

# 精通 STM32F4

## 库函数版

张 洋 刘 军 编著  
严汉宇 左忠凯



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

# 精通 STM32F4 (库函数版)

张 洋 刘 军 严汉宇 左忠凯 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书由浅入深,带领读者学习 STM32F407 的各个功能。本书总共分为 3 篇:第一篇为硬件篇,主要介绍本书的实验平台;第二篇为软件篇,主要介绍 STM32F4 常用开发软件的使用以及一些下载调试的技巧,并详细介绍几个常用的系统文件(程序);第三篇为实战篇,通过 41 个实例带领读者一步步深入了解 STM32F4。

本书可配套 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板学习使用,配套资料里面包含详细原理图以及所有实例的完整代码。这些代码都有详细的注释,并且所有源码都已经经过严格测试,不会有任何警告和错误。另外,源码有生成好的 hex 文件,读者只需要通过串口/仿真器下载到开发板即可看到实验现象,亲自体验实验过程。

本书不仅非常适合广大学生和电子爱好者学习 STM32F4,其大量的实验以及详细的解说也是公司产品开发的不二参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

精通 STM32F4: 库函数版 / 张洋等编著. — 北京:  
北京航空航天大学出版社, 2015. 4  
ISBN 978-7-5124-1738-0

I. ①精… II. ①张… III. ①微控制器 IV.  
①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 058652 号

版权所有,侵权必究。

### 精通 STM32F4(库函数版)

张 洋 刘 军 严汉宇 左忠凯 编著  
责任编辑 董立娟 张耀军

\*

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: [emsbook@buaacm.com.cn](mailto:emsbook@buaacm.com.cn) 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1 000 1/16 印张:38.75 字数:872 千字

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1738-0 定价:79.00 元

# 前言

作为 Cortex-M3 市场的最大占有者,ST 公司在 2011 年推出了基于 Cortex-M4 内核的 STM32F4 系列产品。相比 STM32F1/F2 等 Cortex-M3 产品,STM32F4 最大的优势就是新增了硬件 FPU 单元以及 DSP 指令,同时,STM32F4 的主频也提高了很多,达到 168 MHz(可获得 210 DMIPS 的处理能力),这使得 STM32F4 尤其适用于需要浮点运算或 DSP 处理的应用,也被称为 DSC,具有非常广泛的应用前景。

STM32F4 相对于 STM32F1,主要优势如下:

① 更先进的内核。STM32F4 采用 Cortex-M4 内核,带 FPU 和 DSP 指令集,而 STM32F1 采用的是 Cortex-M3 内核,不带 FPU 和 DSP 指令集。

② 更多的资源。STM32F4 拥有 192 KB 的片内 SRAM,带摄像头接口(DCMI)、加密处理器(CRYP)、USB 高速 OTG、真随机数发生器、OTP 存储器等。

③ 增强的外设功能。对于相同的外设部分,STM32F4 具有更快的模/数转换速度、更低的 ADC/DAC 工作电压、32 位定时器、带日历功能的实时时钟(RTC)、复用功能大大增强的 I/O、4 KB 的电池备份 SRAM 以及更快的 USART 和 SPI 通信速度。

④ 更高的性能。STM32F4 最高运行频率可达 168 MHz,而 STM32F1 只能到 72 MHz;STM32F4 拥有 ART 自适应实时加速器,可以达到相当于 FLASH 零等待周期的性能,STM32F1 则需要等待周期;STM32F4 的 FSMC 采用 32 位多重 AHB 总线矩阵,相比 STM32F1 总线访问速度明显提高。

⑤ 更低的功耗。STM32F40x 的功耗为 238  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ ,其中,低功耗版本的 STM32F401 更是低到 140  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ ,而 STM32F1 则高达 421  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ 。

