



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
高等职业教育精品工程规划教材



AVR单片机应用技术

项目化教程(第2版)

编 著

欧阳明星



扫书中二维码可查看仿真过程及效果



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>

 职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
高等职业教育精品工程规划教材

AVR 单片机应用技术

项目化教程

(第2版)

欧阳明星 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以模块为纽带,以项目为主体,以任务为中心,精选内容,借助 Proteus 虚拟仿真软件讲解 AVR 单片机相关知识和应用。全书围绕 AVR 单片机结构原理及应用,分绪论、基本 I/O 口操作、人机交互接口、中断和定时/计数器、信号转换、串行通信、实用项目设计 7 个部分,设计了单灯闪烁控制、液位指示仪、电子计分牌等 11 个教学项目(内含简易电子琴、数字频率计、PCF8563 时钟万年历等 7 个拓展任务),以及红外遥控音量电路、数字密码锁这两个综合应用项目。全书主要以 ATmega16 单片机为基础,同时也介绍了 ATmega8、ATtiny 等单片机的应用。

本书可作为高等院校及高职高专院校电子信息工程技术、应用电子技术、汽车电子技术、自动化等专业教材,也可以作为智能电子、汽车电子、仪器测量、通信技术、自动控制等相关领域从事单片机开发的工程技术人员参考用书及社会机构培训教材。

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

AVR 单片机应用技术项目化教程/欧阳明星编著. —2 版. —北京:电子工业出版社,2019.4
ISBN 978-7-121-36049-7

I. ①A… II. ①欧… 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(2019)第 033832 号

责任编辑:郭乃明 特约编辑:范 丽

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

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:20 字数:505.6 千字

版 次:2013 年 1 月第 1 版

2019 年 4 月第 2 版

印 次:2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价:54.00 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 zlts@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:34825072@qq.com,010-88254561。

前言

本书第1版于2013年1月出版,并于2014年7月获评教育部“十二五”职业教育国家规划教材。随着时代发展,原有教材结构、体例及部分内容均已无法满足现代职业教育教学发展之要求,因此,作者结合本教材多年使用及教学经验,充分考虑了职业院校的办学定位、岗位需求等,于2018年在本书第1版基础上进行了修订。修订后的教材注重能力本位构建,以项目为主体,以任务为中心,围绕项目和任务重构和精选内容,并更注重学生专业技能和方法能力的培养和应用技能之培养。修订后的教材具有如下特色:

(1) 注重能力本位构建,以项目为主体,以任务为中心,围绕项目和任务重构,精选内容。

传统单片机教学将理论与实践分开,先导入大量原理,再让学生动手实践,学生理解困难,学习枯燥乏味。现代职业教育教学理论倡导行动导向教学,通过行动激发学生学习兴趣,在做中学,在学中做,有利于创新人才的培养。本书围绕 AVR 单片机结构原理编写,内容上按模块展开,全书分为绪论及基本 I/O 口操作、人机交互接口、中断和定时/计数器、信号转换、串行通信、实用项目设计 7 个模块。以行动为导向,每个模块根据内容设计若干完整、独立、实用的项目(最后两个项目为综合应用项目),涵盖了单片机基础知识、AVR 单片机的软硬件平台使用、C 语言语法、I/O 口、键盘、显示、中断、定时器、PWM、模拟比较器、DAC、ADC、异步串行通信、SPI、I²C、内置 EEPROM 等,涉及了 AVR 单片机绝大部分资源。每个项目以操作导入学习任务,设计了学习任务表,以便读者梳理和归纳。部分项目配有程序流程图,方便读者理解程序设计思路。教材最后设置了若干附录,可作为实用参考资料。

(2) 以“教学做”为指引,以模块为纽带,以项目为载体进行重构,使内容有序化,既各自独立,又互为支撑,且层层递进。

教材内容的编排设计思路:以模块为纽带,以项目为载体,以任务为驱动,以“教学做”一体化为指引,内容力求实用,有序化力求科学合理。在分模块的基础上,各教学项目既相互独立,又互为支撑,且层层递进。各项目从教学任务切入,通过分析任务要求、设计思路、实现方法,最后实现项目,以行动导入学习问题、学习内容,从知识链接、项目拓展、知识拓展、项目总结、项目练习等依次展开、逐级分解、逐次递进。部分项目设计有若干实用例题,相关程序均通过调试验证。编者在编写过程中力求使教材便于行动导向教学的实施,使“教学做”有机融合。

(3) 内容力求理论够用,侧重实践。

内容力求理论够用、侧重实践、培养技能,除必要的理论基础外,更侧重实践练习,着重培养单片机设计、调试、综合开发能力,并以知识拓展形式进行理论或技术延伸,如差分转换、段式 LCD、RFID 识别等。各项目内容体系结构如下:

