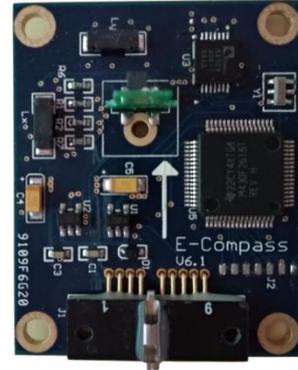


SEC301 姿态传感器

Sensor

介绍 Description

SEC301 高精度数字式姿态传感器由全固态三轴磁强计、MEMS 三轴加速度计、三轴 MEMS 陀螺仪等硬件构成。运用硬磁、软磁、倾角补偿算法以及优化的卡尔曼滤波算法，使得在复杂的工作环境中传感器依然能够输出准确的姿态信息。数字式姿态传感器具有精度高、频响快、重复性好、功耗低、体积小等优点，可以广泛应用于航空、航天、航海、水中兵器、石油钻井、车辆导航、姿态系统等需要定向和导航的领域。



参数 Parameters

项	名称	参数
航向参数	航向精度	罗盘工作模式： 0.5° (RMS 俯仰角 ≤ 30°) 0.7° (RMS 俯仰角 ≤ 60°) 动态航姿工作模式 1° (RMS 俯仰角 ≤ 30°) 2° (RMS 俯仰角 ≤ 80°)
	分辨率	0.1°
倾斜参数	俯仰精度	动态 1° 静态 0.5° RMS
	横滚精度	动态 1° 静态 0.5° RMS
	分辨率	0.01°
	倾斜范围	俯仰 ± 90°, 横滚 ± 180°
校准	硬铁校准	有
	软铁校准	有
	有限倾斜用户校准	有
	尺寸	L43 × W35 × H30 mm (电路板, 外壳可订制, 高度与外壳有关)
	重量	200 克
	最大采样速率	100 次/秒
	串口通信速率	2400 到 115200 波特率
电源	支持电压	直流+5V or 11-35V
	电流(最大)	100mA
	工作模式	80mA
环境	储存范围	-40°C ~ +8°C
	操作温度	-40°C ~ +85°C
	抗振性能	物理特性
接口	通信接口	RS232/RS485/TTL

安装方式

裸板安装：将电路板的通过四格定位孔水平固定在载体上。

外壳安装：将电路板装入订制无磁外壳以后将外壳固定在载体上。如下图所示：

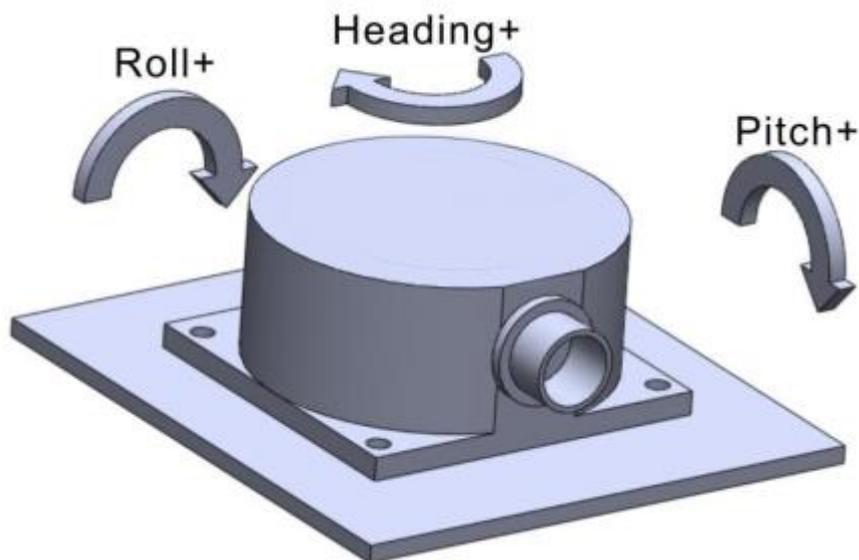


图 1 姿态模块安装示意图

保证外壳固定，尽量使外壳与载体平面平行，减小失准角。尽管传感器内含有磁干扰补偿，但安装时应该尽量使传感器远离铁、镍、磁铁、发动机和其他磁性物质。如果周围有这些磁介质，请至少需要维持 0.5m 远的距离。为保证产品达到最佳测量效果，安装时须采用非磁性螺丝刀和非铁质螺丝。务必严格避免磁铁、电动机等强磁物质靠近罗盘 20cm 之内，这可能会造成罗盘的测量精度不可逆下降。

