



“十三五”普通高等教育规划教材
工程教育创新系列教材

单片机应用开发技术

——基于 Proteus 单片机仿真和
C 语言编程

第二版

瓮嘉民 主编

宋东亚 仝战营 徐忠根 张国栋 副主编

于军琪 主审

- 资源丰富 形式多样
- 随时随地 想学就学



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



配套数字资源



“十三五”普通高等教育规划教材
工程教育创新系列教材

单片机应用开发技术

——基于 Proteus 单片机仿真和 C 语言编程

第二版

主 编 瓮嘉民

副主编 宋东亚 仝战营 徐忠根 张国栋

编 写 段朝伟 李 昊 李小魁 李富强

主 审 于军琪



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材，工程教育创新系列教材。

本书首先介绍了单片机开发软件 Proteus 7.10 和 Keil μ Vison 4.0 快速入门及其联调；然后以 AT89S51 单片机为主体，通过大量实例介绍了单片机开发软硬件知识、常用接口技术和典型芯片的应用等；并针对单片机初学者编程普遍存在的不规范问题，介绍嵌入式编程规则和思想及状态机建模方法。书中所有例子均采用 C 语言编程，大部分例子采用 Proteus 进行仿真，使单片机课堂教学可视化；同时提供项目案例的实物制作方法，使读者真正做到理论和实践相结合，在动手实践中掌握单片机开发的基本方法和技能。本书在重点章节设置了二维码，读者可扫描观看相关教学视频。

本书在编写时力求通俗、易懂，硬件原理讲解以“有用、够用、实用”为原则，内容讲解以实战为特色，配有电子教案、习题答案、例程 Proteus 仿真、项目案例及其微课视频。

本书可作为普通高等院校电子、电气、通信、自动化、机电一体化等工科专业本专科教材，也可供电子工程、自动化技术人员和单片机爱好者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机应用开发技术：基于 Proteus 单片机仿真和 C 语言编程/瓮嘉民主编. —2 版. —北京：中国电力出版社，2018.8

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-2224-8

I. ①单… II. ①瓮… III. ①单片微型计算机—系统仿真—应用软件—高等学校—教材 ②C 语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1②TP312.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 161358 号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：乔 莉 (010-63412535)

责任校对：黄 蓓 李 楠

装帧设计：王英磊 赵姗姗

责任印制：吴 迪

印 刷：北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次：2010 年 2 月第一版 2018 年 8 月第二版

印 次：2018 年 8 月北京第三次印刷

开 本：787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张：17.5

字 数：426 千字

定 价：43.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

序

近年来，计算机、通信、智能控制等前沿技术的日新月异给高等教育的发展注入了新活力，也带来了新挑战。而随着中国工程教育正式加入《华盛顿协议》，高等学校工程教育和人才培养模式开始了新一轮的变革。高校教材，作为教学改革成果和教学经验的结晶，也必须与时俱进、开拓创新，在内容质量和出版质量上有新的突破。

教育部高等学校自动化类专业教学指导委员会按照教育部的要求，致力于制定专业规范和教学质量标准，组织师资培训、大学生创新活动、教学研讨和信息交流等工作，并且重视与出版社合作编著、审核和推荐高水平的自动化类专业课程教材，特别是“计算机控制技术”“自动检测技术与传感器”“单片机原理及应用”“过程控制”“检测与转换技术”等一系列自动化类专业核心课程教材和重要专业课程教材。

因此，2014年教育部自动化类专业教学指导委员会与中国电力出版社合作，成立了自动化专业工程教育创新课程研究与教材建设委员会，并在多轮委员会讨论后，确定了“十三五”普通高等教育本科规划教材（工程教育创新系列）的组织、编写和出版工作。这套教材主要适用于以教学为主的工程型院校及应用技术型院校电气类专业的师生，按照中国工程教育认证标准和自动化类专业教学质量国家标准的要求编排内容，参照电网、化工、石油、煤矿、设备制造等一般企业对毕业生素质的实际需求选材，围绕“实、新、精、宽、全”的主旨来编写，力图引起学生学习、探索的兴趣，帮助其建立起完整的工程理论体系，引导其使用工程理念思考，培养其解决复杂工程问题的能力。

优秀的专业教材是培养高质量人才的基本保证之一。这批教材的尝试是大胆和富有创造力的，参与讨论、编写和审阅的专家和老师们均贡献出了自己的聪明才智和经验知识，也希望最终的呈现效果能令大家耳目一新，实现宜教易学。



