

卓越工程师培养系列

GD32 微控制器原理与应用

张沛昌 郭文波 主 编

唐 浒 董 磊 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

GD32F3 苹果派开发板(主控芯片为 GD32F303ZET6)配套有多种教材,分别介绍微控制器基础外设、微控制器复杂外设、微机原理、操作系统等知识。本书为微机原理教程,通过 15 个实验分别介绍汇编语言基础、基于汇编的数据处理、程序流控制、存储器访问、函数封装、GPIO 与流水灯、GPIO 与独立按键、外部中断、定时器、SysTick、RCU、串口通信、ADC 和 DAC 的原理与应用。全书程序代码的编写均遵循统一规范,且各实验采用模块化设计,以便将各模块应用于实际项目和产品中。

本书配有丰富的资料包,涵盖 GD32F3 苹果派开发板原理图、例程、软件包、PPT 等。资料包将持续更新,下载链接可通过微信公众号“卓越工程师培养系列”获取。

本书既可以作为高等院校电子信息、自动化等专业微控制器相关课程的教材,也可以作为微控制器系统设计及相关行业工程技术人员的入门培训用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinuan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

GD32 微控制器原理与应用 / 张沛昌, 郭文波主编. —北京: 清华大学出版社, 2023.6

(卓越工程师培养系列)

ISBN 978-7-302-63593-2

I. ①G… II. ①张… ②郭… III. ①微控制器 IV. ①TP368.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 090254 号

责任编辑:王 定

封面设计:周晓亮

版式设计:思创景点

责任校对:马遥遥

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-83470000

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京同文印刷有限责任公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19.25

字 数:451 千字

版 次:2023 年 8 月第 1 版

印 次:2023 年 8 月第 1 次印刷

定 价:79.80 元

产品编号:100914-01

前言

习近平总书记在党的二十大报告中指出，“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”“必须坚持科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，深入实施科教兴国战略、人才强国战略”“坚持教育优先发展、科技自立自强、人才引领驱动”“加快建设教育强国、科技强国、人才强国”“全面提高人才自主培养质量，着力造就拔尖创新人才”。本书作为“卓越工程师培养系列”丛书之一，以快速提升工程人才实践能力为目标，通过大量实践，让读者对微控制器底层原理和应用有深入的理解和思考，全面掌握微控制器的基础知识。只有这样，才有可能设计出性能优异的产品。

本书主要介绍微控制器原理与应用，采用的硬件平台为 GD32F3 苹果派开发板，其主控芯片为 GD32F303ZET6(封装为 LQFP144)，由兆易创新科技集团股份有限公司(以下简称“兆易创新”)研发并推出。兆易创新的 GD32 MCU 是中国高性能通用微控制器领域的领跑者，主要体现在以下几点：①GD32 MCU 是中国最大的 ARM MCU 产品家族，已经成为中国 32 位通用 MCU 市场的主流之选；②兆易创新在中国第一个推出基于 ARM Cortex-M3、Cortex-M4、Cortex-M23 和 Cortex-M33 内核的 MCU 产品系列；③全球首个 RISC-V 内核通用 32 位 MCU 产品系列出自兆易创新；④在中国 32 位 MCU 厂商排名中，兆易创新连续五年位居第一。

“微机原理”作为高等院校工科电子类、信息类专业的一门重要课程，旨在加强学生对计算机系统架构、汇编语言及计算机组成原理的了解。然而，市面上的多数书籍对架构知识涉及较少，或内容晦涩难懂，不利于读者全面了解系统架构知识并加以应用。此外，市面上针对国产 32 位微控制器的微机原理教材较少。为此，我们希望通过编写本书，使读者能够快速学习汇编语言，从而探索 and 了解 CPU 的工作方式，进一步提高编程技术。

“微机原理”教材的发展未来必将走向 32 位微控制器，这是不争的事实，但是否使用汇编语言，见仁见智。根据产业界的反馈，要理解计算机体系架构，就要了解指令系统。另外，现在很多产品都会涉及操作系统，如果没有汇编语言基础，就很难深入理解操作系统，更谈不上在操作系统上编写高性能、稳定、小尺寸的应用程序。我们建议先基于 C 语言学习 32 位微控制器，再基于汇编语言学习 32 位微控制器。前者可通过 GD32 系列教材中的《GD32F3 开发基础教程——基于 GD32F303ZET6》来学习，后者可使用本书学习。两本书在实验编排上有一定的相似性，旨在通过不同的语言来实现同样的功能。读者可以在对比中掌握两种语言的差异性和共性，从而夯实基础，加深对微控制器底层原理的理解。

GD32F303ZET6 微控制器采用了最新 Cortex-M4 内核，同主频下的代码执行效率相比市场同类 Cortex-M4 产品提高 10%~20%，相比 Cortex-M3 产品提高 30%。Cortex-M4 内核基于 ARM-v7 架构。ARM 架构为 32 位精简指令集(RISC)中央处理器架构，广泛应用于嵌入式系统

设计中，因此，学习 ARM 架构是嵌入式系统设计的重要环节之一。

人才是推动行业发展的核心力量，而常年来硬件领域人才缺口大，企业难以招聘到合适的人才。一方面，硬件学习门槛高、周期长；另一方面，难有完善的培养体系可以系统性地建立初学者的硬件知识体系，提升硬件水平。本书希望通过一系列实验，手把手带着读者一起学架构、学指令、学调试，丰富读者知识体系，提高其对嵌入式系统设计的兴趣，并在硬件开发道路上持之以恒、深入钻研，成为国家社会需要的人才。

本书各章内容安排如下：

第 1、2 章简要介绍本书所用开发平台和工具，以及开发工具的安装与配置，然后介绍微机工作原理和 GD32F30x 系列微控制器。

第 3~8 章以仿真实验为主线，对 Keil 软件的使用，工程的建立、编译和程序下载，以及汇编语言的基础知识进行介绍。

第 9~17 章介绍 GPIO、外部中断、定时器、SysTick、RCU、串口通信、ADC 和 DAC 的原理及相关寄存器，并通过实验进行验证。

本书特点如下：

(1) 本书内容对有一定微控制器基础的读者来说较为友好，建议先学习“卓越工程师培养系列”教材中的《GD32F3 开发基础教程——基于 GD32F303ZET6》，再学习本书。

(2) 本书适合具有 ARM 基础的嵌入式工程师学习，也可以作为高等院校电子类专业的教材。

(3) 本书注重理论与实践相结合，对于高深晦涩的原理涉及较少，大多采用通俗易懂的语言深入浅出地进行介绍。原理介绍之后再再进行实验，将理论运用到实际工程中，以巩固所学知识。

