



战术级 MEMS 6 自由度惯性传感器

FSS-IMUP9 产品手册

战术级 MEMS 陀螺仪

- $0.2^{\circ}/\text{hr}$ 零偏不稳定性
- $0.015^{\circ}/\sqrt{\text{hr}}$ 角度随机游走
- $30^{\circ}/\text{hr}$ 温漂
($-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$, $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ @ 1σ)

战术级 MEMS 加速度计

- $10\mu\text{g}$ 零偏不稳定性
- $0.02\text{m/s}/\sqrt{\text{hr}}$ 速度随机游走
- 0.5mg 温漂 ($-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$, $\leq 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ @ 1σ)

大范围精细化温度补偿

- -40°C 至 85°C 温度补偿
- 精细化温度标定

独立转台标定

- 独立标定每个模块：灵敏度、零偏、非正交误差

高强度工况耐受

- 超强冲击耐受：2000g (0.5ms, 半正弦, 3 轴)
- 超强振动耐受：10g ($10 \sim 2\text{KHz}$, 3 轴)
- 全温环境稳定工作： $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$
- 100%磁屏蔽

实时而灵活的数字接口、体积小巧

- 高达 1KHz 的可配置输出采样率
- 支持串口 422
- $38.6 \times 44.8 \times 21.5\text{mm}$, 重量约 48.5g

产品概述

FSS-IMUP9 是原极科技倾力打造的 6 自由度 MEMS 惯性传感器模块。标配输出三轴陀螺仪与加速度信息。

高精度、高分辨率，可捕捉细微的震动与倾斜。大量程的输出，让大动态下的动作感知成为可能。所有模块出厂前都配置超宽温域的精细化温补与独立标定，让每个模块都能在各种极限工况下稳定发挥，同时保证所有产品性能高度一致。

应用领域

- 航空测绘

在标准性能及输出参数的基础上，原极也为您的特殊需求提供定制化软件及 LOGO 定制服务，在产品上助您一臂之力！

目录

1. 性能参数	2
1.1 陀螺仪关键性能参数	2
1.2 加速度计关键性能指标	3
2. 外形结构	5
3. 规格	6
3.1 最大额定绝对值	6
3.2 EMC	6
3.3 ESD 等级	6
4. 电气特性	7
5. 引脚定义	8
6. 推荐连接方式	9
7. 串口通信协议	10
7.1 串口接口参数	10
7.2 数据包格式	10
7.3 数据流帧——AHRS 数据	11
7.4 命令模式 GET 输出——系统状态	12
7.5 命令模式 GET 输出——读取参数	13
7.6 命令模式 SET 指令	14
7.7 命令模式输出——用户命令响应	16
7.8 DRDY	18
7.9 时间同步	19
7.9.1 输入要求:	19
7.10 常用 AT 指令	19
7.10.1 停止当前数据流输出	19
7.10.2 查询版本号	19
7.10.3 查询用户参数	19
7.10.4 设置和查询 ODR	20
7.10.5 设置和查询坐标系	20
7.10.6 设置和查询波特率	20
7.10.7 设置和查询滤波器	20
7.10.8 保存参数	21
7.11 串口连接常见问题	21
8. 坐标系定义	23
9. CRC 查表法计算	24
10. 选配附件	27
11. 更新记录	27

1. 性能参数

1.1 陀螺仪关键性能参数

表 1 陀螺仪关键指标

参数	测试条件/备注	典型值	单位
测量范围		±300	° /s
零偏不稳定性 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1 σ	X/Y: 0.2 Z: 0.15	° /hr
零偏稳定性	国军标, 10S 平滑	1.5	° /hr
零偏重复性	国军标	7	° /hr
轴间非正交		0.01	deg
全温范围零偏变化 ¹	-40 ~ 85°C ≤1°C/min std @1σ	X/Y: 30 Z: 10	° /h
随机游走 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1 σ	X/Y: 0.01 Z: 0.015	° /√hr
刻度系数误差		X/Y: 1.5 Z: 1	‰
刻度系数非线性		100	ppm
分辨率		0.0003	° /s
内部低通截止频率		68	Hz
采样率		1000	Hz
测量延时		10	ms

注 1: 1°C/分钟升温情况下全温零偏变化 1σ 值

注 2: IEEE 标准, 在静态 25°C 环境下 Allan 方差曲线给出

1.2 加速度计关键性能指标

表 2 加速度计关键指标

参数	测试条件/备注	典型值	单位
测量范围		± 8	g
零偏不稳定性 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1σ	10	μg
零偏稳定性	国军标, 10S 平滑	25	μg
零偏重复性	国军标	0.1	mg
轴间非正交		0.01	deg
全温范围零偏变化 ¹	-40 ~ 85°C $\leq 1^\circ\text{C}/\text{min std @}1\sigma$	0.5	mg
随机游走 ²	@25°C, ALLAN 方差, 1σ	0.02	m/s/ $\sqrt{\text{hr}}$
刻度系数误差		0.2	‰
刻度系数非线性		50	ppm
分辨率		1.5313	mg
内部低通截止频率		68	Hz
采样率		1000	Hz
测量延时		10	ms