电气连接

表 1 SEC301 引线说明

颜色	红	黄	绿	黑	
序号	1	2	3	4	5~9
功能	VCC	TXD	RXD	GND	保留

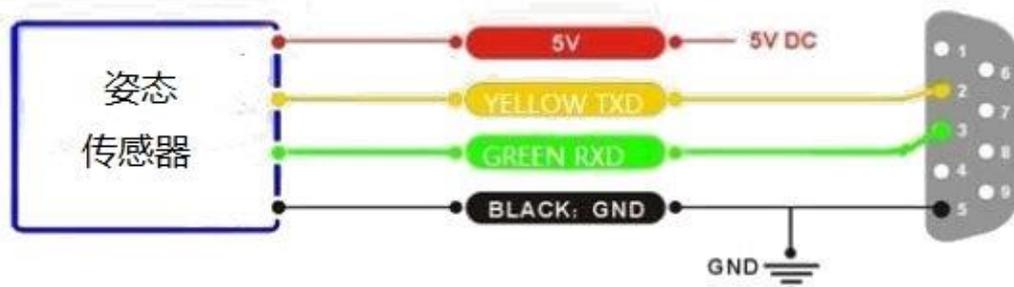


图 2 传感器连接 RS232 示意图

上图是传感器连接 RS232 示意图，在外部供电情况下只需要连接 GND、TXD、RXD 就可以通信。其他接口如 RS485、RS422、CAN 总线或者接插件可订制。

校准

SEC301 在出厂前已经在无磁环境下的进行传感器校准，在无磁环境中使用时无需另外进行环境校准。实际应用场景下，周边可能存在铁性或者合金材料时（比如铁、镍等）、电池、麦克风、大电流线圈或电机等，传感器周围的地磁场会受到扭曲（包括硬磁干扰和软磁干扰：硬磁指的是恒定的磁场，如永磁铁产生的磁场；软磁指的是可以被磁化改变的磁场，如硅钢片等），这种环境下建议进

行校准后使用。进行环境校准时，周边的干扰物质在罗盘旋转过程中和罗盘的相对位置应该保持不变(即随罗盘和载体一起转动)。环境校准时罗盘可以学习周围被干扰的磁场环境，并对硬磁和软磁的影响进行补偿，提高罗盘使用精度。

SEC301 传感器中包含，磁传感器，加速度传感器，陀螺仪，一般情况下在现场环境中主要对磁传感器进行校准，条件允许的情况下可对加速度计进行校准，加速度计校准时需要静止后采样。传感器的俯仰角 (Pitch)，滚转角 (Roll) 得旋转轴定义如下图所示。航向角 (Yaw) 旋转轴与俯仰角和滚转角旋转轴正交。定义滚转角、俯仰角、航向角旋转轴分别为 X, Y, Z 轴。

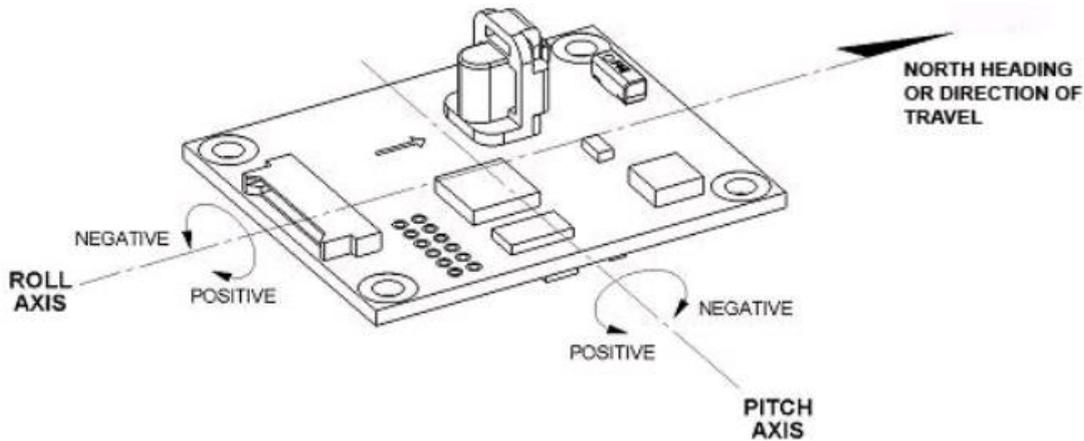


图 3 传感器坐标系及正方向说明

1. 磁传感器平面校准

磁传感器平面校准主要针对水平面进行采集和测试，具有操作简单快速的特点。当传感器工作于罗盘模式下，或者传感器所在载体工作时倾角较小（俯仰角、横滚角 $\leq 5^\circ$ ），进行水平校准即可满足精度要求。

