



高等院校精品课程系列教材 ● 省级

JINGPIN  
KECHENG

# 单片机原理与应用

## —— 基于Proteus虚拟仿真技术

徐爱钧 徐 阳 编著

第②版



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等院校精品课程系列教材

# 单片机原理与应用

## ——基于 Proteus 虚拟仿真技术

第2版

徐爱钧 徐 阳 编著



NLIC2970927680



机械工业出版社

本书以 Proteus 虚拟仿真技术为基础, 阐述 8051 单片机原理与应用, 对 8051 单片机基本结构、中断系统、定时器、串行口等功能部件的工作原理进行了完整介绍。在介绍 8051 指令系统的基础上, 阐述了汇编语言和 Keil C51 高级语言程序设计方法。详细论述了系统扩展技术、模/数与数/模转换接口技术、键盘与显示器接口技术, 以实例方式介绍了在 Proteus 平台上进行应用系统虚拟仿真设计的方法。给出了大量在 Proteus 集成环境 ISIS 中绘制的电路原理图、汇编语言和 C 语言应用程序范例, 所有范例均在 Proteus 软件平台上调试通过, 可以直接运行。

本书可作为高等学校工业自动化、电子测量仪器、计算机应用等相关专业“单片机原理与应用”课程的教学用书, 也可供广大从事单片机应用系统开发的工程技术人员阅读。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用: 基于 Proteus 虚拟仿真技术/徐爱钧, 徐阳编著. —2 版.

—北京: 机械工业出版社, 2013.8

高等院校精品课程系列教材

ISBN 978-7-111-43271-5

I. ①单… II. ①徐… ②徐… 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 (2013) 第 156493 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 时 静

责任编辑: 时 静 叶安丽

责任印制: 李 洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2013 年 8 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·24.75 印张·608 千字

0001—3500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-43271-5

ISBN 978-7-89405-003-8 (光盘)

定价: 57.00 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页, 倒页, 脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

## 前言

单片机在一块芯片上同时集成了 CPU、ROM、RAM 以及多种外围功能接口,具有体积小、价格低、功能强、可靠性高、使用方便灵活等特点。以单片机为核心设计各种智能化电子设备,周期短,成本低,易于更新换代,维修方便,已成为电子设计中最为普遍的应用手段。目前各种单片机开发工具层出不穷,英国 Labcenter Electronic 公司推出的 Proteus 软件是一款极好的单片机开发平台,它以其特有的虚拟仿真技术很好地解决了单片机及其外围电路的设计和协同仿真问题,可以在没有单片机实际硬件的条件下,利用 PC 进行虚拟仿真实现单片机系统的软、硬件协同设计。采用 Proteus 虚拟仿真技术,可以在原理图设计阶段对系统性能进行评估,验证所设计电路是否达到技术指标要求,使设计过程变得简单容易。

随着单片机应用技术的普及,希望学习单片机的人员越来越多。在全国高等工科院校中,已普遍开设“单片机原理与应用”的相关课程。由于单片机本身的特点,传统教学方法很难在教学中体现单片机的实际运行过程,尤其是一些涉及硬件的操作,如定时器/计数器控制、外围功能接口设计等,仅在课堂上空对空的讲述很难让学生理解,教学效果不好。Proteus 软件的出现带来了契机,利用虚拟仿真技术,可以在教学中通过 PC 现场绘制原理图,并直接在原理图上编写调试应用程序,配合各种虚拟仪表来展现整个单片机系统的运行过程,很好地解决了长期以来困扰单片机教学中软件和硬件无法很好结合的难题。

Proteus 软件已有 20 多年的历史,涵盖了 PIC、AVR、MCS8051、68HC11、ARM 等微处理器模型,以及多种常用电子元器件,包括 74 系列、CMOS4000 系列集成电路、A/D 和 D/A 转换器、键盘、LCD 显示器、LED 显示器,还提供示波器、逻辑分析仪、通信终端、电压/电流表、I<sup>2</sup>C/SPI 终端等各种虚拟仪表,这些都可以直接用于虚拟仿真,极大地提高了应用系统设计效率。在单片机教学中采用 Proteus 软件,使单片机的学习过程变得直观形象。基于原理图的虚拟模型仿真,可实现源码级的程序调试,还能看到程序运行后的输入输出效果。在 PC 上修改原理电路图要比在实验箱上修改硬件电路容易得多,成功进行虚拟仿真并获得期望结果之后,再制作实际硬件进行在线调试,可以获得事半功倍的效果。学生普遍反映,利用 Proteus 软件平台学习单片机知识,比以往单纯学习书本知识更易于接受,有效地提高了教学质量。

本书在构思及选材上,注意尽量符合单片机应用系统的发展要求,突出了系统设计方法随时代不断发展进步的特点,对虚拟仿真技术、C 语言编程技术等作了详尽阐述,并给出了在 Proteus 软件平台上予以实现的设计实例,自 2010 年出版以来得到读者广泛好评。这次再版进行了修订,增加了一章专门讨论单片机系统抗干扰技术的内容,以利于读者在学习利用 Proteus 虚拟仿真平台进行单片机系统设计的同时,对实际应用环境中遇到的干扰问题有解决的方法和途径。全书共分为 11 章,第 1 章阐述了 8051 单片机的基本组成、存储器结构及 CPU 时序。第 2 章阐述了 Proteus 虚拟仿真技术,介绍了在 ISIS 集成环境中绘制原理电路图、汇编语言源代码调试以及 Keil 环境联机仿真的方法。第 3 章阐述了 8051 单片机指令系统与汇编语言程序设计。第 4 章阐述了 Keil C51 应用程序设计,介绍了 C51 的基本语句、数据类型、



Keil C51 对 ANSI C 的扩展以及库函数等。第 5 章阐述了单片机中断系统与定时器/计数器,介绍了它们的基本结构和应用方法。第 6 章阐述了单片机串行口通信技术,介绍了单片机之间以及与 PC 之间进行通信的原理和方法。第 7 章阐述了单片机系统扩展,介绍了存储器扩展、I/O 端口扩展以及 I<sup>2</sup>C 总线扩展原理和方法。第 8 章阐述了数/模与模/数转换接口技术,介绍了 DAC0832、ADC0809 以及串行转换芯片与单片机的接口方法。第 9 章阐述了键盘与显示器接口技术,介绍了矩阵键盘、数码管、液晶显示器等与单片机的接口方法。第 10 章给出了 4 个完整的单片机应用系统虚拟仿真设计实例。第 11 章讨论了单片机系统的抗干扰技术,介绍了各种干扰源以及软、硬件抗干扰措施。本书各章都给出了大量应用实例,同时采用汇编语言和 C 语言应用编程,所有实例均在 Proteus 平台上仿真通过,并随本书配套光盘提供给读者,对加深理解单片机基本原理以及提高应用设计能力具有极大帮助。

