

ZhaTianRX

接收机操作指南

MCU: STC8H1K08 | 射频: NRF24L01+ | 编译器: SDCC

固件版本: 1.0 | 项目: ZhaTianRC

本文档涵盖接收机的所有功能、操作步骤及串口命令参考

目录

1. 概述
2. 硬件引脚分配
3. 首次使用 - 对频操作
4. 输出模式切换
5. 串口命令详解
6. 回传遥测功能
7. LED 状态指示
8. 固件烧录方法
9. 附录 - 技术规格
10. 完整功能清单（38 项）

1. 概述

ZhaTianRX 是 ZhaTianRC 遥控器项目的接收机子项目。采用 STC8H1K08 系列单片机作为主控芯片，NRF24L01+ 作为 2.4GHz 射频收发芯片。接收机从发射机接收遥控通道数据，转换为多种输出格式，驱动舵机、飞控等设备。

主要特性

- 4 路 50Hz 舵机 PWM 输出 (P3.4-P3.7)
- SBUS 输出 (100kbps 8E2, 经三极管反相)
- CRSF/Crossfire 输出 (420kbps 8N1)
- UART 直通输出 (115200 8N1)
- 电池电压检测 (12位ADC)
- NRF24L01 遥测回传 (电压/RSSI/丢包率)
- EEPROM 存储对频信息
- 串口命令配置 (115200 8N1)
- 信号丢失保护 (失控回中位)
- NRF 模块硬件检测与自动恢复

2. 硬件引脚分配

2.1 功能引脚

功能	引脚	说明
CH1	P3.7	舵机 PWM 输出 1 (50Hz)
CH2	P3.6	舵机 PWM 输出 2
CH3	P3.5	舵机 PWM 输出 3
CH4	P3.4	舵机 PWM 输出 4
BAT_ADC	P3.3/ADC11	电池电压分压输入
LED	P3.2	状态指示灯 (低电平亮)
TX	P3.1	UART1 TX / SBUS 输出 (经三极管反相)
RX	P3.0	UART1 RX / 命令输入

2.2 NRF24L01 连接引脚

NRF24L01 通过 STC8H 硬件 SPI 连接，IRQ 连接到了不具备中断功能的引脚，通过主循环轮询检测。

信号	引脚
SCK	P1.5
CE	P1.6
IRQ	P1.7
CSN	P5.4
MISO	P1.3
MOSI	P1.4

3. 首次使用 - 对频操作

接收机上电后自动检测 EEPROM 中是否存有对频信息。如果没有对频数据，自动进入对频模式（LED 快闪 3Hz），等待与发射机配对。

3.1 首次对频

步骤 1: 给接收机上电

连接接收机电源（3.3V-5V），观察 LED 状态。如果 EEPROM 无数据，LED 会以 3Hz 快闪表示进入对频模式。如果 LED 双闪，说明 NRF24L01 模块未检测到，请检查硬件连接。

步骤 2: 打开发射机并进入对频

在发射机上操作进入对频模式。发射机会在 0~125 频道上广播对频包，包含同步头 (0xAA 0x55)、对频短语和地址信息。

步骤 3: 等待自动配对

接收机会自动扫描所有频道，匹配对频短语（默认 "LOVE"）。匹配成功后自动保存地址到 EEPROM，LED 变为常亮。

3.2 重新对频

步骤 1: 清除对频信息

通过串口发送命令清除 EEPROM 中的对频数据：

```
DEL(BIND)
```

步骤 2: 确认接收机进入对频模式

发送 DEL(BIND) 后，接收机会自动擦除 EEPROM 并进入对频模式，LED 变为 3Hz 快闪。

步骤 3: 重复首次对频步骤

在发射机上进入对频模式，等待自动配对。

3.3 修改对频短语

步骤 1: 发送 PHRASE 命令

通过串口发送新的对频短语，1~6 位字母数字：

```
PHRASE(Abc123)
```

步骤 2: 确认成功

接收机返回 "OK" 表示设置成功，短语已保存到 EEPROM。

步骤 3: 重新对频

修改短语后需要重新对频。发送 DEL(BIND) 清除旧绑定，然后确保发射机也使用相同的短语进行对频。

4. 输出模式切换

接收机支持 4 种输出模式，默认为 PWM 模式。切换模式通过串口发送 MODEL 命令实现。注意：所有输出模式共用 UART1 TX 引脚 (P3.1)，切换模式时会自动调整波特率和帧格式。

