

文件: hi14\_um\_cn

技术支持: support@hipnuc.com

属性: 公开

网站: www.hipnuc.com



文档变更历史

版本	日期	作者	备注
V1.3	2023年7月14日	HiPNUC	增加直接出线型号
V1.2	2023年7月14日	HiPNUC	更改坐标图
V1.1	2023年7月11日	HiPNUC	增加接线说明
V1.0	2023年7月9日	HiPNUC	初始版本

## HI14系列用户手册

### 1 产品简介

#### 1.1 主要应用场景:

#### 1.2 主要优势

1.2.1 完善的制造体系

1.2.2 先进的软件算法

1.2.3 工业级MEMS传感器

1.2.4 IP68级防水、CE认证

1.2.5 便捷的通信接口

1.2.6 上位机软件CHCenter

#### 1.3 订购信息

1.3.1 RS-232接口

1.3.2 UART(TTL)接口

1.3.3 RS-485接口

1.3.4 CAN接口

### 2 机械与电气特性

#### 2.1 HI14系列尺寸图(单位mm)

2.1.1 M12航插

2.1.2 直接出线接口

#### 2.2 安装方式

#### 2.3 M12端子引脚定义

2.3.1 RS-232/UART(TTL)端子定义

2.3.2 RS-232/UART(TTL)引脚说明

2.3.3 RS-485/CAN端子定义

2.3.4 RS-485/CAN引脚说明

#### 2.4 直接出线引脚定义

#### 2.5 线缆信息

2.5.1 线缆简介

2.5.2 线缆图示

#### 2.6 接线示意图

2.6.1 M12A 5芯母头转DB9母头(电源线外置)

2.6.2 M12A 5芯母头转DB9母头(电源线内置)

2.6.3 M12A 5芯母头转USB

2.6.4 M12A 5芯母头转OPEN

2.6.4.1 RS-485

2.6.4.2 CAN

2.6.4.3 UART(RS-232/TTL)

2.6.5 M12A 8芯母头转OPEN

#### 2.7 HI14系列外壳参数

### 3 坐标系定义

### 4 技术规格

#### 4.1 融合参数

4.1.1 姿态角量程

4.1.2 姿态角精度

- 4.2 传感器参数
  - 4.2.1 陀螺仪
  - 4.2.2 加速度计
  - 4.2.3 磁传感器参数
- 4.3 电气参数
  - 4.3.1 电气整体参数
  - 4.3.2 接口参数
- 4.4 机械与环境参数
- 5 软件架构
  - 5.1 传感器子系统
    - 5.1.1 陀螺仪数据处理过程
    - 5.1.2 加速度计数据处理过程
    - 5.1.3 磁场数据处理过程
    - 5.1.4 原始数据
    - 5.1.5 低通滤波
    - 5.1.6 工厂标定
    - 5.1.7 坐标变换
    - 5.1.8 在线补偿
    - 5.1.9 地磁场的在线校准
  - 5.2 数据融合
    - 5.2.1 卡尔曼融合算法
    - 5.2.2 运动状态动态分析
  - 5.3 数据输出
- 6 初始配置
  - 6.1 RS-232/RS-485/UART(TTL)接口初始配置
  - 6.2 CAN接口初始配置
- 7 用户配置
  - 7.1 使用场景配置
    - 7.1.1 慢速转动场景
    - 7.1.2 低动态运动场景
    - 7.1.3 地磁辅助场景(AHRS/9轴模式)
  - 7.2 同步输入与同步输出
  - 7.3 指令
  - 7.4 指令详解
    - 7.4.1 REBOOT
    - 7.4.2 SAVECONFIG
    - 7.4.3 SERIALCONFIG
    - 7.4.4 CONFIG
      - 7.4.4.1 设置6轴或者地磁模式(9轴)
      - 7.4.4.2 水平校准
      - 7.4.4.3 静止航向角速度检测阈值设置
      - 7.4.4.4 设置加速度计带宽和量程
      - 7.4.4.5 设置陀螺仪带宽和量程
      - 7.4.4.6 旋转坐标轴，用于垂直安装。

- 7.4.4.7 设置单轴倾角仪输出范围
- 7.4.5 LOG
  - 7.4.5.1 打开/关闭数据输出
  - 7.4.5.2 显示模块版本信息
  - 7.4.5.3 显示用户配置信息
  - 7.4.5.4 显示串口配置信息
  - 7.4.5.5 配置输出消息(配置同步输入)
- 7.4.6 UNLOGALL
- 7.4.7 FRESET
- 8 数据协议(RS232/TTL接口/自定义二进制协议)
  - 8.1 数据帧格式
  - 8.2 数据域
  - 8.3 16-bit CRC
  - 8.4 91数据包
    - 8.4.1 数据包结构
    - 8.4.2 91数据包详细定义(IMU91)
  - 8.5 数据帧结构示例
    - 8.5.1 数据帧配置为 0x91 数据包
- 9 数据协议(RS485/Modbus)
  - 9.1 数据帧格式
    - 9.1.1 读寄存器(0x03)
    - 9.1.2 写寄存器(0x06)
    - 9.1.3 CRC校验
  - 9.2 寄存器列表
  - 9.3 配置模块
  - 9.4 读取数据示例
    - 9.4.1 读取模块产品名, 软件版本及SN号
    - 9.4.2 读取IMU姿态数据
  - 9.5 Modbus ID自动分配及固件升级
- 10 数据协议(CAN)
  - 10.0.1 CANopen 默认设置
  - 10.0.2 CANopen TPDO
  - 10.0.3 CANopen接口常用命令
    - 10.0.3.1 全局使能/关闭数据输出(开启异步触发)
    - 10.0.3.2 修改CAN波特率
    - 10.0.3.3 修改节点ID
    - 10.0.3.4 保存配置
    - 10.0.3.5 修改/关闭/开启数据输出速率
    - 10.0.3.6 配置TPDO为同步模式
- 11 地磁校准
  - 11.1 地磁校准步骤
  - 11.2 常见的地磁干扰分类
    - 11.2.1 空间磁场干扰(干扰不随传感器位姿改变而改变)
    - 11.2.2 传感器坐标系下的干扰(干扰随传感器位姿改变而改变)

11.3 地磁使用注意事项

12 技术支持

# 1. 产品简介

HI14系列是利用高性能、小体积、工业级MEMS惯性器件感知物体姿态信息的姿态感知系统，它集成了惯性测量单元(IMU)、磁力计以及一款搭载扩展卡尔曼融合算法（EKF）的微控制器。可输出经过传感器融合算法计算得到的基于当地地理坐标的三维方位数据，包含有绝对参考的航向角，俯仰角和横滚角。同时也可以输出校准过的原始的传感器数据。HI14系列的封装可以方便可靠地集成到用户的系统，HI14系列主要包含HI14R1、HI14R2、HI14R3、HI14R5系列。型号信息如下：

HI14 <b>a</b> <b>b</b> - <b>c</b> - <b>d</b> <b>e</b> <sup>①</sup>						
HI 公司标识	14 产品系列	<b>a</b> 冗余传感器	<b>b</b> 温补	<b>c</b> 数据接口	<b>d</b> 同步功能	<b>e</b> 定制信息
		R1 2XIMU <sup>②</sup>	N 无温补	232 RS-232	0 无同步 <sup>③</sup>	00 默认
		R2 4XIMU	T 有温补	485 RS-485	1 有同步	其他 有定制
		R3 4XIMU+地磁		CAN CAN		
		R5 8XIMU+地磁		URT UART(TTL)		

①型号举例 HI14R2N-232-000

②HI14R1系列无温补型号

③RS-485/CAN接口无硬件同步引脚

## 1.1 主要应用场景:

HI14系列可以精确地感知移动设备的俯仰（Pitch）、横滚（Roll）、航向（Yaw）等姿态信息，自动导引小车（AGV），巡检机器人、智慧农机等应用领域。它可与激光雷达（Lidar）、视觉（Camera）等导航方案形成优势互补，增强设备的导航精度，并减小对外界参考物体的依赖。典型的应用市场如下：

- 自动导引小车（AGV/AMR）
- 服务机器人
- 巡检机器人
- 智慧农机

## 1.2 主要优势

### 1.2.1 完善的制造体系

- 自主研发自动化批量标定与测试产线，保证量产产品一致性。
- 小体积，嵌入式设计，产品兼容性好性价比高
- 零偏、比例因子、跨轴、温度等误差因素出厂标定

### 1.2.2 先进的软件算法

丰富的行业经验，融合先进的算法，可以在静止检测、慢速检测、快速启动，实时估算零偏、地磁自动校准、抗磁场干扰等方面具有优势表现。

### 1.2.3 工业级MEMS传感器

- 陀螺仪零偏稳定性高达 $1.76^{\circ}/h$
- 加速度计零偏稳定性高达 $21\mu g$
- 高达 $0.1^{\circ}$ 姿态角精度

### 1.2.4 IP68级防水、CE认证

P68级防水设计、CE认证，非常适合户外自动化应用

### 1.2.5 便捷的通信接口

为了更好地嵌入用户产品中，HI14系列采用坚固可靠的直头或者弯头M12 5芯航空插头



### 1.2.6 上位机软件CHCenter

CHCenter是我们为了用户快速评估产品而开发的一款PC端软件，可以自由的运行在WIN/Linux之上。CHCenter具有如下特点：

- 数据显示
- 数据记录
- 数据分析
- 产品参数配置
- 固件升级



## 1.3 订购信息

### 1.3.1 RS-232接口

P/N	名称	规格描述
HI14R1N-232-000	IMU/VRU模块	6DoF 3.6°/h
HI14R2N-232-000	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R2N-232-010	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R3N-232-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h
HI14R3N-232-010	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h
HI14R3T-232-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h 温补
HI14R5N-232-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h
HI14R5N-232-010	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h
HI14R5T-232-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h 温补
HI14R2N-232-100	IMU/VRU模块	6DoF+地磁 2.5°/h 同步
HI14R5N-232-100	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h 同步

### 1.3.2 UART(TTL)接口

P/N	名称	规格描述
HI14R1N-URT-000	IMU/VRU模块	6DoF 3.6°/h
HI14R2N-URT-000	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R2N-URT-010	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R3N-URT-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h
HI14R3N-URT-010	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h
HI14R3T-URT-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h 温补
HI14R5N-URT-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h
HI14R5N-URT-010	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h
HI14R5T-URT-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h 温补
HI14R2N-URT-100	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h 同步
HI14R5N-URT-100	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h 同步

可以选配USB转RS-232或者USB转串口(TTL)线缆将通信接口变为USB接口

### 1.3.3 RS-485接口

P/N	名称	规格描述
HI14R2N-485-000	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R2N-485-010	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R3N-485-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h
HI14R3N-485-010	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 2.5°/h
HI14R5N-485-000	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h
HI14R5N-485-010	IMU/VRU/AHRS模块	6DoF+地磁 1.76°/h

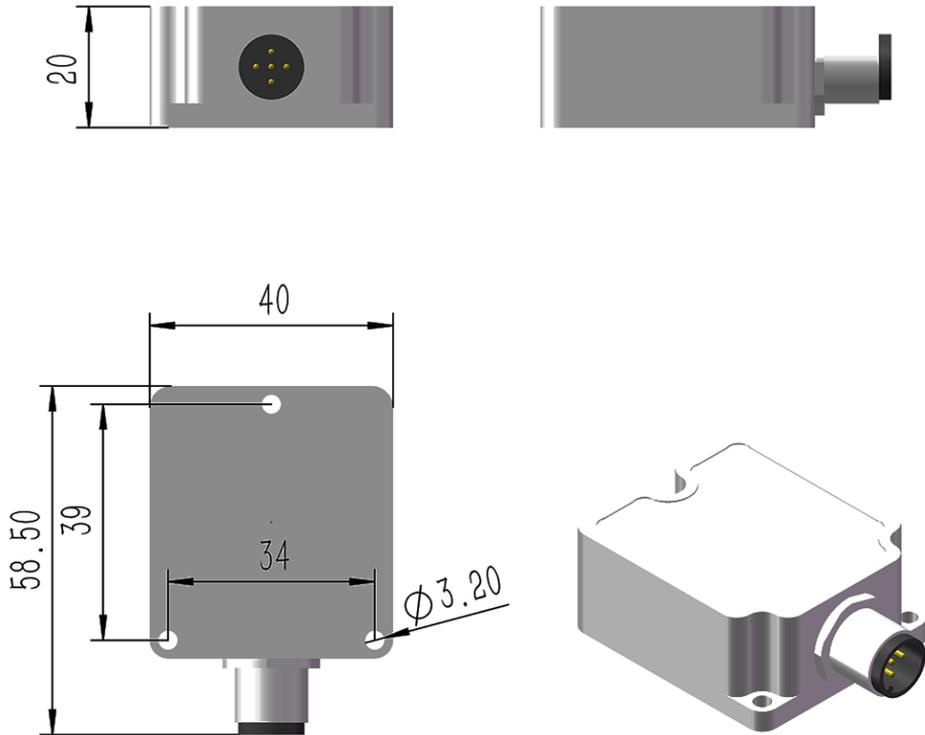
### 1.3.4 CAN接口

P/N	名称	规格描述
HI14R2N-CAN-000	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R2N-CAN-010	IMU/VRU模块	6DoF 2.5°/h
HI14R5N-CAN-000	IMU/VRU模块	6DoF 1.76°/h
HI14R5N-CAN-010	IMU/VRU模块	6DoF 1.76°/h

