

文档编号: AN1076

上海东软载波微电子有限公司

# 应用笔记

---

## ESW1032 应用注意事项

## 修订历史

版本	修订日期	修改概要
V1.0	2026-6-3	初版

地 址：中国上海市徐汇区古美路 1515 号凤凰园 12 号楼 3 楼

E-mail: support@essemi.com

电 话：+86-21-60910333

传 真：+86-21-60914991

网 址：http://www.essemi.com

版权所有©

### 上海东软载波微电子有限公司

本资料内容为上海东软载波微电子有限公司在现有数据资料基础上慎重且力求准确无误编制而成，本资料中所记载的实例以正确的使用方法和标准操作为前提，使用方在应用该等实例时请充分考虑外部诸条件，上海东软载波微电子有限公司不担保或确认该等实例在使用方的适用性、适当性或完整性，上海东软载波微电子有限公司亦不对使用方因使用本资料所有内容而可能或已经带来的风险或后果承担任何法律责任。基于使本资料的内容更加完善等原因，上海东软载波微电子有限公司保留未经预告的修改权。使用方如需获得最新的产品信息，请随时用上述联系方式与上海东软载波微电子有限公司联系。

## 目 录

### 内容目录

<b>第 1 章</b>	<b>前言 .....</b>	<b>5</b>
<b>第 2 章</b>	<b>工作模式 .....</b>	<b>6</b>
2.1	工作模式概述 .....	6
2.2	IEEE802.15.4G 帧结构 .....	6
2.3	中国国家电网帧结构 .....	8
2.4	中国南方电网帧结构 .....	9
2.5	WM-Bus 模式帧结构 .....	11
2.6	SPI 通信接口 .....	12
<b>第 3 章</b>	<b>寄存器配置 .....</b>	<b>13</b>
3.1	SPI 读写函数原型 .....	13
3.2	频段配置 .....	15
3.3	发射功率配置 .....	15
<b>第 4 章</b>	<b>注意事项 .....</b>	<b>16</b>
4.1	CTS 信号 .....	16
4.2	SHUT DOWN 状态 .....	16
4.3	SLEEP 状态 .....	16
4.4	WAIT_CMD 状态 .....	16
4.5	4(G)FSK .....	16
<b>第 5 章</b>	<b>常见问题分析 .....</b>	<b>17</b>

## 图目录

图 2-1 IEEE802.15.4G 数据包帧结构示意图.....	6
图 2-2 国家电网数据包的帧结构示意图.....	8
图 2-3 南方电网数据包帧结构示意图 .....	9
图 2-4 WM-Bus 模式帧结构示意图.....	11
图 2-5 WM-Bus 模式接收流程图 .....	11
图 2-6 SPI 写时序 .....	12
图 2-7 SPI 读时序 .....	12
图 2-8 SPI 命令时序 .....	12

## 表目录

表 2-1 状态切换命令 .....	6
表 2-2 IEEE 802.15.4G 数据包 Preamble 定义.....	7
表 2-3 IEEE 802.15.4G 数据包 SFD 定义 .....	7
表 2-4 国家电网数据包 Preamble 定义.....	8
表 2-5 国家电网数据包 SFD 定义.....	9
表 2-6 南方电网数据包 Preamble 定义.....	10
表 2-7 南方电网数据包 SFD 定义 .....	10
表 3-1 典型频段配置 .....	15

## 第1章 前言

ESW1032 是一款高性能、低功耗的工业级 Sub-1GHz 射频收发芯片，支持包括 G3-Hybrid、WI-SUN 和 WMBUS 规范等多种不同的数据包格式及编解码方式。

本文针对 ESW1032 芯片开发过程中的注意事项和常见问题进行说明，帮助用户提升开发效率。

## 第2章 工作模式

### 2.1 工作模式概述

ESW1032 芯片共有 SHUT DOWN、SLEEP、READY/IDLE、TX 和 RX 五个状态。

CS 脚拉低即可进入 SHUT DOWN 状态。若 CS 脚拉高，芯片将从 SHUT DOWN 状态切换至 READY 状态。其余各状态则通过 SPI command 命令切换，指令如下：

