.2.1 MSP430 单片机软件编程 方法	21	4.1 中断的基本概念	52
2.2.2 模块化编程介绍	22	4.2 MSP430 单片机中断源	53
2.2.3 高质量的程序软件应具备的 条件	23	4.3 中断响应过程	56
2.3 MSP430 单片机软件开发集成环境		4.4 中断返回过程	57
CCSv5	24	4.5 中断嵌套	57
2.3.1 CCSv5 的下载及安装	24	4.6 中断应用	58
2.3.2 利用 CCSv5 导入已有工程	25	本章小结	59
2.3.3 利用 CCSv5 新建工程	26	思考题与习题 4	60
2.3.4 利用 CCSv5 调试工程	28		
2.3.5 MSP430Ware 使用指南	30		

第 5 章 MSP430 单片机时钟系统与低功耗结构 61	6.5.3 LCD_C 控制器操作..... 156
5.1 时钟系统..... 61	6.5.4 LCD_C 控制器寄存器..... 164
5.1.1 时钟系统结构与原理..... 61	6.5.5 LCD_C 控制器应用举例..... 168
5.1.2 时钟模块控制寄存器..... 69	本章小结..... 169
5.1.3 时钟系统应用举例..... 74	思考题与习题 6..... 170
5.2 低功耗结构及应用..... 77	第 7 章 MSP430 单片机片内通信模块 171
5.2.1 低功耗模式..... 77	7.1 USCI 通信模块..... 171
5.2.2 MSP430 单片机各工作模式下的电流消耗..... 78	7.1.1 USCI 的异步模式..... 171
5.2.3 低功耗模式应用举例..... 79	7.1.2 USCI 的同步模式..... 193
本章小结..... 82	7.1.3 USCI 的 I ² C 模式..... 205
思考题与习题 5..... 82	7.2 USB 通信模块..... 222
第 6 章 MSP430 单片机的输入/输出模块 83	7.2.1 USB 通信基本知识..... 222
6.1 通用 I/O 端口 (GPIO)..... 83	7.2.2 MSP430 单片机 USB 通信模块介绍..... 231
6.1.1 MSP430 单片机端口概述..... 83	7.2.3 MSP430 单片机 USB 通信传输方式..... 240
6.1.2 通用 I/O 端口的输出特性..... 83	7.2.4 USB 通信模块寄存器..... 243
6.1.3 端口 P1 和 P2..... 85	7.2.5 MSP430 单片机 USB 通信编程指导..... 255
6.1.4 端口 P3~P11..... 86	本章小结..... 280
6.1.5 端口的应用..... 87	思考题与习题 7..... 280
6.2 MSP430 模数转换模块 (ADC12)..... 88	第 8 章 MSP430 单片机片内控制模块 282
6.2.1 模数转换概述..... 88	8.1 Flash 控制器..... 282
6.2.2 MSP430 单片机 ADC12 模块介绍..... 90	8.1.1 Flash 存储器的分段结构..... 282
6.2.3 MSP430 单片机 ADC12 模块操作..... 93	8.1.2 Flash 控制器介绍..... 282
6.2.4 ADC12 模块寄存器..... 103	8.1.3 Flash 存储器操作..... 283
6.2.5 ADC12 应用举例..... 107	8.1.4 Flash 控制器寄存器..... 288
6.3 比较器 B (Comp_B)..... 109	8.1.5 Flash 控制器应用举例..... 290
6.3.1 比较器 B 介绍..... 109	8.2 RAM 控制器..... 292
6.3.2 比较器 B 控制寄存器..... 115	8.2.1 RAM 控制器介绍..... 292
6.3.3 比较器 B 应用举例..... 118	8.2.2 RAM 控制器操作..... 292
6.4 定时器..... 120	8.2.3 RAM 控制器寄存器..... 292
6.4.1 看门狗定时器 (WDT)..... 120	8.3 DMA 控制器..... 293
6.4.2 定时器 A (Timer_A)..... 124	8.3.1 DMA 控制器介绍..... 293
6.4.3 定时器 B (Timer_B)..... 138	8.3.2 DMA 控制器操作..... 294
6.4.4 实时时钟 (RTC)..... 145	8.3.3 DMA 控制器寄存器..... 301
6.5 LCD_C 控制器..... 154	8.3.4 DMA 控制器应用举例..... 304
6.5.1 LCD 的工作原理..... 154	8.4 硬件乘法控制器..... 306
6.5.2 LCD_C 控制器介绍..... 155	8.4.1 硬件乘法控制器概述..... 306
	8.4.2 硬件乘法控制器操作..... 306
	8.4.3 硬件乘法控制器程序举例..... 310

