

第3章 制作STM32最小系统开发板

本章学习目标

1. 掌握 STM32 最小系统组成。
2. 学会使用 Altium Designer 设计电路图。
3. 掌握 STM32 最小系统制作过程。
4. 初步认识 STM32 最小系统开发板。

素质培养目标

1. 培养对学科知识和技术的科学认知方法。
2. 学会建立由易到难、由简及繁、循序渐进的学习策略。

3.1 电路设计工具简介和安装

3.1.1 Altium Designer 简介

Altium Designer 是当今市场上最受欢迎的高端 PCB 设计软件包之一,是原 Protel 软件开发商 Altium 公司推出的一款功能强大的电子设计自动化(EDA)软件,主要用于绘制印制电路板(Printed-Circuit Board,PCB)设计和开发嵌入式系统。这套软件包括制作原理图、PCB 模块以及自动布线和差分对布线等功能,支持轨道长度调整和 3D 建模,为设计者提供全新的设计解决方案,使设计者可以轻松进行设计,熟练使用这一软件使电路设计的质量和效率大大提高。

Altium Designer 全面继承包括 Protel 99 SE、Protel DXP 在内的先前一系列版本的功能和优点外,还增加了许多改进和很多高端功能。该平台拓宽了板级设计的传统界面,全面集成了 FPGA 设计功能和 SOPC 设计实现功能,从而允许工程设计人员能将系统设计中的 FPGA 与 PCB 设计及嵌入式设计集成在一起。目前 Altium Designer 的最高版本为 24.7.2(截至 2024 年 8 月),它不仅继承了先前版本的功能和优点,还增加了原理图输入、PCB 设计、3D-MID 设计、导入/导出改进、约束管理器、数据管理、PCB CoDesign 等的多处改进。Altium Designer 的增强功能包括全三维 PCB 设计环境,避免了错误和不准确的模型设计。

Altium Designer 的功能和特点如下。

(1) 提供了丰富的元器件库和设计规则模板,丰富的原理图组件和 PCB 封装库为设计新的器件提供了封装,简化了封装设计过程,缩短了设计时间。

(2) 提供了层次原理图设计方法,支持“自上向下”的设计思想,使大型电路设计的工作组开发方式成为可能。强大的网络化设计功能,支持实时多方协同和设计数据的版本控制。

(3) 先进的 PCB 设计功能,包括高速设计规则检查、3D PCB 实时查看、信号完整性分析等。提供了强大的查错功能,原理图中的 ERC(电气规则检查)工具和 PCB 的 DRC(设计规则检查)工具能帮助设计者更快地查出和改正错误。

(4) 统一的 FPGA、PCB 和嵌入式系统设计平台,实现了从概念设计到产品上市的全流程解决方案。

(5) 支持各种第三方 EDA 工具的二次开发,可以定制化扩展功能。

3.1.2 安装 Altium Designer

STM32 开发板的原理图和 PCB 图可以采用 Altium Designer 设计,下面以 Altium Designer 23 为例介绍软件安装过程。Altium Designer 23 是基于 Windows 操作系统的应用程序,其安装和卸载过程与 Windows 系统下的其他应用程序基本相同。

打开软件安装镜像文件,如图 3.1 所示。双击

Altium Designer 23.11.1 Build 41 (x64).iso

图 3.1 Altium Designer 23 软件
安装镜像文件

目录中的 Installer.exe 文件启动软件安装。

出现安装欢迎界面,单击 Next 按钮,在出现的 License Agreement 界面中,选择 I accept the license agreement。然后单击 Next 按钮,在 Select Design Functionality 界面(图 3.2)中单击 Next 按钮,安装软件默认组件。

