

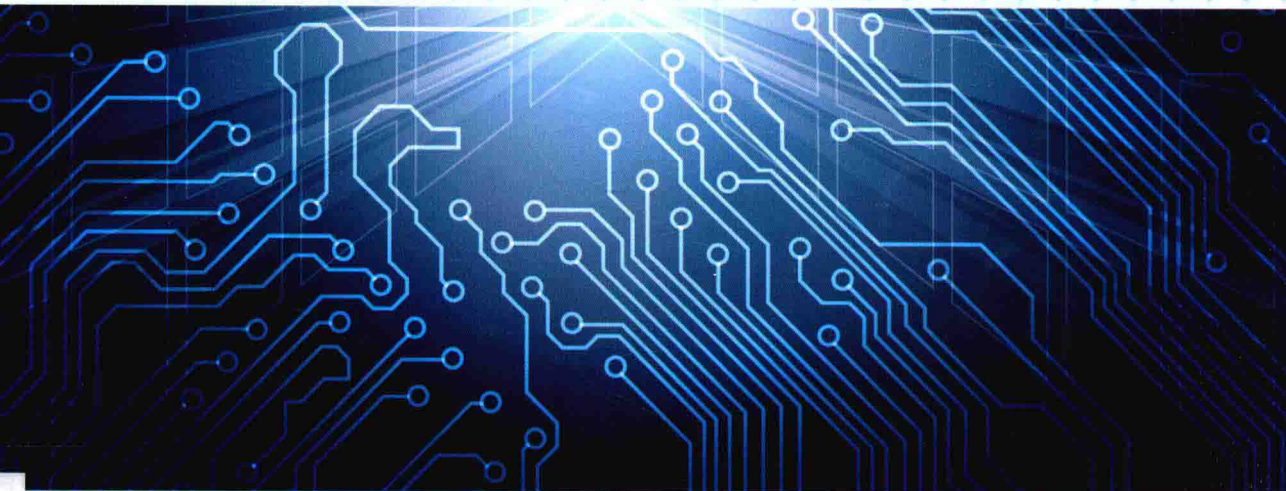


“十二五” 职业教育改革创新示范教材

# 单片机原理

DANPIANJI YUANLI

徐海风 © 主编



东北师范大学出版社  
NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

# 单片机原理

主 编 徐海风

副主编 刘晓景 唐良跃 徐祥兵

东北师范大学出版社

长 春

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理 / 徐海风主编. —长春: 东北师范大学出版社, 2015. 8

ISBN 978 - 7 - 5681 - 1019 - 8

I. ①单… II. ①徐… III. ①单片微型计算机—高等职业教育—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 162400 号

责任编辑: 黄小凤 封面设计: 吴晋书艺坊  
责任校对: 韩 烁 责任印制: 刘兆辉

东北师范大学出版社出版发行  
长春净月经济开发区金宝街 118 号(邮政编码: 130117)

电话: 0431-85687213 010-82893125

传真: 0431-85691969 010-82896571

网址: <http://www.nenup.com>

东北师范大学出版社激光照排中心制版

北京瑞富峪印务有限公司印装

北京市海淀区苏家坨镇前沙涧村(邮政编码: 100194)

2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 13.25 字数: 310 千

定价: 36.00 元

# 目 录

<b>第1章 概 述</b> .....	1
1.1 认识单片机 .....	2
1.2 单片机应用系统的开发过程 .....	6
1.3 单片机相关基础知识 .....	9
习题一 .....	18
<b>第2章 MCS-51 系列单片机的基本结构</b> .....	19
2.1 80C51 单片机内部组成及引脚功能 .....	20
2.2 时钟电路与复位 .....	23
2.3 51 系列单片机运行的硬件条件 .....	25
2.4 单片机的工作原理 .....	25
2.5 51 系列单片机的存储结构 .....	29
2.6 输入/输出端口 .....	38
习题二 .....	43
<b>第3章 MCS-51 单片机的指令系统</b> .....	45
3.1 指令格式及分类 .....	46
3.2 寻址方式 .....	48
3.3 数据传送指令 .....	52
3.4 算术运算指令 .....	59
3.5 逻辑操作指令 .....	65
3.6 控制转移指令 .....	70
3.7 位处理指令 .....	77
习题三 .....	80