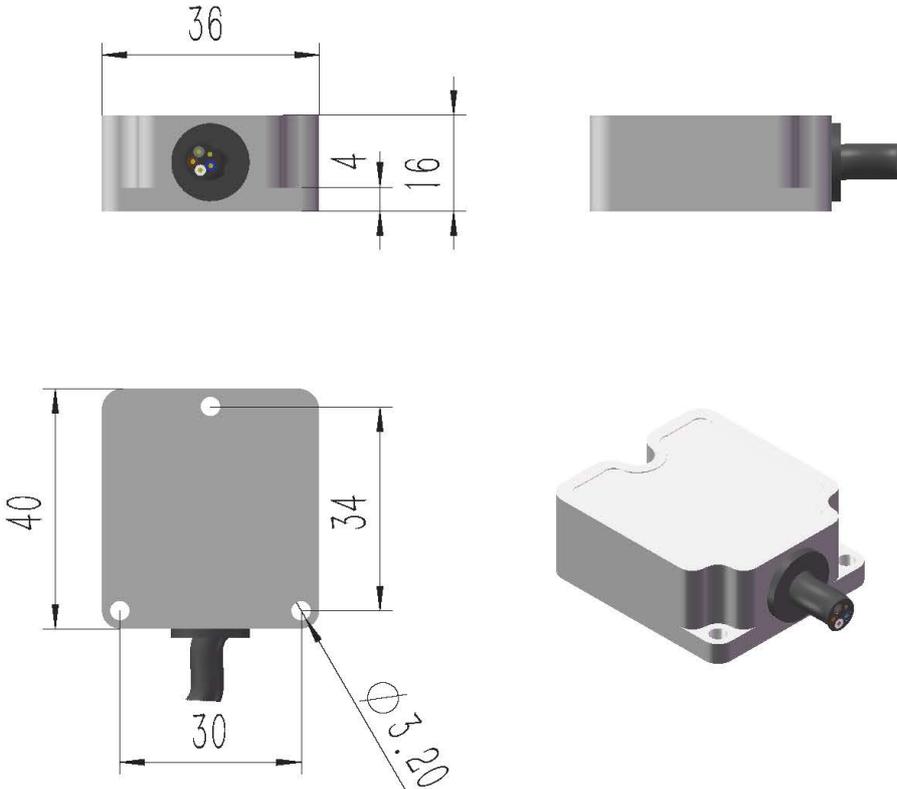
## 2. 机械与电气特性

### 2.1 HI14系列尺寸图(单位mm)

#### 2.1.1 M12航插

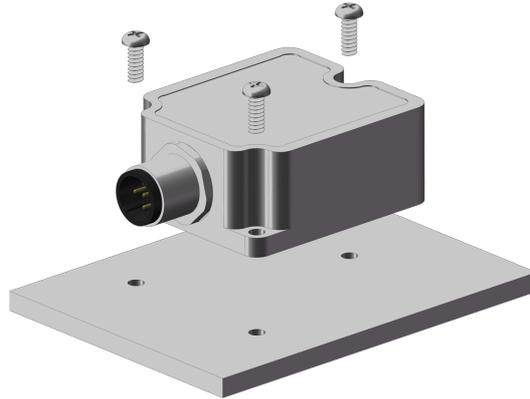


#### 2.1.2 直接出线接口



## 2.2 安装方式

我们推荐用户对模块进行水平安装，如下图所示：



如需其他安装方式，请参考 用户配置-旋转坐标轴章节

## 2.3 M12端子引脚定义

### 2.3.1 RS-232/UART(TTL)端子定义

M12A 5芯公头					M12A 8芯公头									
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6	7	8
	棕	白	蓝	黑	灰		白	棕	绿	黄	灰	粉	蓝	红
	SGND	VS	GND	RXD	TXD		SGND	VS	GND	RXD	TXD	SGND	SIN1	SOUT1

### 2.3.2 RS-232/UART(TTL)引脚说明

序号	名称	RS-232接口	UART(TTL)接口
1	SGND	信号地 RS-232地	信号地
2	VS	电源输入	电源输入
3	GND	电源地	电源地
4	RXD	串口接收(RS-232)	串口接收(TTL)
5	TXD	串口发送(RS-232)	串口发送(TTL)
6	SGND	信号地 RS-232地	信号地
7	SIN1	同步输入	同步输入
8	SOUT1	同步输出	同步输出

### 2.3.3 RS-485/CAN端子定义

M12A 5芯公头					M12A 5芯公头						
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
	棕	白	蓝	黑	灰		棕	白	蓝	黑	灰
	485 GND	VS	GND	485 A	485 B		CAN GND	VS	GND	CAN H	CAN L

### 2.3.4 RS-485/CAN引脚说明

序号	RS-485引脚名称	RS-485接口	CAN引脚名称	CAN接口
1	485 GND	RS-485地	CAN GND	CAN 地
2	VS	电源输入	VS	电源输入
3	GND	电源地	GND	电源地
4	485 A	RS-485 A	CAN H	CAN High
5	485 B	RS-485 B	CAN L	CAN Low

### 2.4 直接出线引脚定义

5 芯 直接出线					
	1	2	3	4	5
	棕	白	蓝	黑	灰
UART(RS-232)	SGND	Vs	GND	RXD	TXD
UART(TTL)	SGND	Vs	GND	RXD	TXD
RS-485	485 GND	Vs	GND	485 A	485 B
CAN	CAN GND	Vs	GND	CAN H	CAN L

### 2.5 线缆信息

#### 2.5.1 线缆简介

默认线缆	描述	编码
M12A 5芯直母头转DB9母头	电源线外置	M12A-05SF-03U+DB9F_O
M12A 5芯直母头转DB9母头	电源线内置	M12A-05SF-03U+DB9F_I
M12A 5芯直母头转OPEN	出线采用散线形式加线标	M12A-05SF-03U+OPEN
M12 A 5芯直母头转USB公头	USB接口内置232转USB芯片	M12A-05SF-03U+USB to UART(232)
M12 A 5芯直母头转USB公头	USB接口内置串口转USB芯片	M12A-05SF-03U+USB to UART(TTL)
M12 A 8芯直母头转OPEN	出线采用散线形式加线标	M12A-08SF-03U+OPEN

- ①线材PUR，默认线长3m，线缆长度还可提供0.5m、1m、5m选择，UART(TTL)接口不建议线长超过3m
- ②所有线缆均提供M12A 弯头数据线，方便使用。对应编码变为WF，比如M12A-05WF-03U+DB9F
- ③M12 A 8芯线缆只适配带有硬件同步引脚的产品。比如HI14R2N-232-100

## 2.5.2 线缆图示

M12 A直母头转DB9母头 电源线外置

注:只适用于RS-232接口, 不带同步引脚



M12 A直母头转DB9母头 电源线内置

注:只适用于RS-232接口, 不带同步引脚



M12A 5芯直母头转OPEN



M12 A 5芯直母头转USB公头

注:只适用于RS-232/UART(TTL)接口



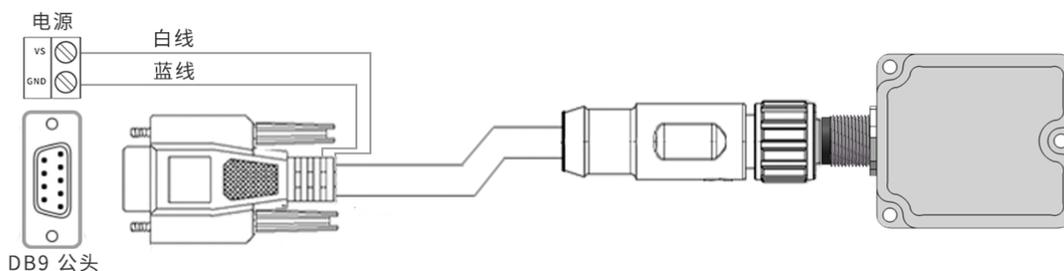
M12 A 8芯直母头转OPEN

注:只适用于带有硬件同步引脚的产品

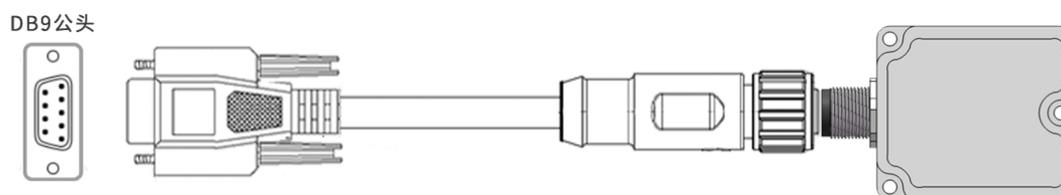


## 2.6 接线示意图

### 2.6.1 M12A 5芯母头转DB9母头(电源线外置)

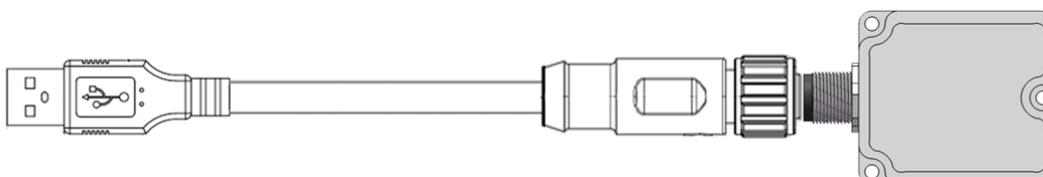


### 2.6.2 M12A 5芯母头转DB9母头(电源线内置)



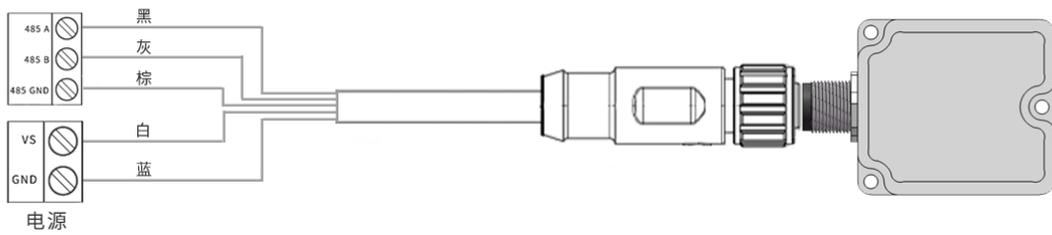
此种接线方式需要用户的DB9公头的PIN9为电源正(VS)引脚

### 2.6.3 M12A 5芯母头转USB



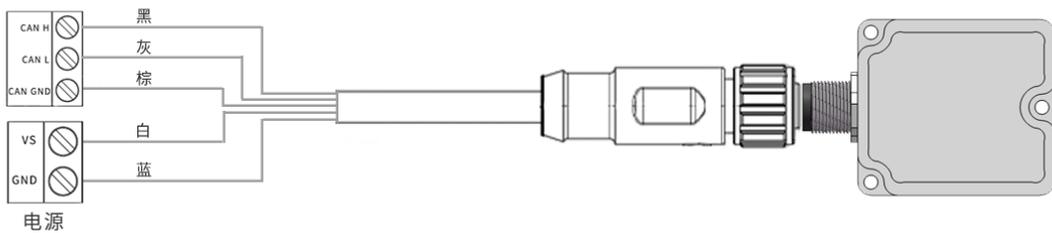
## 2.6.4 M12A 5芯母头转OPEN

### 2.6.4.1 RS-485



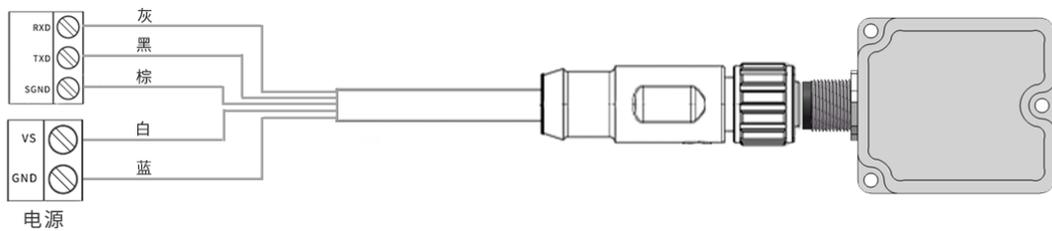
如果485设备没有 485 GND，那么485 GND(棕线)可以不接

### 2.6.4.2 CAN



如果CAN设备没有 CAN GND，那么CAN GND(棕线)可以不接

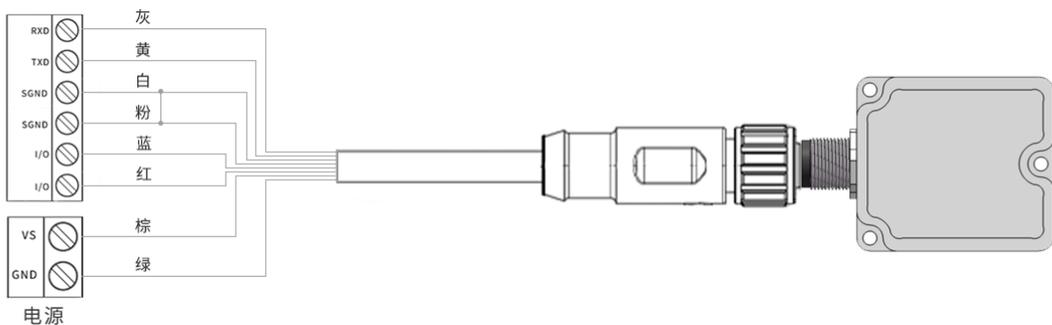
### 2.6.4.3 UART(RS-232/TTL)



如果电源系统与UART系统参考地为同一个地，那么SGND(棕线)可以不接

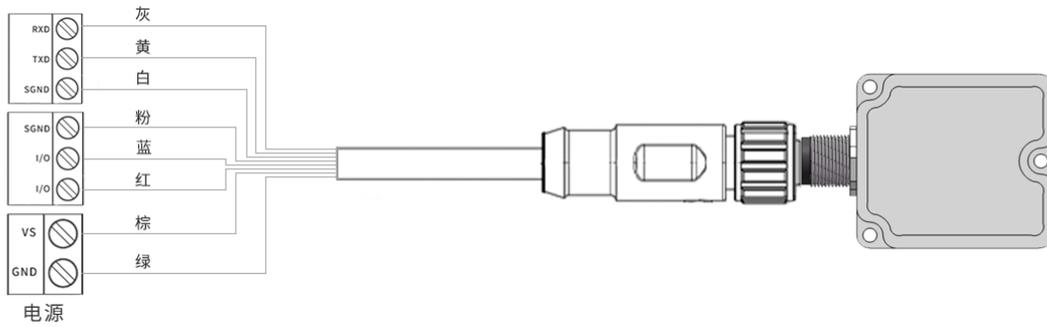
## 2.6.5 M12A 8芯母头转OPEN

- 同步输入输出与UART在同一系统或者有相同的参考地



如果电源系统与UART系统参考地为同一个地，那么SGND(白、粉线)可以不接

- 同步输入输出与UART不在同一系统或者有不同的参考地



如果电源系统与UART系统参考地为同一个地，那么SGND(白线)可以不接

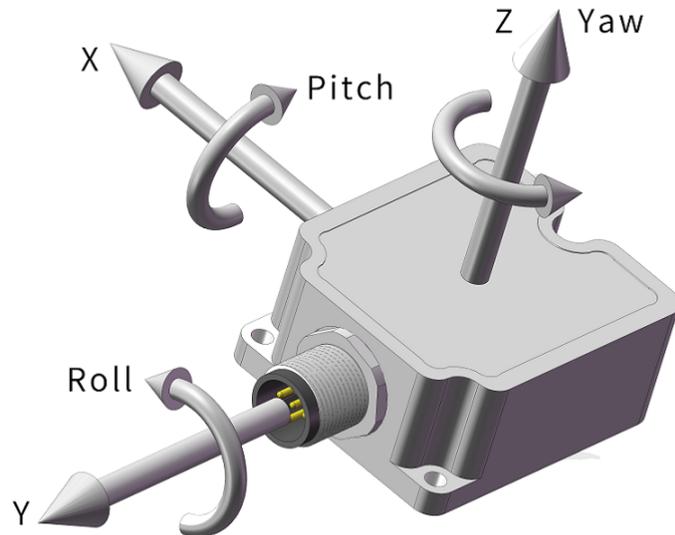
如果电源系统与同步系统参考地为同一个地，那么SGND(粉线)可以不接

## 2.7 HI14系列外壳参数

参数	数值	备注
外壳材质	6061铝合金	
表面处理	磨砂 阳极氧化	Type II Class 2
外壳尺寸	58.5X40X20mm	
固定螺丝	3XM3	螺丝长度需要根据用户使用场景而定

