

ESP32-S31-WROOM-1

ESP32-S31-WROOM-1U

技术规格书 预发布 v0.5

2.4 GHz Wi-Fi 6、Bluetooth® 5.4 (LE)、Bluetooth® Classic、Zigbee 及 Thread (802.15.4) 模组
内置 ESP32-S31 系列芯片，RISC-V 32 位双核微处理器
54 个 GPIO，外设丰富
板载 PCB 天线或外部天线



ESP32-S31-WROOM-1



ESP32-S31-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-s31-wroom-1_wroom-1u_datasheet_cn.pdf



1.1 特性

CPU 和片上存储器

- 内置 ESP32-S31 芯片, RISC-V 32 位双核微处理器, 支持高达 320 MHz 的时钟频率
- ULP-RISC-V 协处理器
- 320 KB ROM
- 512 KB 共享 SRAM
- 32 KB 低功耗 SRAM
- 支持 flash 与 PSRAM 的并行访问
- PSRAM (可选): 最大 32 MB

Wi-Fi

- 工作在 2.4 GHz 频段, 1T1R
- 工作信道中心频率范围: 2412 ~ 2484 MHz
- 兼容 IEEE 802.11b/g/n/ax 协议
- 支持 20 MHz 和 40 MHz 带宽
- 数据速率高达 150 Mbps
- 支持 OFDMA、MU-MIMO、TWT 等 Wi-Fi 6 关键特性
- 4 个虚拟 Wi-Fi 接口
- 支持 Station 模式、SoftAP 模式、Station + SoftAP 模式和混杂模式
- 天线分集
- 802.11mc FTM

蓝牙®

低功耗蓝牙

- 全面支持 Bluetooth 5.4 (LE) 核心规范

- Bluetooth Mesh 1.1
- 蓝牙低功耗音频 (LE Audio, Isochronous Channels, BIS and CIS)
- 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 (Periodic Advertising with Responses, 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

经典蓝牙

- 数据速率: 基本速率 1 Mbps, 增强数据速率 2 Mbps、3 Mbps
- 异步连接导向 (ACL) 链路, 同步连接导向 (SCO) 和增强同步连接导向 (eSCO) 链路
- 信道分类 (Channel Classification) 和自适应跳频 (AFH) 机制
- 安全简易配对 (SSP)
- 安全连接 (Secure Connections)

IEEE 802.15.4

- 兼容 IEEE 802.15.4-2015 协议
- 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
- 支持 Matter
- 支持其他应用层协议（HomeKit、MQTT 等）

传感器、ADC 控制器、DAC 控制器、模拟电压比较器、通用定时器、系统定时器、看门狗定时器

模组集成元件

- 40 MHz 集成晶振
- 最大 32 MB SPI flash（可选）

外设

- 54 个 GPIO
- JPEG 图像编解码器、像素处理加速器 (PPA)、音频采样率转换器 (ASRC)、CORDIC 加速器、LCD 与 Camera 控制器 (LCD_CAM)、UART、SPI、I2C、I2S、脉冲计数控制器、USB 2.0 高速 OTG、USB 串口/JTAG 控制器、以太网介质访问控制器、CAN FD 控制器、SD/MMC 主机控制器、LED PWM 控制器、电机控制脉宽调制器、红外遥控、并行 IO 控制器、比特调节器、触摸传感器、温度

天线选型

- ESP32-S31-WROOM-1: 板载 PCB 天线
- ESP32-S31-WROOM-1U: 通过连接器或模组管脚 (ANT2) 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

1.2 型号对比

ESP32-S31-WROOM-1 和 ESP32-S31-WROOM-1U 是通用型 Wi-Fi、Bluetooth® 5.4 (LE)、Bluetooth® Classic 及 IEEE 802.15.4 MCU 模组，功能强大，具有丰富的外设接口，可用于嵌入式系统、智能家居、可穿戴电子设备等物联网场景。

ESP32-S31-WROOM-1 采用板载 PCB 天线，ESP32-S31-WROOM-1U 采用连接器或模组管脚 (ANT2) 连接外部天线。

模组的系列型号对比订购信息如下表所示：

表 1-1. ESP32-S31-WROOM-1（天线）系列型号对比

物料编号	flash ³	PSRAM ³	内置芯片	环境温度 ¹ (°C)	模组尺寸 ² (mm)
ESP32-S31-WROOM-1-N16R8V	16 MB (Quad SPI)	8 MB (Octal SPI)	ESP32-S31NRV8	-40 ~ 85	18.0 × 25.5 × 3.1
ESP32-S31-WROOM-1-N8R16V	8 MB (Quad SPI)	16 MB (Octal SPI)	ESP32-S31NRV16		
ESP32-S31-WROOM-1-N16R16V	16 MB (Quad SPI)				
ESP32-S31-WROOM-1-N32R16V	32 MB (Quad SPI)				
ESP32-S31-WROOM-1-N16R32V	16 MB (Quad SPI)	32 MB (Octal SPI)	ESP32-S31NRV32		

¹ 环境温度指乐鑫模组外部的推荐环境温度。

² 更多关于模组尺寸的信息，请参考章节 [10.1 模组尺寸](#)。

³ 更多关于存储器规格的信息，请参考章节 [6.5 存储器规格](#)。

表 1-2. ESP32-S31-WROOM-1U（连接器）订购信息⁴

物料编号	flash ³	PSRAM ³	内置芯片	环境温度 ¹ (°C)	模组尺寸 ² (mm)
ESP32-S31-WROOM-1U-N16R16V	16 MB (Quad SPI)	16 MB (Octal SPI)	ESP32-S31NRV16	-40 ~ 85	18.0 × 20.5 × 3.2

⁴ 本表格中的注释 1 至 3 内容与表 1-1 一致。

模组采用的是 ESP32-S31 芯片。ESP32-S31 芯片搭载 RISC-V 32 位双核微处理器，工作频率高达 320 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-S31 的更多信息请参考 [《ESP32-S31 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
 - 摄像头视频流传输
 - USB 设备
 - 语音识别
 - 图像识别
 - Wi-Fi + 蓝牙网卡
 - 触摸和接近感应

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	11
3	管脚定义	12
3.1	管脚布局	12
3.2	管脚描述	13
4	启动配置项	18
4.1	芯片启动模式控制	19
4.1.1	Joint Download Boot 模式下的安全调试	20
4.2	VDD_SPI 电压控制	20
4.3	ROM 日志打印控制	20
4.4	JTAG 信号源控制	21
4.5	芯片上电和复位	22
5	外设	23
5.1	外设概述	23
5.2	外设描述	23
5.2.1	图像与音频处理	23
5.2.1.1	JPEG 图像编解码器	23
5.2.1.2	像素处理加速器 (PPA)	24
5.2.1.3	音频采样率转换器 (ASRC)	25
5.2.1.4	CORDIC 加速器 (CORDIC)	25
5.2.1.5	LCD 与 Camera 控制器 (LCD_CAM)	26
5.2.2	通讯接口	26
5.2.2.1	UART 控制器 (UART)	27
5.2.2.2	SPI 控制器 (SPI)	27
5.2.2.3	I2C 控制器 (I2C)	29
5.2.2.4	I2S 控制器 (I2S)	30
5.2.2.5	脉冲计数控制器 (PCNT)	30
5.2.2.6	USB 2.0 高速 OTG	31
5.2.2.7	USB 串口/JTAG 控制器 (USB_SERIAL_JTAG)	32
5.2.2.8	以太网介质访问控制器 (EMAC)	33
5.2.2.9	CAN FD 控制器	34
5.2.2.10	SD/MMC 主机控制器 (SDHOST)	35
5.2.2.11	LED PWM 控制器 (LEDC)	35
5.2.2.12	电机控制脉宽调制器 (MCPWM)	36
5.2.2.13	红外遥控 (RMT)	36
5.2.2.14	并行 IO 控制器 (PARLIO)	37

5.2.2.15	比特调节器	38
5.2.3	模拟信号处理	38
5.2.3.1	触摸传感器 (TOUCH)	38
5.2.3.2	温度传感器 (TSENS)	39
5.2.3.3	SAR ADC 数字控制器 (ADC)	39
5.2.3.4	DAC 控制器 (DAC)	40
5.2.3.5	模拟电压比较器	40
6	电气特性	42
6.1	绝对最大额定值	42
6.2	建议工作条件	42
6.3	直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)	42
6.4	功耗特性	43
6.4.1	Active 模式下的功耗	43
6.4.2	其他功耗模式下的功耗	44
6.5	存储器规格	45
7	射频特性	46
7.1	Wi-Fi 射频	46
7.1.1	Wi-Fi 射频发射器 (TX) 特性	46
7.1.2	Wi-Fi 射频接收器 (RX) 特性	47
7.2	低功耗蓝牙射频	49
7.2.1	低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性	49
7.2.2	低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性	51
7.3	经典蓝牙射频	53
7.3.1	经典蓝牙射频发射器 (TX) 特性	53
7.3.2	经典蓝牙射频接收器 (RX) 特性	54
7.4	802.15.4 射频	55
7.4.1	802.15.4 射频发射器 (TX) 特性	55
7.4.2	802.15.4 射频接收器 (RX) 特性	55
8	模组原理图	57
9	外围设计原理图	59
10	尺寸规格	61
10.1	模组尺寸	61
10.2	外部天线连接器尺寸	62
11	PCB 布局建议	64
11.1	PCB 封装图形	64
11.2	PCB 设计中的模组位置摆放	65
12	产品处理	66
12.1	存储条件	66
12.2	静电放电 (ESD)	66

目录

12.3 回流焊温度曲线

66

12.4 超声波振动

67

相关文档和资源

68

修订历史

69

表格

1-1	ESP32-S31-WROOM-1 (天线) 系列型号对比	3
1-2	ESP32-S31-WROOM-1U (连接器) 订购信息 ⁴	4
3-1	ESP32-S31-WROOM-1 管脚定义	13
3-2	ESP32-S31-WROOM-1U 管脚定义	15
4-1	Strapping 管脚的默认配置	18
4-2	Strapping 管脚的时序参数说明	19
4-3	芯片启动模式控制	19
4-4	VDD_SPI 电压标准控制	20
4-5	UART0 ROM 日志打印控制	21
4-6	USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制	21
4-7	JTAG 信号源控制	21
4-8	上电和复位时序参数说明	22
6-1	绝对最大额定值	42
6-2	建议工作条件	42
6-3	直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)	42
6-4	Active 模式下 Wi-Fi (2.4 GHz) 功耗特性	43
6-5	Active 模式下低功耗蓝牙功耗特性	43
6-6	Active 模式下经典蓝牙功耗特性	43
6-7	Active 模式下 802.15.4 功耗特性	44
6-8	Modem-sleep 模式下的功耗	44
6-9	低功耗模式下的功耗	45
6-10	Flash 规格	45
6-11	PSRAM 规格	45
7-1	2.4 GHz Wi-Fi 射频规格	46
7-2	2.4 GHz 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率	46
7-3	2.4 GHz 发射 EVM 测试 ¹	46
7-4	2.4 GHz 接收灵敏度	47
7-5	2.4 GHz 最大接收电平	48
7-6	2.4 GHz 接收邻道抑制	48
7-7	低功耗蓝牙射频规格	49
7-8	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 1 Mbps	49
7-9	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 2 Mbps	49
7-10	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 125 Kbps	50
7-11	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 500 Kbps	50
7-12	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 1 Mbps	51
7-13	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 2 Mbps	51
7-14	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 125 Kbps	52
7-15	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 500 Kbps	52
7-16	经典蓝牙射频规格	53
7-17	经典蓝牙 - 发射器特性 - 基本速率 (BR)	53
7-18	经典蓝牙 - 发射器特性 - 增强数据速率 (EDR)	53
7-19	经典蓝牙 - 接收器特性 - 基本速率 (BR)	54
7-20	经典蓝牙 - 接收器特性 - 增强数据速率 (EDR)	54

7-21 802.15.4 射频规格	55
7-22 802.15.4 发射器特性 - 250 Kbps	55
7-23 802.15.4 接收器特性 - 250 Kbps	55

插图

2-1	ESP32-S31-WROOM-1 功能框图	11
2-2	ESP32-S31-WROOM-1U 功能框图	11
3-1	ESP32-S31-WROOM-1 管脚布局（顶视图）	12
3-2	ESP32-S31-WROOM-1U 管脚布局（顶视图）	13
4-1	Strapping 管脚的时序参数图	19
4-2	上电和复位时序参数图	22
8-1	ESP32-S31-WROOM-1 原理图	57
8-2	ESP32-S31-WROOM-1U 原理图	58
9-1	ESP32-S31-WROOM-1 外围设计原理图	59
9-2	ESP32-S31-WROOM-1U 外围设计原理图	59
10-1	ESP32-S31-WROOM-1 模组尺寸	61
10-2	ESP32-S31-WROOM-1U 模组尺寸	61
10-3	外部天线连接器尺寸图	62
11-1	ESP32-S31-WROOM-1 推荐 PCB 封装图形	64
11-2	ESP32-S31-WROOM-1U 推荐 PCB 封装图形	65
12-1	回流焊温度曲线	66