<b>第4章 汇编语言程序设计</b> .....	83
4.1 汇编语言基本概念 .....	84
4.2 汇编语言程序设计 .....	87
习题四 .....	96
<b>第5章 中断系统</b> .....	98
5.1 概 述 .....	99
5.2 MCS-51 系列单片机的中断系统 .....	101
5.3 中断程序设计方法 .....	105
习题五 .....	108
<b>第6章 MCS-51 单片机的定时/计数器</b> .....	111
6.1 定时器/计数器的计数与定时 .....	112
6.2 定时器/计数器的控制 .....	113
6.3 定时器/计数器的初始化 .....	115
6.4 定时器/计数器的工作方式 .....	115
习题六 .....	121
<b>第7章 串行接口</b> .....	125
7.1 串行通信的基本概念 .....	126
7.2 单片机串行接口及控制寄存器 .....	130
7.3 单片机串行口的工作方式 .....	132
7.4 串行口的应用 .....	133
习题七 .....	137
<b>第8章 单片机的系统扩展</b> .....	140
8.1 相关知识链接 .....	141
8.2 程序存储器扩展 .....	143
8.3 数据存储器扩展 .....	146
8.4 输入/输出口扩展技术 .....	149
习题八 .....	157
<b>第9章 人机接口技术</b> .....	158
9.1 键盘接口 .....	159
9.2 LED 显示接口 .....	166
9.3 LCD 显示接口 .....	171
习题九 .....	175

<b>第 10 章 I/O 过程通道</b> .....	177
10.1 开关量输入和输出 .....	178
10.2 并行接口的模拟量输入通道 .....	182
10.3 串行接口的模拟量输入通道 .....	186
10.4 并行接口的模拟量输出通道 .....	195
10.5 串行接口的模拟量输出通道 .....	199
习题十 .....	203
<b>参考文献</b> .....	204





## 第 1 章

# 概 述

计算机对于现代人来讲并不陌生，自从 1946 年第一台电子计算机问世到现在，计算机的发展速度之快，变化之大，是任何一门技术都无法比拟的。目前，计算机都采用了大规模集成电路技术，除了在科学计算领域，还在其他很多领域都得到了广泛的应用。

从计算机问世以来，工程技术人员就开始将这项技术应用于控制领域。例如，一条全自动化生产线、一场精彩的机器人足球赛、智能家电等，这些给人们的生产与生活带来高效和方便的设备、仪器的核心大部分都是计算机家族的一员——单片微型计算机(单片机, Single-Chip Microcomputer)。单片机是大规模集成电路技术发展的产物，它将中央处理器 CPU、存储器(RAM 或 ROM)、输入/输出(I/O)接口及定时器/计数器等集成在一块芯片上，也就是说，单片机是集成在一块集成电路芯片上的计算机。单片机的功能强、质量轻、耗电省、性价比高，目前已广泛应用于军事、工业及生活等各个领域，更成为自动化系统的有力工具。在工业测控系统中，如智能仪表、机电设备、数据处理、过程控制、自动检测等都可以使用单片机作为控制单元。生活中的家用电器，如彩电、冰箱、空调、录像机、VCD、遥控器、电饭煲等也可以用单片机作为控制单元。再比如掌上游戏机、电子宠物、各种机器人等都可以利用单片机进行控制。

## 1.1 认识单片机

### 1.1.1 什么是单片机

单片机是近代计算机技术发展的一个分支——嵌入式计算机系统。它是将计算机的主要部件：CPU、RAM、ROM、定时器/计数器、输入/输出接口电路等集成在一块大规模的集成电路中，形成芯片级的微型计算机，称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)，简称单片机。

单片机自从问世以来，就在控制领域得到广泛应用，特别是近年来，许多功能电路都被集成在单片机内部，如 A/D、D/A、PWM、WDT、I<sup>2</sup>C 总线接口等，极大地提高了单片机的测量和控制能力，现在所说的单片机已经突破了微型计算机(Microcomputer)的传统内容，更准确的名称应为微控制器(Microcontroller)。

单片机与现代微型计算机一样，系统结构均采用冯·诺依曼提出的“存储程序”思想，即程序和数据都被存放在内存中，采用二进制代替十进制进行运算和存储程序。人们将计算机要处理的数据和运算方法、步骤，事先按计算机要执行的操作命令和有关原始数据编制成程序(二进制代码)，存放在计算机内部的存储器中，计算机在运行时能够自动地、连续地从存储器中取出并执行，不需人工加以干预。通常一个最基本的单片机由以下几部分组成：

