

# ESP32-C3 系列芯片

## 技术规格书 版本 2.3

搭载 RISC-V 32 位单核处理器的极低功耗 SoC

支持 2.4 GHz Wi-Fi (802.11b/g/n) 和 Bluetooth® 5 (LE)

封装内最大可叠封 8 MB flash

QFN32 (5×5 mm) 封装

### 包括:

ESP32-C3

ESP32-C3FN4 – 停产 (EOL)

ESP32-C3FH4

ESP32-C3FH4AZ – 不推荐用于新设计 (NRND)

ESP32-C3FH4X – 推荐

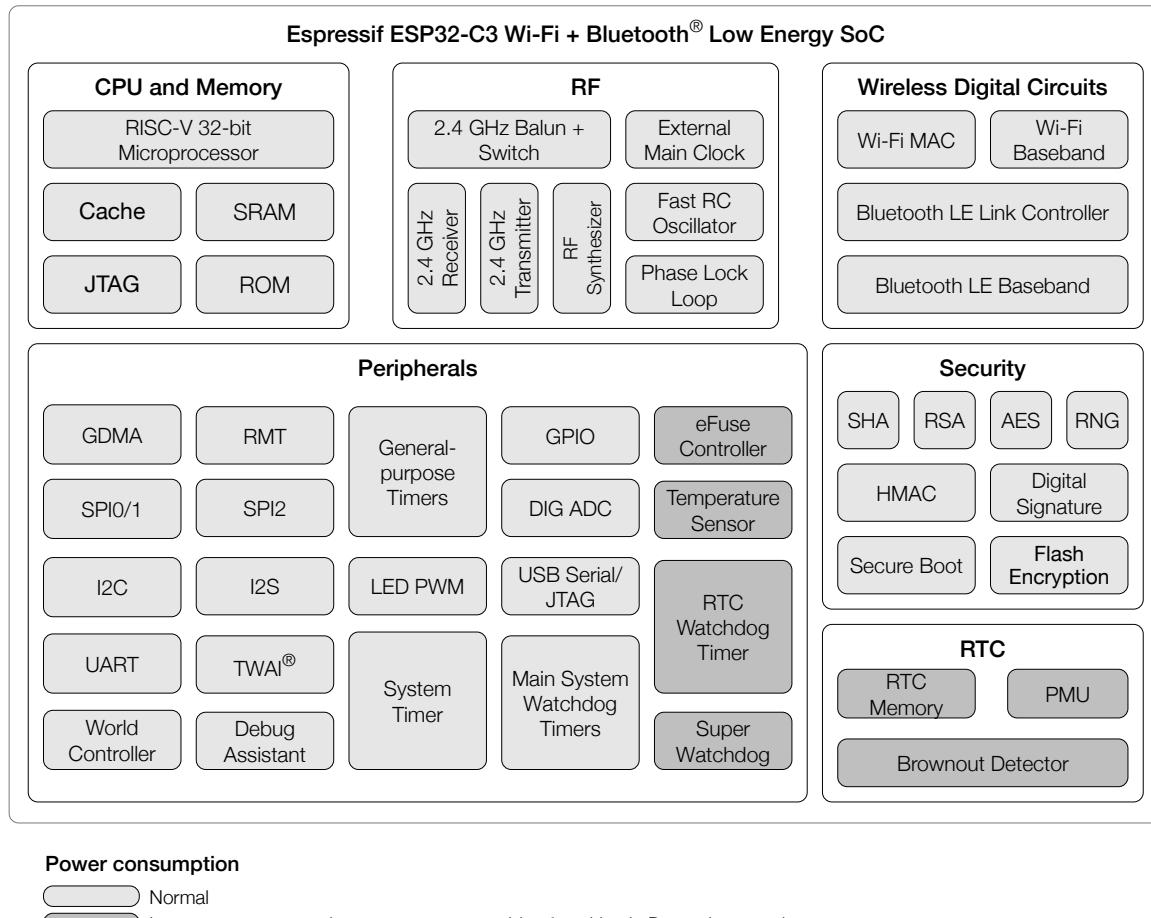
ESP32-C3FH8X – 样品



# 产品概述

ESP32-C3 是一款低功耗、高集成度的 MCU 系统级芯片 (SoC)，集成 2.4 GHz Wi-Fi 和低功耗蓝牙 (Bluetooth® LE) 无线通信。

芯片的功能框图如下图所示。



ESP32-C3 功能框图

更多关于功耗的信息，请参考章节 4.1.3.6 电源管理单元。

ESP32-C3 芯片系列 是 ESP32-C3 芯片系列合集 的成员。更多关于该芯片系列合集的信息，请查看 [ESP32-C3 芯片系列合集概览](#)。

## 产品特性

### Wi-Fi

- 支持 IEEE 802.11b/g/n 协议
- 在 2.4 GHz 频带支持 20 MHz 和 40 MHz 频宽
- 支持 1T1R 模式，数据速率高达 150 Mbps
- 无线多媒体 (WMM)
- 帧聚合 (TX/RX A-MPDU, TX/RX A-MSDU)
- 立即块确认 (Immediate Block ACK)
- 分片和重组 (Fragmentation and defragmentation)
- 传输机会 (Transmit opportunity, TXOP)
- Beacon 自动监测 (硬件 TSF)
- 4 个虚拟 Wi-Fi 接口
- 同时支持基础结构型网络 (Infrastructure BSS) Station 模式、SoftAP 模式、Station + SoftAP 模式和混杂模式  
请注意 ESP32-C3 系列芯片在 Station 模式下扫描时，SoftAP 信道会同时改变
- 天线分集
- 802.11mc FTM

### 蓝牙

- 低功耗蓝牙 (Bluetooth LE): Bluetooth 5、Bluetooth mesh
- 高功率模式，发射功率最高 20 dBm
- 速率支持 125 Kbps、500 Kbps、1 Mbps、2 Mbps
- 广播扩展 (Advertising Extensions)
- 多广播 (Multiple Advertisement Sets)
- 信道选择 (Channel Selection Algorithm #2)
- Wi-Fi 与蓝牙共存，共用同一个天线

### CPU 和存储

- 32 位 RISC-V 单核处理器
- 时钟频率：最高 160 MHz
- CoreMark® 得分：
  - 单核 160 MHz: 483.27 CoreMark; 3.02 CoreMark/MHz
- 通用 DMA 控制器（简称 GDMA），3 个接收通道和 3 个发送通道
- ROM: 384 KB

- SRAM: 400 KB (其中 16 KB 专用于 cache)
- RTC SRAM: 8 KB
- 4096 位 eFuse 存储器, 用户可用的高达 1792 位
- 封装内 flash (不同型号有差异, 详见章节 1 [ESP32-C3 系列型号对比](#))
- 支持 SPI 协议: SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI 接口连接多个封装外 flash 和其他 SPI 设备
- 通过 cache 加速 flash 访问
- 支持 flash 在线编程 (ICP)

## 外设

- 可编程 GPIO
  - ESP32-C3、ESP32-C3FH4、ESP32-C3FN4 和 ESP32-C3FH8X: 22 个
    - \* 3 个 strapping 管脚
    - \* 6 个用于连接封装内 flash
  - ESP32-C3FH4X 和 ESP32-C3FH4AZ: 16 个
    - \* 3 个 strapping 管脚
- 通讯接口:
  - 2 个 UART
  - 3 个 SPI
  - I2C
  - I2S
  - 全速 USB 串口/JTAG 控制器
  - TWAI® 控制器, 兼容 ISO11898-1 (CAN 规范 2.0)
  - LED PWM 控制器, 多达 6 个通道
  - 红外收发器, 2 个发送通道和 2 个接收通道
- 模拟信号处理:
  - 2 个 12 位 SAR 模/数转换器, 多达 6 个通道
  - 温度传感器
- 定时器:
  - 2 个 54 位通用定时器
  - 3 个数字看门狗定时器
  - 模拟看门狗定时器
  - 52 位系统定时器
  - XTAL32K 看门狗定时器

## 功耗管理

- 通过选择时钟频率、占空比、Wi-Fi 工作模式和单独控制内部器件的电源，实现精准电源控制
- 针对典型场景设计的四种功耗模式：Active、Modem-sleep、Light-sleep、Deep-sleep
- Deep-sleep 模式下功耗低至  $5 \mu\text{A}$
- Deep-sleep 模式下 RTC 存储器仍保持工作

## 安全机制

- 安全启动 - 内部和外部存储器的权限控制
- Flash 加密 - 加密和解密存储器
- 加密硬件加速器：
  - AES-128/256 (FIPS PUB 197)
  - SHA 加速器 (FIPS PUB 180-4)
  - RSA 加速器
  - 随机数生成器 (RNG)
  - HMAC
  - 数字签名
- 时钟毛刺检测

## RF 模块

- 天线开关、射频巴伦 (balun)、功率放大器、低噪声放大器
- 802.11b 传输功率高达 +21 dBm
- 802.11n 传输功率高达 +20 dBm
- 低功耗蓝牙接收器灵敏度 (125 Kbps) 高达 -105 dBm

## 应用

低功耗芯片 ESP32-C3 专为物联网 (IoT) 设备而设计，应用领域包括：

- |          |                    |
|----------|--------------------|
| • 智能家居   | • POS 机            |
| • 工业自动化  | • 服务机器人            |
| • 医疗保健   | • 音频设备             |
| • 消费电子产品 | • 通用低功耗 IoT 传感器集线器 |
| • 智慧农业   | • 通用低功耗 IoT 数据记录器  |

说明:

点击链接或扫描二维码确保您使用的是最新版本的文档:

[https://www.espressif.com/documentation/esp32-c3\\_datasheet\\_cn.pdf](https://www.espressif.com/documentation/esp32-c3_datasheet_cn.pdf)



# 目录

## 产品概述

2

产品特性

3

应用

5

## 1 ESP32-C3 系列型号对比

12

- 1.1 命名规则
- 1.2 型号对比
- 1.3 芯片版本

12

12

13

## 2 管脚

14

- 2.1 管脚布局
- 2.2 管脚概述
- 2.3 IO 管脚
  - 2.3.1 IO MUX 功能
  - 2.3.2 模拟功能
  - 2.3.3 GPIO 的限制
  - 2.3.4 外设管脚分配
- 2.4 模拟管脚
- 2.5 电源
  - 2.5.1 电源管脚
  - 2.5.2 电源管理
  - 2.5.3 芯片上电和复位
- 2.6 芯片与 flash 的管脚对应关系

14

14

16

19

19

21

22

23

23

25

26

26

26

27

27

28

## 3 启动配置项

29

- 3.1 芯片启动模式控制
- 3.2 ROM 日志打印控制

30

30

## 4 功能描述

32

- 4.1 系统
  - 4.1.1 微处理器和主机
    - 4.1.1.1 高性能处理器
    - 4.1.1.2 GDMA 控制器
  - 4.1.2 存储器组织结构
    - 4.1.2.1 内部存储器
    - 4.1.2.2 外部存储器

32

32

32

32

32

33

34

---

|          |                    |    |
|----------|--------------------|----|
| 4.1.2.3  | Cache              | 34 |
| 4.1.2.4  | eFuse 控制器          | 34 |
| 4.1.3    | 系统组件               | 35 |
| 4.1.3.1  | IO MUX 和 GPIO 交换矩阵 | 35 |
| 4.1.3.2  | 复位                 | 35 |
| 4.1.3.3  | 时钟                 | 35 |
| 4.1.3.4  | 中断矩阵               | 36 |
| 4.1.3.5  | 系统定时器              | 36 |
| 4.1.3.6  | 电源管理单元             | 37 |
| 4.1.3.7  | 定时器组               | 38 |
| 4.1.3.8  | 看门狗定时器             | 38 |
| 4.1.3.9  | XTAL32K 看门狗定时器     | 39 |
| 4.1.3.10 | 权限控制               | 39 |
| 4.1.3.11 | World 控制器          | 40 |
| 4.1.3.12 | 系统寄存器              | 40 |
| 4.1.3.13 | 辅助调试               | 40 |
| 4.1.4    | 加密和安全组件            | 41 |
| 4.1.4.1  | AES 加速器            | 41 |
| 4.1.4.2  | HMAC 加速器           | 41 |
| 4.1.4.3  | RSA 加速器            | 42 |
| 4.1.4.4  | SHA 加速器            | 42 |
| 4.1.4.5  | 数字签名               | 42 |
| 4.1.4.6  | 片外存储器加密与解密         | 43 |
| 4.1.4.7  | 随机数生成器             | 43 |
| 4.1.4.8  | 时钟毛刺检测             | 43 |
| 4.2      | 外设                 | 44 |
| 4.2.1    | 通讯接口               | 44 |
| 4.2.1.1  | UART 控制器           | 44 |
| 4.2.1.2  | SPI 控制器            | 44 |
| 4.2.1.3  | I2C 控制器            | 45 |
| 4.2.1.4  | I2S 控制器            | 45 |
| 4.2.1.5  | USB 串口/JTAG 控制器    | 45 |
| 4.2.1.6  | 双线汽车接口             | 46 |
| 4.2.1.7  | LED PWM 控制器        | 46 |
| 4.2.1.8  | 红外遥控               | 47 |
| 4.2.2    | 模拟信号处理             | 47 |
| 4.2.2.1  | SAR ADC            | 47 |
| 4.2.2.2  | 温度传感器              | 47 |
| 4.3      | 无线通信               | 48 |
| 4.3.1    | 无线电                | 48 |
| 4.3.1.1  | 2.4 GHz 接收器        | 48 |
| 4.3.1.2  | 2.4 GHz 发射器        | 48 |
| 4.3.1.3  | 时钟生成器              | 48 |
| 4.3.2    | Wi-Fi              | 48 |
| 4.3.2.1  | Wi-Fi 无线电和基带       | 49 |
| 4.3.2.2  | Wi-Fi MAC          | 49 |

---

|                          |                       |    |
|--------------------------|-----------------------|----|
| 4.3.2.3                  | 网络特性                  | 49 |
| 4.3.3                    | 蓝牙 LE                 | 50 |
| 4.3.3.1                  | 低功耗蓝牙物理层              | 50 |
| 4.3.3.2                  | 低功耗蓝牙链路控制器            | 50 |
| <b>5</b>                 | <b>电气特性</b>           | 51 |
| 5.1                      | 绝对最大额定值               | 51 |
| 5.2                      | 建议工作条件                | 51 |
| 5.3                      | VDD_SPI 输出特性          | 51 |
| 5.4                      | 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C) | 52 |
| 5.5                      | ADC 特性                | 53 |
| 5.6                      | 功耗特性                  | 53 |
| 5.6.1                    | Active 模式下的 RF 功耗     | 53 |
| 5.6.2                    | 其他功耗模式下的功耗            | 54 |
| 5.7                      | 存储器规格                 | 54 |
| 5.8                      | 可靠性                   | 54 |
| <b>6</b>                 | <b>射频特性</b>           | 56 |
| 6.1                      | Wi-Fi 射频              | 56 |
| 6.1.1                    | Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性   | 56 |
| 6.1.2                    | Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性   | 57 |
| 6.2                      | 低功耗蓝牙射频               | 58 |
| 6.2.1                    | 低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性    | 58 |
| 6.2.2                    | 低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性    | 60 |
| <b>7</b>                 | <b>封装</b>             | 63 |
| <b>ESP32-C3 管脚总览</b>     |                       | 64 |
| <b>ESP32-C3 芯片系列合集概览</b> |                       | 65 |
| <b>技术规格书版本号管理</b>        |                       | 66 |
| <b>词汇表</b>               |                       | 67 |
| <b>相关文档和资源</b>           |                       | 68 |
| <b>修订历史</b>              |                       | 69 |

# 表格

|      |                              |    |
|------|------------------------------|----|
| 1-1  | ESP32-C3 系列芯片对比              | 12 |
| 2-1  | 管脚概述                         | 16 |
| 2-2  | 芯片上电过程中的管脚毛刺                 | 17 |
| 2-3  | 通过 IO MUX 连接的外设信号            | 19 |
| 2-4  | IO MUX 管脚功能                  | 19 |
| 2-5  | 连接模拟功能的模拟信号                  | 21 |
| 2-6  | 模拟功能                         | 21 |
| 2-7  | 外设管脚分配                       | 24 |
| 2-8  | 模拟管脚                         | 25 |
| 2-9  | 电源管脚                         | 26 |
| 2-10 | 电压稳压器                        | 26 |
| 2-11 | 上电和复位时序参数说明                  | 27 |
| 2-12 | 芯片与封装内 flash 的管脚对应关系         | 28 |
| 3-1  | Strapping 管脚的默认配置            | 29 |
| 3-2  | Strapping 管脚的时序参数说明          | 29 |
| 3-3  | 芯片启动模式控制                     | 30 |
| 3-4  | UARTO ROM 日志打印控制             | 31 |
| 3-5  | USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制       | 31 |
| 4-1  | 模块和电源域                       | 38 |
| 5-1  | 绝对最大额定值                      | 51 |
| 5-2  | 建议工作条件                       | 51 |
| 5-3  | VDD_SPI 内部和输出特性              | 51 |
| 5-4  | 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)        | 52 |
| 5-5  | ADC 特性                       | 53 |
| 5-6  | ADC 校准结果                     | 53 |
| 5-7  | 不同 RF 模式下的 Wi-Fi 功耗          | 53 |
| 5-8  | Modem-sleep 模式下的功耗           | 54 |
| 5-9  | 低功耗模式下的功耗                    | 54 |
| 5-10 | 可靠性认证                        | 54 |
| 6-1  | Wi-Fi 频率                     | 56 |
| 6-2  | 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率 | 56 |
| 6-3  | 发射 EVM 测试                    | 56 |
| 6-4  | 接收灵敏度                        | 57 |
| 6-5  | 最大接收电平                       | 58 |
| 6-6  | 接收邻道抑制                       | 58 |
| 6-7  | 低功耗蓝牙频率                      | 58 |
| 6-8  | 发射器特性 - 低功耗蓝牙 1 Mbps         | 58 |
| 6-9  | 发射器特性 - 低功耗蓝牙 2 Mbps         | 59 |
| 6-10 | 发射器特性 - 低功耗蓝牙 125 Kbps       | 59 |
| 6-11 | 发射器特性 - 低功耗蓝牙 500 Kbps       | 60 |
| 6-12 | 接收器特性 - 低功耗蓝牙 1 Mbps         | 60 |
| 6-13 | 接收器特性 - 低功耗蓝牙 2 Mbps         | 61 |
| 6-14 | 接收器特性 - 低功耗蓝牙 125 Kbps       | 61 |



## 插图

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1-1 | ESP32-C3 系列芯片命名规则                                       | 12 |
| 2-1 | ESP32-C3、ESP32-C3FH4、ESP32-C3FN4、ESP32-C3FH8X 管脚布局（俯视图） | 14 |
| 2-2 | ESP32-C3FH4X、ESP32-C3FH4AZ 管脚布局（俯视图）                    | 15 |
| 2-3 | ESP32-C3 电源管理   | 27 |
| 2-4 | 上电和复位时序参数图  | 27 |
| 3-1 | Strapping 管脚的时序参数图                                      | 30 |
| 4-1 | 地址映射结构  | 33 |
| 4-2 | 模块和电源域  | 37 |
| 7-1 | QFN32 (5×5 mm) 封装                                       | 63 |

