

王代华 宋林丽 王恩怀 编著

PIC 单片机 及其嵌入式应用

◆ 立足基础，强化实践

◆ 循序渐进，突出重点

◆ 可读性好，实用性强



国防工业出版社
National Defense Industry Press

PIC 单片机及其 嵌入式应用

王代华 宋林丽 王恩怀 编著

國防工業出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书以 PIC16F87X 单片机为主进行讲述,遵循先总体后局部的思路,从浅入深,循序渐进。全书共分 9 章,先介绍单片机的基础知识,包括基本结构、中央处理器、存储器、I/O 端口、时钟与指令周期、复位等;然后集中讲述中断系统、定时器与 CCP 模块、A/D 转换模块、串行通信模块、指令系统等;最后给出了大量嵌入式应用实例。

本书在内容安排上简明扼要、通俗易懂,注重单片机技术与工程实践的结合,可作为高等院校测控、自动化、仪器仪表、通信、电子信息等相关专业本科生的教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机及其嵌入式应用/王代华,宋林丽,王恩怀编
著. —北京:国防工业出版社,2013.1
ISBN 978-7-118-08357-6

I. ①P… II. ①王… ②宋… ③王… III. ①单片微型
计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 183938 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16 字数 386 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

前 言

单片机作为芯片级的微型计算机系统，以其体积小、功耗低、功能强、性价比高等诸多优点在嵌入式系统设计中备受青睐，已广泛应用于工业控制、仪器仪表、汽车电子、家用电器、军用电子等各个领域。随着单片机技术的飞速发展，其功能和性能日趋增强和完善，应用领域也在不断扩大，学习并掌握单片机技术，具有重要的现实意义。

美国 Microchip 公司的 PIC 系列单片机虽起步较晚，但在众多单片机中能够异军突起，与采用的哈佛结构、精简指令集以及指令流水线结构密不可分，指令数量少、执行效率高、速度快、易学易用是 PIC 系列单片机的显著特点。在长期的科研实践和工程应用中，作者深切感受到 PIC 系列单片机的优势并深得其益。本书正是在作者总结 PIC 单片机学习和应用经验基础上编写的。

本书以 PIC 系列单片机的中级型号 PIC16F87X 为主进行讲述，目的是降低初学者的门槛，同时为具有一定单片机基础的工程技术人员提供参考。内容安排上秉承 PIC 单片机易学易用的特点，精心筛选了讲述内容并合理编排了讲述顺序，着重于基础知识的介绍，尽量做到言简意赅，突出重点。全书共分 9 章，遵循先总体后局部的思路，从浅入深，循序渐进，具体编排如下：第 1 章概述了 PIC 系列单片机及其特点，使读者建立对 PIC 系列单片机的总体认识，并为应用选型提供依据；第 2 章涵盖了 PIC16F87X 单片机的基础知识，包括基本结构、中央处理器、存储器、I/O 端口、时钟与指令周期、复位等，为读者使用 PIC16F87X 单片机奠定基础；第 3 章~第 6 章围绕单片机的各功能模块逐一展开讲述，使读者逐步深入掌握 PIC16F87X 单片机；第 7 章在前 6 章建立的基础上，集中讲述 PIC16F87X 单片机的指令系统；第 8 章和第 9 章结合作者的应用实践，分类整理后给出了编程实例。

本书在编写过程中参阅了很多文献，在此向这些文献的作者表示感谢。中北大学的孟立凡教授、赵冬娥教授、靳鸿副教授对本书的编写给予了无私支持和帮助，特向她们表示敬意和感谢。郝晓剑教授审阅了全书，提出了许多宝贵意见，特此致谢。

本书的编写分工如下：中北大学的王代华编写了第 5 章、6 章、8 章，宋林丽编写了第 4 章、7 章、9 章，王恩怀编写了第 1 章~3 章，实验室研究生张谦、孔祥善、裴峰、姚娟等完成了部分书稿的录入工作，王代华负责统编全稿。

