

HESAI

www.hesaitech.com

JT64P

64 线机械式激光雷达 用户手册

保密等级：C0（公开）

文档版本号：J09-zh-260720

目录

- 关于说明书 1
 - 获取渠道 1
 - 技术支持 1
 - 图例及样式 1
- 安全提示 2
 - 特别警示 2
 - 使用环境评估 3
 - 人员评估 5
 - 安装及操作 5
 - 维修 8
- 1 产品介绍 9
 - 1.1 适用版本 9
 - 1.2 工作原理 9
 - 1.3 基本结构 10
 - 1.4 通道分布和坐标系 11
 - 1.5 技术参数 14
- 2 首次使用 17
 - 2.1 机械安装 17
 - 2.1.1 外观尺寸 17
 - 2.1.2 推荐安装 19
 - 2.1.3 螺丝安装说明 20
 - 2.2 电气接口 21
 - 2.2.1 引脚定义 21
 - 2.2.2 连接器插拔 23
 - 2.3 线缆 24

2.3.1 端口	25
2.4 接收主机的网络设置	26
2.4.1 Windows 系统	27
2.4.2 Ubuntu 系统	30
2.5 辅助工具	33
3 数据格式	34
3.1 点云数据包	35
3.1.1 以太网包头	35
3.1.2 点云 UDP 数据	36
3.1.3 以太网数据尾	43
3.1.4 点云数据解析方法	44
3.2 GNSS 数据包	47
3.2.1 以太网包头	47
3.2.2 GNSS UDP 数据	48
3.2.3 以太网数据尾	51
3.2.4 GNSS 时间数据解析方法	52
4 参数接口	53
4.1 网络连接	53
4.1.1 源端	53
4.1.2 目的端	54
4.2 功能设置	55
4.3 状态设置	59
4.4 时间同步	60
4.5 雷达信息	61
4.6 运行状态数据	62
4.7 升级	62
5 仪器维护	63

6 故障排查	65
附录 A: 通道分布数据	68
A.1 通道角度及性能	68
A.2 角度修正文件	72
附录 B: 点云数据的绝对时间	74
B.1 绝对时间的来源	74
B.1.1 GNSS 作为时钟源	74
B.1.2 PTP 作为时钟源	75
B.2 点云数据包的绝对时间	76
B.3 数据块的开始时间	76
B.4 各通道的发光时刻偏移	77
附录 C: 供电指导	79
C.1 输入电压	79
C.1.1 估算线缆压降	79
C.1.2 避免超压	80
C.2 输入功率	80
C.3 上下电	80
附录 D: 光心修正	82
D.1 修正原因	82
D.2 修正的定义	82
D.3 修正公式	84
附录 E: 法律声明	85

■ 关于说明书

使用产品前，请务必仔细阅读本说明书，并遵循说明书的指示操作产品，以避免导致产品损坏、财产损失、人身损害和/或违反产品保修条款。

获取渠道

可通过以下方式获取说明书最新版本：

- 联系禾赛科技销售人员。
- 联系禾赛科技技术支持：service@hesaitech.com

技术支持

如果遇到说明书无法解决的问题，请通过以下方式联系我们：

- service@hesaitech.com
- <https://www.hesaitech.com/cn/contact#tech-support>
- <https://github.com/HesaiTechnology>