注 1: $1^\circ\text{C}/\text{分钟}$ 升温情况下全温零偏变化 1σ 值

注 2: IEEE 标准, 在静态 25°C 环境下 Allan 方差曲线给出

图 1 陀螺仪 ALLAN 方差典型曲线

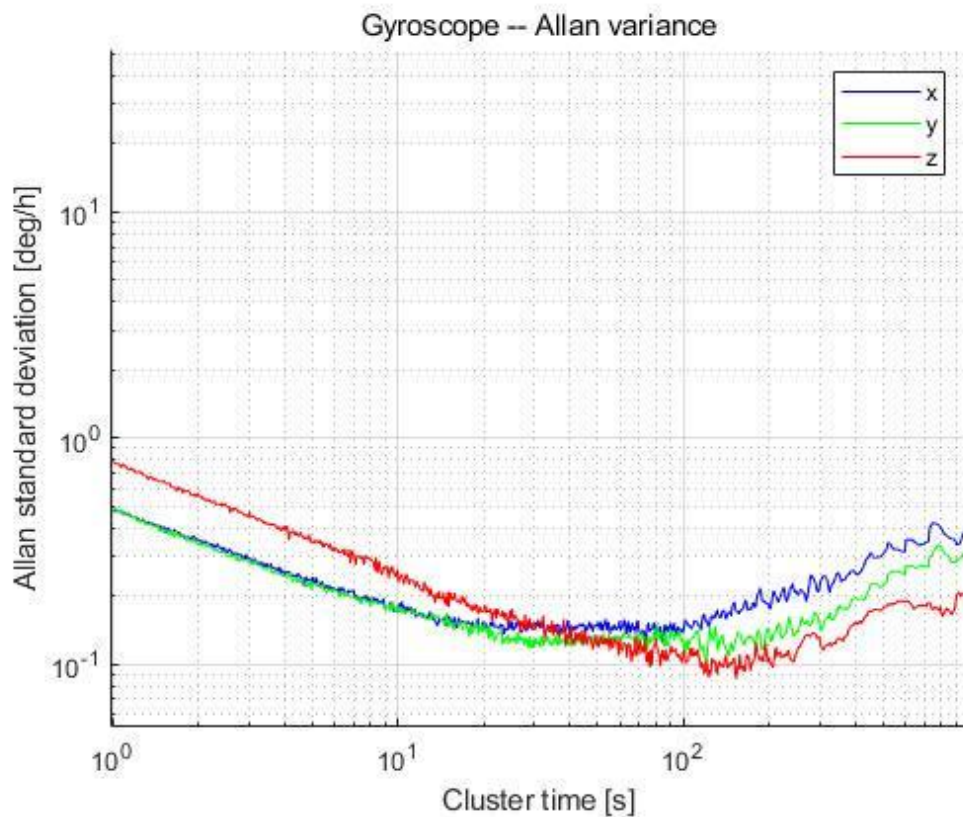
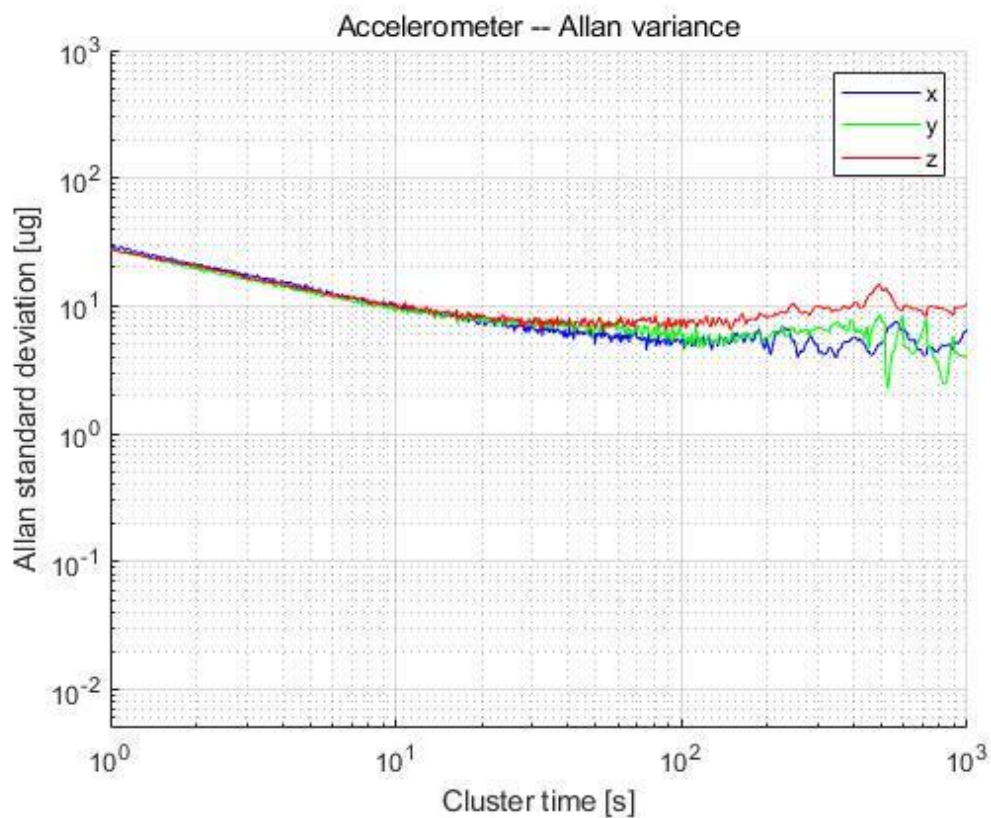


