



普通高等教育“十二五”规划教材

单片机原理 与开发技术 (第2版)

主 编 王卫星

副主编 邓小玲 许童羽



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

单片机原理 与开发技术 (第2版)

主 编 王卫星
副主编 邓小玲 许童羽



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以 MCS-51 单片机系列 89C51 为例,深入浅出地介绍单片机的原理及开发技术,共十章。分别为单片机概述、MCS-51 单片硬件结构和指令系统、汇编语言程序设计、单片机的内部功能、MCS-51 系统扩展技术以及单片机接口技术,单片机原理方面重点突出中断系统、定时器、串口以及并行 I/O 口的使用方法;单片机接口技术方面重点讲解键盘接口、显示器包含液晶显示器的接口以及串行扩展总线如 SPI 总线的接口,单片机开发流程、C 语言开发技术以及应用实例,并结合作者的开发案例以及课程设计实例进行讲解。

本书可以作为高等院校工科类专业的单片机课程教材,也可以作为从事单片机研究和产品开发工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与开发技术 / 王卫星主编. -- 2版. --
北京:中国水利水电出版社, 2012.8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-0093-8

I. ①单… II. ①王… 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(2012)第195260号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 单片机原理与开发技术 (第2版)
作 者	主编 王卫星 副主编 邓小玲 许童羽
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 18.5印张 438千字
版 次	2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷 2012年8月第2版 2012年8月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编写人员

主 编 王卫星

副主编 邓小玲 许童羽

参 编 俞 龙 吴 敏 代 芬 李 震 姜 晟
孙道宗 李征明

主 审 洪添胜

第2版前言

单片机是微型机的一个主要分支，结构上是把 CPU、存储器、定时器和多种输入/输出接口电路集成在一块超大规模集成电路芯片上。单片机有一系列优点，包括：优异的性能价格比，集成度高、体积小，控制功能强、有很高的可靠性，低功耗、低电压，系统扩展和系统配置较典型、规范等。因此，单片机已极其广泛地应用于智能仪表、家用电器、机电一体化产品以及各行各业的实时控制中。近年来，全国大学生电子设计竞赛的大多数作品也普遍采用了单片机作为控制核心。所以，学好单片机、掌握单片机应用开发技术，对高等学校工科类专业学生完成学业、走向社会显得越来越重要。

本书是在《单片机原理与应用开发技术》基础上修改的，针对原教材的使用情况，本书参照学生的使用反馈意见，进一步做了修改完善。本书以 89C51 单片机为例，阐述其结构、工作原理、指令系统以及系统的应用开发技术，使读者能尽快掌握单片机的系统设计和应用开发技能。

本书由王卫星主编，邓小玲、许童羽为副主编。其中，第一章由王卫星编写，第二章由俞龙编写，第三章由吴敏编写，第四章由许童羽编写，第五章由邓小玲编写，第六章由代芬编写，第七章由李征明编写，第八章由姜晟编写，第九章由李震编写，第十章由孙道宗编写。全书由王卫星教授统稿、定稿。

洪添胜教授对全书内容进行了详尽的审核，并提出了许多有益的建议和意见。在编写本书的过程中，编者参阅和借鉴了其他同志编写出版的教材和资料，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2012 年 1 月

第 1 版前言

单片机是微型机的一个主要分支，在结构上把 CPU、存储器、定时器和多种输入/输出接口电路集成在一块超大规模集成电路芯片上。单片机具有优异的性能价格比；集成度高、体积小；控制功能强、有很高的可靠性；低功耗、低电压；系统扩展和系统配置较典型、规范等一系列优点。因此，单片机已极其广泛地应用于智能仪表、家用电器、机电一体化产品以及各行各业的实时控制中。近年来全国大学生电子设计竞赛的大多数作品也普遍采用了单片机作为控制核心。所以，学好单片机、掌握单片机应用开发技术，对高等学校工科类专业学生完成学业、走向社会显得越来越重要。

本书以 89C51 单片机为例，阐述其结构、工作原理、指令系统以及系统的应用开发技术，使读者能尽快掌握单片机的系统设计和应用开发技能。

本书由王卫星主编，邓小玲、代芬为副主编。本书第一章、第五章由俞龙同志编写，第二章由吴敏同志编写，第三、第四章由代芬同志编写，第六、第七章由邓小玲同志编写，第八章由孙道宗同志编写，第九章由姜晟同志编写。全书由王卫星教授统一定稿、统稿。