本章小结	311	9.5.1 概述	366
思考题与习题 8	312	9.5.2 恒流源法测电阻	366
第 9 章 MSP430 系列单片机应用系统设计实例	313	9.5.3 电桥测电阻 (一)	378
9.1 MSP430F5529 LaunchPad	313	9.5.4 电桥测电阻 (二)	379
9.1.1 概述	313	本章小结	382
9.1.2 硬件研制	314	第 10 章 MSP-EXP430F5529 实验板简介	383
9.1.3 软件开发	318	10.1 MSP-EXP430F5529 实验板概述	383
9.2 频率测量与相位跟踪模块	320	10.2 MSP-EXP430F5529 实验板的硬件结构	384
9.2.1 概述	320	10.2.1 电源选择模块电路	384
9.2.2 频率测量	322	10.2.2 Mini-USB 接口模块电路	387
9.2.3 频率跟踪	325	10.2.3 SD 卡插槽模块电路	387
9.2.4 相位跟踪	330	10.2.4 点阵液晶显示模块电路	388
9.3 LED 串点亮模块	334	10.2.5 三坐标轴加速度计模块电路	388
9.3.1 概述	334	10.2.6 电容触摸按键模块电路	390
9.3.2 恒流源实现 LED 串点亮	337	10.2.7 齿轮电位计采样模块电路	390
9.3.3 恒压源输出	346	10.2.8 LED 指示模块电路	391
9.3.4 负压产生	352	10.2.9 按键输入模块电路	391
9.4 程控放大和衰减模块	354	10.3 MSP-EXP430F5529 实验板 API 资源库	391
9.4.1 概述	354	10.4 MSP-EXP430F5529 实验板实验内容介绍	392
9.4.2 程控电位器	355	本章小结	394
9.4.3 程控放大和衰减	358	参考文献	395
9.4.4 音频放大电路	361		
9.4.5 峰值检测	365		
9.5 电阻测量模块	366		

第 1 章 MSP430 单片机概述

在种类和数量繁多的单片机中，MSP430 单片机颇具特色，并具有优良的性能。MSP430 单片机是美国德州仪器公司（以下简称 TI 公司）于 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器。它将模拟电路、数字电路和微处理器集成在芯片的内部，只要配置少量的外围器件，就可满足一般应用的要求。为了使读者对 MSP430 单片机有一个初步的认识和了解，本章首先介绍 MSP430 单片机的发展历史及应用，然后叙述 MSP430 单片机具有的特点及优势，最后简要介绍 MSP430 单片机的应用选型。

1.1 MSP430 单片机发展及应用

1.1.1 MSP430 单片机的发展

MSP430 单片机是一个 16 位、具有精简指令集、超低功耗的混合信号处理器。在 1996 年问世时，由于它具有极低的功耗、丰富的片内外设和方便灵活的开发手段，成为众多单片机系列中一颗耀眼的新星。回顾 MSP430 单片机的发展过程，大致可以分为 3 个阶段。

1. 开始阶段

从 1996 年推出 MSP430 单片机开始到 2000 年初。在这个阶段，TI 公司首先推出了 33x、32x、31x 等几个系列，而后于 2000 年初又推出了 11x、11x1 系列。

MSP430 单片机的 33x、32x、31x 等系列具有 LCD（液晶显示器）控制器，有利于提高系统的集成度。每一系列有 ROM 型（C）、OTP 型（P）和 EPROM 型（E）等芯片。EPROM 型的价格昂贵，运行环境温度范围窄，主要用于样机开发。这也反映了 TI 公司的开发模式：用 EPROM 型开发样机；用 OTP 型进行小批量生产；用 ROM 型进行大批量生产。2000 年 TI 公司推出了 11x/11x1 系列。这个系列采用 20 脚封装，内存容量、片上功能和 I/O 引脚数都比较少，但是，价格比较低廉。

这个阶段的 MSP430 单片机已经显露出其超低功耗等一系列技术特点，但是，也有不尽如人意之处。它的许多重要特性，如：片内串行通信接口、硬件乘法器、足够的 I/O 引脚等，只有 33x 系列才具备。33x 系列价格较高，比较适合用于较为复杂的应用系统。当用户设计时需要更多地考虑成本时，33x 系列并不一定是最适合的。而片内高精度 A/D 转换器又只有 32x 系列才有。

2. 寻找突破，引入 Flash 技术

随着 Flash 技术的迅速发展，TI 公司也将这一技术引入 MSP430 单片机中。在 2000 年 7 月推出 F13x/F14x 系列，在 2001 年 7 月到 2002 年又相继推出 F41x、F43x、F44x，这些全部是 Flash 型单片机。

F41x 系列单片机具有 48 个 I/O 口和 96 段 LCD 驱动。F43x、F44x 系列在 13x、14x 的基础上，增加了 LCD 控制器，将驱动 LCD 的段数由 3xx 系列的最多 120 段增加到 160 段。并且相应地调整了显示存储器在存储区内的地址，为以后的发展拓展了空间。

MSP430 单片机由于具有 Flash 存储器，在系统设计、开发调试及实际应用上都表现出较明

显的优点。这时 TI 公司推出了具有 Flash 型存储器及 JTAG 的廉价开发工具 MSP-FET430x110, 将国际上先进的 JTAG 技术和 Flash 在线编程技术引入 MSP430 单片机。这种以 Flash 技术与 FET 开发工具组合的开发方式, 具有方便、廉价和实用的特点, 给用户提供了一个较为理想的样机开发方式。

另外, 2001 年 TI 公司又公布了 BootStrap Loader (BSL) 技术。利用它在烧断熔丝以后, 通过口令密码, 就可更改并运行内部的程序, 这为系统软件的升级提供了又一方便的手段。BSL 技术具有很高的保密性, 口令可达到 32 字节的长度。

3. 蓬勃发展阶段

TI 公司在 2003 年底和 2004 年期间推出了 F15x 和 F16x 系列产品, 一方面将 RAM 容量大大增加, 如 F1611 的 RAM 容量增加到 10KB, 这样一来, 就可以引入实时操作系统 (RTOS) 或简单文件系统等。另一方面, 增加了 I²C、DMA、DAC12 和 SVS 等外设模块。

