

ESP32-H2 系列芯片

技术规格书 版本 1.1

RISC-V 32 位单核微处理器
低功耗蓝牙和 IEEE 802.15.4
芯片封装内叠封 3.3 V flash
19 个 GPIO
QFN32 (4×4 mm) 封装

包括:

ESP32-H2FH2S

ESP32-H2FH4S

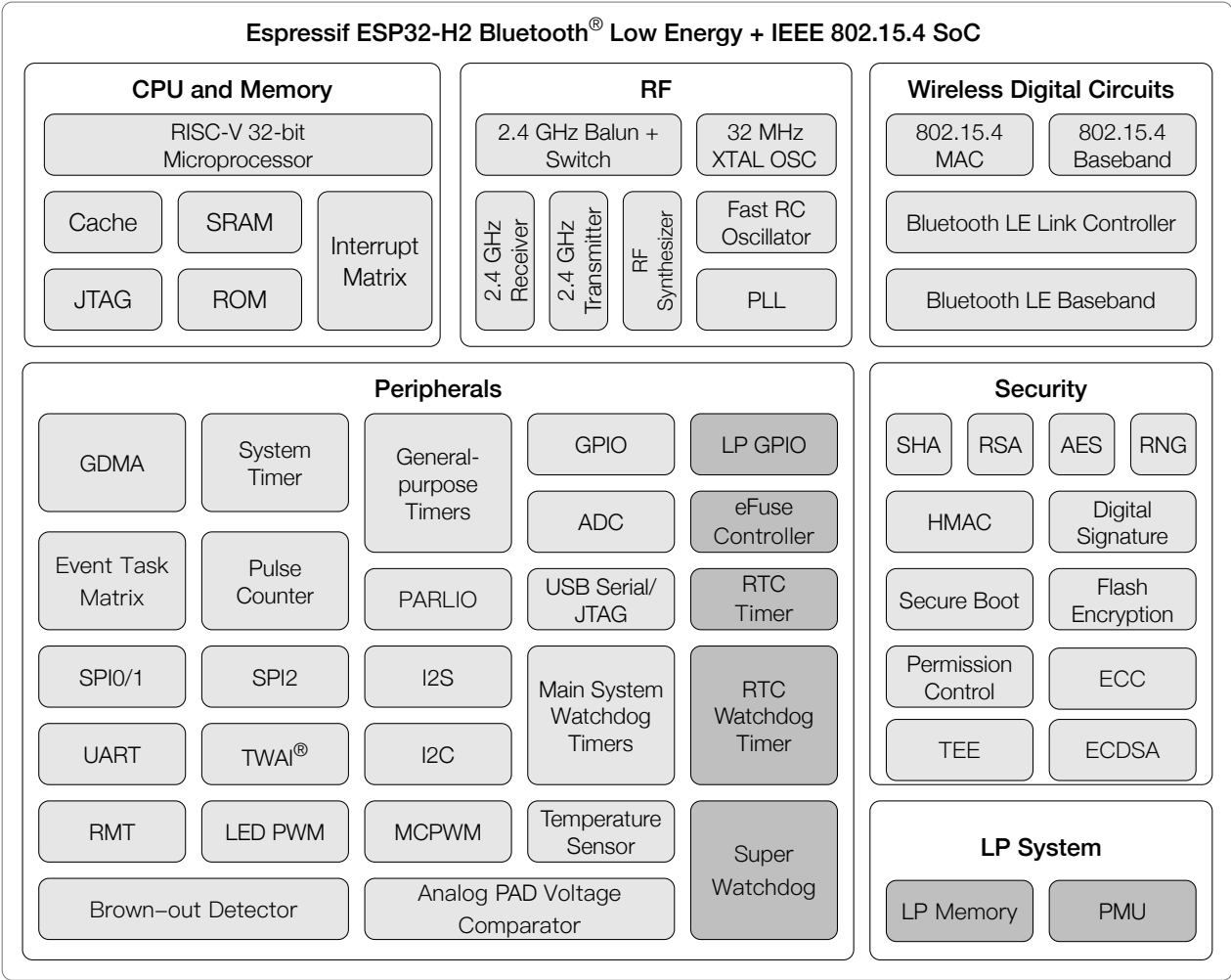


ESPRESSIF

产品概述

ESP32-H2 是一款低功耗的 MCU 系统级芯片 (SoC)，支持 2.4 GHz 低功耗蓝牙 (Bluetooth® LE) 和 802.15.4 无线通信。芯片集成了 RISC-V 32 位处理器、低功耗蓝牙基带、802.15.4 基带、RF 模块以及外设。

芯片的功能框图如下图所示。



Power consumption

Normal

Low power consumption components capable of working in Deep-sleep mode

ESP32-H2 功能框图

更多关于功耗的信息，请参考章节 [4.1.3.6 电源管理单元](#)。

产品特性

蓝牙

- 低功耗蓝牙 (Bluetooth LE): 通过 Bluetooth 5.3 认证
- 蓝牙 mesh
- Bluetooth LE 长距传输 (Coded PHY, 125 Kbps 和 500 Kbps)
- Bluetooth LE 高速传输 (2 Mbps)
- Bluetooth LE 广播扩展 (advertising extensions) 和多广播 (multiple advertising sets)
- 支持广播设备 (Broadcaster), 扫描设备 (Observer), 中心设备 (Central) 和外围设备 (Peripheral) 同时运行
- 支持多连接 (multiple connections)
- 功率控制 (LE power control)

802.15.4

- 兼容 IEEE 标准 802.15.4-2015
- 2.4 GHz 频段内支持 250 Kbps 数据速率, OQPSK PHY
- 支持 Thread
- 支持 Zigbee 3.0
- 支持 Matter
- 支持其他应用层协议 (HomeKit、MQTT 等)

CPU 和存储

- RISC-V 32 位单核处理器
- 时钟频率: 最高 96 MHz
- CoreMark® 得分:
 - 主频 96 MHz: 303.38 CoreMark; 3.16 CoreMark/MHz
- 四级流水线架构
- 128 KB ROM (TCM)
- 320 KB SRAM (TCM)
- 4 KB LP 存储器
- 2 MB 或 4 MB 封装内 flash
- 16 KB cache
- 支持 SPI 协议: SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI, 可外接 flash 和其他 SPI 设备
- 支持 flash 在线编程

高级外设接口

- 19 个可编程 GPIO
 - 3 个 strapping 管脚：GPIO8、GPIO9 和 GPIO25
- 数字接口：
 - 2 个 SPI 接口用于连接 flash
 - 通用 SPI 接口
 - 2 个 UART
 - 2 个 I2C
 - I2S
 - 红外收发器，2 个发送通道和 2 个接收通道
 - 脉冲计数器
 - LED PWM 控制器，多达 6 个通道
 - USB 串口/JTAG 控制器
 - 电机控制脉宽调制器
 - 通用 DMA 控制器（简称 GDMA），3 个接收通道和 3 个发送通道
 - TWAI[®] 控制器，兼容 ISO 11898-1（CAN 规范 2.0）
 - SoC 事件任务矩阵
 - 并行 IO 控制器
- 模拟接口：
 - 12 位模/数转换器，多达 5 个通道
 - 温度传感器
 - 欠压检测器
- 定时器
 - 2 个 54 位通用定时器
 - 52 位系统定时器
 - 3 个看门狗定时器

功耗管理

- 通过选择时钟频率、占空比、RF 工作模式和单独控制内部器件的电源，实现精准电源控制
- 针对典型场景设计的不同功耗模式：Active、Modem-sleep、Light-sleep、Deep-sleep
- Deep-sleep 模式下功耗低至 7 μ A
- Deep-sleep 模式下 LP 存储器仍保持工作

安全机制

- 安全启动 - 保障固件完整性
- Flash 加密 - 加密和解密存储器
- 4096 位 OTP，用户可用的高达 1792 位
- 加密硬件加速器：
 - AES-128/256 (FIPS PUB 197)
 - * ECB/CBC/CFB/OFB/CTR (FIPS PUB 800-38A)
 - SHA 加速器 (FIPS PUB 180-4)
 - RSA 加速器
 - ECC 加速器
 - 椭圆曲线数字签名 (ECDSA)
 - HMAC
 - 数字签名
- 访问权限管理 (APM)
- 随机数生成器 (RNG)
- 电源毛刺检测器

RF 模块

- 天线开关、射频巴伦 (balun)、功率放大器、低噪声放大器
- 低功耗蓝牙接收器灵敏度 (125 Kbps) 高达 -106.5 dBm
- 802.15.4 接收器灵敏度 (250 Kbps) 高达 -102.5 dBm

应用

低功耗芯片 ESP32-H2 专为物联网 (IoT) 设备而设计，应用领域包括：

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

说明:

点击链接或扫描二维码确保您使用的是最新版本的文档:

https://www.espressif.com/documentation/esp32-h2_datasheet_cn.pdf



目录

产品概述	2
产品特性	3
应用	5
1 ESP32-H2 系列型号对比	11
1.1 命名规则	11
1.2 型号对比	11
2 管脚	12
2.1 管脚布局	12
2.2 管脚概述	13
2.3 IO 管脚	15
2.3.1 IO MUX 功能	15
2.3.2 模拟功能	17
2.3.3 GPIO 限制	18
2.4 模拟管脚	19
2.5 电源	20
2.5.1 电源管脚	20
2.5.2 电源管理	20
2.5.3 芯片上电和复位	21
3 启动配置项	22
3.1 芯片启动模式控制	23
3.2 ROM 日志打印控制	23
3.3 JTAG 信号源控制	24
4 功能描述	25
4.1 系统	25
4.1.1 微处理器和主控	25
4.1.1.1 ESP-RISC-V CPU	25
4.1.1.2 RISC-V 追踪编码器	26
4.1.1.3 GDMA 控制器	26
4.1.2 存储器组织结构	26
4.1.2.1 内部存储器	27
4.1.2.2 外部存储器	28
4.1.2.3 eFuse 控制器	28

4.1.3	系统组件	28
4.1.3.1	IO MUX 和 GPIO 交换矩阵	28
4.1.3.2	复位	29
4.1.3.3	时钟	29
4.1.3.4	中断矩阵	30
4.1.3.5	事件任务矩阵	30
4.1.3.6	电源管理单元	31
4.1.3.7	系统定时器	33
4.1.3.8	定时器组	33
4.1.3.9	看门狗定时器	33
4.1.3.10	权限控制	34
4.1.3.11	系统寄存器	34
4.1.3.12	辅助调试	34
4.1.4	加密和安全组件	35
4.1.4.1	AES 加速器	35
4.1.4.2	ECC 加速器	35
4.1.4.3	HMAC 加速器	36
4.1.4.4	RSA 加速器	36
4.1.4.5	SHA 加速器	36
4.1.4.6	数字签名	37
4.1.4.7	椭圆曲线数字签名算法 (ECDSA)	37
4.1.4.8	片外存储器加密与解密	37
4.1.4.9	随机数生成器	38
4.1.4.10	电源毛刺检测器	38
4.1.4.11	安全启动	38
4.2	外设	39
4.2.1	通讯接口	39
4.2.1.1	UART 控制器	39
4.2.1.2	SPI 控制器	39
4.2.1.3	I2C 控制器	40
4.2.1.4	I2S 控制器	41
4.2.1.5	脉冲计数控制器	42
4.2.1.6	USB 串口/JTAG 控制器	42
4.2.1.7	双线汽车接口	43
4.2.1.8	LED PWM 控制器	43
4.2.1.9	电机控制脉宽调制器	44
4.2.1.10	红外遥控	45
4.2.1.11	并行 IO 控制器	45
4.2.2	模拟信号处理	46
4.2.2.1	SAR ADC	46
4.2.2.2	温度传感器	46
4.2.2.3	模拟电压比较器	47
4.3	无线通信	48
4.3.1	无线电	48
4.3.1.1	2.4 GHz 接收器	48
4.3.1.2	2.4 GHz 发射器	48

4.3.1.3	时钟生成器	48
4.3.2	低功耗蓝牙	48
4.3.2.1	低功耗蓝牙物理层	48
4.3.2.2	低功耗蓝牙链路控制器	48
4.3.3	802.15.4	49
4.3.3.1	802.15.4 物理层	49
4.3.3.2	802.15.4 MAC	49
5	电气特性	50
5.1	绝对最大额定值	50
5.2	建议工作条件	50
5.3	直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)	50
5.4	ADC 特性	51
5.5	功耗特性	51
5.5.1	Active 模式下的 RF 功耗	52
5.5.2	其他功耗模式下的功耗	52
5.6	可靠性	53
6	射频特性	54
6.1	低功耗蓝牙射频	54
6.1.1	低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性	54
6.1.2	低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性	55
6.2	802.15.4 射频	57
6.2.1	802.15.4 射频发射器 (TX) 特性	58
6.2.2	802.15.4 射频接收器 (RX) 特性	58
7	封装	59
	相关文档和资源	60
	附录 A – ESP32-H2 管脚总览	61
	修订历史	62

表格

1-1	ESP32-H2 系列芯片对比	11
2-1	管脚概述	13
2-2	通过 IO MUX 连接的外设信号	15
2-3	IO MUX 管脚功能	15
2-4	连接模拟功能的模拟信号	17
2-5	模拟功能	17
2-6	模拟管脚	19
2-7	电源管脚	20
2-8	电压稳压器	20
2-9	上电和复位时序参数说明	21
3-1	Strapping 管脚的默认配置	22
3-2	Strapping 管脚的时序参数说明	22
3-3	芯片启动模式控制	23
3-4	UART0 ROM 日志打印控制	24
3-5	USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制	24
3-6	JTAG 信号源控制	24
4-1	模块和电源域	32
5-1	绝对最大额定值	50
5-2	建议工作条件	50
5-3	直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)	50
5-4	ADC 特性	51
5-5	ADC 校准结果	51
5-6	Active 模式下的低功耗蓝牙功耗	52
5-7	Active 模式下 802.15.4 功耗特性	52
5-8	Modem-sleep 下的功耗	52
5-9	低功耗模式下的功耗	53
5-10	可靠性认证	53
6-1	低功耗蓝牙射频规格	54
6-2	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 1 Mbps	54
6-3	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 2 Mbps	54
6-4	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 125 Kbps	55
6-5	低功耗蓝牙 - 发射器特性 - 500 Kbps	55
6-6	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 1 Mbps	56
6-7	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 2 Mbps	56
6-8	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 125 Kbps	57
6-9	低功耗蓝牙 - 接收器特性 - 500 Kbps	57
6-10	802.15.4 射频规格	58
6-11	802.15.4 发射器特性 - 250 Kbps	58
6-12	802.15.4 接收器特性 - 250 Kbps	58