- (1)中央处理器 CPU，包括运算器、控制器和寄存器组；
- (2)存储器，包括 ROM 和 RAM；
- (3)输入/输出(I/O)接口，它与外部输入/输出设备连接。

典型的单片机组成框图，如图 1-1 所示。

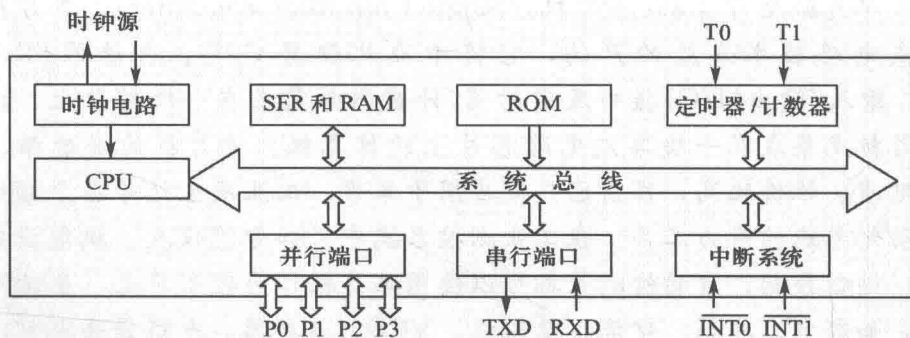


图 1-1 典型的单片机组成框图

### 1.1.2 单片机的特点与应用

#### 1. 单片机的特点

继 1976 年 Intel 公司推出 MCS-48 系列 8 位单片机后，1980 年又推出了 MCS-51 系列高档 8 位单片机。目前，尽管单片机已有 16 位和 32 位的芯片，但是作为工业控制的主力



仍然是8位单片机。单片机与通用微机相比,具有以下优点。

#### (1) 控制功能强

CPU可以对I/O端口直接进行操作,位操作能力更是其他计算机所无法比拟的。近期推出的单片机产品,扩展了接口电路功能。如增加了高速I/O接口,扩展了I/O口引线数目,在部分型号中,集成了ADC转换器、PWM脉冲宽度调制输出接口、可编程计数阵列PCA,并在低电压、低功耗、I<sup>2</sup>C、SPI或CAN总线及开发方式(如在系统编程ISP)等方面的能力都有了进一步的提高,增强了单片机实时控制功能。

#### (2) 抗干扰性强,可靠性高,工作温度范围宽

CPU、存储器及I/O接口集成在同一芯片内,各部件间的连接紧凑,数据在传送时受干扰的影响较小,且不易受环境因素的影响,可靠性非常高。部分型号增加了定时复位(Watchdog)监控电路,提高了系统的抗干扰能力,适合于复杂、恶劣的工作环境。目前,单片机适用的环境温度划分为三个等级:民用级0℃~+70℃,工业级-40℃~+85℃,军用级-65℃~+125℃。

#### (3) 开发周期短,性价比高,易于产品化

将不同功能的接口电路嵌入基本型单片机芯片后,用户就可以根据用途选择相应型号的单片机芯片,无需通过外部扩展,减少了芯片数目,从而减少了印刷电路板的面积。接插件减少,安装简单方便,价格明显降低,开发周期短,在达到同样功能的条件下,具有很高的性价比。

### 2. 单片机的应用领域

单片机主要面向控制领域,能够实现系统的在线控制。目前,单片机的应用日益广泛,下面简单介绍其典型的应用领域。

#### (1) 智能化仪表

单片机用于各种仪器仪表,促使仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化方向发展,将监控、处理、控制等功能一体化,简化了仪器仪表的硬件结构,可以方便地完成仪器仪表产品的升级换代。如各种智能电气测量仪表、分析仪和智能传感器等。

#### (2) 实时工业控制

用单片机可以构成各种不太复杂的工业控制系统、数据采集系统等,达到测量与控制的目的。典型应用如电机转速控制、报警系统和生产过程自动控制等。

#### (3) 机电一体化产品

机电一体化产品集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体,单片机与传统的机械产品相结合,使传统机械产品结构简化,控制智能化。典型产品如机器人、数控机床、可编程控制器等。

