
TG8000H 数据手册

DS-TG8000H-C01 V1.0

2024/6/21

目录

目录.....	2
1. 特性.....	5
2. 概述.....	9
3. 引脚描述.....	10
3.1 QFN88 引脚描述.....	10
3.2 引脚复用.....	25
4. 功能描述.....	30
4.1 Wi-Fi/蓝牙收发器.....	30
4.2 蓝牙/Wi-Fi 共存.....	30
4.3 时钟管理.....	30
4.4 复位.....	31
4.5 电源管理.....	31
4.5.1 电源方案.....	31
4.5.2 功耗模式.....	35
4.6 通用 I/O (GPIO).....	35
4.7 SPI 接口 (SPI).....	36
4.8 QSPI 接口 (QSPI).....	36
4.9 UART 接口 (UART).....	36
4.10 智能卡控制器 (SC).....	37
4.11 SDIO 接口 (SDIO).....	37
4.12 I2C 接口 (I2C).....	38
4.13 USB 控制器 (USB).....	38
4.14 CAN 控制器 (CAN).....	39
4.15 LIN 控制器 (LIN).....	39
4.16 GDMA 控制器 (GDMA).....	39

4.17	DMA2D 控制器 (DMA2D)	40
4.18	旋转模块 (ROTT)	41
4.19	缩放模块 (SCALE)	41
4.20	显示控制器 (DISPLAY)	41
4.21	段式 LCD 控制器 (SLCD)	42
4.22	JPEG 编码器/解码器	42
4.23	CMOS 图像传感器接口 (CIS)	42
4.24	H.264 编码器 (H.264)	43
4.25	以太网 MAC 接口 (ENET)	43
4.26	PWM 组 (PWMG)	44
4.27	I2S 接口 (I2S)	46
4.28	音频外设	46
4.28.1	4 段数字均衡器	47
4.28.2	音频 ADC 和 DAC	47
4.28.3	麦克风输入放大器和偏置发生器	47
4.28.4	音频放大器	47
4.28.5	数字麦克风接口 (DMIC)	47
4.29	辅助 ADC (AUX ADC)	47
4.30	定时器组 (TIMG)	48
4.31	看门狗定时器 (WDT)	48
4.32	实时计数器 (RTC)	48
4.33	红外接口 (IrDA)	49
4.34	温度传感器	49
4.35	触摸传感器 (TOUCH)	49
5.	电气特性	50
5.1	绝对最大额定值	50
5.2	ESD 额定值	51
5.3	推荐工作条件	51
5.4	数字 I/O 特性	52
5.5	IO LDO	52

5.6	模拟 LDO.....	52
5.7	数字 LDO.....	53
5.8	数字核心 LDO.....	53
5.9	模拟 buck.....	53
5.10	数字 buck.....	53
5.11	26 MHz 晶体特性.....	54
5.12	功耗.....	54
5.13	WLAN 射频接收器特性.....	55
5.14	WLAN 射频发射器特性.....	58
5.15	蓝牙低功耗射频接收器特性.....	59
5.16	蓝牙低功耗射频发射器特性.....	62
5.17	音频特性.....	63
5.18	AUX ADC 特性.....	64
6.	封装信息.....	65
7.	回流焊曲线.....	67
8.	订购信息.....	69
	修订历史.....	70

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 and RX Low-Density Parity Check (LDPC) support for extended range 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
- 集成蓝牙/Wi-Fi 共存 (PTA)
- 发射功率高达 +20 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 480 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

- 8 MB SiP flash
- 8 MB SiP PSRAM
- 640 KB 共享 SRAM
- 64 KB ROM
- eFuse

时钟管理

- 外部振荡器: 26 MHz 晶体振荡器 (XTALH), 32 kHz (32.768 kHz) 晶体振荡器 (XTALL)
- 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

- 56 个 GPIO
- 2 个 SPI
- 2 个 QSPI
- 3 个 UART, 1 个支持硬件流控制和 flash 下载
- 1 个智能卡控制器
- 1 个 SDIO
- 2 个 I2C
- 1 个高速 USB2.0 (HS)

- 1 个 CAN 控制器，支持 CAN FD
- 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
- 1 个 DMA2D 控制器
- 1 个旋转模块
- 2 个缩放模块
- 1 个显示控制器，支持 RGB 和 8080 接口
- 1 个段式 LCD 控制器，最多可支持 8 x 28 段
- 1 个 JPEG 硬件编码器
- 1 个 JPEG 硬件解码器
- 1 个 8 位 CIS DVP 接口
- 1 个 720p H.264 视频编码器
- 1 个以太网 MAC 接口
- 12 个 32 位 PWM 通道
- 3 个 I2S
- 1 个 4 段数字硬件均衡器
- 2 个音频 ADC
- 1 个音频 DAC
- 1 个 DMIC
- 1 个 SBC 加速器
- 12 位 AUX ADC，多至 11 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 16 个触摸传感 I/O

封装

- QFN88 封装，9 x 9 mm
- 工作温度范围：-40 至 +85 °C

应用

- HMI（人机界面）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

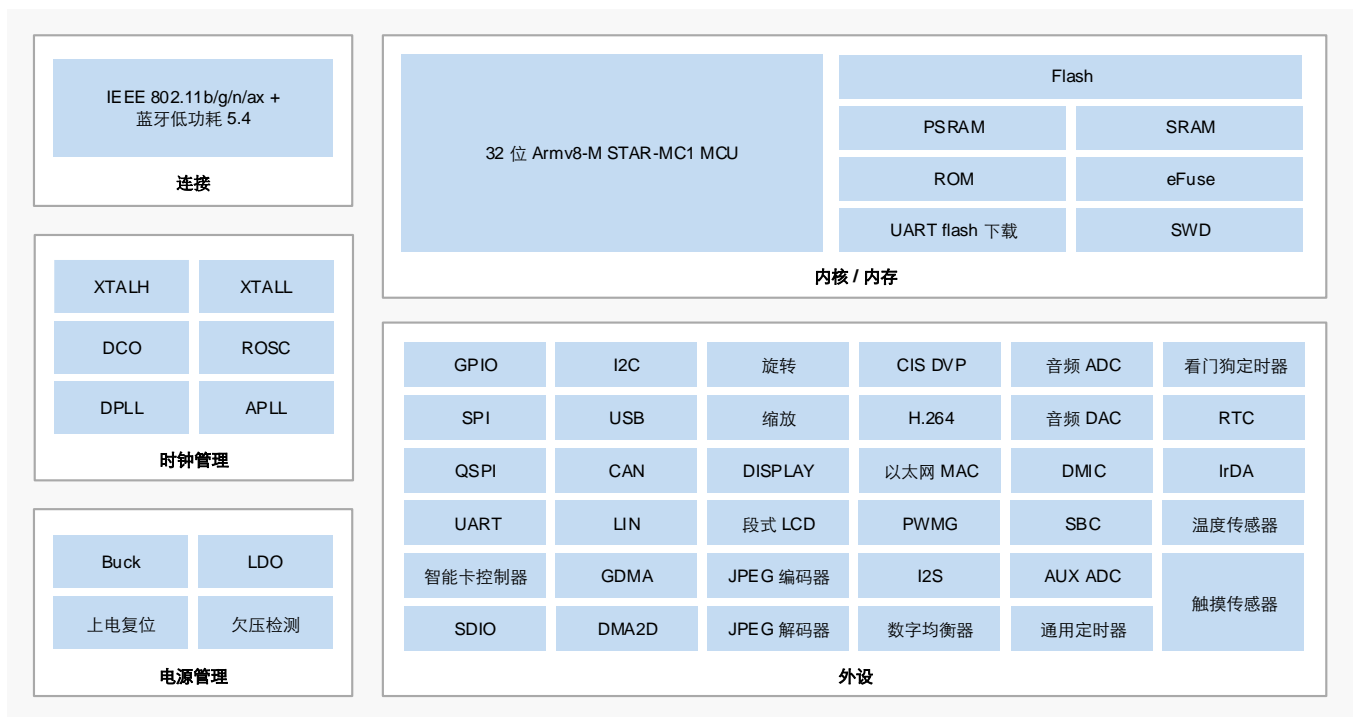
2. 概述

TG8000H 是一款高度集成的 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，专为需要丰富资源和低功耗的应用而设计。TG8000H 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。