插图

1-1	ESP32-H2 系列芯片命名规则	11
2-1	ESP32-H2 管脚布局（俯视图）	12
2-2	ESP32-H2 电源管理	21
2-3	上电和复位时序参数图	21
3-1	Strapping 管脚的时序参数图	23
4-1	地址映射结构	27
4-2	模块和电源域	32
7-1	QFN32 (4×4 mm) 封装	59

1 ESP32-H2 系列型号对比

1.1 命名规则

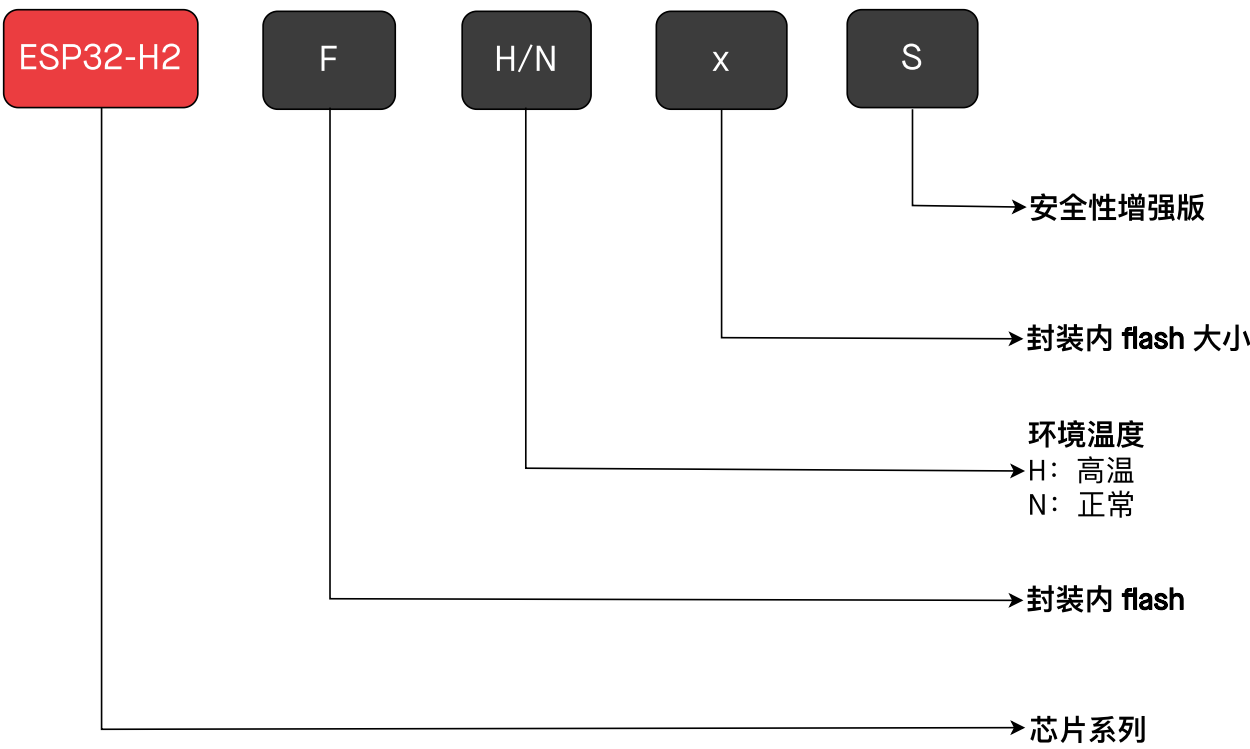


图 1-1. ESP32-H2 系列芯片命名规则

1.2 型号对比

表 1-1. ESP32-H2 系列芯片对比

订购代码 ¹	封装内 Flash ²	环境温度 ³	SPI 电压
ESP32-H2FH2S	2 MB (Quad SPI)	−40 ~ 105 °C	3.3 V
ESP32-H2FH4S	4 MB (Quad SPI)	−40 ~ 105 °C	3.3 V

¹ 更多关于芯片丝印和包装的信息，请参考章节 [7 封装](#)。

² 封装内带有 flash 的芯片变型（即 QFN32 封装版本），与封装内 flash 连接的管脚未引出。

³ 环境温度指乐鑫芯片外部的推荐环境温度。

2 管脚

2.1 管脚布局

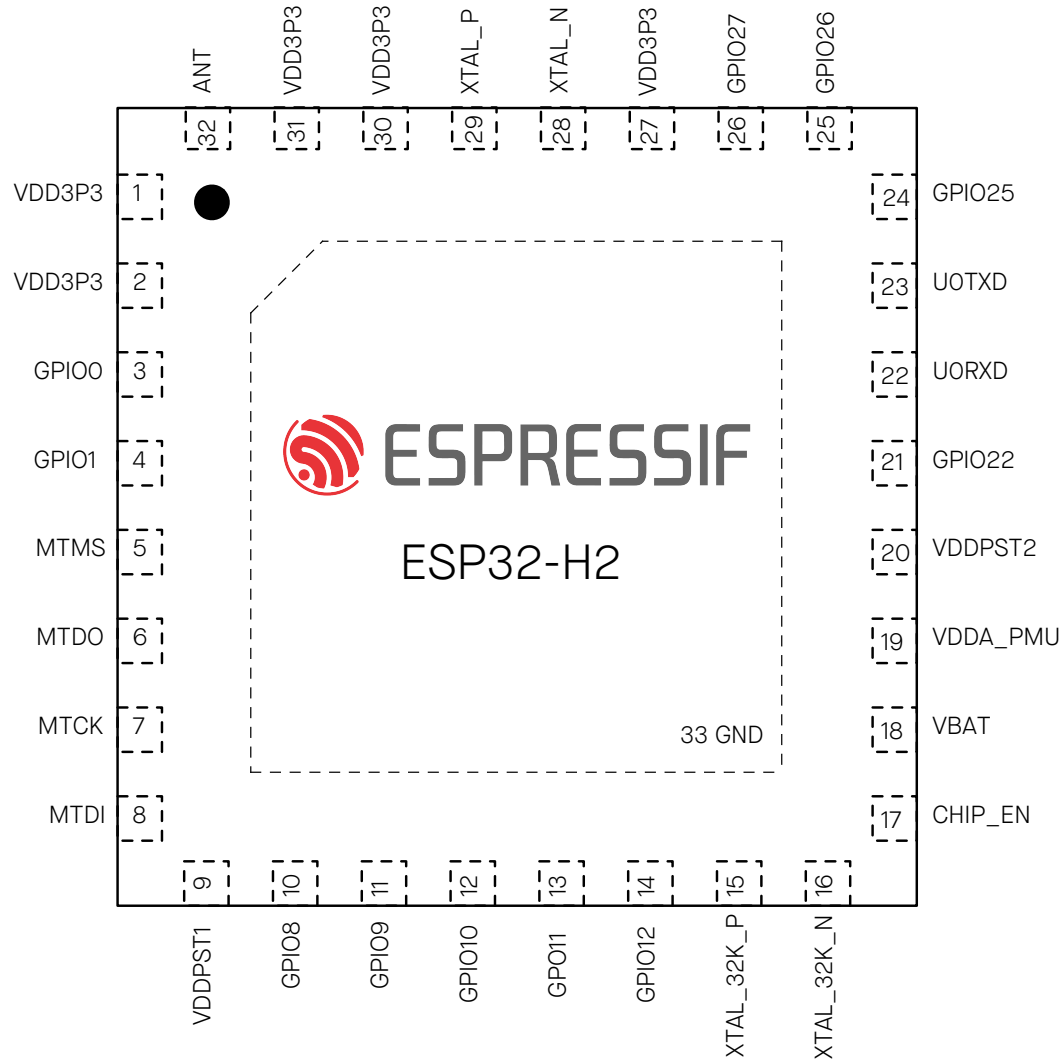


图 2-1. ESP32-H2 管脚布局（俯视图）

2.2 管脚概述

ESP32-H2 芯片集成了多个需要与外界通讯的外设。由于芯片封装尺寸小、管脚数量有限，传送所有输入输出信号的唯一方法是管脚多路复用。管脚多路复用由软件可编程的寄存器控制（详见 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO 交换矩阵*）。

总体而言，ESP32-H2 芯片的管脚可分为以下几类：

- **IO 管脚**，具有以下预设功能：
 - 每个 IO 管脚都预设了 **IO MUX 功能** – 见表 [2-3 IO MUX 管脚功能](#)
 - 部分 IO 管脚预设了 **模拟功能** – 见表 [2-5 模拟功能](#)

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

- **模拟管脚**，专用于 **模拟功能** – 见表 [2-6 模拟管脚](#)
- **电源管脚**，为芯片组件和非电源管脚供电 – 见表 [2-7 电源管脚](#)

根据是否可在 Deep-sleep/Light-sleep 模式下工作，ESP32-H2 芯片的 IO 管脚也可分为：

- **数字管脚** (GPIO0 ~ GPIO5, GPIO22 ~ GPIO27)：不可在 Deep-sleep 模式下工作。可在 Light-sleep 模式下工作但需要确保 XPD TOP 控制的电源域不掉电。更多信息见 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *低功耗管理*。
- **LP 管脚** (GPIO8 ~ GPIO14)：可在芯片任意模式工作。

表 [2-1 管脚概述](#) 简要介绍了所有管脚。更多信息，详见下文相应章节，或参考 [附录 A – ESP32-H2 管脚总览](#)。

表 2-1. 管脚概述

管脚 序号	管脚 名称	管脚 类型	供电 管脚 ²	管脚配置 ³		管脚功能 ¹	
				复位时	复位后	IO MUX	模拟
1	VDD3P3	电源					
2	VDD3P3	电源					
3	GPIO0	IO	VDDPST1			IO MUX	
4	GPIO1	IO	VDDPST1			IO MUX	模拟
5	MTMS	IO	VDDPST1	IE	IE	IO MUX	模拟
6	MTDO	IO	VDDPST1	IE	IE	IO MUX	模拟
7	MTCK	IO	VDDPST1		IE ⁴	IO MUX	模拟
8	MTDI	IO	VDDPST1		IE	IO MUX	模拟
9	VDDPST1	电源					
10	GPIO8	IO	VDDPST1	IE	IE	IO MUX	
11	GPIO9	IO	VDDPST1	IE, WPU	IE, WPU	IO MUX	
12	GPIO10	IO	VDDPST1			IO MUX	模拟
13	GPIO11	IO	VDDPST1			IO MUX	模拟
14	GPIO12	IO	VDDA_PMU/VBAT			IO MUX	
15	XTAL_32K_P	IO	VDDA_PMU/VBAT			IO MUX	模拟
16	XTAL_32K_N	IO	VDDA_PMU/VBAT			IO MUX	模拟
17	CHIP_EN	模拟	VBAT				
18	VBAT	电源					

见下页

表 2-1 – 接上页

管脚 序号	管脚 名称	管脚 类型	供电 管脚 ²	管脚配置 ³		管脚功能 ¹	
				复位时	复位后	IO MUX	模拟
19	VDDA_PMU	电源					
20	VDDPST1	电源					
21	GPIO22	IO	VDDPST2			IO MUX	
22	UORXD	IO	VDDPST2		IE, WPU	IO MUX	
23	UOTXD	IO	VDDPST2		IE, WPU	IO MUX	
24	GPIO25	IO	VDDPST2	IE	IE	IO MUX	
25	GPIO26	IO	VDDPST2		IE	IO MUX	模拟
26	GPIO27	IO	VDDPST2		IE, USB_PU	IO MUX	模拟
27	VDD3P3	电源					
28	XTAL_N	模拟					
29	XTAL_P	模拟					
30	VDD3P3	电源					
31	VDD3P3	电源					
32	ANT	模拟					
33	GND	电源					

1. **加粗**功能为默认启动模式下管脚的默认功能，详见章节 3.1 芯片启动模式控制。
2. GPIO26 和 GPIO27 的默认驱动电流为 40 mA，剩余其他管脚的默认驱动电流为 20 mA。
3. 管脚配置一栏为复位时和复位后预设配置缩写：
 - IE – 输入使能
 - WPU – 内部弱上拉电阻使能
 - WPD – 内部弱下拉电阻使能
 - USB_PU – USB 上拉电阻使能
 - USB 管脚(GPIO26 和 GPIO27)默认开启 USB 功能,此时管脚是否上拉由 USB 上拉决定。USB 上拉由 USB_SERIAL_JTAG_DP/DM_PULLUP 控制,USB 上拉电阻的具体阻值可通过 USB_SERIAL_JTAG_PULLUP_VALUE 位控制,详见 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 USB 串口/JTAG 控制器。
 - USB 管脚关闭 USB 功能时, 用作普通 GPIO, 默认禁用管脚内部弱上/下拉电阻, 可通过 IO_MUX_GPIO_n_FUN_WPU/WPD 配置, 详见 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。
4. EFUSE_DIS_PAD_JTAG 的值为
 - 0 - 弱上拉电阻使能
 - 1 - 管脚浮空