### 3. 坐标系定义

载体系使用 右-前-上(RFU)坐标系，地理坐标系使用 东-北-天(ENU)坐标系。加速度和陀螺仪轴向如下图所示。



欧拉角旋转顺序为东-北-天-312(先转Z轴，再转X轴，最后转Y轴)旋转顺序。具体定义如下：

- 绕 Z 轴方向旋转: 航向角\Yaw\psi( $\psi$ ) 范围:  $-180^\circ - 180^\circ$
- 绕 X 轴方向旋转: 俯仰角\Pitch\theta( $\theta$ ) 范围:  $-90^\circ - 90^\circ$
- 绕 Y 轴方向旋转: 横滚角\Roll\phi( $\phi$ )范围:  $-180^\circ - 180^\circ$

如果将模块视为飞行器的话。Y轴正方向应视为机头方向。当传感器系与惯性系重合时，欧拉角的理想输出为:Pitch =  $0^\circ$ , Roll =  $0^\circ$ , Yaw =  $0^\circ$

## 4. 技术规格

### 4.1 融合参数

#### 4.1.1 姿态角量程

姿态角量程	
俯仰(Pitch)	±90°
横滚(Roll)	±180°
航向(Yaw)	±180°

#### 4.1.2 姿态角精度

型号	HI14R1	HI14R2	HI14R3	HI14R45
俯仰/横滚(静态)	0.1°	0.1°	0.1°	0.1°
俯仰/横滚(动态)	0.1°	0.1°	0.1°	0.1°
航向角静态漂移(6DOF) <sup>①</sup>	<0.12°/h	<0.12°/h	<0.12°/h	<0.12°/h
航向角动态漂移误差(6DOF) <sup>②</sup>	7	5	5	3
航向角(地磁辅助) <sup>③</sup>	-	-	2°	2°
航向角旋转误差(6DOF) <sup>④</sup>	<1°	<1°	<1°	<1°

①模块在25°C绝对静止1h测得

②模块在室内清洁机器人上运动1h测得，室温25°C，1 $\sigma$

③地磁校准之后，周边无磁场干扰情况下室温25°C测得，需要将产品配置为AHRS模式(部分产品支持)

④转台连续旋转10圈，航向角累积误差，室温25°C

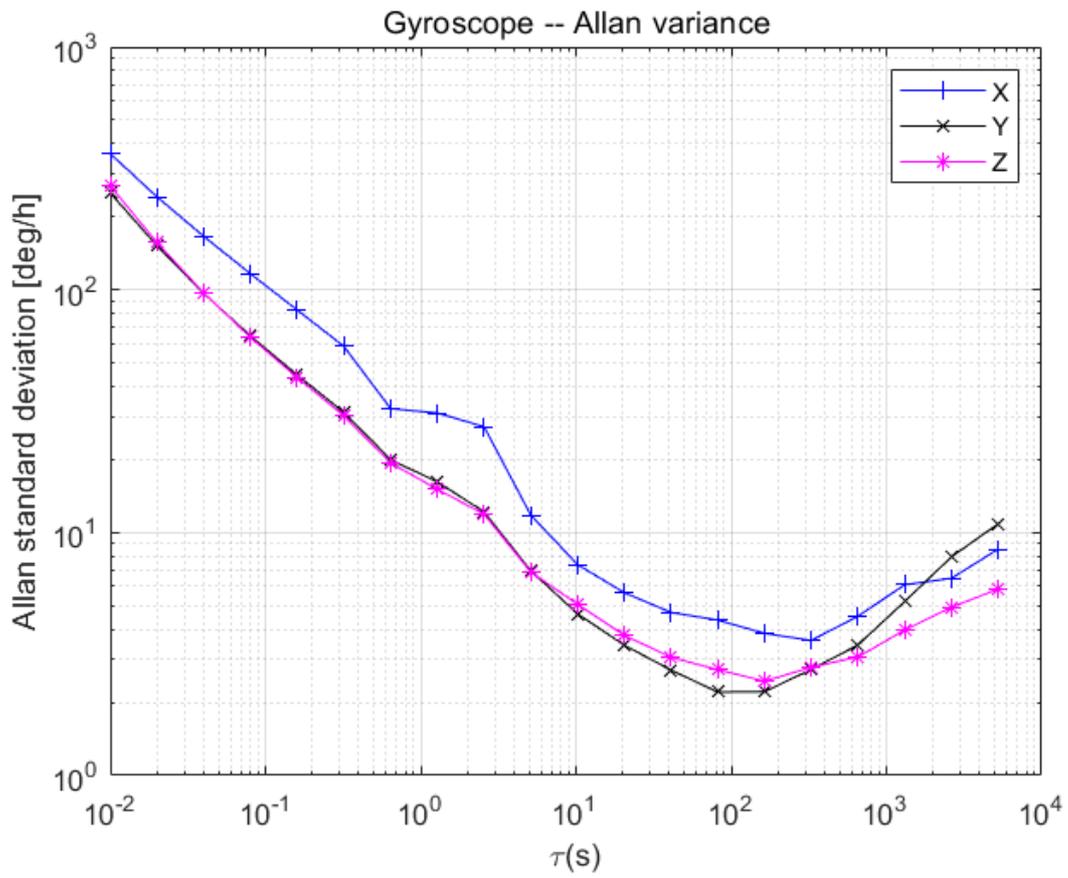
### 4.2 传感器参数

#### 4.2.1 陀螺仪

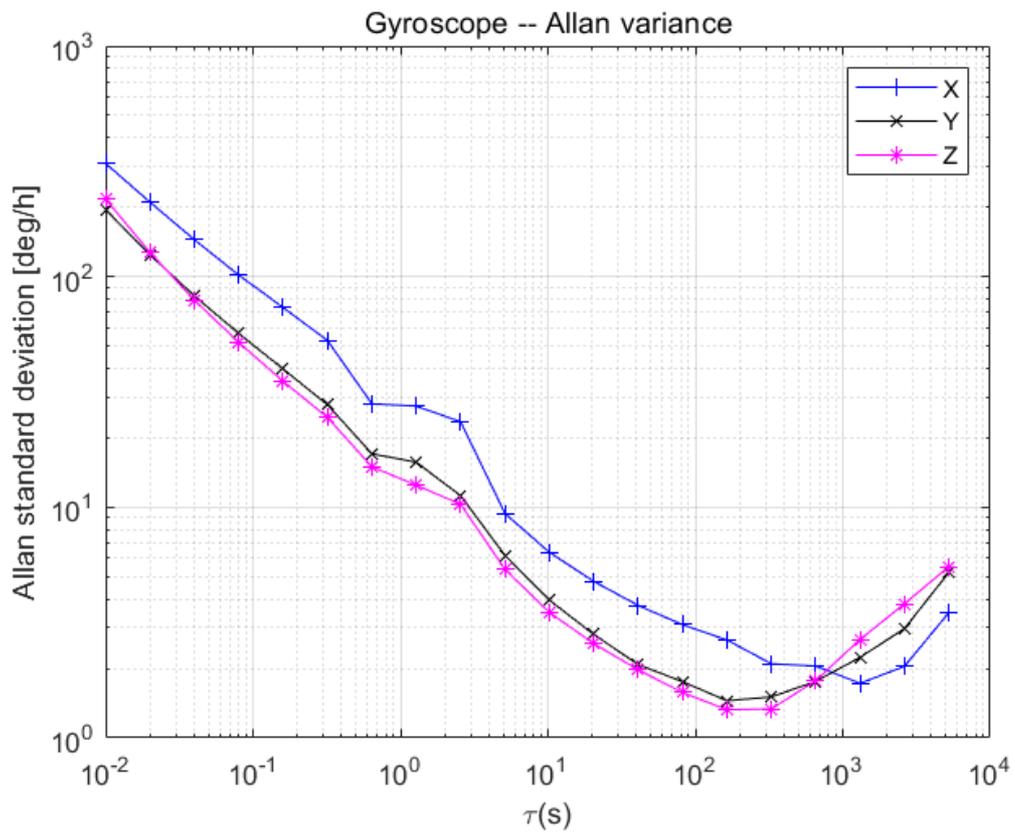
参数	HI14R1	HI14R2/HI14R3	HI14R5	备注
测量范围	±2000°/s	±2000°/s	±2000°/s	
分辨率	0.001°/s	0.001°/s	0.001°/s	
3dB带宽	120Hz	120Hz	120Hz	
零偏稳定性	3.6/h	2.5°/h	1.76°/h	@25°C,1 $\sigma$
零偏重复性	0.09°/s	0.05°/s	0.05°/s	@25°C,1 $\sigma$
非正交误差	±0.1%	±0.1%	±0.1%	@25°C,1 $\sigma$
随机游走	0.6°/ $\sqrt{hr}$	0.3°/ $\sqrt{hr}$	0.3°/ $\sqrt{hr}$	@25°C,1 $\sigma$
刻度非线性度	±0.1%	±0.1%	±0.1%	满量程时(最大)
加速度敏感性	0.1°/s/g	0.1°/s/g	0.1°/s/g	
Z轴全温零偏变化(无温补) <sup>①</sup>	TBD	TBD	TBD	-40°C - 85°C
Z轴全温零偏变化(有温补) <sup>①</sup>	-	TBD	TBD	-40°C - 85°C

