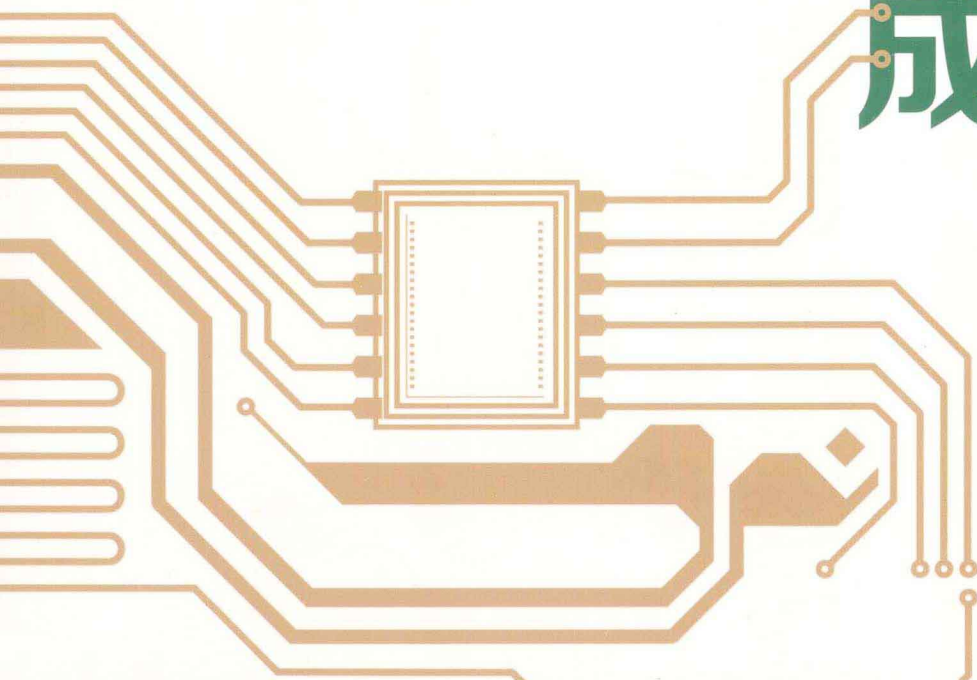


# 电子工程师

# 自学速成

蔡杏山 主编

## —— 设计篇



electronics

+  
Engineer

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 电子工程师 自学速成

蔡杏山 主编

## 设计篇

> Electronics

Engineer

人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

电子工程师自学速成. 设计篇 / 蔡杏山主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 1  
ISBN 978-7-115-33163-2

I. ①电… II. ①蔡… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第221397号

## 内 容 提 要

“电子工程师自学速成”丛书分为“入门篇”、“提高篇”和“设计篇”共3本。本书为“设计篇”，包括单片机技术和 Protel 电路绘图设计两大部分，其中单片机技术部分的内容有单片机入门、单片机硬件原理、单片机的开发过程、单片机编程、中断技术、定时器/计数器、串行通信技术和接口技术，Protel 电路绘图设计部分的内容有 Protel 软件入门、设计电路原理图、制作新元件、手工设计 PCB、自动设计 PCB 和制作新元件封装。

本书具有基础起点低、内容由浅入深、语言通俗易懂、结构安排符合学习认知规律的特点。本书适合作为电子工程师学习电子设计的自学图书，也适合作为职业学校和社会培训机构的单片机及 Protel 电路绘图设计教材。

- 
- ◆ 主 编 蔡杏山  
责任编辑 张 鹏  
责任印制 彭志环 焦志炜
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
三河市潮河印业有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 20.75  
字数: 556 千字  
印数: 1—3 500 册



---

定价: 50.00 元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

# 前言

“电子技术无处不在”，小到身边的随身听，大到“神舟飞船”，无一不闪现着电子技术的身影。电子技术应用于社会的众多领域，根据应用领域的不同，电子技术可分为家庭消费电子技术（如电视机）、通信电子技术（如移动电话）、工业电子技术（如变频器）、机械电子技术（如智能机器人控制系统）、医疗电子技术（如B超机）、汽车电子技术（如汽车电气控制系统）、消费数码电子技术（如数码相机）和军事科技电子技术（如导弹制导系统）等。

电子工程师是指从事各类电子产品和信息系统研究、教学、产品设计、科技开发、生产和管理等工作的高级工程技术人才。电子工程师一般分为硬件电子工程师和软件电子工程师，其中硬件电子工程师主要负责运用各种电子工具进行电子产品的装配、测试和维修等工作，其工作是技术与手动操作的结合；软件电子工程师主要负责分析、设计电路图，制作印制电路板（PCB），以及对嵌入式系统（如单片机）进行编程等工作。

为了让读者能够轻松快速地进入电子工程师行列，我们推出了“电子工程师自学速成”丛书，该丛书分为“入门篇”、“提高篇”和“设计篇”共3本，各书内容说明如下。

《电子工程师自学速成——入门篇》的内容包括电子技术入门基础、电子元器件（电阻器、电容器、电感器、变压器、二极管、三极管、光电器件、电声器件、晶闸管、场效应管、IGBT、继电器、干簧管、显示器件、贴片元器件、集成电路和传感器）、基础电子电路、收音机与电子产品的检修、电子测量基础、指针万用表、数字万用表、信号发生器、毫伏表、示波器、频率计和扫频仪等。

