



运动姿态传感器微系统芯片数据手册

IMUi 610/611 (version 1.0/1.1)

Data Sheet

Date: 2025.1

注意:

惯性微系统（大连）有限公司有权更改或修改本文所包含信息，恕不另行通知。客户可自行获得最新修订的文档。

惯性微系统（大连）有限公司

地址：大连市高新技术产业园区高新街 2 号 3F

目录

1. 产品概述	- 1 -
2. 产品应用	- 1 -
2.1 汽车主动安全系统	- 1 -
2.2 人形机器人 2 自由度关节姿态控制	- 1 -
2.3 运动康复器械控制系统	- 2 -
2.4 平衡车控制系统	- 2 -
3. 机电性能	- 3 -
3.1 物理特性	- 3 -
3.2 电气连接	- 3 -
3.3 环境可靠性	- 4 -
3.4 电磁兼容性	- 4 -
4. 感测性能	- 4 -
4.1 系统性能参数	- 4 -
4.2 稳定性性能参数	- 5 -
4.3 线性性能参数	- 5 -
5. 数据通信协议	- 6 -
5.1 协议基础	- 6 -
5.1.1 通信方式	- 6 -
5.1.2 报文类型	- 6 -
5.1.3 报文结构	- 7 -
5.1.3.1 起始字节	- 7 -
5.1.3.2 字节数	- 7 -
5.1.3.3 功能字节	- 7 -
5.1.3.4 数据体	- 7 -
5.1.3.5 报文校验字节	- 10 -
5.1.3.6 报文结束字节	- 10 -
5.2 通信方式	- 10 -
5.2.1 串口通信	- 10 -
5.2.1.1 串口波特率设置	- 11 -
5.2.2 SPI 通信	- 11 -
5.2.2.1 SPI 通信主机示例代码	- 12 -
5.2.2.2 SPI 波特率设置	- 13 -
5.2.3 CAN 通信	- 13 -
5.2.3.1 CAN 报文定义	- 13 -
6. 外形及封装尺寸	- 14 -
7. 传感器编号意义	- 15 -
8. 引脚定义	- 15 -
9. 安装使用注意事项	- 16 -

1. 产品概述

IMUi (Inertial Measurement Unit for Industry) 即运动姿态传感器微系统芯片，是一种异构融合传感器芯片，用于描述物体空间运动姿态，包括三个轴向的加速度、角速度及其航向角、俯仰角、横滚角、倾斜角等 10 种数据 (IMUi610 与 IMUi611 的区别在于：IMUi610 无航向角输出)。它是针对工业控制行业的姿态控制、惯性测量、安全管理应用而设计的高性能低功耗的微型传感器芯片，是基于 MEMS 技术的高性能惯性测量单元 (IMU)，通过特定的传感器数据算法，解算出三维运动姿态数据。

2. 产品应用

运动姿态传感器微系统芯片能够实时描述物体的运动姿态，应用于：汽车主动安全系统、人形机器人 2 自由度关节姿态控制、运动康复器械姿态控制、云台、AR/VR、平衡车姿态控制等等领域。

2.1 汽车主动安全系统

运动姿态传感器能够描述汽车的空间运动姿态和惯性导航，为汽车安全电控系统提供传感数据，可以对车辆上坡、下坡、转向、弯道行驶、侧倾、侧滑、侧翻等车身运动姿态进行监测，保障驾驶安全。可以结合 GNSS 形成组合导航，保障导航的连续性和稳定性。