4.1 PWM 模式（默认）

4 路 50Hz 舵机 PWM 信号，通过定时器0 4us 中断生成。脉宽范围 1.0ms ~ 2.0ms，中位 1.5ms。

步骤 1: 切换到 PWM 模式

通过串口发送：

```
MODEL(PWM)
```

步骤 2: 确认切换成功

接收机返回 "OK"，UART1 恢复 115200 8N1 命令模式。

步骤 3: 连接舵机

将舵机信号线连接到对应的 PWM 输出引脚：

- CH1 -> P3.7
- CH2 -> P3.6
- CH3 -> P3.5
- CH4 -> P3.4

注意舵机电源需独立供电，不要从 MCU 引脚取电。

4.2 SBUS 模式

SBUS 是 Futaba 制定的串行舵机总线协议，100kbps 8E2 帧格式。16 通道 11-bit 编码。接收机输出经板上三极管反相，可直接连接支持 SBUS 的飞控。

步骤 1: 切换到 SBUS 模式

通过串口发送：

```
MODEL(SBUS)
```

步骤 2: 确认切换成功

接收机返回 "OK"，UART1 切换为 100kbps 8E2。

步骤 3: 连接飞控

将接收机 TX (P3.1) 连接到飞控的 SBUS RX 引脚。

注意：SBUS 信号已经过三极管反相，可直接连接。

4.3 CRFS/CRSF 模式

CRSF (Crossfire) 是 ExpressLRS/TBS 等使用的协议，420kbps 8N1。帧格式: 0xEE + length + type + payload + CRC8。RC 通道帧 type=0x16，遥测帧 type=0x08。

步骤 1: 切换到 CRFS 模式

通过串口发送：

```
MODEL(CRFS)
```

步骤 2: 确认切换成功

接收机返回 "OK", UART1 切换为 420kbps 8N1。

步骤 3: 连接飞控

将接收机 TX (P3.1) 连接到飞控的 CRSF RX 引脚。

接收机会发送 RC 通道帧, 同时接收飞控发来的 CRSF 遥测帧并转发给发射机。

4.4 UART 模式

UART 直通模式, 115200 8N1, 预留扩展用途。

步骤 1: 切换到 UART 模式

通过串口发送:

```
MODEL(UART)
```

步骤 2: 确认切换成功

接收机返回 "OK", UART1 为 115200 8N1 直通模式。

5. 串口命令详解

通过 P3.0 (RX) 输入命令，115200 8N1，回车或换行结束命令。接收机在 PWM 和 UART 模式下持续监听串口命令，不影响正常输出。SBUS 和 CRFS 模式下串口用于协议输出，命令解析暂停。

5.1 命令速查表

命令	参数	说明
MODEL(PWM)	无	切换到 PWM 输出模式
MODEL(SBUS)	无	切换到 SBUS 输出模式
MODEL(UART)	无	切换到 UART 直通模式
MODEL(CRFS)	无	切换到 CRSF 输出模式
ADDR(0x...)	5字节十六进制	设置 NRF24L01 地址
PHRASE(...)	1~6位字母数字	设置对频短语
TUN(N)	0~125	设置 RF 频道
DEL(BIND)	无	清除对频信息，进入对频
TELEM(N)	1~10	设置回传频率 (Hz)