《电子工程师自学速成——提高篇》的内容包括模拟电路和数字电路两大部分，其中模拟电路部分的内容有电路分析基础、放大电路、放大器、谐振电路、滤波电路、振荡器、调制电路、解调电路、变频电路、反馈控制电路、电源电路和晶闸管电路，数字电路部分的内容有数字电路基础、门电路、数制、编码、逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、D/A转换器、A/D转换器和半导体存储器。

《电子工程师自学速成——设计篇》的内容包括单片机技术和Protel电路绘图设计两大部分，其中单片机技术部分的内容有单片机入门、单片机硬件原理、单片机的开发过程、单片机编程、中断技术、定时器/计数器、串行通信技术和接口技术，Protel电路绘图设计部分的内容有Protel软件入门、设计电路原理图、制作新元件、手工设计PCB、自动设计PCB和制作新元件封装。

“电子工程师自学速成”丛书主要有以下特点。

- ◆ **基础起点低。**读者只需具有初中文化程度即可阅读本套丛书。
- ◆ **语言通俗易懂。**书中少用专业化的术语，遇到较难理解的内容用形象的比喻说明，尽量避免复杂的理论分析和烦琐的公式推导，使得图书阅读起来十分顺畅。

◆ **内容解说详细。**考虑到自学时一般无人指导，因此在本套丛书编写过程中对书中的知识和技能进行了详细解说，让读者能轻松理解所学内容。

◆ **采用图文并茂的表现方式。**书中大量采用读者喜欢的直观形象的图表方式表现内容，使阅读变得非常轻松，不易产生阅读疲劳。

◆ **内容安排符合认知规律。**图书按照循序渐进、由浅入深的原则来确定各章节内容的先后顺序，读者只需从前往后阅读图书，便会水到渠成。

◆ **突出显示知识要点。**为了帮助读者掌握书中的知识要点，书中用阴影和文字加粗的方法突出显示知识要点，指示学习重点。

◆ **网络免费辅导。**读者在阅读时遇到难理解的问题可登录易天教学网：[www.eTV100.com](http://www.eTV100.com)，观看有关辅导材料或向老师提问进行学习，读者也可以在该网站了解本套丛书的新书信息。

本套丛书在编写过程中得到了许多老师的支持，其中，蔡玉山、詹春华、黄勇、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、刘凌云、刘海峰、刘元能、邵永亮、万四香、何宗昌、朱球辉、何彬、李清荣、蔡理刚、何丽、蔡华山、梁云、蔡理峰、唐颖、王娟、蔡任英和邵永明等参与了书中资料的收集和部分章节的编写工作，在此一致表示感谢。由于我们水平有限，书中的错误和疏漏在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者

## 第 1 章

### 单片机入门

1.1 概述	1
1.1.1 什么是单片机	1
1.1.2 单片机应用系统的结构与工作过程	2
1.1.3 单片机的开发过程	2
1.1.4 单片机的应用	3
1.2 单片机基础知识	3
1.2.1 单片机基础电路	3
1.2.2 数制与数制的转换	8
1.2.3 单片机中数的表示及运算	11

## 第 2 章

### 单片机硬件原理

2.1 单片机的结构	14
2.1.1 CPU	14
2.1.2 时钟振荡器	14
2.1.3 中断控制器	15
2.1.4 ROM	15
2.1.5 RAM	15
2.1.6 定时器/计数器	15
2.1.7 串行通信口	16
2.1.8 I/O 接口	16
2.1.9 总线控制器	16
2.2 MCS-51 系列单片机的引脚功能	16

2.2.1 基本工作条件引脚	16
2.2.2 输入/输出引脚	17
2.2.3 控制引脚	18
2.3 单片机的基本工作条件与工作时序	19
2.3.1 基本工作条件	19
2.3.2 工作时序	20
2.4 单片机的 I/O 接口	20
2.4.1 P0 端口	21
2.4.2 P1 端口	22
2.4.3 P2 端口	22
2.4.4 P3 端口	23
2.5 单片机的存储器	24
2.5.1 存储器基础知识	24
2.5.2 程序存储器	27
2.5.3 数据存储器	28

## 第 3 章

### 单片机的开发过程

3.1 单片机的硬件开发过程	33
3.1.1 明确单片机应用系统要实现的功能	33
3.1.2 选择单片机型号	33
3.1.3 设计单片机外围电路	34
3.2 单片机的软件开发过程	35
3.2.1 编写程序	35
3.2.2 编译或汇编程序	40
3.2.3 仿真、调试程序	42
3.2.4 用编程器将程序写入单片机	52