STM32F4 家族目前拥有 STM32F40x、STM32F41x、STM32F42x 和 STM32F43x 等几个系列、数十个产品型号,不同型号之间软件和引脚具有良好的兼容性,可方便客户迅速升级产品。其中,STM32F42x/43x 系列带了 LCD 控制器和 SDRAM 接口,对于想要驱动大屏或需要大内存的读者来说,是个不错的选择。目前,STM32F4 这些芯片型号都已量产,可以方便地购买到。不过性价比最高的是 STM32F407。本书将以 STM32F407 为例来讲解 STM32F4。

## 内容特点

学习 STM32F4 有几份资料经常用到:《STM32F4xx 中文参考手册》、《STM32F3 与 F4 系列 Cortex-M4 内核编程手册》英文版、《Cortex-M3 与 M4 权威指南》英文版。

其中,最常用的是《STM32F4xx 中文参考手册》,该文档是 ST 官方针对 STM32 的

一份通用参考资料,内容翔实,但是没有实例,也没有对 Cortex-M4 构架进行太多介绍,读者只能根据自己对书本的理解来编写相关代码,该文档目前已经有中文版本,极大地方便了读者的学习。

《STM32F3 与 F4 系列 Cortex-M4 内核编程手册》文档则重点介绍了 Cortex-M4 内核的汇编指令及其使用、内核相关寄存器(比如 SCB、NVIC、SYSTICK 等寄存器),是《STM32F4xx 中文参考手册》的重要补充。很多在《STM32F4xx 中文参考手册》无法找到的内容,都可以在这里找到答案,不过目前该文档没有中文版本,只有英文版。

最后,《Cortex-M3 与 M4 权威指南》文档详细介绍了 Cortex-M3 和 Cortex-M4 内核的体系架构,并配有简单实例。对于想深入了解 Cortex-M4 内核的读者,此文档是非常好的参考资料。不过该文档目前只有英文版。不过由于 Cortex-M3 和 Cortex-M4 很多地方都是通用的,所以有的时候可以参考《Cortex-M3 权威指南(中文版)》文档。

本书将结合以上 3 份资料的优点,从库函数级别出发,深入浅出,向读者展示 STM32F4 的各种功能。总共配有 41 个实例,基本上每个实例均配有软硬件设计,在介绍完软硬件之后马上附上实例代码,并带有详细注释及说明,让读者快速理解代码。

这些实例涵盖了 STM32F4 的绝大部分内部资源,并且提供很多实用级别的程序,如内存管理、文件系统、图片解码、IAP 等。所有实例在 MDK5.11A 编译器下编译通过,读者只须下载程序到 ALIENTEK 探索者 STM32 开发板即可验证实验。

## 读者对象

不管你是一个 STM32 初学者,还是一个老手,本书都非常适合。尤其对于初学者,本书将手把手地教你如何使用 MDK,包括新建工程、编译、仿真、下载调试等一系列步骤,让你轻松上手。

## 配套资料

本书的实验平台是 ALIENTEK 探索者 STM32 开发板,有这款开发板的朋友可直接拿本书配套的例程在开发板上运行、验证。而没有这款开发板的朋友,可以上淘宝购买。当然,如果已有了一款自己的开发板,而又不想再买,也是可以的,只要你的板子上有 ALIENTEK 探索者 STM32 开发板上的相同资源(需要实验用到的),代码一般都是可以通用的,你需要做的只是把底层的驱动函数(比如 I/O 口修改)稍做修改,使之适合你的开发板即可。

本书配套资料包括:探索者 STM32F407 开发板及其相关模块原理图(pdf 格式)、视频教程、文档教程、配套软件、各例程程序源码和相关参考资料等。所有这些资料都可以在: <http://openedv.com/posts/list/13912.htm> 下载到。

