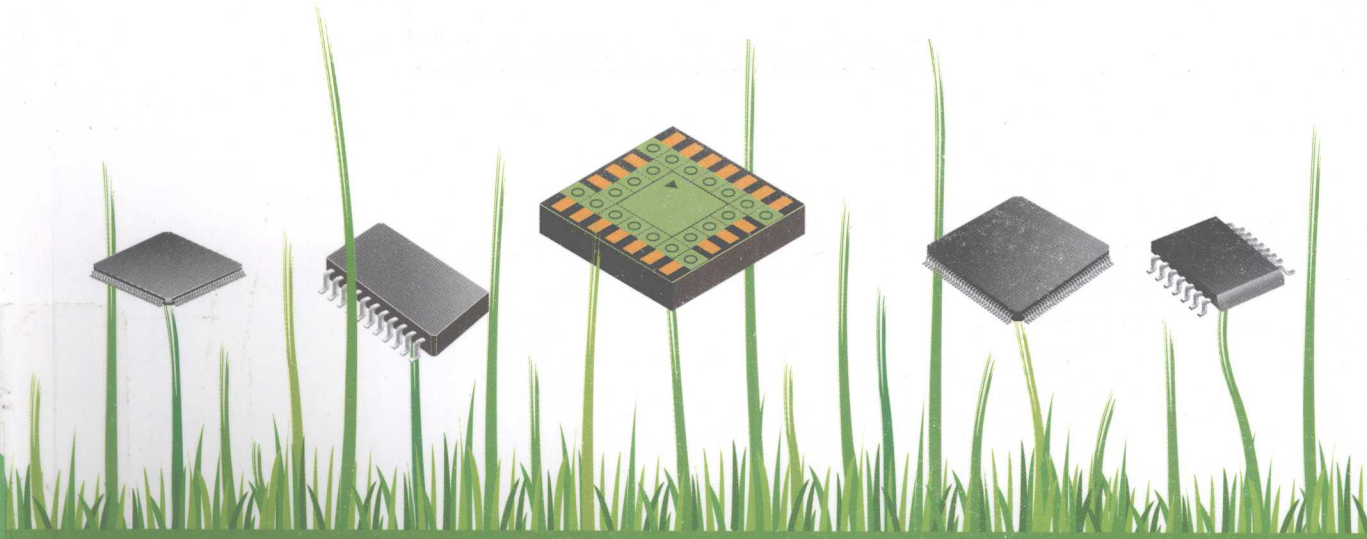
单片机C语言程序设计实训100例

——基于AVR+Proteus仿真



彭　伟　编著

北京航空航天大学出版社

单片机C语言程序设计实训100例

——基于AVR＋Proteus仿真

彭　伟　编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

基于 AVR Studio＋WinAVR(GCC)组合环境和 Proteus 硬件仿真平台，精心安排了 100 个 AVR 单片机 C 程序设计案例。全书提供了所有案例完整的 C 语言源程序，各案例设计了难易适中的实训目标。

基础设计类案例涵盖 AVR 单片机最基本的端口编程、定时/计数器应用、中断程序设计、A/D 转换、比较器程序设计、EEPROM、Flash、USART 及看门狗程序设计；硬件应用类案例涉及单片机存储器扩展、接口扩展、译码、编码、驱动、光电、机电、传感器、I^2C/TWI 及 SPI 接口器件、MMC、红外等器件；综合设计类案例涉及消费类电子产品、仪器仪表及智能控制设备相关技术，相关案例涉及 485 及 RTL8019 的应用。

本书适合用作大专院校学生学习实践 AVR 单片机 C 语言程序设计技术的参考书，也可用作电子工程技术人员、单片机技术爱好者的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机 C 语言程序设计实训 100 例：基于 AVR＋Proteus 仿真/彭伟编著．—北京：北京航空航天大学出版社，2010.5

ISBN 978－7－5124－0068－9

Ⅰ.①单… Ⅱ.①彭…… Ⅲ.①单片微型计算机—C 语言—程序设计 Ⅳ.①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 068448 号

