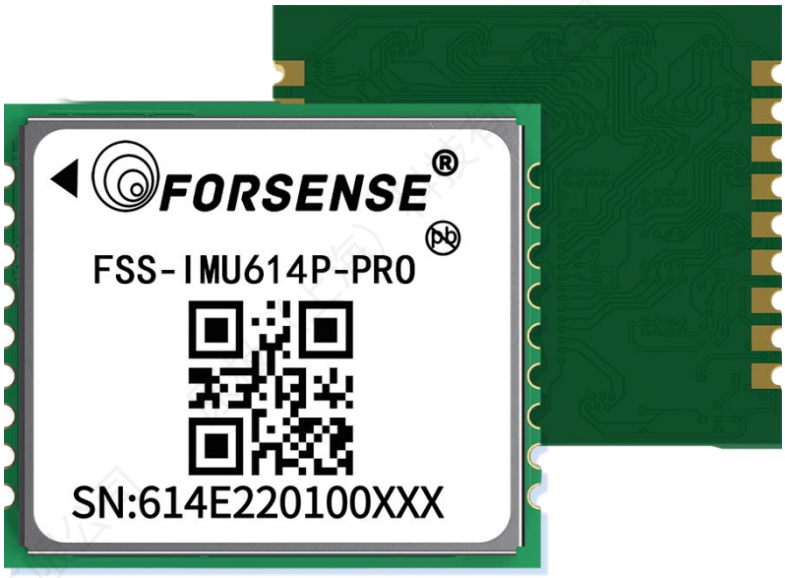
FORSENSE
原极科技

FSS-IMU614E-P/P-PRO 倾斜测绘

产品手册



原极（上海）科技有限公司

在使用本产品之前，请务必先仔细阅读本使用手册。

目录

1. 概述 4
2. 性能指标 5
3. 外形结构 6
4. 产品推荐使用 8
5. 电气特性 9
5.1 最大耐受值 9
5.2 工作条件 9
5.3 IO 阈值特性 9
6. 引脚定义 10
7. 最小推荐电路 12
8. 推荐焊接炉温曲线 13
9. ESD 防护 15
10. RTK 配置要求 16
11. 输出协议 18
11.1 倾斜测绘数据协议 18
11.2 激光数据协议 20
11.3 姿态协议 21
12. 使用范例 22
12.1 测绘杆使用 22
12.1.1 首次使用 22
12.1.2 常规使用 22
12.1.3 设备安装 22
12.2 激光使用 24
13. 参数配置 25
13.1 配置 RTK 板卡协议 25
13.2 配置天线臂杆向量 25
13.3 配置对中杆长 26
13.4 配置安装坐标系 26
13.5 配置输出倾斜测绘数据协议 27
13.6 配置 IMU 串口 1/2 波特率 27
13.7 保存参数 27
13.8 配置输出 ATT 姿态协议 27
13.9 配置 ATT 姿态协议输出频率 27
13.10 配置数据流更新率 27
13.11 倾斜测量初始化 27
13.12 使能安装偏差角标定 28
13.13 请求版本号 32
13.14 查询配置 32
13.15 激光信息输入 33
13.16 配置输出坐标位置 33
13.17 配置输出激光数据协议 33

13.18 配置激光杆臂 34
13.19 配置 IMU 串口 3 波特率 34
14. 坐标系 35
14.1 默认坐标系定义 35
14.2 安装坐标系定义说明 35
15. CRC 查表法计算 37
16. 包装 39
16.1 卷带包装 39
16.2 载带 40
17. 常见问题 41
18. 更新记录 42

1. 概述

IMU614E-P/P-Pro 惯性模块通过 IMU 和 GNSS 的数据融合算法，可实现低成本，高精度，抗磁干扰的姿态测量和定向。尤其面对 RTK 倾斜测绘领域，可实现准确一致的倾斜位置改正。

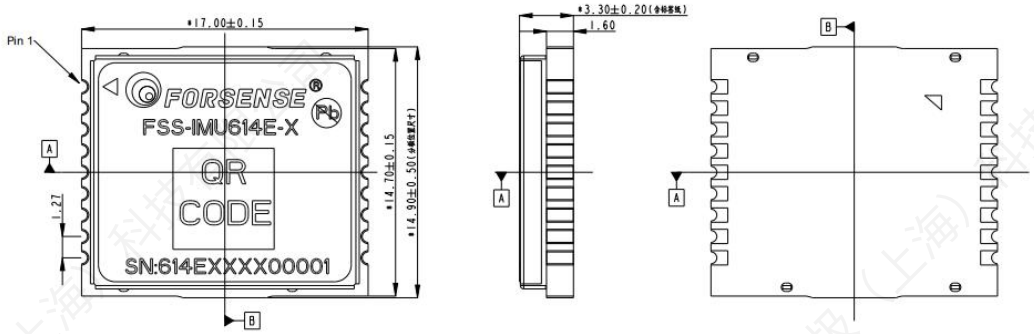
- 针对测绘杆，0-30°倾角范围内提供±2.5cm 的测量精度，具备安装偏差角校正功能，可适配各类对中杆。
- 针对激光测量场景，在 5-10 米范围内提供±5cm 的测量精度（2σ@手持行走，连续测点），提供室内激光安装偏差角标定方案，简单快速，易于操作，对场地设施的依赖小，适用于批量量产。（IMU614P-Pro）

2. 性能指标

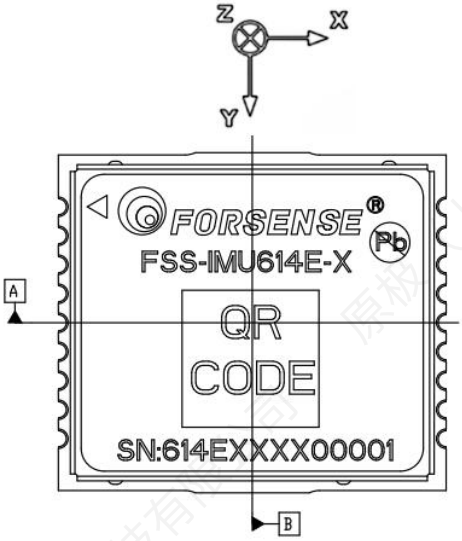
参数		IMU614E-P	IMU614P-Pro
陀螺仪	测量范围	±500°/s	±1000°/s
	零偏不稳定性	5.0°/h	X 轴：5.0°/h YZ 轴：3.0°/h
	随机游走	0.3°/√h	X 轴：0.18°/√h YZ 轴：0.15°/√h
加速度计	测量范围	±8g	±8g
	零偏不稳定性	25μg	25μg
	随机游走	0.05m/s/√h	0.04m/s/√h
倾斜测量指标	俯仰、横滚	≤0.1°（1σ）	≤0.05°（1σ）
	航向	≤0.4°（1σ）	≤0.3°（1σ）
	数据输出频率	100Hz	
工作环境	工作温度	-40℃ ~ 85℃	
	防护	超强冲击耐受：2000g（0.5ms，半正弦，3 轴） 超强振动耐受：10g（10~2KHz，3 轴） 100%磁屏蔽	
外观参数	体积	14.7*17*3.3mm	
	重量	2g	
	物理接口	TTL	
产品描述	应用领域	测绘杆	测绘杆+激光测量