图例及样式



警示：务必遵循的安全指示或正确操作方法。



注意：补充信息，以便更好地使用产品。

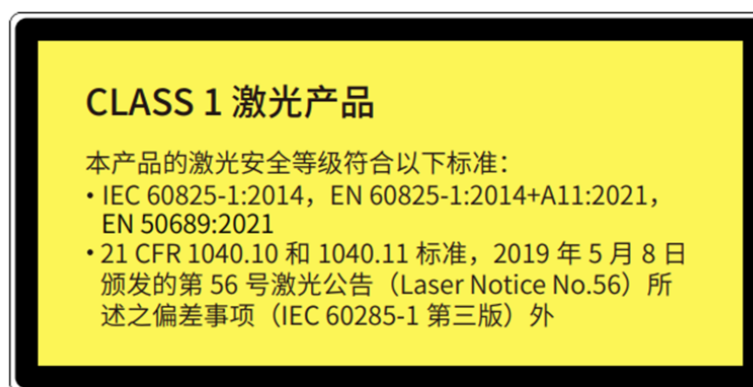
等宽字体：表示字段名，例如 **Distance**。

■ 安全提示

- 请仔细阅读产品说明书中的安全提示并遵守相关警告注意事项，以免导致产品损坏、财产损失或人身损害等。
- 请查看产品外壳（包括铭牌）上的认证信息。如果已事先商定不通过铭牌体现认证信息，请以商定的信息为准。
- 如果将此激光雷达产品作为您产品的一部分，请务必向您产品的预期使用者提供本说明书，或提供说明书的获取方式。
- 此激光雷达产品用作最终产品的零部件之一。最终产品提供者有责任根据最终产品的适用标准进行评估，并将适当的安全提示信息告知最终产品的预期使用者。
- 如果存在与特定用户另行商定的情形，请以另行商定的信息为准。
- 用户在使用产品前，如果无法确认产品开发成熟度，请及时与禾赛科技联系确认。禾赛不对尚未开发完成的产品做出任何不侵权保证，也不承担任何质量保证责任。

特别警示

激光安全



外壳高温



当心表面高温！

接触可能导致灼伤。

接触前请关机冷却半小时。

异常停用

以下列举的任一情形下，请立即停止使用产品：

- 怀疑产品已出现故障或受损。例如，察觉到产品有明显噪声或振动。
- 自身或周围环境中的人员感受到任何不适。
- 周围环境中的设备出现运行异常。

同时，请联系禾赛科技或其授权服务商处理疑似故障或受损产品，联系方式参见 [■ 关于说明书](#)。

禁止拆卸

未经禾赛科技明确书面同意，禁止拆卸产品。

使用环境评估

射频干扰

- 请查看产品外壳（包括铭牌）上的认证信息，并查询相应的认证警语。如果与特定用户商定不通过铭牌体现认证信息，请以商定的信息为准。

振动条件

- 如果使用环境中可能存在较强的机械冲击或振动，请联系禾赛技术支持以获取特定产品型号的冲击和振动性能参数。超过允许范围的机械冲击或振动可能导致产品受损。
- 应采用防震材料包装产品，以避免运输途中损毁。

爆燃性和其他空气条件

- 请勿在任何存在潜在爆燃性空气的区域内使用产品，例如空气中含高浓度可燃性化学物质、蒸气或微粒（颗粒、灰尘或金属粉末等）的区域。
- 请勿将产品暴露在高浓度工业化学品环境中，包括易蒸发的液化气体（例如氦气）附近，以免损坏或削弱产品功能。

化学环境

请勿将产品暴露在腐蚀性或强极性化学环境（液体或气体等）中，包括但不限于：强酸、强碱、酯类、醚类等，以免造成产品损坏（包括但不限于防水性能失效）。

侵入防护

请查阅 [1.5 技术参数](#) 中的 IP 防护等级，避免将产品暴露于超过防护等级的环境中。

工作温度

请查阅 [1.5 技术参数](#) 中的工作温度，避免将产品暴露于超过工作温度范围的环境中。

建议存储环境

请将产品存放于通风干燥处，建议存放温度为 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，湿度为 30% ~ 70% RH。

光干扰

某些精密光学设备可能受到产品发出激光的干扰。请查阅这些设备的全部相关说明，并判断是否需要采取防护措施。例如，部分产品附赠了保护皮套，当产品暂时未用于测量时，可使用保护皮套遮挡激光。