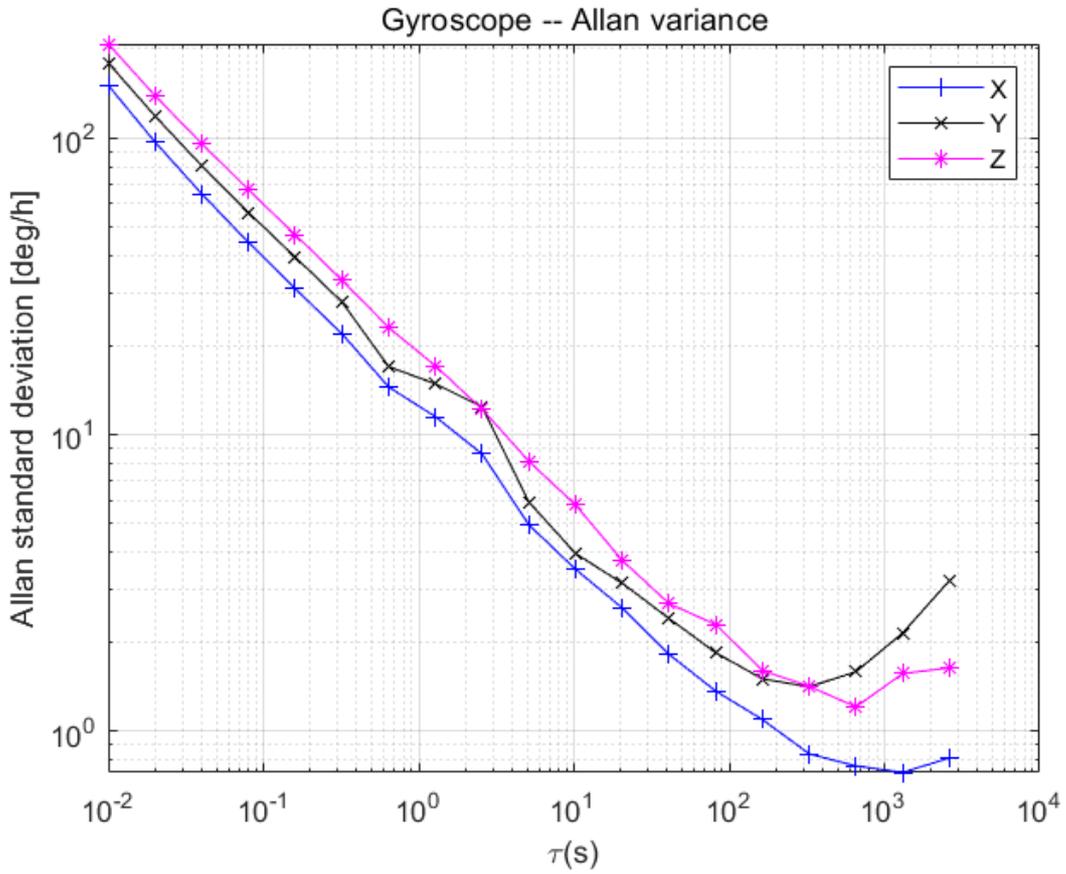
①测试样品平均值

### HIR1陀螺仪Allan方差



### HIR2/HIR3陀螺仪Allan方差

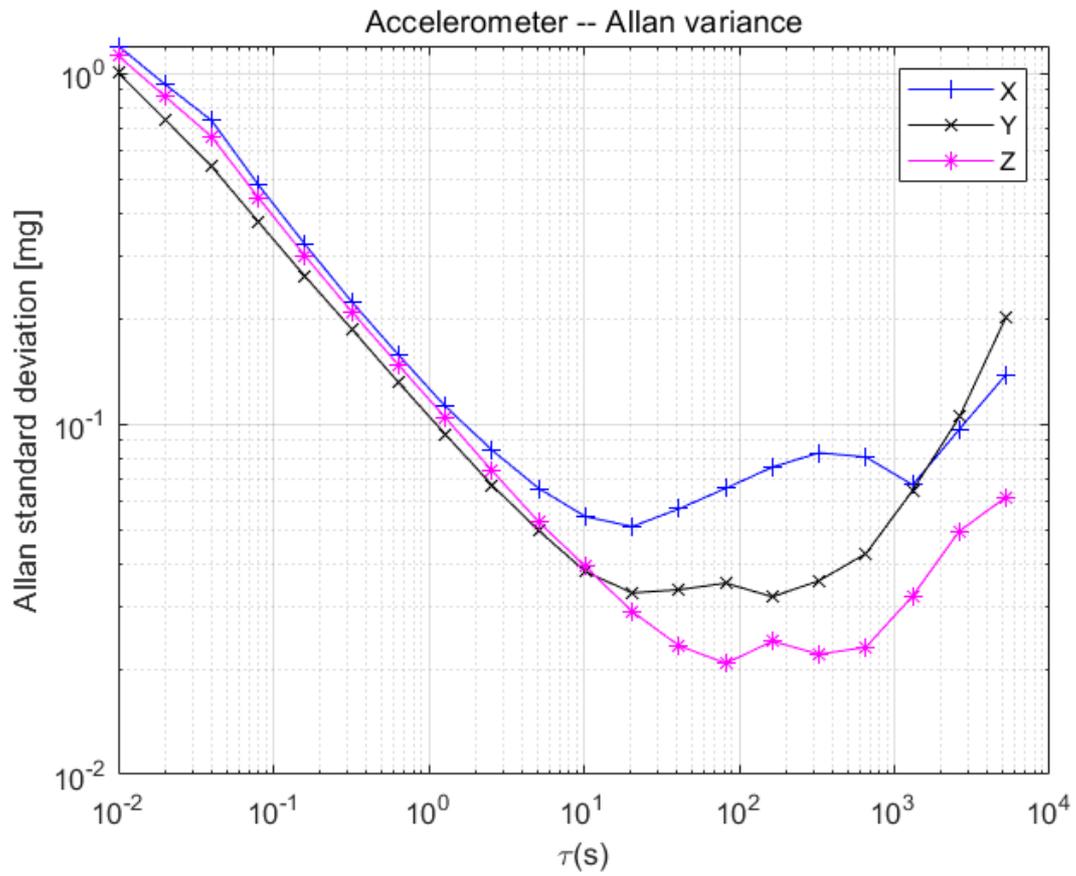




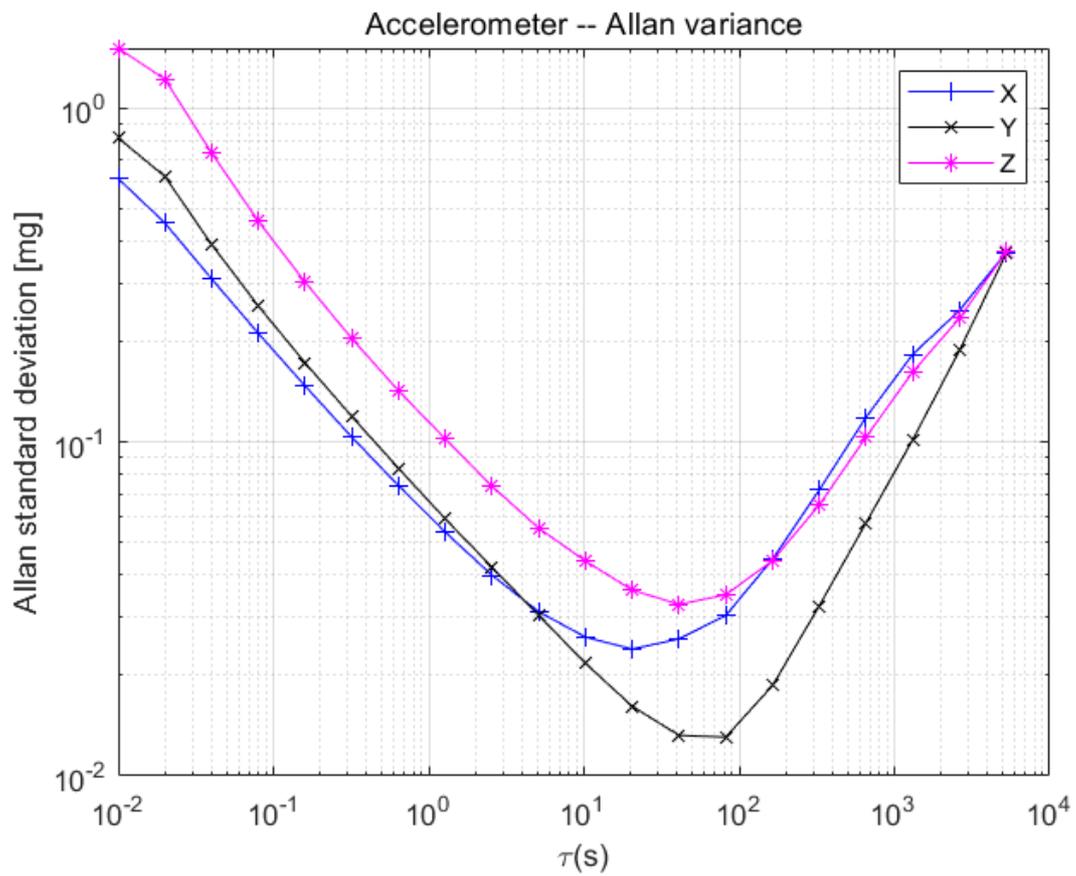
4.2.2 加速度计

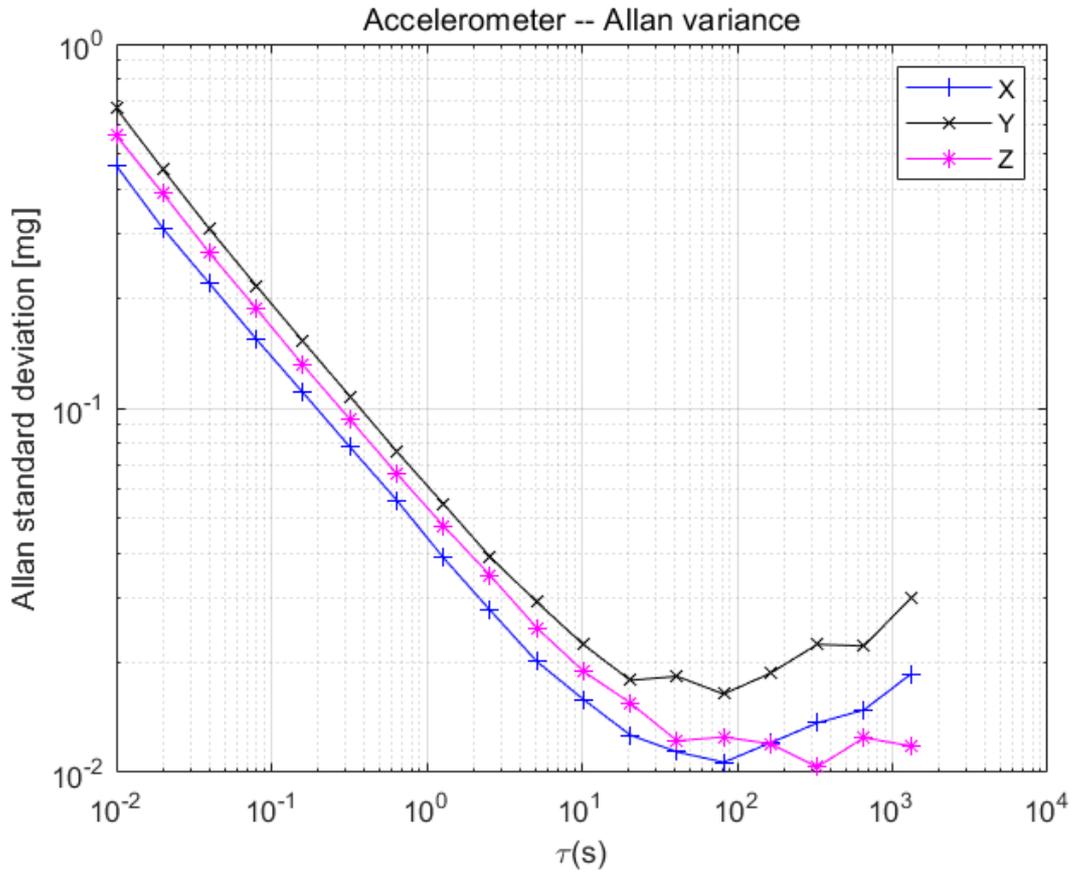
参数	HI14R1	HI14R2/HI14R3	HI14R5	备注
测量范围	±12g	±12g	±12g	1g = 1x 重力加速度
分辨率	1ug	1ug	1ug	
3dB带宽	150Hz	150Hz	150Hz	
零偏稳定性	60ug	30ug	21ug	@25°C, 1σ
零偏重复性	2.52	1.8mg	0.6mg	@25°C, 1σ
非正交误差	±0.1%	±0.1%	±0.1%	@25°C, 1σ
随机游走	0.08m/s√h	0.04m/s√h	0.04m/s√h	@25°C, 1σ
全温范围温度变化(无温补)	<0.3mg/°C	<0.005mg/°C	<0.005mg/°C	-40°C - 85°C
全温范围温度变化(有温补)	TBD	TBD	TBD	-40°C - 85°C

### HI14R1 加速度计Allan方差



### HI14R2/HI14R3加速度计Allan方差





#### 4.2.3 磁传感器参数

参数	HI14R3/HI14R5
测量范围	±8G(Gauss)
非线性度	±0.1%
分辨率	0.25mG

#### 4.3 电气参数

##### 4.3.1 电气整体参数

指标	条件	HI14系列	备注
输入电压	RS-232/RS-485/UART接口	5-50V	直流 DC
	CAN接口	6-50V	直流 DC
功耗	测试电压24V	<350mW	
电源反极性保护		支持	
CE认证		EMC 指令 2014/30/EU	
		RoHS 指令 2011/65/EU	

## 4.3.2 接口参数

### RS-232

RS-232		
波特率		9600/115200/230400/460800/921600bps(默认115200)
协议		超核二进制协议
帧率		5/10/50/100/250/500Hz(默认100)
输入电压		-15V-15V
输出电压	典型值	±5.4V

### UART(TTL)

UART(TTL)		
波特率		9600/115200/230400/460800/921600bps(默认115200)
协议		超核二进制协议
帧率		5/10/50/100/250/500Hz(默认100)
输入电压		-0.3V-3.6V
输出电压		0-3.3V

### RS-485

RS-485		
波特率		9600/115200/230400/460800bps(默认115200)
协议		Modbus/超核二进制协议
帧率		5/10/50/100/250/500Hz(默认100)
差模输出		2V-5V
共模输出	典型值	2.5V
差模输入阈值		-200mV-200mV

### CAN

CAN		
波特率		125K/250K/500K/1000K(默认500K)
协议		CANopen
帧率		5/10/50/100/200Hz(默认100)
输出电压	CAN H	2.75-4.5V 典型值3.5V
	CAN L	0.5-2.25V 典型值1.5V
差分输出		1.5-3V
输入电压		0.9-9V
差分输入阈值		0.5-0.9V

### 同步输入SIN1

SIN1	
输入电压	-0.5-3.6V
输入频率	0-500Hz

### 同步输出SOUT1

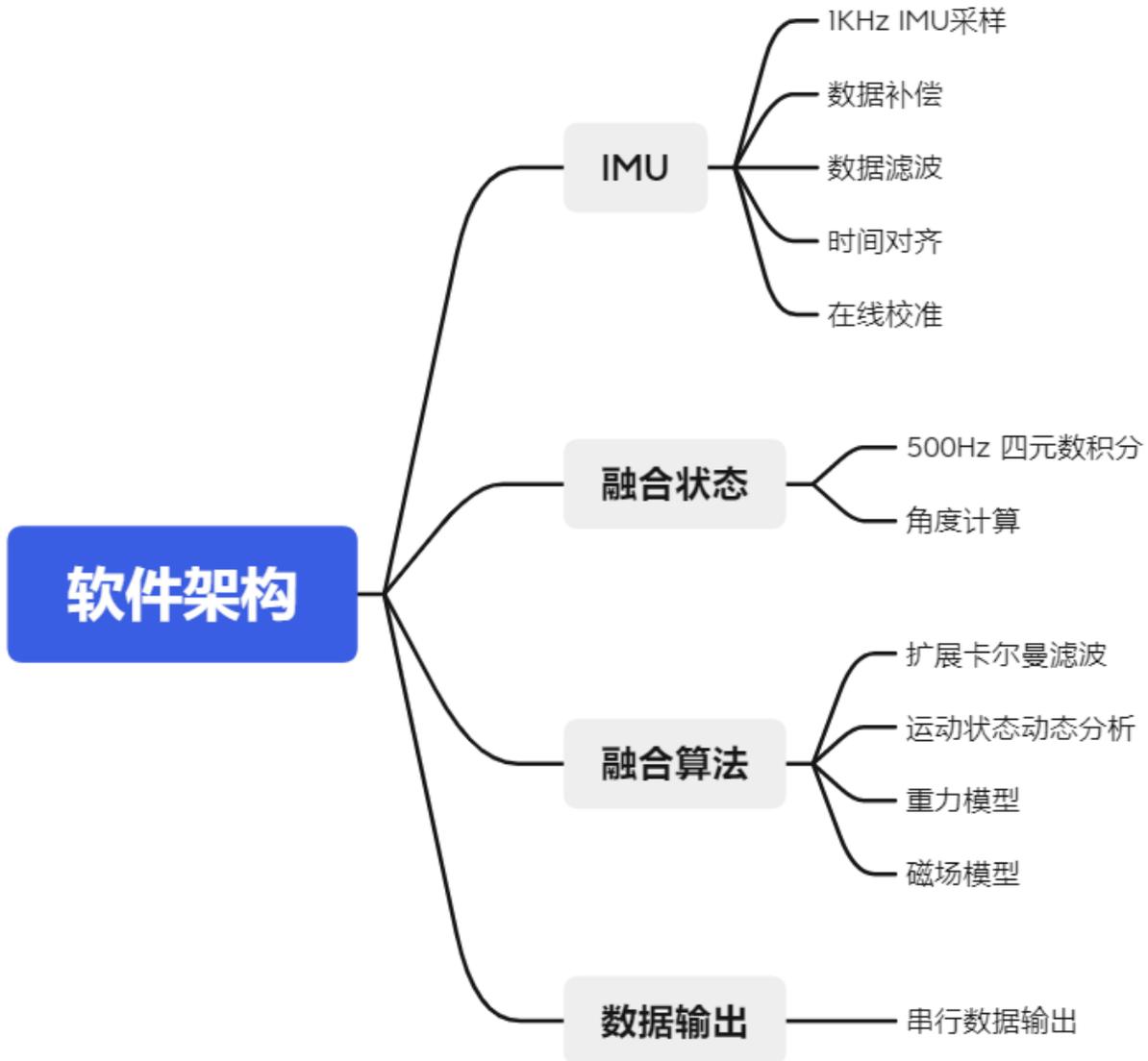
SOUT1	
输出电压	0-3.3V
输出频率	0-500Hz

## 4.4 机械与环境参数

参数	HI14系列
尺寸	58.5X40X20mm
重量	<75g
外壳材质	铝合金 Type II Class 2
工作温度	-40-85°C
存储温度	-40-85°C
抗冲击	2000g
防水等级	IP68