5.2 应答格式

应答	含义
OK	命令执行成功
ERR	命令格式错误
ERR_ADDR	地址参数错误
ERR_RANGE	参数超出范围
UNK	未知命令

5.3 命令详解

MODEL() - 切换输出模式

功能：切换接收机的输出模式。每次切换成功后，UART1 自动调整为对应协议的波特率和帧格式。

步骤 1: 连接串口

将 USB-TTL 转换器的 TX 接接收机 P3.0(RX)，GND 接 GND。

步骤 2: 打开串口终端

设置 115200 8N1，打开串口。

步骤 3: 发送命令

输入 MODEL(PWM) 或 MODEL(SBUS) 等，回车发送。

步骤 4: 确认应答

接收机返回 "OK" 表示切换成功。

ADDR() - 设置 NRF24L01 地址

功能：修改 NRF24L01 的 5 字节通信地址。地址需与发射机一致才能通信。

步骤 1: 准备新地址

准备 5 个字节的十六进制值，例如 E7 E7 E7 E7 E7。

步骤 2: 发送命令

格式：ADDR(0xHH HH HH HH HH)，例如：

```
ADDR(0xE7 E7 E7 E7 E7)
```

步骤 3: 确认应答

返回 "OK" 表示地址修改成功，NRF 已重新初始化。

PHRASE() - 设置对频短语

功能：设置对频短语，1~6 位字母数字。发射机和接收机必须使用相同的短语才能对频。

步骤 1: 确定短语

准备 1~6 位字母数字组合，例如 "LOVE"、"Abc123"。

步骤 2: 发送命令

例如：

```
PHRASE(LOVE)
```

步骤 3: 确认应答

返回 "OK" 表示设置成功，已保存到 EEPROM。

TUN() - 切换 RF 频道

功能：切换 NRF24L01 的 RF 频道 (0~125)。频道需与发射机一致。

步骤 1: 发送命令

例如切换到频道 40：

```
TUN(40)
```

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示频道切换成功。

DEL(BIND) - 清除对频信息

功能：擦除 EEPROM 中的对频数据，使接收机重新进入对频模式。

步骤 1: 发送命令

```
DEL(BIND)
```

步骤 2: 确认应答

返回 "OK"，LED 变为 3Hz 快闪表示进入对频模式。

步骤 3: 重新对频

在发射机上进入对频模式，等待自动配对。

TELEM() - 设置回传频率

功能：设置遥测回传频率，范围 1~10Hz，默认 2Hz。

步骤 1: 发送命令

例如设置为 5Hz:

```
TELEM(5)
```

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示设置成功。

6. 回传遥测功能

接收机支持通过 NRF24L01 向发射机回传遥测数据。不同输出模式下回传路径不同，PWM 和 SBUS 模式通过 NRF 直接回传，CRFS 模式通过 CRSF 遥测帧回传并转发飞控数据。

6.1 回传数据内容

数据项	来源	范围
电池电压	P3.3/ADC11 12位采样	ADC 原始值 0~4095
RSSI	NRF RPD 载波检测	0~100
丢包率	滑动窗口估算	0~100%

6.2 各模式回传路径

模式	回传通道	数据
PWM	NRF24L01 TX	0xBB 0x44 + 电压(2B) + RSSI(1B) + 丢包(1B) + 温度(2B)
SBUS	NRF24L01 TX	同上
CRFS	CRSF 遥测帧	CRSF Battery sensor (type=0x08) + 飞控数据转发

6.3 设置回传频率

回传频率默认 2Hz，可通过 TELEM 命令调整。频率越高，NRF 切换 TX/RX 越频繁。

步骤 1: 查看当前频率

回传频率默认 2Hz，无需查看命令。

步骤 2: 修改频率

例如设置为 5Hz：

```
TELEM(5)
```

步骤 3: 确认应答

返回 "OK" 表示设置成功。频率范围 1~10Hz。

6.4 CRFS 模式下的飞控数据转发

在 CRFS 模式下，接收机不仅发送 CRSF RC 通道帧到飞控，还接收飞控发来的 CRSF 遥测帧（如 GPS、姿态、电池等信息），通过 NRF24L01 转发给发射机，实现完整的双向通信。

步骤 1: 切换到 CRFS 模式

```
MODEL(CRFS)
```

步骤 2: 连接飞控

将接收机 TX 接飞控 RX，接收机 RX 接飞控 TX。
飞控会收到 RC 通道帧，同时发送遥测帧给接收机。

步骤 3: 自动转发

接收机自动将飞控发来的 CRSF 帧通过 NRF 转发给发射机，无需额外配置。

7. LED 状态指示

接收机使用 P3.2 驱动一个 LED（低电平亮），通过不同的闪烁模式指示当前工作状态。

LED 模式	效果	含义
慢闪	1Hz: 亮500ms 灭500ms	未连接，等待发射机信号
快闪	3Hz: 亮167ms 灭167ms	对频模式，正在搜索发射机
常亮	持续点亮	已连接，通信正常
双闪	1Hz: 亮100ms 灭100ms 亮100ms 灭700ms	NRF24L01 模块硬件错误

LED 状态诊断

步骤 1: LED 双闪

NRF24L01 模块未检测到或通信失败。

检查：

- 1. NRF24L01 模块是否正确插入
- 2. 供电电压是否正常 (3.3V)
- 3. SPI 引脚连接是否正确 (P1.3-P1.5, P5.4)