洪添胜教授对全书内容进行了详尽的审核，并提出了许多有益的建议和意见。在编写本书的过程中，编者参阅和借鉴了其他同志编写出版的教材和资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2008 年 12 月

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一部分 基 础 篇

第一章 单片机概述	3
第一节 单片机的特点及发展概况	3
第二节 单片机的应用	5
第三节 常用单片机系列介绍与比较	6
本章小结	17
思考与练习题	17
第二章 MCS-51 单片机硬件结构	18
第一节 MCS-51 单片机结构	18
第二节 MCS-51 单片机存储器结构	30
第三节 MCS-51 单片机输入/输出端口	39
本章小结	45
思考与练习题	45
第三章 MCS-51 单片机指令系统	47
第一节 指令系统	47
第二节 MCS-51 寻址方式	51
第三节 MCS-51 指令系统	54
本章小结	75
思考与练习题	75
第四章 汇编语言程序设计	78
第一节 汇编语言源程序编辑与汇编	78
第二节 汇编语言程序设计方法	80
本章小结	95
思考与练习题	95
第五章 MCS-51 单片机的内部功能	98
第一节 中断系统	98
第二节 定时/计数器	108
第三节 串行口	122

本章小结	146
思考与练习题	146
第六章 MCS-51 系统扩展技术	148
第一节 并行总线扩展技术	148
第二节 串行总线扩展技术	159
本章小结	175
思考与练习题	175
第七章 单片机接口技术	177
第一节 键盘接口	177
第二节 显示器接口	181
第三节 A/D 转换器接口	197
第四节 D/A 转换器接口	207
本章小结	219
思考与练习题	219

第二部分 开发实例篇

第八章 单片机开发工具介绍与比较	223
第一节 单片机开发流程	223
第二节 编程环境及常用软件	225
第三节 仿真软件	235
第四节 印制电路板制板步骤	239
本章小结	240
思考与练习题	240
第九章 单片机的 C 语言编程	241
第一节 C 语言语法规范	241
第二节 中断的 C 编程	251
第三节 定时器/计数器的 C 编程	255
第四节 串行口的 C 编程	257
第五节 动态存储分配	258
第六节 C 语言和汇编语言混合编程	259
本章小结	263
思考与练习题	263
第十章 单片机应用系统设计实例	264
第一节 基于 GPRS 的无线通信系统	264
第二节 智能家居系统	270
附录 A MCS-51 指令表	277
附录 B 部分单片机仿真器	282
参考文献	285

第一部分

基础篇

第一章 单片机概述

第一节 单片机的特点及发展概况

单片机又称为“微控制器 MCU”，是采用超大规模集成电路技术将中央处理器（Central Processing Unit, CPU），存储器（Memory），定时器（Timer），输入/输出接口（Input/Output, I/O）电路等一些计算机的主要功能部件集成在一块集成电路芯片上的小而完善的微型计算机系统。中文“单片机”的称呼是由英文名称“Single Chip Microcomputer”直接翻译而来的。

一、单片机的特点及发展概况

（一）单片机的特点

（1）集成度高、体积小、可靠性高。单片机把各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各芯片之间的连线，许多信号的通道均在一个芯片内，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。另外，由于其体积小，对于强磁场环境易于采取屏蔽措施，适合在恶劣环境下工作。系统软件（如：程序指令、常数、表格）固化在 ROM 中，不易受病毒破坏，因此运作时系统稳定可靠。

（2）控制能力强。为了满足工业控制的要求，一般单片机的指令系统中均有极丰富的控制转移、I/O 口逻辑操作以及位处理等指令。单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微机。

（3）系统结构简单，便于扩展。单片机片内具有计算机正常运行所必需的部件，片外有很多供扩展用的管脚（总线，并行和串行的输入/输出），很容易组成一定规模的计算机应用系统。外部总线增加了 I²C（Inter-Integrated Circuit）及 SPI（Serial Peripheral Interface）等串行总线方式，进一步缩小了体积，简化了结构。

（4）功能强，有丰富的内置资源，容易实现模块化。

（5）实用性好。低功耗、低电压，便于生产便携式产品。

（二）单片机的发展概况

单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用面广，发展快。以 8 位单片机的推出为起点，单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段。