#### (4) 智能接口

在计算机控制系统,特别是在较大型的工业测控系统中,经常要采用分布式测控系统完成大量的分布参数的采集。在这类系统中,采用单片机作为分布式系统的前端采集模块,进行接口的控制与管理。

#### (5) 办公自动化

现在大多数办公设备都采用了单片机进行控制,如打印机、复印机、传真机和考勤

机等。

#### (6) 商业营销

商业营销系统广泛使用单片机构成的专用系统，如电子秤、收款机、条形码阅读器、商场保安系统、空气调节系统和冷冻保鲜系统等。

#### (7) 家用电器

家用电器是单片机的又一重要应用领域，前景十分广阔。如空调、电冰箱、微波炉、洗衣机、电饭煲、高档洗浴设备、VCD、录像机和手机等。

另外，单片机在交通、网络与通信及航天等领域中也有广泛应用。

### 1.1.3 单片机的发展和系列产品

#### 1. 单片机的发展

单片机出现的历史并不长，但发展十分迅猛。单片机技术发展过程可分为三个主要阶段。

##### (1) 低性能初级阶段

以 1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 系列为代表，采用将 8 位 CPU、8 位并行 I/O 接口、8 位定时器/计数器、RAM 和 ROM 等集成于一块半导体芯片上的单片结构，虽然其寻址范围有限(不大于 4KB)，也没有串行 I/O，而且 RAM、ROM 容量小，中断系统较简单，指令系统功能也不强，但功能可满足一般工业控制和智能化仪器、仪表等需要。

##### (2) 高性能提高阶段

以 Intel 公司的 MCS-51 系列为代表，在这一阶段推出的单片机普遍带有串行 I/O 接口，有多级终端处理系统及 16 位定时器/计数器。片内 RAM、ROM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换接口。结构体系逐步完善，性能也大大提高，面向控制的特点进一步突出，增强了单片机的控制功能。

##### (3) 8 位机巩固发展以及多品种共存阶段

1983 年，Intel 推出 MCS-96 系列单片机是最具有代表性的，片内集成 16 位的 CPU，RAM 和 ROM 的容量也进一步增大，并且带有高速 I/O 部件，带有多通道 A/D 转换器，8 级中断处理能力使其具有更强的实时处理功能。近年来，已有 32 位单片机进入试用阶段。单片机在集成度、功能、速度、可靠性、应用领域等方面向全方位更高水平发展。同时高档 8 位单片机也在不断改善其结构，各厂家纷纷以 MCS-51 为内核，融入自身的优势，推出了许多的 MCS-51 兼容机，强化了微控制器的特征，进一步巩固和发展了 8 位单片机的主流地位。目前，8 位单片机的品种繁多，各具特色，在一定的时期内，将不存在某种单片机一统天下的垄断局面，它走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

#### 2. 单片机的发展趋势

由于 8 位机价格便宜，且在速度与功能上逐步与 16 位机逼近，可以预计，在未来很长时间内，8 位单片机仍将是单片机的主流机型。从发展的趋势来看，单片机正朝着低功耗、微型化方向发展。

### (1)低功耗 CMOS 化

在许多应用场合,单片机不仅要有很小的体积,而且还需要较低的工作电压和极小的功耗。现在各个单片机制造商基本都采用了 CMOS 工艺,并设有空闲和掉电两种工作方式。

### (2)内部资源丰富、外围电路内装化,朝着微型化方向发展

近年来,世界各大半导体厂商热衷于开发增强型 8 位单片机,片内新增了 A/D 和 D/A 转换器、监视定时器、DMA 通道和总线接口等。有些厂家还把晶振和 LCD 驱动电路集成到芯片之中,还可以根据用户的要求量身定做,制造出具有自己特色的单片机芯片。片内资源丰富,功能强大,构成单片机控制系统的硬件开销越来越少。

### (3)大容量、高性能

单片机片内存储器的容量进一步扩大,存储器种类也从普通的 ROM 或 EPROM 向 FLASH 方向发展,具有在线编程功能。CPU 字长增加,总线速度提高,硬件功能扩充,指令执行速度加快。对外部存储器、I/O 口寻址能力增强,更利于系统的扩展和开发。

### (4)以串行方式为主、并行为辅的外围扩展方式

如今,单片机外围器件的串行扩展已成为主流,不仅仅是 I/O 口,几乎所有的外围器件都能提供串行扩展接口。因此,不少单片机已废除外部并行扩展总线,单片机应用系统向片上最大化加串行外围扩展的体系结构发展。