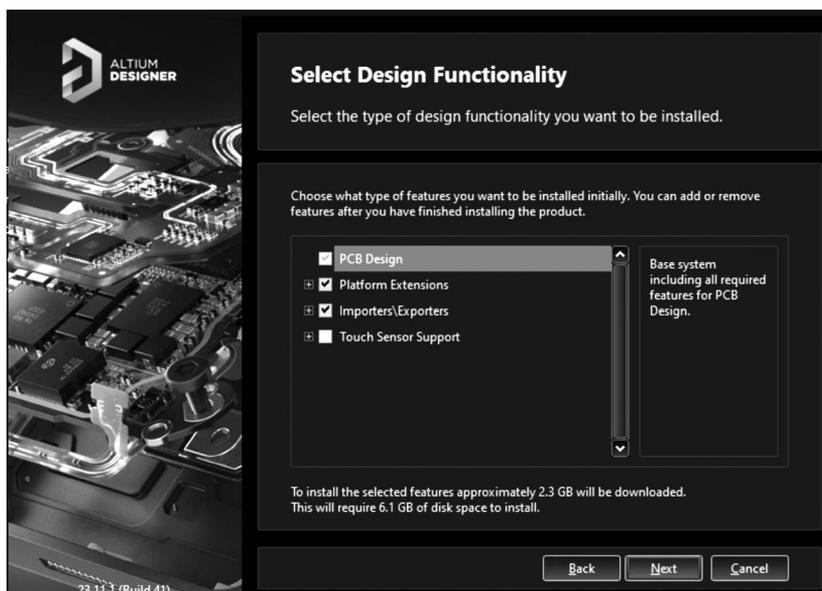


图 3.2 Select Design Functionality 界面

在 Destination Folders 界面设置软件安装路径和共享文档路径。单击 Next 按钮进入 Ready To Install 界面。确认以上信息无误后,单击 Next 按钮进入 Installing Altium Designer 界面,开始安装。走完安装进度条以后,进入 Installation Complete 界面,单击

Finish 按钮完成安装。然后打开软件,选择 Add Standalone License File 完成软件激活,如图 3.3 所示,可以看到已添加了有效的授权文件,表示软件激活成功,如图 3.4 所示。

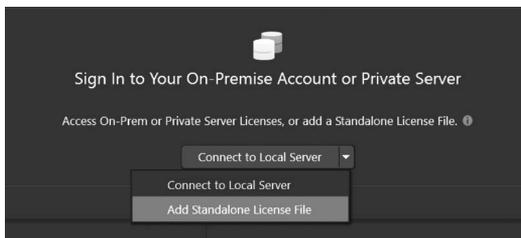


图 3.3 选择授权方式



图 3.4 有效的授权文件

在 Altium Designer 23 右上角单击“设置”,在弹出的对话框中,选择 View 可以将 UI Theme 切换为 Altium Light Gray,选择 General,勾选“使用本地资源”,如图 3.5 所示。单击 OK 按钮确认修改。



图 3.5 选择“使用本地资源”

重启 Altium Designer 23 完成汉化,如图 3.6 所示。汉化是局部的,读者可根据喜好选择使用英文版和汉化版。至此 Altium Designer 23 安装完成,可以使用了。

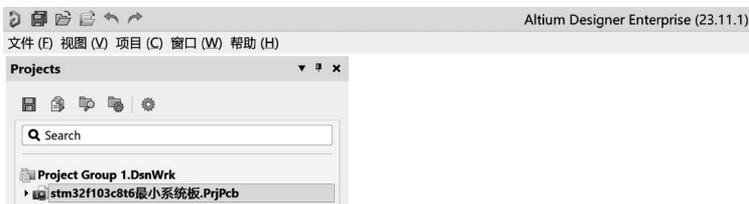


图 3.6 Altium Designer 23 操作界面

3.1.3 Altium Designer 23 项目构成

Altium Designer 的菜单中,打开“文件”→“新的...”→“项目”,建立一个新项目。右击项目名称添加 Schematic(原理图)、PCB、Schematic Library 和 PCB Library,如图 3.7 所示,完成项目创建。



图 3.7 新建 Altium Design 项目

如图 3.8 所示为一个完整的项目结构图,一个项目(PrjPcb)可以包含多个设计文件,包括原理图设计文件、PCB 设计文件、物料清单等。同时还包含有项目输出文件,以及设计中用到的库文件(Libraries)。项目将设计元素链接起来,包括原理图、PCB、网表和预保留在项目中的所有库或模型。



图 3.8 项目结构图

单击不同文件,文件菜单列表呈现不同的功能列表,例如单击 PCB 设计文件,功能列表中除了常规管理功能之外,会增加装配输出和制作输出用于生成相应的输出文件,如图 3.9 所示。



