

手把手教你学系列

跟我学单片机

GENWOXUE DANPIANJI

余晓峰 编著

- > 内容全面
- > 实例丰富
- > 以实践为主线
- > 实用性强



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

手把手教你学系列

跟我学 单片机

GENWOXUE DANPIANJI

余晓峰
编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

单片机是一门应用技术,很多教材就单片机论单片机,因此显得枯燥乏味,需要花费大量时间去学习,学完教材后对于应用单片机依然无从下手。只有将单片机放在应用领域的大环境中去学习,才能提升学习兴趣,又能做到学以致用。本书以AT89C51单片机为主线,秉承快乐学习的理念,采用“边学一边练一边玩”的体系结构,从简单的应用开始,引领单片机初学者边玩边学单片机,逐渐步入单片机的应用殿堂。

本书既适合单片机初学者学习时使用,也适合对单片机的应用感兴趣的工程技术人员参考使用,特别适合渴望在短期内掌握单片机及应用技术的读者。

图书在版编目(CIP)数据

跟我学单片机/余晓峰编著. —北京:中国电力出版社, 2015.8

(手把手教你学系列)

ISBN 978-7-5123-7757-8

I. ①跟… II. ①余… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 100848 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 8 月第一版 2015 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 384 千字

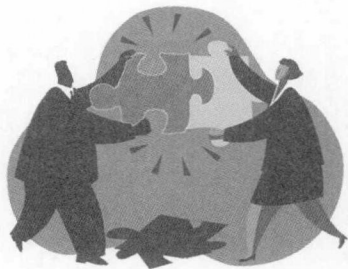
印数 0001—3000 册 定价 39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

从事单片机技术教学 20 余年，经常有学生问我，学习单片机技术是不是有捷径可循，遗憾的是我只能去鼓励他们。其实，捷径只是少走弯路，天下没有免费的午餐，事业的成功、智慧的积累，都需要血汗的付出和不断的磨炼。没有地基的空中楼阁难以矗立晴空，世上根本就没有一蹴而就的事。不论是学习单片机还是学习其他知识，首要的是学习目的要明确，制订好学习规划，循序渐进，正所谓欲速则不达。但这并不是说学习单片机没有方法可循，要掌握单片机技术的学习方法，先要了解单片机技术的特点。单片机技术是一门应用技术，学习单片机最终目的是构造以单片机为核心的电子产品，将知识转化为生产力。学习单片机技术要从芯片到系统循序渐进地去学习，独立地学习单片机，只能停留在书本上，毫无作用。单片机技术是软、硬结合的技术，硬件电路是基础，软件是灵魂。要构建单片机应用系统，要求读者既具备一定的电子技术方面的知识，也要具备 C 语言程序设计知识。

单片机是一块功能强大的半导体电路芯片，统一管理着形形色色的输入设备和输出设备，并有序地在这些设备中传递、交换数据或信号。如果你不能实现单片机与这些设备间的互连，甚至你不知道为 LED 灯配置多大阻值的限流电阻，建议你先补充一下电子技术方面的知识。如果你不能编写程序控制这些设备进行数据的传递，建议你多看看例程。

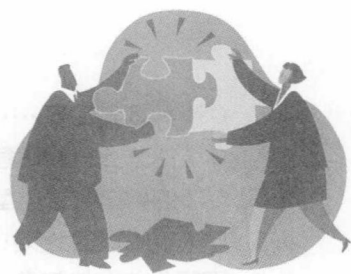
学习单片机技术，既要动脑也要动手，既要看书又要实践，如果你对单片机有兴趣，那么这本书将是乐于帮助你的助手，陪同你边玩边学单片机。

本书共分 10 章，从芯片到系统应用，逐步展现单片机丰富的内部世界以及单片机应用系统。前三章介绍单片机的基础知识以及玩转单片机的二个软件 PROTEUS/ μ Vision。初步认识单片机并使单片机运转起来，从单片的引脚开始逐步进入单片机的内部世界。第 4~6 章介绍单片机汇编语言编程和 C 语言编程的基础知识以及单片机内部三大功能模块：中断、定时/计数器和串口的工作原理。第 7~9 章介绍单片机应用系统接口互连技术。包括并行总线接口技术和串行总线接口技术。既含有接口芯片也含有接口程序，这部分是单片机应用系统硬件设计的关键内容。第 10 章以丰富的实例引导读者学玩单片机，感受学习单片机的乐趣。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，请广大读者批评指正。

编者

2015 年 8 月



目 录

前言

第1章 初步认识单片机	1
1.1 怎样拥有自己的单片机系统	1
1.2 让单片机动起来	4
1.3 PROTEUS 软件初步	8
1.4 编写单片机应用程序	16
1.5 Keil μ Vision4 软件	18
1.6 单片机应用产品的 PROTEUS 开发步骤	27
1.7 主流单片机简介	27
第2章 跟我学单片机基础知识	29
2.1 89C51 的存储器结构	31
2.2 专用功能(特殊功能)寄存器区	37
2.3 CPU 结构	39
2.4 4 个并行 I/O 口	42
第3章 跟我学 89C51 的指令系统	45
3.1 89C51 指令系统概述	45
3.2 89C51 指令分类介绍	50
3.3 89C51 指令纵览	50
第4章 跟我学 89C51 编程技术	73
4.1 汇编程序设计的基本方法	73
4.2 三种基本结构的程序设计	75
4.3 子程序设计	78
4.4 输入输出程序设计	85
第5章 跟我学单片机片内功能模块	97
5.1 89C51 单片机的中断系统	97
5.2 89C51 单片机定时/计数器	107
5.3 89C51 单片机串行通信口	116
第6章 跟我学单片机 C 语言程序设计	131
6.1 编程语言 C51 简介	131
6.2 C51 语言程序基础	133