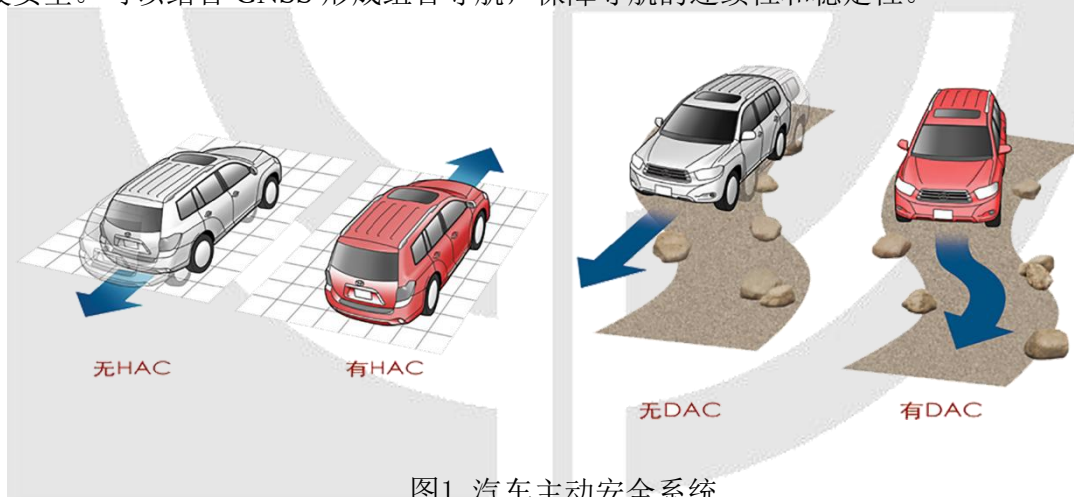


图1 汽车主动安全系统

2.2 人形机器人 2 自由度关节姿态控制

在军事场景中，人形机器人因其卓越的战场感知、信息处理和通信能力，能够执行高风险任务，如排爆、侦查和攻击，显著减轻士兵负担并提高作战效率。在工业领域，人形机器人可以代替人类进行复杂和重复的劳动，如质检、搬运和分拣，减少工人疲劳并加速智慧工厂的建设。此外，它们还可以作为家庭助手，执行家务任务如做饭、打扫和照顾老人和病人。

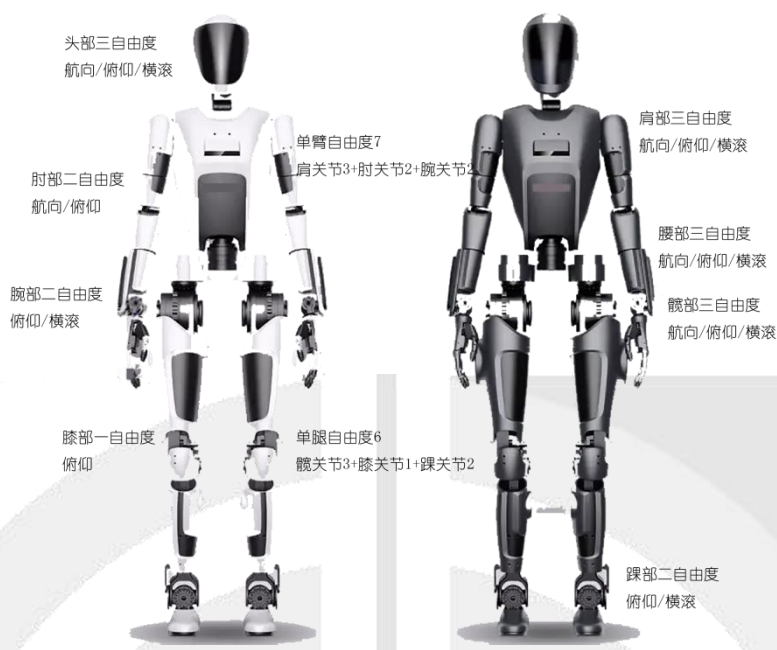


图2 人形机器人运动自由度

2.3 运动康复器械控制系统

基于 MEMS 的运动姿态传感器技术正越来越多地应用于运动康复领域：普遍应用于诊断器械中，这种诊断器械用于检测患者的心脏功能；可穿戴康复医疗器械应用，如：脑出血/脑梗/小儿麻痹后遗症患者的肢体康复训练，防摔倒检测，用于检测人们的跌倒行为，传感器的输出信号可用于激活报警或通过无线通信发出警报；用来构筑使用大数据的健康增强系统和运动训练辅助系统，通过运动姿态传感器来收集跑步距离、步数和姿态等信息。并在该传感器上组合使用蓝牙和 ZigBee 等无线模块（以实现 100m 的长距离无线连接），把收集的信息发送到 PC、智能手机和平板电脑上，然后再通过这些设备把数据发送到云端等。



图3 运动康复器械控制

2.4 平衡车控制系统

平衡车又名体感车，利用运动姿态传感器来检测车体姿态的变化，并利用伺服控制系统，精确地驱动电机进行相应的调整，以保持系统的平衡。运动姿态传感器可以获得运动物

体的姿态，包括俯仰、横滚、倾斜。通过内部算法对获得的姿态数据进行解算，及时输出准确的数据来检测物体的姿态变化，实现物体的平衡性控制，如 AR/VR、云台、电动轮椅等。