图 3.9 PCB 设计文件的用于输出的功能

3.2 STM32 最小系统开发板



视频讲解

3.2.1 STM32 最小系统

最小系统是指仅包含必需的元器件,仅可运行最基本软件的简化系统,也就是用最少的元件但可以工作的系统。无论多么复杂的嵌入式系统,都可以认为是由最小系统和扩展功能组成。最小系统是嵌入式系统硬件设计中复用率最高,也是最基本的功能单元。

一个 STM32 微控制器芯片必须加上电源、复位和时钟信号,如果微处理器芯片内部没有存储器或者需要更多的存储器,还要加上片外的 Flash、RAM 构成一个存储系统。STM32 微控制器及其运行所必需的电路构成 STM32 的最小系统。系统的调试接口在运行阶段不是必需的,但开发时必须使用,因此最小系统组成包括调试接口部分电路。典型的最小系统一般应该包括微控制器芯片、电源、调试接口、复位电路、时钟和存储系统(可选)。下面简单介绍以 STM32F103 系列中 STM32F103C8T6 微控制器芯片为核心的最小系统的组成部分。

1. STM32F103C8T6 微控制器

STM32 所有版本都有相应的封装类型,不用将 PCB 重新设计就可以进行 STM32 器件型号更换。STM32F103 系列微控制器是增强型芯片,STM32F103C8T6 芯片参数见表 3.1。

表 3.1 STM32F103C8T6 芯片参数

项 目	参 数	项 目	参 数
类别	集成电路(IC)	程序存储器类型	Flash
主板	嵌入式微控制器	RAM 容量	20KB
芯体规格	32 位	电压-电源(VCC/VDD)	2.0~3.6V
速度	72MHz	数据转换器	A/D 10×12 位
外围设备	DMA, 电机控制 PWM, 温度传感器	振荡器类型	内部
输入/输出数	37	工作温度	-40~85℃
程序存储器容量	64KB	封装/外壳	48-LQFP

STM32F103C8T6 为 48 引脚、小外形四方扁平封装外形,各引脚位置如图 3.10 所示。

2. 电源

STM32F103 系列微控制器使用单电源供电,其电压范围必须为 2.0~3.6V,同时通过内部的一个电压调整器,可以给 Cortex-M3 核心提供 1.8V 的工作电压。通常正常电源为 5V,可以采用电源转换电路:电路设计可采用 5V 电源插头将 220V 降压到 5V,再采用 LMS1117-3.3V 稳压芯片将 5V 电压降压输出 3.3V 电压。STM32F103 芯片的电源引脚可连接电容以增强稳定性。

3. 调试接口

STM32 的 CoreSight 调试系统支持 JTAG 和 SWD 两种接口标准,这两种接口都要使用 GPIO(普通 I/O 口)来供给调试仿真器使用。选用其中一个接口即可将在 PC 主机上编译好的程序下载到单片机中进行运行调试。

