

开阳-2（KY-2）

高精度组合导航系统

使用手册

目 录

开阳-2（KY-2）	1
1. 产品简介	2
2 产品特点	2
3 性能指标	2
4、电器接口	5
5. 组合导航输出协议	8
5.1 二进制协议数据流	8
5.2 CRC 查表法 计 算	10
6 配置使用	12
6.1 惯导配置	12
6.2 组合惯导与飞控机配置	19
6.3 组合惯导与地面基站差分定位	20

1. 产品简介

开阳-2 (KY-2) 高精度组合导航系统是陕西华兴通盛航空科技有限公司基于航天级 IMU 平台和全系统全频点双天线 RTK，推出的一款多传感器组合导航产品。KY-2 内置原极的高精度 IMU 模组，支持差分卫星定位和双天线侧向，进而 在城市峡谷，隧道高架等场景提供准确连续实时的姿态速度位置信息。

应用领域：无人机、巡飞弹、乘用车、商用车、工程车、巡检车等高精度场 景。

2 产品特点

(1) 内置全系统全频点高精度 RTK 板卡，支持 BDS B1/B2/B3 +GPS L1/L2/L5+GLONASS L1/ L2+Galileo E1/E5b。

(2) 内置航天级高精度 IMU 模组，通过完善的组合导航算法和时空同步 机制，提供实时准确的姿态，速度，位置信息。

(3) 支持内部存储日志数据。

(4) 支持记录 RTK 原始观测量和星历。

3 性能指标

3.1 产品参数

RTK 指标	定位精度 (RMS)	单点：1.5m RTK：1cm+1ppm
	高程定位精度(RMS)	单点：2.5m RTK:1.5cm+1ppm
	双天定向精度 (RMS)	0.1°/1m 基线
	速度精度 (RMS)	0.03m/s
	PPS 精度 (RMS)	20 ns

	更新率	10hz				
	RTK 初始化时间	<5s				
IMU 指标	陀螺量程	±2000°/s				
	陀螺零偏不稳定性	2deg/h @1σ				
	加速度计量程	±32g				
	加速度计零偏不稳定性	0.02mg @1σ				
	更新率	500hz				
姿态精度	Roll/Pitch :<0.2° rms Heading:<0.1° rms （双天线使用，0.1°/1m 基线）					
位置推算精度	<30m @1σ （丢星 1min，无人机场景）					
航向保持精度	<2 deg @1σ （丢星 1min，无人机场景）					
组合导航系统性能	GNSS 中断时间	位置精度	横 滚 精 度	俯 仰 精 度	航 向 精 度	速 度 精 度
		(2σ)	(2σ)	(2σ)	(2σ)	(2σ)
	0s	2cm	0.2°	0.2°	0.1°	0.03m/s
	60s	2.0‰	0.2°	0.2°	2°	0.1m/s
防护	冲击耐受：2000g(0.5ms,半正弦，3 轴) 振动耐受：10g (10~2KHz,3 轴) 100%磁屏蔽					
工作温度	-40℃~85℃					

3.2 主要竞品对比

项目	开阳惯导	博伦思 NAV100	精准测控 PA-GS02
陀螺仪	$\pm 2000^{\circ}/s$	$\pm 500^{\circ}/s$	$\pm 450^{\circ}/s$
加速度计	$\pm 32g$	$\pm 8g$	$\pm 6g$
冲击耐受	2000g	200g	无
输出频率	500HZ（可自定义）	100HZ	100HZ

4、电器接口

组合导航模块接口定义			
线序	信号名	信号含义	备注
1	VCC	电源，输入电压 5V	
2	VCC		
3	GND		
4	GND		
5	IMU-RX1-TTL	输出 IMU 数据到飞控，TTL 电平	
6	IMU-TX1-TTL		
7	GND		
8	IMU-RX1-422+	输出 IMU 数据到飞控，422 电平	
9	IMU-RX1-422-		
10	IMU-TX1-422+		
11	IMU-TX1-422-		
12	GND		