（1）芯片化探索阶段（1972~1978 年）。1972 年 4 月，霍夫等人开发出第一个 8 位微处理器 Intel 8008；1973 年 Intel 公司研制出 8 位的微处理器 8080，主频 2MHz 的 8080 芯片运算速度比 8008 快 10 倍，可存取 64KB 存储器，使用了基于 6 μ m 技术的 6000 个晶体管，处理速度为 0.64MIPS（Million Instructions Per Second）；1976 年 Intel 公司研制出 MCS-48 系列单片型微型计算机，它包括计算机的三个基本单元，成为真正意义的单片微机。MCS48 单片机系列的推出标志着 MCU 在工业控制领域进入到智能化嵌入式应用

的芯片形态计算机的探索阶段。这一时期的特点是：

- 1) 嵌入式计算机系统的芯片集成设计。
- 2) 少资源、无软件，只保证基本控制功能。

(2) 结构体系的完善阶段 (1978~1982 年)。1980 年，Intel 推出了典型 MCS-51 系列 8 位单片机。MCS-51 系列单片机的推出，标志单片机体系结构的完善。它在以下几个方面奠定了典型通用总线型单片机的体系结构。

1) 完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构，包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

2) CPU 外围功能单元的集中管理模式。

3) 体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

4) 指令系统趋于丰富和完善，并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 单片机向微控制器发展阶段 (1982~1990 年)。1983 年 Intel 公司推出的 MCS-96 系列 16 位单片机，将一些用于测控系统的模数转换器 (ADC)、程序运行监视器 (WDT)、脉宽调制器 (PWM)、高速 I/O 口等纳入片中，体现了单片机的微控制器特征。8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出，是单片机向微控制器发展的阶段。测控系统中使用的电路技术、接口技术、可靠性技术被许多电气商应用到单片机中，单片机内外围功能电路得到增强，呈现智能控制器特征。微控制器 (Microcontrollers) 成为单片机较为准确表达的名词，其特点是：

1) 满足嵌入式应用要求的外围扩展，如 WDT、PWM、ADC、DAC、高速 I/O 口等。

2) 众多计算机外围功能集成，如：提供串行扩展总线 SPI、I²C、BUS；配置现场总线接口 CAN BUS 等。

3) CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor，互补金属氧化物半导体) 化，提供功耗管理功能。

4) 提供 OTP (One Time Programmable 一次性可编程) 供应状态，利于大规模和批量生产。

(4) MCU 的“百花齐放”阶段 (1990 年至今)。近年来，单片机在各个领域全面深入地发展和应用，出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机，以及小型廉价的专用型单片机。这一时期的特点为：

1) 大力发展专用单片机。专用型单片机是针对某一类产品甚至某个产品需要而设计、生产的单片机。

2) 综合品质高。单片机在体系结构、电磁兼容性能、开发环境和编程方式、功耗管理等诸方面得到了提高。

3) 广泛支持 C 语言。单片机普遍支持 C 语言编程，为后来者学习和应用单片机提供了方便。

二、单片机的发展趋势

目前，单片机正朝着高性能和多品种方向发展，呈现出进一步向着 CMOS 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格和外围电路内装化等几个方面发展的趋势。

(1) 低功耗 CMOS 化。出于对低功耗的普遍要求, 目前各大厂商推出的各类单片机产品都采用了 CHMOS 工艺。80C51 系列单片机采用两种半导体工艺生产: 一种是 HMOS 工艺 (High-density Short-channel, MOS; 高密度短沟道 MOS 工艺)。另外一种 CHMOS 工艺, 即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合, 除保持了 HMOS 的高速度和高密度的特点之外, 还具有 CMOS 低功耗的特点。例如, 8051 的功耗为 630mw, 80C51 的功耗只有 120mw, 而新型的 MSP430 系列单片机最小功耗可低至 $0.1\mu\text{A}$ 。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上, 低功耗是非常有意义的。因此, 在这些产品中必须使用 CHMOS 的单片机芯片。

(2) 微型单片化。随着集成电路技术的快速发展和“以人为本”思想在单片机设计上的体现, 很多单片机生产厂家充分考虑到用户的需求, 将一些常用的功能部件, 如 A/D (模/数转换器)、D/A (数/模转换器)、PWM 以及 LCD 驱动器等集成到芯片内部, 尽量做到单片化; 同时, 用户还可以提出要求, 由厂家量身定做 (System-on-a-Chip, SOC) 或自行设计。