# 第4章

## 单片机编程

4.1 编程基础知识	56
4.1.1 指令和程序	56
4.1.2 编程语言	56
4.1.3 汇编语言指令格式	57
4.1.4 从实例了解单片机编程	57
4.2 寻址方式	59
4.2.1 立即寻址	59
4.2.2 直接寻址	60
4.2.3 寄存器寻址	60
4.2.4 寄存器间接寻址	60
4.2.5 变址寻址	61
4.2.6 相对寻址	61
4.2.7 位寻址	62
4.3 指令系统	63
4.3.1 数据传送类指令	63
4.3.2 算术运算类指令	68
4.3.3 逻辑运算类指令	72
4.3.4 程序控制类指令	76
4.3.5 位操作类指令	83
4.4 伪指令	84
4.4.1 汇编起始指令 (Origin)	84
4.4.2 定义字节指令 (Define Byte)	85
4.4.3 定义字指令 (Define Word)	85
4.4.4 定义预留存储单元指令 (Define Space)	85
4.4.5 等值指令 (Equate)	85
4.4.6 数据地址赋值指令	86
4.4.7 位地址符号赋值指令	86
4.4.8 汇编结束指令	86

# 第5章

## 中断技术

5.1 概述	87
5.1.1 什么是中断	87
5.1.2 中断的有关概念	87
5.1.3 中断的处理过程	88

5.2 中断系统的结构	88
5.2.1 中断源寄存器	89
5.2.2 中断允许寄存器 IE	90
5.2.3 中断优先级控制寄存器 IP	90
5.3 中断程序的编写	91
5.3.1 从实例了解中断程序的编写	91
5.3.2 中断程序的编写方法	93

# 第6章

## 定时器/计数器

6.1 概述	94
6.1.1 定时器	94
6.1.2 计数器	95
6.2 定时器/计数器的结构与工作原理	95
6.2.1 定时器/计数器的结构	95
6.2.2 定时器/计数器的工作原理	96
6.3 定时器/计数器的控制	97
6.3.1 定时器/计数器控制寄存器 TCON	97
6.3.2 工作方式控制寄存器 TMOD	97
6.3.3 定时器/计数器的工作方式	98
6.4 定时器/计数器的应用	102
6.4.1 利用定时器/计数器控制发光二极管 的发光时间	102
6.4.2 利用定时器/计数器产生脉冲 信号	103

# 第7章

## 串行通信技术

7.1 概述	105
7.1.1 串行通信方式	105
7.1.2 串行通信的数据传送方向	107
7.2 串行通信口的结构与工作原理	108
7.2.1 串行通信口的结构	108
7.2.2 串行通信口的工作原理	108
7.3 串行通信口的控制	109
7.3.1 串行控制寄存器 SCON	109
7.3.2 电源控制寄存器 PCON	110
7.4 4种工作方式与波特率的设置	110

7.4.1	方式 0	110
7.4.2	方式 1	112
7.4.3	方式 2	112
7.4.4	方式 3	113
7.4.5	波特率的设置	113
7.5	串行通信口的应用	115
7.5.1	单工通信	115
7.5.2	双工通信	116

## 第 8 章

### 接口技术

8.1	输入接口	118
8.1.1	开关量输入接口	118
8.1.2	键盘输入接口	120
8.1.3	模拟量输入接口	122
8.2	输出接口	127
8.2.1	开关量输出接口	127
8.2.2	数字量输出接口	128
8.2.3	显示输出接口	132

## 第 9 章

### Protel 软件入门

9.1	概述	136
9.2	Protel 99 SE 基础知识	137
9.2.1	Protel 99 SE 的运行环境	137
9.2.2	Protel 99 SE 的组成	137
9.2.3	Protel 99 SE 设计电路的流程	137
9.3	Protel 99 SE 使用入门	138
9.3.1	设计数据库文件的建立、关闭与打开	138
9.3.2	Protel 99 SE 设计界面的介绍	140
9.3.3	文件管理	141
9.3.4	系统参数的设置	148

## 第 10 章

### 设计电路原理图

10.1	电路原理图编辑器	150
10.1.1	电路原理图编辑器界面介绍	150

10.1.2	图纸大小的设置	154
10.1.3	图纸的方向、标题栏、边框和颜色的设置	156
10.1.4	图纸网格的设置	157
10.1.5	图纸文件信息的设置	157
10.1.6	光标与网格形状和颜色的设置	158
10.1.7	系统字体的设置	159
10.2	电路原理图的设计	159
10.2.1	装载元件库	160
10.2.2	查找元件	161
10.2.3	放置元件	162
10.2.4	元件的编辑	165
10.2.5	绘制导线和节点	174
10.2.6	电源和接地符号的放置	180
10.2.7	输入/输出端口的放置	181
10.2.8	元件标号的查找、替换与重排	184
10.3	图形的绘制和文本、图片的编辑	187
10.3.1	直线的绘制	187
10.3.2	矩形的绘制	188
10.3.3	多边形的绘制	188
10.3.4	椭圆弧线的绘制	189
10.3.5	椭圆的绘制	191
10.3.6	扇形的绘制	192
10.3.7	曲线的绘制	193
10.3.8	文本的插入与设置	194
10.3.9	图片的插入与设置	196
10.4	层次原理图的设计	197
10.4.1	主电路与子电路	198
10.4.2	由上向下设计层次原理图	200
10.4.3	由下向上设计层次原理图	204
10.5	原理图报表的生成	205
10.5.1	ERC 报表的生成	205
10.5.2	网络表的生成	207
10.5.3	元件清单表的生成	209
10.5.4	交叉参考元件表的生成	211
10.5.5	层次项目组织表的生成	212
10.5.6	原理图的打印输出	213