TG8000H 采用先进的设计技术和超低功耗工艺技术，为 IP 摄像头、HMI 应用、智能门锁和其他高级 IoT 应用提供高集成度和最低功耗。

图 2-1 显示了 TG8000H 的总体框图。

图 2-1 TG8000H 框图



3. 引脚描述

TG8000H 采用 9 x 9 mm、88 引脚 QFN 封装提供 Wi-Fi 和蓝牙低功耗功能。

3.1 QFN88 引脚描述

图 3-1 显示了 QFN88 封装的引脚分配。

图 3-1 QFN88 引脚分配

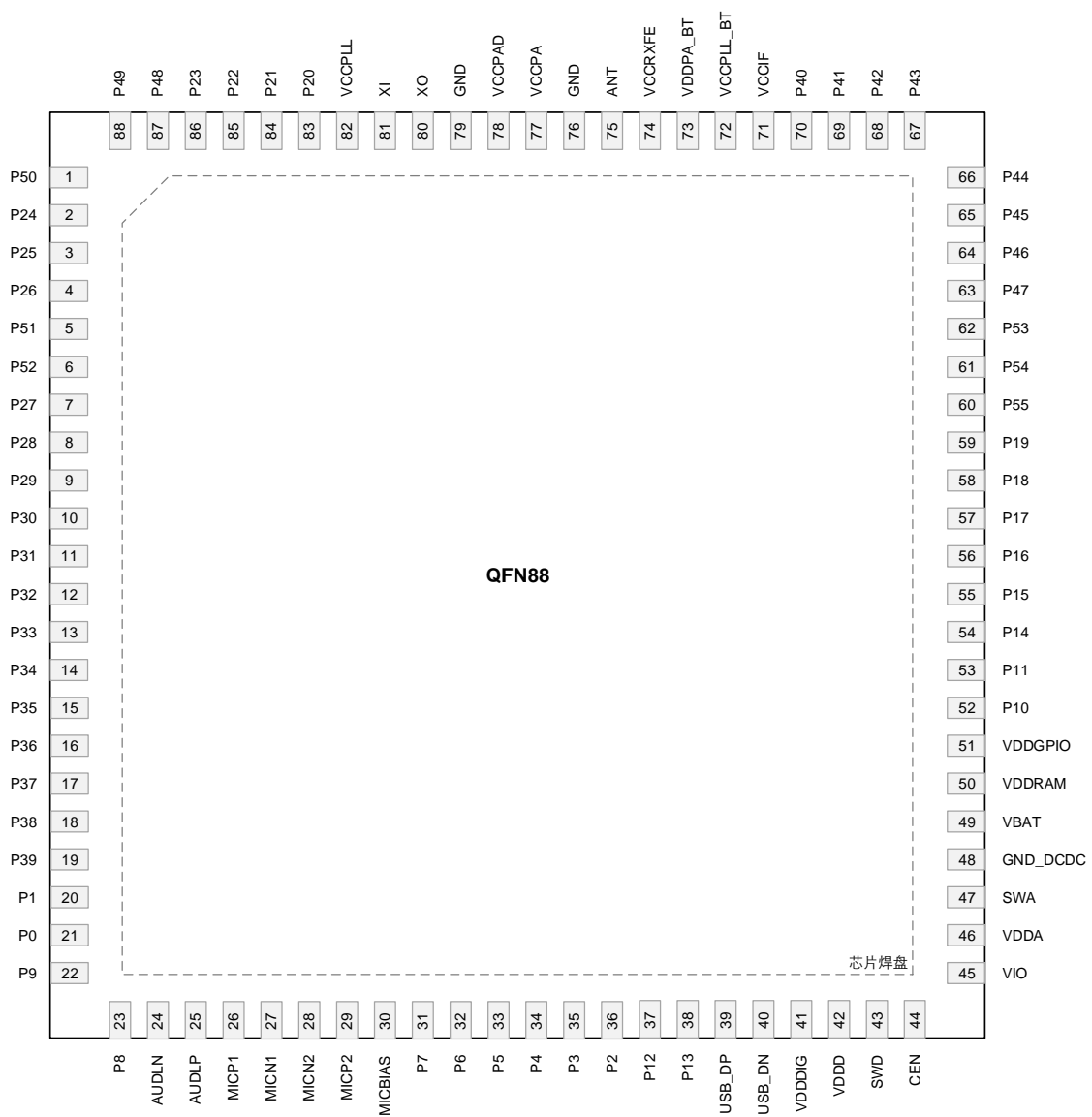


表 3-1 显示了 QFN88 封装的引脚描述。

表 3-1 QFN88 引脚描述

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
1	P50	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO50: 通用 I/O ENET_RXD1: 接收数据 RGB_R0: 红色数据
2	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 QSPI0_IO0: 数据 RGB_G7: 绿色数据 I8080_RSX: 数据/命令选择 SEG6: 段
3	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 QSPI0_IO1: 数据 RGB_G6: 绿色数据 I8080_WRX: 写使能 SEG5: 段
4	P26	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO26: 通用 I/O WIFI_TX_EN: Wi-Fi 发送使能 QSPI0_IO2: 数据 RGB_G5: 绿色数据 I8080_RDX: 读使能 SEG4: 段
5	P51	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO51: 通用 I/O ENET_RXDV: 接收数据有效

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> RGB_G1: 绿色数据
6	P52	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO52: 通用 I/O ENET_TXD0: 发送数据 RGB_G0: 绿色数据
7	P27	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO27: 通用 I/O CIS_MCLK: 主时钟 CLK_AUXS_CIS: CIS 主时钟 (源自 DCO/APLL/CLK_320M/ CLK_480M) ENET_PHY_INT: PHY 中断 QSPI0_IO3: 数据 SEG17: 段
8	P28	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO28: 通用 I/O WIFI_RX_EN: Wi-Fi 接收使能 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) SEG18: 段
9	P29	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO29: 通用 I/O CIS_PCLK: 像素时钟 ENET_MDC: 管理数据时钟 TOUCH3: 触摸传感 I/O SEG19: 段
10	P30	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO30: 通用 I/O CIS_HSYNC: 水平同步 UART2_RX: 接收数据输入 LIN_RXD: 接收数据输入 TOUCH4: 触摸传感 I/O SC_CLK: 时钟 SEG20: 段

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
11	P31	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO31: 通用 I/O CIS_VSYNC: 垂直同步 UART2_TX: 发送数据输出 LIN_TXD: 发送数据输出 TOUCH5: 触摸传感 I/O SC_IO: 数据输入/输出 SEG21: 段
12	P32	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO32: 通用 I/O CIS_PXD0: 数据 PWMG1_PWM0: PWMG1 通道 PWM0 ENET_MDIO: 管理数据 TOUCH6: 触摸传感 I/O SC_RSTN: 复位 SEG22: 段
13	P33	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO33: 通用 I/O CIS_PXD1: 数据 PWMG1_PWM1: PWMG1 通道 PWM1 ENET_RXD0: 接收数据 TOUCH7: 触摸传感 I/O SPI0_SCK: 串行时钟 SEG23: 段
14	P34	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO34: 通用 I/O CIS_PXD2: 数据 PWMG1_PWM2: PWMG1 通道 PWM2 ENET_RXD1: 接收数据 TOUCH8: 触摸传感 I/O SPI0_CSN: 片选 SEG24: 段
15	P35	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO35: 通用 I/O

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> • CIS_PXD3: 数据 • PWMG1_PWM3: PWMG1 通道 PWM3 • ENET_RXDV: 接收数据有效 • TOUCH9: 触摸传感 I/O • SPI0_MOSI: 主输出/从输入 • SEG25: 段
16	P36	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO36: 通用 I/O • CIS_PXD4: 数据 • PWMG1_PWM4: PWMG1 通道 PWM4 • ENET_TXD0: 发送数据 • TOUCH10: 触摸传感 I/O • SPI0_MISO: 主输入/从输出 • SEG26: 段
17	P37	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO37: 通用 I/O • CIS_PXD5: 数据 • PWMG1_PWM5: PWMG1 通道 PWM5 • ENET_TXD1: 发送数据 • TOUCH11: 触摸传感 I/O • SEG27: 段
18	P38	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO38: 通用 I/O • CIS_PXD6: 数据 • I2C1_SCL: 串行时钟 • ENET_TXEN: 发送数据使能 • TOUCH12: 触摸传感 I/O • COM4: 共模 • SEG28: 段
19	P39	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO39: 通用 I/O • CIS_PXD7: 数据 • I2C1_SDA: 串行数据

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> ENET_REF_CLK: RX 数据传输的参考时序 TOUCH13: 触摸传感 I/O COM5: 共模 SEG29: 段
20	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 SC_CLK: 时钟 ADC13: 模拟输入通道 LIN_RXD: 接收数据输入
21	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 SC_IO: 数据输入/输出 ADC12: 模拟输入通道 LIN_TXD: 发送数据输出
22	P9	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO9: 通用 I/O BT_PRIORITY: BT 优先级 PWMG0_PWM3: PWMG0 通道 PWM3 I2S0_DOUT: 串行数据输出 DMIC_DAT: 数据 32K_XI: 32.768 kHz 晶体输入
23	P8	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO8: 通用 I/O BT_ACTIVE: BT 活动 PWMG0_PWM2: PWMG0 通道 PWM2 I2S0_DIN: 串行数据输入 DMIC_CLK: 时钟

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> ADC10: 模拟输入通道 32K_XO: 32.768 kHz 晶体输出
24	AUDLN	-	模拟输出	音频左声道负输出
25	AUDLP	-	模拟输出	音频左声道正输出
26	MICP1	-	模拟输入	麦克风 1 正输入
27	MICN1	-	模拟输入	麦克风 1 负输入
28	MICN2	-	模拟输入	麦克风 2 负输入
29	MICP2	-	模拟输入	麦克风 2 正输入
30	MICBIAS	-	模拟输出	麦克风偏置输出
31	P7	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO7: 通用 I/O WIFI_ACTIVE: Wi-Fi 活动 PWMG0_PWM1: PWMG0 通道 PWM1 I2S0_SYNC: 帧同步 QSPI1_IO3: 数据
32	P6	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO6: 通用 I/O CLK13M: 26 MHz 时钟输出 (1/2/4/8 分频) PWMG0_PWM0: PWMG0 通道 PWM0 I2S0_SCK: 串行时钟 QSPI1_IO2: 数据
33	P5	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO5: 通用 I/O SPI1_MISO: 主输入/从输出 SDIO_DATA1: 数据 COM7: 共模 QSPI1_IO1: 数据 SEG31: 段
34	P4	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO4: 通用 I/O SPI1_MOSI: 主输出/从输入

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> SDIO_DATA0: 数据 COM6: 共模 QSPI1_IO0: 数据 SEG30: 段
35	P3	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO3: 通用 I/O SPI1_CSN: 片选 SDIO_CMD: 命令/响应 SC_VCC: 智能卡电源 QSPI1_CS: 片选
36	P2	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO2: 通用 I/O SPI1_SCK: 串行时钟 SDIO_CLK: 时钟 SC_RSTN: 复位 LIN_SLEEP: 收发器睡眠模式 (低电平有效) QSPI1_SCK: 串行时钟
37	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 TOUCH0: 触摸传感 I/O ADC14: 模拟输入通道
38	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
39	USB_DP	I/O	数字	USB D+
40	USB_DN	I/O	数字	USB D-
41	VDDDIG	-	模拟输出	数字核心 LDO 输出
42	VDDD	-	模拟输出	数字 buck/LDO 输出
43	SWD	-	模拟输出	数字 buck 开关输出
44	CEN	-	模拟输入	芯片使能, 高电平有效