(4) 书中的所有例程按照统一的工程架构设计，每个子模块都按照统一标准设计，以方便读者后续使用书中所学知识进一步开发，或将其应用于项目当中。

(5) 本书配有丰富的资料包，包含例程、软件包、教学课件、教学视频、参考资料等。这些资料会持续更新，读者可通过扫描二维码获取。



资料包

本书由张沛昌、郭文波任主编，唐浒、董磊任副主编，其中，张沛昌和郭文波共同策划编写思路，指导并参与编写，最后对全书进行了统稿。本书配套的 GD32F3 苹果派开发板和例程由深圳市乐育科技有限公司开发。兆易创新科技集团股份有限公司的金光一、徐杰、王霄同样为本书的编写提供了充分的技术支持。清华大学出版社编辑为本书的出版做了大量的编辑和审校工作。在此一并致以衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。读者反馈问题、获取相关资料或遇实验平台技术问题，可发邮件至邮箱：ExcEngineer@163.com。

编者
2023 年 5 月

目 录

第 1 章 GD32 开发平台和工具	1
1.1 为什么选择 GD32	2
1.2 GD32F3 系列芯片介绍	2
1.3 GD32F3 苹果派开发板电路简介	4
1.3.1 通信一下载模块电路	5
1.3.2 GD-Link 调试一下载模块电路	6
1.3.3 电源转换电路	6
1.4 GD32F3 苹果派开发板可以开展的部分实验	7
1.5 GD32 微控制器开发工具的安装与配置	7
1.5.1 安装 Keil 5.30	8
1.5.2 设置 Keil 5.30	11
本章任务	13
本章习题	13
第 2 章 微机原理与简介	14
2.1 微机工作原理	15
2.1.1 微机的基本组成	15
2.1.2 汇编语言与汇编过程简介	16
2.1.3 微机工作过程	17
2.2 GD32F30x 系列微控制器概述	18
2.2.1 GD32F30x 系统架构	19
2.2.2 存储器映射	20
本章任务	23
本章习题	23
第 3 章 基准工程实验	24
3.1 实验内容	25

3.2 实验原理	25
3.2.1 Keil 编辑和编译及程序下载过程	25
3.2.2 Keil 工程选项	26
3.2.3 GD32 工程模块名称及说明	36
3.2.4 相关参考资料	36
3.3 实验步骤与代码解析	37
本章任务	51
本章习题	51
第 4 章 汇编语言初探	52
4.1 实验内容	53
4.2 实验原理	53
4.2.1 文件初解	53
4.2.2 工作寄存器	55
4.2.3 汇编语言基本语法	57
4.2.4 数制及转换	60
4.2.5 启动文件	61
4.2.6 .map 文件	63
4.2.7 仿真	66
4.3 实验步骤与代码解析	69
本章任务	72
本章习题	72
第 5 章 数据处理实验	73
5.1 实验内容	74
5.2 实验原理	74
5.2.1 数据传送指令	74
5.2.2 基本运算指令	75
5.2.3 逻辑运算指令	77
5.2.4 移位运算指令	77

5.2.5 机器码·····	80	8.3 实验步骤与代码解析·····	119
5.2.6 本章指令汇总·····	84	本章任务·····	122
5.3 实验步骤与代码解析·····	85	本章习题·····	122
本章任务·····	90	第9章 GPIO与流水灯实验····· 123	
本章习题·····	91	9.1 实验内容·····	124
第6章 程序流控制实验····· 92		9.2 实验原理·····	124
6.1 实验内容·····	93	9.2.1 LED电路原理图·····	124
6.2 实验原理·····	93	9.2.2 GPIO功能框图·····	124
6.2.1 程序流控制·····	93	9.2.3 GPIO部分寄存器·····	126
6.2.2 比较与测试指令·····	93	9.2.4 RCU部分寄存器·····	130
6.2.3 跳转指令·····	94	9.2.5 程序架构·····	131
6.2.4 条件后缀·····	95	9.3 实验步骤与代码解析·····	133
6.2.5 本章指令汇总·····	97	本章任务·····	139
6.3 实验步骤与代码解析·····	97	本章习题·····	139
本章任务·····	101	第10章 GPIO与独立按键输入	
本章习题·····	101	实验····· 140	
第7章 存储器访问实验····· 102		10.1 实验内容·····	141
7.1 实验内容·····	103	10.2 实验原理·····	141
7.2 实验原理·····	103	10.2.1 独立按键电路原理图·····	141
7.2.1 存储器·····	103	10.2.2 GPIO功能框图·····	142
7.2.2 存储器访问指令·····	104	10.2.3 GPIO部分寄存器·····	143
7.2.3 存储器空间·····	108	10.2.4 按键去抖原理·····	143
7.2.4 存储器空间使用·····	109	10.2.5 程序架构·····	144
7.2.5 本章指令汇总·····	109	10.3 实验步骤与代码解析·····	145
7.3 实验步骤与代码解析·····	109	本章任务·····	158
本章任务·····	114	本章习题·····	159
本章习题·····	114	第11章 外部中断实验····· 160	
第8章 函数封装实验····· 115		11.1 实验内容·····	161
8.1 实验内容·····	116	11.2 实验原理·····	161
8.2 实验原理·····	116	11.2.1 EXTI功能框图·····	161
8.2.1 函数介绍·····	116	11.2.2 EXTI部分寄存器·····	163
8.2.2 堆区和栈区·····	117	11.2.3 AFIO部分寄存器·····	165
8.2.3 栈区设置·····	117	11.2.4 异常和中断·····	167
8.2.4 栈操作指令·····	118	11.2.5 NVIC中断控制器·····	172
8.2.5 LDR伪指令·····	118	11.2.6 NVIC部分寄存器·····	173