限于作者水平，加之时间仓促，错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2012 年 6 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 单片机概况	1
1.1.1 单片机发展历程	1
1.1.2 单片机应用现状	3
1.1.3 单片机发展趋势	4
1.2 PIC 单片机特点	6
1.3 PIC 系列单片机	9
1.4 PIC16F87X 概要	12
1.4.1 PIC16F87X 基本特征	12
1.4.2 PIC16F87X 外围模块	13
1.4.3 PIC16F87X 型号间差异	13
第 2 章 PIC16F87X 基础	15
2.1 PIC16F87X 功能结构	15
2.1.1 PIC16F87X 内核概述	15
2.1.2 外围功能模块概述	19
2.1.3 引脚功能概述	20
2.2 中央处理器	23
2.2.1 算术逻辑单元	24
2.2.2 工作寄存器	24
2.2.3 状态寄存器	24
2.2.4 程序计数器	26
2.3 存储器	30
2.3.1 程序存储器	31
2.3.2 数据存储器	32
2.3.3 EEPROM	38

2.3.4	FLASH 存储器	42
2.4	I/O 端口	45
2.4.1	PORTA 端口	45
2.4.2	PORTB 端口	47
2.4.3	PORTC 端口	49
2.4.4	PORTD 及 PORTE 端口	51
2.5	时钟与指令周期	53
2.5.1	振荡模式与时钟选择	53
2.5.2	指令周期	55
2.6	复位	56
2.6.1	上电复位	57
2.6.2	掉电复位	58
2.6.3	外部复位	58
2.6.4	看门狗复位	59
2.6.5	复位判断	60
2.7	休眠模式	61
2.8	配置字	62
第 3 章	中断系统	65
3.1	中断的基本概念	65
3.2	中断源	66
3.3	中断逻辑	69
3.4	中断处理流程	70
3.5	中断相关寄存器	71
第 4 章	定时器与 CCP 模块	76
4.1	定时器/计数器	76
4.1.1	TIMER0 与 WDT	77
4.1.2	TIMER1	81
4.1.3	TIMER2	85
4.2	CCP 模块	88
4.2.1	捕捉模式	90
4.2.2	比较模式	91
4.2.3	PWM 模式	92

第 5 章 A/D 转换模块	96
5.1 A/D 转换基础知识	96
5.1.1 A/D 转换器分类	96
5.1.2 逐次逼近型 A/D 的工作原理	97
5.1.3 A/D 转换器的主要技术指标	98
5.2 PIC16F87X 的 A/D 转换模块	98
5.2.1 A/D 转换模块的结构	99
5.2.2 A/D 转换的时间要求	100
5.2.3 相关寄存器	102
5.2.4 A/D 转换流程	105
第 6 章 串行通信模块	108
6.1 串行通信的基本概念	108
6.2 SPI 串行通信模式	110
6.2.1 SPI 工作原理	110
6.2.2 SPI 相关寄存器	112
6.2.3 SPI 主控工作方式	114
6.2.4 SPI 从动工作方式	115
6.3 I ² C 串行通信模式	116
6.3.1 I ² C 工作原理	116
6.3.2 I ² C 相关寄存器	119
6.3.3 I ² C 从动工作方式	123
6.3.4 I ² C 主控工作方式	125
6.4 USART 模块	129
6.4.1 USART 工作原理	129
6.4.2 相关寄存器	130
6.4.3 波特率发生器	132
6.4.4 异步工作模式	133
6.4.5 同步工作模式	138
第 7 章 指令系统	143
7.1 指令格式与分类	143
7.1.1 PIC 汇编语言的指令格式	143

7.1.2 PIC 汇编语言的指令分类	144
7.2 寻址方式	147
7.2.1 立即寻址	147
7.2.2 直接寻址	147
7.2.3 间接寻址	148
7.2.4 位寻址	149
7.3 指令功能	150
7.3.1 字节操作指令	150
7.3.2 位操作指令	157
7.3.3 立即数操作与控制操作指令	159
7.4 伪指令	164
第 8 章 嵌入式应用实例——无线通信控制	166
8.1 红外接收控制	166
8.1.1 红外遥控原理	166
8.1.2 红外发射器件	167
8.1.3 红外接收硬件电路	171
8.1.4 程序设计	173
8.2 无线芯片控制	186
8.2.1 无线通信基础	187
8.2.2 无线芯片 nRF24L01	189
8.2.3 控制电路	204
8.2.4 程序设计	205
第 9 章 嵌入式应用实例——显示控制	217
9.1 数码管显示控制	217
9.1.1 数码管工作原理	217
9.1.2 控制电路	218
9.1.3 程序设计	220
9.2 液晶显示控制	230
9.2.1 液晶显示模块	230
9.2.2 控制电路	234
9.2.3 程序设计	235
参考文献	245