人员评估

操作人员资质建议

建议由具备一定工程背景或光机电仪器设备操作经验的专业人员操作本产品。操作全程请务必遵循本说明书的指示，如果有需要，请联系禾赛科技获取技术支持。

医疗设备干扰

- 产品包含的部分组件会发射电磁场。操作者及近距离环境中的其他人员如果使用医疗设备（例如植入耳蜗、心脏起搏器和除颤器等），请向相应的医师和医疗设备制造商咨询医疗建议，例如是否需要与产品保持安全距离。
- 如果怀疑产品正在干扰您的医疗设备，请立刻停止使用。

安装及操作

供电

- 给产品供电之前，请确保电气接口处干燥且无污物。请勿在潮湿环境中供电。
- 禁止使用已损坏的或不符合供电要求的线缆或适配器。
- 建议使用禾赛科技提供的连接线和电源适配器。如果自行设计、配置或选型产品的供电系统（含线缆），请务必遵循产品说明书中相关电气参数（参照[1.5 技术参数](#)和部分说明书的“供电指导”章节）或联系禾赛技术支持。
- 请查阅[2.2 电气接口](#)，严格遵循连接器插拔操作说明。如果已经发现异常（例如引脚偏斜、线缆破损、螺纹松动等），请停止使用并联系禾赛科技获取技术支持。

人眼安全

本产品是 Class 1 激光产品，激光安全等级符合以下标准，请遵循相应的激光安全指示：

- IEC 60825-1:2014
- EN 60825-1:2014+A11:2021
- CONSUMER LASER PRODUCT EN 50689:2021
- 21 CFR 1040.10 和 1040.11 标准，除 2019 年 5 月 8 日颁发的第 56 号激光公告（Laser Notice No.56）所述之偏差事项（IEC 60825-1 第三版）外。

注意：使用本品规定之外的控件、调节方法或工作步骤，有可能导致有害的辐射泄漏。

注意

- 为最大程度地实现自我保护，强烈建议请勿通过放大设备（例如显微镜、头戴式放大镜或其他形式的放大镜）直视传输中的激光。
- 产品没有电源开关，通电即运行；产品运行期间，整个光罩可视为产品的激光出射范围，直视光罩可视为直视传输中的激光。

外壳

- 避免挤压或刺穿产品。产品一旦外壳破损，请立即停止使用，并联系禾赛科技获取技术支持。
- 部分型号的产品内含高速旋转部件，请勿在外壳松动的情况下运行产品，以免损害人身安全。
- 产品外壳如果包含齿状结构和沟槽，操作时请佩戴手套，避免因用力过猛而导致割伤、压伤等人身损伤。

跌落或焚烧

产品主要由金属、玻璃和塑料构成，内含敏感电子元件，应避免跌落、焚烧等不当操作。产品一旦经历跌落或焚烧，请立即停止使用，并联系禾赛科技获取技术支持。

光罩



各型号产品的光罩位置参见 [1 产品介绍](#)。

- 禁止在光罩上贴膜、打蜡或附着其他任何物质。
- 请勿用手触摸光罩，以免光罩沾上指印或污物。如果光罩已经沾上污渍，请按产品说明书 [5 仪器维护](#) 所述方法清洁。
- 请避免用坚硬或锋利物体接触光罩，以免光罩产生划痕。如果已经产生划痕，请停止使用产品并联系禾赛技术支持；严重的光罩划痕可能影响产品输出的点云数据质量。

安装

- 运行产品之前，请确保产品已牢固固定，避免外力（例如撞击、大风、飞石等）导致产品脱离固定位置。
- 如果产品所在的空腔区域为湿区设计，请确保空腔内无积水。
- 如需安装外饰，请确保外饰件及其可移动区域与产品的视场无交集。



激光雷达的视场是指由水平视场角和垂直视场角（参见 [1.5 技术参数](#)）限定的空间角度范围，不限定到雷达坐标系原点的距离。如果无法确认产品的视场，请联系禾赛技术支持。