图4 平衡车控制

3. 机电性能

3.1 物理特性

表 1 物理特性

产品	描述
尺寸	26*15.2*2.7mm ³
重量	2.2g
封装	QFN-24
材料性质	半结晶高分子材料
制作工艺	集成
输出信号	数字型

3.2 电气连接

表 2 电气连接

产品	描述
工作电压	3.3V
工作电流	10mA
工作功耗	33mW
功能接口	UART、SPI、CAN

3.3 环境可靠性

表 3 环境可靠性

产品	严酷等级
振动强度	X 和 Y 轴, 10-1000Hz, 100m/s ² ; Z 轴, 10-1000Hz, 100m/s ²
冲击强度	峰值加速度 19600m/s ² , 标称脉冲持续时间 0.5ms, 速度变化量: 半正弦波 3.4m/s, 后峰锯齿波 2.7m/s, 梯形波 4.9m/s
温度环境	工作温度: -40-105℃ 存储温度: -40-125℃
湿度环境	-10℃-65℃, 相对湿度 45%-96%
快速温变	-40℃-85℃, 温度变化速率 (15±3) K/min

3.4 电磁兼容性

表 4 电磁兼容性

静电放电抗扰度	电磁辐射抗扰度	沿电源线瞬态传导
等级 4 级, 性能判据 B	场强 50V/M, 1 米法, 性能判据 A	等级 III 级, 性能判据 B

4. 感测性能

4.1 系统性能参数

表 5 系统性能参数

指标	参数
系统启动时间	0.3s
输出数据	航向角 (IMUi611)、俯仰角、横滚角、倾斜角 加速度、角速度
动态范围	Yaw: 0~360° ; Pitch: -90~+90° ; Roll: -180~+180° Tilt: -90~+90°
加速度量程	±2g/4g/8g/16g
角速度量程	±250/500/1000/2000dps
静态精度 (俯仰/横滚/倾斜)	0.02deg
静态精度 (航向)	0.01deg (6 轴算法, 无初始对准, 需 GNSS 辅助)
动态精度 (俯仰/横滚/倾斜)	0.5deg
动态精度 (航向)	0.1deg (6 轴算法, 无初始对准, 需 GNSS 辅助)
角度分辨率	0.0001deg
最大更新率	100Hz

陀螺仪	总噪声	0.05°/s @RMS
	角度随机游走(10Hz)	0.005°/s/√Hz
	零偏不稳定性 (10s)	8°/h (Allan 方差)
	非线性	0.2%
	最大更新速率	1000Hz
加速度计	灵敏度随温度变化率	±0.02%/°C
	加速度随机游走 (10Hz)	400 μg/√Hz
	零偏不稳定性	100μg (Allan 方差)
	非线性	0.5%
	最大更新速率	1000Hz

4.2 稳定性性能参数

表 6 稳定性性能参数

指标	航向角	俯仰角	横滚角	倾斜角
时间漂移	0.01° /h	0.001° /h	0.001° /h	0.009° /h
温度漂移	0.01° /°C	0.001° /°C	0.001° /°C	0.007° /°C

4.3 线性性能参数

表 7 线性性能参数

指标	角速度	加速度
启动时间	100ms	100ms
维度	三轴	三轴
ADC 位数	16Bit	16Bit
最小量程	±250dps	±2g
满量程	±2000dps	±16g
分辨率 _(最小量程时)	131LSB/(° /s)	16384LSB/g
分辨率 _(满量程时)	16.4 LSB/(° /s)	2048 LSB/g

表 8 各模块量程及对应分辨率

模块种类	量程	分辨率
三轴加速度	$\pm 2g$	16384 LSB/g
	$\pm 4g$	8192LSB/g
	$\pm 8g$	4096LSB/g
	$\pm 16g$	2048LSB/g
三轴角速度	$\pm 250dps$	131 LSB/ (dps)
	$\pm 500dps$	65.5 LSB/ (dps)
	$\pm 1000dps$	32.8 LSB/ (dps)
	$\pm 2000dps$	16.4 LSB/ (dps)