### (5)ISP 及 IAP 技术的应用

在系统可编程(In System Programming, ISP)和在应用中可编程(In Application Programming, IAP)技术可通过单片机上引出的编程线、串行数据、时钟线等在线对单片机编程。编程线与 I/O 线共用,不增加单片机的额外引脚。具备在系统可编程 ISP 技术的单片机,可在电路板上对空白器件直接编程并写入最终用户代码,已经编程的器件也可用 ISP 方式擦除或再编程。而在应用中可编程 IAP 技术更胜一筹,用户可以在一个应用系统中获取新代码并重新编码,即可用程序来改变程序。ISP 和 IAP 技术为系统的开发调试提供了方便,它是未来 MCU 的发展方向。

## 3. 单片机系列产品

目前,国内单片机应用呈现百花齐放之势,很多不同类型的单片机逐渐进入中国,这给我们增加了选择余地,通常每一种单片机在国内都有一些代理公司,可以得到较好的技术支持。目前有可能接触和使用的单片机主要有以下几类。

### (1)51 系列。基于 51 内核的单片机,目前国内较常见的有以下几种。

1)PHILPS 公司的 LPC 系列,基于 51 内核的微控制器,每机器周期只需 6 个时钟,比标准 51 快一倍;嵌入了诸如掉电检测、模拟功能以及片内 RC 振荡器等功能,可减少外部元件的使用;低功耗。该系列芯片适用于大批量、低成本、低功耗的应用,如电子门禁系统、倒车雷达、里程表等。

2)SST 公司的 SST89C54、SST89C58,具有在应用中可编程(IAP)功能、在系统可编程(ISP)功能,不占用户资源,串口下载,无需编程器、仿真机,芯片就是仿真机。

3)Cygnal 公司的 C8051F 系列单片机,该系列单片机大部分指令只需一个时钟周期即可完成,因而该系列单片机的运行速度大大加快。其余改进包括多加了中断源、复位源,

带有 JTAG 接口,可在系统编程调试,可实现捕捉、高速输出、PWM 功能等,是 51 系列单片机中的高端产品。

4)AD 公司的 ADuC812、ADuC824,AD 公司是著名的模拟器件生产公司,其运算放大器、AD 转换器等产品是高品质的象征,这两款单片机是 AD 公司结合其模拟技术特长而推出的基于 51 内核的单片机,其中 ADuC812 芯片内集成有 8K 字节 Flash ROM,640 字节 E2PROM,256 字节 RAM,8 通道 12 位 A/D,2 通道 12 位 D/A,另有  $\mu\text{P}$  监控电路、温度传感器、SPI 和 I<sup>2</sup>C 总线接口等丰富资源,而 ADuC824 内部更是集成了两路 24 位+16 位  $\Sigma-\Delta$  转换器,这是另一类 51 高端芯片,该芯片适合用于各类智能仪表、智能传感器、变送器和便携式仪器等领域。

(2)美国微芯科技股份有限公司的 PIC 系列。久负盛名的 RISC 单片机,工艺性能优良,抗干扰能力强,系列品种齐全,其 OTP(一次性可编程)产品大批量用于家电控制等场合,某些内置 Flash ROM 的型号用于工业控制也很适合。

(3)ATMEL 公司的 AVR 系列,号称速度最快的 8 位单片机,该系列单片机的特点是片内采用 Flash ROM,可多次擦写,高速度、低功耗,每条指令只需一个时钟周期即可执行完毕,具有串行下载功能,高低档品种齐全,便于选择。

(4)德州仪器公司出品的 MSP430 系列是一种特低功耗的混合信号微控制器,该系列芯片具有 16 位 RISC 结构,价格低廉,该系列单片机主要用于各种智能仪表、测试测量系统等。

我们现在经常提到的 51 系列单片机,就是指在 Intel 公司 MCS-51 系列单片机的基础上发展起来的与 MCS-51 兼容的所有单片机。

本书以 MCS-51 系列单片机中的一个型号 80C51 为主要研究对象,介绍它的功能和使用方法,同时在必要时提到一些比较新的改进型号及其特点,以便实际应用。

## 1.2 单片机应用系统的开发过程

### 1.2.1 开发流程

由于单片机内部没有任何驻机软件,因此,要实现一个产品应用系统时,需要进行软、硬件开发。单片机应用系统的开发流程如图 1-2 所示,除了产品立项后的方案论证、总体设计外,主要有硬件系统设计与调试、应用程序设计、应用程序仿真调试和系统脱机运行检查四部分。