单片机 C 语言程序设计实训 100 例——基于 AVR＋Proteus 仿真

彭 伟 编著

责任编辑 冯 颖

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) http://www.buaapress.com.cn

发行部电话：(010)82317024 传真：(010)82328026

读者信箱：bhpress@263.net 邮购电话：(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本：787×1 092 1/16 印张：36 字数：922 千字

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷 印数：4 000 册

ISBN 978－7－5124－0068－9 定价：65.00 元

前 言

目前，各高校电类专业都将C语言作为专业基础课程纳入教学计划。由于C语言功能强大、便于模块化开发、所带库函数非常丰富、编写的程序易于移植，因此，它成为单片机应用系统开发最快速高效的程序设计语言。仅具有C语言基础知识但不熟悉单片机指令系统的读者也能很快掌握单片机C程序设计技术，C语言在单片机应用系统设计上的效率优势已经远远高于汇编、BASIC等开发语言。

单片机C程序设计不同于通用计算机应用程序设计，它必须针对具体的微控制器及外围电路来完成。为便于学习单片机应用程序设计和系统开发，很多公司推出了单片机实验箱、仿真器和开发板等，这些硬件设备可用于验证单片机程序、开发和调试单片机应用系统。但由于这些设备价格不菲，它们阻碍了普通读者对单片机技术的学习和研究。令人高兴的是，英国Labcenter公司推出了具有单片机系统仿真功能的Proteus软件，单片机系统开发通常是基于上位机加目标系统进行的，Proteus的出现使读者仅用一台PC在纯软件环境中完成系统设计与调试成为可能。目前Proteus支持8051、AVR、PIC等多种单片机，系统库中包含有大量的模拟、数字、光电和机电类元器件，系统还提供了多种虚拟仪器，用AVR Studio＋WinAVR(GCC)开发的程序可以在用Proteus设计的仿真电路中调试和交互运行。这无疑为读者学习和提高AVR单片机C程序设计技术，为单片机应用系统高水平工程师的成长提供了理想平台。

为帮助读者快速提高AVR单片机C程序设计水平，本书基于AVR Studio＋WinAVR(GCC)组合开发环境和Labcenter公司的Proteus仿真平台，精心安排了100个AVR单片机C程序设计案例，各案例同时给出了难易适中的实训目标。

前2章分别对AVR－GCC程序设计和Proteus操作基础作了概述。第3章基础程序部分给出的案例涵盖AVR单片机端口编程、定时/计数器应用、A/D转换、模拟比较器程序设计、中断程序设计、EEPROM、Flash、USART及看门狗程序设计，各案例分别对相关知识和技术要点作了阐述与分析，源程序中也给出了丰富的注释信息。第4章硬件应用部分针对AVR单片机的存储器扩展、接口扩展、译码、编码、驱动、光电、机电、传感器、I^2C/TWI及SPI接口器件、MMC、红外等器件给出了数十个案例，对案例中涉及的硬件技术资料亦进行了有针对性的分析，以便于读者快速理解相关代码的编写原理。第5章的案例综合应用了单片机内部资源和外部扩展硬件，通过对这些案例的独立分析研究与调试运行，读者用C语言开发AVR单片机应用系统的能力会得到大幅提升。

本书是单片机C语言程序设计实训仿真系列8051版之后的第2册。为使本书能早日与读者见面，笔者坚持挤出时间不懈耕耘。在编写过程中，刘静、张力、王魏参与了案例的调试与校稿工作，在此对他们深表感谢！本书从选题、撰稿到出版的全过程中，学院领导、学院科研处及高教研究所对本选题始终给予大力支持，并提供项目资助，教务处和信息技术系也一直关注本书的编

写与进展情况，在此一并对学院和部门领导的关心与支持表示由衷感谢！

本书提供完整的案例压缩包，需要的读者可到北京航空航天大学出版社网站 http://www.buaapress.com.cn 的“下载中心”免费下载。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错漏之处在所难免，在此真诚欢迎读者对本书多多提出宝贵意见（笔者的邮箱是：pw95aaa@foxmail.com）。

