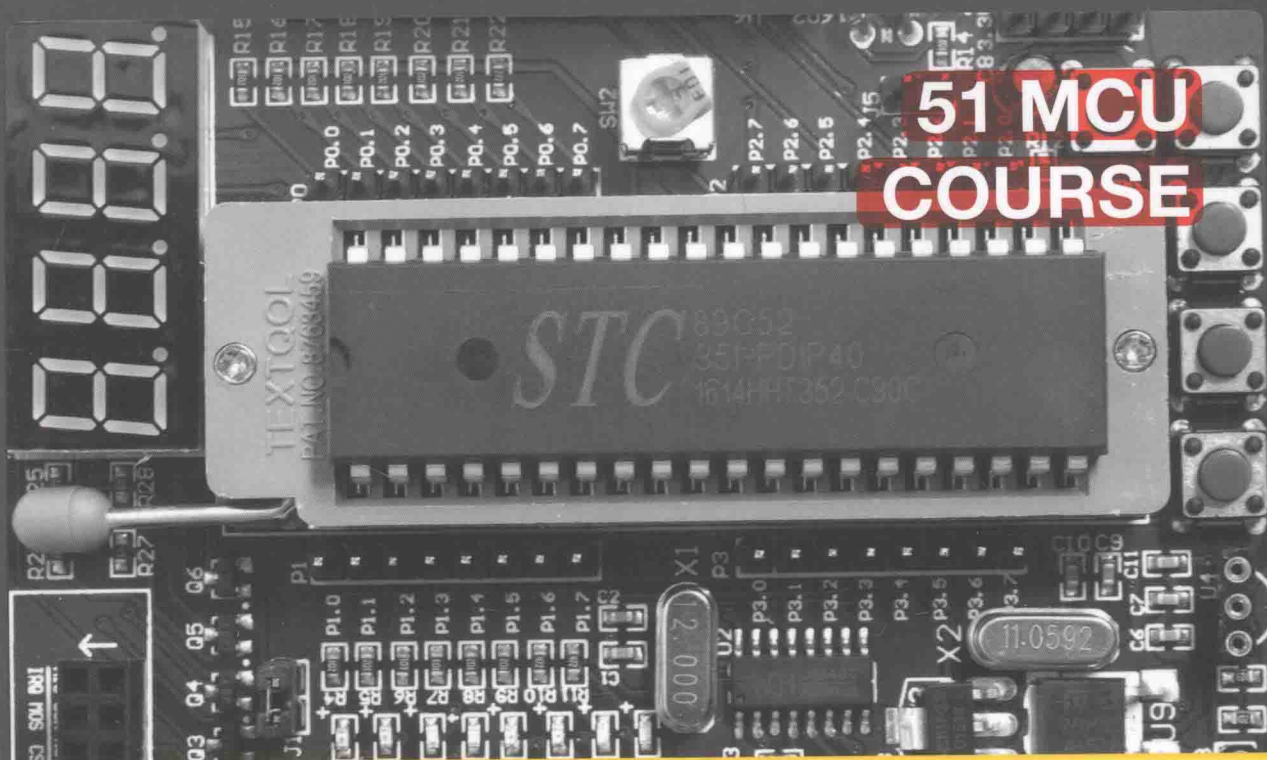




赠案例源代码和操作视频等资源



51 MCU  
COURSE

# 51 单片机

## 项目教程

C 语言版 赠单片机开发板

吴险峰 主编

但唐仁 刘德新 曾路 副主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

**51 MCU  
COURSE**

# 51 单片机

## 项目教程

**C 语言版 | 赠单片机开发板**

· 吴险峰 主编 ·

但唐仁 刘德新 曾路 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

## 图书在版编目(CIP)数据

51单片机项目教程：C语言版：赠单片机开发板 /  
吴险峰主编. — 北京：人民邮电出版社，2016.8  
ISBN 978-7-115-42540-9

I. ①5… II. ①吴… 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(2016)第139479号

## 内 容 提 要

本书以51系列单片机为载体，采用项目化教学方式，由浅入深地安排实训内容，将知识点和相关实训内容结合，突出对读者动手能力的培养。项目内容包含了基础和拓展两大部分。基础部分包括单片机开发环境构建、流水灯、蜂鸣器、LED显示器、按键输入、中断、定时器和串口通信等内容，免费赠送的开发板可设计实验完全覆盖这些内容；拓展部分则是精选出的具有代表性的真实项目，体现了时代性的创客特色，包括红外遥控、声音传感器、温度传感器、倾斜开关、超声传感器、人体红外传感器、火焰传感器和无线模块等内容。同时，本书配套的网站提供了更多的实训项目资源，进一步提高读者实战技能，体现“互联网+”特色。

