



---

# T1 芯片规格书

2024/6/25



# 目录

---

目录.....	2
1. 特性.....	4
2. 概述.....	6
3. 引脚描述.....	8
3.1 QFN32 引脚描述.....	8
3.2 QFN20 引脚描述.....	11
4. 功能描述.....	15
4.1 Wi-Fi/蓝牙收发器.....	15
4.2 电源管理.....	15
4.2.1 功耗模式.....	15
4.2.2 上电时序.....	15
4.3 时钟管理.....	16
4.4 复位.....	17
4.5 通用 I/O (GPIO).....	18
4.6 SPI 接口 (SPI).....	18
4.7 UART 接口 (UART).....	18
4.8 I2C 接口 (I2C).....	19
4.9 GDMA 控制器 (GDMA).....	19
4.10 PWM.....	19
4.11 辅助 ADC (AUX ADC).....	20
4.12 定时器组 (TIMG).....	21
4.13 看门狗定时器 (WDT).....	21
4.14 实时计数器 (RTC).....	21
4.15 温度传感器.....	21
4.16 真随机数发生器 (TRNG).....	21



5. 电气特性.....	22
5.1 绝对最大额定值.....	22
5.2 ESD 额定值.....	22
5.3 推荐工作条件.....	22
5.4 数字 I/O 特性.....	23
5.5 数字 LDO.....	23
5.6 26 MHz 晶体特性.....	23
5.7 功耗.....	24
5.8 Wi-Fi 接收器射频特性.....	24
5.9 Wi-Fi 发射器射频特性.....	26
5.10 蓝牙低功耗接收器射频特性.....	27
5.11 蓝牙低功耗发射器射频特性.....	30
5.12 AUX ADC 特性.....	31
6. 封装信息.....	33
6.1 QFN32 4 x 4 mm 封装.....	33
6.2 QFN20 3 x 3 mm 封装.....	35
7. 回流焊曲线.....	37
8. 订购信息.....	39
修订历史.....	40



# 1. 特性

---

## Wi-Fi

- 符合 IEEE 802.11b/g/n 1x1 标准
- 支持 20 MHz 带宽
- 支持 STBC
- 工作模式：STA 和 SoftAP
- SoftAP + STA 共存
- 发射功率高达 +19 dBm
- 接收灵敏度 -99 dBm

## 蓝牙低功耗

- 蓝牙低功耗 5.2 (Bluetooth LE)
- 支持蓝牙低功耗 1 Mbps、2 Mbps 和长距离 (125 kbps 和 500 kbps)
- 广告扩展
- 蓝牙寻向：到达角 (AoA) 和离开角 (AoD)
- 支持多达 16 根天线的天线阵列，实现精准定位

## 内核

- 32 位 MCU，频率高达 160 MHz
- UART flash 下载
- JTAG 调试接口

## 内存

- 2 MB SiP flash
- 288 KB RAM
- 4 字节 eFuse

## 时钟管理

- 外部振荡器：26 MHz 晶体振荡器 (XTALH)
- 内部振荡器：26–160 MHz 数控振荡器 (DCO)，32 kHz 环形振荡器 (ROSC)
- 480 MHz DPLL



## 电源管理

- 2.7 至 3.6 V VBAT 电源
- 片上上电复位 (POR) 和欠压检测 (BOD)
- 内置 LDO 稳压器
- 低功耗：
  - Active 模式 RX: 40 mA
  - 低压睡眠模式: 90  $\mu$ A
  - 深度睡眠模式: 10  $\mu$ A
  - 关机模式: 0.5  $\mu$ A

## 外设

- GPIO: QFN32 有 19 个, QFN20 有 9 个
- 1 个 SPI
- 2 个 UART, 1 个支持 flash 下载
- 1 个 I2C
- 1 个通用 DMA 控制器 (GDMA), 6 个通道
- 6 个 32 位 PWM 通道
- 10 位 AUX ADC, 多达 6 个通道
- 6 个 32 位通用定时器
- 1 个看门狗定时器
- 1 个实时计数器 (RTC)
- 1 个温度传感器
- 1 个真随机数生成器 (TRNG)

## 封装

- QFN32 封装, 4 x 4 mm
- QFN20 封装, 3 x 3 mm
- 工作温度范围: -40 至 +105  $^{\circ}$ C

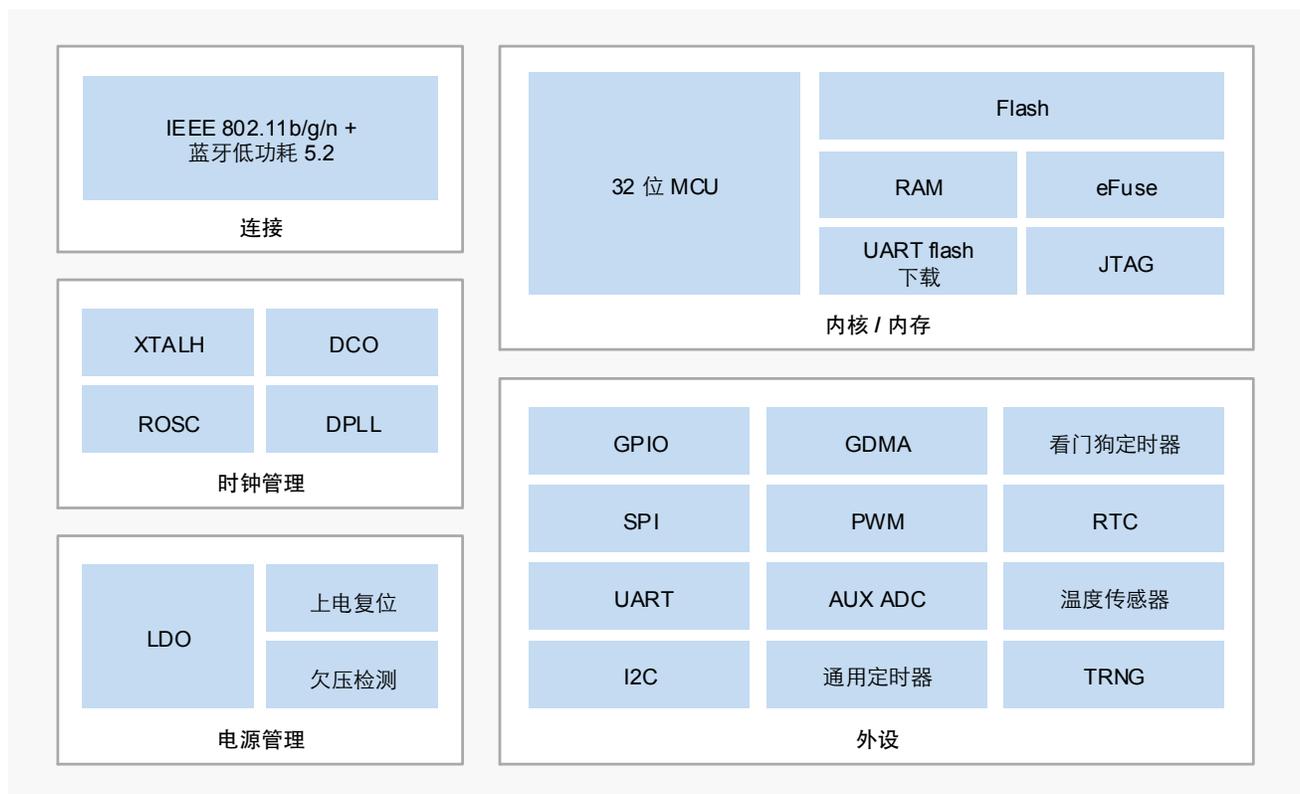
## 2. 概述

T1 是一款涂鸦与芯片原厂共研的一款高度集成的单芯片 Wi-Fi 802.11b/g/n 和蓝牙低功耗 5.2 组合解决方案, 专为需要低功耗和小尺寸的应用而设计。T1 集成了功能强大的 32 位 MCU 以及一整套外设和接口, 使其成为高级物联网 (IoT) 应用的理想选择。