TI 公司在 2004 年下半年推出了 MSP430x2xx 系列。该系列是对 MSP430x1xx 片内外设的进一步精简, 使得单片机的价格低廉、小型、快速和灵活, 可以用于开发超低功耗医疗、工业与消费类嵌入式系统。与 MSP430x1xx 系列相比, MSP430x2xx 的 CPU 时钟提高到 16MHz (MSP430x1xx 系列是 8Hz), 待机电流从 2 μ A 降到 1 μ A, 具有最小 14 引脚的封装产品。

2003 年以来, TI 公司针对热门的应用领域, 利用 MSP430 的超低功耗特性, 还推出了一系列专用单片机, 如专门用于电能计量的 MSP430FE42x、用于水表的 MSP430FW42x 和用于医疗仪器的 MSP430FG4xx 等。

2007 年 TI 公司推出了具有 120KB Flash(闪存)、8KB RAM (随机存取存储器) 的 MSP430FG461x 系列超低功耗单片机。该系列产品可满足设计大型系统时的内存要求, 还为便携医疗设备与无线射频等嵌入式系统的高级应用带来了高集成度与超低功耗的特性。

2008 年 TI 公司推出了具有革命性的超低功耗 MSP430F5xx 系列产品, 该系列单片机能够针对主频高达 25MHz 的产品实现最低的功耗, 并拥有更大的 Flash 与 RAM 存储容量, 以及诸如比较器、USB 通信模块和 LCD 控制器等集成外设。与 1xx、2xx 及 4xx 等前代产品相比, F5xx 器件的处理性能提升了 50% 以上、Flash 与 RAM 存储容量也实现了双倍增长, 从而使系统在以极小功耗运行的同时, 还可执行复杂度极高的任务。

2011 年底 TI 公司推出了具有 LCD 控制器的 MSP430F6xx 系列产品, 该系列产品支持高达 25MHz 的 CPU 时钟, 且能够提供更多的内存选项, 如 256KB Flash 和 18KB RAM, 可在电能计量和能源监测应用中为开发人员提供更大的发挥空间。

2012 年后 TI 公司推出 FRAM 系列的具有更低功耗的 MSP430FRxx 系列产品, 该系列产品使用 FRAM 替代了传统单片机的 Flash, 实现了 MCU 超低功耗性能。2014 年 TI 再次重磅推出两款产品 MSP430FR4x/FR2x FRAM MCU, 以完善 FR 家族产品, 满足细分市场需求。

1.1.2 MSP430 单片机的应用领域

在实际应用中, MSP430 单片机凭借其超低功耗的特性和丰富多样化的外设, 受到了越来越多设计者的青睐, 具有广阔的应用领域。

1. 能量收集

MSP430 单片机的超低功耗与功能强大的模拟和数字接口能从周围环境中采集被浪费掉的能量, 从而可实现无须更换电池的自供电系统。这种应用开启了使用传统电池供电系统无法实现的全新大门, 从使用水果原电池为时钟供电, 到利用车辆振动为桥梁上的传感器供电, 或利用太阳能为整个系统供电, MSP430 单片机使开发人员的设计不再停留在想象中, 而是可以创

造一个无电池的世界。MSP430 单片机适合用于微弱能量的收集，例如太阳能、热能、振动能、人体运动的动能等。

2. 计量仪表

MSP430 单片机可用于包括温度、湿度、流量、功率、电流、电压等各类计量仪表中，使计量仪表更加数字化、智能化、微型化，且可采用电池供电，功耗更低。并且 MSP430 单片机内部集成 LCD 段式液晶驱动器，为计量仪表的数字显示提供了最低功耗的最优解决方案。MSP430 单片机在计量仪表行业典型的应用有水表、电表、气表、流量表等。

3. 消费类电子产品

MSP430 单片机内部集成了各种性能优异的片上外设，例如 GPIO、12 位 ADC、比较器、定时器等，开发人员可利用这些内部外设开发出非常多的符合消费者需求的电子产品。特别是采用 MSP430 单片机实现电容式触控是目前触摸式电子产品理想的设计选择，这种方式无须外部传感器，利用 MSP430 单片机内部 GPIO、比较器和定时器组成张弛振荡器，即可构成一个电容式触摸传感器，响应速度更快、灵敏度更高、功耗更低。

4. 安全与安防

随着节能问题越来越突出，包括安全与安防市场在内的所有应用都在寻找省电的方式。低功耗和电池供电的安全与安防系统（如烟雾探测器、温控器和破损玻璃检测系统等）是目前该市场的发展需要，MSP430 单片机中采用超低功耗和集成高性能外设的独特组合是其理想的选择。

5. 便携式医疗

目前，在医疗产品中，便携性成为一种日益增长的趋势，制造商正在寻求技术以减少设计的复杂度和开发产品的周期。在大多数医疗设备中，实际的生理信号是模拟的，并需要信号调理技术，例如放大和滤波，才可以进行测量、监视和显示。MSP430 单片机超低功耗的处理器及对模拟和数字外设的高度集成化为便携式医疗产品的开发提供了一个良好的平台，使其在便携式医疗市场取得了广泛的应用，例如血糖计、个人血压监控器、心率检测计、可植入装置等。