5. 数据通信协议

5.1 协议基础

5.1.1 通信方式

运动姿态传感器支持三种通信，分别为 UART、SPI 和 CAN 通信，用于传感器与终端之间信息报文的传输和接收。

5.1.2 数据类型

协议使用的数据类型如表 9 所示：

表 9 数据类型

数据类型	描述及要求
(n)BYTE	无符号单字节整型（字节，8 位,n 代表 n 个字节）
WORD	无符号双字节整型（字节，16 位）

5.1.2 报文类型

根据功能和类型，传感器支持的报文分为两大类共 4 种：

1、传感器发送给终端的报文

（1）传感器的原始 ADC 数据，该 ADC 数据是指直接从传感器中读取出来的数值，ADC 转化的结果；

(2) 传感器解算后的姿态角、倾斜角，将传感器的数值进行解算，得到目标载体的当前姿态，航向角（IMUi611）、俯仰角与横滚角这三个姿态角数据及倾斜角数据；

2、终端发送给传感器的报文

(1) 传感器参数设置命令，终端发送参数命令控制传感器的工作模式；

(2) 传感器校准设置命令，终端发送校准命令控制传感器校准。

5.1.3 报文结构

每条报文由起始字节、字节数、功能字节、数据体、校验字节和结束字节组成，报文结构图如表 10 所示：

表 10 报文结构

起始字节	字节数	功能字节	数据体	检验字节	结束字节
------	-----	------	-----	------	------

5.1.3.1 起始字节

报文起始字节，共两个字节，第一个字节为 0x7A，第二个字节为 0x7B。

5.1.3.2 字节数

报文包含的字节总数，包括报文校验字节和报文结束字节（报文起始字节除外）。

5.1.3.3 功能字节

报文功能字节，用于表示该报文所指定的报文类型，其具体的分类如表 11 所示：

表 11 功能字节

字节值	代表的报文类型
0XB0	传感器原始的 ADC 数据
0XB1	传感器解算后的姿态角报文
0XB2	传感器参数设置命令
0XB3	传感器校准设置命令

5.1.3.4 数据体

数据体封装了传感器的数据值，不同类型的报文其数据体格式也是各不相同，故有 4 种不同类型的数据体格式。

(1) 传感器的原始 ADC 数据报文的数据体格式如表 12 所示：

表 12 传感器的原始 ADC 数据报文的数据体格式

起始字节	字段	数据类型	描述及要求
0	加速度 X 轴值	WORD	加速度 X 轴是一个 16 位的双字节数，并且双字节的最高位代表正负（0 为正 1 为负），后面 15 代表数据大小。假设 X 轴的输出值为 0X8523，因为 0X8523 最高位为 1 则代表负，所以其数值实际大小为 0X0523
2	加速度 Y 轴值	WORD	同上所述
4	加速度 Z 轴值	WORD	同上所述
6	角速度 X 轴值	WORD	同上所述
8	角速度 Y 轴值	WORD	同上所述
10	角速度 Z 轴值	WORD	同上所述

(2) 传感器解算后的姿态角报文的数据体格式如表 13 所示：

表 13 传感器解算后的姿态角报文的数据体格式

起始字节	字段	数据类型	描述及要求
0	航向角 (IMUi611)	(3)BYTE	航向角是一个 24 位的三字节数，并且首字节的最高位代表正负（0 为正 1 为负），后面 23 位代表数据大小。假设输出航向角值为 0X089300，因为 0X089300 最高位为 0 则代表正，所以其数值实际大小为 0X089300，则航向角为 56.1920°。
3	俯仰角	(3)BYTE	同上所述
6	横滚角	(3)BYTE	同上所述
9	倾斜角	(3)BYTE	同上所述
12	ASV 解算速率	WORD	ASV 解算速率是指每秒进行的姿态解算频率，它是一个 16 位的双字节，并且只

			能是正数
--	--	--	------

(3) 传感器参数设置命令报文的数据体格式如表 14 所示：

表 14 传感器参数设置命令报文的数据体格式

起始字节	字段	数据类型	描述及要求	
0	加速度量程设置	BYTE	00: $\pm 2g$	
			01: $\pm 4g$	
			02: $\pm 8g$	
			03: $\pm 16g$	
1	角速度量程设置	BYTE	00: $\pm 250^{\circ} /s$	
			01: $\pm 500^{\circ} /s$	
			02: $\pm 1000^{\circ} /s$	
			03: $\pm 2000^{\circ} /s$	
2	需要的传感器报文类型	BYTE	00: 传感器原始的 ADC 数据	
			01: 解算后的姿态角	
			02: 两种数据报文同时支持	
3	传感器上传帧率	BYTE	00: 10 (帧/秒)	
			01: 20 (帧/秒)	
			02: 50 (帧/秒)	
			03: 70 (帧/秒)	
			04: 100 (帧/秒)	
4	通信类型设置	BYTE	00: 串口通信	
			01: CAN(标准)	
			SPI 通信设置详见 5.2	
5	波特率设置	BYTE	00:2400	01:4800
			02:9600	03:14400
			04:19200	05:38400
			06:56000	07:115200

