ESP32-C5-WROOM-1
ESP32-C5-WROOM-1U

技术规格书 预发布 v0.6

PRELIMINARY

2.4 & 5 GHz 双频 Wi-Fi 6 (802.11ax)、Bluetooth® 5 (LE)、Zigbee 及 Thread (802.15.4) 模组
内置 ESP32-C5 系列芯片，RISC-V 32 位单核处理器
flash 最大可选 16 MB
多达 22 个 GPIO，丰富的外设
板载 PCB 天线或外部天线连接器



ESP32-C5-WROOM-1



ESP32-C5-WROOM-1U

ESPRESSIF

1 模组概述

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://espressif.com/documentation/esp32-c5-wroom-1_wroom-1u_datasheet_cn.pdf

1.1 特性

CPU 和片上存储器

- 内置 ESP32-C5 芯片，RISC-V 32 位单核处理器，支持高达 240 MHz 的时钟频率
- ROM：320 KB
- HP SRAM：384 KB
- LP SRAM：16 KB

Wi-Fi

- 工作在 2.4 & 5 GHz 双频段，1T1R
- 工作信道中心频率范围：2412 ~ 2484 MHz，5180 ~ 5885 MHz
- 兼容 IEEE 802.11ax 协议：
  - 仅 20 MHz 非接入点工作模式 (20 MHz-only non-AP mode)
  - 上行、下行正交频分多址接入 (OFDMA)，特别适用于高密度应用下的多用户并发传输
  - 下行多用户多输入多输出 (MU-MIMO)，提升网络容量
  - 波束成形接收端 (Beamformee)，提升信号质量
  - 空间复用 (Spatial reuse)，最大化并行发送
  - 目标唤醒时间 (TWT)，提供更好的节能机制
- 兼容 IEEE 802.11ac 协议：
  - 支持 20 MHz 带宽
  - 下行全带宽多用户多输入多输出 (MU-MIMO)
- 完全兼容 IEEE 802.11b/g/n 协议：
  - 支持 20 MHz 和 40 MHz 带宽
  - 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 (transmission 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-C5 在 Station 模式下扫描时，SoftAP 信道会同时改变
  - 天线分集
  - 802.11 mc FTM

蓝牙 ®

- 低功耗蓝牙 (Bluetooth LE)：通过 Bluetooth 6.0 认证
- Bluetooth mesh 1.1
- 高功率模式 (20 dBm 发射功率)
- 基于到达角和出发角的蓝牙方向查找功能 (direction finding, AoA/AoD)
- 带回复的周期性广播 (PAwR)
- 亚速率连接模式 (LE connection subrating)

- 功率控制 (LE power control)
- 速率支持 125 Kbps、500 Kbps、1 Mbps、2 Mbps
- 扩展广播以及多广播支持 (LE advertising extensions)
- 广播者/观察者/中央设备/外围设备多角色并发运行

IEEE 802.15.4

- 兼容 IEEE 802.15.4-2015 协议
- 工作在 2.4 GHz 频段，支持 OQPSK PHY
- 数据速率：250 Kbps
- 支持 Thread 1.4
- 支持 Zigbee 3.0

外设

- GPIO、SPI、并行 IO、UART、I2C、I2S、RMT (TX/RX)、脉冲计数器、LED PWM、USB 串口/JTAG 控制器、MCPWM、CAN FD 控制器、SDIO 从机控制器、比特调节器、事件任务矩阵、ADC、温度传感器、欠压监测器、模拟电压比较器、系统定时器、通用定时器、RTC 定时器、看门狗定时器等

模组集成元件

- 48 MHz 集成晶振
- SPI flash

天线选型

- ESP32-C5-WROOM-1：板载 PCB 天线
- ESP32-C5-WROOM-1U：通过连接器或模组管脚连接外部天线

工作条件

- 工作电压/供电电压：3.0 ~ 3.6 V
- 工作环境温度：–40 ~ 85 °C

认证

- RF 认证：见 证书
- 环保认证：RoHS/REACH

1.2 型号对比

ESP32-C5-WROOM-1 和 ESP32-C5-WROOM-1U 是通用型 2.4 & 5 GHz 双频 Wi-Fi 6 (802.11ax)、Bluetooth® 5 (LE)、Zigbee 及 Thread (802.15.4) 模组，功能强大，具有丰富的外设接口，可用于智能家居、工业自动化、医疗保健、消费电子产品等领域。

ESP32-C5-WROOM-1 采用 PCB 板载天线，ESP32-C5-WROOM-1U 采用连接器连接外部天线。两款模组均有多种型号可供选择，具体见表 1-1 和 1-2。

两款模组的系列型号对比如下表所示：

表 1-1. ESP32-C5-WROOM-1（天线）系列型号对比[1]

订购代码	flash[2,3]	PSRAM	环境温度[4] (°C)	模组尺寸[5] (mm)
ESP32-C5-WROOM-1-N4	4 MB (Quad SPI)	-	–40 ~ 85	18.0 × 27.5 × 3.3
ESP32-C5-WROOM-1-N8R4	8 MB (Quad SPI)	4 MB (Quad SPI)		
ESP32-C5-WROOM-1-N16R4	16 MB (Quad SPI)			

[1] 本表格中注释 2 至 5 内容与表 1-2 一致。

表 1-2. ESP32-C5-WROOM-1U（连接器）[6] 系列型号对比

订购代码	flash[2,3]	PSRAM	环境温度[4] (°C)	模组尺寸[5] (mm)
ESP32-C5-WROOM-1U-N8R4	8 MB (Quad SPI)	4 MB (Quad SPI)	–40 ~ 85	18.0 × 21.2 × 3.3

[2] flash 封装在芯片内部。更多关于存储器规格的信息，请参考章节 6.5 存储器规格。

[3] 默认情况下，模组 SPI 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 flash 自动暂停功能，请 联系我们。

[4] 环境温度指乐鑫模组外部的推荐环境温度。

[5] 更多关于模组尺寸的信息，请参考章节 10.1 模组尺寸.

[6] ESP32-C5-WROOM-1U 默认使用 ANT1，如需使用 ANT2，请联系我们。

两款模组采用的是 ESP32-C5* 芯片。ESP32-C5 芯片搭载 RISC-V 32 位单核处理器，工作频率高达 240 MHz。您可以关闭 CPU 的电源，利用低功耗协处理器监测外设的状态变化或某些模拟量是否超出阈值。

说明：

关于 ESP32-C5 的更多信息请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 。

1.3 应用

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

目录

1 模组概述 2
1.1 特性 2
1.2 型号对比 3
1.3 应用 4
2 功能框图 10
3 管脚定义 11
3.1 管脚布局 11
3.2 管脚描述 12
4 启动配置项 15
4.1 芯片启动模式控制 16
4.2 SDIO 输入采样沿和输出驱动沿控制 17
4.3 ROM 日志打印控制 17
4.4 JTAG 信号源控制 18
4.5 晶振频率选择 19
4.6 芯片上电和复位 19
5 外设 21
5.1 外设概述 21
5.2 外设描述 21
5.2.1 通讯接口 21
5.2.1.1 UART 控制器 21
5.2.1.2 SPI 控制器 22
5.2.1.3 I2C 控制器 22
5.2.1.4 I2S 控制器 23
5.2.1.5 USB 串口/JTAG 控制器 24
5.2.1.6 CAN FD 控制器 24
5.2.1.7 LED PWM 控制器 25
5.2.1.8 脉冲计数控制器 25
5.2.1.9 电机控制脉宽调制器 26
5.2.1.10 红外遥控 27
5.2.1.11 并行 IO 控制器 27
5.2.1.12 比特调节器 28
5.2.1.13 SDIO 从机控制器 29
5.2.2 模拟信号处理 29
5.2.2.1 温度传感器 30
5.2.2.2 ADC 控制器 30
5.2.2.3 模拟电压比较器 31
6 电气特性 32
6.1 绝对最大额定值 32

6.2 建议工作条件 32
6.3 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C) 32
6.4 功耗特性 33
6.4.1 Active 模式下的功耗 33
6.4.2 其他功耗模式下的功耗 35
6.5 存储器规格 35

7 射频特性 37
7.1 2.4 GHz Wi-Fi 射频 37
7.1.1 2.4 GHz Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性 37
7.1.2 2.4 GHz Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性 38
7.2 5 GHz Wi-Fi 射频 40
7.2.1 5 GHz Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性 40
7.2.2 5 GHz Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性 41
7.3 低功耗蓝牙射频 43
7.3.1 低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性 43
7.3.2 低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性 44
7.4 802.15.4 射频 46
7.4.1 802.15.4 射频发射器 (TX) 特性 47
7.4.2 802.15.4 射频接收器 (RX) 特性 47

8 模组原理图 48

9 外围设计原理图 50

10 尺寸规格 52
10.1 模组尺寸 52
10.2 外部天线连接器尺寸 53

11 PCB 布局建议 55
11.1 PCB 封装图形 55
11.2 PCB 设计中的模组位置摆放 56

12 产品处理 57
12.1 存储条件 57
12.2 静电放电 (ESD) 57
12.3 回流焊温度曲线 57
12.4 超声波振动 58

技术规格书版本号管理 59

相关文档和资源 60

修订历史 61

表格

1-1 ESP32-C5-WROOM-1（天线）系列型号对比[1] 3
1-2 ESP32-C5-WROOM-1U（连接器）[6] 系列型号对比 4
3-1 ESP32-C5-WROOM-1 管脚定义[1] 12
3-2 ESP32-C5-WROOM-1U 管脚定义 13
4-1 strapping 管脚默认配置 15
4-2 strapping 管脚的时序参数说明 16
4-3 芯片启动模式控制 17
4-4 SDIO 输入采样沿/输出驱动沿控制 17
4-5 UART0 ROM 日志打印控制 18
4-6 USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制 18
4-7 JTAG 信号源控制 19
4-8 晶振频率选择 19
4-9 上电和复位时序参数说明 20
6-1 绝对最大额定值 32
6-2 建议工作条件 32
6-3 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C) 32
6-4 Active 模式下 Wi-Fi (2.4 GHz) 功耗特性 33
6-5 Active 模式下 Wi-Fi (5 GHz) 功耗特性 33
6-6 Active 模式下低功耗蓝牙功耗特性 33
6-7 Active 模式下 802.15.4 功耗特性 34
6-8 Modem-sleep 模式下的功耗 35
6-9 低功耗模式下的功耗 35
6-10 Flash 规格 35
6-11 PSRAM 规格 36
7-1 2.4 GHz Wi-Fi 射频规格 37
7-2 2.4 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率 37
7-3 2.4 GHz 发射 EVM 测试[1] 37
7-4 2.4 GHz 接收灵敏度 38
7-5 2.4 GHz 最大接收电平 39
7-6 2.4 GHz 接收邻道抑制 39
7-7 5 GHz Wi-Fi 射频规格 40
7-8 5 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率 40
7-9 5 GHz 发射 EVM 测试[1] 40
7-10 5 GHz 接收灵敏度 41
7-11 5 GHz 最大接收电平 42
7-12 5 GHz 接收邻道抑制 42
7-13 低功耗蓝牙射频规格 43
7-14 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 1 Mbps 43
7-15 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 2 Mbps 43
7-16 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 125 Kbps 44
7-17 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 500 Kbps 44
7-18 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 1 Mbps 44
7-19 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 2 Mbps 45

7-20 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 125 Kbps 46
7-21 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 500 Kbps 46
7-22 802.15.4 射频规格 46
7-23 802.15.4 发射器特性 - 250 Kbps 47
7-24 802.15.4 接收器特性 - 250 Kbps 47

插图

2-1 ESP32-C5-WROOM-1 功能框图 10
2-2 ESP32-C5-WROOM-1U 功能框图 10
3-1 ESP32-C5-WROOM-1 管脚布局（顶视图） 11
3-2 ESP32-C5-WROOM-1U 管脚布局（顶视图） 12
4-1 strapping 管脚的时序参数图 16
4-2 上电和复位时序参数图 20
8-1 ESP32-C5-WROOM-1 原理图 48
8-2 ESP32-C5-WROOM-1U 原理图 49
9-1 ESP32-C5-WROOM-1 外围设计原理图 50
9-2 ESP32-C5-WROOM-1U 外围设计原理图 51
10-1 ESP32-C5-WROOM-1 模组尺寸 52
10-2 ESP32-C5-WROOM-1U 模组尺寸 52
10-3 外部天线连接器尺寸图 53
11-1 ESP32-C5-WROOM-1 推荐 PCB 封装图形 55
11-2 ESP32-C5-WROOM-1U 推荐 PCB 封装图形 56
12-1 回流焊温度曲线 57

2 功能框图

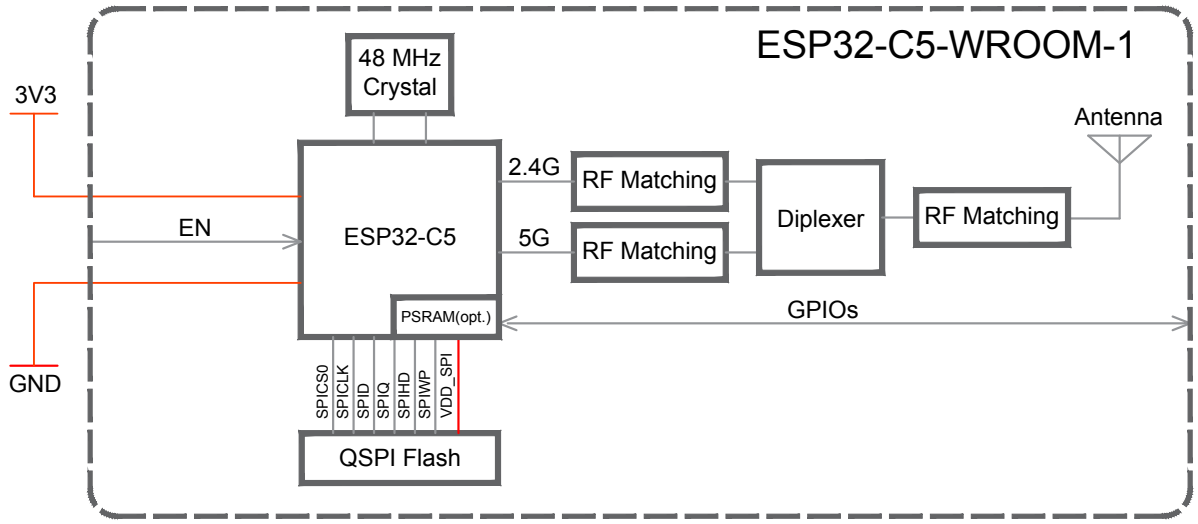

图 2-1. ESP32-C5-WROOM-1 功能框图

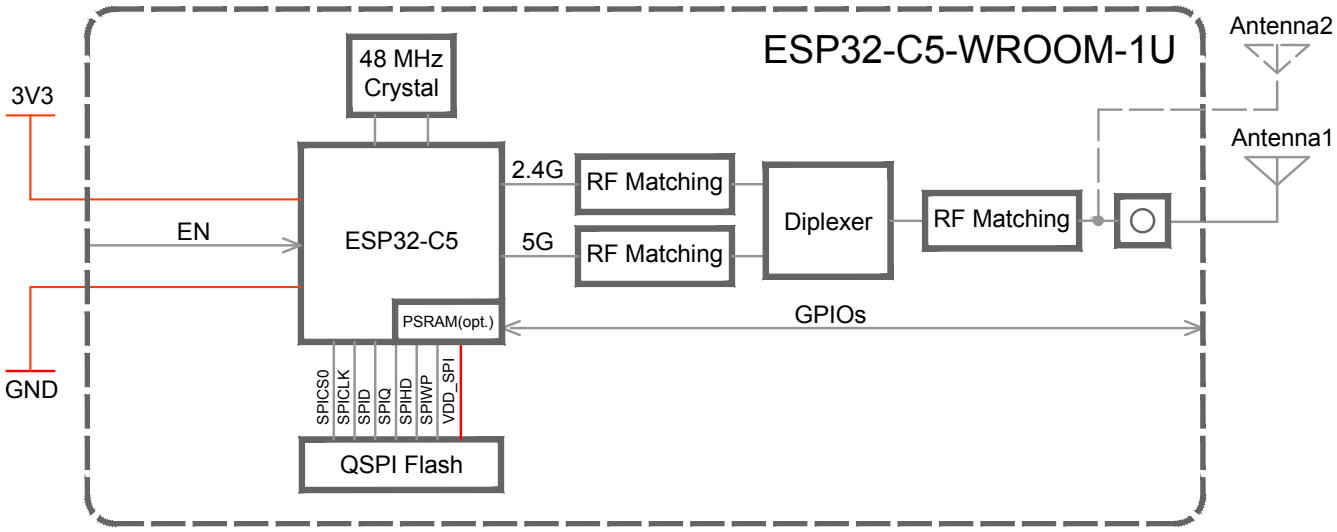

图 2-2. ESP32-C5-WROOM-1U 功能框图

说明：

关于芯片与封装内 flash/PSRAM 的管脚对应关系，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 表格 *芯片与 flash/PSRAM 的管脚对应关系*。