2 功能框图

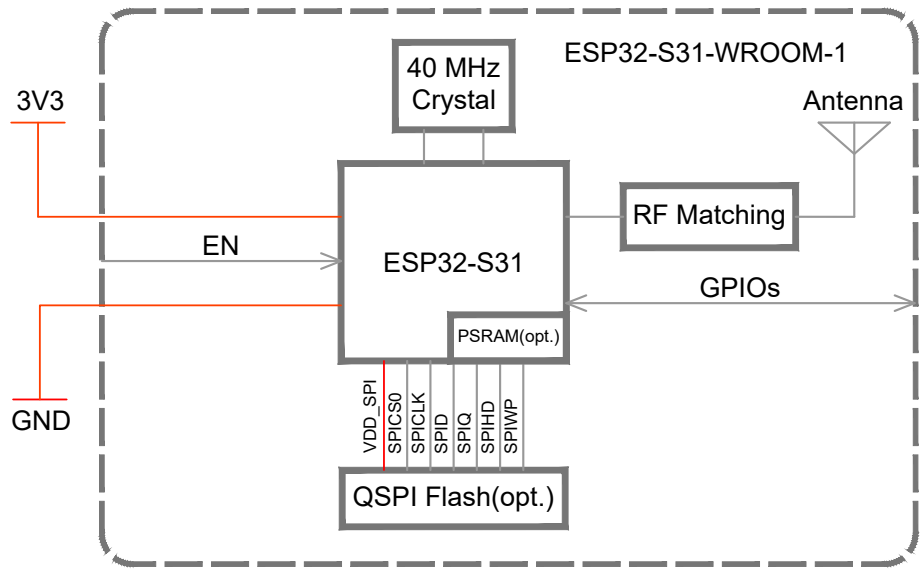


图 2-1. ESP32-S31-WROOM-1 功能框图

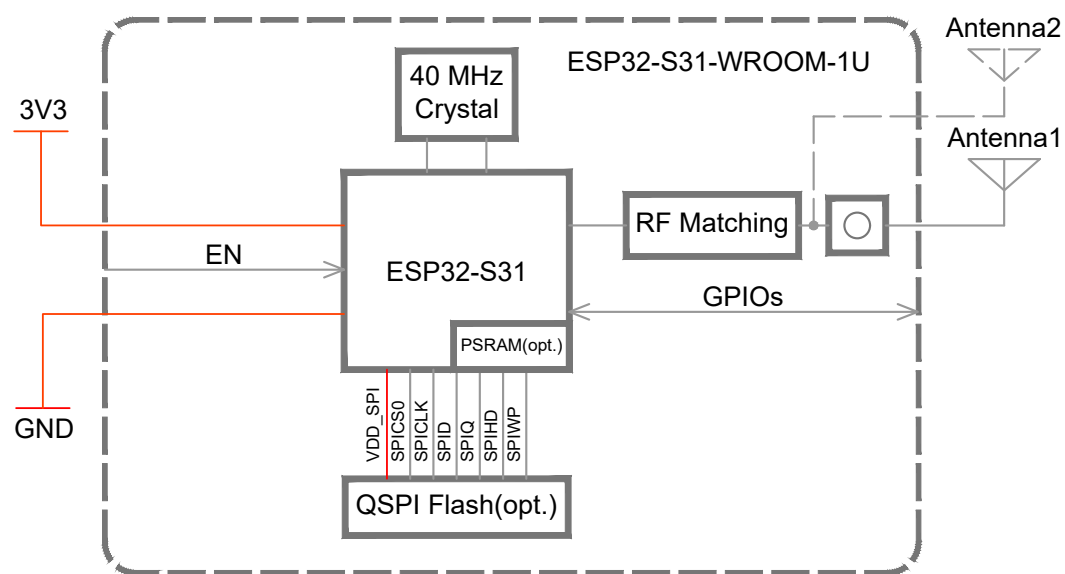


图 2-2. ESP32-S31-WROOM-1U 功能框图

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图 10.1 模组尺寸。

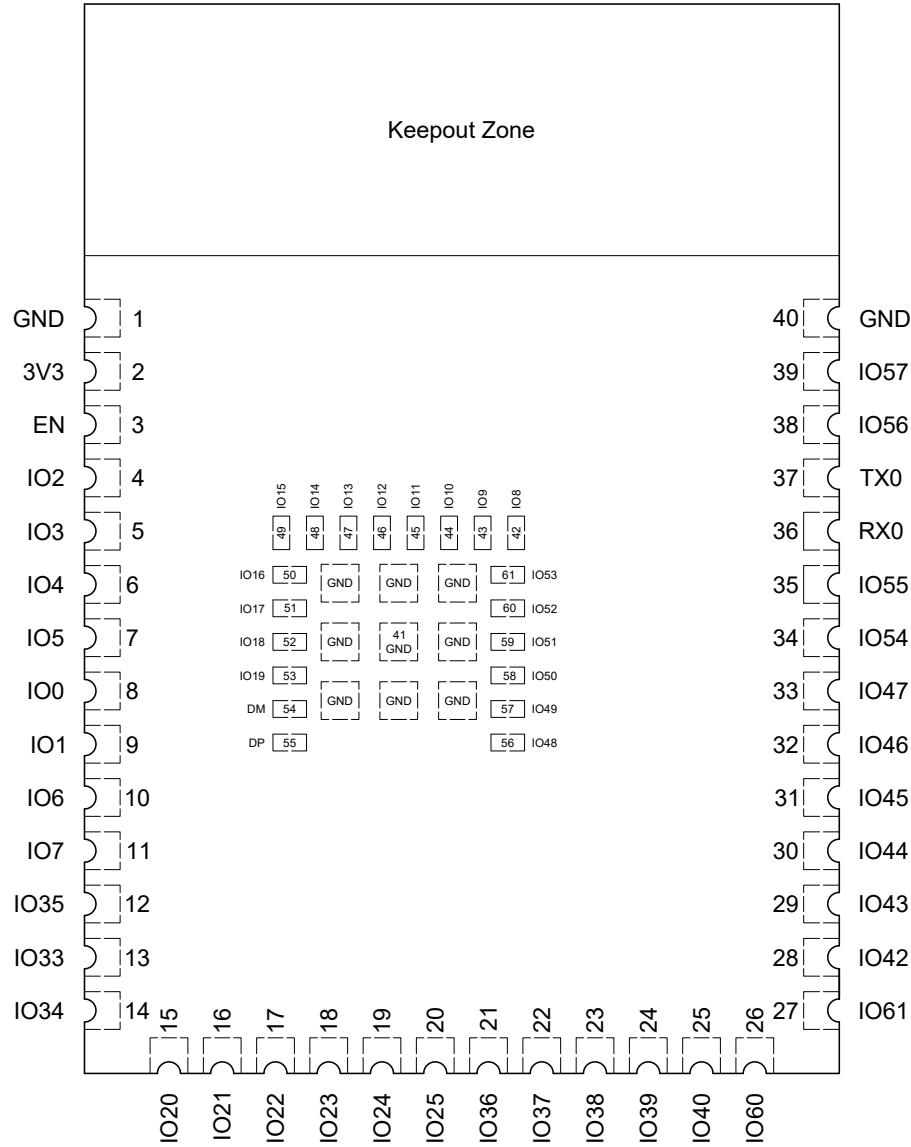


图 3-1. ESP32-S31-WROOM-1 管脚布局（顶视图）

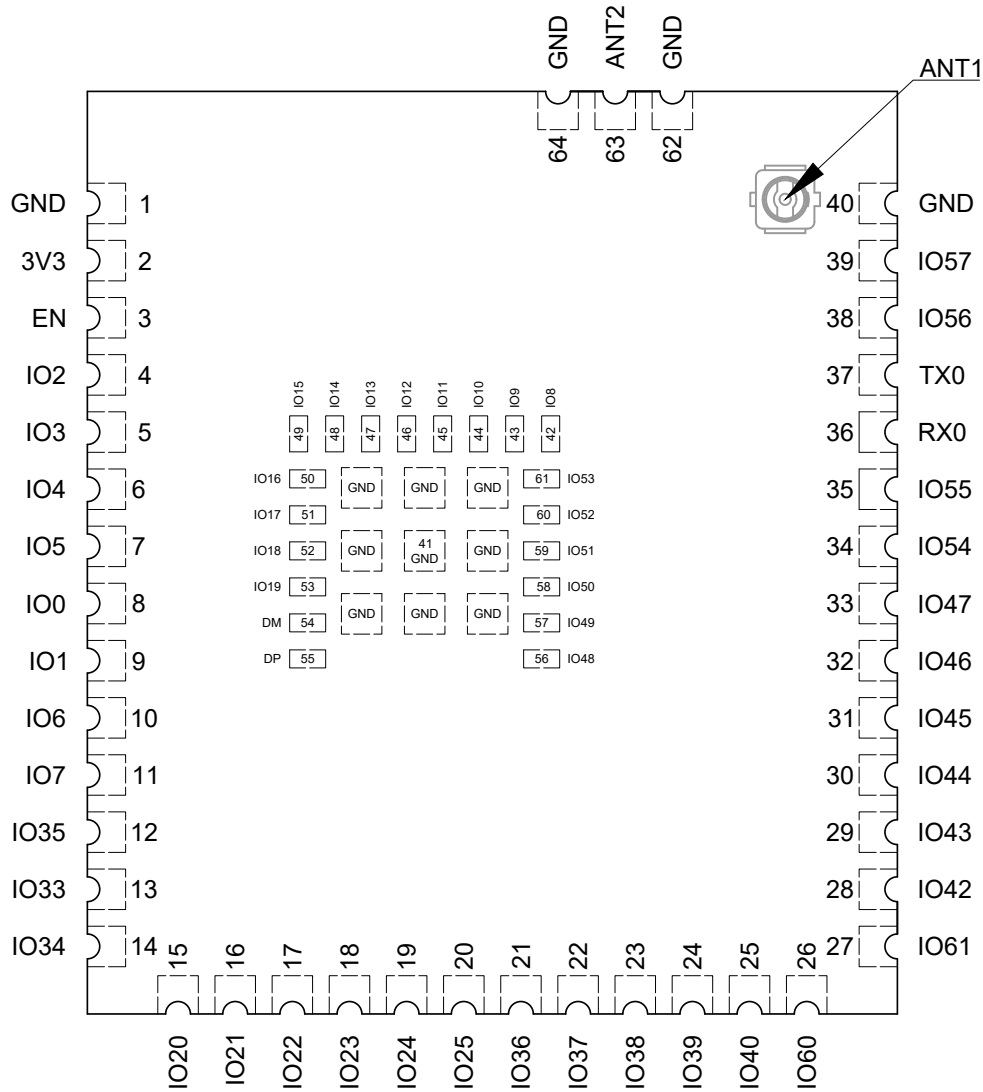


图 3-2. ESP32-S31-WROOM-1U 管脚布局（顶视图）

说明：
Keepout Zone 为天线净空区。ESP32-S31-WROOM-1U 的管脚布局与 ESP32-S31-WROOM-1 相同，但没有天线净空区。
关于底板上模组天线净空区的更多信息，请查看 [《ESP32-S31 硬件设计指南》](#) > 章节 基于模组的版图设计通用要点。

3.2 管脚描述

ESP32-S31-WROOM-1 模组共有 61 个管脚，ESP32-S31-WROOM-1U 模组共有 64 个管脚，具体描述参见表 3-1 [ESP32-S31-WROOM-1 管脚定义](#) 和表 3-2 [ESP32-S31-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-S31-WROOM-1 管脚定义

名称	管脚序号	类型 ¹	功能
GND	1, 40, 41	P	接地

见下页

表 3-1 – 接上页

名称	管脚序号	类型 ¹	功能
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	GPIO2, LP_GPIO2, LP_UART_DTRN, LP_SPI_CK, LP_PROBE_TOP_OUT2, LCD_DATA19_OUT
IO3	5	I/O/T	GPIO3, LP_GPIO3, LP_UART_DSRN, LP_SPI_CS, LP_PROBE_TOP_OUT3, LCD_DATA20_OUT
IO4	6	I/O/T	GPIO4, LP_GPIO4, LP_UART_RTSN, LP_SPI_D, LP_PROBE_TOP_OUT4, LCD_DATA21_OUT
IO5	7	I/O/T	GPIO5, LP_GPIO5, LP_UART_CTSN, LP_SPI_Q, LP_PROBE_TOP_OUT5, LCD_DATA22_OUT
IO0	8	I/O/T	GPIO0, LP_GPIO0, XTAL_32K_N, LP_PROBE_TOP_OUT0
IO1	9	I/O/T	GPIO1, LP_GPIO1, XTAL_32K_P, LP_PROBE_TOP_OUT1
IO6	10	I/O/T	GPIO6, LP_GPIO6, TOUCH_CH0, LP_UART_TXD, LP_I2C_SCL, LP_PROBE_TOP_OUT6
IO7	11	I/O/T	GPIO7, LP_GPIO7, TOUCH_CH1, LP_UART_RXD, LP_I2C_SDA, LP_PROBE_TOP_OUT7, LCD_DATA23_OUT
IO35	12	I/O/T	GPIO35, REF_GMAC_CLK, LCD_DATA14_OUT, SD2_CDATA0
IO33	13	I/O/T	GPIO33, USB1P1_NO, LCD_DATA12_OUT
IO34	14	I/O/T	GPIO34, USB1P1_PO, LCD_DATA13_OUT
IO20	15	I/O/T	SDIO_DATA0, GPIO20, SPI2_CK
IO21	16	I/O/T	SDIO_DATA1, GPIO21, SPI2_D
IO22	17	I/O/T	SDIO_DATA2, GPIO22, SPI2_Q
IO23	18	I/O/T	SDIO_DATA3, GPIO23, SPI2_CS
IO24	19	I/O/T	SDIO_CLK, GPIO24, SPI2_HOLD
IO25	20	I/O/T	SDIO_CMD, GPIO25, SPI2_WP
IO36 ²	21	I/O/T	GPIO36, LCD_DATA15_OUT, SD2_CDATA1
IO37	22	I/O/T	GPIO37, LCD_DATA16_OUT, SD2_CDATA2, PAD_COMP0
IO38	23	I/O/T	GPIO38, LCD_DATA17_OUT, SD2_CDATA3, PAD_COMP1
IO39	24	I/O/T	GPIO39, LCD_DATA18_OUT, SD2_CCLK, PAD_COMP2
IO40	25	I/O/T	GPIO40, LCD_PCLK, SD2_CCMD, PAD_COMP3
IO60	26	I/O/T	GPIO60
IO61	27	I/O/T	GPIO61
IO42	28	I/O/T	GPIO42, ADC1_CH0_N
IO43	29	I/O/T	GPIO43, ADC1_CH0_P, LCD_H_ENABLE
IO44	30	I/O/T	GPIO44, ADC1_CH1_N, LCD_H_SYNC
IO45	31	I/O/T	GPIO45, ADC1_CH1_P, LCD_V_SYNC
IO46	32	I/O/T	GPIO46, ADC1_CH2_N, CAM_DATA0_IN
IO47	33	I/O/T	GPIO47, ADC1_CH2_P, CAM_DATA1_IN
IO54	34	I/O/T	MTDO, GPIO54, ADC2_CH2_N, CAM_PCLK, SPI2_D
IO55	35	I/O/T	MTCK, GPIO55, ADC2_CH2_P, CAM_XCLK, SPI2_Q

见下页

表 3-1 – 接上页

名称	管脚序号	类型 ¹	功能
RX0	36	I/O/T	UART0_RXD, GPIO59
TX0	37	I/O/T	UART0_TXD, GPIO58
IO56	38	I/O/T	MTDI, GPIO56, ADC2_CH3_N, CAM_V_SYNC, SPI2_HOLD
IO57	39	I/O/T	MTMS, GPIO57, ADC2_CH3_P, CAM_H_SYNC, SPI2_WP
IO8	42	I/O/T	GPIO8, TOUCH_CH2, GMAC_PHY_TXD0, LCD_DATA0_OUT
IO9	43	I/O/T	GPIO9, TOUCH_CH3, GMAC_PHY_TXD1, LCD_DATA1_OUT, SPI2_HOLD
IO10	44	I/O/T	GPIO10, TOUCH_CH4, GMAC_PHY_TXD2, LCD_DATA2_OUT, SPI2_CS
IO11	45	I/O/T	GPIO11, TOUCH_CH5, GMAC_PHY_TXD3, LCD_DATA3_OUT, SPI2_D
IO12	46	I/O/T	GPIO12, TOUCH_CH6, GMAC_PHY_TXEN, LCD_DATA4_OUT, SPI2_CK
IO13	47	I/O/T	GPIO13, TOUCH_CH7, GMAC_RMII_CLK, LCD_DATA5_OUT, SPI2_Q
IO14	48	I/O/T	GPIO14, TOUCH_CH8, GMAC_RX_CLK, LCD_DATA6_OUT, SPI2_WP
IO15	49	I/O/T	GPIO15, TOUCH_CH9, GMAC_PHY_RXDV, LCD_DATA7_OUT, SPI2_IO4
IO16	50	I/O/T	GPIO16, TOUCH_CH10, GMAC_PHY_RXD3, LCD_DATA8_OUT, SPI2_IO5
IO17	51	I/O/T	GPIO17, TOUCH_CH11, GMAC_PHY_RXD2, LCD_DATA9_OUT, SPI2_IO6
IO18	52	I/O/T	GPIO18, TOUCH_CH12, GMAC_PHY_RXD1, LCD_DATA10_OUT, SPI2_IO7
IO19	53	I/O/T	GPIO19, TOUCH_CH13, GMAC_PHY_RXD0, LCD_DATA11_OUT, SPI2_DQS
DM	54	I/O/T	USB_DM
DP	55	I/O/T	USB_DP
IO48	56	I/O/T	GPIO48, ADC1_CH3_N, CAM_DATA2_IN
IO49	57	I/O/T	GPIO49, ADC1_CH3_P, CAM_DATA3_IN
IO50	58	I/O/T	GPIO50, ADC2_CH0_N, CAM_DATA4_IN
IO51	59	I/O/T	GPIO51, ADC2_CH0_P, CAM_DATA5_IN
IO52	60	I/O/T	GPIO52, ADC2_CH1_N, CAM_DATA6_IN, SPI2_CS
IO53	61	I/O/T	GPIO53, ADC2_CH1_P, CAM_DATA7_IN, SPI2_CK