## 第 11 章

### 制作新元件

- 11.1 元件库编辑器 .....214
  - 11.1.1 元件库编辑器的启动 .....214
  - 11.1.2 元件库编辑器介绍 .....215
- 11.2 新元件的制作与使用 .....217
  - 11.2.1 绘制新元件 .....217
  - 11.2.2 修改已有的元件 .....219
  - 11.2.3 绘制复合元件 .....223
  - 11.2.4 新元件的使用 .....225
- 11.3 元件报表的生成与元件库的管理 .....226
  - 11.3.1 元件报表的生成 .....226
  - 11.3.2 元件库的管理 .....228

## 第 12 章

### 手工设计 PCB

- 12.1 PCB 设计基础 .....231
  - 12.1.1 PCB 的基础知识 .....231
  - 12.1.2 PCB 的设计过程 .....234
  - 12.1.3 PCB 编辑器 .....235
  - 12.1.4 PCB 设计前的设置 .....237
  - 12.1.5 PCB 编辑器参数设置 .....242
- 12.2 手工设计 PCB 的具体方法 .....248
  - 12.2.1 放置对象 .....248
  - 12.2.2 手工布局 .....262
  - 12.2.3 手工布线 .....270

## 第 13 章

### 自动设计 PCB

- 13.1 基础知识 .....272
  - 13.1.1 PCB 的自动设计流程 .....272
  - 13.1.2 利用原理图生成网络表 .....273
- 13.2 自动设计 PCB 的具体方法 .....274

- 13.2.1 自动规划 PCB ..... 274
- 13.2.2 装载元件封装和网络表 ..... 279
- 13.2.3 自动布局元件 ..... 283
- 13.2.4 手工调整布局 ..... 285
- 13.2.5 自动布线 ..... 286
- 13.2.6 手工调整布线 ..... 292
- 13.3 PCB 的显示 ..... 298
  - 13.3.1 单层显示模式 ..... 298
  - 13.3.2 三维显示模式 ..... 299
- 13.4 PCB 报表的生成及 PCB 的打印 ..... 300
  - 13.4.1 引脚报表的生成 ..... 300
  - 13.4.2 电路板信息报表的生成 ..... 301
  - 13.4.3 网络状态报表的生成 ..... 302
  - 13.4.4 设计层次报表的生成 ..... 302
  - 13.4.5 NC 钻孔报表的生成 ..... 302
  - 13.4.6 元件报表的生成 ..... 305
  - 13.4.7 电路特性报表的生成 ..... 306
  - 13.4.8 元件位置报表的生成 ..... 307
  - 13.4.9 PCB 的打印 ..... 309

## 第 14 章

### 制作新元件封装

- 14.1 元件封装库编辑器 ..... 312
  - 14.1.1 元件封装库编辑器的启动 ..... 312
  - 14.1.2 元件封装库编辑器介绍 ..... 313
- 14.2 制作新元件封装的方法 ..... 313
  - 14.2.1 手工制作新元件封装 ..... 314
  - 14.2.2 利用向导制作新元件封装 ..... 317
- 14.3 元件封装的管理 ..... 319
  - 14.3.1 查找元件封装 ..... 319
  - 14.3.2 更改元件封装名称 ..... 319
  - 14.3.3 放置元件封装 ..... 319
  - 14.3.4 删除元件封装 ..... 320
  - 14.3.5 编辑元件封装引脚焊盘 ..... 320

# 第 1 章 单片机入门

## 1.1 概述

### 1.1.1 什么是单片机

单片机是单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 的简称, 由于单片机主要用于控制领域, 所以国际上通常将单片机称作微型控制器 (Microcontroller Unit, MCU)。单片机与微型计算机都是由 CPU、存储器和输入/输出接口 (I/O 接口) 等组成的, 但两者又有所不同, 微型计算机和单片机的基本结构分别如图 1-1 (a) 和图 1-1 (b) 所示。