本书适合单片机初学者使用，也适合作为高职高专院校单片机技术课程教材。

- 
- ◆ 主 编 吴险峰
  - 副 主 编 但唐仁 刘德新 曾 路
  - 责任编辑 刘盛平
  - 执行编辑 左仲海
  - 责任印制 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>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  
  - ◆ 开本：787×1092 1/16  
印张：16 2016年8月第1版  
字数：454千字 2016年8月北京第1次印刷

---

定价：99.80元（含开发板）

读者服务热线：(010)81055256 印装质量热线：(010)81055316  
反盗版热线：(010)81055315

## “互联网+”创新教材编委会委员（排名不分先后）

吴险峰 但唐仁 李华忠 郑洪英 盛建强

曾 路 张宗平 刘德新 余柏林 陈明芳

李 力 赖友源 孙 波 侯继红 刘国成

江武志 刘 洋 化雪荟 许政博 李永祥

# 序

教材是进行教学的基本工具，也是深化教育教学改革、全面推进素质教育、培养创新人才的重要保证。教育部也把教材建设作为衡量高职高专院校深化教育教学改革的重要指标，作为检验各高职院校人才培养工作的质量与力度。

针对“互联网+”国家战略，本教材编委会对嵌入式专业类课程进行了大胆的尝试，与产业界和兄弟院校联合探索课程发展的“互联网+”模式——购教材配开发板，厂家不通过开发板盈利，而是靠后期的课程特色资源、开发板配件和增值服务等来获得收益，并依照该模式创新的推出中国第一套直接送开发板的系列教材，实现嵌入式专业的“四化”目标。

## 1. 教与练一体化

本教材内容和开发板严格匹配，实现课程知识目标和技能训练紧密结合，理论教学和实战演练一体化操作，更有助于学生的技能掌握。

## 2. 授课云端化

传统嵌入式类课程，往往需要专门的实训箱甚至是定制的实训平台，才能进行实训操作。本教材自带开发板，不需要准备专门的机房，也不担心对实训设备的维护保养，甚至学生可以通过网络课堂进行远程学习和实训，降低了成本，提高了学习效率。

## 3. 学生创客化

很多创客都来自嵌入式专业，但若只是通过学校实验箱来被动学习，没有属于自己的开发板，是不可能成为一个创客的。现在教材配送的开发板归属学生所有，学生有思路就可以马上实践，从而诞生更多的创客灵感。

## 4. 认证标准化

相对于标准化的计算机等级水平考试和软件类考试来说，嵌入式类课程的开发板没有统一的标准，不方便组织统一的职业技能实操考试，只能进行理论考试认证。而通过该模式，每个采用相关教材的学生都是采用同一开发板进行技能训练，有助于职业技能认证的标准化。

创新肯定会碰到各种问题，希望本系列教材在实践中不断修订完善，促进嵌入式技术教育蓬勃发展，同时对软硬件结合的其他专业也能有重要的启示。

高林

2016年4月

近来职业院校的单片机课程改革力度很大，大部分教材注重工学结合、校企合作，通过项目教学模式来加强实践和职业技能培养。但如何将教材和学习开发板相结合，一直是一个难点。由于各校的开发板不统一，没有标准化。嵌入式专业的教材要么是和学校实训室的开发板捆绑，要么是通过纯软件完成虚拟实训内容。前者虽然针对性强，但需要配备专门实验条件，而且教材发行量有限。后者虽便于教学，但是对于学生而言，离实际技能培养还是有相当差距。如何让教材发挥真正的作用，是每个专业老师都非常关心的话题。

本教材最大特色就是结合“互联网+”国家战略对教材进行大胆的探索。创新“互联网+”教材模式，打造全新的单片机学习生态链，提高学习效率，降低学习成本。

具体来说，教材分成基础部分和拓展部分。对于教学必须完成的基础部分内容，教材配套提供试用开发板。对于拓展部门的内容，读者需要用到的其他配件和模块，需要另行购买。

全书包括单片机开发环境构建、流水灯、蜂鸣器、LED 显示器、按键输入、中断、定时器和串口通信等内容，通过配套的开发板完全覆盖，教材的内容结构如下。

基础部分		拓展部分	
项目 1	构建单片机开发环境	项目 13	LCD 显示器静态显示字符
项目 2	了解开发板	项目 14	红外遥控
项目 3	点亮一个 LED	项目 15	简易计算器（LED 显示器显示）
项目 4	流水灯实验	项目 16	音乐喷泉
项目 5	蜂鸣器实验	项目 17	防盗报警器
项目 6	LED 显示器静态显示	项目 18	8×8 点阵显示“爱心”
项目 7	LED 显示器动态显示	项目 19	温度计显示
项目 8	独立键盘输入	项目 20	测距显示
项目 9	单片机中断系统	项目 21	步进电机控制
项目 10	单片机定时器	项目 22	A/D-D/A 模块
项目 11	串口通信	项目 23	火焰报警器
项目 12	综合项目：秒表	项目 24	人体红外感应灯
		项目 25	无线模块
		项目 26	智能风扇系统（综合实验）