¹ P: 电源; I: 输入; O: 输出; T: 可设置为高阻。

² IO36 在模组内部已被上拉。

表 3-2. ESP32-S31-WROOM-1U 管脚定义

名称	管脚序号	类型 ¹	功能
GND	1, 40, 41	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	GPIO2, LP_GPIO2, LP_UART_DTRN, LP_SPI_CK, LP_PROBE_TOP_OUT2, LCD_DATA19_OUT
IO3	5	I/O/T	GPIO3, LP_GPIO3, LP_UART_DSRN, LP_SPI_CS, LP_PROBE_TOP_OUT3, LCD_DATA20_OUT
IO4	6	I/O/T	GPIO4, LP_GPIO4, LP_UART_RTSEN, LP_SPI_D, LP_PROBE_TOP_OUT4, LCD_DATA21_OUT

见下页

表 3-2 – 接上页

名称	管脚序号	类型 ¹	功能
IO5	7	I/O/T	GPIO5, LP_GPIO5, LP_UART_CTSN, LP_SPI_Q, LP_PROBE_TOP_OUT5, LCD_DATA22_OUT
IO0	8	I/O/T	GPIO0, LP_GPIO0, XTAL_32K_N, LP_PROBE_TOP_OUT0
IO1	9	I/O/T	GPIO1, LP_GPIO1, XTAL_32K_P, LP_PROBE_TOP_OUT1
IO6	10	I/O/T	GPIO6, LP_GPIO6, TOUCH_CH0, LP_UART_TXD, LP_I2C_SCL, LP_PROBE_TOP_OUT6
IO7	11	I/O/T	GPIO7, LP_GPIO7, TOUCH_CH1, LP_UART_RXD, LP_I2C_SDA, LP_PROBE_TOP_OUT7, LCD_DATA23_OUT
IO35	12	I/O/T	GPIO35, REF_GMAC_CLK, LCD_DATA14_OUT, SD2_CDATA0
IO33	13	I/O/T	GPIO33, USB1P1_NO, LCD_DATA12_OUT
IO34	14	I/O/T	GPIO34, USB1P1_PO, LCD_DATA13_OUT
IO20	15	I/O/T	SDIO_DATA0, GPIO20, SPI2_CK
IO21	16	I/O/T	SDIO_DATA1, GPIO21, SPI2_D
IO22	17	I/O/T	SDIO_DATA2, GPIO22, SPI2_Q
IO23	18	I/O/T	SDIO_DATA3, GPIO23, SPI2_CS
IO24	19	I/O/T	SDIO_CLK, GPIO24, SPI2_HOLD
IO25	20	I/O/T	SDIO_CMD, GPIO25, SPI2_WP
IO36²	21	I/O/T	GPIO36, LCD_DATA15_OUT, SD2_CDATA1
IO37	22	I/O/T	GPIO37, LCD_DATA16_OUT, SD2_CDATA2, PAD_COMPO
IO38	23	I/O/T	GPIO38, LCD_DATA17_OUT, SD2_CDATA3, PAD_COMP1
IO39	24	I/O/T	GPIO39, LCD_DATA18_OUT, SD2_CCCLK, PAD_COMP2
IO40	25	I/O/T	GPIO40, LCD_PCLK, SD2_CCMD, PAD_COMP3
IO60	26	I/O/T	GPIO60
IO61	27	I/O/T	GPIO61
IO42	28	I/O/T	GPIO42, ADC1_CH0_N
IO43	29	I/O/T	GPIO43, ADC1_CH0_P, LCD_H_ENABLE
IO44	30	I/O/T	GPIO44, ADC1_CH1_N, LCD_H_SYNC
IO45	31	I/O/T	GPIO45, ADC1_CH1_P, LCD_V_SYNC
IO46	32	I/O/T	GPIO46, ADC1_CH2_N, CAM_DATA0_IN
IO47	33	I/O/T	GPIO47, ADC1_CH2_P, CAM_DATA1_IN
IO54	34	I/O/T	MTDO, GPIO54, ADC2_CH2_N, CAM_PCLK, SPI2_D
IO55	35	I/O/T	MTCK, GPIO55, ADC2_CH2_P, CAM_XCLK, SPI2_Q
RX0	36	I/O/T	UART0_RXD, GPIO59
TX0	37	I/O/T	UART0_TXD, GPIO58
IO56	38	I/O/T	MTDI, GPIO56, ADC2_CH3_N, CAM_V_SYNC, SPI2_HOLD
IO57	39	I/O/T	MTMS, GPIO57, ADC2_CH3_P, CAM_H_SYNC, SPI2_WP
IO8	42	I/O/T	GPIO8, TOUCH_CH2, GMAC_PHY_TXD0, LCD_DATA0_OUT
IO9	43	I/O/T	GPIO9, TOUCH_CH3, GMAC_PHY_TXD1, LCD_DATA1_OUT, SPI2_HOLD
IO10	44	I/O/T	GPIO10, TOUCH_CH4, GMAC_PHY_TXD2, LCD_DATA2_OUT, SPI2_CS
IO11	45	I/O/T	GPIO11, TOUCH_CH5, GMAC_PHY_TXD3, LCD_DATA3_OUT, SPI2_D
IO12	46	I/O/T	GPIO12, TOUCH_CH6, GMAC_PHY_TXEN, LCD_DATA4_OUT, SPI2_CK
IO13	47	I/O/T	GPIO13, TOUCH_CH7, GMAC_RMII_CLK, LCD_DATA5_OUT, SPI2_Q

见下页

表 3-2 – 接上页

名称	管脚序号	类型 ¹	功能
IO14	48	I/O/T	GPIO14, TOUCH_CH8, GMAC_RX_CLK, LCD_DATA6_OUT, SPI2_WP
IO15	49	I/O/T	GPIO15, TOUCH_CH9, GMAC_PHY_RXDV, LCD_DATA7_OUT, SPI2_IO4
IO16	50	I/O/T	GPIO16, TOUCH_CH10, GMAC_PHY_RXD3, LCD_DATA8_OUT, SPI2_IO5
IO17	51	I/O/T	GPIO17, TOUCH_CH11, GMAC_PHY_RXD2, LCD_DATA9_OUT, SPI2_IO6
IO18	52	I/O/T	GPIO18, TOUCH_CH12, GMAC_PHY_RXD1, LCD_DATA10_OUT, SPI2_IO7
IO19	53	I/O/T	GPIO19, TOUCH_CH13, GMAC_PHY_RXD0, LCD_DATA11_OUT, SPI2_DQS
DM	54	I/O/T	USB_DM
DP	55	I/O/T	USB_DP
IO48	56	I/O/T	GPIO48, ADC1_CH3_N, CAM_DATA2_IN
IO49	57	I/O/T	GPIO49, ADC1_CH3_P, CAM_DATA3_IN
IO50	58	I/O/T	GPIO50, ADC2_CH0_N, CAM_DATA4_IN
IO51	59	I/O/T	GPIO51, ADC2_CH0_P, CAM_DATA5_IN
IO52	60	I/O/T	GPIO52, ADC2_CH1_N, CAM_DATA6_IN, SPI2_CS
IO53	61	I/O/T	GPIO53, ADC2_CH1_P, CAM_DATA7_IN, SPI2_CK
GND	62	P	接地
ANT2 ³	63	I/O	射频输入和输出
GND	64	P	接地

¹ P: 电源; I: 输入; O: 输出; T: 可设置为高阻。

² IO36 在模组内部已被上拉。

³ 默认情况下, ESP32-S31-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-S31 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：GPIO60 和 GPIO61

• VDD_SPI 电压

- Strapping 管脚：GPIO36
- eFuse 参数：EFUSE_PMU_FLASH_POWER_SEL 和 EFUSE_PMU_FLASH_POWER_SEL_EN

• ROM 日志打印

- Strapping 管脚：GPIO60
- eFuse 参数：EFUSE_UART_PRINT_CONTROL 和 EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG_ROM_PRINT

• JTAG 信号源

- Strapping 管脚：GPIO37
- eFuse 参数：EFUSE_DIS_PAD_JTAG、EFUSE_DIS_USB_JTAG 和 EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE

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。

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 管脚的默认配置

Strapping 管脚	默认配置	值
GPIO36	浮空	-
GPIO37	浮空	-
GPIO60	弱上拉	1
GPIO61	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-S31 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。

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

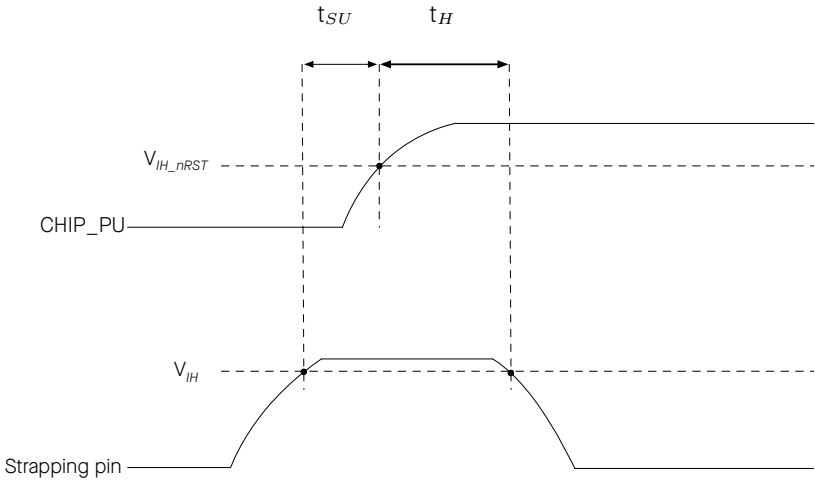


图 4-1. Strapping 管脚的时序参数图

4.1 芯片启动模式控制

复位释放后，GPIO60 和 GPIO61 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	GPIO61	GPIO60
SPI Boot 模式¹	1	任意值
Joint Download Boot 模式 ²	0	1
无效组合 ³	0	0

¹ 加粗表示默认值和默认配置。

² Joint Download Boot 模式下支持以下下载方式：

- USB-Serial-JTAG Download Boot
- USB-OTG Download Boot
- UART Download Boot
- GPSPI Download Boot

³ 不可将 GPIO61 和 GPIO60 均设置为 0，否则会触发意外行为。

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 UART0、USB 串口/JTAG、USB 2.0 高速 OTG 或 GPSPI 从机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。

4.1.1 Joint Download Boot 模式下的安全调试

ESP32-S31 系列芯片首次支持安全调试控制器 (Secure Debug Controller, SDC)。

在同时满足以下条件时，芯片在 Joint Download Boot 模式下支持 SDC 相关命令：

- 芯片已进入 Joint Download Boot 模式
- eFuse 字段 EFUSE_RMA_ENA 已使能（值为 2'b01 或 2'b10）

说明： SDC 相关能力不受 eFuse 位 EFUSE_DIS_DOWNLOAD_MODE 和 EFUSE_ENABLE_SECURITY_DOWNLOAD 的限制。

使用 SDC 前，须先完成 eFuse 与证书配置：

1. 将 SDC 公钥哈希烧写入 eFuse；
2. 在 Joint Download Boot 模式下，通过 esptool 向芯片传输 SDC 证书；ROM 在硬件层完成证书校验。

证书校验通过后，ROM 将在硬件层临时开启以下调试能力（即使相应 eFuse 已烧写为禁用）：

- 软件 JTAG：即使已烧写 EFUSE_SOFT_DIS_JTAG
- Download 模式：即使已烧写 EFUSE_DIS_DOWNLOAD_MODE
- 强制进入 SPI Boot 模式，用于应用软件调试

上述 SDC 授权状态仅在本次运行期间有效。上电复位后，校验结果将被清除；若需再次调试，须重新完成证书传输与校验。

4.2 VDD_SPI 电压控制

VDD_SPI 可由内部或者外部供电：

- (默认) 寄存器 PMU_ACTIVE_VDD_SPI_PD_EN 为低，则为内部 POWER_SWITCH 供电
- 寄存器 PMU_ACTIVE_VDD_SPI_PD_EN 为高，则为外部供电

VDD_SPI 的具体供电电压标准则由 EFUSE_PMU_FLASH_POWER_SEL、寄存器 PMU_ACTIVE_VDD_SPI_PD_EN、GPIO36 和 EFUSE_PMU_FLASH_POWER_SEL_EN 共同决定。

表 4-4. VDD_SPI 电压标准控制

电压标准 ¹	EFUSE_PMU_FLASH_POWER_SEL	GPIO36	EFUSE_PMU_FLASH_POWER_SEL_EN
3.3 V	0	1	忽略
	1	忽略	1
1.8 V	0	0	忽略
	1	忽略	0

¹ 请参考章节 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 电源管理。

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
- USB 串口/JTAG 控制器

• UART0

EFUSE_UART_PRINT_CONTROL 和 GPIO60 控制 **UART0** ROM 日志打印，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	EFUSE_UART_PRINT_CONTROL	GPIO60
使能	0	忽略
	1	0
	2	1
关闭	1	1
	2	0
	3	忽略

¹ 加粗表示默认值和默认配置。

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

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，GPIO37 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 *JTAG 信号源控制* 所示，GPIO37 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_DIS_PAD_JTAG	EFUSE_DIS_USB_JTAG	EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE	GPIO37
USB 串口/JTAG 控制器	0	0	0	忽略
	0	0	1	1
	1	0	忽略	忽略
JTAG 管脚 ²	0	0	1	0
	0	1	忽略	忽略
JTAG 关闭	1	1	忽略	忽略

¹ 加粗表示默认值和默认配置。

² 即 MTDI、MTCK、MTMS 和 MTDO。

4.5 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 4-8。

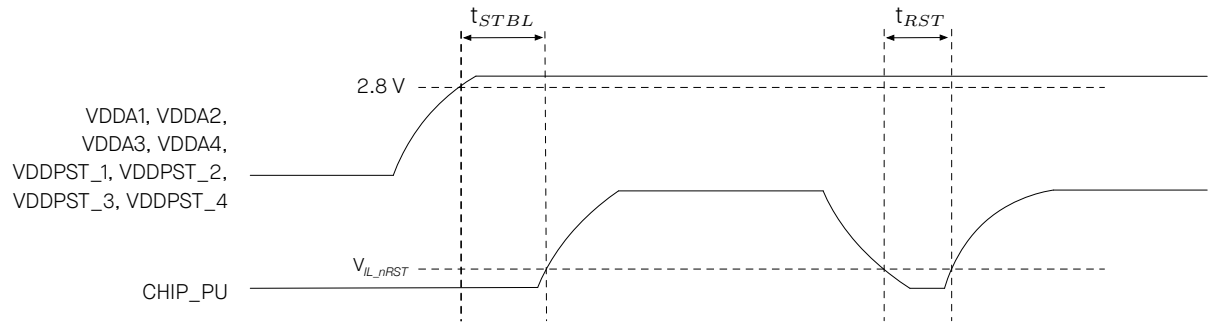


图 4-2. 上电和复位时序参数图

表 4-8. 上电和复位时序参数说明

参数	说明	最小值 (ms)
t_{STBL}	CHIP_PU 管脚拉高激活芯片前，VDDA1、VDDA2、VDDA3、VDDA4、VDDPST_1、VDDPST_2、VDDPST_3、VDDPST_4 达到稳定所需的时间	1
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	1