T1 采用先进的设计技术和工艺技术, 在极小的封装中实现高集成度和最低功耗, 适用于智能照明、智能家居、定位和其他高级 IoT 应用。

图 2-1 显示了 T1 的总体框图。

图 2-1 T1 框图



T1 器件有两种封装。所包含的外设集因封装而异。表 2-1 显示了每个封装上可用的外设列表。



表 2-1 器件选项和特性

特性		QFN32	QFN20
Flash		2 MB	2 MB
GPIO		19	9
SPI	主模式/从模式	1	-
UART		2	2
I2C	主模式/从模式	1	1
GDMA		1	1
PWM	PWM0-5	6	5
AUX ADC	10 位	1	1
	通道数量	6	4
通用定时器		6	6
看门狗定时器		1	1
RTC		1	1
温度传感器		1	1
TRNG		1	1
封装		4 x 4 mm QFN32	3 x 3 mm QFN20
工作电压		2.7 至 3.6 V	
工作温度		-40 至 +105 °C	

## 3. 引脚描述

T1 采用 20 引脚至 32 引脚的两种封装提供 Wi-Fi 和蓝牙低功耗功能。

### 3.1 QFN32 引脚描述

图 3-1 显示了 4 x 4 mm、32 引脚 QFN 封装的引脚分配。

图 3-1 QFN32 引脚分配

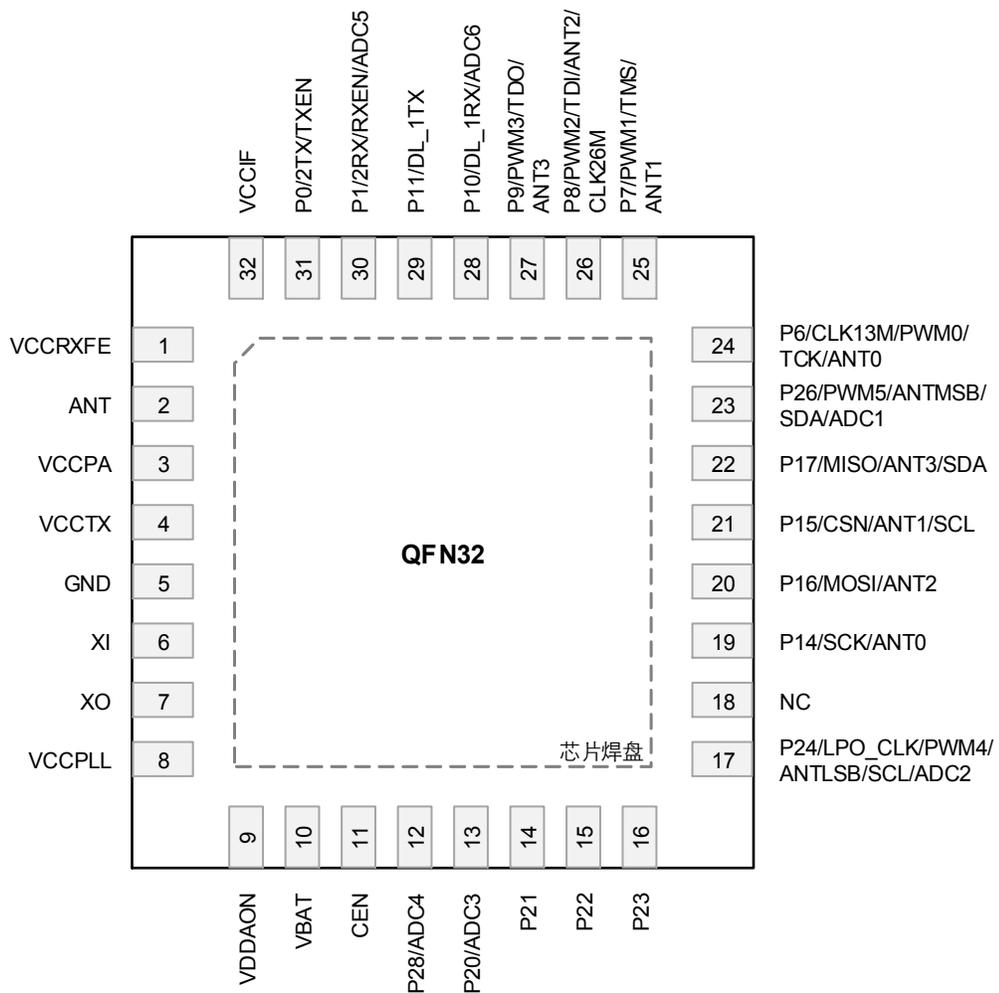


表 3-1 显示了 QFN32 封装的引脚描述。



表 3-1 QFN32 引脚描述

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
1	VCCRXFE	-	模拟输入	射频 RX 电源
2	ANT	-	射频	2.4 GHz 射频信号端口
3	VCCPA	-	模拟输入	射频 PA 电源
4	VCCTX	-	模拟输入	射频 TX 电源
5	GND	-	GND	接地
6	XI	-	模拟输入	26 MHz 晶体输入
7	XO	-	模拟输出	26 MHz 晶体输出
8	VCCPLL	-	模拟输入	射频 PLL 电源
9	VDDAON	-	模拟输出	AON/数字 LDO 输出
10	VBAT	-	模拟输入	芯片电源
11	CEN	-	模拟输入	芯片使能, 高电平有效
12	P28/ADC4	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO28</li><li>ADC4</li></ul>
13	P20/ADC3	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO20</li><li>ADC3</li></ul>
14	P21	I/O	数字	GPIO21
15	P22	I/O	数字	GPIO22
16	P23	I/O	数字	GPIO23
17	P24/LPO_CLK/PWM4/ANTLSB/SCL/ADC2	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO24</li><li>32 kHz 时钟输出</li><li>PWM4 (与 PWM5 差分)</li><li>蓝牙低功耗天线选择 (LSB)</li><li>I2C: SCL</li><li>ADC2</li></ul>
18	NC	-	NC	无连接
19	P14/SCK/ANT0	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO14</li><li>SPI: SCK</li></ul>



引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"><li>• 蓝牙低功耗天线选择 0</li></ul>
20	P16/MOSI/ANT2	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO16</li><li>• SPI: MOSI</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 2</li></ul>
21	P15/CSN/ANT1/SCL	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO15</li><li>• SPI: CSN</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 1</li><li>• I2C: SCL</li></ul>
22	P17/MISO/ANT3/SDA	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO17</li><li>• SPI: MISO</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 3</li><li>• I2C: SDA</li></ul>
23	P26/PWM5/ANTMSB/SDA/ ADC1	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO26</li><li>• PWM5 (与 PWM4 差分)</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 (MSB)</li><li>• I2C: SDA</li><li>• ADC1</li></ul>
24	P6/CLK13M/PWM0/TCK/ANT0	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO6</li><li>• 26 MHz 时钟输出 (1/2/4/8 分频)</li><li>• PWM0 (与 PWM1 差分)</li><li>• JTAG: TCK</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 0</li></ul>
25	P7/PWM1/TMS/ANT1	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO7</li><li>• PWM1 (与 PWM0 差分)</li><li>• JTAG: TMS</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 1</li></ul>
26	P8/PWM2/TDI/ANT2/CLK26M	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO8</li><li>• PWM2 (与 PWM3 差分)</li><li>• JTAG: TDI</li><li>• 蓝牙低功耗天线选择 2</li><li>• 26 MHz 时钟输出</li></ul>
27	P9/PWM3/TDO/ANT3	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO9</li></ul>