13	IMU-RX1-SWITCH	切换 IMU-RX1 的输入电平	短接 J30J 的第 13 与 14 脚，则 IMU-RX1 通过 422 电平（J30J 第 8~12 脚）与外部通信；否则通过 TTL 电平（J30J 第 5~7 脚）与外部通信
14	GND		
17	IMU-RX2	IMU 固件更新接口，无需 422 电平	注意，J30J 的 15、16 引脚空余
18	IMU-TX2		
19	GND		
20	982-RX2-TTL	982 RTK 校准信息注入接口，TTL 电平	
21	982-TX2-TTL		
22	GND		
23	982-RX2-422+	982 RTK 校准信息注入接口，422 电平	
24	982-RX2-422-		
25	982-TX2-422+		
26	982-TX2-422-		
27	GND		
28	982-RX2-SWITCH	切换 982-RX2 的输入电平	短接 J30J 的第 28 与 29 脚，则 982-RX2 通过 422 电平（J30J 第 23~27 脚）与外部通信；否则通过 TTL 电平（J30J 第 20~22 脚）与外部通信
29	GND		
30	PPS	秒脉冲信号输出，TTL 电平	
31	GND		

5. 组合导航输出协议

5.1 二进制协议数据流

- 支持串口 R232-B 输出，波特率 96100:
- CRC 校验为从帧头开始，不包含 CRC 校验位本身，该帧所有字节的 CRC 校验，校验计算方式和例程见文件夹‘组合导航数据解码例程’。
- 帧长为除去帧头，帧 ID，帧长和校验位之外的所有数据字节总数，字节数为 104。
- 小端模式，先发送低字节。
- 输出的姿态角为车体坐标系下姿态
- 需在固定解状态下，速度大于 20km/h ，组合导航才能完成初始化，进入工作状态

内容	类型	相对位置
帧头 1：0xAA	UInt8	0
帧头 2：0x55	UInt8	1
帧 ID：0x0166	UInt16	2
帧长：0x005E	UInt16	4
GPS 周内秒（ms）	UInt32	6
GPS 周计数	UInt16	10
纬度(度×10000000)	Int32	12
经度(度×10000000)	Int32	16
高度（毫米）(椭球高)	Int32	20
北向速度(m/s)	Float	24
东向速度(m/s)	Float	28
地向速度(m/s)	Float	32
横滚角(度)	Float	36

俯仰角(度)	Float	40
航向角(度)	Float	44
双天线航向（度）	Float	48
预留	Float	52
加速度计 X 轴（g）	Float	56
加速度计 Y 轴（g）	Float	60
加速度计 Z 轴（g）	Float	64
陀螺仪 X 轴（deg/s）	Float	68
陀螺仪 Y 轴（deg/s）	Float	72
陀螺仪 Z 轴（deg/s）	Float	76
IMU 温度（℃）	Float	80
RTK 定位状态(详情见下表) 0:未定位 16:单点定位 17:伪距差分定位 34:浮点解 50:固定解	Uint8	84
卫星数量	Uint8	85
差分延时	Uint8	86
双天线定向状态 50 表示已定向 其他表示未定向	Uint8	87
位置精度因子（cm） 组合导航初始化后有效	Uint16	88
状态位： Bit0:1 表示 RTK 数据有效，0 表示无效 Bit1:1 表示 PPS 信号有效，0 表示无效 Bit2:1 表示组合导航已初始化，0 表示未初始化（初始化条件： 单天线，接入里程计，速度大于 2m/s 可初始化 单天线，未接入里程计，速度大于 5m/s 可初始化， 双天线，定向状态 50 持续 30 秒以上可初始化） Bit3:预留 Bit4:预留 Bit5:预留 Bit6:预留	Uint16	90
GNSS 双天线航向周内毫秒	Uint32	92
预留 2	Uint32	96
CRC 校验	Uint32	100

