



T3 芯片规格书

2024/6/25



目录

目录.....	2
1. 特性.....	5
2. 概述.....	9
3. 引脚描述.....	10
3.1 QFN40 引脚描述.....	10
3.2 引脚复用.....	15
4. 功能描述.....	17
4.1 Wi-Fi/蓝牙收发器.....	17
4.2 时钟管理.....	17
4.3 复位.....	17
4.4 电源管理.....	18
4.4.1 电源方案.....	18
4.4.2 功耗模式.....	22
4.5 通用 I/O (GPIO).....	22
4.6 SPI 接口 (SPI).....	23
4.7 UART 接口 (UART).....	23
4.8 SDIO 接口 (SDIO).....	23
4.9 I2C 接口 (I2C).....	24
4.10 LIN 控制器 (LIN).....	24
4.11 GDMA 控制器 (GDMA).....	25
4.12 PWM 组 (PWMG).....	25
4.13 辅助 ADC (AUX ADC).....	27
4.14 定时器组 (TIMG).....	27
4.15 看门狗定时器 (WDT).....	28
4.16 实时计数器 (RTC).....	28
4.17 红外接口 (IrDA).....	28



4.18	温度传感器.....	28
4.19	触摸传感器 (TOUCH).....	28
4.20	安全.....	29
4.20.1	安全启动.....	30
4.20.2	安全调试.....	30
4.20.3	FOTA.....	31
4.20.4	配置.....	31
4.20.5	安全连接.....	31
4.20.6	BootROM.....	31
4.20.7	Bootloader.....	31
4.20.8	TEE_M.....	31
4.20.9	TrustEngine.....	32
4.20.9.1	特性.....	33
4.20.9.2	支持的标准和规范.....	34
4.20.9.3	组成.....	34
5.	电气特性.....	36
5.1	绝对最大额定值.....	36
5.2	ESD 额定值.....	36
5.3	推荐工作条件.....	37
5.4	数字 I/O 特性.....	38
5.5	IO LDO.....	38
5.6	模拟 LDO.....	38
5.7	数字 LDO.....	38
5.8	数字核心 LDO.....	39
5.9	模拟 buck.....	39
5.10	数字 buck.....	39
5.11	26 MHz 晶体特性.....	40
5.12	功耗.....	40
5.13	WLAN 射频接收器特性.....	41
5.14	WLAN 射频发射器特性.....	44



5.15	蓝牙低功耗射频接收器特性.....	45
5.16	蓝牙低功耗射频发射器特性.....	47
5.17	AUX ADC 特性.....	49
6.	封装信息.....	50
7.	回流焊曲线.....	52
8.	订购信息.....	54
	修订历史.....	55



1. 特性

Wi-Fi

- 符合 IEEE 802.11b/g/n/ax 1x1 标准
- 在 2.4 GHz 频带支持 20 MHz 和 40 MHz 带宽
- 支持下行多用户多输入多输出 (DL MU-MIMO)
- 支持正交频分多址 (OFDMA)
- 支持目标唤醒时间 (TWT)
- TX 和 RX 低密度奇偶校验 (LDPC) 支持扩展距离
- WPA/WPA2/WPA3-Personal 支持增强型安全
- 工作模式: STA 和 SoftAP
- SoftAP + STA 共存
- 发射功率高达 +21 dBm
- 接收灵敏度 -98 dBm

蓝牙低功耗

- 蓝牙低功耗 5.4 (Bluetooth LE)
- 支持蓝牙低功耗 1 Mbps、2 Mbps 和长距离 (125 kbps 和 500 kbps)
- 支持的蓝牙低功耗特性: LE 音频、到达角 (AoA) 和出发角 (AoD) 寻向、2 Mbps、广告扩展和长距离
- 支持多达 16 根天线的天线阵列, 实现精准定位

内核

- Armv8-M STAR-MC1 MCU, 频率高达 320 MHz:
 - 双精度浮点运算单元 (FPU)
 - 16 KB ITCM + 16 KB DTCM
 - 内置 TrustZone
 - 支持带有 SIMD 的 DSP 指令
 - 3.84 CoreMark/MHz
- UART flash 下载
- 串行线调试 (SWD) 接口



内存

- 4 MB SiP flash
- 640 KB 共享 SRAM
- 64 KB ROM
- eFuse

安全

T3 集成了 IoT 平台安全套件 (IPSS)，用于加密和系统安全控制。IPSS 的主要特性包括：

- 安全启动
- 安全调试
- 安全连接
- 无线固件升级 (FOTA)
- 配置
- TEE_M
- TrustEngine，它包含以下特性：
 - 对称方案，AES-ECB/CBC/CTR/CBC-MAC/CMAC/CCM/GCM（密钥大小 128 位、192 位和 256 位）
 - 对称方案，SM4-ECB/CBC/CTR/CBC-MAC/CMAC/CCM/GCM
 - 摘要方案，SHA1/224/256
 - 摘要方案，SM3
 - 非对称方案，RSA 1024/2048/3072/4096 和 ECCP 192/224/256/384/512/521
 - 非对称方案，SM2
 - 密钥管理的密钥阶梯
 - 生命周期管理
 - 真随机数生成器

时钟管理

- 外部振荡器：26 MHz 晶体振荡器 (XTALH)
- 内部振荡器：26–360 MHz 数控振荡器 (DCO)，32 kHz 环形振荡器 (ROSC)
- 320/480 MHz PLL (DPLL)
- 音频 PLL (APLL)

电源管理

- 2.0 至 4.35 V VBAT 电源



- 片上上电复位 (POR) 和欠压检测 (BOD)
- 内置 DC-DC 降压 (buck) 变换器和 LDO 稳压器
- 低功耗：
 - Active 模式 RX: 17.5 mA
 - 睡眠模式: 43 μ A
 - 深度睡眠模式: 16 μ A
 - 关机模式: 2.5 μ A

外设

- 21 个 GPIO
- 1 个 SPI
- 3 个 UART, 1 个支持硬件流控制和 flash 下载
- 1 个 SDIO
- 1 个 I2C
- 1 个 LIN 控制器
- 2 个通用 DMA 控制器 (GDMA), 每个控制器有 8 个通道
- 7 个 32 位 PWM 通道
- 12 位 AUX ADC, 多至 7 个通道
- 6 个 32 位通用定时器
- 2 个看门狗定时器
- 1 个实时计数器 (RTC)
- 1 个红外接口
- 1 个温度传感器
- 1 个触摸传感器, 支持多至 6 个触摸传感 I/O

封装

- QFN40 封装, 5 x 5 mm
- 工作温度范围: -40 至 +105 $^{\circ}$ C

应用

- 家电
 - 冰箱
 - 空调



- 恒温器
- 洗衣机
- 扫地机器人
- 智能插头
- 智能照明
 - 灯泡
 - 电灯开关
 - 吸顶灯
 - 立灯
- 其他
 - 遥控器
 - 玩具
 - 无人机
 - 工业终端
 - 工厂自动化传感器/开关
 - 智能电表
 - 支付终端
 - 工业电脑
 - 医疗设备
 - 厨房电器
 - 家庭自动化开关/传感器
 - 门锁
 - 门摄像头



2. 概述

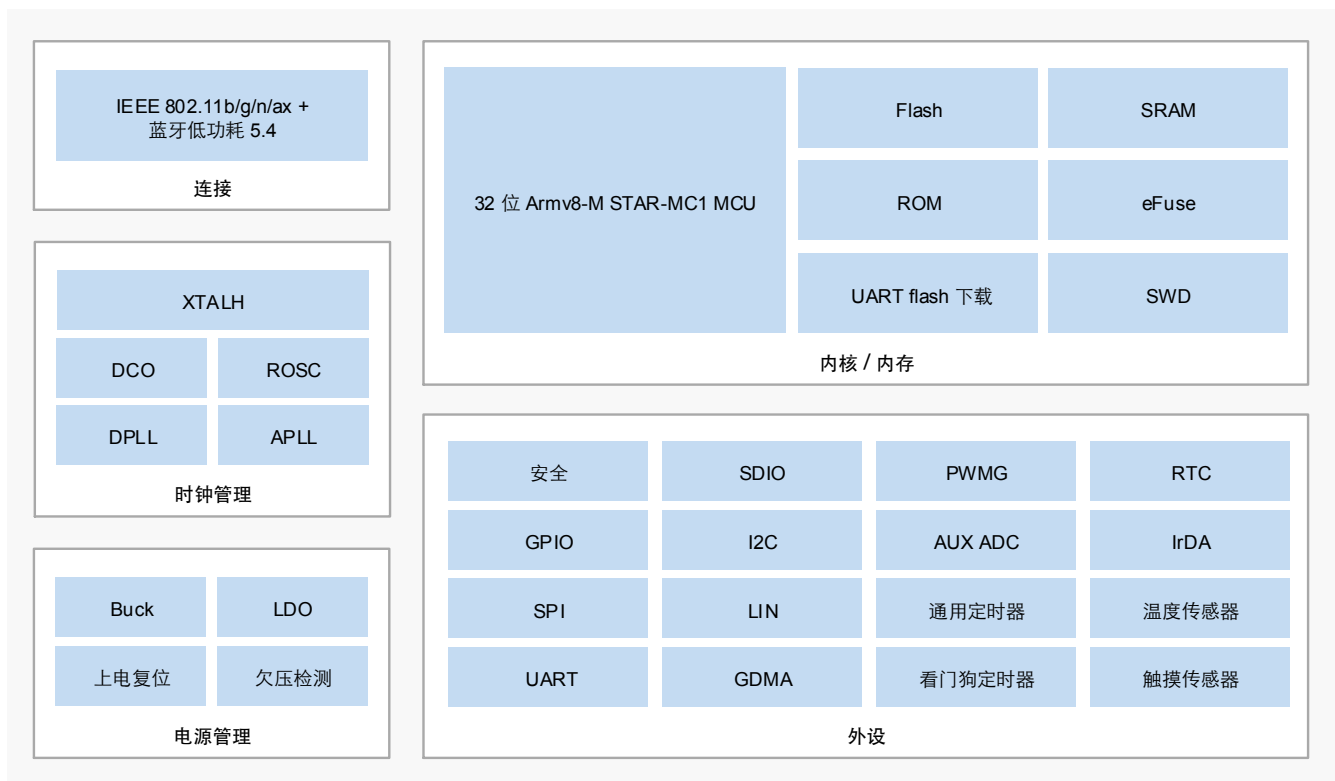
T3 是涂鸦与芯片原厂共研的一款高度集成的 1x1 单频段 2.4 GHz Wi-Fi 6 (802.11b/g/n/ax) 和蓝牙低功耗 5.4 组合解决方案，专为需要高安全性和丰富资源的应用而设计。T3 集成了 32 位 Armv8-M STAR-MC1 MCU 和一整套外设，使其成为高级物联网 (IoT) 应用的理想选择。

T3 基于强大的安全架构提供最先进的安全性。T3 集成了用于加密和系统安全控制的 IoT 平台安全套件 (IPSS)。IPSS 内置全面而强大的安全特性，为 IoT 设备建立绝密的执行环境。