## 5. 软件架构

HI14系列采用了自主研发的扩展卡尔曼滤波和IMU噪声动态分析技术，可以满足高动态下姿态角的精度，减小航向角的漂移。算法架构主要包含IMU、融合状态、融合算法、数据输出4个部分



### 5.1 传感器子系统

传感器系统主要工作是对传感器原始数据进行标定补偿，使得传感器的数据可以更好地满足多种多样的用户场景。

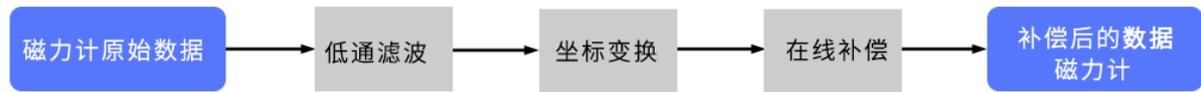
#### 5.1.1 陀螺仪数据处理过程



#### 5.1.2 加速度计数据处理过程



### 5.1.3 磁场数据处理过程



### 5.1.4 原始数据

MCU以最高的采样频率采集加速度计、陀螺仪、地磁场的原始数据

### 5.1.5 低通滤波

HI14系列为用户提供了多种低通滤波方案(可参考第6章用户配置-带宽配置章节)，这些滤波方案可以满足用户的多场景应用。

### 5.1.6 工厂标定

每个MEMS IMU在生产制造过程中，都有一些共性的零偏，比例因子、跨轴等误差，除此之外还会受到，温度变化的影响，因此我们在生产、制造、测试的过程中通过专有的设备将这些误差的影响降低到最小。

### 5.1.7 坐标变换

我们默认推荐用户对产品进行水平安装使用，但是受限于用户的使用场景，有时不得不将模块进行其他位置安装，因此我们可以支持对传感器的坐标系进行旋转以更好地满足用户安装需求。坐标变换指令可参考用户配置章节。

### 5.1.8 在线补偿

用户在开始上电时需保持1S的静止时间，产品可以自动采集并计算当前的陀螺零偏状态，这样可以更好的补偿陀螺仪的数据。

### 5.1.9 地磁场的在线校准

地磁场的在线校准支持自动校准，具体内容可参考-地磁校准章节

## 5.2 数据融合

### 5.2.1 卡尔曼融合算法

处理器利用扩展卡尔曼算法将加速度计、陀螺仪、磁力计的原始数据进行固定频率(默认500Hz)的四元数全姿解算，通过数据融合可以得到四元数、欧拉角等融合后的信息。同时可以估计陀螺仪、加速度计等传感器的零偏，这对于依赖低延时、低抖动姿态信息作为控制输入信息的系统非常重要。

#### 融合数据输出

欧拉角(俯仰、横滚、航向)

四元数

### 5.2.2 运动状态动态分析

根据加速度计、陀螺仪等传感器提供的信息，可以间接分析当前载体的运动状态，从而调整卡尔曼融合状态，使模块性能处于最佳状态。

### 5.3 数据输出

不同的数据接口拥有不同的输出协议，详见下表：

数据接口	协议
RS-232/UART(TTL)	超核自定义二进制协议(91协议)
RS-485	Modbus
CAN	CANopen

## 6. 初始配置

HI14系列设计的初衷是用户进行最低限度的配置，以实现覆盖绝大部分应用场景的操作。因此默认配置已经可以满足很多工况的场景，但是我们也为用户提供了其他配置选项以应对特殊场景。

### 6.1 RS-232/RS-485/UART(TTL)接口初始配置

配置	参数
模式	6DoF 无地磁辅助
陀螺仪最低检测角速度	0.5°/s
波特率	115200
数据帧率	100Hz
坐标系	参考坐标系定义章节
陀螺仪带宽(3dB)	120Hz
加速度计带宽(3dB)	150Hz
陀螺仪量程	±2000°/s
加速度计量程	±12g

### 6.2 CAN接口初始配置

配置	参数
模式	6DoF 无地磁辅助
陀螺仪最低检测角速度	0.5°/s
波特率	500K
数据帧率	100Hz
坐标系	参考坐标系定义章节
陀螺仪带宽(3dB)	120Hz
加速度计带宽(3dB)	150Hz
陀螺仪量程	±2000°/s
加速度计量程	±12g

## 7. 用户配置

模块配置采用ASCII命令交互，和一般的Linux命令行模式相同。每条命令最后必须以回车换行 `\r\n` 结束。因为配置模块时一般使用的串口和数据输出串口为同一个，建议配置之前先发送 `LOG DISABLE` 先关闭传感器数据帧输出。

### 7.1 使用场景配置

#### 7.1.1 慢速转动场景

有些时候用户的使用场景需要很慢的旋转角速度，例如机器人在回充的过程中，因此当用户的旋转角速度低于 $0.5^\circ/\text{s}$ (出厂默认)时，用户可以配置陀螺仪模块的角速度检测门限的最低值来满足此种工况。配置指令为 `CONFIG IMU ZARU <VAL>`。

例：将最低旋转角速度设置为 $0.3^\circ/\text{s}$  `CONFIG IMU ZARU 0.3`

VAL 取值范围0.1-2

VAL取值越小: 有可能产生静态航向角漂移，VAL取值越大: 对低于转速低于VAL值的长时间匀速转动无法检测

#### 7.1.2 低动态运动场景

如果用户工况属于低动态运动(运动缓慢，如转台，精密倾角测量)，则可以通过设置更低的加速度计带宽和量程来实现更高的测量精度和更小的测量噪声输出，详见用户配置章节。

加速度计带宽会影响Pitch/Roll静态精度，陀螺的带宽不会对静态精度产生影响。

#### 7.1.3 地磁辅助场景(AHRS/9轴模式)

在绝对大多数情况下用户不需要使用地磁辅助模式，在少数空旷，无磁场干扰的环境下(如小型无人机)可以尝试使用地磁辅助模式，在使用前需要先将模块配置为地磁辅助模式，指令如下：

```
CONFIG ATT MODE 1 (AHRS)
```

地磁校准方法参考-地磁校准章节

### 7.2 同步输入与同步输出

- 数据同步输入(SIN): 引脚为上拉输入模式，空闲状态为高电平。当模块检测到下降沿时，会输出一帧数据。不使用时需悬空。
- 数据同步输出(SOUT): 引脚为输出模式，无数据输出时为高电平(空闲)，一帧数据开始发送时变为低电平，一帧数据发送完成后，返回高电平(空闲)。默认状态下，模块输出100Hz数据，该引脚输出100Hz占空比为50%的脉冲。不使用时需悬空。

在使用同步输入功能时，先要通过串口输入指令UNLOGALL

## 7.3 指令

指令	功能	备注
REBOOT	复位模块	
SAVECONFIG	保存所有配置参数	
SERIALCONFIG	串口设置	
CONFIG	设置用户参数	
LOG	打印模块信息或配置输出数据	
UNLOGALL	取消所有消息输出	
FRESET	恢复出厂设置	

所有配置指令需要 SAVECONFIG(保存设置)后复位(REBOOT)或重新上电后才能生效

## 7.4 指令详解

### 7.4.1 REBOOT

复位模块，立即生效，和重新上电效果相同。

### 7.4.2 SAVECONFIG

保存所有用户配置到Flash。

### 7.4.3 SERIALCONFIG

设置串口波特率，可选值：9600/115200/256000/460800/921600

例: SERIALCONFIG COM0 115200 配置波特率115200。

使用此指令需要特别注意，输入错误波特率后会导致无法和模块通讯。

### 7.4.4 CONFIG

用配置模块工作参数，所有配置后都需要 SAVECONFIG 后且复位生效

#### 7.4.4.1 设置6轴或者地磁模式(9轴)

- CONFIG ATT MODE 0 设置模块为6轴模式
- CONFIG ATT MODE 1 设置模块为地磁辅助(9轴)模式

#### 7.4.4.2 水平校准

- CONFIG ATT RST 2 校平: 将当前俯仰横滚角设置为0(Pitch = Roll = 0), Yaw保持不变
- CONFIG ATT RST 3 取消水平校平: 清除当前俯仰横滚角校平设置
- CONFIG ATT RST 4 航向角清零

执行 CONFIG ATT RST 命令时，模块需要静止，如果模块在运动中执行该命令，则有可能造成较大校准误差

#### 7.4.4.3 静止航向角速度检测阈值设置

CONFIG IMU ZARU <VAL> 设置静止航向角检测阈值。VAL取值范围0.01-2，VAL取值越小:有可能产生静态航向角漂移，VAL取值越大:对低于VAL值且匀速转动的情况可能会误判为静止状态。

例: CONFIG IMU ZARU 0.3

#### 7.4.4.4 设置加速度计带宽和量程

CONFIG IMU ABW <VAL> 设置加速度计带宽。VAL取值范围: 0(5Hz), 1(10Hz), 2(20Hz), 3(40Hz), 4(80Hz), 5(145Hz, 出厂默认), 6(230Hz)

CONFIG IMU ARG <VAL> 设置加速度计量程。VAL取值范围: 0(3G), 1(6G), 2(12G, 出厂默认), 3(24G)

例:

- CONFIG IMU ABW 0 设置加速度计带宽为 5Hz
- CONFIG IMU ARG 0 设置加速度计量程为3G

#### 7.4.4.5 设置陀螺仪带宽和量程

CONFIG IMU GBW <VAL> 设置陀螺仪带宽。VAL取值范围: 0(12Hz), 1(23Hz), 2(32Hz), 3(47Hz), 4(64Hz), 5(116Hz, 出厂默认), 6(230Hz)

CONFIG IMU GRG <VAL> 设置陀螺仪量程。VAL取值范围: 0(250dps), 1(500dps), 2(1000dps), 3(2000dps, 出厂默认)

例:

- CONFIG IMU GBW 0 设置陀螺仪带宽为 12Hz
- CONFIG IMU GRG 0 设置陀螺仪量程为250dps

加速度计和陀螺的带宽设置跟目标应用场景密切相关，一般来说：

- 运动缓慢(车载导航，慢速运动，形变检测，倾角检测，大型机器人，大型固定翼飞机)时，应设置较低的陀螺带宽( $\leq 47\text{Hz}$ )。
- 运动剧烈(手持设备/VR, 人形机器人，小型机器人/四轴，快速姿态/轨迹跟踪)，应设置较高的陀螺带宽( $\geq 47\text{Hz}$ )
- 一般来说，加速度计带宽只对加速度(振动)敏感，对转动(姿态变化)不敏感，一般应用场景不需要更改。但是如果目标应用是高频振动测量，则需要调大加速度计带宽。

#### 7.4.4.6 旋转坐标轴，用于垂直安装。

CONFIG IMU URFR <SETTING> 用法: CONFIG IMU URFR C00,C01,C02,C10,C11,C12,C20,C21,C22

其中  $C_{nm}$  支持浮点数

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U = \begin{bmatrix} C00 & C01 & C02 \\ C10 & C11 & C12 \\ C20 & C21 & C22 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B \quad (1)$$

其中  $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_U$  为旋转后的传感器坐标系下传感器数据,  $\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix}_B$  为旋转前传感器坐标系下传感器数据

下面是几种常用旋转举例:

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系X轴 旋转  $-90^\circ$ (**Y轴正方向朝下的垂直安装**), 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR 1,0,0,0,0,1,0,-1,0
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系X轴 旋转  $90^\circ$ (**Y轴正方向朝上的垂直安装**), 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR 1,0,0,0,0,-1,0,1,0
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系X轴 旋转 $180^\circ$ (**适用于翻面,背面贴装**), 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR 1,0,0,0,-1,0,0,0,-1
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系Y轴 旋转  $90^\circ$ (**X轴正方向朝上的垂直安装**), 输入命令

```
CONFIG IMU URFR 0,0,-1,0,1,0,1,0,0
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系Y轴 旋转 $-90^\circ$ (**X轴正方向朝下垂直安装**), 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR 0,0,1,0,1,0,-1,0,0
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系Y轴 旋转 $180^\circ$ (**适用于翻面,背面贴装**), 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR -1,0,0,0,1,0,0,0,-1
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系Z轴 旋转 $90^\circ$ , 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR 0,-1,0,1,0,0,0,0,1
```

- 新传感器坐标系为 绕原坐标系Z轴 旋转 $-90^\circ$ , 输入命令:

```
CONFIG IMU URFR 0,1,0,-1,0,0,0,0,1
```

- 恢复出厂默认值:

```
CONFIG IMU URFR 1,0,0,0,1,0,0,0,1
```

设置URFR后需要 软件复位或重新上电才能生效, 且配置一次, 保存设置即可, 不需要每次上电都发送该指令。

#### 7.4.4.7 设置单轴倾角仪输出范围

CONFIG IMU INC\_FMT <VAL>

- CONFIG IMU INC\_FMT 0 单轴倾角仪输出模式为: 0 - 360°
- CONFIG IMU INC\_FMT 1 单轴倾角仪输出模式为: -180 - 180°

### 7.4.5 LOG

#### 7.4.5.1 打开/关闭数据输出

- LOG ENABLE 全局使能数据帧输出(默认)
- LOG DISABLE 全局禁止数据帧输出

#### 7.4.5.2 显示模块版本信息

- LOG VERSION 打印固件版本信息

#### 7.4.5.3 显示用户配置信息

- LOG USRCONFIG 打印用户配置信息, 用于查看配置是否被写入成功。

```
1 ATT_MODE: 0 /* 工作模式: 0:6轴, 1:9轴 */
2 AUTO_LV: 0 /* 保留 */
3 ACC_RG: 2 /* 加速度量程 */
4 GYR_RG: 3 /* 保留 */
5 ACC_BW: 5 /* 加速度带宽 */
6 GYR_BW: 5 /* 陀螺仪带宽 */
7 ZARU_THR:0.500 /* 静止航向角速度检测阈值 */
8 ACC_R: 1.00 /* 保留 */
9 MAG_R: 1.00 /* 保留 */
10 ATT_Q: 1.00 /* 保留 */
11 GYR_LMF: 1 /* 保留 */
12 MDBUSID: 0x50 /* 保留 */
```