## 感谢

衷心感谢意法半导体(ST)中国区高级市场经理曹锦东先生对本书的大力支持,他为本书提供了很多参考资料和指导意见。

衷心感谢陈贵东、谭春风、李小虎、刘勇材、罗建、周莉等人审稿,帮我找到了很多缺

陷和错误,并提出了宝贵的意见。

衷心感谢北航出版社的支持,正是编辑的认真工作,才使得本书能够顺利的与读者见面。

作者力求将本书的内容写好,由于时间有限,书中难免会有出错的地方,欢迎读者指正,作者邮箱:389063473@qq.com,也可以去 [www.openedv.com](http://www.openedv.com) 论坛给作者留言,在此先向各位读者表示诚挚的感谢。

作 者

2015 年 3 月



## 第 1 篇 硬件篇

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 实验平台简介                     | 3  |
| 1.1 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源初探 | 3  |
| 1.2 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源说明 | 5  |
| 1.2.1 硬件资源说明                     | 5  |
| 1.2.2 软件资源说明                     | 11 |
| 第 2 章 实验平台硬件资源详解                 | 13 |
| 2.1 开发板原理图详解                     | 13 |
| 2.2 开发板使用注意事项                    | 30 |
| 2.3 STM32F4 学习方法                 | 31 |

## 第 2 篇 软件篇

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第 3 章 MDK5 软件入门                   | 35 |
| 3.1 STM32 官方标准固件库简介               | 35 |
| 3.1.1 库开发与寄存器开发的关系                | 35 |
| 3.1.2 STM32 固件库与 CMSIS 标准讲解       | 36 |
| 3.1.3 STM32F4 官方库包介绍              | 37 |
| 3.2 MDK5 简介                       | 41 |
| 3.3 新建基于 STM32F40x 固件库的 MDK5 工程模板 | 42 |
| 3.3.1 MDK5 安装步骤                   | 42 |
| 3.3.2 新建工程模板                      | 42 |
| 3.4 程序下载与调试                       | 59 |
| 3.4.1 STM32 串口程序下载                | 59 |
| 3.4.2 JLINK 下载与调试程序               | 64 |
| 第 4 章 STM32F4 开发基础知识入门            | 71 |
| 4.1 MDK 下 C 语言基础复习                | 71 |
| 4.2 STM32F4 总线架构                  | 76 |
| 4.3 STM32F4 时钟系统                  | 77 |
| 4.3.1 STM32F4 时钟树概述               | 77 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 4.3.2 STM32F4 时钟初始化配置 .....      | 81  |
| 4.3.3 STM32F4 时钟使能和配置 .....      | 84  |
| 4.4 I/O 引脚复用器和映射 .....           | 86  |
| 4.5 STM32 NVIC 中断优先级管理 .....     | 90  |
| 4.6 MDK 中寄存器地址名称映射分析 .....       | 94  |
| 4.7 MDK 固件库快速组织代码技巧 .....        | 96  |
| 第 5 章 SYSTEM 文件夹介绍 .....         | 102 |
| 5.1 delay 文件夹代码介绍 .....          | 102 |
| 5.2 sys 文件夹代码介绍 .....            | 107 |
| 5.3 usart 文件夹介绍 .....            | 109 |
| 5.3.1 printf 函数支持 .....          | 109 |
| 5.3.2 uart_init 函数 .....         | 110 |
| 5.3.3 USART1_IRQHandler 函数 ..... | 112 |

### 第 3 篇 实战篇

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第 6 章 跑马灯实验 .....                | 117 |
| 第 7 章 按键输入实验 .....               | 132 |
| 第 8 章 串口通信实验 .....               | 136 |
| 第 9 章 外部中断实验 .....               | 145 |
| 第 10 章 独立看门狗(IWDG)实验 .....       | 152 |
| 第 11 章 窗口看门狗(WWDG)实验 .....       | 157 |
| 第 12 章 定时器中断实验 .....             | 162 |
| 第 13 章 PWM 输出实验 .....            | 170 |
| 第 14 章 输入捕获实验 .....              | 176 |
| 第 15 章 TFTLCD 显示实验 .....         | 186 |
| 第 16 章 USART 调试组件实验 .....        | 213 |
| 第 17 章 RTC 实时时钟实验 .....          | 223 |
| 第 18 章 待机唤醒实验 .....              | 240 |
| 第 19 章 ADC 实验 .....              | 248 |
| 第 20 章 DAC 实验 .....              | 260 |
| 第 21 章 DMA 实验 .....              | 269 |
| 第 22 章 I <sup>2</sup> C 实验 ..... | 282 |
| 第 23 章 SPI 实验 .....              | 289 |
| 第 24 章 RS485 实验 .....            | 299 |
| 第 25 章 CAN 通信实验 .....            | 306 |
| 第 26 章 触摸屏实验 .....               | 331 |