T3 采用先进的设计技术和超低功耗工艺技术，为各种高级 IoT 应用提供高集成度、高效安全性和最低功耗。

图 2-1 显示了 T3 的总体框图。

图 2-1 T3 框图





3. 引脚描述

T3 采用 5 x 5 mm、40 引脚 QFN 封装提供 Wi-Fi 和蓝牙低功耗功能。

3.1 QFN40 引脚描述

图 3-1 显示了 QFN40 封装的引脚分配。

图 3-1 QFN40 引脚分配

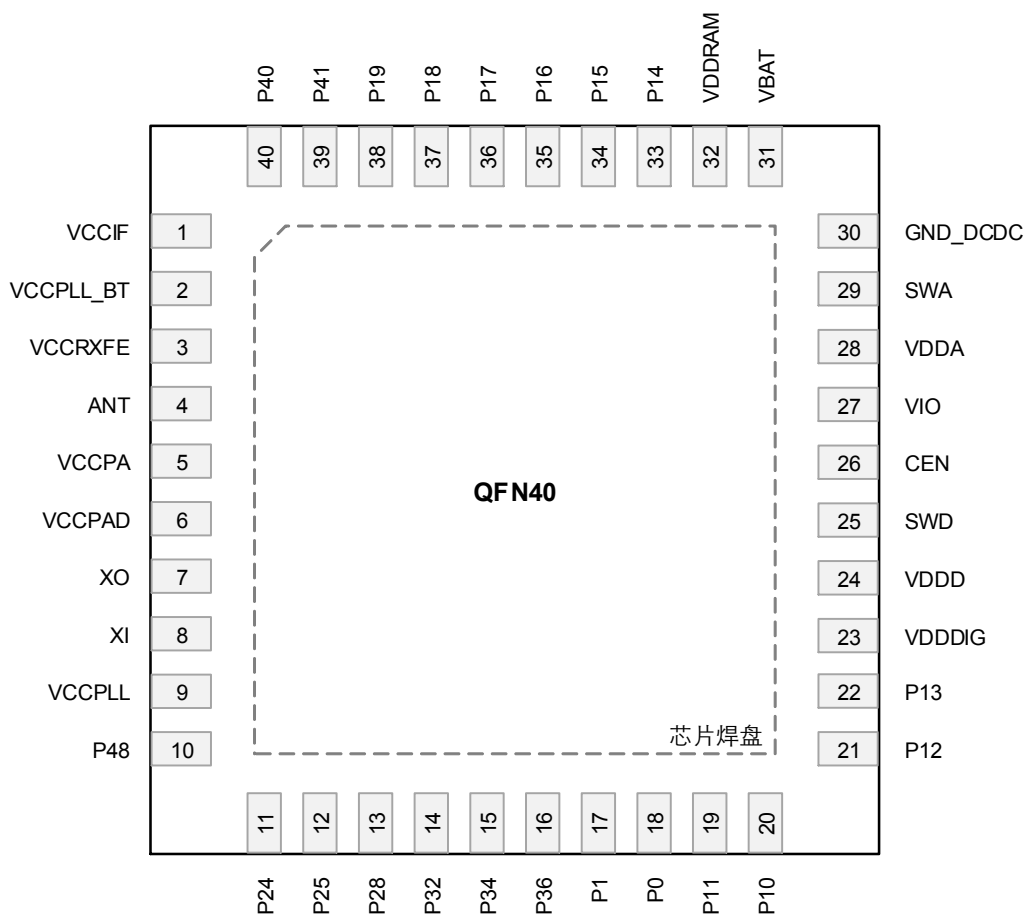


表 3-1 显示了 QFN40 封装的引脚描述。



表 3-1 QFN40 引脚描述

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
1	VCCIF	-	模拟输入	中频电源
2	VCCPLL_BT	-	模拟输入	蓝牙射频 PLL 电源
3	VCCRXFE	-	模拟输入	射频 RX 电源
4	ANT	-	射频	2.4 GHz 射频信号端口
5	VCCPA	-	模拟输入	射频 PA 电源
6	VCCPAD	-	模拟输入	射频 PA 驱动电源
7	XO	-	模拟输出	26 MHz 晶体输出
8	XI	-	模拟输入	26 MHz 晶体输入
9	VCCPLL	-	模拟输入	射频 PLL 电源
10	P48	I/O	数字	GPIO48: 通用 I/O
11	P24	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO24: 通用 I/O LPO_CLK: 32 kHz 时钟输出 PWMG0_PWM4: PWMG0 通道 PWM4 ADC2: 模拟输入通道
12	P25	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO25: 通用 I/O IRDA: 红外数据 PWMG0_PWM5: PWMG0 通道 PWM5 ADC1: 模拟输入通道
13	P28	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO28: 通用 I/O I2S_MCLK: 主时钟 ADC4: 模拟输入通道 TOUCH2: 触摸传感 I/O CLK_AUXS_CIS: CIS 主时钟 (源自 DCO/APLL/CLK_320M/CLK_480M)
14	P32	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO32: 通用 I/O PWMG1_PWM0: PWMG1 通道 PWM0 TOUCH6: 触摸传感 I/O
15	P34	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO34: 通用 I/O



引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> PWMG1_PWM2: PWMG1 通道 PWM2 TOUCH8: 触摸传感 I/O SPI0_CSN: 片选
16	P36	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO36: 通用 I/O PWMG1_PWM4: PWMG1 通道 PWM4 TOUCH10: 触摸传感 I/O SPI0_MISO: 主输入/从输出
17	P1	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO1: 通用 I/O UART1_RX: 接收数据输入 I2C1_SDA: 串行数据 SWDIO: 串行线数据 ADC13: 模拟输入通道 LIN_RXD: 接收数据输入
18	P0	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO0: 通用 I/O UART1_TX: 发送数据输出 I2C1_SCL: 串行时钟 SWCLK: 串行线时钟 ADC12: 模拟输入通道 LIN_TXD: 发送数据输出
19	P11	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO11: 通用 I/O DL_UART_TX: UART flash 下载发送数据输出 UART0_TX: 发送数据输出 SDIO_DATA3: 数据
20	P10	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO10: 通用 I/O DL_UART_RX: UART flash 下载接收数据输入 UART0_RX: 接收数据输入 SDIO_DATA2: 数据 CLK_AUXS_CIS: CIS 主时钟 (源自 DCO/APLL/CLK_320M/CLK_480M)
21	P12	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO12: 通用 I/O UART0_RTS: 请求以发送



引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> TOUCH0: 触摸传感 I/O ADC14: 模拟输入通道
22	P13	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO13: 通用 I/O UART0_CTS: 清除以发送 TOUCH1: 触摸传感 I/O ADC15: 模拟输入通道
23	VDDDIG	-	模拟输出	数字核心 LDO 输出
24	VDDD	-	模拟输出	数字 buck/LDO 输出
25	SWD	-	模拟输出	数字 buck 开关输出
26	CEN	-	模拟输入	芯片使能, 高电平有效
27	VIO	-	模拟输出	IO LDO 输出
28	VDDA	-	模拟输出	模拟 buck/LDO 输出
29	SWA	-	模拟输出	模拟 buck 开关输出
30	GND_DCDC	-	GND	buck 接地
31	VBAT	-	电源	芯片电源
32	VDDRAM	-	模拟输出	PSRAM LDO 输出
33	P14	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO14: 通用 I/O SDIO_CLK: 时钟 SPI0_SCK: 串行时钟 BT_ANT0: 蓝牙天线选择 I2C1_SCL: 串行时钟
34	P15	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO15: 通用 I/O SDIO_CMD: 命令/响应 SPI0_CSN: 片选 BT_ANT1: 蓝牙天线选择 I2C1_SDA: 串行数据
35	P16	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO16: 通用 I/O SDIO_DATA0: 数据 SPI0_MOSI: 主输出/从输入 BT_ANT2: 蓝牙天线选择



引脚 #	名称	I/O	类型	描述
36	P17	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none">GPIO17: 通用 I/OSDIO_DATA1: 数据SPI0_MISO: 主输入/从输出BT_ANT3: 蓝牙天线选择
37	P18	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none">GPIO18: 通用 I/OSDIO_DATA2: 数据PWMG0_PWM0: PWMG0 通道 PWM0
38	P19	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none">GPIO19: 通用 I/OSDIO_DATA3: 数据PWMG0_PWM1: PWMG0 通道 PWM1
39	P41	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none">GPIO41: 通用 I/OUART2_TX: 发送数据输出LIN_TXD: 发送数据输出
40	P40	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none">GPIO40: 通用 I/OUART2_RX: 接收数据输入LIN_RXD: 接收数据输入
芯片焊盘	GND_SLUG	-	GND	接地



3.2 引脚复用

表 3-2 显示了 GPIO 的引脚复用功能。

表 3-2 引脚复用

GPIO	Flash 下载	复用功能 (AF)					
		AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6
	UART	UART1/UART0/ SDIO/时钟/ IrDA/UART2	I2C1/SDIO/SPI0 /PWMG0/时钟/ PWMG1	SWD/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/LIN	TOUCH/I2C1	AUX ADC/时钟/ SPI0	LIN
GPIO0		UART1_TX	I2C1_SCL	SWCLK		ADC12	LIN_TXD
GPIO1		UART1_RX	I2C1_SDA	SWDIO		ADC13	LIN_RXD
GPIO10	DL_UART_RX	UART0_RX	SDIO_DATA2	CLK_AUXS_CIS			
GPIO11	DL_UART_TX	UART0_TX	SDIO_DATA3				
GPIO12		UART0_RTS			TOUCH0	ADC14	
GPIO13		UART0_CTS			TOUCH1	ADC15	
GPIO14		SDIO_CLK	SPI0_SCK	BT_ANT0	I2C1_SCL		
GPIO15		SDIO_CMD	SPI0_CSN	BT_ANT1	I2C1_SDA		
GPIO16		SDIO_DATA0	SPI0_MOSI	BT_ANT2			
GPIO17		SDIO_DATA1	SPI0_MISO	BT_ANT3			
GPIO18		SDIO_DATA2	PWMG0_PWM0				



GPIO	Flash 下载	复用功能 (AF)					
		AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6
	UART	UART1/UART0/ SDIO/时钟/ IrDA/UART2	I2C1/SDIO/SPI0 /PWMG0/时钟/ PWMG1	SWD/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/LIN	TOUCH/I2C1	AUX ADC/时钟/ SPI0	LIN
GPIO19		SDIO_DATA3	PWMG0_PWM1				
GPIO24		LPO_CLK	PWMG0_PWM4	ADC2			
GPIO25		IRDA	PWMG0_PWM5	ADC1			
GPIO28			I2S_MCLK	ADC4	TOUCH2	CLK_AUXS_CIS	
GPIO32			PWMG1_PWM0		TOUCH6		
GPIO34			PWMG1_PWM2		TOUCH8	SPI0_CSN	
GPIO36			PWMG1_PWM4		TOUCH10	SPI0_MISO	
GPIO40		UART2_RX		LIN_RXD			
GPIO41		UART2_TX		LIN_TXD			
GPIO48							



4. 功能描述

4.1 Wi-Fi/蓝牙收发器

T3 集成了一个高性能 Wi-Fi/蓝牙收发器。在接收侧，集成的低噪声放大器 (LNA) 放大单端输入，并将放大的信号转换为差分输出，以实现更好的噪声和线性度平衡。在发送侧，给功率放大器 (PA) 的差分输出通过片上平衡器 (balun) 合二为一转换为单端输出。从而仅用一个连接到天线的 ANT 引脚即可实现发送和接收操作。完全集成频率合成器，无需任何外部组件。

4.2 时钟管理

T3 可用的主要时钟源如下：

- 高频时钟
 - 26MHz 晶体振荡器：输出时钟信号 XTALH
 - 26–360 MHz 内部数控振荡器 (DCO)：输出时钟信号 CLK_DCO
 - 数字 PLL (DPLL)：生成 320 MHz 时钟 CLK_320M 和 480 MHz 时钟 CLK_480M
- 低频时钟
 - 32 kHz 内部环形振荡器 (ROSC)：输出时钟信号 CLK_ROSC
- 音频时钟
 - 音频 PLL (APLL)：其默认频率为 98.304 MHz，输出时钟信号 CLK_APLL