校准流程

- (1) 在上位机上配置界面-校准设置栏下选择平面校准 (2D Calibration)，勾选自动采样。
- (2) 在上位机校准界面点击“开始”，将传感器固定在被测载体上，让传感器和载体一同在水平面上缓慢旋转一周。点击“结束”完成校准。

2. 磁传感器空间校准

磁传感器空间校准原则是用户尽可能多的旋转罗盘到各个姿态位置，使罗盘的倾斜，俯仰和方位组合覆盖所有姿态，罗盘会自动采集合适的的数据点，被采集到的数据点越多校准越准确，最多可以采集 128 个校准点。该方法是理论上全姿态最为准确的校准方式。

校准过程中应该使传感器与影响它的设备和载体一起旋转。为得到最佳的校准效果可按照以下方式旋转。

- (1) 使传感器的 X0Y 与磁北方向在同一平面内，让传感器绕着 Z 轴缓慢旋转一周，此时采样磁传感器的 X、Y 轴动态范围最大；
- (2) 使传感器的 X0Z 与磁北方向在同一平面内，让传感器绕着 Y 轴缓慢旋转一周，此时采样磁传感器的 X、Z 轴动态范围最大；
- (3) 使传感器的 Y0Z 与磁北方向在同一平面内，让传感器绕着 X 轴缓慢旋转一周，此时采样磁传感器的 Y、Z 轴动态范围最大；
- (4) 使传感器俯仰角约 30° 沿重力轴旋转一周；
- (5) 使传感器俯仰角约 60° 沿重力轴旋转一周；
- (6) 使传感器俯仰角约 -30° 沿重力轴旋转一周；
- (7) 使传感器俯仰角约 -60° 沿重力轴旋转一周。

经过以上旋转，基本可以覆盖大范围的磁传感器动态变化，观察上位机上采样点数是否足够。如果

采样点数不足，可重新设置减少采样点数重新旋转，或者继续旋转到其他姿态直到采样点数满足设定。当采样点数足够以后，传感器会自动进行计算，并为校准结果打分，得分越小表示校准效果越好。

3. 加速度计校准

加速度计校准针对加速度传感器单独校准，可以脱离载体系统进行。校准过程尽量使重力矢量在XYZ轴上有大动态范围。由于不能混入旋转时非重力加速影响，校准采用手动校准方式，旋转到某一姿态后保持静止，点击“确认采样”按钮，完成一次采样。

(1) 在上位机上配置界面-校准设置栏下选择空间校准 (Full Range Calibration)，勾选自动采样，设置采样点数 (Calibration Point) 为理想设定值。

(2) 使传感器的 X0Y 与重力加速度方向在同一平面内，让传感器沿着 Z 轴缓慢旋转一周，每 30° 保持静止采集一次，此时加速度计的 X、Y 轴动态范围最大；

(3) 使传感器的 X0Z 与重力加速度方向在同一平面内，让传感器沿着 Y 轴缓慢旋转一周，每 30° 保持静止采集一次，此时加速度计的 X、Z 轴动态范围最大；

(4) 使传感器的 Y0Z 与重力加速度方向在同一平面内，让传感器沿着 X 轴缓慢旋转一周，每 30° 保持静止采集一次，此时加速度计的 Y、Z 轴动态范围最大；

(5) 按照下表姿态角采点

俯仰角	横滚角	航向角
±30°	±30°	45° , 135° , 225° , 315°
±60°	±60°	45° , 135° , 225° , 315°

完成以上采集后如果采样点数不够，可选择其他姿态角手动采样，直到采样点数满足设定要求。上位机会自动计算校准参数并打分。

4. 磁传感器与加速度计同步校准

当传感器需要高的动态精度或者姿态传感器的工作环境存在较强的磁干扰情况下可以考虑进行磁传感器与加速度计同步空间校准。这种校准方式必须在事先完成磁传感器的空间校准的以后使用，它旨在修正角速度计与磁传感器坐标系间的失准角误差。通常在出厂前已经对失准角进行过校准，由于这种校准方式操作不易，建议在条件允许的情况下进行。

要使磁传感器和加速度计同步校准达到较好的结果，必须使俯仰角 (Pitch)、滚转角 (Roll) 姿态覆盖 ±180°，同时航向角覆盖 0~360°。一般这种校准方法使用手动采样，把传感器旋转到某个姿态以后，保持静止以确保加速度计只检测重力加速度，点击确认采样按钮，直到采样点数满足设定。