【工作任务】:从功能要求、设计思路、具体实施、调试分析出发,介绍完整项目开发实施,并提出学习内容、学习目标等。项目可在 Proteus 中仿真。

【知识链接】：该项目涉及的相关知识学习、单元练习。

【项目拓展】：应用该项目相关知识所能完成的更高层次应用。

【知识拓展】：该项目相关知识拓展，此部分内容为选修。

【项目总结】：该项目的总结。

【项目练习】：举一反三，训练巩固所学知识。

(4) 项目设计具有知识性、趣味性，有较好的知识承载作用，便于教学实施，又具有实用性。

各项目的设计经过仔细斟酌，难易适度，具有代表性，能起到很好的知识承载作用。项目设计既兼顾了教学的实践性，又不失趣味性，还极具实用性。典型项目包括液位指示仪、电信号显示面板、定时插座等 11 个教学项目（内含简易电子琴、数字频率计、PCF8563 时钟万年历等 7 个拓展任务）及红外遥控音量电路、数字密码锁这 2 个综合应用项目，其中的定时插座、红外遥控音量电路等项目具有很强的实用性，笔者已做出实物样机。

(5) 以 Proteus 虚拟教学为重要手段，虚实结合，突出技能培养。

为有助于一体化教学实施，本书倡导“虚实结合”，借助计算机虚拟仿真手段，以 Proteus 软件构建 AVR 单片机虚拟仿真平台，在计算机中运行单片机仿真程序，操作者能直观地看到单片机执行程序的结果。为提高复杂程序调试效率，本书介绍了通过 map 映像文件查看 C 语言变量、数组等在 SRAM 的地址单元中的内容等方法；同时，本书还介绍了 AVR 单片机硬件开发平台的搭建，以及如何使用 AVR ISP mkII 等工具下载程序。

(6) 立足教学，面向应用。

本书主要介绍 AVR 单片机中的 ATmega 系列单片机，大部分内容均以 ATmega16 单片机为基础，默认使用 ICCV7 for AVR 编译器。考虑到实际工作岗位中的应用，部分项目使用了其他型号单片机来实现，另外，本书对 ATtiny 系列单片机也有所介绍，以使读者具备单片机选型能力，教材最后附有 AVR 单片机选型表。本书还介绍了 ICCV7 for AVR 编译器与 Atmel Studio 编译器的不同之处，以使读者有能力在这两种编译器之间进行程序转换。

为方便教师教学，本书配有电子教案、PPT 课件、相关 C 语言程序源代码、Proteus 仿真文件、项目运行测试演示视频、部分项目的原理图和 PCB 制版文件，如有需要请与出版社联系。为与软件自动生成的硬件原理图保持一致，本书以正体且下标平排的方式显示电压等电量的代号。

本书为高职高专教材，也可以作为应用型本科、职业学校教材或参考用书，或作为社会机构培训教材及工程技术人员的参考用书。

本书编写过程中参考了国内外有关书籍和资料，在此向有关作者表示感谢，作者所在单位电子创新实验室学生对本书部分程序调试亦有贡献，在此表示感谢。限于时间仓促和作者水平有限，本书疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2019 年 1 月

目 录

绪论	1
【知识小结】	18
【思考与练习】	18
模块 1 基本 I/O 口操作	19
项目 1 单灯闪烁控制	19
【工作任务】	19
【知识链接】	21
任务 1.1 AVR 单片机简介	21
1.1.1 AVR 单片机特点	21
1.1.2 AVR 单片机分类	22
1.1.3 ATmega 系列单片机简介	22
1.1.4 ATtiny 系列单片机简介	26
任务 1.2 单片机软件开发平台	28
1.2.1 ICC 编译软件的使用	29
1.2.2 Proteus 模拟仿真软件的使用	29
1.2.3 Atmel Studio 软件的使用	31
1.2.4 ICCV7 for AVR 软件介绍	36
任务 1.3 单片机硬件开发平台	36
1.3.1 单片机最小系统	36
1.3.2 AVR ISP mkII 编程调试器	37
1.3.3 Atmel-ICE 编程调试器	38
1.3.4 USB ISP 下载线	38
1.3.5 ATtiny817 Xplained MiniEvaluation kit 评估工具	38
1.3.6 本书所用的单片机学习板	39
1.3.7 程序下载操作	40
【项目总结】	41
【项目练习】	41
项目 2 液位指示仪	42
【工作任务】	42
【知识链接】	45
任务 2.1 ATmega16 单片机结构原理	45
2.1.1 CPU (中央处理单元)	45
2.1.2 CPU 寄存器	47
2.1.3 存储器组织	48
2.1.4 引脚功能	48
任务 2.2 I/O 口结构及使用	50
2.2.1 I/O 口寄存器	50