系统生成低功耗时钟源 LPO_CLK 用于待机。LPO_CLK 可以从以下时钟中选择：

- 源自 26 MHz 晶体振荡器的 32 kHz 时钟信号
- 32 kHz 内部振荡器 ROSC

T3 还具有时钟输出功能，允许时钟信号通过 GPIO 输出到外部组件。GPIO 可以输出以下时钟信号：

- LPO_CLK：LPO_CLK 时钟
- I2S_MCLK：外部音频编解码器的参考时钟，源自 APLL
- CLK_AUXS_CIS：外部 CMOS 图像传感器 (CIS) 的参考时钟

4.3 复位

复位可以由以下源触发：上电复位、欠压复位、看门狗复位以及从关机模式或深度睡眠模式唤醒。



上电复位、欠压复位和 AON 看门狗 (AWDT) 复位对所有域具有相同的复位效果，除了常开逻辑。这三种复位中的任何一个都可以将整个芯片复位到初始状态。常开逻辑具有一个 64 位定时器和一个 32 位保留寄存器，它们只能通过上电复位或欠压复位复位为初始值。主域看门狗 (DWDT) 复位可复位数字域，并可配置为复位模拟域和 AON 域。

从关机模式唤醒会触发整个系统复位，而从深度睡眠模式唤醒会触发数字域的复位。

4.4 电源管理

4.4.1 电源方案

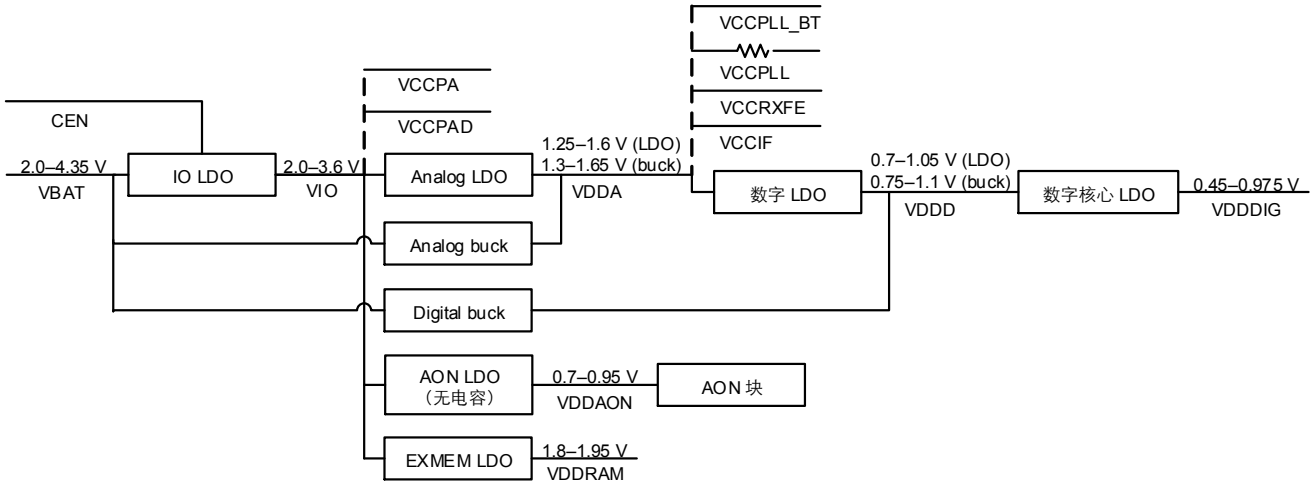
T3 的电源管理系统包含两个降压转换器 (buck) 和多个内部 LDO 稳压器，为芯片的各个部分提供电压和噪声隔离。VBAT 为芯片总电源输入，电压范围为 2.0 至 4.35 V。VBAT 通过 IO LDO 稳压器产生 VIO。VIO 除了作为 Wi-Fi PA 的电源外，还是模拟 LDO、AON LDO 和 EXMEM LDO 的输入电源。VBAT 还通过模拟降压转换器和数字降压转换器分别产生 VDDA 和 VDDD。LDO 和降压转换器产生以下主要电源：

- VDDA: RF、模拟模块电源，从外部连接到 VCCPLL_BT、VCCPLL、VCCR XFE 和 VCCIF，给 Wi-Fi/蓝牙收发器供电，从内部直接给 XTAL 供电。
- VDDDIG: 数字逻辑电源，为处理器、内存、Wi-Fi 和蓝牙基带以及各类外设供电。
- VDDAON: 常开 (AON) 逻辑电源。在深度睡眠模式 (VDDDIG 关闭) 下，AON 逻辑 (如 GPIO、AON 看门狗、RTC 和深度睡眠唤醒的控制逻辑) 仍然保持工作。
- VDRAM: PSRAM 电源。

图 4-1 显示了 T3 的电源分布。



图 4-1 内部电源分布



注意：降压转换器和 LDO 稳压器的输出需要合适的旁路电容以降低电源噪声。有关选择旁路电容的详细信息，请参阅硬件原理图。

图 4-2 显示了 T3 的上电时序。

图 4-2 T3 上电时序

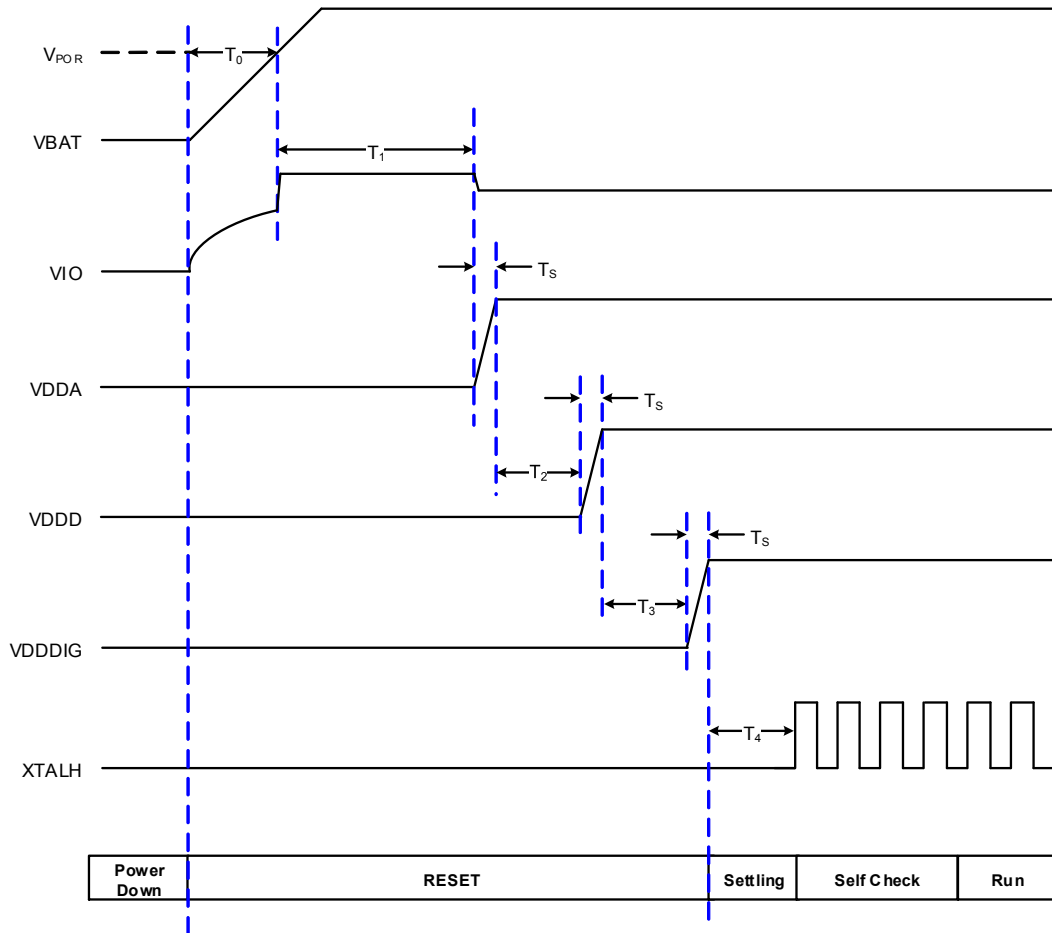


表 4-1 上电时序的时序参数

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V _{POR}	VBAT POR 阈值	-	1.95	-	V
T ₀	IO LDO 稳定时间	200	-	-	μs
T ₁ ^a	IO LDO 稳定时间	-	-	500	μs
T ₂	模拟 buck/LDO 稳定时间	-	240	500	μs
T ₃	数字 buck/LDO 稳定时间	-	240	500	μs
T ₄	数字核心 LDO 稳定时间/XTALH 稳定时间	-	240	500	μs
T _s	LDO (不包括 IO LDO) 稳定时间	0	-	-	μs

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
----	----	-----	-----	-----	----

a. 如果 VBAT 斜率大于 3.3 kV/s, VIO 将出现过冲。

图 4-3 显示了 T3 的下电时序。

图 4-3 T3 下电时序

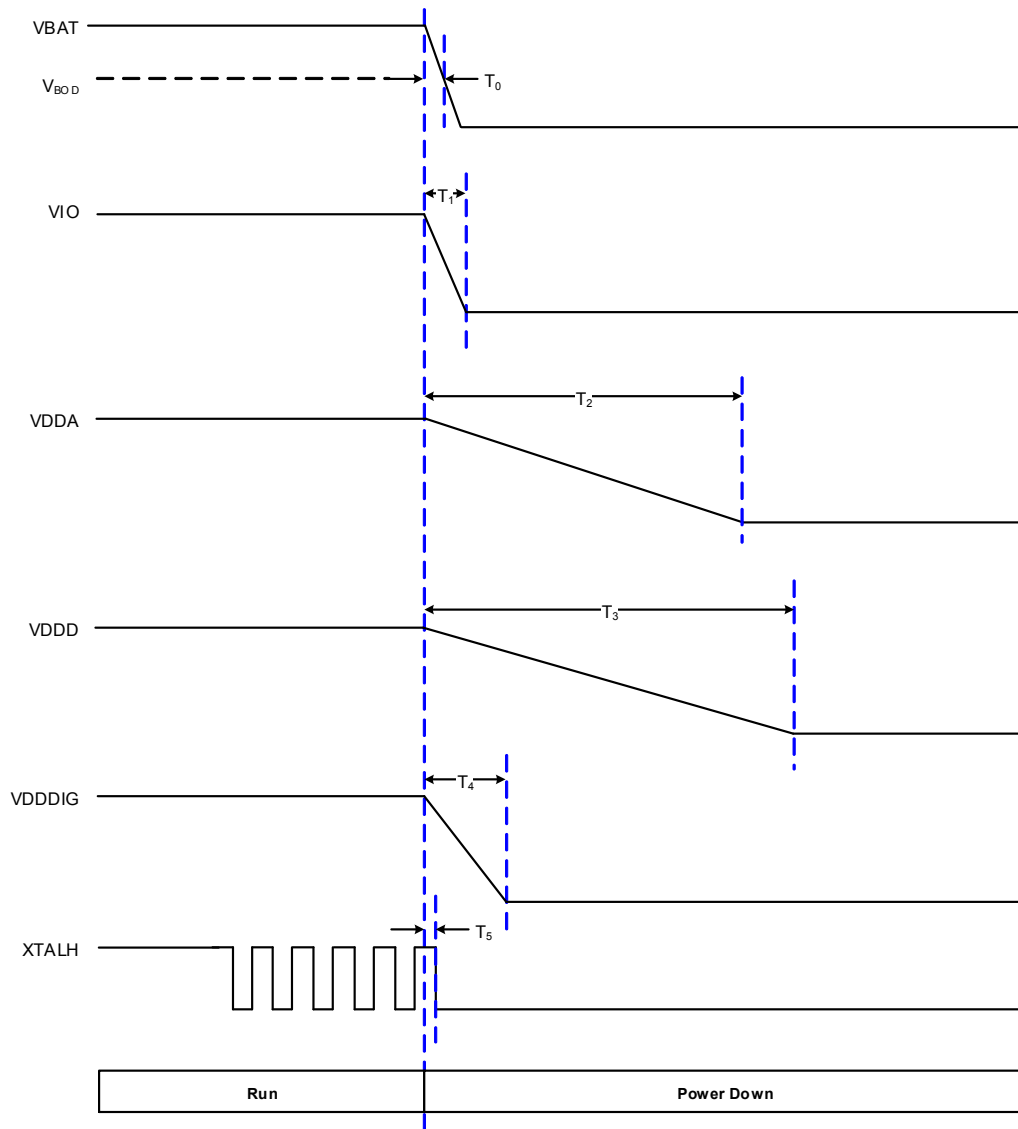




表 4-2 下电时序的时序参数

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V _{BOD}	VBAT BOD 阈值	-	1.85	-	V
T ₀	VBAT 下电时间	-	400	-	μs
T ₁	IO LDO 下电时间	-	600	-	μs
T ₂	模拟 buck/LDO 下电时间	-	400	-	ms
T ₃	数字 buck/LDO 下电时间	-	500	-	ms
T ₄	数字核心 LDO 下电时间	-	3.5	-	ms
T ₅	XTALH 下电时间	-	100	-	μs