6.3	C51 的基本运算	139
6.4	C51 的分支与循环程序结构	141
6.5	C51 的构造数据类型	148
6.6	C51 中函数的分类	151
6.7	宏定义与文件包含	156
第 7 章	跟我学单片机并行总线扩展设计	158
7.1	并行总线结构	158
7.2	扩展连接时的地址空间分配	159
7.3	程序存储器的扩展	166
7.4	静态数据存储器的扩展	169
7.5	综合扩展的硬件接口电路	172
7.6	89C51 扩展 I/O 接口的设计	173
7.7	89C51 串行口扩展并行 I/O 口	176
7.8	可编程多功能 I/O 口扩展设计	179
7.9	82C55 的工作方式及初始命令	182
第 8 章	跟我学单片机串行总线扩展设计	189
8.1	I ² C 串行总线的组成及工作原理	189
8.2	I ² C 总线的数据传送协议	190
8.3	89C51 扩展 I ² C 总线器件接口设计	192
8.4	AT24C02 串行 E ² PROM 芯片	198
8.5	单总线接口简介	198
8.6	SPI 总线接口简介	199
第 9 章	跟我学单片机 ADC 和 DAC 接口设计	201
9.1	89C51 与 ADC 的接口	201
9.2	89C51 与 DAC 的接口	207
第 10 章	跟我学玩单片机	213
10.1	玩转单片机 I/O 口	213
10.2	玩转单片机外部中断	218
10.3	玩转单片机定时/计数器	221
10.4	玩转单片机串行通信口	222
10.5	单片机应用系统的设计	227



第 1 章

初步认识单片机

许多单片机初学者翻开教材后,面对一大堆的概念,一张 16 开纸大小的单片机内部结构图,显得一脸茫然,望而却步。如果读者有过学开车的经历,应该有这样的切身体会:“车是开出来的,而不是学出来的”;同样,单片机也是“玩”出来的,而不是“学”出来的!边玩边学单片机是学习单片机的最好途径。学开车必须有车可开,我们可以选择学 C 照、B 照或 A 照,去某个驾校学习;同样,学单片机必须要有单片机可玩,本书选择了单片机入门级芯片 89C51 进行介绍。

1.1 怎样拥有自己的单片机系统

1.1.1 建立自己的学习环境

拥有自己的单片机系统才具备了学习条件,下面有三种方法可以建立自己的学习环境。

1. 在面包板或万能板上构建自己的系统

首先我们要购买一些电子元器件和一些连接线,还得把这些器件按照电路的工作原理连接起来,同时还要学会使用仪器设备对电路进行检测,验证电路的正确性。使用面包板时需插接好元器件和连线,防止接触不良,同时要注意面包板上的哪些线孔是连通的,哪些线孔是相互绝缘的。在面包板上插接芯片和连接电路的示意图如图 1-1 所示。万能板实际上是单层印制电路板,它的一面是元件层,另一面是焊接层,所以,使用万能板时还要学会焊接电路,在万能板上搭建电路的示意图如图 1-2 所示。

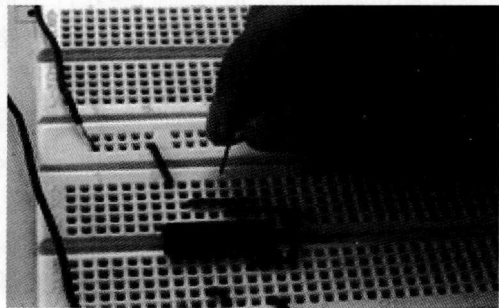


图 1-1 在面包板上搭建电路、插接芯片和连线

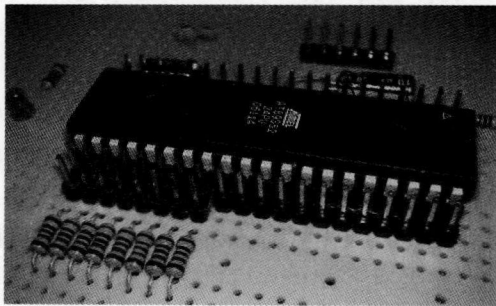


图 1-2 在万能板上搭建电路、焊接芯片、元件和连线

虽然采用这种方法学习单片机比较辛苦,但却是提高动手能力的最佳方法。

2. 买一块配置较全的单片机学习板

如果读者有较好的电子线路基础,不愿花过多的精力在电路的搭建上,想更快捷地学会单片机,购买一块配置较全的单片机学习板是一个不错的选择。学习板上配置有单片机和一些典型的应用模块,仅需少量连线就可以构建各种不同的应用系统。当然我们也要使用仪器设备对电路进行检测。89C51 单片机学习板的基本组成如图 1-3 所示。学习板上可能有很多还不熟悉的元件,后续学习过程中我们会逐一介绍。