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> <li>PWM3 (与 PWM2 差分)</li> <li>JTAG: TDO</li> <li>蓝牙低功耗天线选择 3</li> </ul>
28	P10/DL_1RX/ADC6	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPIO10</li> <li>UART1: RX (支持 flash 下载)</li> <li>ADC6</li> </ul>
29	P11/DL_1TX	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPIO11</li> <li>UART1: TX (支持 flash 下载)</li> </ul>
30	P1/2RX/RXEN/ADC5	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPIO1</li> <li>UART2: RX</li> <li>接收使能</li> <li>ADC5</li> </ul>
31	P0/2TX/TXEN	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPIO0</li> <li>UART2: TX</li> <li>发射使能</li> </ul>
32	VCCIF	-	模拟输入	中频电源
芯片焊盘	GND_SLUG	-	GND	接地

## 3.2 QFN20 引脚描述

图 3-2 显示了 3 x 3 mm、20 引脚 QFN 封装的引脚分配。

图 3-2 QFN20 引脚分配

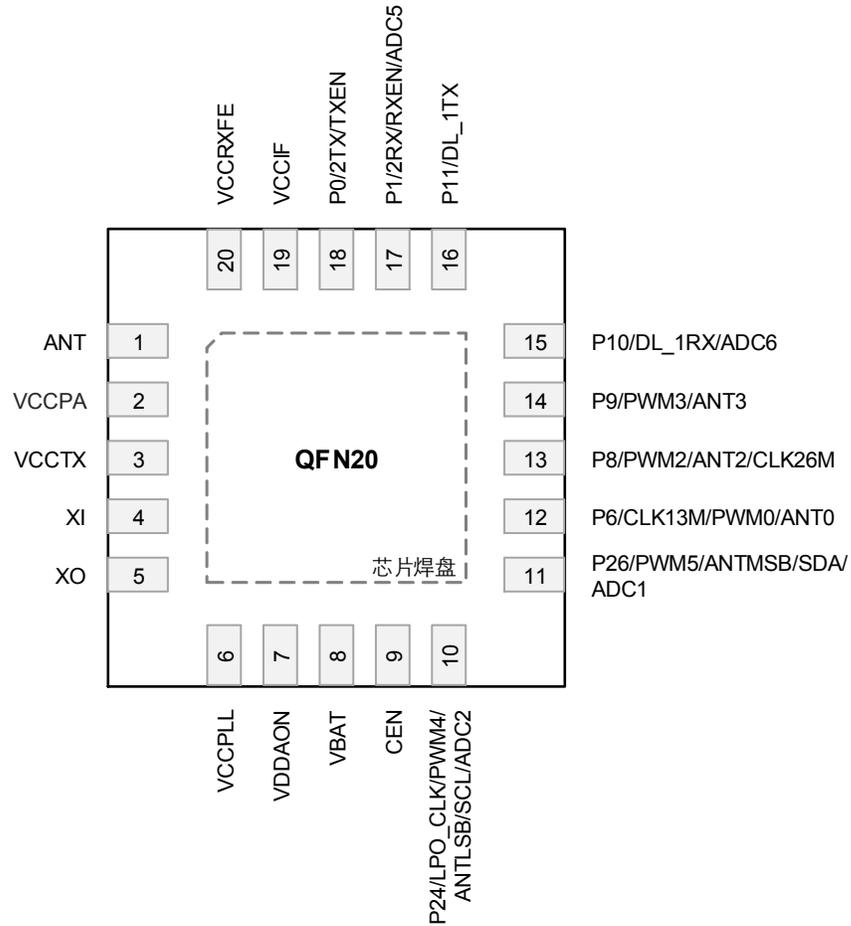


表 3-2 显示了 QFN20 封装的引脚描述。

表 3-2 QFN20 引脚描述

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
1	ANT	-	射频	2.4 GHz 射频信号端口
2	VCCPA	-	模拟输入	射频 PA 电源
3	VCCTX	-	模拟输入	射频 TX 电源
4	XI	-	模拟输入	26 MHz 晶振输入
5	XO	-	模拟输出	26 MHz 晶振输出
6	VCCPLL	-	模拟输入	射频 PLL 电源



引脚 #	名称	I/O	类型	描述
7	VDDAON	-	模拟输出	AON/数字 LDO 输出
8	VBAT	-	模拟输入	芯片电源
9	CEN	-	模拟输入	芯片使能, 高电平有效
10	P24/LPO_CLK/PWM4/ANTLSB/SCL/ADC2	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO24</li><li>32 kHz 时钟输出</li><li>PWM4 (与 PWM5 差分)</li><li>蓝牙低功耗天线选择 (LSB)</li><li>I2C: SCL</li><li>ADC2</li></ul>
11	P26/PWM5/ANTMSB/SDA/ADC1	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO26</li><li>PWM5 (与 PWM4 差分)</li><li>蓝牙低功耗天线选择 (MSB)</li><li>I2C: SDA</li><li>ADC1</li></ul>
12	P6/CLK13M/PWM0/ANT0	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO6</li><li>26 MHz 时钟输出 (1/2/4/8 分频)</li><li>PWM0</li><li>蓝牙低功耗天线选择 0</li></ul>
13	P8/PWM2/ANT2/CLK26M	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO8</li><li>PWM2 (与 PWM3 差分)</li><li>蓝牙低功耗天线选择 2</li><li>26 MHz 时钟输出</li></ul>
14	P9/PWM3/ANT3	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO9</li><li>PWM3 (与 PWM2 差分)</li><li>蓝牙低功耗天线选择 3</li></ul>
15	P10/DL_1RX/ADC6	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO10</li><li>UART1: RX (支持 flash 下载)</li><li>ADC6</li></ul>
16	P11/DL_1TX	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO11</li><li>UART1: TX (支持 flash 下载)</li></ul>
17	P1/2RX/RXEN/ADC5	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"><li>GPIO1</li></ul>



引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"><li>• UART2: RX</li><li>• 接收使能</li><li>• ADC5</li></ul>
18	P0/2TX/TXEN	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"><li>• GPIO0</li><li>• UART2: TX</li><li>• 发射使能</li></ul>
19	VCCIF	-	模拟输入	中频电源
20	VCCRxFE	-	模拟输入	射频 RX 电源
芯片焊盘	GND_SLUG	-	GND	接地

## 4. 功能描述

---

### 4.1 Wi-Fi/蓝牙收发器

T1 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。通过将 GPIO0 和 GPIO1 配置为 TXEN 和 RXEN 功能来控制外部 PA 和 LNA，可以扩展通信范围。完全集成频率合成器，无需任何外部组件。

### 4.2 电源管理

#### 4.2.1 功耗模式

T1 支持除 Active 模式外的四种低功耗模式，即关机模式、深度睡眠模式、低压睡眠模式和正常睡眠模式，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，所有电路均掉电。GPIO 中断或 RTC 中断可以给系统再次上电。保留寄存器保留其内容。