6. 无线通信

CC430 是一款外形小巧、性能优异的低功耗低成本单片机，其在 MSP430 单片机中集成了 RF (Radio Frequency) 功能。这款低功耗无线处理器适用于那些可用空间与成本受到限制的应用领域，如远程传感应用等。

7. 电机控制

MSP430 单片机集成了通信外设和高性能模拟外设，使它成为控制打印机、风扇、天线及玩具等众多应用中的步进电机、直流无刷电机及直流电机的理想选择。

8. USB 通信应用

目前在大多数 MSP430F5xx/6xx 系列单片机中集成了全速 USB2.0 模块，这种结构为包括数据记录器、模拟和数字传感器系统以及其他需要连接各种 USB 设备的应用提供了一个理想的解决方案。TI 公司还为设计者提供 USB 开发工具、技术文档、参考设计等相关支持，简化了设计，并加速了产品上市。

9. 物联网应用

如今热门的是智能家居或物联网，最终用户关心的是人机界面。现在物联网的趋势是洗衣机、空调这些白色家电都可以通过 ZigBee 或 WiFi 联网。用户可以通过远程来控制家电，同时能衡量家电的能耗。通过基于 MSP430 的数据采集和控制就会达到一个很好的能量分配，能进

一步节省能源，同时可以通过远程控制或信息采集自动地把过去几个月的冰箱使用习惯、洗衣机的使用习惯等搜集起来，反馈给家电并进行智能的控制。

随着 MSP430 单片机技术的不断发展，MSP430 单片机将会被应用于更多的领域。

1.2 MSP430 单片机的特点

MSP430 单片机具有以下主要特点。

1. 超低功耗

MSP430 单片机主要通过以下几个方面来保持其超低功耗的特性：① 电源电压采用 1.8~3.6V 低工作电压，在 RAM 数据不丢失情况下耗电仅为 0.18 μ A，活动模式耗电 290 μ A/MIPS，I/O 输入端口的最大漏电流仅为 50nA。② MSP430 单片机具有灵活的时钟系统，在该时钟系统下，不仅可以通过软件设置时钟分频和倍频系数，为不同速度的设备提供不同速度的时钟，而且可以随时将某些暂时不工作模块的时钟关闭。这种灵活独特的时钟系统还可以实现系统不同深度的休眠，让整个系统以间歇方式工作，最大限度地降低功耗。③ MSP430 单片机采用向量中断，支持十多个中断源，并可以任意嵌套。利用中断将 CPU 从休眠模式下唤醒只需 3.5 μ s，平时让单片机处于低功耗状态，需要运行时通过中断唤醒 CPU，这样既能降低系统功耗，又可以对外部中断请求做出快速反应。

2. 强大的处理能力

MSP430 单片机内核是 16 位 RISC 处理器，一个时钟周期可以执行一条指令。目前 MSP430 单片机指令速度可高达 25MIPS。某些内部带有硬件乘法器的 MSP430 单片机，结合 DMA 控制器甚至能够完成某些 DSP 的功能，大大增强了 MSP430 单片机的数据处理和运算能力，可以有效地实现一些数字信号处理的算法（如 FFT、DTMF 等）。

3. 高性能模拟技术及丰富的片上外设

MSP430 单片机结合 TI 公司的高性能模拟技术，具有非常丰富的片上外设，主要包含以下功能模块：时钟模块（UCS）、Flash 控制器、RAM 控制器、DMA 控制器、通用 I/O 端口（GPIO）、CRC 校验模块、定时器（Timer）、实时时钟模块（RTC）、32 位硬件乘法控制器（MPY32）、LCD 段式液晶驱动模块、10 位/12 位模数转换器（ADC10/ADC12）、12 位数模转换器（DAC12）、比较器（COMP）、UART、SPI、I²C、USB 模块等。不同型号的单片机，实际上即为不同片上外设的组合，丰富的片上外设不仅给系统设计带来了极大的方便，同时也降低了系统成本。

4. 系统工作稳定

MSP430 单片机内部集成了数字控制振荡器（DCO）。系统上电复位后，首先由 DCO 的时钟（DCO_CLK）启动 CPU，以保证程序从正确的位置开始执行，保证晶体振荡器有足够的起振及稳定时间。然后可通过设置适当的寄存器控制位来确定最终的系统运行时钟频率。如果晶体振荡器在用作 CPU 时钟 MCLK 时发生故障，DCO 会自动启动，以保证系统正常工作。另外，MSP430 单片机还集成了看门狗定时器，可以配置为看门狗模式，让单片机在出现死机时能够自动重启。

5. 高效灵活的开发环境

MSP430 单片机有 OTP 型、Flash 型、ROM 型和 FRAM 型 4 种类型的器件，现在大部分使用的是 Flash 型，可以多次编程。Flash 型 MSP430 单片机具有十分方便的开发调试环境，这是由于其内部集成了 JTAG 调试接口和 Flash 存储器，可以在线实现程序的下载和调试。开发人员只需一台计算机、一个具有 JTAG 接口的调试器和一个软件开发集成环境即可完成系统的软件

开发。目前针对 MSP430 单片机，推荐使用 CCSv5 软件开发集成环境。CCSv5 为 CCS 软件的最新版本，功能更强大、性能更稳定、可用性更高，是 MSP430 软件开发的理想工具。