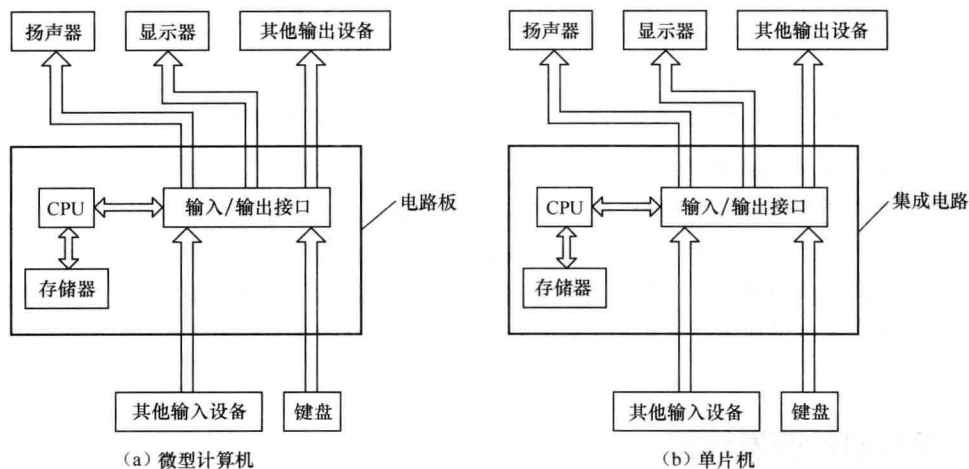


图 1-1 微型计算机与单片机的结构

从图 1-1 可以看出, 将 CPU、存储器和输入/输出接口等部件安装在电路板上, 外部输入/输出设备通过电路板上的接插件与输入/输出接口连接起来就组成了微型计算机; 如果将 CPU、存储器和输入/输出接口等做在一块集成电路内部, 这种集成电路就是单片机, 输入/输出设备通过单片机的引脚与内部输入/输出接口连接。图 1-2 所示就是一个具有 40 个引脚的单片机, 其内部集成了 CPU、存储器和输入/输出接口等电路。

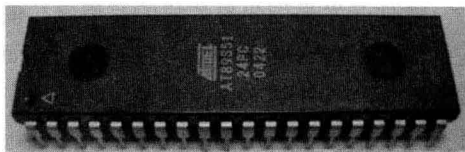


图 1-2 一种单片机的外形

微型计算机可以根据需要更换电路板上的 CPU、存储器和输入/输出接口部件，从而提升性能和扩展功能；而单片机是无法更换 CPU、存储器和输入/输出接口的（因为它们都做在一块集成电路内部），如果要进行复杂的控制，可以选用功能强大的单片机。

与单片机相比，微型计算机具有性能高、功能强的特点，但其价格昂贵，并且体积大，所以在一些不是很复杂的控制方面，如电动玩具、缤纷闪烁的霓虹灯和家用电器中完全可以采用价格低廉的单片机来进行控制。

### 1.1.2 单片机应用系统的结构与工作过程

#### 1. 结构

将 CPU、存储器和输入/输出接口等制作在一块集成电路中就构成了单片机，但单独一块单片机集成电路是无法工作的，必须给它加一些外围电路，构成单片机应用系统才可以工作。典型的单片机应用系统的结构如图 1-3 所示。从图 1-3 中可以看出，一个典型的单片机应用系统包括单片机、输入电路和输入部件、输出电路和输出部件。

#### 2. 工作过程

图 1-4 所示为 VCD 影碟机托盘进出单片机控制电路，下面以它为例来说明单片机应用系统的工作过程。

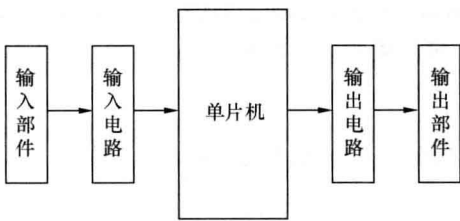


图 1-3 典型的单片机应用系统的结构

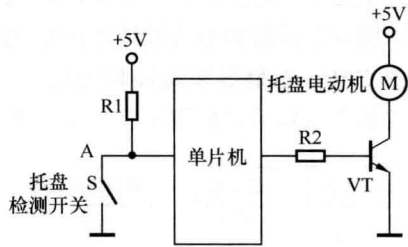


图 1-4 VCD 影碟机托盘进出单片机控制电路

当按“出盒”键后，影碟机的托盘被推出机器，在托盘上放好光盘，然后往机器内轻推托盘，托盘马上将托盘检测开关 S 压上闭合，在 A 点得到一个低电平，该电平送到单片机后，单片机马上输出控制信号（高电平），该信号通过 R2 送到驱动管 VT 的基极，VT 导通，有电流通过电动机，电动机运转将托盘收回到机器内；一旦托盘完全进入机器，与托盘联动的托盘检测开关 S 断开，A 点得到一个高电平，该电平送入单片机后，单片机马上输出控制信号（低电平），驱动管 VT 截止，电动机停转。

### 1.1.3 单片机的开发过程

单片机的开发主要指单片机应用系统的开发，包括硬件开发和软件开发。

硬件开发是指根据单片机要实现的控制功能开发出实际的电路，如设计图 1-4 所示的 VCD 影碟机托盘进出单片机控制电路就是硬件开发。

软件开发是指为单片机编写程序，使单片机在程序的控制下，接收输入端送入的信号并发出相应的控制信号，驱动硬件电路工作，从而实现相应的控制功能。如在图 1-4 所示的电路中，单片机要随时检测输入端有无信号输入，如果有信号输入，是高电平还是低电平，若是低电平输入应发出什么控制信号，若是高电平输入又应发出什么控制信号，这些都是由单片机内部的程序决定的。