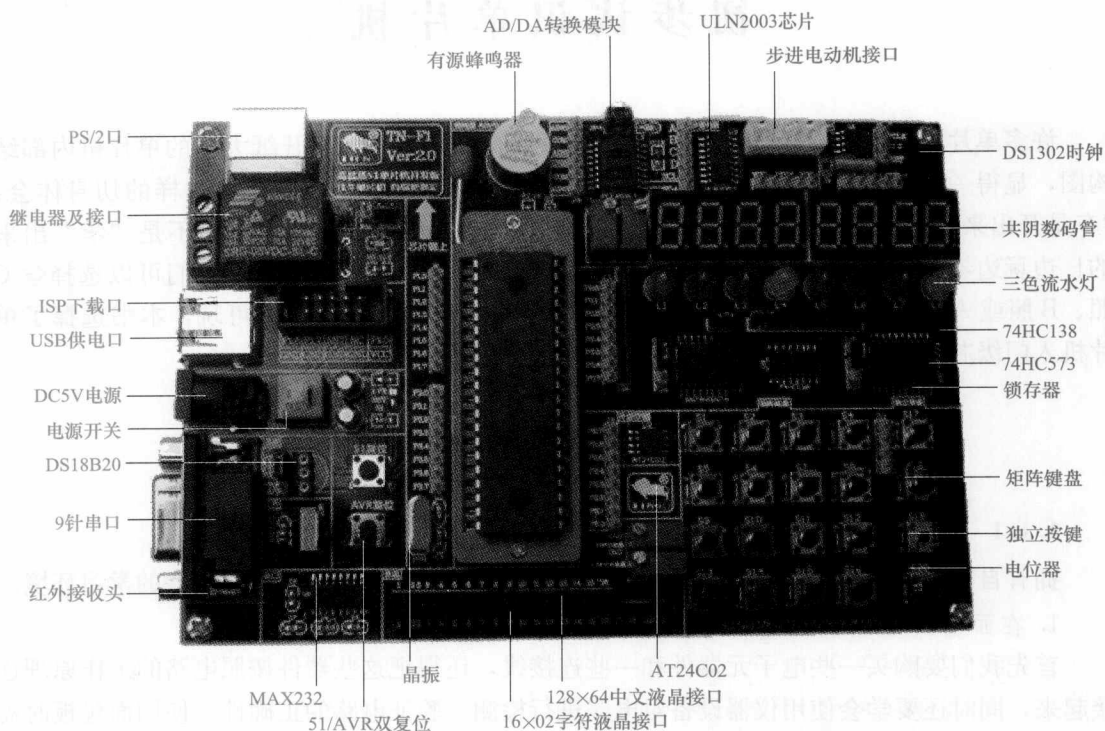


图 1-3 单片机学习印制电路板

3. 利用单片机的虚拟仿真平台构建虚拟的单片机系统

目前普遍使用的单片机仿真平台是 PROTEUS 软件。它是一个集模拟电路、数字电路、模/数混合电路以及多种微控制器系统为一体的系统设计和仿真平台,是目前同类软件中最先进、最完整的电子类仿真平台之一。它真正实现了在计算机上完成从原理图的设计、电路的分析与仿真、单片机代码的调试与仿真、系统测试,一直到功能验证等非常完善的功能,可以在相当的程度上达到实物演示实验难以达到的效果。PROTEUS 元件库中包含了大量的电子器件,只要能够完成电路图的绘制,就能搭建单片机应用系统,用户可以使用虚拟仪器对电路进行测试。如果不想有过多的花费,又想快速学习单片机,这应该是首选的方法。当然,这种方法需要有一台电脑,并在电脑上安装好 PROTEUS 软件,PROTEUS 的虚拟元件库中会有多款单片机供用户选用,用户可以配置和拥有各种单片机应用系统。在后续课程的学习中,我们将使用虚拟仿真平台来玩转单片机。

1.1.2 体验 PROTEUS

PROTEUS 的强大功能只能在应用中来感受。我们先打开 PROTEUS 中的一个应用例

程, 观察 PROTEUS 中实时交互仿真的效果, 并从中感受一下单片机的魅力。单击 “ISIS7” 快捷方式按钮, 运行 PROTEUS ISIS 7 Professional, 出现 ISIS 的窗口界面后, 选择命令 “FILE” | “OPEN” …, 在弹出的对话框中双击要打开的文件夹 8051 Calculator, 然后双击要打开的文件夹 VSM for 8051, 直到找到 ISIS 设计文件 (* DSN), 这里只有一个文件 8051.CALC 可供选择, 双击打开它, 在 PROTEUS 主窗口中我们可以看到一个计算器电路, 如图 1-4 所示。这是一个在 PROTEUS 平台上使用单片机设计的电子计算器。用户通过操作键盘可以使用计算器进行加、减、乘、除等运算, 运算的结果将显示在液晶显示器 LCD 上。