# 1 ESP32-C3 系列型号对比

## 1.1 命名规则

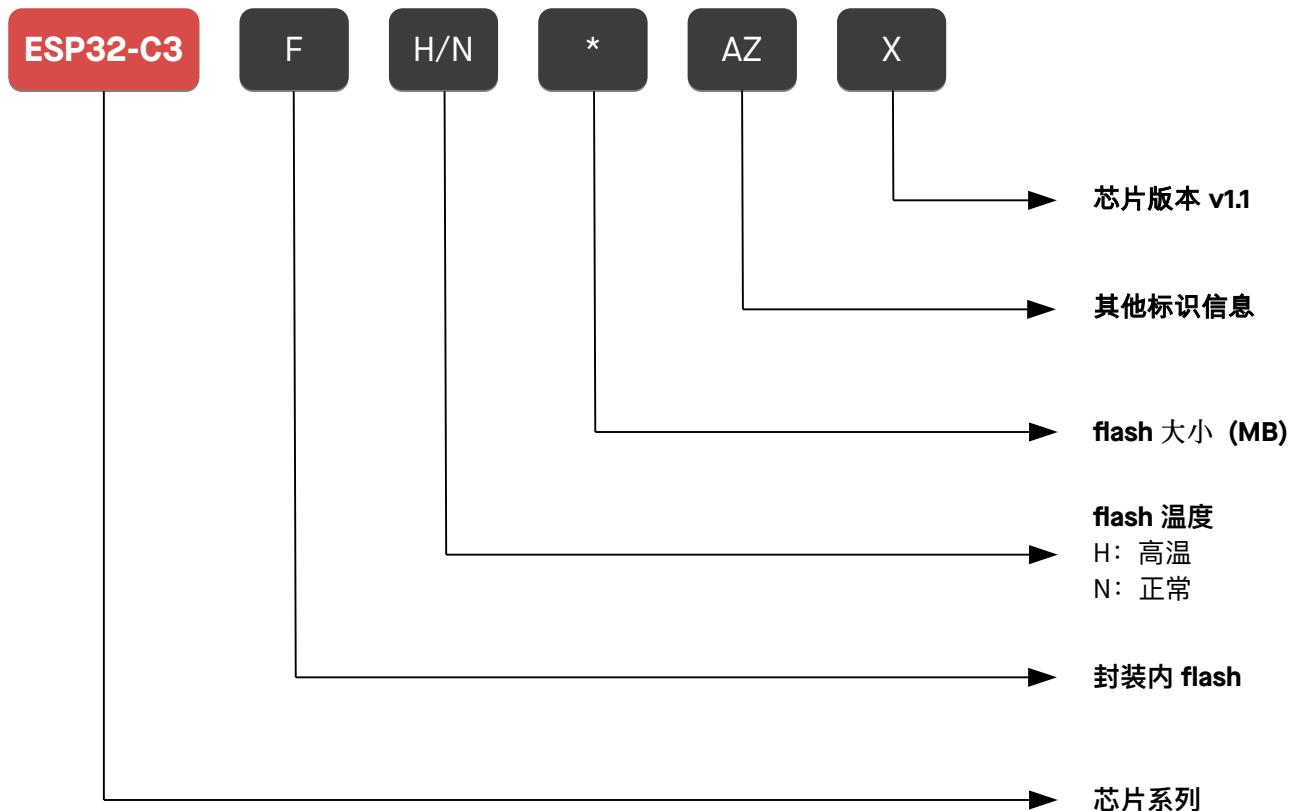


图 1-1. ESP32-C3 系列芯片命名规则

## 1.2 型号对比

表 1-1. ESP32-C3 系列芯片对比

| 物料编号 <sup>1</sup>                      | 封装内 flash <sup>3</sup> | 环境温度 <sup>2</sup> (°C) | 封装 (mm)     | GPIO 数量 <sup>6</sup> | 芯片版本 <sup>4</sup> |
|--|------------------------|------------------------|-------------|----------------------|-------------------|
| ESP32-C3 <sup>5</sup>                  | —                      | -40 ~ 105              | QFN32 (5*5) | 22                   | v0.4              |
| ESP32-C3FN4 ( <a href="#">EOL</a> )    | 4 MB                   | -40 ~ 85               | QFN32 (5*5) | 22                   | v0.4              |
| ESP32-C3FH4                            | 4 MB                   | -40 ~ 105              | QFN32 (5*5) | 22                   | v0.4              |
| ESP32-C3FH4AZ ( <a href="#">NRND</a> ) | 4 MB                   | -40 ~ 105              | QFN32 (5*5) | 16                   | v0.4              |
| ESP32-C3FH4X (推荐)                      | 4 MB                   | -40 ~ 105              | QFN32 (5*5) | 16                   | v1.1              |
| ESP32-C3FH8X (样品)                      | 8 MB                   | -40 ~ 105              | QFN32 (5*5) | 22                   | v1.1              |

<sup>1</sup> 更多关于芯片丝印和包装的信息，请参考章节 [7 封装](#)。

<sup>2</sup> 环境温度指乐鑫芯片外部的推荐环境温度。

<sup>3</sup> 更多关于封装内 flash 的信息，详见章节 [4.1.2.1 内部存储器](#)。默认情况下，封装内 flash 支持的最大时钟频率为 80 MHz，且不支持自动暂停功能。如需使用 120 MHz 的 flash 时钟频率或自动暂停功能，请联系我们。

<sup>4</sup> 所有芯片版本的 SRAM 大小相同，但芯片版本 v1.1（即 ESP32-C3FH4X）比芯片版本 v0.4 多约 10 KB 供用户使用。v1.1 依赖于特定的 ESP-IDF 版本，详见 [关于 ESP32-C3 芯片版本 v1.1 的兼容性公告](#)。关于芯片版本的识别，请参考 [《ESP32-C3 系列芯片勘误表》](#)。

<sup>5</sup> ESP32-C3 须在芯片封装外连接 SPI flash。更多关于 SPI 模式的信息，请参考章节 [2.6 芯片与 flash 的管脚对应关系](#)。

<sup>6</sup> GPIO 数量为 16 的型号未引出用于连接 flash 的 SPIO/SPI1 相关管脚。

## 1.3 芯片版本

如表 [1-1 ESP32-C3 系列芯片对比](#) 所示，ESP32-C3 有多个芯片版本投入市场。

关于芯片版本的识别方式、支持特定芯片版本的 ESP-IDF 版本和每个芯片版本修复的错误，请参考 [《ESP32-C3 系列芯片勘误表》](#)。

## 2 管脚

### 2.1 管脚布局

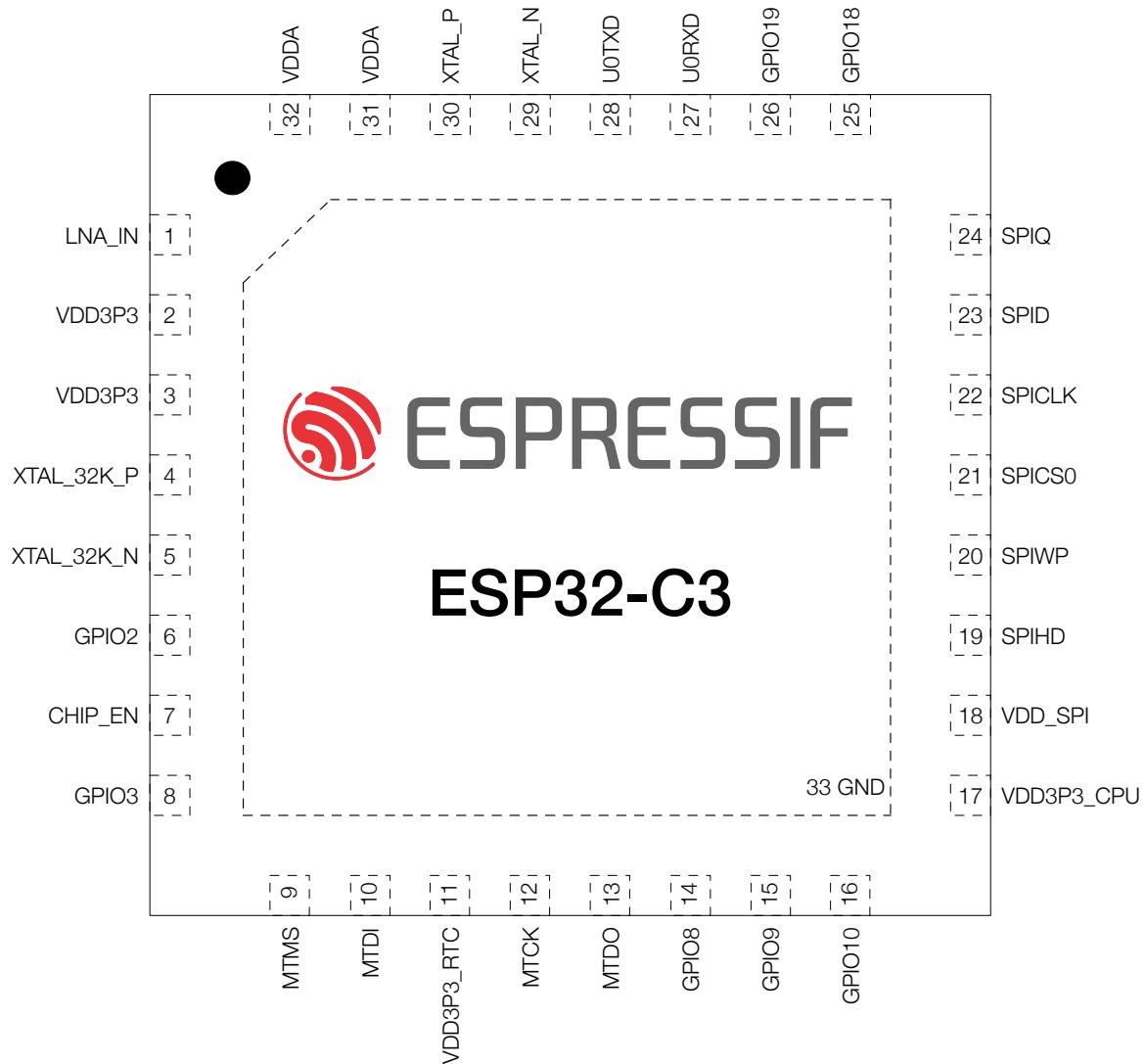


图 2-1. ESP32-C3、ESP32-C3FH4、ESP32-C3FN4、ESP32-C3FH8X 管脚布局（俯视图）

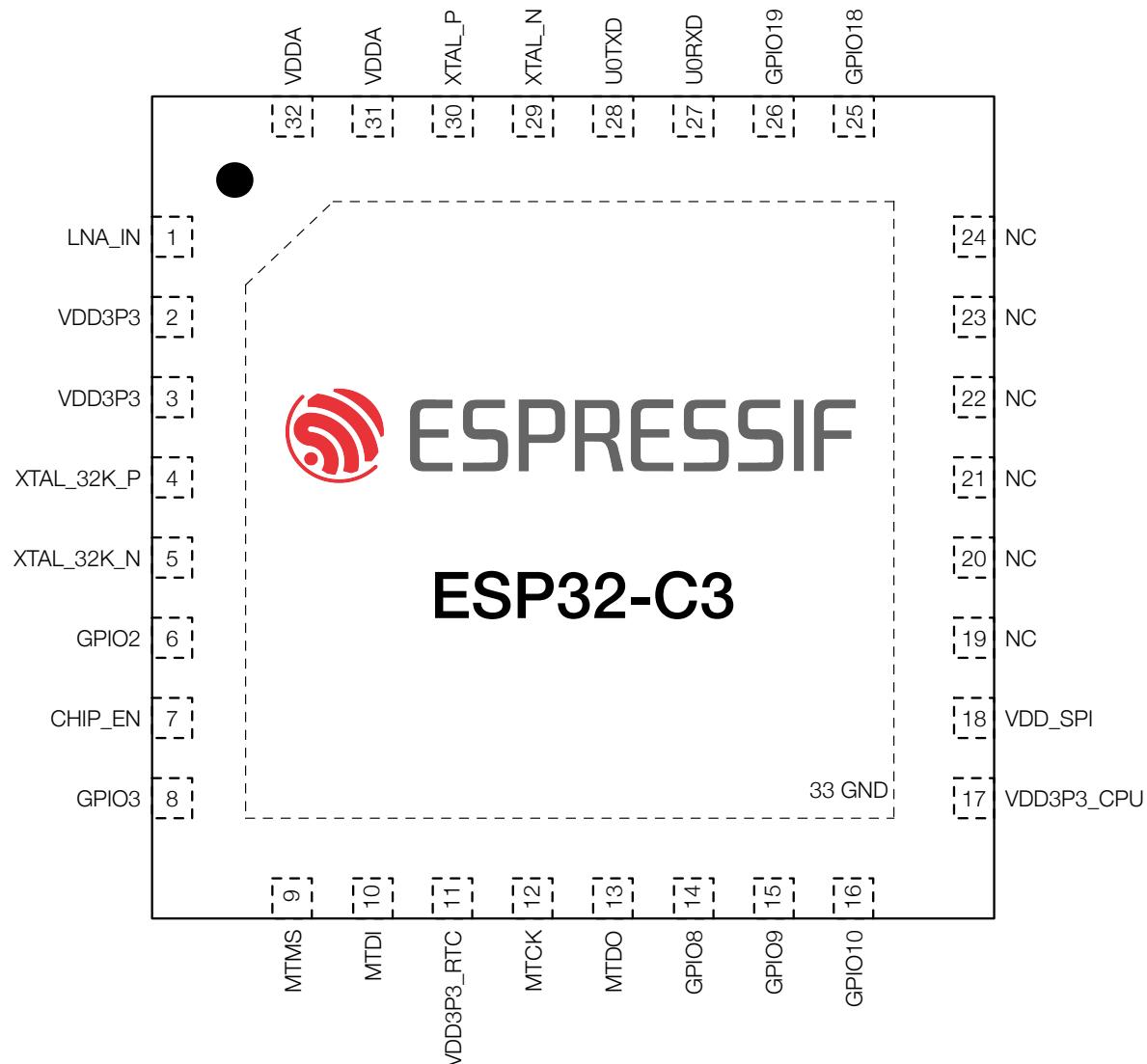


图 2-2. ESP32-C3FH4X、ESP32-C3FH4AZ 管脚布局（俯视图）

## 2.2 管脚概述

ESP32-C3 芯片集成了多个需要与外界通讯的外设。由于芯片封装尺寸小、管脚数量有限，传送所有输入输出信号的唯一方法是管脚多路复用。管脚多路复用由软件可编程的寄存器控制（详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》> 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵](#)）。

总体而言，ESP32-C3 芯片的管脚可分为以下几类：

- **IO 管脚**，具有以下预设功能：
  - 每个 IO 管脚都预设了 **IO MUX 功能** – 见表 [2-4 IO MUX 管脚功能](#)
  - 部分 IO 管脚预设了 **模拟功能** – 见表 [2-6 模拟功能](#)

预设功能即每个 IO 管脚直接连接至一组特定的片上**外设**信号。运行时，可通过映射寄存器配置连接管脚的外设信号。

- **模拟管脚**，专用于**模拟功能** – 见表 [2-8 模拟管脚](#)
- **电源管脚**，为芯片组件和非电源管脚供电 – 见表 [2-9 电源管脚](#)

表 [2-1 管脚概述](#) 简要介绍了所有管脚。更多信息，详见下文相应章节，或参考[ESP32-C3 管脚总览](#)。

**表 2-1. 管脚概述**

| 管脚序号 | 管脚名称                              | 管脚类型 | 供电管脚 <a href="#">2-4</a> | 管脚配置 <sup>5</sup> |                 | 管脚功能 <sup>1</sup> |    |
|------|-----------------------------------|------|--------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|----|
|      |                                   |      |                          | 复位时               | 复位后             | IO MUX            | 模拟 |
| 1    | LNA_IN                            | 模拟   |                          |                   |                 |                   |    |
| 2    | VDD3P3                            | 电源   |                          |                   |                 |                   |    |
| 3    | VDD3P3                            | 电源   |                          |                   |                 |                   |    |
| 4    | XTAL_32K_P                        | IO   | VDD3P3_RTC               |                   |                 | IO MUX            | 模拟 |
| 5    | XTAL_32K_N                        | IO   | VDD3P3_RTC               |                   |                 | IO MUX            | 模拟 |
| 6    | GPIO2                             | IO   | VDD3P3_RTC               | IE                | IE              | IO MUX            | 模拟 |
| 7    | CHIP_EN                           | 模拟   |                          |                   |                 |                   |    |
| 8    | GPIO3                             | IO   | VDD3P3_RTC               | IE                | IE              | IO MUX            | 模拟 |
| 9    | MTMS                              | IO   | VDD3P3_RTC               |                   | IE              | IO MUX            | 模拟 |
| 10   | MTDI                              | IO   | VDD3P3_RTC               |                   | IE              | IO MUX            | 模拟 |
| 11   | VDD3P3_RTC                        | 电源   |                          |                   |                 |                   |    |
| 12   | MTCK                              | IO   | VDD3P3_CPU               |                   | IE <sup>6</sup> | IO MUX            |    |
| 13   | MTDO                              | IO   | VDD3P3_CPU               |                   | IE              | IO MUX            |    |
| 14   | GPIO8                             | IO   | VDD3P3_CPU               | IE                | IE              | IO MUX            |    |
| 15   | GPIO9                             | IO   | VDD3P3_CPU               | IE, WPU           | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 16   | GPIO10                            | IO   | VDD3P3_CPU               |                   | IE              | IO MUX            |    |
| 17   | VDD3P3_CPU                        | 电源   |                          |                   |                 |                   |    |
| 18   | VDD_SPI <sup>8</sup> <sub>9</sub> | 电源   | VDD3P3_CPU               |                   |                 | IO MUX            |    |
| 19   | SPIHD                             | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU     | WPU               | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 20   | SPIWP                             | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU     | WPU               | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 21   | SPICSO                            | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU     | WPU               | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 22   | SPICLK                            | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU     | WPU               | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 23   | SPIID                             | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU     | WPU               | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 24   | SPIQ                              | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU     | WPU               | IE, WPU         | IO MUX            |    |
| 25   | GPIO18                            | IO   | VDD3P3_CPU               |                   |                 | IO MUX            | 模拟 |

见下页

表 2-1 - 接上页

| 管脚序号 | 管脚名称   | 管脚类型 | 供电管脚 2-4   | 管脚配置 <sup>5</sup> |                  | 管脚功能 <sup>1</sup> |    |
|------|--------|------|------------|-------------------|------------------|-------------------|----|
|      |        |      |            | 复位时               | 复位后              | IO MUX            | 模拟 |
| 26   | GPIO19 | IO   | VDD3P3_CPU |                   | USB_PU           | IO MUX            | 模拟 |
| 27   | UORXD  | IO   | VDD3P3_CPU |                   | IE, WPU          | IO MUX            |    |
| 28   | UOTXD  | IO   | VDD3P3_CPU |                   | WPU <sup>7</sup> | IO MUX            |    |
| 29   | XTAL_N | 模拟   |            |                   |                  |                   |    |
| 30   | XTAL_P | 模拟   |            |                   |                  |                   |    |
| 31   | VDDA   | 电源   |            |                   |                  |                   |    |
| 32   | VDDA   | 电源   |            |                   |                  |                   |    |
| 33   | GND    | 电源   |            |                   |                  |                   |    |

1. 加粗功能为默认启动模式下管脚的默认功能，详见章节 [3.1 芯片启动模式控制](#)。
2. 供电管脚一栏，由 VDD\_SPI 供电的管脚：
  - 电源实际来自给 VDD\_SPI 供电的内部电源轨，详见章节 [2.5.2 电源管理](#)。
3. 供电管脚一栏，由 VDD3P3\_CPU / VDD\_SPI 供电的管脚：
  - 供电管脚 (VDD3P3\_CPU 或 VDD\_SPI) 可通过寄存器配置，详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。
4. 管脚默认驱动电流如下：
  - GPIO2、GPIO3、MTMS、MTDI: 10 mA
  - GPIO18、GPIO19: 40 mA
  - 其余管脚: 20 mA
5. 管脚配置一栏为复位时和复位后预设配置缩写：
  - IE – 输入使能
  - WPU – 内部弱上拉电阻使能
  - WPD – 内部弱下拉电阻使能
  - USB\_PU – USB 上拉电阻使能
    - USB 管脚(GPIO18 和 GPIO19)默认开启 USB 功能，此时管脚是否上拉由 USB 上拉电阻决定。USB 上拉电阻由 USB\_SERIAL\_JTAG\_DP/DM\_PULLUP 控制，具体阻值可通过 USB\_SERIAL\_JTAG\_PULLUP\_VALUE 位控制，详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 USB 串口/JTAG 控制器。
    - USB 管脚关闭 USB 功能时，用作普通 GPIO，默认禁用管脚内部弱上下拉电阻，可通过 IO\_MUX\_FUN\_WPU/WPD 配置，详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。
6. EFUSE\_DIS\_PAD\_JTAG 的值为
  - 0 - 初始默认值，输入使能，内部弱上拉电阻使能 (IE & WPU)
  - 1 - 输入使能 (IE)
7. 输出使能
8. 该管脚默认用于给封装外的 flash 供电。若芯片在封装外部连接 flash 且外接 flash 电源，该电源管脚可用作 GPIO。详细信息请参考详细信息请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。
9. 管脚 19 ~ 管脚 24 未引出至 ESP32-C3FH4AZ 和 ESP32-C3FH4X 芯片，在这两款芯片中为空管脚。

部分管脚在芯片上电过程中有毛刺，具体见表 2-2。

表 2-2. 芯片上电过程中的管脚毛刺

| 管脚     | 毛刺类型 <sup>1</sup> | 典型持续时间 (ns) |
|--------|-------------------|-------------|
| MTCK   | 低电平毛刺             | 5           |
| MTDO   | 低电平毛刺             | 5           |
| GPIO10 | 低电平毛刺             | 5           |
| UORXD  | 低电平毛刺             | 5           |

见下页

表 2-2 - 接上页

| 管脚     | 毛刺类型 <sup>1</sup> | 典型持续时间 (ns) |
|--------|-------------------|-------------|
| GPIO18 | 高电平毛刺             | 50000       |

<sup>1</sup> 低电平毛刺：在持续期间维持低电平输出状态；  
高电平毛刺：在持续期间维持高电平输出状态；  
下拉毛刺：在持续期间维持内部弱下拉状态；  
上拉毛刺：在持续期间维持内部弱上拉状态。  
关于高/低电平和上/下拉的相关具体参数，请参考  
表 5-4。

## 2.3 IO 管脚

### 2.3.1 IO MUX 功能

IO MUX 能让一个输入/输出管脚连接多个输入/输出信号。ESP32-C3 的每个 IO 管脚可在表 2-4 IO MUX 管脚功能列出的三个信号 (IO MUX 功能, 即 F0-F2) 中选择, 连接任意一个。

三个信号中:

- 部分源自 GPIO 交换矩阵 (**GPIO0、GPIO1 等**)。GPIO 交换矩阵包含内部信号传输线路, 用于映射信号, 能令管脚连接几乎任一外设信号。这种映射虽然灵活, 但可能影响传输信号的速度, 造成延迟。如何通过 GPIO 交换矩阵连接外设信号, 详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》> 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵](#)。
- 部分直接源自特定外设 (**UOTXD、MTCK 等**), 包括 UARTO、JTAG、SPI0/1 和 SPI2 - 详见表 2-3 通过 IO MUX 连接的外设信号。

