



# 车规级 MEMS 6 自由度惯性传感器

## FSS-IMU470-M 产品手册

### 特性

#### 车规级 MEMS 陀螺仪

- $2.0^{\circ}/\text{hr}$  零偏不稳定性
- $0.2^{\circ}/\sqrt{\text{hr}}$  角度随机游走

#### 车规级 MEMS 加速度计

- $25\mu\text{g}$  零偏不稳定性
- $0.02\text{ m/s}^2/\sqrt{\text{hr}}$  速度随机游走

#### 独立转台标定

- 独立标定每个模块:灵敏度、零偏、非正交误差
- $-40^{\circ}\text{C}$  至  $105^{\circ}\text{C}$  温度补偿

#### 高强度工况耐受

- 超强冲击耐受:  $2000\text{g}$  ( $0.5\text{ms}$ , 半正弦, 3 轴)
- 超强振动耐受:  $10\text{g}$  ( $10\sim 2\text{KHz}$ , 3 轴)
- 全温环境稳定工作:  $-40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$
- 100%磁屏蔽

#### 实时而灵活的数字接口、体积小巧

- 高达  $1\text{kHz}$  的可配置输出采样率
- 支持 uart 串口
- $17*17.5*3.7\text{mm}$ , 重量仅  $1.6\text{g}$

### 产品概述

FSS-IMU470-M 是原极科技倾力打造的车规级 6 自由度 MEMS 惯性传感器模块。标配输出三轴陀螺仪与三轴加速度计, 应用简单, 无需复杂指令和配置。高精度、高分辨率, 可捕捉细微的震动与倾斜。所有模块出厂前都进行严格的转台标定, 校准各传感器的零偏、刻度系数及正交性。让每个模块都能在各种极限工况下稳定发挥, 同时保证所有产品性能高度一致。

### 应用领域

- 先进驾驶辅助系统 ADAS
- 自动驾驶 AD
- 高精度导航
- 平台稳定与控制
- 割草机
- 泳池机器人

在标准性能及输出参数的基础上, 原极也为您的特殊需求提供定制化软件及 LOGO 定制服务, 在产品上助您一臂之力!



## 目录

1. 性能参数 .....	3
1.1 陀螺仪关键指标 .....	3
1.2 加速度计关键指标 .....	4
2. 外形结构 .....	6
3. 电气特性 .....	7
3.1 最大耐受值 .....	7
3.2 工作条件 .....	7
3.3 IO 阈值特性 .....	7
4. 引脚定义 .....	8
5. 推荐焊接炉温曲线 .....	9
6. ESD 防护 .....	11
7. 包装 .....	12
7.1 卷带包装 .....	12
7.2 载带 .....	12
8. 历史记录 .....	13

# 1. 性能参数

## 1.1 陀螺仪关键指标

表 1 陀螺仪关键指标

参数	测试条件/备注	最小值	典型值	最大值	单位
测量范围			±300		° /s
零偏不稳定性 <sup>1</sup>	@25°C, ALLAN 方差, 1 σ		xy:2.5 z:2		° /hr
零偏稳定性	国军标, 10s 平滑		10		° /hr
零偏重复性	国军标		30		° /hr
分辨率			0.0071		° /s
轴间非正交			0.02		deg
内部低通截止频率	软件可调整		50		Hz
ODR			100	1000	Hz
测量延时			7		ms
全温范围零偏变化 <sup>2</sup>	-40°C ~ 105°C, ≤1°C/min @1 σ		xy:0.08 z:0.05		° /s
随机游走 <sup>1</sup>	@25°C, ALLAN 方差, 1 σ		xy:0.25 z:0.2		° /√hr
刻度系数误差			xy:2.0 z:0.5		‰
刻度系数非线性			50		ppm

注 1：IEEE 标准，在静态 25°C 环境下 Allan 方差曲线给出

注 2：1°C/分钟升温情况下全温零偏变化 1 σ 值

## 1.2 加速度计关键指标

表 2 加速度计关键指标

参数	测试条件/备注	最小值	典型值	最大值	单位
测量范围			±16		g
零偏不稳定性 <sup>1</sup>	@25°C, ALLAN 方差, 1 $\sigma$		25		$\mu$ g
零偏稳定性	国军标, 10s 平滑		75		$\mu$ g
零偏重复性	国军标		0.3		mg
分辨率			0.3536		mg
轴间非正交			0.02		deg
内部低通截止频率	软件可调整		50		Hz
ODR			100	1000	Hz
测量延时			7		ms
全温范围零偏变化 <sup>2</sup>	-40°C ~ 105°C, $\leq 1^\circ\text{C}/\text{min}$ @1 $\sigma$		1		mg
随机游走 <sup>1</sup>	@25°C, ALLAN 方差, 1 $\sigma$		0.02		m/s/ $\sqrt{\text{hr}}$
刻度系数误差			0.5		‰
刻度系数非线性	@25°C		30		ppm