第 1 章 概 述

单片机是单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）的简称，国际上称为微控制器（Microcontroller）。它是将微型计算机各功能部件集成在一颗芯片之中的计算机，内部包括中央处理器（CPU）、只读存储器（ROM）、随机存取存储器（RAM）、输入/输出端口（I/O）、定时器/计数器、中断控制器等部件。单片机拥有微型计算机的核心部件，具备微型计算机的基本特征，将其嵌入到非计算机电子系统中，可使电子系统具备计算机应用功能，从而提高了电子系统的智能化。单片机是大规模集成电路技术发展的结晶，具有性能高、速度快、体积小、成本低、可靠性高等突出优点。

1.1 单片机概况

自美国英特尔（Intel）公司在 1971 年推出 4 位微处理器 Intel 4004 以来，单片机技术突飞猛进。在 40 年间，单片机经历了由低性能到高性能的跨越式发展。中央处理器由最初的 4 位、8 位发展到 16 位、32 位，其工作频率也由 4MHz、6MHz 提升至 64MHz、100MHz 等；片内程序存储器的存储容量由 1kB、2kB 扩充到 256kB、512kB 等，数据存储器的存储容量由 64B、128B 扩充到 64kB、128kB 等；引脚也增加至 100 个以上，并增加了多种复用接口功能；内置了大量功能模块（如 A/D、D/A、定时器/计数器、串行通信模块等），并提高了其性能；工作电压、功耗、成本等不断降低，可靠性大幅提升。发展至今，单片机的优越性能使其在各行各业得到了广泛应用。

1.1.1 单片机发展历程

单片机的发展历程大致可以分为以下 4 个阶段。

1. 4 位单片机阶段

1971 年，Intel 公司首次推出 4 位微处理器 Intel 4004，从此拉开了单片机研制的序幕。1975 年，美国德州仪器（Texas Instruments, TI）公司首次推出了 4 位单片机 TMS-1000。随后，各个计算机生产公司竞相推出 4 位单片机，如美

国国家半导体 (National Semiconductor, NS) 公司的 COP400 系列、日本电气公司 (Nippon Electric Company, NEC) 的 μ PD75 系列、日本东芝 (Toshiba) 公司的 TMP47 系列、日本富士通 (Fujitsu) 公司的 MB88 系列等。

4 位单片机属于单片机发展的萌芽阶段, 至今仍有少数在使用, 主要用于家用电器、电子玩具等的低端领域。

2. 8 位单片机阶段

1976 年, Intel 公司首先推出了 MCS-48 系列 8 位单片机, 采用将 CPU 和其他外围电路集成在一块芯片上的技术, 开辟了新型单片机结构的发展之路。这一时期, 其他公司也相继推出了 8 位单片机, 如美国莫斯特克 (Mostek) 和仙童 (Fairchild) 公司共同生产的 3870 (F8) 系列、摩托罗拉 (Motorola) 公司的 6800 系列等。单片机的发展进入了一个新阶段。

1978 年以前各厂家生产的 8 位单片机, 由于受集成度 (几千只晶体管/片) 的限制, 其寻址范围有限, ROM 和 RAM 的容量小, 中断系统较简单, 也没有串行接口, 属于低档 8 位单片机, 但功能上仍可满足当时一般工业控制和仪器仪表的需要。