徐阳参加了本书的修订工作,并撰写了第 2 章、第 3 章、第 10 章和第 11 章,其余各章由徐爱钧撰写。本书在编写过程中得到了广州风标信息技术有限公司(<http://www.windway.cn>)匡载华总经理的大力支持和热情帮助,还得到了朱镕涛、杨青胜、彭秀华、裴顺、杨晶晶、马雪、黄鹏、刘永伟、郑鹏鹏、刘冰、贺媛、许雪怡、方小玲等的协助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有不妥之处,恳请广大读者批评指正,读者可通过电子邮件: [ajxu@tom.com](mailto:ajxu@tom.com)、[ajxu41@sohu.com](mailto:ajxu41@sohu.com) 直接与作者联系。Proteus 的 Demo 软件可到官方网站 <http://www.labcenter.com> 下载,或者与国内代理商广州风标信息技术有限公司联系购买正版软件。

徐爱钧 徐 阳 于长江大学

2013 年 2 月

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 8051 单片机基本结构 ..... 1

### 1.1 8051 单片机的特点与基本 结构 ..... 1

### 1.2 8051 单片机的存储器结构 ..... 5

### 1.3 CPU 时序 ..... 8

### 1.4 复位信号与复位电路 ..... 10

### 1.5 并行 I/O 端口结构 ..... 11

### 复习思考题 ..... 13

## 第 2 章 Proteus 虚拟仿真技术 ..... 15

### 2.1 集成环境 ISIS ..... 15

### 2.2 绘制原理图 ..... 18

### 2.3 创建汇编语言源代码仿真 文件 ..... 21

### 2.4 在原理图中进行源代码仿真 调试 ..... 22

### 2.5 原理图与 Keil 环境联机仿真 调试 ..... 25

### 复习思考题 ..... 31

## 第 3 章 指令系统与汇编语言程序 设计 ..... 32

### 3.1 指令助记符和字节数 ..... 32

### 3.2 寻址方式 ..... 33

#### 3.2.1 寄存器寻址 ..... 34

#### 3.2.2 直接寻址 ..... 34

#### 3.2.3 立即寻址 ..... 34

#### 3.2.4 寄存器间接寻址 ..... 35

#### 3.2.5 变址寻址 ..... 35

#### 3.2.6 相对寻址 ..... 36

#### 3.2.7 位寻址 ..... 36

### 3.3 指令分类详解 ..... 37

#### 3.3.1 算术运算指令 ..... 37

#### 3.3.2 逻辑运算指令 ..... 39

#### 3.3.3 数据传送指令 ..... 40

#### 3.3.4 控制转移指令 ..... 42

#### 3.3.5 位操作指令 ..... 44

### 3.4 汇编语言程序格式与伪指令 ..... 44

### 3.5 应用程序设计 ..... 46

### 3.6 定点数运算子程序 ..... 48

### 复习思考题 ..... 58

## 第 4 章 Keil C51 应用程序设计 ..... 61

### 4.1 Keil C51 程序设计的基本 语法 ..... 61

#### 4.1.1 Keil C51 程序的一般结构 ..... 61

#### 4.1.2 数据类型 ..... 62

#### 4.1.3 常量、变量及其存储模式 ..... 63

#### 4.1.4 运算符与表达式 ..... 64

### 4.2 C51 程序的基本语句 ..... 68

#### 4.2.1 表达式语句 ..... 68

#### 4.2.2 复合语句 ..... 68

#### 4.2.3 条件语句 ..... 69

#### 4.2.4 开关语句 ..... 69

#### 4.2.5 循环语句 ..... 70

#### 4.2.6 goto、break、continue 语句 ..... 70

#### 4.2.7 返回语句 ..... 71

### 4.3 函数 ..... 71

#### 4.3.1 函数的定义与调用 ..... 71

#### 4.3.2 中断服务函数与寄存器组 定义 ..... 72

### 4.4 Keil C51 编译器对 ANSI C 的 扩展 ..... 73

#### 4.4.1 存储器类型与编译模式 ..... 73

#### 4.4.2 关于 bit、sbit、sfr、sfr16 数据 类型 ..... 75

#### 4.4.3 一般指针与基于存储器的指针 及其转换 ..... 77

#### 4.4.4 C51 编译器对 ANSI C 函数

|                              |     |                                |     |
|------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 定义的扩展 .....                  | 79  | 7.1 程序存储器扩展 .....              | 157 |
| 4.5 C51 编译器的数据调用协议 ..        | 82  | 7.2 数据存储器扩展 .....              | 158 |
| 4.6 绝对地址访问 .....             | 83  | 7.3 并行 I/O 端口扩展 .....          | 161 |
| 4.6.1 采用扩展关键字 “_at_” 或指针     |     | 7.4 利用 I <sup>2</sup> C 总线进行系统 |     |
| 定义变量的绝对地址 .....              | 83  | 扩展 .....                       | 174 |
| 4.6.2 采用预定义宏指定变量的绝对          |     | 7.5 8051 单片机的节电工作              |     |
| 地址 .....                     | 84  | 方式 .....                       | 188 |
| 4.7 Keil C51 库函数 .....       | 85  | 7.5.1 空闲和掉电工作方式 .....          | 189 |
| 4.7.1 本征库函数 .....            | 85  | 7.5.2 节电方式的应用 .....            | 190 |
| 4.7.2 字符判断转换库函数 .....        | 86  | 复习思考题 .....                    | 191 |
| 4.7.3 输入/输出库函数 .....         | 86  | <b>第 8 章 模/数与数/模转换接口</b>       |     |
| 4.7.4 字符串处理库函数 .....         | 87  | 技术 .....                       | 193 |
| 4.7.5 类型转换及内存分配库函数 .....     | 88  | 8.1 转换器的主要技术指标 .....           | 193 |
| 4.7.6 数学计算库函数 .....          | 89  | 8.2 数/模转换器接口技术 .....           | 194 |
| 复习思考题 .....                  | 90  | 8.2.1 无内部锁存器的 DAC 接口           |     |
| <b>第 5 章 中断系统与定时器/计数器</b> .. | 91  | 方法 .....                       | 195 |
| 5.1 中断的概念 .....              | 91  | 8.2.2 DAC0832 与 8051 单片机的接口    |     |
| 5.2 中断系统结构与中断控制 .....        | 92  | 方法 .....                       | 196 |
| 5.3 中断响应 .....               | 95  | 8.2.3 DAC1208 与 8051 单片机的接口    |     |
| 5.4 中断系统应用举例 .....           | 97  | 方法 .....                       | 203 |
| 5.4.1 中断源扩展 .....            | 97  | 8.2.4 串行 DAC 与 8051 单片机的接口     |     |
| 5.4.2 中断嵌套 .....             | 100 | 方法 .....                       | 205 |
| 5.5 定时器/计数器的工作方式与            |     | 8.2.5 利用 DAC 接口实现波形            |     |
| 控制 .....                     | 103 | 发生器 .....                      | 212 |
| 5.6 定时器/计数器应用举例 .....        | 106 | 8.3 模/数转换器接口技术 .....           | 220 |
| 5.6.1 初值和最大定时时间计算 .....      | 107 | 8.3.1 比较式 ADC 0809 与 8051 单片机的 |     |
| 5.6.2 定时器方式应用 .....          | 107 | 接口方法 .....                     | 221 |
| 5.6.3 计数器方式应用 .....          | 115 | 8.3.2 积分式 ADC7135 与 8051 单片机的  |     |
| 5.7 利用定时器产生音乐 .....          | 118 | 接口方法 .....                     | 228 |
| 复习思考题 .....                  | 125 | 8.3.3 串行 ADC 与 8051 单片机的接口     |     |
| <b>第 6 章 串行口通信技术</b> .....   | 126 | 方法 .....                       | 237 |
| 6.1 串行通信方式 .....             | 126 | 复习思考题 .....                    | 242 |
| 6.2 串行口的工作方式与控制 .....        | 127 | <b>第 9 章 键盘与显示器接口技术</b> .....  | 244 |
| 6.3 串行口应用举例 .....            | 131 | 9.1 LED 显示器接口技术 .....          | 244 |
| 6.3.1 串口/并口转换 .....          | 131 | 9.1.1 7 段 LED 数码显示器 .....      | 244 |
| 6.3.2 单片机之间的通信 .....         | 134 | 9.1.2 串行接口 8 位共阴极 LED 驱动器      |     |
| 6.3.3 单片机与 PC 之间的通信 .....    | 149 | MAX7219 .....                  | 250 |
| 复习思考题 .....                  | 156 | 9.2 键盘接口技术 .....               | 258 |
| <b>第 7 章 单片机系统扩展</b> .....   | 157 | 9.2.1 编码键盘接口技术 .....           | 259 |