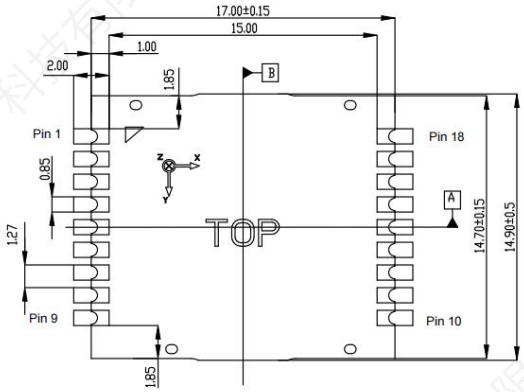
3. 外形结构

图 1 外形结构及推荐焊盘尺寸（单位：mm）



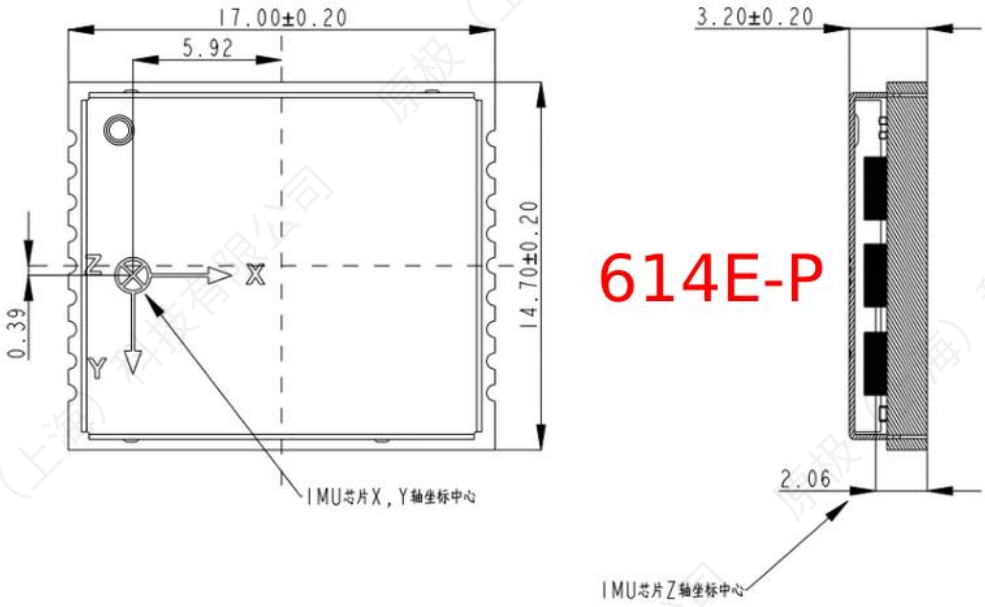
外形结构





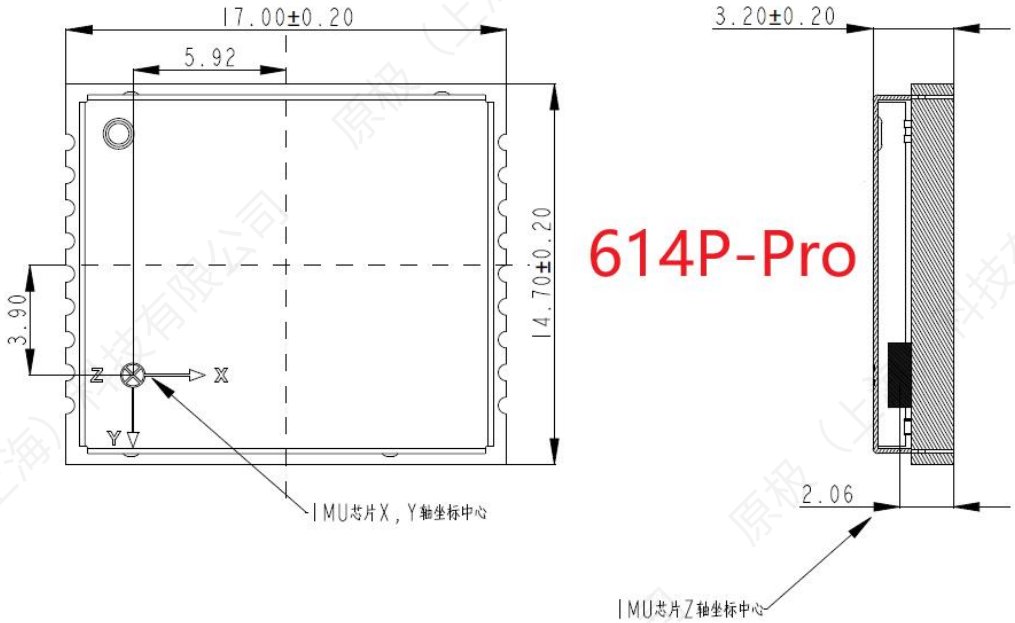
推荐焊盘尺寸

图 2 IMU614E-P IMU 相位中心说明



注：IMU614P-Pro 与 IMU614E-P 的区别仅在于相位中心不同，IMU614P-Pro 的相位中心如下

IMU614P-Pro IMU 相位中心说明



4. 产品推荐使用

推荐使用方式：

IMU614E-P 适用于倾斜测绘，IMU614P-Pro 适用于激光测绘

原极（上海）科技有限公司

5. 电气特性

5.1 最大耐受值

表 1 最大额定绝对值

参数	符号	范围	单位
供电电压	VCC	-0.3 to 4.0	V
电源地	GND	-	-
输入管脚电压	Vin	-0.3 to VCC+0.2	V
使用温度	Tot	-40 to 85	℃
存储温度	Tstg	-40 to 85	℃

5.2 工作条件

表 2 工作条件

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
供电电压	VCC	3.2	3.3	3.4	V
VCC 最大纹波	Vrpp		±40		mV
功耗	P		0.07		W
使用温度	T	-40		85	℃
存储温度	T	-40		85	℃

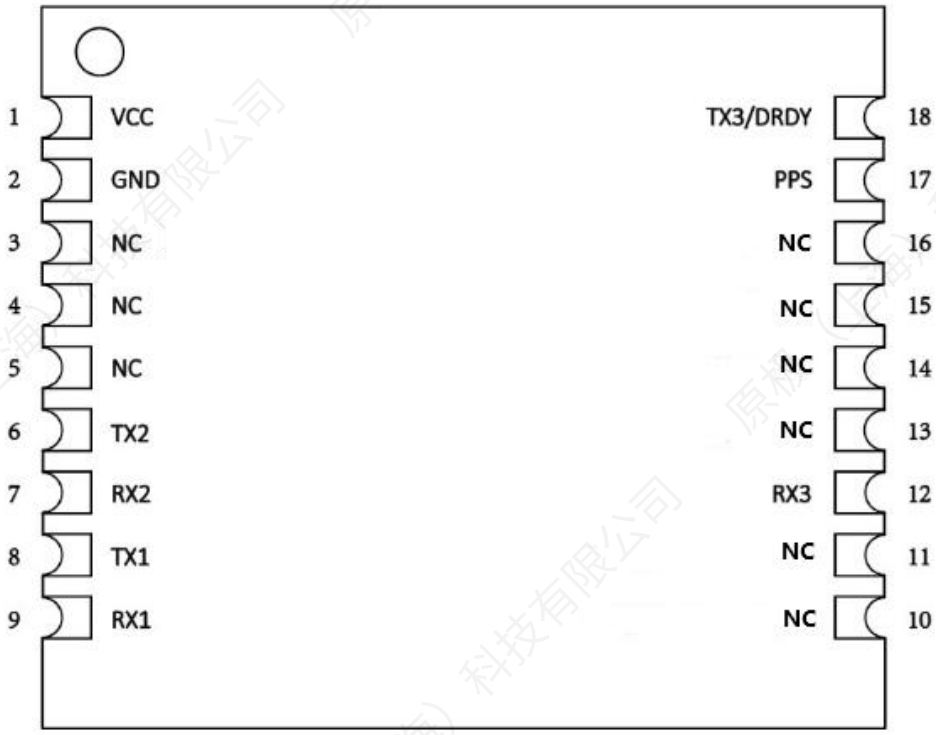
5.3 IO 阈值特性

表 3 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

6. 引脚定义

图 3 引脚示意图



IMU614E-P Pin Layout (Top View)

表 4 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	NC	无连接
4	NC	无连接
5	NC	无连接
6	TX2	接收异步数据输出
7	RX2	接收异步数据输入
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	NC	无连接
11	NC	无连接
12	RX3	接收异步数据输入

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；（接入 RTK 秒脉冲管脚）
18	TX3	接收异步数据输出

原极（上海）科技有限公司

7. 最小推荐电路

图 4 连接示意图

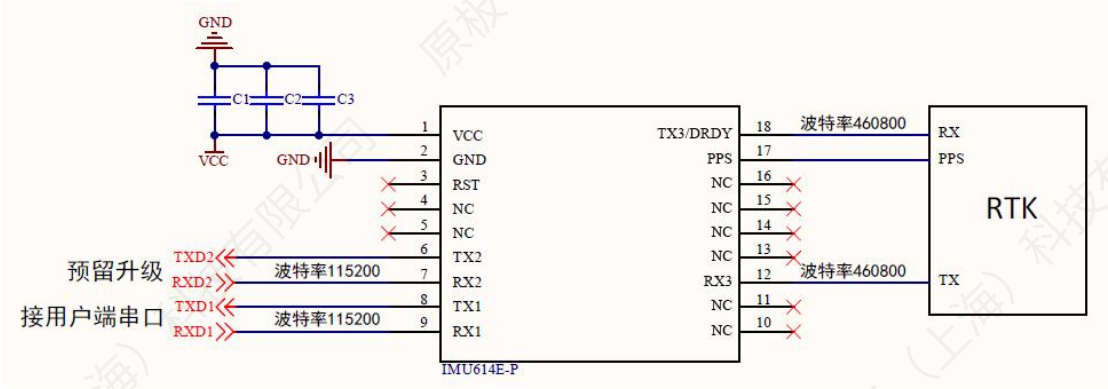


表 5 推荐 BOM

No.	MPN	Description	Manufacture	Designator	Qty
1	CL10A106KP8NNNC	MLCC 10uF ±10% 10V X5R 0603	SAMSUNG	C1	1
2	CC0402KRX7R9BB104	MLCC 100nF ±10% 50V X7R 0402	YAGEO	C2	1
3	CL05C101JB5NNNC	MLCC 100pF ±5% 50V C0G 0402	SAMSUNG	C3	1

8. 推荐焊接炉温曲线

图 5 焊接炉温曲线

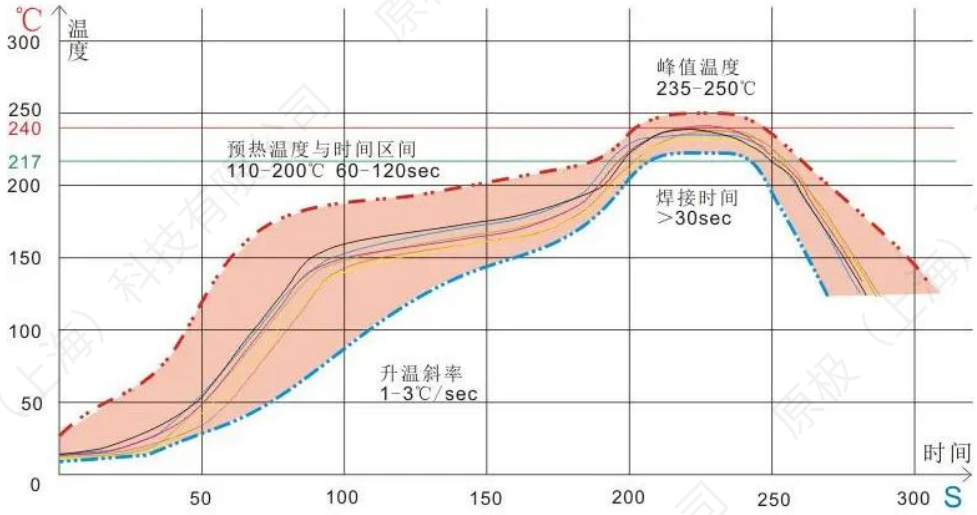


表 6 温度设置模式

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）。

- 建议使用无铅免洗焊锡膏，推荐锡膏品牌型号：Alpha OM-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；