11.2.7 程序架构·····	176	本章习题·····	232
11.3 实验步骤与代码解析·····	178	第 15 章 串口通信实验·····	233
本章任务·····	185	15.1 实验内容·····	234
本章习题·····	185	15.2 实验原理·····	234
第 12 章 定时器实验·····	186	15.2.1 串口通信协议·····	234
12.1 实验内容·····	187	15.2.2 串口电路原理图·····	236
12.2 实验原理·····	187	15.2.3 串口功能框图·····	237
12.2.1 通用定时器 L0 结构		15.2.4 串口部分寄存器·····	240
框图·····	187	15.2.5 串口模块驱动设计·····	244
12.2.2 通用定时器部分寄存器·····	190	15.2.6 程序架构·····	246
12.2.3 RCU 部分寄存器·····	192	15.3 实验步骤与代码解析·····	247
12.2.4 程序架构·····	193	本章任务·····	260
12.3 实验步骤与代码解析·····	194	本章习题·····	261
本章任务·····	203	第 16 章 ADC 实验·····	262
本章习题·····	203	16.1 实验内容·····	263
第 13 章 SysTick 实验·····	204	16.2 实验原理·····	263
13.1 实验内容·····	205	16.2.1 ADC 功能框图·····	263
13.2 实验原理·····	205	16.2.2 ADC 时钟及其转换	
13.2.1 SysTick 功能框图·····	205	时间·····	265
13.2.2 SysTick 实验流程图		16.2.3 ADC 部分寄存器·····	265
分析·····	206	16.2.4 程序架构·····	271
13.2.3 SysTick 部分寄存器·····	207	16.3 实验步骤与代码解析·····	272
13.2.4 程序架构·····	208	本章任务·····	283
13.3 实验步骤与代码解析·····	209	本章习题·····	283
本章任务·····	215	第 17 章 DAC 实验·····	284
本章习题·····	215	17.1 实验内容·····	285
第 14 章 RCU 实验·····	216	17.2 实验原理·····	285
14.1 实验内容·····	217	17.2.1 DAC 功能框图·····	285
14.2 实验原理·····	217	17.2.2 DAC 部分寄存器·····	288
14.2.1 RCU 功能框图·····	217	17.2.3 程序架构·····	290
14.2.2 RCU 部分寄存器·····	220	17.3 实验步骤与代码解析·····	292
14.2.3 FMC 部分寄存器·····	225	本章任务·····	298
14.2.4 程序架构·····	225	本章习题·····	298
14.3 实验步骤与代码解析·····	226	参考文献·····	299
本章任务·····	232		

第 1 章

GD32开发平台和工具

本章首先介绍 GD32F3 苹果派开发板及 GD32F30x 系列微控制器，并解释为什么选择 GD32F3 苹果派开发板作为本书的实验载体；然后介绍 GD32 微控制器开发工具的安装和配置；最后对 GD32F3 苹果派开发板上可以开展的实验及本书配套的资料包进行介绍。

1.1 为什么选择 GD32

兆易创新的 GD32 MCU 是中国高性能通用微控制器领域的领跑者，是中国首个 ARM Cortex-M3、Cortex-M4 及 Cortex-M23 内核通用 MCU 产品系列，现已发展成为中国 32 位通用 MCU 市场的主流之选。其所有型号在软件和硬件引脚封装方面都相互兼容，全面满足各种高中低端嵌入式控制系统的需求和升级，具有高性价比、完善的生态系统和易用性优势，全面支持多层次开发，可缩短设计周期。

自 2013 年兆易创新推出中国第一个 ARM Cortex 内核 MCU 以来，目前 GD32 已经成为中国最大的 ARM MCU 家族，提供 38 个产品系列 450 余个型号选择。各系列都具有很高的设计灵活性且软硬件相互兼容，允许用户根据项目开发需求在不同型号间自由切换。

GD32 产品家族以 Cortex-M3 和 Cortex-M4 主流型内核为基础，由 GD32F1、GD32F3 和 GD32F4 系列产品构建，并不断向高性能和低成本两个方向延伸。GD32F303 系列通用 MCU 基于 120MHz Cortex-M4 内核并支持快速 DSP 功能，持续以更高性能、更低功耗、更方便易用和更具灵活性的优势为工控消费及物联网等市场主流应用注入澎湃动力。

“以触手可及的开发生态为用户提供更好的使用体验”是 GD32 支持服务的理念。GD32 丰富的生态系统和开放的共享中心，既与用户需求紧密结合，又与合作伙伴互利共生，在蓬勃发展使多方受益，惠及大众。

GD32 联合全球合作厂商推出了多种集成开发环境(IDE)、开发套件(EVB)、图形化界面(GUI)、安全组件、嵌入式 AI、操作系统和云连接方案，并打造全新技术网站 GD32MCU.com，提供多个系列的视频教程和短片，可任意点播在线学习，产品手册和硬件资料也可随时下载。此外，GD32 还推出了多周期全覆盖的 MCU 开发人才培养计划，从青少年科普到高等教育全面展开，为新一代工程师提供学习与成长的沃土。

1.2 GD32F3 系列芯片介绍

在以往的微控制器选型过程中，工程师常常会陷入这样一个困局：一方面为 8 位/16 位微控制器的指令和性能有限，另一方面为 32 位处理器的成本高、功耗高。能否有效地解决这个问题，让工程师不必在性能、成本、功耗等因素中做出取舍和折中？

GD32F3 系列通用 MCU 基于 120MHz Cortex-M4 内核并支持快速 DSP 功能，具有更高性能、更低功耗、更方便易用的特性。

GD32F3 系列 MCU 提供六大系列(F303、F305、F307、F310、F330 和 F350)，共 80 个产品型号，包括 LQFP144、LQFP100、LQFP64、LQFP48、LQFP32、QFN32、QFN28 和 TSSOP20 共 8 种封装类型。以便以前所未有的设计灵活性和兼容度轻松应对飞速发展的产业升级挑战。

GD32F3 系列 MCU 最高主频可达 120MHz，并支持 DSP 指令运算；配备了 128~3072KB 的超大容量 Flash 及 48~96KB 的 SRAM，内核访问闪存高速零等待。芯片采用 2.6~3.6V 供电，I/O 口可承受 5V 电平；配备了 2 个支持三相 PWM 互补输出和霍尔采集接口的 16 位高级定时器，可用于矢量控制；还拥有多达 10 个 16 位通用定时器、2 个 16 位基本定时器和 2 个多通道 DMA 控制器。芯片还为广泛的主流应用配备了多种基本外设资源，包括 3 个 USART、2 个 UART、3 个 SPI、2 个 I²C、2 个 I²S、2 个 CAN2.0B 和 1 个 SDIO，以及外部总线扩展控制器(EXMC)。

其中，全新设计的 I²C 接口支持快速 Plus(Fm+)模式，频率最高可达 1MHz(1MB/s)，是以往速率的两倍，从而能够以更高的数据传输速率来适配高带宽应用场合。SPI 接口也已经支持四线制，方便扩展 Quad/SPI/NOR Flash 并实现高速访问。内置的 USB 2.0 OTG FS 接口可提供 Device、HOST、OTG 等多种传输模式，还拥有独立的 48MHz 振荡器，支持无晶振设计以降低使用成本。10/100Mb/s 自适应的快速以太网媒体存取控制器(MAC)可协助开发需要以太网连接功能的实时应用。芯片还配备了 3 个采样率高达 2.6MSPS 的 12 位高速 ADC，提供多达 21 个可复用通道，并新增了 16bit 硬件过采样滤波功能和分辨率可配置功能，还拥有 2 个 12 位 DAC。多达 80% 的 GPIO 具有多种可选功能，还支持端口重映射，并以增强的连接性满足主流开发应用需求。