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
45	VIO	-	模拟输出	IO LDO 输出
46	VDDA	-	模拟输出	模拟 buck/LDO 输出
47	SWA	-	模拟输出	模拟 buck 开关输出
48	GND_DCDC	-	GND	buck 接地
49	VBAT	-	电源	芯片电源
50	VDDRAM	-	模拟输出	PSRAM LDO 输出
51	VDDGPIO	-	模拟输出	GPIO 电源
52	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)
53	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
54	P14	I/O	数字/模拟	<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 RGB_DCLK: 时钟输出 I8080_D15: 数据 SEG16: 段
55	P15	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO15: 通用 I/O SDIO_CMD: 命令/响应 SPI0_CSN: 片选

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> • BT_ANT1: 蓝牙天线选择 • I2C1_SDA: 串行数据 • RGB_DISP: 显示器开关使能 • I8080_D14: 数据 • SEG15: 段
56	P16	I/O	数字/模拟	<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 • RGB_DE: 数据使能 • I8080_D13: 数据 • SEG14: 段
57	P17	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO17: 通用 I/O • SDIO_DATA1: 数据 • SPI0_MISO: 主输入/从输出 • BT_ANT3: 蓝牙天线选择 • RGB_HSYNC: 水平同步 • I8080_D12: 数据 • SEG13: 段
58	P18	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO18: 通用 I/O • SDIO_DATA2: 数据 • PWMG0_PWM0: PWMG0 通道 PWM0 • RGB_VSYNC: 垂直同步 • I8080_D11: 数据 • SEG12: 段
59	P19	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO19: 通用 I/O • SDIO_DATA3: 数据 • PWMG0_PWM1: PWMG0 通道 PWM1 • RGB_R7: 红色数据 • I8080_D10: 数据

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> SEG11: 段
60	P55	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO55: 通用 I/O ENET_REF_CLK: RX 数据传输的参考时序 RGB_B0: 蓝色数据
61	P54	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO54: 通用 I/O ENET_TXEN: 发送数据使能 RGB_B1: 蓝色数据
62	P53	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> GPIO53: 通用 I/O ENET_TXD1: 发送数据 RGB_B2: 蓝色数据
63	P47	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO47: 通用 I/O SPI0_MISO: 主输入/从输出 ENET_MDC: 管理数据时钟 TOUCH15: 触摸传感 I/O RGB_B3: 蓝色数据 I8080_D0: 数据 COM0: 共模 I2S2_DOUT: 串行数据输出
64	P46	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO46: 通用 I/O CAN_STBY: 收发器待机模式 (高电平有效) SPI0_MOSI: 主输出/从输入 ENET_PHY_INT: PHY 中断 TOUCH14: 触摸传感 I/O RGB_B4: 蓝色数据 I8080_D1: 数据 COM1: 共模 I2S2_DIN: 串行数据输入
65	P45	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO45: 通用 I/O CAN_RX: 接收

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> • SPI0_CSN: 片选 • RGB_B5: 蓝色数据 • I8080_D2: 数据 • COM2: 共模 • I2S2_SYNC: 帧同步
66	P44	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO44: 通用 I/O • CAN_TX: 发送 • SPI0_SCK: 串行时钟 • RGB_B6: 蓝色数据 • I8080_D3: 数据 • COM3: 共模 • I2S2_SCK: 串行时钟
67	P43	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO43: 通用 I/O • I2C1_SDA: 串行数据 • I2S1_DOUT: 串行数据输出 • SC_VCC: 智能卡电源 • RGB_B7: 蓝色数据 • I8080_D4: 数据 • SEG0: 段
68	P42	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO42: 通用 I/O • I2C1_SCL: 串行时钟 • I2S1_DIN: 串行数据输入 • LIN_SLEEP: 收发器睡眠模式 (低电平有效) • SC_RSTN: 复位 • RGB_G2: 绿色数据 • I8080_D5: 数据 • SEG1: 段
69	P41	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO41: 通用 I/O • UART2_TX: 发送数据输出 • I2S1_SYNC: 帧同步

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> LIN_TXD: 发送数据输出 SC_IO: 数据输入/输出 RGB_G3: 绿色数据 I8080_D6: 数据 SEG2: 段
70	P40	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO40: 通用 I/O UART2_RX: 接收数据输入 I2S1_SCK: 串行时钟 LIN_RXD: 接收数据输入 SC_CLK: 时钟 RGB_G4: 绿色数据 I8080_D7: 数据 SEG3: 段
71	VCCIF	-	模拟输入	中频电源
72	VCCPLL_BT	-	模拟输入	蓝牙射频 PLL 电源
73	VDDPA_BT	-	模拟输出	蓝牙射频 PA LDO 输出
74	VCCRxFE	-	模拟输入	射频 RX 电源
75	ANT	-	射频	2.4 GHz 射频信号端口
76	GND	-	GND	接地
77	VCCPA	-	模拟输入	射频 PA 电源
78	VCCPAD	-	模拟输入	射频 PA 驱动电源
79	GND	-	GND	接地
80	XO	-	模拟输出	26 MHz 晶体输出
81	XI	-	模拟输入	26 MHz 晶体输入
82	VCCPLL	-	模拟输入	射频 PLL 电源
83	P20	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> GPIO20: 通用 I/O I2C0_SCL: 串行时钟 SWCLK: 串行线时钟

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none"> • RGB_R6: 红色数据 • I8080_D9: 数据 • SEG10: 段
84	P21	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO21: 通用 I/O • I2C0_SDA: 串行数据 • SWDIO: 串行线数据 • ADC6: 模拟输入通道 • RGB_R5: 红色数据 • I8080_D8: 数据 • SEG9: 段
85	P22	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO22: 通用 I/O • CLK26M: 26 MHz 时钟输出 • PWMG0_PWM2: PWMG0 通道 PWM2 • ADC5: 模拟输入通道 • QSPI0_SCK: 串行时钟 • RGB_R4: 红色数据 • I8080_CSX: 片选 • SEG8: 段
86	P23	I/O	数字/模拟	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO23: 通用 I/O • PWMG0_PWM3: PWMG0 通道 PWM3 • ADC3: 模拟输入通道 • QSPI0_CS: 片选 • RGB_R3: 红色数据 • I8080_RESET: 复位 • SEG7: 段
87	P48	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO48: 通用 I/O • ENET_MDIO: 管理数据 • RGB_R2: 红色数据 • I8080_D16: 数据
88	P49	I/O	数字	<ul style="list-style-type: none"> • GPIO49: 通用 I/O

引脚 #	名称	I/O	类型	描述
				<ul style="list-style-type: none">• ENET_RXD0: 接收数据• RGB_R1: 红色数据• I8080_D17: 数据
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	AF7	AF8
	UART	UART1/SPI1/时钟 /PTA/UART0/SDIO /I2C0/IrDA/ Wi-Fi TX/RX 使能 /CIS DVP/UART2/ I2C1/CAN	I2C1/SDIO/ PWMG0/SPI0/ SWD/时钟/UART2/ PWMG1/I2S1	SWD/I2S0/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/ 以太网 MAC/LIN	智能卡/DMIC/ TOUCH/I2C1/ QSPI0	AUX ADC/LIN/段式 LCD/DISPLAY/时钟/ 智能卡/SPI0	LIN	QSPI1/32K/ 段式 LCD	段式 LCD/I2S2
GPIO0		UART1_TX	I2C1_SCL	SWCLK	SC_IO	ADC12	LIN_TXD		
GPIO1		UART1_RX	I2C1_SDA	SWDIO	SC_CLK	ADC13	LIN_RXD		
GPIO2		SPI1_SCK	SDIO_CLK		SC_RSTN	LIN_SLEEP		QSPI1_SCK	
GPIO3		SPI1_CSN	SDIO_CMD		SC_VCC			QSPI1_CS	
GPIO4		SPI1_MOSI	SDIO_DATA0			COM6		QSPI1_IO0	SEG30
GPIO5		SPI1_MISO	SDIO_DATA1			COM7		QSPI1_IO1	SEG31
GPIO6		CLK13M	PWMG0_PWM0	I2S0_SCK				QSPI1_IO2	
GPIO7		WIFI_ACTIVE	PWMG0_PWM1	I2S0_SYNC				QSPI1_IO3	
GPIO8		BT_ACTIVE	PWMG0_PWM2	I2S0_DIN	DMIC_CLK	ADC10		32K_XO	
GPIO9		BT_PRIORITY	PWMG0_PWM3	I2S0_DOUT	DMIC_DAT			32K_XI	

GPIO	Flash 下载	复用功能 (AF)							
		AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	AF7	AF8
	UART	UART1/SPI1/时钟 /PTA/UART0/SDIO /I2C0/IrDA/ Wi-Fi TX/RX 使能 /CIS DVP/UART2/ I2C1/CAN	I2C1/SDIO/ PWMG0/SPI0/ SWD/时钟/UART2/ PWMG1/I2S1	SWD/I2S0/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/ 以太网 MAC/LIN	智能卡/DMIC/ TOUCH/I2C1/ QSPI0	AUX ADC/LIN/段式 LCD/DISPLAY/时钟/ 智能卡/SPI0	LIN	QSPI1/32K/ 段式 LCD	段式 LCD/I2S2
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	RGB_DCLK/I8080_D15			SEG16
GPIO15		SDIO_CMD	SPI0_CSN	BT_ANT1	I2C1_SDA	RGB_DISP/I8080_D14			SEG15
GPIO16		SDIO_DATA0	SPI0_MOSI	BT_ANT2		RGB_DE/I8080_D13			SEG14
GPIO17		SDIO_DATA1	SPI0_MISO	BT_ANT3		RGB_HSYNC/I8080_D12			SEG13
GPIO18		SDIO_DATA2	PWMG0_PWM0			RGB_VSYNC/I8080_D11			SEG12
GPIO19		SDIO_DATA3	PWMG0_PWM1			RGB_R7/I8080_D10			SEG11
GPIO20		I2C0_SCL	SWCLK			RGB_R6/I8080_D9			SEG10
GPIO21		I2C0_SDA	SWDIO	ADC6		RGB_R5/I8080_D8			SEG9
GPIO22		CLK26M	PWMG0_PWM2	ADC5	QSPI0_SCK	RGB_R4/I8080_CSX			SEG8
GPIO23			PWMG0_PWM3	ADC3	QSPI0_CS	RGB_R3/I8080_RESET			SEG7
GPIO24		LPO_CLK	PWMG0_PWM4	ADC2	QSPI0_IO0	RGB_G7/I8080_RSX			SEG6