描述	SPI 指令
CMD_SLEEP	8'hA0
CMD_READY	8'hA2
CMD_TXSTR	8'hB2
CMD_RXSTR	8'hB3
CMD_PDPLL	8'hB4

表 2-1 状态切换命令

各个状态之间的切换及指令，详见 ESW1032 数据手册第 3 章“芯片状态控制”。

需要注意的是，在状态之间切换时，必须结束上一个状态后，才能开启下一个状态，并且严格按照芯片数据手册的“ESW1032 状态控制示意图”来进行切换。

例如，若要从 TX 状态切换到 RX 状态，必须先关闭 TX 状态，使芯片进入 READY/IDLE 状态，再切换到 RX 状态，而不能直接从 TX 状态切换到 RX 状态。

### 2.2 IEEE802.15.4G 帧结构

ESW1032 支持多种数据包帧结构，主要通过 MDM\_MODE 寄存器来配置。

若使用 IEEE802.15.4G 数据包的帧结构，MDM\_MOD 寄存器的 PACKET\_SEL 域需选“IEEE802.15.4G 数据包 (2'b10)”。IEEE802.15.4G 数据包的帧结构如下图所示。

4~1000 Byte	2/4 Byte	Bit0	Bit1~2	Bit3	Bit4	Bit5~15	Frame Length Byte	2/4 Byte
Preamble	SFD	MS	REV	FCS	DW	Frame Length	Payload	CRC
SHR		PHR					PSDU	FCS

图 2-1 IEEE802.15.4G 数据包帧结构示意图

#### ◆ 前导码 (Preamble)

前导码是为了实现自动增益控制的设置调整、数据帧的同步、频率的校正以及信噪比估计等功能。前导码的长度可配置 PRMB\_LEN0(MDM 0x15)和 PRMB\_LEN(MDM 0x16)寄存器。

前导码可通过 PREAMBLE(MDM 0x04)寄存器配置；前导长度以字节为单位，通过 PRMB\_LEN0(MDM 0x15)及 PRMB\_LEN1(MDM 0x16)寄存器配置。需要注意的是，在设置 4-FSK 的前导时，也是以一个字节为单位设置。

Modulation	Preamble Field
2-FSK	01010101
4-FSK	01110111_01110111

表 2-2 IEEE 802.15.4G 数据包 Preamble 定义

◆ 帧分隔符 (SFD)

帧分割符 SFD 是为了实现数据帧的同步功能，并且可以让接收端判断 SHR 的结束以及 PHR 的开始，在 IEEE802.15.4G 模式下，帧分割符 SFD 会以 LSB 开始传送，数据帧中的 SFD 值定义如下。

Coding scheme	Modulation	PIB attribute	SFD value
Coded (PHR + PSDU)	G2FSK (b0-b15)	phyMRFSKSFD=0	0110 1111 0100 1110
		phyMRFSKSFD=1	0110 0011 0010 1101
	G4FSK (b0-b31)	phyMRFSKSFD=0	0111 1101 1111 1111 0111 0101 1111 1101
		phyMRFSKSFD=1	0111 1101 0101 1111 0101 1101 1111 0111
Un-coded (PHR + PSDU)	G2FSK (b0-b15)	phyMRFSKSFD=0	1001 0000 0100 1110
		phyMRFSKSFD=1	0111 1010 0000 1110
	G4FSK (b0-b31)	phyMRFSKSFD=0	1101 0111 0101 0101 0111 0101 1111 1101
		phyMRFSKSFD=1	0111 1111 1101 1101 0101 0101 1111 1101

表 2-3 IEEE 802.15.4G 数据包 SFD 定义

根据上表选择 SFD 后，通过将不编码的 SFD Value 配置在 SFD0(MDM 0x07)~SFD3(MDM 0x0A)寄存器，编码的 SFD Value 设置在 SFD4(MDM 0x0B)~SFD7(MDM 0x0E)寄存器来设置 SFD 域的内容；设置 MDM\_MODE(MDM 0x00)寄存器的 4FSK 域来配置是否使能 4-FSK，根据是否使能编码来选择使用哪一组 SFD 配置，并根据寄存器的配置来收发 2 字节或 4 字节的 SFD。