图 2 加速度计 ALLAN 方差典型曲线



2. 外形结构

图 3 外形结构及尺寸（单位：mm）

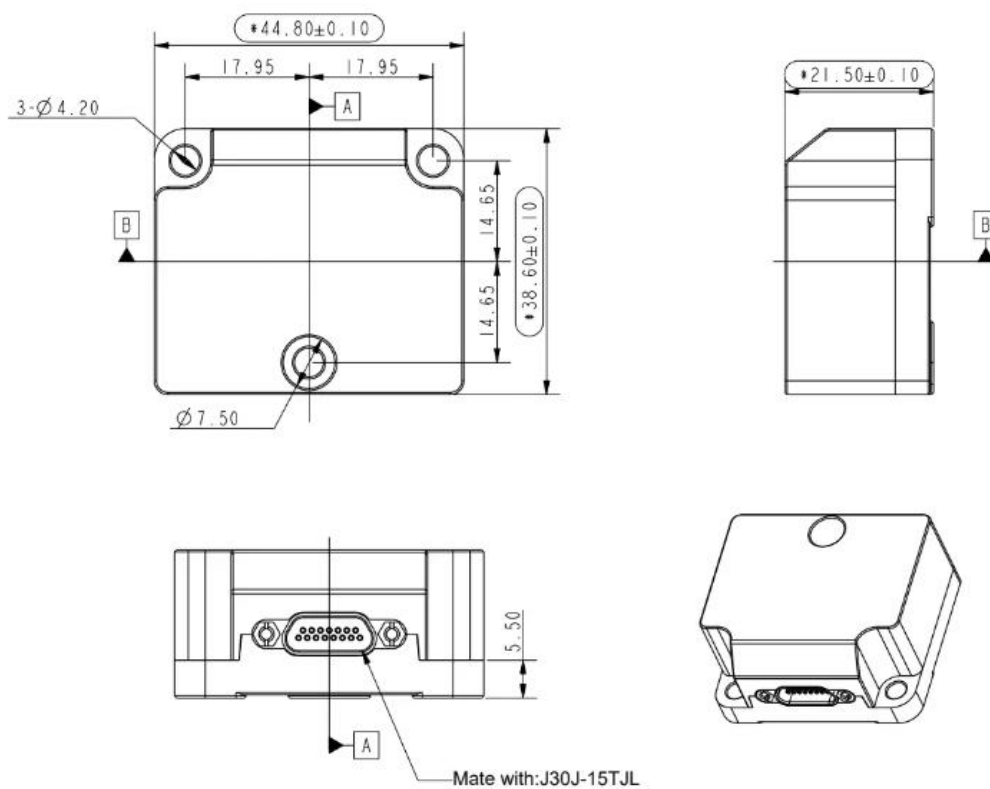


图 4 IMU 测量中心位置（单位：mm）

3. 规格

3.1 最大额定绝对值

表 3 最大额定绝对值

参数	级别	备注
ESD	$\pm 2000V$	
储存温度	$-55^{\circ}C \sim 90^{\circ}C$	
VSUP to GND	$-0.5V \sim 6.5V$	
使用温度	$-40^{\circ}C \sim +85^{\circ}C$	
RXD+/RXD- to GND	$-0.3V \sim +7V$	匹配电阻=120 Ω
RXD+ to RXD-	$\pm 6V$	
TXD+/TXD- to GND	$-8V \sim +8V$	
ExtTrig to GND	$-0.3V \sim +7V$	
NRST to GND	$-0.3V \sim +7V$	
DATA READY to GND	$-0.3V \sim +7V$	

3.2 EMC

表 4 EMC

测试项目	测试标准
CE	符合 EN55032 CISPR 16-2-1
CS	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-6
EFT	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-4
RE	符合 EN55032 CISPR 16-2-3
RS	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-3
ESD	符合 EN55035 EN(IEC) 61000-4-2

3.3 ESD 等级

表 5 ESD 等级

V (ESD) 静电放电	测试模式	测试标准	测试等级
	接触放电	符合	± 8 KV
	空气放电	EN(IEC) 61000-4-2	± 15 KV

4. 电气特性

表 6 电气特性

参数	条件	最小	典型	最大	单位
电源输入		4.5	5	5.5	V
功率			1.08		W
储存温度		-55		90	°C
使用温度		-40		85	°C
RS422 输入电阻			120		Ω
RESET (NRST PIN)	High	2.3			V
	Low			0.6	V
NRST 内部上拉电阻			4.7		KΩ
Data Ready			3.3		V
ExtTrig	High	2.3			V
	Low			0.6	V

注：当电源电压高于 6V 时，内部电压保护电路将切断电源和设备进入复位状态，直到电压回到工作条件，恢复工作。

5. 引脚定义

图 5 引脚示意图

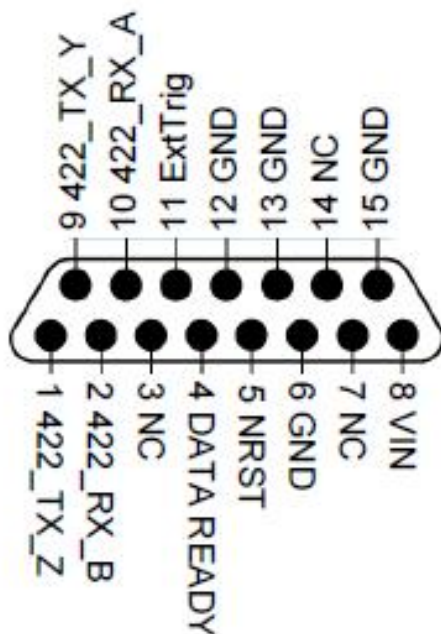


表 7 引脚定义

引脚序号	引脚名称	引脚描述
1	422_TX_Z	RS-422,TXD-
2	422_RX_B	RS-422,RXD-
3	NC	不接
4	DATA READY	Data Ready
5	NRST	外部硬件复位输入，内部上拉
6	GND	信号地
7	NC	不接
8	VIN	电源输入，+5V 输入
9	422_TX_Y	RS-422,TXD+
10	422_RX_A	RS-422,RXD+
11	ExtTrig	外部触发器
12	GND	电源地
13	GND	电源地
14	NC	不接
15	GND	电源地