由于采用了最新的 Cortex-M4 内核，GD32F3 系列主流型产品在最高主频下的工作性能可达 150DMIPS，CoreMark 测试可达 403 分。同主频下的代码执行效率相比市场同类 Cortex-M4 产品提高 10%~20%，相比 Cortex-M3 产品更是提高了 30%。不仅如此，全新设计的电压域支持高级电压管理功能，使得芯片在所有外设全速运行模式下的最大工作电流仅为 380 μ A/MHz，电池供电时的 RTC 待机电流仅为 0.8 μ A，在确保高性能的同时实现了最佳的能耗比，从而全面超越 GD32F1 系列产品。此外，GD32F3 系列与 GD32F1 系列保持了完美的软件和硬件兼容性，并使得用户可以在多个产品系列之间方便地自由切换，以前所未有的灵活性和易用性构建设计蓝图。

兆易创新还为新产品系列配备了完整丰富的固件库，包括多种开发板和应用软件在内的 GD32 开发生态系统也已准备就绪。线上技术门户(www.GD32MCU.com)已经为研发人员提供了强大的产品支持、技术讨论及设计参考平台。得益于广泛丰富的 ARM 生态体系，包括 Keil MDK、CrossWorks 等更多开发环境和第三方烧录工具也均已全面支持。这些都极大程度地简化了项目开发难度并有效缩短产品上市周期。

由于 GD32 拥有丰富的外设、强大的开发工具、易于上手的固件库，在 32 位微控制器选型中，GD32 已经成为许多工程师的首选。而且经过多年的积累，GD32 的各种开发资料非常完善，这也降低了初学者的学习难度。因此，本书选用 GD32 系列微控制器作为载体，GD32F3 苹果派开发板上的主控芯片就是封装为 LQFP144 的 GD32F303ZET6 芯片，其最高主频可达 120MHz。

GD32F303ZET6 芯片拥有的资源包括 64KB SRAM、512KB Flash、1 个 EXMC 接口、1 个 NVIC、1 个 EXTI(支持 20 个外部中断/事件请求)、2 个 DMA(支持 12 个通道)、1 个 RTC、2 个 16 位基本定时器、4 个 16 位通用定时器、2 个 16 位高级定时器、1 个独立看门

狗定时器、1 个窗口看门狗定时器、1 个 24 位 SysTick、2 个 I²C、3 个 USART、2 个 UART、3 个 SPI、2 个 I²S、1 个 SDIO 接口、1 个 CAN、1 个 USB、112 个通用 I/O、3 个 12 位 ADC(可测量 16 个外部和 2 个内部信号源)、2 个 12 位 DAC、1 个内置温度传感器和 1 个串行调试接口 JTAG 等。

使用 GD32 系列微控制器可以开发各种产品，如智能小车、无人机、电子体温枪、电子血压计、血糖仪、胎心多普勒、监护仪、呼吸机、智能楼宇控制系统和汽车控制系统等。

1.3 GD32F3 苹果派开发板电路简介

本书将以 GD32F3 苹果派开发板为载体对 GD32 系列微控制器程序设计进行介绍。那么，到底什么是 GD32F3 苹果派开发板？

GD32F3 苹果派开发板如图 1-1 所示，是由电源转换电路、通信—下载模块电路、GD-Link 调试—下载模块电路、LED 电路、蜂鸣器电路、独立按键电路、触摸按键电路、外部温湿度电路、SPI Flash 电路、EEPROM 电路、外部 SRAM 电路、NAND Flash 电路、音频电路、以太网电路、RS-485 电路、RS-232 电路、CAN 电路、SD Card 电路、USB Slave 电路、摄像头接口电路、LCD 接口电路、外扩引脚电路、外扩接口电路和 GD32 微控制器电路组成的电路板。

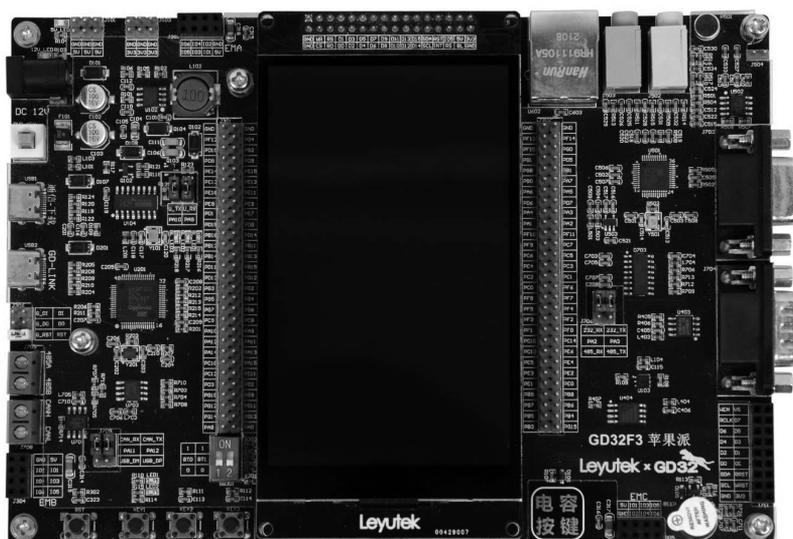


图 1-1 GD32F3 苹果派开发板

利用 GD32F3 苹果派开发板开展本书配套的实验，还需要搭配两条 USB 转 Type-C 型连接线。开发板上集成了通信—下载模块和 GD-Link 调试—下载模块。这两个模块分别通过一条 USB 转 Type-C 型连接线连接到计算机。通信—下载模块除了可以用于向微控制器下载程序，还可以实现开发板与计算机之间的数据通信；GD-Link 调试—下载模块既能下载程序，又能进行断点调试。GD32F3 苹果派开发板与计算机的连接图如图 1-2 所示。