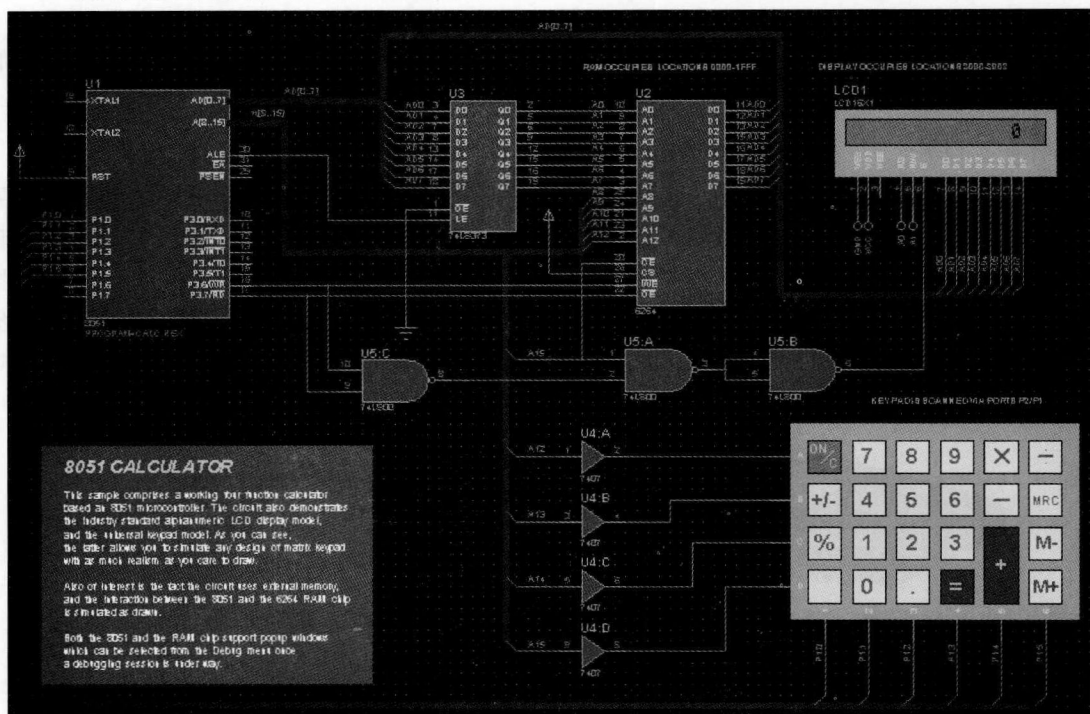


图 1-4 PROTEUS 平台设计的一个计算器电路

例如, 单击仿真按钮  启动单片机运行后, 液晶显示器上显示初始值 “0”, 等待用户输入。依次单击键盘上的按键, 输入 1234×1000 , 则会在液晶显示器上看到实时运算的显示结果如图 1-5 所示。该电路中, 用户通过键盘向单片机输入数据和运算的命令 (实例中

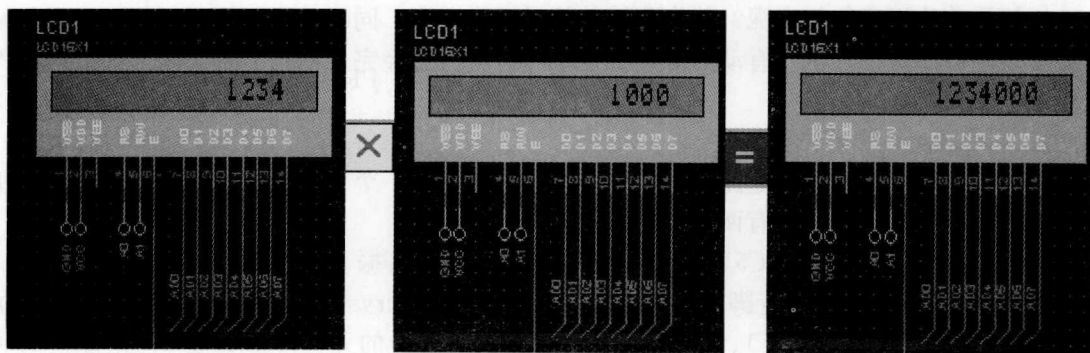


图 1-5 计算器电路的实时交互仿真结果

做乘法操作), 单片机对输入数据进行运算后将结果送至液晶显示器显示输出。事实上, 这是一个很简单的系统。在电路设计中只要把键盘和液晶显示器与单片机进行正确的连接, 然后编写键盘输入的程序、单片机的算术运算程序和液晶显示器的显示输出程序, 并将这些程序放到(下载)单片机的程序存储器中就可以仿真运行了。当然, 这些程序必须是正确的。

1.2 让单片机动起来

要让单片机动起来, 首先我们就要构建一个最简单的单片机系统, 让单片机具备运行的条件。

1.2.1 构建一个单片机最简系统

要构建一个单片机最简系统, 就要对单片机有一个初步的了解。认识任何物理器件总是从器件的外形开始的, 因此我们先看看单片机长什么样子。如图 1-6 所示的三张图片正是我们要学习的 89C51 单片机, 从外形上看, 它有长条形和方形, 我们把单片机的外形叫作封装形式, 从形式上看单片机就是一块半导体芯片。单片机芯片上的众多引脚是单片机的触角(I/O 口)的延伸, 只要能正确使用这些引脚连接外围设备或元器件, 就可以构成单片机应用系统, 启动单片机运行, 实现输入和输出信息的功能。

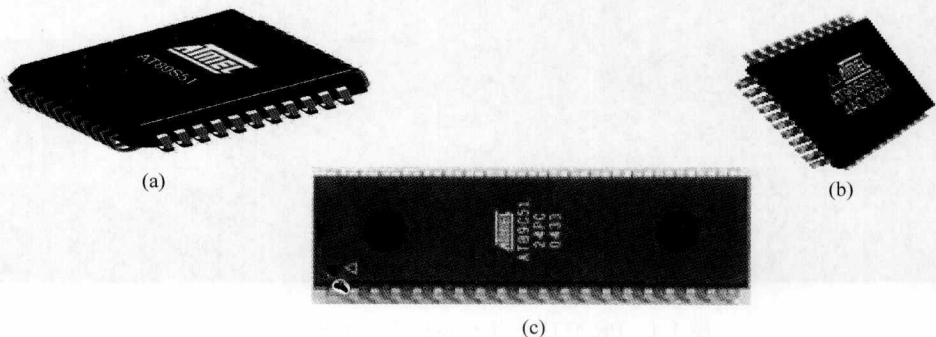


图 1-6 单片机典型封装形式

(a) PLCC 封装; (b) TQFP 封装; (c) DIP 封装

如何使单片机运行起来呢? 首先要给单片机提供电源, 同时单片机的运行还必须具备两个前提条件: 一是单片机要有动力源, 二是单片机自身已经完成初始准备工作。这两个条件由两个电路来保证。

1. 单片机动力源的产生

单片机的动力源由时钟电路提供, 时钟电路所产生的一个个连续的脉冲信号驱动单片机的各部件按顺序工作。我们有两种产生时钟信号的方式。

(1) 内部时钟方式。89C51 单片机的内部有一个片内振荡器电路, 但仍需在 XTAL1 (19 管脚) 和 XTAL2 (18 管脚) 之间连接一个晶振 Y1 (crystal, 石英晶体振荡器), 并加上容量为 20~40pF 的电容器 C1、C2 组成时钟电路。所选择的元件外形如图 1-7 所示。时钟电路图如图 1-8 所示。时钟电路的振荡频率取决于晶振的固有振荡频率, 这个频率会印在晶