注 1: IEEE 标准, 在静态 25°C 环境下 Allan 方差曲线给出

注 2: 1°C/分钟升温情况下全温零偏变化 1  $\sigma$  值

图 1 陀螺仪 ALLAN 方差典型曲线

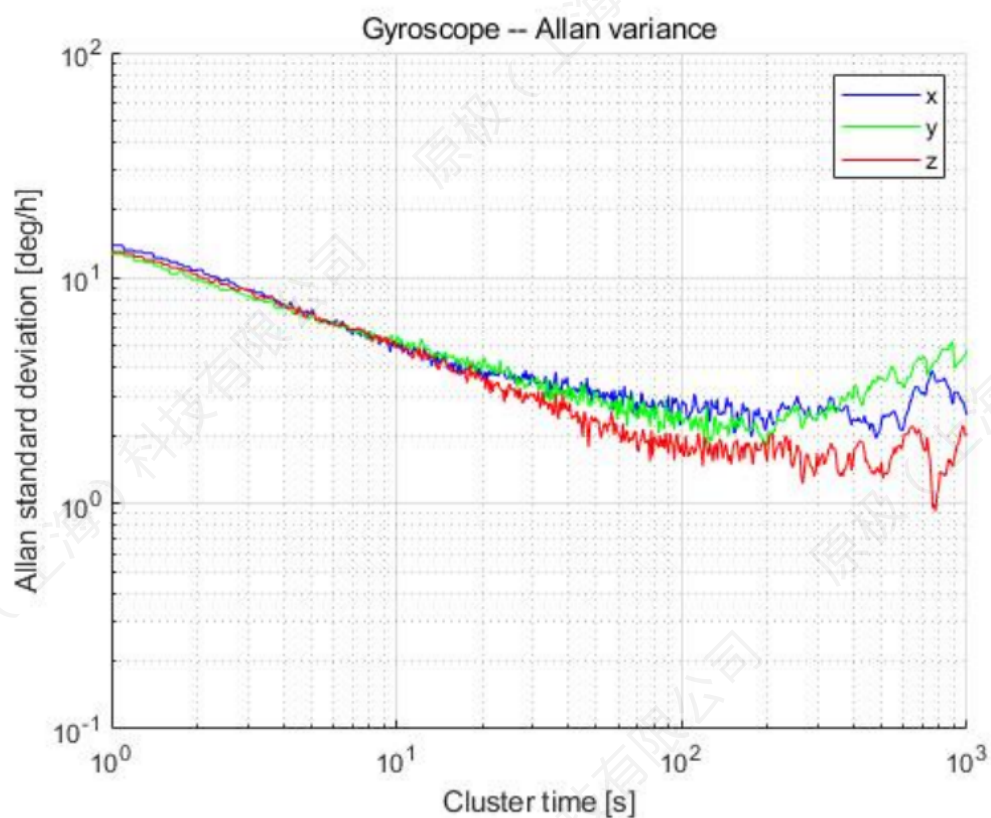
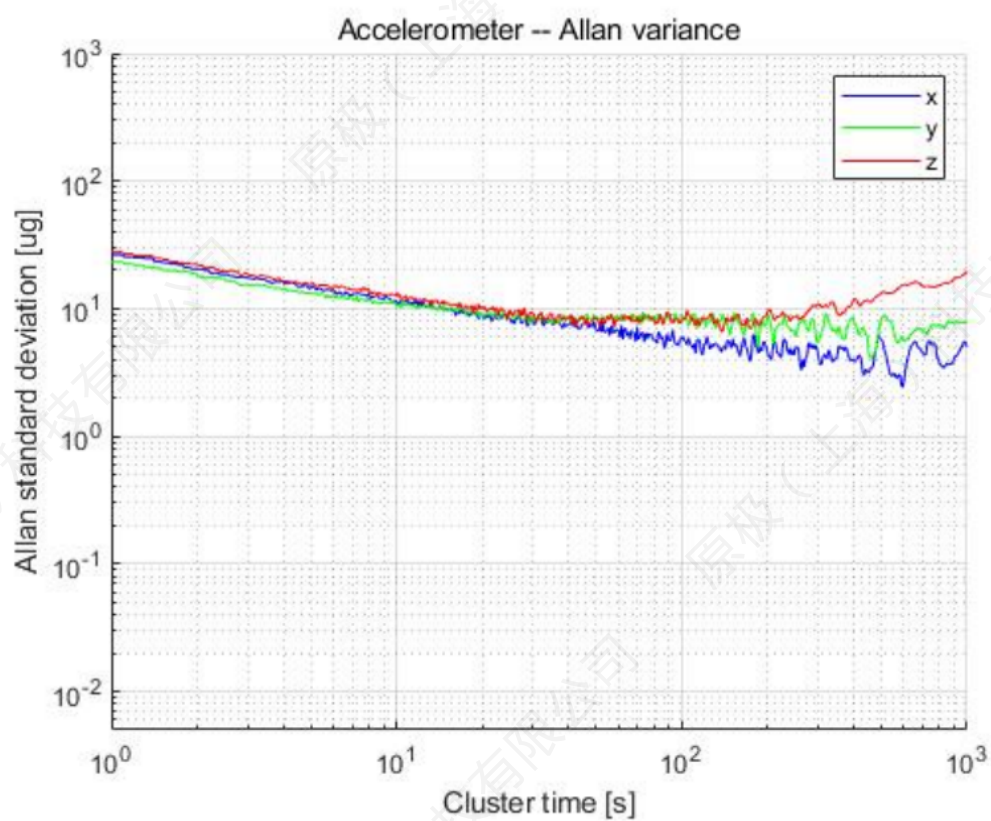


图 2 加速度计 ALLAN 方差典型曲线



## 2. 外形结构

图 3 外形结构及尺寸 (单位: mm)

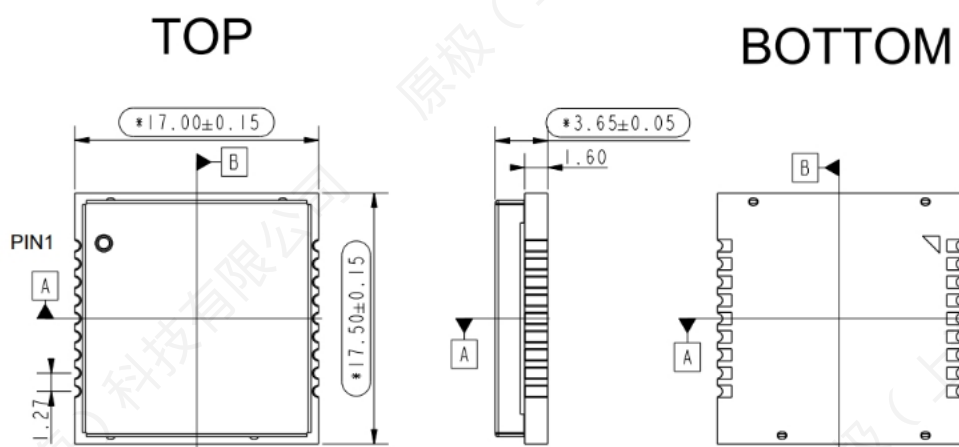
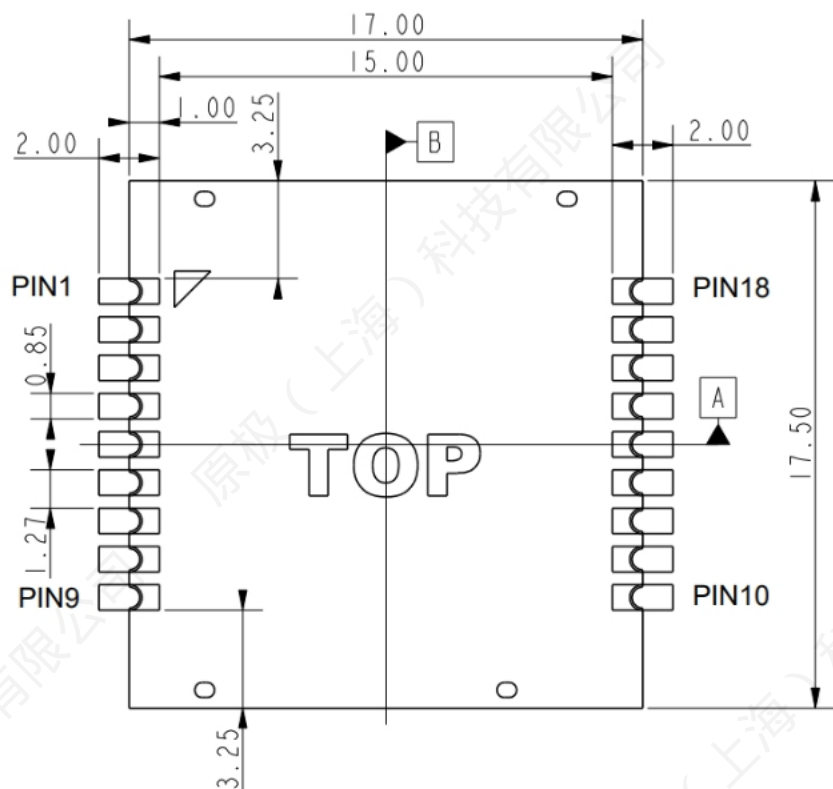