◆ 物理层头 (PHR)

物理层头 PHR 包括 MS、REV、FCS、DW 和 Frame Length 共 5 个部分。

◇ MS(Mode Switch)

必须设置为 0，表示会使用单一的 Data Rate 和 Modulation 发送数据包。

◇ REV(Reserved)

保留位，需设置为 0。

◇ FCS(FCS Type)

在 IEEE802.15.4G 数据包规格中，可以使用 4-字节 FCS 或 2-字节 FCS。需要先设定 FEC\_CTRL(MDM 0x01)寄存器的 CRC\_SIZE，决定发送的数据包使用的 CRC 大小。硬

件会自动填入对应的 FCS Type。当使用 4-字节 FCS，FCS Type 会为 0，使用 2-字节 FCS，FCS Type 会为 1。

◇ DW(Data Whitening)

可以选择 PSDU 是否会经过 Data Whitening 的编码。通过设置 FEC\_CTRL(MDM 0x01) 的 WHITEN\_EN，来决定 Data Whitening 编码与否。硬件会自动填入对应的 Data Whitening，使用 Data Whitening 会设为 1，反之为 0。

◇ Frame Length

待发送的数据长度，以字节为单位，以 LSB 开始发送。可设置寄存器 PSDU\_LEN0(MDM 0x15)和 PSDU\_LEN1(MDM 0x16)来决定发送的 PSDU 长度，并且提供硬件编码使用，硬件会自动填入对应的 Frame Length。

◆ 物理层载荷 (PSDU)

PSDU 部分存放在 FIFO 中，具有可变的长度，负责传送物理层数据包里的数据。

◆ 帧校验序列 (FCS)

FCS 域为可选的 16bits/32bits 的 CRC 序列。

### 2.3 中国国家电网帧结构

若使用中国国家电网数据包的帧结构，MDM\_MOD 寄存器的 PACKET\_SEL 域需选“中国国家电网数据包 (2'b00)”。中国国家电网数据包的帧结构如下图所示。

80 Byte	2 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	0~252 Byte	2 Byte
前导码	帧分隔符	帧长	信道索引	标准识别号	帧头校验码	物理层载荷	帧校验序列
SHR		PHR				PSDU	FCS

图 2-2 国家电网数据包的帧结构示意图

◆ 前导码 (Preamble)

中国国家电网数据包的前导码规定长度为 80 字节，具有多个字节的 Field，最先发送或接收最低位的字节，每字节都按照 LSB 传输。中国国家电网数据包规定的前导码格式如下。

Modulation	Preamble Field
2-FSK	01010101

表 2-4 国家电网数据包 Preamble 定义

◆ 帧分隔符 (SFD)

在中国国家电网数据包帧格式里，帧分割符 SFD 为 2 个字节，其格式如下图所示。将 SFD 的值设置到 SFD0(MDM 0x07)~SFD1(MDM 0x08)寄存器中，硬件会判断为中国国家电网数据包，并且发送或接收 2 个字节的 SFD 长度。

Modulation	SFD Field (b0-b15)
2-FSK	1111 0011 1001 1000

表 2-5 国家电网数据包 SFD 定义

◆ 物理层头 (PHR)

物理层头 PHR 包括帧长、信道索引、标准识别号和帧头校验码共 4 个部分，具有多个字节的 Field，最先发送或接收最低位的字节，每字节都是先发送或接收最低的 bit。

◇ 帧长

待发送的数据长度，以字节为单位。该帧长包含了 PHR 其他三字节(信道索引、标准识别号和帧头校验码)。可设置寄存器 PSDU\_LEN0 (MDM 0x15)来决定发送的 PSDU 长度，并且提供硬件编码使用，硬件会自动填入对应的帧长。