GPIO	Flash 下载	复用功能 (AF)							
		AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	AF7	AF8
	UART	UART1/SPI1/时钟 /PTA/UART0/SDIO /I2C0/IrDA/ Wi-Fi TX/RX 使能 /CIS DVP/UART2/ I2C1/CAN	I2C1/SDIO/ PWMG0/SPI0/ SWD/时钟/UART2/ PWMG1/I2S1	SWD/I2S0/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/ 以太网 MAC/LIN	智能卡/DMIC/ TOUCH/I2C1/ QSPI0	AUX ADC/LIN/段式 LCD/DISPLAY/时钟/ 智能卡/SPI0	LIN	QSPI1/32K/ 段式 LCD	段式 LCD/I2S2
GPIO25		IRDA	PWMG0_PWM5	ADC1	QSPI0_IO1	RGB_G6/I8080_WRX			SEG5
GPIO26		WIFI_TX_EN			QSPI0_IO2	RGB_G5/I8080_RDX			SEG4
GPIO27		CIS_MCLK	CLK_AUXS_CIS	ENET_PHY_INT	QSPI0_IO3				SEG17
GPIO28		WIFI_RX_EN	I2S_MCLK	ADC4	TOUCH2	CLK_AUXS_CIS			SEG18
GPIO29		CIS_PCLK		ENET_MDC	TOUCH3				SEG19
GPIO30		CIS_HSYNC	UART2_RX	LIN_RXD	TOUCH4	SC_CLK			SEG20
GPIO31		CIS_VSYNC	UART2_TX	LIN_TXD	TOUCH5	SC_IO			SEG21
GPIO32		CIS_PXD0	PWMG1_PWM0	ENET_MDIO	TOUCH6	SC_RSTN			SEG22
GPIO33		CIS_PXD1	PWMG1_PWM1	ENET_RXD0	TOUCH7	SPI0_SCK			SEG23
GPIO34		CIS_PXD2	PWMG1_PWM2	ENET_RXD1	TOUCH8	SPI0_CSN			SEG24
GPIO35		CIS_PXD3	PWMG1_PWM3	ENET_RXDV	TOUCH9	SPI0_MOSI			SEG25
GPIO36		CIS_PXD4	PWMG1_PWM4	ENET_TXD0	TOUCH10	SPI0_MISO			SEG26
GPIO37		CIS_PXD5	PWMG1_PWM5	ENET_TXD1	TOUCH11				SEG27
GPIO38		CIS_PXD6	I2C1_SCL	ENET_TXEN	TOUCH12			COM4	SEG28
GPIO39		CIS_PXD7	I2C1_SDA	ENET_REF_CLK	TOUCH13			COM5	SEG29

GPIO	Flash 下载	复用功能 (AF)							
		AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	AF7	AF8
	UART	UART1/SPI1/时钟 /PTA/UART0/SDIO /I2C0/IrDA/ Wi-Fi TX/RX 使能 /CIS DVP/UART2/ I2C1/CAN	I2C1/SDIO/ PWMG0/SPI0/ SWD/时钟/UART2/ PWMG1/I2S1	SWD/I2S0/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/ 以太网 MAC/LIN	智能卡/DMIC/ TOUCH/I2C1/ QSPI0	AUX ADC/LIN/段式 LCD/DISPLAY/时钟/ 智能卡/SPI0	LIN	QSPI1/32K/ 段式 LCD	段式 LCD/I2S2
GPIO40		UART2_RX	I2S1_SCK	LIN_RXD	SC_CLK	RGB_G4/I8080_D7			SEG3
GPIO41		UART2_TX	I2S1_SYNC	LIN_TXD	SC_IO	RGB_G3/I8080_D6			SEG2
GPIO42		I2C1_SCL	I2S1_DIN	LIN_SLEEP	SC_RSTN	RGB_G2/I8080_D5			SEG1
GPIO43		I2C1_SDA	I2S1_DOUT		SC_VCC	RGB_B7/I8080_D4			SEG0
GPIO44		CAN_TX	SPI0_SCK			RGB_B6/I8080_D3		COM3	I2S2_SCK
GPIO45		CAN_RX	SPI0_CSN			RGB_B5/I8080_D2		COM2	I2S2_SYNC
GPIO46		CAN_STBY	SPI0_MOSI	ENET_PHY_INT	TOUCH14	RGB_B4/I8080_D1		COM1	I2S2_DIN
GPIO47			SPI0_MISO	ENET_MDC	TOUCH15	RGB_B3/I8080_D0		COM0	I2S2_DOUT
GPIO48				ENET_MDIO		RGB_R2/I8080_D16			
GPIO49				ENET_RXD0		RGB_R1/I8080_D17			
GPIO50				ENET_RXD1		RGB_R0			
GPIO51				ENET_RXDV		RGB_G1			
GPIO52				ENET_TXD0		RGB_G0			
GPIO53				ENET_TXD1		RGB_B2			
GPIO54				ENET_TXEN		RGB_B1			

GPIO	Flash 下载	复用功能 (AF)							
		AF1	AF2	AF3	AF4	AF5	AF6	AF7	AF8
	UART	UART1/SPI1/时钟 /PTA/UART0/SDIO /I2C0/IrDA/ Wi-Fi TX/RX 使能 /CIS DVP/UART2/ I2C1/CAN	I2C1/SDIO/ PWMM0/SPI0/ SWD/时钟/UART2/ PWMM1/I2S1	SWD/I2S0/时钟/ AoA/AoD/ AUX ADC/ 以太网 MAC/LIN	智能卡/DMIC/ TOUCH/I2C1/ QSPI0	AUX ADC/LIN/段式 LCD/DISPLAY/时钟/ 智能卡/SPI0	LIN	QSPI1/32K/ 段式 LCD	段式 LCD/I2S2
GPIO55			ENET_REF_CLK		RGB_B0				

4. 功能描述

4.1 Wi-Fi/蓝牙收发器

TG8000H 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 GPIO26 和 GPIO28 配置为 TX_EN 和 RX_EN 功能来控制外部 PA 和 LNA，可以扩展通信距离。完全集成频率合成器，无需任何外部组件。

4.2 蓝牙/Wi-Fi 共存

内置的分组流量仲裁 (PTA) 确保稳定的蓝牙和 Wi-Fi 双连接，并实现无线资源的有效共享。

4.3 时钟管理

TG8000H 可用的主要时钟源如下：

- 高频时钟
 - 26 MHz 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 (32.768 kHz) 晶体振荡器：输出时钟信号 XTALL
 - 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：

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

TG8000H 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：

- CLK13M: CLK_XTAL 的分频时钟 (分频系数 1/2/4/8)
- CLK26M: 高频晶体时钟 CLK_XTAL, 一般为 26 MHz
- 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
- CIS_MCLK: 外部 CMOS 图像传感器 (CIS) 的参考时钟

4.4 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。

4.5 电源管理

4.5.1 电源方案

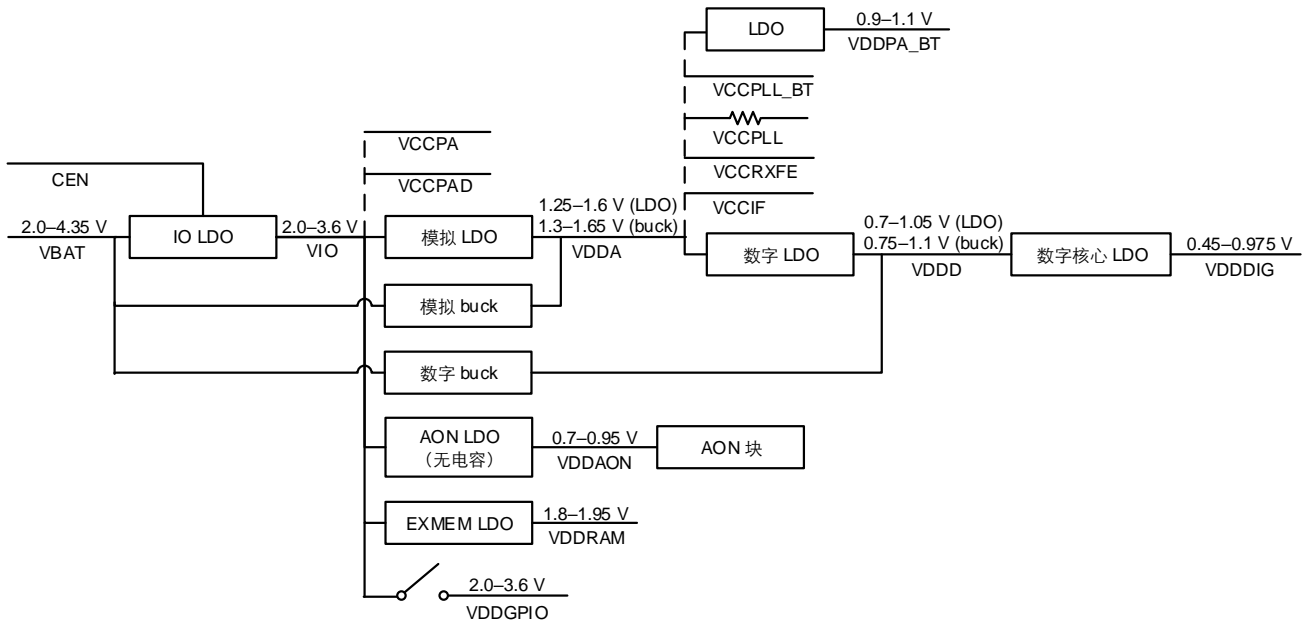
TG8000H 的电源管理系统包含两个降压转换器 (buck) 和多个内部 LDO 稳压器, 为芯片的各个部分提供电压和噪声隔离。