图 4 推荐焊盘尺寸 (单位: mm)



### 3. 电气特性

#### 3.1 最大耐受值

表 3 最大额定绝对值

参数	符号	范围	单位
供电电压	VCC	-0.3 to 4	V
电源地	GND	-	-
输入管脚电压	Vin	-0.3 to VCC+0.3	V
使用温度	Tot	-40 to 105	°C
存储温度	Tstg	-40 to 125	°C

#### 3.2 工作条件

表 4 工作条件

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
供电电压	VCC	3.13	3.3	3.47	V
VCC 最大纹波	Vrpp		±40		mV
功耗	P		0.1		W
使用温度	T	-40		105	°C
存储温度	T	-40		125	°C

#### 3.3 IO 阈值特性

表 5 IO 阈值特性

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
输入管脚低电平	Vin_low	0		VCC*0.2	V
输入管脚高电平	Vin_high	VCC*0.7		VCC+0.2	V
输出管脚低电平	Vout_low	0		0.45	V
输出管脚高电平	Vout_high	VCC-0.45		VCC	V



## 4. 引脚定义

图 5 引脚示意图

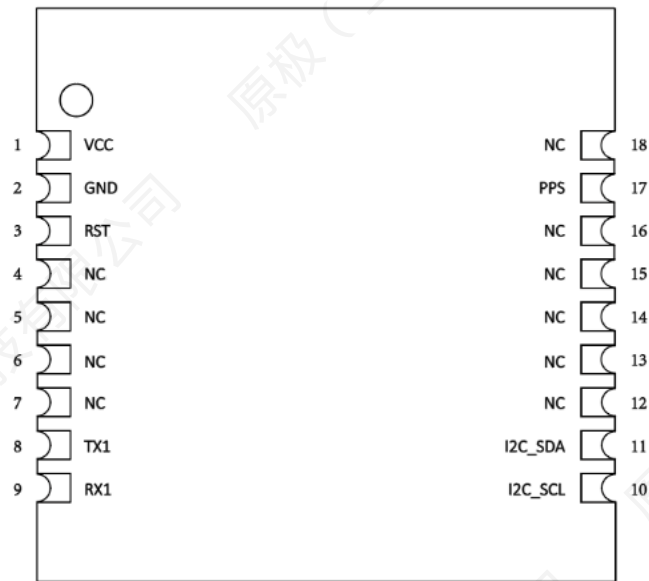


表 6 引脚定义

引脚序号	引脚名称	引脚描述
1	VCC	电源输入，+3.3V 输入，40mA，纹波不大于±40mV
2	GND	电源地
3	RST	外部硬件复位输入，内部上拉(用于 SPI 模式)
4	NC	无连接
5	NC	无连接
6	NC	无连接
7	NC	无连接
8	TX1	接收异步数据输出（数据通信接口(LVTTL)）
9	RX1	接收异步数据输入(数据通信接口(LVTTL)）
10	I2C_SCL	I2C 串行时钟
11	I2C_SDA	I2C 串行数据
12	NC	无连接
13	NC	无连接
14	NC	无连接
15	NC	无连接
16	NC	无连接
17	PPS	外部同步采样触发信号
18	NC	无连接



5. 推荐焊接炉温曲线

图 6 焊接炉温曲线

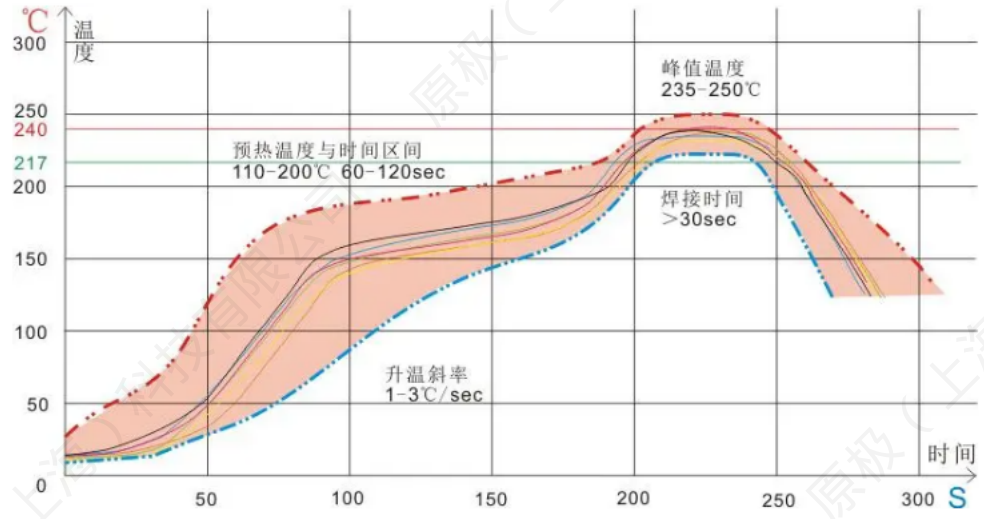


表 7 温度设置模式

项目	最低界限	最高界限	单位
最高温度上升斜率（目标=0.8） （计算斜率的时间距离=60 秒）	1	3	度/秒
最高温度下降斜率 （计算斜率的时间距离=60 秒）	-3	-1	度/秒
预热温度与时间区间	60	120	秒
回流时间（超过 217℃的期间）	40	70	秒
最高温度	235	250	摄氏度
最大回流次数		1	次

有关模块更多 SMT 相关信息，请参见文档《原极-LCC 模块 SMT 应用指导》。

**注意事项：**

1. 模块焊接回流，建议使用八温区及以上的回流焊接设备；
2. 由于模块为高精度传感器类产品，对任何形变都比较敏感：
  - 若 PCB 板厚度小于 1.0 mm，则建议制作回流工装载具，以防止 PCB 板在高温下变形，影响焊接的共面性。
  - 建议客户 PCB 主板选用高 TG 值板材，避免主板因在高温回流时产生形变，从而产生翘曲、挤压、空焊和连锡不良。
3. 因模块内有敏感器件，客户使用回流焊机器最高温度不可超过 260℃（指在封装体表面测量的封装顶部温度）。
4. 建议使用无铅免洗焊锡膏，推荐锡膏品牌型号：Alpha 0M-338 SAC305 Sn96.5Ag3.0Cu0.5
5. 因模块内有敏感器件，应避免二次回流造成模块性能降低；
6. 冷却：
  - 受控的冷却斜率能防止负面的焊接影响（焊点变得更加易脆）和产品内部的机械应力，控制冷却能帮助达到光亮的焊接表面效果，细结晶颗粒和低接触角，避免快速降温变化造成屏蔽盖翘曲。
7. 外观检查：
  - 模块焊接后，使用 X-ray 和光学放大镜检验方法，检验焊接质量，具体请参照 IPC-A-610F 相关标准执行。
8. 使用电烙铁进行焊接时，温度应控制在 260℃~290℃，单次焊接时间不可超过 3s，并做好防静电处理；

