

图解PIC单片机应用技术

PIC单片机编程

〔日〕光永法明 后田 敏 著

王会芝 译

秦晓平 审



科学出版社

www.sciencep.com

51

图解 PIC 单片机应用技术

PIC 单片机编程

〔日〕 光永法明 后田 敏 著
王会芝 译
秦晓平 审

TP368.1
G586

科学出版社
北 京

图字: 01-2009-3485 号

内 容 简 介

本书是“图解 PIC 单片机应用技术”丛书之一。本书以从未接触过微控制器的人为对象,把理解编程基本思路作为重点,分别介绍 PIC 微控制器的内部动作,编程过程分析,PIC 微控制器数字量接口的应用,以及如何熟练使用内置设备、驱动电机等。附录部分给出 PIC 的开发步骤、向 PIC 微控制器写入程序、指令表、PIC16F877A 等。本书图文并茂,实例丰富,内容循序渐进,具有很强的实用性。

本书可供 PIC 单片机爱好者、高等院校相关专业师生,以及从事 PIC 单片机项目开发制作的工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 单片机编程/(日)光永法明,后田敏著;王会芝译;秦晓平审.
—北京:科学出版社,2010
(图解 PIC 单片机应用技术)
ISBN 978-7-03-026844-0

I. P… II. ①光… ②后… ③王… ④秦… III. 单片微型计算机—程序设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 030971 号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨
责任印制:赵德静 / 封面设计:郝晓燕

北京东方科龙图文有限公司制作
<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)
2010 年 4 月第一次印刷 印张: 19 1/4
印数: 1—4 000 字数: 278 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

译者序

PIC 系列微控制器是近年兴起的单片机芯片。这种器件具有速度快、功能强、价格低的优点。其硬件部分包括:数据/程序存储器、开关量输入/输出、模拟量输入、串行通信、定时器、PWM 等内部装置。在软件方面包括 35 条汇编语言指令,可以进行算术运算、逻辑运算、循环、分支、中断、子程序、通信等编程工作。PIC 芯片搭载在家用电器、玩具和各种设备中,形成智能化的产品,应用范围日益扩大。本书介绍的产品 PIC16F877A 还拥有物美价廉的编程器和免费下载的编程平台,比前几年流行的 51 系列单片机具有更大优势。

本书由浅入深地介绍了 PIC 的结构和使用方法,尤为可贵的是利用实验的方法诠释了 PIC 的编程。只要按照书中介绍的电路,并用书中提供的程序循序渐进地进行实验,读者就能事半功倍、以简驭繁,把枯燥无味的软件编程,做成兴趣盎然的快事,达到快乐编程的目的。

在美国通常把能独立运行、具有完整计算机功能面向控制的芯片称为微控制器,Intel 公司在其手册中则称作嵌入式控制器,而在国内习惯称为单片机。所以为了适应习惯称谓,书名仍冠以《PIC 单片机编程》,但在文中尽量都用其学名——微控制器,以与国际习惯称谓接轨。

在此还要衷心感谢刘庆伟、杜铮、赵华等同志为此书校阅和检查所付出的辛勤劳动。

前 言

自己制作电子产品是一件很快乐的事情。我经常回忆起小学时代,当时不懂过多的原理,只是会使用电烙铁焊接电子产品套件的那种愉快情景。在制作电子产品时,大多是由组装套件开始起步的,每当完成一件自制的电子产品,兴奋之情油然而生。可是套件中元件往往不能满足要求,这时就必须发挥自己的聪明才智来解决问题,其中比较复杂的是尝试画出电路图,或者利用多种套件进行组合。为了实现产品更加小型化,最简单的办法就是使用微控制器。

不用改变外部接线,只是改变内部的程序,微控制器就可以完成不同的任务。例如,同一个微控制器既可以作为机器人的无线控制单元实现对伺服电机的控制,也可以作为红外线遥控装置的发送器、接收器,或者作为温度计使用。只是改变微控制器的程序而不改变接线,这一优越性特别适合于设备的改造。有时只需要对设备进行少许改进,就可以灵活使用微处理器。