#### 7.4.5.4 显示串口配置信息

- LOG COMCONFIG 打印串口及输出协议配置信息

```
1 LIST
2 COM0: 115200 MSG:IMU91(100) /* COM0, 115200波特率, 当前配置为91数据包, 100Hz
*/
3 COM1: 115200 MSG:IMU91(100) /* COM1, 115200波特率, 当前配置为91数据包, 100Hz
*/
4 OK
```

#### 7.4.5.5 配置输出消息(配置同步输入)

LOG <MSG> <TYPE> <PERIOD>

- MSG: 固定为 IMU91
- TYPE: ONTIME : 定时输出, ONMARK : 外部触发同步输出
- PERIOD: 输出帧周期, 单位为s, 取值范围: 1(1Hz), 0.5(2Hz), 0.1(10Hz), 0.02(50Hz), 0.01(100Hz), 0.004(250Hz), 0.002(500Hz)

例(定时100Hz输出):

- LOG IMU91 ONTIME 0.01 将前COM的 91数据包输出周期设置为0.01s(100Hz)
- SAVECONFIG 保存设置
- REBOOT 重启生效

例(关闭输出):

- LOG IMU91 ONTIME 0 关闭91数据包输出
- SAVECONFIG 保存设置
- REBOOT 重启生效

例(同步触发输出):

- UNLOGALL 先取消所有定时输出。
- LOG IMU91 ONMARK 1 将前COM的 91数据包设置为同步触发模式。
- SAVECONFIG 保存设置
- REBOOT 重启生效

- 当输出帧率设置为比较高时(如500),默认的115200波特率可能不满足输出带宽要求,此时需要将模块波特率设高(如921600)后,模块才能正确的输出数据帧。
- 波特率参数设置好后掉电保存,复位模块生效。上位机的波特率也要做相应修改。
- 使用脉冲同步输入触发时:一定要注意触发源和模块需要共地。同步输入频率范围和定时输出频率范围相同。

#### 7.4.6 UNLOGALL

关闭当前串口所有消息输出

#### 7.4.7 FRESET

恢复出厂设置

## 8. 数据协议(RS232/TTL接口/自定义二进制协议)

### 8.1 数据帧格式

模块上电后, 按照默认帧率(100Hz)输出帧数据, 帧格式如下:

域名称	值	长度(字节)	说明
帧头	0x5A	1	固定为0x5A
帧类型	0xA5	1	固定为0xA5
数据域长度	1-512	2	帧中数据域的长度, LSB(低字节在前) 长度表示数据域的长度(不包含帧头, 帧类型, 长度, CRC)
CRC校验	-	2	除CRC 字节外其余所有字段(帧头,帧类型,长度, 数据域)的16 位CRC 校验和。 LSB(低字节在前)
数据域	-	1-512	一帧携带的数据, 由若干个子数据包组成, 数据包包含数据包标签和数据两部分。 标签决定了数据的类型及长度。

### 8.2 数据域



## 8.3 16-bit CRC

16-bit CRC实现例程:

```
1  /*
2     currentCrc: previous crc value, set 0 if it's first section
3     src: source stream data
4     lengthInBytes: length
5  */
6  static void crc16_update(uint16_t *currentCrc, const uint8_t *src, uint32_t
    lengthInBytes)
7  {
8     uint32_t crc = *currentCrc;
9     uint32_t j;
10    for (j=0; j < lengthInBytes; ++j)
11    {
12        uint32_t i;
13        uint32_t byte = src[j];
14        crc ^= byte << 8;
15        for (i = 0; i < 8; ++i)
16        {
17            uint32_t temp = crc << 1;
18            if (crc & 0x8000)
19            {
20                temp ^= 0x1021;
21            }
22            crc = temp;
23        }
24    }
25    *currentCrc = crc;
26 }
```

## 8.4 91数据包

### 8.4.1 数据包结构

91数据包是HI14系列输出内容最全的数据包，共76字节。集成了模块ID、温度、IMU的原始数据、地磁、气压、融合后的姿态数据等全部内容。

### 8.4.2 91数据包详细定义( IMU91)

字节偏移	数据类型	大小(Byte)	单位	说明
0	uint8_t	1	-	数据包标签:0x91
1	uint8_t	1	-	保留
2	uint8_t	1	-	保留
3	int8_t	1	°C	模块平均温度
4	float	4	Pa	气压
8	uint32_t	4	ms	节点本地时间戳信息，从系统开机开始累加，每毫秒增加1
12	float	12	mg	经过出厂校准后的加速度,顺序为: XYZ
24	float	12	deg/s	经过出厂校准后的角速度,顺序为: XYZ
36	float	12	uT	磁强度,顺序为: XYZ
48	float	12	deg	欧拉角 顺序为: 横滚角, 俯仰角, 航向角
60	float	16	-	节点四元数集合,顺序为WXYZ

## 8.5 数据帧结构示例

### 8.5.1 数据帧配置为 0x91 数据包

使用串口助手采样一帧数据,共82字节,前6字节为帧头,长度和CRC校验值。剩余76字节为数据域。假设数据接收到C语言数组 `buf` 中。如下所示:

```
5A A5 4C 00 6C 51 91 00 A0 3B 01 A8 02 97 BD BB 04 00 9C A0 65 3E A2 26 45 3F 5C E7 30 3F E2 D4 5A C2  
E5 9D A0 C1 EB 23 EE C2 78 77 99 41 AB AA D1 C1 AB 2A 0A C2 8D E1 42 42 8F 1D A8 C1 1E 0C 36 C2 E6  
E5 5A 3F C1 94 9E 3E B8 C0 9E BE BE DF 8D BE
```

- 第一步: 判断帧头, 得到数据域长度和CRC校验值:

帧头: 5A A5

帧数据域长度: 4C 00 :  $(0x00 \ll 8) + 0x4C = 76$

CRC校验值: 6C 51 :  $(0x51 \ll 8) + 0x6C = 0x516C$

- 第二步：校验CRC

```
1     uint16_t payload_len;
2     uint16_t crc;
3     crc = 0;
4     payload_len = buf[2] + (buf[3] << 8);
5
6     /* calculate 5A A5 and LEN filed crc */
7     crc16_update(&crc, buf, 4);
8
9     /* calculate payload crc */
10    crc16_update(&crc, buf + 6, payload_len);
```

得到CRC值为0x516C,与帧中携带CRC值相同, CRC校验通过。

- 第三步：接收数据

从 0x91 开始为数据包的数据域, 定义数据结构和常用转换宏:

```
1  #include "stdio.h"
2  #include "string.h"
3  /* common type conversion */
4  #define U1(p) (*(uint8_t *) (p))
5  #define I1(p) (*(int8_t *) (p))
6  #define I2(p) (*(int16_t *) (p))
7  static uint16_t U2(uint8_t *p) {uint16_t u; memcpy(&u,p,2); return u;}
8  static uint32_t U4(uint8_t *p) {uint32_t u; memcpy(&u,p,4); return u;}
9  static int32_t I4(uint8_t *p) {int32_t u; memcpy(&u,p,4); return u;}
10 static float R4(uint8_t *p) {float r; memcpy(&r,p,4); return r;}
11 typedef struct
12 {
13     uint8_t tag; /* item tag: 0x91 */
14     uint32_t id; /* user define ID */
15     float acc[3]; /* acceleration */
16     float gyr[3]; /* angular velocity */
17     float mag[3]; /* magnetic field */
18     float eul[3]; /* attitude: euler angle */
19     float quat[4]; /* attitude: quaternion */
20     float pressure; /* air pressure */
21     uint32_t timestamp;
22 }imu_data_t;
```

接收数据, 从buf[6]=0x91开始为payload部分:

```
1     imu_data_t i0x91 = {0};
2     int offset = 6; /* payload strat at buf[6] */
3     i0x91.tag =          U1(buf+offset+0);
4     i0x91.id =          U1(buf+offset+1);
5     i0x91.pressure =    R4(buf+offset+4);
6     i0x91.timestamp =   U4(buf+offset+8);
7     i0x91.acc[0] =      R4(buf+offset+12);
8     i0x91.acc[1] =      R4(buf+offset+16);
9     i0x91.acc[2] =      R4(buf+offset+20);
10    i0x91.gyr[0] =       R4(buf+offset+24);
11    i0x91.gyr[1] =       R4(buf+offset+28);
12    i0x91.gyr[2] =       R4(buf+offset+32);
13    i0x91.mag[0] =       R4(buf+offset+36);
14    i0x91.mag[1] =       R4(buf+offset+40);
15    i0x91.mag[2] =       R4(buf+offset+44);
16    i0x91.eul[0] =       R4(buf+offset+48);
17    i0x91.eul[1] =       R4(buf+offset+52);
18    i0x91.eul[2] =       R4(buf+offset+56);
19    i0x91.quat[0] =      R4(buf+offset+60);
20    i0x91.quat[1] =      R4(buf+offset+64);
21    i0x91.quat[2] =      R4(buf+offset+68);
22    i0x91.quat[3] =      R4(buf+offset+72);
```

打印接收到的数据:

```
1     printf("%-16s0x%X\r\n",           "tag:",           i0x91.tag);
2     printf("%-16s%d\r\n",             "id:",           i0x91.id);
3     printf("%-16s%8.4f %8.4f %8.4f\r\n", "acc(G):",       i0x91.acc[0],
i0x91.acc[1], i0x91.acc[2]);
4     printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "gyr(deg/s):",   i0x91.gyr[0],
i0x91.gyr[1], i0x91.gyr[2]);
5     printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "mag(uT):",      i0x91.mag[0],
i0x91.mag[1], i0x91.mag[2]);
6     printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "eul(deg):",     i0x91.eul[0],
i0x91.eul[1], i0x91.eul[2]);
7     printf("%-16s%8.3f %8.3f %8.3f %8.3f\r\n", "quat:",         i0x91.quat[0],
i0x91.quat[1], i0x91.quat[2], i0x91.quat[3]);
8     printf("%-16s%8.3f\r\n",           "pressure(pa):",
i0x91.pressure);
9     printf("%-16s%d\r\n",              "timestamp(ms):",
i0x91.timestamp);
```

打印出的解析结果:

```
1 tag:           0x91
2 id:           0
3 acc(G):       0.2242  0.7701  0.6910
4 gyr(deg/s):  -54.708 -20.077 -119.070
5 mag(uT):      19.183 -26.208 -34.542
6 eul(deg):     48.720 -21.014 -45.512
7 quat:         0.855  0.310 -0.310 -0.277
8 pressure(pa): -0.000
9 timestamp(ms): 310205
```

## 9. 数据协议(RS485/Modbus)

RS485通讯协议遵循Modbus RTU协议规范，数据以寄存器为单位进行发送和接收，每个寄存器占用2个字节，采用大端模式(高字节在前)，模块支持的默认配置与指令如下：

- 支持Modbus 指令：
  - 写入: 0x06 (Write Single Register) :写单个寄存器(每个Modbus寄存器为2个字节)
  - 读取: 0x03 (Read Holding Registers): 读取单个或多个寄存器数据
  - 自定义功能码: 0x50, 用于 Modbus ID自动分配，方便量产部署，固件升级等
- Modbus设备地址可修改, 出厂默认: 80 (0x50)
- 支持波特率: 4800/9600/115200/256000/460800, 出厂默认:115200, 格式: 8位数据位, 1位停止位, 无校验位(N8N1)

### 9.1 数据帧格式

#### 9.1.1 读寄存器(0x03)

主机发送:

域名称	值	说明
ID	1-0xFF	Modbus设备地址
FUN_CODE	0x03	命令码
ADDR_H	-	要读取的寄存器地址高8位
ADDR_L	-	要读取的寄存器地址低8位
LEN_H	-	要读取寄存器长度高8位(以寄存器个数为单位)
LEN_L	-	要读取寄存器长度低8位(以寄存器个数为单位)
CRC_L	-	CRC低8位
CRC_H	-	CRC高8位

从机(模块)返回:

域名称	值	说明
ID	1-0xFF	Modbus设备地址
FUN_CODE	0x03	命令码
LEN	-	返回寄存器数据的长度(不算ID, FUN_CODE,LEN,CRC字段)以字节为单位
DATAH	-	返回数据高8位
DATAL	-	返回数据低8位
---	-	返回数据高8位
---	-	返回数据低8位
CRC_L	-	CRC低8位
CRC_H	-	CRC高8位

## 9.1.2 写寄存器(0x06)

域名称	值	说明
ID	1-0xFF	Modbus设备地址
FUN_CODE	0x06	命令码
ADDR_H	-	要读取的寄存器地址高8位
ADDR_L	-	要读取的寄存器地址低8位
DATA_H	-	写入数据高8位
DATA_L	-	写入数据低8位
CRC_L	-	CRC低8位
CRC_H	-	CRC高8位

从机返回:

域名称	值	说明
ID	1-0xFF	Modbus设备地址
FUN_CODE	0x06	命令码
ADDR_H	-	要读取的寄存器地址高8位
ADDR_L	-	要读取的寄存器地址低8位
DATA_H	-	写入数据高8位
DATA_L	-	写入数据低8位
CRC_L	-	CRC低8位
CRC_H	-	CRC高8位