## 6. ESD 防护



静电会导致间歇或永久的电路损伤，对电子产品危害很大，经分析多数为 ESD 损坏；

因此，模块的静电防护尤为重要，生产和运输过程需要严格按照静电防护进行作业，须遵循以下条件：

- 严禁裸手接触模块，尤其是引脚位置。
- SMT 贴片机、作业工作台、电烙铁等设备需接地。
- 作业人员佩戴具有良好接地线的人体防静电手环（不可使用无绳静电手环，建议戴防静电手套）。
- 包装和 PCB 必须是合格的防静电材料。

## 7. 通信协议

### 7.1 串口通信协议

基于 QT、ROS 和 STM32 的串口协议示例：

<https://data.forsense-imu.com/page/download.html>

串口通信具有两种模式：数据流模式(Stream Mode)和命令模式(Command Mode)，IMU 在上电初始化完成后，根据参数配置的模式值进入对应模式。

数据流模式：以固定频率周期性输出 AHRS 数据；

命令模式：在此模式下，停止周期性输出，用户通过发送命令与 IMU 进行通信，可通过 GET 指令获取传感器数据、状态、参数等，也可配置 IMU 的参数。

#### 7.1.1 串口接口参数

表 8 串口接口参数

传输速率范围	115200bps ~ 1.5Mbps
默认传输速率	115200bps
开始位	1 bit
数据位	8 bits
停止位	1 bit
奇偶校验	无

## 7.1.2 数据包格式

IMU 输出和用户输入的数据包结构组成如下：

表 9 IMU 输出和用户输入数据结构

偏移量	数据类型	名称	描述
0	uint8	帧头 1	IMU 输出帧头：0xAA, 0x55 用户输入帧头：0x55, 0xAA
1	uint8	帧头 2	
2	uint16	ID 低位	串口通信帧 ID 的低位字节
3		ID 高位	串口通信帧 ID 的高位字节
4	uint16	数据长度低位	串口通信帧长度的低位字节， length 为 payload 所占字节数, 即为 n
5		数据长度高位	串口通信帧长度的高位字节， length 为 payload 所占字节数, 即为 n
6	uint8	Payload (n 个字节)	数据负载
6+n	Uint32	CRC_CEHCK (32 位数据低字节)	CRC 校验
7+n		CRC_CEHCK (32 位数据中低字节)	
8+n		CRC_CEHCK (32 位数据中高字节)	
9+n		RC_CEHCK (32 位数据高字节)	

注 1：数据以小端格式传输，低字节在前，高字节在后

注 2：crc32 的初值为 1，CRC 计算不包括本身的本帧所有数据，查表算法见文档末尾

7.1.3 数据流帧——AHRS 数据

表 10 串口 AHRS 数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	A1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x0002	0x002C		crc32

注 1： 最大输出更新率不大于 200Hz@115200bps

表 11 串口 A1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	单位	描述
0	timer	uint32	$\mu s$	时间标
4	pitch	float	°	俯仰角
8	roll	float	°	横滚角
12	yaw	float	°	航向角
16	ax	float	g	X 轴加速度
20	ay	float	g	Y 轴加速度
24	az	float	g	Z 轴加速度
28	gx	float	° /s	X 轴角速度
32	gy	float	° /s	Y 轴角速度
36	gz	float	° /s	Z 轴角速度
40	temp	float	°C	IMU 芯片温度

例：获取到 AHRS 数据流：

AA 55 02 00 2C 00 6D 89 16 05 8F C2 65 40 14 AE 07 BF 5C 0F B2 43 25 06 81 3D  
BC 74 13 3C 60 E5 80 BF EC 51 38 BD 0A D7 A3 BB CD CC CC BC D7 A3 EE 41 0C BF  
84 80

解析如下：

表 12 串口 A1 获取到 AHRS 数据流

描述	原始值	解析值	描述	原始值	解析值
ID	0200	02	Y 轴加速度	BC74133C	0.009g
长度	2C00	44	Z 轴加速度	60E580BF	-1.007g
时间标	6D891605	85363053	X 轴角速度	EC5138BD	-0.045° /s
俯仰角	8FC26540	3.59°	Y 轴角速度	0AD7A3BB	-0.005° /s
横滚角	14AE07BF	-0.53°	Z 轴角速度	CDCCCCBC	-0.025° /s
航向角	5C0FB243	356.12°	imu 芯片温度	D7A3EE41	29.83°C
X 轴加速度	2506813D	0.063g	crc32 校验	0CBF8480	2156183308

原始值转化为解析值示例代码（以上表中的航向角为例）：

```
#include <stdio.h>
#include <stdint.h>
int main() {
    float    time;//定义一个解析值 time
    uint32_t  a = 0x43b20f5c;//定义一个原始值 a, 注意为小端模式
    time = *(float *)&a;//将原始值强转为浮点型
    printf("%f",time);//打印输出解析值
    return 0;
}
```



### 7.1.4 命令模式 GET 输出——系统状态

表 13 串口系统状态数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	S1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x00FF	N		crc32

注 1：不同 IMU 型号，此帧的长度会有差别，都代表 S1 的长度，需要根据 imu 型号确认。

表 14 串口 S1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Software_ver	uint32	软件版本号
4	Hardware_ver	uint32	硬件版本号
8	rev	uint16	保留字节
10	sn0	uint32	第一 SN 号
14	sn1	uint32	第二 SN 号
18	sn2	uint32	第三 SN 号
22	Board_version	uint32	底板版本号
26	Rev[16]	Uint8	后续都是保留字节

注 1：不同 IMU 型号，后续保留字节也不同，需要根据 imu 型号进行确认，IMU614E 为 16 字节。

例：获取系统状态

输入数据：55 AA 01 00 18 00 BD DB 31 34

响应数据：AA 55 FF 00 2A 00 1F 39 03 00 65 6F 01 00 50 83 30 33 35 55 34 50 15 FF 8F 5F FF FF 50 83 FF 1F 29 00 00 00 00 E0 00 07 10 17 08 50 D0 37 10 3B 7A C3 00 02

根据响应数据，解析得到软件版本号 211231 (1F 39 03 00)，硬件版本号 94053 (65 6F 01 00)。

7.1.5 命令模式 GET 输出——读取参数

表 15 串口参数输入数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	P1	uint32
编码	0x55	0xAA	0x0006	0x0018		crc32

表 16 串口参数输出数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	P1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x0006	0x0018		crc32

注 1：读取参数时，IMU 会将数据流关闭，设置完毕后需要重新开启数据流。

表 17 串口 P1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Param1	float	获取的参数（输入数据可无视）
4	Param2	float	保留，默认为 0
8	Param3	uint32	设置的参数索引
12	Param4	uint32	保留，默认为 0
16	Param5	Int32	保留，默认为 0
20	Param6	Int32	保留，默认为 0