(3) 共性与个性共存。在单片机家族中, 51 系列是其中的佼佼者, 20 世纪 80 年代后期, Intel 公司将其 MCS-51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售形式转让给全世界许多著名 IC 制造厂商, 如 Philips、NEC、Atmel、AMD、华邦等, 这些公司都在保持与 80C51 单片机兼容的基础上改善和丰富了 80C51 的许多特性, 使 80C51 成为有众多制造厂商支持的、发展出上百品种的单片大家族, 统称为 80C51 系列, 成为单片机发展的主流。其次, 个性化的产品如专用单片机等在满足用户需求方面得到了广泛认可, 在应用领域大有后来居上的架势; 它们由于先天的优势, 在 80C51 的基础上扬长避短, 以用户需要为根本, 在市场上受到了欢迎。总之, 80C51 作为共性的代表与个性化的产品相互依存, 共同发展, 将会给用户带来更大的实惠与方便。

(4) 大容量化。以往单片机内的 ROM 为 1KB~4KB, RAM 为 64~128B。但在需要复杂控制的场合, 该存储容量是不够的, 必须进行外接扩充。为了适应这种领域的要求, 须运用新的工艺, 使片内存储器大容量化。目前 51 系列单片机内 ROM 容量可达 128KB, RAM 容量达到 2KB。

(5) 高性能化。主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。目前指令速度最高者已达 100MIPS, 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 100 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 就可以用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

第二节 单片机的应用

单片机以其卓越的性能和高性价比, 已渗透到人们生活的各个领域。自动控制领域的机器人、智能仪表, 医疗器械以及各种智能机械, 导弹的导航装置, 飞机上各种仪表的控制, 计算机的网络通信与数据传输, 工业自动化过程的实时控制和数据处理, 广泛使用的各种智能 IC 卡, 汽车的安全保障系统, 录像机、摄像机、全自动洗衣机的控制, 以及程

控玩具、电子宠物等都离不开单片机。

一、在智能仪器仪表上的应用

用单片机微处理器改良原有的测量控制仪表，能使仪表数字化、智能化、多功能化、综合化，功能比起采用电子或数字电路更加强大，且测量仪器中的误差修正、线性化等问题也可迎刃而解，例如精密的测量设备（功率计，示波器，各种分析仪）。

二、在工业控制中的应用

单片机的实时数据处理能力和控制功能，可使系统保持在最佳工作状态，提高系统的工作效率和产品质量。用单片机可以构成形式多样的控制系统和数据采集系统，例如工厂流水线的智能化管理、电梯智能化控制、各种报警系统，以及与计算机联网构成二级控制系统等。

三、单片机在家庭生活中的应用

自从单片机诞生以后，它就步入了人类生活，如洗衣机、电冰箱、电子玩具、电饭煲、空调等家用电器配上单片机后，提高了智能化程度，增加了功能，备受人们喜爱。单片机将使人类生活更加方便、舒适、丰富多彩。

四、在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口，可以很方便地与计算机进行数据通信，为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制，如手机、电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信。

五、单片机在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛，例如医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

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

第三节 常用单片机系列介绍与比较

一、80C51 单片机

虽然目前单片机的品种很多，但其中最具代表性的当属 Intel 公司的 MCS-51 单片机系列。MCS-51 以其典型的结构、完善的总线、SFR 的集中管理模式、位操作系统和面向控制功能的丰富的指令系统，为单片机的发展奠定了良好的基础。MCS-51 系列的典型芯片是 80C51（CHMOS 型的 8051）。为此，众多的厂商都介入了以 80C51 为代表的 8 位单片机的发展，如 Philips、Siemens（Infineon）、Dallas、ATMEL 等公司，这些公司生产的与 80C51 兼容的单片机统称为 80C51 系列。近年来，80C51 系列又有了许多发展，推出了一些新产品，主要是改善单片机的控制功能，如内部集成了高速 I/O 口、ADC、PWM、WDT 等，以及低电压、低功耗、电磁兼容、串行扩展总线、控制网络总线性能等。