3 管脚定义

3.1 管脚布局

管脚布局图显示了模组上管脚的大致位置。按比例绘制的实际布局请参考章节 10.1 模组尺寸。

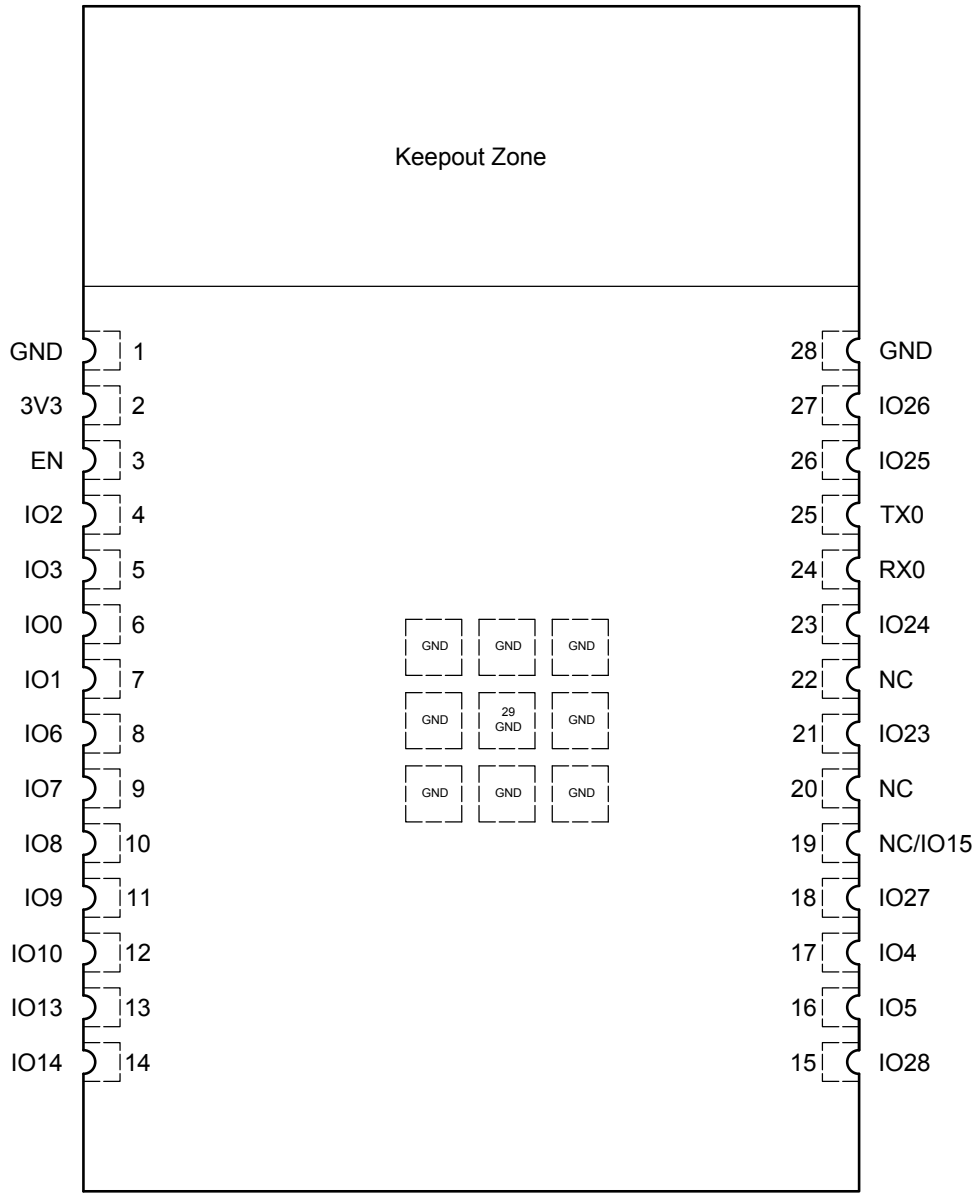

图 3-1. ESP32-C5-WROOM-1 管脚布局（顶视图）

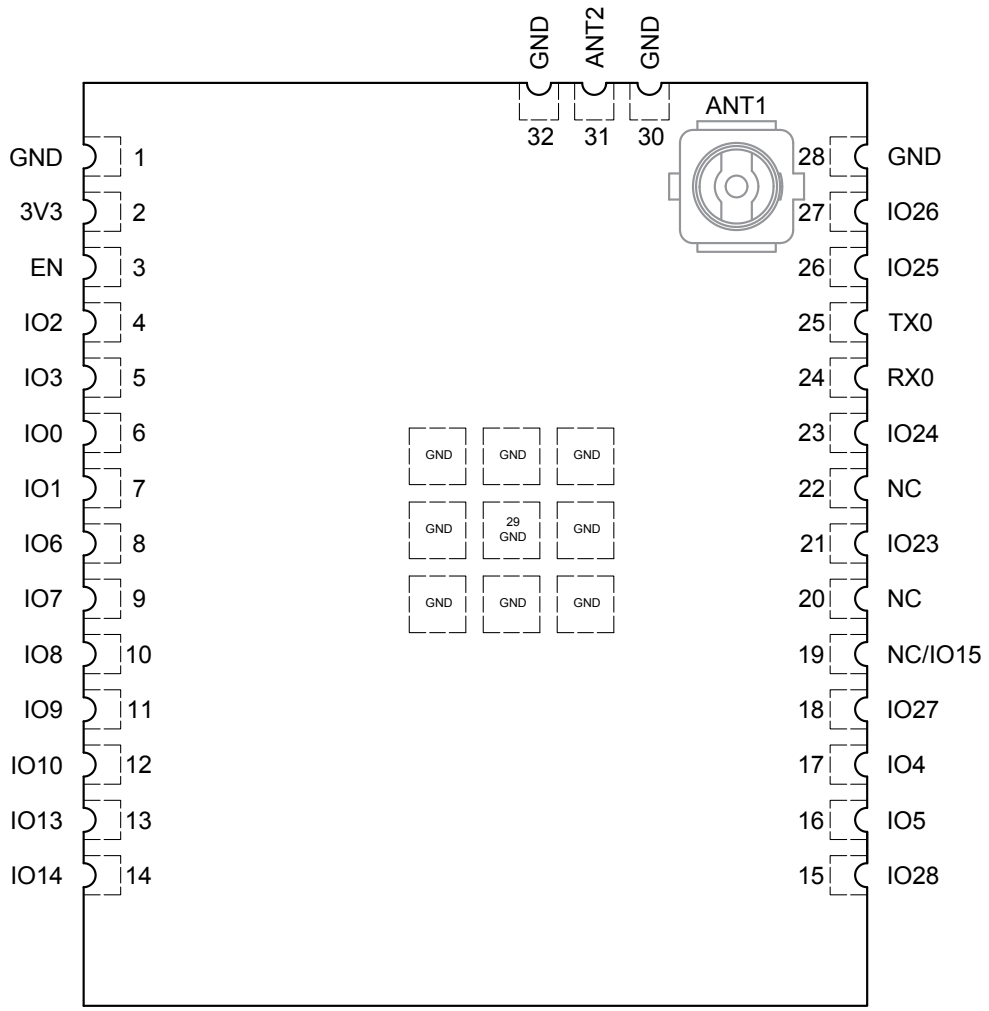

图 3-2. ESP32-C5-WROOM-1U 管脚布局（顶视图）

3.2 管脚描述

ESP32-C5-WROOM-1 模组共有 29 个管脚，ESP32-C5-WROOM-1U 模组共有 32 个管脚，具体描述参见表 3-1 *ESP32-C5-WROOM-1 管脚定义*[1] 和表 3-2 *ESP32-C5-WROOM-1U 管脚定义*。

外设管脚分配请参考章节 5.2 外设描述。

表 3-1. ESP32-C5-WROOM-1 管脚定义 [1]

名称	序号	类型[2]	功能
GND	1	P	接地
3V3	2	P	供电
EN	3	I	高电平：芯片使能； 低电平：芯片关闭； 注意不能让 EN 管脚浮空。
IO2	4	I/O/T	MTMS, GPIO2, LP_GPIO2, LP_UART_RTSN, LP_I2C_SDA, ADC1_CH1, FSPIQ
IO3	5	I/O/T	MTDI, GPIO3, LP_GPIO3, LP_UART_CTSN, LP_I2C_SCL, ADC1_CH2

见下页

表 3-1 – 接上页

名称	序号	类型[2]	功能
IO0	6	I/O/T	GPIO0, XTAL_32K_P, LP_GPIO0, LP_UART_DTRN
IO1	7	I/O/T	GPIO1, XTAL_32K_N, LP_GPIO1, LP_UART_DSRN, ADC1_CH0
IO6	8	I/O/T	GPIO6, LP_GPIO6, ADC1_CH5, FSPICLK
IO7	9	I/O/T	GPIO7, LP_GPIO7, FSPID, SDIO_DATA1
IO8	10	I/O/T	GPIO8, PAD_COMP0, SDIO_DATA0
IO9	11	I/O/T	GPIO9, PAD_COMP1, SDIO_CLK
IO10	12	I/O/T	GPIO10, FSPICS0, SDIO_CMD
IO13	13	I/O/T	GPIO13, USB_D-, SDIO_DATA3
IO14	14	I/O/T	GPIO14, USB_D+, SDIO_DATA2
IO28	15	I/O/T	GPIO28
IO5	16	I/O/T	MTDO, GPIO5, LP_GPIO5, LP_UART_TXD, ADC1_CH4, FSPIWP
IO4	17	I/O/T	MTCK, GPIO4, LP_GPIO4, LP_UART_RXD, ADC1_CH3, FSPIHD
IO27	18	I/O/T	GPIO27
NC/IO15	19	I/O/T	SPICS1, GPIO15[3]
NC	20	-	空管脚
IO23	21	I/O/T	GPIO23
NC	22	-	空管脚
IO24	23	I/O/T	GPIO24
RX0	24	I/O/T	U0RXD, GPIO12
TX0	25	I/O/T	U0TXD, GPIO11
IO25	26	I/O/T	GPIO25
IO26	27	I/O/T	GPIO26
GND	28	P	接地
EPAD	29	P	接地

[1] 本表格中注释 2、3 内容与表 3-2 一致。

表 3-2. ESP32-C5-WROOM-1U 管脚定义

名称	序号	类型[2]	功能
GND	1	P	接地
3V3	2	P	供电
EN	3	I	高电平：芯片使能； 低电平：芯片关闭； 注意不能让 EN 管脚浮空。
IO2	4	I/O/T	MTMS, GPIO2, LP_GPIO2, LP_UART_RTSN, LP_I2C_SDA, ADC1_CH1, FSPIQ
IO3	5	I/O/T	MTDI, GPIO3, LP_GPIO3, LP_UART_CTSN, LP_I2C_SCL, ADC1_CH2
IO0	6	I/O/T	GPIO0, XTAL_32K_P, LP_GPIO0, LP_UART_DTRN
IO1	7	I/O/T	GPIO1, XTAL_32K_N, LP_GPIO1, LP_UART_DSRN, ADC1_CH0
IO6	8	I/O/T	GPIO6, LP_GPIO6, ADC1_CH5, FSPICLK
IO7	9	I/O/T	GPIO7, FSPID, SDIO_DATA1

见下页

表 3-2 – 接上页

名称	序号	类型[2]	功能
IO8	10	I/O/T	GPIO8, PAD_COMP0, SDIO_DATA0
IO9	11	I/O/T	GPIO9, PAD_COMP1, SDIO_CLK
IO10	12	I/O/T	GPIO10, FSPICS0, SDIO_CMD
IO13	13	I/O/T	GPIO13, USB_D-, SDIO_DATA3
IO14	14	I/O/T	GPIO14, USB_D+, SDIO_DATA2
IO28	15	I/O/T	GPIO28
IO5	16	I/O/T	MTDO, GPIO5, LP_GPIO5, LP_UART_TXD, ADC1_CH4, FSPIWP
IO4	17	I/O/T	MTCK, GPIO4, LP_GPIO4, LP_UART_RXD, ADC1_CH3, FSPIHD
IO27	18	I/O/T	GPIO27
NC/IO15	19	I/O/T	SPICS1, GPIO15[3]
NC	20	-	空管脚
IO23	21	I/O/T	GPIO23
NC	22	-	空管脚
IO24	23	I/O/T	GPIO24
RX0	24	I/O/T	U0RXD, GPIO12
TX0	25	I/O/T	U0TXD, GPIO11
IO25	26	I/O/T	GPIO25
IO26	27	I/O/T	GPIO26
GND	28	P	接地
EPAD	29	P	接地
GND	30	P	接地
ANT2[4]	31	I/O	射频输入和输出
GND	32	P	接地

[2] P：电源；I：输入；O：输出；T：可设置为高阻。

[3] 在集成封装内 SPI PSRAM 的模组中，此管脚已用作 SPI PSRAM 的 SPICS1，不可再用于其他功能；在未集成封装内 SPI PSRAM 的模组中，此管脚可用作 GPIO15。

[4] 默认情况下，ESP32-C5-WROOM-1U 使用 ANT1，ANT2 处于禁用状态。如需使用 ANT2，请联系我们。

4 启动配置项

说明：

以下内容摘自《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》> 章节 *启动配置项*。芯片 Strapping 管脚与模组管脚的对应关系，可参考章节 8 模组原理图。

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：GPIO26、GPIO27 和 GPIO28
- **SDIO 输入采样沿和输出驱动沿控制**
  - Strapping 管脚：GPIO25 和 MTDI
- **ROM 代码日志打印**
  - Strapping 管脚：GPIO27
  - eFuse 参数：EFUSE_UART_PRINT_CONTROL 和 EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG_ROM_PRINT
- **JTAG 信号源**
  - Strapping 管脚：GPIO7
  - eFuse 参数：EFUSE_DIS_PAD_JTAG、EFUSE_DIS_USB_JTAG 和 EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE
- **晶振频率选择**
  - Strapping 管脚：MTMS （仅在 Joint Download Boot 模式下有效）
  - eFuse 参数：EFUSE_XTAL_48M_SEL 和 EFUSE_XTAL_48M_SEL_MODE