2.3 IO 管脚

2.3.1 IO MUX 功能

IO MUX 能让一个输入/输出管脚连接多个输入/输出信号。ESP32-H2 的每个 IO 管脚可在表 2-3 [IO MUX 管脚功能](#) 列出的五个信号 (IO MUX 功能, 即 F0-F4) 中选择, 连接任意一个。

五个信号中:

- 部分源自 GPIO 交换矩阵 (GPIO0、GPIO1 等)。GPIO 交换矩阵包含内部信号传输线路, 用于映射信号, 能令管脚连接几乎任一外设信号。这种映射虽然灵活, 但可能影响传输信号的速度, 造成延迟。如何通过 GPIO 交换矩阵连接外设信号, 详见 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 [IO MUX](#) 和 [GPIO 交换矩阵](#)。
- 部分直接源自特定外设 (UOTXD、MTCK 等), 包括 UART0、JTAG 和 SPI2 - 详见表 2-2 [通过 IO MUX 连接的外设信号](#)。

表 2-2. 通过 IO MUX 连接的外设信号

管脚功能	信号	描述
UOTXD UORXD	发送数据 (Transmit) 接收数据 (Receive)	UART0 接口
MTCK MTDO MTDI MTMS	测试时钟 (Test clock) 测试数据输出 (Test Data Out) 测试数据输入 (Test Data In) 测试模式选择 (Test Mode Select)	用于调试功能的 JTAG 接口
FSPIQ FSPID FSPIHD FSPIWP FSPICLK FSPICS...	数据输出 (Data out) 数据输入 (Data in) 暂停 (Hold) 写保护 (Write protect) 时钟 (Clock) 片选 (Chip select)	用于快速 SPI 传输的 SPI2 主接口。支持单线、双线、四线 SPI 模式

表 2-3 [IO MUX 管脚功能](#) 列出了管脚的 IO MUX 功能。

表 2-3. IO MUX 管脚功能

管脚 序号	IO MUX / GPIO 名称 ²	IO MUX 功能 ^{1, 2, 3}									
		F0	类型 ³	F1	类型	F2	类型	F3	类型	F4	类型
3	GPIO0	GPIO0	I/O/T	GPIO0	I/O/T	FSPIQ	I/O/T				
4	GPIO1	GPIO1	I/O/T	GPIO1	I/O/T	FSPICS0	I/O/T				
5	GPIO2	MTMS	I	GPIO2	I/O/T	FSPIWP	I/O/T				
6	GPIO3	MTDO	O/T	GPIO3	I/O/T	FSPIHD	I/O/T				
7	GPIO4	MTCK	I	GPIO4	I/O/T	FSPICLK	I/O/T				
8	GPIO5	MTDI	I	GPIO5	I/O/T	FSPID	I/O/T				
10	GPIO8	GPIO8	I/O/T	GPIO8	I/O/T						
11	GPIO9	GPIO9	I/O/T	GPIO9	I/O/T						
12	GPIO10	GPIO10	I/O/T	GPIO10	I/O/T						
13	GPIO11	GPIO11	I/O/T	GPIO11	I/O/T						
14	GPIO12	GPIO12	I/O/T	GPIO12	I/O/T						
15	GPIO13	GPIO13	I/O/T	GPIO13	I/O/T						

见下页

表 2-3 – 接上页

管脚 序号	IO MUX / GPIO 名称 ²	IO MUX 功能 ^{1, 2, 3}									
		F0	类型 ³	F1	类型	F2	类型	F3	类型	F4	类型
16	GPIO14	GPIO14	I/O/T	GPIO14	I/O/T						
21	GPIO22	GPIO22	I/O/T	GPIO22	I/O/T						
22	GPIO23	UORXD	I1	GPIO23	I/O/T	FSPICS1	O/T				
23	GPIO24	U0TXD	O	GPIO24	I/O/T	FSPICS2	O/T				
24	GPIO25	GPIO25	I/O/T	GPIO25	I/O/T	FSPICS3	O/T				
25	GPIO26	GPIO26	I/O/T	GPIO26	I/O/T	FSPICS4	O/T				
26	GPIO27	GPIO27	I/O/T	GPIO27	I/O/T	FSPICS5	O/T				

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

² **高亮**的单元格，详见章节 2.3.3 GPIO 限制。

³ 每个 IO MUX 功能 (Fn, n = 0 ~ 4) 均对应一个“类型”。以下是各个“类型”的含义：

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

2.3.2 模拟功能

部分 IO 管脚具有**模拟功能**，可用于任意功耗模式下的模拟外设（如 ADC）。模拟功能连接内部模拟信号，详见表 2-4 连接模拟功能的模拟信号。

表 2-4. 连接模拟功能的模拟信号

管脚功能	信号	描述
ADC1_CH n	ADC1 通道 n 信号	ADC1 通道 n 接口
XTAL_32K_N	负极性时钟信号 (Negative clock signal)	连接 ESP32-H2 有源晶振/无源晶振的外部 32 kHz 时钟输入/输出
XTAL_32K_P	正极性时钟信号 (Positive clock signal)	
USB_D-	数据 - (负极性 USB 信号)	USB 串口/JTAG 控制器的 USB 接口信号
USB_D+	数据 + (正极性 USB 信号)	
ZCD n	GPIO Pad 上的电压	模拟 Pad 电压比较功能

表 2-5 模拟功能 列出了 IO 管脚的模拟功能。

表 2-5. 模拟功能

管脚 序号	模拟 IO 名称 ¹	模拟功能 ²	
		FO	F1
4	GPIO1		ADC1_CHO
5	GPIO2		ADC1_CH1
6	GPIO3		ADC1_CH2
7	GPIO4		ADC1_CH3
8	GPIO5		ADC1_CH4
12	GPIO10	ZCDO	
13	GPIO11	ZCD1	
15	XTAL_32K_P	XTAL_32K_P	
16	XTAL_32K_N	XTAL_32K_N	
25	GPIO26	USB_D-	
26	GPIO27	USB_D+	

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

² **高亮**的单元格，详见章节 2.3.3 GPIO 限制。

2.3.3 GPIO 限制

ESP32-H2 的所有 IO 管脚都有 GPIO 功能。这些 IO 管脚是多功能管脚，可以根据需求配置不同的功能，也有一些使用限制，需要特别注意。

本章节的表格中，部分管脚功能有 **高亮** 标记。推荐优先使用没有高亮的 GPIO 管脚。如需更多管脚，请谨慎选择高亮的 GPIO 管脚，避免与重要功能冲突。

高亮的 **IO** 管脚有以下重要功能之一：

- **Strapping 管脚** – 启动时逻辑电平需为特定值。详见章节 [3 启动配置项](#)。
- **USB_D+/-** – 默认情况下连接 USB 串口/JTAG 控制器。此类管脚需重新配置，方可用作 GPIO。
- **JTAG 接口** – 通常用于调试功能。详见表 [2-2 通过 IO MUX 连接的外设信号](#)。要释放这类管脚，可用 USB 串口/JTAG 控制器的 USB_D+/- 功能代替。详见章节 [3.3 JTAG 信号源控制](#)。
- **UART 接口** – 通常用于调试功能。详见表 [2-2 通过 IO MUX 连接的外设信号](#)。

[附录 A – ESP32-H2 管脚总览](#) 也可参考。

2.4 模拟管脚

表 2-6. 模拟管脚

管脚 序号	管脚 名称	管脚 类型	管脚 功能
17	CHIP_EN	I	高电平：芯片使能（上电）； 低电平：芯片关闭（掉电）； 注意不能让 CHIP_EN 管脚浮空
28	XTAL_N	—	连接芯片有源晶振或无源晶振的外部时钟输入/输出。 P/N 指差分时钟正极/负极端。
29	XTAL_P	—	
32	ANT	I/O	射频输入和输出

2.5 电源

2.5.1 电源管脚

表 2-7 电源管脚 列举了为芯片供电的电源管脚。

表 2-7. 电源管脚

管脚 序号	管脚 名称	方向	电源域 / 其他	电源 ^{1,2} IO 管脚
1	VDD3P3	输入	模拟电源域	
2	VDD3P3	输入	模拟电源域	
9	VDDPST1	输入	IO 电源域	数字 IO, LP IO ³
18	VBAT	输入	模拟电源域或电池电源	GPIO12、XTAL_32K_P、XTAL_32K_N
19	VDDA_PMU	输入	模拟电源域	GPIO12、XTAL_32K_P、XTAL_32K_N
20	VDDPST2	输入	IO 电源域	数字 IO
27	VDD3P3	输入	模拟电源域	
33	GND	—	外部接地	

¹ 请结合章节 2.5.2 电源管理 阅读。

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

³ 数字 IO 和 LP IO 的分类见章节 2.2 管脚概述。

2.5.2 电源管理

电源管理如图 2-2 ESP32-H2 电源管理 所示。芯片上的元器件通过电压稳压器供电。

表 2-8. 电压稳压器

电压稳压器	输出	电源
数字	1.1 V	数字电源域
低功耗	1.1 V	LP 电源域

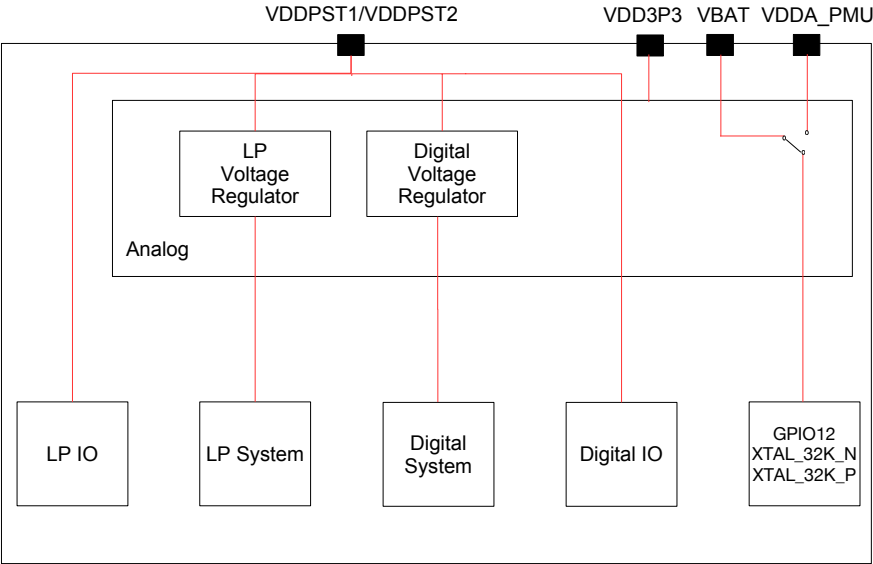


图 2-2. ESP32-H2 电源管理

2.5.3 芯片上电和复位

芯片上电后，其电源轨需要一点时间方可稳定。之后，用于上电和复位的管脚 CHIP_EN 拉高，激活芯片。更多关于 CHIP_EN 及上电和复位时序的信息，请见图 2-3 和表 2-9。

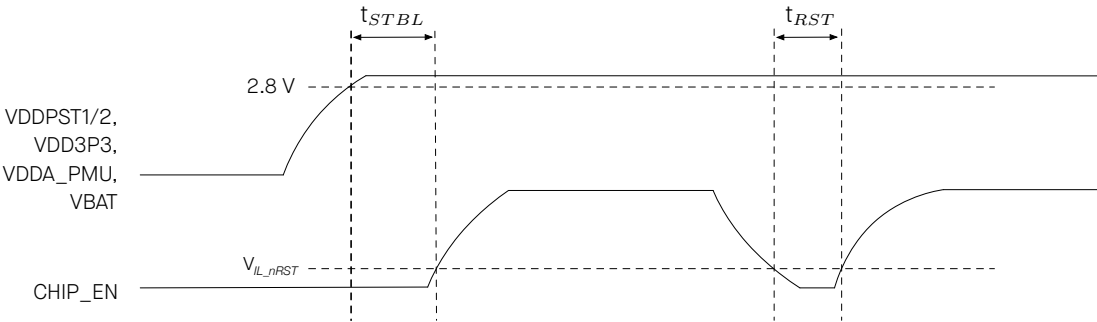


图 2-3. 上电和复位时序参数图

表 2-9. 上电和复位时序参数说明

参数	说明	最小值 (μs)
t_{STBL}	CHIP_EN 管脚拉高激活芯片前，VDDPST1、VDDPST2、VDD3P3、VDDA_PMU 和 VBAT 达到稳定所需的时间	50
t_{RST}	CHIP_EN 电平低于 V_{IL_nRST} （具体数值参考表 5-3）从而复位芯片的时间	50

3 启动配置项

芯片在上电或硬件复位时，可以通过 strapping 管脚、eFuse 位及相关寄存器配置如下启动参数，无需微处理器的参与：

- 芯片启动模式

- Strapping 管脚：GPIO8 和 GPIO9

- ROM 日志打印

- Strapping 管脚：GPIO8
- eFuse 位：EFUSE_UART_PRINT_CONTROL 和 EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG_ROM_PRINT
- 寄存器：LP_AON_STORE4_REG[0]

- JTAG 信号源

- Strapping 管脚：GPIO25
- eFuse 位：EFUSE_DIS_PAD_JTAG、EFUSE_DIS_USB_JTAG 和 EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE

上述 eFuse 位的默认值均为 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-H2 技术参考手册》](#) > 章节 eFuse 控制器。

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

表 3-1. Strapping 管脚的默认配置

Strapping 管脚	默认配置	值
GPIO8	浮空	—
GPIO9	弱上拉	1
GPIO25	浮空	—

要改变 strapping 管脚的值，可以连接外部下拉/上拉电阻。如果 ESP32-H2 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。系统复位时，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 3-2 和图 3-1 所示的建立时间和保持时间。