至此，本套单片机C语言程序设计实训仿真系列的8051版与AVR版已经编写完成，PIC版正在后续编撰之中，笔者将努力争取使之早日出炉，以飨读者。

彭　伟

2010年3月于武昌

目 录

第 1 章

AVR 单片机 C 语言程序设计概述

1997 年，美国 Atmel 公司将其先进的 Flash 技术与 8051 单片机结合起来，推出了 8 位 AVR 单片机。与传统的采用复杂指令系统(CISC)的 8051 单片机不同的是，AVR 单片机采用了更适合中高档电子产品和嵌入式系统应用需求的精简指令系统(RISC)。

为适应不同层次与不同场合的应用需要，Atmel 公司推出了多个系列的 AVR 单片机，它们广泛应用于工控系统、计算机外部设备、通信设备、仪器仪表及应用类电子产品。本书所有案例使用的是 ATmega 系列单片机，涉及的型号有 ATmega8515/8535、ATmega8/16/32/64/128。

作为 Atmel 公司免费推出的 AVR 单片机开发平台，AVR Studio 提供了编写和调试 AVR 单片机应用程序的集成开发环境。它为源程序编写、设备编程、仿真及片上调试提供一个项目管理工具、源代码编辑器、模拟器、集成环境和前端。AVR Studio 支持全部的 Atmel AVR 工具集，每个版本总是包含有最新的 AVR 器件和工具支持。

但是，当前版本的 AVR Studio 仅提供汇编语言编译器，并未提供 C/C++程序编译器。要在 AVR Studio 集成环境中开发 AVR 单片机 C 程序，显然还需要安装配置第三方提供的 C/C++语言程序编译器。本书案例开发所使用的 WinAVR 是一套用于 Atmel AVR 系列 RISC 微处理器程序开发的开源的软件开发工具集，它以著名的自由软件 GCC 为 C/C++编译器。

使用 AVR Studio 提供的程序开发与调试前端及 WinAVR 提供的 AVR－GCC 编译程序组合搭建的 AVR 单片机 C 语言程序开发平台，可大大降低开发成本，缩短开发周期，大幅提高开发效率，程序可读性好且易于移植。

本书的编写，旨在进一步提高读者的 AVR 单片机 C 语言程序开发能力，全书的 100 个案例全部在 AVR Studio＋WinAVR 环境下编写并调试通过，同时给出了完整 Proteus 仿真电路。当前版本的 AVR Studio 已经支持内嵌 Proteus 进行跟踪调试与仿真。

阅读使用本书之前要求读者已经学习了基本的 AVR 单片机 C 程序设计技术，本章仅介绍使用 C 语言设计单片机应用系统必须参考和重点掌握的技术内容，这些内容会对阅读、调试、研究本书案例及进行设计实训提供重要参考。

1.1 AVR 单片机简介

本书案例使用的 AVR 单片机有 ATmega8515/8535、ATmega8/16/32/64/128，图 1－1 给出了全书案例中出现最多的 ATmega16(L)单片机的不同封装形式及引脚分布，本节仅对该单片机端口及引脚作简要介绍。