ATMEL 公司研制的 89CXX 系列是将 Flash Memory（EEPROM）集成在 80C51 中，

作为用户程序存储器，并不改变 80C51 的结构和指令系统。

Philips 公司的 83/87C7XX 系列不改变 80C51 结构、指令系统，省去了并行扩展总线，属于非总线的廉价型单片机，特别适合于家电产品。

Infineon（原 Siemens 半导体）公司推出的 C500 系列单片机在保持与 80C51 兼容的前提下，增强了各项性能，尤其是增强了电磁兼容性能，增加了 CAN 总线接口，特别适用于工业控制、汽车电子、通信和家电领域。

二、AVR 单片机简介

ATMEL 公司是世界上有名的生产高性能、低功耗、非易失性存储器和各种数字模拟 IC 芯片的半导体制造公司。在单片机微控制器方面，ATMEL 公司有 AT89、AT90 和 ARM 三个系列的单片机产品。ATMEL 公司在其单片机产品中，融入了先进的 E²PROM 电可擦除和 Flash ROM 闪速存储器技术，使得该公司的单片机具备了优秀的品质，在结构、性能和功能等方面都有明显的优势。

由于近年来各种采用新型结构和新技术的单片机的不断涌现，目前单片机市场呈现出“百花齐放”的发展趋势。ATMEL 在强大市场压力下，发挥其在 Flash 存储器技术方面的特长，于 1997 年研发并推出了全新配置的、采用精简指令集 RISC（Reduced Instruction Set CPU）结构的 AT90 系列单片机，简称 AVR 单片机。

AVR 单片机的特点如下：

(1) 工作电压范围为 2.7~6.0V，电源抗干扰性能强。

(2) 片内集成可擦写 10000 次以上的 Flash 程序存储器。由于 AVR 采用 16 位指令，其程序存储器的存储单元为 16 位。AVR 的数据存储器还是以 8 个 bit（位）为一个单元，因此 AVR 还是属于 8 位单片机。

(3) 采用精简指令 RISC 结构。AVR 系列单片机是基于新的精简指令 RISC 结构的。这种结构是在 20 世纪 90 年代开发出来的，是综合了半导体集成技术和软件性能的新结构。这种结构使 AVR 单片机在 8 位微处理器市场上具有最高的 MIPS（Million Instruction Per Seconds，即兆指令每秒）/MHz 能力。

(4) 超功能精简指令。传统的基于累加器的结构单片机，如 8051，需要大量的程序代码，以实现在累加器和存储器之间的数据传送。而在 AVR 单片机中，采用 32 个通用工作寄存器组成快速存取寄存器组，用 32 个通用工作寄存器代替了累加器，从而避免了在传统结构中累加器和存储器之间数据传送造成的瓶颈现象。

(5) 采用 CMOS 工艺技术，具有高速度（50ns）、低功耗（ μ A）、SLEEP（休眠）功能。AVR 的指令执行速度可达 50ns（20MHz），而耗电则在 1 μ A~25mA 之间（典型功耗，WDT 关闭时为 100nA）。

(6) 哈佛总线结构。单片机的程序存储器和数据存储器是分开组织和寻址的，寻址空间分别为可直接访问 8M 字节的程序存储器和 8M 字节的数据存储器。AVR 运用 Harvard 结构概念，具有预取指令的特性，即对程序存储和数据存取使用不同的存储器和总线。当执行某一指令时，下一指令被预先从程序存储器中取出，这使得指令可以在每一个时钟周期内执行。

(7) AVR 单片机可重新设置启动复位。AVR 也有内部电源上电启动计数器，可将低

电平复位 (RESET) 直接接到 V_{cc} 端。当系统上电时, 利用内部的 RC 看门狗定时器可延迟 MCU 的启动及执行系统程序。这种延时可使 V_{cc} 口稳定后再执行程序, 提高了单片机工作的可靠性, 同时也省略了外加的复位延时电路。

(8) 具有串行异步通信 UART 硬件接口电路, 采用单独的波特率发生器, 并不占用定时器。具有 SPI 传输功能, 可以在一般标准整数频率下工作, 波特率可达 576kbit/s。

(9) 除了并行 I/O 口输入/输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入相同外, 还设定与 8051 系列内部有上拉电阻的输入端功能相似的功能, 以便适应各种实际应用特性所需 (多功能 I/O 口)。只有 AVR 才具有真正的 I/O 口, 能正确反映 I/O 口的输入/输出真实情况。