|        |                                           |     |
|--------|-------------------------------------------|-----|
| 第 27 章 | 6 轴传感器 MPU6050 实验 .....                   | 349 |
| 第 28 章 | FLASH 模拟 EEPROM 实验 .....                  | 367 |
| 第 29 章 | 摄像头实验 .....                               | 379 |
| 第 30 章 | 外部 SRAM 实验 .....                          | 402 |
| 第 31 章 | 内存管理实验 .....                              | 409 |
| 第 32 章 | SD 卡实验 .....                              | 418 |
| 第 33 章 | FATFS 实验 .....                            | 439 |
| 第 34 章 | 汉字显示实验 .....                              | 450 |
| 第 35 章 | 图片显示实验 .....                              | 464 |
| 第 36 章 | 音乐播放器实验 .....                             | 474 |
| 第 37 章 | FPU 测试(Julia 分形)实验 .....                  | 500 |
| 第 38 章 | DSP 测试实验 .....                            | 507 |
| 第 39 章 | 串口 IAP 实验 .....                           | 520 |
| 第 40 章 | USB 读卡器(Slave)实验 .....                    | 532 |
| 第 41 章 | USB U 盘(Host)实验 .....                     | 542 |
| 第 42 章 | USB 鼠标、键盘(Host)实验 .....                   | 550 |
| 第 43 章 | 网络通信实验 .....                              | 558 |
| 第 44 章 | $\mu$ C/OS-II 实验 1——任务调度 .....            | 572 |
| 第 45 章 | $\mu$ C/OS-II 实验 2——信号量和邮箱 .....          | 582 |
| 第 46 章 | $\mu$ C/OS-II 实验 3——消息队列、信号量集和软件定时器 ..... | 591 |
| 参考文献   | .....                                     | 607 |

# 第 1 篇 硬件篇

---

实践出真知,要想学好 STM32F4,实验平台必不可少!本篇详细介绍我们用来学习 STM32F4 的硬件平台——ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板,使读者了解其功能及特点。

为了让读者更好地使用 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板,本篇还介绍了开发板的一些使用时的注意事项,读者在使用开发板的时候一定要注意。

本篇将分为如下两章:

1. 实验平台简介;
2. 实验平台硬件资源详解。



# 第1章

## 实验平台简介

本章简要介绍实验平台:ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板。通过本章的学习,读者对实验平台有个大概的了解,为后面的学习做铺垫。

### 1.1 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源初探

在 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板之前,ALIENTEK 推出的两款 STM32F1 系列开发板:MiniSTM32 开发板和战舰 STM32 开发板,常年稳居淘宝销量前列,累计出货量超过 3W 多套。而这款探索者 STM32F4 开发板,则是 ALIENTEK 推出的首款 Cortex-M4 开发板,资源图如图 1.1 所示。