6. 推荐连接方式

图 6 正常采集模式框图

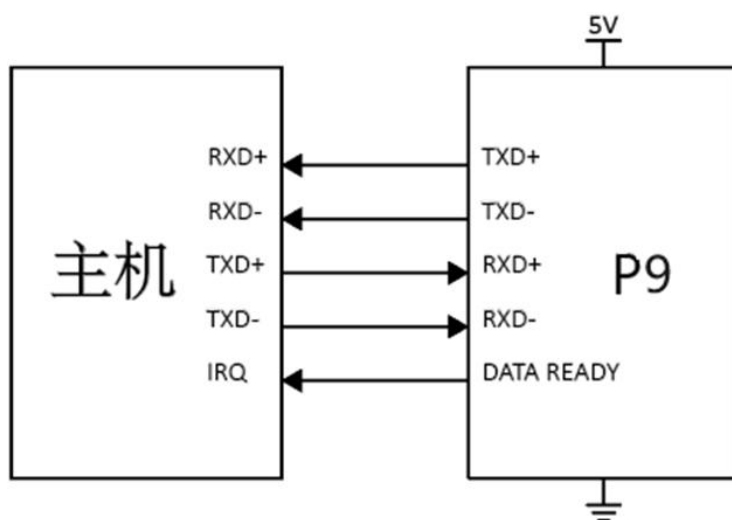
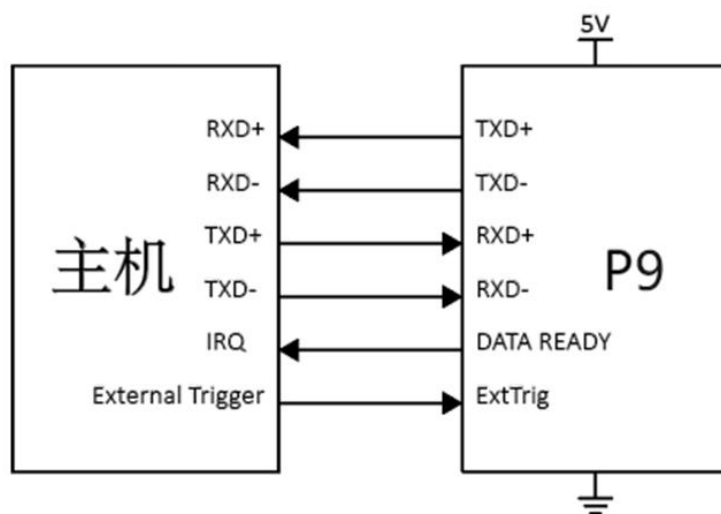


图 7 触发采集模式框图



7. 串口通信协议

基于 QT、ROS 和 STM32 的串口协议示例：

<https://data.forsense-imu.com/page/download.html>

串口通信具有两种模式：数据流模式(Stream Mode)和命令模式(Command Mode)，IMU 在上电初始化完成后，根据参数配置的模式值进入对应模式。

数据流模式：以固定频率周期性输出 AHRS 数据；

命令模式：在此模式下，停止周期性输出，用户通过发送命令与 IMU 进行通信，可通过 GET 指令获取传感器数据、状态、参数等，也可配置 IMU 的参数。

7.1 串口接口参数

表 8 串口接口参数

传输速率范围	115200bps ~ 1.5Mbps
默认传输速率	115200bps
开始位	1 bit
数据位	8 bits
停止位	1 bit
奇偶校验	无

7.2 数据包格式

IMU 输出和用户输入的数据包结构组成如下：

表 9 IMU 输出和用户输入数据结构

偏移量	数据类型	名称	描述
0	uint8	帧头 1	IMU 输出帧头：0xAA, 0x55 用户输入帧头：0x55, 0xAA
1	uint8	帧头 2	
2	uint16	ID 低位	串口通信帧 ID 的低位字节
3		ID 高位	串口通信帧 ID 的高位字节
4	uint16	数据长度低位	串口通信帧长度的低位字节，length 为 payload 所占字节数，即为 n
5		数据长度高位	

			节, length 为 payload 所占字节数, 即为 n
6	uint8	Payload (n 个字节)	数据负载
6+n	UInt32	CRC_CEHCK (32 位数据低字节)	CRC 校验
7+n		CRC_CEHCK (32 位数据中低字节)	
8+n		CRC_CEHCK (32 位数据中高字节)	
9+n		RC_CEHCK (32 位数据高字节)	

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，查表计算法见文档末尾

7.3 数据流帧——AHRS 数据

表 10 串口 AHRS 数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	A1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x0002	0x002C		crc32

表 11 串口 A1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	单位	描述
0	timer	uint32	μs	时间标
4	/	/	/	/
8	/	/	/	/
12	/	/	/	/
16	ax	float	g	X 轴加速度
20	ay	float	g	Y 轴加速度
24	az	float	g	Z 轴加速度
28	gx	float	°/s	X 轴角速度
32	gy	float	°/s	Y 轴角速度
36	gz	float	°/s	Z 轴角速度
40	temp	float	°C	IMU 芯片温度