◇ 信道索引

信道索引以字节为单位，为发送设备指定发送数据的无线信道号。可以设置 CHAN\_INDEX (MDM 0x02)，硬件会自动填入对应的信道索引。

$$\text{信道索引} = \text{信道组号} \times 2 + \text{信道号}$$

◇ 标准识别号

信标准识别号是以字节为单位，范围为 1~99 的 BCD 码。可以设置寄存器 DEF\_INDEX (MDM 0x03)，硬件会自动填入对应的标准识别号。

◇ 帧头校验码

帧头校验码以字节为单位，取值为 PHR 前三字节（帧长、信道索引和标准识别号）的 XOR 的结果。硬件会自行把运算结果填入对应的帧头校验码。

◆ 物理层载荷 (PSDU)

PSDU 部分存放在 FIFO 中，具有可变的长度，负责传送物理层数据包里的数据。

◆ 帧校验序列 (FCS)

FCS 域为可选的 16bits/32bits 的 CRC 序列。

## 2.4 中国南方电网帧结构

若使用中国南方电网数据包的帧结构，MDM\_MOD 寄存器的 PACKET\_SEL 域需选“中国南方电网数据包 (2'b01)”。中国南方电网数据包的帧结构如下图所示。

32 Byte	2 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	0~253 Byte	2 Byte
前导码	帧分隔符	帧长	信道索引	帧头校验码	物理层载荷	帧校验序列
SHR		PHR			PSDU	FCS

图 2-3 南方电网数据包帧结构示意图

◆ 前导码 (Preamble)

中国南方电网数据包的前导码规定长度为 32 字节，具有多个字节的 Field，最先发送或接收最低位的字节，每字节都按照 LSB 传输。中国国家电网数据包规定的前导码格式如下：

Modulation	Preamble Field
2-FSK	01010101

表 2-6 南方电网数据包 Preamble 定义

前导码可通过 preamble (MDM 0x04) 寄存器配置，前导码长度以字节为单位，通过 prMB\_len0(MDM 0x15)寄存器配置。

◆ 帧分隔符 (SFD)

在中国南方电网数据包格式下，帧分割符 SFD 为 2 个字节，其格式如下图所示，将 SFD 的值设置到 SFD0(MDM 0x07)~SFD1(MDM 0x08)寄存器中，硬件会判断为中国南方电网数据包，并且发送或接收 2 个字节的 SFD 长度。

Modulation	SFD Field (b0-b15)
2-FSK	1111 0011 1001 1000

表 2-7 南方电网数据包 SFD 定义

◆ 物理层头 (PHR)

物理层头 PHR 包括帧长、信道索引和帧头校验码共 3 个部分，具有多个字节的 Field，最先发送或接收最低位的字节，每字节都是先发送或接收最低的 bit。

◇ 帧长

待发送的数据长度，以字节为单位。该帧长包含了 PHR 其他两字节（信道索引、和帧头校验码）。可设置寄存器 PSDU\_LEN0 (MDM 0x15)来决定发送的 PSDU 长度，并且提供硬件编码使用，硬件会自动填入对应的帧长。

◇ 信道索引

信道索引以字节为单位，为发送设备指定发送数据的无线信道号。可以设置 CHAN\_INDEX (MDM 0x02)，硬件会自动填入对应的信道索引。

$$\text{信道索引} = \text{信道组号} \times 2 + \text{信道号}$$

◇ 帧头校验码

帧头校验码以字节为单位，为 PHR 前两字节(帧长和信道索引)的 XOR 的结果。硬件会自行把运算结果填入对应的帧头校验码。

◆ 物理层载荷 (PSDU)

PSDU 部分存放在 FIFO 中，具有可变的长度，负责传送物理层数据包里的数据。

◆ 帧校验序列 (FCS)

FCS 域为可选的 16bits/32bits 的 CRC 序列。

## 2.5 WM-Bus模式帧结构

若选择 WM-Bus 模式，需设置 MDM\_MOD(MDM 0x00)寄存器：DATA\_MODE 域选“数据包模式 (2'b10)”，PACKET\_SEL 域选“WM-Bus 数据包 (2'b11)”。