4.4.2 功耗模式

T3 支持除 Active 模式之外的三种低功耗模式，即关机模式、深度睡眠模式、睡眠模式，其中关机模式功耗最低。

关机模式：所有电路均关闭。CEN 引脚上的高电平将使系统进入 Active 模式。

深度睡眠模式：除常开 (AON) 逻辑外，所有电路均断电。GPIO 中断、RTC 中断或触摸传感 I/O 引脚触发的中断可以给系统再次上电。保留寄存器保留其内容。

睡眠模式：MCU 和所有数字逻辑停止其时钟，并且其电源降低至低得多的保持电压，从而导致更低的电流。GPIO 中断、RTC 中断、触摸传感 I/O 引脚触发的中断或 Wi-Fi/蓝牙 MAC 低功耗计数器触发的中断可以使系统恢复到正常电压的 Active 模式。

Active 模式：MCU 处于工作状态，所有外设均可用。

4.5 通用 I/O (GPIO)

T3 有多达 21 个 GPIO，可配置为输入或输出。大多数 GPIO 都有复用功能。表 3-2 引脚复用提供了 GPIO 的复用功能。

GPIO 的主要特性包括：

- 推挽输出
- 内部上拉/下拉电阻
- 可配置的驱动强度
- 复用功能



- 中断生成条件：
 - 高电平或低电平
 - 上升沿或下降沿

4.6 SPI 接口 (SPI)

T3 集成了一个 SPI 接口，可以在主模式或从模式下运行。SPI 接口在主模式和从模式下均可支持高达 40 MHz 的时钟频率。

SPI 接口支持以下特性：

- 4 线或 3 线 全双工同步通信
- 可配置的 8 位或 16 位数据宽度
- 可编程时钟极性和相位
- 可编程数据顺序，支持 MSB 最先或 LSB 最先移位
- 具有 DMA 功能的 64 深度 RX FIFO 和 64 深度 TX FIFO

4.7 UART 接口 (UART)

T3 包括三个通用异步收发器 (UART) 接口，支持全双工异步串行通信，波特率可达 6 Mbps。

UART 接口提供以下特性：

- 可配置的数据长度 (5、6、7 或 8 位)
- 偶校验、奇校验或无校验
- 可编程停止位 (1 或 2 位)
- 每个 UART 内置一个 128 字节的 TX FIFO 和一个 128 字节的 RX FIFO。FIFO 模式默认禁用，可以通过软件启用。
- 使用 RTS 和 CTS 信号进行硬件流控制 (UART0)
- Flash 下载 (UART0)
- 可编程数字滤波器

4.8 SDIO 接口 (SDIO)

T3 有一个安全数字输入/输出 (SDIO) 主机/从机接口。它可以作为主机读取外部 SD 卡，也可以被外部主机用作从机来与芯片通信。SDIO 接口允许的最大时钟速度为 80 MHz。

SDIO 特性如下：



- 符合 SD 存储卡规范 2.0 版
- 符合 SDIO 卡规范 2.0 版
- 两种数据总线模式：1 位模式（默认）和 4 位模式
- 主机模式下数据传输高达 40 Mbyte/s，从机模式下数据传输高达 20 Mbyte/s
- 支持 DMA 功能，无需 CPU 负载即可高速传输

4.9 I2C 接口 (I2C)

I2C 是一种流行的内部集成电路接口，仅需要两条总线，即串行数据线 (SDA) 和串行时钟线 (SCL)。T3 集成了一个 I2C 接口，可以在主模式或从模式下工作。

I2C 接口的特性如下：

- 主模式和从模式
- 标准模式（高达 100 kbps）
- 快速模式（高达 400 kbps）
- 7 位和 10 位寻址
- 总线空闲和 SCL 低电平超时条件检测
- 内置 16 字节 TX FIFO 和 16 字节 RX FIFO

4.10 LIN 控制器 (LIN)

本地互连网络 (LIN) 控制器是一种执行串行通信的通信控制器。它实现了 LIN 协议规范的数据链路层。LIN 协议使用单主/多从概念在 LIN 网络节点之间传输帧。

LIN_SLEEP 引脚上施加低电平，外部收发器将进入睡眠模式。

LIN 控制器的特性如下：

- 支持 LIN 规范 2.2A
- 向后兼容 LIN 1.3
- 可配置以支持主或从功能
- 可编程数据速率在 1 kbit/s 和 20 kbit/s 之间（主机）
- 自动比特率检测（从机）
- 8 字节数据缓冲区
- 8 位主控制器接口



4.11 GDMA 控制器 (GDMA)

T3 有两个通用 DMA 控制器 (GDMA)，每个控制器有八个 DMA 通道，可卸载 CPU 的工作负载。这八个通道由具有 DMA 功能的外设共享。

GDMA 控制器可以执行单块传输和重复块传输。目标和源的数据宽度可配置为 8 位（字节）、16 位（半字）或 32 位（字）。GDMA 控制器允许外设存储器、存储器到存储器以及存储器到外设的高速数据传输。

GDMA 控制器支持通道隔离。DMA 通道可配置为安全/非安全通道和特权/非特权通道：

- 非安全通道执行非安全 DMA 传输
- 安全通道可以执行安全或非安全的 DMA 传输：
 - 从源地址读取安全或非安全数据
 - 安全或非安全数据写入目标地址
 - 通过 TrustZone 感知 DMA AHB 主端口
- 非特权通道执行非特权 DMA 传输
- 特权通道执行特权 DMA 传输

T3 上的部分外设具有 DMA 功能，包括 UART0、UART1、UART2、SPI0、SDIO 和 AUX ADC。

4.12 PWM 组 (PWMMG)

T3 有两个高级控制 PWM 组 (PWMMG)。每个 PWMMG 由最多三个独立的 32 位自动重载计数器组成，这三个计数器由三个可编程预分频器驱动。PWMMG 可以生成脉冲宽度调制信号，用于多种用途，包括输入捕获、脉冲边沿计数或生成输出波形（输出比较）。

PWMMG 的特性如下：

- 三个 32 位递增、递减、递增/递减自动重载计数器
 - PWM0 有一个计数器。
 - PWM1 有一个计数器（仅递增计数模式）。
 - PWM2 有一个计数器。
 - PWM4 和 PWM5 共用一个计数器。
- 三个 8 位可编程预分频器，能够对计数器的时钟频率进行分频，分频系数介于 1 至 256 之间
- PWMMG0、PWMMG1 均具有三个独立通道，其中：
 - PWM0/2/4
 - 输入捕获
 - 脉冲边沿计数



- PWM 生成（边沿或中心对齐模式）
- PWM1
 - 独立简单波形生成（递增计数模式）
 - 与 PWM0 耦合时产生耦合波形（反向或相同）
- 通道 PWM5 与 PWM4 耦合时可生成耦合波形（反向或相同）
- 具有可编程死区时间和可配置死区时间模式的互补输出
- 用外部信号控制计数器且可将多个计数器互连的同步电路
- 重复计数器，仅在给定数目的计数器周期后更新寄存器
- 发生以下事件时产生中断：
 - 更新：计数器上溢或下溢，计数器初始化（通过软件或内部/外部触发）
 - 计数器启动
 - 输入捕获
 - 输出比较
- 每个 PWM 周期内可改变极性、占空比和基频
- 支持定位用增量（正交）编码器和霍尔传感器电路

表 4-3 提供了 PWM 信号的描述。

表 4-3 PWM 信号

GPIO	PWM 引脚名称	信号类型	描述
PWMG0			
GPIO18	PWMG0_PWM0	I/O	PWMG0 通道 PWM0
GPIO19	PWMG0_PWM1	I/O	PWMG0 通道 PWM1 PWM1 可以独立工作生成简单波形，也可以与 PWM0 耦合（带死区插入）生成与 PWM0 反向或相同的波形。
GPIO24	PWMG0_PWM4	I/O	PWMG0 通道 PWM4 ^a
GPIO25	PWMG0_PWM5	I/O	PWMG0 通道 PWM5 ^a PWM5 可以与 PWM4 耦合（带死区插入）生成与 PWM4 反向或相同的波形。
PWMG1			
GPIO32	PWMG1_PWM0	I/O	PWMG1 通道 PWM0
GPIO34	PWMG1_PWM2	I/O	PWMG1 通道 PWM2



GPIO	PWM 引脚名称	信号类型	描述
GPIO36	PWMG1_PWM4	I/O	PWMG1 通道 PWM4

- a. 当 PWM4 和 PWM5 同时使能时，它们不能产生不同占空比的波形。

4.13 辅助 ADC (AUX ADC)

辅助 ADC (AUX ADC) 是一个 12 位逐次逼近模数转换器。AUX ADC 有多个外部模拟输入通道和内部专用通道。AUX ADC 支持以单步模式、软件控制模式或连续模式执行模拟/数字转换。

AUX ADC 具有以下特性：

- 可编程采样率，范围从 12.5 kHz 到 650 kHz
- 12 位分辨率
- 多达 7 个外部模拟输入通道：ADC1/2/4/12/13/14/15
- 五个内部专用通道：
 - VBAT 监测通道 (VBAT/2、VBAT/3 或 VBAT/4)，连接到 ADC0
 - 内部温度传感器 (TEMP)，连接到 ADC7
 - TSSIO，连接到 ADC8
 - 触摸 OUT_TD，连接到 ADC9
 - 内部调试通道，连接到 ADC11
- 转换模式：
 - 单步模式
 - 软件控制模式
 - 连续模式

4.14 定时器组 (TIMG)

T3 包含两个通用定时器组 (TIMG)。每组有三个 32 位定时器。每组由三个 32 位计数器组成，该三个计数器由一个 4 位预分频器驱动。

每个 TIMG 模块具有以下特性：

- 三个定时器 (Timer0/1/2)
- 三个 32 位递增计数器
- 4 位预分频器，分频系数介于 1 到 16 之间
- 能够读取计数器的实时值



4.15 看门狗定时器 (WDT)

T3 有两个看门狗定时器，即主域看门狗定时器 (DWDT) 和常开 (AON) 域看门狗定时器 (AWDT)。看门狗定时器的作用是检测故障或失灵并从中恢复。看门狗定时器会在达到指定的时间周期时触发一个复位。

DWDT 的时钟由 32 kHz 的 LPO_CLK (分频系数 2/4/8/16) 提供，最大可编程周期为 32.768 ($2^{16}/2$ kHz) 秒。

AWDT 的时钟由 ROSC 提供，最大可编程周期为 65.536 ($2^{16}/1$ kHz) 秒。

4.16 实时计数器 (RTC)