目前已有多种类型的微控制器被开发出来,并在市场上销售。PIC 微控制器是其中价格低廉、编程简单、使用灵便的产品之一。笔者是在晶体管技术杂志特集号上初次接触 PIC 微控制器的,与此前使用过的 Z80 单板机相比,微控制器的集成度高,程序写入器价格低廉,包括仿真器在内的开发环境都是免费提供的,这些特点对于使用者来说,具有强烈的吸引力。凡是实际应用过这种微控制器的人,无不感到得心应手,不愿舍弃。

微控制器需要编程,说到编程也许有人会感到束手无策,但是只要使用者的控制思路明晰,微控制器的编程工作就会得心应手。本书是以从未接触过微控制器的人为对象,把理解编程基本思路作为重点。本书第 1 章介绍 PIC 微控制器,第 2 章讲述微控制器的内部动作。很多人对这些内容已经有所了解,这是因为从微控制器到个人电脑,以至更大型的计算机中所使用的 CPU,其基本结构都是相同的。第 3 章通过使用仿真器加深对微控制器动作的理解。第 4 章到第 6 章的内容是制作实际电路并使之动作的实践例。第 7 章的内容是更多 PIC 应用实例。

如果读者通过阅读本书,感到 PIC 微控制器编程并不神秘,能够充满自信地工作,笔者也将感到无比快乐。

光永 法明

2005 年 2 月

目 录

第 1 章 PIC 微控制器概述

1.1 PIC 的概念	1
1.2 编程的顺序流程书	3
1.3 机器语言	3

第 2 章 PIC 微控制器编程的基础知识

2.1 PIC 微控制器的内部结构	5
2.2 程序计数器	6
2.3 汇编语言和机器语言	7
2.4 地址和标签地址	8
2.5 数字的表示方法(二进制、十进制、十六进制)	9
2.5.1 二进制数	10
2.5.2 十六进制数	10
2.5.3 把二进制数转换为十进制数	11
2.5.4 把十六进制数转换为十进制数	11
2.5.5 把十进制数转换为十六进制数	12
2.6 二进制的加法和减法	12
2.7 用 2 的补数表示负数	14
2.8 逻辑运算	15
2.9 移 位	15
2.10 PIC16F877A 的文件寄存器	16
2.11 PIC 中使用的数字	17
2.12 寄存器 STATUS	18
2.13 PIC16F877A 指令一览	19
2.14 PIC16F877A 的指令分类	22
2.15 PIC 编程基础	23
2.16 Bank 切换	24

2.17	文件寄存器的间接访问	25
2.18	汇编语言的编程规则	25
2.19	MPASM 的常用功能	26
2.20	标签地址与通用寄存器的使用方法	27

第 3 章 编程过程分析

3.1	模拟器的使用	31
3.2	熟练使用汇编语言	35
3.3	利用模拟器执行加减运算与逻辑运算	36
3.4	数值的比较	37
3.5	循环操作	38
3.5.1	同一动作重复执行 2 次	38
3.5.2	同一动作重复执行 10 次	38
3.5.3	同一动作重复执行 1000 次	39
3.5.4	同一动作重复执行 1111 次	40
3.5.5	同一动作重复执行 1 000 000 次	41
3.6	子程序	42
3.6.1	用寄存器 w 传递参数	43
3.6.2	用特定的寄存器传递参数	44
3.6.3	用指针寄存器(FSR)传递参数	44
3.7	条件分支(寄存器 PCL 计算)	47
3.8	查表(读取预先准备的表)	50
3.9	计算过程分解	51
3.9.1	2 字节的加法计算	51
3.9.2	2 字节的减法计算	52
3.9.3	简单的乘法与除法计算	53
3.10	Bank 切换的要点	54
3.10.1	直接访问寄存器	54
3.10.2	使用 FSR、INDF 间接访问	55