接收机会每 500ms 自动重试检测，模块正常后自动恢复。

步骤 2: LED 慢闪

接收机已初始化完成，但未收到发射机信号。

检查：

- 1. 发射机是否开机
- 2. 对频短语和频道是否匹配
- 3. 距离是否在有效范围内

步骤 3: LED 快闪

接收机处于对频模式，正在扫描频道寻找发射机。

请在发射机上进入对频模式。

步骤 4: LED 常亮

接收机已成功连接发射机，通信正常。

此时可以正常使用遥控器控制设备。

8. 固件烧录方法

8.1 使用 stcgal (Linux/命令行)

stcgal 是一个开源的 STC 单片机烧录工具，支持命令行操作。

步骤 1: 安装 stcgal

通过 pip 安装：

```
pip3 install stcgal
```

步骤 2: 连接硬件

将 USB-TTL 转换器连接到接收机：

USB-TTL TX -> 接收机 P3.0 (RX)

USB-TTL RX -> 接收机 P3.1 (TX)

USB-TTL GND -> 接收机 GND

给接收机上电 (3.3V-5V)。

步骤 3: 烧录固件

确认串口设备后执行：

```
stcgal -p /dev/ttyUSB0 -b 115200 build/ZhaTianRX.hex
```

步骤 4: 等待烧录完成

stcgal 会自动握手并烧录，完成后会显示成功信息。烧录完成后接收机会自动重启运行新固件。

8.2 使用 STC-ISP (Windows)

STC-ISP 是 STC 官方提供的 Windows 烧录工具。

步骤 1: 下载 STC-ISP

从 STC 官方网站下载最新版 STC-ISP 工具。

步骤 2: 连接硬件

使用 USB-TTL 转换器连接接收机（同上）。

步骤 3: 选择芯片型号

在 STC-ISP 中选择芯片型号：STC8H1K08。

步骤 4: 选择固件文件

点击"打开程序文件"，选择 build/ZhaTianRX.hex。

步骤 5: 下载烧录

点击"下载/编程"按钮，然后给接收机重新上电，STC-ISP 会自动检测并烧录。

8.3 编译固件

如果修改了源代码，需要重新编译生成固件。

步骤 1: 安装 SDCC

确保已安装 SDCC 编译器：

```
sudo apt install sdcc
```

步骤 2: 编译固件

在项目目录下执行：

```
cd rx && make clean && make
```

步骤 3: 查看输出

编译成功后，在 build/ 目录下生成：

ZhaTianRX.hex - Intel HEX 格式固件

ZhaTianRX.bin - 二进制格式固件

ZhaTianRX.map - 内存映射文件

9. 附录 - 技术规格

9.1 硬件规格

项目	规格
主控芯片	STC8H1K08 (8051 内核)
主频	24MHz 内部 IRC
Flash	8KB (固件占用 ~6.8KB)
内部 RAM	256 字节
外部 RAM (XDATA)	256 字节
射频芯片	NRF24L01+ 2.4GHz
SPI 速率	6MHz (硬件 SPI)
RF 频道	0~125 (默认 40)
通信速率	1Mbps
PWM 输出	4 路, 50Hz, 1.0~2.0ms
SBUS	100kbps 8E2
CRSF	420kbps 8N1
UART 命令	115200 8N1
ADC	12位, P3.3/ADC11
工作电压	3.3V ~ 5V

9.2 固件信息

项目	数值
编译器	SDCC 4.2.0
编译参数	-mmcs51 --model-small --no-xinit-opt
固件大小	6,756 字节 (HEX)
Flash 占用	82% (剩余 ~1.4KB)
栈空间	153 字节空闲
XDATA 占用	283 字节
源码行数	~1,350 行

9.3 数据包格式

NRF24L01 下行 (发射机 -> 接收机)

偏移	大小	内容
0	1	同步头 0xAA
1	1	同步头 0x55
2	6	对频短语 (如 "LOVE")
8	16	8 通道数据, 每通道 2 字节大端 (0~2000)
24	7	保留/扩展

31	1	XOR 校验和
----	---	---------

NRF24L01 上行 (接收机 -> 发射机, 回传)

偏移	大小	内容
0	1	同步头 0xBB
1	1	同步头 0x44
2	2	电池电压 (大端)
4	1	RSSI (0~100)
5	1	丢包率 (0~100%)
6	2	温度 (保留)