1.3 MSP430 单片机应用选型

1.3.1 MSP430 单片机型号解码

MSP430 单片机拥有 400 多种超低功耗微处理器器件。在介绍产品选型之前，首先需要了解 MSP430 单片机的型号命名规则，如图 1.3.1 所示。

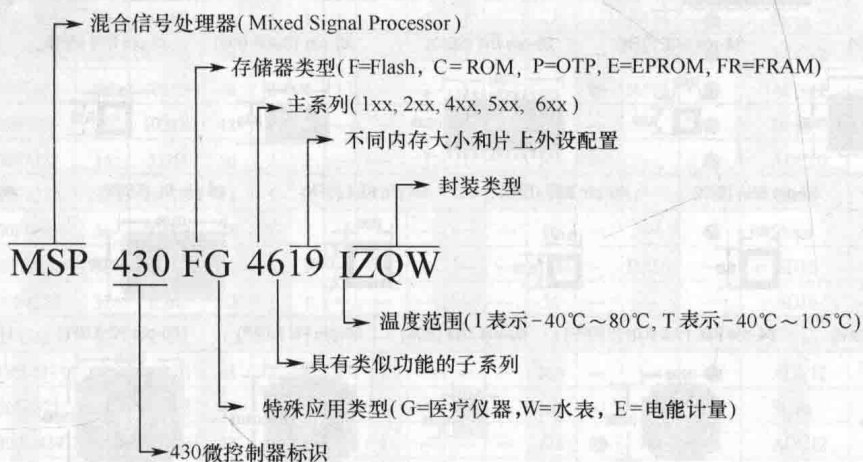


图 1.3.1 MSP430 单片机型号解码图

其中，各种类型存储器特性见表 1.3.1。

表 1.3.1 各种存储器特性列表

存储器类型	名称	特性
F	Flash	闪存，具有 ROM 的非易失性和 EEPROM 的可擦除性
C	ROM	只读存储器，适合大批量生产
P	OTP	单次可编程存储器，适合小批量生产
E	EPROM	可擦除只读存储器，适合开发样机
FR	FRAM	铁电随机存储器，将 SRAM 的速度、超低功耗、耐用性、灵活性与 Flash 的可靠性和稳定性结合在一起

MSP430 单片机中还有一些针对特殊应用而设计的专用单片机，如 MSP430FG4xx 系列单片机为医疗仪器专用单片机、MSP430FW4xx 系列单片机为水表专用单片机、MSP430FE4xx 系列单片机为电能计量专用单片机等。这些专用单片机都是同系列通用单片机上增加专用模块而形成的。例如，MSP430FG4xx 系列在 F4xx 系列上增加了 OPAMP 可编程放大器；MSP430FW4xx 系列在 F4xx 系列上增加了 SCAN-IF 无磁流量检测模块；MSP430FE4xx 系列在 F4xx 系列上增加了 E-Meter 电能计量模块。

在 MSP430 单片机型号中，除“430”以外的数字，其含义如下。第一位数字表示主系列，目前有几个主系列：MCLK 为 8MHz 的 MSP430F1xx 系列、MCLK 为 16MHz 的 MSP430F2xx 系列、MCLK 为 16MHz 并具有 LCD 控制器的 MSP430F4xx 系列、MCLK 高达 25MHz 的 MSP430F5xx 系列、MCLK 高达 25MHz 并具有 LCD 控制器的 MSP430F6xx 系列。在每个主系

列中，又可分为若干个子系列，所以，第二位数字表示子系列。每个子系列含有的功能模块类似，即具有相似的功能。最后的两位数字表示不同的内存容量及片上外设的配置。

MSP430 单片机是面向于工业应用的，具有较宽的工作温度范围。其中，标志 I 表示该 MSP430 单片机可在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内正常工作；标志 T 表示该 MSP430 单片机具有更宽的工作温度范围，为 $-40^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ ，能够在更加恶劣的温度环境下正常工作。