WM-Bus 模式的帧结构如下图所示。

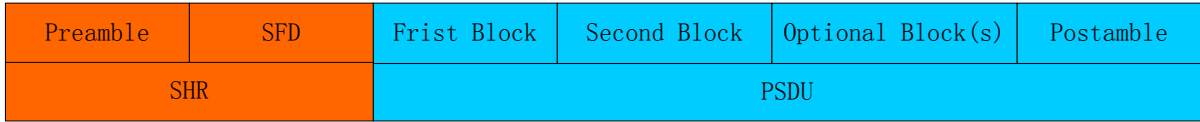


图 2-4 WM-Bus 模式帧结构示意图

### ◆ 前导码 (Preamble)

2(G)FSK 模式的 Preamble 为 01 或 10 的重复序列,4(G)FSK 模式的 Preamble 为 0111 或 1101 的重复序列, 重复次数小于  $2^{14}$ 。

### ◆ 帧分隔符 (SFD)

同步字长度为 1~4 字节。当子模式区分 A/B 帧时, A 帧的 SFD 写入 SFD Reg1, B 帧的 SFD 写入 SFD Reg2 中, 接收端会根据同步状态判断 A/B 帧。

### ◆ 后导码 (Postamble)

后导码为 01 或 10 的重复序列, 重复次数为 0~4 次。

WM-Bus 模式接收端首先需要对长度信息预填, 等知道实际长度后, 软件回填长度信息。接收端软件对帧结构的处理可根据字节中断标志位 (通过寄存器选择中断标志位的置起字节数) 进行判断读取及判别, 在该过程中, 硬件接收并不会停止, 当软件回填长度信息后, 硬件会将当前接收长度和回填长度进行比较, 当回填长度小于等于当前接收长度, 立即终止接收并置起中断标志位, 否则会继续接收。其接收流程如下:

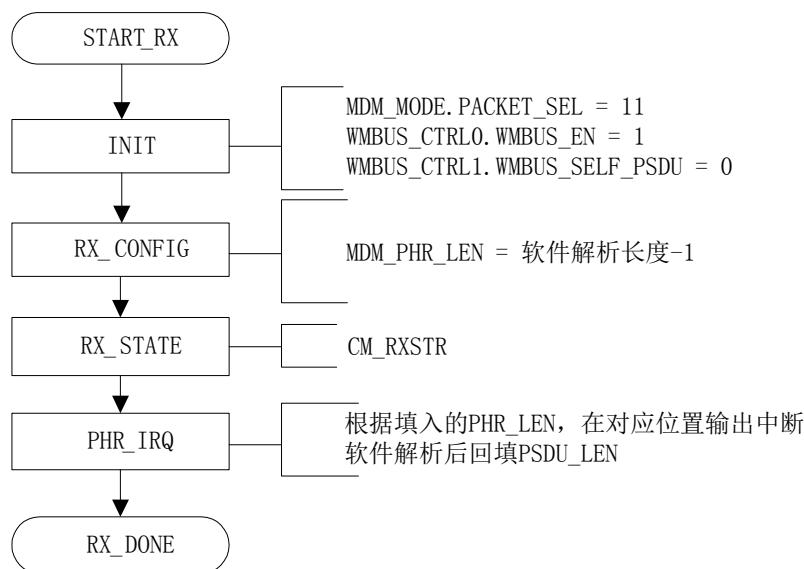


图 2-5 WM-Bus 模式接收流程图

## 2.6 SPI通信接口

ESW1032 支持 4 线 SPI 通信接口，可访问芯片内部寄存器与收发 FIFO，接口的设计工作频率最高为 8MHz，在电源电压低于 2V 时，SPI 频率不能高于 6MHz。

ESW1032 SPI 根据有效 SCLK 极性和相位，可归类为模式 1 (CPOL = 0, CPHA = 0)，即 SCLK 的初始值为零，数据在时钟的上升沿读取，数据在时钟的下降沿改变。所有数据传输都是 MSB 优先。另外，当 CS 为低电平时（即芯片进入 SHUT DOWN 状态），SDO 处于三态模式。