5 外设

5.1 外设概述

ESP32-S3I 集成了丰富的外设，包括 JPEG 图像编解码器、像素处理加速器 (PPA)、音频采样率转换器 (ASRC)、CORDIC 加速器、LCD 与 Camera 控制器 (LCD_CAM)、UART、SPI、I2C、I2S、脉冲计数控制器、USB 2.0 高速 OTG、USB 串口/JTAG 控制器、以太网介质访问控制器、CAN FD 控制器、SD/MMC 主机控制器、LED PWM 控制器、电机控制脉宽调制器、红外遥控、并行 IO 控制器、比特调节器、触摸传感器、温度传感器、ADC 控制器、DAC 控制器、模拟电压比较器、通用定时器、系统定时器、看门狗定时器等。

说明：

以下内容出自 [《ESP32-S3I 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-S3I-WROOM-1 以及 ESP32-S3I-WROOM-1U。

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 图像与音频处理

本章节介绍了图像与声音处理的外设。

5.2.1.1 JPEG 图像编解码器

ESP32-S3I 的 JPEG 图像编解码器是一种基于 JPEG 基线标准的图像编解码器，可以对图像进行压缩（编码）和解压缩（解码），从而降低传输图像所需的带宽或存储图像所需的空間，可以处理高分辨率的图像。

特性

JPEG 图像编解码器作为编码器使用时，具有以下特性：

- 使用离散余弦变换算法
- 使用范斯哈夫曼编码
- 原始输入图像格式支持 RGB888、RGB565、YUV444、YUV422、YUV420 和 GRAY
- 支持将 RGB888、RGB565、YUV444 图像进行转换（如有需要）并压缩为 YUV444、YUV422 或 YUV420 格式，支持对 YUV422 图像进行转换（如有需要）并压缩为 YUV422 或 YUV420 格式（压缩功能仅适用于 YUV444、YUV422 和 YUV420 格式）
- 支持 4 个 8 位或 16 位精度的可配置量化系数表
- 性能：
 - 静态图像压缩最大支持 4K 分辨率
 - 动态图像压缩最大支持 720P@30fps（不包括包头编码时间）
- 可自动填充零字节

- 可自动添加 EOI 标记

JPEG 图像编解码器作为解码器使用时，具有以下特性：

- 使用反离散余弦变换算法
- 使用哈夫曼解码
- 支持 YUV444、YUV422、YUV420、GRAY 图像格式的压缩码流解码
- 支持 4 个 8 位或 16 位精度的可配置量化系数表
- 支持 2 个 DC 和 2 个 AC 哈夫曼表
- 支持任意分辨率的图像解码，但输出的解码图像分辨率不同于输入图像格式：
 - YUV444、GRAY：输出的解码图像水平和垂直分辨率均为 8 的倍数，即 150×150 的图像输出分辨率为 152×152
 - YUV422：输出的解码图像水平分辨率为 16 的倍数，垂直分辨率为 8 的倍数，即 150×150 的图像输出分辨率为 160×152
 - YUV420：输出的解码图像水平和垂直分辨率均为 16 的倍数，即 150×150 的图像输出分辨率为 160×160
- 性能：
 - 静态图像解码最大支持 4K 分辨率
 - 动态图像解码最大支持 720P@30fps（不包括包头解析时间）

管脚分配

JPEG 编/解码器无需直接与 IO 进行交互，因此无需分配管脚。

5.2.1.2 像素处理加速器 (PPA)

ESP32-S31 带有一个像素处理加速器 (PPA)，PPA 主要包括两大功能模块：旋转 - 缩放 - 镜像 (SRM) 和图层叠加 (BLEND)。

特性

- SRM 支持图像块旋转、缩放、镜像：
 - 输入格式支持 ARGB8888、RGB888、RGB565、YUV422、YUV420、GRAY
 - 输出格式支持 ARGB8888、RGB888、RGB565、YUV422、YUV420、GRAY
 - 逆时针旋转角度支持 0° 、 90° 、 180° 、 270°
 - 水平、垂直方向独立缩放支持 8 位整数及 4 位小数
 - 水平、垂直方向镜像
- BLEND 支持两个相同尺寸的图层叠加以及输出特定像素的填充图像：
 - 前景输入格式支持 ARGB8888、RGB888、RGB565、L4、L8、A4、A8
 - 背景输入格式支持 ARGB8888、RGB888、RGB565、YUV422、YUV420、GRAY、L4、L8
 - 输出格式支持 ARGB8888、RGB888、RGB565、YUV422、YUV420、GRAY

- 基于 Alpha 通道的图层叠加，若图层没有 Alpha 通道，可通过寄存器配置提供
- 前景和背景支持通过设置 color-key 范围实现特殊颜色抠图

管脚分配

像素处理加速器无需直接与 IO 进行交互，因此无需分配管脚。

5.2.1.3 音频采样率转换器 (ASRC)

音频采样率转换器 (Audio Sample Rate Converter, 简称 ASRC) 是一种加速器类音频处理模块，用于在不同采样率之间高质量地转换音频信号，以支持不同采样标准设备之间的协同工作。该模块通常通过 DMA 接口与片上或片外存储器进行数据交互，实现音频数据的高效传输与处理。

特性

- 支持常见采样率之间的任意互转，包括：8 kHz、16 kHz、32 kHz、44.1 kHz 和 48 kHz
- 输入和输出信号宽度为 16 位，采用 Q1.15 格式
- 采样率转换通过两个整数倍重采样器与一个分数采样率转换器 (FRC) 级联实现，级联方式可通过软件灵活配置：
 - 整数倍重采样器的转换因子可配置为 2 或 $\frac{1}{2}$
 - FRC 的转换因子可在 0 到 2 之间配置（不包括 0 和 2）
- 支持多种声道模式，包括：
 - 单声道接收 (Rx)，单声道发送 (Tx)
 - 双声道接收 (Rx)，双声道发送 (Tx)，两个声道同时处理
 - 单声道接收，双声道发送
 - 双声道接收，单声道发送
- 支持任意长度输入数据，并可根据输出数据长度产生 EOF (End of Frame) 标志
- 当两个通道独立使用时，每个通道支持如下模式：
 - 输入单声道，输出单声道
 - 输入单声道，输出双声道（两个声道数据相同）
 - 输入双声道，输出单声道（可选择某一声道进行处理）
- 当两个通道协同使用时，每个通道均可配置为输入或输出双声道

5.2.1.4 CORDIC 加速器 (CORDIC)

ESP32-S31 带有一个 CORDIC 算法硬件加速器。其基本思想是通过执行一系列与运算计数相关的固定角度旋转不断地逼近目标角度。可进行诸如三角函数计算等数学操作。

特性

- 支持 q1.15, q1.31 两种定点数格式计算

- 支持圆周系统、线性系统以及双曲系统
- 支持旋转模式、向量模式
- 可计算函数：sin、cos、sinh、cosh、atan(x)、atan(y/x)、atanh、模数、平方根、自然对数
- 可配置计算精度（运算周期数）
- 支持轮询方式读取计算结果
- 支持中断方式读取计算结果
- 支持 DMA 直连模式

管脚分配

CORDIC 算法加速器无需直接与 IO 进行交互，因此无需分配管脚。

5.2.1.5 LCD 与 Camera 控制器 (LCD_CAM)

ESP32-S31 的 LCD_CAM 控制器包含一个独立的 LCD 控制模块和 Camera（摄像头）控制模块，可以外接 LCD 和摄像头设备，功能灵活多样。

特性

- 支持以下工作模式：
 - LCD 主机发送模式
 - Camera 从机接收模式
 - Camera 主机接收模式
- 支持同时外接 LCD 和摄像头设备
- 当外接 LCD 设备时，支持：
 - 8/16/24 位并行输出模式
 - RGB、MOTO6800、I8080 多种 LCD 模式
 - LCD 数据可由 GDMA 取自内部或外部存储器
- 当外接摄像头设备（即 DVP 图像传感器）时，支持：
 - 8/16 位并行输入模式
 - 视频数据可由 GDMA 存入内部或外部存储器
- 支持 LCD_CAM 接口中断

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2 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。

5.2.2.1 UART 控制器 (UART)

ESP32-S31 芯片中的 UART 控制器用于芯片与外部 UART 设备之间的异步串行数据传输和接收。ESP32-S31 由四个在主系统中的 UART 和一个低功耗 LP UART 组成。

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

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.2 SPI 控制器 (SPI)

串行外设接口 (SPI) 是一种同步串行接口，可用于与外围设备进行通信。ESP32-S31 芯片集成了四个 SPI 控制器：

- MSPI 控制器，简称 MSPI，包括：
 - FLASH MSPI 控制器
 - * FLASH MSPI SPI0
 - * FLASH MSPI SPI1
 - PSRAM MSPI 控制器
 - * PSRAM MSPI SPI0
 - * PSRAM MSPI SPI1
- 通用 SPI2，简称 GP-SPI2
- 通用 SPI3，简称 GP-SPI3
- 低功耗 SPI，简称 LP-SPI

特性

GP-SPI 具有以下特性：

- 用作主机或用作从机
- 支持半双工通信和全双工通信
- 支持 CPU 控制的传输类型以及 DMA 控制的传输类型
- 支持多种数据模式：
 - GP-SPI2
 - * 1-bit SPI 模式
 - * 2-bit Dual SPI 模式
 - * 4-bit Quad SPI 模式
 - * QPI 模式
 - * 8-bit Octal SPI 模式（仅用于主机）
 - * OPI 模式（仅用于主机）
 - GP-SPI3
 - * 1-bit SPI 模式
 - * 2-bit Dual SPI 模式
 - * 4-bit Quad SPI 模式
 - * QPI 模式
- 时钟频率可配置
 - 用作主机时：时钟频率可达 80 MHz
 - 用作从机时：时钟频率可达 60 MHz
- 数据长度可配置
 - 在 CPU 控制的主机和从机传输中：数据长度为 1~64 字节
 - 在 DMA 控制的主机单次传输中：数据长度为 1~32 KB
 - 在 DMA 控制的主机分段配置传输中：数据长度字节数无限制
 - 在 DMA 控制的从机单次或连续传输中：数据长度字节数无限制
- 读写数据的比特位顺序可配置
- 为 CPU 控制的传输和 DMA 控制的传输分别提供独立中断
- 时钟极性和相位可配置
- 四种 SPI 时钟模式：模式 0~ 模式 3
- 用作主机时，提供多条 CS 线
 - GP-SPI2：CS0~CS5
 - GP-SPI3：CS0~CS2

- 支持访问 SPI 接口的传感器、显示屏控制器、flash 或 RAM 芯片

LP-SPI 为 GP-SPI 的精简版，其功能为 GP-SPI 功能的子集，具有以下特性：

- 用作主机或用作从机
- 支持半双工通信和全双工通信
- 仅支持 CPU 控制的传输类型
- 仅支持 1-bit SPI 数据模式
- 时钟频率可配置
 - 用作主机时：时钟频率可达 40 MHz
 - 用作从机时：时钟频率可达 40 MHz
- 数据长度可配置
 - 在 CPU 控制的主机和从机传输中：数据长度为 1~64 字节
- 读写数据的比特位顺序可配置
- 为 CPU 控制的传输提供中断
- 时钟极性和相位可配置
- 四种 SPI 时钟模式：模式 0~ 模式 3
- 用作主机时，仅提供 1 条 CS 线：CS0
- 用作从机时，支持唤醒功能（相较于 GP-SPI，属唯一新增功能）

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.3 I2C 控制器 (I2C)

ESP32-S31 有两个 HP_I2C 总线接口和一个 LP_I2C 总线接口。根据配置，HP_I2C 总线接口可以用作 I2C 主机或从机模式，LP_I2C 总线接口只能用作 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

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.4 I2S 控制器 (I2S)

ESP32-S31 芯片中的 I2S 控制器为多媒体应用程序提供了一种灵活的通信接口，特别适用于数字音频应用。

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 96 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

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.5 脉冲计数控制器 (PCNT)

ESP32-S31 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_un）和相应的控制信号（如 ctrl_ch0_un）
- 滤波器独立工作，过滤每个单元输入脉冲信号（sig_ch0_un 和 sig_ch1_un）控制信号（ctrl_ch0_un 和 ctrl_ch1_un）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
 3. 通过设置递增/递减计数步长阈值实现步长计数警报
 4. 置位清零寄存器或通过 GPIO 输入清零信号可清除脉冲计数控制器的值
 5. 每个计数模式都可以生成并记录相应事件信号，这些事件信号可以配置为中断
- 最大脉冲频率： $\frac{f_{APB_CLK}}{2}$

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.6 USB 2.0 高速 OTG

ESP32-S31 带有一个集成了收发器的 USB 2.0 高速 OTG 外设，下文将称为 OTG_HS。该 OTG_HS 外设符合 USB 2.0 协议规范，同时兼容 OTG 1.3 协议和 OTG 2.0 协议。OTG_HS 支持 USB 2.0 传输速率为 480 Mbit/s 的高速模式 (High-Speed, HS)、传输速率为 12 Mbit/s 的全速模式 (Full-Speed, FS) 和传输速率为 1.5 Mbit/s 的低速模式 (Low-Speed, LS)。

- 处于高速模式和全速模式的 OTG_HS 可配置成 Host，也可以配置成 Device。
- 处于低速模式的 OTG_HS 只可配置成 Host。

特性

通用特性

- 兼容 USB 2.0 协议、OTG 1.3 协议、OTG 2.0 协议
- 支持高速速率、全速速率、低速速率
- 在全速和高速模式下既可作为主机，也可以充当设备
- 动态分配 FIFO (DFIFO) 大小，每个设备 EP/主机通道最大可动态分配 4 KB FIFO
- 每个微帧最大支持 8 个非周期性和 16 个周期性事务
- 支持多种存储器访问模式
 - Scatter/Gather DMA 模式
 - Buffer DMA 模式

- Slave 模式

- 集成 UTMI 高速收发器

设备模式 (Device mode) 特性

- 端点 0 永远存在，双向控制，由 EPO IN 和 EPO OUT 组成
- 15 个附加端点 1~15，可配置为 IN 或 OUT
- 最多 8 个 IN 端点同时工作，包括 EPO IN
- 所有 OUT 端点共享一个 RX FIFO
- 每个 IN 端点都有专用的 TX FIFO