前 言

随着“互联网+”和现代电子信息技术的发展，单片机在工业控制、生产自动化、航空航天、通信导航、汽车电子、家用电器等领域，得到了广泛的应用。

修订的内容主要有：

(1) 针对单片机初学者编程普遍存在的不规范问题，增加了单片机程序编写的规则和状态机建模方法。

(2) 为适应模块化、项目化教学的要求，精心挑选了18个单片机典型系统项目案例进行分析。

(3) 增加了通过扫描二维码观看相关教学视频的微课。

本书主要特色是：

(1) 单片机开发软件快速入门：Proteus7.10、Keil μ Vison4.0。

(2) 例题通过Proteus仿真，方便教师上课演示，生动直观，宜作教材。免费提供所有例题源程序、电路图和Proteus仿真的资源下载。

(3) 例题编程采用当前流行的C语言，易学易用，移植性和通用性好。

(4) 项目案例模块化，符合单片机模块化案例教学改革要求，并配有源程序、原理图、PCB图及微课视频。

(5) 帮助单片机初学者养成嵌入式编程思维，学会编写通用程序，掌握状态机建模方法。

(6) 有利于教师指导学生进行单片机课程设计和毕业设计。

本书由瓮嘉民任主编，宋东亚、仝战营、徐忠根、张国栋任副主编。河南工程学院的瓮嘉民编写了第九章和第十章，并负责全书的组织和统稿；李小魁编写了第一章第四节和第十一章。郑州工业应用技术学院的宋东亚编写了第一章第二节和第四章，张国栋编写了第八章。河南工学院的仝战营编写了第一章第一节和第三节及第七章，段朝伟编写了第二章和第三章，李昊编写了第十二章第一节至第六节。商丘工学院徐忠根编写了第五章和第六章。河南农业大学李富强编写了第十二章第七节至第十二节。

本书承蒙西安建筑科技大学于军琪教授主审，提出了宝贵的修改意见；另外，本书的编写得到2017年北京智联友道科技有限公司产学研合作协同育人“单片机原理及应用”教学内容和课程体系改革项目的大力支持，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中疏漏之处在所难免，敬请读者和同仁批评指正，读者可通过1277109919@qq.com致信于我，或发邮件到229713442@qq.com与本书策划编辑进行交流。

编 者

2018年5月

第一版前言

随着电子信息的迅猛发展，单片机在国民经济的各个领域得到了广泛的应用。单片机以体积小、功能全、性价比高等诸多优点在工业控制、生产自动化、机电一体化设备、电器、智能仪器仪表、家电、航空航天、通信导航、汽车电子等领域得到了广泛的应用。单片机开发技术已成为电子信息、电气、通信、自动化、机电一体化等相关专业的学生、技术人员必须掌握的技术。

本书主要特色有：

(1) 实例通过 Proteus 仿真，方便教师上课演示，生动直观。

(2) 实例编程采用当前流行的 C 语言，易学易用，移植性和通用性好。

(3) 注重实战。单片机应用开发技术是一门实践性非常强的课程，本教材选用配套的 SP-28 IJSB 开发板集成了目前流行的、经典的、应用模块电路，只需一条 USB 线就可以做单片机实验，加上 RS-232 串口即可进行硬件仿真，方便读者自学。

(4) 提供良好的技术支持。随书光盘提供所有例程源程序、电路图和 Proteus 仿真文件等。

本书由瓮嘉民主编，冯建勤和陶春鸣任副主编。河南工程学院的瓮嘉民老师编写第二章、第五章、第七章，并负责全书的统稿、大量实例验证和仿真。河南工程学院的陶春鸣老师编写第一章、第十章，陈涛老师编写了第十二章，雷万忠老师编写了第四章。郑州轻工业学院冯建勤老师编写了第六章、第十一章，郑州轻工业学院陈志武老师编写了第三章、第十三章，河南工业大学梁义涛老师编写了第八章，河南职业技术学院屈芳升老师编写了第九章，中州大学何淑霞老师编写了第十四章。





在本书编写过程中得到郑州金聚宝电子科技有限公司宋占李经理和家人的大力支持，在此一并表示感谢。

编者





2010年1月

目 录

序	
前言	
第一版前言	
第一章 单片机开发软件快速入门	1
第一节 Proteus7.10 快速入门	1
第二节 Keil μ Vision4 快速入门	11
第三节 Proteus 与 Keil 联调	17
习题	19
第二章 单片机的硬件结构和工作原理	20
第一节 AT89S51 单片机的基本结构	20
第二节 AT89S51 单片机的引脚及片外总线结构	24
第三节 AT89S51 单片机的存储器配置	26
第四节 CPU 的时序及辅助电路	30
第五节 I/O 端口应用举例	35
习题	38
第三章 C51 语言简介	40
第一节 C51 语言关键字与数据类型	40
第二节 C51 语言存储种类和存储模式	44
第三节 C51 语言运算符	45
第四节 C51 语言函数	46
第五节 C51 语言结构	49
第六节 C51 语言指针、数组与绝对地址访问	51
习题	54
第四章 单片机 C 语言编程	55
第一节 代码编写规范	55
第二节 前后台程序	62
第三节 状态机建模	73
第四节 事件触发程序结构	80
项目一 洗衣机控制器的设计	83
微课一 洗衣机控制器系统组成及作品演示	86
习题	86
第五章 键盘和显示	87
第一节 键盘及其接口	87