传感器参数设置命令可以使用仿真测试软件设定并下发给传感器；用户也可以根据上表提供的报文格式使用用户的 MCU、工具软件（串口助手等）通过串口下发给传感器。

（4）传感器校准的数据体格式如表 15 所示：

表 15 传感器校准的数据体格式

起始字节	字段	数据类型	描述及要求	
0	传感器校准	BYTE	位 1:0	AB：水平校准
				00：陀螺校准

传感器校准建议使用仿真软件校准或通过用户 MCU 编辑命令校准。

5.1.3.5 报文校验字节

报文校验字节，用于校验报文发送是否正确，校验方法：除了报文起始字节和报文结束字节外，所有数据进行异或处理。

报文校验字节示例：传感器解算后的姿态角、倾角报文内容为 0x7A 0x7B 0x12 0xB1 0x20 0x0A 0x5B 0x00 0x4D 0x84 0x80 0x09 0x52 0x00 0x01 0x78 0x00 0x78 0xC1 0xBB

其中 0xC1 为校验字节，计算方法为： $0xC1 = 0x12 \oplus 0xB1 \oplus 0x20 \oplus 0x0A \oplus 0x5B \oplus 0x00 \oplus 0x4D \oplus 0x84 \oplus 0x80 \oplus 0x09 \oplus 0x52 \oplus 0x00 \oplus 0x01 \oplus 0x78 \oplus 0x00 \oplus 0x78$

（注：0x12 为报文字节数，除却 0x7A 与 0x7B 外整条报文共有 18 个字节，故为 0x12）

5.1.3.6 报文结束字节

报文结束字节，表示报文结束，用 0xBB 表示报文结束字节。

传感器 ADC 数据报文示例：7A 7B 16 B0 00 1B 84 CC 3E 66 80 F2 00 9C 80 88 25 BB

姿态角报文示例：7A 7B 12 B1 22 4C AC 00 21 1F 80 F8 8B 00 04 4F 00 78 9F BB

传感器参数设置命令报文示例：7A 7B 0B B2 00 02 02 01 00 07 BE BB

5.2 通信方式

5.2.1 串口通信

在串口通信模式下，传感器与终端主控器连接需要满足以下条件：

（1）相同的波特率，传感器出厂默认波特率为 115200bps；

(2) 相同的帧格式，传感器使用 8 位数据，一个起始位+一个停止位。

传感器与终端主控机典型的连接方式如图7所示：

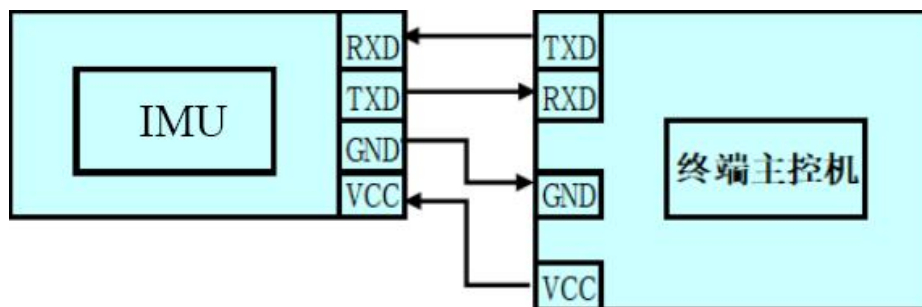


图5 传感器与终端主控机连接示意图

5.2.1.1 串口波特率设置

想要设置串口波特率，则在终端控制命令报文的数据体中把通信类型字节设置为0x00，与此同时，在波特率设置字节中，设置想要的串口波特率。传感器支持的几种常用波特率如表17所示（单位：bps）：

表16 传感器串口常用波特率

波特率	2400	4800	9600	14400	19200	38400	56000	115200
波特率设置	0X00	0X01	0X02	0X03	0X04	0X05	0X06	0X07

5.2.2 SPI 通信

本设备作为从设备，SPI 为 4 线同步串行接口，其中，串行时钟输出（SCK）、数据输出（MOSI）、数据输入（MISO）和片选（/CS）。主设备为从设备提供一个片选（/CS），传输开始后/CS 拉低，传输结束/CS 拉高。在 SPI 通信模式下，传感器的 SPI 传输特性为：