表 18 串口 P1 负载参数索引表

Param3	Param1	单位
3	串口输出波特率，支持以下波特率 115200、230400、460800、921600、1500000	bps
4	坐标系朝向（见表 25 坐标系朝向对应表）	
8	X 轴陀螺零偏标定结果，GYRO_X_OFF	° /s
9	Y 轴陀螺零偏标定结果，GYRO_Y_OFF	° /s
10	Z 轴陀螺零偏标定结果，GYRO_Z_OFF	° /s
21	AHRS 输出频率，默认 100Hz	Hz
31	内部滤波器配置，定义同 SPI 的 FILTER_CTRL 对照表	

例：获取 AHRS 输出频率

输入数据：55 AA 06 00 18 00 00 00 00 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00  
00 00 00 00 00 00 00 00 66 CB 46 AC

响应数据：AA 55 30 75 18 00 00 00 48 42 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00  
00 00 00 00 00 00 00 00 31 2F A2 0A

根据响应数据，解析得到输出频率为 50hz（00 00 48 42）。

## 7.1.6 命令模式 SET 指令

表 19 串口输入命令格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	R1	uint32
编码	0x55	0xAA	CMD	0x0018		crc32

注 1: CMD 与 R1 关系, 详见 R1 负载参数索引表

表 20 串口 R1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Param1	float	设置的参数
4	Param2	float	保留, 默认为 0
8	Param3	uint32	设置的参数索引
12	Param4	uint32	保留, 默认为 0
16	Param5	Int32	保留, 默认为 0
20	Param6	Int32	保留, 默认为 0

表 21 串口 R1 负载参数索引表

CMD	Param1	Param3	描述
1	0	0	触发获取一次系统状态数据
2	0	0	触发获取一次 AHRS 数据
3	<mode>	0	设置输出模式: Mode=1, 数据流输出 AHRS Mode=100, 禁止数据流模式, 进入 COMMAD 模式
5	0	0	保存当前参数到 FLASH
6	0	<value>	读取参数, value 为要读取的参数索引, 即 P1. index, 详见 串口应答性输出-参数读取 例如需读取 AHRS 输出频率 (ODR), 则设置 value=21 例如需读取串口波特率, 则设置 value=3 例如需读取内部滤波器, 则设置 value=31 例如需读取坐标系方向, 则设置 value=4
9	0	0	执行软件重启
14	<value>	3	设置串口输出波特率, 单位 bps value 的有效值为: 115200, 230400, 460800, 921600, 1500000 value 为其他值时, 默认采用 115200bps 设置波特率参数后, 需要重启才能生效。 不断电的设置流程: 设置波特率, 保存参数到 flash, 执行



### 7.1.7 命令模式输出——用户命令响应

表 22 设置参数串口响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	ACK	Param3	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x753D	0x0004	0x7534	参数索引	crc32

表 23 保留参数串口响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	ACK	result	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x753D	0x0004	0x0005	0x01	crc32

表 24 串口用户命令响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	command	result	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x0064	0x0004	命令 ID	0x01	crc32

例：设置串口输出波特率 115200

输入数据：

55, AA, 0E, 00, 18, 00, 00, 00, E1, 47, 00, 00, 00, 00, 03, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 56, 2B, 4D, 93

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 34 75 03 00 A7 98 2A 54

设置周期性 AHRS 数据输出频率 100hz

输入数据：55 AA 0E 00 18 00 00 00 C8 42 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 0A 2B 2C 8D

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 34 75 15 00 70 2D B2 48

保存当前参数到 FLASH

输入数据：55 AA 05 00 18 00 C9 2F E6 32

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 05 00 01 00 5A CF B1 7C

设置输出模式为 AHRS 数据流

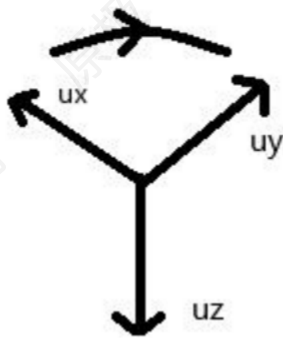
输入数据：55 AA 03 00 18 00 00 00 80 3F 00 52 D8 8E E8

响应数据：AA 55 64 00 04 00 03 00 01 00 E7 87 E3 AD

### 7.1.8 坐标系设置功能

设置固件坐标系，在上位机当中显示对应固件设计坐标系

图 8 固件原始坐标系



按照上图规则，当 x 和 y 轴确定之后，z 轴确定。Z 轴垂直于 X 轴到 Y 轴的面。

X/Y/Z 三轴的朝向总共有二十四种，如下表所示：

表 25 坐标系朝向对应表

朝向 (value)	XAxis	YAxis	ZAxis	说明
101	+Ux	+Uy	+Uz	默认朝向
102	-Ux	-Uy	+Uz	
103	-Uy	+Ux	+Uz	
104	+Uy	-Ux	+Uz	
105	-Ux	+Uy	-Uz	
106	+Ux	-Uy	-Uz	
107	+Uy	+Ux	-Uz	
108	-Uy	-Ux	-Uz	
109	-Uz	+Uy	+Ux	
110	+Uz	-Uy	+Ux	
111	+Uy	+Uz	+Ux	
112	-Uy	-Uz	+Ux	
113	+Uz	+Uy	-Ux	
114	-Uz	-Uy	-Ux	
115	-Uy	+Uz	-Ux	
116	+Uy	-Uz	-Ux	
117	-Ux	+Uz	+Uy	
118	+Ux	-Uz	+Uy	
119	+Uz	+Ux	+Uy	

120	-Uz	-Ux	+Uy	
121	+Ux	+Uz	-Uy	
122	-Ux	-Uz	-Uy	
123	-Uz	+Ux	-Uy	
124	+Uz	-Ux	-Uy	

如何更改坐标系为 102 朝向：

CMD ID 填入 14，参数 1 填入 102，参数 3 填入 4，生成的十六进制数组可以填入串口助手或程序数组中发送给 IMU。

图 9 更改坐标系

串口号: COM11 波特率: 115200 断开

命令生成器

固件版本: 220811 硬件版本: 00 底板版本: 6142 配置扇区地址码: 0 校准扇区地址码: 0 主从机: 从机 序列号: 36373454415015EE 465e4444

命令生成器

CMD ID: 14 参数: 1 102 2 0 3 4 4 0 5 0 6 0 生成命令 发送命令 串口数据显示

命令生成器使用说明  
使用说明:  
1. 执行并启动AHRS输出: CMD ID填入3, 参数1填入1, 点击生成命令按钮, 则生成相应的命令, 生成的十六进制数组可以填入串口助手或点击发送命令按钮(前提是已打开串口通讯)将数据发送给IMU

命令索引表

命令ID	参数1	参数3	功能描述
1	0	0	触发获取一次系统状态数据
2	0	0	触发获取一次AHRS数据
3	<mode>	0	设置输出模式: Mode=1, 数据流输出AHRS Mode=100, 禁止数据流模式, 进入COMMAND模式
5	0	0	保存当前参数到FLASH
6	0	<value>	读取参数, value为要读取的参数索引 例如: 读取串口输出波特率, 则设置value=3; 读取AHRS输出模式(ODR), 则设置value=21; 读取内部波特率配置, 则设置value=31
9	0	0	执行软件复位