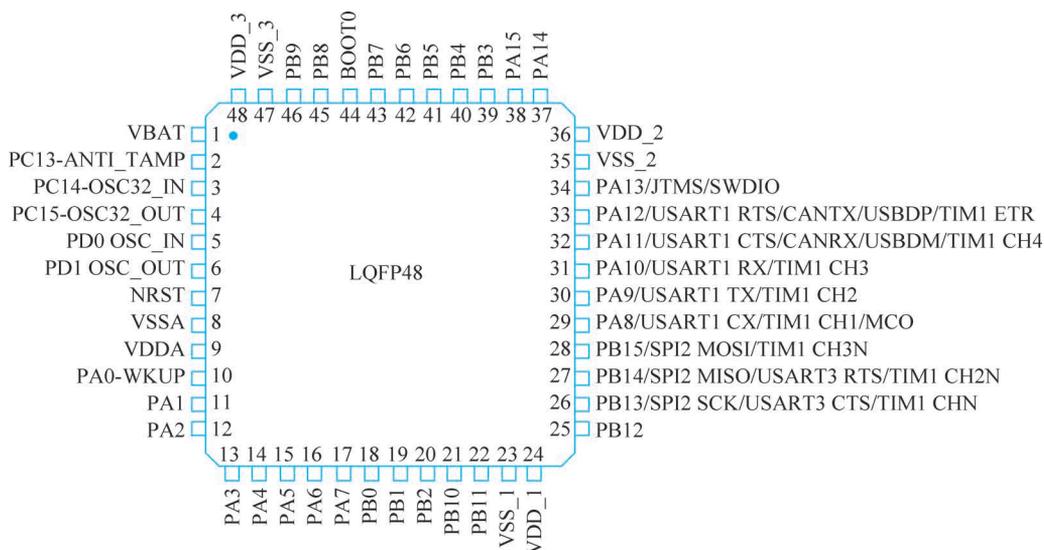


图 3.10 STM32F103C8T6 芯片引脚示意图

JTAG (Joint Test Action Group, 联合测试工作组) 是一种国际标准测试协议 (IEEE 1149.1 兼容), 主要用于芯片内部测试。现在多数的高级器件都支持 JTAG 协议, 如 DSP、FPGA 器件等。标准的 JTAG 接口有 4 根线, 分别为模式选择 (TMS)、时钟 (TCK)、数据输入 (TDI) 和数据输出 (TDO)。

SWD (Serial Wire Debug) 是串行总线调试接口。在高速模式和大数据量的情况下, JTAG 下载程序会失败, 但是 SWD 出现失败的概率会小很多, 更加可靠。只要仿真器支持, 通常在使用 JTAG 仿真模式的情况下, 都可以直接使用 SWD 模式。SWD 模式支持更少的引脚接线, 所以需要的 PCB 空间就小, 在芯片体积有限的时候推荐使用 SWD 模式, 可以选择一个很小的 2.54mm 间距的 5 芯端子做仿真接口。SWD 的连接需要 2 根线, 其中 SWDIO 为双向 Data 口, 用于主机到目标的数据传送; SWDCLK 为时钟口, 用于主机驱动。

SWD 与使用串口下载代码差不多, 而且速度更快。STM32 的 SWD 接口与 JTAG 是共用的, 图 3.11 所示为 JTAG/SWD 标准连接方法, 可以看出只要接上 JTAG, 就可以使用 SWD 模式。JLINK V8/JLINK V7/ULINK2 以及 ST LINK 等都支持 SWD。

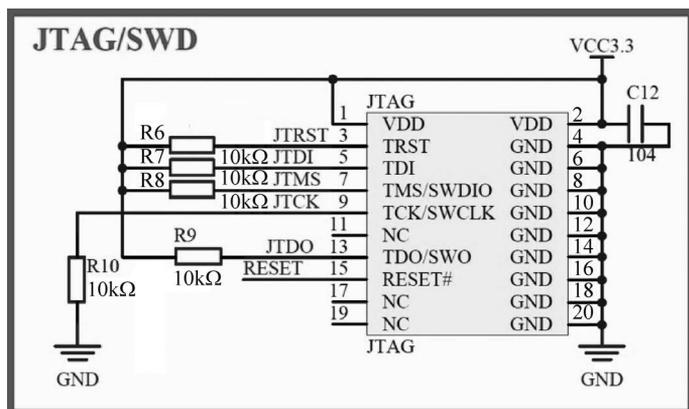


图 3.11 STM32 芯片 JTAG/SWD 标准的接法

4. 复位电路

复位电路的主要作用是把特殊功能寄存器的数据刷新为默认数据,单片机在运算过程中由于干扰等外界原因造成寄存器中数据混乱,不能使其正常继续执行程序(称死机)或产生的结果不正确时均需要复位,以使程序重新开始运行。单片机在刚上电时也需要复位电路,系统上电时复位电路提供复位信号,直至电源稳定后,撤销复位信号,以使单片机能够正常稳定的工作。

STM32F103 芯片含有复位电路,支持 3 种复位形式,分别为系统复位、上电复位和备份区域复位。当 VDD 引脚电压小于 2.0V 时,器件会保持在复位状态,但是会有 40mV 的延时(即复位状态在 2.0V+40mV 内一直保持)。设计时可采用按键和保护电阻构成复位电路,按下按键将触发系统复位。

5. 时钟

时钟电路是单片机的“心脏”,它控制着单片机的工作节奏。单片机就是通过复杂的时序电路来完成不同的指令功能。

从时钟频率来说,分为高速时钟和低速时钟。高速时钟是提供给芯片主体的主时钟,而低速时钟只是提供给芯片中的 RTC(实时时钟)及独立看门狗使用。

从芯片角度来说,时钟源可分为内部时钟与外部时钟源。内部时钟是由芯片内部 RC 振荡器产生的,可以为内部 PLL(锁相环)提供时钟,因此依靠内部振荡器可以在 72MHz 的满速状态下运行。内部时钟起振较快,所以在芯片刚上电的时候,默认使用内部高速时钟。而外部时钟信号是由外部的时钟源,即晶体振荡器(简称晶振)输入的,在精度和稳定性上都有很大的优势。外部时钟源通常可以设计两个电路提供两个时钟源:一个是 32.768kHz 晶振,为 RTC 提供时钟;一个是 8kHz 晶振,为整个系统提供时钟。