第 4 章 PIC 微控制器数字量接口的应用

4.1	PIC 微控制器的硬件介绍	59
4.1.1	PIC16F877A 的引脚配置	59
4.1.2	电源和振荡器的类型,动作频率	62
4.1.3	频率和周期	64
4.1.4	配置位	65

4.1.5	外部电源	66
4.2	实验电路的构成	67
4.3	熟练使用 I/O 接口	70
4.3.1	点亮 LED 的实验	71
4.3.2	PIC 的初始化——最重要的是不要损坏 PIC	71
4.3.3	确定输入输出的寄存器	72
4.3.4	点亮 LED 的程序	72
4.3.5	使 LED 闪烁(1)	74
4.3.6	程序的执行速度	74
4.3.7	延长闪烁时间间隔的方法	75
4.3.8	延时 10 μ s	76
4.3.9	延时 1ms	76
4.3.10	延时 0.5s	77
4.3.11	使 LED 闪烁(2)	77
4.3.12	改变闪烁的周期	79
4.3.13	改变点亮和熄灭时间之比	80
4.3.14	注意 read-modify-write 操作	82
4.4	读取开关状态	84
4.4.1	位测试和检测开关状态	84
4.4.2	开关的接点颤动	86
4.4.3	防止开关的接点颤动的对策	86
4.4.4	松开开关时使 LED 动作	89
4.4.5	以固定周期读取开关状态	89

第 5 章 熟练使用内置设备

5.1	熟练使用 A-D 变换器	97
5.1.1	A-D 变换的值	97
5.1.2	A-D 变换时钟周期的设定	98
5.1.3	选择 A-D 变换结果的格式	100
5.1.4	输入引脚的设定	102
5.1.5	A-D 变换的精度和速度	102
5.1.6	A-D 变换方法	103
5.1.7	A-D 变换的实验	104
5.1.8	关于中断	105
5.1.9	根据输入电压(电位器)改变闪烁间隔	105
5.1.10	利用查表法的实验	107

5.1.11	使用硫化镉光电池的实验	109
5.1.12	光暗时 LED 闪烁	110
5.1.13	亮度记忆	111
5.2	熟练使用 USART 模块	113
5.2.1	串行通信的基础知识	113
5.2.2	异步串行通信的基础	114
5.2.3	PIC16F877A 串行通信的初始设定	115
5.2.4	利用 PIC16F877A 做串行通信(发送)	117
5.2.5	利用 PIC16F877A 做串行通信(接收)	118
5.2.6	按照串行通信发出的指示而动作的程序	119
5.2.7	从初始化到主程序	123
5.2.8	发送子程序和字符变换子程序	124
5.2.9	发送 A-D 变换结果的子程序	124
5.2.10	LED 的点亮/熄灭的子程序	124
5.2.11	查表的子程序	124
5.2.12	实际动作	125
5.3	用字符型液晶显示器显示字符	125
5.3.1	液晶模块的引脚配置	126
5.3.2	液晶模块的内部寄存器	126
5.3.3	液晶显示器和并行通信	130
5.3.4	用 4 位格式发送 8 位数据,液晶模块的初始化	131
5.3.5	忙标志位(busy flag)	131
5.3.6	用 PC 机串行通信向液晶模块写入字符的程序	131
5.3.7	液晶模块初始化子程序	140
5.3.8	向液晶模块写入的子程序	140
5.3.9	从液晶模块读出的子程序	141
5.3.10	其他子程序	142
5.4	定时器 0 的使用方法	142
5.5	熟练使用中断	144
5.5.1	编制中断处理程序的方法	144
5.5.2	定时器 0 的中断	145
5.5.3	使用定时器 0 中断的程序	145
5.5.4	使用中断的注意事项	149

第 6 章 驱动电动机

6.1	驱动无线伺服电动机的实验	152
-----	--------------------	-----

6.1.1	驱动电动机的实验	153
6.1.2	由 PC 计算机发出角度控制指令(利用中断产生脉冲)	157
6.1.3	程序的结构	157
6.1.4	利用 2 个定时器的中断产生脉冲	157
6.1.5	定时器 2 的使用方法	158
6.1.6	利用中断驱动伺服电动机的程序	160
6.1.7	中断处理程序	166
6.1.8	接收 PC 计算机的命令(主程序)	167
6.1.9	把 2 个字符变换成为十六进制数(子程序 RCV_HEX)	167
6.1.10	与 PC 计算机相连接驱动伺服电动机	168
6.2	驱动电动机的实验	168
6.2.1	使用 CCP 模块	171
6.2.2	使用 CCP 模块控制电动机的转速	174
6.2.3	使用 CCP 模块的程序	174