例：获取到 AHRS 数据流：

AA 55 02 00 2C 00 6D 89 16 05 8F C2 65 40 14 AE 07 BF 5C 0F B2 43 25 06 81 3D

BC 74 13 3C 60 E5 80 BF EC 51 38 BD 0A D7 A3 BB CD CC CC BC D7 A3 EE 41 0C BF
84 80

解析如下：

表 12 串口 A1 获取到 AHRS 数据流

描述	原始值	解析值	描述	原始值	解析值
ID	0200	02	Y 轴加速度	BC74133C	0.009g
长度	2C00	44	Z 轴加速度	60E580BF	-1.007g
时间标	6D891605	85363053	X 轴角速度	EC5138BD	-0.045° /s
俯仰角	8FC26540	3.59°	Y 轴角速度	0AD7A3BB	-0.005° /s
横滚角	14AE07BF	-0.53°	Z 轴角速度	CDCCCCBC	-0.025° /s
航向角	5C0FB243	356.12°	IMU 芯片温度	D7A3EE41	29.83°C
X 轴加速度	2506813D	0.063g	crc32 校验	0CBF8480	2156183308

7.4 命令模式 GET 输出——系统状态

表 13 串口系统状态数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	S1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x00FF	N		crc32

注 1：不同 IMU 型号，此帧的长度会有差别，都代表 S1 的长度，需要根据 IMU 型号确认。

表 14 串口 S1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Software_ver	uint32	软件版本号
4	Hardware_ver	uint32	硬件版本号
8	rev	uint16	保留字节
10	sn0	uint32	第一 SN 号
14	sn1	uint32	第二 SN 号
18	sn2	uint32	第三 SN 号
22	Board_version	uint32	底板版本号
26	Rev[16]	Uint8	后续都是保留字节

注 1：不同 IMU 型号，后续保留字节也不同，需要根据 imu 型号进行确认，IMU614E 为 16 字节。

例：获取系统状态

输入数据：55 AA 01 00 18 00 BD DB 31 34

响应数据：AA 55 FF 00 2A 00 1F 39 03 00 65 6F 01 00 50 83 30 33 35 55 34 50 15 FF 8F 5F FF FF 50 83 FF 1F 29 00 00 00 00 E0 00 07 10 17 08 50 D0 37 10 3B 7A C3 00 02

根据响应数据，解析得到软件版本号 211231 (1F 39 03 00)，硬件版本号 94053 (65 6F 01 00)。

7.5 命令模式 GET 输出——读取参数

表 15 串口参数输入数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	P1	uint32
编码	0x55	0xAA	0x0006	0x0018		crc32

表 16 串口参数输出数据格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	P1	uint32
编码	0xAA	0x55	0x7530	0x0018		crc32

注 1：读取参数时，IMU 会将数据流关闭，设置完毕后需要重新开启数据流。

表 17 串口 P1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Param1	float	获取的参数（输入数据可无视）
4	Param2	float	保留，默认为 0
8	Param3	uint32	设置的参数索引
12	Param4	uint32	保留，默认为 0
16	Param5	Int32	保留，默认为 0
20	Param6	Int32	保留，默认为 0

表 18 串口 P1 负载参数索引表

Param3	Param1	单位
3	串口输出波特率，支持以下波特率 115200、230400、460800、921600、1500000	bps
4	坐标系朝向（见表 25 坐标系朝向对应表）	
8	X 轴陀螺零偏标定结果，GYRO_X_OFF	° /s
9	Y 轴陀螺零偏标定结果，GYRO_Y_OFF	° /s
10	Z 轴陀螺零偏标定结果，GYRO_Z_OFF	° /s
21	AHRS 输出频率，默认 100Hz	Hz
31	内部滤波器配置，定义同 SPI 的 FILTER_CTRL 对照表	

例：获取 AHRS 输出频率

输入数据：55 AA 06 00 18 00 00 00 00 00 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 66 CB 46 AC

响应数据：AA 55 30 75 18 00 00 00 48 42 00 00 00 00 15 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 31 2F A2 0A

根据响应数据，解析得到输出频率为 50hz（00 00 48 42）。

7.6 命令模式 SET 指令

表 19 串口输入命令格式

	帧头	帧头	ID	length	payload	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	R1	uint32
编码	0x55	0xAA	CMD	0x0018		crc32

注 1：CMD 与 R1 关系，详见 R1 负载参数索引表

表 20 串口 R1 负载数据格式

offset	名称	数据类型	描述
0	Param1	float	设置的参数
4	Param2	float	保留，默认为 0
8	Param3	uint32	设置的参数索引
12	Param4	uint32	保留，默认为 0
16	Param5	Int32	保留，默认为 0
20	Param6	Int32	保留，默认为 0

表 21 串口 R1 负载参数索引表

CMD	Param1	Param3	描述
1	0	0	触发获取一次系统状态数据
2	0	0	触发获取一次 AHRS 数据
3	<mode>	0	设置输出模式: Mode=1, 数据流输出 AHRS Mode=100, 禁止数据流模式, 进入 COMMAD 模式
5	0	0	保存当前参数到 FLASH
6	0	<value>	读取参数, value 为要读取的参数索引, 即 P1.index, 详见串口应答性输出-参数读取 例如需读取 AHRS 输出频率(ODR), 则设置 value=21 例如需读取串口波特率, 则设置 value=3 例如需读取内部滤波器, 则设置 value=31 例如需读取坐标系方向, 则设置 value=4
9	0	0	执行软件重启
14	<value>	3	设置串口输出波特率, 单位 bps value 的有效值为: 115200, 230400, 460800, 921600, 1500000 value 为其他值时, 默认采用 115200bps 设置波特率参数后, 需要重启才能生效。 不断电的设置流程: 设置波特率, 保存参数到 flash, 执行软件复位
14	<value>	21	设置周期性 AHRS 数据输出频率, 单位 Hz value 的常用值为: 1, 10, 50, 100, 200, 500, 1000 输出频率与串口波特率的推荐对应关系 1000Hz: 921600bps 500Hz: 460800bps 200Hz: 460800bps 250Hz: 460800bps 100Hz: 115200bps
14	<value>	31	内部滤波器配置, 定义同 SPI 加速度计和陀螺仪滤波器配置, 默认 0xBB, 即 47Hz
14	<value>	4	设置 IMU 坐标系朝向, value 的取值范围为 101~124, 具体坐标系朝向对应关系见表 25