(10) 高档 AVR 单片机 MEGA 系列的性能更加强大。如 ATInega640/1280/2560 有更大容量的存储器 (Flash 64/128/256KB、E²PROM 4KB、RAM 8KB), 86 个 I/O 端口、57 个中断源、8 个外部中断、1 个 SPI 接口、4 个可编程的 USART 接口、1 个 I²C 接口、2 个 8 位定时器、4 个 16 位定时器、4 个 8 位 PWM 接口和 12 个精度为 2 到 16 位可调的 PWM 接口, 以及看门狗定时器、实时时钟 RTC、模拟比较器、16 路 10 位 A/D、可在线编程 (ISP) 和在应用自编程 (IAP)、片内有 RC 振荡器、上电复位延时电路和可编程的欠电压检测电路等, 工作电压为 2.7~5.5V。AVR 单片机还在片内集成了可擦写 100000 次的 EEPROM 数据存储器, 等于又增加了一个芯片, 可用于保存系统的设定参数、固定表格和掉电后的数据, 既方便了使用, 减小了系统的空间, 又大大提高了系统的保密性。

AVR 系列单片机部分型号芯片的硬件资源如表 1-1 所示。

表 1-1 AVR 单片机系列部分型号芯片的硬件资源

内部资源	AT Mega 8L	AT Mega 16	AT Mega 32	AT Mega 64	AT Mega 128	AT Mega 640	AT Mega 1280	AT Mega 2560
Flash (KB)	8	16	32	64	128	64	128	256
EEPROM (B)	512	512	1K	2K	4K	4K	4K	4K
RAM (B) 快速寄存器	1K 32	1K 32	2K 32	4K 32	4K 32	8K 32	8K 32	8K 32
指令条数	130	130	130	133	133	135	135	135
I/O 引脚	23	32	32	53	53	86	86	86
中断数	18	20	20	34	34	57	57	57
外部中断数	2	3	3	8	8	8	8	8
SPI	1	1	1	1	1	1	1	1
UART	1	1	1	2	2	4	4	4
TWI	1	1	1	1	1	1	1	1
硬件乘法器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
8 位定时器	2	2	2	2	2	2	2	2

续表

内部资源	AT Mega 8L	AT Mega 16	AT Mega 32	AT Mega 64	AT Mega 128	AT Mega 640	AT Mega 1280	AT Mega 2560
16 位定时器	1	1	1	2	2	4	4	4
PWM	3	4	4	6+2	6+2	12+4	12+4	12+4
看门狗定时器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
实时时钟	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
模拟比较器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10 位 A/D 通道	6/8	8	8	8	8	16	16	16
片内振荡器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
BOD	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
在线编程 (ISP)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
自编程 (SPM)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
V _{cc} (V) (最低)	2.7	4.5	4.5	4.5	4.0	2.7	2.7	4.5
(最高)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
系统时钟 (MHZ)	0~8	0~16	0~16	0~16	0~16	0~16	0~16	0~16
封装形式	28 - Pin DIP 32 - Pin MLF TQFP	40 - Pin DIP 44 - Pin MLF TQFP	40 - Pin DIP 44 - Pin MLF TQFP	64 - Pin TQFP MLF	64 - Pin TQFP MLF	100 - lead TQFP 100 - ball CBGA	100 - lead TQFP 100 - ball CBGA	100 - lead TQFP 100 - ball CBGA

三、PIC 单片机简介

PIC (Periphery Interface Chip) 系列单片机是美国 Microchip 公司生产的产品。Microchip 公司是一家专门致力于单片机开发、研制和生产的制造商，其产品设计起点高，技术领先，性能优越。PIC 系列单片机不是在一般微型计算机 CPU 的基础上加以改造，而是独树一帜，采用全新的流水线结构、单字节指令体系、嵌入式闪存以及 10 位 A/D 转换器，性能卓越，代表着单片机发展的新方向。

PIC 系列单片机具有如下特点。

1. 哈佛总线结构

PIC 系列单片机采用哈佛总线结构，数据总线和指令总线分离，允许采用不同的字节宽度。处理器采用流水线作业方式，即在执行一条指令的同时，对下一条指令进行取指操作。

2. RISC 技术

PIC 系列单片机的指令系统采用 RISC 技术。PIC16F877 指令集系统只有 35 条指令。