表 3-2. Strapping 管脚的时序参数说明

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

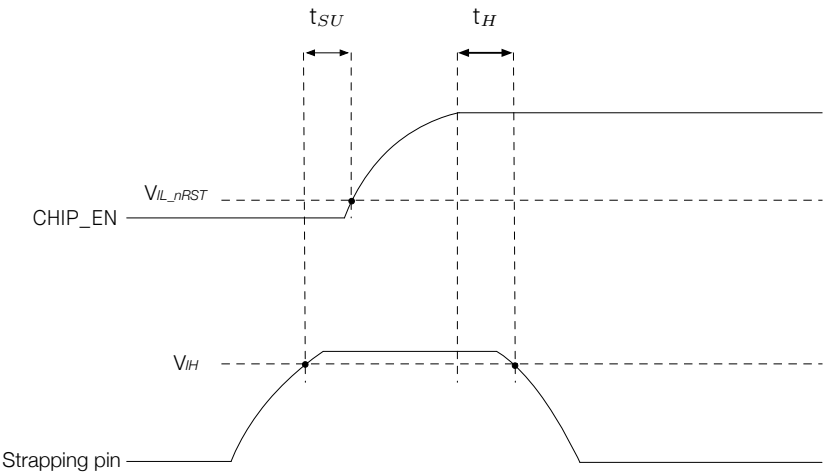


图 3-1. Strapping 管脚的时序参数图

3.1 芯片启动模式控制

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

表 3-3. 芯片启动模式控制

启动模式 ¹	GPIO8	GPIO9
SPI Boot	任意值	1
Joint Download Boot ²	1	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 Download Boot:
 - USB-Serial-JTAG Download Boot
- UART Download Boot

3.2 ROM 日志打印控制

系统启动过程中，如果 LP_AON_STORE4_REG[0] 为 0（默认值）则 ROM 日志打印使能，如果为 1 则 ROM 日志打印关闭。ROM 日志打印开启时，可打印至：

- (默认) UART0 和 USB 串口/JTAG 控制器
- USB 串口/JTAG 控制器
- UART0

LP_AON_STORE4_REG[0]、EFUSE_UART_PRINT_CONTROL 和 GPIO8 控制 **UART0** ROM 日志打印，如表 3-4 [UART0 ROM 日志打印控制](#) 所示。

表 3-4. UART0 ROM 日志打印控制

UART0 ROM 日志打印 ¹	LP_AON_STORE4_REG[0]	EFUSE_UART_PRINT_CONTROL	GPIO8
使能	0	0	忽略
		1	0
		2	1
关闭	0	1	1
		2	0
		3	忽略
	1	忽略	忽略

¹ 加粗表示默认值和默认配置。

EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG_ROM_PRINT 和 LP_AON_STORE4_REG[0] 控制 **USB 串口/JTAG 控制器** ROM 日志打印，如表 3-5 [USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制](#) 所示。

表 3-5. USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制

USB 串口/JTAG ROM 日志打印控制 ¹	LP_AON_STORE4_REG[0]	EFUSE_DIS_USB_SERIAL_JTAG_ROM_PRINT
使能	0	0
关闭	0	1
	1	忽略

¹ 加粗表示默认值和默认配置。

3.3 JTAG 信号源控制

在系统启动早期阶段，GPIO25 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 3-6 所示，GPIO25 与 EFUSE_DIS_PAD_JTAG、EFUSE_DIS_USB_JTAG 和 EFUSE_JTAG_SEL_ENABLE 共同控制 JTAG 信号源。

表 3-6. JTAG 信号源控制

JTAG 信号源 ¹	EFUSE_DIS_PAD_JTAG	EFUSE_DIS_USB_JTAG	EFUSE_STRAP_JTAG_SEL_ENABLE	GPIO25
USB 串口/JTAG 控制器	0	0	0	忽略
JTAG 管脚 ²			1	0
USB 串口/JTAG 控制器				1
JTAG 管脚 ²	0	1	忽略	忽略
USB 串口/JTAG 控制器	1	0	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 功能描述

4.1 系统

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

4.1.1 微处理器和主控

本章节描述了芯片内的核心处理单元及其功能。

4.1.1.1 ESP-RISC-V CPU

ESP-RISC-V CPU 是一款基于 RISC-V 指令集架构 (ISA) 的 32 位内核，包括基本整数 (I)、乘法/除法 (M)、原子 (A) 和压缩 (C) 标准扩展。

特性

- 四级流水线，时钟工作频率高达 96 MHz
- [RV32IMAC](#) ISA (指令集架构)
- 符合 RISC-V 指令集手册 v2.2 第一卷“非特权架构” (RISC-V Instruction Set Manual Volume I: Unprivileged ISA, Version 2.2) 和 RISC-V 指令集手册 v1.10 第二卷“特权架构” (RISC-V Instruction Set Manual, Volume II: Privileged Architecture, Version 1.10)
- 通过 IRAM/DRAM 接口零等待周期访问片上 SRAM 和 cache 中的程序和数据
- 具有静态分支预测功能的分支目标缓冲区 (BTB)
- 支持用户模式 (user mode) 以及中断委托
- 中断控制器 (INTC) 具有多达 28 个外部向量中断，适用于机器模式 (machine mode) 和用户模式，可配置 16 个优先级和阈值级别
- 专用于机器模式 and 用户模式的核心本地中断 (CLINT)
- 调试模块 (DM) 符合 RISC-V 外部调试支持规范 (RISC-V External Debug Support) v0.13，支持通过行业标准的 JTAG/USB 端口连接外部调试器
- 支持指令追踪，详见章节 [4.1.1.2 RISC-V 追踪编码器](#)
- 调试器通过系统总线 (SBA) 直接访问存储器和外设
- 硬件触发器符合 RISC-V 调试规范 v0.13，具有多达 4 个断点/观察点
- 物理存储器保护 (PMP) 和物理存储器属性 (PMA)，最多可配置 16 个区域
- 32 位 AHB 系统总线，用于访问外设
- 可配置的核心性能指标事件

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *ESP-RISC-V CPU*。

4.1.1.2 RISC-V 追踪编码器

ESP32-H2 芯片中的 RISC-V 追踪编码器提供了一种从 CPU 执行过程中捕获详细追踪信息的方法，以便对系统进行更深入的分析 and 优化。它连接到 CPU 的指令追踪接口，并将信息压缩成较小的数据包，然后存储在内部 SRAM 中。

特性

- 兼容 RISC-V 追踪规范 v1.0 (RISC-V Processor Trace 1.0)
- 支持任意地址范围用作追踪存储器
- 具有两种同步模式：
 - 同步计数器按包计数
 - 同步计数器按周期计数
- 支持丢包状态标识
- 支持丢包后自动重启
- 写追踪存储器时支持循环和非循环模式
- 具有 128×8 位 FIFO，用于缓存数据包

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 RISC-V 追踪编码器 (TRACE)。

4.1.1.3 GDMA 控制器

GDMA 控制器是通用的直接内存访问控制器，可以在无需 CPU 干预的情况下完成外设与存储器之间及存储器与存储器之间的数据传输。GDMA 具有六个独立通道，其中三个用于发送，三个用于接收。这些通道由具有 GDMA 功能的外设共享，包括 SPI2、UHCI (UART0/UART1)、I2S、AES、SHA、ADC 和 PARLIO。

特性

- AHB 总线架构
- 可编程的数据传输长度（以字节为单位）
- 链表描述符，用于高效的数据传输管理
- 在访问内部 RAM 时进行 INCR burst 传输，以提高性能
- 访问高达 324 KB 的内部 RAM 地址空间
- 软件可选择请求服务的外设
- 用于管理带宽的固定优先级和轮询通道仲裁方案
- 支持事件任务矩阵

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 GDMA 控制器 (DMA)。

4.1.2 存储器组织结构

本章节描述了存储器布局，解释数据的存储、访问和管理方式，以实现高效的操作。

ESP32-H2 的地址映射结构如图 4-1 所示。

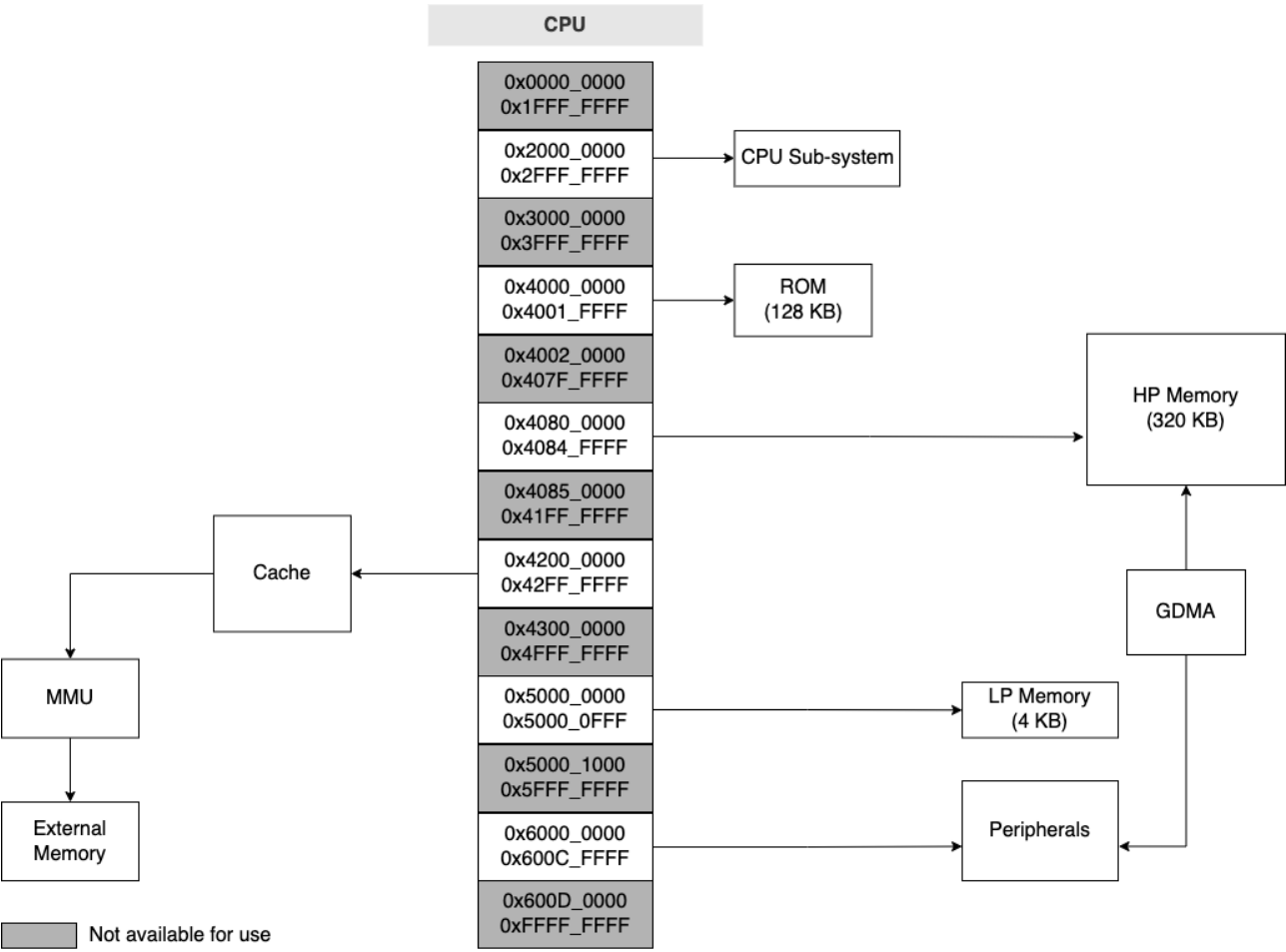


图 4-1. 地址映射结构

4.1.2.1 内部存储器

ESP32-H2 的内部存储器即集成于芯片晶圆上或封装内部的存储器，包括 ROM、SRAM、eFuse 和 flash。

特性

- 128 KB 的 ROM，用于程序启动和内核功能调用
- 320 KB 的高性能 SRAM (HP SRAM)，用于数据和指令存储
- 4 KB 的低功耗 SRAM (LP SRAM)，可被 CPU 访问，在 Deep-sleep 模式下可以保存数据
- 4096 位 eFuse 存储器，其中 1792 位用户可用，更多信息详见章节 [4.1.2.3 eFuse 控制器](#)
- 封装内 flash
 - flash 大小
 - * ESP32-H2FH2S 芯片：2 MB
 - * ESP32-H2FH4S 芯片：4 MB
 - 至少 10 万次编程/擦除周期
 - 至少 20 年数据保留时间
 - 最大时钟频率

* ESP32-H2FH2S 芯片：64 MHz

* ESP32-H2FH4S 芯片：64 MHz

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节系统和存储器。

4.1.2.2 外部存储器

ESP32-H2 支持通过 SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI 等接口在芯片封装外连接存储器。

特性

- 支持连接最大 16 MB 的封装外 flash
 - 支持基于 XTS-AES 的硬件加解密功能
 - 最多 16 MB 的 CPU 指令空间以 64 KB 的块映射到 flash，支持 32 位取指
 - 最多 16 MB 的 CPU 数据空间以 64 KB 的块映射到 flash，支持 8 位、16 位和 32 位读取
- 通过 16 KB 只读 cache 访问外部存储器
 - 八路组相连
 - 32 字节 cache 块 (block)
 - 支持关键字优先 (critical word first) 和提前重启 (early restart)

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节系统和存储器。

4.1.2.3 eFuse 控制器

eFuse 存储器是只可编程一次的存储器，用于存储参数内容和用户数据。ESP32-H2 芯片的 eFuse 控制器用于烧写和读取 eFuse 存储器。

特性

- 配置部分区域的写保护
- 配置部分区域的读保护
- 防止数据损坏的多种硬件编码方案

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 eFuse 控制器。

4.1.3 系统组件

本章节描述了对系统的整体功能和控制起到重要作用的组件。

4.1.3.1 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵

ESP32-H2 芯片中的 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵可将外设输入和输出信号灵活连接到 GPIO 管脚。这些外设通过允许 I/O 配置、支持多路复用和外设输入信号的信号同步，增强了芯片的功能和性能。