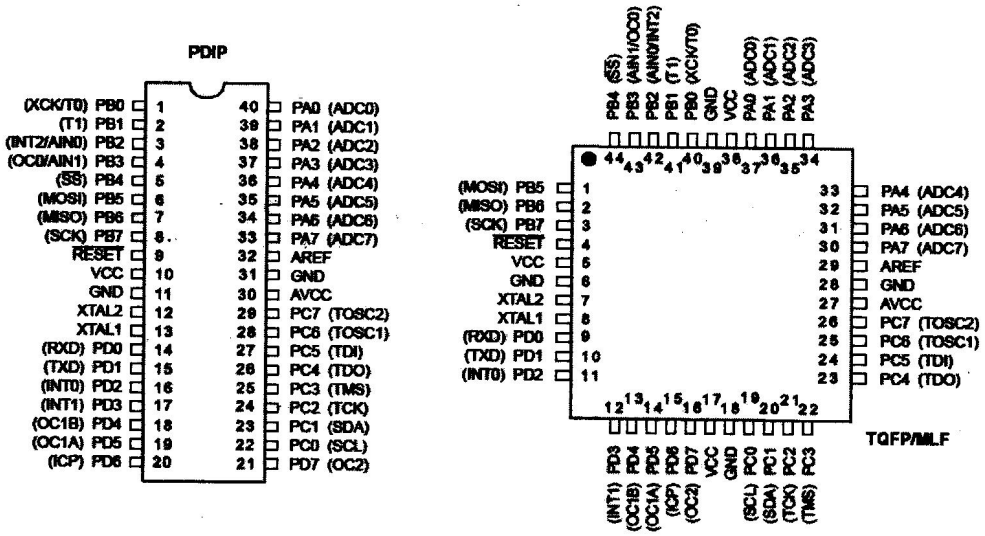


图1-1 ATmega16(L)单片机不同封装形式及引脚

ATmega16(L)的主要特征如下：

(1)非易失性程序与数据存储器(Nonvolatile Program and Data Memories)

- 16 KB的系统内可编程Flash，可擦写10000次，支持ISP(在系统编程)和IAP(在应用编程)。
- 单片机内部数据存储器SRAM空间达1 KB。
- 512字节的EEPROM可擦写100000次，可以在系统掉电时保存用户数据信息。

(2)端口及外设特征(Peripheral Features)

- 32个可编程I/O口分为PA～PD共4组，每组8位。
- 2个具有独立预分频器和比较器功能的8位定时/计数器，1个具有预分频器、比较功能和捕获功能的16位定时/计数器。
- 具有独立振荡器的实时计数器RTC。
- 4通道PWM。
- 内置8通道10位精度的逐次逼近式A/D转换器(ADC)，支持单端和双端差分信号输入，内含增益可编程运算放大器。
- 片内模拟比较器。
- 面向字节的两线式串行接口TWI(Two－Wire serial Interface)。
- 可工作于主机/从机模式的串行接口SPI (Serial Peripheral Interface)。
- 2个可编程的串行USART。
- 具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。

(3)工作电压与速度等级

- ATmega16L：2.7 ～ 5.5 V；ATmega16：4.5 ～ 5.5 V。
- ATmega16L：0 ～ 8 MHz；ATmega16：0 ～ 16 MHz。

在了解 ATmega16(L)单片机的主要特征以后，再来看一下单片机的引脚说明：

(1)4 个通用 I/O 端口

PA～PD 端口都是 8 位的双向 I/O 端口，具有可编程的内部上拉电阻，其输出缓冲器具有对称的驱动特性，可以输出和吸收较大电流。作为输入端口使用时，如果使能内部上拉电阻，端口被外部电路拉低时将输出电流。