第 7 章 熟练使用 PIC

7.1	阅读数据手册	183
7.2	数据手册的构成	184
7.3	阅读数据手册(内置 EEPROM 的使用方法)	184
7.3.1	内容概要及关联寄存器	185
7.3.2	程序实例	185
7.3.3	注意事项与总结	186
7.4	休眠	186
7.4.1	从休眠中唤醒	186
7.4.2	使用 sleep 指令时的注意事项	188
7.5	看门狗定时器	189
7.5.1	什么是看门狗定时器(WDT)	189
7.5.2	看门狗定时器的动作时间	190
7.5.3	检测看门狗定时器的动作	191
7.6	汇编器的其他功能	191
7.6.1	条件汇编	191
7.6.2	宏功能	192
7.7	头文件的阅读方法	194
7.8	应用指南的使用方法	196
7.8.1	AN617 定点数的运算程序	196
7.8.2	AN617 的使用方法	198

7.8.3 定点数	201
7.8.4 计算程序应用指南	202
7.9 其他 14 位 PIC 微控制器的使用	202
7.9.1 PIC12F675 的使用	202
7.10 调试要点	211
7.11 本书结束语	213
 附录 A PIC 的开发步骤	 215
附录 B 向 PIC 微控制器写入程序	239
附录 C 指令表	263
附录 D PIC16F877A 特殊功能寄存器一览表	289

PIC 微控制器概述

本章介绍 PIC 微控制器和本书使用的汇编语言。

首先叙述以 PIC 微控制器为代表的单片微控制器与个人电脑等其他类型计算机的区别,还介绍了 PIC 微控制器的特点,之后介绍计算机运行的最基本的机器语言和本书使用的汇编语言,并介绍二者的区别。

1.1 PIC 的概念

说到计算机,很多人的脑海中就会浮现出个人电脑的形象,但实际上,有装在电饭煲、排风扇内部的单片计算机,还有必须安装在专用机房内的超级计算机。

PIC 是美国微芯公司(Microchip Technology Inc.)生产的单片微控制器,它把计算机的基本功能组合在一个芯片中。所谓计算机的基本功能是指计算、记忆和输入/输出的功能。

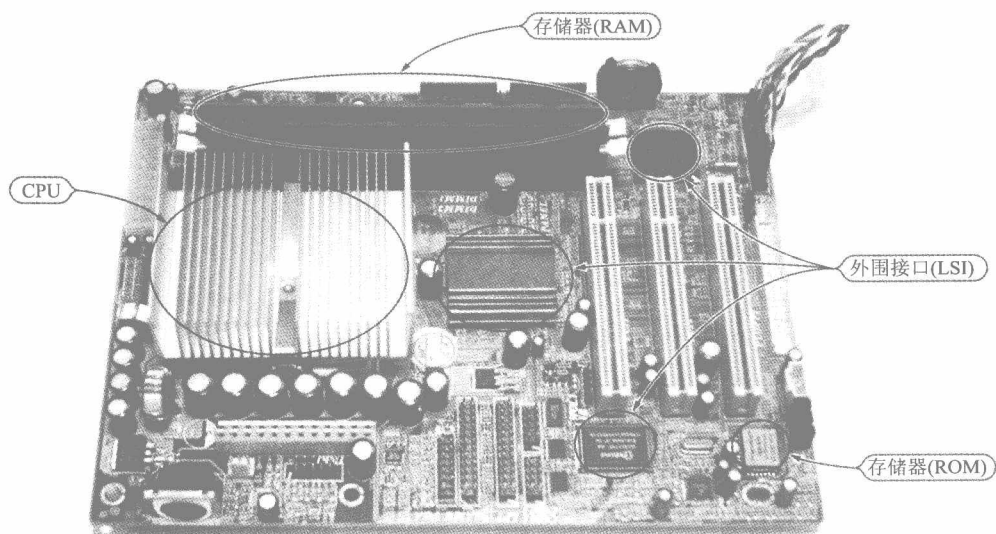
我们先对个人电脑进行考察。在个人电脑的主板上,可以看到 CPU、存储器和外围 LSI(芯片组),它们分别承担计算、记忆和输入/输出的功能。把这些功能器件制作在一个集成电路的芯片中,就是单片微控制器。把这些功能归纳到一个芯片中,最大的好处就是体积小、减少外部配线。