SPI 通信分为对地址的读写和 SPI 命令代码。时序图如下：

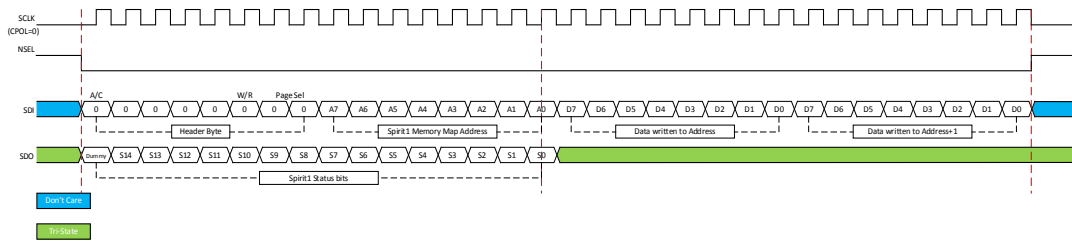


图 2-6 SPI 写时序

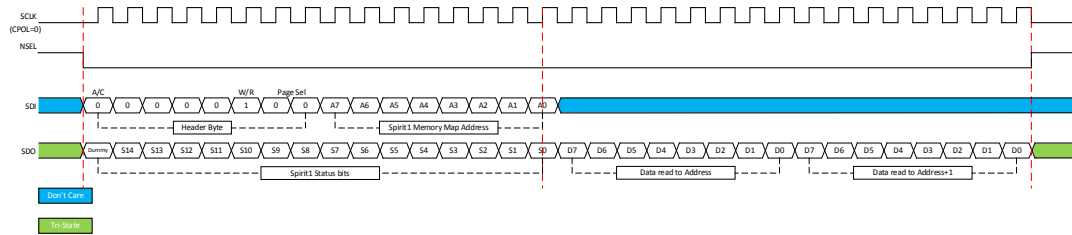


图 2-7 SPI 读时序

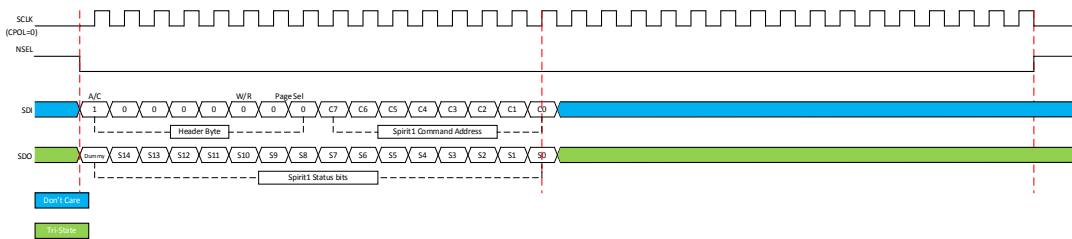


图 2-8 SPI 命令时序

SPI 通信模式下的指令解析主要根据 SPI 的“模式字节 (Mode Byte)”和“指令字节 (CMD Byte)”进行。

## 第3章 寄存器配置

### 3.1 SPI读写函数原型

ESW1032 寄存器分为 4 组，分别是模拟（Analog）相关寄存器、调制解调器（Modem）相关（包含 FIFO）寄存器，系统（System）相关寄存器，媒体访问控制（MAC）相关寄存器。上述寄存器的读写配置详情，可参考数据手册第 5 章“数据与控制接口”。