(2)PA～PD 端口的第二功能

PA 端口(PA7～PA0)可作为 A/D 转换器的模拟输入端 ADC7～ADC0。

PB 端口(PB7～PB0)的第二功能如下：

PB7：SCK (SPI 总线的串行时钟)；

PB6：MISO (SPI 总线的主机输入/从机输出信号)；

PB5：MOSI (SPI 总线的主机输出/从机输入信号)；

PB4：SS (SPI 从机选择引脚)；

PB3：AIN1 (模拟比较负输入)/OC0 (T/C0 输出比较匹配输出)；

PB2：AIN0 (模拟比较正输入)/INT2 (外部中断 2 输入)；

PB1：T1 (T/C1 外部计数器输入)；

PB0：T0 (T/C0 外部计数器输入)/XCK (USART 外部时钟输入/输出)。

PC 端口(PC7～PC0)引脚第二功能如下：

PC7：TOSC2 (定时振荡器引脚 2)；

PC6：TOSC1 (定时振荡器引脚 1)；

PC5：TDI (JTAG 测试数据输入)；

PC4：TDO (JTAG 测试数据输出)；

PC3：TMS (JTAG 测试模式选择)；

PC2：TCK (JTAG 测试时钟)；

PC1：SDA (两线串行总线数据输入/输出线)；

PC0：SCL (两线串行总线时钟线)。

PD 端口(PD7～PD0)的第二功能如下：

PD7：OC2 (T/C2 输出比较匹配输出)；

PD6：ICP1 (T/C1 输入捕获引脚)；

PD5：OC1A (T/C1 输出比较 A 匹配输出)；

PD4：OC1B (T/C1 输出比较 B 匹配输出)；

PD3：INT1 (外部中断 1 输入引脚)；

PD2：INT0 (外部中断 0 输入引脚)；

PD1：TXD (USART 输出引脚)；

PD0：RXD (USART 输入引脚)。

(3)其他引脚

RESET：复位输入引脚，持续时间超过最小门限时间的低电平将引起系统复位。

XTAL1：反向振荡放大器与片内时钟操作电路的输入端。

XTAL2：反向振荡放大器的输出端。

AVCC：端口 A 与 A/D 转换器的电源，不使用 ADC 时，该引脚应直接与 VCC 连接，使用

ADC时应通过一个低通滤波器与VCC连接。

AREF：A/D的模拟基准输入引脚。

VCC/GND：数字电路的电源/地。

Proteus仿真时电源已默认连接，仿真电路图中电源连接全部默认。AVCC在未使用ADC的多数电路中没有连接VCC，在实物电路设计时应注意连接VCC。

1.2 AVR Studio+WinAVR开发环境安装及应用

AVR Studio是Atmel官方针对AVR系列单片机推出的集成开发环境，它集开发调试于一体，有很好的用户界面与很好的稳定性。由于AVR Studio仅支持编译汇编语言程序，不支持对C语言程序的编译，要基于AVR Studio搭建AVR单片机C语言程序开发环境，除免费下载安装AVR Studio以外，还需要下载安装C/C++编译器。本书通过下载安装WinAVR来提供AVR-GCC编译器。

搭建基于AVR Studio+WinAVR的案例开发环境时，所使用的安装包分别为WinAVR-20090313-install.exe及AvrStudio416Setup.exe，这两个安装包都可以从网上免费下载。在实际应用中，可根据需要随时获取最新版本的安装包。

当前版本的AVR Studio对中文路径支持得还不够好，在创建新项目时建议用英文或数字等非全角字符命名文件夹或文件。图1-2所示窗口中创建的LCD_Test项目保存于E:\my_avr_c文件夹下，单击Next按钮后可进一步选择设备(Device)。

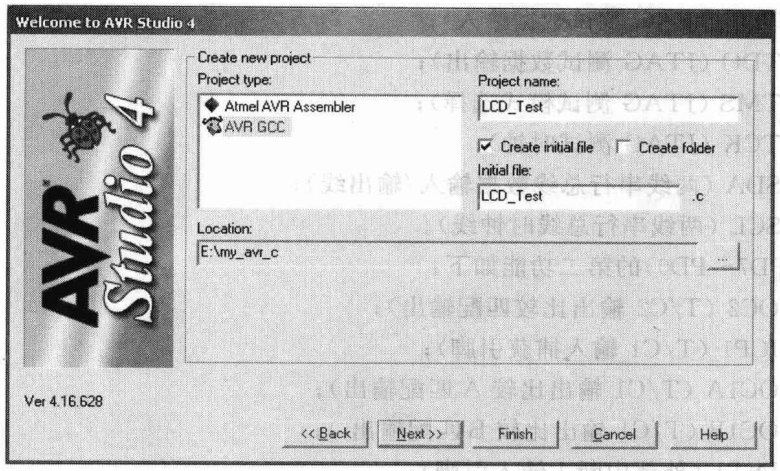


图1-2 创建新项目

图1-3所示为AVR Studio主窗体，左边的AVR GCC窗口以树形方式列出了当前项目的所有相关文件，该窗口中除初始时创建的LCD_Test.c文件以外，还添加了LCD1602.c。编写完该项目C程序后，在开始编译并生成HEX、ELF、EEP等文件之前，要先单击工具栏上的编辑当前配置选项(Edit Current Configuration Options)按钮。该按钮在图1-3所示窗口第2条工具栏的最右边。

图1-4是当前项目选项设置窗口，在常规(General)选项中可以看到当前项目的默认输出文件夹是default。如果还没有设置当前AVR单片机选型，可在设备(Device)下拉框中选