**低电压睡眠模式：**MCU 和所有数字逻辑停止其时钟，并且其电源降低至更低的保持电压，从而导致更低的电流。GPIO 中断或 RTC 中断可以使系统恢复到正常电压的 Active 模式。

**正常睡眠模式：**MCU 停止运行，所有外设中断都可以恢复 MCU。

**Active 模式：**MCU 处于工作状态，所有外设均可用。

#### 4.2.2 上电时序

图 4-1 显示了 T1 的上电时序。

图 4-1 T1 上电时序

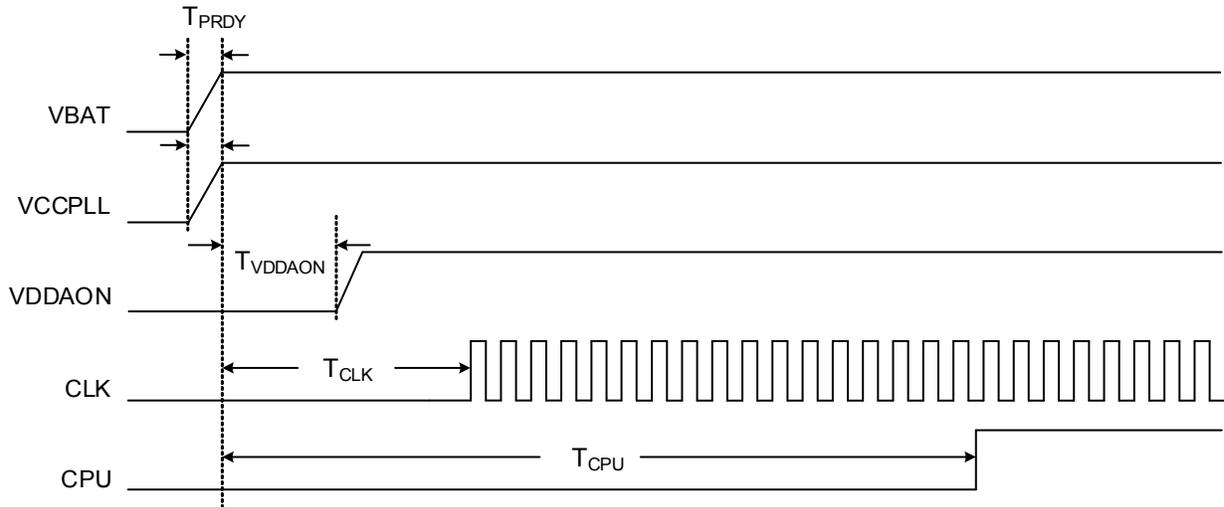


表 4-1 T1 上电时序的时序参数

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
$T_{PRDY}$	VBAT 准备时间	-	0.5	1.5	ms
$T_{VDDAON}$	AON/数字 LDO 准备时间	-	0.5	1.5	ms
$T_{CLK}$	26 MHz 时钟稳定时间	-	3	5	ms
$T_{CPU}$	应用准备时间	60	70	-	ms

## 4.3 时钟管理

T1 可用的主要时钟源如下：

- 高频时钟
  - 26 MHz 晶体振荡器 (XTALH)
  - 26~160 MHz 内部数控振荡器 (DCO)，校准后频率误差约  $\pm 2\%$
  - 480 MHz 数字 PLL (DPLL)
- 低频时钟
  - 32 kHz 内部环形振荡器 (ROSC)，校准后频率误差约  $\pm 2\%$

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

MCU 和外设的时钟选择如下表所示。

表 4-2 时钟选择

MCU 和外设	XTALH	DCO	DPLL	LPO_CLK
MCU	√	√	√	√
flash 控制器	√	√	√	
SPI	√	√		
UART1	√	√		
UART2	√	√		
I2C	√	√		
PWM	√	√		√
AUX ADC	√	√		
TIMG1	√			
TIMG2				√
看门狗定时器				√
RTC				√

T1 还具有时钟输出功能，可以向外部组件输出时钟信号。GPIO 可以输出以下时钟信号：

- LPO\_CLK：低功耗 LPO\_CLK 时钟
- CLK26M：高频晶体时钟，一般为 26 MHz
- CLK13M：高频晶体时钟的分频时钟（分频系数 1/2/4/8）

## 4.4 复位

复位可由以下源触发：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。

系统上电复位、数字上电复位和看门狗复位对所有模块具有相同的复位效果，常开逻辑除外。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 32 位定时器和 16 位保留寄存器，只能通过系统上电复位将其复位为初始值。



从关机模式或深度睡眠模式唤醒会将数字逻辑从掉电模式重新上电，从而触发整个系统的复位过程。

## 4.5 通用 I/O (GPIO)

T1 有多达 19 个 GPIO，可配置为输入或输出。大多数 GPIO 有复用功能。

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)

T1 集成了一个 SPI 接口，可以在主模式或从模式下运行。SPI 接口在主模式下支持高达 30 MHz 的时钟频率，在从模式下支持高达 20 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)

T1 包含两个通用异步收发器 (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 字节的发送 FIFO 和一个 128 字节的接收 FIFO。FIFO 模式默认禁用, 可以通过软件启用。
- Flash 下载 (UART1)

## 4.8 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)。T1 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

## 4.9 GDMA 控制器 (GDMA)

T1 有一个通用 DMA 控制器 (GDMA), 带有六个 DMA 通道, 可卸载 CPU 的工作负载。这六个通道由具有 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)。它允许外设到存储器、存储器到存储器以及存储器到外设的高速数据传输。

T1 具有 DMA 功能的外设包括 UART1、UART2 和 SPI。

## 4.10 PWM

T1 有三个 32 位 PWM 对, 标记为 PWM0/1、PWM2/3 和 PWM4/5。每个 PWM 对由两个 32 位递增计数器组成, 该两个计数器由一个 8 位可编程预分频器驱动。

每个通道可以独立工作 (任意波形配置), 也可以两个通道配对工作 (波形完全相反, 时序对齐)。

当六个 PWM 引脚 GPIO6、GPIO7、GPIO8、GPIO9、GPIO24 和 GPIO26 中的任意一个配置为 PWM 输出时, 可以选择六个 PWM 通道中的任意一个作为输出源。

PWM 特性如下:

- 32 位递增计数器
- 计数器向一个方向递增，溢出到最大值时自动从 0 开始重新计数
- 固定 PWM 基频，具有 8 位可编程预分频器（分频系数介于 1 到 256 之间）
- 六个通道，每个通道支持四种模式：
  - PWM 模式
  - 定时器模式
  - 计数器模式
  - 捕获模式
- 每个通道都可以单独启用，并且每个通道的模式可以单独配置
- 每个 PWM 通道的 PWM 周期和占空比可配置
- 在捕获模式下，能够在两个上升沿、两个下降沿或任意两个沿之间连续计数
- 在定时器模式下可以读取实时计数值

## 4.11 辅助 ADC (AUX ADC)

辅助 ADC (AUX ADC) 是一个 10 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 5 kHz 到 1.86 MHz
- 10 位分辨率
- 多达 6 个外部模拟输入通道：ADC1/2/3/4/5/6
- 4 个内部专用通道：
  - VBAT 监测通道 (VBAT/2)，连接到 ADC0
  - 内部温度传感器 (TEMP)，连接到 ADC7
  - TSSIO，连接到 ADC8
  - 内部调试通道，连接到 ADC9
- 转换模式：
  - 单步模式
  - 软件控制模式
  - 连续模式