注 1: 请注意本表中数值均为十进制

注 2: 可使用上位机命令生成器功能生成对应命令发送, 使用方法见本手册上位机使用部分



CMD ID 填入 3，参数 1 填入 1，生成的十六进制数组可以填入串口助手或程序数组中发送给 IMU。

7.7 命令模式输出——用户命令响应

	帧头	帧头	ID	length	ACK	Param3	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x753D	0x0004	0x7534	参数索引	crc32

	帧头	帧头	ID	length	ACK	result	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x753D	0x0004	0x0005	0x01	crc32

表 24 串口用户命令响应数据格式

	帧头	帧头	ID	length	command	result	帧尾
数据类型	uint8	uint8	uint16	uint16	uint16	uint16	uint32
编码	0xAA	0x55	0x0064	0x0004	命令 ID	0x01	crc32

例：设置串口输出波特率 115200

输入数据：

55, AA, 0E, 00, 18, 00, 00, 00, E1, 47, 00, 00, 00, 00, 03, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 00, 56, 2B, 4D, 93

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 34 75 03 00 A7 98 2A 54

设置周期性 AHRS 数据输出频率 100hz

输入数据：55 AA 0E 00 18 00 00 00 C8 42 00 00 00 00 15 00 0A 2B 2C 8D

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 34 75 15 00 70 2D B2 48

保存当前参数到 FLASH

输入数据：55 AA 05 00 18 00 C9 2F E6 32

响应数据：AA 55 3D 75 04 00 05 00 01 00 5A CF B1 7C

设置输出模式为 AHRS 数据流

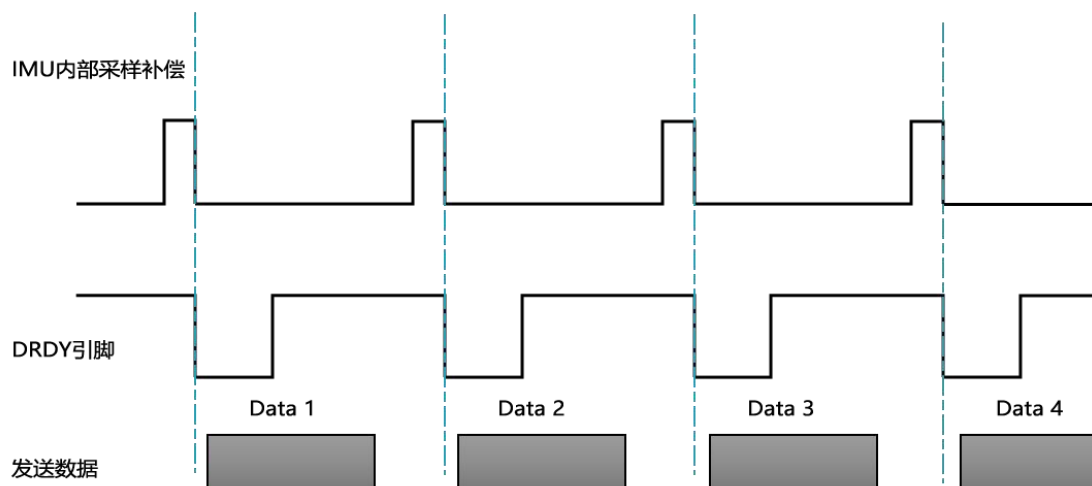
输入数据：55 AA 03 00 18 00 00 00 80 3F 00 52 D8 8E E8