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 和 GPIO 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、VCCRFXFE 和 VCCIF, 给 Wi-Fi/蓝牙收发器供电, 从内部直接给 XTAL、AUDIO 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 TG8000H 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 TG8000H 的上电时序。

图 4-2 TG8000H 上电时序

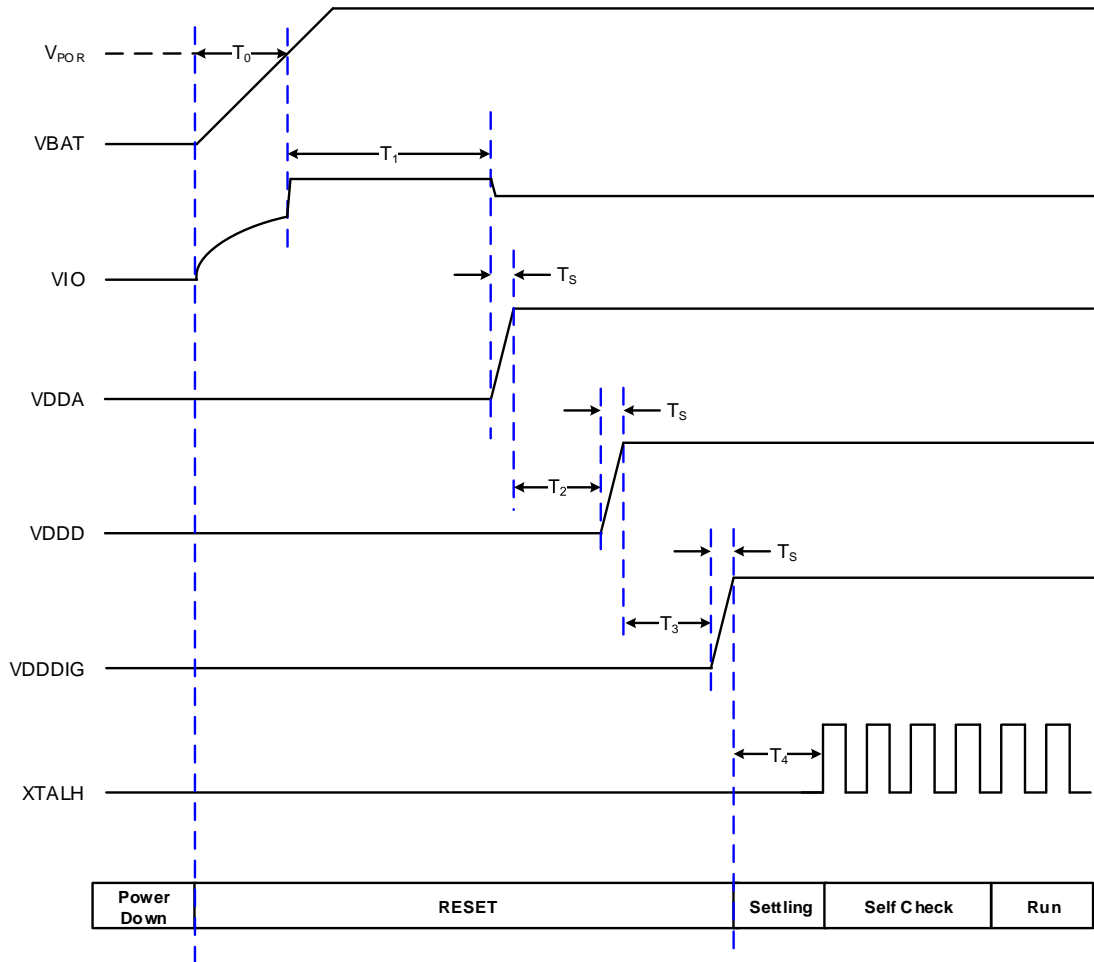


表 4-1 上电时序的时序参数

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 TG8000H 的下电时序。

图 4-3 TG8000H 下电时序

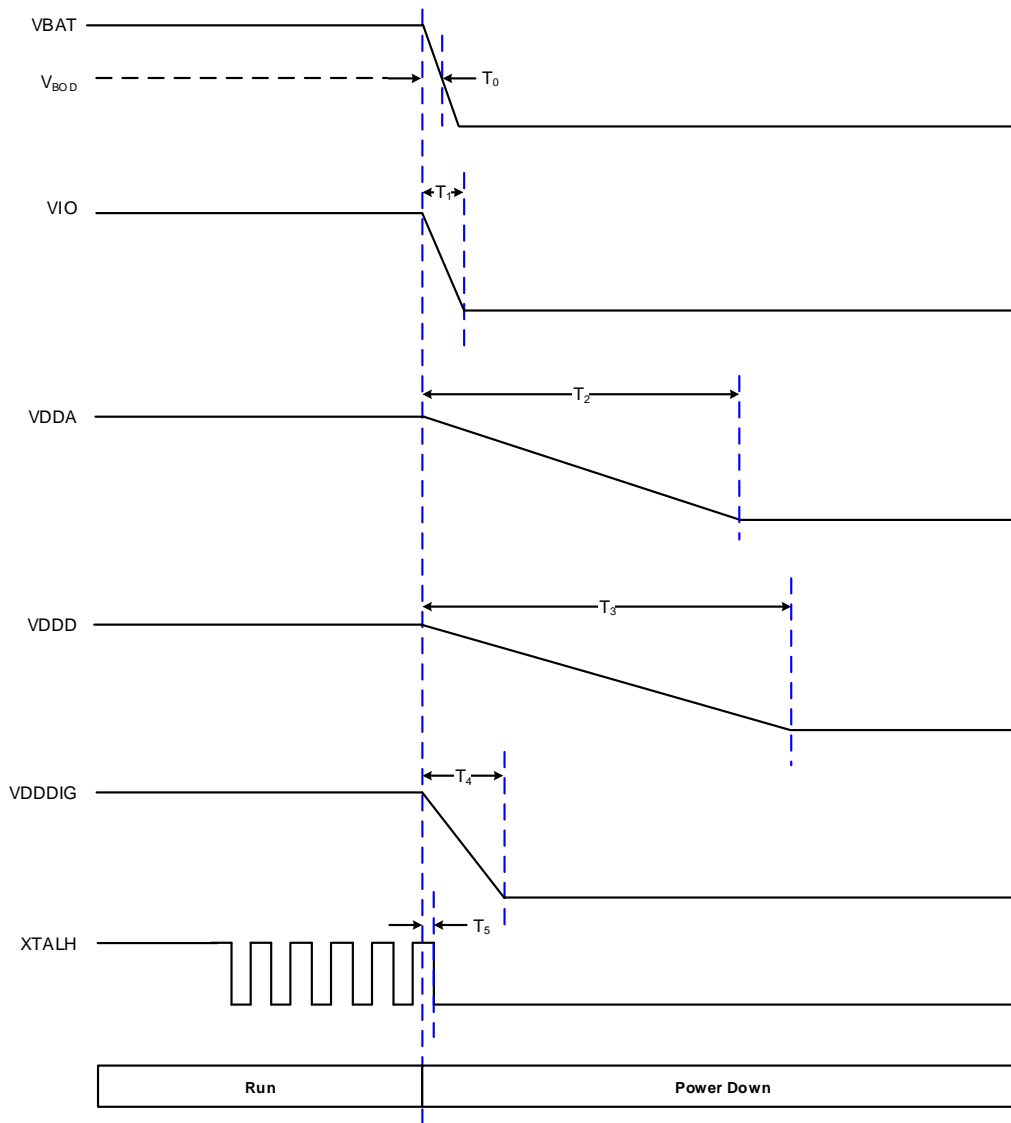


表 4-2 下电时序的时序参数

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
V_{BOD}	VBAT BOD 阈值	-	1.85	-	V

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
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
TG8000H	XTALH 下电时间	-	100	-	μs

4.5.2 功耗模式

TG8000H 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。

4.6 通用 I/O (GPIO)

TG8000H 有多达 56 个 GPIO，可配置为输入或输出。所有 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

4.7 SPI 接口 (SPI)

TG8000H 集成了两个 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

4.8 QSPI 接口 (QSPI)

TG8000H 内置两个 Quad SPI 接口，支持与外部 flash、PSRAM 或 AMOLED 显示器进行通信。QSPI 接口支持高达 80 MHz 的通信频率。

QSPI 接口的特性如下：

- 单线、双线或四线 SPI 输入/输出
- 两种功能模式：间接模式和内存映射模式
- 完全可编程的操作码和帧格式
- 集成 RX FIFO 和 TX FIFO
- 支持 8、16 和 32 位数据访问

4.9 UART 接口 (UART)

TG8000H 包含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

4.10 智能卡控制器 (SC)

智能卡控制器 (SC) 是上级系统与智能卡之间传输数据的通信控制器。该控制器可以执行完整的智能卡会话，包括卡激活、卡停用、冷/热复位、复位应答 (ATR) 响应接收、数据传输等。