实时计数器 (RTC) 模块有一个 64 位计数器和一个节拍事件生成器。RTC 的时钟由 32 kHz 的 LPO_CLK 提供。它用于低功耗计时，即使系统处于深度睡眠模式也能保持运行。

4.17 红外接口 (IrDA)

T3 内置硬件 IrDA 接口，支持波形解析和波形生成。它监测红外信号的开始，记录红外波形的序列，将波形存储到 RX FIFO 中供软件解析，发送时将要发送的波形写入 TX FIFO，从而实现任何红外协议的解析和发送。

IrDA 具有以下特性：

- 单双工模式
- 支持发送时进行载波调制
- 集成 512 字节 RX FIFO 和 512 字节 TX FIFO

4.18 温度传感器

T3 集成了一个片上温度传感器，可以测量 -40 至 +125 °C 范围内的片上温度，精度为 ± 5 °C。数字结果可以从 ADC 读取。

通常，软件会根据温度值启动特定模块的校准，缩小不同温度下芯片性能的差异。主机还可以读取片上温度并决定在高温时是否降低发射功率或暂停操作。

4.19 触摸传感器 (TOUCH)

T3 有六个电容式传感 I/O，能够立即探测物体接触或接近而引起的电容变化。



4.20 安全

T3 基于强大的安全架构提供最先进的安全性。它集成了物联网 (IoT) 的整体安全解决方案，即物联网平台安全套件 (IPSS)。IPSS 旨在为 IoT 设备建立一个绝密的执行环境。凭借最先进的安全技术，它适用于对功率/成本/资源敏感的 IoT 市场应用。

IPSS 引入了用于加密和系统安全控制的基础软件 IP 解决方案。IPSS 的主要特性包括：

- 安全启动
- 安全调试
- 安全连接
- 无线固件升级 (FOTA)
- 配置
- TEE_M
- TrustEngine

系统架构

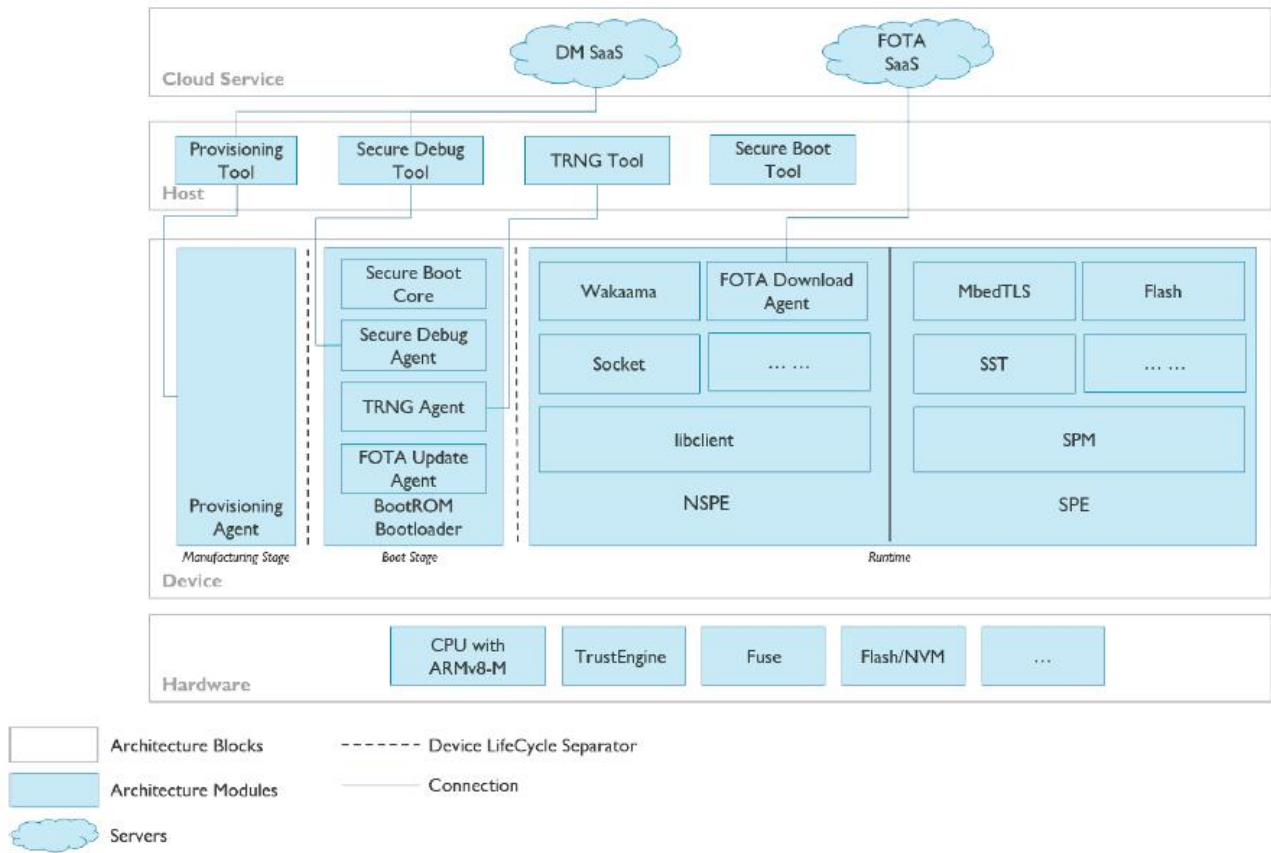
IPSS 软件实现了全方位的设备到云端安全架构，包括：

- 制造阶段的配置机制。
- 设备启动阶段的安全启动、安全调试、TRNG 校准、FOTA 更新。
- 设备运行阶段的安全连接和 FOTA 下载。

IPSS 还推出了远程管理解决方案，使用户能够以安全的方式访问、监控和管理 IoT 设备。远程管理解决方案包括 FOTA SaaS、Secure Debug SaaS 和 Provisioning SaaS。

下图是 IPSS 系统的架构图。

图 4-4 IPSS 系统安全架构



4.20.1 安全启动

安全启动解决方案为设备上运行的镜像提供了合法性和可信度，确保只有 OEM 厂商发布的官方镜像才可执行。

安全启动功能包括以下几个方面：

- 镜像验证码
- 镜像加密
- 扩展程序执行
- 镜像防回滚保护

4.20.2 安全调试

安全调试为设备部署后启用设备的调试功能提供了可靠的机制。

调试是设备中最常用的功能之一。通过调试功能，您可以访问所有设备数据，包括设备固件和设备根密钥。



4.20.3 FOTA

FOTA 方案实现了 IoT 设备与服务器之间包括下载、验证、安装等一系列轻量、可信的固件升级交互。

4.20.4 配置

配置是将安全凭证初始化到设备上的过程。该过程需要在安全的环境中进行，例如制造阶段的产品线。

配置解决方案提供了从云服务器到设备的全套安全机制。它保证了配置资料（例如设备 ID、型号密钥、安全启动/安全调试公钥哈希）的安全性和完整性，还保证了设备的最高机密（例如仅在设备端发生的设备根密钥）。

4.20.5 安全连接

安全连接功能使用 Mbed TLS 在 UDP 上的传输层提供连接安全性。密钥交换方法是预共享密钥 (PSK)。PSK 的部署发生在制造阶段。

Mbed TLS 通过 TLS 1.1 和 TLS 1.2 提供加密和 SSL/TLS 功能。

4.20.6 BootROM

IPSS 包含与安全启动解决方案集成的 BootROM 参考代码。

BootROM 中有主启动和恢复启动路径。

- 主启动是主要启动路径。通常设备应该启动到主路径。
- 恢复启动是辅助启动路径。

4.20.7 Bootloader

IPSS 包括与安全调试、配置、TRNG 校准和 FOTA 解决方案集成的 Bootloader 参考代码。

在主自举程序中，集成了安全调试代理、配置代理和 TRNG 代理。主自举程序启动至下一个镜像—TEE_M。

在恢复自举程序中，集成了安全调试代理、TRNG 代理和 FOTA 更新代理。恢复自举程序不会启动任何镜像。

4.20.8 TEE_M

IPSS 引入了 TEE_M。TEE_M 为 Armv8-M 提供了安全世界软件的实现，遵循 Arm 平台安全架构 (PSA) PSA_Firmware_Framework_1.0-bet0。IPSS TEE_M 默认提供以下服务：

- 安全存储：安全存储（仅支持受保护的存储）服务支持 PSA_Storage_API-1.0-bet2，不提供扩展功能。



- 加密：加密服务支持 PSA_Cryptography_API_Reference_1.0_bet1。
- DTLS：DTLS（利用 Mbed TLS）集成在 TEE_M 中。

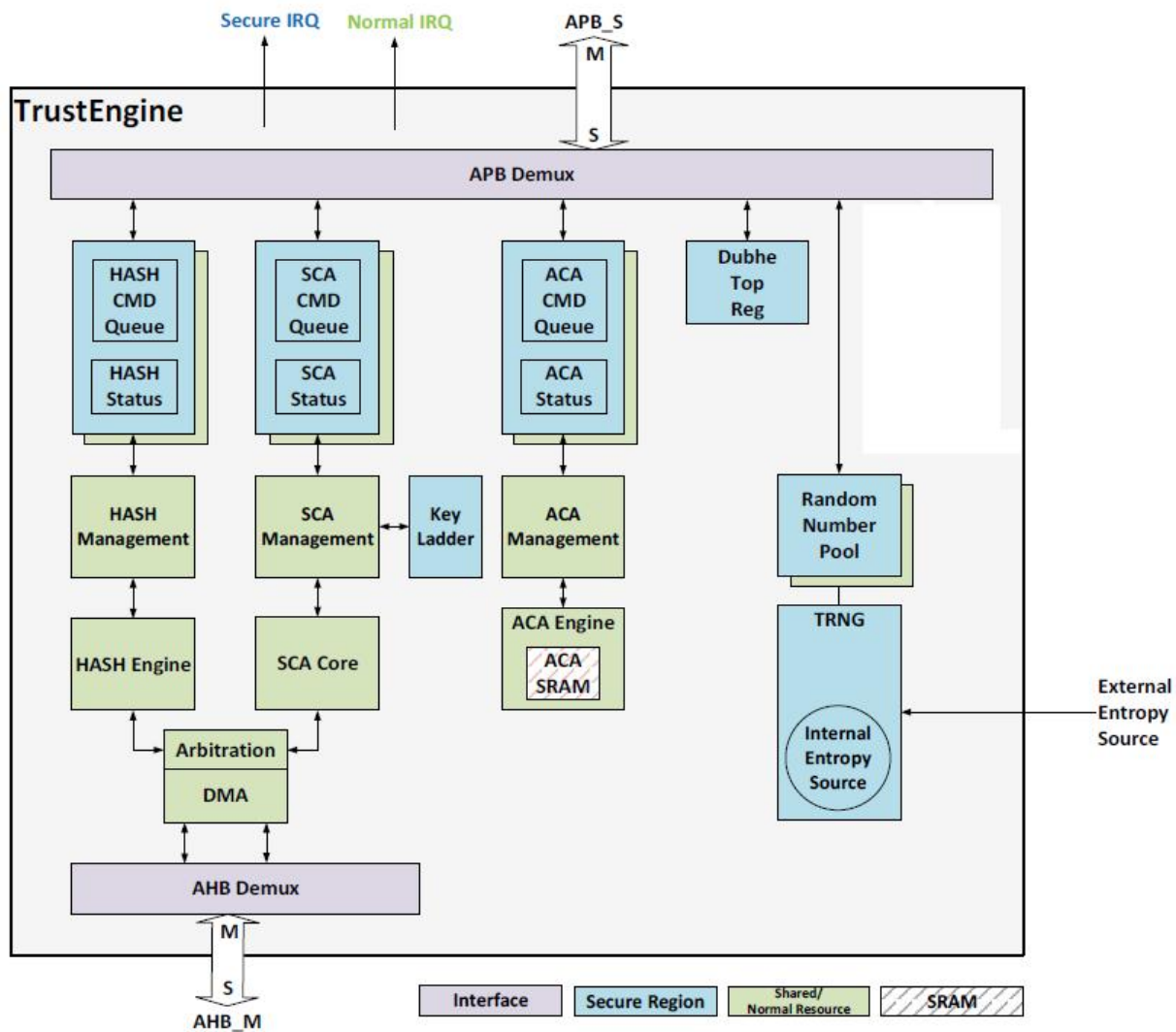
4.20.9 TrustEngine

IPSS 引入 TrustEngine 作为系统的安全组件，提供以下特性：

- 高安全保障。加密引擎支持密钥阶梯、生命周期管理和真随机数生成器 (TRNG)，增强了系统安全性。
- 加密/解密操作具有高性能和低功耗。这是通过 TrustEngine 内部加密引擎实现的。
- 降低软件在安全方面的复杂性。部分安全功能在 TrustEngine 硬件中实现，可降低敏感信息泄露到非安全主机的风险。