### 1.2.2 单片机应用开发工具

一个单片机应用系统从提出任务到正式投入运行的过程,称为单片机的开发。开发过程所用的设备称为开发工具。

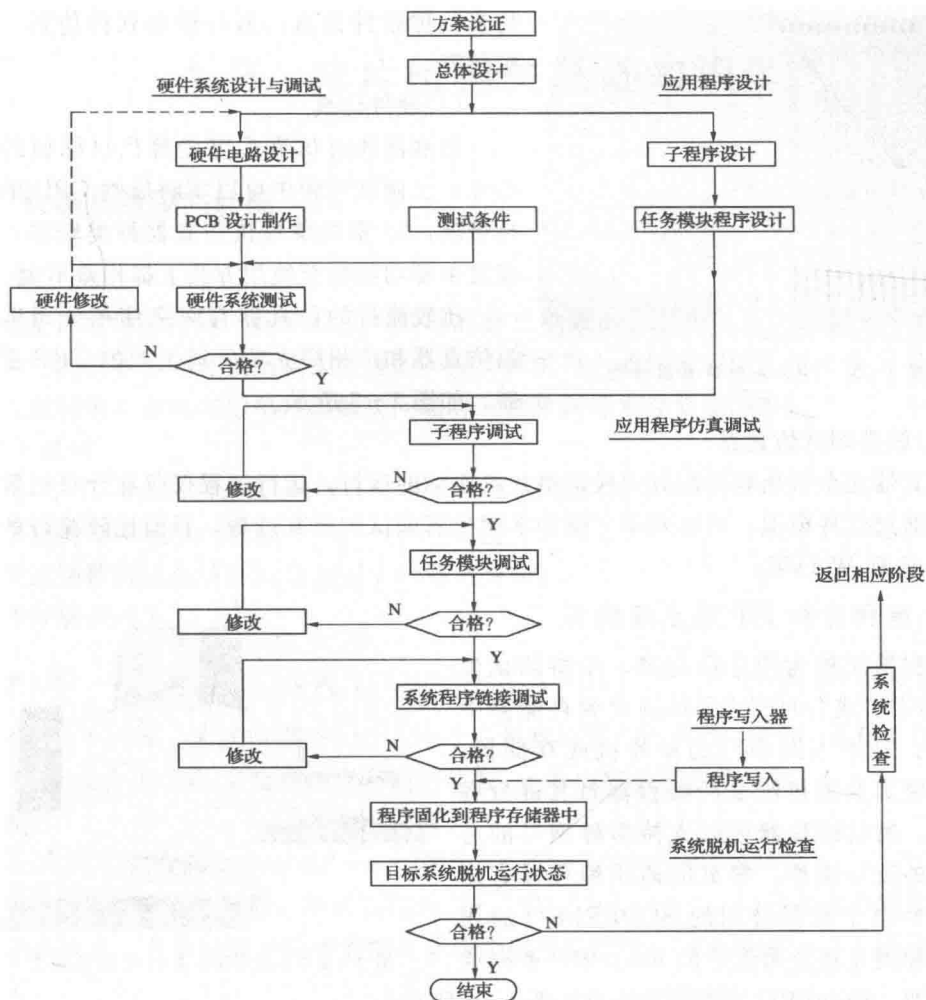


图 1-2 单片机应用系统开发流程

### 1. 硬件设计

根据工程要求，绘制电路原理图，根据电路原理图设计制作印刷电路板，俗称 PCB 板，需要到工厂专门定制。简单的电路在实验阶段可以使用面包板或通用电路板替代，学校实验室一般都有和仿真器配套的实验目标板。绘制电路原理图和设计制作印刷电路板都需要借助 CAD 软件完成，如 Protel、OrCAD 等，有关这类软件的使用可以参看相关资料。

### 2. 程序设计

确定了硬件设计，然后要针对目标板进行软件程序设计。无论使用汇编语言或高级语言，编写好源程序后，都要进行编译，编译中发现语法错误要进行修改，只要没有语法格式错误就可以形成可执行“.HEX”文件。之后文件的执行、调试必须借助仿真器。