智能卡控制器 (SC) 的特点如下：

- 支持 ISO/IEC 7816-3:2006 和 EMV 4.3 规范
- 执行完整智能卡会话所需的功能，包括：
 - 卡激活和停用
 - 冷/热复位
 - 复位应答 (ATR) 响应接收
 - 数据从卡传输至卡
- 广泛的中断支持系统
- 可调时钟频率和比特率（波特率）
- 可配置自动字节重复
- 处理常用的通信协议：
 - T=0 表示异步半双工字符传输
 - T=1 表示异步半双工块传输
- 自动惯例检测
- 具有阈值的可调节 FIFO，用于接收和发送缓冲区（64 字节）
- 可配置的定时功能：
 - 智能卡激活时间
 - 智能卡复位时间
 - 守卫时间
 - 超时计时器

4.11 SDIO 接口 (SDIO)

TG8000H 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

4.12 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)。TG8000H 集成了两个 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

4.13 USB 控制器 (USB)

TG8000H 内置一个带收发器的 USB 高速（最高 480 Mbps）控制器。它可以作为主机或设备运行。

USB 控制器的特性如下：

- 符合通用串行总线规范第 1.1 和第 2.0 版本
- 全速 (FS) 运行（高达 12 Mbps）和高速运行（高达 480 Mbps）
- 1 个双向控制端点 0
- 7 个 IN/OUT 端点，可配置为支持批量、中断或同步数据传输
- FIFO 可配置为分配给 8 个端点
- USB 2.0 链路层电源管理 (LPM) 支持

4.14 CAN 控制器 (CAN)

TG8000H 内置一个控制器局域网 (CAN) 控制器，该控制器采用基本 CAN 原理并符合 CAN 规范 2.0B 的所有限制。此外，CAN 控制器可以配置为满足具有灵活数据速率 CAN FD 的 CAN 规范。CAN 2.0 承载的数据有效载荷最高达 8 个字节，而 CAN FD 承载的数据有效载荷最高达 64 个字节。

CAN 控制器支持两种工作模式：正常模式和待机模式，可通过 CAN_STBY 引脚选择。如果在 CAN_STBY 引脚上施加高电平，外部收发器进入待机模式。

4.15 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

4.16 GDMA 控制器 (GDMA)

TG8000H 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

TG8000H 上的部分外设具有 DMA 功能，包括 UART0、UART1、UART2、SPI0、SPI1、SDIO、AUDIO、I2S0、I2S1、I2S2、JPEG 编码器、DISPLAY、AUX ADC、H.264 和 DMIC。

4.17 DMA2D 控制器 (DMA2D)

TG8000H 具有专用于图像处理的专业 DMA 控制器 (DMA2D)，无需 CPU 干预即可执行直接存储器传输和 2D 图形加速。它可以执行以下操作：

- 使用特定颜色填充目标图像的一部分或全部
- 将源图像的一部分或全部复制到目标图像的一部分或全部中
- 通过像素格式转换将源图像的一部分或全部复制到目标图像的一部分或全部中
- 将具有不同像素格式的两个源图像部分或全部混合，并将结果复制到具有不同颜色格式的部分或全部目标图像中

DMA2D 控制器支持六种操作模式：

- 寄存器到存储器
- 存储器到存储器
- 存储器到存储器并支持像素格式转换
- 存储器到存储器并支持像素格式转换和混合
- 存储器到存储器并支持像素格式转换、混合和特定颜色前景层
- 存储器到存储器并支持像素格式转换、混合和特定颜色背景层

采用索引或直接颜色编码时，支持多达 12 种输入颜色模式，并支持每像素 4 位到 32 位。支持六种输出颜色模式，包括 RGB、ARGB 和 YUV。DMA2D 具有专用存储器用于颜色查找表 (CLUT) 存储。

发生下列事件时可生成中断：

- 配置错误
- CLUT 传输完成
- CLUT 访问错误
- 用户可编程的目标行上的水印
- 传输完成
- 传输错误

4.18 旋转模块 (ROTT)

旋转模块 (ROTT) 能够执行以下操作：

- 将存储器中存储的 YUV422 图像转换为 RGB565 图像。
- 将 YUV422 或 RGB565 图像顺时针或逆时针旋转 90°。
- 将转换或旋转后的图像存储到目标存储器中。

4.19 缩放模块 (SCALE)

TG8000H 有两个缩放模块 (SCALE)，可以缩放 Y0UY1V、RGB565 或 RGB888 格式的图像，而不改变数据格式。

4.20 显示控制器 (DISPLAY)

TFT LCD 显示控制器 (DISPLAY) 提供 24 位并行数字 RGB (红、绿、蓝) 并将所有信号输出到不同 LCD 和 TFT 面板的接口。它支持 RGB 和 Intel 8080 接口。

显示控制器具有以下特性：

- 支持 RGB 和 Intel 8080 接口
- RGB 接口：最高 24 位 RGB 并行像素输出
- 8080 接口：最高 18 位数据输出
- 三种输入颜色格式：
 - RGB888
 - RGB565
 - YUV422
- RGB 接口的三种输出颜色格式：
 - RBG888
 - RBG666
 - RBG565
- 8080 接口的三种输出颜色格式：
 - 8 位或 16 位 RGB888
 - 18 位 RGB666
 - 8 位 RGB565
- RGB 接口和 8080 接口共享一个 FIFO (1K x 32 位)

- 适用于不同显示面板的可编程时钟
- 最高 5 个可编程中断事件
- 可配置窗口位置和大小
- 支持 64 个字突发的 AHB 主接口

4.21 段式 LCD 控制器 (SLCD)

段式 LCD 控制器 (SLCD) 是用于单色无源矩阵液晶显示器 (LCD) 的数字驱动器。该控制器最多可驱动 8 个共模端子和 32 个段端子，以驱动最多 224 (8x28) 个像素。当使用 4 个共模端子时，它支持 1/4 占空比。偏置模式可配置为 1/3 偏置或 1/4 偏置。

4.22 JPEG 编码器/解码器

TG8000H 包含一个 JPEG 编码器和一个 JPEG 解码器，用于对 JPEG 流进行编码和解码。JPEG 编码器为 JPEG 图像提供小型硬件压缩器，而解码器为 JPEG 图像提供解压缩加速器。此外，JPEG 编码器支持最多 32 个可编程量化表。

4.23 CMOS 图像传感器接口 (CIS)

CMOS 图像传感器 (CIS) 数字视频端口 (DVP) 接口为传感器提供 8 位并行接口，以及主时钟 (MCLK)、像素时钟 (PCLK)、水平同步 (HSYNC) 和垂直同步 (VSYNC) 信号。

YUV 传感器的输入直接馈送到硬件 JPEG 编码器，JPEG 编码器的输出通过专用 DMA 通道直接写入数据存储器。

CIS 接口特性包括：

- 8 位并行接口
- 像素时钟和同步信号的可编程极性
- 裁剪功能
- 支持的数据格式：
 - YCbCr 4:2:2 (YUYV、UYVY、YYUV 和 UVYY)
 - RGB565

4.24 H.264 编码器 (H.264)

H.264 视频编码器可实现快速、简单的视频压缩。它对传入的视频流执行 H.264 视频压缩算法。编码的比特流可由 Baseline、Mainprofile 解码器解码。输入是光栅 4:2:0 YUV 视频数据。此数据被压缩为符合 H.264 标准的字节流 NAL 单元。

H.264 支持以下特性：

- 完全兼容 ITU-T H.264 规范
- Level 1 至 4.1，编码流可通过 Baseline、Main Profile 解码器解码
- 最高支持 720p (1280x720 @ 30 fps)
- 支持恒定比特率和部分可变比特率模式
- 运动矢量高达 -16.00/+15.75 像素（搜索区域为 32x32 像素宽，精确到四分之一像素）
- 支持所有 16x16 帧内预测模式以及除两种之外的所有 4x4 帧内预测模式
- 较低比特率的块跳过逻辑
- 支持对非 16 像素倍数的图片进行图片裁剪
- 支持色度量化参数偏移以增加压缩
- 使用压缩帧存储 (CFS) 作为参考帧存储，无需外部存储器

4.25 以太网 MAC 接口 (ENET)

TG8000H 通过简化介质独立接口 (RMII) 为以太网 LAN 通信提供介质访问控制器 (MAC)。以太网 MAC 接口 (ENET) 符合 IEEE 802.3-2015 规范，可用于网络接口卡、数据中心桥接器和节点等应用。TG8000H 需要外部物理接口设备 (PHY) 来连接到物理 LAN 总线。PHY 使用 9 个信号连接到设备 RMII 端口，可以使用 TG8000H 的 25 MHz 或外部晶体振荡器的 25/50 MHz 进行时钟控制。

ENET 具有以下特性：

- 10 和 100 Mbps 数据传输速率
- 半双工 (CSMA/CD) 和全双工操作
- 32 位 CRC 生成和删除
- 标记 MAC 帧支持 (VLAN 支持)
- 专用 DMA 控制器允许系统存储器和内部 FIFO 之间进行高速传输
- 内置 TX FIFO 和 RX FIFO 用于缓冲发送和接收帧。两个 FIFO 均为 2 KB。
- MAC 控制子层 (控制帧) 支持
- 针对物理和多播地址 (多播和组地址) 的不同类型的地址过滤
- 每个发送或接收帧的 32 位状态代码

- 支持符合 IEEE 1588-2008（版本 2）的硬件 PTP（精确时间协议）
- 当系统时间大于目标时间时触发中断

4.26 PWM 组 (PWMG)

TG8000H 有两个高级控制 PWM 组 (PWMG)。每个 PWMG 由四个独立的 32 位自动重载计数器组成，该四个计数器由四个可编程预分频器驱动。PWMG 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）。