下图是 TrustEngine 的顶层架构。

图 4-5 TrustEngine 顶层架构



4.20.9.1 特性

TrustEngine 包含以下特性：

- 对称方案，AES-ECB/CBC/CTR/CBC-MAC/CMAC/CCM/GCM（密钥大小 128 位、192 位和 256 位）
- 对称方案，SM4-ECB/CBC/CTR/CBC-MAC/CMAC/CCM/GCM
- 摘要方案，SHA1/224/256
- 摘要方案，SM3
- 非对称方案，RSA 1024/2048/3072/4096 和 ECCP 192/224/256/384/512/521
- 非对称方案，SM2
- 密钥管理的密钥阶梯



- 生命周期管理
- 真随机数生成器

4.20.9.2 支持的标准和规范

TrustEngine 符合以下标准：

- FIPS PUB 180-4: 安全哈希标准 (SHS)
- FIPS PUB 197: 高级加密标准 (AES)
- NIST SP 800-38A 分组密码工作模式推荐-方法和技术
- NIST SP 800-38B 分组密码工作模式推荐: 用于身份验证的 CMAC 模式
- NIST SP 800-38C 分组密码工作模式推荐-用于身份验证和保密性的 CCM 模式
- NIST SP 800-38D 分组密码工作模式推荐: 伽罗瓦/计数器模式 (GCM) 和 GMAC
- NIST SP 800-90B 用于随机位生成的熵源推荐
- 基于椭圆曲线的 SM2 公钥密码算法 (GB/T 32918-2016)
- SM3 密码哈希算法 (GB/T 32905-2016)
- SM4 分组密码算法 (GB/T 32907-2016)

4.20.9.3 组成

TrustEngine 由五大功能块组成。

- 对称加密加速器 (SCA)
- 非对称加密加速器 (ACA)
- HASH 引擎
- 一次性可编程存储访问控制器
- 真随机数生成器

对称加密加速器 (SCA)

TrustEngine 中的 SCA 负责使用对称密码算法进行数据加解密，数据加解密操作通过 SCA 引擎向 TrustEngine 发送特殊命令来完成。

非对称加密加速器 (ACA)

TrustEngine 中的 ACA 引擎负责加速非对称加密，例如：

- 非对称加密解密：RSA 和 ECC
- 数字签名和验证：RSA 签名和 ECDSA
- 密钥交换：DH (Diffie-Hellman) 和 ECDH



HASH 加速器

TrustEngine 中的 HASH 引擎负责摘要计算，通过向 TrustEngine 发送特殊的命令，就可以让 HASH 引擎计算出某一数据的摘要。

真随机数生成器

真随机数生成器 (TRNG) 使用内部熵源（环形振荡器反相器链）或外部熵源生成随机位。安全和非安全主机都需要随机位。



5. 电气特性

5.1 绝对最大额定值

超过“绝对最大额定值”的应力可能会导致器件永久性损坏。长时间暴露在绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。

参数	描述	最小值	最大值	单位
VBAT	芯片电源电压	-0.3	4.5	V
VIO	IO LDO 输出电压	-0.3	4.0	V
VCCPA	PA 电源电压	-0.3	4.0	V
VCCPAD	PA 驱动器电源电压	-0.3	4.0	V
VCCIF	中频电源电压	-0.3	1.8	V
VCCRxFE	RX 电源电压	-0.3	1.8	V
VCCPLL	射频 PLL 电源电压	-0.3	1.8	V
VCCPLL_BT	蓝牙射频 PLL 电源电压	-0.3	1.8	V
VDDA	模拟 buck/LDO 输出电压	-0.3	1.8	V
VDDD	数字 buck/LDO 输出电压	-0.3	1.2	V
VDDDIG	数字核心 LDO 输出电压	-0.3	1.1	V
VDDRAM	PSRAM LDO 输出电压	-0.3	2.1	V
SWA	模拟 buck 开关输出电压	-0.3	4.5	V
SWD	数字 buck 开关输出电压	-0.3	4.5	V
P _{RX}	接收输入功率	-	10	dBm
T _{STR}	储存温度范围	-55	150	°C

5.2 ESD 额定值

参数	描述	测试条件	值	单位
ESD HBM	静电放电电压（人体放电模型 HBM），符合	-	TBD	V



参数	描述	测试条件	值	单位
	ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准			
ESD CDM	静电放电电压（充电器件模型 CDM），符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准	-	TBD	V

5.3 推荐工作条件

参数	描述	最小值 ^a	典型值	最大值	单位
VBAT ^b	芯片电源电压	2.0	3.3	4.35	V
VBAT 斜率	-	300	-	-	mV/ms
VIO	IO LDO 输出电压	2.0	-	3.6	V
VCCPA ^b	PA 电源电压	2.0	-	3.6	V
VCCPAD ^b	PA 驱动器电源电压	2.0	-	3.6	V
VCCIF	中频电源电压	1.25	-	1.65	V
VCCRxFE	RX 电源电压	1.25	-	1.65	V
VCCPLL	射频 PLL 电源电压	1.25	-	1.65	V
VCCPLL_BT	蓝牙射频 PLL 电源电压	1.25	-	1.65	V
VDDA	模拟 LDO 输出电压	1.25	-	1.6	V
	模拟 buck 输出电压	1.3	-	1.65	V
VDDD	数字 LDO 输出电压	0.7	-	1.05	V
	数字 buck 输出电压	0.75	-	1.1	V
VDDDIG ^c	数字核心 LDO 输出电压	0.45	-	0.975	V
VDDRAM	PSRAM LDO 输出电压	1.8	-	1.95	V
T _{OPR}	工作温度范围	-40	-	105	°C

- 指定的最小电压值包括电源电压的纹波和所有其他瞬态电压下降。在最低电压下运行时必须小心。
- 为确保 WLAN 性能，电源纹波必须小于 $V_{pp} = 100 \text{ mV}$ 。
- Active 模式下，最低电压为 0.8 V 。睡眠模式下，最低电压为 0.45 V 。



5.4 数字 I/O 特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IH}	高电平输入电压	-	0.7 V _{IO}	-	V _{IO} + 0.3	V
V _{IL}	低电平输入电压	-	-0.3	-	0.3 V _{IO}	V
V _{OH}	高电平输出电压	-	0.9 V _{IO}	-	-	V
V _{OL}	低电平输出电压	-	-	-	0.1 V _{IO}	V
I _{DRV}	I/O 输出驱动强度	-	5	-	20	mA
R _{PU}	弱上拉电阻	-	-	40	-	kΩ
R _{PD}	弱下拉电阻	-	-	44	-	kΩ

5.5 IO LDO

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IO}	IO LDO 输出电压	2.0	3.1	3.6	V
负载电流	-	-	-	500	mA

5.6 模拟 LDO

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DDA}	模拟 LDO 输出电压	1.25	1.35	1.6	V
负载电流	-	-	-	150	mA

5.7 数字 LDO

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V _{DDD}	数字 LDO 输出电压	0.7	1.0	1.05	V
负载电流	-	-	-	100	mA



5.8 数字核心 LDO

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
VDDDIG	数字核心 LDO 输出电压	0.45	0.9	0.975	V
负载电流	-	-	-	100	mA

5.9 模拟 buck

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
VDDA	模拟 buck 输出电压	1.3	1.4	1.65	V
负载电流	-	-	-	150	mA
开关频率	buck 调制频率	0.5	1	2	MHz
输出滤波电容器电容	-	-	4.7	-	μ F
电感器电感	-	-	4.7	-	μ H
电感 DC 电阻	-	-	-	500	m Ω
电感饱和电流	-	200	-	-	mA

5.10 数字 buck

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
VDDD	数字 buck 输出电压	0.75	1.05	1.1	V
负载电流	-	-	-	100	mA
开关频率	buck 调制频率	0.5	1	2	MHz
输出滤波电容器电容	-	-	4.7	-	μ F
电感器电感	-	-	4.7	-	μ H
电感 DC 电阻	-	-	-	500	m Ω
电感饱和电流	-	200	-	-	mA



5.11 26 MHz 晶体特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
F0	标称频率	-	-	26	-	MHz
$\Delta F/F0$	频率容差	25 °C	-10	-	+10	ppm
TC	在工作温度范围内的频率稳定性	-40 至 105 °C 晶体	-20	-	+20	ppm
		-30 至 85 °C 晶体	-10	-	+10	ppm
CL	负载电容	-	7	7.3	12	pF
TS	敏感度	-40 至 105 °C 晶体	-	32	-	ppm/pF
		-30 至 85 °C 晶体	-	17	-	ppm/pF

5.12 功耗

除非另有说明，否则测试条件为 T = 25 °C，VBAT = 3.3 V。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
Active 模式					
RX 电流	11b: 11 Mbps DSSS	-	17.5	-	mA
	11g: 54 Mbps OFDM	-	17.5	-	mA
	11n: MCS7, HT20	-	17.5	-	mA
	11n: MCS7, HT40	-	18.5	-	mA
	11ax: MCS7, HE20	-	17.5	-	mA
TX 电流	11b: 11 Mbps DSSS @ 19 dBm	-	235	-	mA
	11g: 54 Mbps OFDM @ 17 dBm	-	200	-	mA
	11n: MCS7, HT20 @ 16 dBm	-	189	-	mA
	11n: MCS7, HT40 @15 dBm	-	182	-	mA
	11ax: MCS7, HE20 @ 16 dBm	-	188	-	mA
睡眠模式					
睡眠	VDDDIG = 0.5 V	-	43	-	μ A
深度睡眠	-	-	16	-	μ A



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
关机模式					
关机	-	-	2.5	-	μA

5.13 WLAN 射频接收器特性

除非另有说明，否则测试条件为 T = 25 °C，VBAT = 3.3 V。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般					
工作频率范围	-	2412	-	2484	MHz
灵敏度					
灵敏度-IEEE 802.11b (1024 字节的 PSDU, 8% PER)	1 Mbps DSSS	-	-98	-	dBm
	2 Mbps DSSS	-	-94.5	-	dBm
	5.5 Mbps DSSS	-	-92	-	dBm
	11 Mbps DSSS	-	-89	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11g (1000 字节的 PSDU, 10% PER)	6 Mbps OFDM	-	-92	-	dBm
	9 Mbps OFDM	-	-91.5	-	dBm
	12 Mbps OFDM	-	-90.5	-	dBm
	18 Mbps OFDM	-	-88	-	dBm
	24 Mbps OFDM	-	-85	-	dBm
	36 Mbps OFDM	-	-82	-	dBm
	48 Mbps OFDM	-	-77.5	-	dBm
	54 Mbps OFDM	-	-76.5	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11n, 20 MHz (4096 字节的 PSDU, 10% PER, LDPC)	HT20, MCS0	-	-92	-	dBm
	HT20, MCS1	-	-91	-	dBm
	HT20, MCS2	-	-88	-	dBm
	HT20, MCS3	-	-86	-	dBm
	HT20, MCS4	-	-82	-	dBm
	HT20, MCS5	-	-78	-	dBm