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-C5 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 4-1. strapping 管脚默认配置

strapping 管脚	默认配置	值
GPIO25	浮空	–
GPIO26	浮空	–
GPIO27	上拉	1
GPIO28	上拉	1
GPIO7	浮空	–
MTMS	浮空	–
MTDI	浮空	–

要改变 strapping 管脚的值，可以连接外部下拉/上拉电阻。

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，并可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-C5 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 4-2 和图 4-1 所示的 建立时间和 保持时间。

表 4-2. 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_PU 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_PU 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

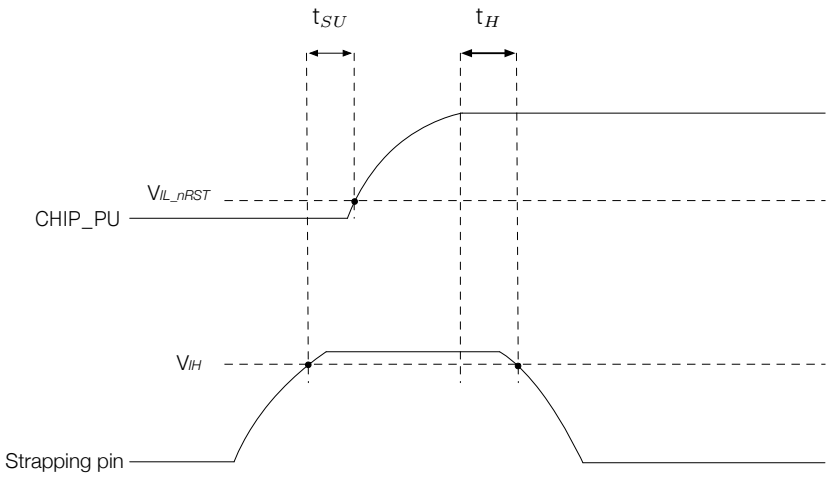

图 4-1. strapping 管脚的时序参数图

4.1 芯片启动模式控制

复位释放后，GPIO26、GPIO27 和 GPIO28 共同决定启动模式。详见表 4-3 芯片启动模式控制。

表 4-3. 芯片启动模式控制

启动模式	GPIO26	GPIO27	GPIO28
SPI Boot[1]	任意值	任意值	**1**[1]
Joint Download Boot 0[2]	任意值	1	0
Joint Download Boot 1[3]	0	0	0

[1] **加粗**表示默认值和默认配置。

[2] Joint Download Boot 0 模式下支持以下下载方式：

- USB-Serial-JTAG Download Boot
- UART Download Boot
- SPI Slave Download Boot（仅限芯片版本 v0.1）

[3] Joint Download Boot 1 模式下支持以下下载方式：

- UART Download Boot
- SDIO 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 0 模式下，用户可通过 UART0、USB 或 SPI Slave 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。

在 Joint Download Boot 1 模式下，用户可通过 UART0、SDIO 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。

4.2 SDIO 输入采样沿和输出驱动沿控制

GPIO25 和 MTDI 管脚可用于调节 SDIO 输入采样沿和输出驱动沿。详见表 4-4 SDIO 输入采样沿/输出驱动沿控制。

表 4-4. SDIO 输入采样沿/输出驱动沿控制

沿控制	GPIO25	MTDI
下降沿采样下降沿输出	0	0
下降沿采样上升沿输出	0	1
上升沿采样下降沿输出	1	0
上升沿采样上升沿输出	1	1

[1] GPIO25 和 MTDI 默认浮空，以上均非默认配置。

4.3 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）UART0 和 USB 串口/JTAG 控制器
- UART0
- USB 串口/JTAG 控制器

要将 ROM 日志打印至 **UART0** 或 **USB 串口/JTAG 控制器**，详见下文。

EFUSE_UART_PRINT_CONTROL 和 GPIO27 控制 ROM 日志打印至 **UART0**，如表 4-5 *UART0 ROM 日志打印控制* 所示。

表 4-5. UART0 ROM 日志打印控制

UART0 ROM 日志打印	Register[2]	eFuse[3]	GPIO27
启动过程中，ROM 代码日志始终打印至 UART0	0	**0(0b00)**	x[4]
启动过程中使能打印		1(0b01)	0
启动过程中关闭打印			1
启动过程中关闭打印		2(0b10)	0
启动过程中使能打印			1
启动过程中关闭打印		3(0b11)	x
启动过程中关闭打印	1	x	x

[1] **加粗**表示默认值和默认配置。
[2] 寄存器：LP_AON_STORE4_REG[0]
[3] eFuse: EFUSE_UART_PRINT_CONTROL
[4] x：x 表示该值被忽略，任何取值不影响该状态。

EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG_ROM_PRINT 控制 **USB 串口/JTAG 控制器** ROM 日志打印，如表 4-6 *USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制* 所示。

表 4-6. 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_ROM_PRINT
使能	0
关闭	1
	忽略

[1] **加粗**表示默认值和默认配置。

4.4 JTAG 信号源控制

在系统启动早期阶段，GPIO7 可用于控制 JTAG 信号源。该管脚没有内部上下拉电阻，strapping 的值必须由不处于高阻抗状态的外部电路控制。

如表 4-7 所示，GPIO7 与 EFUSE_DIS_PAD_JTAG、EFUSE_DIS_USB_JTAG 和 EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE 共同控制 JTAG 信号源。

表 4-7. JTAG 信号源控制

JTAG 信号源	eFuse 1[2]	eFuse 2[3]	eFuse 3[4]	GPIO7
USB 串口/JTAG 控制器[6]	**0**	**0**	**0**	x[5]
			1	1
JTAG 管脚 MTDI、MTCK、MTMS 和 MTDO				0
		x	x	x
		1		
USB 串口/JTAG 控制器[6]	1	0		
JTAG 关闭		x		
		1		

[1] **加粗**表示默认值和默认配置。
[2] eFuse 1：EFUSE_DIS_PAD_JTAG
[3] eFuse 2：EFUSE_DIS_USB_JTAG
[4] eFuse 3：EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE
[5] x：x 表示该值被忽略，任何取值不影响该状态。
[6] 在 Joint Download Boot 1 模式下，USB 串口/JTAG 控制器被强制关闭，JTAG 信号源只能来自 JTAG 管脚。如果 PAD_JTAG 也被禁用，则 JTAG 功能关闭。

4.5 晶振频率选择

ESP32-C5 可选 40 MHz 和 48 MHz 晶振频率。*启动模式* 与 MTMS、EFUSE_XTAL_48M_SEL 和 EFUSE_XTAL_48M_SEL_MODE 共同控制晶振频率。

表 4-8. 晶振频率选择

晶振频率	启动模式	eFuse 1[2]	eFuse 2[3]	MTMS
40 MHz	**SPI Boot**	x[4]	**偶数个 1**	x
48 MHz			奇数个 1	
40 MHz	Joint Download Boot 0/1	1	偶数个 1	
48 MHz			奇数个 1	
40 MHz		**0**	**x**	0[5]
48 MHz				1[5]

[1] **加粗**表示默认值和默认配置。
[2] eFuse 1：EFUSE_XTAL_48M_SEL_MODE
[3] eFuse 2：EFUSE_XTAL_48M_SEL
[4] x：x 表示该值被忽略，任何取值不影响该状态。
[5] 在 Joint Download Boot 0/1 模式下，用户需要指定 strapping 管脚 MTMS 的电平。

4.6 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_PU 拉高，激活芯片。更多关于 CHIP_PU 及上电和复位时序的信息，请见图 4-2 和表 4-9。

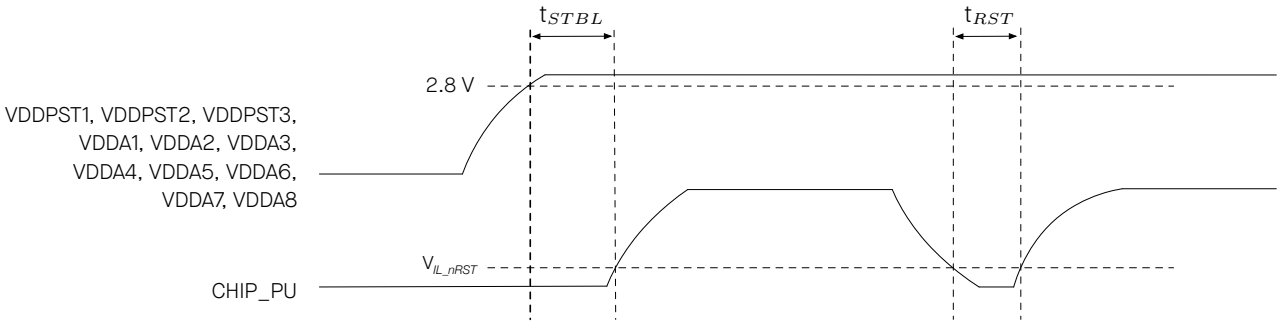

图 4-2. 上电和复位时序参数图

表 4-9. 上电和复位时序参数说明

参数	说明	最小值 (μs)
t_{STBL}	CHIP_PU 管脚拉高激活芯片前，VDDPST1、VDDPST2、VDDPST3、VDDA1、VDDA2、VDDA3、VDDA4、VDDA5、VDDA6、VDDA7 和 VDDA8 达到稳定所需的时间	50
t_{RST}	CHIP_PU 电平低于 V_{IL_nRST}（具体数值参考表 6-3）从而复位芯片的时间	50

5 外设

5.1 外设概述

ESP32-C5 集成了丰富的外设，包括 SPI、并行 IO、UART、I2C、I2S、RMT (TX/RX)、脉冲计数器、LED PWM、USB 串口/JTAG 控制器、MCPWM、CAN FD 控制器、SDIO 从机控制器、比特调节器、事件任务矩阵、ADC、温度传感器、欠压监测器、模拟电压比较器和多达 22 个 GPIO 等。

关于模组外设的详细信息，请参考《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 功能描述。

说明：

以下内容出自《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 外设。并非所有 IO 信号都在模组上引出，因此这些信息不完全适用于 ESP32-C5-WROOM-1 以及 ESP32-C5-WROOM-1U。

关于外设信号的更多信息，可参考《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 外设信号列表。

5.2 外设描述

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。

5.2.1 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。

5.2.1.1 UART 控制器

ESP32-C5 有三个 UART 接口，即 UART0，UART1 和 LP UART。三个 UART 均支持 CTS 和 RTS 信号的硬件流控以及软件流控（XON 和 XOFF）。

特性

- 可编程波特率，最高可达 5 MBaud
- RAM 由 TX FIFO 和 RX FIFO 共用
- 支持多种数据位和停止位的长度
- 支持奇偶校验位
- 特殊字符 AT_CMD 检测
- 支持 RS485 协议（不适用于 LP UART）
- 支持 IrDA 协议（不适用于 LP UART）
- 使用 GDMA 进行高速数据通信（不适用于 LP UART）
- 接收超时功能
- UART 作为唤醒源
- 软件和硬件流控

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *UART 控制器 (UART)*。

管脚分配

UART0 接口连接发送和接收信号 (U0TXD 和 U0RXD) 的管脚通过 IO MUX 与 GPIO11 和 GPIO12 复用。其他信号可以通过 GPIO 交换矩阵配置到任意 GPIO。

LP UART 的管脚通过 LP IO MUX 与 LP_GPIO0 ~ LP_GPIO5 复用。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵*和 *IO MUX*。

5.2.1.2 SPI 控制器

ESP32-C5 共有三个 SPI（SPI0、SPI1 和 SPI2）。SPI0 和 SPI1 可以配置成 SPI 存储器模式，SPI2 可以配置成通用 SPI 模式。

特性

- **SPI 存储器 (SPI Memory) 模式**

  SPI 存储器模式（SPI0 和 SPI1）用于连接 SPI 接口的外部存储器。SPI 存储器模式下数据传输长度以字节为单位，最高支持四线 STR 读写操作。时钟频率可配置，支持的最高时钟频率为 120 MHz。

- **SPI2 通用 SPI (GP-SPI) 模式**

  SPI2 既可以配置成主机模式，又可以配置成从机模式。主机模式和从机模式均支持双线全双工和单线、双线或四线半双工通信。通用 SPI 的主机时钟频率可配置，数据传输长度以字节为单位，时钟极性 (CPOL) 和相位 (CPHA) 可配置，可连接 GDMA 通道。

  - 在主机模式下，时钟频率最高为 80 MHz，支持 SPI 传输的四种时钟模式。
  - 在从机模式下，时钟频率最高为 40 MHz，也支持 SPI 传输的四种时钟模式。

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *SPI 控制器 (SPI)*。

管脚分配

SPI0/1 接口管脚通过 IO MUX 与 GPIO15 ~ GPIO18 和 GPIO20 ~ GPIO22 复用。

SPI2 接口连接数据和时钟信号的管脚通过 IO MUX 与 GPIO2 和 GPIO4 ~ GPIO7 复用，连接片选信号的管脚通过 IO MUX 与 GPIO10 管脚复用。SPI2 信号也可以通过 GPIO 交换矩阵配置到任意 GPIO。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵*和 *IO MUX*。

5.2.1.3 I2C 控制器

ESP32-C5 有一个 I2C 和一个 LP I2C 总线接口，根据您的配置，I2C 总线接口可以用作 I2C 主机或从机模式。LP I2C 总线接口固定用作 I2C 主机模式。

特性

- 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-C5 技术参考手册》 > 章节 *I2C 控制器 (I2C)*。

管脚分配

I2C 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

LP I2C 管脚通过 LP IO MUX 与 LP_GPIO2 和 LP_GPIO3 复用。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.1.4 I2S 控制器

ESP32-C5 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，支持 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 Philips、TDM MSB 对齐、TDM PCM 标准、PDM 标准以及 PCM 转 PDM TX 接口。

特性

- 支持主机模式和从机模式
- 支持全双工和半双工通信
- 支持 TX 模块和 RX 模块独立工作或同时工作
- 支持多种音频标准：
  - TDM Philips 标准
  - TDM MSB 对齐标准
  - TDM PCM 标准
  - PDM 标准
- 支持多种 TX/RX 模式
  - TDM TX 模式，最多支持 16 通道
  - TDM RX 模式，最多支持 16 通道
  - PDM TX 模式
    - 支持原始 PDM 数据发送
    - 支持将 PCM 数据转换为 PDM 数据发送，最多支持 2 通道
  - PDM RX 模式
    - 支持原始 PDM 数据接收
- 可配置时钟源，支持最高频率为 240 MHz

- 可配置高精度采样时钟，支持多种采样频率
- 支持 8/16/24/32 位的数据位宽
- TX 模式支持同步计数器
- 支持 ETM 功能
- 支持 GDMA
- 支持 I2S 接口中断

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *I2S 控制器 (I2S)*。

管脚分配

I2S 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.1.5 USB 串口/JTAG 控制器

ESP32-C5 中包含一个 USB 串口/JTAG 控制器，可用于烧录芯片的外部 flash、读取程序输出的数据以及将调试器连接到正在运行的程序中。任何带有 USB 主机的计算机都可以实现上述功能，无需其他外部组件辅助。

特性

- 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）
- 包含 CDC-ACM 虚拟串口及 JTAG 适配器功能
- 烧录芯片 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-C5 技术参考手册》 > 章节 *USB 串口/JTAG 控制器 (USB_SERIAL_JTAG)*。