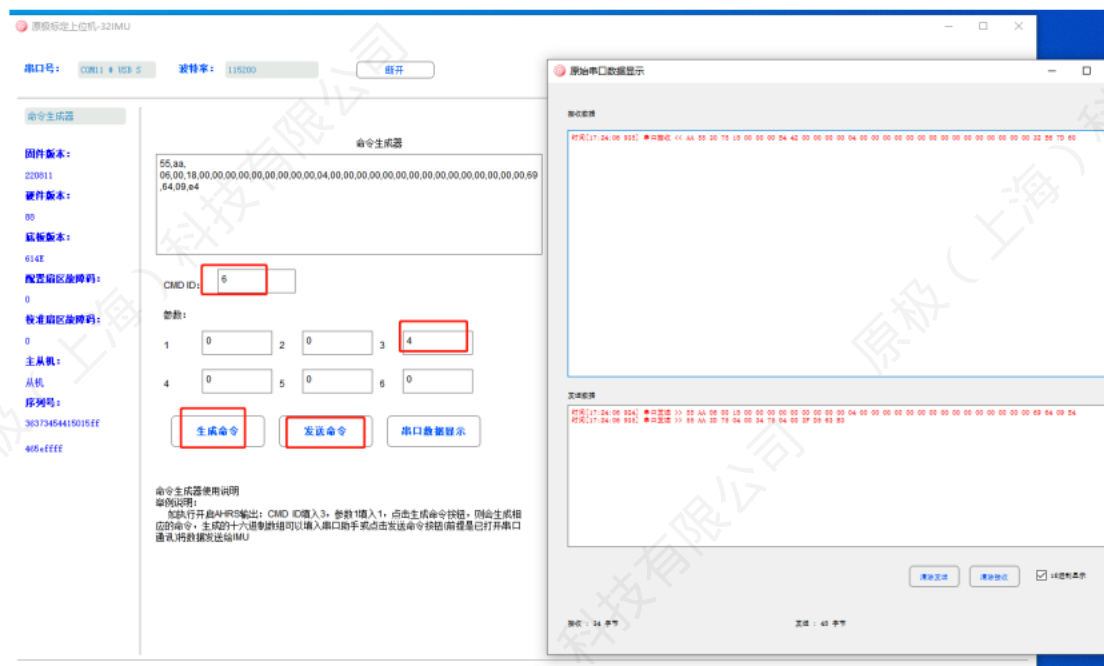
设置串口输出波特率, 单位bps, value的有效值为:

上位机版本: 2023-07-08 09:50:37 设备连接:



CMD ID 填入 06，参数 3 填入 4，生成的十六进制数组可以填入串口助手或程序数组中发送给 IMU。

图 10 读取坐标系



例： 设置坐标系为 115 朝向

输入数据:

55, aa, 0e, 00, 18, 00, 00, 00, e6, 42, 00, 00, 00, 00, 04, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00,  
00, 00, 00, 00, 00, 46, 6a, 4e, 86

响应数据: AA 55 3D 75 04 00 34 75 04 00 60 0E 6B 1B

参考表 22 解析得到参数索引为 04，设置成功

读取坐标系：

输入数据: 55 AA 06 00 18 00 00 00 00 00 00 00 00 00 04 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 69 64 09 E4

响应数据: AA 55 30 75 18 00 00 00 E6 42 00 00 00 00 04 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 B2 2F 2D 4E

根据表 16 与表 17，解析得到参数 1 为 115 (float)，参数 3 为 04。即坐标系为 115 朝向

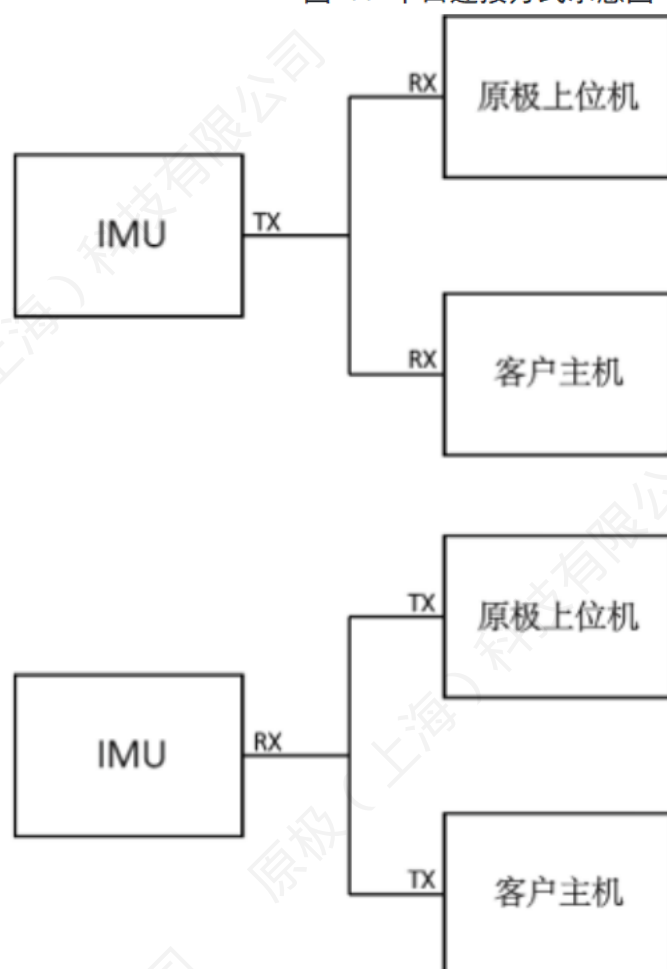
### 7.1.9 串口连接常见问题

#### 1) IMU 的 RX 不能接 2 个主机 TX

串口的 RX 不能同时接 2 个 TX，所以需要连接原极上位机时，需要断开其与用户主机的串口通信，否则上位机只能接收到数据，不能发送命令给 IMU。

如下图所示：

图 11 串口连接方式示意图



注：IMU TX 可接多路 RX，RX 不可接多路 TX；  
IMU 串口不可同时连接客户主机和原极上位机；  
IMU 可以预留另外一路串口专门连接原极上位机。

#### 2) 获取不到版本号

检查串口线是否丢包，推荐使用 FT232 芯片的串口线，CH340、PL2303 数据线在高波特率时 (>115200bps) 会丢包

建议串口线直连，不建议串联，如 RS422 的接口接电脑，直接使用 RS422 转 USB 线，不要用 RS422 转 RS232+RS232Z 转 USB 线串联。