## 4.12 定时器组 (TIMG)

T1 包含两个通用定时器组 (TIMG)。每组有 3 个 32 位定时器。每组由 3 个 32 位计数器组成，该 3 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：

- 3 个定时器 (Timer0/1/2)
- 3 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

## 4.13 看门狗定时器 (WDT)

看门狗定时器的作用是检测故障或失灵并从中恢复。它会在达到指定的时间周期时触发一个复位。

看门狗定时器的时钟由 32 kHz 的 LPO\_CLK 提供，它的最大可编程周期为 65.536 ( $2^{16}/1$  kHz) 秒。

## 4.14 实时计数器 (RTC)

实时计数器 (RTC) 是一个 32 位计数器，可以用作唤醒源，将系统从低电压睡眠或深度睡眠模式中唤醒。RTC 时钟由 ROSC 提供，即使系统处于低电压睡眠或深度睡眠模式，它也能保持运行。

## 4.15 温度传感器

T1 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  $\pm 5$  °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。

## 4.16 真随机数发生器 (TRNG)

随机数发生器模块基于热噪声生成真正的、不确定的随机数，用于创建加密操作所需的密钥、初始化向量和随机数。

## 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
V <sub>BAT</sub>	芯片电源电压	-0.3	3.6	V
P <sub>RX</sub>	接收输入功率	-	10	dBm
T <sub>STR</sub>	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 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2017 标准	ANT 引脚	±2000	V
		VCCPA、VCCTX、XI 引脚	±3000	V
		其他引脚	±4000	V
ESD CDM	静电放电电压（充电器件模型 CDM），符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002-2018 标准	所有引脚	±1000	V

### 5.3 推荐工作条件

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V <sub>BAT</sub>	芯片电源电压	2.7	-	3.6	V
V <sub>CCIF</sub>	中频电源电压	2.2	-	3.6	V
V <sub>CCRXFE</sub>	射频 RX 电源电压	2.2	-	3.6	V
V <sub>CCPA</sub>	射频 PA 电源电压	2.7	-	3.6	V
V <sub>CCTX</sub>	射频 TX 电源电压	2.7	-	3.6	V



参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
VCCPLL	射频 PLL 电源电压	2.2	-	3.6	V
VDDAON	AON/数字 LDO 输出电压	0.5	0.9	1.0	V
T <sub>OPR</sub>	工作温度范围	-40	-	105	°C

## 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 <sub>IH</sub>	高电平输入电压	-	0.7 V <sub>BAT</sub>	-	V <sub>BAT</sub> + 0.3	V
V <sub>IL</sub>	低电平输入电压	-	-0.3	-	0.3 V <sub>BAT</sub>	V
V <sub>OH</sub>	高电平输出电压	-	0.9 V <sub>BAT</sub>	-	-	V
V <sub>OL</sub>	低电平输出电压	-	-	-	0.1 V <sub>BAT</sub>	V
I <sub>DRV</sub>	I/O 输出驱动强度	-	5	-	20	mA
R <sub>PU</sub>	弱上拉电阻	-	-	48	-	kΩ
R <sub>PD</sub>	弱下拉电阻	-	-	48	-	kΩ

## 5.5 数字 LDO

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
VDDAON	AON/数字 LDO 输出电压	0.5	0.9	1.0	V
负载电流	-	-	-	50	mA

## 5.6 26 MHz 晶体特性

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
F <sub>0</sub>	标称频率	-	-	26	-	MHz
ΔF/F <sub>0</sub>	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



符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
CL	负载电容	-	7	7.3	9	pF
TS	敏感度	-40 至 105 °C 晶体	-	32	-	ppm/pF
		-30 至 85 °C 晶体	-	17	-	ppm/pF

## 5.7 功耗

除非另有说明，否则测试条件为  $T = 25\text{ °C}$ ， $V_{BAT} = 3.0\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>Active 模式</b>					
RX 电流	11 Mbps DSSS	-	40	-	mA
	54 Mbps OFDM	-	42	-	mA
	MCS7, HT20	-	42	-	mA
TX 电流	11 Mbps DSSS @ 17 dBm	-	270	-	mA
	54 Mbps OFDM @ 15 dBm	-	230	-	mA
	MCS7, HT20 @ 14 dBm	-	220	-	mA
<b>睡眠模式</b>					
正常睡眠	-	-	1	-	mA
低电压睡眠	-	-	90	-	$\mu\text{A}$
深度睡眠	-	-	10	-	$\mu\text{A}$
<b>关机模式</b>					
关机	-	-	0.5	-	$\mu\text{A}$

## 5.8 Wi-Fi 接收器射频特性

除非另有说明，否则测试条件为  $T = 25\text{ °C}$ ， $V_{BAT} = 3.0\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>一般</b>					
工作频率范围	-	2412	-	2484	MHz



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>灵敏度</b>					
灵敏度-IEEE 802.11b (1024 字节的 PSDU, 8% PER)	1 Mbps DSSS	-	-99	-	dBm
	2 Mbps DSSS	-	-96	-	dBm
	5.5 Mbps DSSS	-	-94	-	dBm
	11 Mbps DSSS	-	-90	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11g (1000 字节的 PSDU, 10% PER)	6 Mbps OFDM	-	-92	-	dBm
	9 Mbps OFDM	-	-92	-	dBm
	12 Mbps OFDM	-	-91	-	dBm
	18 Mbps OFDM	-	-89	-	dBm
	24 Mbps OFDM	-	-86	-	dBm
	36 Mbps OFDM	-	-82	-	dBm
	48 Mbps OFDM	-	-78	-	dBm
	54 Mbps OFDM	-	-76	-	dBm
灵敏度-IEEE 802.11n, 20 MHz (4096 字节的 PSDU, 10% PER)	MCS0	-	-92	-	dBm
	MCS1	-	-90	-	dBm
	MCS2	-	-87	-	dBm
	MCS3	-	-84	-	dBm
	MCS4	-	-81	-	dBm
	MCS5	-	-77	-	dBm
	MCS6	-	-75	-	dBm
	MCS7	-	-74	-	dBm
<b>最大接收电平</b>					
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)	-	-	5	dBm



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
	11n: MCS0-7 (10% PER, 4096 字节)	-	-	2	dBm	
<b>邻道抑制</b>						
邻道 ( $\pm 30$ 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	-	51	-	dB
	2 Mbps DSSS	-74 dBm	-	48	-	dB
邻道 ( $\pm 25$ 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	-	42	-	dB
	11 Mbps DSSS	-70 dBm	-	37	-	dB
邻道 ( $\pm 25$ 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	-	42	-	dB
	54 Mbps OFDM	-62 dBm	-	30	-	dB
邻道 ( $\pm 25$ 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)	MCS0	-79 dBm	-	42	-	dB
	MCS7	-61 dBm	-	24	-	dB
<b>杂散发射</b>						
杂散发射	< 1 GHz	-	-	-60	-	dBm
	> 1 GHz	-	-	-60	-	dBm

## 5.9 Wi-Fi 发射器射频特性

除非另有说明，否则测试条件为  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BAT} = 3.0\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>一般</b>					
工作频率范围	-	2412	-	2484	MHz