CRSF 帧格式

偏移	大小	内容
0	1	同步头 0xEE
1	1	长度 (type+payload+crc)
2	1	类型 (0x16=RC通道, 0x08=电池遥测)
3	可变	Payload
末尾	1	CRC8 (多项式 0xD5)

10. 完整功能清单（38 项）

以下列出 ZhaTianRX 接收机固件的全部功能，每项附带详细操作步骤。

一、无线通信 (功能 1~8)

功能 1: NRF24L01 接收

通过 STC8H 硬件 SPI 接收发射机 32 字节数据包。

步骤 1: 确认硬件连接

确保 NRF24L01 模块正确连接：

SCK -> P1.5, CE -> P1.6, IRQ -> P1.7

CSN -> P5.4, MISO -> P1.3, MOSI -> P1.4

供电 3.3V, GND 共地。

步骤 2: 上电自动初始化

接收机上电后自动初始化 NRF24L01 模块，设置 SPI 速率 6MHz。如果模块检测失败，LED 双闪报警。

步骤 3: 接收数据

NRF24L01 收到有效数据包后，接收机解析 8 通道数据（每通道 2 字节大端 0~2000），更新输出 PWM/SBUS/CRSF。

功能 2: 对频绑定

上电 EEPROM 无数据自动进入对频模式，扫描 0~125 频道匹配短语。

步骤 1: 进入对频模式

接收机上电后检测 EEPROM。无对频数据则自动进入对频模式（LED 快闪 3Hz）。

步骤 2: 扫描频道

接收机在 0~125 频道上逐频道监听，等待接收包含匹配短语的对频包。

步骤 3: 保存绑定信息

匹配成功后，将发射机地址、频道写入 EEPROM，LED 变为常亮。

功能 3: 对频短语

默认短语 "LOVE"，支持 1~6 位字母数字，通过 PHRASE() 命令修改。

步骤 1: 查看当前短语

短语保存在 EEPROM 中，可通过串口读取（需在代码中扩展读取命令）。

步骤 2: 修改短语

发送命令修改：

```
PHRASE(Abc123)
```

步骤 3: 重新对频

修改短语后需发送 DEL(BIND) 重新对频。

功能 4: 地址管理

5 字节 NRF24L01 地址，通过 ADDR() 命令修改。

步骤 1: 发送新地址

格式:

```
ADDR(0xE7 E7 E7 E7 E7)
```

步骤 2: 确认修改

返回 "OK" 表示成功, NRF 重新初始化。

步骤 3: 重新对频

修改地址后需重新对频。

功能 5: 频道切换

0~125 频道, 通过 TUN(N) 命令切换。

步骤 1: 发送频道命令

例如切到频道 40:

```
TUN(40)
```

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示切换成功。

功能 6: 数据包校验

XOR 校验和验证。

步骤 1: 自动校验

接收机收到 32 字节数据包后, 自动计算前 31 字节的 XOR 校验和, 与第 32 字节对比。不一致则丢弃该包。

功能 7: 信号丢失保护

连续 ~5 秒无数据自动判丢失, PWM 回中位。

步骤 1: 信号丢失自动处理

接收机内部维护一个丢失计数器。每次收到有效数据包清零, 主循环每 10ms 递增一次。计数超过 500 (约 5 秒) 判定为信号丢失。

步骤 2: 丢失后行为

PWM 模式下所有通道输出回中位 (1.5ms 脉宽), LED 变为慢闪。信号恢复后自动回到正常状态。

功能 8: NRF 硬件检测

上电检测 NRF 模块是否存在, 失败 LED 双闪并定期重试。

步骤 1: 上电检测

接收机初始化时读取 NRF24L01 寄存器验证通信。失败则 LED 双闪。

步骤 2: 自动恢复

接收机每 500ms 重试检测 NRF 模块。模块正常后自动恢复运行。

二、输出模式 (功能 9~12)

功能 9: PWM 输出（默认）

4 路 50Hz 舵机 PWM，P3.4-P3.7，1.0~2.0ms 脉宽，定时器0 4us 中断生成。

步骤 1: 切换到 PWM 模式

MODEL(PWM)