## 9.1.3 CRC校验

- 在线计算CRC: <https://www.23bei.com/tool/59.html>
- C代码:

```
1 static const uint16_t modbus_crc_table[256] = {
2     0x0000, 0xc0c1, 0xc181, 0x0140, 0xc301, 0x03c0, 0x0280, 0xc241,
3     0xc601, 0x06c0, 0x0780, 0xc741, 0x0500, 0xc5c1, 0xc481, 0x0440,
4     0xcc01, 0x0cc0, 0x0d80, 0xcd41, 0x0f00, 0xcfc1, 0xce81, 0x0e40,
5     0x0a00, 0xcac1, 0xcb81, 0x0b40, 0xc901, 0x09c0, 0x0880, 0xc841,
6     0xd801, 0x18c0, 0x1980, 0xd941, 0x1b00, 0xdbc1, 0xda81, 0x1a40,
7     0x1e00, 0xdec1, 0xdf81, 0x1f40, 0xdd01, 0x1dc0, 0x1c80, 0xdc41,
8     0x1400, 0xd4c1, 0xd581, 0x1540, 0xd701, 0x17c0, 0x1680, 0xd641,
9     0xd201, 0x12c0, 0x1380, 0xd341, 0x1100, 0xd1c1, 0xd081, 0x1040,
10    0xf001, 0x30c0, 0x3180, 0xf141, 0x3300, 0xf3c1, 0xf281, 0x3240,
11    0x3600, 0xf6c1, 0xf781, 0x3740, 0xf501, 0x35c0, 0x3480, 0xf441,
12    0x3c00, 0xfcc1, 0xfd81, 0x3d40, 0xff01, 0x3fc0, 0x3e80, 0xfe41,
13    0xfa01, 0x3ac0, 0x3b80, 0xfb41, 0x3900, 0xf9c1, 0xf881, 0x3840,
14    0x2800, 0xe8c1, 0xe981, 0x2940, 0xeb01, 0x2bc0, 0x2a80, 0xea41,
15    0xee01, 0x2ec0, 0x2f80, 0xef41, 0x2d00, 0xedc1, 0xec81, 0x2c40,
16    0xe401, 0x24c0, 0x2580, 0xe541, 0x2700, 0xe7c1, 0xe681, 0x2640,
```

```

17     0x2200, 0xe2c1, 0xe381, 0x2340, 0xe101, 0x21c0, 0x2080, 0xe041,
18     0xa001, 0x60c0, 0x6180, 0xa141, 0x6300, 0xa3c1, 0xa281, 0x6240,
19     0x6600, 0xa6c1, 0xa781, 0x6740, 0xa501, 0x65c0, 0x6480, 0xa441,
20     0x6c00, 0xacc1, 0xad81, 0x6d40, 0xaf01, 0x6fc0, 0x6e80, 0xae41,
21     0xaa01, 0x6ac0, 0x6b80, 0xab41, 0x6900, 0xa9c1, 0xa881, 0x6840,
22     0x7800, 0xb8c1, 0xb981, 0x7940, 0xbb01, 0x7bc0, 0x7a80, 0xba41,
23     0xbe01, 0x7ec0, 0x7f80, 0xbf41, 0x7d00, 0xbdc1, 0xbc81, 0x7c40,
24     0xb401, 0x74c0, 0x7580, 0xb541, 0x7700, 0xb7c1, 0xb681, 0x7640,
25     0x7200, 0xb2c1, 0xb381, 0x7340, 0xb101, 0x71c0, 0x7080, 0xb041,
26     0x5000, 0x90c1, 0x9181, 0x5140, 0x9301, 0x53c0, 0x5280, 0x9241,
27     0x9601, 0x56c0, 0x5780, 0x9741, 0x5500, 0x95c1, 0x9481, 0x5440,
28     0x9c01, 0x5cc0, 0x5d80, 0x9d41, 0x5f00, 0x9fc1, 0x9e81, 0x5e40,
29     0x5a00, 0x9ac1, 0x9b81, 0x5b40, 0x9901, 0x59c0, 0x5880, 0x9841,
30     0x8801, 0x48c0, 0x4980, 0x8941, 0x4b00, 0x8bc1, 0x8a81, 0x4a40,
31     0x4e00, 0x8ec1, 0x8f81, 0x4f40, 0x8d01, 0x4dc0, 0x4c80, 0x8c41,
32     0x4400, 0x84c1, 0x8581, 0x4540, 0x8701, 0x47c0, 0x4680, 0x8641,
33     0x8201, 0x42c0, 0x4380, 0x8341, 0x4100, 0x81c1, 0x8081, 0x4040
34 };
35
36 uint16_t modbus_crc_calc(uint8_t *buf, uint16_t len)
37 {
38     uint16_t crc = 0xFFFFU;
39     uint8_t nTemp;
40
41     while (len--)
42     {
43         nTemp = *buf++ ^ crc;
44         crc >>= 8;
45         crc ^= modbus_crc_table[(nTemp & 0xFFU)];
46     }
47
48     return(crc);
49 }

```

## 9.2 寄存器列表

地址(16进制)	地址(十进制)	名称	功能	读写属性(R/W)	说明
0x00	0	CTL	控制	W	参见Modbus 设置模块章节
0x04	4	BAUD	波特率	R	波特率
0x05	5	ID	ID	R	Modbus ID
0x1F	31	BW	带宽	R/W	截止频率: 0:12Hz, 1:23Hz 2:32Hz 3:47Hz(默认) 4:64Hz, 5:116Hz
0x34	52	ACCX	加速度X	R	单位G(1G=1重力加速度), 比例因子:0.00048828
0x35	53	ACCY	加速度Y	R	单位G(1G=1重力加速度), 比例因子:0.00048828
0x36	54	ACCZ	加速度Z	R	单位G(1G=1重力加速度), 比例因子:0.00048828
0x37	55	GYRX	角速度X	R	单位deg/s, 比例因子:0.061035
0x38	56	GYRY	角速度Y	R	单位deg/s, 比例因子:0.061035
0x39	57	GYRZ	角速度Z	R	单位deg/s, 比例因子:0.061035
0x3A	58	MAGX	磁强度X	R	单位uT, 比例因子: 0.030517
0x3B	59	MAGY	磁强度Y	R	单位uT, 比例因子: 0.030517
0x3C	60	MAGZ	磁强度Z	R	单位uT, 比例因子: 0.030517
0x3D	61	ROLL_H	横滚角高16位	R	单位deg, 比例因子:0.001
0x3E	62	ROLL_L	横滚角低16位	R	单位deg, 比例因子:0.001
0x3F	63	PITCH_H	俯仰角高16位	R	单位deg, 比例因子:0.001
0x40	64	PITCH_L	俯仰角低16位	R	单位deg, 比例因子:0.001
0x41	65	YAW_H	航向角高16位	R	单位deg, 比例因子:0.001
0x42	66	YAW_L	航向角低16位	R	单位deg, 比例因子:0.001
0x43	67	TEMP	温度	R	单位°C, 比例因子:0.01
0x44	68	PRS_H	气压高16位	R	单位Pa, 比例因子:0.01
0x45	69	PRS_L	气压低16位	R	单位Pa, 比例因子:0.01
0x46	70	Q0	四元数QW	R	四元数, 比例因子: 0.00003
0x47	71	Q1	四元数QX	R	四元数, 比例因子: 0.00003
0x48	72	Q2	四元数QY	R	四元数, 比例因子: 0.00003
0x49	73	Q3	四元数QZ	R	四元数, 比例因子: 0.00003
0x4A	74	SINGLE_X	X 轴单轴角度	R	单轴倾角仪X角度, 0-360,单位deg,比例因子:0.005493

地址(16进制)	地址(十进制)	名称	功能	读写属性(R/W)	说明
0x4B	74	SINGLE_Y	Y轴单轴角度	R	单轴倾角仪Y角度, 0-360,单位deg,比例因子:0.005493
0x66	102	KF_ACC_R	加速度计姿态反馈系数	R/W	加速度姿态修正系数调节, 默认:10, 范围:1-20, 值越小加速度修正力度越大.
0x70-0x77	112-119	PNAME	设备名	R	设备名字符串, ASCII码, 共占8个寄存器
0x78	120	SW_VERSION	软件版本	R	软件版本
0x79	121	BL_VERSION	BL版本	R	BL版本
0x7F-0x82	127-130	SN	产品唯一序列号	R	产品唯一序列号, 占4寄存器
0xA0-0xAF	160-175	ACC_CAL	加速度计校准参数	R	加速度计出厂校准参数, 比例因子:0.001
0xB0-0xBF	176-191	GYR_CAL	陀螺校准参数	R	陀螺出厂校准参数, 比例因子:0.001
0xC0-0xCF	192-207	MAG_CAL	磁强计校准参数	R	磁传感器出厂校准参数, 比例因子:0.001

### 9.3 配置模块

以下所有配置示例默认Modbus地址为0x50(出厂默认), 如果Modbus ID已经被用户修改, 则ID字段和CRC字段需要更改。

命令	CTL寄存器写入值	命令Hex串(默认ID为0x50)
保存所有配置参数到Flash	0x0000	50 06 00 00 00 00 84 4B
恢复出厂设置	0x0001	50 06 00 00 00 01 45 8B
设置工作模式为6轴模式	0x0003	50 06 00 00 00 03 C4 4A
设置工作模式为9轴模式	0x0004	50 06 00 00 00 04 85 88
设置工作模式为纯陀螺积分模式	0x0005	50 06 00 00 00 05 44 48
初始姿态偏移设置(调平) Pitch = Roll = Yaw = 0 立即生效且掉电保存	0x0010	50 06 00 00 00 10 85 87
初始姿态设置(调平) Pitch = Roll = 0, Yaw保持不变, 立即生效且掉电保存	0x0011	50 06 00 00 00 11 44 47
初始姿态设置(调平) Pitch, Roll 保持不变, Yaw=0, 立即生效且掉电保存	0x0012	50 06 00 00 00 12 04 46
初始姿态设置(调平) 清除所有初始姿态设置, 立即生效且掉电保存	0x0013	50 06 00 00 00 13 C5 86
安装方向设置: 设置为水平安装(正常模式)	0x0020	50 06 00 00 00 20 85 93
安装方向设置: 垂直安装:Y轴正方向朝下	0x0021	50 06 00 00 00 21 44 53
安装方向设置: 垂直安装:Y轴正方向朝上	0x0022	50 06 00 00 00 22 04 52
安装方向设置: 垂直安装:X轴正方向朝上	0x0023	50 06 00 00 00 23 C5 92
安装方向设置: 垂直安装:X轴正方向朝下	0x0024	50 06 00 00 00 24 84 50
复位	0x00FF	50 06 00 00 00 FF C4 0B
配置波特率为4800(复位生效)	0x0100	50 06 00 00 01 00 85 DB
配置波特率为9600(复位生效)	0x0101	50 06 00 00 01 01 44 1B
配置波特率为19200(复位生效)	0x0102	50 06 00 00 01 02 04 1A
配置波特率为38400(复位生效)	0x0103	50 06 00 00 01 03 C5 DA
配置波特率为57600(复位生效)	0x0104	50 06 00 00 01 04 84 18
配置波特率为115200(复位生效)	0x0105	50 06 00 00 01 05 45 D8
配置波特率为230400(复位生效)	0x0106	50 06 00 00 01 06 05 D9
配置波特率为460800(复位生效)	0x0107	50 06 00 00 01 07 C4 19
配置波特率为921600(复位生效)	0x0108	50 06 00 00 01 08 84 1D
配置Modbus ID(复位生效)	0x0200 +ID	如需要配置 Modbus ID为 0x03,则发送 50 06 00 00 02 03 C5 2A

## 9.4 读取数据示例

### 9.4.1 读取模块产品名, 软件版本及SN号

**TX**(主机发送): 50 03 00 70 00 13 08 5D

解释: ID=0x50, CMD=0x03, 读取起始地址0x70, 读取长度:0x13, CRC: 0x085D

**RX**(从机响应): 50 03 26 00 43 00 48 00 31 00 30 00 58 00 28 00 4D 00 29 00 73 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 06 DD C2 9C 6D 06 97 0F 7F 5F

解释: 50 03 26: 从机地址0x50, 命令码:0x03, 数据部分共0x26= 38字节, 00 43 00 48 00 31 00 30 00 58 00 28 00 4D 00 29 00 73 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 06 DD C2 9C 6D 06 97 0F ,数据段: 产品名: CH10x(M), 软件版本:0x73(115), SN:06DDC29C6D06970F, 7F 5F: CRC校验

### 9.4.2 读取IMU姿态数据

**TX**(主机发送): 50 03 00 34 00 18 09 8F

解释: ID=0x50, CMD=0x03, 读取起始地址0x34, 读取长度:0x18, CRC: 0x098F

**RX**(从机响应): 50 03 30 FF 01 03 B0 06 50 FC C9 FF 7C 00 91 01 D5 FD DB FD 27 00 00 21 FF 00 00 7F F6 FF FD 73 E7 00 00 00 00 00 00 10 A6 0D 59 DD 4E 86 A8 06 30 17 82 1E CE

解释:

- 加速度: X=-255, Y=944, Z=1616 ->乘比例因子后结果: X= -0.1245, Y=0.4609, Z=0.7891G (1G=1重力加速度, 可取9.8m/s<sup>2</sup>)
- 角速度: X=-823, Y=-132, Z=145 -> 乘比例因子后结果: X=-50.2318, Y=-8.0566, Z=8.8501deg/s
- 磁场: X=469, Y=-549, Z=-729 -> 乘比例因子后结果: X=14.3125, Y=-16.7538, Z=-22.2469uT
- 欧拉角: 横滚(Roll) =8703, 俯仰角(Pitch)=32758, 航向角(Yaw) =-166937 -> 乘比例因子后结果: Roll= 8.703deg, Pitch=32.758deg, Yaw=-166.937deg

## 9.5 Modbus ID自动分配及固件升级

ID地址自动分配机制用于量产部署时多个模块挂接在同一个485总线的情况, 模块可配合上位机完成ID自动地址分配, 该功能只开放给量产客户, 具体资料请联系我司获取。Modbus固件升级协议只开放给批量量产客户, 具体资料请联系我司获取。

0x50 自定义指令格式为: [ADDR] 0x50 [SUB\_CMD] [DATA\_LEN] [DATA]

目前支持的自定义指令列表:

1. 通过唯一SN号设定ID地址(0x0031): 格式: 00 50 00 31 00 0A [SN] [NEW\_ADDR] CRC 其中
  - SN: 设备唯一序列号: 8字节
  - 需要设定的新ID地址: 1-255, 2字节
2. ID地址随机化生成(0x0030): 该指令会强制总线上的所有模块抛弃原来ID且生成新的介于MIN\_ADDR和MAX\_ADDR之间的新ID 格式: 00 50 00 30 00 06 [MIN] [MAX] FF FF CRC

- MIN: 生成随机ID的最小值, 2字节。
- MAX: 生成随机ID的最大值 2字节。

## 10. 数据协议(CAN)

CAN通讯协议可支持 CANopen协议和SAE J1939协议。模块默认支持CANopen协议，如需J1939协议版本，请联系我司技术支持。

本产品CAN接口遵循以下标准：

- CAN接口符合CANopen协议，所有通讯均使用标准数据帧，使用PTO1-7 传输数据。不接收/发送远程帧和拓展数据帧
- 所有PTO采用异步定时触发模式。

### 10.0.1 CANopen 默认设置

CANopen默认配置	值
CAN 波特率	500KHz
CANopen节点ID	8
初始化状态	Operational
心跳包	无
TPDO输出速率	1Hz - 200Hz(每个TPDO)