管脚分配

USB 串口/JTAG 控制器管脚通过 IO MUX 与 GPIO13 ~ GPIO14 复用。GPIO13 ~ GPIO14 同样与 SDIO 从机控制器管脚复用，因此 USB 串口/JTAG 控制器与 SDIO 从机控制器无法同时使用。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.1.6 CAN FD 控制器

控制器局域网灵活数据速率 (CAN FD) 是一种为车载应用设计的多主机、多播通信协议。CAN FD 控制器用于芯片使用该协议的通信。

特性

- 兼容 ISO11898-1:2015 标准
- RX 缓冲 FIFO：32 ~ 4096 字（1 ~ 204 个 CAN FD 帧，64 字节数据）
- 2 ~ 8 个 TXT 缓冲区（每个可容纳 1 个 CAN FD 帧）
- 32 位从设备存储器接口（APB，AHB，RAM 类接口）
- 支持 ISO 和非 ISO CAN FD 协议
- 支持时间戳和基于时间的传输
- 支持中断
- 操作模式包括：回环模式、总线监视模式、禁止确认应答模式、自检模式、限制操作模式

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 控制器局域网灵活数据速率。

管脚分配

CAN FD 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵*和 *IO MUX*。

5.2.1.7 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。

特性

- 波形的周期和占空比可配置，占空比精确度可达 20 位
- 多种时钟源选择，包括 80 MHz PLL 时钟、外置主晶振时钟、内部快速 RC 振荡器时钟
- 可在低功耗模式 (Light-sleep mode) 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
- 每个 PWM 生成器包含 16 个占空比渐变区间，用于生成占空比伽玛曲线渐变的信号。每个区间都可以独立配置占空比变化方向（增加或减少）、变化步长、变化次数以及变化频率

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *LED PWM 控制器*。

管脚分配

LED PWM 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵*和 *IO MUX*。

5.2.1.8 脉冲计数控制器

ESP32-C5 的脉冲计数控制器 (PCNT) 通过七种模式捕捉脉冲并对脉冲边沿计数。

特性

- 四个脉冲计数控制器（单元），各自独立工作，计数范围是 1 ~ 65535
- 每个单元有两个独立的通道，共用一个脉冲计数控制器
- 所有通道均有输入脉冲信号（如 sig_ch0_u*n*）和相应的控制信号（如 ctrl_ch0_u*n*）
- 滤波器独立工作，过滤每个单元输入脉冲信号（sig_ch0_u*n* 和 sig_ch1_u*n*）控制信号（ctrl_ch0_u*n* 和 ctrl_ch1_u*n*）的毛刺
- 每个通道参数如下：
  1. 选择在输入脉冲信号的上升沿或下降沿计数
  2. 在控制信号为高电平或低电平时可将计数模式配置为递增、递减或停止计数
- 支持步长计数
- 最大脉冲频率：40 MHz

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 脉冲计数控制器。

管脚分配

脉冲计数控制器管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵* 和 *IO MUX*。

5.2.1.9 电机控制脉宽调制器

ESP32-C5 包含一个电机控制脉宽调制器 (MCPWM)，可以用于驱动数字马达和智能灯。

特性

- 包含一个时钟分频器（预分频器）、三个 PWM 定时器、三个 PWM 操作器和一个捕捉模块。PWM 定时器用于生成定时参考，PWM 操作器将根据定时参考生成所需的波形
- 任一 PWM 操作器可以使用任一 PWM 定时器的定时参考
- 不同 PWM 操作器可以使用相同 PWM 定时器的定时参考来产生 PWM 信号
- 不同 PWM 操作器可以使用不同 PWM 定时器的值来生成单独的 PWM 信号
- 不同 PWM 定时器可以进行同步

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *电机控制脉宽调制器 (MCPWM)*。

管脚分配

MCPWM 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵* 和 *IO MUX*。

5.2.1.10 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。

特性

- 共配置四个通道：
  - 0 ~ 1 通道支持发送
  - 2 ~ 3 通道支持接收
  - 四个通道共享 192 x 32 位的 RAM
- 发射器支持以下模式：
  - 普通发送模式
  - 乒乓发送模式
  - 载波调制
  - 持续发送模式
  - 多通道同时发送
- 接收器支持以下模式：
  - 普通接收模式
  - 乒乓接收模式
  - 接收滤波
  - 载波解调

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *红外遥控 (RMT)*。

管脚分配

RMT 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.1.11 并行 IO 控制器

ESP32-C5 带有一个 PARLIO 控制器，该外设用于传输并行数据，包含接受和发送两个模块，并连接 GDMA 控制器。全双工模式下最多支持 4 位宽并行数据的接收和发送，半双工模式下最多支持 8 位宽并行数据的接收或者发送。

特性

- 支持多种时钟源选择以及时钟分频，最大时钟频率为 40 MHz
- 接收/发送模块支持对输入时钟和输出时钟分别取反
- 支持 1/2/4/8 位宽的数据接收/发送

- 支持 1/2/4 位宽模式下的接收/发送数据比特采集顺序转换
- 接收模块支持多种接收数据采集模式
- 接收模块支持多种 GDMA EOF 信号生成模式
- 支持对外输出片选信号且该信号的延迟周期可配置
- 支持门控发送时钟

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *并行 IO 控制器*。

管脚分配

PARLIO 管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.1.12 比特调节器

ESP32-C5 中有大量支持 DMA（直接存储器访问）的外设，它们可以在 CPU 不参与的情况下将数据从存储器传输到外设或从外设传输到存储器，但这需要外设传输的数据格式与软件支持的数据格式相同，如果格式不同，则需要 CPU 重写数据格式，如交换字节、反转字节和左右移位数据。

由于位操作通常相当耗费 CPU 资源，而设计 DMA 的初衷是在传输过程中避免使用 CPU，因此 ESP32-C5 集成了一个比特调节器 (BitScrambler)，专门用于修改存储器和外设之间传输数据的格式，其中一个 RX 通道用于外设到存储器方向的传输，另一个 TX 通道用于存储器到外设方向的传输。除此之外，比特调节器还是一个灵活的可编程状态机，能够执行更高级的操作。

特性

- 一个比特调节器，具有一个 RX 通道（外设到存储器）和一个 TX 通道（存储器到外设）。RX 和 TX 通道为半双工模式，且不可以同时工作
- 支持存储器到存储器的传输
- 每个 DMA 时钟周期最多可处理 32 位数据
- 数据路径由存储在指令存储器中的比特调节器程序控制
- 输入寄存器每个时钟周期可读取 0、8、16 或 32 位
- 输出寄存器：
  - 每个时钟周期可写入 0、8、16 或 32 位
  - 输出寄存器位的数据源：64 位输入数据、两个计数器、LUT RAM 数据、上个周期的数据输出、比较器
  - 32 位输出寄存器位中的每一位可以来自数据源的任意位
- 8 x 257 位指令存储器，用于存储八条指令，配置控制流和数据路径
- 2048 字节查找表 (LUT) 存储器，可配置为不同的字宽

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *比特调节器*。

管脚分配

比特调节器无需直接与 IO 进行交互，因此无需分配管脚。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.1.13 SDIO 从机控制器

ESP32-C5 芯片中的 SDIO 从机控制器提供了对安全数字输入/输出 (SDIO) 设备接口的硬件支持，允许 SDIO 主机通过 SDIO 总线协议访问 ESP32-C5。

特性

- 符合 SDIO 物理层规范 V2.00 和 SDIO 规范 V2.00
- 支持 SPI、1-bit SDIO 和 4-bit SDIO 传输模式
- 0 ~ 50 MHz 时钟范围
- 采样时钟沿或驱动时钟沿可配置
- 为信息交互设定的特定寄存器
- 支持 SDIO 中断机制
- 支持自动填充 SDIO 总线上的发送数据，同样支持自动丢弃 SDIO 总线上的填充数据
- 高达 512 字节的块大小
- 主机与从机 (slave) 间有中断向量可以相互中断对方
- 带有数据传输的 DMA
- 支持在保持连接的状态下进行休眠唤醒

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *SDIO 从机控制器 (SDIO)*。

管脚分配

SDIO 从机控制器管脚通过 IO MUX 与 GPIO7 ~ GPIO10、GPIO13 和 GPIO14 复用。其中 GPIO13 ~ GPIO14 与 USB 串口/JTAG 控制器管脚复用，因此 USB 串口/JTAG 控制器与 SDIO 从机控制器无法同时使用。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

> **说明：**
> 芯片版本 v1.0 支持该外设，v0.1 暂不可用。

5.2.2 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。

5.2.2.1 温度传感器

ESP32-C5 搭载了一个温度传感器，用于实时测量芯片内部温度。温度传感器可将输出的电压转换成数字值，并且带有补偿温度偏移的功能。

特性

- 支持软件触发测量温度，且一旦触发后，传感器可持续测量温度，软件可实时读取数据
- 支持硬件触发自动监测温度
- 支持两种自动监测模式且发送中断
- 支持根据使用环境配置温度偏移，提高测试精度
- 温度测量范围可配置
- 支持多个事件任务矩阵 (ETM) 相关的事件和任务

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *温度传感器*。

5.2.2.2 ADC 控制器

ESP32-C5 搭载了一个 12 位逐次逼近型模拟数字转换器 (SAR ADC)，用于测量最多来自 6 个管脚上的模拟信号。

特性

- 12 位分辨率
- 支持采集最多 6 个管脚上的模拟信号
- 支持单次采样模式和多通道采样模式
- 在多通道采样模式下，支持：
  - 自定义采样通道顺序
  - 两个滤波器，滤波系数可配
  - 阈值监控，滤波后数据大于设置的高阈值或小于设置的低阈值将产生中断
  - GDMA 连续数据搬运
- 支持多个事件任务矩阵 (ETM) 相关的事件和任务

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *ADC 控制器*。

管脚分配

ADC 控制器管脚与 GPIO1 ~ GPIO6 复用。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵和 IO MUX*。

5.2.2.3 模拟电压比较器

ESP32-C5 提供了一个模拟电压比较器，包含两个特殊芯片焊盘 (PAD)，可用于比较两个 PAD 的电压大小关系，也可以使用其中一个 PAD 与内部可调节的稳定电压进行比较。

特性

- 参考电压可选择内部参考电压或者外部参考电压
- 内部参考电压支持 0 ~ 0.7 * VDD_PST
- 支持 ETM
- 待测电压经过参考电压时，输出中断

更多信息，请参考 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 模拟电压比较器。

管脚分配

模拟电压比较器是专用的 PAD，仅 GPIO8 和 GPIO9 支持，其中 GPIO9 为待测管脚，GPIO8 在使用外部参考电压时为参考管脚。

更多关于管脚分配的信息，请参考 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 > 章节 *IO 管脚* 和 《ESP32-C5 技术参考手册》 > 章节 *GPIO 交换矩阵*和 *IO MUX*。

6 电气特性

本章节提供的电气特性数据暂供参考，在之后发布的版本中可能会更新。

6.1 绝对最大额定值

超出表 6-1 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表 6-2 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模组的可靠性。

表 6-1. 绝对最大额定值

符号	参数	最小值	最大值	单位
VDD33	电源管脚电压	–0.3	3.6	V
T_{STORE}	存储温度	–40	105	°C

6.2 建议工作条件

表 6-2. 建议工作条件

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
VDD33	电源管脚电压	3.0	3.3	3.6	V
I_{VDD}	外部电源的供电电流	0.5	—	—	A
T_A	工作环境温度	–40	—	85	°C

6.3 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)

表 6-3. 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 × VDD [1]	—	VDD [1] + 0.3	V
V_{IL}	低电平输入电压	–0.3	—	0.25 × 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 × VDD [1]	—	—	V
V_{OL} [2]	低电平输出电压	—	—	0.1 × VDD [1]	V
I_{OH}	高电平拉电流 (VDD [1] = 3.3 V, V_{OH} >= 2.64 V, PAD_DRIVER = 3)	—	40	—	mA
I_{OL}	低电平灌电流 (VDD [1] = 3.3 V, V_{OL} = 0.495 V, 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_PU 应满足电压范围）	0.75 × VDD [1]	—	VDD [1] + 0.3	V

V_{IL_nRST}	芯片复位电压（CHIP_PU 应满足电压范围）	–0.3	—	0.25 × VDD [1]	V

[1] VDD – 各个电源域电源管脚的电压。

[2] V_{OH} 和 V_{OL} 为负载是高阻条件下的测试值。

6.4 功耗特性

6.4.1 Active 模式下的功耗

下列功耗数据是基于 3.3 V 供电电源、25 °C 环境温度的条件下测得。

所有发射功耗数据均基于 100% 占空比测得。

所有接收功耗数据均是在外设关闭、CPU 空闲的条件下测得。

表 6-4. Active 模式下 Wi-Fi (2.4 GHz) 功耗特性

工作模式	射频模式	描述	峰值 (mA)
Active (射频工作)	发射（TX）	802.11b, 1 Mbps, DSSS @ 19dBm	337
		802.11g, 54 Mbps, OFDM @ 15.7dBm	272
		802.11n, HT20, MCS7 @ 15.9dBm	272
		802.11n, HT40, MCS7 @ 15dBm	265
		802.11ax, MCS9 @ 14dBm	249
	接收（RX）	802.11b/g/n, HT20	94
		802.11n, HT40	102
		802.11ax, HE20	94

表 6-5. Active 模式下 Wi-Fi (5 GHz) 功耗特性

工作模式	射频模式	描述	峰值 (mA)
Active (射频工作)	发射（TX）	802.11a, 6 Mbps, OFDM @ 17.5dBm	397
		802.11n, HT20, MCS7 @ 14.6dBm	364
		802.11n, HT40, MCS7 @ 14.4dBm	361
		802.11ac, VHT20, MCS7 @ 14.4dBm	364
		802.11ax, HE20, MCS7 @ 14.4dBm	365
	接收（RX）	802.11a/n, HT20	121
		802.11n, HT40	128
		802.11ac, VHT20	120
		802.11ax, HE20	122

表 6-6. Active 模式下低功耗蓝牙功耗特性

工作模式	射频模式	描述	峰值 (mA)
Active (射频工作)	发射（TX）	低功耗蓝牙 @ 19.7dBm	364
		低功耗蓝牙 @ 7dBm	205
		低功耗蓝牙 @ 0.5dBm	171

见下页

表 6-6 – 接上页

工作模式	射频模式	描述	峰值 (mA)
		低功耗蓝牙 @ –16.7dBm	105
	接收（RX）	低功耗蓝牙	85

表 6-7. Active 模式下 802.15.4 功耗特性

工作模式	射频模式	描述	峰值 (mA)
Active (射频工作)	发射（TX）	802.15.4 @ 19.5dBm	360
		802.15.4 @ 6.8dBm	206
		802.15.4 @ 0dBm	180
		802.15.4 @ –17dBm	105
	接收（RX）	802.15.4	85

说明：
以下内容摘自 《ESP32-C5 系列芯片技术规格书》 的 其他功耗模式下的功耗章节。

6.4.2 其他功耗模式下的功耗

表 6-8. Modem-sleep 模式下的功耗

模式	CPU 频率 (MHz)	描述	典型值 (mA)	
			外设时钟全关	外设时钟全开[1]
Modem-sleep[2,3]	240	WAITI	18	27
		CPU 循环计算	26	35
		Run CoreMark	34	43
	160	WAITI	15	27
		CPU 循环计算	20	32
		Run CoreMark	26	37
	80	WAITI	12	24
		CPU 循环计算	15	26
		Run CoreMark	18	29
	40	WAITI	8	18
		CPU 循环计算	10	19
		Run CoreMark	12	21