|                                      |            |                                      |            |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| 9.2.2 非编码键盘接口技术 .....                | 261        | 10.4.1 功能要求 .....                    | 343        |
| 9.2.3 键值分析 .....                     | 269        | 10.4.2 硬件电路设计 .....                  | 343        |
| 9.3 8279 可编程键盘/显示器芯片接口<br>技术 .....   | 274        | 10.4.3 软件程序设计 .....                  | 346        |
| 9.3.1 8279 的工作原理 .....               | 274        | 复习思考题 .....                          | 357        |
| 9.3.2 8279 的数据输入、显示输出及命令<br>格式 ..... | 277        | <b>第 11 章 单片机系统的抗干扰<br/>技术 .....</b> | <b>358</b> |
| 9.3.3 8279 的接口方法 .....               | 282        | 11.1 干扰源 .....                       | 358        |
| 9.4 液晶显示器接口技术 .....                  | 288        | 11.1.1 串模干扰、共模干扰及电源<br>干扰 .....      | 358        |
| 9.4.1 LCD 工作原理和驱动方式 .....            | 288        | 11.1.2 数字电路的干扰 .....                 | 360        |
| 9.4.2 点阵字符型液晶显示模块接口<br>技术 .....      | 290        | 11.2 硬件抗干扰措施 .....                   | 361        |
| 9.4.3 点阵图型液晶显示模块接口<br>技术 .....       | 306        | 11.2.1 串模干扰的抑制 .....                 | 361        |
| 复习思考题 .....                          | 317        | 11.2.2 共模干扰的抑制 .....                 | 363        |
| <b>第 10 章 虚拟仿真设计实例 .....</b>         | <b>319</b> | 11.2.3 输入/输出通道干扰的抑制 .....            | 364        |
| 10.1 数字多用仪表设计 .....                  | 319        | 11.2.4 电源与电网干扰的抑制 .....              | 367        |
| 10.1.1 功能要求 .....                    | 319        | 11.2.5 地线系统干扰的抑制 .....               | 369        |
| 10.1.2 硬件电路设计 .....                  | 319        | 11.3 软件抗干扰措施 .....                   | 369        |
| 10.1.3 软件程序设计 .....                  | 322        | 11.3.1 数字量输入/输出中的软件抗<br>干扰 .....     | 370        |
| 10.2 红外遥控系统设计 .....                  | 331        | 11.3.2 程序执行过程中的软件抗<br>干扰 .....       | 371        |
| 10.2.1 功能要求 .....                    | 331        | 11.3.3 系统的恢复 .....                   | 375        |
| 10.2.2 硬件电路设计 .....                  | 331        | 复习思考题 .....                          | 377        |
| 10.2.3 软件程序设计 .....                  | 332        | <b>附录 .....</b>                      | <b>378</b> |
| 10.3 简易电子琴设计 .....                   | 338        | 附录 A 8051 指令表 .....                  | 378        |
| 10.3.1 功能要求 .....                    | 338        | 附录 B Proteus 中的常用<br>元器件 .....       | 383        |
| 10.3.2 硬件电路设计 .....                  | 338        | <b>参考文献 .....</b>                    | <b>384</b> |
| 10.3.3 软件程序设计 .....                  | 338        |                                      |            |
| 10.4 带农历的电子万年历设计 .....               | 343        |                                      |            |



# 第 1 章 8051 单片机基本结构

## 1.1 8051 单片机的特点与基本结构

8051 系列单片机是在美国 Intel 公司于 20 世纪 80 年代推出的 MCS-51 系列高性能 8 位单片机的基础上发展而来的,它在单一芯片内集成了并行 I/O 口、异步串行口、16 位定时器/计数器、中断系统、片内 RAM 和片内 ROM 以及其他一些功能部件。现在 8051 系列单片机已经有了很大的发展,除了 Intel 公司之外,Philips、Siemens、AMD、Fujitsu、OKI、Atmel、SST、Winbond 等公司都推出了以 8051 为核心的新一代 8 位单片机,这种新型单片机的集成度更高,在片内集成了更多的功能部件,如 A/D、PWM、PCA、WDT 以及高速 I/O 口等。不同公司推出的 8051 具有各自的功能特点,但它们的内核都是以 Intel 公司的 MCS-51 为基础的,并且指令系统兼容,从而给用户带来了广阔的选择范围,同时又可以采用相同的开发工具。

8051 系列单片机可分为无片内 ROM 型和带片内 ROM 型两种。对于无片内 ROM 型的芯片,必须外接 EPROM 才能应用(典型芯片为 8031)。带片内 ROM 型的芯片又分为片内 EPROM 型(典型芯片为 87C51)、片内 FLASH 型(典型芯片为 89C51)、片内掩膜 ROM 型(典型芯片为 8051),一些公司还推出了一种带有片内一次性可编程 ROM (One Time Programming, OTP) 的芯片(典型芯片为 97C51)。一般来说,片内 EPROM 型或片内 FLASH 型芯片适合于开发样机和需要现场进一步完善的场合,当样机开发基本成功后,可以采用 OTP 型芯片进行小批量试生产,完全成功后再采用带掩膜 ROM 的 8051 进行大批量生产。