本教材保持了最大的灵活性，可以根据课程的不同学时，设置不同的项目。企业可以通过互联网发布最新的项目资源，同时为感兴趣的同学提供项目和技术支持。这种全新的“互联网+”的校企合作，相信也会对整个行业产生重要的引领作用。另外，标准化的开发板也有利于组织标准化的技能竞赛和认证考试。相对于软件认证考试来说，硬件认证考试一直是整个行业的痛点。本教材也在这方面进行大胆的尝试。

# FOREWORD

本教材的诞生凝聚了深圳信息职业技术学院软件学院嵌入式专业老师的多年心血。吴险峰对本教材内容的编写与项目设计进行了总体策划，对全教材进行了统稿和初审，但唐仁、刘德新、曾路、李华忠、郑洪英和盛建强等参与了书稿整理和在线教育网站的制作。本教材在编写的过程中还得到了深圳信息职业技术学院张宗平和余柏林、广东科学技术职业学院陈明芳和李力、广东工程职业技术学院赖友源、广东青年职业学院孙波、广州科技贸易职业学院侯继红、广州铁路职业技术学院刘国成、中山职业技术学院江武志、东莞职业技术学院刘洋、佛山职业技术学院化雪荟等各位同人的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

本教材同时得到了相关企业的大力支持。深圳市亚博智能科技有限公司不仅为教材配赠了开发板，还专门为此项目录制了视频，同时也提供相关增值服务。珠海因尔科技有限公司为本项目提供进一步发展的平台，将此创新理念进一步拓展到嵌入式和物联网相关领域。深圳市华谕电子商务有限公司为教材配套网站提供技术支持。在此一并表示衷心的感谢！

该教材电子课件、电子教案、全套视频、实例程序和辅助工具等教学素材，可登录 [www.51qrs.cn](http://www.51qrs.cn) 免费下载。试题库、认证考试和竞赛库等其他教学资源也在逐步完善，希望为大家提供一整套的完整教学资源。后期还会开通微信服务号，开发相应的移动应用 App，构建完整的单片机生态链。

编者

2016年4月

项目 1 构建单片机开发环境	1	项目 5 蜂鸣器实验	38
1.1 项目分析	2	5.1 项目分析	39
1.2 技术准备	2	5.2 技术准备	39
1.2.1 单片机系统简介	2	5.2.1 蜂鸣器硬件实物	39
1.2.2 安装 USB 驱动程序	2	5.2.2 蜂鸣器实验相关电路	39
1.2.3 单片机程序烧录方法和相关工具	3	5.2.3 串行接口的结构	40
1.2.4 使用单片机开发软件 Keil4	5	5.2.4 串口的 4 种工作方式和波特率	41
项目 2 了解开发板	8	5.2.5 C51 串口编程	43
2.1 项目分析	9	5.3 项目实施	43
2.2 技术准备	9	5.3.1 简单蜂鸣器发声实验	43
2.2.1 亚博 BST-M51 模块电路图	9	5.3.2 给前面任务的流水灯加入报警效果	44
2.2.2 亚博科技 BST-M51 学习板功能模块图	10	项目 6 LED 显示器静态显示	46
项目 3 点亮一个 LED	11	6.1 项目分析	47
3.1 项目分析	12	6.2 技术准备	47
3.2 技术准备	12	6.2.1 LED 显示器静态显示简介	47
3.2.1 理论知识	12	6.2.2 LED 显示器可显示内容和特点	47
3.2.2 程序基础	12	6.2.3 LED 显示器的结构与原理	47
3.3 项目实施	26	6.2.4 LED 显示 2 种接法	48
项目 4 流水灯实验	29	6.3 项目实施	49
4.1 项目分析	30	项目 7 LED 显示器动态显示	51
4.2 技术准备	30	7.1 项目分析	52
4.2.1 流水灯硬件实物	30	7.2 技术准备	52
4.2.2 流水灯原理图	30	7.2.1 LED 显示器动态显示与扫描原理	52
4.2.3 流水灯实验理论知识	31	7.2.2 4 位 LED 显示器的动态和静态显示连接方式图	52
4.2.4 定时器的结构	33	7.2.3 编程实验理论准备	52
4.2.5 定时器的 TMOD 和 TCON 寄存器	33	7.3 项目实施	55
4.2.6 定时器工作方式	34	项目 8 独立键盘输入	58
4.2.7 定时器编程步骤	34	8.1 项目分析	59
4.3 项目实施	35	8.2 技术准备	59