2.2.2 I/O 口的使用	51
任务 2.3 单片机 C 语言编程基础	52
2.3.1 C 语言的特点	52
2.3.2 C 语言程序构成要素	54
2.3.3 运算符与表达式	54
2.3.4 数据类型与数据结构	58
2.3.5 C 语言程序语句	64
2.3.6 C 语言函数	68
【项目拓展】	72
任务 2.4 流水灯	72
任务 2.5 简易电子琴	74
【项目总结】	78
【知识拓展】	79
【项目练习】	80
模块 2 人机交互接口	81
项目 3 电子计分牌	81
【工作任务】	81
【知识链接】	86
任务 3.1 键盘	86
3.1.1 非编码键盘	86
3.1.2 编码键盘	90
任务 3.2 数码管	90
3.2.1 数码管工作原理	90
3.2.2 数码管驱动	92
项目 4 电信号显示面板	94
【工作任务】	94
【知识链接】	99
任务 4.1 字符型 LCD	100
4.1.1 引脚功能	100
4.1.2 控制命令	101
4.1.3 应用	102
任务 4.2 图文型 LCD	108
4.2.1 引脚功能	108
4.2.2 显示原理	109
4.2.3 控制命令	110
【项目拓展】	112
任务 4.3 图文液晶显示	112
【项目总结】	118
【项目练习】	119
模块 3 中断和定时/计数器	120
项目 5 过流监控保护装置	120
【工作任务】	120
【知识链接】	123

任务 5.1 中断概述	123
5.1.1 数据传输方式	123
5.1.2 中断的特点及类型	124
任务 5.2 ATmega16 的中断系统	124
5.2.1 中断源、中断向量与中断优先级	124
5.2.2 中断标志及中断响应	125
5.2.3 INTx 外部中断	125
任务 5.3 中断函数	127
5.3.1 中断函数特点	127
5.3.2 中断函数使用	127
任务 5.4 外部中断应用	129
项目 6 定时插座	132
【工作任务】	132
【知识链接】	137
任务 6.1 ATmega16 定时器的工作原理	137
6.1.1 定时工作原理	137
6.1.2 波形发生器	138
任务 6.2 T/C0 定时/计数器	139
6.2.1 T/C0 定时/计数器工作原理	140
6.2.2 T/C0 定时/计数器工作模式	141
6.2.3 T/C0 定时/计数器的寄存器	144
6.2.4 T/C0 的定时/计数应用	146
任务 6.3 T/C2 定时/计数器	148
6.3.1 T/C2 工作原理	148
6.3.2 T/C2 的寄存器	150
6.3.3 T/C2 的应用	153
【项目拓展】	155
任务 6.4 数字时钟	155
项目 7 自动避障小车	159
【工作要求】	159
【知识链接】	165
任务 7.1 T/C1 定时/计数器结构及原理	165
7.1.1 结构组成	165
7.1.2 T/C1 的捕捉器	166
7.1.3 模拟比较器	167
7.1.4 T/C1 定时/计数器工作模式	168
任务 7.2 相关寄存器	169
7.2.1 T/C1 的寄存器	169
7.2.2 捕捉器的寄存器	172
7.2.3 模拟比较器的寄存器	172
任务 7.3 T/C1 定时/计数器应用	173
7.3.1 用于定时	174
7.3.2 用于输出波形	174
【项目拓展】	179

任务 7.4 数字频率计	179
【项目总结】	181
【项目练习】	182
模块 4 信号转换	183
项目 8 波形发生器	183
【工作任务】	183
【知识链接】	186
任务 8.1 D/A 转换器工作原理	186
8.1.1 权电阻网络型 D/A 转换器工作原理	187
8.1.2 D/A 转换器性能指标	188
任务 8.2 集成 D/A 转换器	188
8.2.1 DAC0808 特点	188
8.2.2 DAC0808 的使用	189
项目 9 数字电压表	190
【任务要求】	190
【知识链接】	193
任务 9.1 A/D 转换器工作原理	193
9.1.1 逐次渐进比较式 A/D 转换器	193
9.1.2 A/D 转换器的性能参数	193
任务 9.2 ATmega16 的集成 A/D 转换器	194
9.2.1 A/D 转换器结构	195
9.2.2 A/D 转换器工作原理	195
9.2.3 集成 A/D 转换器的寄存器	198
9.2.4 A/D 转换器应用	202
【知识拓展】	203
任务 9.3 差分信号转换	203
【项目总结】	205
【项目练习】	205
模块 5 串行通信	206
项目 10 串行通信接口虚拟终端调试	206
【工作任务】	206
【知识链接】	209
任务 10.1 串行通信基础	209
10.1.1 串行通信与并行通信	209
10.1.2 串行通信方式	209
10.1.3 同步通信与异步通信	210
10.1.4 串行通信接口规范	211
任务 10.2 ATmega16 异步串行通信接口	213
10.2.1 串行通信接口特点	213
10.2.2 串行通信接口组成	213
10.2.3 串行通信接口寄存器	215
【项目拓展】	220