8051 系列单片机在存储器的配置上采用所谓“哈佛”结构,即在物理上具有独立的程序存储器和数据存储器,而在逻辑上则采用相同的地址空间,利用不同的指令和寻址方式进行访问,可分别寻址 64KB 的程序存储器空间和 64KB 的数据存储器空间,充分满足工业测量控制的需要。8051 系列单片机共有 111 条指令,其中包括乘除指令和位操作指令。中断源有 5 个(8032/8052 为 6 个),分为 2 个优先级,每个中断源的优先级是可编程的,在 8051 系列单片机的内部 RAM 区中开辟了 4 个通用工作寄存区,共有 32 个通用寄存器,可以适用于多种中断或子程序嵌套的情况。另外还在内部 RAM 中开辟了 1 个位寻址区,利用位操作指令可以对位寻址区中每个单元的每一个位直接进行操作,特别适合于解决各种开关控制和逻辑问题。ROM 型 8051 在单芯片应用方式下其 4 个并行 I/O 口(P0~P3)都可以作为输入输出之用,在扩展应用方式下则需要采用 P0 和 P2 口作为片外扩展地址总线之用。8051 单片机内部集成了 2 个(8032/8052 为 3 个)16 位定时器/计数器,可以十分方便地进行定时和计数操作,还集成了 1 个全双工的异步串行接口,可同时发送和接收数据,为单片机之间的相互通信或与上位机通信带来极大的方便。

8051 单片机的基本组成如图 1-1 所示,一个单片机芯片内包括中央处理器 CPU,它是单片机的核心,用于产生各种控制信号,并完成对数据的算术逻辑运算和传送。内部数据存储

器 RAM，用以存放可以读写的数据。内部程序存储器 ROM，用以存放程序指令或某些常数表格。4 个 8 位的并行 I/O 接口 P0、P1、P2 和 P3，每个口都可以用作输入或者输出。2 个（8051）或 3 个（8052）定时器/计数器，用来作外部事件计数器，也可用来定时。内部中断系统具有 5 个中断源，2 个优先级的嵌套中断结构，可实现两级中断服务程序嵌套，每一个中断源都可用软件程序规定为高优先级中断或低优先级中断。一个串行接口电路，可用于异步接收发送器。内部时钟电路，但晶体和微调电容需要外接，振荡频率可以高达 40MHz。以上各部分通过内部总线相连接。

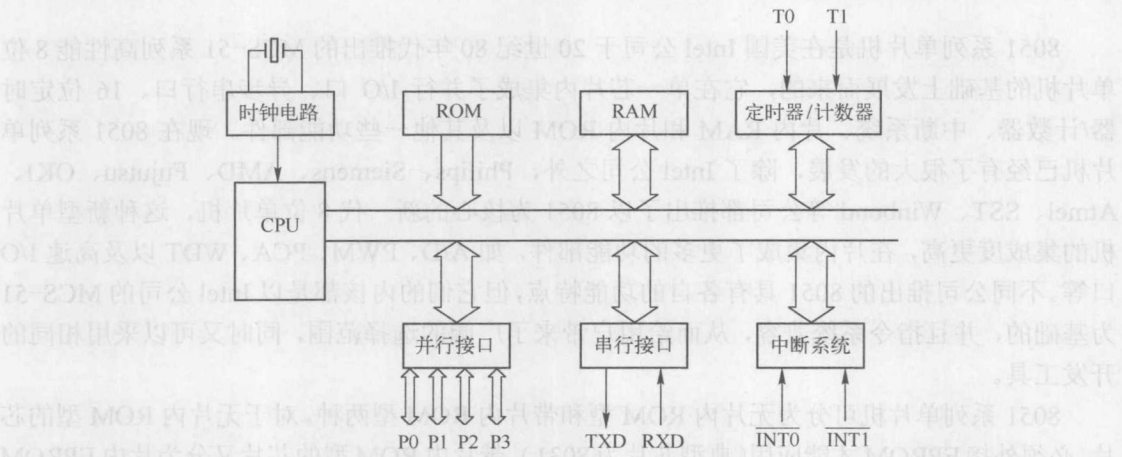


图 1-1 8051 单片机的基本组成

在很多情况下，单片机还要和外部设备或外部存储器相连接，连接方式采用三总线（地址、数据、控制）方式，但在 8051 单片机中，没有单独的地址总线 and 数据总线，而是与通用并行 I/O 口中的 P0 口及 P2 口共用的，P0 口分时作为低 8 位地址线和 8 位数据线，P2 口则作为高 8 位地址线用，可形成 16 条地址线和 8 条数据线。一定要建立一个明确的概念，单片机在进行外部扩展时的地址线 and 数据线都不是独立的总线，而是与并行 I/O 口公用的，这是 8051 单片机结构上的一个特点。

图 1-2 所示为 8051 单片机的内部结构，其中，中央处理器 CPU 包含运算器和控制器两大部分，运算器完成各种算术和逻辑运算，控制器在单片机内部协调各功能部件之间的数据传送和运算操作，并对单片机外部发出若干控制信息。

1. 运算器

运算器以算术逻辑单元 ALU 为核心，并由累加器 ACC、暂存寄存器 TMP 和程序状态字寄存器 PSW 等所组成。ALU 主要用于完成二进制数据的算术和逻辑运算，并通过对运算结果的判断，影响程序状态字寄存器 PSW 中有关位的状态。累加器 ACC 是一个 8 位的寄存器（在指令中一般写为 A），它通过暂存寄存器 TMP 与 ALU 相连，ACC 的工作最为繁忙，因为在进行算术逻辑运算时，ALU 的一个输入多为 ACC 的输出，而大多数运算结果也需要送到 ACC 中，在作乘除运算时，B 寄存器用来存放一个操作数，它也用来存放乘除运算后的一部分结果，若不作乘除操作时，B 寄存器可用作通用寄存器。程序状态字寄存器 PSW 也是一个 8 位寄存器，用于存放运算结果的一些特征，格式如下：