# CONTENTS

8.2.1 独立键盘输入理论知识	59	11.3 项目实施	85
8.2.2 硬件模块工作原理	59	<b>项目 12 综合实验: 秒表</b>	<b>87</b>
8.2.3 认识轻触开关按键	60	12.1 项目分析	88
8.2.4 键盘的分类	61	12.2 技术准备	88
8.3 项目实施	61	12.3 项目实施	88
<b>项目 9 单片机中断系统</b>	<b>63</b>	<b>项目 13 LCD 显示器静态显示字符</b>	<b>93</b>
9.1 项目分析	64	13.1 项目分析	94
9.2 技术准备	64	13.2 技术准备	94
9.2.1 单片机中断系基本概念	64	13.2.1 LCD 1602 介绍	94
9.2.2 中断传送方式及其特点	64	13.2.2 LCD1602 的驱动操作	95
9.2.3 80C51 中断系统	65	13.2.3 LCD 1602 的指令码	96
9.2.4 中断服务函数	68	13.2.4 RAM 地址映射图	97
9.3 项目实施	69	13.3 项目实施	97
9.3.1 外部中断低电平触发	69	<b>项目 14 红外遥控</b>	<b>102</b>
9.3.2 外部中断下降沿触发	70	14.1 项目分析	103
<b>项目 10 单片机定时器</b>	<b>71</b>	14.2 技术准备	103
10.1 项目分析	72	14.2.1 红外线	103
10.2 技术准备	72	14.2.2 NEC 协议	108
10.2.1 单片机定时基础	72	14.2.3 红外遥控器键码值	109
10.2.2 定时 / 计数器 T0 的工作原理	72	14.3 项目实施	109
10.2.3 定时 / 计数器的结构及工作原理	72	14.3.1 红外线发送	109
10.2.4 定时 / 计数器的工作方式	75	14.3.2 红外线接收	113
10.3 项目实施	77	<b>项目 15 简易计算器 (LED 显示器显示)</b>	<b>117</b>
<b>项目 11 串口通信</b>	<b>79</b>	15.1 项目分析	118
11.1 项目分析	80	15.2 技术准备	118
11.2 技术准备	80	15.3 项目实施	118
11.2.1 串口通信理论知识	80	15.4 技术拓展	120
11.2.2 计算机通信的分类	80	<b>项目 16 音乐喷泉</b>	<b>122</b>
11.2.3 串行通信与并行通信	80	16.1 项目分析	123
11.2.4 信号的调制与解调	82	16.2 技术准备	123
11.2.5 串行通信的错误校验	82	16.2.1 模块原理图	123
11.2.6 传输速率及其与传输距离的 关系	83	16.2.2 模块接口说明	124
11.2.7 串口结构	83	16.3 项目实施	124
11.2.8 串行通信的数据结构	83		

# CONTENTS

16.4 技术拓展	125	项目 21 步进电机控制	161
项目 17 防盗报警器	127	21.1 项目分析	162
17.1 项目分析	128	21.2 技术准备	162
17.2 项目准备	128	21.2.1 步进电机简介	162
17.3 项目实施	129	21.2.2 步进电机转动原理及内部结构	162
项目 18 8×8 点阵显示“爱心”	131	21.2.3 ULN2003	163
18.1 项目分析	132	21.3 项目实施	163
18.2 技术准备	132	21.3.1 单-双八拍	163
18.2.1 8×8 点阵介绍	132	21.3.2 加、减速	166
18.2.2 MAX7219 介绍	132	21.3.3 双四拍	168
18.2.3 MAX7219 引脚说明	132	21.4 技术拓展	170
18.2.4 串行数据格式	133	21.4.1 正、反转	170
18.2.5 可寻址的数据寄存器和控制寄存器	133	21.4.2 速度调节	171
18.3 项目实施	134	21.4.3 自制秒表	174
18.4 技术拓展	136	项目 22 A/D-D/A 模块	177
项目 19 温度计显示	138	22.1 项目分析	178
19.1 项目分析	139	22.2 技术准备	178
19.2 技术准备	139	22.2.1 PCF8591 介绍	178
19.2.1 DS18B20 单线总线的工作方式	139	22.2.2 PCF8591 的器件地址与控制寄存器	179
19.2.2 DS18B20 的操作步骤	142	22.2.3 I <sup>2</sup> C 总线的数据传送	179
19.3 项目实施	145	22.3 项目实施	184
19.4 技术拓展	148	22.4 技术拓展	190
项目 20 测距显示	150	22.4.1 D/A 输出模块	190
20.1 项目分析	151	22.4.2 A/D 模块 (LCD1602 显示)	190
20.2 技术准备	151	项目 23 火焰报警器	193
20.2.1 HC-SR04 超声波测距模块	151	23.1 项目分析	194
20.2.2 超声波测距原理	152	23.2 技术准备	194
20.3 项目实施	153	23.2.1 光、热敏电阻拓展接线原理	194
20.4 技术拓展	158	23.2.2 火焰传感器介绍	194
20.4.1 超声波测距 (LED 显示器显示改 I/O 端口)	158	23.3 项目实施	194
20.4.2 超声波测距 LCD1602 显示	159	23.4 技术拓展	200
		23.4.1 热感灯	200
		23.4.2 火焰传感器报警	201