特性

- 19 个 GPIO 管脚，用于通用 I/O 或连接到内部外设信号
- GPIO 交换矩阵：
 - 将 78 个外设输入信号和 99 个输出信号连接到任意 GPIO 管脚
 - 基于 IO MUX 运行时钟的外设输入信号同步
 - 支持 GPIO 滤波器对输入信号进行滤波
 - 支持毛刺滤波器对输入信号进行二次滤波
 - 支持 Sigma delta 调制 (SDM) 输出
 - 支持 GPIO 简单输入输出
- IO MUX 用于将某些数字信号 (SPI、JTAG、UART) 直接连接到管脚
- 支持事件任务矩阵

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。

4.1.3.2 复位

ESP32-H2 芯片提供四种级别的复位方式，分别是 CPU 复位、内核复位、系统复位和芯片复位。除芯片复位外，其他复位方式不影响片上内存存储的数据。

特性

- 四种复位类型：
 - CPU 复位 - 复位 CPU 核
 - 内核复位 - 复位整个数字系统，但不包括 LP 系统
 - 系统复位 - 复位整个数字系统，包括 LP 系统
 - 芯片复位 - 复位整个芯片
- 复位触发方式：
 - 直接由硬件触发
 - 通过配置 CPU 的相应寄存器进行软件触发
- 支持读取复位源

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节复位和时钟。

4.1.3.3 时钟

ESP32-H2 芯片的时钟来自振荡器、RC 电路和 PLL 电路，然后经过分频器或时钟选择器进行处理。时钟根据频率可以分为高速时钟和低速时钟。

特性

- 高速时钟（用于工作在较高频率下的设备）
 - 32 MHz 外部晶振时钟

说明：

芯片无法在没有外部晶振时钟的情况下工作。

- 96 MHz 内部 PLL 时钟
 - 64 MHz 内部 PLL 时钟
- 低速时钟（用于 LP 系统和某些低功耗模式外设）
 - 32 kHz 外部晶振时钟
 - 可调频率的内部快速 RC 振荡器（默认为 8 MHz）
 - 130 kHz 内部慢速 RC 振荡器
 - 内部 PLL 时钟
 - 通过 XTAL_32K_P 输入的外部慢速时钟（默认为 32 kHz）

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节复位和时钟。

4.1.3.4 中断矩阵

ESP32-H2 芯片的中断矩阵用于将外设和事件生成的中断请求映射到 CPU 中断。

特性

- 接收 65 个外部中断源作为输入
- 生成 28 个 CPU 的外部中断作为输出
- 支持查询外部中断源当前的中断状态
- 支持将多个中断源映射到单个 CPU 中断（即共享中断）

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节中断矩阵。

4.1.3.5 事件任务矩阵

事件任务矩阵 (ETM) 允许将来自任何指定外设的事件映射到任何指定外设的任务，使外设能够在没有 CPU 干预的情况下执行指定任务。能够产生事件、接收任务的外设有 GPIO、LED PWM、通用定时器、RTC 定时器、系统定时器、MCPWM、温度传感器、ADC、I2S、GDMA 和 PMU。

特性

- 50 个可独立使能、配置的通道
- 支持从多个外设接收 122 种事件
- 支持为多个外设生成 129 种任务

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节事件任务矩阵。

4.1.3.6 电源管理单元

ESP32-H2 具有先进的电源管理单元 (PMU)，可以灵活地为芯片的不同电源域供电，实现芯片性能、功耗和唤醒延迟之间的最佳平衡。

配置 PMU 的程序较为复杂。为针对典型场景简化电源管理，ESP32-H2 具有以下**预设功耗模式**，可给不同电源域组合供电：

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

设备在不同功耗模式下的功耗，请参见章节 [5.5 功耗特性](#)。

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

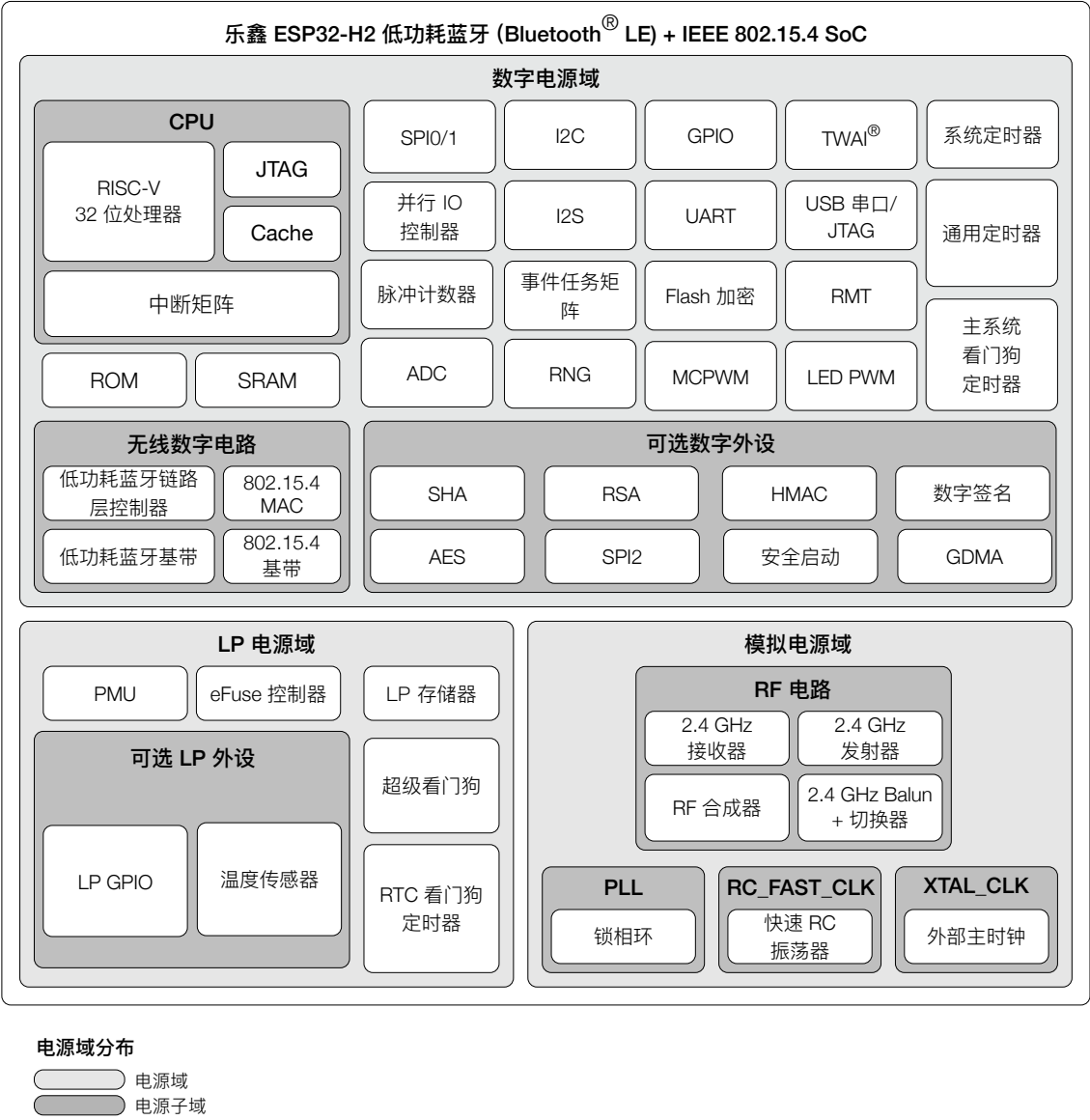


图 4-2. 模块和电源域

表 4-1. 模块和电源域

功耗模式 \ 电源域	LP		数字				模拟				
		可选 LP 外设		CPU	可选数字外设	无线数字电路		RC_FAST_CLK	XTAL_CLK	PLL	RF 电路
Active	开	开	开	开	开	开	开	开	开	开	开
Modem-sleep	开	开	开	开	开	开	开	开	开	开	关 ¹
Light-sleep	开	开	开	关	开	关	开	关	关	关	关 ¹
Deep-sleep	开	开	关	关	关	关	开	关	关	关	关

¹ 若无线数字电路上电，RF 电路可在内部操作需要时间歇性开启，确保无线保持连接状态。

4.1.3.7 系统定时器

ESP32-H2 芯片中的系统定时器 (SYSTIMER) 是一个 52 位定时器，可用于为操作系统生成滴答中断，或作为通用定时器生成周期性或一次性中断。

特性

- 两个 52 位计数器和三个 52 位比较器
- 52 位报警值和 26 位报警周期
- 两种报警模式：单次报警模式和周期报警模式
- 三个比较器根据配置的报警值或报警周期生成三个独立中断
- 在 Deep-sleep 或 Light-sleep 后，能够通过软件加载 RTC 定时器记录的睡眠时间
- 支持当 CPU 暂停或处于 OCD 模式时，时钟计数器也暂停
- 支持输出实时报警的事件 (event)

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节系统定时器。

4.1.3.8 定时器组

ESP32-H2 芯片中的定时器组 (TIMG) 可用于准确设定时间间隔、在一定间隔后触发（周期或非周期的）中断或充当硬件时钟。ESP32-H2 有两个定时器组，每个定时器组包含一个通用定时器和一个主系统看门狗定时器。

特性

- 16 位预分频器
- 54 位自动重新加载计数器，可向上、向下计数
- 实时读取时基计数器的值
- 暂停、恢复、禁用时间基准计数器
- 可配置的报警产生机制
- 定时器值重新加载（报警时自动重新加载或软件控制即时重新加载）
- RTC 慢速时钟频率计算
- 电平触发中断
- 支持多个 ETM 任务和事件

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节定时器组 (TIMG)。

4.1.3.9 看门狗定时器

ESP32-H2 中的看门狗定时器 (WDT) 可用于检测和处理系统故障。ESP32-H2 有三个数字看门狗定时器：两个在定时器组中 (MWDT)，一个在 RTC 模块中 (RWDT)。此外，还有一个称为超级看门狗 (SWD) 的模拟看门狗定时器，有助于防止系统在异常状态下运行。

特性

- 数字看门狗定时器：
 - 四个阶段，每个阶段都可配置超时时间和超时动作
 - 超时动作：中断、CPU 复位、内核复位、系统复位（仅 RWDT）
 - 阶段 0 flash 启动保护（SPI Boot 模式）
 - 写保护，使能时寄存器仅可读取
 - 32 位超时计数器
- 模拟看门狗定时器：
 - 超时周期略小于 1 秒
 - 超时动作：中断、系统复位

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节看门狗定时器。

4.1.3.10 权限控制

ESP32-H2 中的权限控制模块负责管理对内存和外设寄存器的访问权限。它由两部分组成：PMP（物理内存保护）和 APM（访问权限管理）。

特性

- 支持对 ROM、HP 存储器、HP 外设、LP 存储器和 LP 外设地址空间的访问权限管理
- APM 支持每个主机（如 DMA）可配置四种安全模式
- APM 支持最多 16 个地址范围的访问权限配置
- 中断功能和异常信息记录

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节权限控制 (PMS)。

4.1.3.11 系统寄存器

ESP32-H2 芯片中的系统寄存器用于配置一些芯片辅助功能。

特性

- 控制外部存储器加密和解密
- 控制总线超时保护

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节系统寄存器。

4.1.3.12 辅助调试

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

特性

- 读写监测：监测 CPU 是否在限定的存储器地址范围内进行读写操作
- 栈指针 (SP) 监测：监测栈指针是否超出限定的范围，若超出范围则产生中断
- 程序计数器 (PC) 记录：记录 PC，可以获得上一次 CPU 复位时的 PC 值
- 总线写操作记录：当 CPU 或 DMA 写了某个特定值时，会记录总线写操作信息

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节辅助调试 (ASSIST_DEBUG)。

4.1.4 加密和安全组件

本章节描述了集成在芯片中用于保护数据和操作的安全功能。

4.1.4.1 AES 加速器

ESP32-H2 内置 AES（高级加密标准）硬件加速器可使用 AES 算法，完成数据的加解密运算，具有 Typical AES 和 DMA-AES 两种工作模式。相比基于纯软件的 AES 运算，AES 硬件加速器能够极大地提高运算速度。

特性

- Typical AES 工作模式
 - AES-128/AES-256 加解密运算
- DMA-AES 工作模式
 - AES-128/AES-256 加解密运算
 - 块（加密）模式
 - * ECB (Electronic Codebook)
 - * CBC (Cipher Block Chaining)
 - * OFB (Output Feedback)
 - * CTR (Counter)
 - * CFB8 (8-bit Cipher Feedback)
 - * CFB128 (128-bit Cipher Feedback)
 - 中断发生
- 抗攻击伪轮函数，可增强抗攻击性能

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 AES 加速器 (AES)。

4.1.4.2 ECC 加速器

ECC 加速器可以加速基于椭圆曲线密码学 (ECC) 算法和派生算法（如 ECDSA）的计算，这种算法相对于 RSA 算法的优势在于，使用较小长度的公钥就能够提供相当等级的加密安全性。

特性

- 支持两种不同的椭圆曲线（P-192 和 P-256）
- 11 种工作模式，支持功能包括标准点验证、标准点乘、Jacobian 点验证、Jacobian 点乘、模计算，等
- 强抗攻击性能，ECC 加速器在每次进行点乘计算时：
 - 均会消耗相同的时间
 - 均会消耗相同的功耗