图 1-2 GD32F3 开发板与计算机连接图

1.3.1 通信-下载模块电路

工程师编写完程序后，需要通过通信-下载模块将 .hex(或.bin) 文件下载到微控制器中。通信-下载模块通过一条 USB 转 Type-C 型连接线与计算机连接，通过计算机上的 GD32 下载工具(如 GigaDevice MCU ISP Programmer)，就可以将程序下载到 GD32 系列微控制器中。通信-下载模块除了具备程序下载功能外，还担任着“通信员”的角色，即可以通过通信-下载模块实现计算机与 GD32F3 苹果派开发板之间的通信。此外，除了使用 12V 电源适配器供电，还可以用通信-下载模块的 Type-C 接口为开发板提供 5V 电源。注意，开发板上的 PWR_KEY 为电源开关，通过通信-下载模块的 Type-C 接口引入 5V 电源后，还需要按下电源开关才能使开发板正常工作。

通信-下载模块电路如图 1-3 所示。USB₁ 为 Type-C 接口，可引入 5V 电源。编号为 U₁₀₄ 的芯片 CH340G 为 USB 转串口芯片，可以实现计算机与微控制器之间的通信。J₁₀₄ 为 2×2Pin 双排排针，在使用通信-下载模块之前应先使用跳线帽分别将 CH340_TX 和 USART0_RX、CH340_RX 和 USART0_TX 连接。

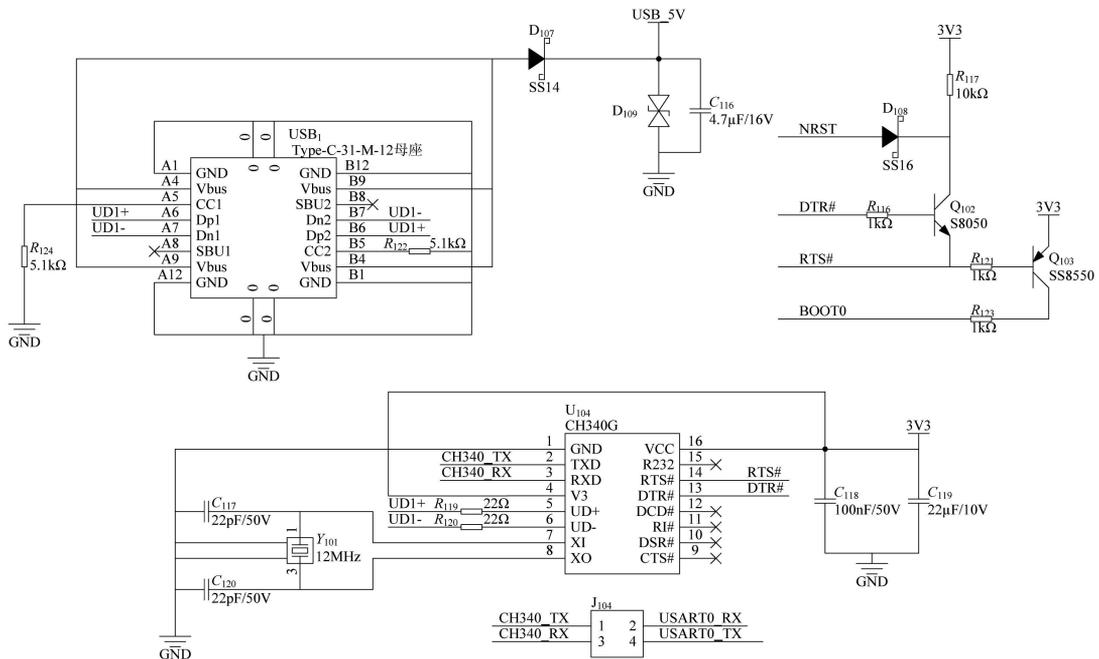


图 1-3 通信-下载模块电路

1.3.2 GD-Link 调试—下载模块电路

GD-Link 调试—下载模块不仅可以下载程序，还可以对 GD32F303ZET6 微控制器进行断点调试。GD-Link 调试—下载模块电路如图 1-4 所示，USB₂ 为 Type-C 接口，同样可引入 5V 电源，USB₂ 上的 UD2+ 和 UD2- 通过一个 22Ω 电阻连接到 GD32F103RGT6 芯片，该芯片为 GD-Link 调试—下载模块电路的核心，可通过 SWD 接口对 GD32F303ZET6 进行断点调试，或程序下载。

虽然 GD-Link 既可以下载程序，又能进行断点调试，但是无法实现 GD32 微控制器与计算机之间的通信。因此，在设计产品时，除了保留 GD-Link 接口，还建议保留通信—下载接口。

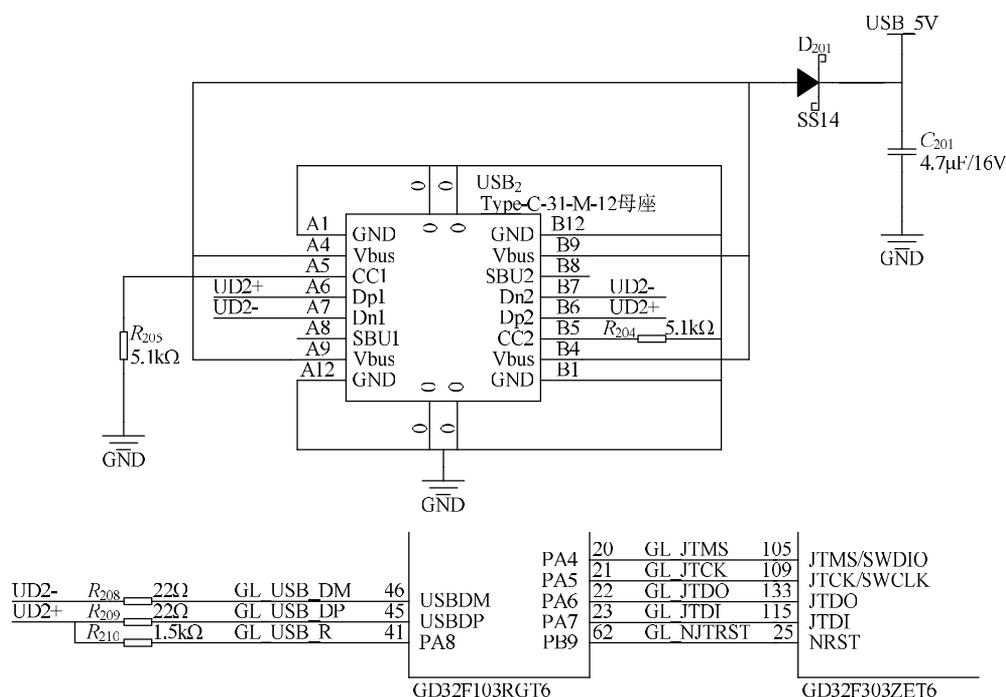


图 1-4 GD-Link 调试—下载模块电路

1.3.3 电源转换电路

5V 转 3V3 电源转换电路如图 1-5 所示，其功能是将 5V 输入电压转换为 3.3V 输出电压。通信—下载模块和 GD-Link 调试—下载模块的两个 Type-C 接口均可引入 5V 电源 (USB_5V 网络)。由 12V 电源适配器引入 12V 电源后，通过 12V 转 5V 电路同样可以得到 5V 电压 (VCC_5V 网络)。然后，通过电源开关 PWR_KEY 控制开发板的电源，开关闭合时，USB_5V 和 VCC_5V 网络与 5V 网络连通，并通过 AMS1117-3.3 芯片转出 3.3V 电压，微控制器即可正常工作。D₁₀₃ 为瞬态电压抑制二极管，功能是防止电源电压过高时损坏芯