表 2-3. 通过 IO MUX 连接的外设信号

| 管脚功能   | 信号   | 描述   |
|--|--|--|
| UOTXD<br>UORXD   | 发送数据 (Transmit)<br>接收数据 (Receive)  | UARTO 接口   |
| MTCK<br>MTDO<br>MTDI<br>MTMS                             | 测试时钟 (Test clock)<br>测试数据输出 (Test Data Out)<br>测试数据输入 (Test Data In)<br>测试模式选择 (Test Mode Select)  | 用于调试功能的 JTAG 接口  |
| SPIQ<br>SPID<br>SPIHD<br>SPIWP<br>SPICLK<br>SPICS...     | 主机输入从机输出 (Master in, slave out)<br>主机输出从机输入 (Master out, slave in)<br>暂停 (Hold)<br>写保护 (Write protect)<br>时钟 (Clock)<br>片选 (Chip select) | 3.3 V SPI0/1 接口, 通过 SPI 总线连接封装内或封装外 flash。支持单线、双线、四线 SPI 模式。详见章节 2.6 芯片与 flash 的管脚对应关系 |
| FSPIQ<br>FSPID<br>FSPIHD<br>FSPIWP<br>FSPICLK<br>FSPICSO | 主机输入从机输出 (Master in, slave out)<br>主机输出从机输入 (Master out, slave in)<br>暂停 (Hold)<br>写保护 (Write protect)<br>时钟 (Clock)<br>片选 (Chip select) | 用于快速 SPI 传输的 SPI2 主接口。支持单线、双线、四线 SPI 模式  |

表 2-4 IO MUX 管脚功能 列出了管脚的 IO MUX 功能。

表 2-4. IO MUX 管脚功能

| 管脚序号 | IO MUX /<br>GPIO 名称 <sup>2</sup> | IO MUX 功能 <sup>1, 2, 3</sup> |                 |       |       |       |       |
|------|----------------------------------|------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|      |                                  | F0                           | 类型 <sup>3</sup> | F1    | 类型    | F2    | 类型    |
| 4    | GPIO0                            | GPIO0                        | I/O/T           | GPIO0 | I/O/T |       |       |
| 5    | GPIO1                            | GPIO1                        | I/O/T           | GPIO1 | I/O/T |       |       |
| 6    | GPIO2                            | GPIO2                        | I/O/T           | GPIO2 | I/O/T | FSPIQ | I/O/T |
| 8    | GPIO3                            | GPIO3                        | I/O/T           | GPIO3 | I/O/T |       |       |

见下页

表 2-4 - 接上页

| 管脚序号 | IO MUX / GPIO 名称 <sup>2</sup> | IO MUX 功能 <sup>1, 2, 3</sup> |                 |        |       |         |        |
|------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|--------|-------|---------|--------|
|      |                               | F0                           | 类型 <sup>3</sup> | F1     | 类型    | F2      | 类型     |
| 9    | GPIO4                         | MTMS                         | I1              | GPIO4  | I/O/T | FSPIHD  | I1/O/T |
| 10   | GPIO5                         | MTDI                         | I1              | GPIO5  | I/O/T | FSPIWP  | I1/O/T |
| 12   | GPIO6                         | MTCK                         | I1              | GPIO6  | I/O/T | FSPICLK | I1/O/T |
| 13   | GPIO7                         | MTDO                         | O/T             | GPIO7  | I/O/T | FSPID   | I1/O/T |
| 14   | GPIO8                         | GPIO8                        | I/O/T           | GPIO8  | I/O/T |         |        |
| 15   | GPIO9                         | GPIO9                        | I/O/T           | GPIO9  | I/O/T |         |        |
| 16   | GPIO10                        | GPIO10                       | I/O/T           | GPIO10 | I/O/T | FSPICSO | I1/O/T |
| 18   | GPIO11                        | GPIO11                       | I/O/T           | GPIO11 | I/O/T |         |        |
| 19   | GPIO12                        | SPIHD                        | I1/O/T          | GPIO12 | I/O/T |         |        |
| 20   | GPIO13                        | SPIWP                        | I1/O/T          | GPIO13 | I/O/T |         |        |
| 21   | GPIO14                        | SPICSO                       | O/T             | GPIO14 | I/O/T |         |        |
| 22   | GPIO15                        | SPICLK                       | O/T             | GPIO15 | I/O/T |         |        |
| 23   | GPIO16                        | SPIID                        | I1/O/T          | GPIO16 | I/O/T |         |        |
| 24   | GPIO17                        | SPIQ                         | I1/O/T          | GPIO17 | I/O/T |         |        |
| 25   | GPIO18                        | GPIO18                       | I/O/T           | GPIO18 | I/O/T |         |        |
| 26   | GPIO19                        | GPIO19                       | I/O/T           | GPIO19 | I/O/T |         |        |
| 27   | GPIO20                        | UORXD                        | I1              | GPIO20 | I/O/T |         |        |
| 28   | GPIO21                        | UOTXD                        | O               | GPIO21 | I/O/T |         |        |

<sup>1</sup> 加粗表示默认启动模式下的默认管脚功能，详见章节 3.1 芯片启动模式控制。<sup>2</sup> 高亮的单元格，详见章节 2.3.3 GPIO 的限制。<sup>3</sup> 每个 IO MUX 功能 (Fn, n = 0 ~ 2) 均对应一个“类型”。以下是各个“类型”的含义：

- I – 输入。O – 输出。T – 高阻。
- I1 – 输入；如果该管脚分配了 Fn 以外的功能，则 Fn 的输入信号恒为 1。
- IO – 输入；如果该管脚分配了 Fn 以外的功能，则 Fn 的输入信号恒为 0。

### 2.3.2 模拟功能

部分 IO 管脚具有模拟功能，可用于任意功耗模式下的模拟外设（如 ADC）。模拟功能连接内部模拟信号，详见表 2-5 连接模拟功能的模拟信号。

表 2-5. 连接模拟功能的模拟信号

| 管脚功能                     | 信号   | 描述                                    |
|--------------------------|--|---------------------------------------|
| ADC..._CH...             | ADC1/2 通道 ... 信号   | ADC1/2 接口                             |
| USB_D-<br>USB_D+         | 数据 - (Data -)<br>数据 + (Data +)                                     | USB 串口/JTAG 功能                        |
| XTAL_32K_N<br>XTAL_32K_P | 负极性时钟信号 (Negative clock signal)<br>正极性时钟信号 (Positive clock signal) | 连接 ESP32-C3 无源或有源晶振的外部 32 kHz 时钟输入/输出 |

表 2-6 模拟功能 列出了 IO 管脚的模拟功能。

表 2-6. 模拟功能

| 管脚序号 | 模拟 IO 名称 <sup>1, 2</sup> | 模拟功能 <sup>2</sup> |          |
|------|--------------------------|-------------------|----------|
|      |                          | F0                | F1       |
| 4    | GPIO0                    | XTAL_32K_P        | ADC1_CH0 |
| 5    | GPIO1                    | XTAL_32K_N        | ADC1_CH1 |
| 6    | GPIO2                    |                   | ADC1_CH2 |
| 8    | GPIO3                    |                   | ADC1_CH3 |
| 9    | GPIO4                    |                   | ADC1_CH4 |
| 10   | GPIO5                    |                   | ADC2_CH0 |
| 25   | GPIO18                   | USB_D-            |          |
| 26   | GPIO19                   | USB_D+            |          |

<sup>1</sup> 加粗表示默认启动模式下的默认管脚功能，详见章节 3.1 芯片启动模式控制。

<sup>2</sup> 高亮的单元格，详见章节 2.3.3 GPIO 的限制。

### 2.3.3 GPIO 的限制

ESP32-C3 的所有 IO 管脚都有 GPIO 功能。不过，这些 IO 管脚是多功能管脚，可以根据需求配置不同的功能，也有一些使用限制，需要特别注意。

本章节的表格中，下列管脚功能具有 **红色** 或 **黄色** 高亮，是重要的管脚功能，所属 IO 管脚用作 **GPIO / GPIO** 时需谨慎：

- **IO 管脚** – 用于与封装内 flash 通讯，不建议作其他用途。更多信息，详见章节 [2.6 芯片与 flash 的管脚对应关系](#)。
- **IO 管脚** – 具有以下重要功能之一：
  - **Strapping 管脚** – 启动时逻辑电平需为特定值。详见章节 [3 启动配置项](#)。

**说明：**

Strapping 管脚在 管脚名称 或 复位时管脚配置处高亮，而非管脚功能。

- **USB\_D+/-** – 默认情况下连接 USB 串口/JTAG 控制器。此类管脚需重新配置，方可用作 GPIO。
- **JTAG 接口** – 通常用于调试功能。详见表 [2-3 通过 IO MUX 连接的外设信号](#)。要释放这类管脚，可用 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) USB 串口/JTAG 控制器的 USB\_D+/- 功能代替。
- **UART0 接口** – 通常用于调试功能。详见表 [2-3 通过 IO MUX 连接的外设信号](#)。
- **VDD\_SPI** – 默认为 flash 的供电管脚，仅在 flash 连接外部电源时可用作 GPIO。

更多关于管脚分配的信息，可见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#) 和 [ESP32-C3 管脚总览](#)。

### 2.3.4 外设管脚分配

表 2-7 外设管脚分配 根据优先级高亮了可以分配给每个外设接口的管脚：

- 优先级 1：固定 IO MUX 管脚，直接连接外设信号。  
如果某个外设接口没有优先级 1 的管脚（如 UART1），则可以分配优先级 2 到优先级 4 的任意 GPIO 管脚。
- 任意 GPIO 管脚，通过 GPIO 交换矩阵映射外设信号，优先级为 2、3 或 4。
  - 优先级 2：GPIO 管脚，没有限制，可以自由分配。
  - 优先级 3：GPIO 管脚，使用时需要注意是否会和章节 2.3.3 GPIO 的限制 描述的重要功能冲突：
    - \* GPIO2、GPIO8、GPIO9：Strapping 管脚。
    - \* GPIO18、GPIO19：USB 串口/JTAG 接口。
    - \* GPIO4、GPIO5、GPIO6、GPIO7：JTAG 接口。
    - \* GPIO20、GPIO21：UART0 接口。
    - \* GPIO11：VDD\_SPI 管脚。该管脚默认用于给 flash 供电，仅在 flash 连接外部电源时可用作 GPIO。
  - 优先级 4：已分配或不推荐使用的 GPIO 管脚，如章节 2.3.3 GPIO 的限制 所述：
    - \* GPIO12、GPIO13、GPIO14、GPIO15、GPIO16、GPIO17：SPI0/1 管脚，已连接封装内 flash，或推荐连接封装外 flash。

如果某个外设接口没有优先级 2 到 4 的管脚（如 USB 串口/JTAG），则表示只能分配优先级 1 的管脚。

#### 说明：

- 连接到 IO MUX 管脚的外设信号，请参考章节 2.3.1 IO MUX 功能。
- 可以分配到 GPIO 管脚的外设信号，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》> 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵 > 章节外设管脚列表](#)。

表 2-7. 外设管脚分配

| 管脚序号 | 管脚名称       | USB 串口/JTAG <sup>1</sup> | JTAG      | ADC1          | ADC2          | UART0 <sup>2</sup> | SPI0/1 <sup>2</sup> | SPI2 <sup>2</sup> | UART1       | I2C         | I2S         | TWAI        | LED PWM     | RMT         |
|------|------------|--------------------------|-----------|---------------|---------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1    | LNA_IN     |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 2    | VDD3P3     |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 3    | VDD3P3     |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 4    | XTAL_32K_P |                          |           | ADC1_CHO (P1) |               | GPIO0 (P2)         | GPIO0 (P2)          | GPIO0 (P2)        | GPIO0 (P2)  | GPIO0 (P2)  | GPIO0 (P2)  | GPIO0 (P2)  | GPIO0 (P2)  | GPIO0 (P2)  |
| 5    | XTAL_32K_N |                          |           | ADC1_CH1 (P1) |               | GPIO1 (P2)         | GPIO1 (P2)          | GPIO1 (P2)        | GPIO1 (P2)  | GPIO1 (P2)  | GPIO1 (P2)  | GPIO1 (P2)  | GPIO1 (P2)  | GPIO1 (P2)  |
| 6    | GPIO2      |                          |           | ADC1_CH2 (P1) |               | GPIO2 (P3)         | GPIO2 (P3)          | FSPIQ (P1)        | GPIO2 (P3)  |
| 7    | CHIP_EN    |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 8    | GPIO3      |                          |           | ADC1_CH3 (P1) |               | GPIO3 (P2)         | GPIO3 (P2)          | GPIO3 (P2)        | GPIO3 (P2)  | GPIO3 (P2)  | GPIO3 (P2)  | GPIO3 (P2)  | GPIO3 (P2)  | GPIO3 (P2)  |
| 9    | MTMS       |                          | MTMS (P1) | ADC1_CH4 (P1) |               | GPIO4 (P3)         | GPIO4 (P3)          | FSPIHD (P1)       | GPIO4 (P3)  |
| 10   | MTDI       |                          | MTDI (P1) |               | ADC2_CHO (P1) | GPIO5 (P3)         | GPIO5 (P3)          | FSPIWP (P1)       | GPIO5 (P3)  |
| 11   | VDD3P3_RTC |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 12   | MTCK       |                          | MTCK (P1) |               |               | GPIO6 (P3)         | GPIO6 (P3)          | FSPICLK (P1)      | GPIO6 (P3)  |
| 13   | MTDO       |                          | MTDO (P1) |               |               | GPIO7 (P3)         | GPIO7 (P3)          | FSPID (P1)        | GPIO7 (P3)  |
| 14   | GPIO8      |                          |           |               |               | GPIO8 (P3)         | GPIO8 (P3)          | GPIO8 (P3)        | GPIO8 (P3)  | GPIO8 (P3)  | GPIO8 (P3)  | GPIO8 (P3)  | GPIO8 (P3)  | GPIO8 (P3)  |
| 15   | GPIO9      |                          |           |               |               | GPIO9 (P3)         | GPIO9 (P3)          | GPIO9 (P3)        | GPIO9 (P3)  | GPIO9 (P3)  | GPIO9 (P3)  | GPIO9 (P3)  | GPIO9 (P3)  | GPIO9 (P3)  |
| 16   | GPIO10     |                          |           |               |               | GPIO10 (P2)        | GPIO10 (P2)         | SPICSO (P1)       | GPIO10 (P2) |
| 17   | VDD3P3_CPU |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 18   | VDD_SPI    |                          |           |               |               | GPIO11 (P3)        | GPIO11 (P3)         | GPIO11 (P3)       | GPIO11 (P3) | GPIO11 (P3) | GPIO11 (P3) | GPIO11 (P3) | GPIO11 (P3) | GPIO11 (P3) |
| 19   | SPIHD      |                          |           |               |               | GPIO12 (P4)        | SPIHD (P1)          | GPIO12 (P4)       | GPIO12 (P4) | GPIO12 (P4) | GPIO12 (P4) | GPIO12 (P4) | GPIO12 (P4) | GPIO12 (P4) |
| 20   | SPIWP      |                          |           |               |               | GPIO13 (P4)        | SPIWP (P1)          | GPIO13 (P4)       | GPIO13 (P4) | GPIO13 (P4) | GPIO13 (P4) | GPIO13 (P4) | GPIO13 (P4) | GPIO13 (P4) |
| 21   | SPICSO     |                          |           |               |               | GPIO14 (P4)        | SPICSO (P1)         | GPIO14 (P4)       | GPIO14 (P4) | GPIO14 (P4) | GPIO14 (P4) | GPIO14 (P4) | GPIO14 (P4) | GPIO14 (P4) |
| 22   | SPICLK     |                          |           |               |               | GPIO15 (P4)        | SPICLK (P1)         | GPIO15 (P4)       | GPIO15 (P4) | GPIO15 (P4) | GPIO15 (P4) | GPIO15 (P4) | GPIO15 (P4) | GPIO15 (P4) |
| 23   | SPID       |                          |           |               |               | GPIO16 (P4)        | SPID (P1)           | GPIO16 (P4)       | GPIO16 (P4) | GPIO16 (P4) | GPIO16 (P4) | GPIO16 (P4) | GPIO16 (P4) | GPIO16 (P4) |
| 24   | SPIQ       |                          |           |               |               | GPIO17 (P4)        | SPIQ (P1)           | GPIO17 (P4)       | GPIO17 (P4) | GPIO17 (P4) | GPIO17 (P4) | GPIO17 (P4) | GPIO17 (P4) | GPIO17 (P4) |
| 25   | GPIO18     | USB_D- (P1)              |           |               |               | GPIO18 (P3)        | GPIO18 (P3)         | GPIO18 (P3)       | GPIO18 (P3) | GPIO18 (P3) | GPIO18 (P3) | GPIO18 (P3) | GPIO18 (P3) | GPIO18 (P3) |
| 26   | GPIO19     | USB_D+ (P1)              |           |               |               | GPIO19 (P3)        | GPIO19 (P3)         | GPIO19 (P3)       | GPIO19 (P3) | GPIO19 (P3) | GPIO19 (P3) | GPIO19 (P3) | GPIO19 (P3) | GPIO19 (P3) |
| 27   | UORXD      |                          |           |               |               | UORXD (P1)         | GPIO20 (P3)         | GPIO20 (P3)       | GPIO20 (P3) | GPIO20 (P3) | GPIO20 (P3) | GPIO20 (P3) | GPIO20 (P3) | GPIO20 (P3) |
| 28   | UOTXD      |                          |           |               |               | UOTXD (P1)         | GPIO21 (P3)         | GPIO21 (P3)       | GPIO21 (P3) | GPIO21 (P3) | GPIO21 (P3) | GPIO21 (P3) | GPIO21 (P3) | GPIO21 (P3) |
| 29   | XTAL_N     |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 30   | XTAL_P     |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 31   | VDDA       |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 32   | VDDA       |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |
| 33   | GND        |                          |           |               |               |                    |                     |                   |             |             |             |             |             |             |

<sup>1</sup> USB 串口/JTAG 的 USB\_D- 和 USB\_D+ 管脚可按照《ESP32-C3 技术参考手册》的 USB\_SERIAL\_JTAG\_EXCHG\_PINS 位配置后交换。<sup>2</sup> UART0、SPI0/1、SPI2 接口的外设信号，无论是否已通过 IO MUX 直接连接 固定管脚，均可通过 GPIO 交换矩阵映射至任意 GPIO 管脚。<sup>3</sup> 管脚 19 ~ 管脚 24（即标为 P4 的 GPIO 管脚）未引出至 ESP32-C3FH4AZ 和 ESP32-C3FH4X 芯片，在这两款芯片中为空管脚。

## 2.4 模拟管脚

表 2-8. 模拟管脚

| 管脚序号 | 管脚名称    | 管脚类型 | 管脚功能   |
|------|---------|------|--|
| 1    | LNA_IN  | I/O  | 低噪声放大器 (RF LNA) 输入/输出信号                              |
| 7    | CHIP_EN | I    | 高电平：芯片使能（上电）；<br>低电平：芯片关闭（掉电）；<br>注意不能让 CHIP_EN 管脚浮空 |
| 29   | XTAL_N  | —    | 连接芯片有源晶振或无源晶振的外部时钟输入/输出。                             |
| 30   | XTAL_P  | —    | P/N 指差分时钟正极/负极端。                                     |

## 2.5 电源

### 2.5.1 电源管脚

表 2-9 电源管脚 列举了为芯片供电的电源管脚。

表 2-9. 电源管脚

| 管脚序号 | 管脚名称       | 方向 | 电源域 / 其他          | IO 管脚 <sup>3</sup> |
|------|------------|----|-------------------|--------------------|
| 2    | VDD3P3     | 输入 | 模拟电源域             |                    |
| 3    | VDD3P3     | 输入 | 模拟电源域             |                    |
| 11   | VDD3P3_RTC | 输入 | RTC 和部分数字电源域      | RTC IO             |
| 17   | VDD3P3_CPU | 输入 | 数字电源域             | 数字 IO              |
| 18   | VDD_SPI    | 输入 | 封装内 flash (备用电源线) |                    |
|      |            | 输出 | 封装内和封装外 flash     |                    |
| 31   | VDDA       | 输入 | 模拟电源域             |                    |
| 32   | VDDA       | 输入 | 模拟电源域             |                    |
| 33   | GND        | —  | 外部接地              |                    |

<sup>1</sup> 请结合章节 2.5.2 电源管理 阅读。

<sup>2</sup> 电压、电流的推荐值和最大值，详见章节 5.1 绝对最大额定值 和章节 5.2 建议工作条件。

<sup>3</sup> 数字 IO 管脚即由 VDD3P3\_CPU 供电的管脚，RTC IO 管脚即由 VDD3P3\_RTC 供电的管脚，如图 2-3 ESP32-C3 电源管理 所示，也可参考表 2-1 管脚概述 > 供电管脚一栏。

### 2.5.2 电源管理

电源管理如图 2-3 ESP32-C3 电源管理 所示。

芯片上的元器件通过电压稳压器供电。

表 2-10. 电压稳压器

| 电压稳压器 | 输出    | 电源      |
|-------|-------|---------|
| 数字    | 1.1 V | 数字电源域   |
| 低功耗   | 1.1 V | RTC 电源域 |