最后，介绍 MSP430 单片机的封装类型，如图 1.3.2 所示。

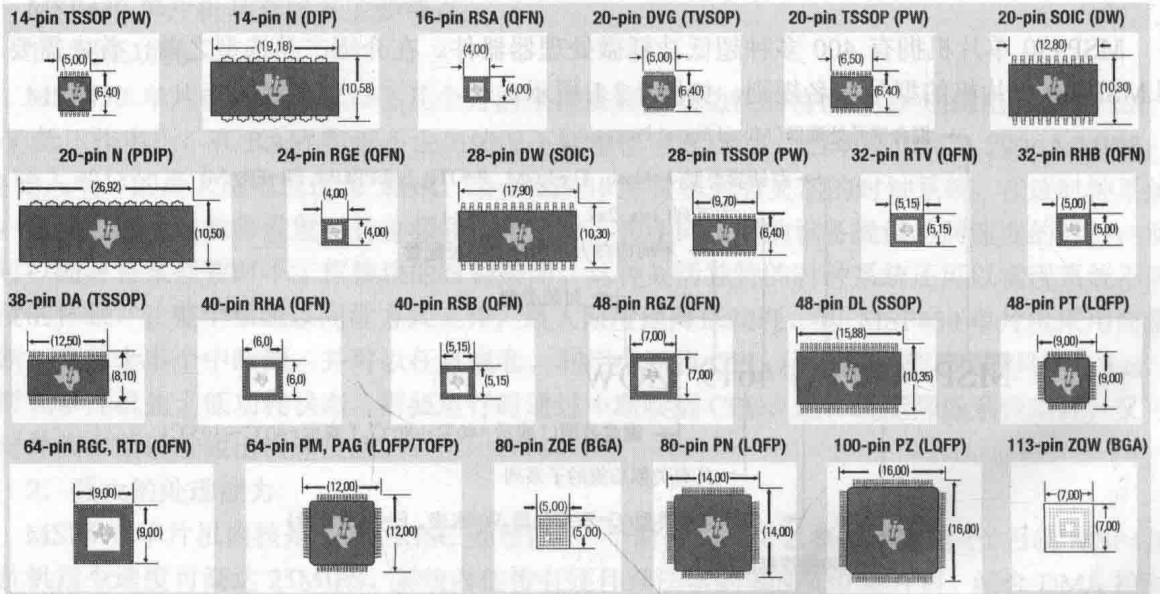


图 1.3.2 MSP430 单片机的部分封装类型示例图

1.3.2 MSP430 单片机选型

MSP430 单片机具有非常多的种类，在构建应用系统之前，需慎重考虑单片机选型的问题。一般来说，在进行 MSP430 单片机选型时，可以考虑以下几个原则：①选择内部功能模块最接近系统需求的型号；②若系统开发任务重，且时间比较紧迫，可以首先考虑比较熟悉的型号；③考虑所选型号的存储器和 RAM 存储空间是否能够满足系统设计的要求；④最后还要考虑单片机的价格，尽量在满足系统设计要求的前提下，选用价格最低 MSP430 单片机型号。

MSP430 单片机 Flash 型产品的选型可以参考表 1.3.2（最新产品选型的信息，可以访问 <http://www.ti.com.cn/msp430>）。

表 1.3.2 MSP430 单片机部分选型表

子系列	代表单片机型号	Flash (KB)	SRAM	I/O	定时器			USAR	USCI		USI	LCD 驱动	DMA	MPY	比较器	ADC	增加功能	每片价格
					总数	A	B		ChA	ChB								
F11X1	MSP430F1121A	4	128B	14	1	1	—	—	—	—	—	—	—	●	Slope	—	\$1.00	
F11X2	MSP430F1132	8	256B	14	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	ADC10	—	\$2.25	
F12X	MSP430F123	8	256B	22	1	1	—	1	—	—	—	—	—	●	Slope	—	\$2.30	
F12X2	MSP430F1232	8	256B	22	1	1	—	1	—	—	—	—	—	—	ADC10	—	\$2.50	
F13X	MSP430F135	16	512B	48	2	1	1	1	—	—	—	—	—	●	ADC12	—	\$3.60	
F13X1	MSP430F1351	16	512B	48	2	1	1	1	—	—	—	—	—	●	Slope	—	\$2.30	
F14X	MSP430F1491	60	2048B	48	2	1	1	1	—	—	—	—	16*16	●	Slope	—	\$5.60	
F15X	MSP430F157	32	1024B	48	2	1	1	1	—	—	—	●	—	●	ADC12	DAC12	\$5.85	
F16X	MSP430F1612	55	5120B	48	2	1	1	2	—	—	—	●	16*16	●	ADC12	DAC12	\$8.95	