5.2 CRC 查表法计算

GPATT 格式如下表

建议直接参考示例代码。

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

C++

```
static const uint32_t crc32_tab [ ] = {  
0x00000000, 0x77073096, 0xee0e612c, 0x990951ba, 0x076dc419,  
0x706af48f,  
0xe963a535, 0x9e6495a3, 0x0edb8832, 0x79dcb8a4, 0xe0d5e91e,  
0x97d2d988,  
0x09b64c2b, 0x7eb17cbd, 0xe7b82d07, 0x90bfl9d91, 0x1db71064,  
0x6ab020f2,  
0xf3b97148, 0x84be41de, 0x1adad47d, 0x6ddde4eb, 0xf4d4b551,  
0x83d385c7,  
0x136c9856, 0x646ba8c0, 0xfd62f97a, 0x8a65c9ec, 0x14015c4f,  
0x63066cd9,  
0xfa0f3d63, 0x8d080df5, 0x3b6e20c8, 0x4c69105e, 0xd56041e4,  
0xa2677172,  
0x3c03e4d1, 0x4b04d447, 0xd20d85fd, 0xa50ab56b, 0x35b5a8fa,  
0x42b2986c,  
0xdbbbc9d6, 0xacbcf940, 0x32d86ce3, 0x45df5c75, 0xdcd60dcf,  
0xabd13d59,  
0x26d930ac, 0x51de003a, 0xc8d75180, 0xbf06116, 0x21b4f4b5,  
0x56b3c423,  
0xcfba9599, 0xb8bda50f, 0x2802b89e, 0x5f058808, 0xc60cd9b2,  
0xb10be924,  
0x2f6f7c87, 0x58684c11, 0xc1611dab, 0xb6662d3d, 0x76dc4190,  
0x01db7106,  
0x98d220bc, 0xefd5102a, 0x71b18589, 0x06b6b51f, 0x9fbfe4a5,  
0xe8b8d433,  
0x7807c9a2, 0x0f00f934, 0x9609a88e, 0xe10e9818, 0x7f6a0dbb,  
0x086d3d2d,  
0x91646c97, 0xe6635c01, 0x6b6b51f4, 0x1c6c6162, 0x856530d8,  
0xf262004e,  
0x6c0695ed, 0x1b01a57b, 0x8208f4c1, 0xf50fc457, 0x65b0d9c6,  
0x12b7e950,  
0x8bbeb8ea, 0xfcb9887c, 0x62dd1ddf, 0x15da2d49, 0x8cd37cf3,  
0xfbd44c65,  
0x4db26158, 0x3ab551ce, 0xa3bc0074, 0xd4bb30e2, 0x4adfa541,  
0x3dd895d7,
```