任务 10.3 双机串行通信	220
【项目总结】	223
【项目练习】	223
项目 11 猜数字游戏	224
【工作任务】	224
【知识链接】	227
任务 11.1 SPI 通信协议	227
11.1.1 SPI 总线概述	227
11.1.2 ATmega16 的 SPI 接口	228
任务 11.2 I ² C 通信协议	232
11.2.1 I ² C 总线概述	232
11.2.2 ATmega16 单片机的 TWI 总线	234
任务 11.3 I/O 口模拟串行通信	238
11.3.1 串并转换扩展 I/O 口	238
11.3.2 串口 A/D 通信	239
【项目拓展】	241
任务 11.4 PCF8563 时钟万年历	241
【项目总结】	249
【项目练习】	249
模块 6 实用项目设计	250
项目 12 红外遥控音量电路	250
【任务要求】	250
【知识链接】	261
任务 12.1 PGA2310 工作原理	261
12.1.1 引脚功能	261
12.1.2 内部结构	262
12.1.3 通信接口	262
12.1.4 功能分析	262
12.1.5 典型应用	264
任务 12.2 红外遥控解码	264
12.2.1 红外编码传输	265
12.2.2 红外接收解码	266
任务 12.3 内置 EEPROM	268
项目 13 数字密码锁	270
【任务要求】	270
【知识链接】	281
任务 13.1 步进电机	281
13.1.1 工作原理	281
13.1.2 主要参数	282
13.1.3 应用	282
【项目拓展】	283
任务 13.2 段式液晶显示器	284
13.2.1 段式液晶显示器工作原理	284

13.2.2 段式液晶显示驱动	285
任务 13.3 射频识别	286
13.3.1 MFRC522 识别芯片	287
13.3.2 RFID 识别模块	290
附录	291
附录 A AVR 单片机汇编指令简表	291
附录 B AVR 单片机 (8bit) 选型表	295
附录 C AVR 汽车单片机 (8bit) 选型表	297
附录 D 常用 AVR 单片机	298
附录 E 学习板原理图	306
参考文献	307

绪 论

一、单片微型计算机工作原理

众所周知，世界上第一台计算机于 1946 年在宾夕法尼亚大学诞生，它基于“二进制”和“程序存储”的设计思想。计算机使用“二进制”数进行存储、运算和计数，CPU 由运算器和控制器构成，是计算机的核心部件，二进制编码构成的指令控制计算机完成各种操作，指令代码存放于存储器中，CPU 从存储器中逐一取出指令并执行，如图 0-1 所示。计算机诞生之初，限于电子元器件生产技术，其体积硕大，执行指令速度慢，计算速度慢，但开启人类的计算机时代。随着电子技术的发展，计算机的发展逐渐趋向小型化和微型化，并出现了单片微型计算机（Single Chip Micro-computer），简称 SCM。

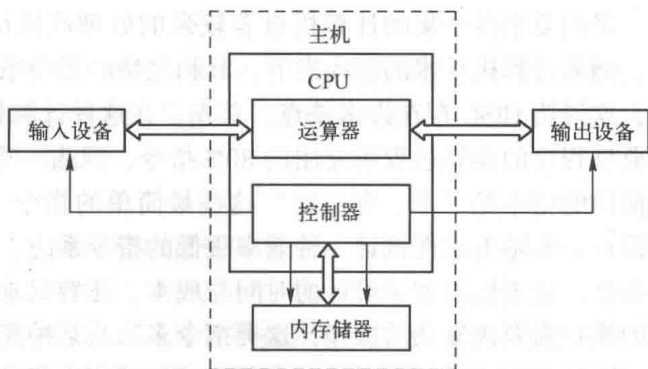


图 0-1 计算机的结构示意

（一）单片机的组成

在很多场合，单片微型计算机又被称为 Micro-Controller Unit，简称 MCU，国内大多将其翻译为“单片机”。在 20 世纪 60 年代，微型计算技术取得长足进步，尤其是袖珍型计算机得到普遍应用。作为研制计算器芯片的成果，1971 年 11 月，美国 Intel 公司首先推出了 4 位微处理器 Intel 4004。它将 4 位并行运算的单片处理器、运算器和控制器全部集成在一片大规模集成电路芯片中，这是世界上第一款微处理器。从此以后，微处理器开始迅速发展。在微处理器的发展过程中，人们试图在高度集成的微处理器芯片中增加存储器、I/O 电路、定时/计数器、串行通信接口、中断控制单元、系统时钟及系统总线，甚至 A/D、D/A 转换器等，以提高其性能。典型的单片机内部结构如图 0-2 所示。