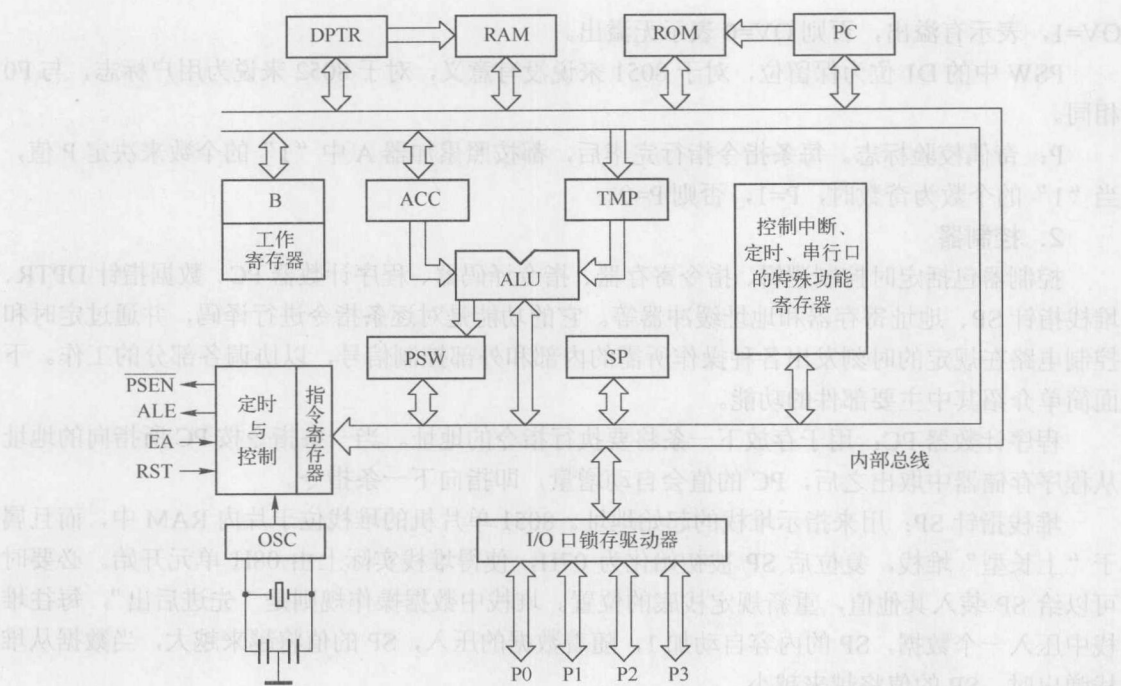


图 1-2 8051 单片机的内部结构

|    |    |    |     |     |    |    |    |
|----|----|----|-----|-----|----|----|----|
| D7 | D6 | D5 | D4  | D3  | D2 | D1 | D0 |
| CY | AC | F0 | RS1 | RS0 | OV | \  | P  |

其中各位的意义如下：

CY：进位标志。在进行加法或减法运算时，若运算结果的最高位有进位或借位，CY=1，否则 CY=0，在执行位操作指令时，CY 作为位累加器。

AC：辅助进位标志。在进行加法或减法运算时，若低半字节向高半字节有进位或借位，AC=1，否则 AC=0，AC 还作为 BCD 码运算调整时的判别位。

F0：用户标志。用户可根据自己的需要对 F0 赋以一定的含义，例如可以用软件来测试 F0 的状态以控制程序的流向。

RS1 和 RS0：工作寄存器组选择。可以用软件来置位或复位。它们与工作寄存器组的关系见表 1-1。

表 1-1 RS1，RS0 与工作寄存器组的关系

| RS1 | RS0 | 工作寄存器组 | 片内 RAM 地址 |
|-----|-----|--------|-----------|
| 0   | 0   | 第 0 组  | 00H~07H   |
| 0   | 1   | 第 1 组  | 08H~0FH   |
| 1   | 0   | 第 2 组  | 10H~17H   |
| 1   | 1   | 第 3 组  | 18H~1FH   |

OV：溢出标志。当两个带符号的单字节数进行运算，结果超出-128~+127 的范围时，

OV=1, 表示有溢出, 否则 OV=0 表示无溢出。

PSW 中的 D1 位为保留位, 对于 8051 来说没有意义, 对于 8052 来说为用户标志, 与 F0 相同。

P: 奇偶校验标志。每条指令执行完毕后, 都按照累加器 A 中“1”的个数来决定 P 值, 当“1”的个数为奇数时, P=1, 否则 P=0。

## 2. 控制器

控制器包括定时控制逻辑、指令寄存器、指令译码器、程序计数器 PC、数据指针 DPTR、堆栈指针 SP、地址寄存器和地址缓冲器等。它的功能是对逐条指令进行译码, 并通过定时和控制电路在规定的时刻发出各种操作所需的内部和外部控制信号, 以协调各部分的工作。下面简单介绍其中主要部件的功能。

程序计数器 PC: 用于存放下一条将要执行指令的地址。当一条指令按 PC 所指向的地址从程序存储器中取出之后, PC 的值会自动增量, 即指向下一条指令。

堆栈指针 SP: 用来指示堆栈的起始地址。8051 单片机的堆栈位于片内 RAM 中, 而且属于“上长型”堆栈, 复位后 SP 被初始化为 07H, 使得堆栈实际上由 08H 单元开始。必要时可以给 SP 装入其他值, 重新规定栈底的位置。堆栈中数据操作规则是“先进后出”, 每往堆栈中压入一个数据, SP 的内容自动加 1, 随着数据的压入, SP 的值将越来越大, 当数据从堆栈弹出时, SP 的值将越来越小。

指令译码器: 当指令送入指令译码器后, 由译码器对该指令进行译码, 即把指令转变成所需要的电平信号, CPU 根据译码器输出的电平信号使定时控制电路产生执行该指令所需要的各种控制信号。

数据指针寄存器 DPTR: 它是一个 16 位寄存器, 由高位字节 DPH 和低位字节 DPL 组成, 用来存放 16 位数据存储器的地址, 以便对片外 64KB 的数据 RAM 区进行读写操作。

采用 40 引脚双列直插封装 (DIP) 的 8051 单片机引脚分配如图 1-3 所示。

各引脚功能如下:

V<sub>SS</sub> (20): 接地。

V<sub>CC</sub> (40): 接+5V 电源。

XTAL1 (19) 和 XTAL2 (18): 在使用单片机内部振荡电路时, 这两个端子用来外接石英晶体和微调电容 (图 1-4a)。在使用外部时钟时, 则用来输入时钟脉冲, 但对 NMOS 和 CMOS 芯片接法不同, 图 1-4b 所示为 NMOS 芯片 8051 外接时钟, 图 1-4c 所示为 CMOS 芯片 80C51 外接时钟。

RST/V<sub>PD</sub> (9): RST 是复位信号输入端。当此输入端保持两个机器周期 (24 个振荡周期) 的高电平, 就可以完成复位操作。第二功能是 V<sub>PD</sub>, 即备用电源输入端, 当主电源发生故障, 降低到规定的低电平以下时, V<sub>PD</sub> 将为片内 RAM 提供备用电源, 以保证存储在 RAM 中的信