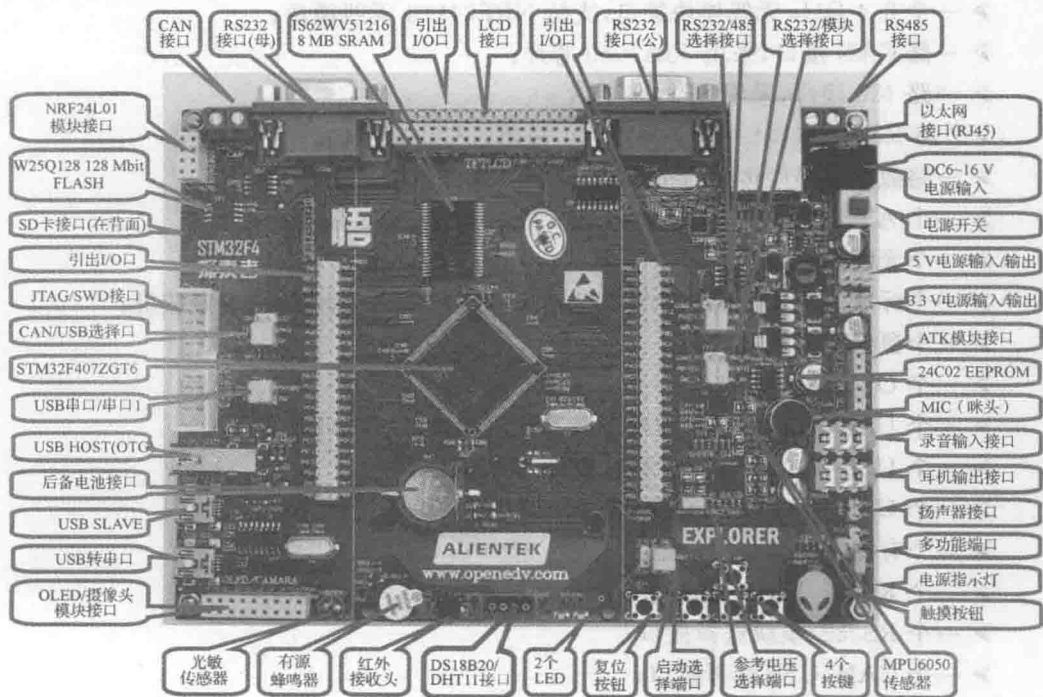


图 1.1 探索者 STM32F4 开发板资源图

从图 1.1 可以看出,ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源十分丰富,并把 STM32F407 的内部资源发挥到了极致,基本所有 STM32F407 的内部资源都可以在此开发板上验证,同时扩充了丰富的接口和功能模块,整个开发板显得十分大气。

开发板的外形尺寸为 121 mm×160 mm,板子的设计充分考虑了人性化设计,并结合 ALIENTEK 多年的 STM32 开发板设计经验,同时听取了很多网友以及客户的建议,经过多次改进(面市之前,硬件改版超过 5 次,目前最新版本为 V1.6),最终确定了这样的设计。

ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板板载资源如下:

- CPU:STM32F407ZGT6,LQFP144,FLASH:1 024 KB,SRAM:192 KB;
- 外扩 SRAM:IS62WV51216,1 MB;
- 外扩 SPI FLASH:W25Q128,16 MB;
- 一个电源指示灯(蓝色);
- 2 个状态指示灯(DS0:红色,DS1:绿色);
- 一个红外接收头,并配备一款小巧的红外遥控器;
- 一个 EEPROM 芯片,24C02,容量 256 字节;
- 一个 6 轴(陀螺仪+加速度)传感器芯片,MPU6050;
- 一个高性能音频编解码芯片,WM8978;
- 一个 2.4 GHz 无线模块接口,支持 NRF24L01 无线模块;
- 一路 CAN 接口,采用 TJA1050 芯片;
- 一路 485 接口,采用 SP3485 芯片;
- 2 路 RS232 串口(一公一母)接口,采用 SP3232 芯片;
- 一路数字温湿度传感器接口,支持 DS18B20/DHT11 等;
- 一个 ATK 模块接口,支持 ALIENTEK 蓝牙/GPS 模块;
- 一个光敏传感器;
- 一个标准的 2.4/2.8/3.5/4.3/7 寸 LCD 接口,支持电阻/电容触摸屏;
- 一个摄像头模块接口;
- 一个 OLED 模块接口;
- 一个 USB 串口,可用于程序下载和代码调试(USMART 调试);
- 一个 USB SLAVE 接口,用于 USB 从机通信;
- 一个 USB HOST(OTG)接口,用于 USB 主机通信;
- 一个有源蜂鸣器;
- 一个 RS232/RS485 选择接口;
- 一个 RS232/模块选择接口;
- 一个 CAN/USB 选择接口;
- 一个串口选择接口;
- 一个 SD 卡接口(在板子背面);
- 一个百兆以太网接口(RJ45);