0xa4d1c46d, 0xd3d6f4fb, 0x4369e96a, 0x346ed9fc, 0xad678846,
0xda60b8d0,
0x44042d73, 0x33031de5, 0xaa0a4c5f, 0xdd0d7cc9, 0x5005713c,
0x270241aa,
0xbe0b1010, 0xc90c2086, 0x5768b525, 0x206f85b3, 0xb966d409,
0xce61e49f,
0x5edef90e, 0x29d9c998, 0xb0d09822, 0xc7d7a8b4, 0x59b33d17,
0x2eb40d81,
0xb7bd5c3b, 0xc0ba6cad, 0xedb88320, 0x9abfb3b6, 0x03b6e20c,
0x74b1d29a,
0xead54739, 0x9dd277af, 0x04db2615, 0x73dc1683, 0xe3630b12,
0x94643b84,
0x0d6d6a3e, 0x7a6a5aa8, 0xe40ecf0b, 0x9309ff9d, 0xa00ae27,
0x7d079eb1,
0xf00f9344, 0x8708a3d2, 0x1e01f268, 0x6906c2fe, 0xf762575d,
0x806567cb,
0x196c3671, 0x6e6b06e7, 0xfed41b76, 0x89d32be0, 0x10da7a5a,
0x67dd4acc,
0xf9b9df6f, 0x8ebeeff9, 0x17b7be43, 0x60b08ed5, 0xd6d6a3e8,
0xa1d1937e,
0x38d8c2c4, 0x4fdff252, 0xd1bb67f1, 0xa6bc5767, 0x3fb506dd,
0x48b2364b,
0xd80d2bda, 0xaf0a1b4c, 0x36034af6, 0x41047a60, 0xdf60efc3,
0xa867df55,
0x316e8eef, 0x4669be79, 0xcb61b38c, 0xbc66831a, 0x256fd2a0,
0x5268e236,
0xcc0c7795, 0xbb0b4703, 0x220216b9, 0x5505262f, 0xc5ba3bbe,
0xb2bd0b28,
0x2bb45a92, 0x5cb36a04, 0xc2d7ffa7, 0xb5d0cf31, 0x2cd99e8b,
0x5bdeae1d,
0x9b64c2b0, 0xec63f226, 0x756aa39c, 0x026d930a, 0x9c0906a9,
0xeb0e363f,
0x72076785, 0x05005713, 0x95bf4a82, 0xe2b87a14, 0x7bb12bae,
0x0cb61b38,
0x92d28e9b, 0xe5d5be0d, 0x7cdcefb7, 0xbdbdf21, 0x86d3d2d4,
0xf1d4e242,
0x68ddb3f8, 0x1fda836e, 0x81be16cd, 0xf6b9265b, 0x6fb077e1,
0x18b74777,
0x88085ae6, 0xff0f6a70, 0x66063bca, 0x11010b5c, 0x8f659eff,
0xf862ae69,
0x616bffd3, 0x166ccf45, 0xa00ae278, 0xd70dd2ee, 0x4e048354,
0x3903b3c2,
0xa7672661, 0xd06016f7, 0x4969474d, 0x3e6e77db, 0xaed16a4a,
0xd9d65adc,

```

0x40df0b66, 0x37d83bf0, 0xa9bcae53, 0xdebb9ec5, 0x47b2cf7f,
0x30b5ffe9,
0xbdbdf21c, 0xcabac28a, 0x53b39330, 0x24b4a3a6, 0xbad03605,
0xcdd70693,
0x54de5729, 0x23d967bf, 0xb3667a2e, 0xc4614ab8, 0x5d681b02,
0x2a6f2b94,
0xb40bbe37,
0xc30c8ea1, 0x5a05df1b,
0x2d02ef8d,
}
uint32_t crc_crc32 (uint32_t crc, const uint8_t *buf,
uint32_t size ) {
for
(uint32_t i=0; i<size ; i++) {
crc = crc32_tab [ (crc ^ buf[i] ) & 0xff] ^
(crc >>
8 ) ;
}
return crc;
}