第二节	LED 显示器	97
第三节	LED 点阵显示器	104
第四节	16×2 点阵字符型液晶模块 LCD1602	113
项目二	电子密码锁设计	127
	微课二 电子密码锁系统组成及作品演示	129
	习题	129
第六章	定时器和中断	130
第一节	AT89S51 单片机中断系统	130
第二节	定时器/计数器概述	138
第三节	定时器/计数器工作方式	143
第四节	定时器/计数器的应用举例	146
项目三	电子时钟设计	151
	微课三 电子时钟系统组成及作品演示	153
	习题	153
第七章	单片机串行通信	154
第一节	串行通信概述	154
第二节	AT89S51 单片机的串行端口及控制寄存器	158
第三节	AT89S51 单片机串行通信工作方式	160
第四节	串行端口通信实例	165
项目四	基于 RS-485 的无线遥控温度控制系统设计	174
	微课四 基于 RS-485 的无线遥控温度控制系统组成及作品演示	179
	习题	179
第八章	A/D 和 D/A 转换器	181
第一节	D/A 转换器	181
第二节	STC89C52 和 D/A 转换器的接口	184
第三节	A/D 转换器	189
第四节	标度变换	192
第五节	ADC0832 转换器的应用	195
项目五	低频信号发生器设计	198
	微课五 低频信号发生器系统组成及作品演示	200
	习题	201
第九章	单片机扩展技术	202
第一节	单片机系统的扩展	202
第二节	简单 I/O 端口扩展	207
项目六	数码管万年历设计	210

 微课六 数码管万年历系统组成及作品演示	212
习题	213
第十章 常用串行总线扩展技术	214
第一节 I ² C 总线及其应用	214
第二节 SPI 总线及其应用	219
第三节 单总线温度传感器 DS18B20	224
习题	228
第十一章 红外线和无线遥控	229
第一节 红外线遥控原理及其应用	229
第二节 无线遥控模块及其应用	232
习题	238
第十二章 单片机典型系统设计	239
项目七 带温湿度播报的万年历设计	239
 微课七 带温湿度播报的万年历系统组成及作品演示	241
项目八 基于 nRF24L01 无线温度控制系统设计	242
 微课八 基于 24L01 无线温度控制系统组成及作品演示	246
项目九 电子秤设计	246
 微课九 电子秤系统组成及作品演示	248
项目十 基于 HC-SR04 超声波测距仪设计	249
 微课十 基于 HC-SR04 超声波测距仪系统组成及作品演示	251
项目十一 红外遥控的步进电动机控制系统设计	251
 微课十一 红外遥控的步进电动机控制系统组成及作品演示	253
项目十二 LED 点阵显示屏设计	253
 微课十二 LED 点阵显示屏系统组成及作品演示	255
项目十三 光控灯设计	255
 微课十三 光控灯系统组成及作品演示	257
项目十四 两轮平衡小车设计	258
 微课十四 两轮平衡小车系统组成及作品演示	260
项目十五 有害气体检测系统设计	260

 微课十五 有害气体检测系统组成及作品演示·····	262
项目十六 脉搏测量仪设计·····	262
 微课十六 脉搏测量仪系统组成及作品演示·····	265
项目十七 PM2.5 监测仪设计 ·····	265
 微课十七 PM2.5 监测仪系统组成及作品演示 ·····	267
项目十八 温控风扇系统设计·····	267
 微课十八 温控风扇系统组成及作品演示·····	269
参考文献·····	270

第一章 单片机开发软件快速入门

本章主要讲述单片机开发两个软件的快速入门及其联调：单片机仿真软件 Proteus7.10 和单片机开发软件 Keil μ Vision 4.0。

第一节 Proteus7.10 快速入门

Proteus 软件能对单片机应用系统同时进行软件和硬件的仿真，为设计单片机应用系统提供了一个非常好的平台。

一、Proteus7.10 的主要功能特点

本书采用 Proteus7.10 英文版，其特点如下：

- (1) 实现了单片机仿真和 SPICE 电路仿真相结合。
- (2) 具有模拟电路仿真、数字电路仿真、单片机及其外围电路组成的系统的仿真、RS-232 动态仿真、I²C 调试器、SPI 调试器、键盘和 LCD 系统仿真的功能，还有各种虚拟仪器，如示波器、逻辑分析仪、信号发生器等。
- (3) 支持主流单片机系统的仿真。
- (4) 目前支持的单片机类型有 68000 系列、8051 系列、AVR 系列、PIC12 系列、PIC16 系列、PIC18 系列、Z80 系列、HC11 系列，以及各种外围芯片。
- (5) 提供软件调试功能。
- (6) 仿真系统具有全速、单步、设置断点等调试功能，同时可以观察各个变量、寄存器的当前状态。
- (7) 支持第三方的软件编译和调试环境，如 Keil C51。
- (8) 具有强大的原理图绘制功能。
- (9) 在 Proteus 仿真系统中可以快速、方便地绘制出单片机应用系统的原理图。