- (1) 8 位数据位，最高位（MSB）先传，最低位（LSB）后传；
- (2) 数据在时钟（SCK）的上升沿捕获；
- (3) 最大传输速率为 2.25Mbps，传感器出厂默认为 281.25Kbps。

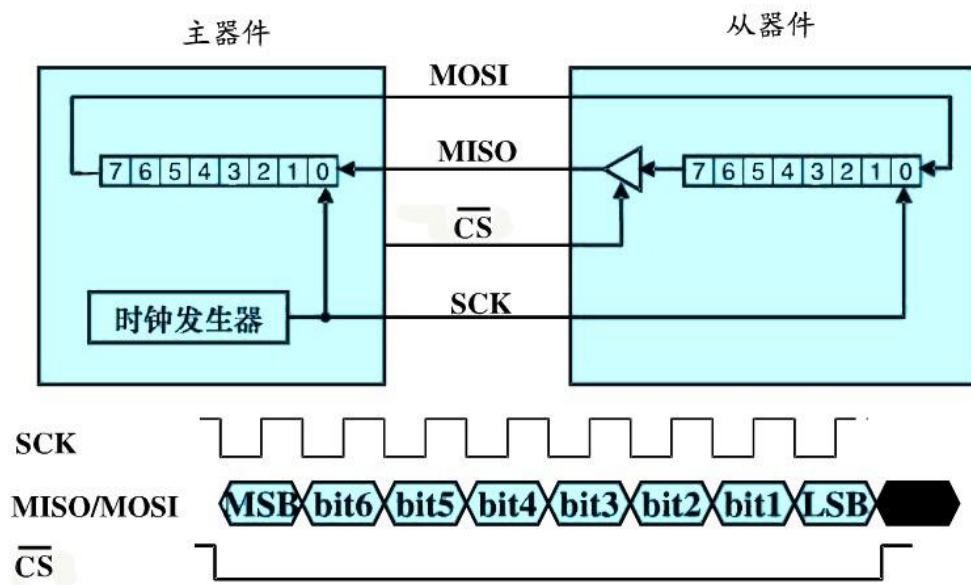


图 6 SPI 传输协议

5.2.2.1 SPI 通信主机示例代码

(1) 读取传感器原始 ADC 数据

SPI_CS=0; //片选拉低

(delay_ms(1);) //适当延时

SPI_ReceiveSendByte(0xB0);

SPI_ReceiveSendByte(0xFF);

SPI_ReceiveSendByte(0xFF);

.....

SPI_ReceiveSendByte(0xFF);

SPI_CS=1; //片选拉高

(delay_ms(10);) //适当延时

(2) 读取传感器解算后的姿态角、倾斜角

SPI_CS=0; //片选拉低

(delay_ms(1);) //适当延时

SPI_ReceiveSendByte(0xB1);

SPI_ReceiveSendByte(0xFF);

SPI_ReceiveSendByte(0xFF);

.....

SPI_ReceiveSendByte(0xFF);

SPI_CS=1; //片选拉高

(delay_ms(10);) //适当延时

共 17 个

共 19 个 (IMUi610 为 16 个)

5.2.2.2 SPI 波特率设置

表17 传感器 SPI 常用波特率

波特率	281.25K	561.5K	1.13M	2.25M
波特率设置	0X00	0X01	0X02	0X03

5.2.3 CAN 通信

在 CAN 通信模式下，IMU 与终端主控器连接需要满足以下条件：

- (1) 相同的波特率，IMU 出厂默认波特率为 500Kbps；
- (2) 相同的帧格式，IMU 使用标准格式帧，报文标识符为 11 位。

IMU 与终端主控机典型的连接方式如图7所示：

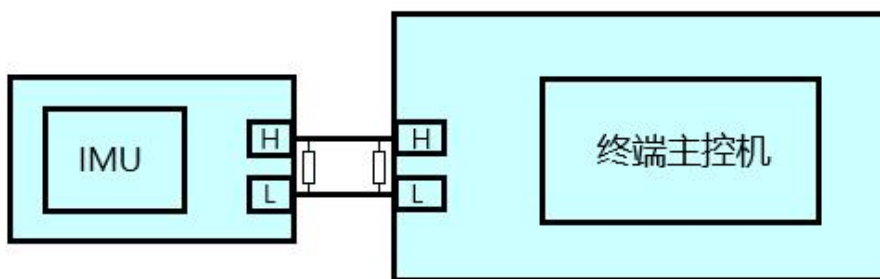


图7 IMU 与终端主控机 CAN 连接示意图

5.2.3.1 CAN 报文定义

表 18 CAN 报文定义

报文标识符（十六进制）	数据字节数（十进制）	数据体
0x11	20	传感器解算后的姿态角报文 （见表 13）
0x12	18	传感器原始的 ADC 数据（见表 12）