校准可按照下列模型进行；

圈数	俯仰角	横滚角	航向角
1	-180° ~ +180°	0°	0° ~ 360°
2	0°	-180° ~ +180°	0° ~ 360°
3	30°	30°	0° ~ 360°
4	30°	-30°	0° ~ 360°
5	-30°	30°	0° ~ 360°
6	-30°	-30°	0° ~ 360°
7	45°	45°	0° ~ 360°
8	45°	-45°	0° ~ 360°
9	-45°	45°	0° ~ 360°
10	-45°	-45°	0° ~ 360°

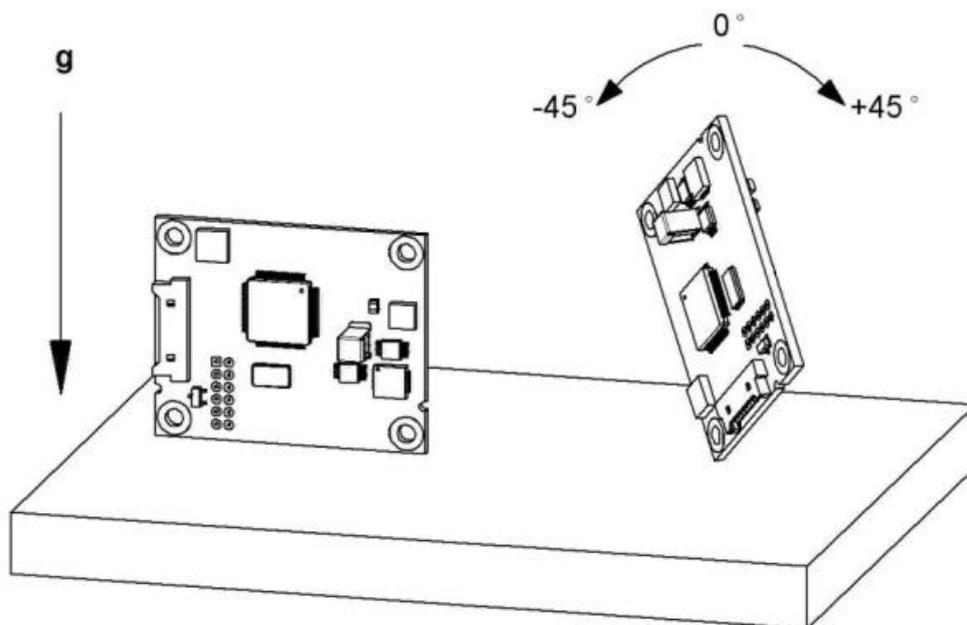


图 4 传感校准示意图

上位机软件

模块配套上位机软件“SEC301 调试软件”，有“参数设置”、“姿态监控”、“曲线记录”“固件升级”等功能。

1. 通信参数设置



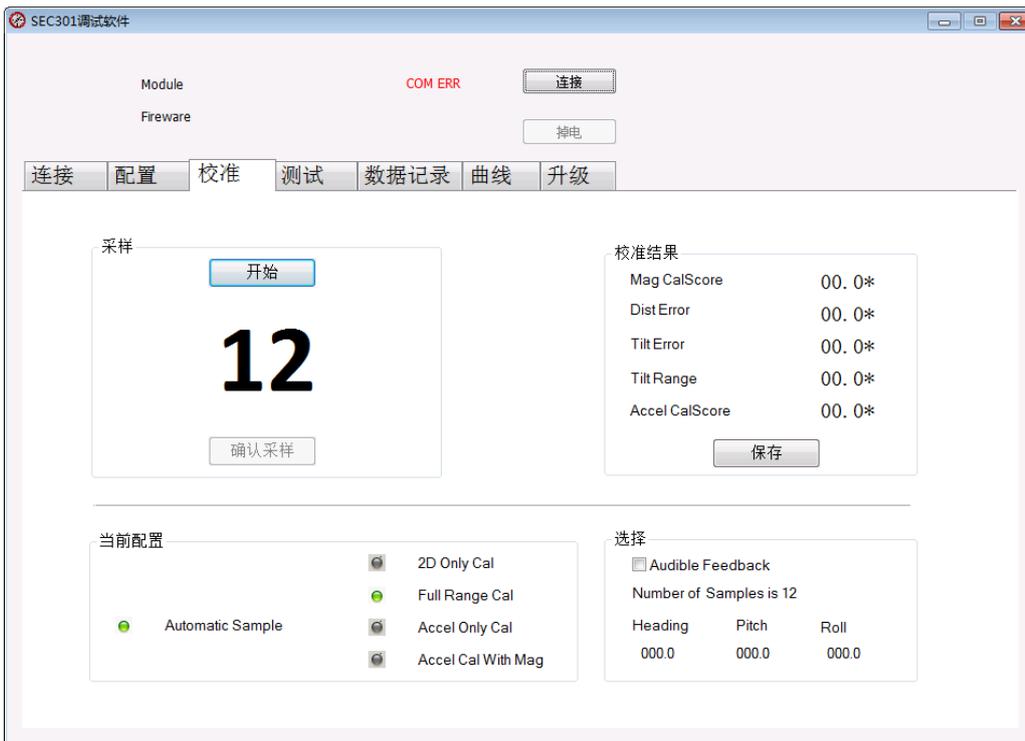
可通过此界面修改模块波特率，查询模块波特率，选择串口号。

2. 参数配置



此界面包含模块所有可以设置参数，用户可根据通信协议章节对各参数的描述进行设置。

3. 校准



这个界面可帮助用户完成校准任务，监控当前采样点数，校准完成以后显示打分，点击“保存”按钮将校准后的参数写入非易失寄存器。

4. 实时姿态监控

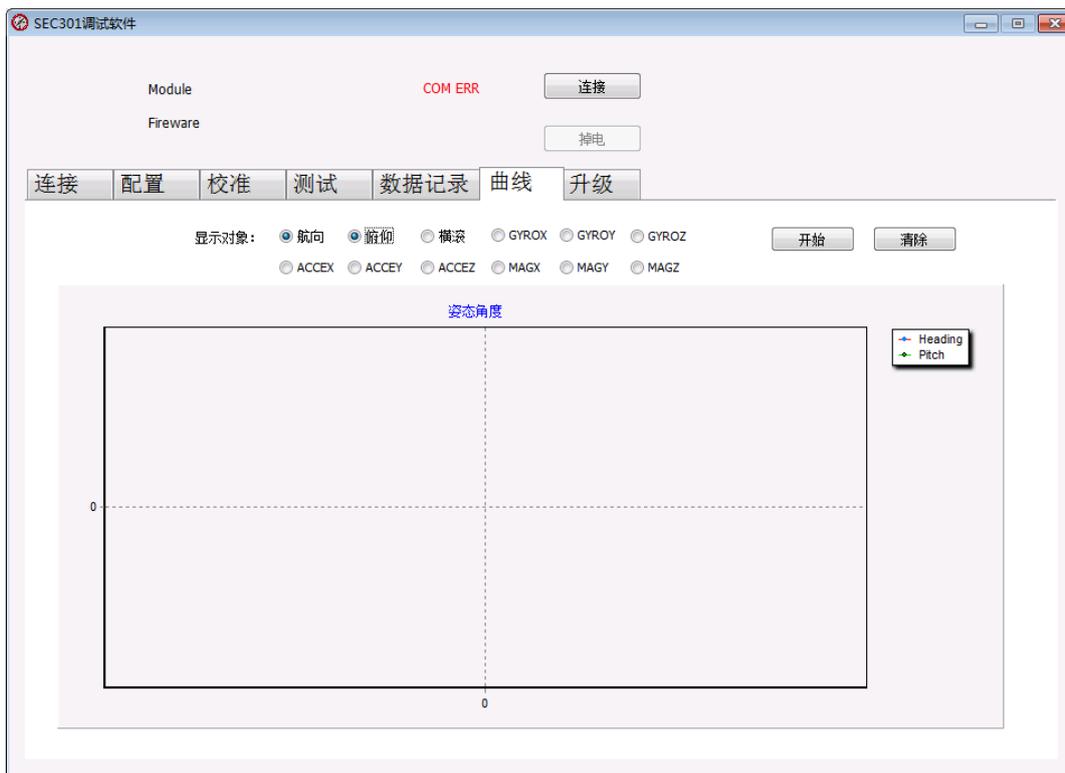


此界面显示模块当前的运行状态和三个姿态角数据，有房的 3D 模型实时反映模块的当前姿态。

5. 数据记录

记录各个传感器的数据，允许以 TXT 格式保存成文件。

6. 运行曲线



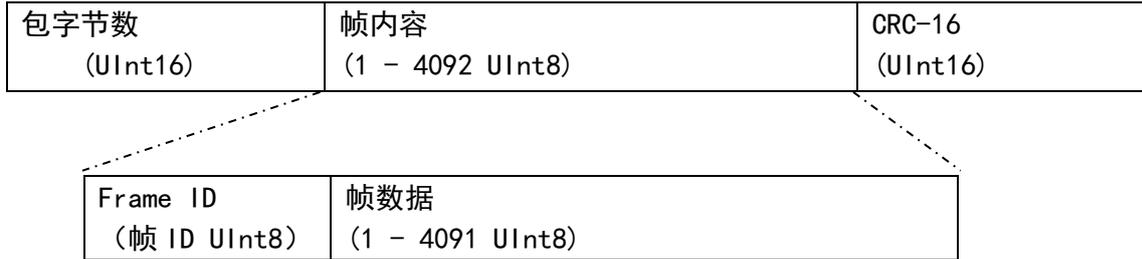