子系列	代表单片机型号	Flash (KB)	SRAM	I/O	定时器			USAR	USCI		USI	LCD 驱动	DMA	MPY	比较器	ADC	增加功能	每片价格
					总数	A	B		ChA	ChB								
F20XX	MSP430F2013	2	128B	10	1	1	—	—	—	●	—	—	—	●	Slope	—	\$0.55	
F21XX	MSP430F2132	8	512B	22	2	2	—	—	1	1	—	—	—	●	ADC10	—	\$1.75	
F22X2	MSP430F2272	32	1024B	32	2	1	1	—	1	1	—	—	—	●	ADC10	—	\$2.50	
F22X4	MSP430F2274	32	1024B	32	2	1	1	—	1	1	—	—	—	●	ADC10	OPAMP	\$2.70	
F23X0	MSP430F2370	32	2048B	32	2	1	1	—	1	1	—	—	16*16	●	Slope	—	\$2.55	
F23X	MSP430F235	16	2048B	48	2	1	1	—	2	3	—	—	16*16	●	ADC12	—	\$2.90	
F24X	MSP430F2410	56	4096B	48	2	1	1	—	2	3	—	—	16*16	●	ADC12	—	\$4.85	
F24X1	MSP430F2491	60	2048B	48	2	1	1	—	2	3	—	—	16*16	●	Slope	—	\$4.40	
F241X	MSP430F2419	120	4096B	48	2	1	1	—	2	3	—	—	16*16	●	ADC12	—	\$6.10	
F261X	MSP430F2619	120	4096B	48	2	1	1	—	2	3	—	—	●	16*16	●	ADC12	DAC12	\$7.60
F41X	MSP430F417	32	1024B	48	2	2	—	—	—	—	96	—	—	●	Slope	—	\$3.90	
F41X2	MSP430F4152	16	512B	56	2	2	—	—	1	1	—	144	—	—	●	ADC10	—	\$1.90
F42X	MSP430F427A	32	1024B	14	1	1	—	—	—	—	128	—	16*16	—	SD16	—	\$4.45	
FW42X	MSP430FW429	60	2048B	48	2	2	—	—	—	—	96	—	—	●	Slope	SCAN_IF	\$3.55	
FE42X	MSP430FE4272	32	1024B	14	1	1	—	—	—	—	128	—	16*16	—	SD16	ESP430	\$4.30	
F42X0	MSP430F4270	32	256B	32	1	1	—	—	—	—	56	—	—	—	SD16	DAC12	\$3.80	
FG42X0	MSP430FG4270	32	256B	32	1	1	—	—	—	—	56	—	—	—	SD16	OPAMP	\$4.05	
F43X	MSP430F437	32	1024B	48	2	1	1	1	—	—	160	—	—	●	ADC12	—	\$4.90	
F43X1	MSP430F4371	32	1024B	48	2	1	1	1	—	—	160	—	—	●	Slope	—	\$4.50	
FG43X	MSP430FG439	60	2048B	48	2	1	1	1	—	—	128	●	—	●	ADC12	OPAMP	\$7.95	
F44X	MSP430F449	60	2048B	48	2	1	1	2	—	—	160	—	16*16	●	ADC12	—	\$7.05	
FG461X	MSP430FG4619	120	4096B	80	2	1	1	1	1	1	—	160	●	16*16	●	ADC12	OPAMP	\$9.95
F461X	MSP430F4619	120	4096B	80	2	1	1	1	1	1	—	160	●	16*16	●	ADC12	—	\$6.70
F47XX	MSP430F4794	60	2560B	72	2	1	1	—	2	2	—	160	—	32*32	●	SD16	—	\$5.00
F471XX	MSP430F47197	120	4096B	68	2	1	1	—	2	2	—	160	●	32*32	●	SD16	RTC	\$7.95
FG47X	MSP430FG479	60	2048B	48	2	1	1	—	1	1	—	128	—	—	●	SD16	OPAMP	\$6.25
F47X	MSP430F479	60	2048B	48	2	1	1	—	1	1	—	128	—	—	●	SD16	DAC12	\$5.75
F51XX	MSP430F5172	32	2KB	29	3	3	—	—	1	1	—	—	●	32*32	●	ADC10	5V I/O'S	\$1.70
F53X	MSP430F5310	32	6KB	47	4	3	1	—	2	2	—	—	●	32*32	●	ADC10	—	\$1.85
F532X	MSP430F5338	256	18KB	74	4	3	1	—	2	2	—	—	●	32*32	●	ADC12	—	\$6.26
F534X	MSP430F5342	128	10KB	38	4	3	1	—	2	2	—	—	●	32*32	●	ADC12	—	\$2.60
F54XX	MSP430F5438A	256	16KB	87	3	2	1	—	4	4	—	—	●	32*32	●	ADC12	—	\$4.85
F55XX	MSP430F5529	128	8+2^KB	63	4	3	1	—	2	2	—	—	●	32*32	●	ADC12	USB	\$4.00
F563X	MSP430F5638	256	16+2^KB	74	4	3	1	—	2	2	—	—	●	32*32	●	ADC12	USB	\$6.85
F663X	MSP430F6638	256	16+2^KB	74	4	3	1	—	2	2	—	160	●	32*32	●	ADC12	USB	\$6.95
F643X	MSP430F6438	256	18KB	74	4	3	1	—	2	2	—	160	●	32*32	●	ADC12	LCD	\$6.40
F673X	MSP430F6736	128	8KB	72	4	4	—	—	3	1	—	160	●	32*32	—	ADC10/SD24	辅助电源	\$3.25

注：① “^”：表示如果禁用 USB 模块，单片机将获得额外的 2KB SRAM；

② “—”：表示产品中不含有相应器件；

③ “●”：表示产品中含有相应器件；

④ 表中每片价格为 TI 公司 2012 年建议零售价。

1.4 本书导读

本书的内容结构如图 1.4.1 所示。在此，可分为概述篇、基础篇、应用篇及扩展篇。

第1章: MSP430 单片机概述 MSP430 单片机发展及应用、特点、应用选型及本书导读	概述篇: 了解
第2章: MSP430 单片机软件工程开发基础 MSP430 单片机 C 语言基础、软件工程基础、CCSv5	基础篇: 必须掌握
第3章: MSP430 单片机 CPU 与存储器 特性、结构、外部引脚定义、中央处理器、存储器	
第4章: MSP430 单片机中断系统 中断基本概念、中断源、响应和返回过程、嵌套及应用	
第5章: MSP430 单片机时钟系统与低功耗结构 时钟系统、低功耗结构及应用	应用篇: 掌握+按需专攻
第6章: MSP430 单片机的输入/输出模块 GPIO、ADC12、Comp_B、定时器、LCD_C 控制器	
第7章: MSP430 单片机片内通信模块 USCI 通信模块(UART、SPI、I ² C)、USB 通信模块	
第8章: MSP430 单片机片内控制模块 Flash 控制器、RAM 控制器、DMA 控制器、硬件乘法控制器	扩展篇: 工程实例
第9章: MSP430 单片机应用系统设计实例 频率测量与相位跟踪模块、LED 串点亮模块、程控放大和 衰减模块、电阻测量模块	
第10章: MSP-EXP430F5529 实验板简介 概述、硬件结构、API 资源库、实验内容介绍	