二、功能感受—Proteus 仿真单片机播放音乐

通过一个实例，来感受 Proteus 的强大功能。步骤如下：

(1) 打开配套数字资源（源程序）中的“第一章 单片机开发软件快速入门/歌曲”文件夹，双击“歌曲.DSN”彩色图标，弹出如图 1-1 所示的 Proteus 仿真原理图。

(2) 用鼠标右键单击单片机 AT98S51（标号 U1），选择 Edit Properties 选项，弹出如图 1-2 所示的“Edit Component”对话框，单击“Program File”右侧文本框旁边的打开按钮，选取目标文件“PlayMusic.Hex”。

(3) 在“Clock Frequency”（时钟频率）文本框中输入 6MHz，使仿真系统以此频率运行。

注意

如没有特别说明，本书所有实例均采用 12MHz 的频率进行仿真。

(4) 单击“OK”按钮返回 Proteus 工作界面。

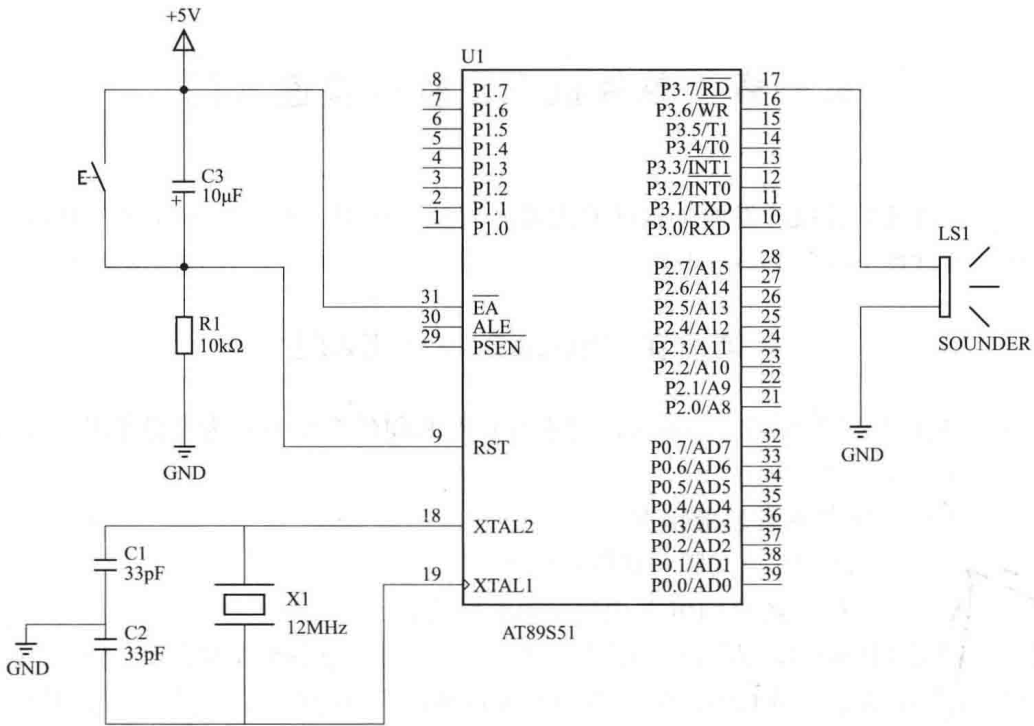



图 1-1 歌曲播放的 Proteus 仿真原理图

(5) 单击“Debug”菜单下的“Execute”命令，或按下“F12”键，或者直接单击仿真工具栏中的“play”按钮，系统就会启动仿真。只要计算机上接有音箱或耳机，就会听到《挥着翅膀的女孩》《同一首歌》《两只蝴蝶》三首优美的音乐。

三、Proteus 软件的界面与操作介绍

本书只介绍 Proteus 原理图输入系统 (ISIS) 的工作环境和基本操作。

单击“开始→程序→Proteus 7.10 Professional→ISIS 7.10 Professional”或者双击  快捷图标，即可进入图 1-3 所示的 Proteus ISIS 的工作界面。它是一种标准的 Windows 界面，下面简单介绍各部分的功能。