- 一个标准的 JTAG/SWD 调试下载口；
- 一个录音头(MIC/咪头)；
- 一路立体声音频输出接口；
- 一路立体声录音输入接口；
- 一路扬声器输出接口,可接 1 W 左右小喇叭；
- 一组多功能端口(DAC/ADC/PWM DAC/AUDIO IN/TPAD)；
- 一组 5 V 电源供应/接入口；
- 一组 3.3 V 电源供应/接入口；
- 一个参考电压设置接口；
- 一个直流电源输入接口(输入电压范围:DC6~16 V)；
- 一个启动模式选择配置接口；
- 一个 RTC 后备电池座,并带电池；
- 一个复位按钮,可用于复位 MCU 和 LCD；
- 4 个功能按钮,其中 KEY\_UP(即 WK\_UP)兼具唤醒功能；
- 一个电容触摸按键；
- 一个电源开关,控制整个板的电源；
- 独创的一键下载功能；
- 除晶振占用的 I/O 口外,其余所有 I/O 口全部引出。

ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板的特点包括：

① 接口丰富。板子提供十来种标准接口,可以方便地进行各种外设的实验和开发。

② 设计灵活。板上很多资源都可以灵活配置,以满足不同条件下的使用。这里引出了除晶振占用的 I/O 口外的所有 I/O 口,可以极大地方便读者扩展及使用。另外,板载一键下载功能可避免频繁设置 B0、B1 的麻烦,仅通过一根 USB 线即可实现 STM32 的开发。

③ 资源充足。主芯片采用自带 1 MB FLASH 的 STM32F407ZGT6,并外扩 1 MB SRAM 和 16 MB FLASH,满足大内存需求和大数据存储。板载高性能音频编解码芯片、6 轴传感器、百兆网卡、光敏传感器以及各种接口芯片,满足各种应用需求。

④ 人性化设计。各个接口都有丝印标注,使用起来一目了然;接口位置设计安排合理,方便顺手;资源搭配合理,物尽其用。

## 1.2 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板资源说明

这里分为两个部分说明:硬件资源说明和软件资源说明。

### 1.2.1 硬件资源说明

首先详细介绍探索者 STM32F4 开发板的各个部分(图 1.1 中的标注部分)的硬件

资源,这里将按逆时针的顺序依次介绍。

### (1) NRF24L01 模块接口

这是开发板板载的 NRF24L01 模块接口(U6),只要插入模块就可以实现无线通信,从而使得板子具备了无线功能,但是这里需要 2 个模块和 2 个开发板同时工作才可以,只有一个开发板或一个模块是没法实现无线通信的。

### (2) W25Q128 128 Mbit FLASH

这是开发板外扩的 SPI FLASH 芯片(U11),容量为 128 Mbit,也就是 16 MB,可用于存储字库和其他用户数据,满足大容量数据存储要求。当然,如果觉得 16 MB 还不够用,则可以把数据存放在外部 SD 卡。

### (3) SD 卡接口

这是开发板板载的一个标准 SD 卡接口(SD\_CARD),开发板的背面采用大 SD 卡接口(即相机卡,TF 卡是不能直接插的,TF 卡得加卡套才行),SDIO 方式驱动。有了这个 SD 卡接口,就可以满足海量数据存储的需求。