SPI 寄存器读写函数原型如下：

```
/******  
  
* @brief    esw1032_write_reg  
  
* @note    write register function  
  
* @param   page_sel  
           addr reg address  
           data  
  
* @retval  None  
  
*****/  
  
void esw1032_write_reg (reg_page_sel_t page_sel, uint8_t addr, uint8_t data)  
  
/******  
  
* @brief    esw1032_read_reg  
  
* @note    read register function  
  
* @param   page_sel  
           addr reg address  
  
* @retval  data  
  
*****/  
  
uint8_t esw1032_read_reg (reg_page_sel_t page_sel, uint8_t addr)  
  
/******  
  
* @brief    esw1032_write_fifo  
  
* @note    write fifo function  
  
* @param   data  
           length
```

```

* @retval    None

*****/

void esw1032_write_fifo (uint8_t *data, uint16_t length)

/*****

* @brief     esw1032_read_fifo
* @note      read fifo function
* @param     data
              length
* @retval    None

*****/

void esw1032_read_fifo (uint8_t *data, uint16_t length)

/*****

* @brief     esw1032_bulk_write_reg
* @note      write register function (bulk)
* @param     reg_buf
              len
* @retval    None

*****/

void esw1032_bulk_write_reg (uint8_t *reg_buf, uint16_t len)

/*****

* @brief     esw1032_write_cmd
* @note      write command function
* @param     cmd_d
* @retval    None

*****/

void esw1032_write_cmd (uint8_t cmd_d)

```

## 3.2 频段配置

ESW1032 支持的完整频段可参考数据手册，下面给出典型频段 315/433/470/868/915MHz 的配置，如下表所示。

寄存器	315MHz		433MHz		470MHz		868MHz		915MHz	
	发射端	接收端	发射端	接收端	发射端	接收端	发射端	接收端	发射端	接收端
ANA_0xA0	0x31	0x63	0x61	0x63	0x61	0x63	0x61	0x63	0x31	0x63
ANA_0xA4	0x3f	0x3f	0x39	0x39	0x3e	0x3e	0x39	0x39	0x3d	0x3d
ANA_0xA5	0x00	0x00	0xdd	0xdd	0x55	0x55	0xee	0xee	0x00	0x00
ANA_0xA6	0x00	0x00	0xdd	0xdd	0x55	0x55	0xee	0xee	0x00	0x00
ANA_0xA7	0x00	0x00	0x05	0x05	0x05	0x05	0x06	0x06	0x00	0x00
ANA_0x96	0x40	0x40	0x20	0x20	0x20	0x20	0x00	0x00	0x00	0x00

表 3-1 典型频段配置

**注意：**相同频点的发射端与接收端配置不同，应设置两个不同的频点配置函数来调用。

详细频点配置，可参考“ESW1032 相关参数配置公式生成器”Excel 表，或者通过上位机软件“ES Radio”生成。

## 3.3 发射功率配置

ESW1032 发射功率支持-20dBm~20dBm 可配，用户可通过上位机软件“ES Radio”进行配置或修改。与功率配置相关的寄存器是 ANA\_PAGE 的 0x78, 0x79, 0x7A, 0x7B 四个寄存器，用户可在上位机生成的头文件“\_reg\_esw1032.h”里查找具体配置，位置在发射寄存器组，即 \_esw1032\_param\_tx 数组里。

## 第4章 注意事项

### 4.1 CTS信号

ESW1032 上电后，需等待 CTS 信号为高电平，以确认芯片启动完成。

在芯片进行模式转换时，也需要通过 CTS 信号判断切换状态是否成功（CTS 在转换过程中为低电平，转换完成后会输出高脉冲）。

当 CTS 为低电平时，系统不响应新的 SPI command。MCU 可以通过两个方式得到 CTS 的状态：一是通过读取 GPIO1 电平，二是读系统寄存器 ST\_CTS(SYS 0x1F)。

### 4.2 SHUT DOWN状态

ESW1032 在 SHUT DOWN 状态下，芯片全部掉电，寄存器内容丢失，且不可访问 SPI。

进入 SHUT DOWN 状态的方式是将 CS 脚置为低电平。若 CS 脚置为高电平，可从 SHUT DOWN 状态唤醒，恢复至 READY/IDLE 状态。

注意：在 SHUT DOWN 状态下，CS 脚的低电平应保持 5 $\mu$ s 以上，以便让芯片内部电容充分放电。

### 4.3 SLEEP状态

ESW1032 在 SLEEP 状态下，LRC 仍会计数，并启动唤醒定时器（WUT）模块。

进入 SLEEP 状态的方式有两种：命令（CMD\_SLEEP）和计时器溢出（WUT\_SLEEP）。命令方式仅在上电完成状态（GPIO1 置高/ST\_STATE[0]置高）下有效。