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 ECC 加速器 (ECC)。

4.1.4.3 HMAC 加速器

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

特性

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

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 HMAC 加速器。

4.1.4.4 RSA 加速器

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

特性

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

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 RSA 加速器。

4.1.4.5 SHA 加速器

SHA 加速器 (SHA) 是一种硬件加速器，与纯软件相比能够极大地提高 SHA 算法运算速度。

特性

- 支持多种 SHA 算法：SHA-1、SHA-224 和 SHA-256
- 两种数据传输模式：基于 CPU 的 Typical SHA 和基于 DMA 的 DMA-SHA

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 SHA 加速器 (SHA)。

4.1.4.6 数字签名

ESP32-H2 芯片中的数字签名 (DS) 模块可通过硬件加速高效生成基于 RSA 的数字签名。

特性

- 支持长度最大为 3072 位的 RSA 数字签名密钥
- 支持仅限 DS 读取的加密私钥数据
- 支持 SHA-256 摘要，用于保护私钥数据免遭攻击者篡改

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节数字签名 (DS)。

4.1.4.7 椭圆曲线数字签名算法 (ECDSA)

椭圆曲线数字签名算法 (ECDSA) 是数字签名算法 (DSA) 的一种变体，使用了椭圆曲线密码学。ESP32-H2 的 ECDSA 加速器可在一个安全高效的环境中计算 ECDSA 签名，不仅可保证签名过程的机密性，还实现了快速计算。

特性

- 数字签名的生成和验证
- 两种椭圆曲线：P-192 和 P-256
- 不同工作状态下的动态访问权限，以确保信息安全
- 强抗攻击性能，ECDSA 每次生成和验证签名时：
 - 均会消耗相同的时间
 - 均会消耗相同的功耗

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节椭圆曲线数字签名算法 (ECDSA)。

4.1.4.8 片外存储器加密与解密

ESP32-H2 芯片中的片外存储器加密与解密 (XTS_AES) 模块为用户在外部存储器 (flash) 中存储的应用程序代码和数据提供安全保障。

特性

- 使用通用 XTS-AES 算法，符合 IEEE Std 1619-2007
- 支持手动加密，需要软件参与
- 支持高速自动解密，无需软件参与

- 由寄存器配置、eFuse 参数、启动 (boot) 模式共同决定开启/关闭加解密功能
- 支持可配置的抗 DPA 攻击功能
- 支持伪轮次抗 DPA 功能

更多信息, 请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节片外存储器加密与解密 (XTS_AES)。

4.1.4.9 随机数生成器

ESP32-H2 中的随机数生成器 (RNG) 是一个真随机数生成器, 从物理过程中生成用于加密操作的 32 位随机数。

特性

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

4.1.4.10 电源毛刺检测器

ESP32-H2 芯片集成了一个电源毛刺检测器。该检测器实时监测 VDDPST1、VDDPST2 和 VDD3P3 (PIN 27) 电源管脚电压, 可识别到管脚上发生的电压异常。例如, 监测到管脚上发生电压突降或电源波动时, 芯片会触发电源毛刺复位, 确保系统能够安全恢复到可控的初始状态, 从而避免因电源波动而引起的逻辑错误、数据丢失或硬件损坏。

特性

- 实时监测特定电源管脚的电压
- 可触发电源毛刺复位, 防止电源毛刺攻击
- 上电默认开启

4.1.4.11 安全启动

ESP32-H2 中的安全启动功能可确保只有经过签名的固件才能启动。

特性

- 支持的签名类型
 - RSA-RSS 签名
 - ECDSA 签名

4.2 外设

本章节介绍了芯片上的外设接口，包括扩展芯片功能的通信接口和片上传感器。

4.2.1 通讯接口

本章节介绍了芯片与外部设备和网络进行通信和交互的接口。

4.2.1.1 UART 控制器

ESP32-H2 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-H2 芯片中共有两个 UART 控制器。

特性

- 可编程波特率，最高可达 5 MBaud
- 260 x 8 位 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
- 支持 IrDA 协议
- 使用 GDMA 进行高速数据通信
- 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-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *UART 控制器 (UART)*。

管脚分配

UART0 接口连接接收和发送信号（UORXD 和 UOTXD）的管脚通过 IO MUX 与 GPIO23 ~ GPIO24 和 FSPICS1 ~ FSPICS2 复用。其他信号可以通过 GPIO 交换矩阵连接到任意 GPIO。

更多关于管脚分配的信息，请参考 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX 和 GPIO 交换矩阵*。

4.2.1.2 SPI 控制器

ESP32-H2 具有以下 SPI 接口：

- SPI0/SPI1，预留给系统使用
- SPI2，通用 SPI 控制器 (GP-SPI)，可访问通用 DMA 通道

SPI2 的特性

- 支持主机或从机模式
- 支持 DMA
- 支持 Single SPI、Dual SPI、Quad SPI、QPI 模式
- 可配置时钟极性 (CPOL) 和相位 (CPHA)
- 可配置时钟频率
- 数据传输以字节为单位
- 可配置读写数据位顺序：最高有效位 (MSB) 优先或最低有效位 (LSB) 优先
- 主机模式
 - 支持时钟频率高达 48 MHz 的 2 线全双工通信
 - 支持时钟频率高达 48 MHz 的 1 线、2 线、4 线半双工通信
 - 具有六个 FSPICS... 管脚，可与六个独立的 SPI 从机连接
 - 可配置的 CS 设置时间和保持时间
- 从机模式
 - 支持时钟频率高达 32 MHz 的 2 线全双工通信
 - 支持时钟频率高达 32 MHz 的 1 线、2 线、4 线半双工通信

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *SPI 控制器 (SPI)*。

管脚分配

- **通过 IO MUX**

SPI2 连接数据信号和时钟信号的管脚通过 IO MUX 与 GPIO0、GPIO2 ~ GPIO5 以及 JTAG 接口复用。SPI2 连接片选信号的管脚通过 IO MUX 与 GPIO1、GPIO23 ~ GPIO27、UART0 接口以及 USB 接口复用。

- **经 GPIO 交换矩阵**

SPI2 的管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO 交换矩阵*。

4.2.1.3 I2C 控制器

I2C 控制器支持主机和从机之间使用 I2C 总线进行通信。

特性

- 两个 I2C 控制器
- 与多个外部设备通信
- 可以运行在主机和从机模式
- 标准模式 (100 Kbit/s) 和快速模式 (400 Kbit/s)

- 从机模式下的 SCL 时钟拉伸
- 可编程数字噪声滤波
- 支持 7 位和 10 位寻址以及双地址寻址模式

更多信息, 请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *I2C 控制器 (I2C)*。

管脚分配

I2C 的管脚可以为任意 GPIO, 通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息, 请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO 交换矩阵*。

4.2.1.4 I2S 控制器

ESP32-H2 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 PCM 转 PDM TX 接口
- 可配置高精度 BCK 时钟, 最高频率可达 40 MHz
 - 采样频率支持 8 kHz、16 kHz、32 kHz、44.1 kHz、48 kHz、88.2 kHz、96 kHz、128 kHz。
- 支持 8/16/24/32 位数据通信
- 支持 DMA
- A-law 和 μ -law 压缩/解压缩算法, 提高信号的量化信噪比
- 支持灵活的数据格式控制

更多信息, 请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *I2S 控制器 (I2S)*。

管脚分配

I2S 的管脚可以为任意 GPIO, 通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息, 请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO 交换矩阵*。

4.2.1.5 脉冲计数控制器

脉冲计数控制器 (PCNT) 通过跟踪输入脉冲信号的上升沿和下降沿来计数。

特性

- 四个独立的脉冲计数器，每个计数器有两个通道
- 递增、递减或停止计数模式
- 输入脉冲信号和控制信号的毛刺滤波
- 选择在输入脉冲信号的上升沿或下降沿进行计数

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 脉冲计数控制器。

管脚分配

脉冲计数控制器的管脚可以为任意 GPIO，通过 GPIO 交换矩阵配置。

更多关于管脚分配的信息，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO 交换矩阵*。

4.2.1.6 USB 串口/JTAG 控制器

ESP32-H2 芯片中的 USB 串口/JTAG 控制器集成了与芯片通讯的标准 USB CDC-ACM 串口，同时提供了一种 JTAG 调试的便捷方案，无需外部芯片或 JTAG 适配器，节省空间并降低成本。

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
- CDC-ACM：
 - 配置虚拟串行功能，在大多数现代操作系统上可实现即插即用
 - 支持主机控制芯片复位和进入下载模式
- JTAG 适配器：
 - 支持使用紧凑的 JTAG 指令实现与 CPU 调试内核的快速通信
- 集成内部 PHY

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 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 控制器的管脚 USB_D+ 和 USB_D- 通过 IO MUX 与 GPIO26 ~ GPIO27，以及 FSPICS4 ~ FSPICS5 复用。

更多关于管脚分配的信息，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO 交换矩阵*。

4.2.1.7 双线汽车接口

双线汽车接口 (TWAI®) 是一种为车载应用设计的多主机、多播通信协议。TWAI 控制器用于芯片使用该协议的通信。

特性

- 兼容 ISO 11898-1 协议 (CAN 规范 2.0)
- 支持标准帧格式 (11 位 ID) 和扩展帧格式 (29 位 ID)
- 支持 1 Kbit/s ~ 1 Mbit/s 位速率
- 多种操作模式: 正常模式、只听模式和自测模式 (传输无需应答)
- 特殊发送: 单次发送和自发自收
- 数据接收过滤器 (支持单过滤器和双过滤器模式)
- 错误检测与处理: 错误计数器、可配置错误报警阈值、错误代码记录和仲裁丢失记录、收发器自动待机功能

更多信息, 请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 双线汽车接口。

管脚分配

TWAI 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, 请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。

4.2.1.8 LED PWM 控制器

LED PWM 控制器 (LEDC) 用于生成用于 LED 控制的 PWM 信号。

特性

- 六个独立的 PWM 生成器
- 最大 PWM 占空比精度为 20 位
- 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
- 可调节 PWM 信号输出的相位
- PWM 占空比微调
- 占空比自动渐变
 - 占空比线性渐变 — 即一个占空比渐变区间
 - 占空比伽马渐变 — 每个 PWM 生成器最多可生成 16 个占空比渐变区间, 每个区间可独立配置的渐变方向 (增加或减少)、变化步长、变化次数和变化频率
- 在低功耗模式 (Light-sleep 模式) 下输出 PWM 信号
- 支持事件任务矩阵 (ETM) 的事件生成和任务响应

更多信息, 请参考 [《ESP32-H2 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，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO* 交换矩阵。

4.2.1.9 电机控制脉宽调制器

电机控制脉宽调制器 (MCPWM) 可用于驱动数字电机和智能灯。MCPWM 分为五个主要模块：PWM 定时器、PWM 操作器、捕获模块、故障检测模块和事件任务矩阵 (ETM) 模块。

特性

- 三个 PWM 定时器，用于精确计时和频率控制
 - 每个 PWM 定时器都有一个专用的 8 位时钟预分频器
 - PWM 定时器中的 16 位计数器的工作模式包括：递增计数模式，递减计数模式，递增递减循环计数模式
 - 硬件/软件同步可以触发 PWM 定时器重载和预分频的重启，硬件同步源可选择
- 三个 PWM 操作器，用于生成波形对
 - 六个 PWM 输出，可在几种拓扑结构中运行
 - 可以通过异步方式更新对 PWM 信号的控制
 - 死区时间在上升沿和下降沿可配置，并可分别设置
 - 通过高频载波信号调制 PWM 输出，在使用变压器隔离栅极驱动器时可发挥巨大作用
 - 周期、时间戳寄存器和其他主要的控制寄存器有影子寄存器，具有灵活的更新方式
- 捕获模块，用于基于硬件的信号处理
 - 旋转电机的速度测量
 - 位置传感器脉冲之间的间隔时间测量
 - 脉冲序列信号的周期和占空比测量
 - 从电流/电压传感器的占空比编码信号导出的解码电流或电压振幅
 - 3 个独立的捕获通道，各具备一个 32 位的时间戳寄存器
 - 输入捕获信号可以预分频，边沿极性可选
 - 捕获定时器可以与 PWM 定时器或外部信号同步
- 故障检测模块
 - 出现故障时，可选择在逐周期模式或一次性模式下处理
 - 故障条件可强制 PWM 输出高或低电平
- 支持事件任务矩阵 (ETM) 的事件生成和任务响应

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 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，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO* 交换矩阵。

4.2.1.10 红外遥控

红外遥控 (RMT) 用于控制发送和接收红外遥控信号。

特性

- 四个通道，用于发送或接收红外遥控信号
- 每个通道具有独立的发送或接收功能
- 支持普通发送/接收模式、乒乓发送/接收模式、持续发送模式
- 在发送脉冲上调制和在接收脉冲上解调
- 用于改善信号接收的接收滤波
- 能够同时多个通道上发送数据
- 每个发送通道都有时钟分频器计数器、状态机和发射器
- 每个接收通道都有时钟分频器计数器、状态机和接收器
- 根据通道号默认分配 RAM block 给通道
- RAM 的 16 位脉冲编码由 level 和 period 组成

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 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，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 *IO MUX* 和 *GPIO* 交换矩阵。

4.2.1.11 并行 IO 控制器

ESP32-H2 芯片中的并行 IO 控制器 (PARLIO) 通过 GDMA 在并行总线上实现外部设备与内部存储器之间的数据传输。它由一个发送器 (TX 模块) 和一个接收器 (RX 模块) 组成，使其成为连接各种外设的通用接口。

特性

- 支持传输数据总线位宽配置为 1/2/4/8 位
- 支持 8 位全双工传输
- 在 1/2/4 位模式下，支持在一个字节范围内对数据位重新排序
- RX 模块支持八种接收模式，可分为电平使能模式、脉冲使能模式和软件使能模式三大类
- TX 模块可以生成与 TXD 对齐的有效信号

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 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，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。