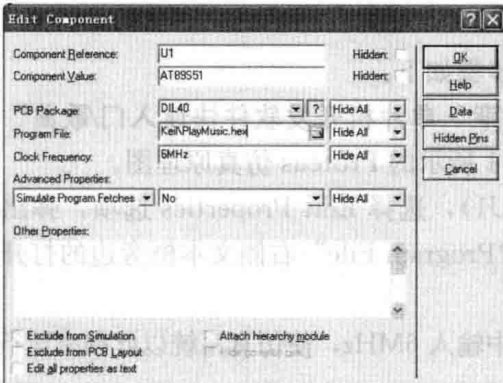


图 1-2 “Edit Component”对话框

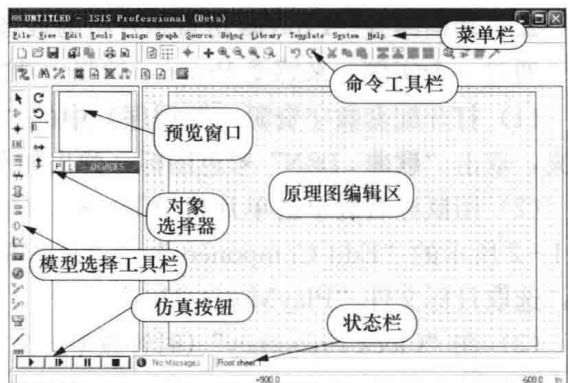


图 1-3 Proteus ISIS 工作界面

1. 原理图编辑区

原理图编辑区用来绘制原理图。它是各种电路、单片机系统的 Proteus 仿真平台。元器

件要放到编辑区。



原理图编辑窗口没有滚动条，可通过预览窗口改变原理图的可视范围。

2. 预览窗口

预览窗口可显示两个内容：一个是在元器件列表选择一个元器件时，显示该元器件的预览图；另一个是鼠标焦点落在原理图编辑窗口时，显示整张原理图的缩略图，并会显示一个绿色的方框，绿色的方框里面的内容就是当前原理图窗口中显示的内容。通过改变绿色的方框的位置，可以改变原理图的可视范围。

3. 对象选择器

对象选择器用来选择元器件、终端、图表、信号发生器和虚拟仪器等。对象选择器上方有一个条形标签，表明当前所处的模式及其下所列的对象类型。如图 1-4 所示，当前模式为“选择元器件模式”，选中的元器件为“SOUNDER”，该元器件会出现在预览窗口。单击“P”按钮可将选中的元器件放置到原理图编辑区。

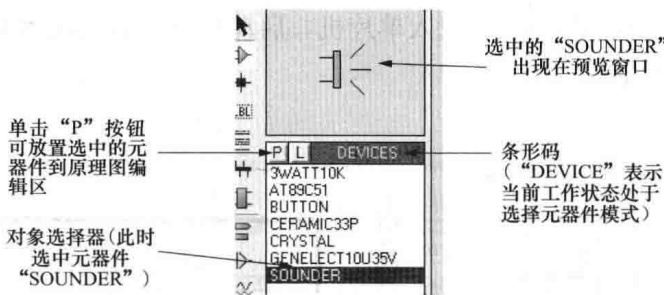


图 1-4 对象选择器

4. 模型选择工具栏

模型选择工具栏包括主模式选择按钮、小工具箱按钮和 2D 绘图按钮。这里只列出主模式选择按钮和小工具箱按钮的功能。

(1) 主模式选择按钮：

：用于即时编辑元器件参数（先单击该按钮再单击要修改的元器件）。

：选择元器件（默认选择）。

：放置连接点。

：放置网络标号连接标签（用总线量会用到）。

：放置文本。

：用于绘制总线。

：用于放置子电路。

(2) 小工具箱按钮：

：终端接口，有 VCC、地、输出、输入等接口。

：器件引脚，用于绘制各种引脚。

：仿真图表，用于各种分析，如噪声分析（Noise Analysis）。

：录音机。

：信号发生器。

：电压探针，用于仿真图表。

：电流探针，用于仿真图表。

☒：虚拟仪表，有示波器等（可显示工作波形）。

5. Proteus 操作特性

下面列出了 Proteus 不同于其他 Windows 软件的操作特性。

- (1) 在元器件列表中选择元器件后可对其进行放置操作。
- (2) 用鼠标右键选择元器件后，弹出快捷菜单。
- (3) 双击鼠标右键可删除元器件。
- (4) 先单击鼠标右键后单击鼠标左键可以编辑元器件的属性。
- (5) 连线用鼠标左键，可通过双击鼠标右键来删除画错的连线。
- (6) 改连接线走线方式，可先单击鼠标右键连线，再单击鼠标左键拖动。
- (7) 滚动鼠标中键可放缩原理图。

四、Proteus 仿真设计快速入门

本实例采用 Proteus 软件绘制如图 1-5 所示的原理图，再将编译好的流水灯控制程序“流水灯.hex”载入单片机，启动仿真，观察流水灯点亮效果。表 1-1 列出了所需添加的元器件。