这个界面可将模块姿态角或者内部各个传感器的实时数据以曲线的形式显示出来，可以更加直观的观察模块姿态变化趋势。

7. 固件升级

通过给模块上传程序包对内部程序或者内部参数进行更新，保证模块的稳定性，延长了模块的寿命。

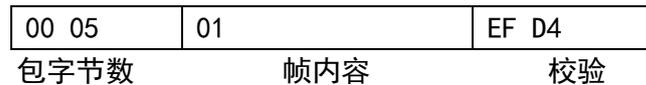
通信协议

1 包结构



包字节数包括帧内容加上 CRC 校验所包含的字节数，CRC16 校验包含包字节数加上帧内容校验后的结果，校验结果为 16 位，高字节在前。

例如 kGetModInfo 命令包如下：



2 参数格式

浮点数编码方式遵循 IEEE Std 754-1985 标准，整数遵循计算机补码编码方式。所有参数在编码后以字节模式发送，发送顺序与 kBigEndian 参数有关。

3 命令编码

帧命令编号如下表所示。

表 3.1 命令帧编号

帧 ID	命令编号	描述
1	kGetModInfo	查询固件版本
2	kGetModInfoResp	固件版本回应
3	kSetDataComponents	设置数据包元素
4	kGetData	请求数据
5	kGetDataResp	数据响应
6	kSetConfig	设置配置
7	kGetConfig	请求配置
8	kGetConfigResp	请求配置响应
9	kSave	保存参数
10	kStartCal	开始校准
11	kStopCal	停止校准
12	kSetFIRFilters	设置滤波器参数
13	kGetFIRFilters	查询滤波器参数
14	kGetFIRFiltersResp	查询滤波器参数响应
15	kPowerDown	掉电
16	kSaveDone	保存参数完成
17	kUserCalSampleCount	用户校准采样点数
18	kCalScore	校准得分