取，当前选择的是 ATmega16。设备下面是时钟频率(Frequency)设置文本框，当前设置的频率是 4 MHz。编译优化(Optimization)选项当前选择是“－Os”，它优化所输出的可执行程序文件的大小(Optimize for size)。有关该窗口中配置选项的更多细节，可单击帮助按钮查看。

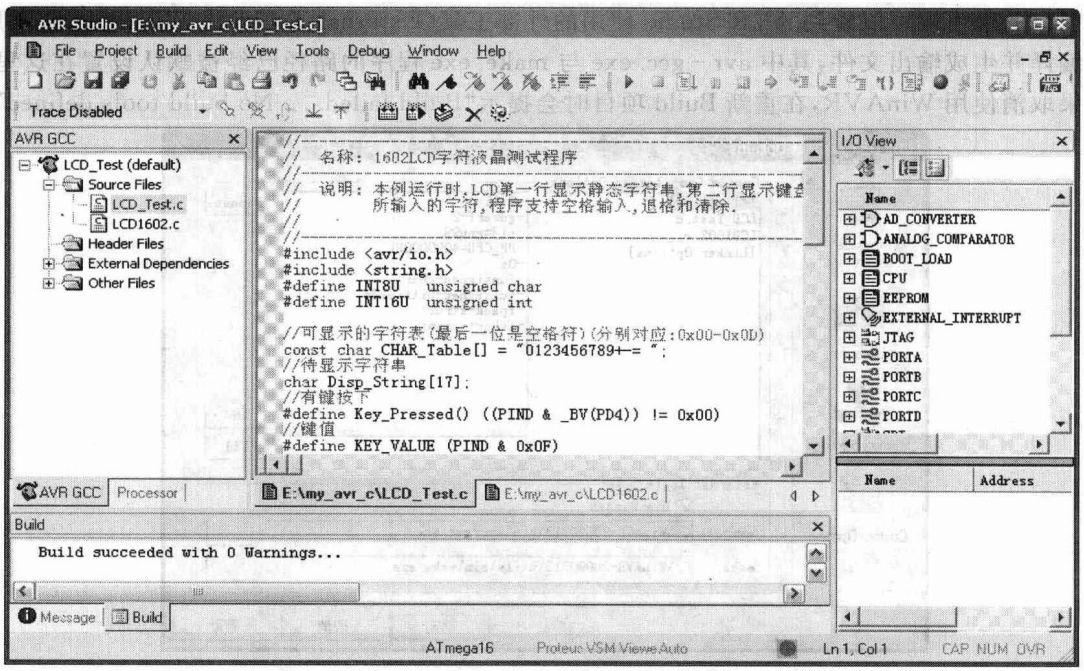


图 1－3　AVR Studio 主窗体

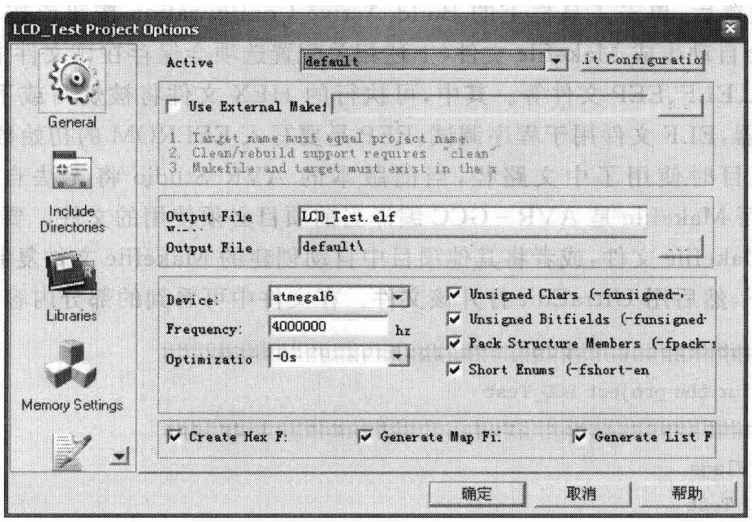


图 1－4　当前项目的常规配置选项窗口

该窗口的 Unsigned Chars(－funsigned char)设置选项应引起重视，此选项是默认选中的，它将程序中的 char 类型默认为无符号类型，这一点与 Keil C 是不一样的。假如程序中出现－50～ 125 ℃范围内的正负温度比较，编写程序时就需要使用 signed char 类型定义变量，