体振荡器的外壳上。一般情况下，我们可以选择 1.2~12MHz 的晶振。单片机的这种使用内部振荡电路、外接晶振等反馈元件配合产生时钟信号的方法称为内部时钟方式。我们可以使用示波器从单片机的 XTAL1（19 管脚）观察到时钟信号，如图 1-8 所示。

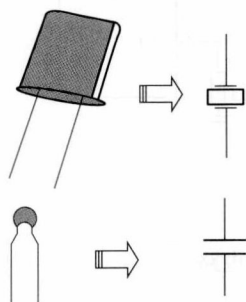


图 1-7 内部时钟电路元件

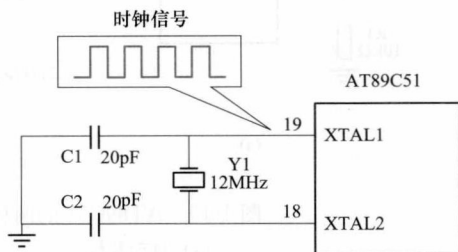


图 1-8 AT89C51 内部时钟电路

(2) 外部时钟方式。单片机还可以工作在外部时钟方式下。这时，将通过外部振荡电路产生的方波信号从单片机的 XTAL1（19 管脚）输入，使 XTAL2（18 管脚）悬空，由方波信号的频率决定单片机的工作频率，如图 1-9 所示。显然，使用内部时钟方式时，不需要另外设计振荡电路，且系统结构简单，这就是单片机系统中大多使用内部时钟信号的原因。

2. 单片机复位电路

我们将单片机完成初始准备工作的过程称之为“复位”。单片机复位需要有一个信号施加到单片机的复位引脚（RST）上，AT89C51 单片机的 RST 端（9 管脚）是复位端，RST 是单词“reset”的缩写。当向 RST 端输入一个短暂的高电平时，单片机就会进行复位，完成启动的初始准备工作。

最简单的复位电路是上电复位电路，即

在 RST 端与电源端之间连接一个 $10\mu\text{F}$ 左右的电解电容，RST 端经过一个 $10\text{k}\Omega$ 左右的电阻接地。单片机上电瞬间，电容 $C3$ 的正极电压瞬间变为 +5V， $C3$ 对于这个瞬间的电压突变相当于短路（隔直通交），因此相当于 +5V（高电平）直接加到了单片机的 RST 端上。正是这个加在 RST 端的瞬间高电平使单片机复位。很快地，电容 $C3$ 充满电，在电路中相当于断路，于是 RST 端的电平由高转低，单片机随即开始执行程序。如图 1-10（a）所示。

由于上电复位电路缺少手动复位功能，因此它不能进行手动复位操作，上电复位和手动按钮复位相结合的电路如图 1-10（b）所示。当按下 $S1$ 时，RST 端获得复位信号（高电平）而使单片机恢复到电路的初始状态，从头开始执行程序。

这种具备动力源和复位电路的系统使单片机具备了运行的条件，我们称之为单片机最简“最小”系统，它也意味着使用最少的元件让单片机能够工作起来，在这个最小系统的基础上单片机才能够实现输入/输出和各种运算等强大的功能。

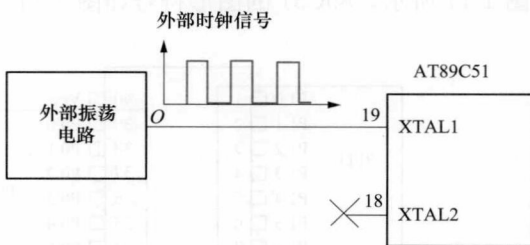


图 1-9 AT89C51 外部时钟电路

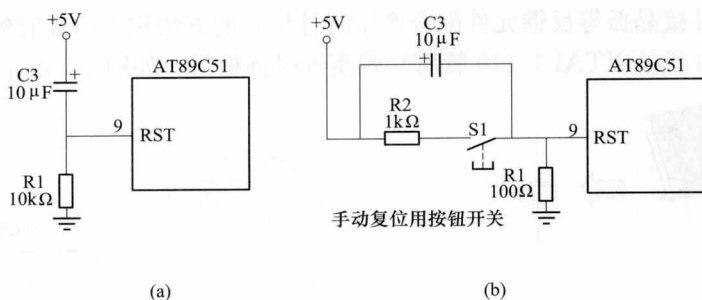


图 1-10 AT89C51 的两种上电复位电路
(a) 自动复位；(b) 手动按键复位

1.2.2 认识单片机的输入/输出功能

89C51 单片机共有 40 个引脚，双列直插式封装（DIP 封装）单片机的引脚分布在两侧，除电源端 V_{cc} （40 号引脚）和 GND（20 号引脚）外，还有前面介绍过的时钟信号端和复位信号端。单片机的输入/输出功能由端口引脚实现，89C51 单片机共有 4 个 I/O（输入/输出）端口，分别将其命名为 P0 口（32~39 号引脚）、P1 口（1~8 号引脚）、P2 口（21~28 号引脚）和 P3 口（10~17 号引脚），每个端口有 8 根 I/O 引线，分别命名为 $Px.0 \sim Px.7$ ，如图 1-11 所示，89C51 的图形符号如图 1-11（b）所示。