PWMG 的特性如下：

- 四个 32 位递增、递减、递增/递减自动重新加载计数器：
 - PWM0 有一个计数器。
 - PWM1 有一个计数器（仅递增计数模式）。
 - PWM2 和 PWM3 共用一个计数器。
 - PWM4 和 PWM5 共用一个计数器。
- 四个 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
- 四个独立通道，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）
- 两个通道 PWM3/5 与 PWM2/4 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			
GPIO6/GPIO18	PWMG0_PWM0	I/O	PWMG0 通道 PWM0
GPIO7/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。
GPIO8 ^a /GPIO22 ^a	PWMG0_PWM2	I/O	PWMG0 通道 PWM2 ^b
GPIO9/GPIO23 ^a	PWMG0_PWM3	I/O	PWMG0 通道 PWM3 ^b PWM3 可以与 PWM2 耦合（带死区插入）生成与 PWM2 反向或相同的波形。
GPIO24	PWMG0_PWM4	I/O	PWMG0 通道 PWM4 ^c
GPIO25	PWMG0_PWM5	I/O	PWMG0 通道 PWM5 ^c 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
GPIO33	PWMG1_PWM1	I/O	PWMG1 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。
GPIO34	PWMG1_PWM2	I/O	PWMG1 通道 PWM2 ^b
GPIO35	PWMG1_PWM3	I/O	PWMG1 通道 PWM3 ^b PWM3 可以与 PWM2 耦合（带死区插入）生成与 PWM2 反向或相同的波形。
GPIO36	PWMG1_PWM4	I/O	PWMG1 通道 PWM4 ^c
GPIO37	PWMG1_PWM5	I/O	PWMG1 通道 PWM5 ^c

GPIO	PWM 引脚名称	信号类型	描述
			PWM5 可以与 PWM4 耦合（带死区插入）生成与 PWM4 反向或相同的波形。

- a. 不建议使用 GPIO8、GPIO22 和 GPIO23 进行 LED 和电机控制。
- b. 当 PWM2 和 PWM3 同时使能时，它们不能产生不同占空比的波形。
- c. 当 PWM4 和 PWM5 同时使能时，它们不能产生不同占空比的波形。

4.27 I2S 接口 (I2S)

TG8000H 集成了三个 I2S 接口，支持主模式和从模式，支持 8 kHz 至 384 kHz 的采样率。I2S 接口支持 PCM 单声道模式和 I2S 立体声通道模式。

I2S 特性如下：

- 主模式或从模式
- 全双工或半双工通信
- 支持各种采样率
- 12 位可编程预分频器
- 支持多种 I2S 协议：
 - I2S Philips 标准
 - MSB 对齐标准（左对齐）
 - LSB 对齐标准（右对齐）
 - PCM 标准
- 可编程数据顺序，LSB 在前或 MSB 在前
- 1 至 32 位的可编程数据宽度
- 可编程时钟极性
- 集成 32 位 RX FIFO 和 32 位 TX FIFO，FIFO 深度均为 32 x 3 通道
- 可输出主时钟以驱动外部音频设备

4.28 音频外设

TG8000H 配备了丰富的音频外设，可增强聆听体验。该芯片包括一个 4 段数字均衡器、两个模数转换器 (ADC)、一个数模转换器 (DAC)、两个麦克风输入放大器和一个偏置发生器、一个音频放大器、一个 DMIC 接口、一个 SBC 解码器加速器等。

4.28.1 4 段数字均衡器

在数模转换之前实现专用的 4 段数字均衡器，允许用户自定义音频输出的频率响应。均衡器以硬件实现，可降低芯片整体功耗。

4.28.2 音频 ADC 和 DAC

TG8000H 包含两个 16 位 ADC，采样率为 8 kHz、16 kHz、44.1 kHz 或 48 kHz。芯片还集成了一个 16 位 DAC，采样率为 8 kHz、16 kHz、44.1 kHz 或 48 kHz。

4.28.3 麦克风输入放大器和偏置发生器

TG8000H 有两个全差分模拟麦克风输入放大器和一个低噪声麦克风偏置发生器，允许麦克风与无源电阻器和电容器连接。

麦克风信号可以通过放大器放大，增益范围为 0 至 32 dB，步长为 2 dB。

4.28.4 音频放大器

TG8000H 提供一个高品质音频放大器，能够驱动负载电容高达 30 pF 的 16 Ω 扬声器。

4.28.5 数字麦克风接口 (DMIC)

TG8000H 有一个数字麦克风接口，支持两个数字麦克风。PDM 进行 8:1 CIC 抽取，在 PDM 时钟频率为 3.072 MHz 时，PCM 采样率最高可达 384 kHz。

4.29 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 11 个外部模拟输入通道：ADC1/2/3/4/5/6/10/12/13/14/15
- 五条内部专用通道：
 - 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

4.30 定时器组 (TIMG)

TG8000H 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

4.31 看门狗定时器 (WDT)

TG8000H 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。

4.32 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。

4.33 红外接口 (IrDA)

TG8000H 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

4.34 温度传感器

TG8000H 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。

4.35 触摸传感器 (TOUCH)

TG8000H 有多达 16 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。

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 _{BAT}	芯片电源电压	-0.3	4.35	V
V _{IO}	IO LDO 输出电压	-0.3	4.0	V
V _{CCPA}	PA 电源电压	-0.3	4.0	V
V _{CCPAD}	PA 驱动器电源电压	-0.3	4.0	V
V _{CCIF}	中频电源电压	-0.3	1.8	V
V _{CCR_{XFE}}	RX 电源电压	-0.3	1.8	V
V _{CCPLL}	射频 PLL 电源电压	-0.3	1.8	V
V _{CCPLL_{BT}}	蓝牙射频 PLL 电源电压	-0.3	1.8	V
V _{DDPA_{BT}}	蓝牙射频 PA LDO 输出电压	-0.3	1.2	V
V _{DDA}	模拟 buck/LDO 输出电压	-0.3	1.8	V
V _{DDD}	数字 buck/LDO 输出电压	-0.3	1.2	V
V _{DDDIG}	数字核心 LDO 输出电压	-0.3	1.1	V
V _{DDGPIO}	GPIO 电源电压	-0.3	4.0	V
V _{DDRAM}	PSRAM LDO 输出电压	-0.3	2.1	V
S _{WA}	模拟 buck 开关输出电压	-0.3	4.35	V
S _{WD}	数字 buck 开关输出电压	-0.3	4.35	V
MICBIAS	麦克风偏置输出电压	-0.3	4.0	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 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 标准	-	±3000	V
ESD CDM	静电放电电压（充电器件模型 CDM），符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 标准	-	±500	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
VDDPA_BT	蓝牙射频 PA LDO 输出电压	0.9	-	1.1	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
VDDGPIO	GPIO 电源电压	2.0	-	3.6	V
VDDRAM	PSRAM LDO 输出电压	1.8	-	1.95	V

参数	描述	最小值 ^a	典型值	最大值	单位
MICBIAS	麦克风偏置输出电压	1.8	-	2.4	V
T _{OPR}	工作温度范围	-40	-	85	°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
VDDD	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	-	μF
电感器电感	-	-	4.7	-	μH
电感 DC 电阻	-	-	-	500	$\text{m}\Omega$
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

参数	描述	最小值	典型值	最大值	单位
输出滤波电容器电容	-	-	4.7	-	μF
电感器电感	-	-	4.7	-	μH
电感 DC 电阻	-	-	-	500	mΩ
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
ΔF/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
	11b: 11 Mbps DSSS @ 19 dBm	-	235	-	mA

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
TX 电流	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	-	μA
深度睡眠	-	-	16	-	μA
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

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	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
	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	HE40, MCS0	-	-88.5	-	dBm
	HE40, MCS1	-	-87.5	-	dBm

参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
(4096 字节的 PSDU, 10% PER, LDPC)	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
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	6 Mbps OFDM	-79 dBm	-	43	-	dB
	54 Mbps OFDM	-62 dBm	-	27	-	dB

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	
(1000 字节的 PSDU, 10% PER, 具有条件中指定的所需信号电平)						
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
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 $T = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{BAT}} = 3.3\text{ V}$ 。

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

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
发射功率					
发射功率 – IEEE 802.11b (SEM 符合标准要求)	1 Mbps DSSS	-	20	-	dBm
	11 Mbps DSSS	-	20	-	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	-	16	-	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
	HE40, MCS0	-	16	-	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 $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $V_{\text{BAT}} = 3.3\text{ V}$ 。

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

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
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
	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
	30–2000 MHz	-	-30	-	dBm

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
带外阻塞	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
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

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
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 °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	-	2402	-	2480	MHz	
发射功率	-	-20	6	15	dBm	
LE 1 Mbps						
带内发射	±2 MHz 偏移	-	-47	-	dBm	
	±3 MHz 偏移	-	-49	-	dBm	
	>±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	
	>±5 MHz 偏移	-	-52	-	dBm	
	Δf_{1avg}	-	488	-	kHz	

参数		条件	最小值	典型值	最大值	单位
调制特性	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
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 音频特性

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
DAC 差分输出	600 Ohm 负载	-	1	-	Vrms

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	16 Ohm 负载	-	0.8	-	Vrms
DAC 差分输出 THD	0.7 Vrms @ 600 Ohm 负载	-	-	-80	dB
	0.65 Vrms @ 16 Ohm 负载	-	-	-80	dB
DAC 输出 SNR	1 kHz 正弦波	-	104	-	dB
DAC 采样率	-	8	-	48	kHz
ADC SNR	1 kHz 正弦波	-	100	-	dB
ADC 采样率	-	8	-	48	kHz

5.18 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	-	-	MΩ
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	-	μs
功耗	-	-	200	-	μA