### 3. 仿真器

编写好源程序后，进行程序调试时需对其进行仿真。仿真有两种形式：一种是真正的



图 1-3 TKS 系列仿真器外形

仿真，称硬件仿真；另一种是软件仿真，又称模拟仿真。

#### (1) 硬件仿真

仿真器通过仿真头完全替代目标板的单片机芯片，在调试过程中可以实时反映 CPU 的真实运行情况，51 系列单片机仿真器种类较多，运行环境及主要功能甚至使用方法上都相差不大。

比较流行的仿真器有南京伟福公司生产的伟福仿真器和广州周立功公司生产的 TKS 系列仿真器。如图 1-3 所示。

#### (2) 软件调试仿真器

仿真器完全采用软件的方式模拟单片机实际的运行，运行过程仅仅在计算机屏幕模拟显示，通过软件模拟，可以基本了解和掌握仿真调试的所有过程，目前比较流行的仿真软件有 Keil 和 WAVE。

### 4. 编程器和 ISP 在系统编程

编程器又称为程序固化器，是将调试生成的“.BIN”或“.HEX”文件固化到存储器中的设备。对于不同型号的单片机或存储器，厂家都要为其提供配套的编程器对其进行程序固化。通过编程器可以支持多种型号的芯片程序的读写操作。常见的通用编程器有南京西尔特电子有限公司的 SUPERPRO 通用编程器和周立功公司生产的 EasyPRO 系列通用编程器。EasyPRO 编程器的外形如图 1-4 所示。

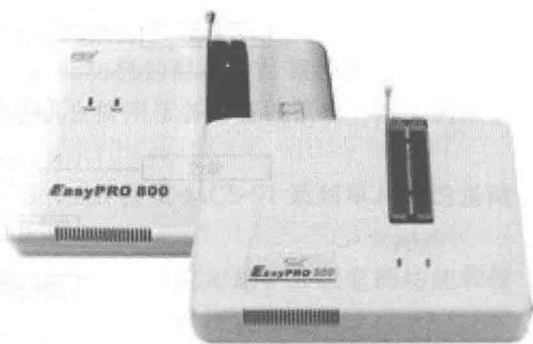


图 1-4 EasyPRO 系列通用编程器外形

利用 ISP 技术对单片机进行程序固化时，不必将单片机从目标板上移出，直接利用 ISP 专用线便可对单片机进行程序固化操作。因单片机的生产厂商众多，片内带 Flash 的单片机型号也较多，所以 ISP 专用下载线及相应的 ISP 固化软件也不同。能对 PHILIPS 公司生产的片内带 Flash 存储器的单片机进行下载的软件有 ZLGISP、WinISP、Flash Magic 等。

### 5. 单片机系统的 Proteus 设计与仿真平台

Proteus 软件是由英国 Lab Center Electronics 公司开发的 EDA 工具软件。它是目前世界上最先进、最完整的多种型号微处理器系统的设计与仿真平台，它真正实现了在计算机中完成电路原理图设计、电路分析与仿真、微处理器设计与仿真、系统测试与功能验证直到形成印刷电路板的完整电子设计、研发过程。



## 1.3 单片机相关基础知识

### 1.3.1 数制及数制间转换

#### 1. 数制

数制是计数的进位制，在单片机中常用的有三种数制：二进制、十进制和十六进制。其中只有二进制数是计算机能直接处理的，但计算机与人或外设间的信息交换又多用十进制和十六进制数，因此在用单片机解决问题时三种数制都是经常使用的。

##### (1) 十进制

- 用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码表示数的大小；
- 基数为 10，逢 10 进 1；
- 十进制数常以在结尾加 D 表示，一般可省略；
- 按权展开式为

十进制数 =  $\sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 10^i = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-2} \times 10^{-2} + \dots + K_{-m} \times 10^{-m}$  其中， $K_i$  表示十进制数的第  $i$  位，权为  $10^i$ ， $K_i$  从 0~9 十个数字中选用； $m$ 、 $n$  为正整数， $n$  为小数点左边的位数， $m$  为小数点右边的位数。

例如：

$$963.85D = 9 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

式中，“D”表示十进制数，等式右边的  $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 、 $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$  表示数码在该位的“权”，不难看出，各数位表示的数值就是该位乘以相应的权，因此任意一个十进制数都可以按权展开。