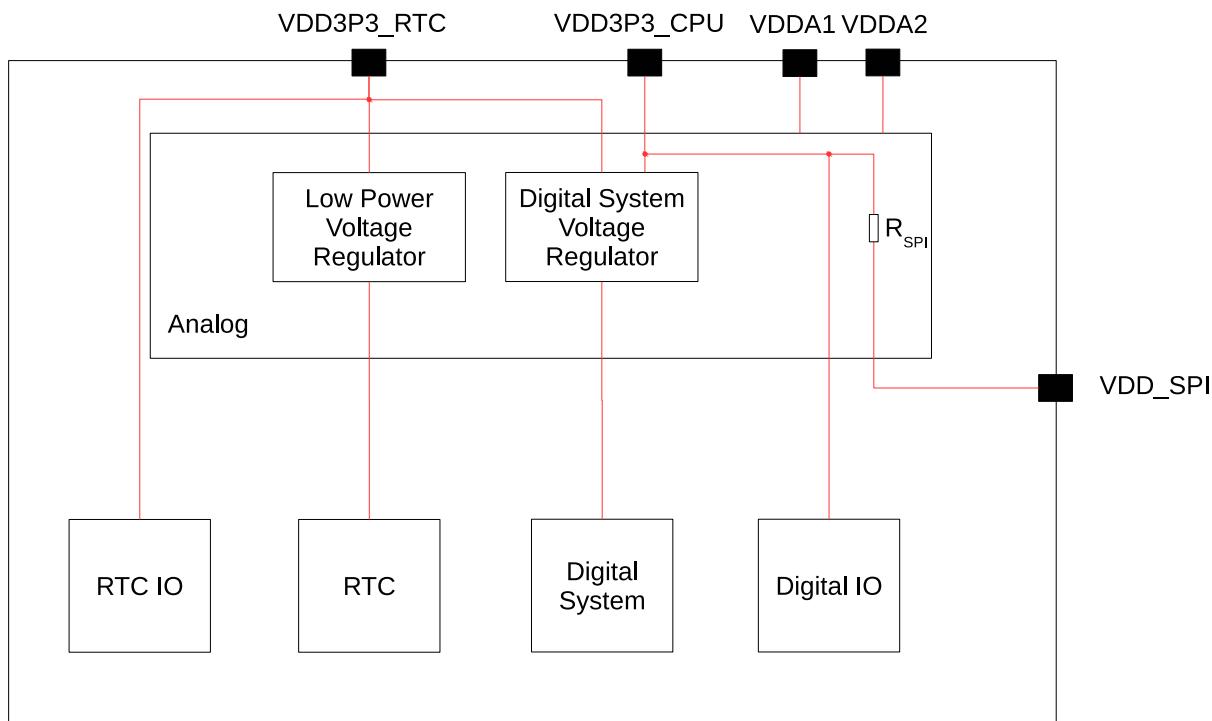


图 2-3. ESP32-C3 电源管理

### 2.5.3 芯片上电和复位

芯片上电后，其电源轨需要一点时间方可稳定。之后，用于上电和复位的管脚 CHIP\_EN 拉高，激活芯片。更多关于 CHIP\_EN 及上电和复位时序的信息，请见图 2-4 和表 2-11。

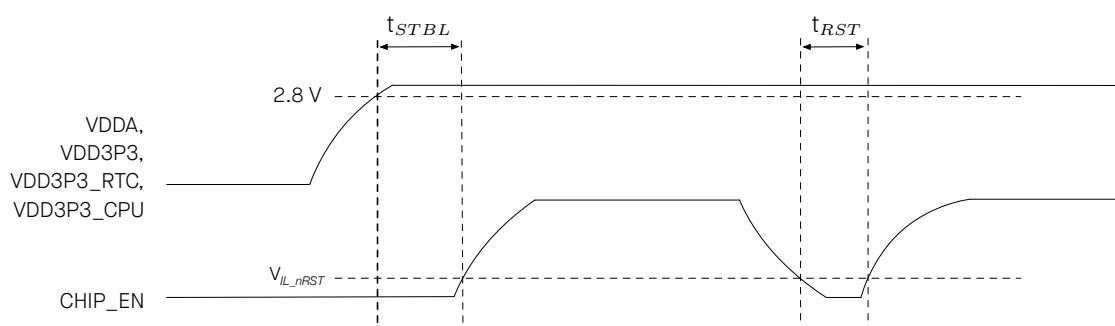


图 2-4. 上电和复位时序参数图

表 2-11. 上电和复位时序参数说明

| 参数         | 说明  | 最小值 ( $\mu\text{s}$ ) |
|------------|---|-----------------------|
| $t_{STBL}$ | CHIP_EN 管脚拉高激活芯片前，VDDA、VDD3P3、VDD3P3_RTC 和 VDD3P3_CPU 达到稳定所需的时间 | 50                    |
| $t_{RST}$  | CHIP_EN 电平低于 $V_{IL\_nRST}$ （具体数值参考表 5-4）从而复位芯片的时间              | 50                    |

## 2.6 芯片与 flash 的管脚对应关系

表 2-12 列出了所有 SPI 模式下芯片与 flash 的管脚对应关系。

封装内带有 flash 的芯片变型（见表 1-1 [ESP32-C3 系列芯片对比](#)）与封装内 flash 连接的管脚取决于所使用的 SPI 模式。

封装外 flash 的推荐连接管脚也可参照下表。

更多关于 SPI 控制器的信息，可参考章节 [4.2.1.2 SPI 控制器](#)。

**注意：**

请勿将已连接封装内 flash 的管脚用于其他用途。

表 2-12. 芯片与封装内 flash 的管脚对应关系

| 管脚序号 | 管脚名称                | Single SPI Flash | Dual SPI Flash | Quad SPI / QPI Flash |
|------|---------------------|------------------|----------------|----------------------|
| 22   | SPICLK              | CLK              | CLK            | CLK                  |
| 21   | SPICSO <sup>1</sup> | CS#              | CS#            | CS#                  |
| 23   | SPIID               | DI               | DI             | DI                   |
| 24   | SPIIQ               | DO               | DO             | DO                   |
| 20   | SPIWP               | WP#              | WP#            | WP#                  |
| 19   | SPIHD               | HOLD#            | HOLD#          | HOLD#                |

<sup>1</sup> CSO 用于封装内 flash

### 3 启动配置项

芯片在上电或硬件复位时，可以通过 [Strapping 管脚](#) 和 [eFuse 参数](#) 配置如下启动参数，无需微处理器的参与：

- **芯片启动模式**

- Strapping 管脚：GPIO2、GPIO8 和 GPIO9

- **ROM 日志打印**

- Strapping 管脚：GPIO8
- eFuse 参数：EFUSE\_UART\_PRINT\_CONTROL 和 EFUSE\_USB\_PRINT\_CHANNEL

上述 eFuse 参数的默认值均为 0，也就是说没有烧写过。eFuse 只能烧写一次，一旦烧写为 1，便不能恢复为 0。有关烧写 eFuse 的信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》> 章节 eFuse 控制器](#)。

上述 strapping 管脚如果没有连接任何电路或连接的电路处于高阻抗状态，则其默认值（即逻辑电平值）取决于管脚内部弱上拉/下拉电阻在复位时的状态。

**表 3-1. Strapping 管脚的默认配置**

| Strapping 管脚 | 默认配置 | 值 |
|--------------|------|---|
| GPIO2        | 浮空   | - |
| GPIO8        | 浮空   | - |
| GPIO9        | 弱上拉  | 1 |

要改变 strapping 管脚的值，可以连接外部下拉/上拉电阻。如果 ESP32-C3 用作主机 MCU 的从设备，strapping 管脚的电平也可通过主机 MCU 控制。

所有 strapping 管脚都有锁存器。芯片复位时，锁存器采样并存储相应 strapping 管脚的值，一直保持到芯片掉电或关闭。锁存器的状态无法用其他方式更改。因此，strapping 管脚的值在芯片工作时一直可读取，strapping 管脚在芯片复位后作为普通 IO 管脚使用。更多关于芯片复位的信息，详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》> 章节 复位和时钟](#)。

Strapping 管脚的信号时序需遵循表 3-2 和图 3-1 所示的 建立时间和 保持时间。

**表 3-2. Strapping 管脚的时序参数说明**

| 参数       | 说明  | 最小值 (ms) |
|----------|---|----------|
| $t_{SU}$ | 建立时间，即拉高 CHIP_EN 激活芯片前，电源轨达到稳定所需的时间                                 | 0        |
| $t_H$    | 保持时间，即 CHIP_EN 已拉高、strapping 管脚变为普通 IO 管脚开始工作前，可读取 strapping 管脚值的时间 | 3        |

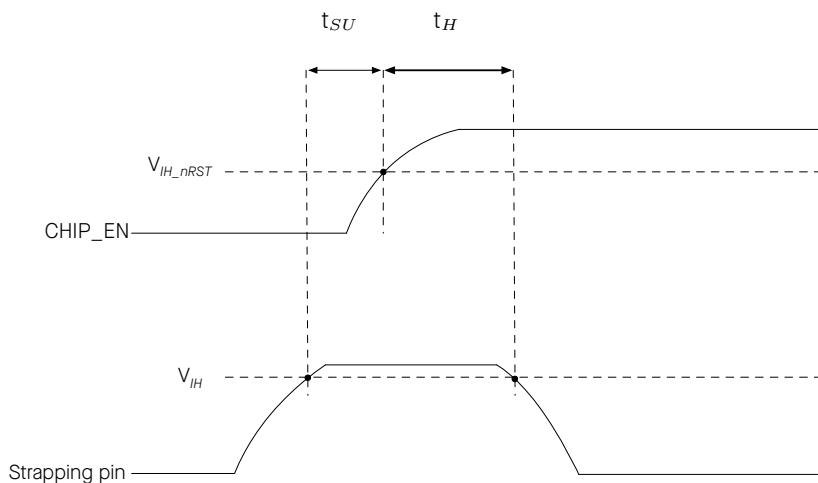


图 3-1. Strapping 管脚的时序参数图

### 3.1 芯片启动模式控制

复位释放后，GPIO2、GPIO8 和 GPIO9 共同决定启动模式。详见表 3-3 芯片启动模式控制。

表 3-3. 芯片启动模式控制

| 启动模式                                | GPIO2 <sup>2</sup> | GPIO8 | GPIO9    |
|-------------------------------------|--------------------|-------|----------|
| <b>SPI boot 模式</b>                  | 1                  | 任意值   | <b>1</b> |
| Joint download boot 模式 <sup>3</sup> | 1                  | 1     | 0        |

<sup>1</sup> 加粗表示默认值和默认配置。

<sup>2</sup> GPIO2 实际不控制 SPI Boot 和 Joint Download Boot 模式，但由于管脚毛刺建议将此管脚上拉。

<sup>3</sup> Joint Download Boot 模式下支持以下下载方式：

- USB-Serial-JTAG Download Boot
- UART Download Boot

在 SPI Boot 模式下，ROM 引导加载程序通过从 SPI flash 中读取程序来启动系统。

在 Joint Download Boot 模式下，用户可通过 UARTO 或 USB 接口将二进制文件下载至 flash，或将二进制文件下载至 SRAM 并运行 SRAM 中的程序。

除了 SPI Boot 和 Joint Download Boot 模式，ESP32-C3 还支持 SPI Download Boot 模式，详见 [《ESP32-C3 技术参考手册》> 章节 芯片 Boot 控制。](#)

### 3.2 ROM 日志打印控制

系统启动过程中，ROM 代码日志可打印至：

- (默认) UARTO 和 USB 串口/JTAG 控制器
- UARTO
- USB 串口/JTAG 控制器

EFUSE\_UART\_PRINT\_CONTROL 和 GPIO8 控制 UARTO ROM 日志打印，如表 3-4 UARTO ROM 日志打印控制 所示。

表 3-4. UARTO ROM 日志打印控制

| UARTO ROM 日志打印 | EFUSE_UART_PRINT_CONTROL | GPIO8 |
|----------------|--------------------------|-------|
| 使能             | 0                        | 忽略    |
|                | 1                        | 0     |
|                | 2                        | 1     |
| 关闭             | 1                        | 1     |
|                | 2                        | 0     |
|                | 3                        | 忽略    |

<sup>1</sup> 加粗表示默认值和默认配置。

EFUSE\_USB\_PRINT\_CHANNEL 控制 USB 串口/JTAG 控制器 ROM 日志打印，如表 3-5 USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制 所示。

表 3-5. USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制

| USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制 | EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG <sup>2</sup> | EFUSE_USB_PRINT_CHANNEL |
|------------------------|--|-------------------------|
| 使能                     | 0                                      | 0                       |
| 关闭                     | 0                                      | 1                       |
|                        | 1                                      | 忽略                      |

<sup>1</sup> 加粗表示默认值和默认配置。

<sup>2</sup> EFUSE\_DIS\_USB\_SERIAL\_JTAG 控制是否关闭 USB 串口/JTAG。

## 4 功能描述

### 4.1 系统

本章节描述了芯片操作的核心部分，包括微处理器、存储器组织结构、系统组件和安全功能。

#### 4.1.1 微处理器和主机

本章节描述了芯片内的核心处理单元及其功能。

##### 4.1.1.1 高性能处理器

ESP32-C3 系列芯片搭载低功耗 RISC-V 32 位单核处理器，具有以下特性：

- 四级流水线架构，支持 160 MHz 的时钟频率
- RV32IMC ISA
- 支持 32 位乘法器、32 位除法器
- 支持最多 32 个向量中断，共 7 个优先级
- 支持最多 8 个硬件断点/观察点
- 支持最多 16 个 PMP 区域
- 用于调试的 JTAG 接口

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 高性能处理器。

##### 4.1.1.2 GDMA 控制器

ESP32-C3 系列芯片包含一个六通道的通用 DMA 控制器（简称 GDMA），包括三个发送通道和三个接收通道，每个通道之间相互独立。这六个通道被具有 DMA 功能的外设所共享，通道之间支持可配置固定优先级。

通用 DMA 控制器基于链表来实现对数据收发的控制，并支持外设与存储器之间及存储器与存储器之间的高速数据传输。每个通道支持访问片内 RAM。

ESP32-C3 系列芯片中有六个外设具有 DMA 功能，这六个外设是 SPI2、UHCIO、I2S、AES、SHA 和 ADC。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 GDMA 控制器 (DMA)。

#### 4.1.2 存储器组织结构

本章节描述了存储器布局，解释数据的存储、访问和管理方式，以实现高效的操作。

ESP32-C3 的地址映射结构如图 4-1 所示。

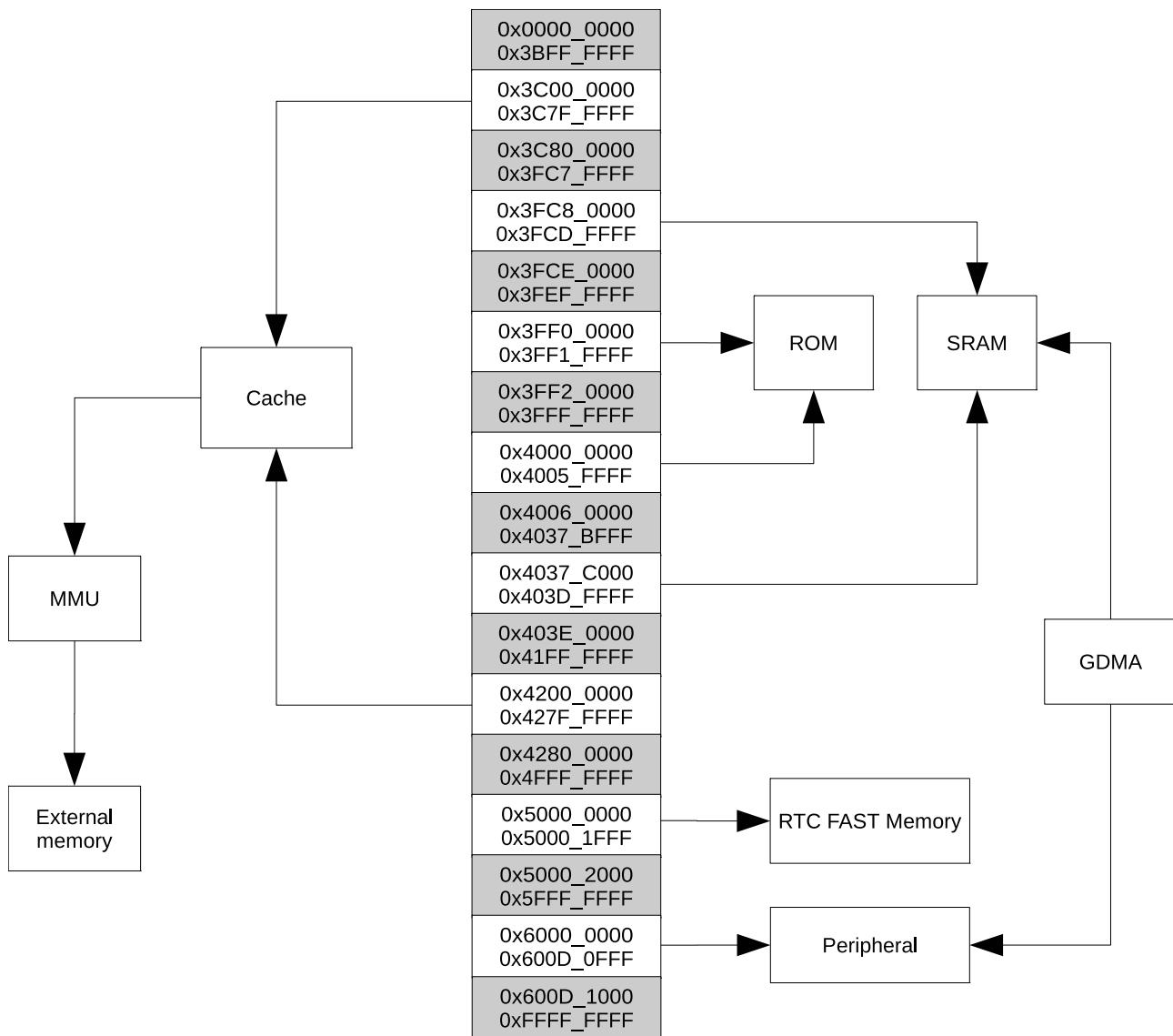


图 4-1. 地址映射结构

**说明：**

图中灰色背景标注的地址空间不可用。

#### 4.1.2.1 内部存储器

ESP32-C3 内部存储器即集成于芯片晶圆上或封装内部的存储器，包括 ROM、SRAM、eFuse 和 flash。

- **384 KB 的 ROM**: 用于程序启动和内核功能调用
- **400 KB 片上 SRAM**: 用于数据和指令存储，时钟频率可配置，最大 160 MHz。400 KB SRAM 中，有 16 KB 配置为 cache 专用
- **RTC 快速存储器**: 为 8 KB 的 SRAM，可被主 CPU 访问，在 Deep-sleep 模式下可以保存数据
- **4 Kbit 的 eFuse**: 其中 1792 位保留给您使用，例如用于存储密钥和设备 ID
- **封装内 flash**

- flash 大小详见章节 [1 ESP32-C3 系列型号对比](#)
- 更多关于 flash 和 PSRAM 规格的信息，请参考章节 [5.7 存储器规格](#)

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节系统和存储器。

### 4.1.2.2 外部存储器

ESP32-C3 系列芯片支持在芯片封装外连接多个 SPI、Dual SPI、Quad SPI 和 QPI flash。

CPU 的指令空间、只读数据空间可以映射到封装外 flash，封装外 flash 可以最大支持 16 MB。ESP32-C3 系列芯片支持基于 XTS-AES 的硬件加解密功能，从而保护开发者 flash 中的程序和数据。

通过高速缓存，ESP32-C3 系列芯片一次最多可以同时有：

- 8 MB 的指令空间以 64 KB 的块映射到 flash，支持 8 位、16 位和 32 位读取。
- 8 MB 的数据空间以 64 KB 的块映射到 flash，支持 8 位、16 位和 32 位读取。

**说明：**

ESP32-C3 系列芯片启动完成后，软件可以自定义封装外 flash 到 CPU 地址空间的映射。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节系统和存储器。

### 4.1.2.3 Cache

ESP32-C3 系列芯片采用八路组相连只读 cache 结构，具有以下特性：

- cache 的大小为 16 KB
- cache 的块大小为 32 字节
- 支持 pre-load 功能
- 支持 lock 功能
- 支持关键字优先 (critical word first) 和提前重启 (early restart)

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节系统和存储器。

### 4.1.2.4 eFuse 控制器

eFuse 存储器是只可编程一次的存储器，用于存储参数内容和用户数据。ESP32-C3 芯片的 eFuse 控制器用于烧写和读取 eFuse 存储器。

#### 特性

- 烧写保护可配置
- 读取保护可配置
- 使用多种硬件编码方式保护参数内容

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 eFuse 控制器。

### 4.1.3 系统组件

本章节描述了对系统的整体功能和控制起到重要作用的组件。

#### 4.1.3.1 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵

ESP32-C3 系列芯片有 22 或 16 个 GPIO 管脚，通过配置对应的寄存器，可以为这些管脚分配不同的功能。除作为数字信号管脚外，部分 GPIO 管脚也可配置为模拟功能管脚，比如 ADC 等管脚。

所有 GPIO 都可选择内部上拉/下拉，或设置为高阻。GPIO 配置为输入管脚时，可通过读取寄存器获取其输入值。输入管脚也可经设置产生边缘触发或电平触发的 CPU 中断。数字 IO 管脚都是双向、非反相和三态的，包括带有三态控制的输入和输出缓冲器。这些管脚可以复用作其他功能，例如 UART、SPI 等。当芯片低功耗运行时，GPIO 可设定为保持状态。