[1] 实际情况下，外设在不同工作状态下电流会有所差异。
[2] Modem sleep 模式下，Wi-Fi 设有时钟门控。
[3] Modem-sleep 模式下，访问 flash 时功耗会增加。

表 6-9. 低功耗模式下的功耗

工作模式	说明	典型值 (mA)
Light-sleep	CPU、无线通讯模块电源关闭，外设时钟关闭，所有 GPIO 设置为高阻抗状态	0.25
	CPU 、无线通讯模块、外设电源关闭，所有 GPIO 设置为高阻抗状态	0.06
Deep-sleep	RTC 定时器和 LP 存储器上电	0.012
关闭	CHIP_PU 管脚拉低，芯片关闭	0.002

6.5 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。

表 6-10. Flash 规格

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
VCC	电源电压 (1.8 V)	1.65	1.80	2.00	V

见下页

表 6-10 – 接上页

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
	电源电压 (3.3 V)	2.7	3.3	3.6	V
F_C	最大时钟频率	80	—	—	MHz
—	编程/擦除周期	100,000	—	—	次
T_{RET}	数据保留时间	20	—	—	年
T_{PP}	页编程时间	—	0.8	5	ms
T_{SE}	扇区擦除时间 (4 KB)	—	70	500	ms
T_{BE1}	块擦除时间 (32 KB)	—	0.2	2	s
T_{BE2}	块擦除时间 (64 KB)	—	0.3	3	s
T_{CE}	芯片擦除时间 (16 Mb)	—	7	20	s
	芯片擦除时间 (32 Mb)	—	20	60	s
	芯片擦除时间 (64 Mb)	—	25	100	s
	芯片擦除时间 (128 Mb)	—	60	200	s
	芯片擦除时间 (256 Mb)	—	70	300	s

表 6-11. PSRAM 规格

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
VCC	电源电压 (1.8 V)	1.62	1.80	1.98	V
	电源电压 (3.3 V)	2.7	3.3	3.6	V
F_C	最大时钟频率	80	—	—	MHz

7 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。带有外部天线连接器的受测模组所使用的外部天线具有 50 Ω 阻抗。
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 (±5%) 供电电源、25 °C 环境温度的条件下完成。

7.1 2.4 GHz Wi-Fi 射频

表 7-1. 2.4 GHz Wi-Fi 射频规格

名称	描述
工作信道中心频率范围	2412 ~ 2484 MHz
无线标准	IEEE 802.11b/g/n/ax

7.1.1 2.4 GHz Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性

表 7-2. 2.4 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11b, 1 Mbps, DSSS	—	19.5	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	19.5	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	18.5	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	16.5	—
802.11n, HT20, MCS0	—	18.5	—
802.11n, HT20, MCS7	—	16.5	—
802.11n, HT40, MCS0	—	17.5	—
802.11n, HT40, MCS7	—	15.5	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	18.5	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	14.5	—

表 7-3. 2.4 GHz 发射 EVM 测试[1]

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	标准限值 (dB)
802.11b, 1 Mbps, DSSS	—	–25.0	–10.0
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	–25.0	–10.0
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	–25.0	–5.0
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	–30.0	–25.0
802.11n, HT20, MCS0	—	–25.0	–5.0

见下页

表 7-3 – 接上页

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	标准限值 (dB)
802.11n, HT20, MCS7	—	–31.5	–27.0
802.11n, HT40, MCS0	—	–25.0	–5.0
802.11n, HT40, MCS7	—	–31.5	–27.0
802.11ax, HE20, MCS0	—	–25.0	–5.0
802.11ax, HE20, MCS9	—	–34.5	–32.0

[1] 发射 EVM 的每个测试项对应的发射功率为表 *7-2 2.4 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率* 中提供的典型值。

7.1.2 2.4 GHz Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性

802.11b 标准下的误包率 (PER) 不超过 8%，802.11g/n/ax 标准下不超过 10%。

表 7-4. 2.4 GHz 接收灵敏度

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11b, 1 Mbps, DSSS	—	–100.0	—
802.11b, 2 Mbps, DSSS	—	–97.0	—
802.11b, 5.5 Mbps, CCK	—	–94.0	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	–90.0	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	–95.0	—
802.11g, 9 Mbps, OFDM	—	–93.0	—
802.11g, 12 Mbps, OFDM	—	–92.0	—
802.11g, 18 Mbps, OFDM	—	–90.0	—
802.11g, 24 Mbps, OFDM	—	–87.0	—
802.11g, 36 Mbps, OFDM	—	–84.0	—
802.11g, 48 Mbps, OFDM	—	–80.0	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	–78.0	—
802.11n, HT20, MCS0	—	–94.5	—
802.11n, HT20, MCS1	—	–93.0	—
802.11n, HT20, MCS2	—	–90.0	—
802.11n, HT20, MCS3	—	–87.0	—
802.11n, HT20, MCS4	—	–83.5	—
802.11n, HT20, MCS5	—	–79.0	—
802.11n, HT20, MCS6	—	–77.0	—
802.11n, HT20, MCS7	—	–76.0	—
802.11n, HT40, MCS0	—	–92.0	—
802.11n, HT40, MCS1	—	–90.0	—
802.11n, HT40, MCS2	—	–87.0	—
802.11n, HT40, MCS3	—	–83.0	—
802.11n, HT40, MCS4	—	–81.0	—

见下页

表 7-4 – 接上页

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11n, HT40, MCS5	—	–76.0	—
802.11n, HT40, MCS6	—	–74.0	—
802.11n, HT40, MCS7	—	–73.0	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	–94.5	—
802.11ax, HE20, MCS1	—	–91.5	—
802.11ax, HE20, MCS2	—	–89.0	—
802.11ax, HE20, MCS3	—	–86.0	—
802.11ax, HE20, MCS4	—	–83.0	—
802.11ax, HE20, MCS5	—	–79.0	—
802.11ax, HE20, MCS6	—	–77.5	—
802.11ax, HE20, MCS7	—	–75.5	—
802.11ax, HE20, MCS8	—	–71.5	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	–69.5	—

表 7-5. 2.4 GHz 最大接收电平

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11b, 1 Mbps, DSSS	—	5	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	5	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	5	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	0	—
802.11n, HT20, MCS0	—	5	—
802.11n, HT20, MCS7	—	0	—
802.11n, HT40, MCS0	—	5	—
802.11n, HT40, MCS7	—	0	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	5	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	0	—

表 7-6. 2.4 GHz 接收邻道抑制

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	最大值 (dB)
802.11b, 1 Mbps, DSSS	—	41	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	40	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	37	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	17	—
802.11n, HT20, MCS0	—	34	—
802.11n, HT20, MCS7	—	16	—
802.11n, HT40, MCS0	—	24	—

见下页

表 7-6 – 接上页

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	最大值 (dB)
802.11n, HT40, MCS7	—	13	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	38	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	12	—

7.2 5 GHz Wi-Fi 射频

表 7-7. 5 GHz Wi-Fi 射频规格

名称	描述
工作信道中心频率范围	5180 ~ 5885 MHz
无线标准	IEEE 802.11a/n/ac/ax

7.2.1 5 GHz Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性

表 7-8. 5 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11a, 6 Mbps, OFDM	—	18.5	—
802.11a, 54 Mbps, OFDM	—	16.5	—
802.11n, HT20, MCS0	—	18.5	—
802.11n, HT20, MCS7	—	15.5	—
802.11n, HT40, MCS0	—	17.5	—
802.11n, HT40, MCS7	—	14.5	—
802.11ac, VHT20, MCS0	—	18.5	—
802.11ac, VHT20, MCS7	—	15.5	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	18.5	—
802.11ax, HE20, MCS7	—	15.5	—

表 7-9. 5 GHz 发射 EVM 测试[1]

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	标准限值 (dB)
802.11a, 6 Mbps, OFDM	—	–25.0	–5.0
802.11a, 54 Mbps, OFDM	—	–29.0	–25.0
802.11n, HT20, MCS0	—	–25.0	–5.0
802.11n, HT20, MCS7	—	–31.0	–27.0
802.11n, HT40, MCS0	—	–25.0	–5.0
802.11n, HT40, MCS7	—	–31.0	–27.0
802.11ac, VHT20, MCS0	—	–25.0	–5.0

见下页

表 7-9 – 接上页

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	标准限值 (dB)
802.11ac, VHT20, MCS7	—	–31.0	–27.0
802.11ax, HE20, MCS0	—	–25.0	–5.0
802.11ax, HE20, MCS7	—	–31.5	–27.0

[1] 发射 EVM 的每个测试项对应的发射功率为表 7-8 *5 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率* 中提供的典型值。

7.2.2 5 GHz Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性

802.11a/n/ac/ax 标准下的误包率 (PER) 不超过 10%。

表 7-10. 5 GHz 接收灵敏度

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11a, 6 Mbps, OFDM	—	–94.5	—
802.11a, 9 Mbps, OFDM	—	–93.0	—
802.11a, 12 Mbps, OFDM	—	–91.5	—
802.11a, 18 Mbps, OFDM	—	–89.5	—
802.11a, 24 Mbps, OFDM	—	–86.5	—
802.11a, 36 Mbps, OFDM	—	–83.5	—
802.11a, 48 Mbps, OFDM	—	–78.5	—
802.11a, 54 Mbps, OFDM	—	–76.5	—
802.11n, HT20, MCS0	—	–94.0	—
802.11n, HT20, MCS1	—	–92.5	—
802.11n, HT20, MCS2	—	–89.5	—
802.11n, HT20, MCS3	—	–86.5	—
802.11n, HT20, MCS4	—	–82.5	—
802.11n, HT20, MCS5	—	–78.5	—
802.11n, HT20, MCS6	—	–77.0	—
802.11n, HT20, MCS7	—	–75.5	—
802.11n, HT40, MCS0	—	–91.5	—
802.11n, HT40, MCS1	—	–89.5	—
802.11n, HT40, MCS2	—	–86.5	—
802.11n, HT40, MCS3	—	–83.5	—
802.11n, HT40, MCS4	—	–80.5	—
802.11n, HT40, MCS5	—	–75.5	—
802.11n, HT40, MCS6	—	–73.5	—
802.11n, HT40, MCS7	—	–72.5	—
802.11ac, VHT20, MCS0	—	–94.5	—
802.11ac, VHT20, MCS1	—	–92.5	—
802.11ac, VHT20, MCS2	—	–89.5	—

见下页

表 7-10 – 接上页

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11ac, VHT20, MCS3	—	–86.5	—
802.11ac, VHT20, MCS4	—	–83.0	—
802.11ac, VHT20, MCS5	—	–78.5	—
802.11ac, VHT20, MCS6	—	–77.0	—
802.11ac, VHT20, MCS7	—	–75.5	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	–94.0	—
802.11ax, HE20, MCS1	—	–91.0	—
802.11ax, HE20, MCS2	—	–88.0	—
802.11ax, HE20, MCS3	—	–85.5	—
802.11ax, HE20, MCS4	—	–82.0	—
802.11ax, HE20, MCS5	—	–78.5	—
802.11ax, HE20, MCS6	—	–77.0	—
802.11ax, HE20, MCS7	—	–74.5	—

表 7-11. 5 GHz 最大接收电平

速率	最小值 (dBm)	典型值 (dBm)	最大值 (dBm)
802.11a, 6 Mbps, OFDM	—	5	—
802.11a, 54 Mbps, OFDM	—	0	—
802.11n, HT20, MCS0	—	5	—
802.11n, HT20, MCS7	—	0	—
802.11n, HT40, MCS0	—	5	—
802.11n, HT40, MCS7	—	0	—
802.11ac, VHT20, MCS0	—	5	—
802.11ac, VHT20, MCS7	—	0	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	5	—
802.11ax, HE20, MCS7	—	0	—

表 7-12. 5 GHz 接收邻道抑制

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	最大值 (dB)
802.11a, 6 Mbps, OFDM	—	29	—
802.11a, 54 Mbps, OFDM	—	9	—
802.11n, HT20, MCS0	—	26	—
802.11n, HT20, MCS7	—	8	—
802.11n, HT40, MCS0	—	29	—
802.11n, HT40, MCS7	—	11	—
802.11ac, VHT20, MCS0	—	25	—

见下页

表 7-12 – 接上页

速率	最小值 (dB)	典型值 (dB)	最大值 (dB)
802.11ac, VHT20, MCS7	—	6	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	25	—
802.11ax, HE20, MCS7	—	6	—

7.3 低功耗蓝牙射频

表 7-13. 低功耗蓝牙射频规格

名称	描述
工作信道中心频率范围	2402 ~ 2480 MHz
射频发射功率范围	–15~20 dBm

7.3.1 低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性

表 7-14. 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 1 Mbps

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
载波频率偏移和漂移	Max. $\lvert f_n \rvert_{n=0,\,1,\,2,\,3,\,\ldots k}$	—	7.0	—	kHz
	Max. $\lvert f_0 - f_n \rvert_{n=2,\,3,\,4,\,\ldots k}$	—	0.6	—	kHz
	Max. $\lvert f_n - f_{n-5} \rvert_{n=6,\,7,\,8,\,\ldots k}$	—	0.6	—	kHz
	$\lvert f_1 - f_0 \rvert$	—	0.3	—	kHz
调制特性	$\Delta\, F1_{avg}$	—	250.0	—	kHz
	Min. $\Delta\, F2_{max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta\, F2_{max}$)	—	255.0	—	kHz
	$\Delta\, F2_{avg} / \Delta\, F1_{avg}$	—	0.98	—	—
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	–33	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	–40	—	dBm
	> ± 3 MHz 偏移	—	–45	—	dBm

表 7-15. 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 2 Mbps

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
载波频率偏移和漂移	Max. $\lvert f_n \rvert_{n=0,\,1,\,2,\,3,\,\ldots k}$	—	7.0	—	kHz
	Max. $\lvert f_0 - f_n \rvert_{n=2,\,3,\,4,\,\ldots k}$	—	0.6	—	kHz
	Max. $\lvert f_n - f_{n-5} \rvert_{n=6,\,7,\,8,\,\ldots k}$	—	0.7	—	kHz
	$\lvert f_1 - f_0 \rvert$	—	0.3	—	kHz
调制特性	$\Delta\, F1_{avg}$	—	495.1	—	kHz
	Min. $\Delta\, F2_{max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta\, F2_{max}$)	—	515.0	—	kHz
	$\Delta\, F2_{avg} / \Delta\, F1_{avg}$	—	0.99	—	—

见下页

表 7-15 – 接上页

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
带内发射	± 4 MHz 偏移	—	–43	—	dBm
	± 5 MHz 偏移	—	–45	—	dBm
	> ± 5 MHz 偏移	—	–45	—	dBm

表 7-16. 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 125 Kbps

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
载波频率偏移和漂移	Max. $\lvert f_n \rvert_{n=0,\,1,\,2,\,3,\,\ldots k}$	—	7.0	—	kHz
	Max. $\lvert f_0 - f_n \rvert_{n=1,\,2,\,3,\,\ldots k}$	—	0.3	—	kHz
	$\lvert f_0 - f_3 \rvert$	—	0.3	—	kHz
	Max. $\lvert f_n - f_{n-3} \rvert_{n=7,\,8,\,9,\,\ldots k}$	—	0.4	—	kHz
调制特性	$\Delta F1_{avg}$	—	251.2	—	kHz
	Min. $\Delta F1_{max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F1_{max}$)	—	256.7	—	kHz
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	–31	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	–40	—	dBm
	> ± 3 MHz 偏移	—	–43	—	dBm