```

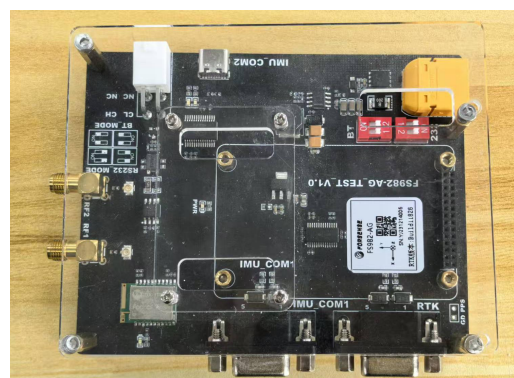
6 配置使用

6.1 惯导配置

6.1.1 固件烧写更新

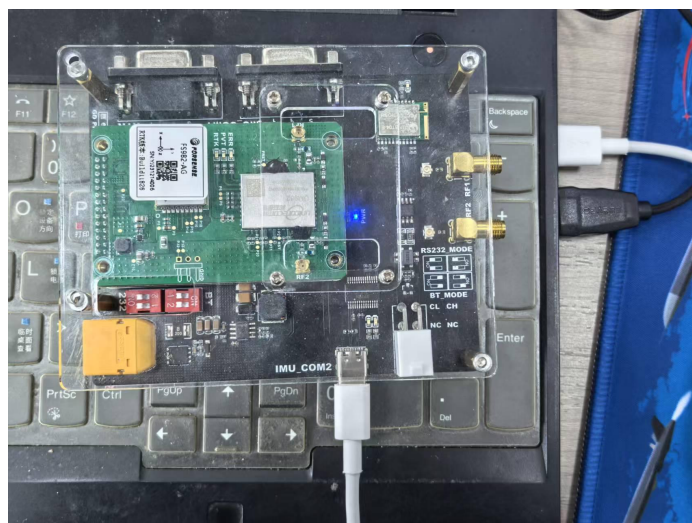
特别提醒：开阳-2 组合惯导出厂已完成初始配置，如无特殊需求，无需用户配置。

固件更新，需要应用专用上位机和板卡。



步骤如下：

1) 核心板固定到烧写板卡上，并用 USB 线与电脑连接。



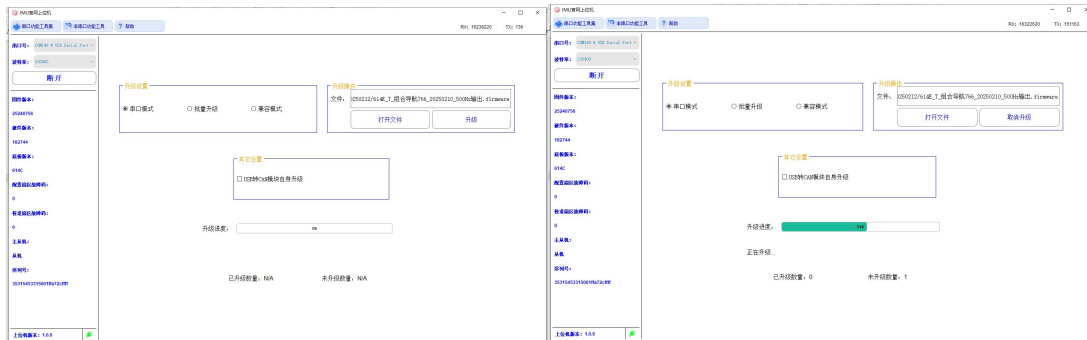
2) 打开上位机软件，根据识别到的 USB 口。选择波特率 230400，点击“连接”。



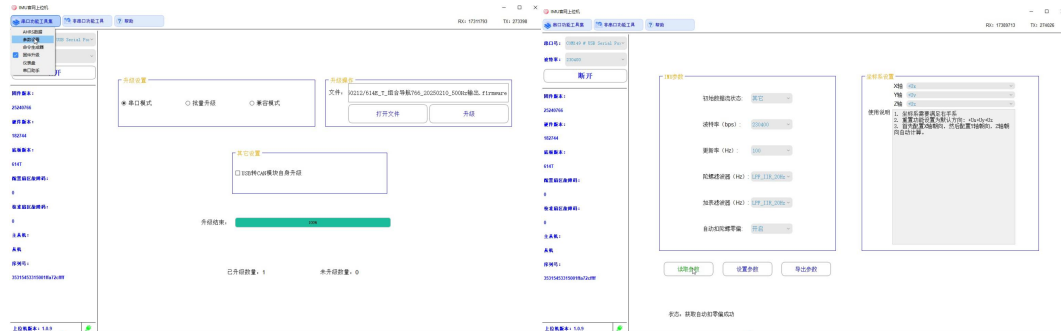
3) 点击“串口功能工具集”，选择“固件升级”，打开固件设计界面。



4) 点击“打开文件”，选择固件文件，单击升级。



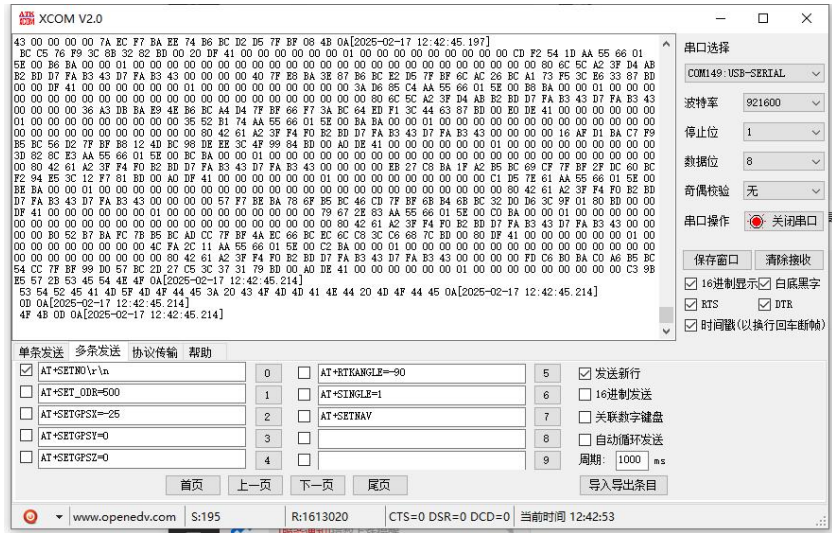
5) 更改参数设置 点击“串口功能工具集”，选择“参数设置”，打开参数设置界面，点击“读取参数”，将波特率改为“9621600”并写入。