19	kSetConfigDone	设置配置参数完成
20	kSetFIRFiltersDone	设置 FIR 滤波器完成
21	kStartContinuousMode	开始连续模式采样
22	kStopContinuousMode	停止连续模式采样
23	kPowerUpDone	上电完成
24	kSetAcqParams	设置传感器采集参数

25	kGetAcqParams	查询传感器采集参数
26	kSetAcqParamsDone	设置传感器采集参数完成
27	kGetAcqParamsResp	查询传感器采集参数响应
28	kPowerDownDone	掉电完成
29	kFactoryMagCoeff	恢复磁传感器出厂参数
30	kFactoryMagCoeffDone	恢复磁传感器出厂校参数完成
31	kTakeUserCalSample	手动采样确认一次采样
36	kFactoryIAccelCoeff	恢复加速度计出厂参数
37	kFactoryIAccelCoeffDone	恢复加速度计出厂参数完成
46	kSetSyncMode	设置同步模式
47	kSetSyncModeResp	设置同步模式响应
49	kSyncRead	查询同步模式数据

3.1 kGetModInfo (frame ID 1)

这条命令用来查询设备种类和固件版本号，没有帧数据。

3.2 kGetModInfoResp (frame ID 2)

这条命令是 kGetModInfo 命令的响应，帧数据组成如下：

设备种类	版本号
------	-----

设备种类以及版本号以 ASCII 编码，例如 SEC301，字符串长度可以通过根据计算得出。

3.3 kSetDataComponents (frame ID 3)