图 1.4.1 MSP430 单片机原理与应用内容架构示意图

对于概述篇,读者需要了解;基础篇为 MSP430 单片机软件工程开发基础、CPU 与存储器、中断系统、时钟系统与低功耗结构,读者需要完全掌握,后继应用篇中的各个模块均是在该基础上进行扩展的;应用篇为 MSP430 单片机的片上外设模块,编者采用由简单到复杂的顺序进行介绍,符合读者认知和学习规律,读者可先初步掌握各片上外设的工作原理及操作方法,在用到该模块时,再进行专攻;扩展篇以基于 MSP430F5529 单片机的学生创新套件为例,介绍频率测量与相位跟踪、LED 串点亮、程控放大和衰减以及电阻测量的应用系统设计实例,最后对 MSP-EXP430F5529 实验板软/硬件资源进行介绍,对于使用该开发板进行 MSP430 单片机学习的读者可供参考。

本章小结

1996 年, TI 公司推出了一种基于 RISC 的 16 位混合信号处理器 (Mixed Signal Processor), 即 MSP430 单片机。这款单片机专为满足超低功耗需求而精心设计。经过了 20 多年的发展, TI 公司已拥有超过 530 种的 MSP430 单片机的芯片, 这些芯片在很多领域取得了广泛的应用。本章讲述了 MSP430 单片机的发展历程、应用领域、特点及应用选型。通过本章的学习, 读者对 MSP430 单片机具有了初步的了解和认识, 从而为以后章节的学习打下良好的基础。

思考题与习题 1

- 1.1 简述 MSP430 单片机的发展历史。
- 1.2 举例说明 MSP430 单片机的应用领域。
- 1.3 MSP430 单片机具有哪些特点? 为什么其具有超低功耗的特性?
- 1.4 请列举 MSP430 单片机所具有的片上外设。
- 1.5 了解 MSP430 单片机的命名规则。
- 1.6 在对 MSP430 单片机进行选型时, 应考虑哪些原则?
- 1.7 请比较 MSP430 单片机的 MSP430F1xx 系列、MSP430F2xx 系列、MSP430F4xx 系列和 MSP430F5xx/6xx 系列单片机的区别和联系。

第2章 MSP430 单片机软件工程师开发基础

MSP430 单片机的 CPU 属于 RISC (精简指令集) 处理器, RISC 处理器基本上是为高级语言所设计的, 因为精简指令系统很大程度上降低了编译器的设计难度, 有利于产生高效紧凑的代码。初学者完全可以在不深入了解汇编指令系统的情况下, 直接开始 C 语言的学习。本章介绍 MSP430 单片机软件工程师的开发基础, 主要讲解 MSP430 单片机 C 语言编程基础、MSP430 单片机的软件编程方法及软件集成开发环境的基本操作。通过本章的讲解, 旨在使读者对 MSP430 单片机的编程思想有一定的了解。

2.1 MSP430 单片机 C 语言基础

知识点: 程序设计语言的发展经历了从机器语言、汇编语言到高级语言的历程。C 语言是一门高级语言, 具有以下特征: 语句简洁紧凑、运算符灵活、数据类型丰富、控制语句结构化、代码可移植性好。使用 C 语言进行程序设计是当前单片机系统开发和应用的必然趋势, 这主要有两个方面的因素: 一方面, 随着芯片工业的快速发展, 单片机能够以较低的成本提供较快的运算速度和更大的存储空间, 所以, 在单片机系统开发过程中, 单片机计算能力和存储空间已经不是考虑的主要因素; 另一方面, 现在单片机系统处理的任务越来越复杂, 产品更新的周期也越来越短, 这对开发的进度提出了更高的要求。

现在使用汇编语言进行程序设计已经不能满足要求, 并且目前 MSP430 单片机的 C 编译器的性能非常优秀。因此, 初学者完全可以在不深入了解汇编指令系统的情况下, 直接学习 C 语言的编程。本书的代码均是用 C 语言编写的。

MSP430 单片机使用的 C 语言集成开发环境 (CCSv5) 是由 TI 公司提供的。为了叙述方便, 以下将 MSP430 的 C 语言简称为 C430。为了让读者更好地理解后面章节中的例程, 本节重点介绍 MSP430 单片机的 C 语言基础。C430 语法与标准 C 是基本一致的, 但是, 也有一些很重要的差异, 本节在介绍标准 C 语法的基础上, 穿插地介绍其与 C430 的不同之处。

2.1.1 标识符与关键字

1. 标识符

标识符用来标识程序中某个对象的名字, 这些对象可以是语句、数据类型、函数、变量、常量、数组等。标识符的第一个字符必须是字母或下划线, 随后的字符必须是字母、数字或下划线。例如, `count_data`、`text2` 是正确形式, 而 `2count` 是错误形式。

C 语言对大小写字符敏感, 所以在编写程序时要注意大小写字符的区别。例如, 对于 `sec` 和 `SEC` 这两个标识符来说, C 语言会认为它们是两个完全不同的标识符。

注意: 在 C430 中, 标识符的命名应该做到简洁明了、含义清晰, 这样便于程序的阅读和维护。例如, 在比较最大值时, 最好使用 `max` 来定义该标识符; 在片内外设初始化函数部分, 函数命名后面尽量加上 `_init`, 如 `ADC12_init()` 表示 ADC12 模块初始化函数。