SLEEP 状态下唤醒的方式有两种：命令（CMD\_READY）和计时器溢出（WUT\_UP）。命令方式唤醒后，芯片会稳定在上电完成状态（GPIO1 置高/ST\_STATE[0]置高），可直接通过命令实现收发及频点配置；计时器溢出方式唤醒后，芯片会稳定在 STARTUP 状态，还需通过命令（CMD\_READY）才能重新进入上电完成状态。

若 SLEEP 状态使用定时休眠或唤醒功能，在芯片初始化完成后，需将 ANA 的 0x15 寄存器配置为 0x08，此时 READY 态，TX 态，RX 态电流会增加 1mA。

### 4.4 WAIT\_CMD状态

ESW1032 在发送或接收完成后会自动进入 WAIT\_CMD 状态，此状态为中间态。

在 WAIT\_CMD 状态下，可通过 SPI command（CMD\_TXSTR、CMD\_RXSTR 或 CMD\_PDPLL）进入发射态、接收态或 IDLE 态。

### 4.5 4(G)FSK

在使用 4(G)FSK 调制模式时，建议 SFD 配置不低于 2 字节。

## 第5章 常见问题分析

若 ESW1032 芯片出现异常现象，可采用排查法定位：首先确认故障现象，再通过现象分析可能原因并逐一排查，最后确定故障原因。例如，当出现收发通信失败问题，首先应检查测试环境以确认故障现象（排除接触不良等问题），再将异常芯片与正常芯片进行收发通信测试，定位异常芯片是发射还是接收问题，再从硬件和软件两个方面分别进行排查。

### ◆ 硬件排查

#### (1) 供电是否正常

上电后芯片默认进入 Ready 模式，可通过万用表测试芯片电流，确认供电是否正常。

#### (2) 晶振是否正常

上电后通过示波器测试晶振的 XO 引脚，观察晶振是否起振，频率和波形是否正确。若有异常，可能是晶振焊接不良或外接电容值不匹配，可进行调整。

#### (3) SPI 读写是否正常

对寄存器进行读写操作，检查 SPI 的驱动程序是否正确。若寄存器写入值与读取值不一致，可以通过示波器抓取 SPI 波形，检查 SPI 四根线的电平是否正常，波形时序是否与数据手册一致；还需检查 SPI 的通讯速率是否小于芯片 SPI 的最大通讯速率。

#### (4) 通信频点有无干扰

将 Sub-1GHz 天线连接到频谱分析仪，测试当前的空间辐射信号。若通信频点附近存在较大的干扰信号，应改变通信频点，以避开干扰信号。

#### (5) 发射频点是否锁定

使能 0101 连续序列发送模式，通过频谱分析仪观察发射频点是否锁定，与设置值是否一致。

#### (6) 接收频点是否锁定

设置芯片为接收模式，通过频谱分析仪测试芯片输出，判断接收本振是否锁定。

#### (7) 收发频率差是否过大

使能 0101 连续序列发送模式，通过频谱分析仪测试收发两端芯片的发射频点，观察收发频率差是否过大，若频率差过大，可调整或外接电容值。若确认是晶振频率一致性差问题，应更换晶振，推荐选择频率稳定性为  $\pm 10\text{ppm}$  的晶振。

### ◆ 软件排查

#### (1) 寄存器检查

检查芯片的寄存器初始化配置，是否与参考例程一致。

#### (2) 流程检查

检查芯片的收发流程，是否与参考例程一致。

### ◆ 其它问题

#### (1) 芯片发送或接收频点与设置值不一致

频点设置需在芯片发送或接收状态有效之前完成，否则芯片内部 PLL 无法正确锁定。