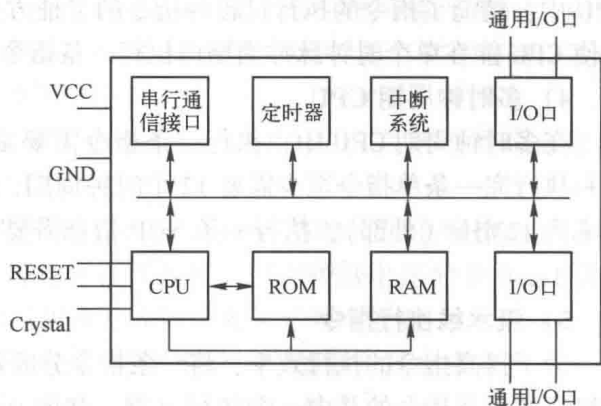


图 0-2 单片机内部结构

1. CPU

CPU 是单片机的核心部件，由运算器和控制器所构成，根据其结构和所采用的技术不同，单片机的特点和处理能力亦有所不同。

CPU 从 ROM（程序存储器）中读取指令并将其送至指令译码器，经过译码后，相应的操作被执行，CPU 运算所需的数据及运算结果存于 RAM（数据存储器）中。

1) CISC 复杂指令集

长期以来，计算机（包括单片机，下同）性能的提高往往通过提高硬件的复杂性来获得。计算机的内部功能元器件越多，功能越强大；指令越多，编程越方便；寻址方式越多，芯片使用就越灵活。复杂的指令系统加上众多灵活的寻址方式，使得计算机具备更为强大的功能。为实现某种特殊操作，甚至设有专门的指令，这种计算机被称为复杂指令集计算机（Complex Instruction Set Computer, CISC）。具备复杂指令集的计算机的共有特点是指令多、寻址功能强大，这样所带来的结果是芯片内部的结构变得越来越复杂。当然，指令多、寻址方式复杂的好处也显而易见：程序编写更为简单，指令执行过程也更为简单。

2) RISC 精简指令集

采用复杂指令集的计算机有着较强的处理高级语言的能力，这对提高计算机的性能有益。随着计算机技术的深入发展，日趋庞杂的指令系统已不易实现，而且还可能降低系统性能，这说明 CISC 存在许多缺点。首先，在这种计算机中，各种指令的使用率相差悬殊，一个典型程序的运算过程所使用的 80% 指令，只占一个处理器指令系统的 20%。事实上最频繁使用的指令是“取、存、加”这些最简单的指令。这样一来，长期致力于复杂指令系统的设计，实际上是在设计一种效率很低的指令系统，同时，复杂的指令系统必然带来结构的复杂性，这不但增加了设计的时间与成本，还容易造成设计失误。在 CISC 中，许多复杂指令的执行需要极复杂的操作，这类指令多数是某种高级语言中指令的直接移植，因而通用性差。针对 CISC 的这些弊病，人们提出了精简指令集的设想，即指令系统应当只包含那些使用频率很高的少量指令，并提供一些必要的指令以支持操作系统和高级语言。按照这个原则发展而成的计算机被称为精简指令集计算机（Reduced Instruction Set Computer, RISC）。RISC 的特点是指令数量少，均为常见的指令，计算机硬件不像 CISC 那么复杂。

3) 单时钟周期 CPU

CPU 在每一个时钟脉冲驱动下执行一条指令，称为单时钟周期 CPU。在精简指令集 CPU 中，精简了指令的执行过程和指令的寻址方式，使指令的寻址、译码和操作变得简单，也使 CPU 能在单个时钟脉冲周期内执行一条指令。

4) 多时钟周期 CPU

在多时钟周期 CPU 中，执行一条指令需要多个时钟周期，如 MCS-51 单片机的 CPU，它每执行完一条单指令至少需要 12 个时钟周期，对于这种单片机而言，如果 CPU 工作时钟频率为 12MHz（外部），执行一条 NOP 指令需要 12 个时钟周期，执行指令所需要的最短时间为 1μs。

5) 流水线执行指令

为了提高指令的执行效率，将一条指令分成若干执行过程，在每个时钟脉冲期间，系统可以完成一条指令的其中一个执行过程。如图 0-3 所示，将一条指令分成取指、译码、执行 3 个阶段。在周期 0 内，完成第 1 条指令的取指操作，在周期 1 内，完成第 1 条指令的译码及第 2 条指令的取指操作，在周期 2 内，完成第 1 条指令的执行、第 2 条指令的译码及第 3 条指令的取指操作……可见，经过 3 个周期后，第 1 条指令被执行完毕，第 2 条指令被执行了 2 个工步，CPU 在每个时钟周期里同时进行多条指令的多个操作，上一步的操作结果被

周期0	周期1	周期2	周期3	周期4
取指1	译码1	执行1		
	取指2	译码2	执行2	
		取指3	译码3	译码4
			取指4	执行4

图 0-3 指令流水线

下一步使用，这种现象与工业中的生产流水线类似。可见，应用了流水线技术的 CPU 能极大地提高指令执行速度。

6) CPU 体系结构

在 CISC 中，数据和程序存储在同一个存储空间，采用统一编址方式对存储器地址进行编址，CPU 数据线和程序线分时复用，这就是所谓的冯·诺伊曼体系结构，其指令丰富，功能较强，但取指令和取数据不能同时进行，速度受限。