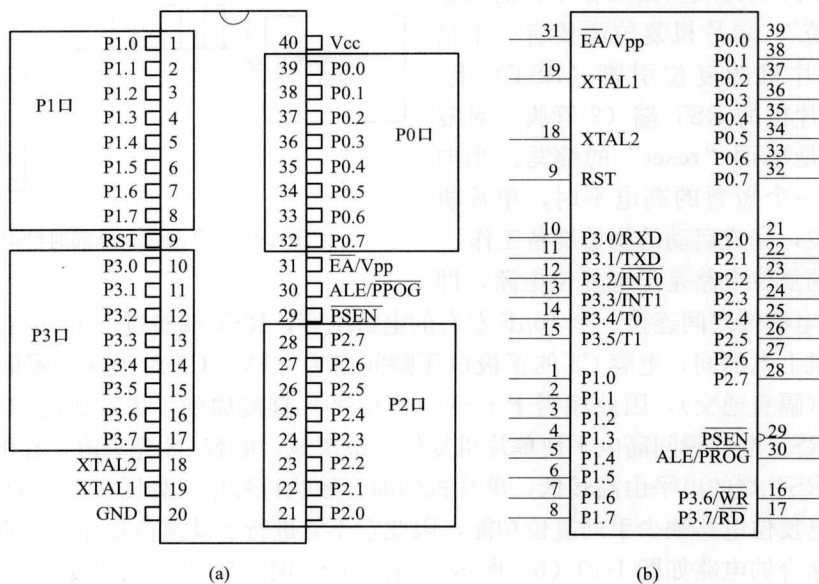


图 1-11 89C51 单片机引脚图
(a) DIP 引脚；(b) 图形符号

我们任选一个端口都可以实现 8 路数据的输入/输出功能（这种 8 位数据同时输入/输出的方式称为并行传送方式，所以称四个端口为并行 I/O 端口）。实际应用时我们可以安排任

一端口作为输入端口或输出端口，使用 P0 口和 P2 口作为输出口，通过输出信息控制 16 个发光二极管的电路如图 1-12 所示。P1 口用作输入口，连接了 4 个按键开关。

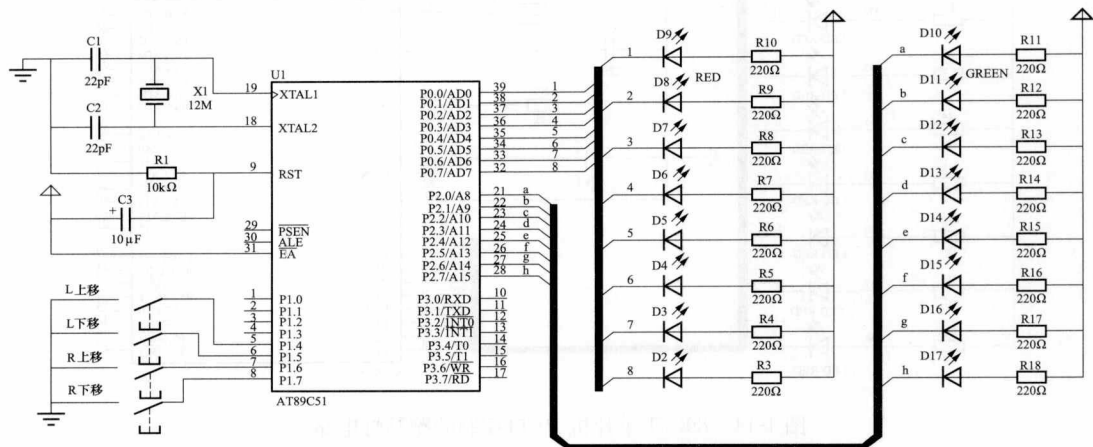


图 1-12 89C51 单片机使用 P0 和 P2 口作为输出口控制 16 个发光二极管

单片机的端口功能非常强大，每个端口的每根 I/O 口线还可以独立进行输入/输出操作而不影响其他口线，也就是说单片机有 32 根独立的 I/O 口线。使用 P1 口的一根口线 P1.1 控制一个 LED 灯的电路如图 1-13 所示。

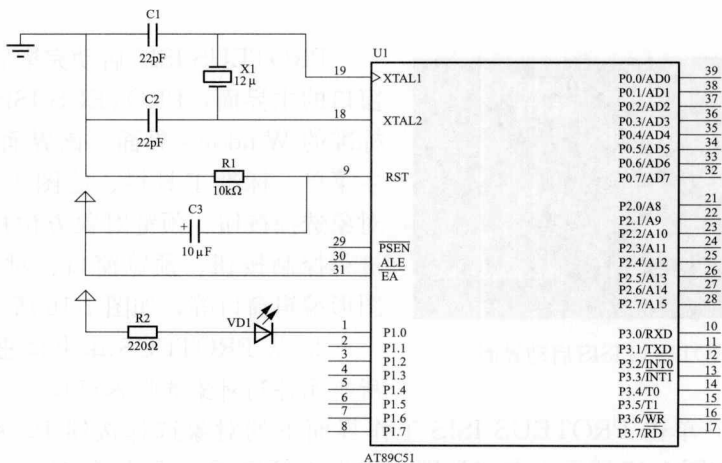


图 1-13 89C51 单片机 P1 口的 P1.1 线输出控制 1 个 LED 灯

1.2.3 动手搭建单片机电路

现在，我们以 89C51 单片机为例，通过一个简单的系统，学习在 PROTEUS 平台上搭建自己的单片机系统，逐步接触单片机，接触单片机的应用程序。

单片机控制的一个跑马灯电路如图 1-14 所示。要求 8 个灯依次循环左移（或右移）点亮。这里为了简化电路，我们用 8 个发光二极管代替灯（这样单片机可以直接驱动，否则要设计驱动电路），了解单片机的输出控制功能以及单片机应用系统的软、硬件组成。