#### 3) 上位机曲线显示卡顿

如果是 FT232 数据线，用系统管理员打开上位机，自动配置串口延时  
手动在设备管理器中配置串口延时。

## 7.2 I2C 通信协议

基于 STM32 的 I2C 主机读取驱动示例：

<https://data.forsense-imu.com/page/download.html>

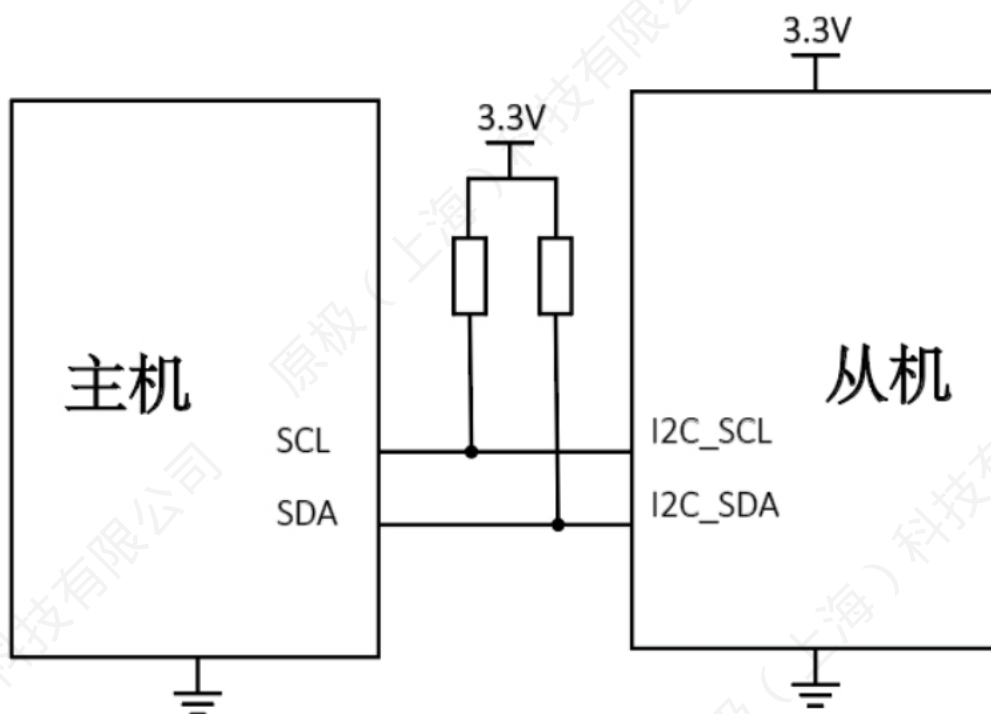
### 7.2.1 I2C 接口参数

表 26 I2C 接口参数

I2C 速率	400KHz
I2C 从机地址（7 位）	0x18

### 7.2.2 I2C 连接方式

图 12 I2C 连接方法



注：上拉电阻阻值为 4.7K $\Omega$

7.2.3 I2C 寄存器

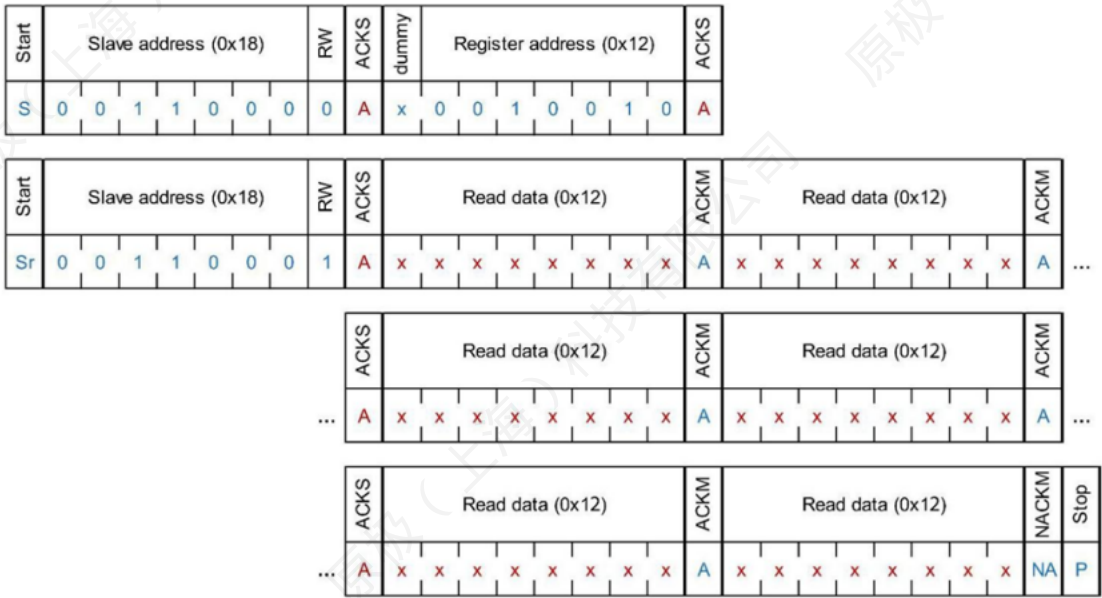
表 27 I2C 寄存器列表

名称	地址	读/写	默认值	描述
BURST	0x12	R		连续读取寄存器
FILTER_CTRL	0x06	RW	0xBB	滤波器选择
PROD_ID	0x6A	R		产品名称

7.2.3.1 I2C BURST 寄存器

本 I2C 协议支持连续读取，连续读寄存器地址 0x12，从机自动累加地址，以 8bit 模式连续输出 48 个字节，读取过程如下：

图 13 I2C 连续读取模式



帧定义如下：

表 28 I2C 连续读取数据格式

发送顺序	1	2	3
数据格式	uint32_t	float	float
发送内容	TIME	ACCL_X	ACCL_Y
发送顺序	4	5	6
数据格式	float	float	float
发送内容	ACCL_Z	GYRO_X	GYRO_Y
发送顺序	7	8	9
数据格式	float	float	float
发送内容	GYRO_Z	TEMP	ROLL
发送顺序	10	11	12
数据格式	float	float	uint32
发送内容	PITCH	YAW	CRC32

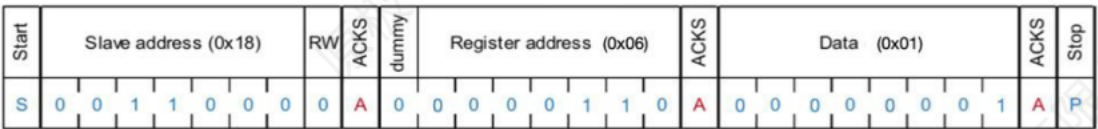
注 1: TEMP 单位为℃, 陀螺仪输出单位为° /s, 加速度计输出单位为 g, 姿态输出单位为度

注 2: crc32 的初值为 1, CRC 计算不包括本身的本帧所有数据, 查表算法见附录 1

### 7.2.3.2 I2C FILTER\_CTRL 寄存器

FILTER\_CTRL 寄存器地址为 0x06, 滤波器配置对照表同 SPI 加速度计和陀螺仪滤波器配置。寄存器读取过程同 I2C BURST 读取方法, 写寄存器过程如下图所示。

图 14 I2C FILTER\_CTRL 寄存器写入方法



### 7.2.3.3 I2C ID 寄存器

ID 寄存器地址为 0x6A, 数据内容为 ASCII 编码形式的字符 “IMU61B”, 读取过程同 I2C BURST, 如下表所示。

表 29 I2C ID 寄存器读取模式

发送顺序	1	2	3	4
发送内容	0x00	0x00	0x49	0x4D
发送顺序	5	6	7	8
发送内容	0x55	0x36	0x31	0x*

注 1: 所有数据均为 8-bit 宽度

注 2: 0x\* 表示的内容为产品 ID, 0x32 代表 IMU612, 0x34 代表 IMU614, 0x38 代表 IMU618, 0x41 代表 IMU6132A, 0x42 代表 IMU6132B