- 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；**

9. 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。

10. RTK 配置要求

波特率　460800/115200，IMU 串口 3 波特率需配置与 RTK 串口一致，配置方法见 13.17

PPS 秒脉冲：1s 一次，上升沿触发，脉宽 5ms,对齐至 UTC 时间，高电平不得高于 5v。

- RTK 板卡配置诺瓦泰二进制协议，则需要配置板卡输出如下两条指令：

BESTPOSB　10hz

PSRVELB　10hz

关闭其他语句

注：激光设备推荐输出这两条二进制协议，信息更多，利于精度控制

- 若 RTK 板卡为 NMEA 协议，则需要配置板卡输出如下三条指令：

GPGGA　10hz

GPRMC　10hz

GPGST　10hz

关闭其他语句

- **若使用和芯 UM980 板卡，则必须配置为精准测量模式！！！**

模式命令	模式大类	模式小类	备注
MODE ROVER	UAV	DEFAULT	无人机飞行动态模式（默认）
		HIGHDYN	无人机高机动飞行模式
	SURVEY	DEFAULT	精准测量模式（默认）
		MOW	割草机模式
	AUTOMOTIVE	DEFAULT	车载动态模式（默认）

无人机飞行动态模式（UAV）：适用于大多数无人机动态场景，如农业无人机、测绘无人机、航拍无人机、巡检巡线无人机等，垂直加速度大、水平速度与车载相当的场景，水平最大速度 50m/s，最大垂直速度 30m/s，最大海拔高 18000m，位置变化率大。

无人机高机动飞行模式（UAV HIGHDYN）：适用于对无人机机动性要求更高的应用场景，如编队表演无人机，穿越无人机等。

车载动态模式（AUTOMOTIVE）：适用于乘用车、园区物流智能驾驶类应用，垂直加速度较低，场景变化多样，最大水平速度 100m/s，最大垂直速度 15m/s，位置变化率一般。

精准测量模式（SURVEY）：该场景主要适配高精度测量型天线，对定位精度要求更高、动态特性低的应用场景。场景适配测量测绘、精准农业等应用

11. 输出协议

11.1 倾斜测绘数据协议

表 7 倾斜测绘数据协议

内容	类型	相对位置	备注
帧头 1：0xAA	uint8	0	
帧头 2：0x55	uint8	1	
帧 ID：0x0166	uint16	2	
帧长：0x0069	uint16	4	
纬度	double	6	根据 POS_FLAG 定义输出不同坐标 单位：deg。正表示北纬，负表示南纬。
经度	double	14	根据 POS_FLAG 定义输出不同坐标 单位：deg。正表示东经，负表示西经。
高程	double	22	根据 POS_FLAG 定义输出不同坐标 单位：m。
激光安装偏差角	int16*2	30	单位：deg*1000
激光距离	uint16	34	单位：mm
激光计数	uint8	36	收到一帧激光数据则加 1
坐标标志位（POS_FLAG）	uint8	37	配置输出杆底坐标：AT+POS_FLAG=0\r\n 配置输出激光点坐标：AT+POS_FLAG=6\r\n 配置输出下视激光光斑的坐标： AT+POS_FLAG=8\r\n
温度	int16	38	单位：℃*100
横滚角标准差	uint8	40	单位：deg*100
俯仰角标准差	uint8	41	单位：deg*100
对中杆倾角	float	42	单位：deg*100
精度因子	float	46	单位：deg
陀螺原始数据	float*3	50	单位：deg/s
加表原始数据	float*3	62	单位：g
时间戳	uint32	74	当 GNSS 板卡输出 NMEA，则为 UTC 日内毫秒；当 GNSS 板卡输出 Novatel 协议，则为 GPS 周内毫秒。
系统状态	uint32	78	见表 8
当前杆长	uint16	82	单位：mm
标定进度	float	84	百分比

GNSS 定位状态	uint8	88	0：未定位 1：单点定位 2：伪距差分定位 4：固定解 5：浮点解
GNSS 卫星数量	uint8	89	
RTK 差分延时	uint8	90	单位：s
对中杆安装偏差角	int16*2	91	单位：deg*1000
方位角	float	95	单位：deg
横滚角	float	99	单位：deg。当 ATT_TYPE 为 0 时，表示未补偿 IMU 安装角；否则，表示已补偿 IMU 安装角。默认 ATT_TYPE 为 0
俯仰角	float	103	单位：deg。当 ATT_TYPE 为 0 时，表示未补偿 IMU 安装角；否则，表示已补偿 IMU 安装角。默认 ATT_TYPE 为 0
航向角	float	107	单位：deg。当 ATT_TYPE 为 0 时，表示未补偿 IMU 安装角；否则，表示已补偿 IMU 安装角。默认 ATT_TYPE 为 0
累加和校验	uint32	111	

注:

必须接入第 10 章节所示的 RTK 数据且成功发送 13.1、13.5 节输入协议才会输出此帧消息，输出频率默认 10hz，最大支持 100HZ。
累加和校验为该帧除去校验位的所有字节的累加和。
小端模式，先发送低字节。
精度因子小于 1.0 表示倾斜测量精度良好,若为-99 表示未初始化或存在异常状态（如 IMU 超量程,RTK 长时间失锁等情况），需要进行初始化操作。
未开始安装偏差校准情况下，标定进度若为-99，表示该模块未进行过对中杆安装偏差校准。
若 RTK 已定位且 PPS 输出正常,则固定解状态应大于 0。

表 8 协议系统状态位含义

系统状态	状态含义	备注
1	响应初始化指令	
3	响应杆长配置指令	
5	响应杆臂配置指令	
6	响应标定指令	
9	响应保存参数指令	
20	响应旋转角配置指令	
21	响应 GNSS 协议配置为诺瓦泰协议	
22	响应 GNSS 协议配置为 NMEA 协议	

11.2 激光数据协议

表 9 激光数据协议

内容	类型	相对位置	备注
帧头 1：0xAA	uint8	0	
帧头 2：0x55	uint8	1	
帧 ID：0x0146	uint16	2	
帧长：0x004C	uint16	4	
激光距离	float	6	单位：m
激光安装偏差角	float*2	10	单位：deg
激光点纬度	double	18	单位：deg。正表示北纬，负表示南纬。
激光点经度	double	26	单位：deg。正表示东经，负表示西经。
激光点高程	double	34	单位：m。
杆底纬度	double	42	单位：deg。正表示北纬，负表示南纬。
杆底经度	double	50	单位：deg。正表示东经，负表示西经。
杆底高度	double	58	单位：m。
激光错误类型	uint8	66	按照 13.13 节，若激光存在错误，将错误信息按以下定义输入给 IMU，此协议将错误值返回 1：信号弱 2：超量程 3：信号太强 4：LD 错误 5：背景光强 6：硬件错误 9：其他未知错误
时间戳	uint32	67	当 GNSS 板卡输出 NMEA，则为 UTC 日内毫秒；当 GNSS 板卡输出 Novatel 协议，则为 GPS 周内毫秒。
纬度标准差	uint8	71	单位：mm。
经度标准差	uint8	72	单位：mm。
高程标准差	uint8	73	单位：mm。
预留	uint8*4	74	
精度因子	float	78	单位：deg
累加和校验	uint32	82	

注：

必须把坐标系（X 轴正向）调整到激光发射方向一致，Z 轴正向朝地面，才可以使用激光协议，具体调整方式参考 14.2
该帧仅针对激光设备，跟随激光数据更新输出，用户可根据需要按照 13.15 节指令配置输出
累加和校验为该帧除去校验位的所有字节的累加和。
小端模式，先发送低字节。

11.3 姿态协议

表 10 姿态数据协议

内容	类型	相对位置	备注
帧头 1：0xAA	uint8	0	
帧头 2：0x55	uint8	1	
帧 ID：0x0168	uint16	2	
帧长：0x0024	uint16	4	
时间戳	uint32	6	当 GNSS 板卡输出 NMEA，则为 UTC 日内毫秒；当 GNSS 板卡输出 Novatel 协议，则为 GPS 周内毫秒。
横滚角	float	10	单位：deg。当 ATT_TYPE 为 0 时，表示未补偿 IMU 安装角；否则，表示已补偿 IMU 安装角。默认 ATT_TYPE 为 0
俯仰角	float	14	单位：deg。当 ATT_TYPE 为 0 时，表示未补偿 IMU 安装角；否则，表示已补偿 IMU 安装角。默认 ATT_TYPE 为 0
航向角	float	18	单位：deg。当 ATT_TYPE 为 0 时，表示未补偿 IMU 安装角；否则，表示已补偿 IMU 安装角。默认 ATT_TYPE 为 0
横滚角标准差	float	22	单位：deg
俯仰角标准差	float	26	单位：deg
航向角标准差	float	30	单位：deg
预留位	float*2	34	
累加和校验	uint32	42	