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	HT20, MCS6	-	-76.5	-	dBm
	HT20, MCS7	-	-75	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11n, 40 MHz (4096 字节的 PSDU, 10% PER, LDPC)	HT40, MCS0	-	-87.5	-	dBm
	HT40, MCS1	-	-87	-	dBm
	HT40, MCS2	-	-85	-	dBm
	HT40, MCS3	-	-82.5	-	dBm
	HT40, MCS4	-	-79	-	dBm
	HT40, MCS5	-	-75	-	dBm
	HT40, MCS6	-	-74	-	dBm
	HT40, MCS7	-	-71.5	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11ax, 20 MHz (4096 字节的 PSDU, 10% PER, LDPC)	HE20, MCS0	-	-92	-	dBm
	HE20, MCS1	-	-90.5	-	dBm
	HE20, MCS2	-	-87.5	-	dBm
	HE20, MCS3	-	-85	-	dBm
	HE20, MCS4	-	-81	-	dBm
	HE20, MCS5	-	-77.5	-	dBm
	HE20, MCS6	-	-75.5	-	dBm
	HE20, MCS7	-	-74	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11ax, 40 MHz (4096 字节的 PSDU, 10% PER, LDPC)	HE40, MCS0	-	-88.5	-	dBm
	HE40, MCS1	-	-87.5	-	dBm
	HE40, MCS2	-	-85.5	-	dBm
	HE40, MCS3	-	-82	-	dBm
	HE40, MCS4	-	-77	-	dBm
	HE40, MCS5	-	-75	-	dBm
	HE40, MCS6	-	-74	-	dBm
	HE40, MCS7	-	-72	-	dBm



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
最大接收电平						
最大接收电平 @ 2.4 GHz	11b: 1、2 Mbps (8% PER, 1024 字节)	-	10	-	dBm	
	11b: 5.5、11 Mbps (8% PER, 1024 字节)	-	10	-	dBm	
	11g: 6–54 Mbps (10% PER, 1000 字节)	-	0	-	dBm	
	11n: MCS0–7 (10% PER, 4096 字节)	-	0	-	dBm	
	11ax: MCS0–7 (10% PER, 4096 字节)	-	0	-	dBm	
邻道抑制						
邻道 (± 30 MHz) 抑制-IEEE 802.11b (1024 字节的 PSDU, 8% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	1 Mbps DSSS	-74 dBm	-	50	-	dB
	2 Mbps DSSS	-74 dBm	-	45	-	dB
邻道 (± 25 MHz) 抑制-IEEE 802.11b (1024 字节的 PSDU, 8% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	5.5 Mbps DSSS	-70 dBm	-	43	-	dB
	11 Mbps DSSS	-70 dBm	-	40	-	dB
邻道 (± 25 MHz) 抑制-IEEE 802.11g (1000 字节的 PSDU, 10% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	6 Mbps OFDM	-79 dBm	-	43	-	dB
	54 Mbps OFDM	-62 dBm	-	27	-	dB
邻道 (± 25 MHz) 抑制-IEEE 802.11n (4096 字节的 PSDU, 10% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	HT20, MCS0	-79 dBm	-	43	-	dB
	HT20, MCS7	-61 dBm	-	21	-	dB
邻道 (± 40 MHz) 抑制-IEEE 802.11n (4096 字节的 PSDU, 10% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	HT40, MCS0	-76 dBm	-	TBD	-	dB
	HT40, MCS7	-58 dBm	-	TBD	-	dB



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
邻道 (± 20 MHz) 抑制-IEEE 802.11ax (4096 字节的 PSDU, 10% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	HE20, MCS0	-79 dBm	-	43	-	dB
	HE20, MCS7	-61 dBm	-	26	-	dB
邻道 (± 40 MHz) 抑制-IEEE 802.11ax (4096 字节的 PSDU, 10% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)	HE40, MCS0	-76 dBm	-	TBD	-	dB
	HE40, MCS7	-58 dBm	-	TBD	-	dB
杂散发射						
杂散发射	< 1 GHz	-	-60	-	dBm	
	> 1 GHz	-	-50	-	dBm	

5.14 WLAN 射频发射器特性

除非另有说明，否则测试条件为 $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BAT} = 3.3\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般					
工作频率范围	-	2412	-	2484	MHz
发射功率					
发射功率-IEEE 802.11b (SEM 符合标准要求)	1 Mbps DSSS	-	21	-	dBm
	11 Mbps DSSS	-	21	-	dBm
发射功率-IEEE 802.11g (EVM 符合标准要求)	6 Mbps OFDM	-	18	-	dBm
	54 Mbps OFDM	-	18	-	dBm
发射功率-IEEE 802.11n (EVM 符合标准要求)	HT20, MCS0	-	17	-	dBm
	HT20, MCS7	-	17	-	dBm
	HT40, MCS0	-	17	-	dBm
	HT40, MCS7	-	16	-	dBm
发射功率-IEEE 802.11ax (EVM 符合标准要求)	HE20, MCS0	-	17	-	dBm
	HE20, MCS7	-	17	-	dBm



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	HE40, MCS0	-	17	-	dBm
	HE40, MCS7	-	16	-	dBm
杂散发射					
杂散发射 (最大输出功率)	< 1 GHz	-	-50	-	dBm
	> 1 GHz	-	-45	-	dBm

5.15 蓝牙低功耗射频接收器特性

除非另有说明，否则测试条件为 $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BAT} = 3.3\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般					
工作频率范围	-	2402	-	2480	MHz
LE 1 Mbps					
灵敏度	30.8% PER	-	-97	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	-	0	-	dBm
C/I 共信道	-	-	8	-	dB
C/I 1 MHz 邻道	-	-	0	-	dB
C/I -1 MHz 邻道	-	-	0	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	-26	-	dB
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-27	-	dB
C/I 3 MHz 邻道	-	-	-28	-	dB
C/I -3 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I > 3 MHz 邻道	-	-	-50	-	dB
C/I < -3 MHz 邻道	-	-	-50	-	dB
带外阻塞	30–2000 MHz	-10	-	-	dBm
	2003–2399 MHz	-12	-	-	dBm
	2484–2997 MHz	-12	-	-	dBm



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	3000 MHz–12.75 GHz	-2	-	-	dBm
互调	-	-	TBD	-	dBm
LE 2 Mbps					
灵敏度	30.8% PER	-	-94	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	-	0	-	dBm
C/I 共信道	-	-	7	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	0	-	dB
C/I -2 MHz 邻道	-	-	3	-	dB
C/I 4 MHz 邻道	-	-	-26	-	dB
C/I -4 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
C/I 6 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
C/I -6 MHz 邻道	-	-	-39	-	dB
C/I > 6 MHz 邻道	-	-	-22	-	dB
C/I < -6 MHz 邻道	-	-	-22	-	dB
带外阻塞	30–2000 MHz	-	-30	-	dBm
	2003–2399 MHz	-	-35	-	dBm
	2484–2997 MHz	-	-35	-	dBm
	3000 MHz–12.75 GHz	-	-17	-	dBm
互调	-	-	TBD	-	dBm
LE 125 kbps					
灵敏度	30.8% PER	-	-102	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	-	0	-	dBm
C/I 共信道	-	-	3	-	dB
C/I 1 MHz 邻道	-	-	-15	-	dB
C/I -1 MHz 邻道	-	-	-16	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	-34	-	dB



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-40	-	dB
C/I 3 MHz 邻道	-	-	-42	-	dB
C/I -3 MHz 邻道	-	-	-43	-	dB
C/I > 3 MHz 邻道	-	-	-41	-	dB
C/I < -3 MHz 邻道	-	-	-42	-	dB
LE 500 kbps					
灵敏度	30.8% PER	-	-99	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	-	0	-	dBm
C/I 共信道	-	-	5	-	dB
C/I 1 MHz 邻道	-	-	-2	-	dB
C/I -1 MHz 邻道	-	-	-3	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-31	-	dB
C/I 3 MHz 邻道	-	-	-31	-	dB
C/I -3 MHz 邻道	-	-	-40	-	dB
C/I > 3 MHz 邻道	-	-	-36	-	dB
C/I < -3 MHz 邻道	-	-	-36	-	dB

5.16 蓝牙低功耗射频发射器特性

除非另有说明，否则测试条件为 $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BAT} = 3.3\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
一般					
工作频率范围	-	2402	-	2480	MHz
发射功率	-	-20	6	15	dBm
LE 1 Mbps					
带内发射	$\pm 2\text{ MHz}$ 偏移	-	-47	-	dBm



参数		条件	最小值	典型值	最大值	单位
	± 3 MHz 偏移	-	-	-49	-	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	-	-	-50	-	dBm
调制特性	Δf_{1avg}	-	225	245	275	kHz
	Δf_{2max}	-	185	235	-	kHz
	$\Delta f_{2avg}/\Delta f_{1avg}$	-	0.8	0.93	-	-
载波频率偏移和漂移	$ f_n _{n=0, 1, 2, 3\dots k}$ 最大值	-	-	3	150	kHz
	$ f_0 - f_n _{n=2, 3, 4\dots k}$ 最大值	-	-	2.5	50	kHz
	$ f_1 - f_0 $	-	-	2	23	kHz
	$ f_n - f_{n-5} _{n=6, 7, 8\dots k}$ 最大值	-	-	2.5	20	kHz/50 μ s
LE 2 Mbps						
带内发射	± 4 MHz 偏移	-	-	-50	-	dBm
	± 5 MHz 偏移	-	-	-51	-	dBm
	$> \pm 5$ MHz 偏移	-	-	-52	-	dBm
调制特性	Δf_{1avg}	-	-	488	-	kHz
	Δf_{2max}	-	-	469	-	kHz
	$\Delta f_{2avg}/\Delta f_{1avg}$	-	-	0.93	-	-
载波频率偏移和漂移	$ f_n _{n=0, 1, 2, 3\dots k}$ 最大值	-	-	3	150	kHz
	$ f_0 - f_n _{n=2, 3, 4\dots k}$ 最大值	-	-	2.5	50	kHz
	$ f_1 - f_0 $	-	-	1.5	23	kHz
	$ f_n - f_{n-5} _{n=6, 7, 8\dots k}$ 最大值	-	-	2.5	20	kHz/50 μ s
LE 125 kbps						
带内发射	± 2 MHz 偏移	-	-	-47	-	dBm
	± 3 MHz 偏移	-	-	-49	-	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	-	-	-50	-	dBm
调制特性	Δf_{1avg}	-	225	245	275	kHz
	Δf_{1max}	-	185	246	-	kHz



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
载波频率偏移和漂移	$ f_n _{n=0,1,2,3\dots k}$ 最大值	-	1.5	150	kHz
	$ f_0 - f_n _{n=1,2,3\dots k}$ 最大值	-	1.5	50	kHz
	$ f_0 - f_3 $	-	1.5	19.2	kHz
	$ f_n - f_{n-3} _{n=7,8,9\dots k}$	-	1.5	19.2	kHz/48 μ s
LE 500 kbps					
带内发射	± 2 MHz 偏移	-	-47	-	dBm
	± 3 MHz 偏移	-	-49	-	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	-	-50	-	dBm

5.17 AUX ADC 特性

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
转换时钟	-	-	-	13	MHz
转换时间	-	-	16	-	周期
V_{REF}	内部	-	1.2	-	V
	外部	-	$V_{IO}/2$	-	V
输入电压范围	-	0	-	$V_{REF} * 2$	V
输入阻抗	-	10	-	-	$M\Omega$
输入电容 (Cs)	-	-	1	-	pF
DNL	-	-1	-	3	LSB
INL	-	-5	-	5	LSB
ENOB	-	-	10	-	位
SNDR	-	-	62	-	dB
SFDR	-	-	77	-	dB
$T_{STARTUP}$	-	-	5	-	μ s
功耗	-	-	200	-	μ A