IO MUX 和 GPIO 交换矩阵用于将信号从外设传输至 GPIO 管脚。两者共同组成了芯片的 IO 控制。利用 GPIO 交换矩阵，可配置外设模块的输入信号来源于任何的 IO 管脚，并且外设模块的输出信号也可连接到任意 IO 管脚。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。

#### 4.1.3.2 复位

ESP32-C3 芯片提供四种级别的复位方式，分别是 CPU 复位、内核复位、系统复位和芯片复位。除芯片复位外，其他复位方式不影响片上内存存储的数据。

##### 特性

- 支持四种复位等级：
  - CPU 复位：复位 CPU 核。复位释放后，程序将从 CPU Reset Vector 开始执行
  - 内核复位：复位除 RTC 以外的其它数字系统，包括 CPU、外设、Wi-Fi、Bluetooth® LE 及数字 GPIO
  - 系统复位：复位包括 RTC 在内的整个数字系统
  - 芯片复位：复位整个芯片
- 支持软件复位和硬件复位：
  - 软件复位：CPU 配置相关寄存器可触发软件复位
  - 硬件复位：硬件复位直接由硬件电路触发

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节复位和时钟。

#### 4.1.3.3 时钟

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节复位和时钟。

##### CPU 时钟

CPU 时钟有三种可能的时钟源：

- 外置主晶振时钟
- 快速 RC 振荡器时钟（通常为 17.5 MHz，频率可调节）

- PLL 时钟

应用程序可以在外置主晶振、PLL 时钟和快速 RC 振荡器时钟时钟中选择一个作为时钟源。根据不同的应用程序，被选择的时钟源直接或在分频之后驱动 CPU 时钟。CPU 一旦发生复位后，CPU 的时钟源默认选择为外置主晶振时钟，且分频系数为 2。

**说明：**

ESP32-C3 必须有外部主晶振时钟才可运行。

### RTC 时钟

RTC 慢速时钟应用于 RTC 计数器、RTC 看门狗和低功耗控制器，有三种可能的时钟源：

- 外置低速 (32 kHz) 晶振时钟
- 内置慢速 RC 振荡器（通常为 136 kHz，频率可调节）
- 内置快速 RC 振荡器分频时钟（由内置快速 RC 振荡器时钟经 256 分频生成）

RTC 快速时钟应用于 RTC 外设和传感器控制器，有 2 种可能的时钟源：

- 外置主晶振二分频时钟
- 内置快速 RC 振荡器的 N 分频时钟（通常为 17.5 MHz，频率可调节）

### 4.1.3.4 中断矩阵

ESP32-C3 中断矩阵将任一外部中断源单独映射到 ESP-RISC-V CPU 的任一外部中断上，以便在外设中断信号产生后，及时通知 CPU 进行处理。

#### 特性

- 接收 62 个外部中断源作为输入
- 生成 31 个 CPU 的外部中断作为输出
- 支持查询外部中断源当前的中断状态
- 支持配置 CPU 的中断优先级、中断类型、中断阈值以及中断使能

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节中断矩阵。

### 4.1.3.5 系统定时器

ESP32-C3 系列芯片内置 52 位系统定时器，该系统定时器包含两个 52 位的时钟计数器和三个报警比较器，具有以下功能：

- 时钟计数器的频率固定为 16 MHz
- 三个报警比较器根据不同的报警值可产生三个独立的中断
- 两种报警模式：单次特定报警值报警和周期性报警
- 支持设置 52 位的单次特定报警值和 26 位的周期性报警值
- 计数器值重新加载

- 支持当 CPU 暂停或处于 OCD 模式时，时钟计数器也暂停

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节系统定时器。

#### 4.1.3.6 电源管理单元

ESP32-C3 有一个先进的电源管理单元 (PMU)，可以灵活地给芯片的不同电源域供电，在芯片性能、功耗和唤醒延迟之前取得最佳平衡。

配置 PMU 的程序较为复杂。为针对典型场景简化电源管理，ESP32-C3 具有以下预设功耗模式，可给不同电源域组合供电：

- Active 模式** – CPU、RF 电路和所有外设均上电。芯片可以处理数据、接收、发射和侦听信号。
- Modem-sleep 模式** – CPU 上电，可降低时钟频率。RF 电路在需要时间歇性开启，因此无线可保持连接。
- Light-sleep 模式** – CPU 停止工作，可选择上电。芯片可由所有唤醒机制唤醒，包括 MAC、RTC 定时器或外部中断。无线可保持连接。部分数字外设可选择关闭。
- Deep-sleep 模式** – 仅 RTC 上电。无线连接数据存储在 RTC 存储器中。

设备在不同功耗模式下的功耗，请参考章节 [5.6 功耗特性](#)。

图 4-2 模块和电源域 和表 4-1 列举了 [电源域](#) 和 [电源子域](#) 下属的芯片模块。

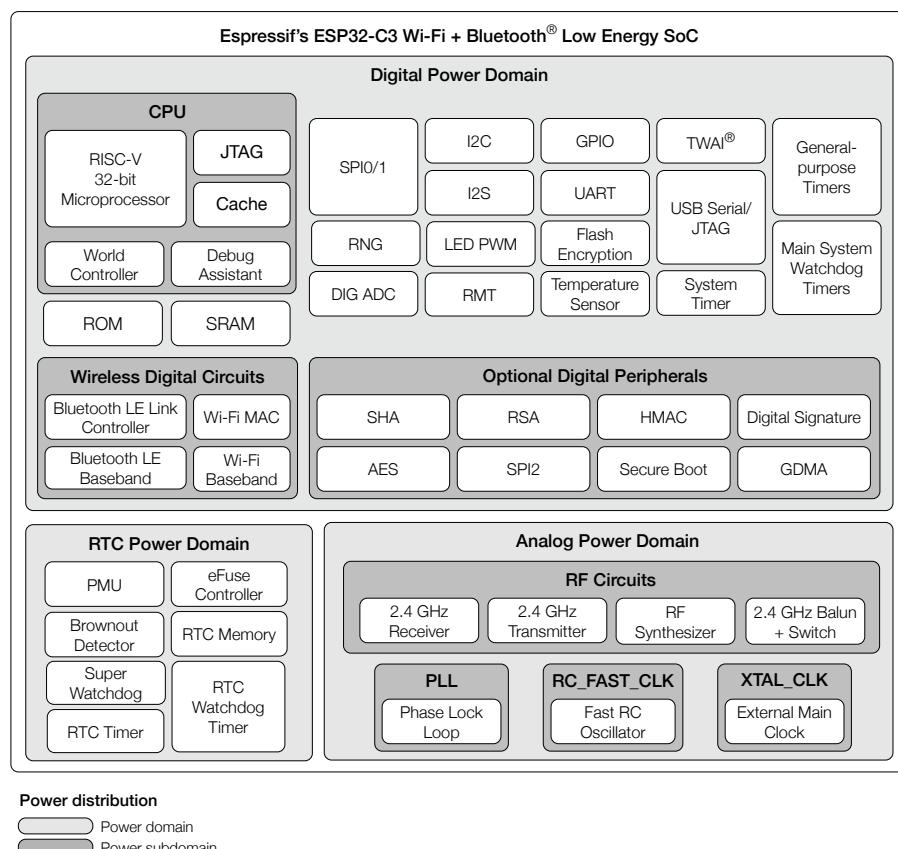


图 4-2. 模块和电源域

表 4-1. 模块和电源域

| 功耗模式<br>电源域 | RTC | 数字  |                  |                 |                  |    | 模拟       |     |       |                  |
|-------------|-----|-----|------------------|-----------------|------------------|----|----------|-----|-------|------------------|
|             |     | CPU | 可选数字外设           | 无线数字电路          | RC_FAST_CLK      |    | XTAL_CLK | PLL | RF 电路 |                  |
| Active      | ON  | ON  | ON               | ON              | ON               | ON | ON       | ON  | ON    | ON               |
| Modem-sleep | ON  | ON  | ON               | ON              | ON <sup>1</sup>  | ON | ON       | ON  | ON    | OFF <sup>2</sup> |
| Light-sleep | ON  | ON  | OFF <sup>1</sup> | ON <sup>1</sup> | OFF <sup>1</sup> | ON | OFF      | OFF | OFF   | OFF <sup>2</sup> |
| Deep-sleep  | ON  | OFF | OFF              | OFF             | OFF              | ON | OFF      | OFF | OFF   | OFF              |

<sup>1</sup> 可配置，详见 TRM。<sup>2</sup> 若无线数字电路上电，RF 电路可在内部操作需要时间歇性开启，确保无线保持连接状态。

#### 4.1.3.7 定时器组

ESP32-C3 系列芯片内置两个 54 位通用定时器，具有 16 位分频器和 54 位可自动重载的向上/向下计时器。

定时器具有如下功能：

- 16 位时钟预分频器，分频系数为 1-65536
- 54 位时基计数器可配置成递增或递减
- 可读取时基计数器的实时值
- 暂停和恢复时基计数器
- 可配置的报警产生机制
- 电平触发中断

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 定时器组 (TIMG)。

#### 4.1.3.8 看门狗定时器

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节看门狗定时器。

##### 数字看门狗定时器

ESP32-C3 系列芯片中有三个数字看门狗定时器：两个定时器组中各一个（称作主系统看门狗定时器，缩写为 MWDT），RTC 模块中一个（称作 RTC 看门狗定时器，缩写为 RWDT）。

在引导加载 flash 固件期间，RWDT 和定时器组 0 中的 MWDT 会自动使能，以检测引导过程中发生的错误，并恢复运行。

数字看门狗定时器具有如下特性：

- 四个阶段，每个阶段都可配置超时时间。每阶段都可单独配置、使能和关闭。
- 如在某个阶段发生超时，MWDT 会采取中断、CPU 复位和内核复位三种超时动作中的一种，RWDT 会采取中断、CPU 复位、内核复位和系统复位四种超时动作中的一种。
- 保护 32 位超时计数器
- 防止 RWDT 和 MWDT 的配置被误改。

- flash 启动保护

如果在预定时间内 SPI flash 的引导过程没有完成，看门狗会重启整个主系统。

### 模拟看门狗定时器

ESP32-C3 系列芯片中还有一个模拟看门狗定时器：RTC 超级看门狗定时器 (SWD)。超级看门狗是模拟域的超低功耗电路，可以防止系统在数字电路异常状态下运行，并在必要时复位系统。

SWD 具有如下特性：

- 超低功耗
- 用中断提醒 SWD 即将超时
- 软件有多种专用的方法喂 SWD，让 SWD 监控整个操作系统的工作状态

### 4.1.3.9 XTAL32K 看门狗定时器

ESP32-C3 的 XTAL32K 看门狗定时器是用于检测 32 kHz 外部晶振时钟的工作状态，在该时钟停振时切换 RTC 的慢速时钟源，时钟源频率可配置。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 XTAL32K 看门狗定时器 (XTWDT)。

### 4.1.3.10 权限控制

ESP32-C3 芯片内置了一个权限控制模块 (Permission Controller, PMS)，可以将硬件资源（内存和外设）分配给不同环境，从而实现特权环境和非特权环境的分离。

#### 特性

- 支持特权环境和非特权环境下的独立权限管理
- 支持片内存储器的权限管理，包括：
  - CPU 对片内存储器的访问权限控制
  - GDMA 对片内存储器的访问权限控制
- 支持片外存储器的权限管理
  - CPU 通过 SPI1 访问外部存储器的权限控制
  - CPU 通过 Cache 访问外部存储器的权限控制
- 支持外设空间的权限管理
  - 各外设空间均支持独立的权限控制
  - 支持非对齐访问的监测
- 支持自定义地址段权限管理
- 内置权限寄存器锁保护机制
- 内置权限监测中断机制

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节权限控制 (PMS)。

### 4.1.3.11 World 控制器

ESP32-C3 的硬件和软件资源可以分为安全世界和非安全世界，由 World 控制器控制和记录两个世界的切换。

#### 特性

- 安全世界 (World0):
  - 可以访问所有的外设和存储空间。
  - 主要执行所有需要保密的操作，如用户认证、安全通信和数据加解密等。
- 非安全世界 (World1):
  - 只能访问部分的外设和存储空间。
  - 执行其他操作，如用户操作系统、各种应用程序等。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 World 控制器 (WCL)。

### 4.1.3.12 系统寄存器

ESP32-C3 芯片中的系统寄存器用于配置多种辅助芯片功能。

#### 特性

- 控制系统和存储器
- 控制时钟
- 控制软件中断
- 控制低功耗管理寄存器
- 控制外设时钟门控和复位

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节系统寄存器 (HP\_SYSREG)。

### 4.1.3.13 辅助调试

辅助调试可以帮助在软件调试过程中定位错误和问题，提供各种监视能力和日志记录功能，以帮助高效地识别和解决软件错误。

#### 特性

- **读写监测**: 监测 CPU 总线是否在限定的地址范围内进行读写操作，若发生读写操作则触发中断。
- **栈指针 (SP) 监测**: 监测栈指针是否超出限定的范围，若超出范围则产生中断。
- **程序计数器 (PC) 记录**: 记录 PC，可以获得上一次 CPU 复位时的 PC 值。
- **总线访问记录**: 记录总线访问信息，当 CPU 或者 DMA 写了某个特殊值时，会记录此次写行为的地址和 PC 值，并将这些信息记录到 SRAM 中。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节辅助调试 (ASSIST\_DEBUG)。

#### 4.1.4 加密和安全组件

本章节描述了集成在芯片中用于保护数据和操作的安全功能。

##### 4.1.4.1 AES 加速器

ESP32-C3 内置 AES（高级加密标准）硬件加速器可使用 AES 算法，完成数据的加解密运算，具有 Typical AES 和 DMA-AES 两种工作模式。整体而言，相比基于纯软件的 AES 运算，AES 硬件加速器能够极大地提高运算速度。

###### 特性

- Typical AES 工作模式
  - AES-128/AES-256 加解密运算
- DMA-AES 工作模式
  - AES-128/AES-256 加解密运算
  - 块（加密）模式
    - \* ECB (Electronic Codebook)
    - \* CBC (Cipher Block Chaining)
    - \* OFB (Output Feedback)
    - \* CTR (Counter)
    - \* CFB8 (8-bit Cipher Feedback)
    - \* CFB128 (128-bit Cipher Feedback)
  - 中断发生

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 AES 加速器 (AES)。

##### 4.1.4.2 HMAC 加速器

HMAC 加速器 (HMAC) 模块用于使用 SHA-256 哈希算法和 RFC 2104 中描述的密钥计算信息认证码 (MAC)。它提供了硬件支持的 HMAC 计算，显著降低了软件复杂性，提高了性能。

###### 特性

- 标准 HMAC-SHA-256 算法
- HMAC 计算的 hash 结果仅支持可配的硬件外设访问（下行模式）
- 兼容挑战-应答身份验证算法
- 生成数字签名外设所需的密钥（下行模式）
- 重启软禁用的 JTAG（下行模式）

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 HMAC 加速器。

#### 4.1.4.3 RSA 加速器

RSA 加速器可为多种运用于“RSA 非对称式加密演算法”的高精度计算提供硬件支持，能够极大地降低此类运算的运行时间和软件复杂度。与纯软件 RSA 算法相比，硬件 RSA 加速器的运算速度更快。

##### 特性

- 大数模幂运算（支持两个加速选项），运算子位宽最高支持 3072 位
- 大数模乘运算，运算子位宽最高支持 3072 位
- 大数乘法，运算子位宽最高支持 1536 位
- 多种运算子位宽
- 计算完成时触发中断

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 RSA 加速器。

#### 4.1.4.4 SHA 加速器

SHA（安全哈希算法）硬件加速器可完成 SHA 运算，具有 Typical SHA 和 DMA-SHA 两种工作模式。整体而言，相比基于纯软件的 SHA 运算，SHA 硬件加速器能够极大地提高运算速度。

##### 特性

- 支持 [FIPS PUB 180-4 规范](#) 中的以下运算标准
  - SHA-1 运算
  - SHA-224 运算
  - SHA-256 运算
- 提供两种工作模式
  - Typical SHA 工作模式
  - DMA-SHA 工作模式
- 允许插入 (interleaved) 功能（仅限 Typical SHA 工作模式）
- 允许中断功能（仅限 DMA-SHA 工作模式）

更多更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 SHA 加速器 (SHA)。

#### 4.1.4.5 数字签名

ESP32-C3 芯片中的数字签名 (DS) 模块可通过硬件加速高效生成基于 RSA 的数字签名。

##### 特性

- RSA 数字签名支持密钥长度最大为 3072 位
- 私钥数据已加密，并且只能由 DS 读取
- SHA-256 摘要用于保护私钥数据免遭攻击者篡改

更多更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节数字签名 (DS)。

#### 4.1.4.6 片外存储器加密与解密

ESP32-C3 芯片中的片外存储器加密与解密 (XTS\_AES) 模块为用户在外部存储器 (flash) 中存储的应用程序代码和数据提供安全保障。

##### 特性

- 通用 XTS-AES 算法，符合 IEEE Std 1619-2007
- 手动加密过程需要软件参与
- 高速的自动解密过程，无需软件参与
- 寄存器配置、eFuse 参数、启动 (boot) 模式共同决定加解密功能

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节片外存储器加密与解密 (XTS\_AES)。

#### 4.1.4.7 随机数生成器

ESP32-C3 中的随机数生成器 (RNG) 是一个真随机数生成器，从物理过程中生成用于加密操作的 32 位随机数。

##### 特性

- 随机数发生器的熵源
  - SAR ADC、高速 ADC 两者的热噪声
  - 异步时钟不匹配

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节随机数生成器 (RNG)。

#### 4.1.4.8 时钟毛刺检测

ESP32-C3 的时钟毛刺检测模块用于检测外部晶振时钟是否携带毛刺，并在检测到毛刺后，产生数字系统复位信号，复位包括 RTC 在内的整个数字电路。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节时钟毛刺检测。

## 4.2 外设

本章节介绍了芯片上的外设接口，包括扩展芯片功能的通信接口和片上传感器。

### 4.2.1 通讯接口

本章节介绍了芯片与外部设备和网络进行通信和交互的接口。

#### 4.2.1.1 UART 控制器

ESP32-C3 系列芯片有两个 UART 接口，即 UART0 和 UART1，支持异步通信（RS232 和 RS485）和 IrDA，通信速率可达到 5 Mbps。UART 支持 CTS 和 RTS 信号的硬件流控以及软件流控（XON 和 XOFF）。两个 UART 接口通过共用的 UHCIO 接口与 GDMA 相连，均可被 GDMA 访问或者 CPU 直接访问。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 *UART 控制器 (UART, LP\_UART)*。

#### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.1.2 SPI 控制器

ESP32-C3 具有以下 SPI 接口：

- **SPI0**，供 ESP32-C3 的 GDMA 控制器与 Cache 访问封装内或封装外 flash
- **SPI1**，供 CPU 访问封装内或封装外 flash
- **SPI2**，通用 SPI 控制器，通过 GDMA 分配 DMA 通道进行访问

#### SPI0 和 SPI1 特性

- 支持 SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI 模式
- 时钟频率可配置，STR 模式下最高可达 120 MHz
- 数据传输以字节为单位

#### SPI2 特性

- 支持主机或从机模式
- 通过 GDMA 分配 DMA 通道进行访问
- 支持 SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI 模式
- 时钟极性 (CPOL) 和相位 (CPHA) 可配置
- 时钟频率可配置
- 数据传输以字节为单位
- 读写数据位序可配置：最高有效位 (MSB) 优先，或最低有效位 (LSB) 优先
- 主机模式
  - 支持双线全双工通信，时钟频率最高可达 80 MHz

- 支持单线、双线和四线半双工通信，时钟频率最高可达 80 MHz
- 具有六个 SPI\_CS 管脚，可与六个独立 SPI 从机相连
- CS 建立和保持时间可配置

- 从机模式

- 支持双线全双工通信，时钟频率最高可达 60 MHz
- 支持单线、双线和四线半双工通信，时钟频率最高可达 60 MHz

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 SPI 控制器 (SPI)。

### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.1.3 I2C 控制器

ESP32-C3 系列芯片有一个 I2C 总线接口，根据您的配置，总线接口可以用作 I2C 主机或从机模式。I2C 接口支持：

- 标准模式 (100 Kbit/s)
- 快速模式 (400 Kbit/s)
- 速度最高可达 800 Kbit/s，但受制于 SCL 和 SDA 上拉强度
- 7 位寻址模式和 10 位寻址模式
- 双寻址模式
- 7 位广播地址

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 I2C 控制器 (I2C)。

### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.1.4 I2S 控制器

ESP32-C3 系列芯片有一个标准 I2S 接口，可以以主机或从机模式，在全双工或半双工模式下工作，并且可被配置为 I2S 串行 8 位、16 位、24 位、32 位的收发数据模式，支持频率从 10 kHz 到 40 MHz 的 BCK 时钟。

I2S 接口连接 GDMA 控制器。支持 TDM PCM、TDM MSB 对齐、TDM 标准和 PDM 标准。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 I2S 控制器 (I2S)。

### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.1.5 USB 串口/JTAG 控制器

ESP32-C3 集成一个 USB 串口/JTAG 控制器，具有以下特性：

- 包含 CDC-ACM 虚拟串口及 JTAG 适配器功能
- 兼容 USB 2.0 全速标准，传输速度最高可达 12 Mbit/s（注意，该控制器不支持 480 Mbit/s 的高速传输模式）
- 可编程封装内/封装外 flash
- 利用紧凑的 JTAG 指令，支持 CPU 调试
- 芯片内部集成的全速 USB PHY