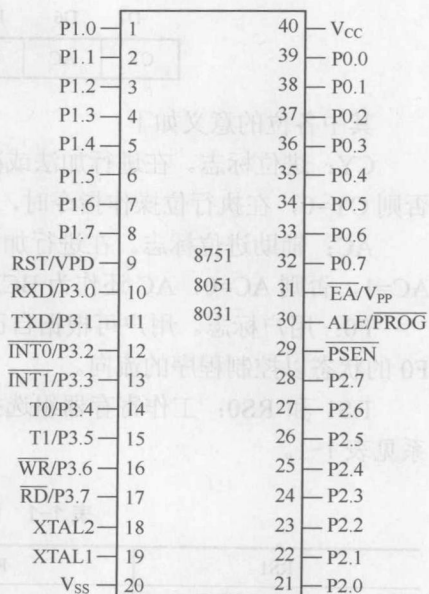


图 1-3 8051 系列单片机引脚分配图



息不丢失。

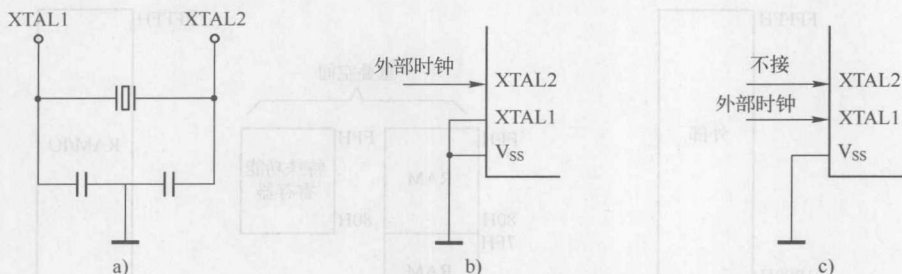


图 1-4 80C51 单片机的时钟接法

a) 外接石英晶体 b) NMOS 芯片 8051 外接时钟 c) CMOS 芯片 80C51 外接时钟

**ALE/PROG (30):** ALE 是地址锁存允许信号，在访问外部存储器时，用来锁存由 P0 口送出的低 8 位地址信号。在不访问外部存储器时，ALE 以振荡频率 1/6 的固定速率输出脉冲信号。因此它可用作对外输出的时钟。但要注意，只要外接有存储器，则 ALE 端输出的就不再是连续的周期脉冲信号了。第二功能 **PROG** 是用于对 8751 片内 EPROM 编程的脉冲输入端。

**PSEN (29):** 它是外部程序存储器 ROM 的读选通信号。在执行访问外部 ROM 指令的时候，会自动产生 **PSEN** 信号，而在访问外部数据存储器 RAM 或访问内部 ROM 时，不产生 **PSEN** 信号。

**EA/V<sub>PP</sub> (31),** 访问外部存储器的控制信号。当  $\overline{\text{EA}}$  为高电平时，访问内部程序存储器，但当程序计数器 PC 的值超过 0FFFH (对 8051) 或 1FFFH (对 8052) 时，将自动转向执行外部程序存储器内的程序。当  $\overline{\text{EA}}$  保持低电平时，则只访问外部程序存储器，不管是否有内部程序存储器。第二功能 **V<sub>PP</sub>** 为对 8751 片内 EPROM 的 21V 编程电源输入。

**P0.0~P0.7 (39~32):** 双向 I/O 口 P0。第二功能是在访问外部存储器时，可分时用作低 8 位地址和 8 位数据线，在对 8751 编程和校验时，用于数据的输入和输出。P0 口能以吸收电流的方式驱动 8 个 LS 型 TTL 负载。

**P1.0~P1.7 (1~8):** 双向 I/O 口 P1。P1 口能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LS 型 TTL 负载。在对 EPROM 编程和程序验证时，它接收低 8 位地址。在 8052 单片机中，P1.0 还用作定时器 2 的计数触发输入端 T2，P1.1 还用作定时器 2 的外部控制端 T2EX。

**P2.0~P2.7 (21~28):** 双向 I/O 口 P2。P2 口可以驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LS 型 TTL 负载。第二功能是在访问外部存储器时，输出高 8 位地址。在对 EPROM 编程和校验时，它接收高位地址。

**P3.0~P3.7 (10~17):** 双向 I/O 口 P3，P3 口能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LS 型 TTL 负载。P3 口的每条引脚都有各自的第二功能。

## 1.2 8051 单片机的存储器结构

图 1-5 所示为 8051 系列单片机的存储器结构图。在物理上它有 4 个存储器空间：片内程序存储器、片外程序存储器、片内数据存储器 and 片外数据存储器。在访问这几个不同的存储

器时应采用不同形式的指令。

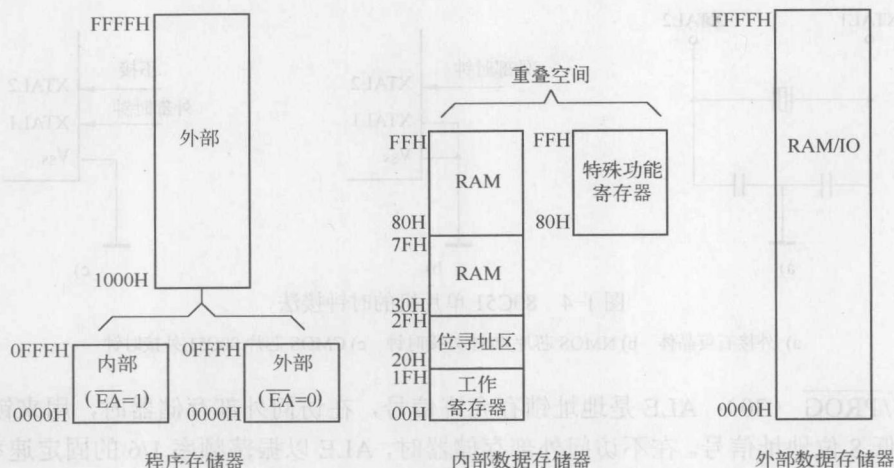


图 1-5 8051 系列单片机的存储器结构

8051 系列单片机的程序存储器 ROM 地址空间为 64KB，其中带片内 ROM 型单片机具有 4KB 的片内 ROM。CPU 的控制器专门提供一个控制信号  $\overline{EA}$  来区分片内 ROM 和片外 ROM 的公用地址区：当  $\overline{EA}$  接高电平时，单片机从片内 ROM 的 4KB 字节存储器区取指令，当指令地址超过 0FFFH 后，就自动地转向片外 ROM 取指令；当  $\overline{EA}$  接低电平时，所有的取指操作均对片外程序存储器进行，这时片外程序存储器的地址范围为 0000H~0FFFFH。目前一些新型的 8051 单片机已经可以将 64KB 的 ROM 存储器全部集成到芯片内部，使用时将  $\overline{EA}$  接高电平，可以减少外部辐射干扰。对于无 ROM 型的单片机， $\overline{EA}$  端必须接地。程序存储器中有些单元是保留给系统使用的：0000~0002H 单元是所有执行程序的入口地址，复位后 CPU 总是从 0000H 单元开始执行指令；0003~002AH 单元均匀地分为五段，用于 5 个中断服务程序的入口。