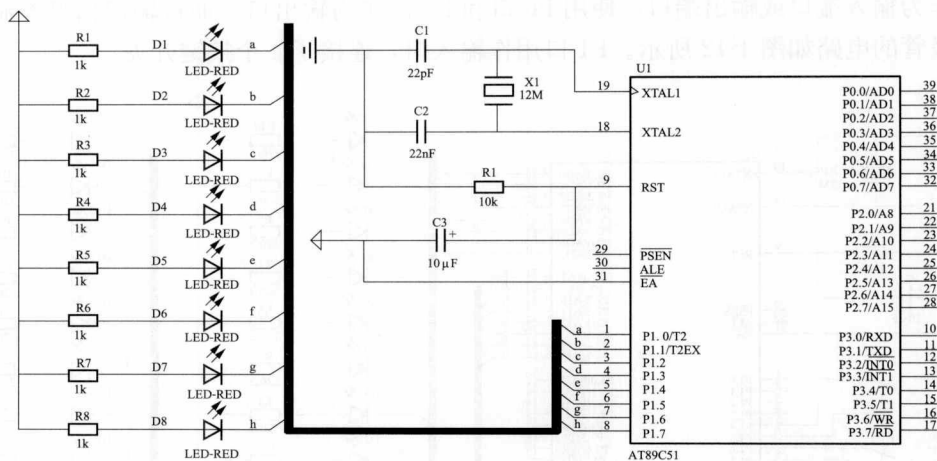


图 1-14 89C51 单片机 P1 口控制的跑马灯电路

1.3 PROTEUS 软件初步

1. 启动 PROTEUS 软件

单击 ISIS7 快捷方式，运行 ISIS 7 Professional，首先出现 ISIS 的启动界面，如图 1-15 所示。

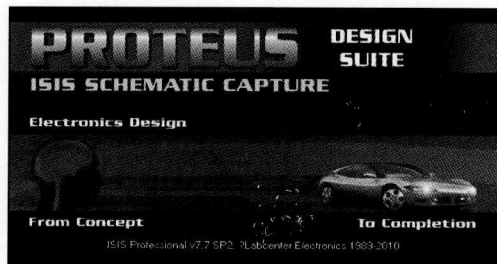


图 1-15 PROTEUS ISIS 启动界面

PROTEUS ISIS 启动完毕后，出现 ISIS 的窗口的主界面，PROTEUS ISIS 的工作界面是标准的 Windows 界面。该界面包括：标题栏、主菜单、标准工具栏、绘图工具栏、状态栏、对象选择按钮、预览对象方位控制按钮、仿真进程控制按钮、预览窗口、对象选择器窗口、图形编辑窗口等，如图 1-16 所示。

2. 从 PROTEUS 库中调出电路要用到的所有元件到对象选择器窗口

在图 1-16 中，单击 PROTEUS ISIS 工作界面下的对象选择按钮 P，弹出“Pick Devices”对话框，如图 1-17 所示。在“类别 (C)”选项区域下面选择“Microprocessor ICs”选项并单击，在对话框的右侧，我们会发现有大量常见的各种型号的单片机。选择“AT89C51”选项后，单击“确定”按钮，“Pick Devices”对话框关闭，主窗口界面下，左侧的对象选择器窗口中就有“AT89C51”这个元件了，如图 1-18 所示。

如果知道元件的名称或者型号，我们可以在“关键字 (D)”栏输入 AT89C51，系统将在对象库中进行搜索查找，并将搜索结果显示在“Pick Devices”对话框的右侧栏中，此时只需选中所用元件单击“确定”按钮即可。关键字搜索查找是最快捷的加载到对象的方式。如果我们还需要 CAP (电容)、CAP POL (极性电容)、LED-RED (红色发光二极管)、RES (电阻)、CRYSTAL (晶振) 等元件，我们只要依次在“关键字 (D)”栏中输入 CAP、CAP POL、LED-RED、RES、CRYSTAL，然后把需要用到的元件加载到对象选择