这条命令设置数据元素种类，即传感器向外输出的数据包含的具体内容。帧内容如下：

ID Count	ID1	ID2	ID3	...
----------	-----	-----	-----	-----

ID Count 是元素数量，ID1、ID2、ID3 分别表示元素编号，长度为 1 个字节。元素编号如下表：
表 3.2 输出数据元素编号

元素	元素编号	格式	单位
kHeading	5	Float32	degrees
kPitch	24	Float32	degrees
kRoll	25	Float32	degrees
kTemperature	7	Float32	degrees
kDistortion	8	Boolean	True or False
kCalStatus	9	Boolean	True or False
kAccelX	21	Float32	G
kAccelY	22	Float32	G
kAccelZ	23	Float32	G
kMagX	27	Float32	μT
kMagY	28	Float32	μT
kMagZ	29	Float32	μT

设置完成以后传感器按照设置的数据元素输出数据。

3.4 kGetData (frame ID 4)

这条命令请求传感器输出数据，通常在应答模式下传感器只有收到请求命令才会输出一个数据包。输出数据包格式由 kSetDataComponents 设置的元素种类组成。

3.5 kGetDataResp (frame ID 5)

这条命令是传感器输出的数据包，作为 kGetData 的应答。数据包格式由 kSetDataComponents 设置的元素种类组成。帧数据格式如下：

ID Count	ID1	Value ID1	ID2	Value ID1	ID2	Value ID1
----------	-----	-----------	-----	-----------	-----	-----------

ID Count, ID1 为 1 个字节, Value 例如设置了航向角和俯仰角作为输出数据, Value 格式按照表 3.2, 数据编码按照“参数格式”描述, 以大端方式输出, 帧数据如下:

2	5	359.9	24	10.5
---	---	-------	----	------

3.6 kSetConfig(frame ID 6)

这条命令设置了传感器的内部参数, 每条命令可以设置一个或多个参数。如下所示, 帧数据的第一个字节要设置的参数个数, 其后是各个参数的参数 ID 加参数数据的组合。参数 ID 和数据类型参见下表。

表 3.3 配置参数角

参数名	ID	数据格式	参数范围	默认值
kDeclination	1	Float32	-180° to +180°	
kTrueNorth	2	Boolean	True or False	
kBigEndian	6	Boolean	True or False	
kMountingRef	10	UInt8	1 = STD 0° 2 = X UP 0° 3 = Y UP 0° 4 = STD 90° 5 = STD 180° 6 = STD 270° 7 = Z DOWN 0° 8 = X UP 90° 9 = X UP 180° 10 = X UP 270° 11 = Y UP 90° 12 = Y UP 180° 13 = Y UP 270° 14 = Z DOWN 90° 15 = Z DOWN 180° 16 = Z DOWN 270°	
kUserCalNumPoints	12	UInt32	4 - 32	
kUserCalAutoSampling	13	Boolean	True or False	
kBaudRate	14	UInt8	0 - 300 1 - 600 2 - 1200 3 - 1800 4 - 2400 5 - 3600 6 - 4800 7 - 7200 8 - 9600 9 - 14400 10 - 19200 11 - 28800 12 - 38400 13 - 57600 14 - 115200	

kMilOutput	15	Boolean	True or False	
kHPRDDuringCal	16	Boolean	True or False	
kMagCoeffSet	18	UInt32	0 - 7	
kAccelCoeffSet	19	UInt32	0 - 2	

kDeclination (Config. ID 1)

这个参数设置了输出航向角相对于真北航向角的偏差，向东偏为正，向西偏为负。

kTrueNorth (Config. ID 2)

设置航向角输出为相对于真北的航向角加上磁偏角的结果。

kBigEndian (Config. ID 6)

输出数据格式设置。真为大端模式，假为小端模式。

kMountingRef (Config. ID 10)

设置传感器的参考方向。默认设置为以 X, Y 水平, Z 轴沿重力延长线向上构成的正交坐标系为参考方向

kUserCalNumPoints (Config. ID 12)

设置校准过程的采样点数，每种校准的采样点数有一定的范围，校准点数设置过少可能导致校准后精度不理想，校准点数过多则计算时间变长。

kUserCalAutoSampling (Config. ID 13)

设置自动采样标志，真为自动采样，假为手动采样。

kBaudRate (Config. ID 14)

设置串口通信的波特率，支持的波特率编码参照上表。

kMilOutput (Config. ID 15)

姿态数据的输出单位，真表示单位是 mil, 。假表示输出数据单位是度。

kHPRDDuringCal (Config. ID 16)

设置是否在校准过程中同时输出航向、俯仰角、横滚角。真表示输出，假表示不输出。

3.6 kGetConfig (frame ID 7)