8051 系列单片机的片外数据存储器 RAM 也有 64KB 的寻址区，在地址上是与 ROM 重叠的。8051 单片机通过不同的信号来选通 ROM 或 RAM。当从外部 ROM 中取指令时，用选通信号  $\overline{PSEN}$ ，而从外部 RAM 中读写数据时则采用读写信号  $\overline{RD}$  或  $\overline{WR}$  来选通，因此不会因地址重叠而发生混乱。在某些特殊应用场合，如单片机的开发系统等，需要执行存放在数据存储器 RAM 内的程序，这时可采用将  $\overline{PSEN}$  和  $\overline{RD}$  信号作逻辑与的方法将 8051 单片机的外部程序存储器和数据存储器合并为 1 个 64KB 的存储器空间， $\overline{PSEN}$  和  $\overline{RD}$  信号逻辑与的结果产生一个低电平有效的读选通信号，用于合并的存储器空间寻址。

8051 系列单片机的片内数据存储器 RAM 有 256 个字节，其中 00H~7FH 地址空间是直接寻址区，该区域内从 00H~1FH 地址为工作寄存器区，安排了 4 组工作寄存器，每组占用 8 个地址单元，记为 R0~R7，在某一时刻，CPU 只能使用其中任意一组工作寄存器，究竟选择哪一组工作寄存器由程序状态字寄存器 PSW 中 RS0 和 RS1 的状态决定，见表 1-1。片内 RAM 的 20H~2FH 地址单元为位寻址区，共 16 个字节，每个字节的每一位都规定了位地址，该区域内每个地址单元除了可以进行字节操作之外，还可进行位操作，图 1-6 所示为片内 RAM

的位地址分配。

片内 RAM 的 80H~FFH 地址空间是特殊功能寄存器 (SFR) 区, 对于 51 子系列只在该区域内安排了 21 个特殊功能寄存器, 对于 52 子系列则在该区域内安排了 26 个特殊功能寄存器, 同时扩展了 128 个字节的间接寻址片内 RAM, 地址也为 80~FFH, 与 SFR 区地址重叠, 但在使用时, 可通过指令加以区别。表 1-2 所列 8051 单片机特殊功能寄存器地址及符号表, 表中带\*号的为可位寻址的特殊功能寄存器。

| RAM<br>地址 | MSB       |    |    |    |    |    |    |    | LSB |
|-----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 7FH       |           |    |    |    |    |    |    |    | 127 |
| 2FH       | 7F        | 7E | 7D | 7C | 7B | 7A | 79 | 78 | 47  |
| 2EH       | 77        | 76 | 75 | 74 | 73 | 72 | 71 | 70 | 46  |
| 2DH       | 6F        | 6E | 6D | 6C | 6B | 6A | 69 | 68 | 45  |
| 2CH       | 67        | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 44  |
| 2BH       | 5F        | 5E | 5D | 5C | 5B | 5A | 59 | 58 | 43  |
| 2AH       | 57        | 56 | 55 | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 | 42  |
| 29H       | 4F        | 4E | 4D | 4C | 4B | 4A | 49 | 48 | 41  |
| 28H       | 47        | 46 | 45 | 44 | 43 | 42 | 41 | 40 | 40  |
| 27H       | 3F        | 3E | 3D | 3C | 3B | 3A | 39 | 38 | 39  |
| 26H       | 37        | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 38  |
| 25H       | 2F        | 2E | 2D | 2C | 2B | 2A | 29 | 28 | 37  |
| 24H       | 27        | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 36  |
| 23H       | 1F        | 1E | 1D | 1C | 1B | 1A | 19 | 18 | 35  |
| 22H       | 17        | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 34  |
| 21H       | 0F        | 0E | 0D | 0C | 0B | 0A | 09 | 08 | 33  |
| 20H       | 07        | 06 | 05 | 04 | 03 | 02 | 01 | 00 | 32  |
| 1FH       | 工作寄存器 3 区 |    |    |    |    |    |    |    | 31  |
| 18H       |           |    |    |    |    |    |    |    | 24  |
| 17H       | 工作寄存器 2 区 |    |    |    |    |    |    |    | 23  |
| 10H       |           |    |    |    |    |    |    |    | 16  |
| 0FH       | 工作寄存器 1 区 |    |    |    |    |    |    |    | 15  |
| 08H       |           |    |    |    |    |    |    |    | 8   |
| 07H       | 工作寄存器 0 区 |    |    |    |    |    |    |    | 7   |
| 00H       |           |    |    |    |    |    |    |    | 0   |

图 1-6 8051 单片机片内 RAM 位地址

内部 RAM 中的各个单元, 都可以通过其地址来寻找, 而对于工作寄存器, 一般使用 R0~R7 表示, 对于特殊功能寄存器, 也是直接用其符号名较为方便。需要指出的是 8051 单片机的堆栈必须使用片内 RAM, 而片内 RAM 空间十分有限, 因此要仔细安排堆栈指针 SP 的值, 以保证不会发生堆栈溢出而导致系统崩溃。

表 1-2 8051 单片机特殊功能寄存器地址及符号表

| 特殊功能寄存器符号 | 片内 RAM 地址 | 说 明           |
|-----------|-----------|---------------|
| *ACC      | E0H       | 累加器           |
| *B        | F0H       | 乘法寄存器         |
| *PSW      | D0H       | 程序状态字         |
| SP        | 81H       | 堆栈指针          |
| DPL       | 82H       | 数据指针（低 8 位）   |
| DPH       | 83H       | 数据指针（高 8 位）   |
| *IE       | A8H       | 中断允许寄存器       |
| *IP       | B8H       | 中断优先级寄存器      |
| *P0       | 80H       | P0 口锁存器       |
| *P1       | 90H       | P1 口锁存器       |
| *P2       | A0H       | P2 口锁存器       |
| *P3       | B0H       | P3 口锁存器       |
| PCON      | 87H       | 电源控制及波特率选择寄存器 |
| *SCON     | 98H       | 串行口控制寄存器      |
| SBUF      | 99H       | 串行数据缓冲器       |
| *TCON     | 88H       | 定时器控制寄存器      |
| TMOD      | 89H       | 定时器方式选择寄存器    |
| TL0       | 8AH       | 定时器 0 低 8 位   |
| TH0       | 8BH       | 定时器 0 高 8 位   |
| TL1       | 8CH       | 定时器 1 低 8 位   |
| TH1       | 8DH       | 定时器 1 高 8 位   |