12. 使用范例

12.1 测绘杆使用

12.1.1 首次使用

首测使用按照以下步骤进行配置后才可正常使用

6. 配置 RTK 板卡类型：

参考 13.1 章节配置 RTK 输入报文与 PPS 信号

1. 确认 IMU 安装坐标系。

若 IMU 按默认方式安装（X 朝前，Y 朝右，Z 朝下（标签朝上），则无需配置。

如未按默认方式安装，则参考 13.4 章节与 14.2 章节配置相应的安装坐标系

3. 参考 13.2 章节 配置天线臂杆向量。
4. 参考 13.3 章节 配置对中杆长。
5. 保存参数，发送字符串“AT+SAVE\r\n”
6. 按照 13.10 章节进行安装偏差角标定并保存，然后开始初始化操作进行作业。

12.1.2 常规使用

若测绘杆未发生更换或明显的形变、撞击等情况，通常无需重新标定安装偏差角。

每次上电仅需要按照 13.9 节所示进行初始化就可正常使用。

12.1.3 设备安装

模块应牢靠固定在刚性平面上，避免安装在震动大的位置。

由于模块上没有坐标系标识，可根据模块上三角形状标志确认安装方向，如下图所示

模块遵从前右下坐标系，定义如下

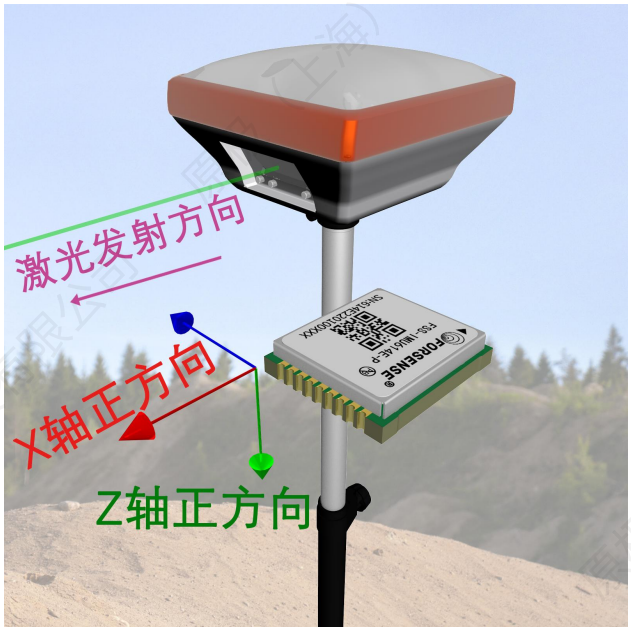
X 朝前（配合激光时特别注意与激光方向一致），

Y 朝右，

Z 朝下（**标签朝上**）

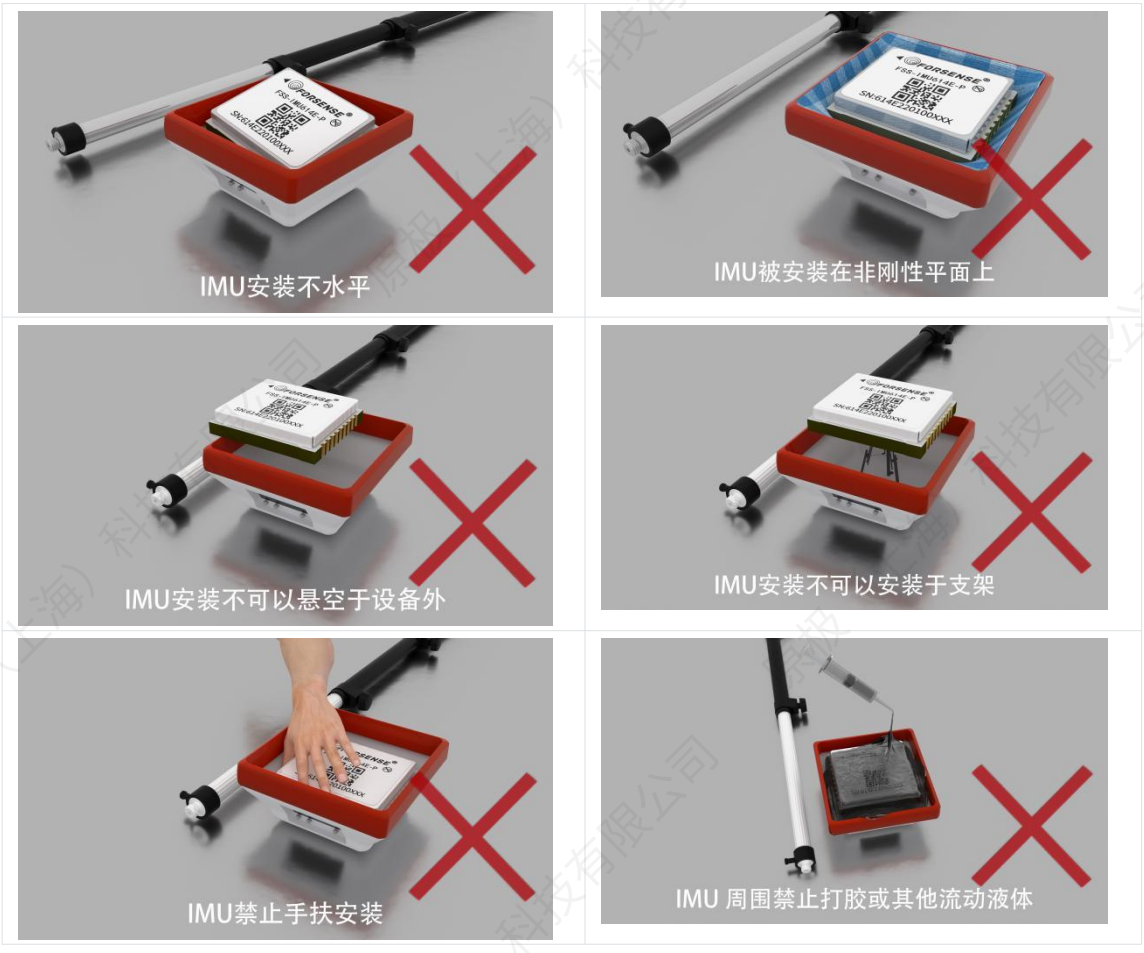
如无法使用默认坐标系安装，可使用参考 13.4 章节 与 14.2 章节配置相应的安装坐标系

图 6 模块默认坐标系安装示意图



以下安装方式均是错误安装

图 7 模块错误安装示例



12.2 激光使用

1. 按照测绘杆使用流程进行配置，**但 RTK 需配置输出诺瓦泰二进制协议**

- 调整坐标系的 X 轴正方向与激光发射方向一致，Z 轴正向朝地面，如下图

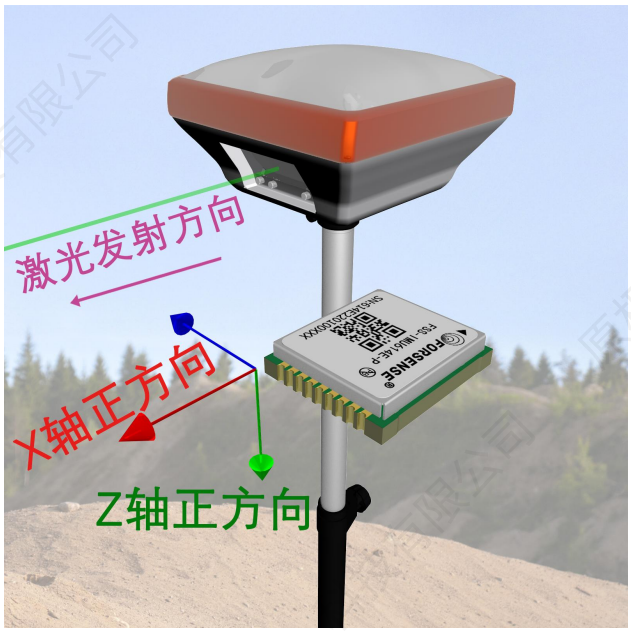


图 8

- 输入激光数据

按照 13.13 所示协议持续输入激光数据，如激光为 5m，给 IMU 输入:<m40m5000>

1. 配置激光杆臂

若激光臂杆向量为(0.02，0.05，-0.03)，发送“AT+LASER_ARM=0.02,0.05,-0.03\r\n”，

应答："LX=0.02,LY=0.05,LZ=-0.03"

- 输出激光点坐标

有以下两种方式获取激光点坐标

在保持使用 11.1 协议时，发送"AT+POS_FLAG=6\r\n"，协议中杆底的经纬高将变为激光点所在位置坐标

直接使用激光数据协议，发送"AT+SETLASER\r\n"，配置同时输出 11.2 激光数据协议

- 配置上述步骤后需保存参数，发送字符串“AT+SAVE\r\n”

13. 参数配置

注意：每条指令间需间隔至少 10ms 发送

13.1 配置 RTK 板卡协议

- 若 RTK 板卡输出协议为诺瓦泰二进制协议：

指令 ：AT+GNSS_CARD=UNICORE\r\n

应答 ：OK\r\n

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 21。

AT+CONFIG 指令查询为 GNSS_CARD=482。;