6. 启动模式

在设计时,必须确定启动时使用的芯片引脚。改变启动方式,会使 STM32 存储空间的起始地址对齐到不同的内存空间上,从而选择在闪存、内部 SRAM 或系统存储区上运行代码。如果选择从用户闪存启动,即 BOOT0 设置为 0,可以通过连接降压电阻实现。

在 STM32F103 中可以通过 BOOT [1:0]引脚选择 3 种不同启动模式,见表 3.2。在系统复位后,SYSClk 的第四个上升沿,BOOT 引脚值将被锁存。用户可以通过设置 BOOT1 和 BOOT0 引脚的状态,来选择在复位后的启动模式。

表 3.2 启动模式对应关系

启动模式选择引脚		启动模式	说明
BOOT1	BOOT0		
X	0	用户闪存存储器	用户闪存存储器被选为启动区域
0	1	系统存储器	系统存储器被选为启动区域
1	1	内嵌 SRAM	内嵌 SRAM 被选为启动区域

7. 系统外设电路

最小系统的外设部分是指通过 GPIO 口或串口与嵌入式系统主芯片相连的应用拓展功能部分,包括信号指示灯电路、传感器模块接口电路、WIFI 模块接口电路和拓展电路。



视频讲解

3.2.2 最小系统开发板设计实例

STM32F103C8T6 的基础电路如图 3.12 所示,主时钟晶振采用 8MHz,为系统提供内部时钟;外接 32.768MHz 晶振专门为实时时钟提供时钟。

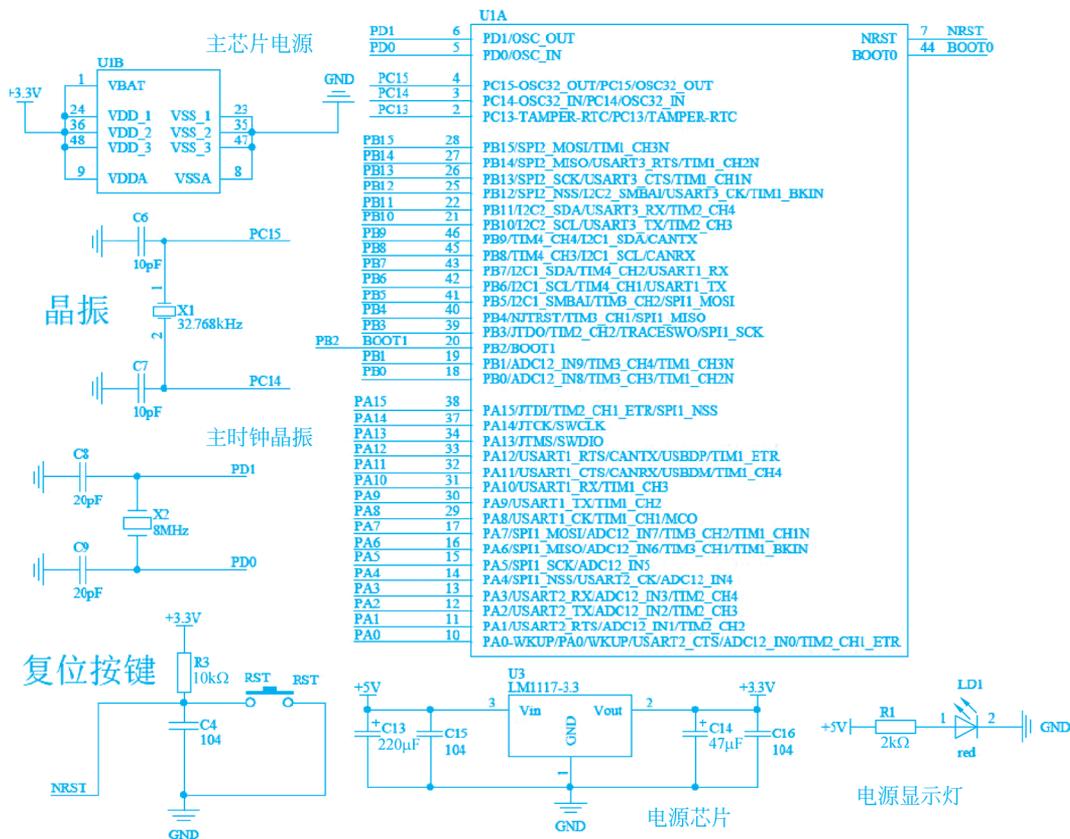


图 3.12 STM32 基础电路

电源转换芯片 LM1117-3.3 是一个低压差电压调节器,输入 5V 电压,输出固定的 3.3V 电压。该芯片提供电流限制和热保护。电路包含一个齐纳调节的带隙参考电压以确保输出电压的精度在 $\pm 1\%$ 以内。LM1117 系列具有 LLP、TO-263、SOT-223、TO-220、TO-252 和 D-PAK 封装。输出端需要一个至少 $10\mu\text{F}$ 的钽电容来改善瞬态响应和稳定性。