响应数据：AA 55 64 00 04 00 03 00 01 00 E7 87 E3 AD

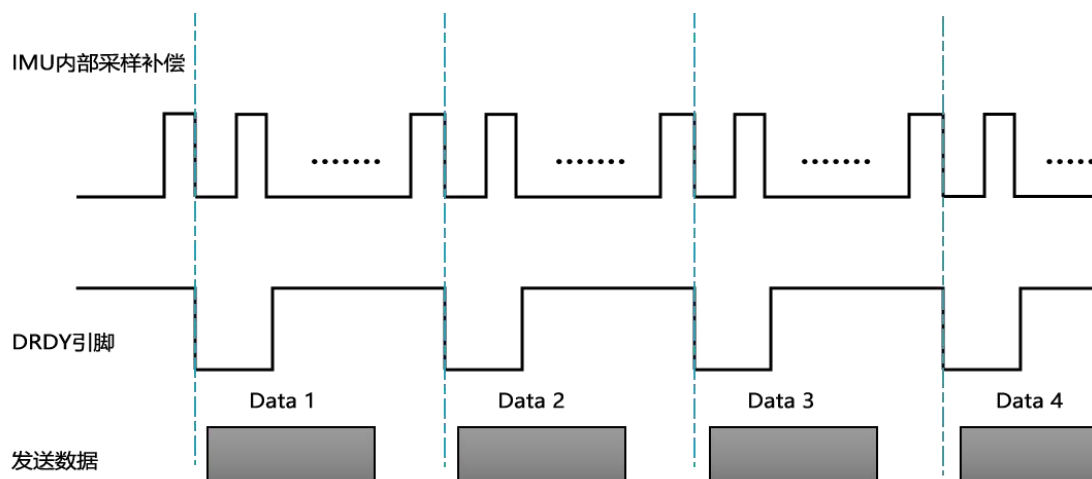
7.8 DRDY

DRDY 引脚输出有两个目的：

1. 提供来自 IMU 内部的时钟同步信号；
2. 提供信号表示开始传送数据帧。



当 IMU 内部采样频率（最大 ODR）与串口输出频率（当前 ODR）一致时，每当 imu 数据采样补偿完成后，DRDY 引脚将被立即拉低，此时数据帧将从串口发送，在下一周期 DRDY 引脚将被重新拉高。



当串口输出频率小于 IMU 内部采样频率时，每当 imu 数据采样补偿完成后，根据分频计数值（最大 ODR/当前 ODR）决定 DRDY 引脚是否被立即拉低。DRDY 拉低后数据帧将从串口发送，在下一 IMU 采样周期 DRDY 引脚将被重新拉高。

7.9 时间同步

7.9.1 输入要求:

GPRMC 1HZ/10HZ

关闭 RTK 板卡的惯导辅助相关的功能关闭其他语句，波特率与 IMU 波特率一致。

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。

7.10 常用 AT 指令

7.10.1 停止当前数据流输出

指令：AT+SETNO\r\n

应答：OK\r\n

可以停掉当前数据流（不改数据流参数），应答 OK 后表示可以进行下一步操作。

如果未响应，可以继续发送 AT+SETNO\r\n 命令直到应答 OK。

7.10.2 查询版本号

指令：AT+VERSION\r\n

应答：SW_VERSION	固件版本
HW_VERSION	硬件版本
BOARD_VERSION	底板版本

7.10.3 查询用户参数

指令：AT+CONFIG\r\n

应答：BAUD_RATE	当前串口波特率
ORIENT	当前坐标系
IMU_ODR	当前 IMU 的输出频率
STREAM_MODE1	当前串口 1 的数据流模式
STREAM_MODE2	当前串口 2 的数据流模式
STREAM_MODE3	当前串口 3 的数据流模式
LP_CONFIG_REG	当前 IMU 的滤波

7.10.4 设置和查询 ODR

例：设置输出频率 ODR 为 50hz

指令：AT+SET_ODR=50

应答：IMU_ODR:50

查询 IMU 的 ODR

指令：AT+GET_ODR

应答：IMU_ODR:

7.10.5 设置和查询坐标系

例：设置 IMU 坐标系为右前上

指令：AT+SET_ORIENT=101\r\n

应答：orientation:101

查询 IMU 当前坐标系

指令：AT+GET_ORIENT\r\n

应答：orientation:

7.10.6 设置和查询波特率

例：设置 IMU 的波特率为 115200

指令：AT+SET_BAUD=115200\r\n

应答：OK

查询 IMU 当前波特率

指令：AT+GET_BAUD\r\n

应答：BAUD_RATE:

7.10.7 设置和查询滤波器

例：设置 IMU 的滤波为 20hz

指令：AT+SET_LPF=20\r\n

应答：LP_CONFIG_REG:20

查询 IMU 当前滤波

指令: AT+GET_LPF\r\n

应答: LP_CONFIG_REG:

7.10.8 保存参数

指令: AT+SAVE\r\n

应答: OK

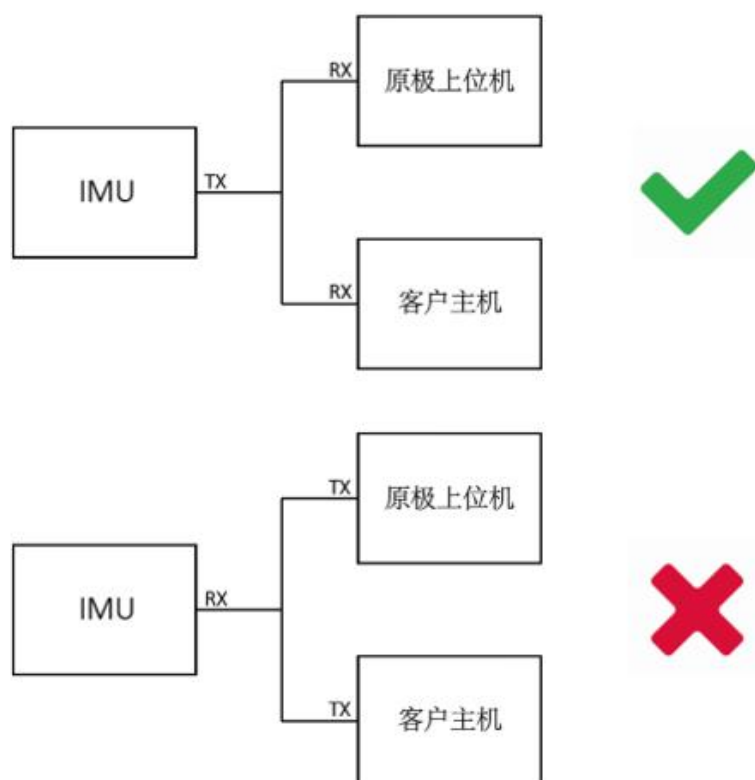
7.11 串口连接常见问题

1) IMU 的 RX 不能接 2 个主机 TX

串口的 RX 不能同时接 2 个 TX，所以如果需要连接原极上位机时，需要断开其与用户主机的串口通信，否则上位机只能接收到数据，不能发送命令给 IMU。

如下图所示：

图 8 串口连接方式示意图



注：IMU TX 可接多路 RX，RX 不可接多路 TX；
 IMU 串口不可同时连接客户主机和原极上位机；
 IMU 可以预留另外一路串口专门连接原极上位机。

2) 获取不到版本号

检查串口线是否丢包，推荐使用 FT232 芯片的串口线，CH340、PL2303 数据线在高波特率时 (>115200bps) 会丢包

建议串口线直连，不建议串联，如 RS422 的接口接电脑，直接使用 RS422 转 USB 线，不要用 RS422 转 RS232+RS232Z 转 USB 线串联。