## 7.3 常用 AT 指令

### 7.3.1 停止当前数据流输出

指令：AT+SETNO\r\n

应答：OK

可以停掉当前数据流（不改数据流参数），输出 OK 后表示可以进行下一步操作。

如果未响应，可以继续发送 AT\r\nAT+SETNO\r\n 命令直到输出 OK。

开启数据流输出：

指令：AT+SETYES\r\n

### 7.3.2 查询版本号

指令：AT+VERSION\r\n

应答：SW_VERSION	固件版本
HW_VERSION	硬件版本
BOARD_VERSION	底板版本
OK	

### 7.3.3 查询用户参数

指令：AT+CONFIG\r\n

应答：BAUD_RATE	当前串口波特率
ORIENT	当前坐标系
IMU_ODR	当前 IMU 的输出频率
STREAM_MODE1	当前串口 1 的数据流模式
STREAM_MODE2	当前串口 2 的数据流模式
STREAM_MODE3	当前串口 3 的数据流模式
LP_CONFIG_REG	当前 IMU 的滤波
OK	

#### 7.5.4 设置和查询 ODR

例：设置输出频率 ODR 为 50hz

指令：AT+SET\_ODR=50\r\n

应答：IMU\_ODR:50

OK

查询 IMU 的 ODR

指令：AT+GET\_ODR\r\n

应答：IMU\_ODR:50

OK

#### 7.3.5 设置和查询坐标系

例：设置 IMU 坐标系为右前上，

指令：AT+SET\_ORIENT=101\r\n

应答：orientation:101

OK

查询 IMU 当前坐标系

指令：AT+GET\_ORIENT\r\n

应答：orientation:101

#### 7.3.6 设置和查询波特率

例：设置 IMU 的波特率为 115200

指令：AT+SET\_BAUD=115200\r\n

应答：OK

查询 IMU 当前波特率

指令：AT+GET\_BAUD\r\n

应答：BAUD\_RATE:115200

OK

#### 7.3.7 设置横滚和俯仰取反

AT+SET\_ATT\_ORIENTATION=00\r\n 横滚俯仰不取反

AT+SET\_ATT\_ORIENTATION=01\r\n 横滚取反，俯仰不取反

AT+SET\_ATT\_ORIENTATION=10\r\n 横滚不取反，俯仰取反

AT+SET\_ATT\_ORIENTATION=11\r\n 横滚俯仰均取反



### 7.3.8 设置和查询滤波器

例：设置 IMU 的滤波为 20hz

指令：AT+SET\_LPF=102\r\n

应答：LP\_CONFIG\_REG:102

OK

查询 IMU 当前滤波

指令：AT+GET\_LPF\r\n

应答：LP\_CONFIG\_REG:102

OK

表 30 低通滤波值和 AT 指令对应数值

序号	IMU 低通滤波值	AT 指令对应的值
1	1	17
2	2	34
3	5	51
4	10	68
4	15	85
5	20	102
6	25	119
7	30	136
8	35	153
9	40	170
10	47(无滤波)	187

### 7.3.9 设置初始航向角

例：设置初始航向角为 180 度（只支持整数）

指令：AT+SET\_HEADING=180\r\n

应答：AT+SET\_HEADING=180

### 7.3.10 保存参数

指令：AT+SAVE\r\n

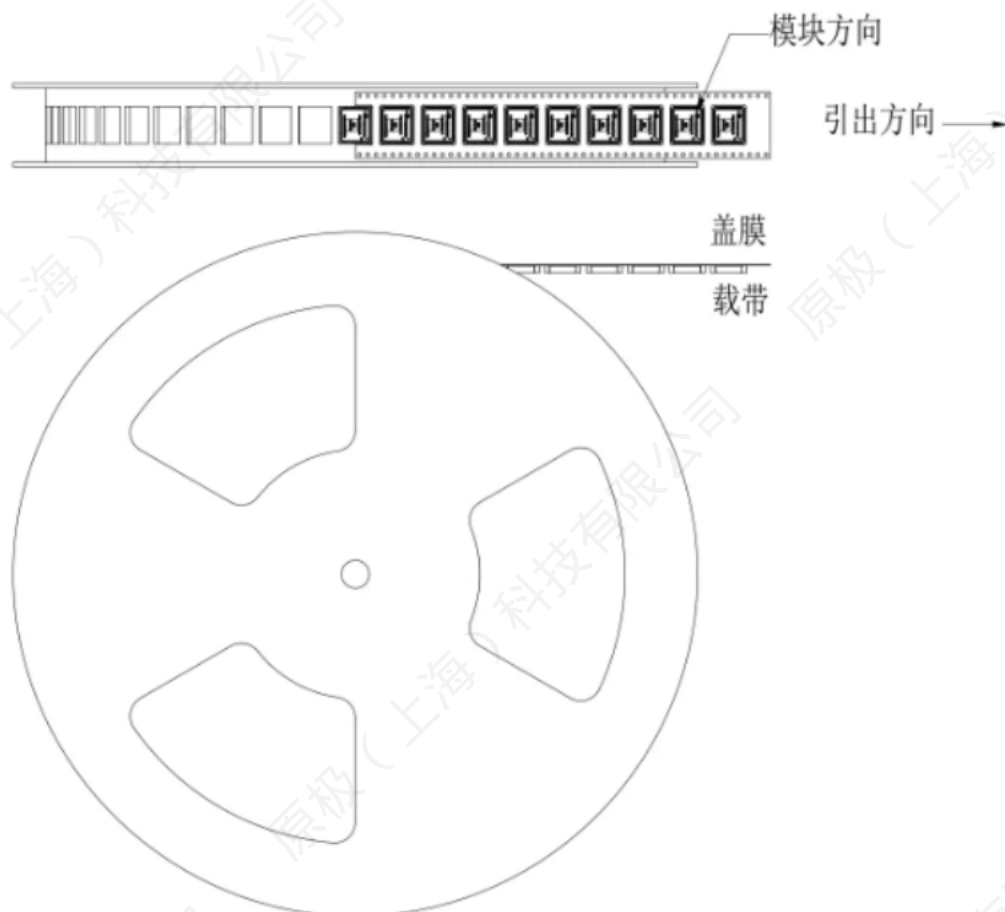
应答：OK

## 8. 包装

IMU470-M 模块采用卷带密封包装。满足高效生产。

### 8.1 卷带包装

图 15 卷带包装示意图



卷盘规格13inch (外径330x内圈100x厚度37mm)

### 8.2 载带

IMU470-M 模块出厂时放置于载带上的位置和方向如下图所示：

图 16 模块在载带位置和方向



## 9. 更新记录

版本	日期	状态/注释
版本 1.0	2024. 09. 29	首版
版本 1.1	2025. 02. 26	协议补充