这条命令可查询一个参数 ID 对应的参数值。帧数据是参数 ID，一次只能查询一个参数值。

3.8 kGetConfigResp (frame ID 8)

这条命令是对 kGetConfig 的响应，根据请求参数 ID 来回复，格式如下。

ID1	Value ID1
-----	-----------

参数值数据格式参照

3.9 kSave (frame ID 9)

这条命令可以保存参数和校准参数结果到非易失寄存器。传感器每次上电后会从非易失寄存器读取参数，每次设置参数和校准以后的参数只有保存到非易失寄存器才能在下次启动的时候生效。本条命令数据区为空。

3.10 kStartCal (frame ID 10)

这条命令控制传感器开始校准。命令发送以后传感器将会开始采样，每采集一个点，采样点数参数 kUserCalSampCount 自加一次，并发给上位机。

当用户设置自动采样模式 (kUserCalAutoSampling 为真)，模块自动检测内部传感器变化，但变化量满足要求并且保持平稳以后自动采集当前数据。如果用户设置了手动采样模式 (kUserCalAutoSampling 为假)，只有当用户发送 kTakeUserCalSample 命令以后，模块自动保存当前位置下传感器数据作为一个采样点。当前采样点数满足采样点数设置后，模块开始计算校准参数保存到 RAM 中。本条命令的帧数据区只有一个值，校准类型编号。当用户收到该命令以后，进入到对应的校准模式，每种校准方式的相关介绍上文。

校准类型	编号
磁传感器空间模式	0x0A

平面校准	0x14
加速度计校准	0x64
加速度计磁传感器同步校准	0x6E

3.11 kStopCal (frame ID 11)

这条命令停止当前校准过程。如果采样点数比设置的点数少，本次校准无效，传感器自动恢复上次校准结果。本条命令的帧数据区为空。

3.15 kPowerDown (frame ID 15)

这条命令设置模块进入休眠模式，在休眠模式下模块快速进入低功耗。外部任何控制命令出现早RX引脚上时，模块自动退出休眠模式。

3.16 kSaveDone (frame ID 16)

这条命是模块对 kSave 命令的响应，模块存储数据完成以后发出本条命令通知上位机存储成功。

3.16 kUserCalSampleCount (frame ID 17)

这条命令是由模块发送给上位机，校准开始以后模块每获取到一个采样点后，向上位机回复当前已采集的点数。这条命令的帧数据区为 UInt32 格式 kUserCalSampleCount。

3.19 kSetConfigDone (frame ID 19)

这条命令是对 kSetConfig 命令的响应，表示参数设置完成。

3.21 kStartContinuousMode (frame ID 21)

这条命令设置模块工作在连续采集模式，模块以一定的速率向外输出，输出速率与采样延时参数 SampleDelay 有关，命令帧数据为空。

3.21 kStopContinuousMode (frame ID 22)

这条命令用来停止连续模式。本条命令的帧数据区为空。

3.23 kPowerUpDone (frame ID 23)

这条命令由模块发送给上位机，表示已经成功从休眠模式唤醒。这条命令的帧数据区为空。

3.24 kSetAcqParams (frame ID 24)

这条命令设置传感器的采集参数，帧数据去如下所示：

AcquisitionMode	FlushFilter	AquireDelay	SampleDelay
UInt8	UInt8	UInt32	UInt32

AcquisitionMode

设置模块输出方式，当该参数为真，模块以广播模式向外以固定速率发送数据，当该参数为假，模块以应答模式向外发送数据。

FlushFilter

内部滤波器使能标志，当该标志为真启用内部滤波器，当该标志为假禁用内部滤波器。

AquireDelay

这个参数设置了两次采样之间的延时，默认值为 0，表示当本次采集结束以后立刻开始下一次采样和计算。

3.28 kPowerDownDone (frame ID 28)

这条命令由模块发送给上位机，表示模块已成功接收进入睡眠模式命令，正在进入睡眠模式过程中，命令的帧数据区为空。

3.29 kFactoryUserCal (frame ID 28)

这条命令使模块清除所有用户校准数据，恢复出厂参数，但只是将参数恢复到 RAM 中，发送 kSave 命令后 RAM 中的参数会被保存至非易失存储器中。这条命令的帧数据区为空。

3.30 kFactoryUserCalDone (frame ID 30)

这条命令由模块发送给上位机，表示恢复出厂设置完成，这条命令的帧数据区为空。

3.31 kTakeUserCalSample (frame ID 31)

当模块工作在手动采样模式下，这条命令控制模块采集内部各传感器参数作为一个采样点，命令的帧数据区为空。