当然,PIC 微控制器的处理能力远不如个人电脑,在台式电脑中,从 CPU、存储器、芯片组引出的配线数量很难数得清(照片 1.1)。在稍小型化的单板微型计算机中,各个芯片之间的配线也至少在数十根以上,为了这些配线,不得不把体积做得很大(照片 1.2)。

PIC 微控制器家族中,最小的只有 8 根引脚,随着输入/输出接口增多,相应的引脚也会增多(照片 1.3)。虽然引脚数不同,但是程序的互换性却很高,而且还可以选用可多次写程序的 FLASH 类型产品,也可选用只能一次性写入程序的廉价类型产品。由于价格低廉,这种微控制器不仅深受业余人士喜爱,在专业人士之中也很有人气。

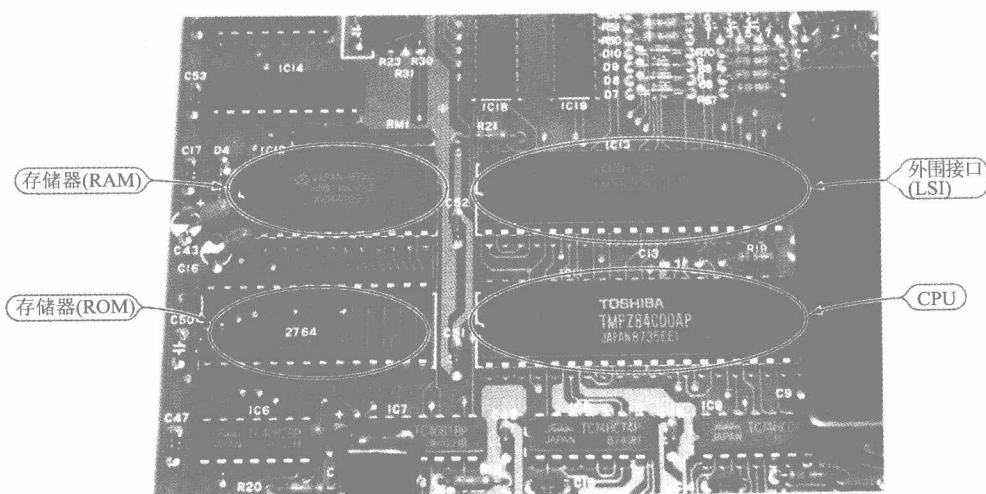
PIC 微控制器常用于电视机、录像机、音响、CD 播放器、遥控器、数码相机、电子炊具、洗衣机、车库开闭机、安全监视器等设备中。

本书以 PIC 家族中处理能力居中,输入/输出接口较多,可多次写入程序的 PIC16F877A 为例,学习用汇编语言编程。正如前文所述, PIC 的指令具有互换性,很容易把程序转换成为其他类型的 PIC 程序。



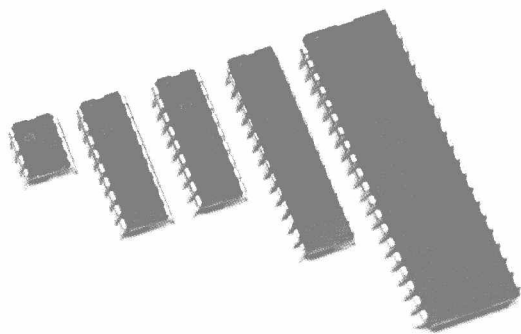
照片 1.1 个人电脑的主板

主板上装有 CPU(负责计算)、存储器(RAM 和 ROM,负责记忆。在 ROM 中还存有 BIOS)、外围接口 LSI。CPU、存储器和外围接口 LSI 的引脚数量超过百根。