6.1.2 惯导参数配置

配置命令应用的工具为串口组手，通常用如下参数进行配置。

各参数意义如下：



#注意，以下所有命令都需要在结尾加“回车和换行”

#0、模块默认波特率一般为 921600,先以 921600 波特率打开串口

#1、停止数据发送

AT+SETNO\r\n

#2、配置输出频率为 350HZ

AT+SET_ODR=350\r\n

#3、设置主天线杆臂（主天线：IMU 后方 25cm）

配置杆臂需要输入厘米单位的值，例如配置杆臂向量为

X=-0.25m,Y=0.0m,Z=0.0m

指令：AT+SETGPSX=-25\r\n

AT+SETGPSY=0\r\n

AT+SETGPSZ=0\r\n

应答：GPS_IMU_X: -25

GPS_IMU_Y=0

GPS_IMU_Z=0

说明：杆臂向量为 RTK 主天线相位中心相对 IMU 相位中心的三维矢量（X,Y,Z），配置指令的单位为厘米。其中，

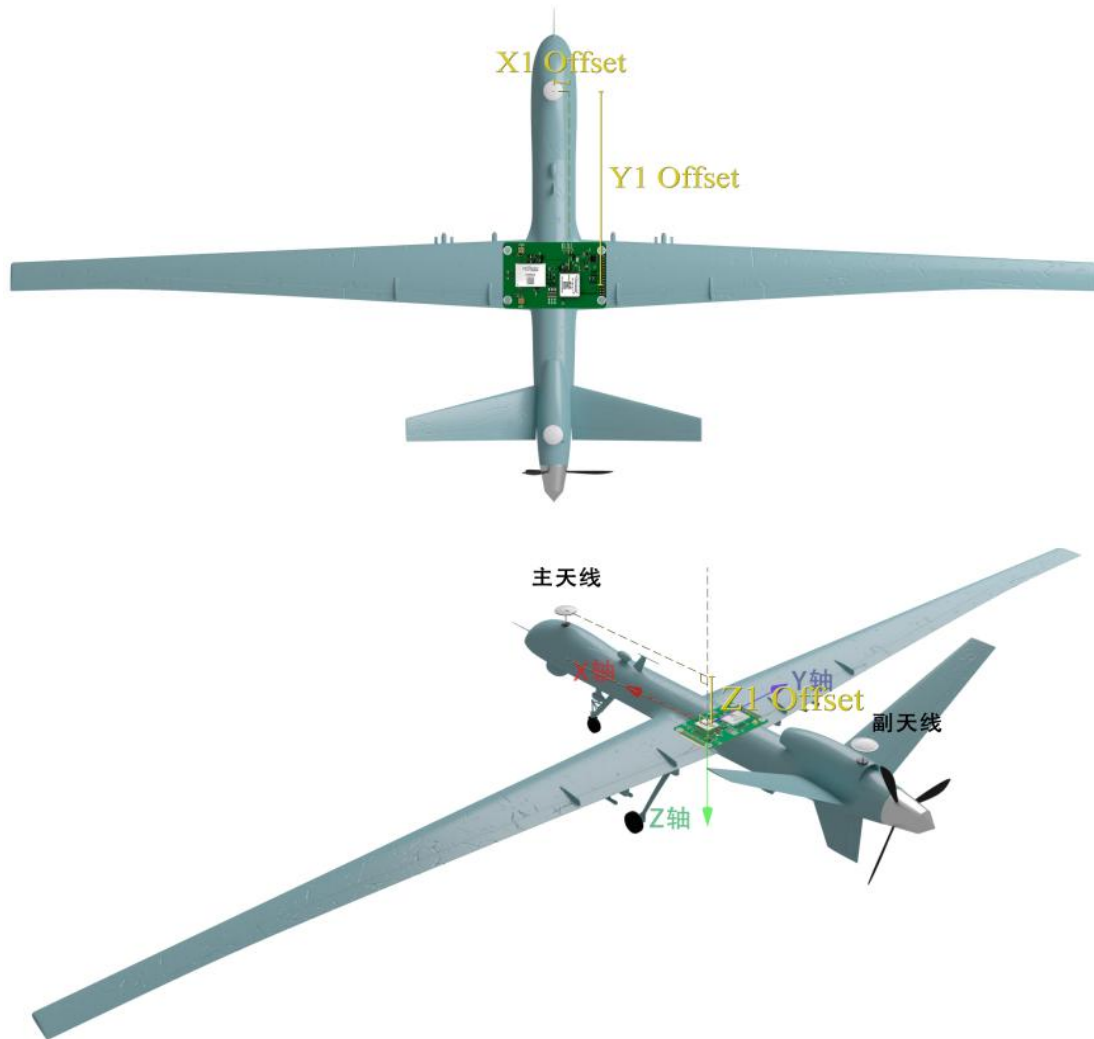
在前右下坐标系下

若 RTK 主天线在 IMU 的前方，则为正数，否则为负数；

若 RTK 主天线在 IMU 的右方，则为正数，否则为负数；

若 RTK 主天线在 IMU 的上方，则为负数，否则为正数（一般天线都在设备上方）。

坐标系示意图如下图所示：（标贴需朝上，IMU 如果未按照下图方式安装，需配置安装朝向）



#4、设置 RTK 双天线安装角(具体坐标系参考《FS982-AG 使用手册》的 9.1.4 章节)

#注意，这个语句中的数值只是示例，真实数值需要根据两个天线在机身上的相对位置角度进行填写。

若配置 RTK 双天线安装角为 0 度，则配置指令为：

指令：AT+RTKANGLE=0\r\n // 前后安装

应答：RTK_ANGLE: 0