6. 外形及封装尺寸

（单位：mm）

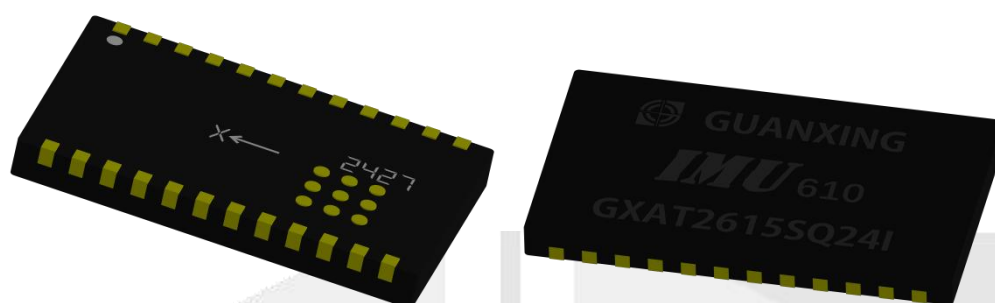


图8 运动姿态传感器微系统芯片外形图

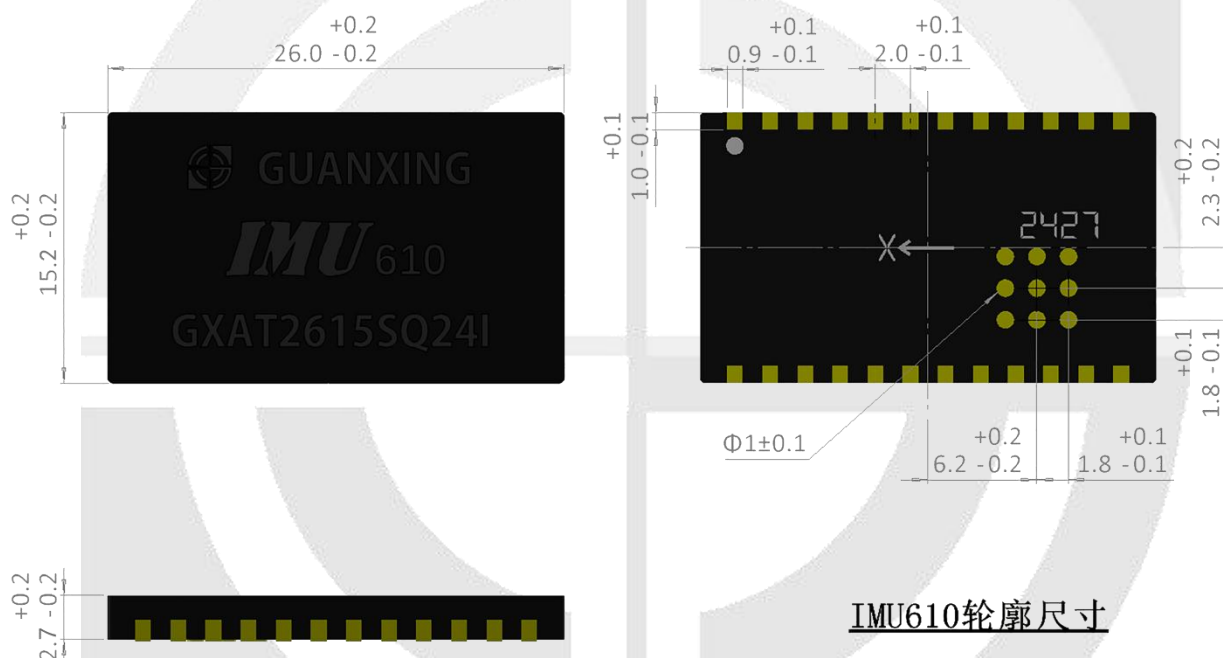


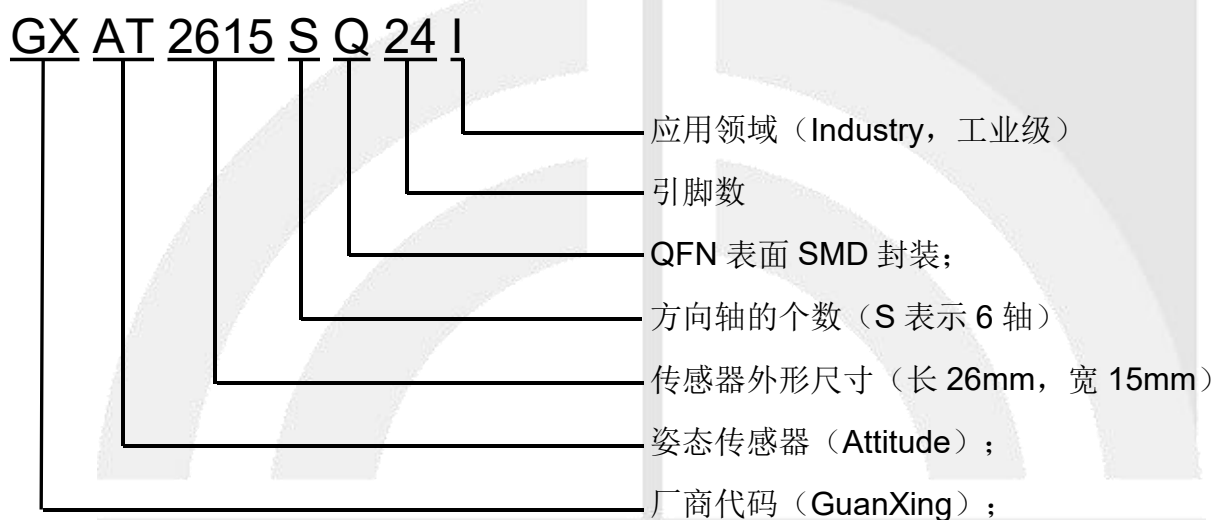
图9 运动姿态传感器微系统芯片封装尺寸

表18 运动姿态传感器微系统芯片封装尺寸

编号	最小值	正常值	最大值
A	25.80	26.00	26.20
B	15.00	15.20	15.40
C	0.90	1.00	1.10
D	0.80	0.90	1.00
E	1.90	2.00	2.10
F	2.10	2.30	2.50

G	1.70	1.80	1.90
H（外径）	0.90	1.00	1.10
J	1.70	1.80	1.90
K	6.00	6.20	6.40
L	2.50	2.70	2.90

7. 传感器编号意义



8. 引脚定义

表 19 运动姿态传感器微系统芯片外围引脚定义

引脚编号	引脚名称	引脚类型	引脚功能描述
1	D3.3	P	数字 3.3V
2	USART2_TX	I/O	串口 2 数据发送端
3	USART2_RX	I/O	串口 2 数据接收端
4	AGND	G	接地
5	AGND	G	接地
6	CANRX	I/O	CAN 总线数据接收端