2. 若 RTK 板卡输出协议为 NMEA 协议：

指令 ：AT+GNSS_CARD=OEM\r\n

应答 ：OK\r\n

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 22。

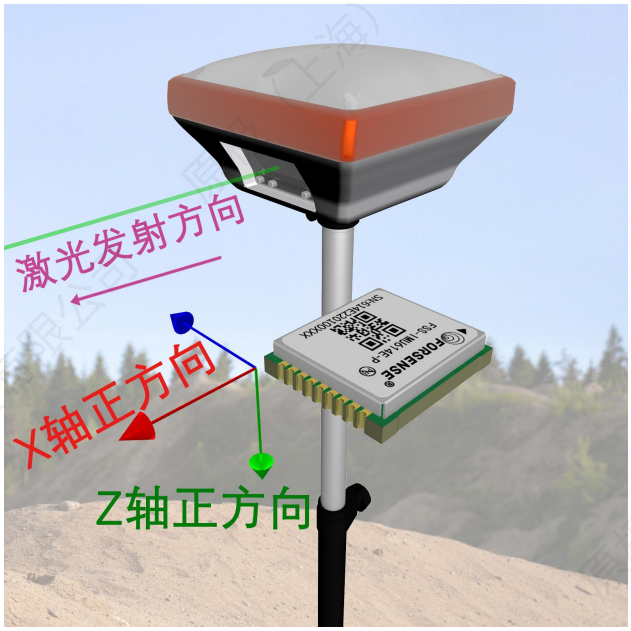
AT+CONFIG 指令查询为 GNSS_CARD=0。

13.2 配置天线臂杆向量

臂杆向量为 RTK 天线相位中心相对 IMU 安装位置的三维矢量（X,Y,Z），单位为米。其中，

- 若 RTK 天线在 IMU 的 X 轴正向，则为正数，否则为负数；
- 若 RTK 天线在 IMU 的 Y 轴正向，则为正数，否则为负数；
- 若 RTK 天线在 IMU 的下方为正数，否则为负数。

图 9 坐标系示意图



例如配置臂杆向量为（0.035，-0.05，-0.1）

指令 ：AT+LEVER_ARM=0.035,-0.05,-0.1\r\n

应答 ：X=0.035,Y=-0.05,Z=-0.1\r\n

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 5。

13.3 配置对中杆长

注意：杆长为天线相位中心至杆底的距离

例如配置杆长为 2.03 米

指令 ：AT+CLUB_VECTOR=0.0,0.0,2.03\r\n

应答 ：LEN=2.03\r\n

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 3。

13.4 配置安装坐标系

若无法通过默认坐标系进行安装，需要配置对应坐标系配合，否则会导致数据异常

例：

指令 ：AT+IMU_AXIS=101\r\n（坐标系 101~124，101 为默认坐标系）

应答 ：IMU_AXIS=101

坐标系对应安装图请参考 13.2 章 安装坐标系定义

13.5 配置输出倾斜测绘数据协议

配置输出 11.1 所示协议

开启指令 ：AT+SETSURVEY\r\n

关闭指令 ：AT+SET_SURVEY=OFF\r\n

13.6 配置 IMU 串口 1/2 波特率

波特率支持范围:115200~1500000

例

修改波特率：AT+SETBAUD=460800\r\n

应答 ：BAUDRATE=460800

13.7 保存参数

指令 ：AT+SAVE\r\n

应答 ：OK\r\n

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 9。

13.8 配置输出 ATT 姿态协议

开启指令：AT+ATT_OUTPUT=ON\r\n

关闭指令：AT+ATT_OUTPUT=OFF\r\n

13.9 配置 ATT 姿态协议输出频率

例：配置输出频率是 10hZ

指令：AT+ATT_RATE=10\r\n

应答：OK\r\n

13.10 配置数据流更新率

例：配置更新率为 100hZ（最大值为 100Hz）

指令：AT+OUTRATE=100

应答：OUTRATE=100

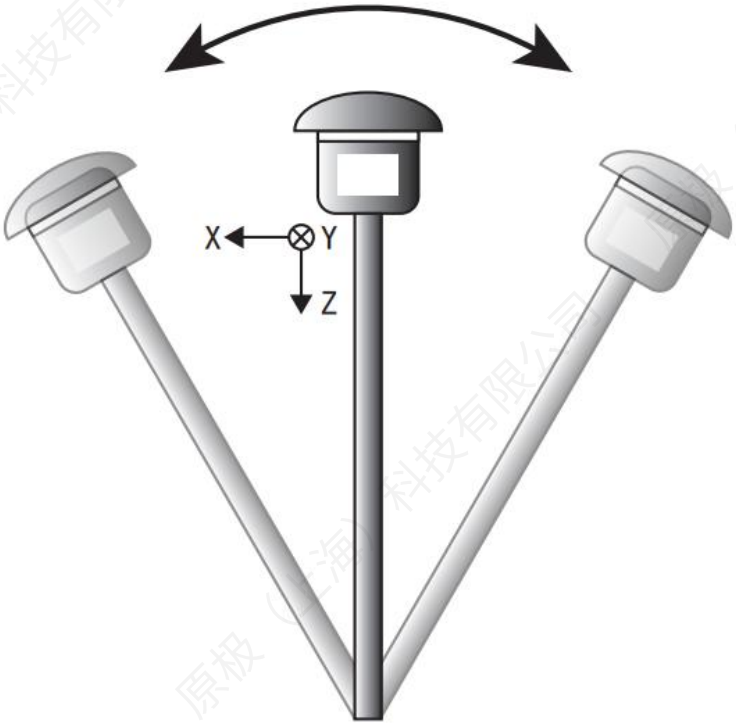
13.11 倾斜测量初始化

注意：无需严格按照坐标系进行摇动，图示坐标只是转动示意图

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 1

1. 待 RTK 固定解后,发送字符串“AT+START_INIT\r\n”，前后摇摆测绘杆如图 11，持续 5 秒左右,直到精度因子小于 0.6。

图 10 摇动示意图



- 完成初始化，开始进行倾斜测量。
- 使用过程中若发生剧烈旋转、跌落、撞击，则需要重新执行初始化操作。

13.12 使能安装偏差角标定

注意:

1. 模块安装后必须执行一次安装偏差标定流程。
2. 安装偏差角的标定需在空旷场景下进行。
3. 将杆底尖插在坚硬的地表面，整个过程中保证杆底位置不发生变化。
4. 由于 RTK 主机一般较重，因此标定过程摇晃要尽量平缓，防止杆子变形影响标定