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
<b>发射功率</b>						
发射功率-IEEE 802.11b (SEM 符合标准要求)	1 Mbps DSSS	-	19	-	dBm	
	11 Mbps DSSS	-	19	-	dBm	
发射功率-IEEE 802.11g (EVM 符合标准要求)	6 Mbps OFDM	-	20	-	dBm	
	54 Mbps OFDM	-	17	-	dBm	
发射功率-IEEE 802.11n (EVM 符合标准要求)	MCS0	-	19	-	dBm	
	MCS7	-	16	-	dBm	
<b>谐波电平</b>						
谐波电平 (最大输出功率)	4.8-5.0 GHz	二次谐波	-	-	-45	dBm
	7.2-7.5 GHz	三次谐波	-	-	-50	dBm
<b>杂散发射</b>						
杂散发射 (最大输出功率)	< 1 GHz		-	-	-50	dBm
	> 1 GHz		-	-	-43	dBm

## 5.10 蓝牙低功耗接收器射频特性

除非另有说明，否则测试条件为  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BAT} = 3.0\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
<b>一般</b>					
工作频率范围	-	2402	-	2480	MHz
<b>LE 1 Mbps</b>					
灵敏度	30.8% PER	-	-98	-	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	-	-	-1	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
C/I 3 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
C/I -3 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I > 3 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I < -3 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
带外阻塞	30–2000 MHz	-	-27	-	dBm
	2003–2399 MHz	-	-33	-	dBm
	2484–2997 MHz	-	-32	-	dBm
	3000 MHz–12.75 GHz	-	-10	-	dBm
互调	-	-	-38	-	dBm
<b>LE 2 Mbps</b>					
灵敏度	30.8% PER	-	-95	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	0	-	-	dBm
C/I 共信道	-	-	8	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	0	-	dB
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-2	-	dB
C/I 4 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I -4 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I 6 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I -6 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
C/I > 6 MHz 邻道	-	-	-30	-	dB
C/I < -6 MHz 邻道	-	-	-29	-	dB
带外阻塞	30–2000 MHz	-	-28	-	dBm
	2003–2399 MHz	-	-33	-	dBm
	2484–2997 MHz	-	-29	-	dBm
	3000 MHz–12.75 GHz	-	-5	-	dBm



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
互调	-	-	-38	-	dBm
<b>LE 125 kbps</b>					
灵敏度	30.8% PER	-	-104	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	0	-	-	dBm
C/I 共信道	-	-	1	-	dB
C/I 1 MHz 邻道	-	-	-3	-	dB
C/I -1 MHz 邻道	-	-	-4	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	-31	-	dB
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-34	-	dB
C/I 3 MHz 邻道	-	-	-34	-	dB
C/I -3 MHz 邻道	-	-	-41	-	dB
C/I > 3 MHz 邻道	-	-	-41	-	dB
C/I < -3 MHz 邻道	-	-	-41	-	dB
<b>LE 500 kbps</b>					
灵敏度	30.8% PER	-	-101	-	dBm
最大输入电平	30.8% PER	0	-	-	dBm
C/I 共信道	-	-	4	-	dB
C/I 1 MHz 邻道	-	-	-2	-	dB
C/I -1 MHz 邻道	-	-	-3	-	dB
C/I 2 MHz 邻道	-	-	-31	-	dB
C/I -2 MHz 邻道	-	-	-33	-	dB
C/I 3 MHz 邻道	-	-	-32	-	dB
C/I -3 MHz 邻道	-	-	-34	-	dB
C/I > 3 MHz 邻道	-	-	-34	-	dB
C/I < -3 MHz 邻道	-	-	-34	-	dB



## 5.11 蓝牙低功耗发射器射频特性

除非另有说明，否则测试条件为  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BAT} = 3.0\text{ V}$ 。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
<b>一般</b>						
工作频率范围	-	2402	-	2480	MHz	
发射功率	-	6	8	10	dBm	
<b>LE 1 Mbps</b>						
带内发射	$\pm 2\text{ MHz}$ 偏移	-	-	-49	-	dBm
	$\pm 3\text{ MHz}$ 偏移	-	-	-50	-	dBm
	$> \pm 3\text{ MHz}$ 偏移	-	-	-51	-	dBm
调制特性	$\Delta f_{1\text{avg}}$	-	-	262	-	kHz
	$\Delta f_{2\text{max}}$	-	-	250	-	kHz
	$\Delta f_{2\text{avg}}/\Delta f_{1\text{avg}}$	-	-	0.9	-	-
载波频率偏移和漂移	$ f_n _{n=0,1,2,3\dots k}$ 最大值	-	-	8	-	kHz
	$ f_0 - f_n _{n=2,3,4\dots k}$ 最大值	-	-	1.5	-	kHz
	$ f_1 - f_0 $	-	-	0.5	-	kHz
	$ f_n - f_{n-5} _{n=6,7,8\dots k}$ 最大值	-	-	1.3	-	kHz/50 $\mu\text{s}$
<b>LE 2 Mbps</b>						
带内发射	$\pm 4\text{ MHz}$ 偏移	-	-	-52	-	dBm
	$\pm 5\text{ MHz}$ 偏移	-	-	-52	-	dBm
	$> \pm 5\text{ MHz}$ 偏移	-	-	-53	-	dBm
调制特性	$\Delta f_{1\text{avg}}$	-	-	522	-	kHz
	$\Delta f_{2\text{max}}$	-	-	502	-	kHz
	$\Delta f_{2\text{avg}}/\Delta f_{1\text{avg}}$	-	-	0.9	-	-
载波频率偏移和漂移	$ f_n _{n=0,1,2,3\dots k}$ 最大值	-	-	10	-	kHz
	$ f_0 - f_n _{n=2,3,4\dots k}$ 最大值	-	-	1.2	-	kHz



参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	$ f_1 - f_0 $	-	0.5	-	kHz
	$ f_n - f_{n-5} _{n=6,7,8\dots k}$ 最大值	-	0.9	-	kHz/50 $\mu$ s
<b>LE 125 kbps</b>					
带内发射	$\pm 2$ MHz 偏移	-	-49	-	dBm
	$\pm 3$ MHz 偏移	-	-50	-	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	-	-50	-	dBm
调制特性	$\Delta f_{lavg}$	-	261	-	kHz
	$\Delta f_{lmax}$	-	245	-	kHz
载波频率偏移和漂移	$ f_n _{n=0,1,2,3\dots k}$ 最大值	-	10	-	kHz
	$ f_0 - f_n _{n=1,2,3\dots k}$ 最大值	-	1	-	kHz
	$ f_0 - f_3 $	-	1	-	kHz
	$ f_n - f_{n-3} _{n=7,8,9\dots k}$	-	1	-	kHz/48 $\mu$ s
<b>LE 500 kbps</b>					
带内发射	$\pm 2$ MHz 偏移	-	-47	-	dBm
	$\pm 3$ MHz 偏移	-	-48	-	dBm
	$> \pm 3$ MHz 偏移	-	-50	-	dBm

## 5.12 AUX ADC 特性

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
转换时钟	-	-	-	1.86	MHz
转换时间	-	14	-	-	周期
$V_{REF}$	内部	0.8	1.8	-	V
	外部	-	V <sub>BAT</sub> /2	-	V
输入电压范围	-	0	-	$V_{REF} * 2$	V
输入阻抗	-	100	-	-	M $\Omega$



## 电气特性

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电容 (Cs)	-	-	1	-	pF
DNL	-	-1	-	0.5	LSB
INL	-	-2	-	2	LSB
ENOB	-	-	9.2	-	位
SNDR	-	-	57	-	dB
SFDR	-	-	61.4	-	dB
T <sub>STARTUP</sub>	-	-	5	-	μs
功耗	-	-	200	-	μA