照片 1.2 Z80 单板机的放大照片

CPU(Z80)、存储器(RAM 和 ROM。ROM 是可更换式,照片中只有芯片插座)、外围 LSI(8255)。这块印刷板上只有一个外围 LSI,有的场合需要多个外围 LSI。CPU 和各 LSI 之间的引线大约为 30 根。而 PIC 微控制器把这些 LSI 封装在一个芯片中,所以不需要外部引线。



照片 1.3 DIP 型 PIC 微控制器

这是易于焊装的 DIP 型 PIC 微控制器的实例。从左至右分别是 PIC12F675、PIC16F84A、PIC16F628、PIC16F873、PIC16F877。虽然有的具有相同引脚数,但是内部包含的外围接口功能却不相同。除此之外还有表面安装类型的 PIC。

1.2 编程的顺序流程书

程序是以计算机能够理解的格式,把计算、记忆、输入/输出依照一定的顺序流程编写的。因此,编程就是要把这些顺序流程进行分解,达到计算机能够理解的程度。

如同菜谱中的操作顺序一样,程序是把对计算机的指示按顺序写出来,计算机就像一个忠实执行的厨师,依照程序中书写的指示予以动作。计算机的弱点是不会通融,显得十分刻板。

1.3 机器语言

程序必须用计算机能够读懂的语言写成。计算机能够直接读懂的语言是机器语言(machine language)。机器语言是数字的罗列,人们很难读懂(图 1.1)。

把机器语言加以改进,就形成稍易理解的汇编语言。汇编语言的指令和机器语言的指令是一一对应的,通过人工的翻译可以把汇编语言变换为机器语言,但是这种作法过于繁琐,通常使用汇编工具进行这种变换。

机器语言和汇编语言的指令都因计算机类型而异,而在 PIC 机型中,只要核心位数(core bit,见本章末的用语解释)相同,指令就相同。很多情况下,即使位数不相同,位数少的 PIC 指令也可以在位数多的 PIC 上运行。

在以后的章节中,以 PIC16F877A 为例进行解说。所用的开发环境是 Microchip 公司提供的综合开发环境 MPLAB,汇编工具使用的是 MPASM,仿真工具是 MPLAB SIM。MPASM 和 MPLAB

SIM 都被包含在 MPLAB 之中。

汇编语言是和机器语言最相近的计算机语言,因此能将计算机的能力发挥到百分之百。此外要做的就是将事件分解成尽量少的指令构成的顺序流程,这就是编程的要领。我相信读过本书的读者一定能够掌握这种编程的要领。

110000000000001	movlw 0x1
111110000000001	addlw 0x1
(a) 机器语言	(b) 汇编语言

图 1.1 以 1+1 的加法为例,机器语言和汇编语言的对比

机器语言都是二进制数字,汇编语言中含有字母和数字。例如, movlw(move literal to w)意为把数值代入 w, addlw(add literal to w)意为把数值与 w 中的数值相加并放入 w 中,便于理解和记忆。

用语解释

◆ 核心位数(core bit)

PIC 微控制器的指令数据、不做切换 Bank 就能够处理的文件寄存器的数量都是由指令的位数确定的,因此把指令的位数称为核心位数。PIC16F877A 的核心位数为 14 位。

PIC 微控制器编程的基础知识

本章首先介绍 PIC 的内部结构和 PIC 动作的方式,然后在软件层面上介绍 PIC 编程必要的基础知识。

2.1 PIC 微控制器的内部结构

PIC 内部是由程序存储器(ROM)、数据存储器(RAM)、计算单元和外围接口电路所组成的。

程序存储器(ROM:Read Only Memory)是专用的只读存储器,其中的内容是预先写入的,有适合于大规模生产的掩膜型,有一次性写入型,有用紫外线擦除的 UV-EPROM,有电擦除的 EEPROM,还有被称作闪存型(Flash)的存储器。PIC16F877A 所用的是闪存型程序存储器和 EEPROM 型的数据存储器。程序存储器中的程序如同乐谱或剧本(图 2.2),只不过是数字和计算顺序书写而成的。