片。U₁₀₁ 为低压差线性稳压芯片，可将 Vin 端输入的 5V 转化为 3.3V 在 Vout 端输出。

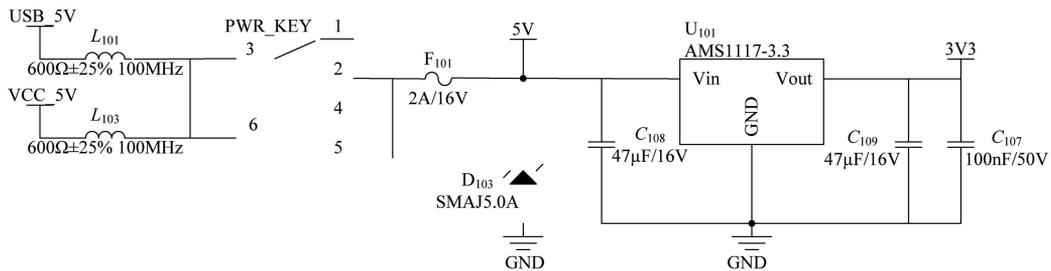


图 1-5 电源转换电路

GD32F3 苹果派开发板上的其他模块电路将在后续对应的实验中进行详细介绍。

1.4 GD32F3 苹果派开发板可以开展的部分实验

基于本书配套的 GD32F3 苹果派开发板，可以开展的实验非常丰富：基于微控制器片上外设开发的基础实验；基于开发板上其他模块外设开发的进阶实验；基于微控制器原理的应用实验；基于 emWin 开发的应用实验；基于 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 和 FreeRTOS 操作系统开发的应用实验。这里仅列出基于微控制器原理的 15 个实验，如表 1-1 所示。

表 1-1 基于微控制器原理的实验清单

序号	实验名称	序号	实验名称
1	基准工程实验	9	外部中断实验
2	汇编语言初探	10	定时器实验
3	数据处理实验	11	SysTick 实验
4	程序流控制实验	12	RCU 实验
5	存储器访问实验	13	串口通信实验
6	函数封装实验	14	ADC 实验
7	GPIO 与流水灯实验	15	DAC 实验
8	GPIO 与独立按键输入实验		

1.5 GD32 微控制器开发工具的安装与配置

自从兆易创新于 2013 年推出 GD32 系列微控制器至今，与 GD32 配套的开发工具有很多，如 Keil 公司的 Keil、ARM 公司的 DS-5、Embest 公司的 EmbestIDE、IAR 公司的 EWARM 等。目前国内使用较多的是 EWARM 和 Keil。

EWARM(Embedded Workbench for ARM)是 IAR 公司为 ARM 微处理器开发的一个集成

开发环境(简称 IAR EWARM)。与其他 ARM 开发环境相比较, IAR EWARM 具有入门容易、使用方便和代码紧凑的特点。Keil 是 Keil 公司开发的基于 ARM 内核的系列微控制器集成开发环境, 它适合不同层次的开发者, 包括专业的应用程序开发工程师和嵌入式软件开发入门者。Keil 包含工业标准的 Keil C 编译器、宏汇编器、调试器、实时内核等组件, 支持所有基于 ARM 内核的芯片, 能帮助工程师按照计划完成项目。

本书的所有例程均基于 Keil μ Vision5 软件, 建议读者选择相同版本的开发环境进行实验。

1.5.1 安装 Keil 5.30

(1) 双击运行本书配套资料包“02.相关软件\MDK5.30”文件夹中的 MDK5.30.exe 程序, 在弹出的如图 1-6 所示的对话框中, 单击 Next 按钮。

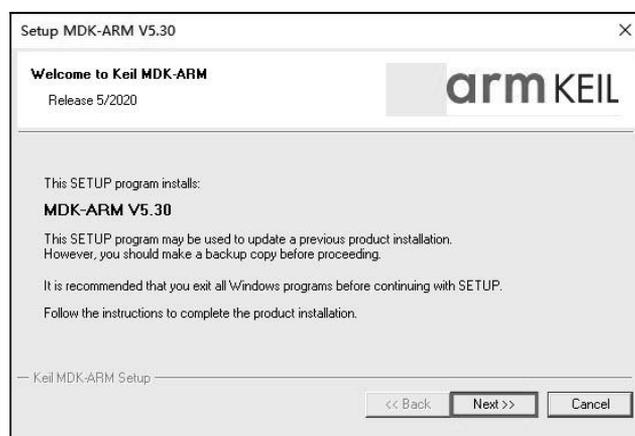


图 1-6 Keil 5.30 安装步骤 1

(2) 系统弹出如图 1-7 所示的对话框, 勾选 I agree to all the terms of the preceding License Agreement 项, 然后单击 Next 按钮。