# CONTENTS

项目 24 人体红外感应灯	202	25.2.3 SPI	212
24.1 项目分析	203	25.2.4 工作模式	214
24.2 技术准备	203	25.2.5 数据通道	215
24.2.1 基本概念及参数	203	25.3 项目实施	216
24.2.2 功能特点	203	25.4 技术拓展	224
24.2.3 使用说明	204	项目 26 智能风扇系统 (综合实验)	225
24.3 项目实施	205	26.1 项目分析	226
24.4 技术拓展	210	26.2 技术准备	226
项目 25 无线模块	211	26.3 项目实施	226
25.1 项目分析	212	附件 亚博 BST-M51 主要模块	
25.2 技术准备	212	电路图	240
25.2.1 NRF24L01 简介	212	参考文献	244
25.2.2 模块外接引脚	212		

# Chapter 1

## 项目1 构建单片机开发环境

### 项目目标

- 通过构造单片机开发环境，了解单片机开发系统结构和流程。

### 建议学时

- 2学时。

### 知识要点

- 单片机系统开发流程。
- 编程工具Keil C51。
- 程序烧录。

### 技能掌握

- 安装USB驱动；利用Keil C开发环境编辑、编译、调试C51程序的过程；掌握实用程序烧录方法及相关工具。



## 1.1 项目分析

学习单片机之前,必须要掌握构建单片机开发环境的方法。本项目详细讲解 USB 驱动程序的安装方法,如何安装使用开发软件 Keil4,如何烧录程序和使用相关工具。

## 1.2 技术准备

### 1.2.1 单片机系统简介

单片机 (Microcontrollers) 是一种集成电路芯片,它是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 端口和中断系统、定时器 / 计数器 (可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器) 等集成到一块硅片上构成的一个微型计算机系统,并在工业控制领域广泛应用。从 20 世纪 80 年代起,单片机已由当时的 4 位、8 位单片机,发展到现在的 32 位的主频超过 300M 的高速单片机。

在单片机应用系统开发过程中,单片机是整个设计的核心。如图 1-1 所示,单片机应用系统由硬件和软件组成。硬件是应用系统的基础,软件在硬件的基础上对其资源进行合理调配和使用,从而完成应用系统所要求的任务,二者相互依赖,缺一不可。

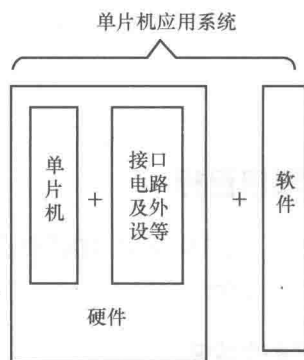


图 1-1 单片机应用系统结构

### 1.2.2 安装 USB 驱动程序

确保计算机联网。USB 口插入开发板后,计算机自动识别设备,自动联网,安装驱动设备。若计算机未自动安装驱动,打开设备管理器,找到插入开发板后弹出的新设备 (未安装好驱动的情况下在“其他设备”中,带有黄色感叹号或问号),右键单击该设备,选择“更新驱动程序软件”→“自动搜索更新的驱动程序软件”即可安装驱动,更新驱动程序软件步骤如图 1-2 ~ 图 1-5 所示。