##### (2) 二进制

- 用 0、1 两个数码表示数的大小；
- 基数为 2，逢 2 进 1；
- 二进制数常以结尾加 B 表示；
- 按权展开式为

二进制数 =  $\sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 2^i = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + K_{-2} \times 2^{-2} + \dots + K_{-m} \times 2^{-m}$

其中， $K_i$  表示二进制数的第  $i$  位，权为  $2^i$ ， $K_i$  从 0、1 两个数字中选用； $m$ 、 $n$  为正整数， $n$  为小数点左边的位数， $m$  为小数点右边的位数。

例如：

$$1010.01B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

##### (3) 十六进制

- 用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数码表示数的

大小;

- 基数为 16, 逢 16 进 1;
- 十六进制数常以结尾加 H 表示;
- 按权展开式为

$$\text{十六进制数} = \sum_{-m}^{n-1} K_i \times 16^i = K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots + K_0 \times 16^0 + K_{-1} \times 16^{-1} + K_{-2} \times 16^{-2} + \dots + K_{-m} \times 16^{-m}$$

其中,  $K_i$  表示十六进制数的第  $i$  位, 权为  $16^i$ ,  $K_i$  从 0 ~ 9、A、B、C、D、E、F 十六个数码中选用;  $m, n$  为正整数,  $n$  为小数点左边的位数,  $m$  为小数点右边的位数。

例如:

$$B5A.FH = 11 \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 15 \times 16^{-1}$$

部分数的三种数制对照见表 1-1。

表 1-1 部分数的三种数制对照表

二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制	十进制
0000	0	0	1000	8	8
0001	1	1	1001	9	9
0010	2	2	1010	A	10
0011	3	3	1011	B	11
0100	4	4	1100	C	12
0101	5	5	1101	D	13
0110	6	6	1110	E	14
0111	7	7	1111	F	15

## 2. 数制间的转换

### (1) 二进制与十进制间的转换

#### 1) 二进制转换为十进制

二进制数转换成十进制数的方法是: 按权展开后求和。例如:

$$1010.01B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 10.25D$$

#### 2) 十进制转换为二进制

十进制数转换成二进制数要分整数和小数两部分进行。

整数部分的转换采用“除 2 取余”法: 除 2 取余, 商为 0 止, 余数倒置。

小数部分的转换采用“乘 2 取整”法: 乘 2 取整, 直到小数部分为 0 或满足精度要求为止, 整数正置。

【例 1-1】将十进制数 38 转换成二进制数。

解:

2	38	余数	
2	19	0 (最高位)	↑ 读取方向
2	9	1	
2	4	1	
2	2	0	
2	1	0	
	0	1 (最低位)	

所以,  $38D=100110B$ **【例 1-2】** 将十进制数 0.625 转换成二进制数。

解: $0.625 \times 2 = 1.25$	整数为 1(最高位)	↑ 读取方向
$0.25 \times 2 = 0.50$	整数为 0	↓
$0.50 \times 2 = 1.00$	整数为 1(最低位)	

所以,  $0.625D=0.101B$ 

综上两例, 得

$$38.625D=100110.101B$$

(2) 十六进制与十进制间的转换

1) 十六进制转换为十进制

方法同样也是按权展开后求和。例如:

$$1AEH=1 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = 430D$$

2) 十进制数转换为十六进制

方法与十进制转换为二进制时类似, 也分整数和小数两部分进行。

整数部分采用“除 16 取余”法。

小数部分采用“乘 16 取整”法。

**【例 1-3】** 将十进制数 1086 转换为十六进制数。

解:	16	1086	余数	
	16	67	14 (最高位)	↑ 读取方向
	16	4	3	
		0	4 (最低位)	

所以,  $1086D=43EH$ 。**【例 1-4】** 将十进制数 0.171875 转换为十六进制数

解: $0.171875 \times 16 = 2.75$	整数 2(最高位)	↑ 读取方向
$0.75 \times 16 = 12.0$	整数 12(最低位)	↓

所以,  $0.171875=0.2CH$ 

综上两例, 得:

$$1086.171875D=43E.2CH$$

(3) 二进制与十六进制间的转换

1) 二进制数转换为十六进制

由表 1-1 可以看出, 4 位二进制数对应 1 位十六进制数, 所以二进制数转换为十六进制数的方法是: 将要转换的二进制数以小数点为界向左和向右 4 位一组分开, 不足 4 位补