在 RISC 中，数据和程序分别存放于不同的存储器中，采用独立编址方式，CPU 的数据线和指令线分离，为哈佛体系结构。哈佛体系结构中取指令和取数据可同时进行，执行效率更高，速度亦更快。同时，这种单片机中的指令多为单字节指令，程序存储器的空间利用率大大提高，有利于实现超小型化。

属于 CISC 的单片机有 Intel 的 8051 系列、MOTOROLA 的 M68HC 系列、Atmel 的 AT89 系列、华邦的 W78 系列、飞利浦的 PCF80C51 系列等；属于 RISC 的有 MICROCHIP 公司的 PIC 系列、三星公司的 KS57C 系列 4 位单片机等。

2. 存储器

存储器是单片机系统的核心部件之一，单片机内部通常集成了两种类型的存储器，一种是只读存储器 ROM (Read Only Memory)。ROM 用于存放程序代码和常数表格，掉电后数据仍旧保存在其中，通常只能对其进行读操作，而不能进行写操作；另一种是随机访问存储器 RAM (Random Access Memory)，在程序执行过程中可以随机地对其进行读和写操作，掉电后其中的数据消失。

随着存储器制造技术和工艺的发展，程序存储器大致经历了以下几个发展阶段：

(1) Mask ROM: Mask ROM 即掩膜 ROM，其编程只能由制造商通过半导体掩膜技术完成，用户无法对其进行改写，所以对用户而言，它是严格意义上的只读存储器，适用于有固定程序且大量生产的产品中。

(2) OTP ROM: OTP ROM (One Time Programmable ROM) 即一次可编程 ROM，用户可通过专门设备对其一次性写入程序，此后便不能改写。这种程序存储器可靠性很高，适合于存放已调试成功的用户程序，但在调试阶段不适用。

(3) EPROM: 可擦除可编程 ROM (Erasable Programmable ROM)，其典型外观标志是芯片上有一个紫外线擦除窗口，现已较少使用。

(4) EEPROM: EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM) 即电可擦除可编程存储器，是较新型的存储器，其写入速度较快且可在线改写，可在较低电压的单电源 (3~5V) 条件下进行擦除、写入和读出操作，可以用来存放程序或非易失性数据。

(5) Flash Memory: 闪速存储器，简称闪存，是新型半导体存储器，其集成度、速度和易用性等远非传统 ROM 可比。可在较低电压的单电源 (3~5V) 条件下对闪存进行擦除、写入和读出操作，这种存储器可以按字节擦除，还可以按多字节进行块擦除，访问速度快，是单片机中集成的主流存储器，可以用来存放程序或非易失性数据。理论上可以对其进行无限次擦除操作。

3. 其他功能部件

在单片机中，除 CPU、存储器以外的部件均统称为其他功能部件。不同种类及型号单片机的 CPU 使用技术不同，存储器容量大小不同，所集成的功能部件也有所不同，但大部分单片机都包含以下几个功能部件：

(1) 通用 I/O 口：输入、输出端口简称通用 I/O 口 (Input/Output Port)。通用 I/O 口可以编程作为输入口使用，或作为输出口使用。

(2) 中断系统：“中断”指计算机中的其他功能部件随机打断 CPU 正在执行程序的操作，并使其转而去执行该功能部件所请求的操作。中断系统就是处理中断操作的部件，是计算机的重要组成部分。中断使得计算机具有对事件的实时处理能力，提高了系统的响应速度和可靠性。

(3) 定时器：定时器的核心部件是一个计数器。计数器在 CPU 工作脉冲作用下进行加法或减法计数，当计数值超过计数器寄存器规定值时，定时器会产生计数溢出并向 CPU 的中断系统申请定时器溢出中断。将计数器的计数值乘以计数脉冲的周期即可得到定时时间，改变计数的初始值即可实现对定时时间的设定。

(4) 串行通信口：单片机与单片机、单片机与 PC、单片机与其他设备之间进行通信时可以通过串行通信口进行数据的传输，即数据按比特位排成一串进行传输。国际上定义了 RS-232、RS-485、I²C、SPI 等多种串行通信标准。

以上所介绍的功能部件是典型的单片机所必须具有的，除此之外，不同型号的单片机还集成了 A/D、PWM 发生器等功能部件。

(二) 单片机的特点

单片机从测控对象、应用环境、接口特点出发，朝多功能、多选择、高速度、低功耗、低价格、扩大存储容量、加强 I/O 功能及改善结构兼容等方向发展，其特点总结如下：

(1) 品种多样，覆盖面广。不同型号单片机可满足各种需要，使用者有很大的选择空间。CPU 位数可以为 4、8、16、32 或 64 位，引脚数量从 8 脚到超过 100 脚……使用者可以选择适合要求而又兼顾性能与价格的产品。