## 6. 封装信息

### 6.1 QFN32 4 x 4 mm 封装

图 6-1 QFN32 4 x 4 mm 封装外形

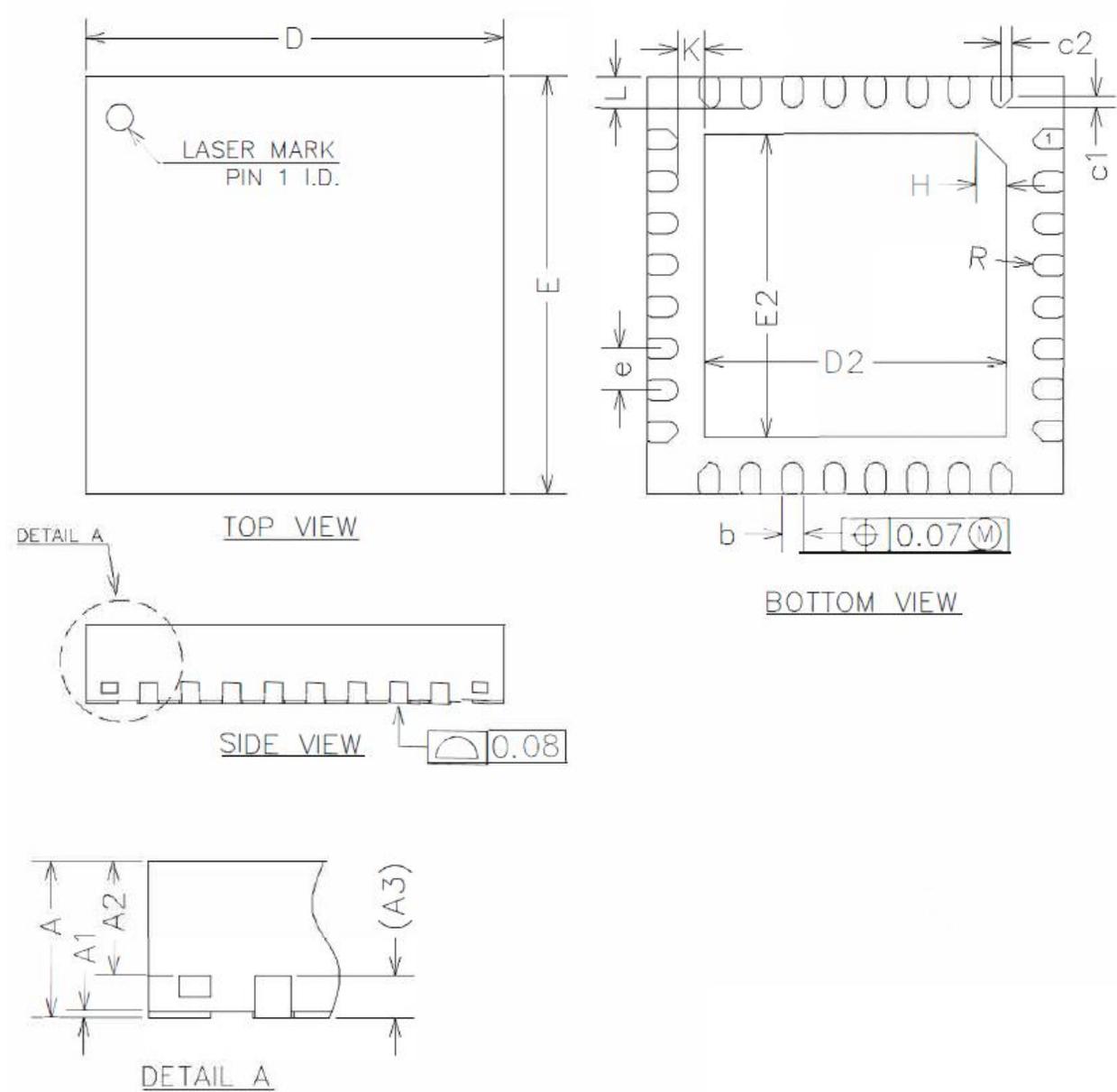




表 6-1 QFN32 封装尺寸

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	0.50	0.55	0.60
A3	0.20 REF		
b	0.15	0.20	0.25
D	3.90	4.00	4.10
E	3.90	4.00	4.10
D2	2.80	2.90	3.00
E2	2.80	2.90	3.00
e	0.30	0.40	0.50
H	0.30 REF		
K	0.25 REF		
L	0.25	0.30	0.35
R	0.09	-	-
c1	-	0.10	-
c2	-	0.10	-