指令：AT+RTKANGLE=-90\r\n // 左右安装

应答：RTK_ANGLE: -90

说明：安装角为主天线指向副天线的射线与车头方向的夹角，顺时针为正，逆时针为负，角度输入范围-180°~180°

注意：配置指令保存后需断电重启生效；双天线间隔距离需大于 50cm

#5、配置单点解初始化

若无差分信号可配置单点解初始化：

指令：AT+SINGLE=1\r\n

应答：SETTING: 1

#6、设置和查询坐标系

例：设置坐标系为右前上（默认坐标系），其他坐标参考表 1 坐标系朝向对应表

指令：AT+SET_ORIENT=101

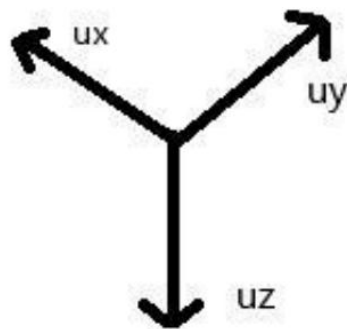
应答：orientation:101

OK

查询 IMU 当前坐标系

指令：AT+GET_ORIENT

应答：orientation:当前坐标系



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：

朝向 (value)	XAxis	YAxis	ZAxis	说明	示例图
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		

#7、安装姿态校准

IMU 安装到设备后如需进行安装校准，需要把设备放置于水平平面保持静止状态。然后按下述流程进行

1.

设备上电后保持静止，串口发送“AT+SETNO\r\n”关闭数据输出方便查看应答，保持设备静止放置 3-5s。

2.

发送“AT+INSTATT\r\n”，串口返回 “+INSTATT

INST ATT:xxxx,xxxx

OK”

3.

发送“AT+SAVE\r\n”后返回“OK”，断电重启即完成标定。

清除安装标定结果，可以按照以下指令进行：

4.