5.18 封装信息

图 6-1 QFN40 5 x 5 mm 封装外形

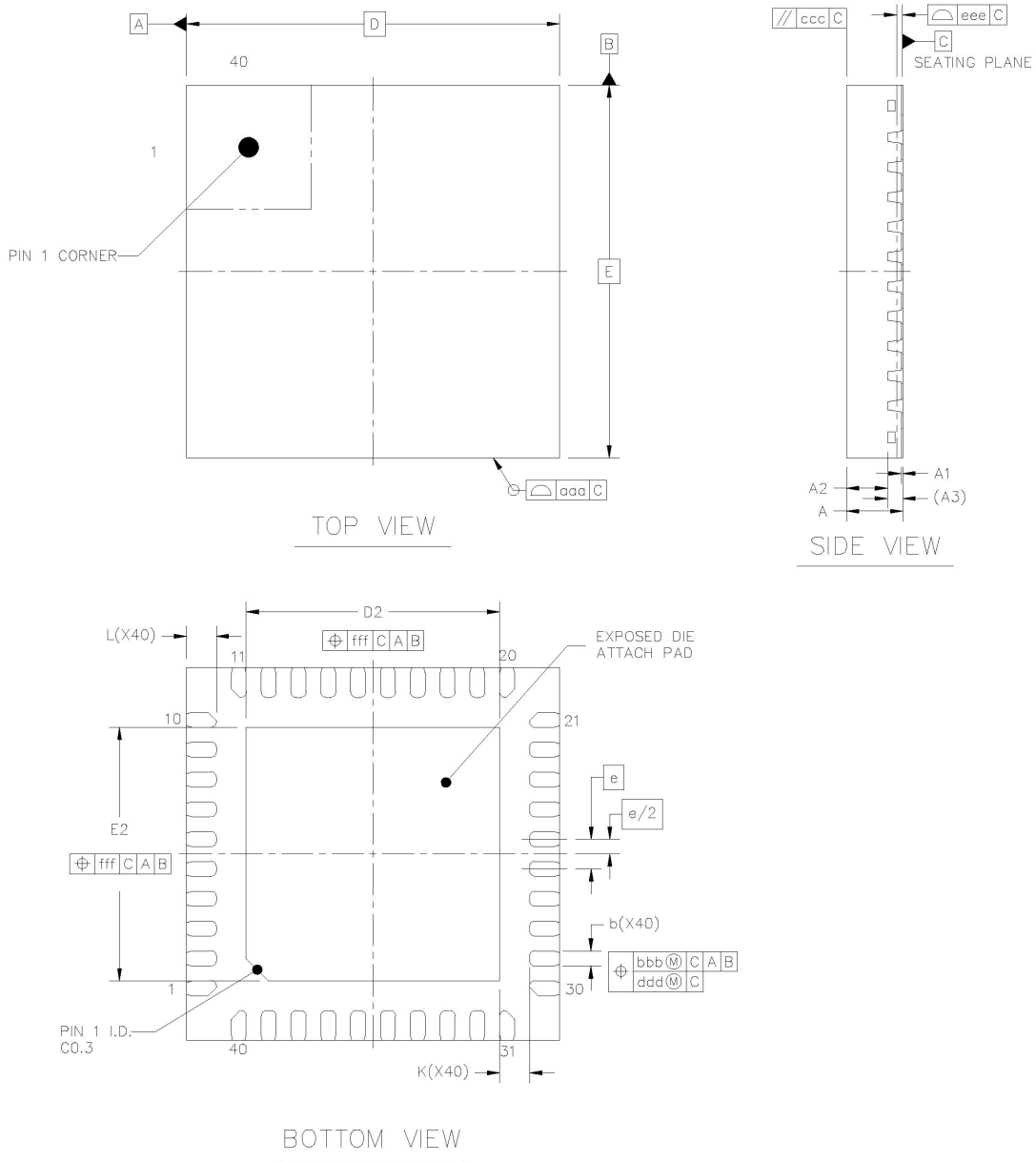


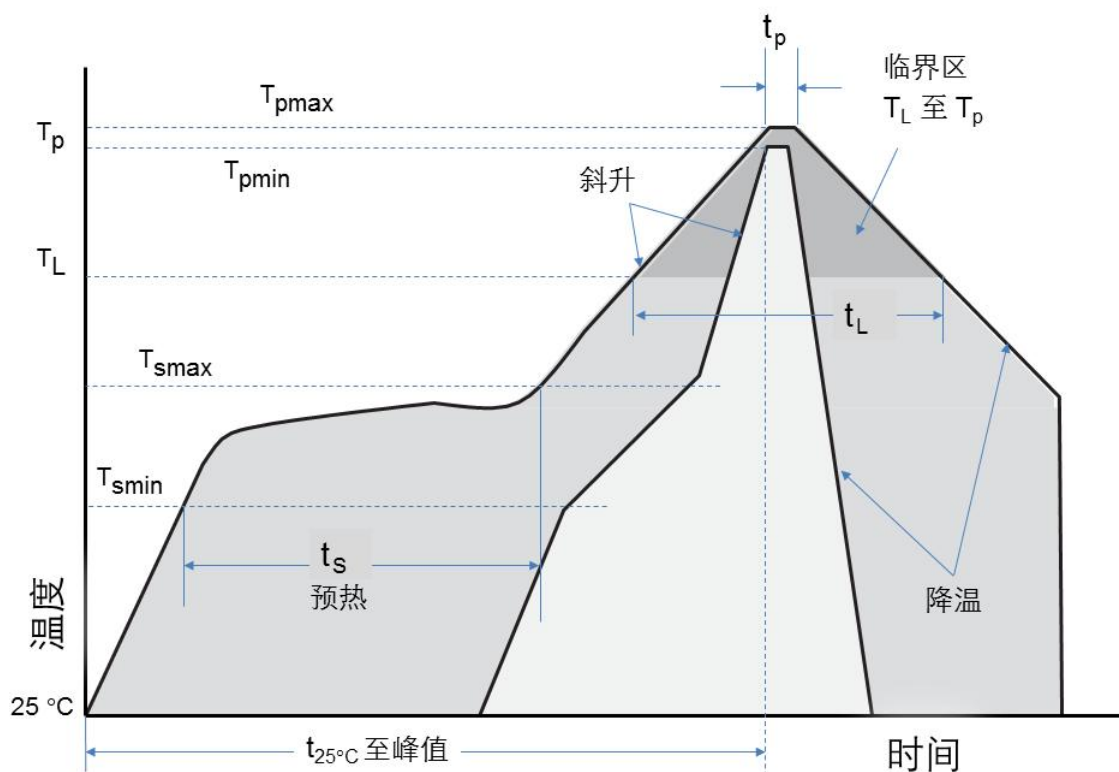


表 6-1 QFN40 封装尺寸

符号	尺寸 (毫米)		
	最小值	标称值	最大值
A	0.70	0.75	0.80
A1	0.00	0.02	0.05
A2	-	0.55	-
A3	0.203 REF		
b	0.15	0.20	0.25
D	5.00 BSC		
E	5.00 BSC		
e	0.40 BSC		
D2	3.30	3.40	3.50
E2	3.30	3.40	3.50
L	0.30	0.40	0.50
K	0.40 REF		
aaa	0.10		
ccc	0.10		
eee	0.08		
bbb	0.07		
ddd	0.05		
fff	0.10		

6. 回流焊曲线

图 7-1 回流焊曲线



曲线特性		规格
平均升温率 (T_{smax} 至 T_p)		最大值 3 °C/秒
预热	最低温度 (T_{smin})	150 °C
	最高温度 (T_{smax})	200 °C
	时间 (t_s)	60 至 180 秒
高于此温度时的保持时间	温度 (T_L)	217 °C
	时间 (t_L)	60 至 150 秒
峰值/分类温度 (T_p)		260 °C



曲线特性	规格
实际峰值温度在 5 °C 以内的时间 (t_p)	20 至 40 秒
降温率	最大值 6 °C/秒
25 °C 到峰值温度之间的时间	最长 8 分钟

符合 RoHS 标准

根据修订 2011/65/EU 指令附件 II 的欧盟 RoHS 指令 (EU) 2015/863, 该产品不含铅、汞、镉、六价铬、PBB、PBDE、DEHP、BBP、DBP 和 DIBP。

静电 (ESD) 敏感度

集成电路对 ESD 敏感, 可能会被静电损坏。处理这些器件时应使用适当的 ESD 技术。



湿度敏感等级

该产品符合 IPC/JEDEC J-STD-020 标准的湿度敏感等级 MSL3。

7. 订购信息

图 8-1 型号命名

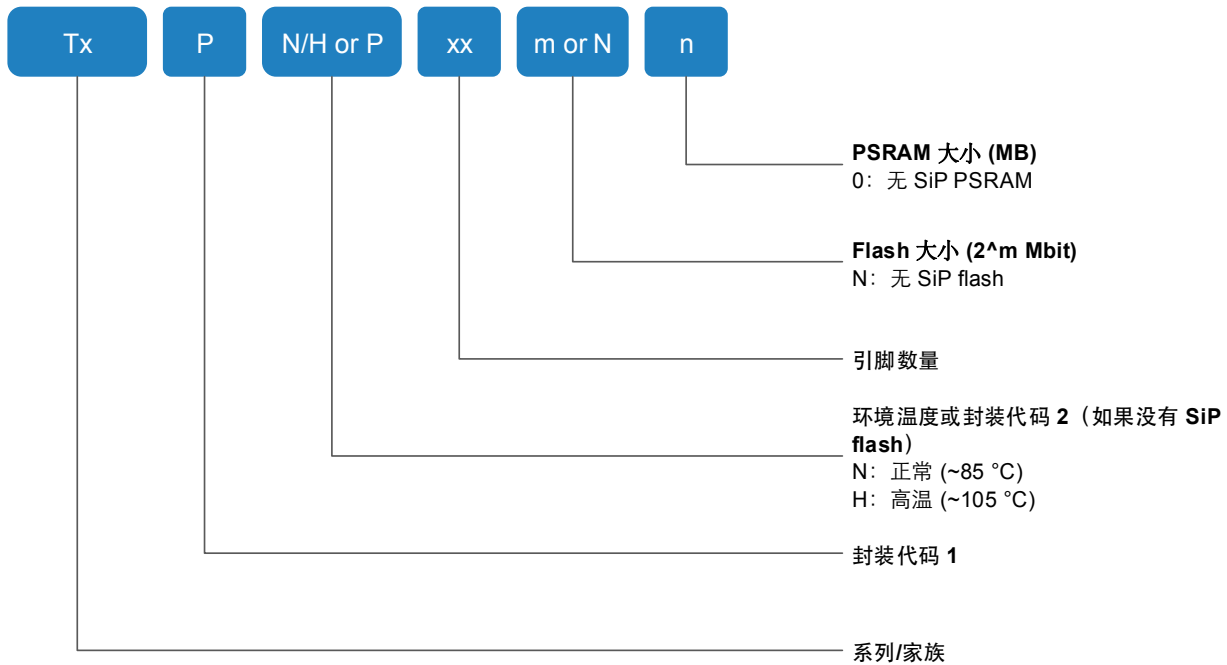


表 8-1 订购信息

订购代码	封装	SiP ^a flash	SiP ^a PSRAM	包装	最小订购量 (MOQ)
T3QH4050	5 mm x 5 mm QFN40	4 MB	-	卷带	3000

a. SiP flash 和 SiP PSRAM 是指封装在芯片内部的 flash 和 PSRAM。



1. 修订历史

版本	日期	发布说明
1.0	2024/6/25	首次发布