而不能直接使用 char 类型进行定义，除非取消该设置。

该窗口中的其他配置选项可保持为默认值，不作任何改动。

当打开项目选项中的自定义选项(Custom Options)时可看到图 1-5 所示的配置窗口，在该窗口的最下端可以看到 AVR Studio 使用的外部工具(External Tools)是 WinAVR，它被用来编译并生成输出文件，其中 avr-gcc.exe 与 make.exe 程序的路径已经被默认设置在这里。如果取消使用 WinAVR，在重新 Build 项目时会提示“Build failed... No build tools defined”。

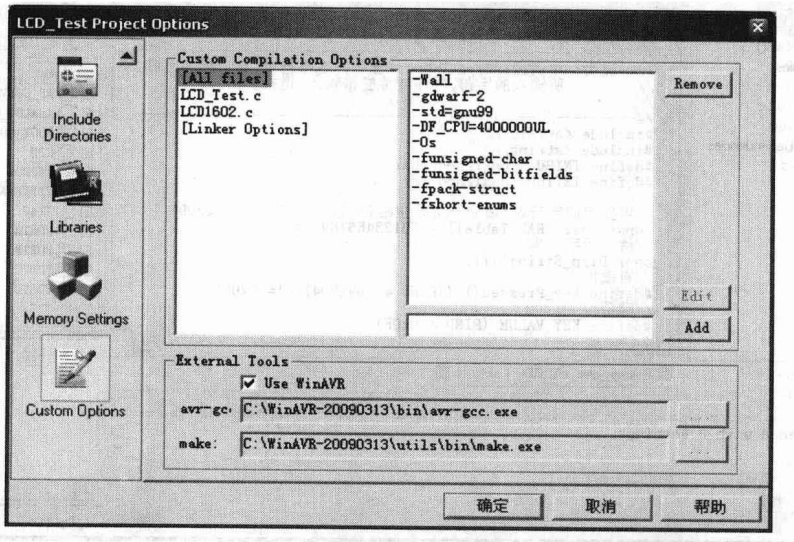


图 1-5　自定义选项配置窗口

完成所有设置后，单击工具栏上的 Build Active Configuration 按钮或按下 F7，这时 default 文件夹下会自动生成 Makefile 文件(上述相关配置选项会保存在该文件中)，并生成输出文件，包括 HEX、ELF、EEP 文件等。其中，可执行的 HEX 文件将被烧写或下载到单片机的 Flash 程序存储器，ELF 文件用于程序调试，EEP 是要写入 EEPROM 的初始数据文件。

如果创建项目时使用了中文路径，当前版本的 AVR Studio 将无法自动创建或修改 Makefile 文件，而 Makefile 是 AVR-GCC 编译当前项目必须使用的文件。要解决这一问题，可以手动创建 Makefile 文件，或者将其他项目中自动创建的 Makefile 文件复制到当前项目的 default 文件夹下，然后用 UltraEdit 打开该文件。在文件中可看到的部分内容如下：

```
############################################################
# Makefile for the project LCD_Test
############################################################
## General Flags
PROJECT = LCD_Test
MCU = atmega16
TARGET = LCD_Test.elf
CC = avr-gcc
.....
CFLAGS + = ..... -DF_CPU = 4000000UL -Os -funsigned-char .....
.....
```

```
## Objects that must be built in order to link
OBJECTS = LCD_Test.o LCD1602.o
......
## Compile
LCD_Test.o: ../LCD_Test.c
    $(CC) $(INCLUDES) $(CFLAGS) -c  $<
LCD1602.o: ../LCD1602.c
    $(CC) $(INCLUDES) $(CFLAGS) -c  $<
......
```