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 *USB 串口/JTAG 控制器 (USB\_SERIAL\_JTAG)*。

### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.1.6 双线汽车接口

ESP32-C3 系列芯片带有一个 TWAI<sup>®</sup> 控制器，具有如下特性：

- 兼容 ISO 11898-1 协议 (CAN 规范 2.0)
- 支持标准帧格式 (11 位 ID) 和扩展帧格式 (29 位 ID)
- 比特率从 1 Kbit/s 到 1 Mbit/s
- 多种操作模式：工作模式、只听模式和自检模式（传输无需确认）
- 64 字节接收 FIFO
- 数据接收过滤器（支持单过滤器和双过滤器模式）
- 错误检测与处理：错误计数器、可配置的错误中断阈值、错误代码记录和仲裁丢失记录

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 双线汽车接口。

### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.1.7 LED PWM 控制器

LED PWM 控制器可以用于生成六路独立的数字波形，具有如下特性：

- 波形的周期和占空比可配置，占空比精度可达 14 位
- 多种时钟源选择，包括 APB 总线时钟、外置主晶振时钟
- 可在 Light-sleep 模式下工作
- 支持硬件自动步进式地增加或减少占空比，可用于 LED RGB 彩色梯度发生器

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 LED PWM 控制器。

### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

### 4.2.1.8 红外遥控

红外遥控器 (RMT) 支持双通道的红外发射和双通道的红外接收。通过程序控制脉冲波形，遥控器可以支持多种红外协议和单线协议。四个通道共用一个  $192 \times 32$  位的存储模块来存放收发的波形。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 红外遥控 (RMT)。

#### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

### 4.2.2 模拟信号处理

本小节描述芯片上感知和处理现实世界数据的组件。

#### 4.2.2.1 SAR ADC

ESP32-C3 系列芯片集成了两个 12 位 SAR ADC，共支持 6 个模拟通道输入。

- ADC1 支持 5 个模拟通道输入，已在工厂校准。
- ADC2 支持 1 个模拟通道输入，未在工厂校准。

##### 说明：

部分芯片版本的 ADC2 无法工作，详见 [《ESP32-C3 系列芯片勘误表》](#)。

有关 ADC 特性，请参考章节 [5.5 ADC 特性](#)。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 片上传感器与模拟信号处理。

#### 管脚分配

详见章节 [2.3.4 外设管脚分配](#)。

#### 4.2.2.2 温度传感器

温度传感器生成一个随温度变化的电压。内部 ADC 将传感器电压转化为一个数字量。

温度传感器的测量范围为  $-40^{\circ}\text{C}$  到  $125^{\circ}\text{C}$ 。温度传感器一般只适用于监测芯片内部温度的变化，该温度值会随着微控制器时钟频率或 IO 负载的变化而变化。一般来讲，芯片内部温度会高于工作环境温度。

更多信息，请参考 [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) > 章节 片上传感器与模拟信号处理。

## 4.3 无线通信

本节描述了芯片的无线通信能力，涵盖无线电模块、Wi-Fi 和蓝牙。

### 4.3.1 无线电

本小节描述了嵌入在芯片中的基本无线电模块，用于实现无线通信和数据交换。ESP32-C3 系列芯片射频包含以下主要模块：

- 2.4 GHz 接收器
- 2.4 GHz 发射器
- 偏置 (Bias) 和线性稳压器
- Balun 和收发切换器
- 时钟生成器

#### 4.3.1.1 2.4 GHz 接收器

2.4 GHz 接收器将 2.4 GHz 射频信号解调为正交基带信号，并用两个高精度、高速的 ADC 将后者转为数字信号。为了适应不同的信道情况，ESP32-C3 系列芯片集成了 RF 滤波器、自动增益控制 (AGC)、DC 偏移补偿电路和基带滤波器。

#### 4.3.1.2 2.4 GHz 发射器

2.4 GHz 发射器将正交基带信号调制为 2.4 GHz 射频信号，使用大功率互补金属氧化物半导体 (CMOS) 功率放大器驱动天线。数字校准进一步改善了功率放大器的线性。

为了抵消射频接收器的瑕疵，ESP32-C3 系列芯片还另增了校准措施，例如：

- 载波泄露消除
- I/Q 相位匹配
- 基带非线性抑制
- 射频非线性抑制
- 天线匹配

这些内置校准措施缩短了产品的测试时间，并且不再需要测试设备。

#### 4.3.1.3 时钟生成器

时钟生成器为接收器和发射器生成 2.4 GHz 正交时钟信号，所有部件均集成于芯片上，包括电感、变容二极管、环路滤波器、线性稳压器和分频器。

时钟生成器带有内置校准电路和自测电路。运用自主知识产权的优化算法，对正交时钟的相位和相位噪声进行优化处理，使接收器和发射器都有最好的性能表现。

### 4.3.2 Wi-Fi

本小节描述了芯片的 Wi-Fi 能力，用于实现高速无线通信。

### 4.3.2.1 Wi-Fi 无线电和基带

ESP32-C3 系列芯片 Wi-Fi 射频和基带支持以下特性：

- 802.11b/g/n
- 802.11n MCS0-7 支持 20 MHz 和 40 MHz 带宽
- 802.11n MCS32
- 802.11n 0.4  $\mu$ s 保护间隔
- 数据率高达 150 Mbps
- 接收 STBC (单空间流)
- 可调节的发射功率
- 天线分集

ESP32-C3 系列芯片支持基于外部射频开关的天线分集与选择。外部射频开关由一个或多个 GPIO 管脚控制，用来选择最合适的天线以减少信道衰落的影响。

### 4.3.2.2 Wi-Fi MAC

ESP32-C3 系列芯片完全遵循 802.11 b/g/n Wi-Fi MAC 协议栈，支持分布式控制功能 (DCF) 下的基本服务集 (BSS) STA 和 SoftAP 操作。支持通过最小化主机交互来优化有效工作时长，以实现功耗管理。

ESP32-C3 系列芯片 Wi-Fi MAC 自行支持的底层协议功能如下：

- 4 × 虚拟 Wi-Fi 接口
- 同时支持基础结构型网络 (Infrastructure BSS) Station 模式、SoftAP 模式、Station + SoftAP 模式和混杂模式
- RTS 保护，CTS 保护，立即块确认 (Immediate Block ACK)
- 分片和重组 (Fragmentation and defragmentation)
- TX/RX A-MPDU，TX/RX A-MSDU
- 传输机会 (TXOP)
- 无线多媒体 (WMM)
- GCMP、CCMP、TKIP、WAPI、WEP、BIP、WPA2 个人模式或 WPA2 企业模式 (WPA2-PSK/WPA2-Enterprise) 及 WPA3 个人模式或 WPA3 企业模式 (WPA3-PSK/WPA3-Enterprise)
- 自动 Beacon 监测 (硬件 TSF)
- 802.11mc FTM

### 4.3.2.3 网络特性

乐鑫提供的固件支持 TCP/IP 联网、ESP-WIFI-MESH 联网或其他 Wi-Fi 联网协议，同时也支持 TLS 1.0、1.1、1.2。

### 4.3.3 蓝牙 LE

本小节描述了芯片的蓝牙能力，用于实现低功耗、短距离应用的无线通信。ESP32-C3 系列芯片包含了一个低功耗蓝牙 (Bluetooth Low Energy) 子系统，集成了硬件链路层控制器、射频/调制解调器模块和功能齐全的软件协议栈。低功耗蓝牙子系统支持 Bluetooth 5 和 Bluetooth mesh。

#### 4.3.3.1 低功耗蓝牙物理层

ESP32-C3 系列芯片低功耗蓝牙射频和物理层支持以下特性：

- 1 Mbps PHY
- 2 Mbps PHY，用于提升传输速率
- Coded PHY (125 Kbps and 500 Kbps)，用于提升传输距离
- 硬件实现 Listen Before Talk (LBT)

#### 4.3.3.2 低功耗蓝牙链路控制器

ESP32-C3 系列芯片低功耗蓝牙链路控制器支持以下特性：

- 广播扩展 (Advertising Extensions)，用于增强广播能力，可以广播更多的智能数据
- 多广播
- 支持同时广播和扫描
- 多连接，支持中心设备 (Central) 和外围设备 (Peripheral) 同时运行
- 自适应跳频和信道选择
- 信道选择算法 #2 (Channel Selection Algorithm #2)
- 连接参数更新
- 高速不可连接广播 (High Duty Cycle Non-Connectable Advertising)
- LE Privacy 1.2
- 数据包长度扩展 (LE Data Packet Length Extension)
- 链路层扩展扫描过滤策略 (Link Layer Extended Scanner Filter policies)
- 低速可连接定向广播 (Low duty cycle directed advertising)
- 链路层加密
- LE Ping

## 5 电气特性

### 5.1 绝对最大额定值

超出表 5-1 绝对最大额定值 的绝对最大额定值可能导致器件永久性损坏。这只是强调的额定值，不涉及器件在这些或其它条件下超出章节 5.2 建议工作条件 技术规格指标的功能性操作。长时间暴露在绝对最大额定条件下可能会影响设备的可靠性。

表 5-1. 绝对最大额定值

| 参数                        | 说明       | 最小值  | 最大值  | 单位 |
|---------------------------|----------|------|------|----|
| 输入电源管脚 <sup>1</sup>       | 允许输入电压   | -0.3 | 3.6  | V  |
| $I_{output}$ <sup>2</sup> | IO 输出总电流 | —    | 1000 | mA |
| $T_{STORE}$               | 存储温度     | -40  | 150  | °C |

<sup>1</sup> 更多关于输入电源管脚的信息，见章节 2.5 电源。

<sup>2</sup> 在 25 °C 的环境温度下连续 24 小时保持所有 IO 管脚拉高并接地，设备工作完全正常。

### 5.2 建议工作条件

推荐环境温度，请参考章节 1 ESP32-C3 系列型号对比。

表 5-2. 建议工作条件

| 参数 <sup>1</sup>            | 说明     | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----------------------------|--------|-----|-----|-----|----|
| VDDA, VDD3P3, VDD3P3_RTC   | 建议输入电压 | 3.0 | 3.3 | 3.6 | V  |
| VDD3P3_CPU <sup>2, 3</sup> | 建议输入电压 | 3.0 | 3.3 | 3.6 | V  |
| VDD_SPI (输入)               | —      | 3.0 | 3.3 | 3.6 | V  |
| $I_{VDD}$                  | 输入总电流  | 0.5 | —   | —   | A  |

<sup>1</sup> 请结合章节 2.5 电源 阅读。

<sup>2</sup> 写 eFuse 时，由于烧录 eFuse 的电路较敏感，VDD3P3\_CPU 的电压应不超过 3.3 V。

<sup>3</sup> 使用 VDD3P3\_CPU 给 VDD\_SPI 供电时（见章节 2.5.2 电源管理），应考虑  $R_{SPI}$  的电压降。更多信息，请参考章节 5.3 VDD\_SPI 输出特性。

### 5.3 VDD\_SPI 输出特性

表 5-3. VDD\_SPI 内部和输出特性

| 参数        | 说明 <sup>1</sup>   | 典型值 | 单位 |
|-----------|---|-----|----|
| $R_{SPI}$ | VDD_SPI 连接 3.3 V flash 时，由 VDD3P3_CPU 经 $R_{SPI}$ 供电 <sup>2</sup> | 7.5 | Ω  |

<sup>1</sup> 请结合章节 2.5.2 电源管理 阅读。

<sup>2</sup> VDD3P3\_CPU 需高于  $VDD_flash\_min + I_flash\_max * R_{SPI}$ ，其中

- $VDD_flash\_min$  – flash 的最小工作电压
- $I_flash\_max$  – flash 的最大工作电流

## 5.4 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)

表 5-4. 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)

| 参数             | 说明   | 最小值                 | 典型值 | 最大值                 | 单位 |
|----------------|--|---------------------|-----|---------------------|----|
| $C_{IN}$       | 管脚电容   | —                   | 2   | —                   | pF |
| $V_{IH}$       | 高电平输入电压  | $0.75 \times VDD^1$ | —   | $VDD^1 + 0.3$       | V  |
| $V_{IL}$       | 低电平输入电压  | —0.3                | —   | $0.25 \times VDD^1$ | V  |
| $I_{IH}$       | 高电平输入电流  | —                   | —   | 50                  | nA |
| $I_{IL}$       | 低电平输入电流  | —                   | —   | 50                  | nA |
| $V_{OH}^2$     | 高电平输出电压  | $0.8 \times VDD^1$  | —   | —                   | V  |
| $V_{OL}^2$     | 低电平输出电压  | —                   | —   | $0.1 \times VDD^1$  | V  |
| $I_{OH}$       | 高电平拉电流 ( $VDD^1 = 3.3$ V, $V_{OH} \geq 2.64$ V,<br>PAD_DRIVER = 3) | —                   | 40  | —                   | mA |
| $I_{OL}$       | 低电平灌电流 ( $VDD^1 = 3.3$ V, $V_{OL} = 0.495$ V,<br>PAD_DRIVER = 3)   | —                   | 28  | —                   | mA |
| $R_{PU}$       | 内部弱上拉电阻  | —                   | 45  | —                   | kΩ |
| $R_{PD}$       | 内部弱下拉电阻  | —                   | 45  | —                   | kΩ |
| $V_{IH\_nRST}$ | 芯片复位释放电压 (CHIP_EN 应满足电压范围)   | $0.75 \times VDD^1$ | —   | $VDD^1 + 0.3$       | V  |
| $V_{IL\_nRST}$ | 芯片复位电压 (CHIP_EN 应满足电压范围)   | —0.3                | —   | $0.25 \times VDD^1$ | V  |

<sup>1</sup> VDD – 各个电源域电源管脚的电压。

<sup>2</sup>  $V_{OH}$  和  $V_{OL}$  为负载是高阻条件下的测试值。

## 5.5 ADC 特性

表 5-5. ADC 特性

| 符号                       | 参数   | 最小值 | 最大值 | 单位        |
|--------------------------|--|-----|-----|-----------|
| DNL (差分非线性) <sup>1</sup> | ADC 外接 100 nF 电容；输入为 DC 信号；环境温度 25 °C；Wi-Fi 关闭 | -7  | 7   | LSB       |
| INL (积分非线性)              |  | -12 | 12  | LSB       |
| 采样速度                     | —  | —   | 100 | kSPS<br>2 |

<sup>1</sup> 使用滤波器多次采样或计算平均值可以获得更好的 DNL 结果。

<sup>2</sup> kSPS (kilo samples-per-second) 表示每秒采样千次。

ADC 经硬件校准和 [软件校准](#)后的结果如表 5-6 所示。如需更高的精度，可选用其他方法自行校准。

表 5-6. ADC 校准结果

| 参数  | 说明                      | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|-----|-------------------------|-----|-----|----|
| 总误差 | ATTENO, 有效测量范围 0 ~ 750  | -10 | 10  | mV |
|     | ATTEN1, 有效测量范围 0 ~ 1050 | -10 | 10  | mV |
|     | ATTEN2, 有效测量范围 0 ~ 1300 | -10 | 10  | mV |
|     | ATTEN3, 有效测量范围 0 ~ 2500 | -35 | 35  | mV |

## 5.6 功耗特性

### 5.6.1 Active 模式下的 RF 功耗

下列功耗数据是基于 3.3 V 电源、25 °C 环境温度，在 RF 接口处完成的测试结果。所有发射数据均基于 100% 的占空比测得。

表 5-7. 不同 RF 模式下的 Wi-Fi 功耗

| 工作模式 <sup>1</sup> | 说明 | 峰值 (mA)                        |
|-------------------|----|--------------------------------|
| Active (RF 工作)    | TX | 802.11b, 1 Mbps, @21 dBm       |
|                   |    | 335                            |
|                   |    | 802.11g, 54 Mbps, @19 dBm      |
|                   |    | 285                            |
|                   | RX | 802.11n, HT20, MCS7, @18.5 dBm |
|                   |    | 276                            |
|                   | RX | 802.11n, HT40, MCS7, @18.5 dBm |
|                   |    | 278                            |
|                   | RX | 802.11b/g/n, HT20              |
|                   |    | 84                             |
|                   | RX | 802.11n, HT40                  |
|                   |    | 87                             |

## 5.6.2 其他功耗模式下的功耗

表 5-8. Modem-sleep 模式下的功耗

| 模式                         | CPU 频率 (MHz) | 描述     | 典型值         |                          |
|----------------------------|--------------|--------|-------------|--------------------------|
|                            |              |        | 外设时钟全关 (mA) | 外设时钟全开 (mA) <sup>1</sup> |
| Modem-sleep <sup>2,3</sup> | 160          | CPU 工作 | 23          | 28                       |
|                            |              | CPU 空闲 | 16          | 21                       |
|                            | 80           | CPU 工作 | 17          | 22                       |
|                            |              | CPU 空闲 | 13          | 18                       |

<sup>1</sup> 实际情况下，外设在不同工作状态下电流会有所差异。

<sup>2</sup> Modem sleep 模式下，Wi-Fi 设有时钟门控。

<sup>3</sup> Modem-sleep 模式下，访问 flash 时功耗会增加。若 flash 速率为 80 Mbit/s，SPI 2 线模式下 flash 的功耗为 10 mA。

表 5-9. 低功耗模式下的功耗

| 模式          | 描述                                 | 功耗典型值 ( $\mu$ A) |
|-------------|------------------------------------|------------------|
| Light-sleep | VDD_SPI 和 Wi-Fi 掉电，所有 GPIO 设置为高阻状态 | 130              |
| Deep-sleep  | RTC 定时器 + RTC 存储器                  | 5                |
| 关闭          | CHIP_EN 脚拉低，芯片处于关闭状态               | 1                |

## 5.7 存储器规格

本节数据来源于存储器供应商的数据手册。以下数值已在设计阶段和/或特性验证中得到确认，但未在生产中进行全面测试。设备出厂时，存储器均为擦除状态。

## 5.8 可靠性

表 5-10. 可靠性认证

| 测试项目                  | 测试条件   | 测试标准                         |
|-----------------------|--|------------------------------|
| HTOL (高温工作寿命)         | 125 °C, 1000 小时  | JESD22-A108                  |
| ESD (静电放电敏感度)         | HBM (人体放电模式) <sup>1</sup> $\pm$ 2000 V   | JS-001                       |
|                       | CDM (充电器件模式) <sup>2</sup> $\pm$ 1000 V   | JS-002                       |
| 闩锁测试 (Latch-up)       | 过电流 $\pm$ 200 mA   | JESD78                       |
|                       | 过电压 $1.5 \times VDD_{max}$   |                              |
| 预处理测试                 | 烘烤: 125 °C, 24 小时<br>浸泡: 三级 (30 °C, 60% RH, 192 小时)<br>回流焊: 260 + 0 °C, 20 秒, 三次 | J-STD-020、JESD47、JESD22-A113 |
| TCT (温度循环测试)          | -65 °C / 150 °C, 500 次循环   | JESD22-A104                  |
| uHAST (无偏压高加速温湿度应力试验) | 130 °C, 85% RH, 96 小时  | JESD22-A118                  |
| HTSL (高温贮存寿命)         | 150 °C, 1000 小时  | JESD22-A103                  |

见下页

表 5-10 – 接上页

| 测试项目                      | 测试条件            | 测试标准        |
|---------------------------|-----------------|-------------|
| LTS <sub>L</sub> (低温存储寿命) | -40 °C, 1000 小时 | JESD22-A119 |

<sup>1</sup> JEDEC 文档 JEP155 规定：500 V HBM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

<sup>2</sup> JEDEC 文档 JEP157 规定：250 V CDM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

## 6 射频特性

本章提供产品的射频特性表。

射频数据是在天线端口处连接射频线后测试所得，包含了射频前端电路带来的损耗。射频前端电路为  $0 \Omega$  电阻。

工作信道中心频率范围应符合国家或地区的规范标准。软件可以配置工作信道中心频率范围，具体请参考 [《ESP 射频测试指南》](#)。

除非特别说明，射频测试均是在 3.3 V ( $\pm 5\%$ ) 供电电源、25 °C 环境温度的条件下完成。

### 6.1 Wi-Fi 射频

表 6-1. Wi-Fi 频率

| 参数       | 最小值<br>(MHz) | 典型值<br>(MHz) | 最大值<br>(MHz) |
|----------|--------------|--------------|--------------|
| 工作信道中心频率 | 2412         | —            | 2484         |

#### 6.1.1 Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性

表 6-2. 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率

| 速率                  | 最小值<br>(dBm) | 典型值<br>(dBm) | 最大值<br>(dBm) |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| 802.11b, 1 Mbps     | —            | 21.0         | —            |
| 802.11b, 11 Mbps    | —            | 21.0         | —            |
| 802.11g, 6 Mbps     | —            | 21.0         | —            |
| 802.11g, 54 Mbps    | —            | 19.0         | —            |
| 802.11n, HT20, MCS0 | —            | 20.0         | —            |
| 802.11n, HT20, MCS7 | —            | 18.5         | —            |
| 802.11n, HT40, MCS0 | —            | 20.0         | —            |
| 802.11n, HT40, MCS7 | —            | 18.5         | —            |