单片机的开发一般按图 1-5 所示的流程来进行，单片机的详细开发过程将在第 3 章介绍。

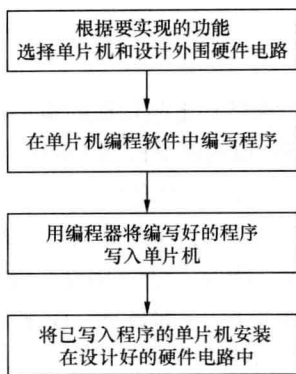


图 1-5 单片机开发流程

## 1.1.4 单片机的应用

单片机的应用非常广泛，已深入到工业、农业、商业、教育、国防及日常生活等各个领域。下面简单介绍一下单片机在其中一些领域的应用。

### 1. 单片机在家电方面的应用

单片机在家电方面的应用主要有：彩色电视机、影碟机内部的控制系统，数码相机、数码摄像机中的控制系统，中高档电冰箱、空调器、电风扇、洗衣机、加湿机和消毒柜中的控制系统，中高档微波炉、电磁灶和电饭煲中的控制系统等。

### 2. 单片机在通信方面的应用

单片机在通信方面的应用主要有：移动电话、传真机、调制解调器和程控交换机中的控制系统，智能电缆监控系统，智能线路运行控制系统，智能电缆故障检测仪等。

### 3. 单片机在商业方面的应用

单片机在商业方面的应用主要有：自动售货机、无人值守系统、防盗报警系统、灯光音响设备和 IC 卡等。

### 4. 单片机在工业方面的应用

单片机在工业方面的应用主要有：数控机床、数控加工中心、无人操作、机械手操作、工业过程控制、生产自动化、远程监控、设备管理、智能控制和智能仪表等。

### 5. 单片机在航空、航天和军事方面的应用

单片机在航空、航天和军事方面的应用主要有：航天测控系统、航天制导系统、卫星遥控遥测系统、载人航天系统、导弹制导系统和电子对抗系统等。

### 6. 单片机在汽车方面的应用

单片机在汽车方面的应用主要有：汽车娱乐系统、汽车防盗报警系统、汽车信息系统、汽车智能驾驶系统、汽车全球卫星定位导航系统、汽车智能化检验系统、汽车自动诊断系统和交通信息接收系统等。

## 1.2 单片机基础知识

### 1.2.1 单片机基础电路

单片机内部主要由数字电路组成。为了在分析单片机内部电路结构时更容易理解，这里简单介

绍一下单片机中常用的基础电路。

### 1. 与门

与门如图 1-6 所示。它是一个由二极管和电阻构成的电路，其中 A、B 为输入端，Y 为输出端，+5V 电压经 R1、R2 分压，在 E 点得到 3V 的电压。

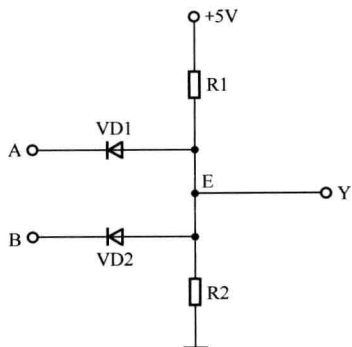


图 1-6 二极管与电阻构成的与门

Y 端输出低电平“0”。

当 A 端输入高电平（5V）、B 端输入低电平（0V）时，VD1 截止，VD2 导通，E 点电压为 0.7V（低电平），即当 A 端输入高电平“1”、B 端输入低电平“0”时，Y 端输出低电平“0”。

当 A、B 端同时输入高电平（5V）时，VD1、VD2 均不能导通，E 点电压为 3V（高电平），即当 A、B 两端都输入高电平“1”时，Y 端输出“1”。

由此可见，与门的特点是：只有输入端都输入高电平时，输出端才会输出高电平；只要有一个输入端输入低电平，输出端就会输出低电平。

#### (2) 真值表

真值表是列举电路的各种输入值和对应输出值的表格，它能使人们直观地看出电路的输入与输出之间的关系。表 1-1 是上述与门的真值表。

#### (3) 逻辑表达式

真值表虽然能直观描述电路的输入和输出之间的关系，但比较麻烦且不便记忆，为此可以用一个关系式来表示电路的输入与输出之间的关系，该关系式称为逻辑表达式。上述与门的逻辑表达式为：

$$Y = A \cdot B$$

式中：A、B 之间的“·”表示“与”，读作“A 与 B”（或“A 乘 B”）。

#### (4) 逻辑符号

图 1-6 所示的与门由 4 个元器件组成，在画图和分析时很不方便，为此可用一个简单的符号来表示整个与门，该符号称为逻辑符号。与门的逻辑符号如图 1-7 所示，其中旧符号是指早期采用的符号，常用符号是指有些国家采用的符号，新标准符号是指我国公布的最新的标准符号。