(2) 性能不断提高，存储容量不断增大。单片机的集成度不断提高，总线工作速度不断提升，工作频率达到 30MHz 甚至 40MHz，有些单片机的时钟频率甚至可以达到 100MHz，指令执行周期迈入纳秒级。单片机集成的存储器容量不断增大，RAM 容量已发展到 1KB、2KB，ROM 容量发展到 32KB、64KB 甚至 128KB，并集成了非易失性 EEPROM。

(3) 增加控制功能，向外部接口延伸。如今单片机已发展到在一块含有 CPU 的芯片上，除嵌入 RAM、ROM 和 I/O 接口外，还有 A/D、PWM、定时/计数器、UART 串口、SPI、I²C、DMA、WTD 等，以及 LCD 显示驱动单元、键盘控制单元、函数发生器、比较器等，构成一个完整的、功能强大的单片机应用系统，外围扩展芯片数量大为减少。

(4) 低电压和低功耗。单片机的供电电压从 5V 降到 1.8V，工作电流从毫安级降到微安级。在生产工艺上以 CMOS 代替 NMOS，并向 HCMOS 过渡，以适合部分电池供电产品的设计。

(5) 提供应用库函数。提供了标准应用库函数软件，使用户能更快速、方便地开发单片机应用系统，提高产品开发效率，缩短开发周期。

(6) 系统配置不断扩展。随着外围元器件（特别是串行通信口）制造技术的发展，单片机的串行通信口的普遍化、高速化使得并行扩展接口逐渐被弃用。多串口、内置 USB 接口将使设计更为灵活，应用更为广泛。应用标准协议的外部扩展总线，使单片机便于被扩展成各种应用系统。此外，有的单片机产品还特别配置有传感器，以及人机对话、网络多通道等接口，以便构成网络和多机系统。

(三) 常见的单片机介绍

根据应用要求和使用场合不同，经过多年发展与应用，目前单片机市场已形成制造厂家

多, 种类、系列齐全, 应用领域不断扩大的态势, 以下介绍几款具有代表性的单片机。

1. MCS-51 单片机

MCS-51 单片机是较早进入中国市场的单片机之一, 其以低廉的价格、优良的性能在国内市场得到广泛认可。MCS-51 单片机采用多周期、RISC 的哈佛结构, 编程简单, 使用方便, 但指令执行速度相对较慢。生产 MCS-51 单片机的厂家有 Atmel、飞利浦、Winbond 等。不同公司制造的 MCS-51 单片机性能各异, 芯片集成各有不同。早期的 MCS-51 单片机多采用 EEPROM 固化程序代码, 后期多改用 Flash Memory 固化程序代码。MCS-51 单片机的 RAM 容量不大, 使用上有所限制。如今的 MCS-51 单片机多采用 ISP (In System Program) 技术下载程序, 也有少部分采用串口下载程序。

2. PIC 单片机

PIC 单片机是 MicroChip 公司生产的一系列高性能单片机。该系列产品的一个显著特点是根据应用对象的不同, 提供了多种引脚规格、功能不同的单片机产品, 以满足不同应用层次的需求。

低档的如 PIC12C508 单片机有 512 字节 ROM、25 字节 RAM、1 个 8 位定时器、1 根输入线、5 根 I/O 线。这样一款单片机被应用在诸如摩托车点火器这样的小产品上无疑非常适合。高档的如 PIC16C877 有 40 个引脚 (33 个 I/O 引脚), 其内部资源为 8K 字节 Flash Memory、368 字节 RAM、8 路 A/D、3 个定时器、2 个 CCP 模块、3 个串口、1 个并口、11 个中断源。

PIC 系列中的 8 位 CMOS 单片机采用数据总线和指令总线分离的哈佛结构和高性能精简指令集 CPU, 使指令具有单字长的特性, 且允许指令码的位数多于数据位数 (8 位), 与传统的采用复杂指令集的 8 位单片机相比, 其处理速度提高了 4 倍; 其引脚具有防瞬态能力, 可以直接通过限流电阻接至 220V 交流电源端, 也可直接与继电器控制电路相连, 不需要使用光电耦合器隔离, 给应用带来极大方便。

PIC 单片机具有极高的保密性, 它以保密熔丝来保护代码, 用户在烧入代码后熔断熔丝, 其他人再也无法修改, 除非恢复熔丝。目前, PIC 单片机采用熔丝深埋工艺, 恢复熔丝的可能性极小。