在 1978 年—1983 年间, 随着集成电路工艺水平的提高 (几万只晶体管/片), 一些较高性能的 8 位单片机相继问世, 如 1978 年 Motorola 公司的 MC6801 系列、齐洛格 (Zilog) 公司的 Z8 系列、NEC 公司于 1979 年推出的 μ PD78 系列等。1980 年, Intel 公司推出了经典的 MCS-51 系列单片机, 其在寻址能力、片内存储器容量、I/O 接口能力等方面都有了大幅提高。因此, 把这类单片机称为高档 8 位单片机。

20 世纪 80 年代中后期, 在高档 8 位单片机的基础上, 单片机功能得到进一步提高, 推出了超 8 位单片机, 如 Intel 公司的 8X52 系列、Zilog 公司的 Super8 系列、Motorola 公司的 MC68HC 系列等。它们不但进一步扩大了片内 ROM 和 RAM 的容量, 同时还增加了通信功能、DMA 传输功能以及高速 I/O 功能, 单片机的性能跃上了一个新台阶。自 1985 年以来, 各种高性能、大存储容量、多功能的超 8 位单片机不断涌现, 它们代表了单片机的发展方向, 在单片机应用领域发挥着越来越大的作用。

8 位单片机可谓物美价廉, 目前广泛应用于工业控制、中高端仪器仪表等各个领域。

3. 16 位单片机阶段

1983 年以后, 集成电路的集成度可达十几万只晶体管/片, 16 位单片机逐渐问世。这一阶段的代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列、NS 公司的 HPC16040 系列和 NEC 公司的 μ PD 783 系列等。

16 位单片机把单片机的功能推向了一个新的高度，如 MCS-96 系列集成了 16 位 CPU 内核、8kB 的 ROM、232B 的 RAM、5 个 8 位并行 I/O 口、4 个全双工串行口、4 个 16 位定时器 / 计数器、8 级中断处理系统等。

发展至今，各大公司都推出了高性能的 16 位单片机，如 TI 公司的 MSP430 系列、微芯（Microchip）公司的 PIC24 系列等。这些 16 位单片机主要应用于高速复杂的控制系统。

4. 32 位单片机阶段

近年来，随着超大规模集成电路技术的发展，更高性能的 32 位单片机如火如荼地发展起来。与之前的发展阶段相比较，许多公司的 32 位单片机大多采用广受欢迎的内核（如 ARM、MIPS），并在内核基础上扩展更多的功能模块，如美国爱特梅尔（Atmel）公司的 AT91 系列、Microchip 公司的 PIC32 系列等。

32 位单片机面向高端应用市场，代表了未来单片机的发展趋势。

1.1.2 单片机应用现状

由于单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、运算速度快等特点，非常适合嵌入到各种系统中实现功能控制，提高系统的智能化。当前，单片机的应用对象几乎涉及军事和民用的各个领域，不可一一列举，大致划分为如下几个范畴。

1. 仪器仪表

将单片机嵌入传统仪器仪表中，可提高仪器仪表的数字化、智能化和微型化，功能更加强大。而且，结合不同类型的传感器，可实现电压、功率、频率、温度、湿度、速度、加速度、压力、流量、厚度、角度、长度、硬度等物理量的测量。

2. 工业控制

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统，如工厂流水线的智能化管理、数控机床、工业机器人、电梯智能控制、各种报警系统，还可与计算机联网构成二级控制系统等。

3. 家用电器

可以这样说，现在的家用电器基本上都采用了单片机控制，如电饭煲、微波炉、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电、VCD、数码相机、摄像机等，五花八门，无所不在。

4. 医用设备

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛，如医用呼吸机、各种分析仪、监

护仪、超声诊断设备以及病床呼叫系统等。

5. 汽车电子

单片机在汽车电子中的应用非常广泛，如点火控制、变速控制、防滑控制、ABS 防抱死控制、GPS 导航、防盗报警等。

6. 通信设备

单片机在通信设备中也得到了普遍应用，如电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、无线电对讲机、移动电话、数传电台等。