该文件中的以下相关项目要在 UltraEdit 内根据需要进行修改并保存：

PROJECT——设置输出的项目名称，这需要根据当前项目名称进行修改；

MCU——设置当前项目所选用微控制器；

TARGET——设置输出目标调试文件(*.ELF)；

DF_CPU——设置所选择的时钟频率；

OBJECTS——列出 build 时所使用的目标文件(*.o)，有多个目标文件时中间用空格隔开；

##Compile——列出了当前项目中的所有源程序文件名(*.c)及生成的目标文件名(*.o)，根据当前新创建的项目文件中的源程序文件名称及文件个数，这里需要进行相应的增删或修改。

通过 UltreaEdit 修改 Makefile 以后，处于中文路径下的 AVR 单片机 GCC 程序项目仍然可以正常编译并生成输出文件。

有关在 AVR Studio 中通过 Debug 菜单选择设备及调试平台(Select Device and Debug Platform)，对当前生成的程序文件进行跟踪调试的方法将在第 2 章介绍。

1.3 AVR-GCC 程序设计基础

AVR-GCC 是一款优秀的 AVR 编译软件，是 GUN C 编译器在 AVR 上的移植，支持多种操作系统。本节不准备全面讲述 AVR-GCC 程序设计的所有基础内容，下面仅列举部分编写调试本书案例程序时需要引起注意的部分和在编写过程中容易出现错误的部分。本节最后还列出了部分 AVR-GCC 对标准 C 语言的扩展功能。

1. 基本数据类型、有符号与无符号数应用、数位分解、位操作

在讨论本节内容之前需要先熟悉 GCC 基本数据类型，本书 C 程序中所使用的部分基本数据类型如表 1-1 所列。表中的第 2 列与第 3 列分别是 GCC 头文件<stdint.h>及本书所使用的各种数据类型的重定义。要使用精确定义的数据宽度，建议引入头文件<stdint.h>，使用该文件所定义的类型，这些类型都以"_t"结尾。另外，如果要在程序中使用布尔类型(bool，取值为 true/false)，可在程序中引入头文件<stdbool.h>。

表1-1 AVR-GCC部分常用基本数据类型

数据类型	stdint.h定义	本书定义	长度/位	取值范围
signed char (char)	int8_t	INT8	8	−128～127
unsigned char	uint8_t	INT8U	8	0～255
char			8	取值范围为上述两者之一，具体范围由配置选项决定
int (signed int)	int16_t	INT16	16	−32768～32767
unsigned int	uint16_t	INT16U	16	0～65535
long (signed long)	int32_t	INT32	32	−2147483648～2147483647
unsigned long	uint32_t	INT32U	32	0～4294967295
float/double			32	-3.4×10^{38}～3.4×10^{38}

本书大多数案例使用的都是无符号数，对于0～255以内的整数，本书全部定义为INT8U类型，相当于字节类型BYTE或<stdint.h>定义的uint8_t类型；对于0～65535以内的整数，本书定义为INT16U类型，相当于字类型WORD或<stdint.h>定义的uint16_t类型。另外，GCC不支持float类型，它将float直接解释为double类型。

如果涉及正负数的处理，在定义类型时要注意使用signed类型。例如温度控制程序中有正负温度，传感器实际上可处理的温度范围为−55～125 ℃。为使程序能对温度值进行正确比较，程序中将温度类型定义为INT8类型(即signed char或int8_t类型，其取值范围为−128～127)。在Keil C中char类型默认为signed char，但在AVR Studio的配置窗口中，char类型默认为unsigned char类型，在定义可能出现正负值的温度变量时，不能定义使用char temp，除非修改配置选项，将char默认为signed char。

本书大量案例要将整数或浮点数显示在数码管上，这需要对待显示数据各数位进行分解，例如：

```
INT8U d = 227;
INT8U c[3];
c[0] = d/100;
c[1] = d/10 % 10;
c[2] = d % 10;
```

又如：

```
float x = 123.45;
```

如果要得到x的各个数位，可以先将x乘以100，然后再分解各数位：

```
INT16U y = x * 100;
INT8U c[5], i;
for (i = 4 ; i != 0xFF; i--)
{
   c[i] = y % 10;  y /= 10;
}
```