1.3 CPU 时序

8051 单片机内部有一个高增益反向放大器，用于构成振荡器，反向放大器的输入端为 XTAL1，输出端为 XTAL2，分别是 8051 的 19 和 18 脚。在 XTAL1 和 XTAL2 之间接一个石英晶体及两个电容，就可以构成稳定的自激振荡器，当振荡在 6MHz~12MHz 时通常取 30pF 左右的电容进行微调，如图 1-7 所示。晶体振荡器的振荡信号经过片内时钟发生器进行 2 分频，向 CPU 提供两相时钟信号 P1 和 P2。时钟信号的周期称为状态时间 S，它是振荡周期的 2 倍，在每个状态的前半周期 P1 信号有效，在每个状态的后半周期 P2 信号有效，CPU 就以这两相时钟信号为基本节拍指挥单片机各部分协调工作。

CPU 执行一条指令所需要的时间是以机器周期为单位的，8051 单片机的一个机器周期包括 12 个振荡周期，分为 6 个 S 状态：S1~S6，每个状态又分为 2 拍，即前面介绍的 P1 和 P2 信号，因此一个机器周期中的 12 个振荡周期可表示为 S1P1，S1P2，S2P1，…S6P1，S6P2。当采用 12MHz 的晶体振荡器时，一个机器周期为 1μs。CPU 执行一条指令通常需要 1~4 个机器周期，指令的执行速度与其需要的机器周期数直接有关，所需机器周期数越少速度越快，8051 单片机只有乘、除 2 条指令需要 4 个机器周期，其余均为单周期或双周期指令。



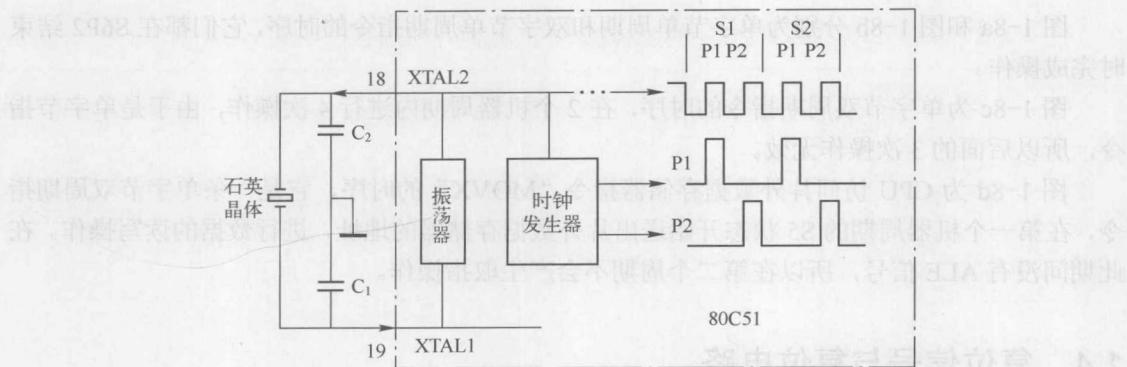


图 1-7 8051 的片内振荡器及时钟发生电路

图 1-8 所示为几种典型的取指令和执行时序，从图中可以看到，在每个机器周期之内，地址锁存信号 ALE 两次有效，第一次出现在 S1P2 和 S2P1 期间，第二次出现在 S4P2 和 S5P1 期间。单周期指令的执行从 S1P2 开始，此时操作码被锁存在指令寄存器内。若是双字节指令，则在同一机器周期的 S4 状态读第 2 个字节。若是单字节指令，在 S4 状态仍进行读，但操作无效，且程序计数器 PC 的值不加 1。

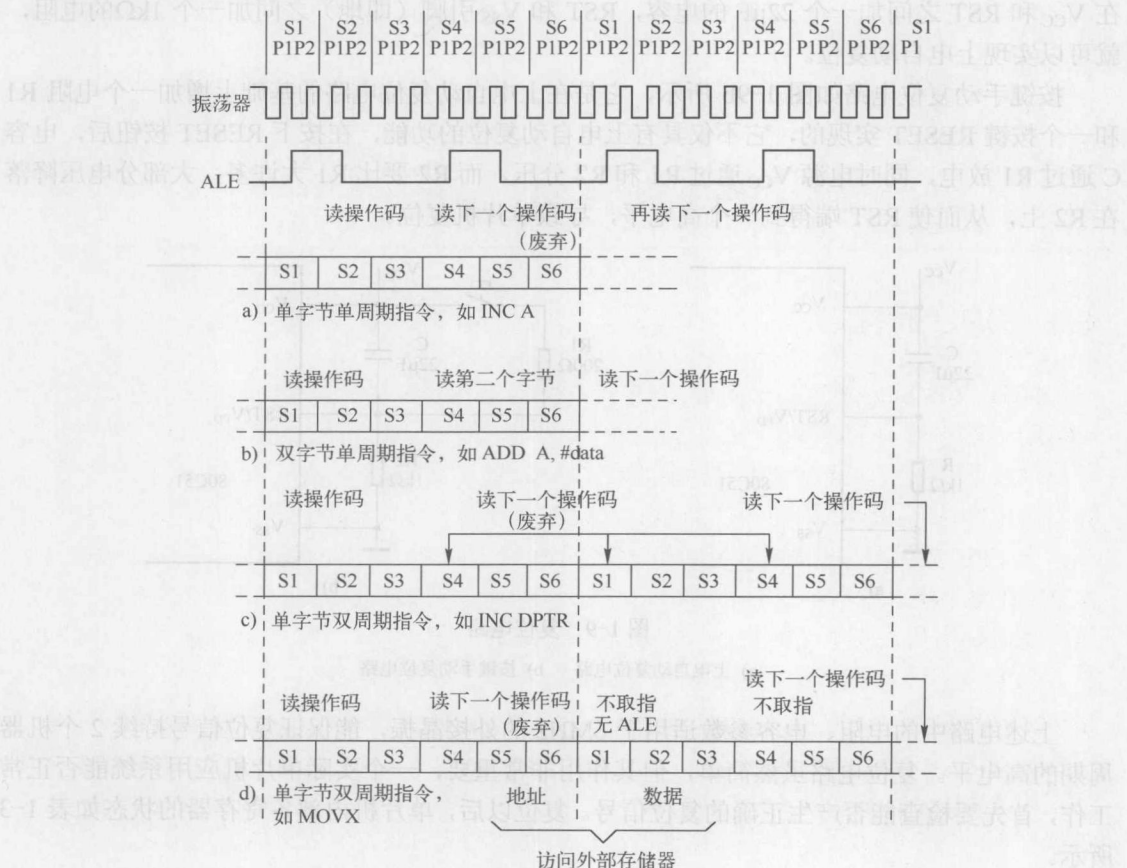


图 1-8 8051 单片机的取指和执行周期时序