表 7-17. 低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 500 Kbps

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
载波频率偏移和漂移	Max. $\lvert f_n \rvert_{n=0,\,1,\,2,\,3,\,\ldots k}$	—	7.0	—	kHz
	Max. $\lvert f_0 - f_n \rvert_{n=1,\,2,\,3,\,\ldots k}$	—	0.5	—	kHz
	$\lvert f_0 - f_3 \rvert$	—	0.2	—	kHz
	Max. $\lvert f_n - f_{n-3} \rvert_{n=7,\,8,\,9,\,\ldots k}$	—	0.5	—	kHz
调制特性	$\Delta F2_{avg}$	—	246.3	—	kHz
	Min. $\Delta F2_{max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F2_{max}$)	—	253.3	—	kHz
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	–31	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	–40	—	dBm
	> ± 3 MHz 偏移	—	–43	—	dBm

7.3.2 低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性

表 7-18. 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 1 Mbps

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 @30.8% PER	—	—	–98.5	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER	—	—	5	—	dBm

见下页

表 7-18 – 接上页

参数		描述	最小值	典型值	最大值	单位
接收选择性 C/I	共信道	F = F0 MHz	—	9	—	dB
	相邻信道	F = F0 + 1 MHz	—	–4	—	dB
		F = F0 – 1 MHz	—	–3	—	dB
		F = F0 + 2 MHz	—	–31	—	dB
		F = F0 – 2 MHz	—	–34	—	dB
		F = F0 + 3 MHz	—	–33	—	dB
		F = F0 – 3 MHz	—	–43	—	dB
		F ≥ F0 + 4 MHz	—	–37	—	dB
		F ≤ F0 – 4 MHz	—	–50	—	dB
	镜像频率	—	—	–28	—	dB
	邻道镜像频率干扰	F = F_{image} + 1 MHz	—	–27	—	dB
		F = F_{image} – 1 MHz	—	–30	—	dB
带外阻塞		30 MHz ~ 2000 MHz	—	–13	—	dBm
		2003 MHz ~ 2399 MHz	—	–25	—	dBm
		2484 MHz ~ 2997 MHz	—	–20	—	dBm
		3000 MHz ~ 12.75 GHz	—	–20	—	dBm
互调		—	—	–41	—	dBm

表 7-19. 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 2 Mbps

参数		描述	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 @30.8% PER		—	—	–96.0	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER		—	—	5	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	F = F0 MHz	—	8	—	dB
	相邻信道	F = F0 + 2 MHz	—	–8	—	dB
		F = F0 – 2 MHz	—	–10	—	dB
		F = F0 + 4 MHz	—	–27	—	dB
		F = F0 – 4 MHz	—	–42	—	dB
		F = F0 + 6 MHz	—	–39	—	dB
		F = F0 – 6 MHz	—	–50	—	dB
		F ≥ F0 + 8 MHz	—	–48	—	dB
		F ≤ F0 – 8 MHz	—	–54	—	dB
	镜像频率	—	—	–27	—	dB
	邻道镜像频率干扰	F = F_{image} + 2 MHz	—	–26	—	dB
		F = F_{image} – 2 MHz	—	–28	—	dB
带外阻塞		30 MHz ~ 2000 MHz	—	–13	—	dBm
		2003 MHz ~ 2399 MHz	—	–25	—	dBm
		2484 MHz ~ 2997 MHz	—	–20	—	dBm
		3000 MHz ~ 12.75 GHz	—	–20	—	dBm
互调		—	—	–39	—	dBm

表 7-20. 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 125 Kbps

参数		描述	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 @30.8% PER		—	—	–106.5	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER		—	—	5	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	F = FO MHz	—	3	—	dB
	相邻信道	F = FO + 1 MHz	—	–6	—	dB
		F = FO – 1 MHz	—	–7	—	dB
		F = FO + 2 MHz	—	–34	—	dB
		F = FO – 2 MHz	—	–39	—	dB
		F = FO + 3 MHz	—	–30	—	dB
		F = FO – 3 MHz	—	–47	—	dB
		F ≥ FO + 4 MHz	—	–46	—	dB
		F ≤ FO – 4 MHz	—	–54	—	dB
	镜像频率	—	—	–28	—	dB
	邻道镜像频率干扰	F = F_{image} + 1 MHz	—	–34	—	dB
		F = F_{image} – 1 MHz	—	–31	—	dB

表 7-21. 低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 500 Kbps

参数		描述	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 @30.8% PER		—	—	–103.0	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER		—	—	5	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	F = FO MHz	—	3	—	dB
	相邻信道	F = FO + 1 MHz	—	–6	—	dB
		F = FO – 1 MHz	—	–7	—	dB
		F = FO + 2 MHz	—	–33	—	dB
		F = FO – 2 MHz	—	–38	—	dB
		F = FO + 3 MHz	—	–38	—	dB
		F = FO – 3 MHz	—	–47	—	dB
		F ≥ FO + 4 MHz	—	–41	—	dB
		F ≤ FO – 4 MHz	—	–52	—	dB
	镜像频率	—	—	–23	—	dB
	邻道镜像频率干扰	F = F_{image} + 1 MHz	—	–29	—	dB
		F = F_{image} – 1 MHz	—	–29	—	dB

7.4 802.15.4 射频

表 7-22. 802.15.4 射频规格

名称	描述
工作信道中心频率范围	2405 ~ 2480 MHz

[1] Zigbee 在 2.4 GHz 的频段上具有从信道 11 到信道 26 共 16 个信道，信道间隔为 5 MHz。

7.4.1 802.15.4 射频发射器 (TX) 特性

表 7-23. 802.15.4 发射器特性 - 250 Kbps

参数	最小值	典型值	最大值	单位
射频发射功率	–15.0	—	20.0	dBm
EVM	—	4.0%	—	—

7.4.2 802.15.4 射频接收器 (RX) 特性

表 7-24. 802.15.4 接收器特性 - 250 Kbps

参数		描述	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 @1% PER		—	—	–103.5	—	dBm
最大接收信号 @1% PER		—	—	5	—	dBm
相对干扰电平	相邻信道	F = F0 + 5 MHz	—	28	—	dB
		F = F0 – 5 MHz	—	32	—	dB
	替换信道	F = F0 + 10 MHz	—	48	—	dB
		F = F0 – 10 MHz	—	53	—	dB