7. 军用电子

单片机广泛应用于军用电子领域，如导弹的制导控制、雷达系统、兵器性能测量与控制等。

此外，单片机在工商、金融、科研、教育、航空、航天等领域都有着十分广泛的用途。

1.1.3 单片机发展趋势

随着超大规模集成电路技术的不断发展，单片机在功能和性能上得以不断突破，形成了两个各具特色的发展方向。一个方向是不断增强单片机的功能，内置更多的功能模块并不断提高各模块的性能，或者通过大量的 I/O 接口扩展更多的外部功能。这类单片机面向各种复杂系统的应用需求，内部结构和指令系统复杂，以 Intel 公司的 MCS-96 系列单片机为代表。另一个方向朝着小型化、低功耗、低成本发展，从各种中小型系统的不同应用需求出发，针对性的开发多品种且功能相对集中的单片机并不断优化其性能，以 Microchip 公司的 PIC 系列单片机为代表。当然，这两个方向并不是严格区分的，技术发展过程中依然存在交叉。接下来从 6 个方面概述单片机的发展趋势。

1. 运行速度不断提高

提高运行速度是单片机发展的永恒目标。在时钟频率不变的条件下，一方面通过增加 CPU 位宽来提高单片机的运行速度，例如，16 位和 32 位单片机的运行速度要明显优于 8 位单片机的运行速度；另一方面，采用先进的体系结构可以提高单片机的运行速度，例如，越来越多的单片机采用哈佛 (Harvard) 结构，与多级指令流水线结构配合可在同等条件下大幅提高单片机的运行速度。

2. 存储容量不断增大

随着单片机功能的不断增强，其应用领域不断扩大。在复杂控制系统中，要求单片机的存储容量要足够大，以往单片机往往采取外扩存储器的方法，但

不利于系统的微型化设计以及代码保护。随着工艺技术的不断进步，单片机内部采用 EEPROM 或 FLASH 存储器可以很好的解决这些问题。在增大片容量的同时，提高了可编程能力及代码保护的有效性。另外，很多单片机采用精简指令集（Reduced Instruction Set Computing, RISC）技术，所有指令均为单字指令，程序存储空间的利用效率高。

3. 集成功能不断增强

常规单片机普遍是将中央处理器、程序存储器、数据存储器、并行 I/O 端口、串行通信模块、中断系统、定时器/计数器、时钟电路等集成在单一芯片上。随着应用需求的不断提高，单片机内部将集成越来越多的常用功能电路，如 A/D 转换器、D/A 转换器、比较器、脉宽调制电路、看门狗电路、LCD 驱动电路、USB 模块、CAN 模块等，并且，这些功能电路的性能和数量也会不断提高。功能电路的内置化还要满足单片机的低功耗和微体积要求。随着超大规模集成电路技术的发展，单片机内部的集成密度可大大提高，也进一步降低了单片机的功耗。

4. 端口功能不断丰富

随着单片机内部集成功能的不断增强，越来越多的功能电路与单片机有限的端口资源之间的矛盾日益突出，在微体积要求的限制下，I/O 端口的多功能复用成为发展趋势。针对某个多功能复用引脚，其处于何种功能可通过指令设置来区分，提高了控制功能的灵活性。另外，通过提高 I/O 端口的驱动能力，可以减少外围驱动芯片的使用，进而简化系统设计，降低系统成本，提高系统的可靠性。

5. 功耗不断降低

降低功耗是单片机不变的发展趋势。除了采用先进的集成工艺外，很多单片机都具备多种工作方式，根据需要设置单片机进入不同的工作方式可有效降低其功耗。这些工作方式一般包括等待、睡眠、空闲、节电等。TI 公司的 MSP430 系列单片机是一个典型的例子。该系列单片机有三种低功耗工作方式，在 CPU、外围电路及振荡器都不活动时，其功耗仅 $0.1\mu\text{A}$ 。极低的功耗有效地拓展了单片机的应用范围，使得单片机更适用于需要电池供电的场合。另外，扩大电源电压范围以及在较低电压下仍能工作是单片机发展的一大目标。当前，单片机一般都可工作在 $2.7\text{V}\sim 5.5\text{V}$ 电压条件下，有些低电压供电单片机的电源下限已降至 1.8V 甚至更低，有效扩展了其电压适用范围。