### 10.0.2 CANopen TPDO

PTO通道	PTO 帧ID	长度 (DLC)	PTO 传输方式	异步输出频率 (Hz)	发送数据	说明
TPDO1	0x180+ID	6	异步定时(0xFE)	100	加速度	类型:int16,低字节在前，每个轴2字节，共6字节。分别为X,Y,Z轴加速度，单位为mG(0.001重力加速度)
TPDO2	0x280+ID	6	异步定时(0xFE)	100	角速度	类型:int16,低字节在前，每个轴2字节，共6字节。分别为X,Y,Z轴角速度，单位为0.1DPS(°/s)
TPDO3	0x380+ID	6	异步定时(0xFE)	100	欧拉角	类型:int16,低字节在前，每个轴2字节，共6字节。顺序分别为 横滚角:Roll, 俯仰角:Pitch, 航向角:Yaw。单位为0.01°
TPDO4	0x480+ID	8	异步定时(0xFE)	100	四元数	类型:int16,低字节在前,每个元素2字节，共8字节。分别为 $q_w$ $q_x$ $q_y$ $q_z$ 。单位四元数扩大10000倍后结果。如四元数为1,0,0,0 时,输出10000,0,0,0.
TPDO6	0x680+ID	4	异步定时(0xFE)	20	气压	类型:int32 共4字节。单位Pa
TPDO7	0x780+ID	8	异步定时(0xFE)	100	单轴倾角仪角度	类型:int32,低字节在前，每个轴4字节，共8字节。顺序分别为 X轴, Y轴。单位为0.01°

例:

收到加速度CAN帧: ID=0x188, DATA = 4A 00 1F 00 C8 03

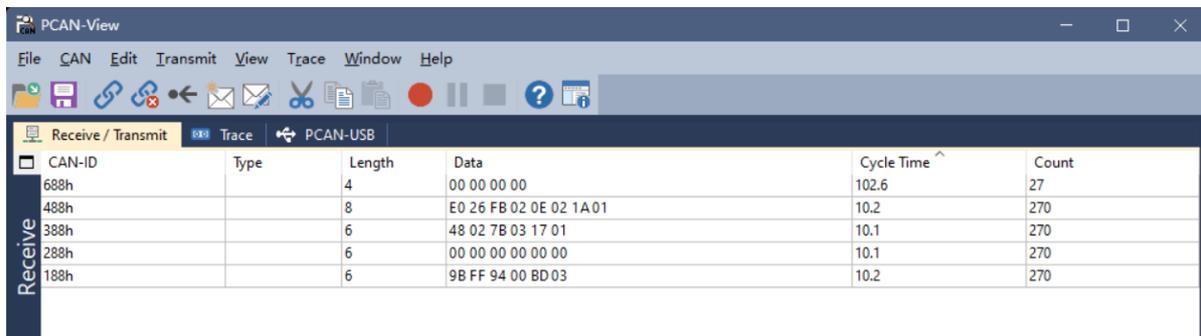
- ID=0x188: ID为8的设备发送的加速度数据帧
- 加速度X轴 = 0x004A = 74 = 74mG
- 加速度Y轴 = 0x001F = 31 = 31mG
- 加速度Z轴 = 0x03C8 = 968 = 968mG

收到角速度CAN帧: ID=0x288, DATA = 15 00 14 01 34 00

- ID=0x288: ID为8的设备发送的角速度数据帧
- 角速度X轴 = 0x0015 = 21 = 2.1dps
- 角速度Y轴 = 0x0114 = 276 = 27.6dps
- 角速度Z轴 = 0x0034 = 52 = 5.2dps

## 10.1 使用上位机连接CAN设备

使用PCAN-View工具, 配合PCAN-USB, 可以在接收框(Rx Message)中会显示收到的CAN消息及帧率, 如下图所示:



The screenshot shows the PCAN-View software interface. The main window displays a table of received CAN messages. The table has columns for CAN-ID, Type, Length, Data, Cycle Time, and Count. The messages are listed in the 'Receive' section.

CAN-ID	Type	Length	Data	Cycle Time	Count
688h		4	00 00 00 00	102.6	27
488h		8	E0 26 FB 02 0E 02 1A 01	10.2	270
388h		6	48 02 7B 03 17 01	10.1	270
288h		6	00 00 00 00 00 00	10.1	270
188h		6	9B FF 94 00 BD 03	10.2	270

### 10.1.3 CANopen接口常用命令

#### 10.1.3.1 全局使能/关闭数据输出(开启异步触发)

使用CANopen NMT协议帧:

- 使能全局数据输出 ID=0x000, DATA=01 08
- 关闭全局数据输出 ID=0x000, DATA=02 08

以上配置操作均使用快速SDO来写数据字典, 其中TPDO通道与其对应的参数索引为:

PTO通道	PTO 帧ID	TPDO参数索引地址(CANopen协议默认定义)	说明
TPDO1	0x180+ID	0x1800	加速度
TPDO2	0x280+ID	0x1801	角速度
TPDO3	0x380+ID	0x1802	欧拉角
TPDO4	0x480+ID	0x1803	四元数
TPDO6	0x680+ID	0x1804	气压
TPDO7	0x780+ID	0x1805	单轴倾角输出

### 10.1.3.2 修改CAN波特率

修改波特率使用LSS(Layer setting services)层，基本格式为：

- 0x07E4 = LSS slave to LSS master
- 0x07E5 = LSS master to LSS slave

修改波特率(重新上电生效)

- CAN波特率修改为1000 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,00,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为800 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,01,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为500 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,02,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为250 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,03,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为125 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,04,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为100 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,05,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为50 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,06,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为20 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,07,00,00,00,00,00
- CAN波特率修改为10 kbit/s: ID=0x07E5, DATA=13,00,08,00,00,00,00,00

### 10.1.3.3 修改节点ID

ID=0x07E5, DATA=11,ID,00,00,00,00,00,00

ID修改范围：1-64，生效后发送启动节点命令(比如节点启动命令数据变为01 09)和SDO指令(发送CAN帧ID变为0x609)时注意为新的地址

### 10.1.3.4 保存配置

ID=0x07E5, DATA=17,00,00,00,00,00,00,00

所有配置更改后需要发送保存配置指令才能保存到Flash

### 10.1.3.5 修改/关闭/开启数据输出速率

此项配置立即生效

- ID=0x608, DATA=2B,00,18,05,00,00,00,00 关闭加速度输出
- ID=0x608, DATA=2B,00,18,05,05,00,00,00 加速度200Hz输出

- ID=0x608, DATA=2B,00,18,05,0A,00,00,00 加速度100Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,00,18,05,14,00,00,00 加速度50Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,00,18,05,32,00,00,00 加速度20Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,00,18,05,64,00,00,00 加速度10Hz输出(最低10Hz)
- ID=0x608, DATA=2B,01,18,05,00,00,00,00 关闭角速度输出
- ID=0x608, DATA=2B,01,18,05,05,00,00,00 角速度200Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,01,18,05,0A,00,00,00 角速度100Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,01,18,05,14,00,00,00 角速度50Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,01,18,05,32,00,00,00 角速度20Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,01,18,05,64,00,00,00 角速度10Hz输出(最低10Hz)
- ID=0x608, DATA=2B,02,18,05,00,00,00,00 关闭欧拉角输出
- ID=0x608, DATA=2B,02,18,05,05,00,00,00 欧拉角200Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,02,18,05,0A,00,00,00 欧拉角100Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,02,18,05,14,00,00,00 欧拉角50Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,02,18,05,32,00,00,00 欧拉角20Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,02,18,05,64,00,00,00 欧拉角10Hz输出(最低10Hz)
- ID=0x608, DATA=2B,03,18,05,00,00,00,00 关闭四元数输出
- ID=0x608, DATA=2B,03,18,05,05,00,00,00 四元数200Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,03,18,05,0A,00,00,00 四元数100Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,03,18,05,14,00,00,00 四元数50Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,03,18,05,32,00,00,00 四元数20Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,03,18,05,64,00,00,00 四元数10Hz输出(最低10Hz)
- ID=0x608, DATA=2B,04,18,05,00,00,00,00 关闭气压输出
- ID=0x608, DATA=2B,04,18,05,05,00,00,00 气压200Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,04,18,05,0A,00,00,00 气压100Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,04,18,05,14,00,00,00 气压50Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,04,18,05,32,00,00,00 气压20Hz输出
- ID=0x608, DATA=2B,04,18,05,64,00,00,00 气压10Hz输出(最低10Hz)

解释：以 TPDO0(加速度)输出速率为100Hz(每10ms输出一次)为例：0x2B为SDO写两个字节指令。0x00,0x18为写0x1800索引。0x05为子索引。0x00,0x0A= (0x00<<8) + 0x0A = 10(单位为ms)，后面不足补0。

### 10.1.3.6 配置TPDO为同步模式

先关闭所有TPDO(设置TPDO输出速率为0)，然后发送CANopen同步帧即可：

CANopen 同步帧: ID:80, DATA:空

# 11. 地磁校准

## 11.1 地磁校准步骤

模块内部自带主动地磁校准系统，不需要用户发送任何指令，该系统在后台自动采集一段时间内地磁场数据，并做分析比较，剔除异常数据，一旦数据足够，就会尝试地磁校准。所以，当使用地磁辅助(9轴)模式时，不需要用户任何干预即可完成地磁校准。但是模块仍然提供接口来让用户检查当前校准状态。自动校准的前提是需要模块有充分的姿态变化，并且维持一定时间，内部校准系统才能搜集不同姿态下的地磁场信息，从而完成校准，静止状态下是无法进行地磁校准的。

当首次使用模块并且需要使用地磁辅助（9轴）模式时，应进行如下校准操作：

1. 检查周围是否存在磁场干扰：实验室铁质或者含有铁质的桌子、电脑、电机、手机等旁边都属于常见的干扰区域。建议将模块拿到室外空旷处，即使没有条件拿到室外，尽量将模块远离(>0.5m)干扰源。
2. 在尽量小范围内(位置不动，只是旋转)，缓慢的让模块旋转，让模块经历尽量多的姿态位置(每个轴至少都旋转360°，持续约1分钟)。一般情况下即可完成校准。如果始终没能成功校准模块，说明周围地磁场干扰比较大。
3. 如果客户安装位置改变(比如上一次校准是拿着模块单独去校准的，使用的时候却是安装在目标设备上)。则需要带着目标设备进行重新校准。
4. 使用 `LOG MAGCONFIG` 查看地磁校准参数:

```
1 ...
2
3 MAG BIS:
4 0.029
5 -22.062
6 11.926
```

如果MAG BIS为一个不全为0的3x1向量，说明地磁校准成功，如果MAG BIS全部为0，说明地磁校准不成功，请回到1重新开始校准步骤。

## 11.2 常见的地磁干扰分类

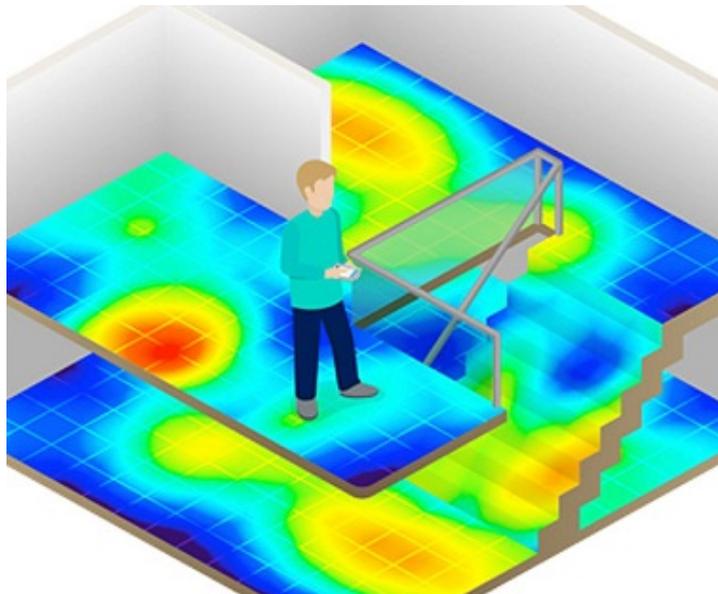
地磁干扰可分为空间磁场干扰与传感器坐标系下的磁场干扰，如下图所示

Distortions that move with the sensor	Distortions that do not move with the sensor
	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Calibration errors</li><li>• Hard iron effects</li><li>• Soft iron effects</li><li>• Etc.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Spatial distortions</li><li>• Temporal distortions</li><li>• Etc.</li></ul>

### 11.2.1 空间磁场干扰(干扰不随传感器位姿改变而改变)

定义：磁场干扰不随传感器运动而运动，处于世界坐标系下

典型干扰源：各种固定的地磁干扰源，家具，家用电器，线缆，房屋内的钢筋结构等。一切不随磁传感器运动而运动的干扰源，下图是典型的室内磁场分布图。



对模块的影响：无论磁场传感器是否校准的好，这些空间磁场的干扰(或者说环境磁场不均匀)都会使得空间地磁场发生畸变。地磁补偿会错误，无法获得正确的航向角。他们是造成室内地磁融合难以使用的主要原因。这种干扰不能被校准，会严重影响地磁性能。空间磁场干扰在室内尤其严重。

应对措施：只能尽量避免这种干扰源

### 11.2.2 传感器坐标系下的干扰(干扰随传感器位姿改变而改变)

定义：地磁场干扰源随传感器运动而运动

典型干扰源：与模块固定在一起的PCB板子，仪器设备等。他们和磁传感器视为同一个刚体，随磁传感器运动而运动。

对模块的影响：对传感器造成硬磁/软磁干扰。这些干扰可以通过地磁校准算法加以很好的消除。

应对措施：对模块进行地磁校准。

## 11.3 地磁使用注意事项

在室内环境下，空间磁场干扰尤其严重，而且空间磁干扰并不能通过校准来消除。在室内环境下尽管模块内置均质磁场检测及屏蔽机制，但地磁辅助(9轴)模式航向角的准确度很大程度上取决于室内磁场畸变程度，如果室内磁场环境很差(如电脑机房旁，实验室，车间，地下车库等)，即使校准后航向角精度可能还不如6轴模式甚至会出现大角度误差。

模块的自动地磁校准系统只能处理和模块安装在一起的，固定的磁场干扰。安装环境如果有磁场干扰，这种干扰必须是固定的，并且这个干扰磁场与模块安装之后不会再发生距离变化(例：模块安装在一个铁材料(机器人)之上，因为机器人金属材料会有磁场干扰，这时就需要把机器人与模块一起旋转校准，并且模块在使用当中是不会和机器人再分开的(发生相对位移)，一旦分开是需要再重新校准。

## 12. 技术支持

---

新产品信息及技术支持，请关注超核电子公众号和官方网站