3) 上位机曲线显示卡顿

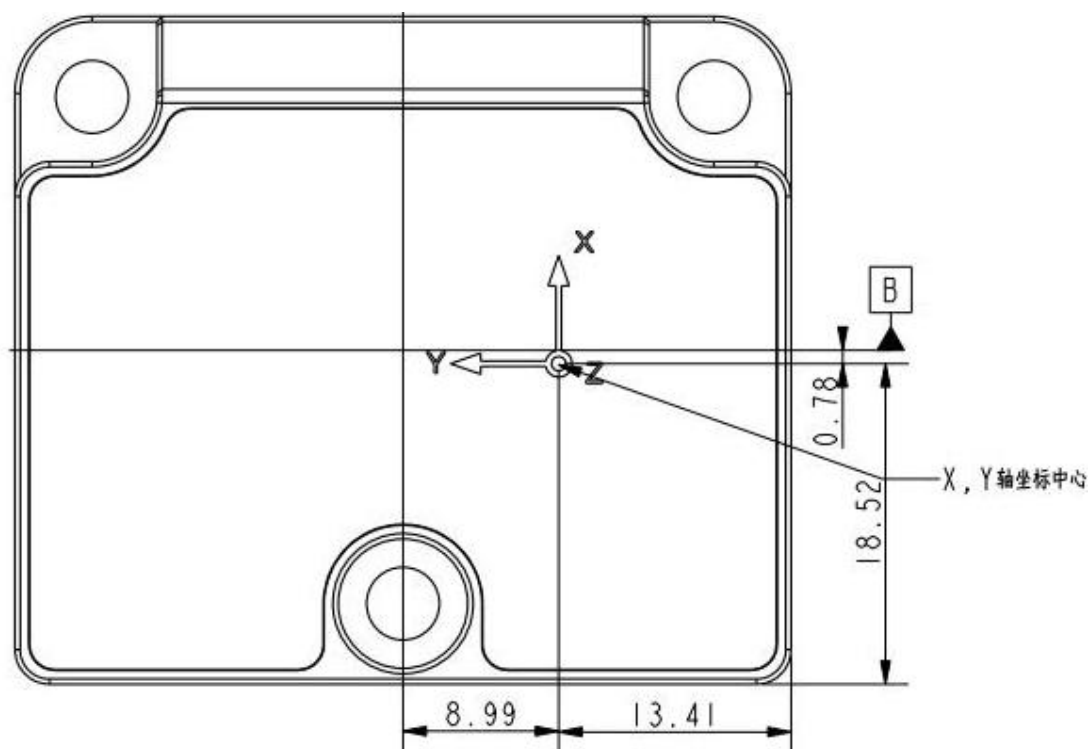
如果是 FT232 数据线，用系统管理员打开上位机，自动配置串口延时

手动在设备管理器中配置串口延时。

8. 坐标系定义

P9 的坐标系定义如下：右-前-上坐标系。

图 9 P9 坐标系示意图



9. 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, 0xbfdb0616, 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,

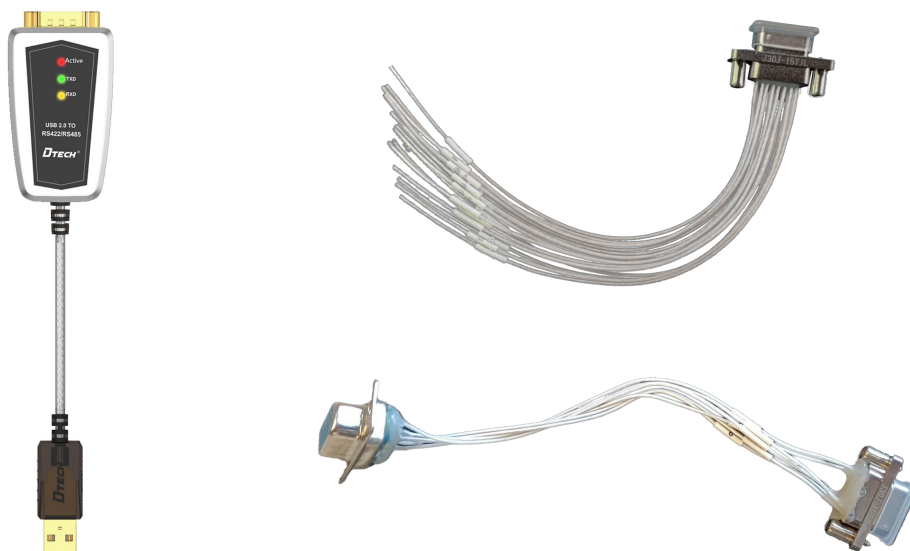
```

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;
}

```

10. 选配附件



422 与 P9 信号转接线

11. 更新记录

版本	日期	状态/注释
版本 1.0	20240813	首次发行