6. 可靠性不断提高

可靠性是制约单片机应用的关键因素。提高单片机的抗电磁干扰能力，满足更高标准的电磁兼容性要求，使单片机在恶劣环境下能可靠工作，是众多单

片机厂家不懈追求的目标。近年来，各生产厂家在单片机设计上采用了一些提高可靠性的技术，例如，振荡电路的正弦信号受外界干扰时会迭加毛刺信号，进而干扰系统时钟，采用 EFT (Electrical Fast Transient) 技术可以消除干扰毛刺，保证系统时钟信号正常；高频外时钟不仅能对单片机产生干扰，还会对外界电路产生干扰，采用低频外时钟配合内部锁相环技术，可产生较高的内部工作时钟，从而保证了单片机的运行速度又降低了系统噪声。

总之，单片机技术经过 40 多年的发展日趋成熟，并将在强大市场需求的推动下不断取得新的突破。单片机已渗透到我们可想到的各个领域，学习并掌握单片机技术是进行各种嵌入式系统设计的必备技能。

1.2 PIC 单片机特点

根据存储空间的组织结构与访问机制、指令集技术，可以将各种单片机划分为不同种类，每一类器件在该框架基础上又有不同的表现形式与特点，如精简指令集 (RISC) 单片机有不同的流水线结构与指令吞吐量。从常用分析角度看，PIC 单片机具有如下特点。

1. 哈佛结构

哈佛结构是一种并行体系结构 (图 1-1 (a))，它的主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中，即程序存储器和数据存储器是两个独立的存储器，每个存储器独立编址、利用各自的总线独立访问。这种分离的指令总线和数据总线可允许在一个机器周期内同时获取指令字 (来自程序存储器) 和操作数 (来自数据存储器)，从而提高了执行速度。总线分离还可以使指令总线和数据总线具有不同的宽度，即指令的表示不再受限于总线的宽度，换句话说，这使得 8 位单片机可以拥有 12 位、14 位、16 位不同宽度的指令总线。由于指令码的设计和指令总线的宽度相辅相成，较宽的指令总线可实现全部指令的单指令字表示和单指令周期读取，进而有利于提高 CPU 执行指令的速度。总线分离还便于实现指令执行的流水线结构。

与哈佛结构相对的是冯·诺依曼 (Von Neumann) 结构，也称普林斯顿结构 (图 1-1 (b))，其程序存储器和数据存储器位于同一物理空间，存储器与 CPU 之间使用单一总线，对程序存储器或数据存储器的存取只能分时复用该总线，执行一条指令大都需要几个机器周期才能完成，速度受限，这就是冯·诺依曼结构的“瓶颈效应”。Intel 公司的 MCS-51 系列单片机虽然采用了哈佛结构，但是程序和数据仍共用一条总线，依旧存在类似冯·诺依曼结构的“瓶颈效

应”，不能充分体现哈佛结构的优越性。

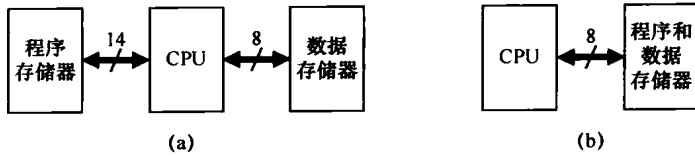


图 1-1 两种结构对比

(a) 哈佛结构；(b) 普林斯顿结构。

2. 精简指令集技术

在计算机指令集 (Instruction Set) 的发展过程中，出现了两个不同的优化方向：复杂指令集 (Complex Instruction Set Computing, CISC) 和精简指令集 (RISC)。CISC 技术的特点是复杂任务的指令多样性和指令的变长度，这导致计算机的体系结构越来越复杂。而且，CISC 指令集中各种指令的使用频率相差悬殊，约 20% 的指令会被反复使用，而其余指令并不经常使用，这显然是不太合理的。为了改善计算机的体系结构，更加合理简单地提高计算机的运行速度，美国加利福尼亚大学伯克利分校在 1979 年提出了精简指令集技术。RISC 并非只是简单地减少指令，而是优先选取使用频率最高的简单指令，避免复杂指令，同时将指令长度固定，减少指令格式和寻址方式，从而使计算机的体系结构更加简单有效。