主机模式 (Host mode) 特性

- 16 个主机通道
- 一个 RX FIFO：由所有周期事务和非周期事务共用
- 两个 TX FIFO：
 - 所有非周期事务传输共用一个 TX FIFO
 - 所有周期事务传输共用另一个 TX FIFO
- 上述所有 FIFO 共用 4 KB RAM
- 每个 FIFO 大小可配置，最大 4 KB

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.7 USB 串口/JTAG 控制器 (USB_SERIAL_JTAG)

ESP32-S31 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

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.8 以太网介质访问控制器 (EMAC)

借助外部以太网物理层 (Ethernet PHY)，ESP32-S31 可以通过以太网介质访问控制 (Ethernet MAC) 按照 IEEE 802.3 标准发送和接收数据。

ESP32-S31 以太网 MAC 符合以下标准：

- 符合 IEEE 802.3-2002，用于以太网 MAC。
- 符合 IEEE 1588-2008 标准，用于规定联网时钟同步的精度。
- 符合 IEEE 802.3 规范工业标准接口：介质独立接口 (MII)、简化介质独立接口 (RMII) 和简化千兆介质独立接口 (RGMII)。
- 符合 IEEE 802.3az-2010 节能以太网标准
- 符合 IEEE 802.1Q 标准，用于支持 VLAN 帧

特性

- 支持外部 PHY 接口实现 10/100/1000 Mbit/s 数据传输速率
- 可通过符合 IEEE802.3 的 MII 接口、RMII 接口或 RGMII 接口与外部快速以太网 PHY 进行通信（一次仅可使用一种接口）
- 支持全双工和半双工模式
 - 支持适用于半双工模式的 CSMA/CD 协议
 - 支持适用于全双工模式的 IEEE 802.3x 流量控制
 - 全双工模式时可以将接收的暂停控制帧转发到用户应用程序
 - 半双工模式时提供背压流量控制
 - 全双工操作中如果流量控制输入信号消失，将自动发送暂停时间为零的暂停帧
- 报头和帧起始数据 (SFD) 在发送路径中插入、在接收路径中删除
- 可逐帧控制 CRC 和 padding（全 0）自动生成
- 如果数据未达到最小帧长度，则自动添加 padding
- 可编程帧长度，支持高达 16 KB 的巨型帧
- 可编程帧间隔 (IFG)（40-96 位时间，以 8 为步长）
- 支持多种灵活的地址过滤模式：
 - 高达 9 个 48 位完美地址过滤器，对每个字节进行掩码操作
 - 高达 9 个 48 位 SA 地址比较检查，对每个字节进行掩码操作
 - 可传送所有多播地址帧
 - 支持混合模式，因此可传送所有帧，无需为网络监视进行过滤
 - 传送所有传入数据包时（每次过滤时）均附有一份状态报告
- 为发送和接收数据包分别返回 32 位状态
- 在接收功能中支持 VLAN 标记帧过滤

- 为应用程序提供单独的发送、接收和控制接口
- 使用 MDIO 接口配置和管理 PHY 设备
- 在接收功能中支持对接收到的由以太网帧封装的 IPv4 和 TCP 数据包进行校验和卸载
- 在接收功能中支持检查 IPv4 头校验和以及在 IPv4/IPv6 数据包中封装的 TCP、UDP 或 ICMP 校验和
- 支持以太网帧时间戳（详细参考 IEEE 1588-2008）。每个帧在发送或接收时带有 64 位时间戳。
- 支持节能以太网（详细参考 IEEE 802.3az-2010）
- 支持传输帧中 CRC 替换、源地址字段插入或替换以及 VLAN 插入、替换或删除
- 两组 FIFO：一个 1024 字节发送 FIFO 和一个 256 字节接收 FIFO
- 接收 FIFO 进行多帧存储时，在 EOF 传输后，通过向接收 FIFO 插入接收状态矢量，从而使得接收 FIFO 无需存储这些帧的接收状态
- 可以转发过小的好帧
- 为接收 FIFO 中由于溢出丢失或损坏的帧生成脉冲，借此支持数据统计
- 发送时处理冲突帧的自动重新发送
- 丢弃延迟冲突、过度冲突、过度延迟和下溢条件下的帧
- 通过软件控制刷新 TX FIFO

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.9 CAN FD 控制器

CAN FD（Controller Area Network Flexible Data-Rate，控制器局域网灵活数据速率）协议是一种多主机、多播的通信协议。CAN FD 控制器用于芯片使用该协议的通信。ESP32-S31 中集成的 CAN FD 控制器与 CAN FD 规范协议兼容，但尚未获得正式认证。

特性

- 兼容 ISO11898-1:2015 标准
- 具有 128 字的 RX FIFO（6 个 64 字节载荷的 CAN FD 帧，21 个 8 字节载荷的 CAN/CAN FD 帧）
- 4 个 TX buffer（每个 TX buffer 可容纳 1 个 CAN FD 帧）
- 32 位 APB 配置接口
- 支持 ISO 和非 ISO CAN FD 协议
- 支持时间戳和基于时间的传输
- 内置 3 个屏蔽过滤器和 1 个范围过滤器
- 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

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.10 SD/MMC 主机控制器 (SDHOST)

ESP32-S31 集成一个 SD/SDIO/MMC 主机控制器。

特性

- 支持两个外部卡
- 支持 3.0、3.01 版本 SD 存储卡标准
- 支持 3.0 版本 SDIO
- 支持 1.1 版本 CE-ATA
- 支持多媒体卡 (MMC 4.41 版本、eMMC 4.5 版本和 4.51 版本)
- 支持 1-bit、4-bit 位宽模式，不支持 8-bit 位宽模式

SD/SDIO/MMC 主机控制器可以同时支持 2 张 SD/SDIO/MMC4.41 卡，或只支持 1 张以 1.8 V 电压工作的 SD 卡。

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.11 LED PWM 控制器 (LEDC)

LED PWM 控制器用于生成控制 LED 的脉冲宽度调制信号 (PWM)，具有占空比自动渐变等功能。该外设也可生成 PWM 信号用作其他用途。

特性

- 两个独立的 LED PWM 控制器，每个包含 8 个独立的 PWM 生成通道 (共计 16 个通道)
- PWM 占空比最大精度为 20 位
- 每个 LED PWM 控制器包含四个独立的定时器，具有 20 位计数器、可配置的时钟小数分频器和计数器溢出值
- PWM 输出信号相位可调节
- PWM 占空比微调
- 占空比自动渐变—即 PWM 信号占空比可逐渐增加或减小，无须处理器干预，渐变完成时产生中断
- 每个 PWM 生成通道包含 16 个占空比渐变区间，用于生成占空比伽马曲线渐变的信号。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
- 低功耗模式 (Light-sleep mode) 下可输出 PWM 信号
- 可以生成 ETM (事件任务矩阵) 外设相关的事件，可以接收 ETM 外设相关的任务

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.12 电机控制脉宽调制器 (MCPWM)

ESP32-S31 包含四个电机控制脉宽调制器 (MCPWM0、MCPWM1、MCPWM2 和 MCPWM3)，可以用于驱动数字马达和智能灯。

特性

- 每个 MCPWM 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、一个捕捉模块、一个 ETM 模块和一个故障检测模块。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

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.13 红外遥控 (RMT)

红外遥控器 (RMT) 支持四通道的红外发射和四通道的红外接收。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

- 共配置八个通道：
 - 0~3 通道支持发送
 - 4~7 通道支持接收
 - 八个通道共享 384 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
 - 持续发送模式
 - 载波调制
 - 多通道同时发送
 - 发送通道 3 支持 GDMA 访问
- 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
- 接收通道 7 支持 GDMA 访问

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.14 并行 IO 控制器 (PARLIO)

ESP32-S31 包含一个并行 IO 控制器 (PARLIO)，支持通过通用直接存储访问 (GDMA) 在并行总线上实现外部设备和内部存储器之间的数据通信。

特性

- 支持多种时钟源可选：
 - 包括外部 IO 时钟 PAD_CLK_TX/RX、内部系统时钟 XTAL_CLK、PLL_F160M_CLK 和 RC_FAST_CLK
 - 最大支持 40 MHz 的 IO 时钟频率
 - 时钟支持整数和小数分频
- 支持将传输数据总线位宽配置为 1/2/4/8/16 位
- 支持 16 位全双工传输
- 总线位宽为 1/2/4 位时，支持在一个字节范围内对比特数据顺序进行翻转
- 包含用于接收 IO 并行数据的 RX 子模块：
 - 支持对输出时钟进行门控
 - 支持 RX 子模块输入时钟和输出时钟分别取反
 - 支持多种接收模式
 - 支持配置 GDMA SUC EOF 信号生成模式
 - 支持配置外部使能信号的 IO 管脚
- 包含用于发送 IO 并行数据的 TX 子模块：
 - 支持对输出时钟进行门控
 - 支持 TX 子模块输入时钟和输出时钟分别取反
 - 支持有效信号输出
 - 支持配置 TX EOF 信号生成模式
 - 支持配置总线空闲时数值

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.2.15 比特调节器

ESP32-S31 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-S31 集成了两个比特调节器 (BitScrambler)，专门用于修改存储器和外设之间传输数据的格式，一个传输控制器用于存储器到外设（或存储器到存储器）方向的传输，另一个传输控制器用于外设到存储器方向的传输。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

- 两个比特调节器，一个用于 RX（外设到存储器），一个用于 TX（存储器到外设）
- 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

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。

5.2.3 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。

5.2.3.1 触摸传感器 (TOUCH)

ESP32-S31 搭载了 14 个电容式触摸传感器单元，每个单元可通过一个触摸管脚外接触摸板，构成触摸传感器系统。ESP32-S31 触摸传感器系统主要应用于人机交互场景中，检测手指触碰或接近，此外还支持跳频采样、防潮功能和遇水保护功能。

特性

- 支持 14 个电容触摸管脚的检测
- 可由软件或专用硬件定时器触发采样操作
- 支持两种采样方式：
 - 将来自触摸管脚的脉冲序列信号作为时钟信号处理，利用该时钟来计数采样周期
 - 将来自触摸管脚的脉冲序列信号作为数字信号处理，利用系统时钟采样该数字信号的上升沿来计数采样周期
- 支持扫描模式，可配置 Touch FSM 按照固定顺序对多个触摸管脚进行采样
- 支持超时机制，监测通道异常
- 支持跳频采样，增加检测的抗干扰性
- 支持接近感应模式，最多可配置三个通道
- 支持配置单个触摸传感器在休眠模式时正常工作
- 支持触摸传感器用作唤醒源
- 支持防潮功能
- 支持遇水保护功能

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.3.2 温度传感器 (TSENS)

ESP32-S31 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

5.2.3.3 SAR ADC 数字控制器 (ADC)

ESP32-S31 SAR ADC 数字控制器是 HP ADC 子系统的数字控制模块，负责管理两路独立 SAR ADC (SAR1 和 SAR2) 的采样触发、时序控制、数据滤波、阈值监控以及 DMA 传输。模块通过 APB 总线向 CPU 提供寄存器接口，支持软件触发、定时扫描和 ETM 事件触发三种触发源，并通过异步 FIFO 将采样结果发送到系统总线。

特性

- 支持两路独立 SAR ADC (SAR1 / SAR2) 并行工作
- 每路支持 3 种触发模式：SCAN（定时器）、SW（软件写寄存器）、ETM
- 每路独立的模式表包含 16 个样式，可按顺序循环扫描 16 个通道（支持单端和差分）
- 每路独立的四状态 SAR 控制 FSM (IDLE → XPD → RSTB → READ)，支持连续采样模式
- 2 路 IIR 低通滤波器，滤波系数可选 1/2/4/8/16/32/64
- 2 组阈值比较器，支持单通道监控和 thres0 全通道监控
- DMA 传输通路（异步 FIFO + EOF 帧管理），其中异步 FIFO 深度为 4
- 7 路中断聚合输出：SAR 转换完成、阈值越限、FIFO 溢出
- ETM 事件输入/输出
- 寄存器时钟门控

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.3.4 DAC 控制器 (DAC)

ESP32-S31 提供了一个数字模拟信号转换器，能够将数字信号转换为模拟电压并在两个特殊芯片焊盘 (PAD) 输出，两条通路分别连接至两个 PAD，并且可以独立输出互不影响。

特性

- 支持通过 GDMA 与软件配置输出值，或者通过内置的查找表输出正弦波
- 输出电压范围为 0 V ~ 3.3 V
- 支持极低功耗模式下维持输出电平

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

5.2.3.5 模拟电压比较器

ESP32-S31 提供了一个模拟电压比较器，包含四个特殊芯片焊盘 (PAD)，可选择其中三个 PAD 与另外一个 PAD 比较电压大小关系，也可以选择其中任意三个 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 $0 \sim 0.7 * VDDPST$
- 内部参考电压支持迟滞功能
- 支持 ETM

- 待测电压经过参考电压时，输出中断

管脚分配

详见 [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) > 章节 外设管脚分配。

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

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	0.6	—	—	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	$0.75 \times VDD^1$	—	$VDD^1 + 0.3$	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 ($VDD^1 = 3.3\text{ V}$, $V_{OH} \geq 2.64\text{ V}$, PAD_DRIVER = 3)	—	40	—	mA
I_{OL}	低电平灌电流 ($VDD^1 = 3.3\text{ V}$, $V_{OL} = 0.495\text{ V}$, PAD_DRIVER = 3)	—	28	—	mA
R_{PU}	内部弱上拉电阻	—	45	—	k Ω
R_{PD}	内部弱下拉电阻	—	45	—	k Ω
V_{IH_nRST}	芯片复位释放电压 (CHIP_PU 应满足电压范围)	$0.75 \times VDD^1$	—	$VDD^1 + 0.3$	V

见下页

表 6-3 – 接上页

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IL_nRST}	芯片复位电压 (CHIP_PU 应满足电压范围)	-0.3	—	$0.15 \times V_{DD}^1$	V

¹ V_{DD} – 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 @ 20 dBm	375
		802.11g, 54 Mbps, OFDM @ 17 dBm	310
		802.11n, HT20, MCS7 @ 16 dBm	295
		802.11n, HT40, MCS7 @ 16 dBm	300
		802.11ax, MCS9 @ 14 dBm	265
	接收 (RX)	802.11b/g/n, HT20	110
		802.11n, HT40	119.5
		802.11ax, HE20	113.4

表 6-5. 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 dBm	340
		低功耗蓝牙 @ 10 dBm	230
		低功耗蓝牙 @ 0 dBm	178
		低功耗蓝牙 @ -18.5 dBm	120
	接收 (RX)	低功耗蓝牙	105

表 6-6. Active 模式下经典蓝牙功耗特性

工作模式	射频模式	描述	峰值 (mA)
Active (射频工作)	发射 (TX)	经典蓝牙 @ 11 dBm	255
		经典蓝牙 @ 7 dBm	187.4
		经典蓝牙 @ 0 dBm	170
		经典蓝牙 @ -18.5 dBm	120
	接收 (RX)	经典蓝牙	99.1

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 @ 18 dBm	335
		802.15.4 @ 9 dBm	227.8
		802.15.4 @ 0 dBm	174
		802.15.4 @ -18.5 dBm	121
	接收 (RX)	802.15.4	101

说明:

以下内容摘自 [《ESP32-S31 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)	说明	典型值 (mA)	
			外设时钟全关	外设时钟全开 ¹
Modem-sleep ^{2,3}	320	双核均 WAITI	25	75
		双核均 CoreMark	91	147
		Core 0 WAITI, Core 1 SIMD	64	114
		Core 0 CoreMark, Core 1 SIMD	100	152
	240	双核均 WAITI	23	72
		双核均 CoreMark	74	126
		Core 0 WAITI, Core 1 SIMD	52	102
		Core 0 CoreMark, Core 1 SIMD	80	130
	160	双核均 WAITI	21	70
		双核均 CoreMark	57	107
		Core 0 WAITI, Core 1 SIMD	41	90
		Core 0 CoreMark, Core 1 SIMD	59	109
	80	双核均 WAITI	19	68
		双核均 CoreMark	37	86
		Core 0 WAITI, Core 1 SIMD	29	78
		Core 0 CoreMark, Core 1 SIMD	38	87
	40	双核均 WAITI	13	56
		双核均 CoreMark	22	65
		Core 0 WAITI, Core 1 SIMD	18	61
		Core 0 CoreMark, Core 1 SIMD	23	67

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 ¹	所有 GPIO 设置为高阻状态，所有电源都不断电	1
	所有 GPIO 设置为高阻状态，大部分外设断电，USB 保持连接	0.07
	所有外设断电，HP memory 保持数据	0.05
Deep-sleep	LP 定时器和 LP 存储器上电	0.012
关闭	CHIP_PU 管脚拉低，芯片关闭	0.001

¹ Light-sleep 状态下的电流是指 PSRAM 未供电时测量得到的电流。Light-sleep 状态下，如果 PSRAM 处于工作状态，芯片内部的电流将额外增加约 0.17 mA，同时还会叠加 PSRAM 对应模式的电流。

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
	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 _{CCE}	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
F _C	最大时钟频率	200	—	—	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 $50\ \Omega$ 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 ($\pm 5\%$) 供电电源、25 °C 环境温度的条件下完成。

7.1 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 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	—	20.0	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	20.0	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	19.0	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	17.0	—
802.11n, HT20, MCS0	—	19.0	—
802.11n, HT20, MCS7	—	16.0	—
802.11n, HT40, MCS0	—	18.0	—
802.11n, HT40, MCS7	—	16.0	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	19.0	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	13.0	—

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	—	-24.0	-5.0
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	-31.0	-25.0
802.11n, HT20, MCS0	—	-24.0	-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	—	-31.0	-27.0
802.11n, HT40, MCS0	—	-26.0	-5.0
802.11n, HT40, MCS7	—	-32.0	-27.0
802.11ax, HE20, MCS0	—	-24.0	-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 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	—	-99.0	—
802.11b, 2 Mbps, DSSS	—	-96.0	—
802.11b, 5.5 Mbps, CCK	—	-93.0	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	-89.0	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	-94.0	—
802.11g, 9 Mbps, OFDM	—	-92.5	—
802.11g, 12 Mbps, OFDM	—	-92.0	—
802.11g, 18 Mbps, OFDM	—	-89.0	—
802.11g, 24 Mbps, OFDM	—	-86.5	—
802.11g, 36 Mbps, OFDM	—	-82.5	—
802.11g, 48 Mbps, OFDM	—	-78.5	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	-77.0	—
802.11n, HT20, MCS0	—	-94.0	—
802.11n, HT20, MCS1	—	-91.5	—
802.11n, HT20, MCS2	—	-89.0	—
802.11n, HT20, MCS3	—	-86.0	—
802.11n, HT20, MCS4	—	-82.5	—
802.11n, HT20, MCS5	—	-78.0	—
802.11n, HT20, MCS6	—	-76.5	—
802.11n, HT20, MCS7	—	-74.5	—
802.11n, HT40, MCS0	—	-91.5	—
802.11n, HT40, MCS1	—	-89.5	—
802.11n, HT40, MCS2	—	-86.5	—
802.11n, HT40, MCS3	—	-83.0	—
802.11n, HT40, MCS4	—	-80.0	—

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	—	-75.5	—
802.11n, HT40, MCS6	—	-74.0	—
802.11n, HT40, MCS7	—	-73.0	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	-93.5	—
802.11ax, HE20, MCS1	—	-90.5	—
802.11ax, HE20, MCS2	—	-87.5	—
802.11ax, HE20, MCS3	—	-85.0	—
802.11ax, HE20, MCS4	—	-81.5	—
802.11ax, HE20, MCS5	—	-77.5	—
802.11ax, HE20, MCS6	—	-76.0	—
802.11ax, HE20, MCS7	—	-74.0	—
802.11ax, HE20, MCS8	—	-70.5	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	-68.0	—

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	—	43	—
802.11b, 11 Mbps, CCK	—	40	—
802.11g, 6 Mbps, OFDM	—	33	—
802.11g, 54 Mbps, OFDM	—	18	—
802.11n, HT20, MCS0	—	30	—
802.11n, HT20, MCS7	—	15	—
802.11n, HT40, MCS0	—	23	—

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	—	10	—
802.11ax, HE20, MCS0	—	25	—
802.11ax, HE20, MCS9	—	2	—

7.2 低功耗蓝牙射频

表 7-7. 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	-18.5 ~ 19 dBm

7.2.1 低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性

表 7-8. 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. $ f_n _{n=0, 1, 2, 3, \dots k}$	—	0.5	—	kHz
	Max. $ f_0 - f_n _{n=2, 3, 4, \dots k}$	—	1.0	—	kHz
	Max. $ f_n - f_{n-5} _{n=6, 7, 8, \dots k}$	—	1.0	—	kHz
	$ f_1 - f_0 $	—	1.4	—	kHz
调制特性	$\Delta F_{1\text{avg}}$	—	256.3	—	kHz
	Min. $\Delta F_{2\text{max}}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F_{2\text{max}}$)	—	252.6	—	kHz
	$\Delta F_{2\text{avg}}/\Delta F_{1\text{avg}}$	—	0.95	—	—
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	-29	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	-38	—	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	—	-44	—	dBm

表 7-9. 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. $ f_n _{n=0, 1, 2, 3, \dots k}$	—	0.5	—	kHz
	Max. $ f_0 - f_n _{n=2, 3, 4, \dots k}$	—	1.3	—	kHz
	Max. $ f_n - f_{n-5} _{n=6, 7, 8, \dots k}$	—	0.9	—	kHz
	$ f_1 - f_0 $	—	0.5	—	kHz
调制特性	$\Delta F_{1\text{avg}}$	—	508.2	—	kHz
	Min. $\Delta F_{2\text{max}}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F_{2\text{max}}$)	—	516.9	—	kHz
	$\Delta F_{2\text{avg}}/\Delta F_{1\text{avg}}$	—	0.97	—	—

见下页

表 7-9 – 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
	$> \pm 5$ MHz 偏移	—	-48	—	dBm

表 7-10. 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	$\text{Max. } f_n _{n=0, 1, 2, 3, \dots k}$	—	1.3	—	kHz
	$\text{Max. } f_0 - f_n _{n=1, 2, 3, \dots k}$	—	0.5	—	kHz
	$ f_0 - f_3 $	—	0.1	—	kHz
	$\text{Max. } f_n - f_{n-3} _{n=7, 8, 9, \dots k}$	—	0.6	—	kHz
调制特性	$\Delta F1_{\text{avg}}$	—	255.7	—	kHz
	Min. $\Delta F1_{\text{max}}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F1_{\text{max}}$)	—	261.9	—	kHz
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	-26	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	-36	—	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	—	-40	—	dBm

表 7-11. 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	$\text{Max. } f_n _{n=0, 1, 2, 3, \dots k}$	—	0.7	—	kHz
	$\text{Max. } f_0 - f_n _{n=1, 2, 3, \dots k}$	—	0.5	—	kHz
	$ f_0 - f_3 $	—	0.1	—	kHz
	$\text{Max. } f_n - f_{n-3} _{n=7, 8, 9, \dots k}$	—	0.6	—	kHz
调制特性	$\Delta F2_{\text{avg}}$	—	245.7	—	kHz
	Min. $\Delta F2_{\text{max}}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F2_{\text{max}}$)	—	252.9	—	kHz
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	-30	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	-40	—	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	—	-45	—	dBm

7.2.2 低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性

表 7-12. 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	—	—	-98.0	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	7	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-2	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-4	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-29	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-32	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-30	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-43	dB
		$F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-31	dB
		$F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-46	dB
	镜像频率	—	—	-20	dB
带外阻塞	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$	—	-31	dB
		$F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$	—	-30	dB
		30 MHz ~ 2000 MHz	—	-25	dBm
		2003 MHz ~ 2399 MHz	—	-30	dBm
互调	2484 MHz ~ 2997 MHz	—	-30	—	dBm
	3000 MHz ~ 12.75 GHz	—	-25	—	dBm

表 7-13. 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	—	—	-94.0	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	9	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-6	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-8	dB
		$F = F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-18	dB
		$F = F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-36	dB
		$F = F_0 + 6 \text{ MHz}$	—	-37	dB
		$F = F_0 - 6 \text{ MHz}$	—	-42	dB
		$F \geq F_0 + 8 \text{ MHz}$	—	-45	dB
		$F \leq F_0 - 8 \text{ MHz}$	—	-44	dB
	镜像频率	—	—	-18	dB
带外阻塞	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 2 \text{ MHz}$	—	-37	dB
		$F = F_{image} - 2 \text{ MHz}$	—	-6	dB
		30 MHz ~ 2000 MHz	—	-25	dBm
		2003 MHz ~ 2399 MHz	—	-30	dBm
		2484 MHz ~ 2997 MHz	—	-30	dBm

见下页

表 7-13 – 接上页

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
	3000 MHz ~ 12.75 GHz	—	-25	—	dBm
互调	—	—	-31	—	dBm

表 7-14. 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	—	—	-105.0	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	2	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-6	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-3	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-26	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-37	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-33	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-51	dB
		$F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-33	dB
		$F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-54	dB
	镜像频率	—	—	-28	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$	—	-33	dB
		$F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$	—	-33	dB

表 7-15. 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	—	—	-101.0	—	dBm
最大接收信号 @30.8% PER	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	4	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-5	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-4	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-31	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-42	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-34	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-55	dB
		$F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-32	dB
		$F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-58	dB
	镜像频率	—	—	-24	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$	—	-32	dB
		$F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$	—	-34	dB

7.3 经典蓝牙射频

表 7-16. 经典蓝牙射频规格

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	-18.5 ~ 14 dBm

7.3.1 经典蓝牙射频发射器 (TX) 特性

表 7-17. 经典蓝牙 - 发射器特性 - 基本速率 (BR)

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
20 dB 带宽	—	—	0.8	—	MHz
相邻信道发射功率	$F = F_0 \pm 2 \text{ MHz}$	—	-34.0	—	dBm
	$F = F_0 \pm 3 \text{ MHz}$	—	-47.0	—	dBm
	$F = F_0 \pm > 3 \text{ MHz}$	—	-50.0	—	dBm
调制特性	$\Delta F_{1\text{avg}}$	—	155.0	—	kHz
	Min. $\Delta F_{2\text{max}}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F_{2\text{max}}$)	—	160.0	—	kHz
	$\Delta F_{2\text{avg}} / \Delta F_{1\text{avg}}$	—	0.96	—	—
ICFT	—	—	1.0	—	kHz
漂移速率	—	—	0.5	—	kHz/ 50 μs
漂移 (DH1)	—	—	0.5	—	kHz
漂移 (DH5)	—	—	0.5	—	kHz

表 7-18. 经典蓝牙 - 发射器特性 - 增强数据速率 (EDR)

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
$\pi/4$ DQPSK max w_0	—	—	-2.0	—	kHz
$\pi/4$ DQPSK max w_i	—	—	-15.0	—	kHz
$\pi/4$ DQPSK max $ w_i + w_0 $	—	—	-17.0	—	kHz
8DPSK max w_0	—	—	-4.0	—	kHz
8DPSK max w_i	—	—	-17.0	—	kHz
8DPSK max $ w_i + w_0 $	—	—	-21.0	—	kHz
$\pi/4$ DQPSK 调制精度	RMS DEVM	—	7.0	—	%
	99% DEVM	—	0.1	—	%
	Peak DEVM	—	11.0	—	%
8DPSK 调制精度	RMS DEVM	—	7.0	—	%
	99% DEVM	—	0.1	—	%
	Peak DEVM	—	12.0	—	%
带内发射	$F = F_0 \pm 1 \text{ MHz}$	—	-30	—	dBm
	$F = F_0 \pm 2 \text{ MHz}$	—	-27	—	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
	$F = F_0 \pm 3 \text{ MHz}$	—	-40	—	dBm
	$F = F_0 \pm > 3 \text{ MHz}$	—	-44	—	dBm

7.3.2 经典蓝牙射频接收器 (RX) 特性

表 7-19. 经典蓝牙 - 接收器特性 - 基本速率 (BR)

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
有扰发射关闭条件下的灵敏度 @0.1% BER	—	—	-94.0	—	dBm
最大接收信号 @0.1% BER	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	8	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-7	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-8	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-30	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-27	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-36	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-40	dB
	镜像频率	—	—	-29	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{\text{image}} + 1 \text{ MHz}$	—	-40	dB
		$F = F_{\text{image}} - 1 \text{ MHz}$	—	-36	dB
带外阻塞	30 MHz ~ 2000 MHz		—	-5	dBm
	2003 MHz ~ 2399 MHz		—	-22	dBm
	2484 MHz ~ 2997 MHz		—	-22	dBm
	3000 MHz ~ 12.75 GHz		—	-5	dBm
互调	—	—	-37	—	dBm

表 7-20. 经典蓝牙 - 接收器特性 - 增强数据速率 (EDR)

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
$\pi/4$ DQPSK					
有扰发射关闭条件下的灵敏度 @0.01% BER	—	—	-94.0	—	dBm
最大接收信号 @0.01% BER	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	10	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-10	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-11	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-36	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-28	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-35	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-40	dB
	镜像频率	—	—	-27	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{\text{image}} + 1 \text{ MHz}$	—	-40	dB
		$F = F_{\text{image}} - 1 \text{ MHz}$	—	-35	dB

见下页

表 7-20 – 接上页

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
8DPSK					
有扰发射关闭条件下的灵敏度 @0.01% BER	—	—	-87.0	—	dBm
最大接收信号 @0.01% BER	—	—	2	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0$ MHz	—	18	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1$ MHz	—	-3	dB
		$F = F_0 - 1$ MHz	—	-4	dB
		$F = F_0 + 2$ MHz	—	-28	dB
		$F = F_0 - 2$ MHz	—	-21	dB
		$F = F_0 + 3$ MHz	—	-33	dB
		$F = F_0 - 3$ MHz	—	-37	dB
	镜像频率	—	—	-20	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{\text{image}} + 1$ MHz	—	-33	dB
		$F = F_{\text{image}} - 1$ MHz	—	-33	dB

7.4 802.15.4 射频

表 7-21. 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 7-22. 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	-18.5	—	18.0	dBm
EVM	—	24%	—	—

7.4.2 802.15.4 射频接收器 (RX) 特性

表 7-23. 802.15.4 接收器特性 - 250 Kbps

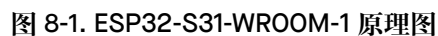
参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
灵敏度 @1% PER	—	—	-102.0	—	dBm
最大接收信号 @1% PER	—	—	8	—	dBm
相对干扰电平	相邻信道	$F = F_0 + 5$ MHz	—	-30	dB
		$F = F_0 - 5$ MHz	—	-40	dB