### (4) 引出 I/O 口(总共有 3 处)

这是开发板 I/O 引出端口,总共有 3 组主 I/O 引出口:P3、P4 和 P5。其中,P3 和 P4 分别采用 2×22 排针引出,共引出 86 个 I/O 口;P5 采用 1×16 排针,按顺序引出 FSMC\_D0~D15 共 16 个 I/O 口。而 STM32F407ZGT6 总共只有 112 个 I/O,除去 RTC 晶振占用的 2 个 I/O,还剩下 110 个,前面 3 组主引出排针,总共引出 102 个 I/O,剩下的分别通过 P6、P9、P10 和 P11 引出。

### (5) JTAG/SWD 接口

这是 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板板载的 20 针标准 JTAG 调试口(JTAG),直接可以和 ULINK、JLINK 或者 STLINK 等调试器(仿真器)连接。同时,由于 STM32 支持 SWD 调试,这个 JTAG 口也可以用 SWD 模式来连接。

### (6) CAN/USB 选择口

这是一个 CAN/USB 的选择接口(P11),因为 STM32 的 USB 和 CAN 共用一组 I/O(PA11 和 PA12),所以通过跳线帽来选择不同的功能,以实现 USB/CAN 的实验。

### (7) STM32F407ZGT6

这是开发板的核心芯片(U4),型号为 STM32F407ZGT6。该芯片集成 FPU 和 DSP 指令,并具有 192 KB SRAM、1 024 KB FLASH、12 个 16 位定时器、2 个 32 位定时器、2 个 DMA 控制器(共 16 个通道)、3 个 SPI、2 个全双工 I<sup>2</sup>S、3 个 I<sup>2</sup>C、6 个串口、2 个 USB(支持 HOST/SLAVE)、2 个 CAN、3 个 12 位 ADC、2 个 12 位 DAC、一个 RTC(带日历功能)、一个 SDIO 接口、一个 FSMC 接口、一个 10/100M 以太网 MAC 控制器、一个摄像头接口、一个硬件随机数生成器以及 112 个通用 I/O 口等。

### (8) USB 串口/串口 1

这是 USB 串口同 STM32F407ZGT6 的串口 1 进行连接的接口(P6),标号 RXD 和 TXD 是 USB 转串口的 2 个数据口(对 CH340G 来说),而 PA9(TXD)和 PA10(RXD)则是 STM32 的串口 1 的两个数据口(复用功能下)。它们通过跳线帽对接就可以连接

在一起了,从而实现 STM32 的程序下载以及串口通信。

设计成 USB 串口是考虑到现在计算机上串口正在消失,尤其是笔记本,几乎都没有串口,所以板载了 USB 串口方便读者下载代码和调试。而板子上并没有直接连接在一起,则是出于使用方便的考虑。这样就可以把 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板当成一个 USB 转 TTL 串口来和其他板子通信,而其他板子的串口也可以方便地接到 ALIENTEK 探索者 STM32F4 开发板上。

#### (9) USB HOST(OTG)

这是开发板板载的一个侧插式的 USB-A 座(USB\_HOST)。由于 STM32F4 的 USB 是支持 HOST 的,所以可以通过这个 USB-A 座连接 U 盘/USB 鼠标/USB 键盘等其他 USB 从设备,从而实现 USB 主机功能。不过特别注意,USB HOST 和 USB SLAVE 共用 PA11 和 PA12,所以不可以同时使用。

#### (10) 后备电池接口

这是 STM32 后备区域的供电接口,可以用来给 STM32 的后备区域提供能量。在外部电源断电的时候,维持后备区域数据的存储以及 RTC 的运行。

#### (11) USB SLAVE

这是开发板板载的一个 MiniUSB 头(USB\_SLAVE),用于 USB 从机(SLAVE)通信,一般用于 STM32 与计算机的 USB 通信。通过此 MiniUSB 头,开发板就可以和计算机进行 USB 通信了。注意:该接口不能和 USB HOST 同时使用。