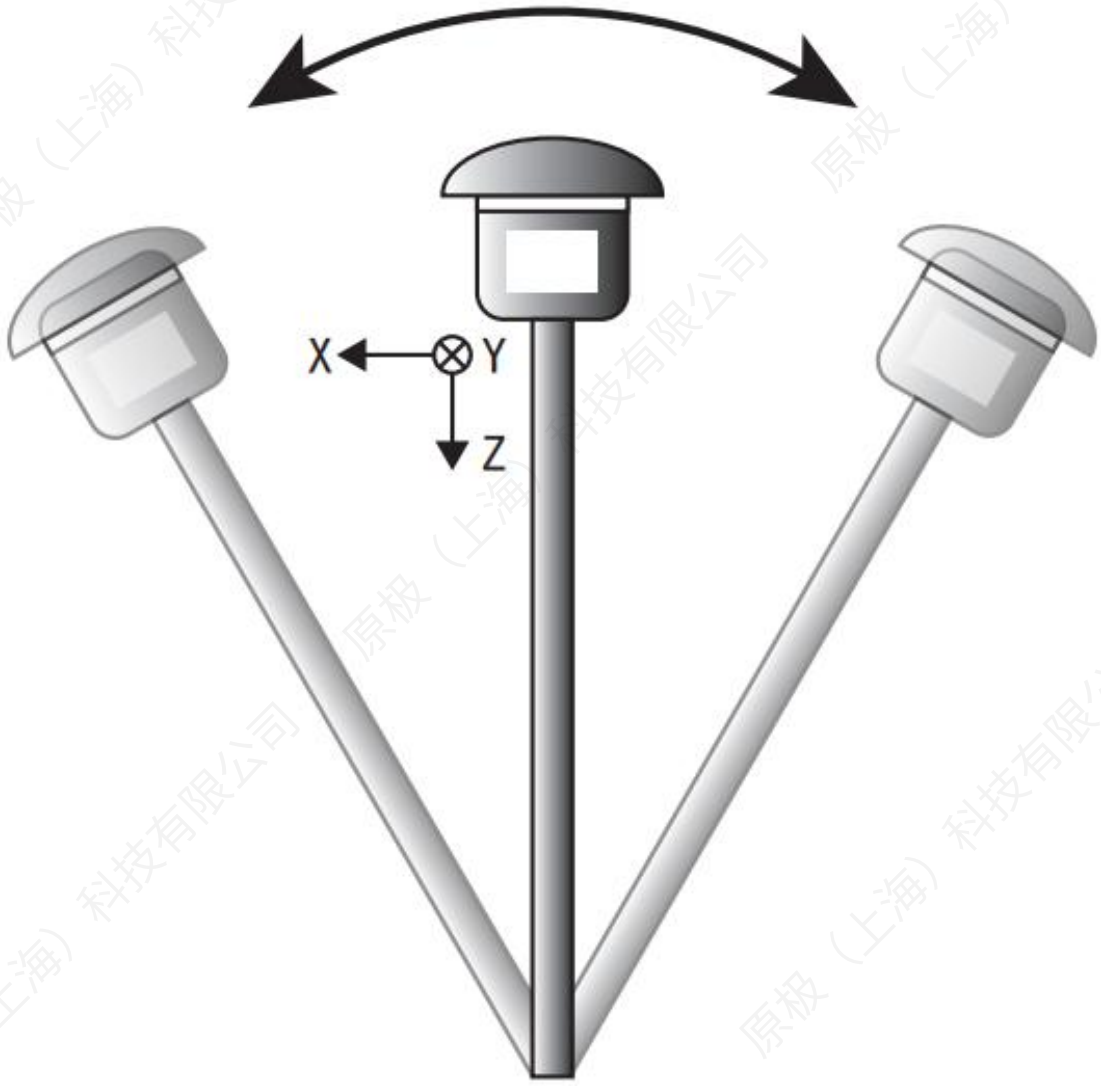
精度。

5. 除非测绘杆发生严重的撞击，形变，或者重新安装，否则不需要每次标定安装偏差角。

若正确收到该输入指令，输出协议中的系统状态位变为 **6**。

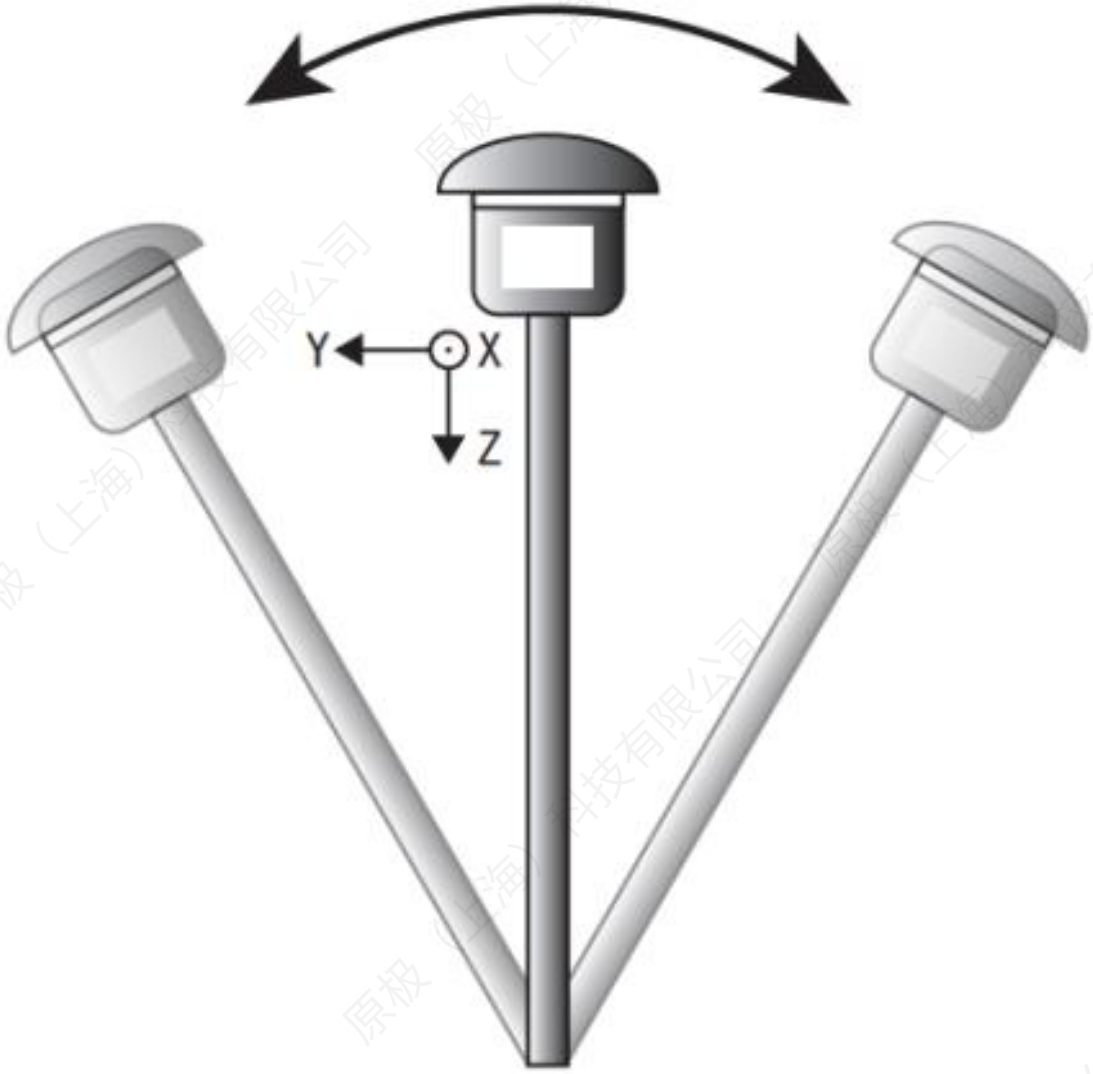
1. 无需严格按照坐标系进行摇动，图示坐标只是转动顺序示意图。在空旷无遮挡场景下，待 RTK 固定解后发送字符串“AT+INST_CALIB=3\r\n”,如图 12 前后摇摆测绘杆持续 10s 左右,直到标定进度达到 25%

图 11 摇动示意图



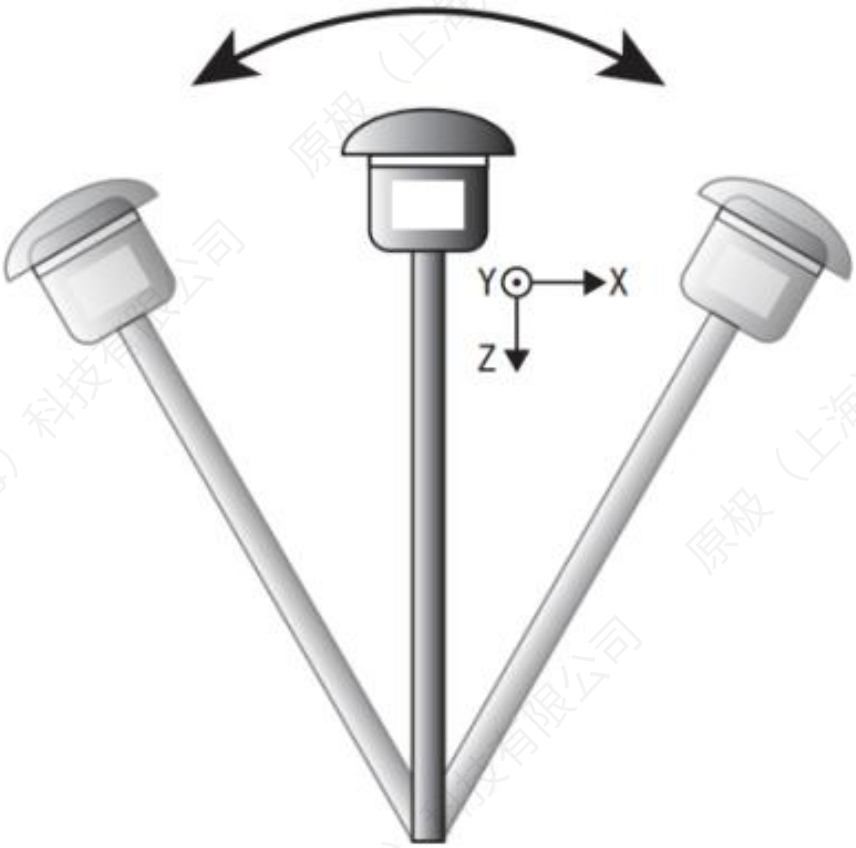
2. 将杆子旋转 90 度，如图 13 前后摇摆测绘杆持续 10s 左右，直到标定进度达到 50%

图 12 摇动示意图



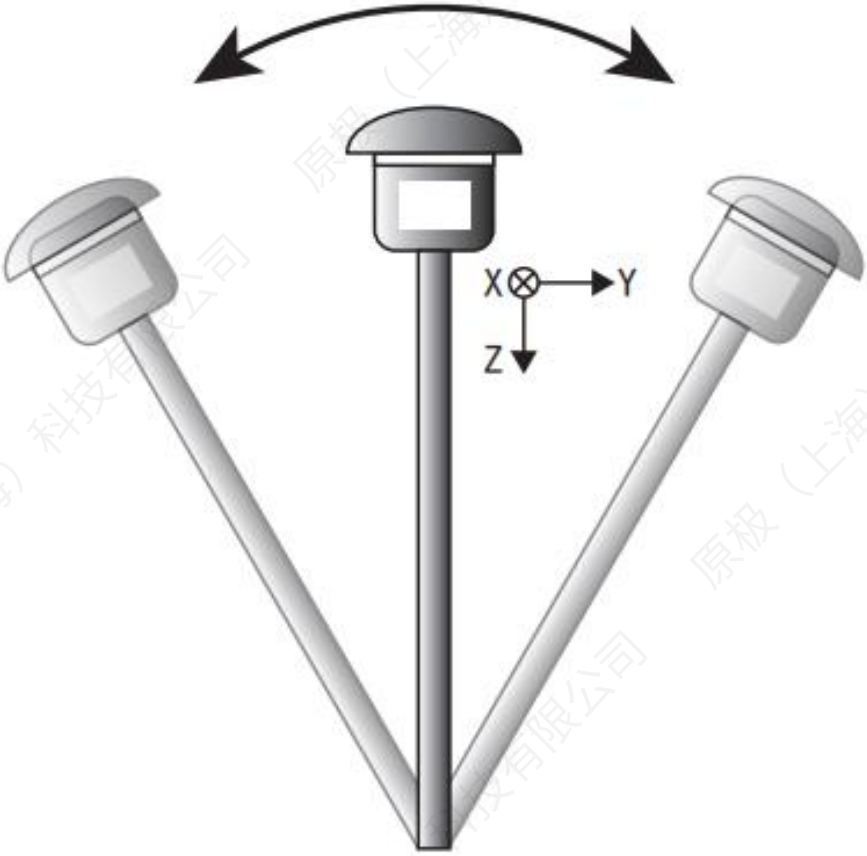
3. 继续将杆子旋转 90 度，如图 14 前后摇摆测绘杆持续 10s 左右，直到标定进度达到 75%