4.2.2 模拟信号处理

本小节描述芯片上感知和处理现实世界数据的组件。

4.2.2.1 SAR ADC

ESP32-H2 有一个逐次逼近型模拟数字转换器 (SAR ADC)，将模拟信号转换为数字表示。

特性

- 支持 12 位采样分辨率
- 支持采集最多五个管脚上的模拟电压
- 电压转换时配置输入信号的衰减
- 软件触发的单次采样
- 专用定时器触发的多通道扫描
- 连续 DMA 转换，实现无缝数据传输
- 两个滤波系数可配置的滤波器
- 可以触发中断的阈值监控
- 支持事件任务矩阵

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 SAR ADC 转换器与温度传感器。

管脚分配

SAR ADC 管脚与 GPIO0 ~ GPIO5、JTAG 接口管脚、SPI2 接口管脚复用。

更多关于管脚分配的信息，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。

4.2.2.2 温度传感器

ESP32-H2 芯片中的温度传感器可以实时监测芯片内部的温度变化。

特性

- 测量范围：-40°C ~ 125°C
- 支持软件触发，且一旦触发后，可持续读取数据
- 支持硬件自动触发和温度监测

- 支持根据使用环境配置温度偏移，提高测试精度
- 支持测量范围可调节
- 两种自动监测模式：绝对值模式和变化量模式
- 支持事件任务矩阵

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 SAR ADC 转换器与温度传感器。

4.2.2.3 模拟电压比较器

ESP32-H2 芯片集成了两个模拟电压比较器。模拟电压比较器依靠支持电压比较功能的特殊芯片焊盘 (PAD) 实现，用于监测 PAD 上的电压变化。每个模拟电压比较器都有外部两个电压接入点，分为主电压和参考电压。模拟电压比较器输出的电压比较结果可以作为 ETM 事件来驱动其他外设的 ETM 任务，也可以触发中断。

特性

- 支持电压比较功能
 - 电压比较模式可配置
 - 内部参考电压值可配置
- 支持电压比较中断
- 支持 ETM 事件

更多信息，请参考 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵 > 模拟 PAD 电压比较功能。

管脚分配

模拟电压比较器管脚与 GPIO10 ~ GPIO11 管脚复用。

更多关于管脚分配的信息，请参考章节 [2.3 IO 管脚](#) 和 [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) > 章节 IO MUX 和 GPIO 交换矩阵。

4.3 无线通信

本节描述了芯片的无线通信能力，涵盖无线电模块、低功耗蓝牙和 802.15.4。

4.3.1 无线电

本小节描述了嵌入在芯片中的基本无线电模块，用于实现无线通信和数据交换。

4.3.1.1 2.4 GHz 接收器

2.4 GHz 接收器将 2.4 GHz 射频信号解调为基带信号，并用两个高精度 ADC 将基带信号转为数字信号。为了适应不同的信道情况，ESP32-H2 集成了 RF 滤波器、自动增益控制 (AGC)、DC 偏移补偿电路和基带滤波器。

4.3.1.2 2.4 GHz 发射器

2.4 GHz 发射器将基带信号调制为 2.4 GHz 射频信号，使用互补金属氧化物半导体 (CMOS) 功率放大器驱动天线。

为了抵消射频接收器的瑕疵，ESP32-H2 还另增了校准措施，例如：

- 载波泄露消除
- I/Q 振幅/相位匹配

这些内置校准措施缩短了产品的测试时间，并且不再需要测试设备。

4.3.1.3 时钟生成器

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

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

4.3.2 低功耗蓝牙

ESP32-H2 系列芯片包含了一个低功耗蓝牙 (Bluetooth Low Energy) 子系统，集成了硬件链路层控制器、射频/调制解调器模块和功能齐全的软件协议栈。低功耗蓝牙子系统支持 Bluetooth 5 和 Bluetooth mesh。

4.3.2.1 低功耗蓝牙物理层

ESP32-H2 低功耗蓝牙物理层支持以下特性：

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

4.3.2.2 低功耗蓝牙链路控制器

ESP32-H2 低功耗蓝牙链路控制器支持以下特性：

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

4.3.3 802.15.4

ESP32-H2 拥有一个标准 802.15.4 子系统, 集成了物理层和 MAC 层, 可支持 Thread、Zigbee、Matter、HomeKit、MQTT 等多种协议。

4.3.3.1 802.15.4 物理层

ESP32-H2 802.15.4 物理层支持以下特性:

- 2.4 GHz 频段 O-QPSK PHY
- 250 Kbps 数据率
- 支持 RSSI 和 LQI

4.3.3.2 802.15.4 MAC

ESP32-H2 支持 [IEEE 标准 802.15.4-2015](#) 中定义的主要特性, 包括:

- CSMA/CA
- 主动扫描和能量检测
- HW 帧滤波器
- HW 自动应答
- HW 自动帧等待
- 协调采样侦听 (Coordinated sampled listening)

5 电气特性

5.1 绝对最大额定值

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

表 5-1. 绝对最大额定值

参数	说明	最小值	最大值	单位
输入电源管脚 ¹	允许输入电压	-0.3	3.6	V
I_{output} ²	IO 输出总电流	—	1.3	A
T_{STORE}	存储温度	-40	150	°C

¹ 更多关于输入电源管脚的信息，见章节 2.5.1 电源管脚。

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

5.2 建议工作条件

表 5-2. 建议工作条件

参数 ¹	说明	最小值	典型值	最大值	单位
VDD3P3, VBAT, VDDA_PMU, VDDPST1, VDDPST2 ²	建议输入电压	3.0	3.3	3.6	V
I_{VDD}	输入总电流 ³	0.5	—	—	A
T_A	环境温度	-40	—	105	°C

¹ 请结合章节 2.5 电源 阅读。

² 写 eFuse 时，由于烧录 eFuse 的电路较敏感，eFuse 的电源管脚 (VDDPST2) 电压应不超过 3.3 V。

³ 使用单电源供电时，输出电流需要达到 0.5 A 及以上。

5.3 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)

表 5-3. 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 V, $V_{OH} \geq 2.64$ V, PAD_DRIVER = 3)	—	40	—	mA

I_{OL}	低电平灌电流 ($V_{DD}^1 = 3.3\text{ V}$, $V_{OL} = 0.495\text{ V}$, $PAD_DRIVER = 3$)	—	28	—	mA
R_{PU}	内部弱上拉电阻	—	45	—	$k\Omega$
R_{PD}	内部弱下拉电阻	—	45	—	$k\Omega$
V_{IH_nRST}	芯片复位释放电压 (CHIP_EN 应满足电压范围)	$0.75 \times V_{DD}^1$	—	$V_{DD}^1 + 0.3$	V
V_{IL_nRST}	芯片复位电压 (CHIP_EN 应满足电压范围)	-0.3	—	$0.25 \times V_{DD}^1$	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。

5.4 ADC 特性

本章节数据是在 ADC 外接 100 nF 电容、输入为 DC 信号、电压为 3.3 V、25 °C 环境温度、modem 关闭条件下的测量结果。

表 5-4. ADC 特性

符号	最小值	最大值	单位
DNL (差分非线性) ¹	-8	12	LSB
INL (积分非线性)	-10	10	LSB
采样速度	—	100	kSPS ²

¹ 使用滤波器多次采样或计算平均值可以获得更好的 DNL 结果。
² kSPS (kilo samples-per-second) 表示每秒采样千次。

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

表 5-5. ADC 校准结果

参数	说明	最小值	最大值	单位
总误差	ATTEN0, 有效测量范围 0 ~ 1000	-7	7	mV
	ATTEN1, 有效测量范围 0 ~ 1300	-8	8	mV
	ATTEN2, 有效测量范围 0 ~ 1900	-12	12	mV
	ATTEN3, 有效测量范围 0 ~ 3300	-23	23	mV

说明：
 上述 ADC 量程和精度适用于丝印 Date Code（日期代码）为 **342023** 及之后的芯片，或产品标签 D/C 1 和 D/C 2（装配日期代码）为 **2334** 及之后的芯片。若早于以上代码，请联系[乐鑫商务](#)根据批次提供实际量程和精度。
 有关芯片丝印 Date Code 和产品标签 D/C 的描述，请参考[《乐鑫芯片包装信息》](#)。

5.5 功耗特性

5.5.1 Active 模式下的 RF 功耗

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

表 5-6. Active 模式下的低功耗蓝牙功耗

工作模式	说明		峰值 (mA)
Active (RF 工作)	TX	低功耗蓝牙 @ 20.0 dBm	140
		低功耗蓝牙 @ 9.0 dBm	60
		低功耗蓝牙 @ 0 dBm	36
		低功耗蓝牙 @ -24.0 dBm	24
	RX	低功耗蓝牙	24

表 5-7. Active 模式下 802.15.4 功耗特性

工作模式	说明		峰值 (mA)
Active (RF 工作)	TX	802.15.4 @ 20.0 dBm	140
		802.15.4 @ 9.0 dBm	60
		802.15.4 @ 0 dBm	36
		802.15.4 @ -24.0 dBm	24
	RX	802.15.4	25

5.5.2 其他功耗模式下的功耗

以下功耗数据适用于 ESP32-H2FH2S 和 ESP32-H2FH4S 芯片。

表 5-8. Modem-sleep 下的功耗

工作模式	频率 (MHz)	描述	典型值 ¹ (mA) 外设时钟全关	典型值 ¹ (mA) 外设时钟全开
Modem-sleep ²	96	CPU 工作	10	17
		CPU 空闲	6	13
	64	CPU 工作	8	13
		CPU 空闲	5	10
	48	CPU 工作	7	11
		CPU 空闲	5	9
	32	CPU 工作	4	8
		CPU 空闲	3	7

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，访问 flash 时功耗会增加。

表 5-9. 低功耗模式下的功耗

工作模式	说明	典型值 (μA)
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	85
	CPU、无线通讯模块、外设电源关闭，所有 GPIO 设置为高阻抗状态	25
Deep-sleep	LP 定时器和 LP 存储器上电	7
关闭	CHIP_EN 管脚拉低，芯片关闭	1

5.6 可靠性

表 5-10. 可靠性认证

测试项目	测试条件	测试标准
HTOL (高温工作寿命)	125 °C, 1000 小时	JESD22-A108
ESD (静电放电敏感度)	HBM (人体放电模式) ¹ $\pm 2000\text{ V}$	JS-001
	CDM (充电器件模式) ² $\pm 1000\text{ V}$	JS-002
闩锁测试 (Latch-up)	过电流 $\pm 200\text{ mA}$	JESD78
	过电压 $1.5 \times \text{VDD}_{max}$	
预处理测试	烘烤: 125 °C, 24 小时 浸泡: 三级 (30 °C, 60% RH, 192 小时) 回流焊: 260 $\pm$ 0 °C, 20 秒, 三次	J-STD-020、JESD47、JESD22-A113
TCT (温度循环测试)	-65 °C / 150 °C, 500 次循环	JESD22-A104
uHAST (无偏压高加速温湿度应力试验)	130 °C, 85% RH, 96 小时	JESD22-A118
HTSL (高温贮存寿命)	150 °C, 1000 小时	JESD22-A103
LTSL (低温存储寿命)	-40 °C, 1000 小时	JESD22-A119

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

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

6 射频特性

本章提供产品的射频特性表。

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

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

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

6.1 低功耗蓝牙射频

表 6-1. 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	-24.0 ~ 20.0 dBm

6.1.1 低功耗蓝牙射频发射器 (TX) 特性

表 6-2. 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}$	—	1.5	—	kHz
	Max. $ f_0 - f_n _{n=2, 3, 4, \dots k}$	—	2.8	—	kHz
	Max. $ f_n - f_{n-5} _{n=6, 7, 8, \dots k}$	—	1.3	—	kHz
	$ f_1 - f_0 $	—	2.3	—	kHz
调制特性	$\Delta F1_{\text{avg}}$	—	251.8	—	kHz
	Min. $\Delta F2_{\text{max}}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F2_{\text{max}}$)	—	217.0	—	kHz
	$\Delta F2_{\text{avg}}/\Delta F1_{\text{avg}}$	—	0.87	—	—
带内发射	$\pm 2\text{ MHz}$ 偏移	—	-28	—	dBm
	$\pm 3\text{ MHz}$ 偏移	—	-32	—	dBm
	$> \pm 3\text{ MHz}$ 偏移	—	-34	—	dBm

表 6-3. 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}$	—	3.3	—	kHz
	Max. $ f_0 - f_n _{n=2, 3, 4, \dots k}$	—	3.3	—	kHz
	Max. $ f_n - f_{n-5} _{n=6, 7, 8, \dots k}$	—	1.6	—	kHz
	$ f_1 - f_0 $	—	2.3	—	kHz
调制特性	$\Delta F1_{\text{avg}}$	—	499.9	—	kHz

见下页

表 6-3 – 接上页

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
	Min. $\Delta F2_{\max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F2_{\max}$)	—	492.0	—	kHz
	$\Delta F2_{\text{avg}}/\Delta F1_{\text{avg}}$	—	0.90	—	—
带内发射	± 4 MHz 偏移	—	-31	—	dBm
	± 5 MHz 偏移	—	-34	—	dBm
	$> \pm 5$ MHz 偏移	—	-36	—	dBm

表 6-4. 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. $ f_n _{n=0, 1, 2, 3, \dots k}$	—	1.0	—	kHz
	Max. $ f_0 - f_n _{n=1, 2, 3, \dots k}$	—	0.5	—	kHz
	$ f_0 - f_3 $	—	0.4	—	kHz
	Max. $ f_n - f_{n-3} _{n=7, 8, 9, \dots k}$	—	0.9	—	kHz
调制特性	$\Delta F1_{\text{avg}}$	—	250.5	—	kHz
	Min. $\Delta F1_{\max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F1_{\max}$)	—	234.0	—	kHz
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	-23	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	-34	—	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	—	-42	—	dBm