步骤 2: 连接舵机

CH1(P3.7) CH2(P3.6) CH3(P3.5) CH4(P3.4) 接舵机信号线。舵机电源需独立供电。

步骤 3: 确认输出

用示波器或舵机测试 PWM 信号。中位 1.5ms，范围 1.0~2.0ms。

功能 10: SBUS 输出

100kbps 8E2，16 通道 11-bit 编码，经三极管反相输出。

步骤 1: 切换到 SBUS 模式

MODEL(SBUS)

步骤 2: 连接飞控

接收机 TX(P3.1) 接飞控 SBUS RX。信号已反相，可直接连接。

步骤 3: 验证输出

用逻辑分析仪或飞控调参软件查看 16 通道数据。

功能 11: UART 输出

115200 8N1 直通，预留扩展。

步骤 1: 切换到 UART 模式

MODEL(UART)

步骤 2: 连接设备

TX(P3.1) 接目标设备 RX。波特率 115200 8N1。

功能 12: CRFS/CRSF 输出

420kbps 8N1，CRSF RC 通道帧 (type=0x16)，CRC8 校验。

步骤 1: 切换到 CRFS 模式

MODEL(CRFS)

步骤 2: 连接飞控

TX(P3.1) 接飞控 CRSF RX，RX(P3.0) 接飞控 CRSF TX（双向通信）。

步骤 3: 验证双向通信

飞控应收到 RC 通道帧，同时接收机转发飞控遥测数据给发射机。

三、回传遥测 (功能 13~19)

功能 13: 电池电压回传

BAT_ADC(P3.3) 12 位 ADC 采样, 所有模式均可回传。

步骤 1: 连接电池分压电路

电池电压经分压电阻接入 P3.3。分压比需确保最高电压不超过 3.3V。

步骤 2: 读取电压

接收机自动 12 位 ADC 采样, 通过回传通道发送给发射机。发射机端显示电压值。

功能 14: RSSI 回传

基于 NRF RPD 载波检测寄存器估算 (0-100)。

步骤 1: 自动采集

接收机在每个接收周期读取 NRF RPD 寄存器, 估算信号强度。

步骤 2: 查看 RSSI

RSSI 值通过回传通道发送给发射机, 在发射机端显示。

功能 15: 丢包率回传

滑动窗口估算 (0-100%)。

步骤 1: 自动计算

接收机维护滑动窗口, 统计最近 N 个数据包中丢失的比例。

步骤 2: 查看丢包率

丢包率通过回传通道发送给发射机。

功能 16: NRF 回传 (PWM/SBUS)

PWM/SBUS 模式下通过 NRF TX 发 0xBB 0x44 回传包。

步骤 1: 自动回传

在 PWM 或 SBUS 模式下, 接收机自动在接收间隙切换 NRF 为 TX 模式发送回传包。

步骤 2: 配置回传频率

默认 2Hz, 可通过 TELEM 命令调整。

TELEM(5)

功能 17: CRSF 遥测回传

CRFS 模式下通过 CRSF Battery sensor 帧 (type=0x08) 回传。

步骤 1: 自动发送

在 CRFS 模式下, 接收机自动构造 CRSF Battery sensor 遥测帧, 通过 UART 发送给飞控 (飞控再转发给遥控器)。

功能 18: 飞控数据转发

CRFS 模式下接收飞控 UART 发来的 CRSF 帧, 通过 NRF 转发给发射机。

步骤 1: 自动转发

接收机在 CRFS 模式下持续监听 UART RX, 收到飞控发来的 CRSF 帧后, 通过 NRF 转发给发射机。无需额外配置。

功能 19: 回传频率可调

1~10Hz，默认 2Hz，通过 TELEM(N) 命令设置。

步骤 1: 设置频率

例如设置为 5Hz：

```
TELEM(5)
```

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示设置成功。

四、串口命令系统 (功能 20~28)

功能 20: MODEL(PWM)

切 PWM 模式

步骤 1: 发送命令

MODEL(PWM)

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示切换成功。

功能 21: MODEL(SBUS)

切 SBUS 模式

步骤 1: 发送命令

MODEL(SBUS)

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示切换成功。

功能 22: MODEL(UART)

切 UART 模式

步骤 1: 发送命令

MODEL(UART)

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示切换成功。

功能 23: MODEL(CRFS)

切 CRSF 模式

步骤 1: 发送命令

MODEL(CRFS)

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示切换成功。

功能 24: ADDR() - 设置 NRF 地址

设置 5 字节 NRF 地址。

步骤 1: 发送命令

格式: ADDR(0xHH HH HH HH HH)