6. 封装信息

图 6-1 QFN88 9 x 9 mm 封装外形

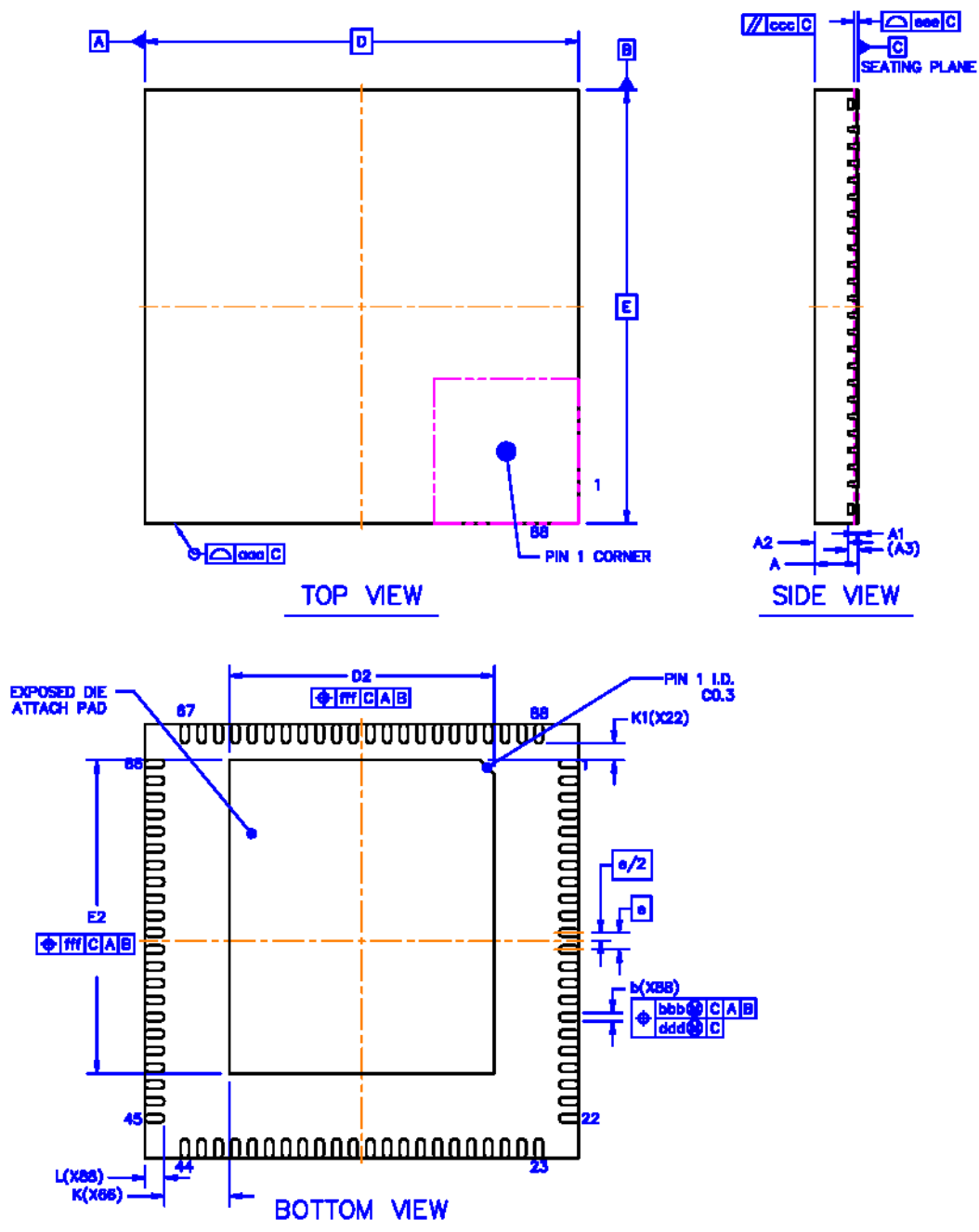
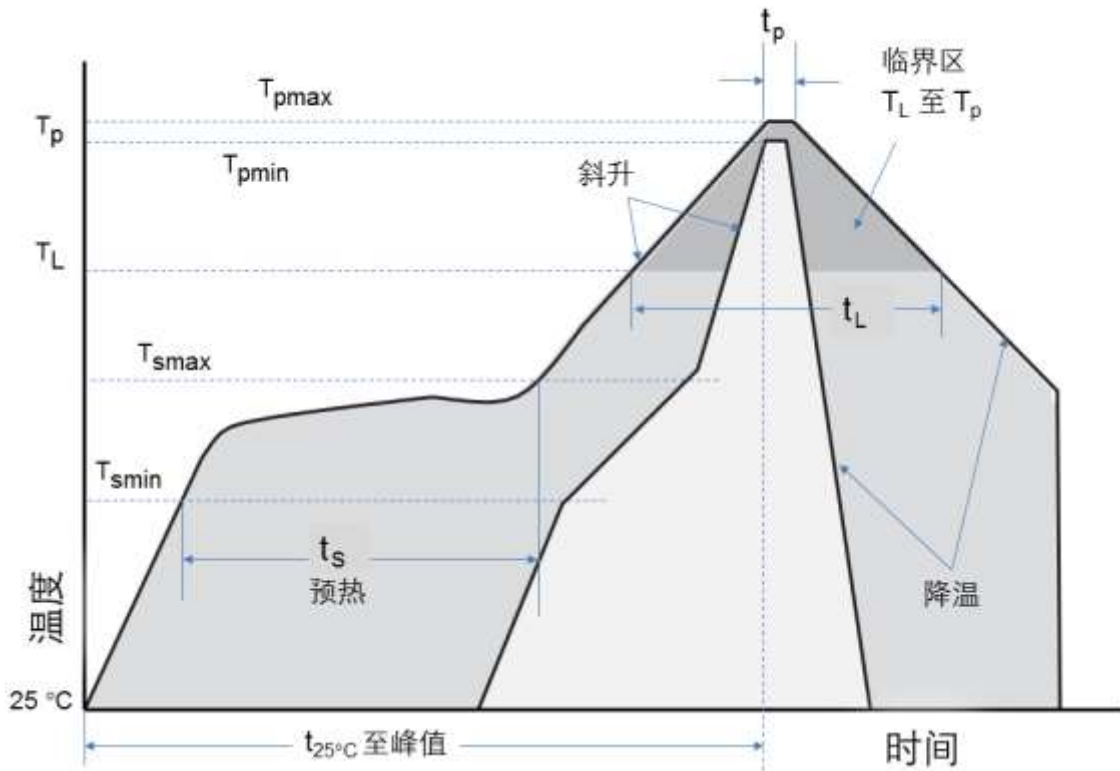


表 6-1 QFN88 封装尺寸

符号	尺寸 (毫米)		
	最小值	标称值	最大值
A	0.85	0.90	0.95
A1	0.00	0.02	0.05
A2	-	0.70	-
A3	0.203 REF		
b	0.12	0.17	0.22
D	9.00 BSC		
E	9.00 BSC		
e	0.35 BSC		
D2	5.40	5.50	5.60
E2	6.40	6.50	6.60
L	0.30	0.40	0.50
K	1.35 REF		
K1	0.35 REF		
aaa	0.10		
ccc	0.10		
eee	0.08		
bbb	0.07		
ddd	0.05		
fff	0.10		

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

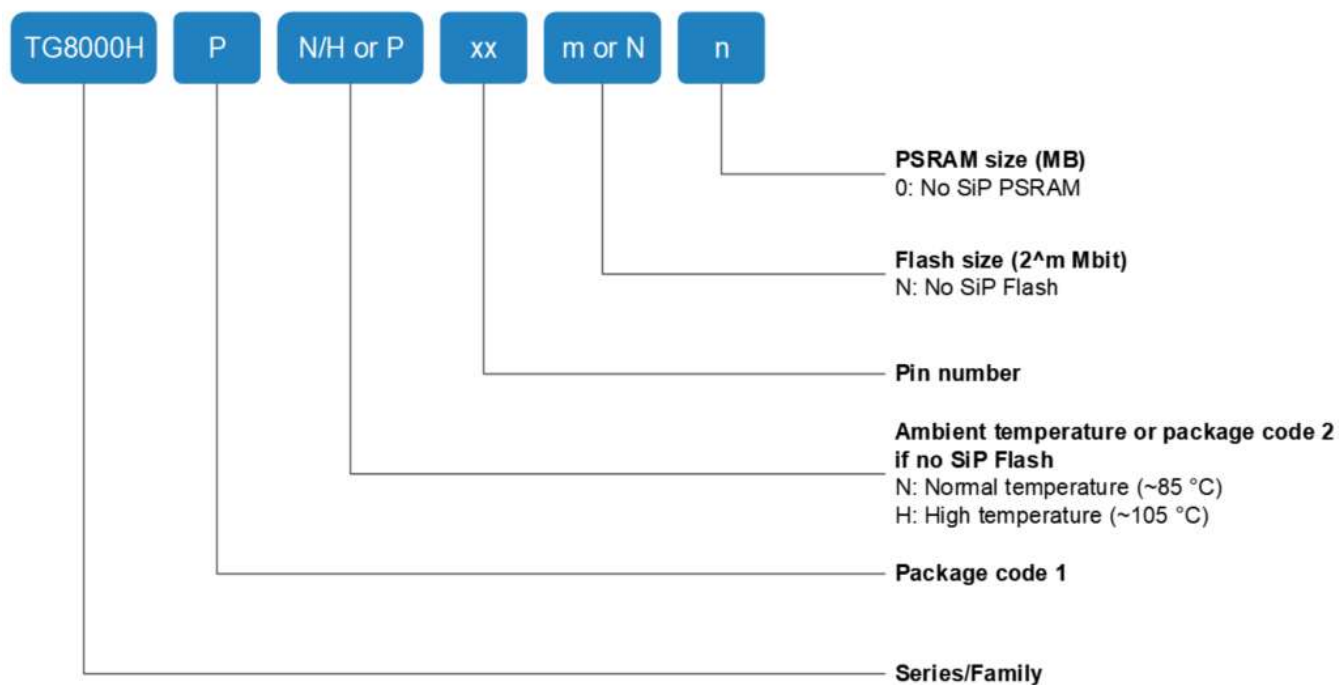


表 8-1 订购信息

订购代码	封装	SiP ^a flash	SiP ^a PSRAM	包装	最小订购量 (MOQ)
TG8000HQN8868	9 mm x 9 mm QFN88	8 MB	8 MB	卷带	3000

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



修订历史

版本	日期	发布说明
1.0	2024/6/21	首次发布