开发板采用 PC 端 USB 口 5V 供电方式,同时使用 USB 转串口电路来下载程序,如图 3.12 所示。USB 转串口电路采用芯片 CH340,能够实现 USB 转红外或打印口;在串口方式下 CH340 提供常用的 MODEM 信号,外围元器件只需要接入晶振和电容即可;芯片同时支持 3.3V 和 5V 电源电压。在下载程序时,将启动选择电路的 BOOT0 置 0,同时按下“下载”开关,下载完成后 BOOT0 置 1,弹起“下载”开关,按下“复位”按钮即可显示实现。

开发板包含的外设有 LED 阵列、按键阵列、继电器、蜂鸣器、七段数码管以及全 I/O 接口。

设计完成的 STM32 最小系统开发板具有如下功能。

(1) 内核采用 ARM 32 位的 Cortex-M3 的 CPU,工作频率最高可达 72MHz,在存储器

的等待周期访问时可达 1.25DMIPS/MHz。

- (2) 单周期乘法和硬件除法。
- (3) 片内集成 Flash 存储器(64Kb)和 SRAM 存储器(20Kb)。
- (4) 2.0~3.6V 低压供电,有睡眠、停机和待机模式。
- (5) 常用 37 个 I/O 口,具备复用功能,均可映射到 16 个外部中断。
- (6) 可采用串行单线调试(SWD)和 JTAG 接口调试。
- (7) 9 个通信接口,含 SPI、USART、USB、CAN 和 I2C。

将图 3.12 所示的最小系统原理图生成 PCB 文件,并通过摆放元器件和布线完成 PCB 图绘制,用于印制电路板的制作,制作加工完成的 STM32 实物图如图 3.13 所示。在此印制电路板上焊接元器件即可制作出一个简单的嵌入式硬件系统。

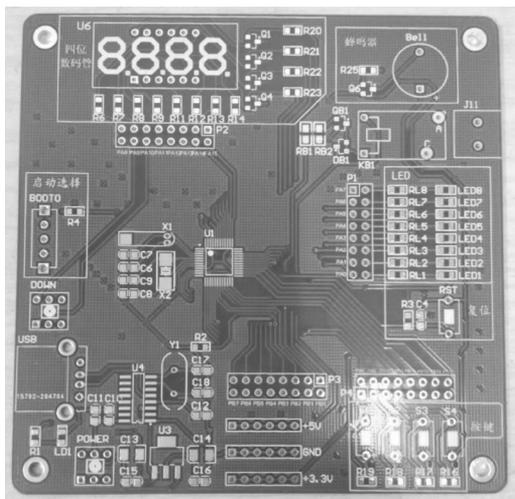


图 3.13 STM32 实物图

3.3 焊制 STM32 开发板

3.3.1 焊接工具介绍

焊接所需材料工具包括电烙铁、镊子、松香、焊锡丝、万用表、电工工具(螺丝刀)等。图 3.14 为恒温电烙铁和普通电烙铁。



图 3.14 恒温电烙铁和普通电烙铁

3.3.2 焊接方法

焊接时要注意“安全第一”，焊接时的环境要保证整洁、有序。

电烙铁初次使用时，首先应给电烙铁头挂锡，以便今后使用沾锡焊接。挂锡的方法很简单，通电之前，先用砂纸或小刀将烙铁头端面清理干净，通电以后，待烙铁头温度升到一定程度时，将焊锡放在烙铁头上熔化，使烙铁头端面挂上一层锡。挂锡后的烙铁头，随时都可以用来焊接。