表 1-1 与门的真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

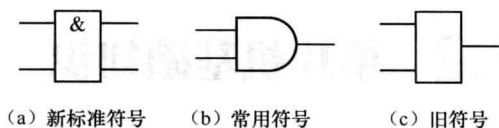


图 1-7 与门逻辑符号

## 2. 或门

(1) 逻辑符号

或门的逻辑符号如图 1-8 所示。

(2) 逻辑表达式

或门的逻辑表达式为：

$$Y=A+B$$

(3) 真值表

或门的真值表见表 1-2。

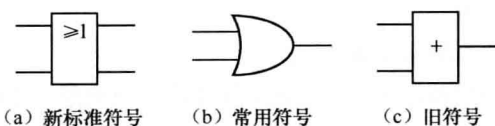


图 1-8 或门逻辑符号

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

由或门的真值表可以看出，或门的特点是：只要有一个输入端输入高电平，输出端就会输出高电平；只有输入端都为低电平时，输出端才输出低电平。

## 3. 非门

(1) 逻辑符号

非门的逻辑符号如图 1-9 所示。

(2) 逻辑表达式

非门的逻辑表达式为：

$$Y=\bar{A}$$

式中：“-”表示非（或相反）。

(3) 真值表

非门的真值表见表 1-3。

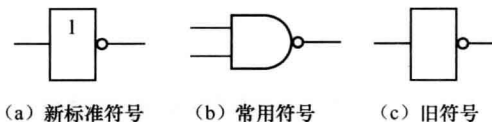


图 1-9 非门逻辑符号

输 入	输 出
A	Y
0	1
1	0

由非门的真值表可以看出，非门的特点是：输入状态与输出状态总是相反。

## 4. 与非门

与非门由一个与门和一个非门组成，其逻辑结构及逻辑符号如图 1-10 所示。

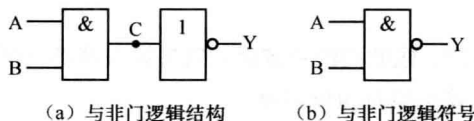


图 1-10 与非门的逻辑结构及逻辑符号

(1) 工作过程分析

与非门的工作过程比较简单，下面以图 1-10 (a) 来说明。

当 A 端输入“0”、B 端输入“1”时，与门的 C 端（输出端）会输出“0”，C 端的“0”送到非门的输入端，结果非门的 Y 端（输出端）输出“1”。

A、B 端的其他 3 种输入情况读者可以按上述方法分析，这里不再赘述。

(2) 逻辑表达式

与非门的逻辑表达式为：

$$Y = \overline{A \cdot B}$$

根据逻辑表达式很容易求出输入值和对应的输出值，例如当 A=0、B=1 时，Y=1。

(3) 真值表

与非门的真值表见表 1-4。

由与非门的真值表可以看出，与非门的特点是：只有输入端都为高电平时，输出端才输出低电平；只要有一个输入端为低电平，输出端就为高电平。

表 1-4 与非门的真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

### 5. 或非门

或非门由一个或门和一个非门组合而成，其逻辑结构及逻辑符号分别如图 1-11 (a) 和图 1-11 (b) 所示。

(1) 工作过程分析

或非门的工作过程比较简单，下面以图 1-11 (a) 来说明。

当 A 端输入“0”、B 端输入“1”时，或门的 C 端（输出端）会输出“1”，C 端的“1”送到非门的输入端，结果非门的 Y 端（输出端）输出“0”。

A、B 端的其他 3 种输入情况读者可以按上述方法分析，这里不再赘述。

(2) 逻辑表达式

或非门的逻辑表达式为：

$$Y = \overline{A+B}$$

例如当 A=0、B=1 时，Y=0。

(3) 真值表

或非门的真值表见表 1-5。

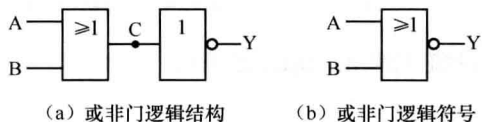


图 1-11 或非门的逻辑结构及逻辑符号

表 1-5 或非门的真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

由或非门的真值表可以看出，或非门的特点是：只有输入端都为低电平时，输出端才为高电平；只要输入端有一个为高电平，输出端就为低电平。

## 6. 三态门

### (1) 逻辑符号

三态门的逻辑符号如图 1-12 所示。

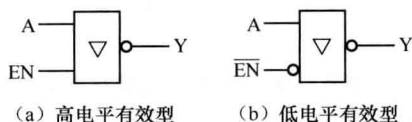


图 1-12 三态门逻辑符号

三态门有输入端、输出端和控制端三段，它的输出不但取决于输入，还与控制端有关。以图 1-12 (a) 所示的高电平有效型三态门为例，若控制端  $EN = 1$ ，输出端与输入端反相，即如果  $A = 1$  时，输出端  $Y = 0$ ；若  $EN = 0$ ，输入端与输出端之间相当于开路，三态门处于高阻状态（又称悬浮状态或禁止状态），输入信号无法通过三态门。

### (2) 三态门的应用

在单片机中三态门常用于数据传送电路，利用它不但可以进行单向数据传送，还能进行双向数据传送。用三态门构成的数据传送电路如图 1-13 所示。

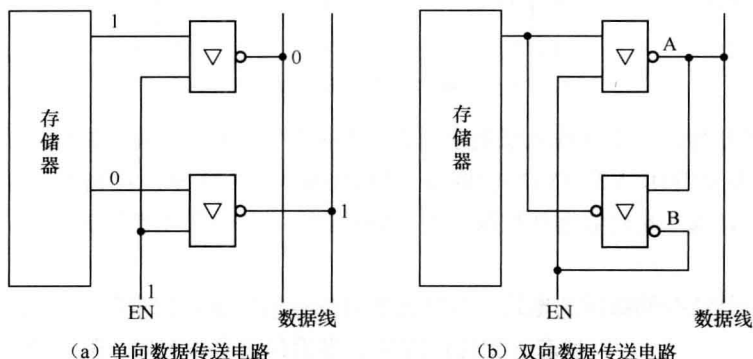


图 1-13 三态门数据传送电路

图 1-13 (a) 所示为三态门构成的单向数据传送电路。当控制端  $EN = 1$  时，两个三态门都导通，存储器输出的数据可以通过这两个三态门送到两根数据总线上。