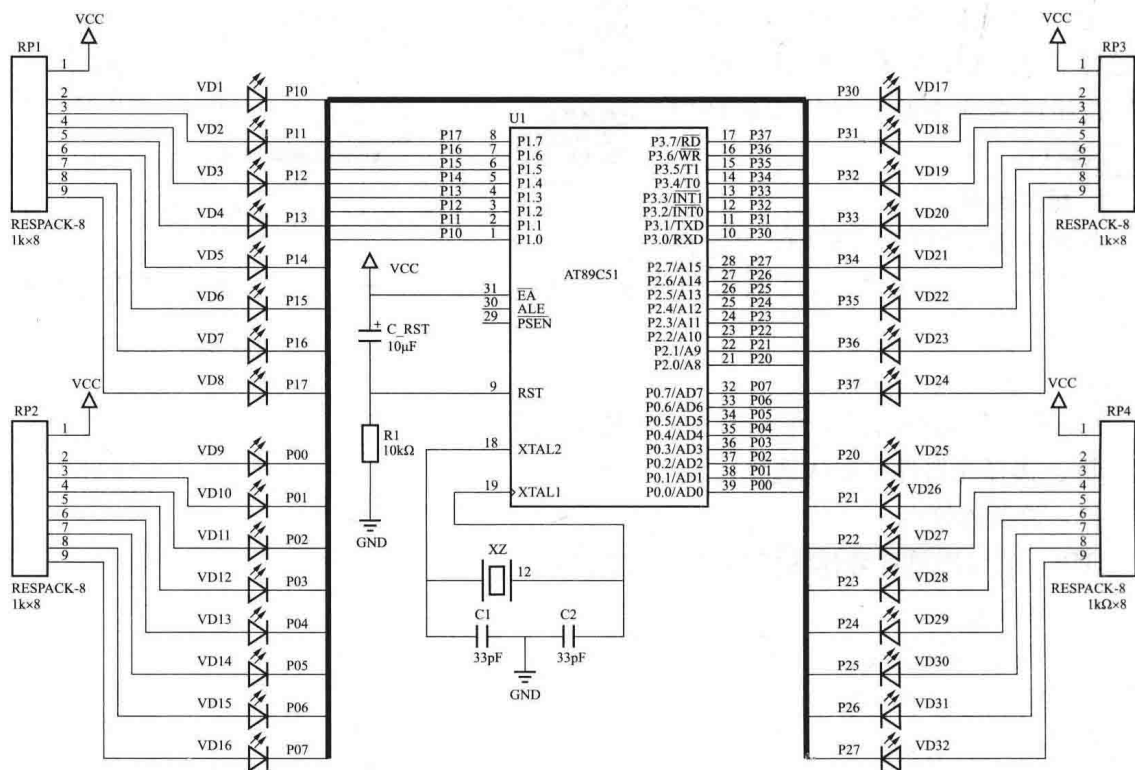


图 1-5 单片机控制流水灯的原理图

表 1-1

单片机控制流水灯仿真所需元器件

元 器 件	名 称	描 述
单片机 U1	AT89C51	—
电阻排 RP1~RP4	RESPACK-8	—
电阻 R1	resistors	10kΩ (0.6W)

续表

元 器 件	名 称	描 述
发光二极管 VD1~VD32	led - yellow (黄色)	—
电容 C1~C2	capacitors	33pF (50V)
电容 C_RST	capacitors	10 μ F 50V
晶振 XZ	crystal	—

1. 新建设计文件

打开 Proteus ISIS 工作界面, 单击菜单 “File→New Design” 命令, 弹出选择模板窗口, 从中选择 DEFAULT 模板, 单击 “OK” 按钮, 然后单击 “Save Design” 按钮, 弹出如图 1-6 所示的 “Save ISIS Design File” 对话框。设置好保存路径, 在文件名框中输入 “流水灯” 后, 单击 “保存” 按钮, 则完成新建设计文件的保存, 文件自动保存为 “流水灯.DNS”。