7	CANTX	I/O	CAN 总线数据发送端
8	D3.3	P	数字 3.3V
9	LED	I/O	信号指示接口
10	AGND	G	接地

11	BOOT0	I/O	BOOT0 接口
12	D3.3	P	数字 3.3V
13	A3.3	P	模拟 3.3V
14	USART1_TX	I/O	串口 1 数据发送端
15	USART1_RX	I/O	串口 1 数据接收端
16	AGND	G	接地
17	SPI_CS	I/O	SPI 总线片选
18	SPI_SCK	I/O	SPI 总线串行时钟输出
19	SPI_MISO	I/O	SPI 总线数据输入
20	SPI_MOSI	I/O	SPI 总线数据输出
21	D3.3	P	数字 3.3V
22	SPI_DRQ	I/O	SPI 总线数据应答信号
23	AGND	G	接地
24	A3.3	P	模拟 3.3V

9. 安装使用注意事项

（1）传感器应水平朝前安装（X 轴箭头方向），与被测载体的机头方向一致。强烈的震动会影响传感器解算精度，建议将传感器安装在减震架上。为了提高测量数据的准确性，传感器尽量安装在被测载体的重心位置。

（2）传感器应水平安装。为提高姿态测量精度，安装完成后可利用本公司仿真测试软件进行水平和陀螺校准，或利用客户终端 MCU 按前述规则编写校准指令进行水平和陀螺校准。

（3）本芯片默认通信接口采用 UART2、SPI 和 CAN 进行通信。