图 1-13 (b) 所示为三态门构成的双向数据传送电路。当控制端  $EN = 1$  时，三态门 A 导通，三态门 B 处于禁止状态，存储器输出的数据可以通过三态门 A 送到数据总线上；当控制端  $EN = 0$  时，三态门 A 处于禁止状态，三态门 B 导通，数据总线上的数据可以通过三态门 B 送入存储器。

## 7. 寄存器

单片机内部有大量寄存器，寄存器是一种能够存储数据的电路，由触发器构成。

### (1) 触发器

触发器是一种具有记忆存储功能的电路，由门电路组成。常见的触发器包括：RS 触发器、D 触发器和 JK 触发器等，其中 D 触发器最为常用。D 触发器的逻辑符号如图 1-14 所示。

从图 1-14 中可以看出，D 触发器的端子包括：输入端 D、输出端 Q、反相输出端  $\bar{Q}$ 、时钟脉冲输入端 CLK、

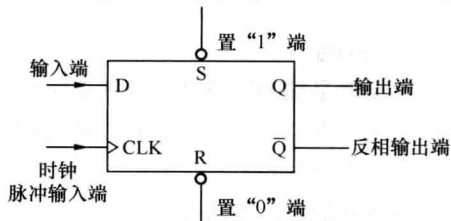


图 1-14 D 触发器逻辑符号



置“0”端R和置“1”端S。

数据存储过程：当D触发器的D端输入数据“1”时，数据并不能马上被存入触发器，只有CLK端时钟脉冲信号上升沿（即低电平转为高电平时）到来时，“1”才能被存入触发器，存入后Q端输出“1”， $\bar{Q}$ 端输出“0”。也就是说，只有时钟脉冲上升沿到来时，D触发器才能将输入端的数据存储起来，并从Q端输出。

D触发器的置“0”和置“1”：当置“0”端R为低电平时，触发器被置“0”，即Q端为“0”；当置“1”端S为低电平时，触发器被置“1”，即Q端为“1”。

## (2) 寄存器

寄存器是单片机内部的基本存储单元，由触发器构成，一个触发器就是1位寄存器。图1-15所示是一种由D触发器构成的4位寄存器。

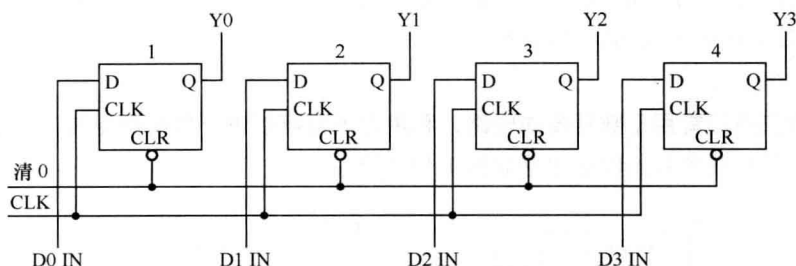


图 1-15 由 D 触发器构成的 4 位寄存器

在工作时，寄存器先让清 0 线为低电平，该低电平送到各触发器的 CLR 端（实际为 D 触发器的 R 端），将各触发器清 0， $Y_3Y_2Y_1Y_0=0000$ ；然后将数据送到各触发器输入端，当 CLK 端的时钟脉冲上升沿到来时，输入端的数据就被存入到各触发器中，并从输出端输出。

## 8. 锁存器

锁存器也是一种能存储数据的电路。其特点是当锁存信号没有到来时，输出端的状态随输入端状态的变化而变化；当锁存信号来到时，输入端的数据被锁存到输出端，即当输入端的信号再变化时输出端也不会发生变化。下面以图 1-16 为例来说明锁存器的工作原理。



图 1-16 锁存器示意图

当锁存器的控制端  $EN=1$  时，锁存器输出端 Y 与输入端 A 的状态保持一致，即 A 端数据变化时，Y 端数据也变化；当锁存器的控制端 EN 由“1”变为“0”时，输入端此刻的数据马上被锁存到输出端，在  $EN=0$  期间，输出端的数据始终保持不变，不会随输入端而变化；当 EN 又变为“1”时，即取消锁存，输出端又会随输入端的变化而变化。

## 1.2.2 数制与数制的转换

### 1. 数制

数制就是数的进位制。日常生活中经常会接触到 0、7、8、9、168、295 等这样的数字，它们的进位制为十进制。另外，还有二进制和十六进制等。

#### (1) 十进制数

十进制数有以下特点。

- ① 有 10 个不同的数码：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。任意一个十进制数均可以由这 10