表 6-3. 发射 EVM 测试

| 速率                             | 最小值<br>(dB) | 典型值<br>(dB) | 标准限值<br>(dB) |
|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| 802.11b, 1 Mbps, @21 dBm       | —           | -24.5       | -10          |
| 802.11b, 11 Mbps, @21 dBm      | —           | -25.0       | -10          |
| 802.11g, 6 Mbps, @21 dBm       | —           | -23.0       | -5           |
| 802.11g, 54 Mbps, @19 dBm      | —           | -27.5       | -25          |
| 802.11n, HT20, MCS0, @20 dBm   | —           | -22.5       | -5           |
| 802.11n, HT20, MCS7, @18.5 dBm | —           | -29.0       | -27          |

见下页

表 6-3 - 接上页

| 速率                             | 最小值<br>(dB) | 典型值<br>(dB) | 标准限值<br>(dB) |
|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| 802.11n, HT40, MCS0, @20 dBm   | —           | -22.5       | -5           |
| 802.11n, HT40, MCS7, @18.5 dBm | —           | -28.0       | -27          |

### 6.1.2 Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性

表 6-4. 接收灵敏度

| 速率                  | 最小值<br>(dBm) | 典型值<br>(dBm) | 最大值<br>(dBm) |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| 802.11b, 1 Mbps     | —            | -98.4        | —            |
| 802.11b, 2 Mbps     | —            | -96.0        | —            |
| 802.11b, 5.5 Mbps   | —            | -93.0        | —            |
| 802.11b, 11 Mbps    | —            | -88.6        | —            |
| 802.11g, 6 Mbps     | —            | -93.8        | —            |
| 802.11g, 9 Mbps     | —            | -92.2        | —            |
| 802.11g, 12 Mbps    | —            | -91.0        | —            |
| 802.11g, 18 Mbps    | —            | -88.4        | —            |
| 802.11g, 24 Mbps    | —            | -85.8        | —            |
| 802.11g, 36 Mbps    | —            | -82.0        | —            |
| 802.11g, 48 Mbps    | —            | -78.0        | —            |
| 802.11g, 54 Mbps    | —            | -76.6        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS0 | —            | -93.6        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS1 | —            | -90.8        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS2 | —            | -88.4        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS3 | —            | -85.0        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS4 | —            | -81.8        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS5 | —            | -77.8        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS6 | —            | -76.0        | —            |
| 802.11n, HT20, MCS7 | —            | -74.8        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS0 | —            | -90.0        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS1 | —            | -88.0        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS2 | —            | -85.2        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS3 | —            | -82.0        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS4 | —            | -78.8        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS5 | —            | -74.6        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS6 | —            | -73.0        | —            |
| 802.11n, HT40, MCS7 | —            | -71.4        | —            |

表 6-5. 最大接收电平

| 速率                  | 最小值<br>(dBm) | 典型值<br>(dBm) | 最大值<br>(dBm) |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| 802.11b, 1 Mbps     | —            | 5            | —            |
| 802.11b, 11 Mbps    | —            | 5            | —            |
| 802.11g, 6 Mbps     | —            | 5            | —            |
| 802.11g, 54 Mbps    | —            | 0            | —            |
| 802.11n, HT20, MCS0 | —            | 5            | —            |
| 802.11n, HT20, MCS7 | —            | 0            | —            |
| 802.11n, HT40, MCS0 | —            | 5            | —            |
| 802.11n, HT40, MCS7 | —            | 0            | —            |

表 6-6. 接收邻道抑制

| 速率                  | 最小值<br>(dB) | 典型值<br>(dB) | 最大值<br>(dB) |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| 802.11b, 1 Mbps     | —           | 35          | —           |
| 802.11b, 11 Mbps    | —           | 35          | —           |
| 802.11g, 6 Mbps     | —           | 31          | —           |
| 802.11g, 54 Mbps    | —           | 20          | —           |
| 802.11n, HT20, MCS0 | —           | 31          | —           |
| 802.11n, HT20, MCS7 | —           | 16          | —           |
| 802.11n, HT40, MCS0 | —           | 25          | —           |
| 802.11n, HT40, MCS7 | —           | 11          | —           |

## 6.2 低功耗蓝牙射频

表 6-7. 低功耗蓝牙频率

| 参数       | 最小值<br>(MHz) | 典型值<br>(MHz) | 最大值<br>(MHz) |
|----------|--------------|--------------|--------------|
| 工作信道中心频率 | 2402         | —            | 2480         |

### 6.2.1 低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性

表 6-8. 发射器特性 - 低功耗蓝牙 1 Mbps

| 参数        | 描述                                | 最小值    | 典型值   | 最大值   | 单位  |
|-----------|-----------------------------------|--------|-------|-------|-----|
| 射频发射功率    | 射频功率控制范围                          | -24.00 | 0     | 20.00 | dBm |
|           | 增益控制步长                            | —      | 3.00  | —     | dB  |
| 载波频率偏移和漂移 | $ f_n _{n=0, 1, 2, \dots, k}$ 最大值 | —      | 17.00 | —     | kHz |
|           | $ f_0 - f_n $ 最大值                 | —      | 1.75  | —     | kHz |
|           | $ f_n - f_{n-5} $ 最大值             | —      | 1.46  | —     | kHz |

见下页

表 6-8 - 接上页

| 参数     | 描述   | 最小值 | 典型值    | 最大值 | 单位  |
|--------|--|-----|--------|-----|-----|
| 调制特性   | $ f_1 - f_0 $  | —   | 0.80   | —   | kHz |
|        | $\Delta f_{1\text{avg}}$   | —   | 250.00 | —   | kHz |
|        | $\Delta f_{2\text{max}} \text{ 最小值}$<br>(至少 99.9% 的 $\Delta f_{2\text{max}}$ ) | —   | 190.00 | —   | kHz |
|        | $\Delta f_{2\text{avg}}/\Delta f_{1\text{avg}}$                                | —   | 0.83   | —   | —   |
| 带内杂散发射 | $\pm 2 \text{ MHz}$ 偏移   | —   | -37.62 | —   | dBm |
|        | $\pm 3 \text{ MHz}$ 偏移   | —   | -41.95 | —   | dBm |
|        | $> \pm 3 \text{ MHz}$ 偏移   | —   | -44.48 | —   | dBm |

表 6-9. 发射器特性 - 低功耗蓝牙 2 Mbps

| 参数        | 描述   | 最小值    | 典型值    | 最大值   | 单位  |
|-----------|--|--------|--------|-------|-----|
| 射频发射功率    | 射频功率控制范围   | -24.00 | 0      | 20.00 | dBm |
|           | 增益控制步长   | —      | 3.00   | —     | dB  |
| 载波频率偏移和漂移 | $ f_n _{n=0, 1, 2, \dots, k} \text{ 最大值}$                                      | —      | 20.80  | —     | kHz |
|           | $ f_0 - f_n  \text{ 最大值}$  | —      | 1.30   | —     | kHz |
|           | $ f_n - f_{n-5}  \text{ 最大值}$  | —      | 1.33   | —     | kHz |
|           | $ f_1 - f_0 $  | —      | 0.70   | —     | kHz |
| 调制特性      | $\Delta f_{1\text{avg}}$   | —      | 498.00 | —     | kHz |
|           | $\Delta f_{2\text{max}} \text{ 最小值}$<br>(至少 99.9% 的 $\Delta f_{2\text{max}}$ ) | —      | 430.00 | —     | kHz |
|           | $\Delta f_{2\text{avg}}/\Delta f_{1\text{avg}}$                                | —      | 0.93   | —     | —   |
| 带内杂散发射    | $\pm 4 \text{ MHz}$ 偏移   | —      | -43.55 | —     | dBm |
|           | $\pm 5 \text{ MHz}$ 偏移   | —      | -45.26 | —     | dBm |
|           | $> \pm 5 \text{ MHz}$ 偏移   | —      | -45.26 | —     | dBm |

表 6-10. 发射器特性 - 低功耗蓝牙 125 Kbps

| 参数        | 描述   | 最小值    | 典型值    | 最大值   | 单位  |
|-----------|--|--------|--------|-------|-----|
| 射频发射功率    | 射频功率控制范围   | -24.00 | 0      | 20.00 | dBm |
|           | 增益控制步长   | —      | 3.00   | —     | dB  |
| 载波频率偏移和漂移 | $ f_n _{n=0, 1, 2, \dots, k} \text{ 最大值}$                                      | —      | 17.50  | —     | kHz |
|           | $ f_0 - f_n  \text{ 最大值}$  | —      | 0.45   | —     | kHz |
|           | $ f_n - f_{n-3} $  | —      | 0.70   | —     | kHz |
|           | $ f_0 - f_3 $  | —      | 0.30   | —     | kHz |
| 调制特性      | $\Delta f_{1\text{avg}}$   | —      | 250.00 | —     | kHz |
|           | $\Delta f_{1\text{max}} \text{ 最小值}$<br>(至少 99.9% 的 $\Delta f_{1\text{max}}$ ) | —      | 235.00 | —     | kHz |
| 带内杂散发射    | $\pm 2 \text{ MHz}$ 偏移   | —      | -37.90 | —     | dBm |
|           | $\pm 3 \text{ MHz}$ 偏移   | —      | -41.00 | —     | dBm |
|           | $> \pm 3 \text{ MHz}$ 偏移   | —      | -42.50 | —     | dBm |

表 6-11. 发射器特性 - 低功耗蓝牙 500 Kbps

| 参数        | 描述   | 最小值    | 典型值    | 最大值   | 单位  |
|-----------|--|--------|--------|-------|-----|
| 射频发射功率    | 射频功率控制范围   | -24.00 | 0      | 20.00 | dBm |
|           | 增益控制步长   | —      | 3.00   | —     | dB  |
| 载波频率偏移和漂移 | $ f_n _{n=0, 1, 2, \dots, k}$ 最大值                                      | —      | 17.00  | —     | kHz |
|           | $ f_0 - f_n $ 最大值  | —      | 0.88   | —     | kHz |
|           | $ f_n - f_{n-3} $  | —      | 1.00   | —     | kHz |
|           | $ f_0 - f_3 $  | —      | 0.20   | —     | kHz |
| 调制特性      | $\Delta f_{2\text{avg}}$   | —      | 208.00 | —     | kHz |
|           | $\Delta f_{2\text{max}}$ 最小值<br>(至少 99.9% 的 $\Delta f_{2\text{max}}$ ) | —      | 190.00 | —     | kHz |
| 带内杂散发射    | $\pm 2$ MHz 偏移   | —      | -37.90 | —     | dBm |
|           | $\pm 3$ MHz 偏移   | —      | -41.30 | —     | dBm |
|           | $> \pm 3$ MHz 偏移   | —      | -42.80 | —     | dBm |

### 6.2.2 低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性

表 6-12. 接收器特性 - 低功耗蓝牙 1 Mbps

| 参数                | 描述                      | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|-------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 灵敏度 @30.8% PER    | —                       | —   | -97 | —   | dBm |
| 最大接收信号 @30.8% PER | —                       | —   | 5   | —   | dBm |
| 共信道抑制比 C/I        | —                       | —   | 8   | —   | dB  |
| 邻道选择性抑制比 C/I      | $F = F_0 + 1$ MHz       | —   | -3  | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 - 1$ MHz       | —   | -4  | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 + 2$ MHz       | —   | -29 | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 - 2$ MHz       | —   | -31 | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 + 3$ MHz       | —   | -33 | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 - 3$ MHz       | —   | -27 | —   | dB  |
|                   | $F \geq F_0 + 4$ MHz    | —   | -29 | —   | dB  |
|                   | $F \leq F_0 - 4$ MHz    | —   | -38 | —   | dB  |
| 镜像频率              | —                       | —   | -29 | —   | dB  |
| 邻道镜像频率干扰          | $F = F_{image} + 1$ MHz | —   | -41 | —   | dB  |
|                   | $F = F_{image} - 1$ MHz | —   | -33 | —   | dB  |
| 带外阻塞              | 30 MHz ~ 2000 MHz       | —   | -5  | —   | dBm |
|                   | 2003 MHz ~ 2399 MHz     | —   | -18 | —   | dBm |
|                   | 2484 MHz ~ 2997 MHz     | —   | -15 | —   | dBm |
|                   | 3000 MHz ~ 12.75 GHz    | —   | -5  | —   | dBm |
| 互调                | —                       | —   | -30 | —   | dBm |

表 6-13. 接收器特性 - 低功耗蓝牙 2 Mbps

| 参数                | 描述                              | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|-------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 灵敏度 @30.8% PER    | —                               | —   | -93 | —   | dBm |
| 最大接收信号 @30.8% PER | —                               | —   | 3   | —   | dBm |
| 共信道干扰 C/I         | —                               | —   | 10  | —   | dB  |
| 邻道选择性抑制比 C/I      | $F = FO + 2 \text{ MHz}$        | —   | -7  | —   | dB  |
|                   | $F = FO - 2 \text{ MHz}$        | —   | -7  | —   | dB  |
|                   | $F = FO + 4 \text{ MHz}$        | —   | -28 | —   | dB  |
|                   | $F = FO - 4 \text{ MHz}$        | —   | -26 | —   | dB  |
|                   | $F = FO + 6 \text{ MHz}$        | —   | -26 | —   | dB  |
|                   | $F = FO - 6 \text{ MHz}$        | —   | -27 | —   | dB  |
|                   | $F \geq FO + 8 \text{ MHz}$     | —   | -29 | —   | dB  |
|                   | $F \leq FO - 8 \text{ MHz}$     | —   | -28 | —   | dB  |
| 镜像频率              | —                               | —   | -28 | —   | dB  |
| 邻道镜像频率干扰          | $F = F_{image} + 2 \text{ MHz}$ | —   | -26 | —   | dB  |
|                   | $F = F_{image} - 2 \text{ MHz}$ | —   | -7  | —   | dB  |
| 带外阻塞              | 30 MHz ~ 2000 MHz               | —   | -5  | —   | dBm |
|                   | 2003 MHz ~ 2399 MHz             | —   | -19 | —   | dBm |
|                   | 2484 MHz ~ 2997 MHz             | —   | -16 | —   | dBm |
|                   | 3000 MHz ~ 12.75 GHz            | —   | -5  | —   | dBm |
| 互调                | —                               | —   | -29 | —   | dBm |

表 6-14. 接收器特性 - 低功耗蓝牙 125 Kbps

| 参数                | 描述                              | 最小值 | 典型值  | 最大值 | 单位  |
|-------------------|---------------------------------|-----|------|-----|-----|
| 灵敏度 @30.8% PER    | —                               | —   | -105 | —   | dBm |
| 最大接收信号 @30.8% PER | —                               | —   | 5    | —   | dBm |
| 共信道抑制比 C/I        | —                               | —   | 3    | —   | dB  |
| 邻道选择性抑制比 C/I      | $F = FO + 1 \text{ MHz}$        | —   | -6   | —   | dB  |
|                   | $F = FO - 1 \text{ MHz}$        | —   | -6   | —   | dB  |
|                   | $F = FO + 2 \text{ MHz}$        | —   | -33  | —   | dB  |
|                   | $F = FO - 2 \text{ MHz}$        | —   | -43  | —   | dB  |
|                   | $F = FO + 3 \text{ MHz}$        | —   | -37  | —   | dB  |
|                   | $F = FO - 3 \text{ MHz}$        | —   | -47  | —   | dB  |
|                   | $F \geq FO + 4 \text{ MHz}$     | —   | -40  | —   | dB  |
|                   | $F \leq FO - 4 \text{ MHz}$     | —   | -50  | —   | dB  |
| 镜像频率              | —                               | —   | -40  | —   | dB  |
| 邻道镜像频率干扰          | $F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$ | —   | -50  | —   | dB  |
|                   | $F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$ | —   | -37  | —   | dB  |

表 6-15. 接收器特性 - 低功耗蓝牙 500 Kbps

| 参数                | 描述                              | 最小值 | 典型值  | 最大值 | 单位  |
|-------------------|---------------------------------|-----|------|-----|-----|
| 灵敏度 @30.8% PER    | —                               | —   | -100 | —   | dBm |
| 最大接收信号 @30.8% PER | —                               | —   | 5    | —   | dBm |
| 共信道抑制比 C/I        | —                               | —   | 3    | —   | dB  |
| 邻道选择性抑制比 C/I      | $F = F_0 + 1 \text{ MHz}$       | —   | -2   | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 - 1 \text{ MHz}$       | —   | -3   | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 + 2 \text{ MHz}$       | —   | -32  | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 - 2 \text{ MHz}$       | —   | -33  | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 + 3 \text{ MHz}$       | —   | -23  | —   | dB  |
|                   | $F = F_0 - 3 \text{ MHz}$       | —   | -40  | —   | dB  |
|                   | $F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$    | —   | -34  | —   | dB  |
|                   | $F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$    | —   | -44  | —   | dB  |
| 镜像频率              | —                               | —   | -34  | —   | dB  |
| 邻道镜像频率干扰          | $F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$ | —   | -46  | —   | dB  |
|                   | $F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$ | —   | -23  | —   | dB  |

## 7 封装

- 有关卷带、载盘和产品标签的信息，请参阅 [《ESP32-C3 芯片包装信息》](#)。
- 俯视图中，芯片管脚从 Pin 1 位置开始按逆时针方向编号。关于管脚序号和名称的详细信息，请参考图 2-1 [ESP32-C3、ESP32-C3FH4、ESP32-C3FN4、ESP32-C3FH8X 管脚布局（俯视图）](#)。
- 推荐 [PCB 封装图](#) 源文件 (dxf) 供您下载，可使用 [Autodesk Viewer](#) 查看。
- PCB 参考布局，可见 [《ESP32-C3 硬件设计指南》](#)。