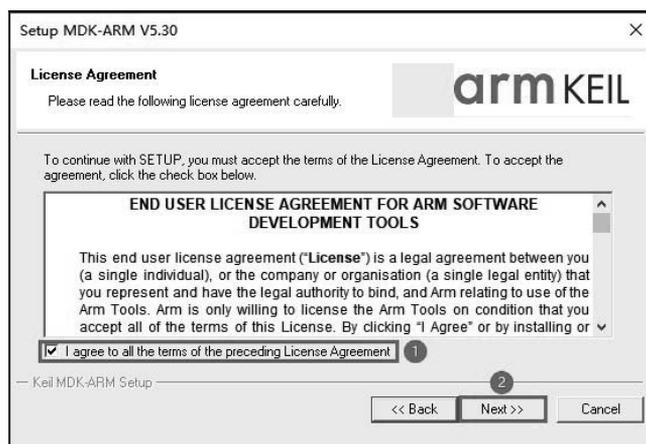


图 1-7 Keil 5.30 安装步骤 2

(3) 如图 1-8 所示，选择安装路径和包存放路径，这里建议安装在 D 盘。然后单击 Next 按钮。读者也可以自行选择安装路径。

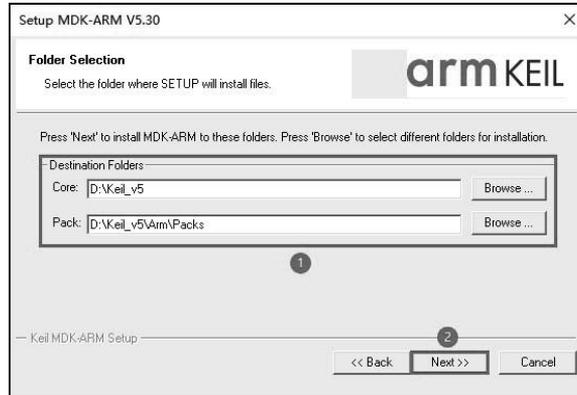


图 1-8 Keil 5.30 安装步骤 3

(4) 系统弹出如图 1-9 所示的对话框，在 First Name、Last Name、Company Name 和 E-mail 栏输入相应的信息，然后单击 Next 按钮。软件开始安装。

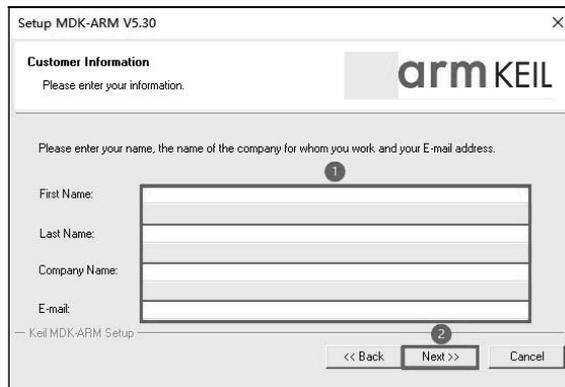


图 1-9 Keil 5.30 安装步骤 4

(5) 在软件安装过程中，系统会弹出如图 1-10 所示的对话框，勾选“始终信任来自“ARM Ltd”的软件(A)”项，然后单击“安装(I)”按钮。



图 1-10 Keil 5.30 安装步骤 5

(6) 软件安装完成后，系统弹出如图 1-11 所示的对话框，取消勾选 Show Release Notes 项，然后单击 Finish 按钮。

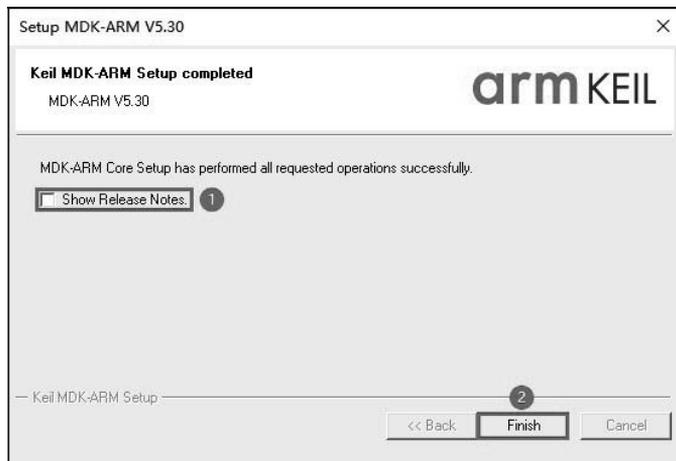


图 1-11 Keil 5.30 安装步骤 6

(7) 在如图 1-12 所示的对话框中，取消勾选 Show this dialog at startup 项，然后单击 OK 按钮，关闭 Pack Installer 对话框。

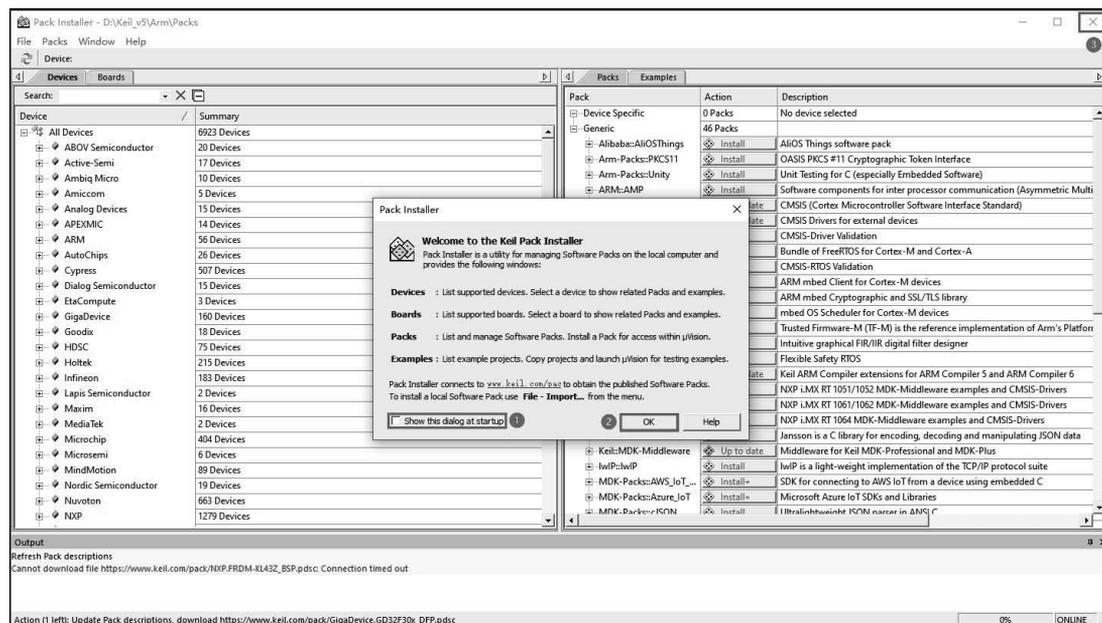


图 1-12 Keil 5.30 安装步骤 7

在资料包的“02.相关软件\MDK5.30”文件夹中，还有 1 个名为 GigaDevice.GD32F30x_DFP.2.1.0.pack 的文件，该文件为 GD32F30x 系列微控制器的固件库包。如果使用 GD32F30x 系列微控制器，则需要安装该固件库包。双击运行 GigaDevice.GD32F30x_DFP.2.1.0.pack，打开如图 1-13 所示的对话框，直接单击 Next 按钮，固件库包即开始安装。