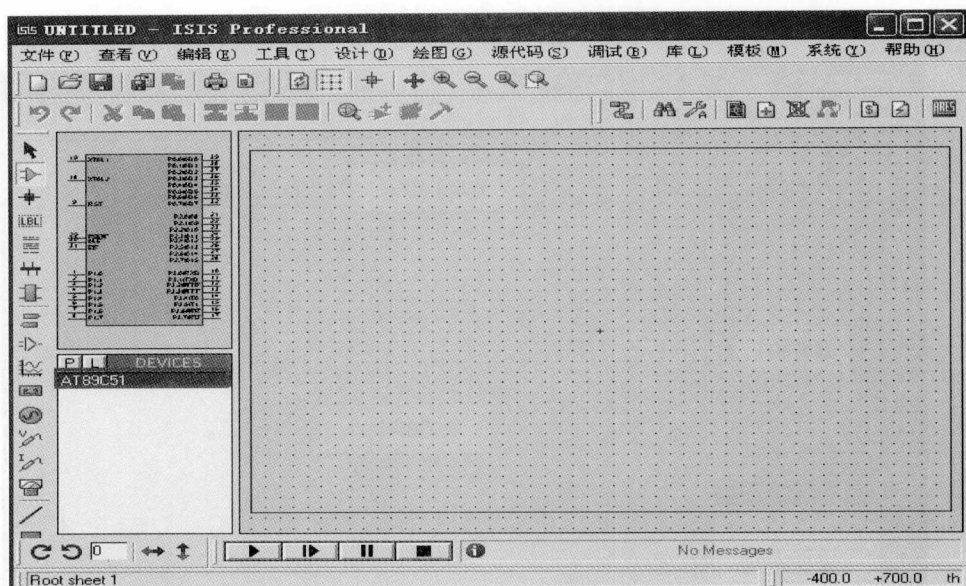


图 1-18 所选对象

器窗口即可。每增加一个对象，对象选择器窗口便会列表显示该对象，所有要用到的元件加载完毕后，对象选择器窗口会列表显示所有元件对象如图 1-19 所示。

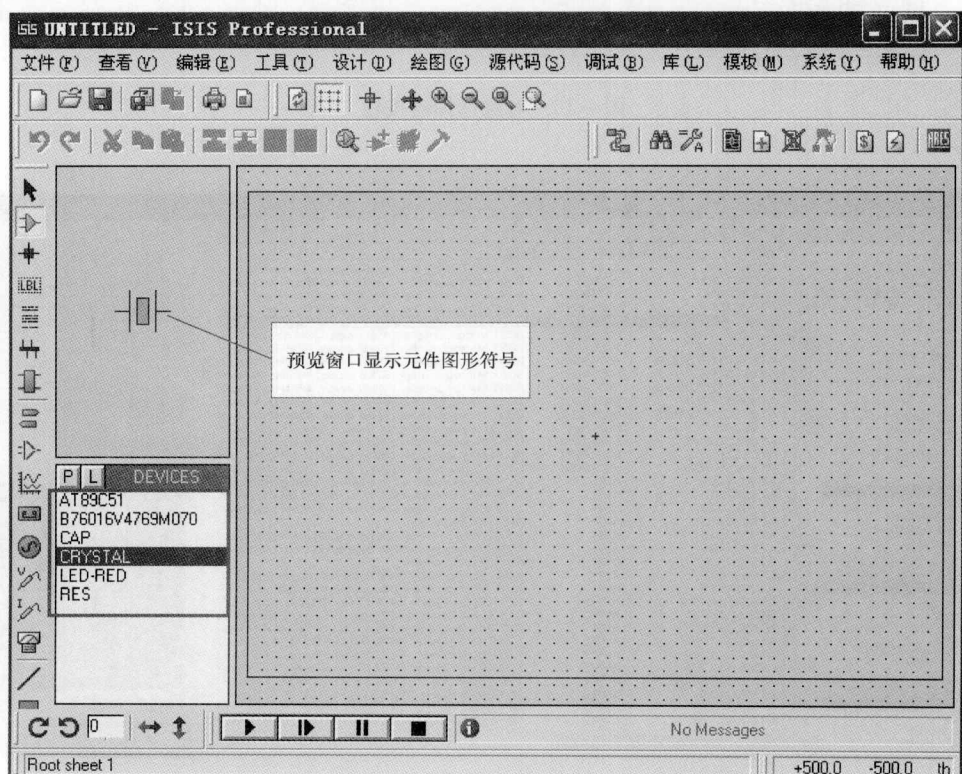


图 1-19 所选对象列表显示

3. 将元器件放置到图形编辑窗口

在对象选择器窗口内，选中 AT89C51。如果元器件的方向不符合要求，则可以使用预览对象方位控制按钮进行操作。例如，用按钮对元器件进行顺时针旋转，用按钮对元器件进行逆时针旋转，用按钮对元器件进行左右反转，用按钮对元器件进行上下反转。元器件方向符合要求后，将鼠标置于图形编辑窗口，在元器件需要放置的位置处单击，出现紫红色的元器件轮廓符号（此时还可对元器件的放置位置进行调整）。然后再单击，元器件就会被完成放置（放置元器件后，如还需调整方向，单击需要调整的元器件，再单击鼠标右键进行调整）。同理，将晶振、电容、电阻、发光二极管放置到图形编辑窗口。布置元件时，一般先放置大型元件再放置小型元件，而且要考虑方便连线，如果连线太多可以采用总线连接，如图 1-20 所示。

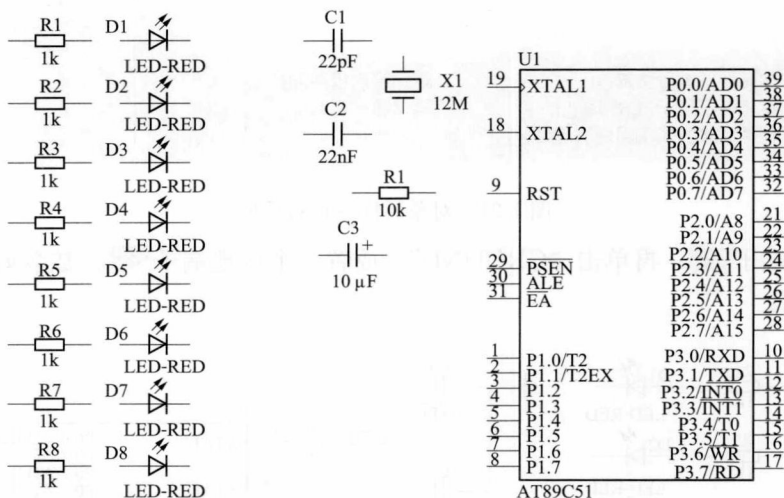


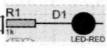
图 1-20 图形编辑窗口对象布置图

4. 编辑元件属性

图中我们已经将元器件编好了号，并修改了参数。修改的方法是：在图形编辑窗口中，双击元器件，在弹出的“编辑元件”对话框中进行修改。现在以电阻参数的修改为例进行说明，如图 1-21 所示。

把“元件参考 (R)”中的 R1 改为 R7，把“Resistance”中的 10k 改为 1k。修改好后单击“确定”按钮，这时，编辑窗口就有了一个编号为 R7，阻值为 1kΩ 的电阻了。用户只需重复以上步骤就可以对其他元器件的参数进行修改，只是大同小异罢了。

5. 电路连线

PROTEUS 具有自动线路功能 (Wire Auto Router)，当鼠标移动至连接点时，鼠标指针处会出现一个虚线框，如，单击，移动鼠标至 LED-RED 的阳极，出现虚线框时单击，则完成连线，如。同理，我们可以完成其他连线。在此过程中，我们都可以按下 ESC 键或者单击鼠标右键可放弃连线。

6. 放置电源端子和配置电源参数

在主窗口中单击绘图工具栏中的按钮，使之处于选中状态。然后单击“POWER”，