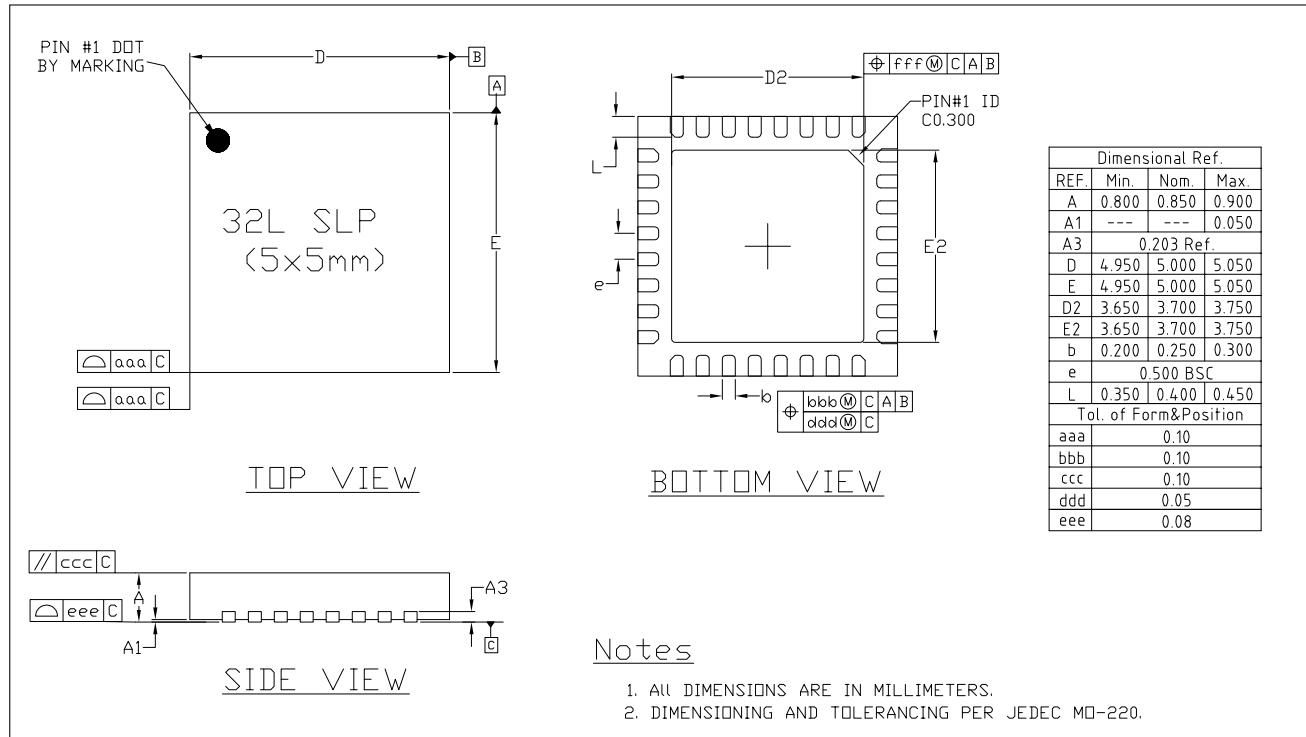


图 7-1. QFN32 (5x5 mm) 封装

# ESP32-C3 管脚总览

| 管脚序号 | 管脚名称       | 管脚类型 | 供电管脚                 | 管脚配置    |         | 模拟功能       |          | IO MUX 功能 |       |        |       |         |       |
|------|------------|------|----------------------|---------|---------|------------|----------|-----------|-------|--------|-------|---------|-------|
|      |            |      |                      | 复位时     | 复位后     | 0          | 1        | 0         | 类型    | 1      | 类型    | 2       | 类型    |
| 1    | LNA_IN     | 模拟   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 2    | VDD3P3     | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 3    | VDD3P3     | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 4    | XTAL_32K_P | IO   | VDD3P3_RTC           |         |         | XTAL_32K_P | ADC1_CHO | GPIO0     | I/O/T | GPIO0  | I/O/T |         |       |
| 5    | XTAL_32K_N | IO   | VDD3P3_RTC           |         |         | XTAL_32K_N | ADC1_CH1 | GPIO1     | I/O/T | GPIO1  | I/O/T |         |       |
| 6    | GPIO2      | IO   | VDD3P3_RTC           | IE      | IE      |            | ADC1_CH2 | GPIO2     | I/O/T | GPIO2  | I/O/T | FSPIQ   | I/O/T |
| 7    | CHIP_EN    | 模拟   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 8    | GPIO3      | IO   | VDD3P3_RTC           | IE      | IE      |            | ADC1_CH3 | GPIO3     | I/O/T | GPIO3  | I/O/T |         |       |
| 9    | MTMS       | IO   | VDD3P3_RTC           |         | IE      |            | ADC1_CH4 | MTMS      | I1    | GPIO4  | I/O/T | FSPIHD  | I/O/T |
| 10   | MTDI       | IO   | VDD3P3_RTC           |         | IE      |            | ADC2_CHO | MTDI      | I1    | GPIO5  | I/O/T | FSPIWP  | I/O/T |
| 11   | VDD3P3_RTC | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 12   | MTCK       | IO   | VDD3P3_CPU           |         | IE      |            |          | MTCK      | I1    | GPIO6  | I/O/T | FSPICLK | I/O/T |
| 13   | MTDO       | IO   | VDD3P3_CPU           |         | IE      |            |          | MTDO      | O/T   | GPIO7  | I/O/T | FSPID   | I/O/T |
| 14   | GPIO8      | IO   | VDD3P3_CPU           | IE      | IE      |            |          | GPIO8     | I/O/T | GPIO8  | I/O/T |         |       |
| 15   | GPIO9      | IO   | VDD3P3_CPU           | IE, WPU | IE, WPU |            |          | GPIO9     | I/O/T | GPIO9  | I/O/T |         |       |
| 16   | GPIO10     | IO   | VDD3P3_CPU           |         | IE      |            |          | GPIO10    | I/O/T | GPIO10 | I/O/T | FSPICSO | I/O/T |
| 17   | VDD3P3_CPU | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 18   | VDD_SPI    | 电源   | VDD3P3_CPU           |         |         |            |          | GPIO11    | I/O/T | GPIO11 | I/O/T |         |       |
| 19   | SPIHD      | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU | WPU     | IE, WPU |            |          | SPIHD     | I/O/T | GPIO12 | I/O/T |         |       |
| 20   | SPIWP      | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU | WPU     | IE, WPU |            |          | SPIWP     | I/O/T | GPIO13 | I/O/T |         |       |
| 21   | SPICSO     | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU | WPU     | IE, WPU |            |          | SPICSO    | O/T   | GPIO14 | I/O/T |         |       |
| 22   | SPICLK     | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU | WPU     | IE, WPU |            |          | SPICLK    | O/T   | GPIO15 | I/O/T |         |       |
| 23   | SPID       | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU | WPU     | IE, WPU |            |          | SPID      | I/O/T | GPIO16 | I/O/T |         |       |
| 24   | SPIQ       | IO   | VDD_SPI / VDD3P3_CPU | WPU     | IE, WPU |            |          | SPIQ      | I/O/T | GPIO17 | I/O/T |         |       |
| 25   | GPIO18     | IO   | VDD3P3_CPU           |         |         | USB_D-     |          | GPIO18    | I/O/T | GPIO18 | I/O/T |         |       |
| 26   | GPIO19     | IO   | VDD3P3_CPU           |         |         | USB_D+     |          | GPIO19    | I/O/T | GPIO19 | I/O/T |         |       |
| 27   | UORXD      | IO   | VDD3P3_CPU           |         | IE, WPU |            |          | UORXD     | I1    | GPIO20 | I/O/T |         |       |
| 28   | UOTXD      | IO   | VDD3P3_CPU           |         | WPU     |            |          | UOTXD     | O     | GPIO21 | I/O/T |         |       |
| 29   | XTAL_N     | 模拟   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 30   | XTAL_P     | 模拟   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 31   | VDDA       | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 32   | VDDA       | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |
| 33   | GND        | 电源   |                      |         |         |            |          |           |       |        |       |         |       |

\* 更多信息，详见章节 2 管脚。高亮的单元格，请参考章节 2.3.3 GPIO 的限制。

## ESP32-C3 芯片系列合集概览

ESP32-C3 芯片系列合集是一种低功耗解决方案，集成 2.4 GHz Wi-Fi (802.11b/g/n) 和蓝牙 5.0 连接，专用于智能家居应用。该芯片系列合集包括以下芯片系列：

- ESP32-C3 系列
- ESP8685 系列，在 ESP32-C3 系列基础上进一步优化成本

ESP32-C3 芯片系列合集的所有子类系列使用共同的软件和参考资料，包括技术参考手册和硬件设计指南 - 请参阅 [相关文档和资源](#)。

|            | ESP32-C3       | ESP8685        |
|------------|----------------|----------------|
| 芯片版本       | v0.4/v1.1      | v0.4           |
| 封装内 flash  | 无/4 MB/8 MB    | 4 MB           |
| Flash 可扩展性 | Y              | —              |
| GPIO 数量    | 16 或 22        | 15             |
| 封装         | QFN32 (5×5 mm) | QFN28 (4×4 mm) |

# 技术规格书版本号管理

| 技术规格书版本                | 状态   | 水印                           | 定义   |
|------------------------|------|------------------------------|--|
| v0.1 ~ v0.5 (不包括 v0.5) | 草稿   | Confidential                 | 该技术规格书正在完善。对应产品处于设计阶段，产品规格如有变更，恕不另行通知。                                   |
| v0.5 ~ v1.0 (不包括 v1.0) | 初步发布 | Preliminary                  | 该技术规格书正在积极更新。对应产品处于验证阶段，产品规格可能会在量产前变更，并记录在技术规格书的修订历史中。                   |
| v1.0 及更高版本             | 正式发布 | —                            | 该技术规格书已公开发布。对应产品已量产，产品规格已最终确定，重大变更将通过 <a href="#">产品变更通知 (PCN)</a> 进行通知。 |
| 任意版本                   | —    | 不推荐用于新设计 (NRND) <sup>1</sup> | 该技术规格书更新频率较低，对应产品不推荐用于新设计。   |
| 任意版本                   | —    | 停产 (EOL) <sup>2</sup>        | 该技术规格书不再维护，对应产品已停产。  |

<sup>1</sup> 技术规格书涵盖的所有产品型号均不推荐用于新设计时，封面才会添加水印。

<sup>2</sup> 技术规格书涵盖的所有产品型号均停产时，封面才会添加水印。

# 词汇表

## 芯片系列

芯片系列合集中具有相似特性和规格的子集 [2, 65](#)

## 芯片系列合集

使用同款晶圆的芯片产品总称。例如，ESP32-C3 芯片系列合集包括 ESP32-C3 芯片系列和 ESP8685 芯片系列 [2, 65](#)

## 封装内 flash

集成于芯片封装内部、位于芯片晶圆外部的 flash [4, 33](#)

## 封装外 flash

位于芯片封装外部的 flash [4](#)

## 外设

芯片内部用于与外界通讯的硬件组件或子系统 [16, 19](#)

## strapping 管脚

芯片上电时用于某些配置的一种 GPIO 管脚，可在芯片复位后重新配置为普通 GPIO [29](#)

## eFuse 参数

存储在芯片内 eFuse 存储器中的参数。可以通过写 EFUSE\_PGM\_DATA*n*\_REG 寄存器设置，通过读取与参数同名的寄存器字段获得具体值 [29](#)

## SPI boot 模式

从 SPI flash 中加载和执行现有代码的启动模式 [30](#)

## joint download boot 模式

通过 UART 或其他接口（见表 3-3 芯片启动模式控制 > 注释）下载代码到 flash 中、并从 flash 或 SRAM 中加载和执行下载代码的启动模式 [30](#)

## eFuse

一次性可编程 (OTP) 存储器，用于存储系统和用户参数，例如 MAC 地址、芯片版本号、flash 加密密钥等。值为 0 表示默认状态，值为 1 表示已烧写 [34](#)

# 相关文档和资源

## 相关文档

- [《ESP32-C3 技术参考手册》](#) – 提供 ESP32-C3 芯片的存储器和外设的详细使用说明。
- [《ESP32-C3 硬件设计指南》](#) – 提供基于 ESP32-C3 芯片的产品设计规范。
- [《ESP32-C3 系列芯片勘误表》](#) – 描述 ESP32-C3 系列芯片的已知错误。
- 证书  
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/certificates>
- ESP32-C3 产品/工艺变更通知 (PCN)  
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/pcns?keys=ESP32-C3>
- ESP32-C3 公告 – 提供有关安全、bug、兼容性、器件可靠性的信息  
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/advisories?keys=ESP32-C3>
- 文档更新和订阅通知  
<https://espressif.com/zh-hans/support/download/documents>

## 开发者社区

- [《ESP32-C3 ESP-IDF 编程指南》](#) – ESP-IDF 开发框架的文档中心。
- ESP-IDF 及 GitHub 上的其它开发框架  
<https://github.com/espressif>
- ESP32 论坛 – 工程师对工程师 (E2E) 的社区，您可以在这里提出问题、解决问题、分享知识、探索观点。  
<https://esp32.com/>
- *ESP-FAQ* – 由乐鑫官方推出的针对常见问题的总结。  
[https://espressif.com/projects/esp-faq/zh\\_CN/latest/index.html](https://espressif.com/projects/esp-faq/zh_CN/latest/index.html)
- *The ESP Journal* – 分享乐鑫工程师的最佳实践、技术文章和工作随笔。  
<https://blog.espressif.com/>
- SDK 和演示、App、工具、AT 等下载资源  
<https://espressif.com/zh-hans/support/download/sdks-demos>

## 产品

- ESP32-C3 系列芯片 – ESP32-C3 全系列芯片。  
<https://espressif.com/zh-hans/products/socs?id=ESP32-C3>
- ESP32-C3 系列模组 – ESP32-C3 全系列模组。  
<https://espressif.com/zh-hans/products/modules?id=ESP32-C3>
- ESP32-C3 系列开发板 – ESP32-C3 全系列开发板。  
<https://espressif.com/zh-hans/products/devkits?id=ESP32-C3>
- ESP Product Selector (乐鑫产品选型工具) – 通过筛选性能参数、进行产品对比快速定位您所需的产品。  
<https://products.espressif.com/#/product-selector?language=zh>

## 联系我们

- 商务问题、技术支持、电路原理图 & PCB 设计审阅、购买样品（线上商店）、成为供应商、意见与建议  
<https://espressif.com/zh-hans/contact-us/sales-questions>

## 修订历史

| 日期         | 版本   | 发布说明  |
|------------|------|---|
| 2025-12-24 | v2.3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>新增芯片变型 ESP32-C3FH8X，详见章节 <a href="#">1 ESP32-C3 系列型号对比</a></li> <li>将表 <a href="#">1-1 ESP32-C3 系列芯片对比</a> 中的“订购代码”改为“料号”</li> <li>章节 <a href="#">4 功能描述</a> 新增以下模块描述： <ul style="list-style-type: none"> <li>- <a href="#">XTAL32K 看门狗定时器</a></li> <li>- <a href="#">World 控制器</a></li> <li>- <a href="#">时钟毛刺检测</a></li> </ul> </li> </ul>   |
| 2025-09-04 | v2.2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>新增章节 <a href="#">1.3 芯片版本</a></li> <li>章节 <a href="#">2.3.4 外设管脚分配</a> 更新描述，表格增加交换 USB 管脚的说明</li> <li>更新图 <a href="#">3-1 Strapping 管脚的时序参数图</a></li> <li>新增章节 <a href="#">5.7 存储器规格</a></li> <li>新增附录 <a href="#">技术规格书版本号管理</a></li> <li>其他微小改动</li> </ul>   |
| 2025-04-14 | v2.1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>更新章节 <a href="#">产品概述</a> 中的 CPU CoreMark® 得分</li> <li>关于 <a href="#">ESP32-C3 芯片版本 v1.1 的兼容性公告</a> 更新，更新表 <a href="#">ESP32-C3 系列芯片对比</a> 说明 5 中的 SRAM 大小</li> </ul>  |
| 2024-11-14 | v2.0 | <ul style="list-style-type: none"> <li>新增章节 <a href="#">2.3.4 外设管脚分配</a></li> <li>新增 <a href="#">ESP32-C3 芯片系列合集概览</a></li> <li>新增 <a href="#">词汇表</a></li> </ul>   |
| 2024-09-11 | v1.9 | 根据 <a href="#">PCN20240702 ESP32-C3FH4X 产品更新</a> 更新 ESP32-C3FH4X 的管脚布局和 GPIO 数量   |
| 2024-07-29 | v1.8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>在章节 <a href="#">1 ESP32-C3 系列型号对比</a> 移除 ESP32-C3FH4XAZ 变型，并在说明中增加 <a href="#">关于 ESP32-C3 芯片版本 v1.1 的兼容性公告</a></li> <li>在表 <a href="#">2-1 管脚概述</a> &gt; 注释 4 中更新管脚的默认驱动电流</li> <li>在章节 <a href="#">4.1.2.1 内部存储器</a> 新增 flash 编程/擦除周期、数据保留时间、最大时钟频率</li> <li>优化以下章节的格式、结构和表述： <ul style="list-style-type: none"> <li>- <a href="#">章节 2 管脚</a></li> <li>- <a href="#">章节 3 启动配置项</a> (曾用名“Strapping 管脚”)</li> <li>- <a href="#">章节 4 功能描述</a></li> </ul> </li> <li>其他微小改动</li> </ul> |

见下页

接上页

| 日期         | 版本   | 发布说明  |
|------------|------|---|
| 2024-04-01 | v1.7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ESP32-C3FN4 变型标注为停产</li> <li>• ESP32-C3FH4AZ 变型标注为 <a href="#">NRND</a></li> <li>• ESP32-C3FH4X 变型标注为推荐</li> </ul>   |
| 2024-01-19 | v1.6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在章节 <a href="#">1 ESP32-C3 系列型号对比</a> 新增 ESP32-C3FH4X 和 ESP32-C3FH4XAZ 变型</li> <li>• 将章节 <a href="#">4.2.1.7 LED PWM 控制器</a> 中 PWM 占空比精度更正为 14 位</li> </ul>  |
| 2023-08-11 | v1.5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ESP32-C3FN4 标注为 <a href="#">NRND</a></li> <li>• 改进以下章节: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 章节 <a href="#">产品概述</a></li> <li>- 章节 <a href="#">2 管脚</a></li> <li>- 章节 <a href="#">4.1.3.6 电源管理单元</a></li> <li>- 章节 <a href="#">4.2.1.2 SPI 控制器</a></li> <li>- 章节 <a href="#">5.1 绝对最大额定值</a></li> <li>- 章节 <a href="#">5.2 建议工作条件</a></li> <li>- 章节 <a href="#">5.3 VDD_SPI 输出特性</a></li> <li>- 章节 <a href="#">5.5 ADC 特性</a></li> </ul> </li> <li>• 将章节 <a href="#">6.2 低功耗蓝牙射频</a> 中的“射频功率控制范围”最大值更新为 20 dBm</li> <li>• 增加 <a href="#">附录 A</a></li> <li>• 其他微小改动</li> </ul> |
| 2022-12-15 | v1.4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在章节 <a href="#">4.3.3.1 低功耗蓝牙物理层</a> 删除特性“天线分集”</li> <li>• 删除特性“支持外部功率放大器”</li> <li>• 将表 <a href="#">芯片上电过程中的管脚毛刺</a> 中 GPIO18 的毛刺类型更新为高电平毛刺</li> </ul>  |
| 2022-11-15 | v1.3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 更新表 <a href="#">芯片上电过程中的管脚毛刺</a> 的注释</li> <li>• 在章节 <a href="#">4 功能描述</a> 增加技术参考手册和管脚外设分配的链接</li> <li>• 在章节 <a href="#">4.2.2.1 SAR ADC</a> 增加 ADC2 错误的相关注释</li> <li>• 更新章节 <a href="#">4.1.3.8 看门狗定时器</a></li> <li>• 增加表 <a href="#">ADC 校准结果</a></li> <li>• 更新章节 <a href="#">5.6.2 其他功耗模式下的功耗</a></li> <li>• 在章节 <a href="#">6.2 低功耗蓝牙射频</a> 更新射频功率控制范围</li> <li>• 更新章节 <a href="#">7 封装</a> 的笔误</li> <li>• 更新章节 <a href="#">相关文档和资源</a></li> </ul>   |

见下页

接上页

| 日期         | 版本   | 发布说明   |
|------------|------|--|
| 2022-04-13 | v1.2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>新增芯片变型 ESP32-C3FH4AZ；</li> <li>更新图 <a href="#">ESP32-C3 功能框图</a>；</li> <li>在章节 <a href="#">4.1.3.6 电源管理单元</a> 新增 Deep-sleep 模式的唤醒源。</li> </ul>  |
| 2021-10-26 | v1.1 | <ul style="list-style-type: none"> <li>在图 <a href="#">ESP32-C3 功能框图</a>，显示功耗模式；</li> <li>在产品特性中增加 CoreMark 分数；</li> <li>在表管脚描述中显示默认管脚功能；</li> <li>更新图 <a href="#">ESP32-C3 电源管理</a> 及相关描述；</li> <li>增加表 SPI 管脚信号；</li> <li>在表<a href="#">建议工作条件</a>中增加第三条说明；</li> <li>其他措辞更新。</li> </ul>   |
| 2021-05-28 | v1.0 | <ul style="list-style-type: none"> <li>更新功耗模式；</li> <li>更新章节 <a href="#">3 启动配置项</a>；</li> <li>在章节 <a href="#">4.1.3.3 时钟</a> 更新部分时钟的名称和频率；</li> <li>在章节 <a href="#">4.2.2.1 SAR ADC</a> 增加 ADC1、ADC2 的说明；</li> <li>在表 IO MUX 中更新 UORXD、UOTXD 复位后的默认配置；</li> <li>在表 <a href="#">ADC 特性</a> 中更新采样速度；</li> <li>更新表 <a href="#">可靠性认证</a>；</li> <li>在章节 <a href="#">7 封装</a> 新增推荐 PCB 封装图的链接。</li> </ul>  |
| 2021-04-23 | v0.8 | 更新 <a href="#">Wi-Fi 射频</a> 和 <a href="#">低功耗蓝牙射频</a> 数据。  |
| 2021-04-07 | v0.7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>更新 <a href="#">USB 串口/JTAG 控制器</a> 的相关信息；</li> <li>在章节 <a href="#">3 启动配置项</a> 增加 GPIO2；</li> <li>更新图 <a href="#">地址映射结构</a>；</li> <li>在章节 <a href="#">4.1.3.1 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵</a> 增加表 IO MUX 和表 <a href="#">芯片上电过程中的管脚毛刺</a>；</li> <li>在章节 <a href="#">4.2.1.2 SPI 控制器</a> 更新 SPI2 的相关信息；</li> <li>在章节 <a href="#">4.1.1.2 GDMA 控制器</a> 更新通道之间支持可配置的固定优先级；</li> <li>更新表 <a href="#">可靠性认证</a>。</li> </ul> |
| 2021-01-18 | v0.6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>说明 400 KB SRAM 中，有 16 KB 专用于 cache；</li> <li>在章节 <a href="#">6.1.1 Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性</a> 的表 <a href="#">发射 EVM 测试</a> 中把最大值更新为标准限值。</li> </ul>  |

见下页

[接上页](#)

| 日期         | 版本   | 发布说明  |
|------------|------|---|
| 2021-01-13 | v0.5 | <ul style="list-style-type: none"><li>• 更新 Wi-Fi 相关信息；</li><li>• 在章节管脚定义表格注释中增加封装内 flash 端口和芯片管脚的连接关系；</li><li>• 在章节 2.5.2 电源管理 更新图 <a href="#">ESP32-C3 电源管理</a>，增加图 <a href="#">上电和复位时序参数图</a> 和表 <a href="#">上电和复位时序参数说明</a>；</li><li>• 在章节 3 启动配置项 增加图 <a href="#">Strapping 管脚的时序参数图</a> 和表 <a href="#">Strapping 管脚的时序参数说明</a>；</li><li>• 更新表格外设管脚分配；</li><li>• 增加章节 5 电气特性；</li><li>• 增加章节 7 封装。</li></ul> |
| 2020-11-27 | v0.4 | 预发版本。   |



## 免责声明和版权公告

本文档中的信息，包括供参考的 URL 地址，如有变更，恕不另行通知。

本文档可能引用了第三方的信息，所有引用的信息均为“按现状”提供，乐鑫不对信息的准确性、真实性做任何保证。

乐鑫不对本文档的内容做任何保证，包括内容的适销性、是否适用于特定用途，也不提供任何其他乐鑫提案、规格书或样品在他处提到的任何保证。

乐鑫不对本文档是否侵犯第三方权利做任何保证，也不对使用本文档内信息导致的任何侵犯知识产权的行为负责。本文档在此未以禁止反言或其他方式授予任何知识产权许可，不管是明示许可还是暗示许可。

Wi-Fi 联盟成员标志归 Wi-Fi 联盟所有。蓝牙标志是 Bluetooth SIG 的注册商标。

文档中提到的所有商标名称、商标和注册商标均属其各自所有者的财产，特此声明。

版权归 © 2025 乐鑫信息科技（上海）股份有限公司。保留所有权利。

[www.espressif.com](http://www.espressif.com)