3. AVR 单片机

AVR 单片机是 Atmel 公司 (该公司已于 2016 年被 MicroChip 公司收购) 于 1997 年推出的采用精简指令集的单片机。在相同时钟频率下, AVR 单片机的指令周期长度只有 8051 单片机的 1/12, 而且 AVR 单片机采用两级指令流水线, 可以在执行当前指令的同时获取下一条指令, 所以具备 1MIPS/MHz 的指令执行速度。AVR 单片机具有 32 个通用工作寄存器, 克服了单一累加器数据处理带来的瓶颈, 从而使得指令执行更加灵活, 编码更容易。此外, AVR 单片机还集成了 A/D、PWM、EEPROM、Flash Memory、SPI、WTD、I²C、T/C 等功能部件, 使外围电路变得很简单; 其中 ATtiny 系列 AVR 单片机引脚少、功能强大、价格低廉, 部分型号所有 I/O 口均可产生中断。例如 ATtiny13 只有 8 个引脚, 如图 0-4 所示, 但其具有 4 个 ADC、2 个 PWM、1 个比较器、1 个串口, 最多 6 个可用 I/O 口, 而其价格却非常低。

4. MSP430 单片机

MSP430 单片机是德州仪器公司生产的低功耗 16 位精简指令集高性能单片机, 其具有丰富的寻址方式 (7 种源操作数寻址方式, 4 种目的操作数寻址方式)、简洁的 27 条内核指令及大量的模拟指令, 大量的寄存器及片内数据存储单元可以参加多种运算; 有高效的查表处

理方法；有较高的处理速度，工作频率达 8MHz 时可获得 125ns 的指令周期。该产品在 1.8~3.6V 电压、1MHz 的时钟条件下运行，耗电电流（在 0.1~400 μ A 之间）因不同的工作模式而不同；具有 16 个中断源，并且可以任意嵌套，使用灵活方便；用中断请求将 CPU 唤醒只要 6 μ s，可编制出高实时性的源代码；可将 CPU 置于省电模式，以用中断方式将其唤醒。MSP430 系列单片机的各成员都集成了较丰富的“片内外设”，它们分别是以下一些外围模块的不同组合：看门狗（WDT）、定时器 A（Timer_A）、定时器 B（Timer_B）、比较器、串口 0（USART0）、串口 1（USART1）、硬件乘法器、液晶驱动器、高达 10bit~14bit 的 ADC，数十个可实现方向设置及中断功能的并行输入输出端口等。MSP430 系列单片机种类繁多，可以满足不同系统的需求。

以上介绍了常见的 4 种单片机类型及各自特点，在实际中，还有其他许多不同类型单片机被广泛应用在各种行业，限于篇幅，故不赘述。

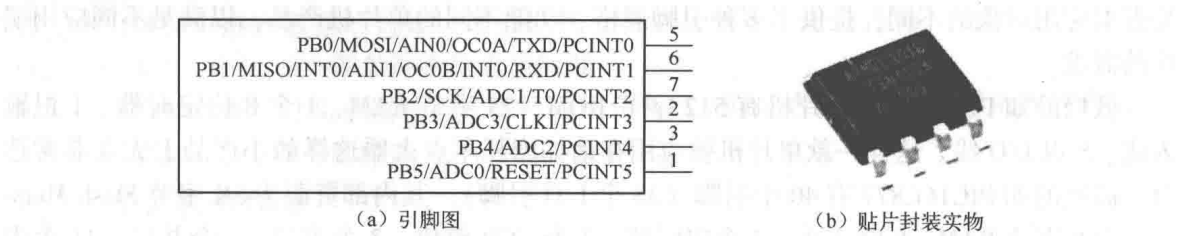


图 0-4 ATtiny13 单片机

二、单片机应用及开发过程

（一）单片机应用

单片机体积小、成本低、运用灵活，能方便地嵌入到自动化仪器和控制设备中，从而广泛地应用于汽车自动导航、医疗、智能仪表测控、工业控制、航空航天、计算机网络和通信等领域。单片机的应用不仅提升了产品的经济价值，更重要的是改变了传统的电子设计方法及控制策略，使某些理论研究得以在实践中实现和应用，使产品自动化和智能化，从而推动了社会进步，改善了人类生活。单片机应用范围非常广泛，下面列举一些常见的应用领域。

1. 测控系统

用单片机可以构成各种不太复杂的工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等，达到测量与控制的目的。

2. 智能仪表

用单片机改造原有的测量、控制仪表，促使仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化方向发展，不仅使仪表集数据测量、数据采集、数据分析与数据传输或存储功能为一体，且测量精度更高、体积更小、成本更低，也便于增加显示报警和自诊断功能。

3. 工业控制

工业控制领域是比较复杂的应用领域，涉及了机械、电子技术、计算机控制及液压传动等众多方面，要求较高，追求控制的可靠性。在工业控制中，单片机可用于对工业机器人、电机电气、数控机床等的控制，也可用于温度、压力、流量和位移等智能型传感器及其对应的过程控制。

4. 家用电器

在冰箱、洗衣机、微波炉、游戏机等许多产品中，引入单片机使产品的功能大大增强，