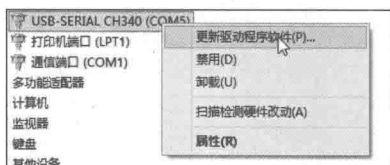


图 1-2 安装驱动程序软件步骤一

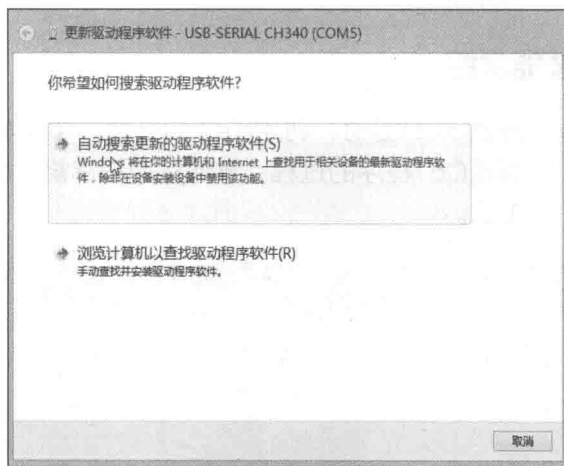


图 1-3 安装驱动程序软件步骤二

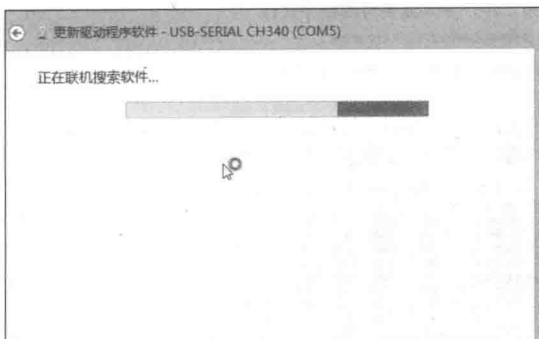


图 1-4 安装驱动程序软件步骤三

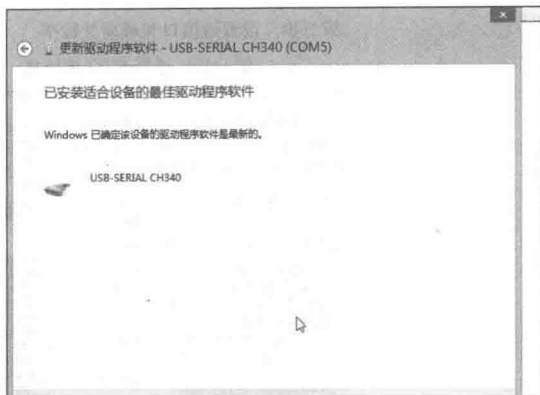


图 1-5 安装驱动程序软件步骤四

### 1.2.3 单片机程序烧录方法和相关工具

STC 单片机的程序烧录方法如下。

第一步，硬件连接。

将配套的 USB 电源线与串行端口线连上，在锁紧座上放入 STC 单片机，其他的硬件连接保持原状态，硬件连接完毕，打开电源。

第二步，软件操作。

(1) 打开软件，出现如图 1-6 所示界面。

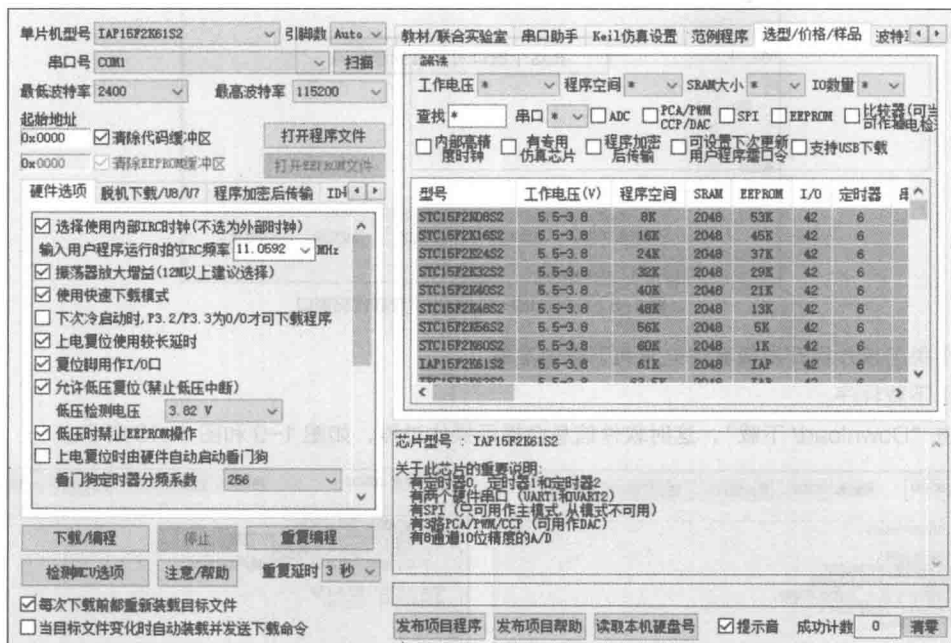


图 1-6 STC-ISP (V6.85) 界面

(2) 需要设置的几个参数，如图 1-7 所示。

参数设置在软件中都有详细提示，这里只是再次强调一下。

第三步，下载程序。

(1) 导入源程序，可查看源代码，如图 1-8 所示。

第三步：设置通信口和最高波特率

第一步：选择 STC 单片机

第二步：导入你要写的程序文件



图 1-7 STC-ISP (V6.85) 设置参数



图 1-8 STC-ISP (V6.85) 查看代码窗口

(2) 关闭单片机开发板套件电源为下载做准备。

(3) 下载程序。

单击“Download/ 下载”，这时软件信息会提示操作过程，如图 1-9 和图 1-10 所示。

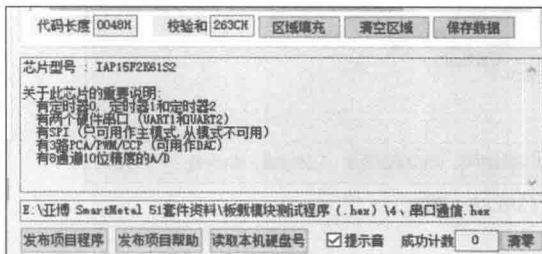


图 1-9 STC-ISP (V6.85) 下载过程