PIC 系列单片机就采用了 RISC 技术，其高中低档单片机的指令数分别为 58 条、35 条和 33 条，这给指令的学习、记忆和理解带来很大好处，也给程序的编写、阅读和调试带来极大便利。而 MCS-51 系列单片机采用 CISC 技术，其指令集多达 111 条指令，复杂程度可想而知。此外，PIC 系列单片机全部采用单字指令且绝大多数为单周期指令，执行效率高。注意，“单字”特指 PIC 单片机的指令字，不是通常所说的字节 (8 位)。例如，PIC16C5X 系列单片机的指令字为 12 位，PIC16C7X 系列单片机的指令字为 14 位，PIC17CXX 系列单片机的指令字为 16 位，但数据存储器宽度全为 8 位。而 MCS-51 系列单片机的 ROM 和 RAM 宽度都是 8 位，指令字从 1B (8 位) 到 3B 长短不一。

上述指令字的定义与 RISC 指令集结合后，一个明显的优势就是节约了程序存储空间。例如，1kB 的程序存储器空间，对于像 MCS-51 这样的单片机，约只能存放 600 条指令，而对于 PIC 系列单片机能够存放的指令条数可达 1024 条。从图 1-2 可以看出，与几类单片机相比，PIC16C5X 最节省程序存储器空间。也就是说，对于完成相同功能的一段程序，从所占用的存储空间来看，

MC68HC05 是 PIC16C5X 的 2.24 倍。

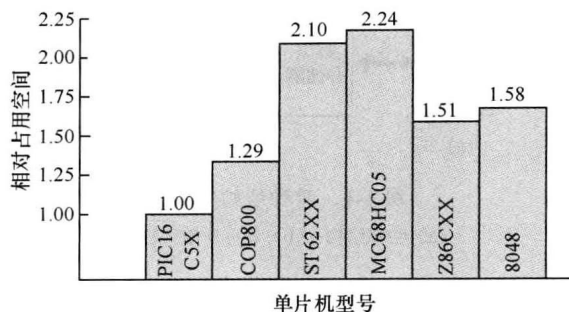


图 1-2 几类单片机占用存储空间对比

3. 两级指令流水线结构

为了提高指令的执行效率，PIC 系列单片机采用了一种称为指令流水线的结构。该结构将指令的执行分为取指和执行两个阶段，当前一条指令执行到第二个阶段时，后一条指令就可以进行第一个阶段的工作，而不必担心前后指令会产生冲突，如图 1-3 所示。PIC 系列单片机采用两级流水线结构，虽然一条指令（不含控制转移类指令）是分两个阶段（指令周期）完成的，但在同一个指令周期内却有两条指令在分阶段执行，整体来看，指令是在一个指令周期内完成的，提高了执行效率。之所以可采用流水线结构，仍然得益于 PIC 单片机所采用的哈佛结构以及指令总线与数据总线的分离。

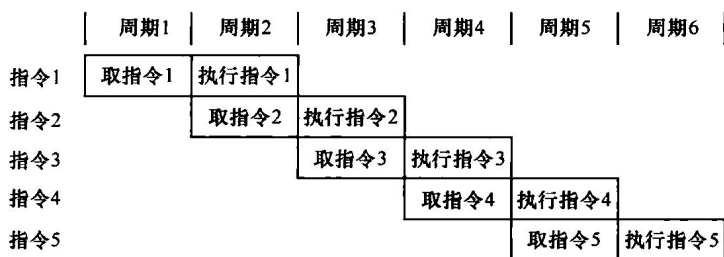


图 1-3 PIC 单片机指令流水线执行示意

PIC 系列单片机利用哈佛结构、精简指令集、两级指令流水线结构的结合，大大提高了运行速度和程序执行效率，降低了学习难度和开发时间，是单片机应用开发的理想选择。

4. 寻址方式简单

PIC 系列单片机的寻址方式共有 4 种：立即寻址、直接寻址、间接寻址和位寻址。相比其他单片机，PIC 系列单片机的寻址方式简单明了，易于掌握。