表 6-5. 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. $ f_n _{n=0, 1, 2, 3, \dots k}$	—	2.3	—	kHz
	Max. $ f_0 - f_n _{n=1, 2, 3, \dots k}$	—	0.7	—	kHz
	$ f_0 - f_3 $	—	0.3	—	kHz
	Max. $ f_n - f_{n-3} _{n=7, 8, 9, \dots k}$	—	1.1	—	kHz
调制特性	$\Delta F2_{\text{avg}}$	—	230.6	—	kHz
	Min. $\Delta F2_{\max}$ (至少 99.9% 的 $\Delta F2_{\max}$)	—	221.8	—	kHz
带内发射	± 2 MHz 偏移	—	-28	—	dBm
	± 3 MHz 偏移	—	-33	—	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	—	-35	—	dBm

注意，上方表 6-2 和表 6-5 中带内发射数据是在发射功率为 15 dBm 时测得。不过，即使测试条件提升至最大发射功率 20 dBm，测试结果也仍满足蓝牙联盟的标准要求。

6.1.2 低功耗蓝牙射频接收器 (RX) 特性

表 6-6. 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	—	—	-99.0	—	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	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	2	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	0	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-29	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-29	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-35	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-36	dB
		$F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-30	dB
		$F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-36	dB
	镜像频率	—	—	-35	dB
带外阻塞	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$	—	-30	dB
		$F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$	—	-29	dB
		30 MHz ~ 2000 MHz	—	-16	dBm
		2003 MHz ~ 2399 MHz	—	-12	dBm
互调	2484 MHz ~ 2997 MHz	—	-16	—	dBm
	3000 MHz ~ 12.75 GHz	—	0	—	dBm

表 6-7. 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	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	5	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	1	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-2	dB
		$F = F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-27	dB
		$F = F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-32	dB
		$F = F_0 + 6 \text{ MHz}$	—	-33	dB
		$F = F_0 - 6 \text{ MHz}$	—	-36	dB
		$F \geq F_0 + 8 \text{ MHz}$	—	-36	dB
		$F \leq F_0 - 8 \text{ MHz}$	—	-36	dB
	镜像频率	—	—	-26	dB
带外阻塞	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 2 \text{ MHz}$	—	-30	dB
		$F = F_{image} - 2 \text{ MHz}$	—	3	dB
		30 MHz ~ 2000 MHz	—	-17	dBm
		2003 MHz ~ 2399 MHz	—	-27	dBm
互调	2484 MHz ~ 2997 MHz	—	-17	—	dBm
	3000 MHz ~ 12.75 GHz	—	0	—	dBm

表 6-8. 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	—	—	8	—	dBm
接收选择性 C/I	共信道	$F = F_0 \text{ MHz}$	—	0	dB
	相邻信道	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-4	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-6	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-31	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-34	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-39	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-48	dB
		$F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-35	dB
		$F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-48	dB
	镜像频率	—	—	-39	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$	—	-35	dB
		$F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$	—	-31	dB

表 6-9. 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	—	—	-102.5	—	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	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	—	-1	dB
		$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	—	-4	dB
		$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	—	-28	dB
		$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	—	-29	dB
		$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	—	-38	dB
		$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	—	-41	dB
		$F \geq F_0 + 4 \text{ MHz}$	—	-33	dB
		$F \leq F_0 - 4 \text{ MHz}$	—	-41	dB
	镜像频率	—	—	-38	dB
	邻道镜像频率干扰	$F = F_{image} + 1 \text{ MHz}$	—	-33	dB
		$F = F_{image} - 1 \text{ MHz}$	—	-28	dB

6.2 802.15.4 射频

表 6-10. 802.15.4 射频规格

名称	描述 ¹
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。

6.2.1 802.15.4 射频发射器 (TX) 特性

表 6-11. 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	-24.0	—	20.0	dBm
EVM	—	3.5%	—	—

6.2.2 802.15.4 射频接收器 (RX) 特性

表 6-12. 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	—	—	-102.5	—	dBm
最大接收信号 @1% PER	—	—	8	—	dBm
相对于干扰电平	相邻信道	$F = F_0 + 5 \text{ MHz}$	—	31	dB
		$F = F_0 - 5 \text{ MHz}$	—	43	dB
	相间信道	$F = F_0 + 10 \text{ MHz}$	—	49	dB
		$F = F_0 - 10 \text{ MHz}$	—	54	dB

7 封装

- 有关卷带、载盘和产品标签的信息，请参阅 [《乐鑫芯片包装信息》](#)。
- 俯视图中，芯片管脚从 Pin 1 位置开始按逆时针方向编号。关于管脚序号和名称的详细信息，请参考图 2-1 [ESP32-H2 管脚布局（俯视图）](#)。
- [推荐 PCB 封装图](#) 源文件 (asc) 供您下载，可使用 PADS 或 Altium Designer 等软件导入。

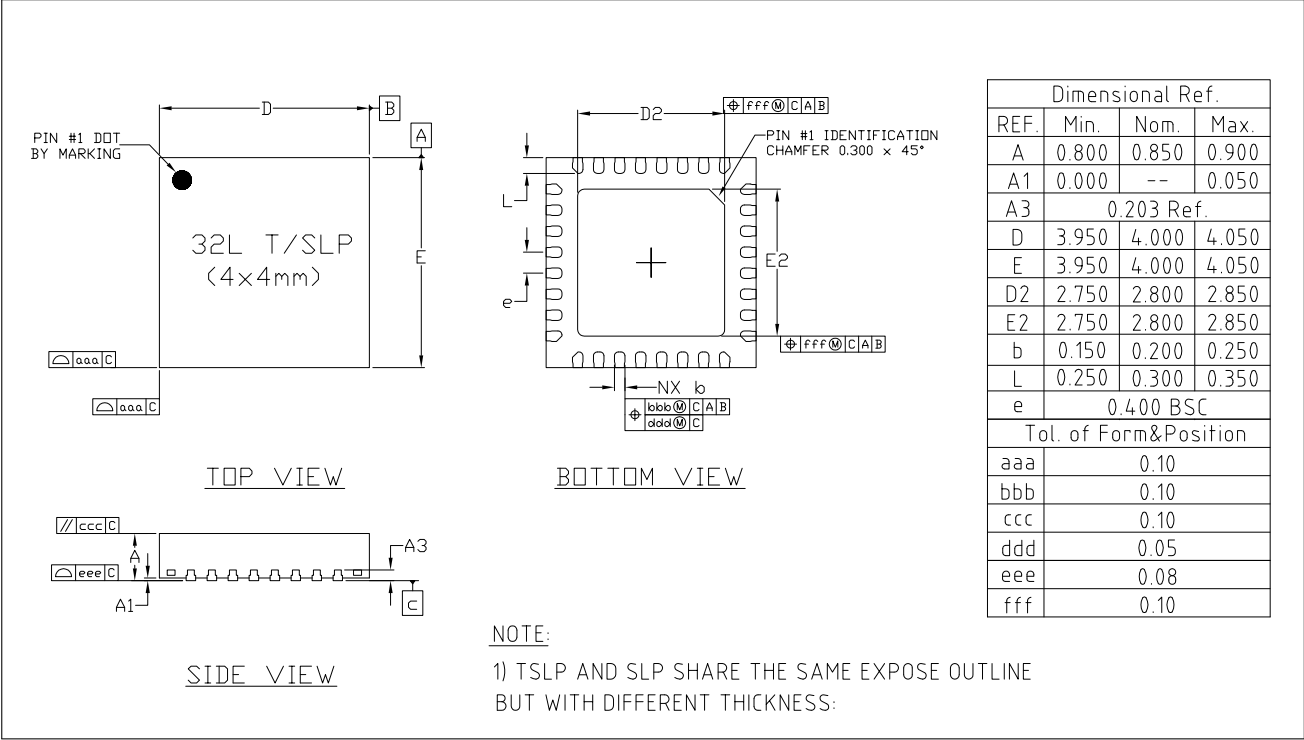


图 7-1. QFN32 (4×4 mm) 封装

相关文档和资源

相关文档

- [《ESP32-H2 技术参考手册》](#) – 提供 ESP32-H2 芯片的存储器和外设的详细使用说明。
- [《ESP32-H2 硬件设计指南》](#) – 提供基于 ESP32-H2 芯片的产品设计规范。
- [《ESP32-H2 系列芯片勘误表》](#) – 描述 ESP32-H2 系列芯片的已知错误。
- 证书
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/certificates>
- ESP32-H2 产品/工艺变更通知 (PCN)
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/pcns?keys=ESP32-H2>
- ESP32-H2 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-H2>
- 文档更新和订阅通知
<https://espressif.com/zh-hans/support/download/documents>

开发者社区

- [《ESP32-H2 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/>
- *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-H2 系列芯片 – ESP32-H2 全系列芯片。
<https://espressif.com/zh-hans/products/socs?id=ESP32-H2>
- ESP32-H2 系列模组 – ESP32-H2 全系列模组。
<https://espressif.com/zh-hans/products/modules?id=ESP32-H2>
- ESP32-H2 系列开发板 – ESP32-H2 全系列开发板。
<https://espressif.com/zh-hans/products/devkits?id=ESP32-H2>
- 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>

附录 A – ESP32-H2 管脚总览

管脚 序号	管脚 名称	管脚 类型	供电 管脚	管脚配置		模拟功能		IO MUX 功能									
				复位时	复位后	0	1	0	类型	1	类型	2	类型	3	类型	4	类型
1	VDD3P3	电源															
2	VDD3P3	电源															
3	GPIO0	IO	VDDPST1					GPIO0	I/O/T	GPIO0	I/O/T	FSPIQ	I1/O/T				
4	GPIO1	IO	VDDPST1				ADC1_CH0	GPIO1	I/O/T	GPIO1	I/O/T	FSPICSO	I1/O/T				
5	MTMS	IO	VDDPST1	IE	IE		ADC1_CH1	MTMS	I1	GPIO2	I/O/T	FSPIWP	I1/O/T				
6	MTDO	IO	VDDPST1	IE	IE		ADC1_CH2	MTDO	O/T	GPIO3	I/O/T	FSPIHD	I1/O/T				
7	MTCK	IO	VDDPST1		IE*		ADC1_CH3	MTCK	I1	GPIO4	I/O/T	FSPICLK	I1/O/T				
8	MTDI	IO	VDDPST1		IE		ADC1_CH4	MTDI	I1	GPIO5	I/O/T	FSPID	I1/O/T				
9	VDDPST1	电源															
10	GPIO8	IO	VDDPST1	IE	IE			GPIO8	I/O/T	GPIO8	I/O/T						
11	GPIO9	IO	VDDPST1	IE, WPU	IE, WPU			GPIO9	I/O/T	GPIO9	I/O/T						
12	GPIO10	IO	VDDPST1			ZCDO		GPIO10	I/O/T	GPIO10	I/O/T						
13	GPIO11	IO	VDDPST1			ZCD1		GPIO11	I/O/T	GPIO11	I/O/T						
14	GPIO12	IO	VDDA_PMU/VBAT					GPIO12	I/O/T	GPIO12	I/O/T						
15	XTAL_32K_P	IO	VDDA_PMU/VBAT			XTAL_32K_P		GPIO13	I/O/T	GPIO13	I/O/T						
16	XTAL_32K_N	IO	VDDA_PMU/VBAT			XTAL_32K_N		GPIO14	I/O/T	GPIO14	I/O/T						
17	CHIP_EN	模拟	VBAT														
18	VBAT	电源															
19	VDDA_PMU	电源															
20	VDDPST1	电源															
21	GPIO22	IO	VDDPST2					GPIO22	I/O/T	GPIO22	I/O/T						
22	UORXD	IO	VDDPST2		IE, WPU			UORXD	I1	GPIO23	I/O/T	FSPICS1	O/T				
23	UOTXD	IO	VDDPST2		IE, WPU			UOTXD	O	GPIO24	I/O/T	FSPICS2	O/T				
24	GPIO25	IO	VDDPST2	IE	IE			GPIO25	I/O/T	GPIO25	I/O/T	FSPICS3	O/T				
25	GPIO26	IO	VDDPST2		IE	USB_D-		GPIO26	I/O/T	GPIO26	I/O/T	FSPICS4	O/T				
26	GPIO27	IO	VDDPST2		IE, USB_PU*	USB_D+		GPIO27	I/O/T	GPIO27	I/O/T	FSPICS5	O/T				
27	VDD3P3	电源															
28	XTAL_N	模拟															
29	XTAL_P	模拟															
30	VDD3P3	电源															
31	VDD3P3	电源															
32	ANT	模拟															
33	GND	电源															

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

修订历史

日期	版本	发布说明
2025-02-28	v1.1	● 提高 CPU 和存储 章节中的 CoreMark 得分 ● 更新章节 4.1.3.3 时钟 中对内部慢速 RC 振荡器的描述 ● 在表 5-2 建议工作条件 下方新增一条说明 ● 更新表 1-1 ESP32-H2 系列芯片对比 中的订购代码 ● 根据芯片版本 v1.2 - 更新小节 4.1.4.1 AES 加速器、4.1.4.7 椭圆曲线数字签名算法 (ECDSA)、4.1.4.8 片外存储器加密与解密 - 新增小节 4.1.4.10 电源毛刺检测器
2024-09-27	v1.0	● 正式发布 ● 优化整个文档的内容、格式、结构和表述
2023-10-17	v0.7	● 增加章节 4.5 ● 更新章节 3.5.1 中的描述 ● 更新表 4-9 中的测量数据
2023-08-02	v0.6	● 更新章节 2.4.1 中的描述 ● 更新表 3-1 下方有关 USB 的说明 ● 更新章节 3.5.10 中支持 ETM 功能的外设列表 ● 更新章节 3.2 的描述 ● 更新表 4-9 的顺序，从最高 CPU 频率至最低 CPU 频率 ● 更新表 4-9 和表 4-10 中的测量数据为整数 ● 章节 6 中增加两条说明
2023-05-24	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