8 模组原理图

模组内部元件的电路图。

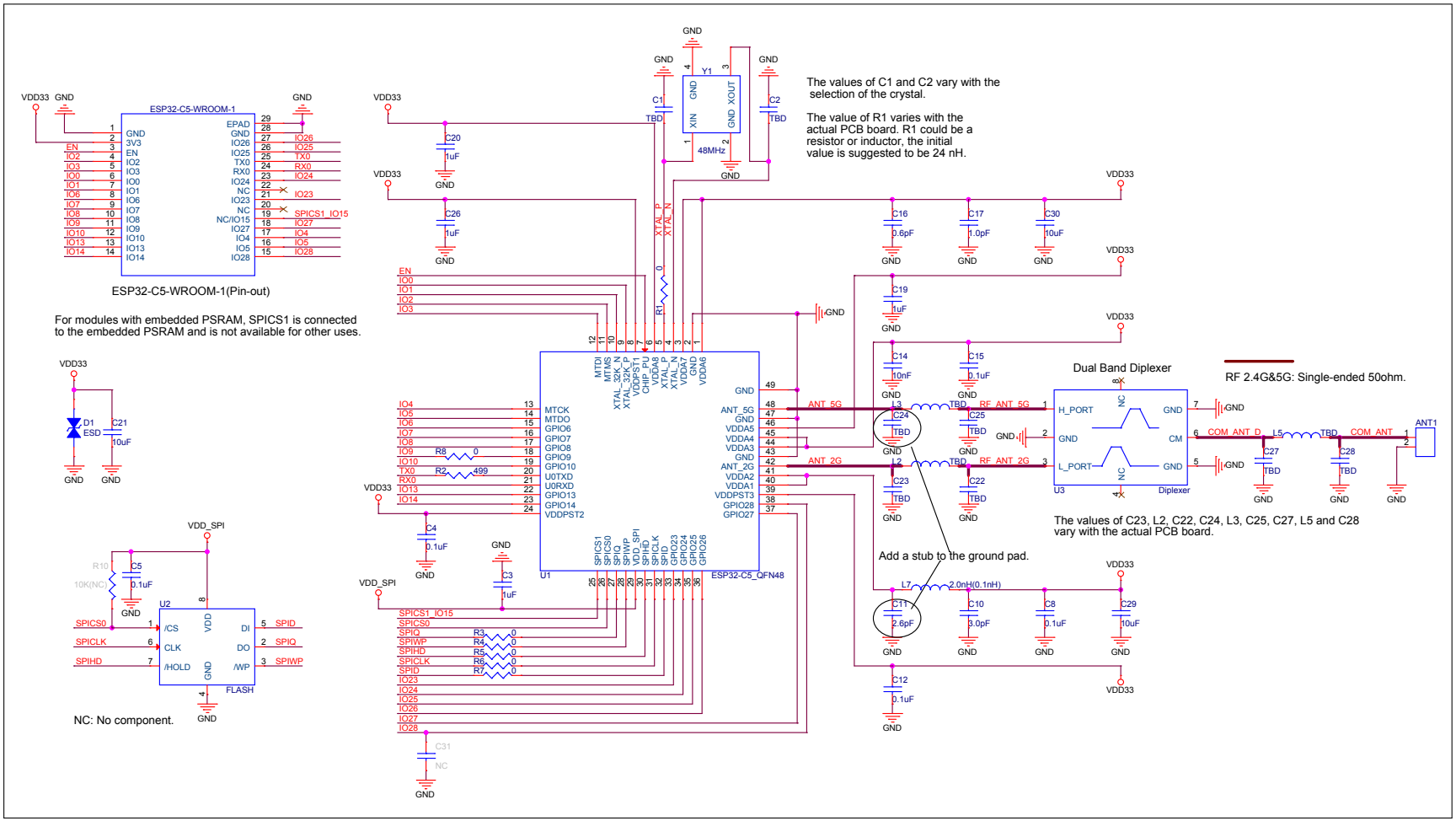

图 8-1. ESP32-C5-WROOM-1 原理图

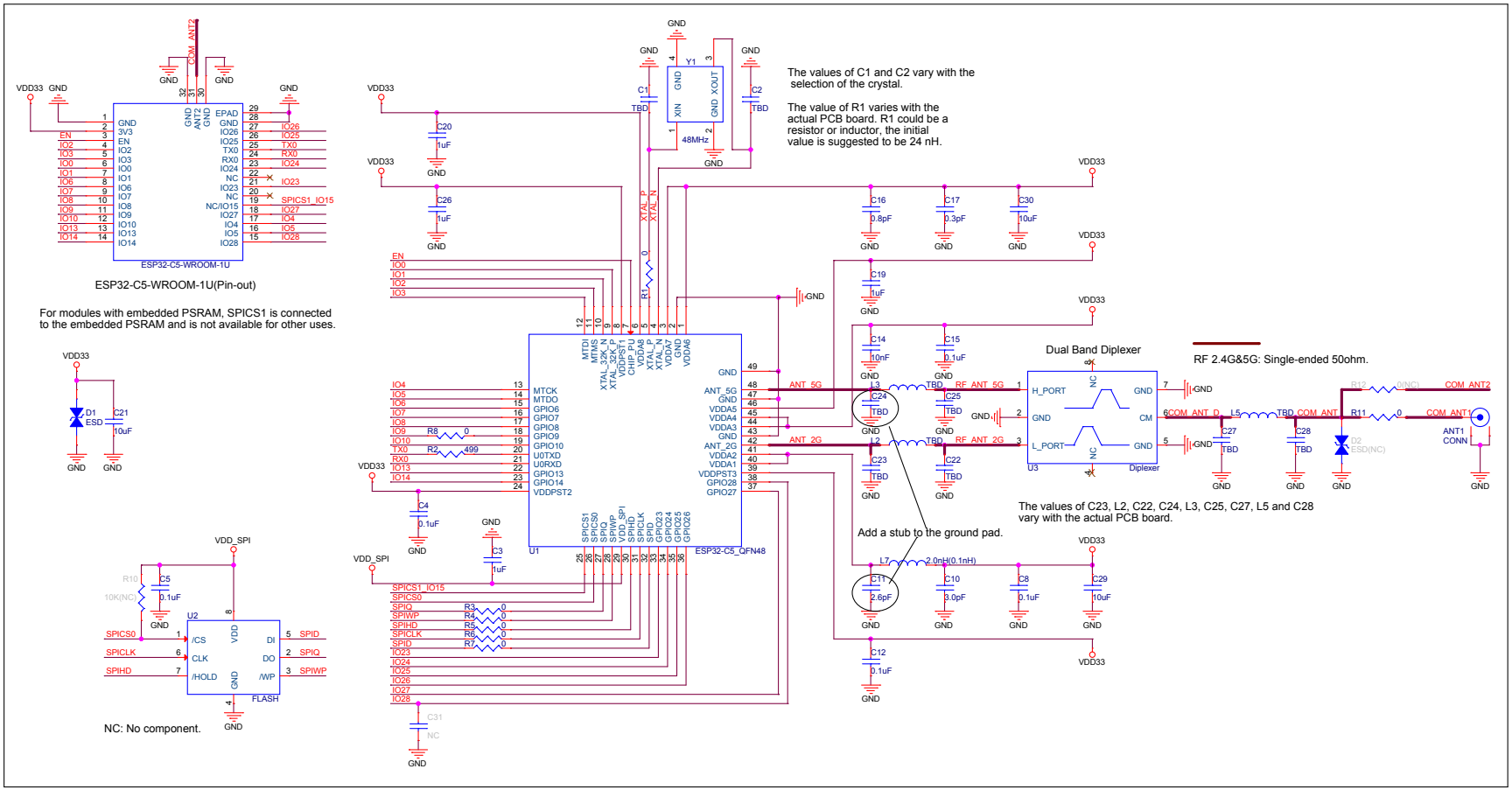

图 8-2. ESP32-C5-WROOM-1U 原理图

9 外围设计原理图

模组与外围器件（如电源、天线、复位按钮、JTAG 接口、UART 接口等）连接的应用电路图。

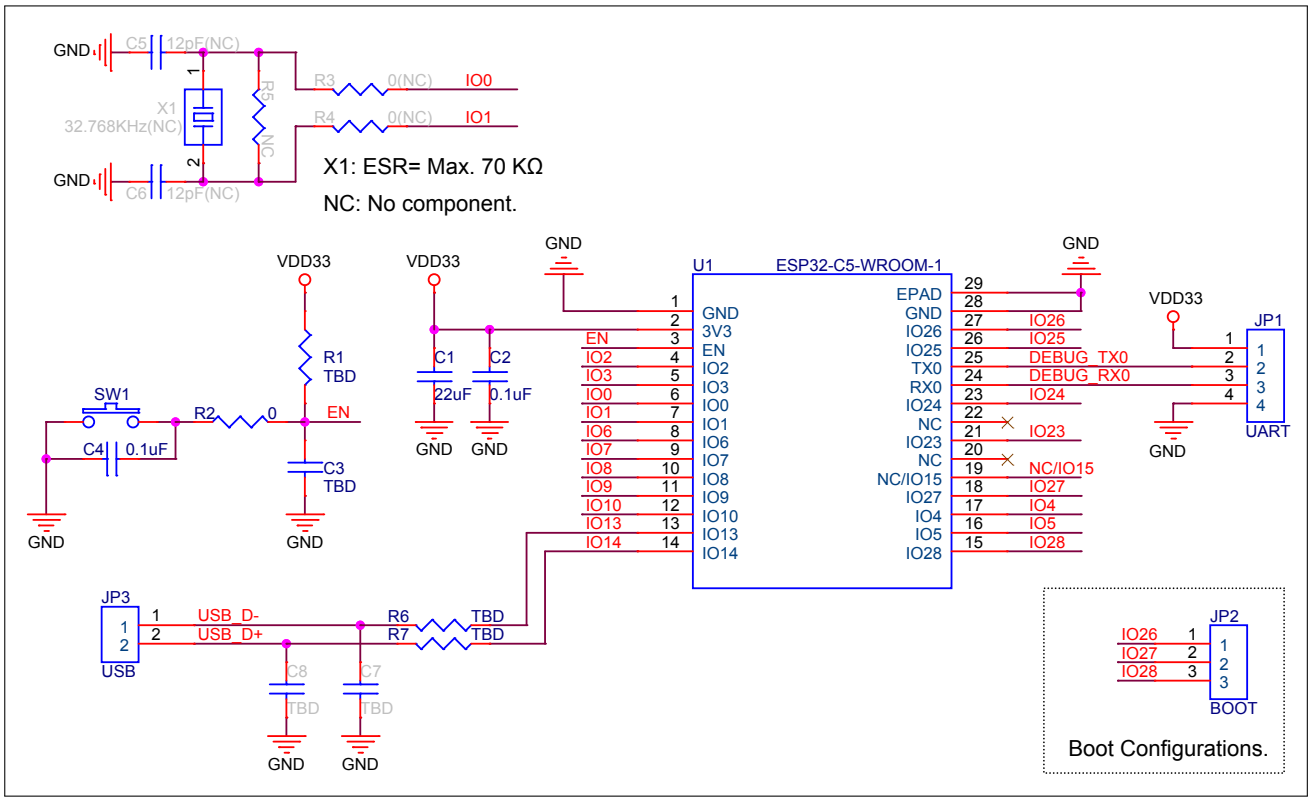

图 9-1. ESP32-C5-WROOM-1 外围设计原理图

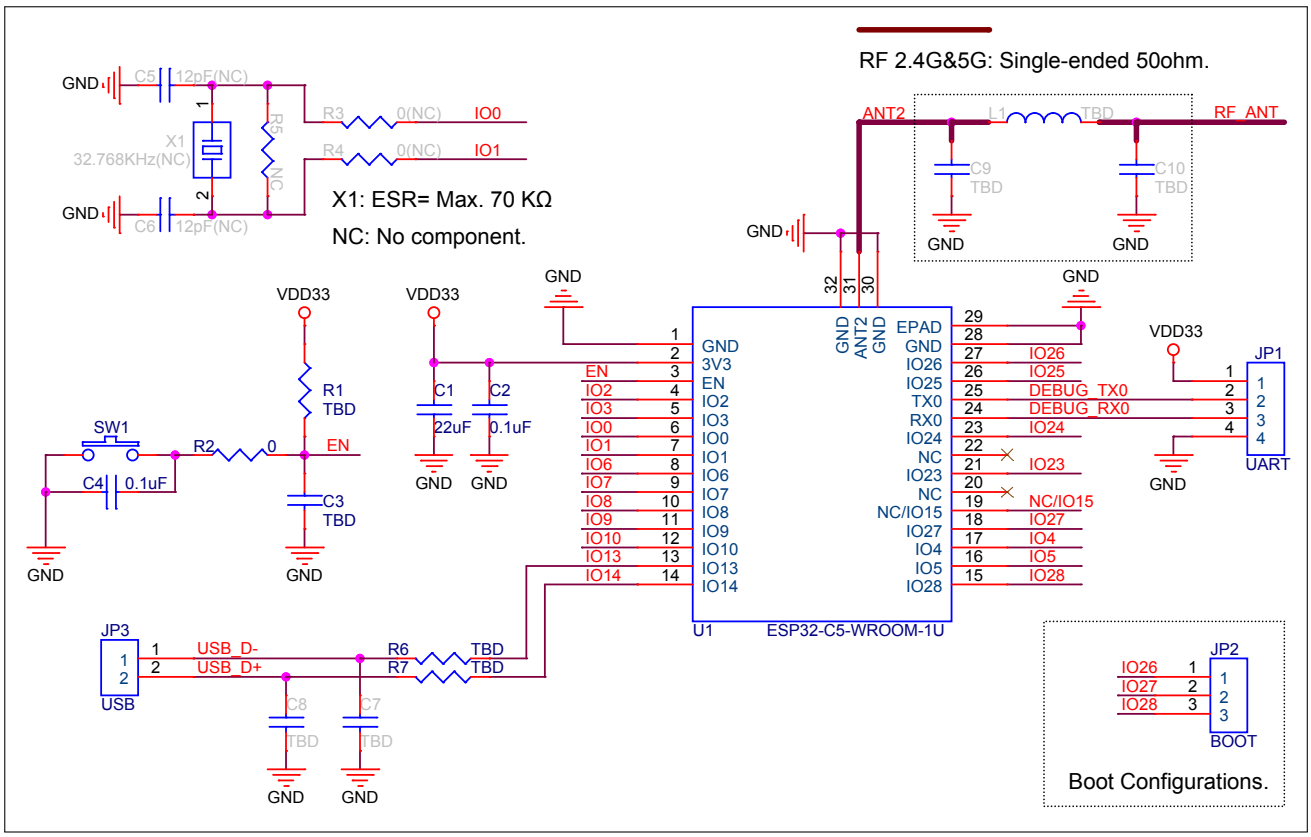

图 9-2. ESP32-C5-WROOM-1U 外围设计原理图

- 如选用外接天线 ANT2，建议参考上图预留射频电路。默认情况下，ESP32-C5-WROOM-1U 使用 ANT1，ANT2 处于禁用状态。如需使用 ANT2，请联系我们。
- 请注意控制 strapping 管脚电平状态，详情请参考章节 4 启动配置项。
- EPAD 可以不焊接到底板，但是焊接到底板的 GND 可以获得更好的散热特性。如果您想将 EPAD 焊接到底板，请确保使用适量焊膏，避免过量焊膏造成模组与底板距离过大，影响管脚与底板之间的贴合。
- 为确保 ESP32-C5 芯片上电时的供电正常，EN 管脚处需要增加 RC 延迟电路。RC 通常建议为 R = 10 kΩ，C = 1 μF，但具体数值仍需根据模组电源的上电时序和芯片的上电复位时序进行调整。ESP32-C5 芯片的上电复位时序图可参考章节 4.6 芯片上电和复位。

10 尺寸规格

10.1 模组尺寸

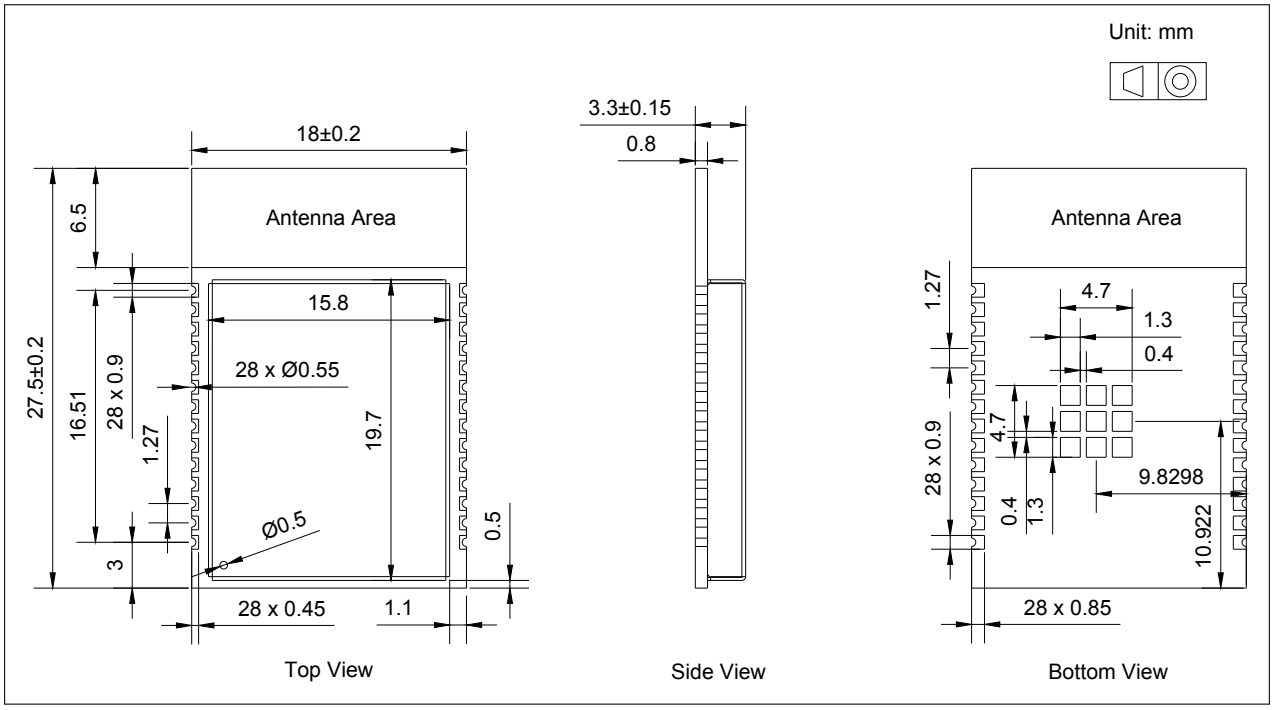

图 10-1. ESP32-C5-WROOM-1 模组尺寸

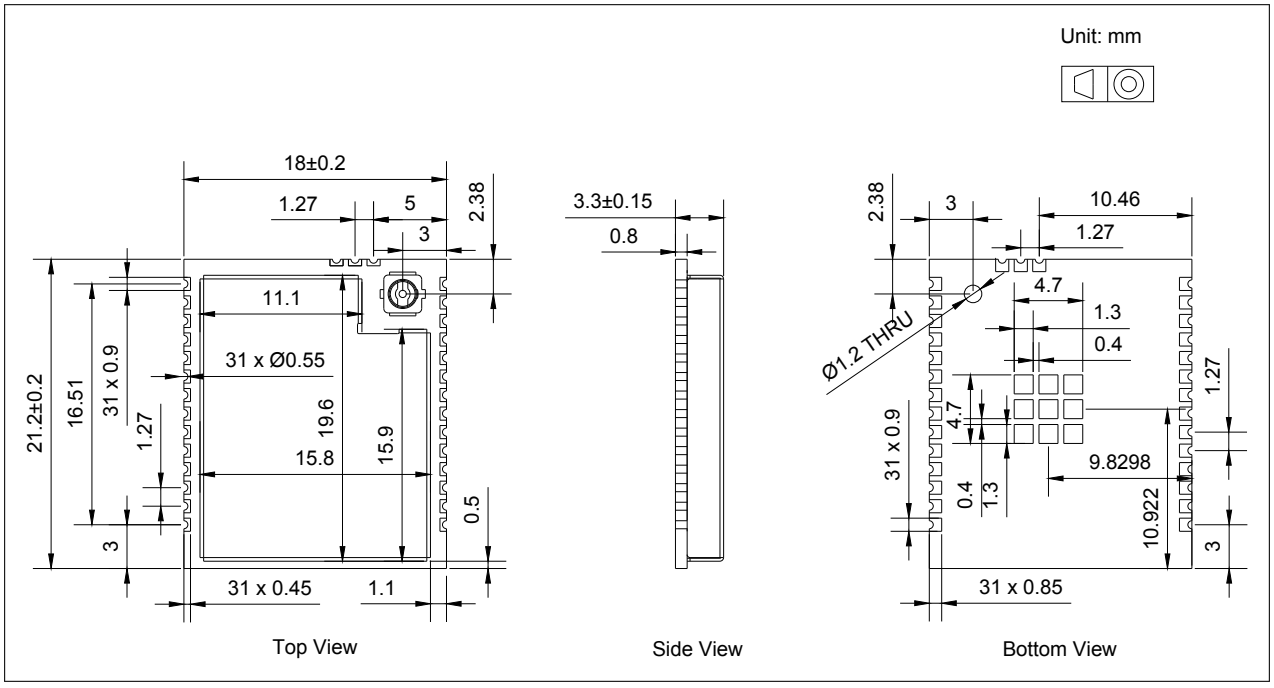

图 10-2. ESP32-C5-WROOM-1U 模组尺寸

说明：

有关卷带、载盘和产品标签的信息，请参阅 《ESP32-C5 模组包装信息》 。

10.2 外部天线连接器尺寸

ESP32-C5-WROOM-1U 采用图 10-3 外部天线连接器尺寸图 所示的第一代外部天线连接器，该连接器兼容：

- 广濑 (Hirose) 的 U.FL 系列连接器
- I-PEX 的 MHF I 连接器
- 安费诺 (Amphenol) 的 AMC 连接器

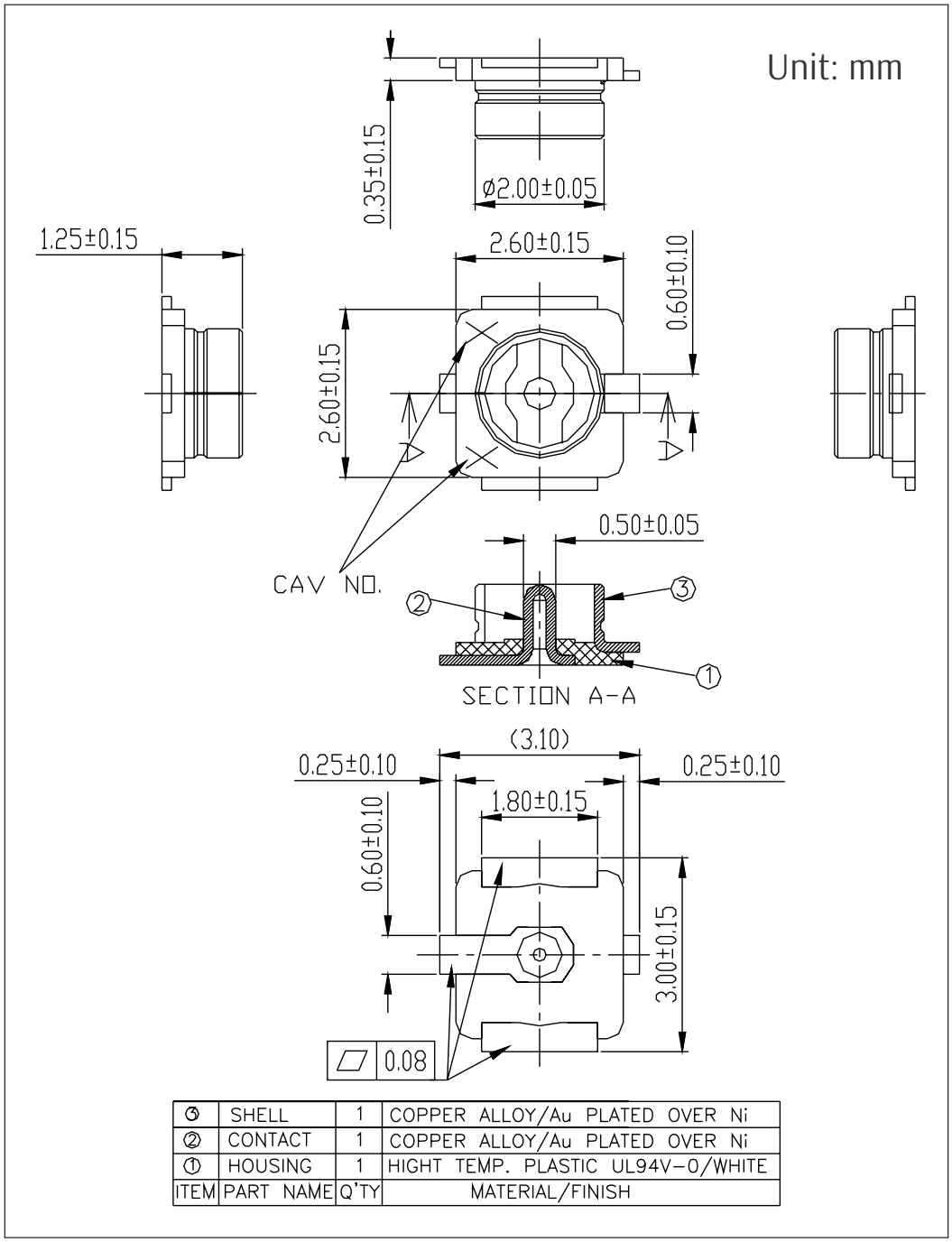

图 10-3. 外部天线连接器尺寸图

ESP32-C5-WROOM-1U 在认证测试过程中搭配使用的外部天线为 SY-WIFI-ESP-Dual Band Ant。

模组出货时不包含外部天线。请根据自身产品的使用环境与性能需求，选用适配的外部天线。

如需自行选用，建议选用满足以下要求的天线：

- 2.4 GHz & 5 GHz 频段
- 50 Ω 阻抗
- 最大增益不超过认证中所用天线的增益 3.86 dBi (2.4 GHz) 或 3.65 dBi (5 GHz)
- 接口规格与模组天线连接器接口匹配，参考图 10-3 外部天线连接器尺寸图