图 13 摇动示意图



4. 继续将杆子旋转 90 度，如图 15 前后摇摆测绘杆持续 10s 左右，直到标定进度达到 100%

图 14 摇动示意图



5. 发送字符串“AT+SAVE\r\n”,保存参数,完成标定。

注：如标定过程中想要手动退出标定状态，可以发送指令 AT+CALIB_STOP\r\n 中止；发送初始化指令同样可以退出标定状态。

13.13 请求版本号

指令 ：AT+VERSION\r\n

应答 ：VERSION=211209\r\n

13.14 查询配置

查询所有配置过的信息

指令：AT+CONFIG\r\n

13.15 激光信息输入

注：此配置针对激光客户设备，常规设备不用配置

客户需将激光的距离持续发送给 IMU，格式如下

<mx0mxxxx>

说明：第一个 x 表示传入数据的位数，0m 为固定格式，最后表示激光的距离，单位为毫米

例 1:<m30m500>，表示激光距离为 500 毫米，500 共三位数，因此第一个 x 为 3

例 2:<m40m1000>，表示激光距离为 1000 毫米，1000 共四位数，因此第一个 x 为 4

若激光存在错误，则将按下述格式将错误信息返回给 IMU

错误类型	错误码
信号弱	<0E001>
超量程	<0E002>
信号太强	<0E003>
LD 错误	<0E004>
背景光强	<0E005>
硬件错误	<0E006>
其他未知错误	<0E009>

13.16 配置输出坐标位置

注：倾斜测绘数据协议（ID 0x166）中默认输出杆底坐标，若为激光设备可配置输出激光点坐标

配置输出杆底坐标：AT+POS_FLAG=0\r\n

配置输出激光点坐标：AT+POS_FLAG=6\r\n

配置输出下视激光光斑的坐标：AT+POS_FLAG=8\r\n

应答：POS_FLAG=0/6/8

13.17 配置输出激光数据协议

配置输出 11.2 所示协议，默认输出 5Hz

开启指令：AT+SETLASER\r\n

关闭指令：AT+UNSETLASER\r\n

13.18 配置激光杆臂

激光杆臂：以 IMU 为中心到激光发射源三个方向的距离，单位为米。其中

若激光发射源在 IMU-X 轴的正向，则 X 方向的杆臂为正，否则为负；

若激光发射源在 IMU-Y 轴的正向，则 Y 方向的杆臂为正，否则为负；

若激光发射源在 IMU 的下方，则 Z 方向的杆臂为正，否则为负

例如配置激光杆臂为(0.02，0.05，-0.03)

指令：AT+LASER_ARM=0.02,0.05,-0.03\r\n

应答：LX=0.02,LY=0.05,LZ=-0.03

13.19 配置 IMU 串口 3 波特率

配置接收 RTK 串口的波特率（IMU 串口 3），不配置情况下默认 460800，保存后断电重启生效；

仅 24 开头的固件支持

指令：AT+RTKBAUD=115200/460800

应答：RTK_BAUD=115200/460800

14. 坐标系

14.1 默认坐标系定义

本产品坐标系使用 前-右-下(FRD)坐标系，X 朝前，Y 朝右，Z 朝下（标签纸朝上）

欧拉角范围如下：

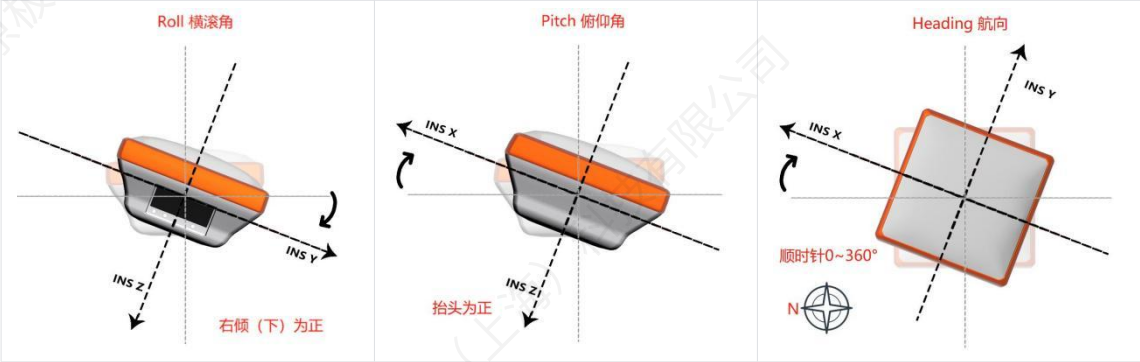
绕 Z 轴方向旋转: 航向角 Yaw 范围: -180°~180°；

绕 X 轴方向旋转: 横滚角 Roll 范围: -180°~180°；

绕 Y 轴方向旋转: 俯仰角 Pitch 范围: -90°~90°。

注：与激光配合使用时特别注意 X 方向与激光方向保持一致

图 15 横滚、俯仰、航向角示意图



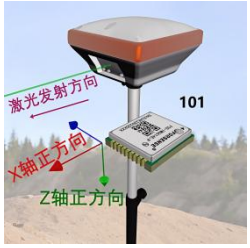
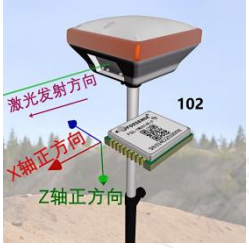
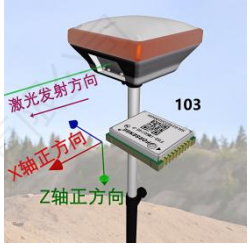
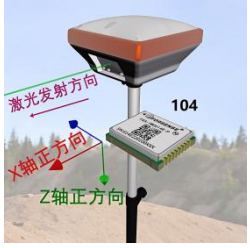
14.2 安装坐标系定义说明

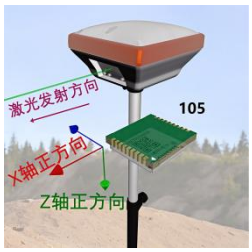
安装坐标系示意图

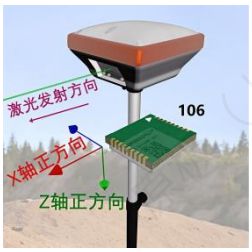
激光方向固定代表前方，可通过模组标签箭头方向确认相对位置

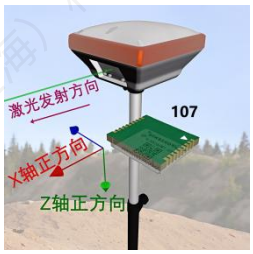
调整安装坐标系就是调整 XYZ 三轴定义，使 XYZ 三轴始终符合 X 朝前 Y 朝右 Z 朝下要求