设备上电后保持静止，串口发送“AT+SETNO\r\n”关闭数据输出方便查看应答，

•

发送“AT+CLEARINSTATT\r\n”，串口返回

“+CLEARINSTATT

CLEAR INST ATT

OK”

•

#8、发送数据

AT+SETNAV\r\n

#9 发送“AT+SAVE\r\n”后返回“OK”，断电重启，清空保存的安装角度。

6.2 组合惯导与飞控机配置

天鸿系列飞控提供与开阳-2 组合惯导的适配。组合惯导和飞控之间的连接可以根据第 4 部分 电器接口所示的 TTL 接口(线序 1/5/6/7)或者 422 接口（线序 1/8/9/10/11/12）。组合惯导 TTL 和 422 接口切换根据 第 4 部分 电器接口所示的线序 13/14 短接与否实现(短接 J30J 的第 13 与 14 脚,则 IMU-RX1 通过 422 电平(J30J 第 8~12 脚)与外部通信；否则通过 TTL 电平（J30J 第 5~7 脚）与外部通信）。

飞控机与组合惯导接线完成后，需在飞控软件中完成如下配置：

#设置飞控串口 x 的功能为接外部 AHRS 系统

SERIALX_PROTOCOL = 36

#设置飞控串口 x 的波特率为 921600

SERIALX_BAUD = 921 (921 对应 921600)

设 置 AHRS EKF 类型为外部 AHRS

AHRS_EKF_TYPE = 11

设置外部 AHRS 系统的类型为惯导，注意 11 为自定义值，与地面站的参数注释无关

EAHRS_TYPE = 11

#写入参数，然后刷新参数，此时才能在全部参数表中看到下一步要设置的参数

#惯导只额外提供 GNSS 信息。注意，根据代码注释，由于 400Hz 的最大输出频率不满足大部分载具对 IMU 频率的需求，因此不能使用它的原始 IMU 信息

EAHRS_SENSORS = 1

设置外部 AHRS 的输出频率，单位：Hz

EAHRS_RATE = 400

#此项与我们使用的惯导无关，设置为 0

EAHRS_OPTIONS = 0

#设置飞控记录外部 AHRS 的日志的频率，单位：Hz

EAHRS_LOG_RATE = 25

设置 GPS 类型为外部

GPS_TYPE = 21

#写入参数，重新上电后生效

EK3_SRC1_YAW = 6

6.3 组合惯导与地面基站差分定位

6.3.1 差分实现方式

组合惯导要实现差分定位，需要独立的地面基站位置、数据链系统。

地面站基站用天枢-2 RTK 基站端实现，数传用天权-1 数传实现。接线方式如下：天枢-2 RTK 基站端和天权-1 数传地面端通过串口连接；天权-1 数传天空端和组合惯导通过 TTL 串口（组合惯导线序 1、20、21、22）连接。

6.3.2 差分基站配置指令

用配置上位机软件，配置成基站端。

6.3.3 数传电台配置

组合导航天空端电台配置：

打开串口，点击多条发送，手动依次输入以下编码：

+++

AT&F10

AT&V

ATS104=2023041000 // 此值可以修改，但需与地面端相同

ATS102=1 //ATS102=1 波特率为 115200

ATS108=30

AT&W

ATA

地面基站端电台配置：

选择对应的 COM 口、波特率 57600、停止位 1、数据位 8、校验码 None、

打开串口，点击多条发送，手动依次输入以下编码：

+++

AT&F11

ATS104=2023041000 // 此值可以修改，但需与天空端相同

ATS102=1 //ATS102=1 波特率为 115200

ATS108=30

AT&W

ATA

6.3.4 飞控参数设置

组合惯导的数据数传频率为 100Hz，比常规的 ublox-M8N/M9N，以及和芯星通 UM982 等产品 5HZ、10HZ 的位置数传频率要高的多。多旋翼无人机自动和定点模式下对该频率较为敏感。为此适应位置信息输出频率的变化，多旋翼无人机在飞行前外环控制器参数应做如下调整：悬停速率参数调整为默认值的 50%。（内环参数需根据飞机自身情况进行优化，内环控制器参数优化完毕后，将悬停速率中的 P 值降低为默认值的 40%~50%，大致范围为 0.8-1.0，再进行后续飞行调试）。