用电烙铁焊接时，除了必须有焊锡条做焊料、直接用于焊接之外，还应该备有助焊剂。助焊剂顾名思义就是有助于焊接的物质，它可以清洁焊接物表面和熔锡中的杂质，提高焊接质量。常用的助焊剂有松香和焊锡膏（俗称焊油）。松香是一种腐蚀性很小的天然树脂，焊锡条（又称焊锡丝）里就带有松香，故俗称松香芯焊锡条。焊锡膏也是一种很好的助焊剂，但是其腐蚀性比较强，本身又不是绝缘体，故不宜用于元件的焊接，大多用于面积较大的金属构件的焊接，使用量也不宜过多，焊接完成以后应使用酒精棉球将焊接部位擦干净，防止残留的焊锡膏腐蚀焊点和焊接件，影响产品的质量和寿命。

另外，使用电烙铁属于强电操作，一定要注意安全用电。任何电烙铁都必须有 3 个接线端，其中两个与烙铁芯相接，用于连接 220V 交流电源，另一个与烙铁外壳相连，是接地保护端子，用以连接地线。为了安全起见，使用前最好用万用表鉴别一下烙铁芯是否断线或者混线。一般 20~30W 的电烙铁的烙铁芯电阻为 1500~2500Ω。

焊接是每个电子爱好者必须掌握的基本功，所以必须要下些功夫，好好练习。做到按要求焊接好每个元器件，应注意以下 3 点。

1. 焊接前

焊接前应将元件的引线截去多余部分后挂锡。若元件表面被氧化不易挂锡，可以使用细砂纸或小刀将引线表面清理干净，用烙铁头沾适量松香芯焊锡给引线挂锡。如果还不能挂上锡，可将元件引线放在松香块上，再用烙铁头轻轻接触引线，同时转动引线，使引线表面都可以均匀挂锡。每根引线的挂锡时间不宜太长，一般以 2~3s 为宜，以免烫坏元件内部。特别是给二极管、三极管引脚挂锡时，最好使用金属镊子夹住引线靠管壳的部分，借以传走一部分热量。另外，各种元件的引脚不要截得太短，否则既不利于散热，又不便于焊接。

2. 焊接中

把挂好锡的元件引线置于待焊接位置，如印制板的焊盘孔中或者各种接头、插座和开关的焊片小孔中，用沾有适量焊锡的烙铁头在焊接部位停留 3s 左右，待电烙铁拿走后，焊接处形成一个光滑的焊点。为了保证焊接质量，最好在焊接元件引线的位置事先也挂上锡。焊接时要确保引线位置不变动，否则极易产生虚焊。烙铁头停留的时间不宜过长，过长会烫坏元件，过短会因焊接熔化不充分而造成虚焊。

3. 焊接后

要仔细观察焊点形状和外表。焊点应呈半球状且高度略小于半径，不应该太鼓或者太扁，外表应该光滑均匀，没有明显气孔或凹陷，否则都容易造成虚焊或者假焊。在一个焊点同时焊接几个元件的引线时，更应该注意焊点的质量。

搞电子制作的都有镊子，但这里需要的是比较尖的那一种，而且必须是不锈钢的，这是

因为其他镊子可能会带有磁性,而贴片元件比较轻,如果镊子有磁性则会被吸在上面下不来。

对于引脚较多但间距较宽的贴片元件(如许多SO型封装的IC,引脚数目为6~20,引脚间距在1.27mm左右)也是采用类似的方法。先在一个焊盘上镀锡,然后左手用镊子夹持元件将一只引脚焊好,再用锡丝焊其余的引脚。这类元件的拆卸一般用热风枪较好,一只手持热风枪将焊锡吹熔,另一只手用镊子等夹具趁焊锡熔化之际将元件取下。对于引脚密度比较高(如0.5mm间距)的元件,在焊接步骤上是类似的,即先焊一只引脚,然后用锡丝焊其余的引脚。但对于这类元件由于其引脚的数目比较多且密,引脚与焊盘的对齐是关键。在一个焊盘上镀锡后(通常选在角上的焊盘,只镀很少的锡),用镊子或手将元件与焊盘对齐,注意要使所有有引脚的边都对齐(这里最重要的是耐心),然后左手(或通过镊子)稍用力将元件按在PCB板上,右手用烙铁将镀锡焊盘对应的引脚焊好。焊好后左手可以松开,但不要大力晃动电路板,而是轻轻将其转动,将其余角上的引脚先焊上。当4个角都焊上以后,元件基本不会动了,这时可以从容不迫地将剩下的引脚一个一个焊上。