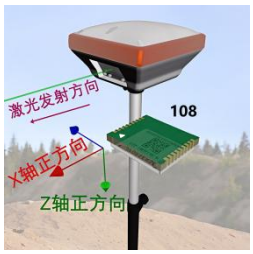
表 8 坐标系朝向对应表

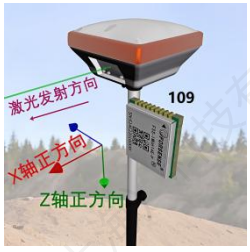
101（默认坐标系）	102	103	104
			

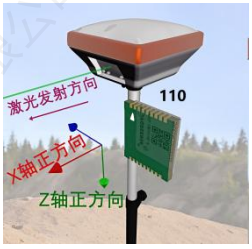
105


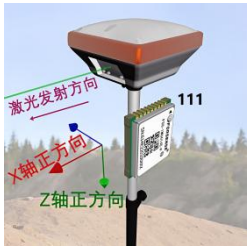
106


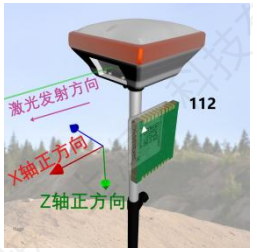
107


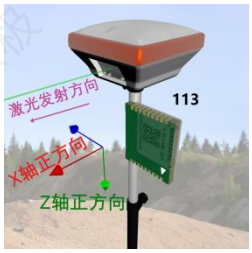
108


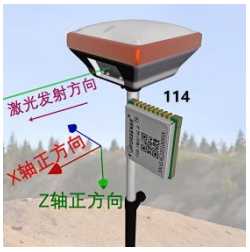
109


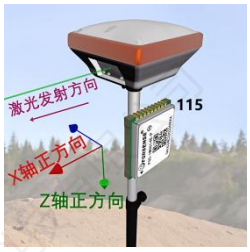
110


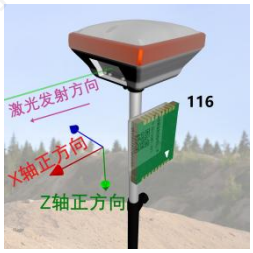
111


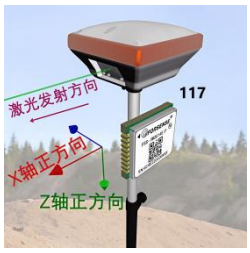
112


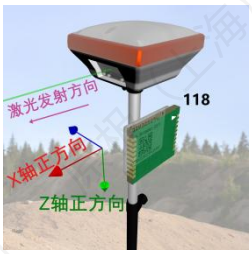
113


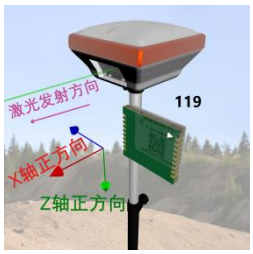
114


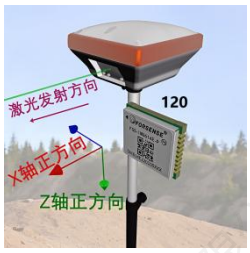
115


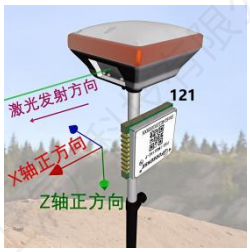
116


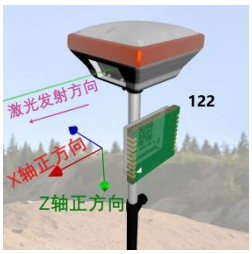
117


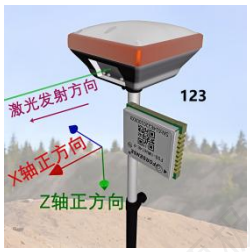
118


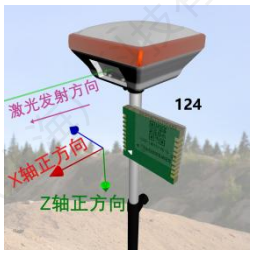
119


120


121


122


123


124


15. CRC 查表法计算

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, 0x90bf1d91, 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, 0xbfd06116, 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, 0x0a00ae27, 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, 0x0bdbdf21, 0x86d3d2d4, 0xf1d4e242,
0x68ddb3f8, 0x1fda836e, 0x81be16cd, 0xf6b9265b, 0x6fb077e1, 0x18b74777,
0x88085ae6, 0xff0f6a70, 0x66063bca, 0x11010b5c, 0x8f659eff, 0xf862ae69,
```

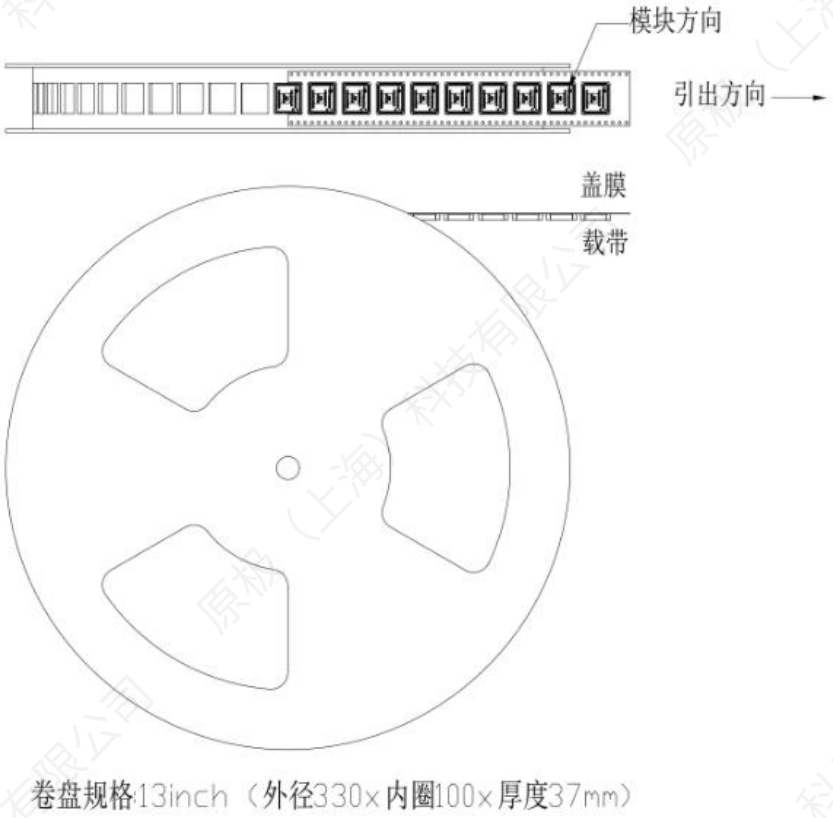
```
0x616bffd3, 0x166ccf45, 0xa00ae278, 0xd70dd2ee, 0x4e048354, 0x3903b3c2,
0xa7672661, 0xd06016f7, 0x4969474d, 0x3e6e77db, 0xaed16a4a, 0xd9d65adc,
0x40df0b66, 0x37d83bf0, 0xa9bcae53, 0xdebb9ec5, 0x47b2cf7f, 0x30b5ffe9,
0xbdbdf21c, 0xcabac28a, 0x53b39330, 0x24b4a3a6, 0xbad03605, 0xcdd70693,
0x54de5729, 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;
}
```

16. 包装

IMU614P/P-Pro 模块采用卷带密封包装。满足高效生产。

16.1 卷带包装

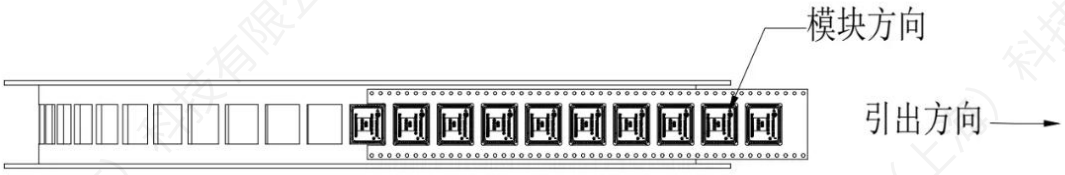
图 16　卷带包装示意图



16.2 载带

IMU614P/P-Pro 模块出厂时放置于载带上的位置和方向如下图所示：

图 17 模块在载带位置和方向



17. 常见问题

问题	解答
上位机无法连接	请检查串口是否被占用、波特率是否匹配、产品是否正常通电，若在连接过程中上位机断连，可能是串口松动，可插拔串口线后重新打开上位机。
上电后运行一段时间就断开连接	排查以下因素： 1. 模块供电电源是否在 3.2~3.4V 范围内。 2. 供电电压是否稳定，电压纹波是否超标 3. 串口连接是否牢固，是否存在中断问题
二进制数据按照手册协议解析不出来	1. 确认是否按照手册 RTK 配置章节要求 RTK 报文与 PPS 信号， 2，是否配置 AT+SETSURVEY\r\n 命令
串口输出数据都是乱码或者 全是点	确认波特率是否匹配 目前串口波特率默认为 115200
数据轨迹偏差过大	确认状态是否为固定解，星数一般要求大于 30 颗
无法初始化	确认 RTK 是否进入固定解，是否成功发送初始化命令，发送成功后系统状态应为 1
标定过程中一直持续在一个状态不动	请换一个方向摇晃对中杆，在换方向时要以较小的角速度去旋转中杆
是否每次上电都需要标定安装误差？	没有经过拆装，或者杆子没有出现撞击变形情况，无需重复标定
初始化完成后，精度因子快速增大	处于静止时为正常现象，此时只要再次进行晃动操作即可重新收敛
是否精度因子必须在 0.6 以下才是可用状态？	首次初始化需要摇晃到 0.6 以后，后续使用推荐将阈值设定为 2-3，具体需要依照实际调试情况而定
进入不了标定状态	确认 RTK 是否进入固定解，是否成功发送标定命令，发送成功后系统状态应为 6
标定过程中退出标定状态	1. 确认是否摇晃速度或者旋转速度过快导致超量程 2. 确认 RTK 状态是否退出固定解
使用过程中精度因子突然变成 99	1. 确认是否摇晃速度或者旋转速度过快导致超量程 2. 确认 RTK 状态是否退出固定解
与激光测距配合使用时间存在固定误差	确认 X 轴方向是否与激光方向保持一致，不一致请调整安装方向，如已无法调整，可通过配置坐标系方式调整，详细参考坐标系对应表
上电后立刻开始初始化摇晃至初始化失败	上电后需要静止 2-3s 再发送初始化指令开始初始化

18. 更新记录

手册最新版本：IMU614E-P/P-Pro 倾斜测绘产品手册

版本	日期	状态/注释
版本 1.0	2023.08.23	首次发行
版本 1.1	2023.10.07	更新坐标系定义
版本 1.2	2023.10.17	增加输出协议配置指令
版本 1.3	2023.11.22	增加姿态角和查询配置
版本 1.4	2024.01.16	增加附件
版本 1.5	2024.02.04	更新电气特性
版本 1.6	2024.02.27	更新回流焊曲线及 ESD 防护事项
版本 1.7	2024.03.26	更新引脚定义
版本 1.8	2024.06.07	更新输出协议
版本 1.9	2024.11.06	增加系统状态表，细化坐标系描述
版本 1.10	2025.01.22	修改表图序号定义
版本 1.11	2025.03.28	修改输出协议，增加 9.2 激光相关内容，增加 10.2 激光使用范例，增加 11.11-14
版本 1.12	2025.04.07	增加 crc 查表法计算
版本 2.0	2025.04.21	文档更名为 IMU614P/P-Pro 倾斜测绘产品手册
版本 2.1	2025.07.09	激光协议中增加激光时间戳和标准差
版本 2.2	2025.12.03	更新外形尺寸图
版本 2.3	2026.2.10	更新“推荐焊盘尺寸”