## 6.2 QFN20 3 x 3 mm 封装

图 6-2 QFN20 3 x 3 mm 封装外形

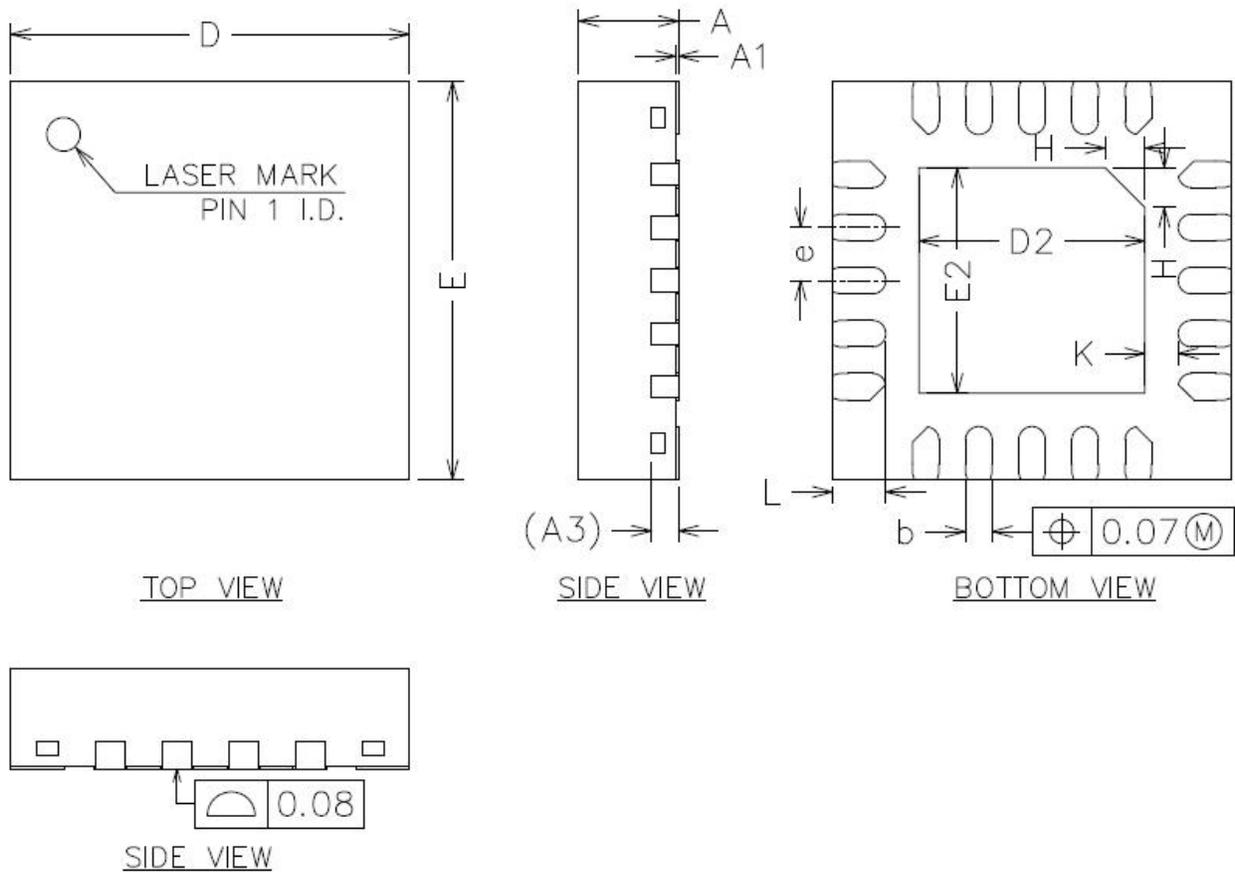


表 6-2 QFN20 封装尺寸

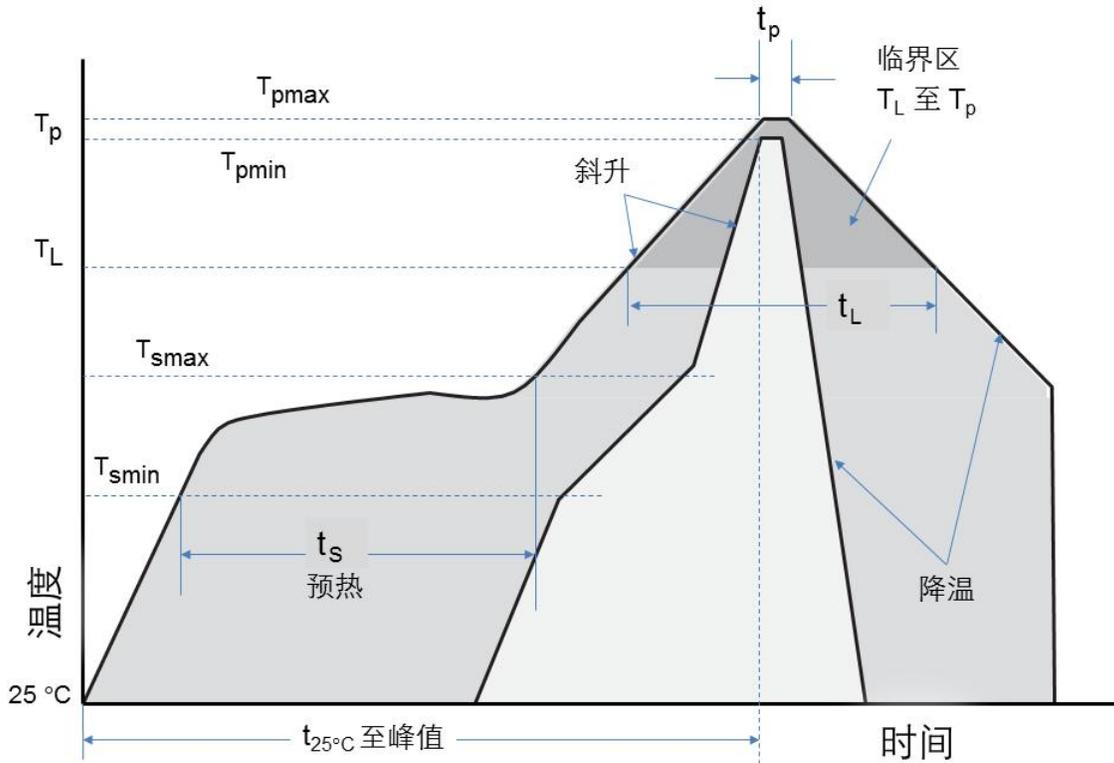
符号	尺寸 (毫米)		
	最小值	标称值	最大值
A	0.70	0.75	0.80
A1	0.00	0.02	0.05
A3	0.20 REF		
b	0.15	0.20	0.25
D	2.95	3.00	3.05
E	2.95	3.00	3.05



符号	尺寸 (毫米)		
	最小值	标称值	最大值
D2	1.65	1.70	1.75
E2	1.65	1.70	1.75
e	0.30	0.40	0.50
H	0.30 REF		
K	0.15	-	-
L	0.35	0.40	0.45

## 7. 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。

## 8. 订购信息

图 8-1 型号命名

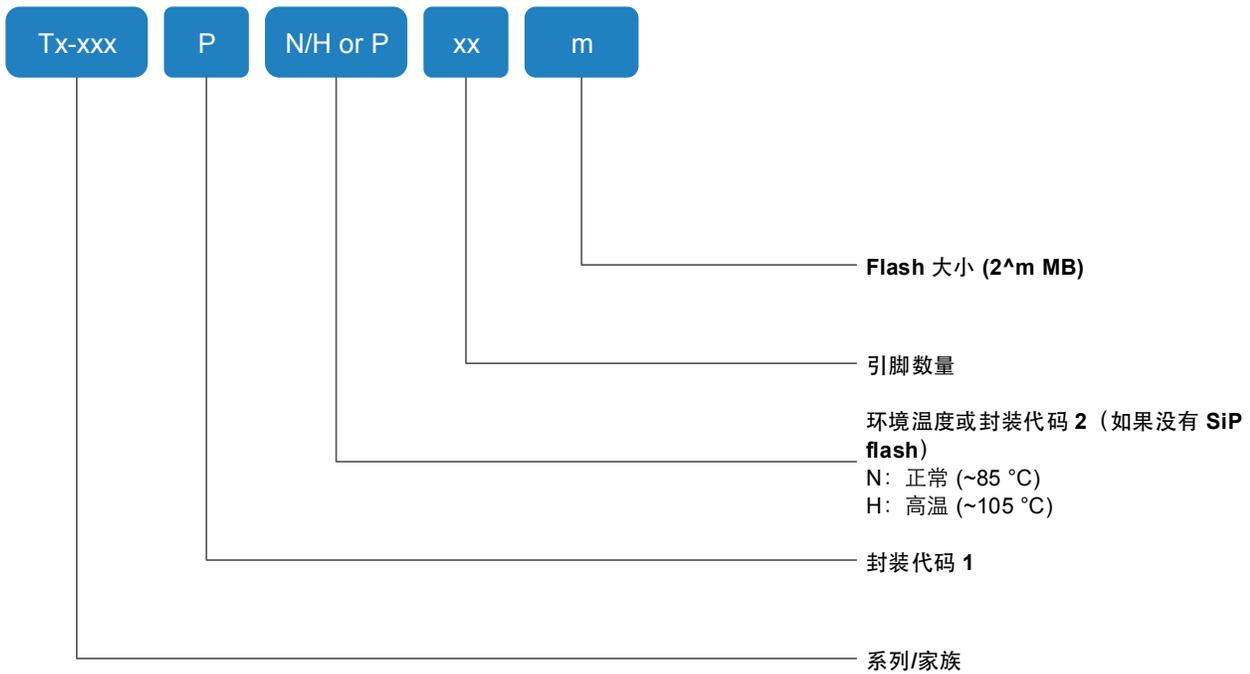


表 8-1 订购信息

订购型号	封装	SiP <sup>a</sup> flash	环境温度	包装	最小订购量 (MOQ)
T1-CHLQH321	4 mm x 4 mm QFN32	2 MB	-40 至 +105 °C	卷带	3000
T1-AHLQH201	3 mm x 3 mm QFN20	2 MB	-40 至 +105 °C	卷带	6000

a. SiP flash 是指封装在芯片内部的 flash。



## 修订历史

版本	日期	发布说明
1.0	2024/6/25	首次发布