3.3.3 焊接注意事项

在进行焊接操作中,很多人会因为缺乏经验而常犯一些错误,甚至因此而受伤。以下列举几条注意事项以示警醒。

(1) 电烙铁不宜长时间通电而不使用,因为这样容易使电烙铁芯加速氧化而烧断,损害烙铁寿命,同时将使电烙铁头因长时间加热而氧化,甚至被烧“死”不再“吃锡”。有时人们不注意就会碰到没有关系的电烙铁,对人造成伤害。

(2) 一定不能用手或人体其他部位的皮肤接触电烙铁头来试用电烙铁的温度。

(3) 焊铁不能长时间加热某一元件,会导致该元件参数发生变化,影响电路的准确性。

(4) 一把新烙铁不能拿来就用,必须先对烙铁头进行处理后才能正常使用,也就是说在使用前先给烙铁头镀上一层焊锡。具体的方法是:首先用锉把烙铁头按需要锉成一定的形状,然后接上电源,当烙铁头温度升至能熔锡时,将松香涂在烙铁头上,等松香冒烟后再涂上一层焊锡,如此进行二至三次,烙铁头的刃面及其周围就要产生一层氧化层,这样便产生“吃锡”困难的现象,此时可锉去氧化层,重新镀上焊锡。

(5) 焊接集成电路与晶体管时,电烙铁头的温度就不能太高,且时间不能过长,此时可将烙铁头插在烙铁芯上的长度进行适当调整,进而控制烙铁头的温度。

(6) 烙铁头有直头和弯头两种。当采用握笔法时,直电烙铁头的电烙铁使用起来比较灵活,适合在元器件较多的电路中进行焊接。弯烙铁头的电烙铁用正握法比较合适,多用于线路板垂直桌面情况下的焊接。

(7) 更换烙铁芯时要注意引线不要接错,因为电烙铁有3个接线柱,而其中一个是指地的,另外两个是接烙铁芯两根引线的(这两个接线柱通过电源线,直接与220V交流电源相接)。如果将220V交流电源线错接到接地线的接线柱上,则电烙铁外壳就要带电,被焊件也要带电,这样就会发生触电事故。

在此过程中容易遇到的问题是STM32F103C8T6芯片引脚多,引脚间距窄,采用常规的焊接方法不能准确地将引脚焊接完美,因此先将电路板相应的焊点和芯片引脚镀上锡,然后将集成电路引脚对准电路板上的各对应焊点用烙铁加热,之后用烙铁头蘸上大量松香,将

多余的锡剔除掉,用酒精将松香在电路板上留下的黄色印迹擦除,最后在显微镜下观察焊接的引脚是否接触完好,是否有引脚间的相连。

3.4 本章小结

本章主要讲述了设计并制作以 STM32 为核心芯片的开发板的过程。首先,简单介绍了 Altium Designer 电路原理图设计软件的使用方法和 STM32 最小系统基本构成,然后介绍了从原理图设计到元器件焊接的技巧,最后介绍了一个 STM32 最小系统实例的设计。读者通过本章的学习,可以对嵌入式系统硬件开发有全面深入的了解。

思考与扩展

1. 熟悉 JTAG 和 SWD 两种调试电路的接线方法。
2. 什么是 STM32 最小系统?

【小组讨论】 由简单到复杂是自然进化之道,任何一个学科都有自己严密的知识体系,也是由简到繁、从浅入深。STM32 最小系统的设计复杂程度与应用需求增加密切相关。从最简单的只包括单片机芯片和一个晶体振荡器开始,到添加一些基本的外围器件,再到添加更多的外围器件以实现更丰富的功能。根据本书结构讨论学习 STM32 最小系统的阶梯构成,以及循序渐进建立科学的知识系统的学习方法。