说明：

如选用不同类型或不同增益的外部天线，除乐鑫模组已有的天线测试报告外，可能还需进行包括 EMC 在内的额外测试，具体要求视认证类别而定。

11 PCB 布局建议

11.1 PCB 封装图形

本章节提供以下资源供您参考：

- 推荐 PCB 封装图，标有 PCB 设计所需的全部尺寸。详见图 11-1 *ESP32-C5-WROOM-1 推荐 PCB 封装图形* 和图 11-2 *ESP32-C5-WROOM-1U 推荐 PCB 封装图形*。

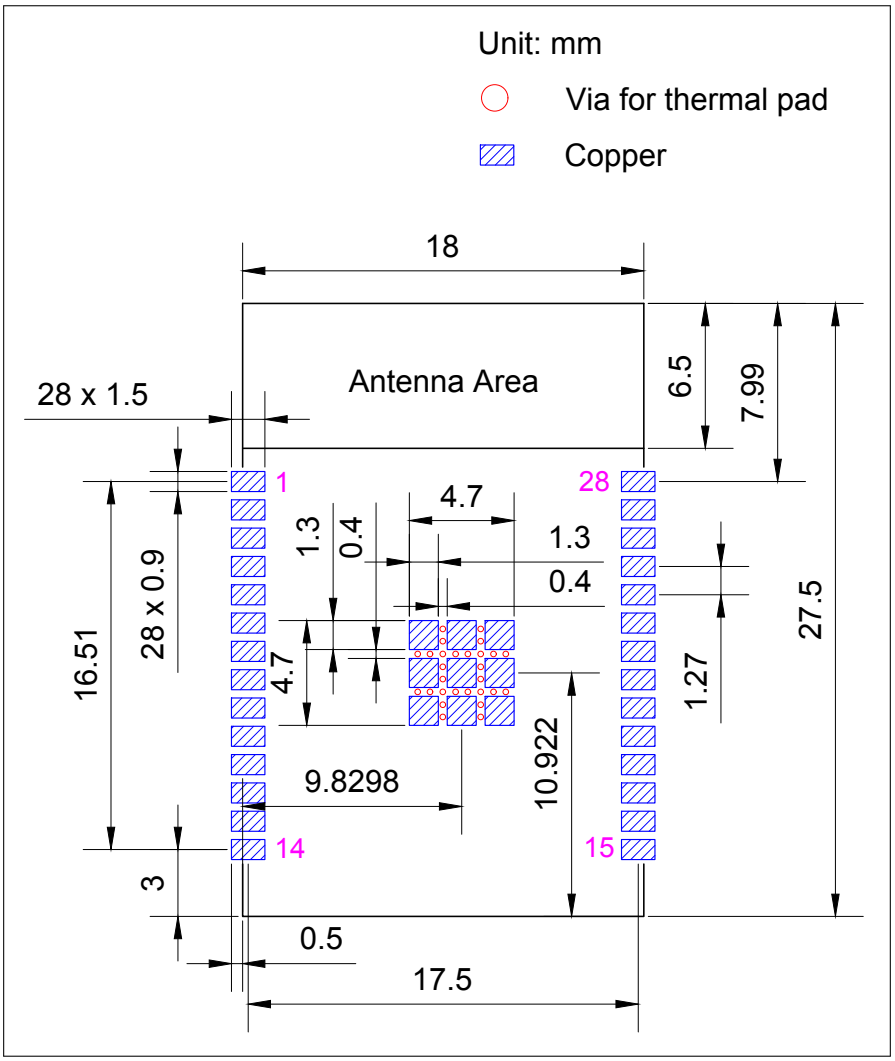

图 11-1. ESP32-C5-WROOM-1 推荐 PCB 封装图形

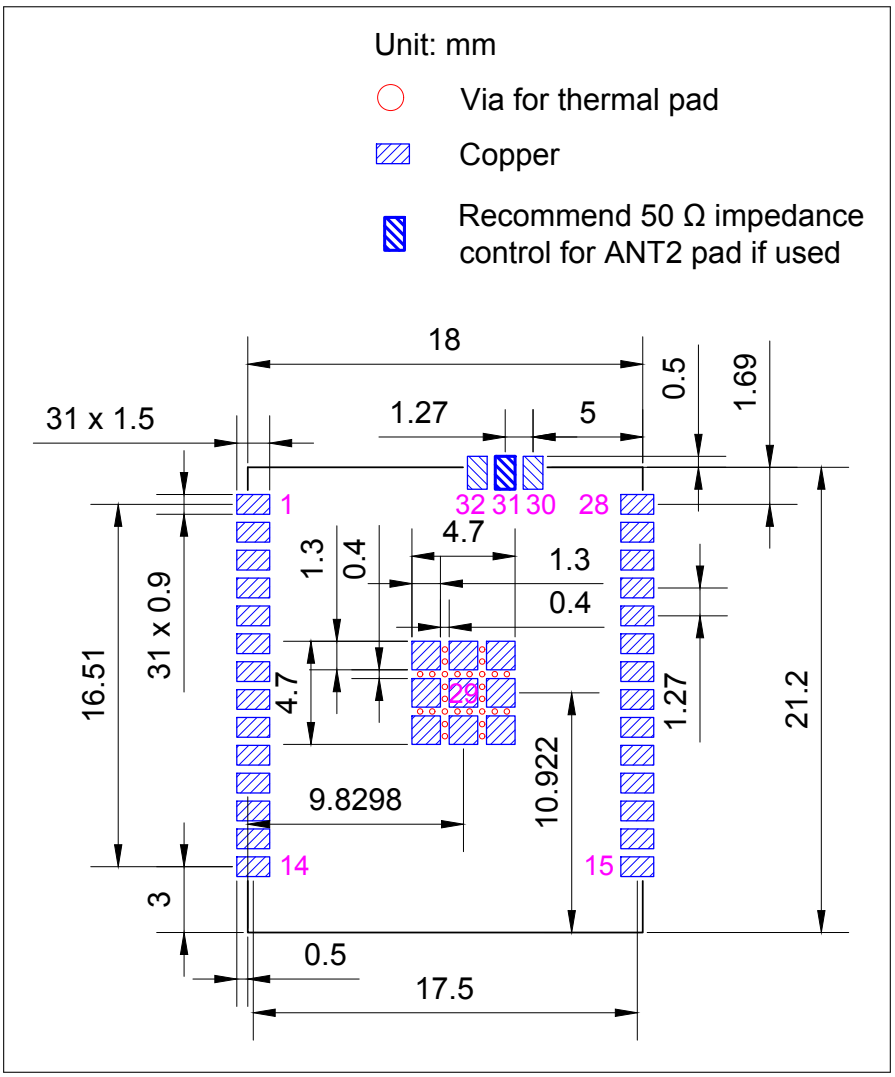

图 11-2. ESP32-C5-WROOM-1U 推荐 PCB 封装图形

11.2 PCB 设计中的模组位置摆放

如产品采用模组进行 on-board 设计，则需注意考虑模组在底板的布局，应尽可能地减小底板对模组 PCB 天线性能的影响。

关于 PCB 设计中模组位置摆放的更多信息，请参考 《ESP32-C5 硬件设计指南》 > 章节 模组在底板上的位置摆放。

12 产品处理

12.1 存储条件

密封在防潮袋 (MBB) 中的产品应储存在 < 40 °C/90%RH 的非冷凝大气环境中。

模组的潮湿敏感度等级 MSL 为 3 级。

真空袋拆封后，在 25±5 °C、60%RH 下，必须在 168 小时内使用完毕，否则就需要烘烤后才能二次上线。

12.2 静电放电 (ESD)

- 人体放电模式 (HBM)：±2000 V
- 充电器件模式 (CDM)：±500 V

12.3 回流焊温度曲线

建议模组只过一次回流焊。

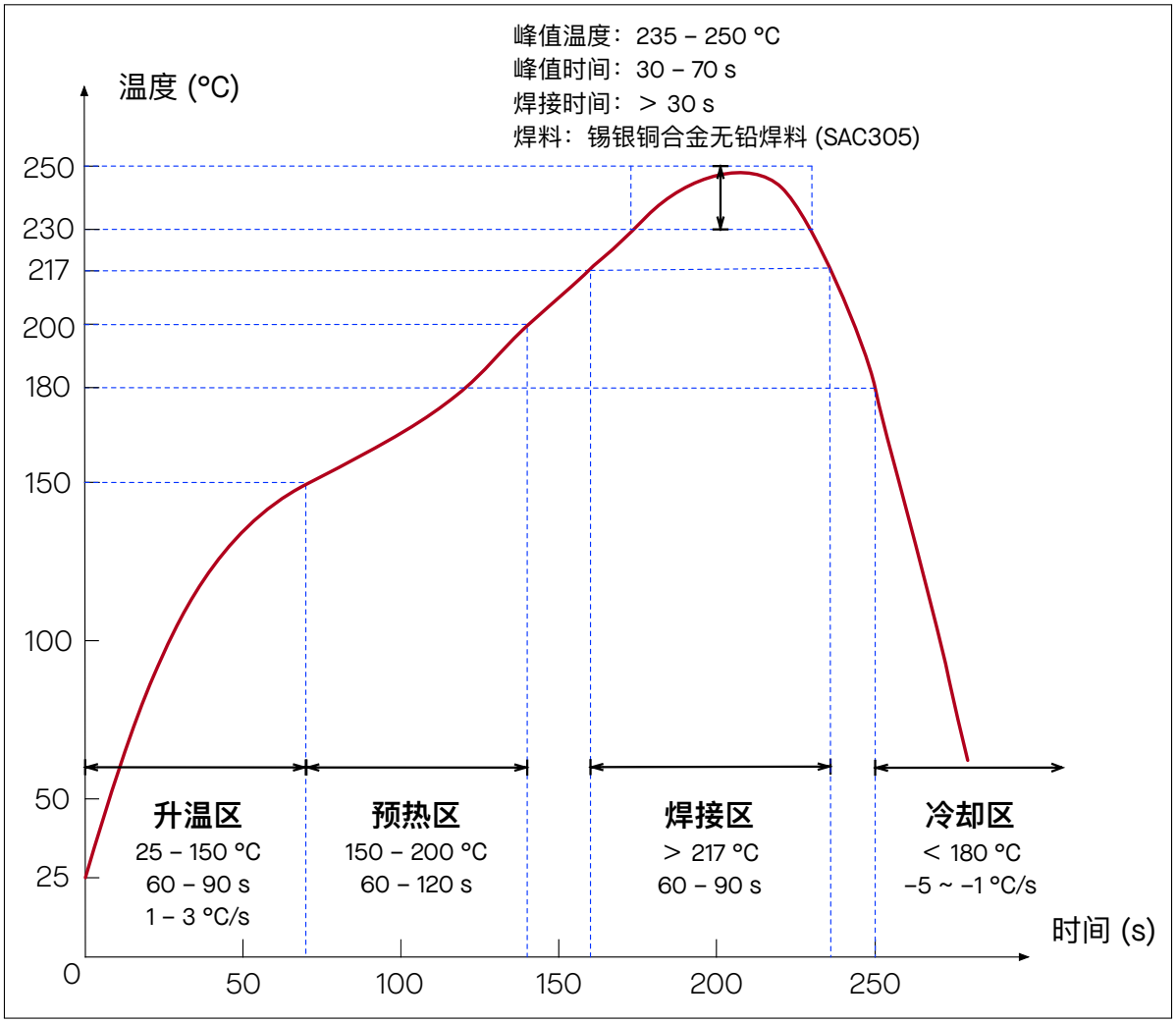

图 12-1. 回流焊温度曲线

12.4 超声波振动

请避免将乐鑫模组暴露于超声波焊接机或超声波清洗机等超声波设备的振动中。超声波设备的振动可能与模组内部的晶振产生共振，导致晶振故障甚至失灵，**进而致使模组无法工作或性能退化**。

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，重大变更将通过产品变更通知 (PCN) 进行通知。
任意版本	—	不推荐用于新设计 (NRND)[1]	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)[2]	该技术规格书不再维护，对应产品已停产。

[1] 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。

[2] 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。

相关文档和资源

相关文档

- 《ESP32-C5 技术规格书》 – 提供 ESP32-C5 芯片的硬件技术规格。
- 《ESP32-C5 技术参考手册》 – 提供 ESP32-C5 芯片的存储器和外设的详细使用说明。
- 《ESP32-C5 硬件设计指南》 – 提供基于 ESP32-C5 芯片的产品设计规范。
- 证书
  https://espressif.com/zh-hans/support/documents/certificates
- ESP32-C5 产品/工艺变更通知 (PCN)
  https://espressif.com/zh-hans/support/documents/pcns?keys=ESP32-C5
- ESP32-C5 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-C5
- 文档更新和订阅通知
  https://espressif.com/zh-hans/support/download/documents

开发者社区

- 《ESP32-C5 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
- *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-C5 系列芯片 – ESP32-C5 全系列芯片。
  https://espressif.com/zh-hans/products/socs?id=ESP32-C5
- ESP32-C5 系列模组 – ESP32-C5 全系列模组。
  https://espressif.com/zh-hans/products/modules?id=ESP32-C5
- ESP32-C5 系列开发板 – ESP32-C5 全系列开发板。
  https://espressif.com/zh-hans/products/devkits?id=ESP32-C5
- 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要的产品。
  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
2025-08-07	v0.6	• 在章节 2 功能框图 中，增加芯片与封装内 flash 管脚对应关系的说明 • 在章节 10.2 外部天线连接器尺寸 中，增加认证使用的天线信息 • 新增小节 4.6 芯片上电和复位、6.5 存储器规格 以及 技术规格书版本号管理
2025-05-21	v0.5	预发布



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