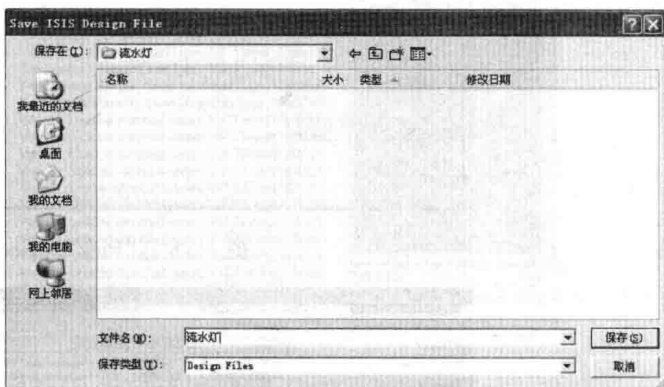


图 1-6 “Save ISIS Design File” 对话框

2. 从元器件库中选取元器件

单击图 1-7 所示元器件选择器上的 “P” 按钮, 弹出 “Pick Devices” 对话框, 如图 1-8 所示。

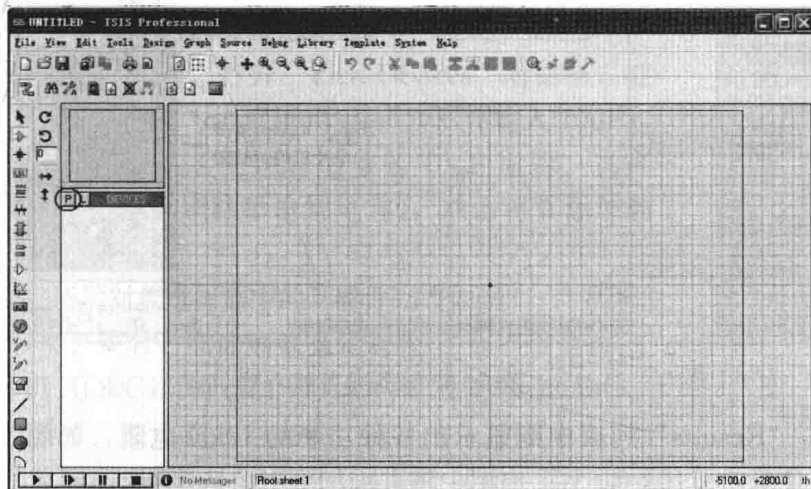


图 1-7 调取元器件库

(1) 添加单片机。打开 “Pick Devices” 对话框, 在 “Keywords” (关键字) 文本框中输入 “AT89C51”, 然后从 “Results” 列表中选择所需要的型号。此时在元器件预览窗口中分别显示出元器件的原理图和封装图, 如图 1-9 所示。单击 “OK” 按钮, 或者直接双击 “Results” 列表中的 “AT89C51”, 均可将元器件添加到对象选择器。

(2) 添加电阻和电阻排。打开 “Pick Devices” 对话框, 在 “Keywords” 文本框中输入

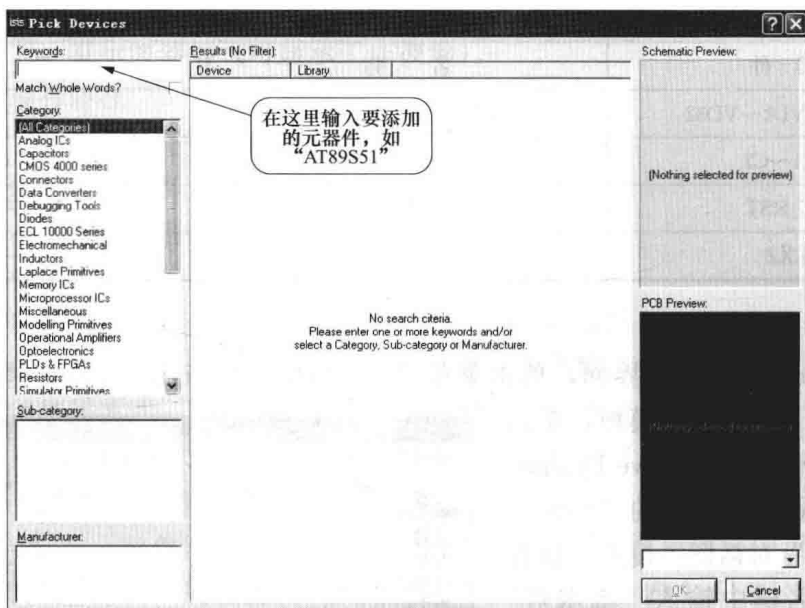


图 1-8 “Pick Devices”对话框

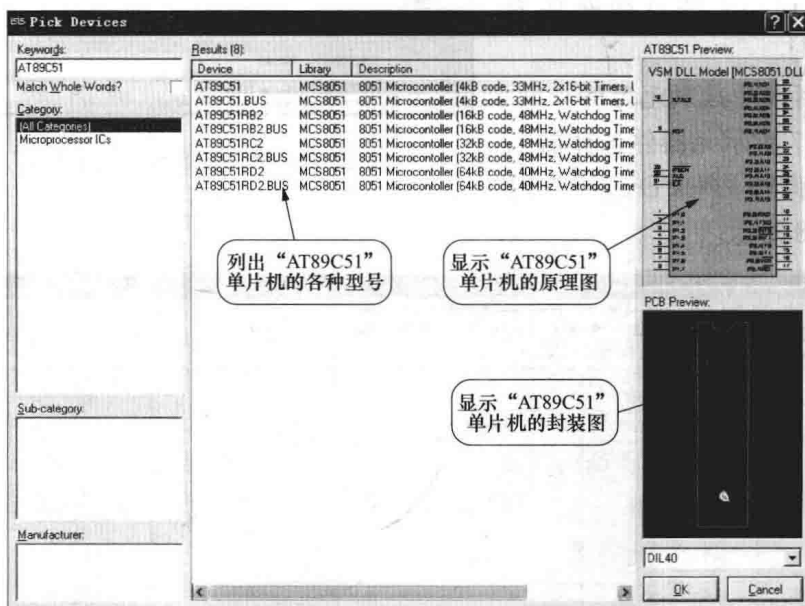


图 1-9 添加单片机

“resistors 10k”, “Results” 列表中则显示出各种功率的 10kΩ 电阻, 如图 1-10 所示。在 “Results” 列表中双击 “10k 0.6W” 电阻, 将其添加到对象选择器。