数据存储器(RAM:Random Access Memory)是指任意时刻都可以对任意地址实施存取的存储器。通常使用的是按照一定顺序执行存取的顺序存取存储器。相对于 ROM 而言,RAM 是可以随时存取的存储器。根据 RAM 的内部结构,可分为 DRAM 和 SRAM。数据存储器相当于一本日记台账,写入的内容不是条目而是数字,它可以不限次数地写入和修改。

计算单元相当于一个计算器,它能够做加减运算和逻辑运算,但不能做乘除运算,也没有存储功能,并且位数也较少。

外围接口电路的输入/输出与数据存储的内容相关联,对接口电路实施读写操作,就实现与外部世界的联系。

在 PIC 中还应当有一个精灵,这是什么呢?请大家想一想。没错!还应当有一个阅读剧本,操作计算器,并把计算结果记录在日记台账上的精灵,只是在 PIC 外部看不到这个精灵在书写日记台账。这个精灵位于外围接口电路附近,根据日记台账的内容,或者把日记台账中某些内容对外部世界显示,或者把外部世界的的数据记录于日记台账中。PIC 之所以能够发挥作用,这个精灵功不可没。

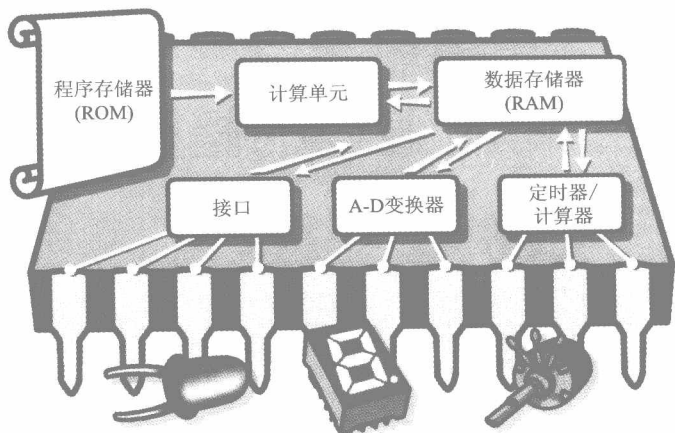


图 2.1 PIC 内部电路的形象图解

PIC 的内部是由程序存储器(RAM)、数据存储器(RAM)、计算单元和外围接口电路构成的。PIC 的外部接有 LED 和电位器。

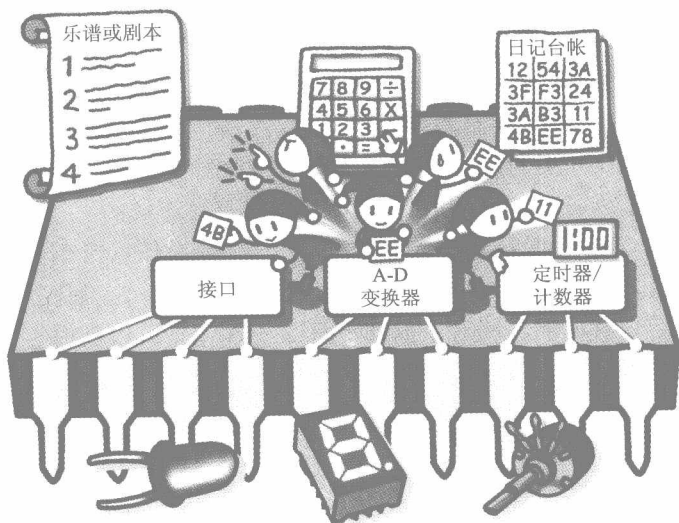


图 2.2 PIC 内部功能的形象图解

PIC 内部的程序存储器相当于乐谱或剧本,计算单元相当于计算器,数据存储器相当于写有条目的日记台帐。其中还有把剧本、计算器、日记台帐联系在一起的精灵(电路),还有管理接口、管理 A-D 变换器和管理定时器/计数器的精灵。

2.2 程序计数器

从程序存储器(剧本)中哪个地址开始读出指令呢? 这个地址记载在数据寄存器(日记台帐)的程序计数器(PC 寄存器)中。精灵按照程序计数器指示的位置读出指令,必要时还要读出数据寄存器(日