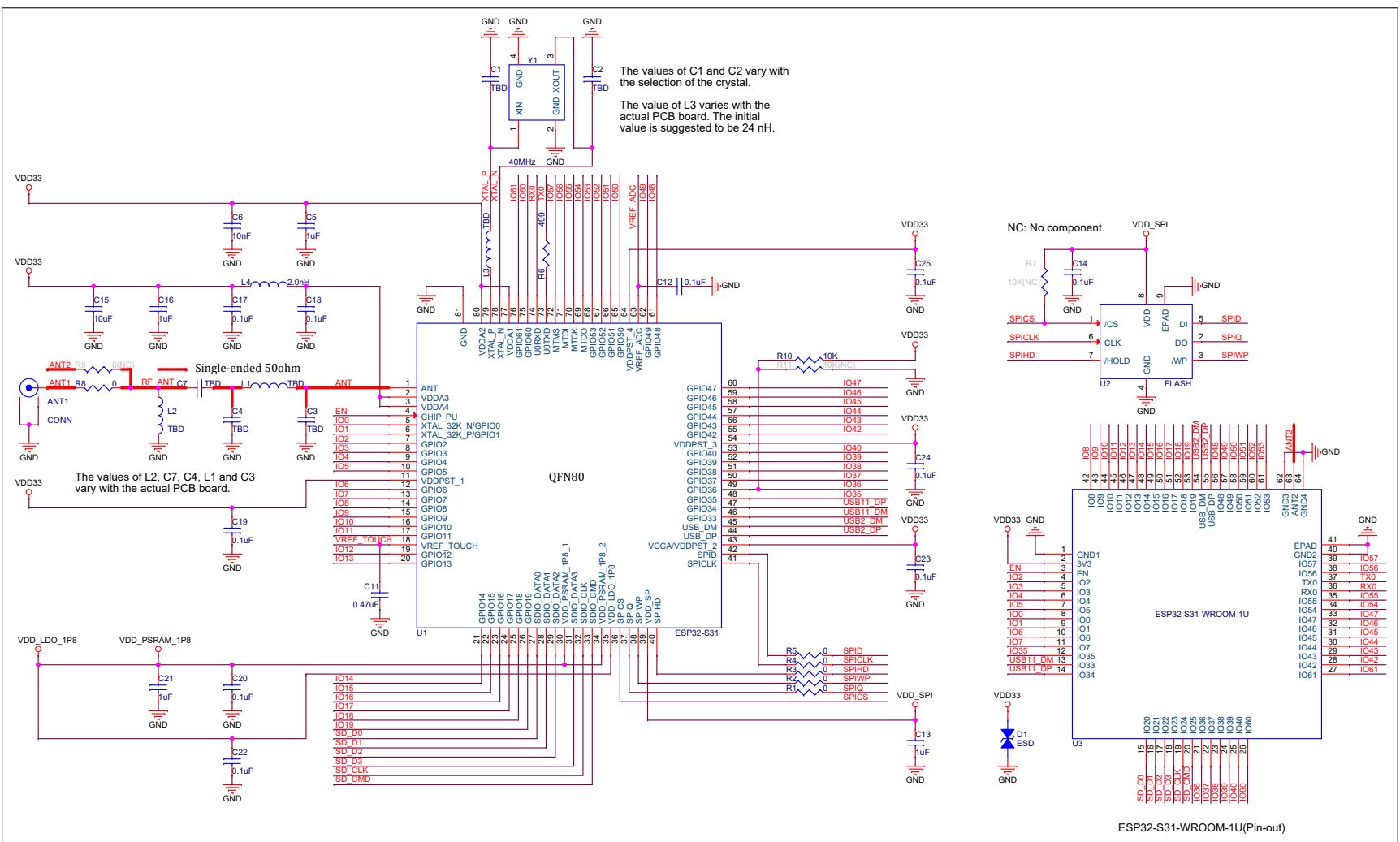
见下页

表 7-23 – 接上页

参数		描述	最小值	典型值	最大值	单位
	替换信道	F = F0 + 10 MHz	—	–52	—	dB
		F = F0 – 10 MHz	—	–53	—	dB

模组内部元件的电路图。





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。

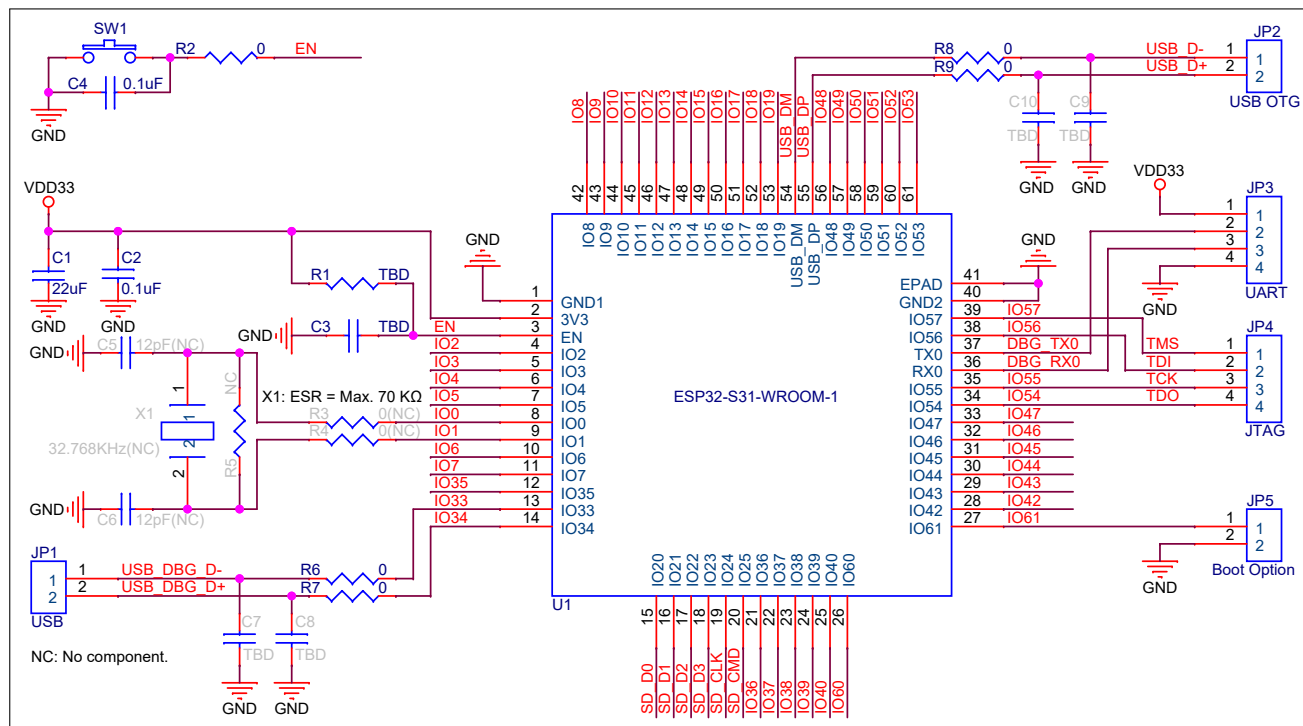


图 9-1. ESP32-S31-WROOM-1 外围设计原理图

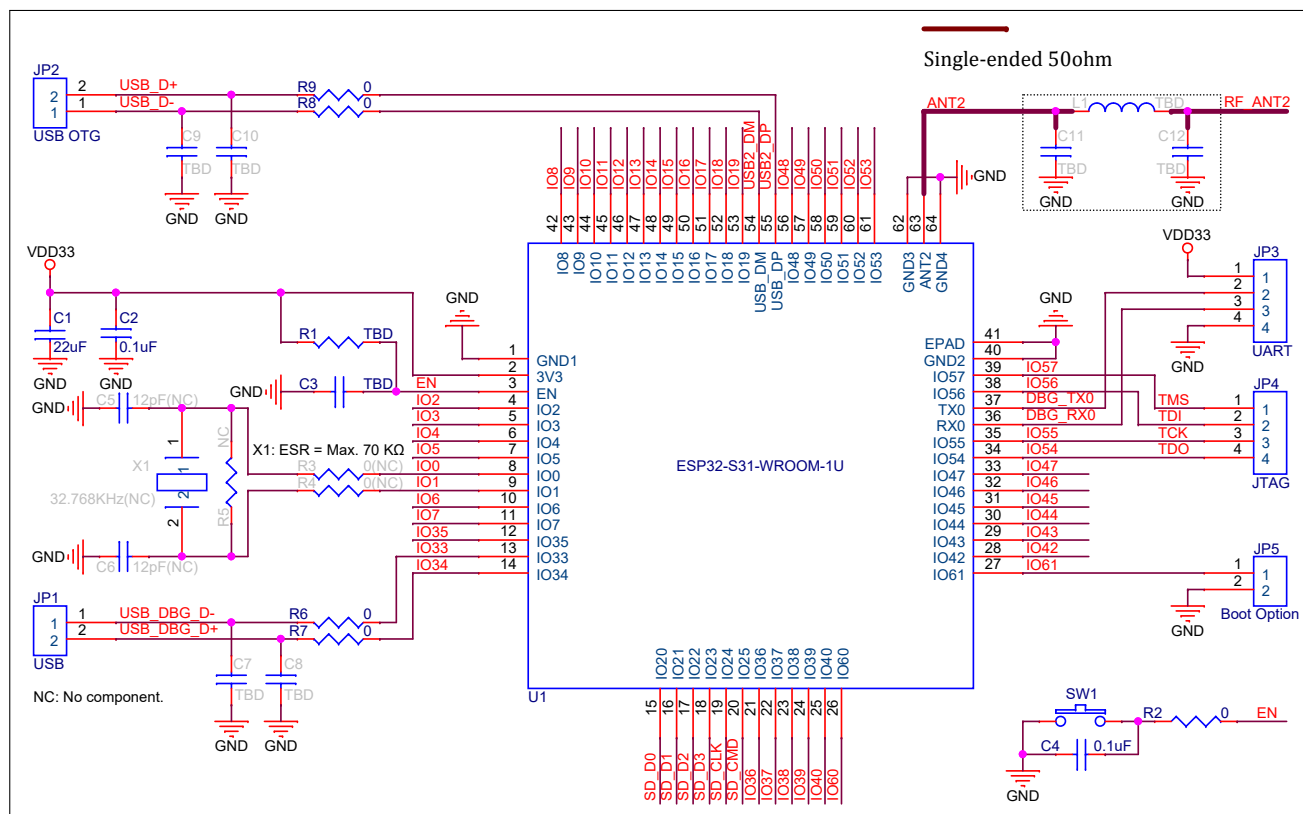


图 9-2. ESP32-S31-WROOM-1U 外围设计原理图

- 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-S31 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 $R = 10\text{ k}\Omega$, $C = 1\text{ }\mu\text{F}$ ，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-S31 芯片的上电复位时序图可参考章节 [4.5 芯片上电和复位](#)。

10 尺寸规格

10.1 模组尺寸

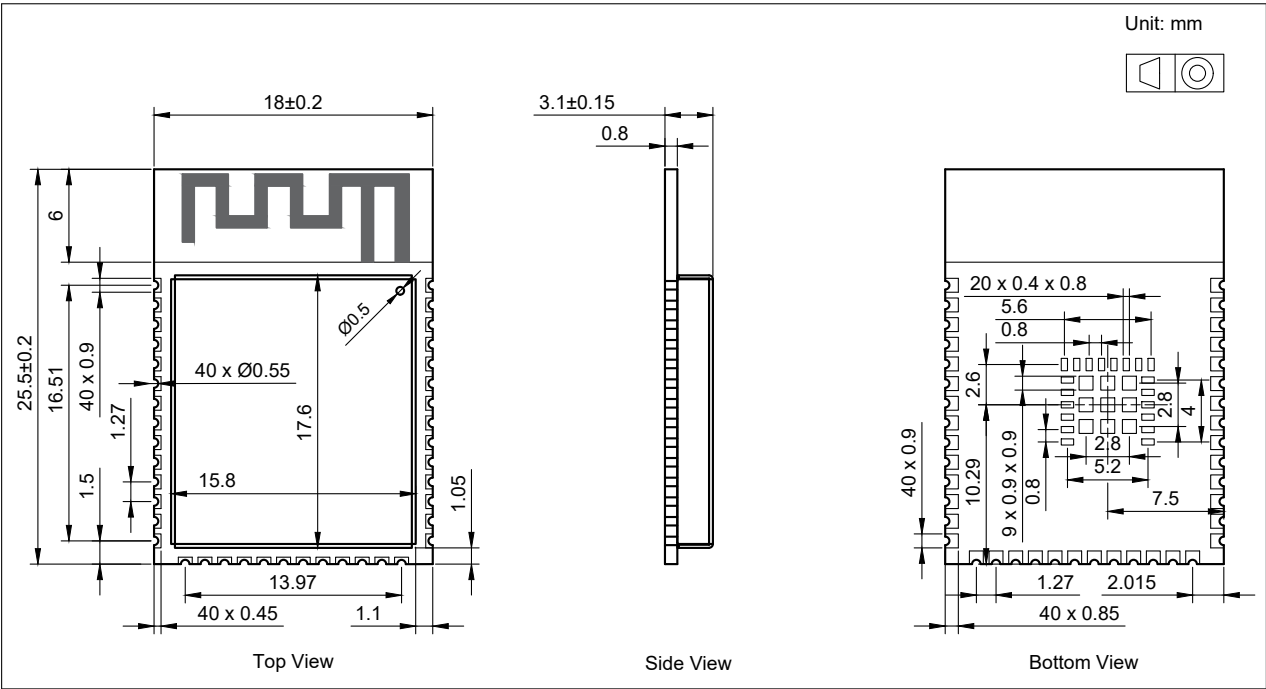


图 10-1. ESP32-S31-WROOM-1 模组尺寸

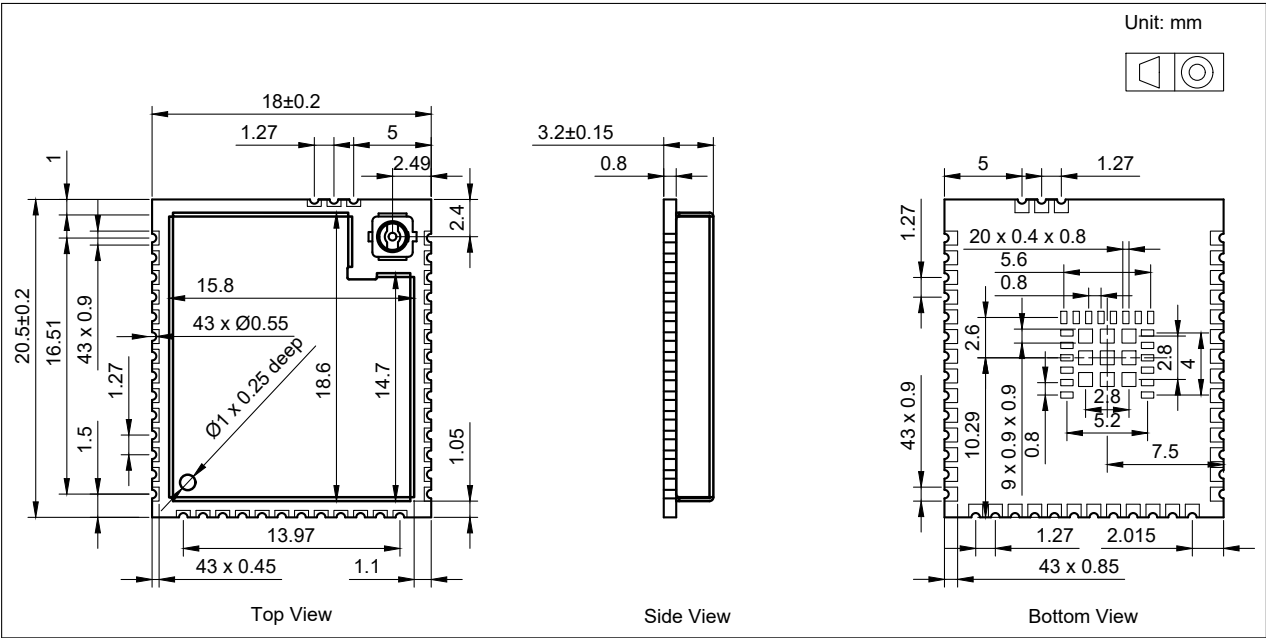


图 10-2. ESP32-S31-WROOM-1U 模组尺寸

说明:

有关卷带、载盘和产品标签的信息，请参阅 [《ESP32-S31 模组包装信息》](#)。

10.2 外部天线连接器尺寸

ESP32-S31-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

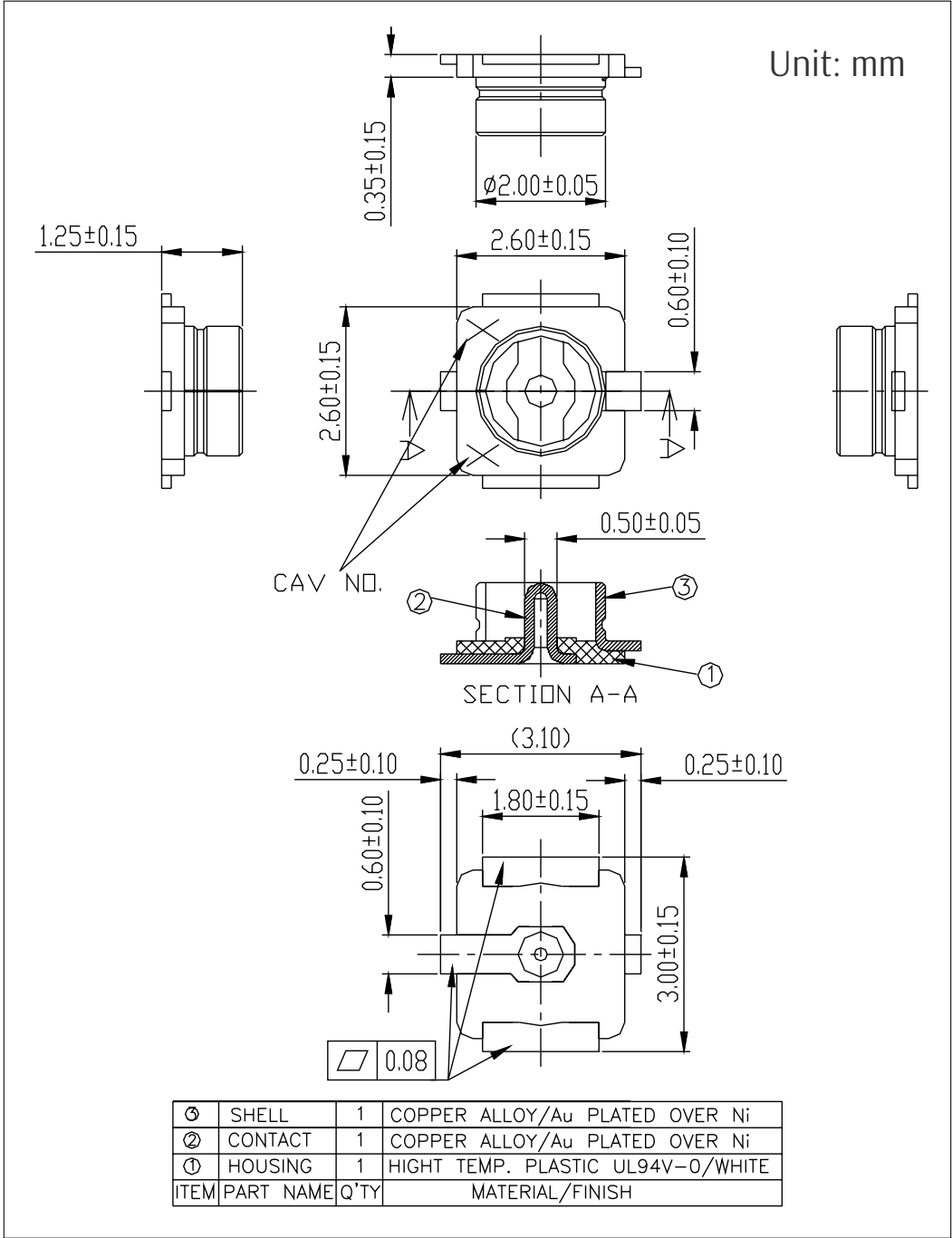


图 10-3. 外部天线连接器尺寸图

ESP32-S31-WROOM-1U 在认证测试过程中搭配使用的外部天线为第一代外接单极子天线，料号为

TFPD05H08750011。

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 频段
- 50 Ω 阻抗
- 最大增益不超过认证中所用天线的增益 2.33 dBi
- 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。
- 如果启用射频功能，请确保已连接天线，否则可能导致系统不稳定或射频电路损坏。

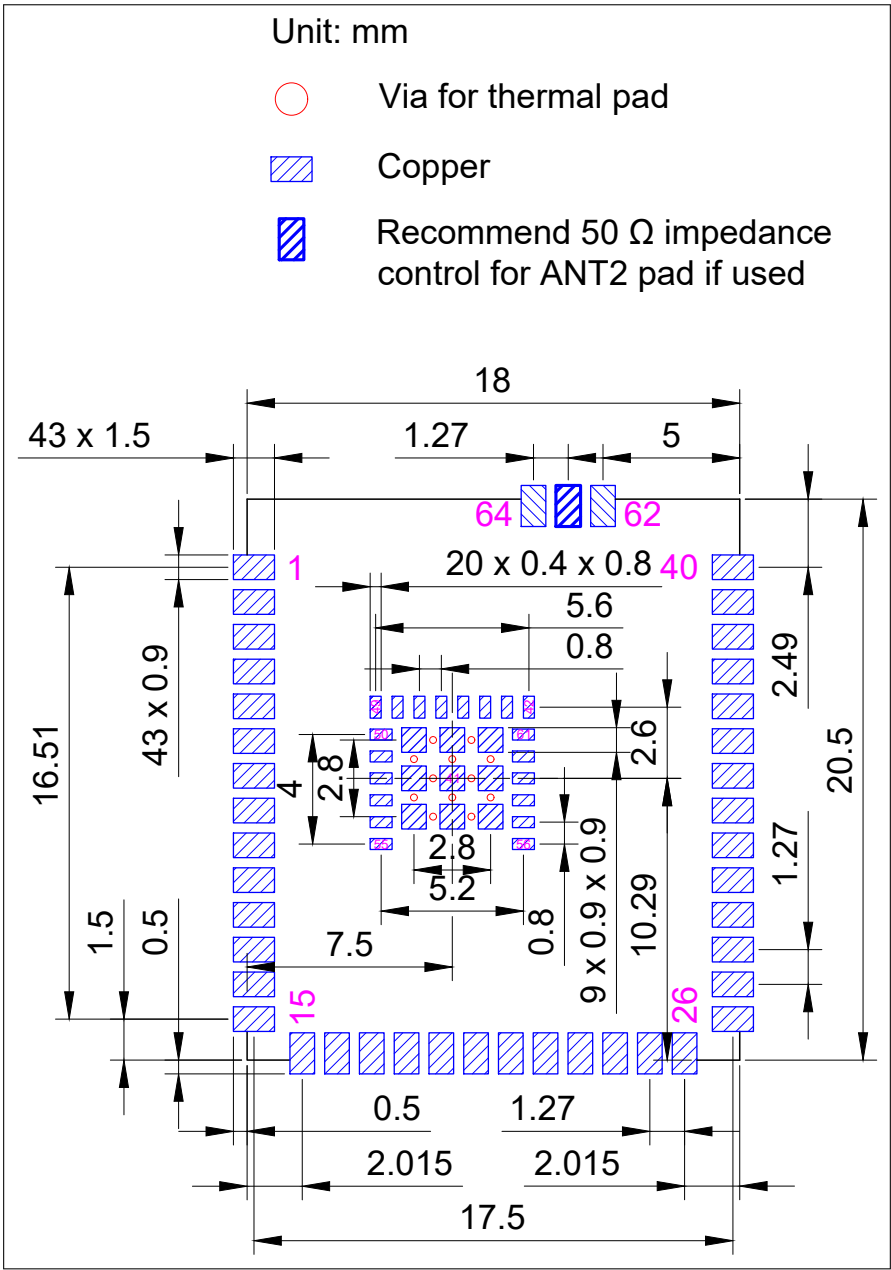


图 11-2. ESP32-S31-WROOM-1U 推荐 PCB 封装图形

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-S31 硬件设计指南》](#) > 章节 基于模组的版图设计通用要点。

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 $< 40\text{ }^{\circ}\text{C}/90\%\text{RH}$ 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 $25\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $60\%\text{RH}$ 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): $\pm 2000\text{ V}$
- 充电器件模式 (CDM): $\pm 500\text{ V}$

12.3 回流焊温度曲线

建议模组只过一次回流焊。

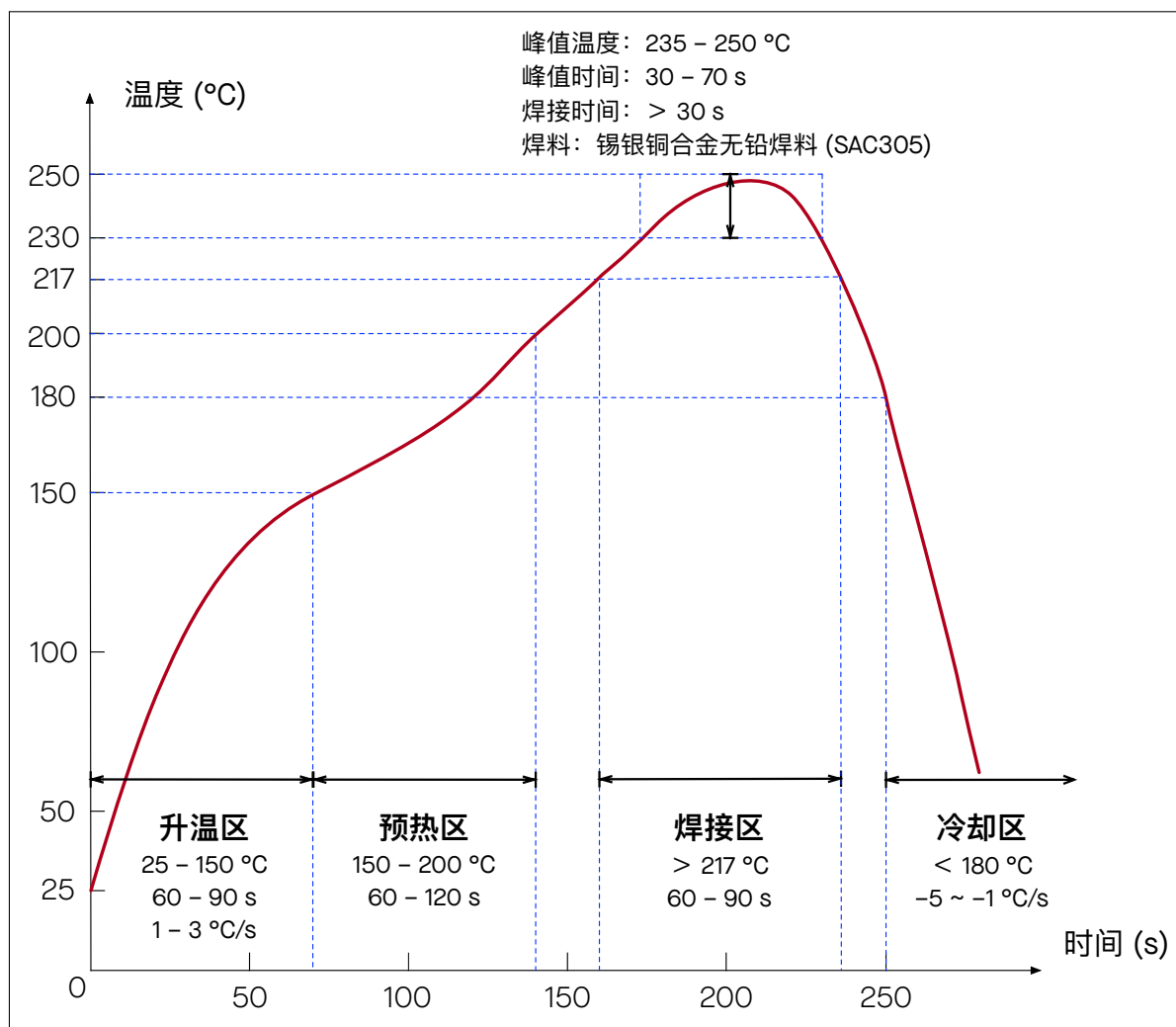


图 12-1. 回流焊温度曲线

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**。

相关文档和资源

相关文档

- [《ESP32-S31 系列芯片技术规格书》](#) - 提供 ESP32-S31 芯片的硬件技术规格。
- [《ESP32-S31 硬件设计指南》](#) - 提供基于 ESP32-S31 芯片的产品设计规范。
- [《ESP32-S31 系列芯片勘误表》](#) - 描述 ESP32-S31 系列芯片的已知错误。
- 证书
<https://documentation.espressif.com/zh/documentList?t=证书&eol=false>
- ESP32-S31 产品/工艺变更通知 (PCN)
<https://documentation.espressif.com/zh/documentList?t=PCN&s=ESP32-S31>
- ESP32-S31 公告 - 提供有关安全、bug、兼容性、器件可靠性的信息
<https://documentation.espressif.com/zh/documentList?t=公告&s=ESP32-S31>
- 文档更新和订阅通知
<https://documentation.espressif.com/zh/documentList?eol=false>

开发者社区

- [《ESP32-S31 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-S31 系列芯片 - ESP32-S31 全系列芯片。
<https://espressif.com/zh-hans/products/socs?id=ESP32-S31>
- ESP32-S31 系列模组 - ESP32-S31 全系列模组。
<https://espressif.com/zh-hans/products/modules?id=ESP32-S31>
- ESP32-S31 系列开发板 - ESP32-S31 全系列开发板。
<https://espressif.com/zh-hans/products/devkits?id=ESP32-S31>
- 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
2026-09-18	v0.5	新增章节 7 射频特性 ；新增 ESP32-S31-WROOM-1U 模组相关信息
2026-06-10	v0.1	草稿



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 © 2026 乐鑫信息科技（上海）股份有限公司。保留所有权利。

www.espressif.com