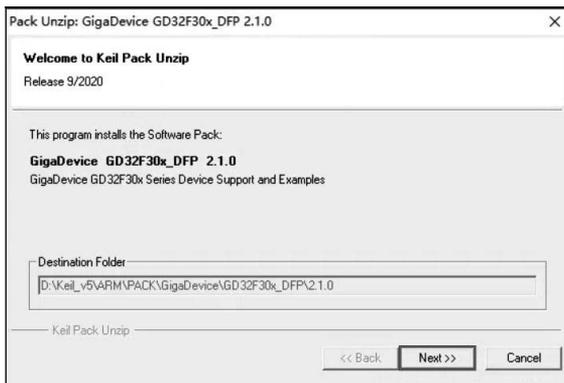


图 1-13 安装固件库包步骤 1

固件库包安装完成后，弹出如图 1-14 所示的对话框，单击 Finish 按钮。

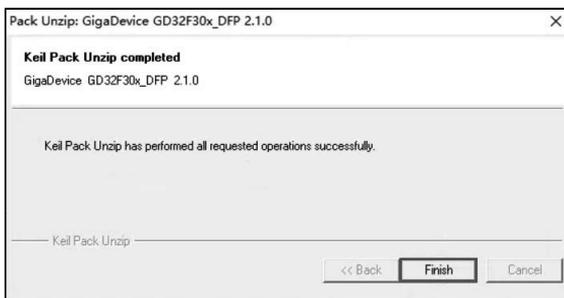


图 1-14 安装固件库包步骤 2

1.5.2 设置 Keil 5.30

Keil 5.30 安装完成后，需要对 Keil 软件进行标准化设置。

(1) 在“开始”菜单找到并单击 Keil μ Vision5，软件启动之后，在弹出的如图 1-15 所示对话框中单击“是”按钮。



图 1-15 设置 Keil 5.30 步骤 1

(2) 在打开的 Keil μ Vision5 软件界面中，执行菜单栏命令 Edit→Configuration，如图 1-16 所示。

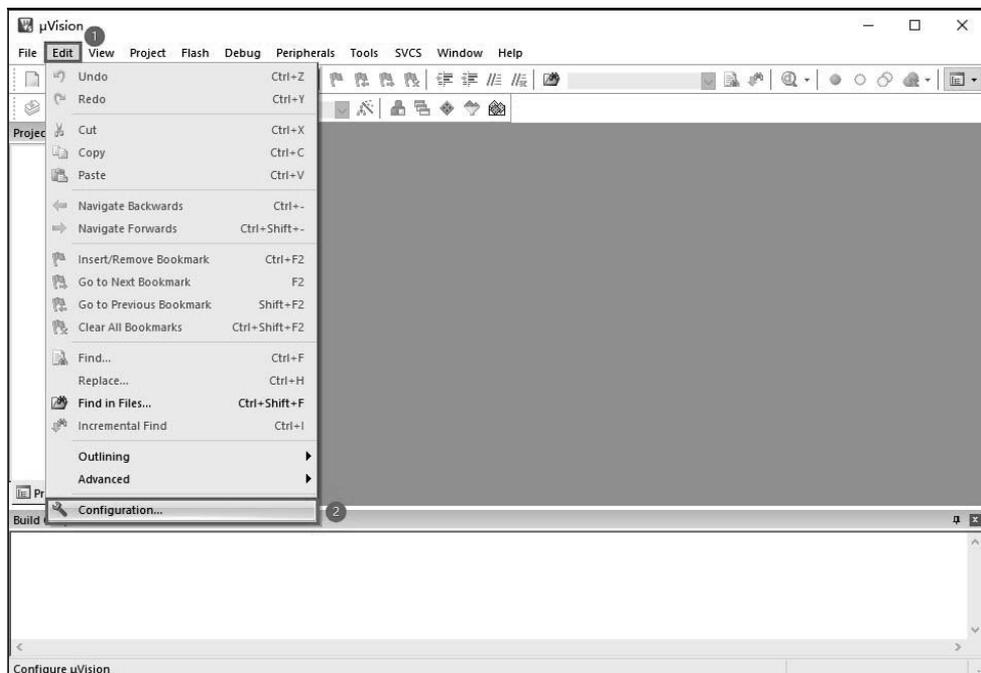


图 1-16 设置 Keil 5.30 步骤 2

(3) 系统弹出如图 1-17 所示的 Configuration 对话框，在 Editor 标签页的 Encoding 栏选择 Chinese GB2312(Simplified)。将编码格式改为 Chinese GB2312(Simplified)可以防止在代码文件中输入中文乱码；在 C/C++ Files 栏勾选所有选项，并在 Tab size 栏输入 2；在 ASM Files 栏勾选所有选项，并在 Tab size 栏输入 2；在 Other Files 栏勾选所有选项，并在 Tab size 栏输入 2。将缩进的空格数设置为 2 个空格，同时将 Tab 键也设置为 2 个空格，这样可以防止使用不同的编辑器阅读代码时出现代码布局不整齐的现象。设置完成后，单击 OK 按钮。

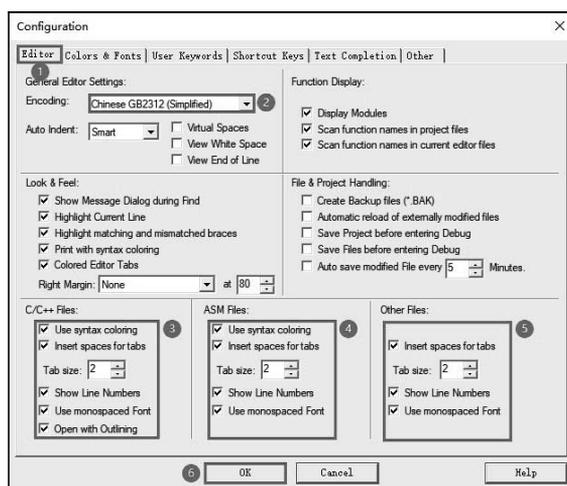


图 1-17 设置 Keil 5.30 步骤 3

本章任务

学习完本章后，下载本书配套的资料包，准备好配套的开发套件，熟悉 GD32F3 苹果派开发板的电路原理及各模块功能。

本章习题

1. 简述兆易创新和 ARM 公司的关系。
2. GD32F3 苹果派开发板使用了一个蓝色 LED(5V_LED)作为电源指示，请问如何通过万用表检测一个 LED 的正、负端？
3. 什么是低压差线性稳压电源？请结合 AMS1117-3.3 的数据手册，简述低压差线性稳压电源的特点。
4. 低压差线性稳压电源的输入端和输出端均有电容(C_{108} 、 C_{109} 、 C_{107})，请解释这些电容的作用。