ADDR(0xE7 E7 E7 E7 E7)

步骤 2: 确认应答

返回 "OK" 表示成功。

功能 25: PHRASE() - 设置对频短语

设置对频短语 (1-6位字母数字)。

步骤 1: 发送命令**PHRASE(LOVE)****步骤 2: 确认应答**

返回 "OK" 表示成功。

功能 26: TUN() - 设置 RF 频道

设置 RF 频道 (0-125)。

步骤 1: 发送命令**TUN(40)****步骤 2: 确认应答**

返回 "OK" 表示成功。

功能 27: DEL(BIND) - 清除对频信息

清除 EEPROM 对频信息，重新对频。

步骤 1: 发送命令**DEL(BIND)****步骤 2: 确认应答**

返回 "OK"，LED 快闪进入对频模式。

功能 28: TELEM() - 设置回传频率

设置回传频率 (1-10Hz)。

步骤 1: 发送命令**TELEM(5)****步骤 2: 确认应答**

返回 "OK" 表示成功。

五、LED 状态指示 (功能 29~32)

功能 29: 慢闪 (1Hz)

未连接（等待发射机）。

步骤 1: 观察 LED

LED 以 1Hz 慢闪（亮 500ms 灭 500ms），表示接收机已初始化但未收到发射机信号。

步骤 2: 排查原因

检查发射机是否开机、对频短语和频道是否匹配、距离是否在有效范围内。

功能 30: 快闪 (3Hz)

对频中。

步骤 1: 观察 LED

LED 以 3Hz 快闪（亮 167ms 灭 167ms），表示接收机正在对频模式。

步骤 2: 操作

在发射机上进入对频模式，等待自动配对。

功能 31: 常亮

已连接正常。

步骤 1: 观察 LED

LED 持续点亮，表示接收机已成功连接发射机，通信正常。

步骤 2: 正常使用

此时可以正常使用遥控器控制设备。

功能 32: 双闪 (1Hz)

NRF 模块硬件错误。

步骤 1: 观察 LED

LED 以双闪模式（亮100ms 灭100ms 亮100ms 灭700ms）报警。

步骤 2: 排查原因

检查 NRF24L01 模块是否插好、供电 3.3V 是否正常、SPI 引脚连接是否正确。接收机会自动重试，模块正常后恢复。

六、存储与配置 (功能 33~34)

功能 33: EEPROM 存储

通过 IAP 读写，保存对频标志、地址、频道、短语。

步骤 1: 自动保存

对频成功后，接收机自动将地址、频道、短语写入 EEPROM。下次上电直接读取使用。

步骤 2: 清除数据

发送 DEL(BIND) 命令擦除 EEPROM 对频数据。

功能 34: 上电自动恢复

检测 EEPROM 对频标志，有数据直接进入接收模式。

步骤 1: 上电流程

接收机上电后读取 EEPROM 对频标志。

有数据 -> 直接进入接收模式，LED 慢闪等待信号

无数据 -> 进入对频模式，LED 快闪

七、硬件外设 (功能 35~38)

功能 35: 硬件 SPI

STC8H 内置 SPI 主模式，6MHz，驱动 NRF24L01。

步骤 1: 自动初始化

接收机上电后自动配置 STC8H 硬件 SPI 为主模式，速率 6MHz。

步骤 2: 无需用户操作

SPI 通信完全由固件自动管理，用户无需干预。

功能 36: 定时器0

4us 中断，生成 4 路 PWM + 系统滴答 (10ms)。

步骤 1: 自动配置

定时器0 配置为 4us 中断，用于生成 PWM 信号和系统滴答时钟。

步骤 2: 无需用户操作

定时器由固件自动管理。

功能 37: UART1

使用 Timer2 做波特率发生器，支持 115200/100k/420k 切换。

步骤 1: 自动切换

切换输出模式时，UART1 自动调整波特率和帧格式。

PWM/UART: 115200 8N1

SBUS: 100kbps 8E2

CRFS: 420kbps 8N1

功能 38: ADC

12 位，P3.3/ADC11，电池电压采样。

步骤 1: 连接分压电路

将电池电压经分压电阻接入 P3.3。确保最高电压不超过 3.3V。

步骤 2: 自动采样

接收机自动进行 12 位 ADC 采样，结果通过回传通道发送给发射机。