用同样方法添加 4 个 “1k×8” 电阻排 (RESPACK-8) 到对象选择器。

(3) 添加发光二极管。打开 “Pick Devices” 对话框, 在 “Keywords” 文本框中输入 “led - yellow”, “Results” 列表中只有一种黄色发光二极管, 双击该元器件, 将其添加到对象选择器。

(4) 添加晶振。打开 “Pick Devices” 对话框, 在 “Keywords” 文本框中输入 “crystal”, “Results” 列表中只有一种晶振类型, 双击该元器件, 将其添加到对象选择器。

(5) 添加电容。

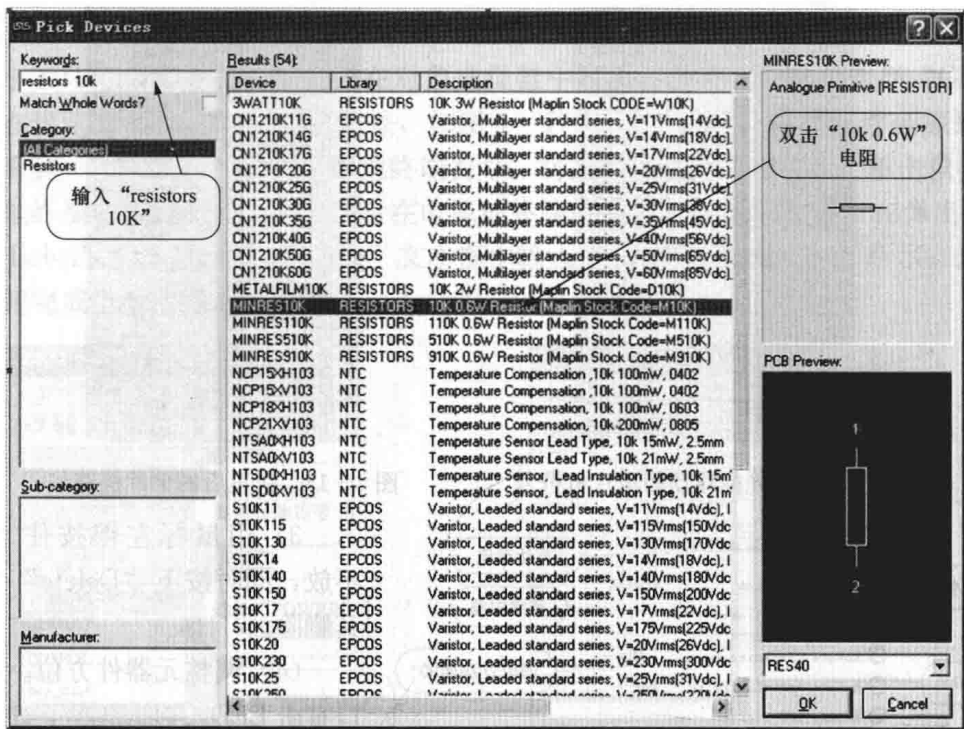


图 1-10 10kΩ 0.6W 电阻的选择

1) 添加 33pF 电容。打开“Pick Devices”对话框，在“Keywords”文本框中输入“capacitors”，“Results”列表中列出了各种类型的电容，在“Keywords”文本框中接着输入“33pF”，则专门显示出各种型号的 33pF 电容。任选一个“50V”电容，双击将其添加到对象选择器。

2) 添加 10μF 电解电容。打开“Pick Devices”对话框，在“Keywords”文本框中输入“capacitors 10μ”（不要输入 10μF），“Results”列表中则专门显示出各种型号的 10μF 电容。选择“50V Radial Electrolytic”（圆柱形电解电容），双击将其添加到对象选择器。

元器件添加完毕后对象选择器中的元器件列表如图 1-11 所示。



图 1-11 对象选择器中的元器件列表

3. 放置、移动、旋转、删除和设置元器件

下面以单片机 AT89C51 的放置介绍元器件的放置与编辑操作。

(1) 放置元器件。在元器件列表中，选择“AT89C51”，然后将光标移动到原理图编辑区，在任意位置单击鼠标左键，即可出现一个随光标浮动的元器件原理图符号，如图 1-12 所示。移动光标到适当位置单击鼠标左键即可完成该元器件的放置，效果如图 1-13 所示。

(2) 移动和旋转元器件。用鼠标右键单击 AT89C51 单片机，弹出如图 1-14 所示的快捷菜单。本例需要对单片机进行垂直翻转操作，所以选择“Y-Mirror”命令即可。

(3) 删除元器件。用下面 3 种方法可以将原理图上的单片机删除。

- 1) 将鼠标放到单片机 AT89C51 上，用鼠标右键双击，可将其删除。
- 2) 用鼠标左键框选 AT89C51，然后按下“Delete”键，可将其删除。