开发板总共板载了 2 个 MiniUSB 头,一个(USB\_232)用于 USB 转串口,连接 CH340G 芯片;另外一个(USB\_SLAVE)用于 STM32 内带的 USB。同时开发板可以通过此 MiniUSB 头供电,板载两个 MiniUSB 头(不共用),主要是考虑了使用的方便性以及可以给板子提供更大的电流(两个 USB 都接上)这两个因素。

#### (12) USB 转串口

这是开发板板载的另外一个 MiniUSB 头(USB\_232),用于 USB 连接 CH340G 芯片,从而实现 USB 转串口。同时,此 MiniUSB 接头也是开发板电源的主要提供口。

#### (13) OLED/摄像头模块接口

这是开发板板载的一个 OLED/摄像头模块接口(P8),如果是 OLED 模块,靠左插即可(右边两个孔位悬空)。如果是摄像头模块(ALIENTEK 提供),则刚好插满。通过这个接口,可以分别连接 2 个外部模块,从而实现相关实验。

#### (14) 光敏传感器

这是开发板板载的一个光敏传感器(LS1)。通过该传感器,开发板感知周围环境光线的变化,从而实现类似自动背光控制的应用。

#### (15) 有源蜂鸣器

这是开发板的板载蜂鸣器(BEEP),可以实现简单的报警/闹铃,让开发板听得见。

#### (16) 红外接收头

这是开发板的红外接收头(U13),可以实现红外遥控功能。通过这个接收头可以接收市面上常见的各种遥控器的红外信号,甚至可以自己实现万能红外解码。当然,如

果应用得当,该接收头也可以用来传输数据。

探索者 STM32F4 开发板配备了一个小巧的红外遥控器,外观如图 1.2 所示。

### (17) DS18B20/DHT11 接口

这是开发板的一个复用接口(U12),由 4 个镀金排孔组成,可以用来接 DS18B20/DS1820 等数字温度传感器或 DHT11 这样的数字温湿度传感器,实现一个接口 2 个功能。不用的时候可以拆下上面的传感器,放到其他地方去用,使用十分方便灵活。

### (18) 2 个 LED

这是开发板板载的 2 个 LED 灯(DS0 和 DS1),DS0 是红色的,DS1 是绿色的,方便识别。这里提醒读者不要停留在 51 跑马灯的思维,这么多灯除了浪费 I/O 口,实在是想不出其他什么优点。

一般应用中使用 2 个 LED 就足够了,在调试代码的时候,使用 LED 来指示程序状态是非常不错的辅助调试方法。探索者 STM32F4 开发板几乎每个实例都使用了 LED 来指示程序的运行状态。

### (19) 复位按钮

这是开发板板载的复位按键(RESET),用于复位 STM32;还具有复位液晶的功能,因为液晶模块的复位引脚和 STM32 的复位引脚是连接在一起的,按下该键时 STM32 和液晶一并被复位。

### (20) 启动选择端口

这是开发板板载的启动模式选择端口(BOOT)。STM32 有 BOOT0(B0)和 BOOT1(B1)两个启动选择引脚,用于选择复位后 STM32 的启动模式作为开发板,这两个是必需的。在开发板上,我们通过跳线帽选择 STM32 的启动模式。

### (21) 参考电压选择端口

这是 STM32 的参考电压选择端口(P7),默认接开发板的 3.3 V(VDDA)。如果想设置其他参考电压,只需要把参考电压源接到 Vref+ 和 GND 即可。

### (22) 4 个按键

这是开发板板载的 4 个机械式输入按键(KEY0、KEY1、KEY2 和 KEY\_UP),其中,KEY\_UP 具有唤醒功能,连接到 STM32 的 WAKE\_UP(PA0)引脚,可用于待机模式下的唤醒,在不使用唤醒功能的时候,也可以当作普通按键输入使用。

其他 3 个是普通按键,可以用于人机交互的输入,这 3 个按键是直接连接在 STM32 的 I/O 口上的。注意,KEY\_UP 是高电平有效,而 KEY0、KEY1 和 KEY2 是低电平有效。



图 1.2 红外遥控器