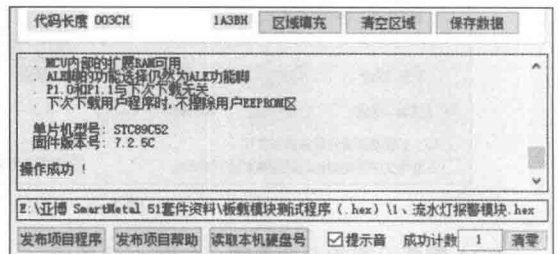


图 1-10 STC-ISP (V6.85) 烧录操作成功

(4) 当提示窗口的内容为给 MCU (微控制单元, 又称单片机) 通电时, 打开单片机开发板套件的电源, 程序将会自动完成写入。程序写入后, 在本书附带的单片机开发板套件中, 会立即演示出程序的效果。

## 1.2.4 使用单片机开发软件 Keil4

### 1. 编程工具 Keil C51

Keil Software 公司推出的 Keil  $\mu$ Vision 是一款基于 Windows 的软件平台。它是一种用于 51 系列单片机的集成开发环境 (Intergrated Development Enviroment, IDE)。目前的  $\mu$ Vision4 版本还可以支持 ARM 编程。 $\mu$ Vision 提供了功能强大的编辑器和调试器, 编辑器可以像一般的文本编辑器一样对源代码进行编辑, 调试器使用户能够快速地检查和修改程序。用户还可以选中变量和存储器来观察其值, 并可在双层窗口中显示, 还可对其进行适当的调整。

Keil 同时支持 C 语言和汇编语言编程, 本书只针对 C 语言进行讲解。Keil C51 编译器在遵循 ANSI C 标准的同时, 为 51 单片机进行了特别的设计和扩展, 可为用户提供在应用中需要的所有资源。

Keil C51 的库函数含有 100 多种功能, 其中大多数是可载入的。函数库支持所有的 ANSI C 的程序。库函数中的程序还为硬件提供特殊指令, 例如 nop、testbit、rol、ror 等, 方便了应用程序的开发。

### 2. 用 Keil C51 编写程序

编程语言都需要开发环境, 这样才能完成程序的编写、调试和编译。C51 程序开发是在 Keil  $\mu$ Vision 开发环境下进行的。下面首先介绍该开发环境 Keil  $\mu$ Vision4 的使用。该软件启动界面如图 1-11 所示。

(1) 单击“Project”→“New  $\mu$ Vision Project”新建一个工程, 如图 1-12 所示。

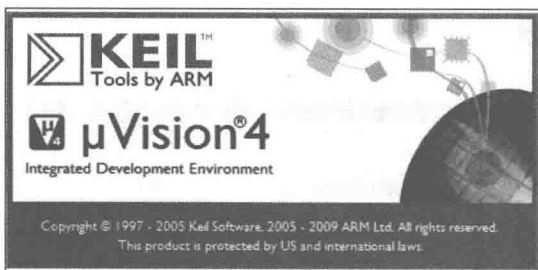


图 1-11 Keil  $\mu$  Vision4 软件启动界面

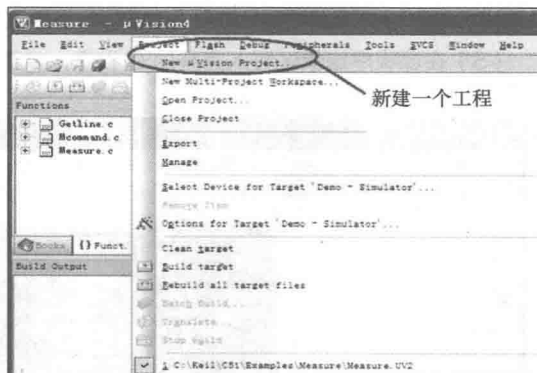


图 1-12 Keil  $\mu$  Vision4 新建工程

(2) 在对话框中, 给这个工程取名 test1 后, 保存, 不需要填写后缀, 如图 1-13 所示。注意, 默认的工程后缀与  $\mu$ Vision3 及  $\mu$ Vision2 版本不同, 为 uvproj。



图 1-13 Keil  $\mu$  Vision4 新建工程



(3) 在弹出的对话框中, CPU 类型下选择实际使用的单片机型号。本例找到并选中“Atmel”下的 AT89S51, 如图 1-14 所示。

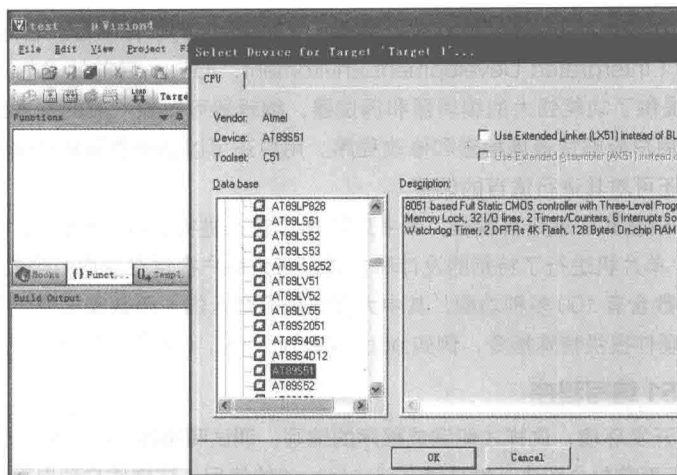


图 1-14 Keil uVision4 选择型号

(4) 在以上工程创建完毕后, 开始建立一个源程序文本, 如图 1-15 所示。

(5) 在源程序编辑区写入完整的 C 程序, 如图 1-16 所示。

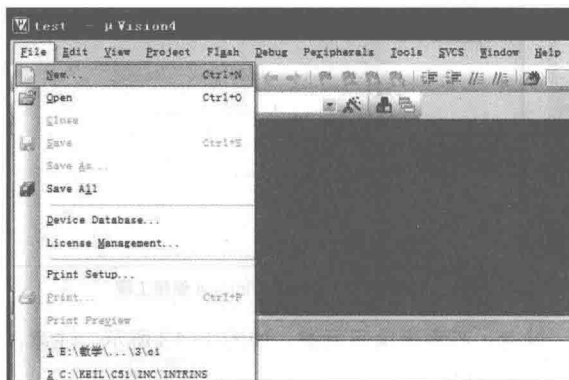


图 1-15 Keil uVision4 新建源程序文本

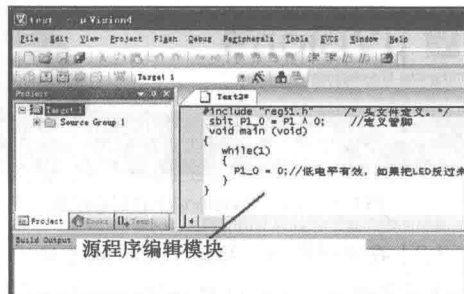


图 1-16 Keil uVision4 源程序编辑

(6) 单击“保存”快捷键, 弹出保存对话框, 在文件名对话框里输入源程序文件名, 此示例输入的文件名为“test”, 如图 1-17 所示。注意, 如果使用汇编语言, 源程序文件名必须使用“.asm”后缀, 如本示例为“test.asm”; 如果使用 C 语言, 则源程序文件名必须使用“.c”后缀, 如本示例为“test.c”, 然后保存。此时可以看到程序文本字体颜色已发生了变化, 表明编译器生效。

(7) 把刚创建的源程序文件加入到工程项目文件中, 如图 1-18 所示。

(8) 单击目标选项 (Target Options) 按钮“”, 先选择“Target (目标)”标签, 设置晶振, 一般设置为 12MHz, 方便计算指令时间, 如图 1-19 所示。

(9) 在“Output (输出)”标签栏选中“Create HEX File”, 使编译器的输出为单片机需要的 HEX 文件, 如图 1-20 所示。