表面高温

产品运行期间或运行后一定时间内，外壳温度可能较高，此时请注意：

- 避免皮肤直接接触产品外壳，以防不适甚至烫伤。
- 避免易燃物直接接触产品外壳，以防引发火灾。

部分型号的产品提供光罩的主动加热功能，以减少光罩表面结冰、结霜对产品功能的影响。

- 光罩在主动加热期间可能温度较高，请避免皮肤直接接触光罩，以防不适甚至烫伤。
- 光罩表面没有结冰、结霜的风险时，可以选择关闭该功能。

外部设备

- 产品可能配合使用的外设包括：吸盘支架、延长线、供电设备、网络设备、GNSS/PTP 设备、CAN 收发设备和清洁设备等。
- 外设选型时，请务必参照产品说明书中全部相关参数，或联系禾赛科技获取技术支持。采用不合规或不匹配的外设可能损坏产品或损害人身安全。

特殊定制固件及软件

- 使用特殊定制的软固件之前，请充分知悉该版本软固件的功能和性能相较于标准版本的差异。
- 请务必严格遵守该版本软固件配套的使用说明及安全注意事项。如果产品表现不符合预期，请立即停止使用，并联系禾赛科技获取技术支持。

固件及软件升级

请务必使用禾赛科技提供的升级包，并严格遵循该升级包配套的指导说明。

点云数据处理

- 部分型号产品提供可配置的点云数据处理功能，包括但不限于：噪点过滤、拖点过滤、二倍距离鬼像过滤、反射率非线性映射等。
- 该功能旨在辅助用户更好地提取点云信息，用户对于是否使用这些功能具有决定权和控制权。用户有责任评估其应用场景，判断这些功能的开启或组合使用是否会引入风险。
- 如需了解特定型号是否支持上述功能，请联系禾赛技术支持。

维修

- 未经禾赛科技明确书面同意，禁止自行或委托第三方拆卸、修理、修改或改装产品，以免造成产品损坏（包括但不限于防水性能失效）、财产损失、人身损害，以及违反产品保修条款。
- 关于产品维修的更多事宜，请联系禾赛科技或其授权服务商处理。

1 产品介绍

1.1 适用版本

本手册适用于以下版本：

软件	15.AF.B0.00.02.L 及以上
传感器（上仓）固件	2.b.0593 及以上
控制器（下仓）固件	1.b.0035 及以上

1.2 工作原理

本产品的测距原理为飞行时间测量法（Time of Flight, ToF）：

1. 激光发射器发出一束超短激光脉冲。
2. 激光投射到物体上并反射，激光接收器收到反射光。
3. 通过测量激光束在空中的飞行时间，可准确计算目标物体到传感器的距离。

测距公式如下：

$$d = \frac{ct}{2}$$

d：距离
c：光速
t：激光束的飞行时间

1.3 基本结构

激光雷达结构见 图 1。激光雷达的转子上固定安装多对激光发射和接收装置，通过内部电机旋转实现水平方向 360° 扫描。

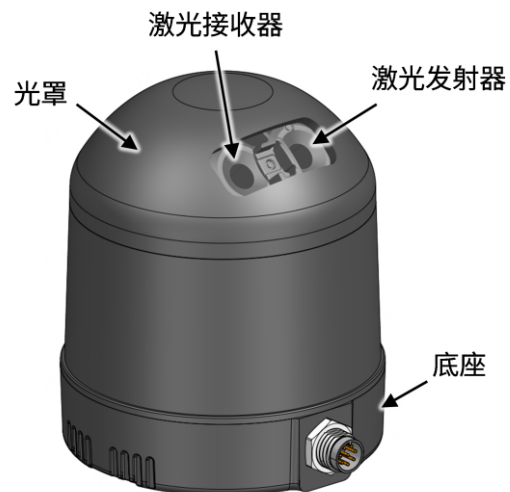


图 1. 部分横截面

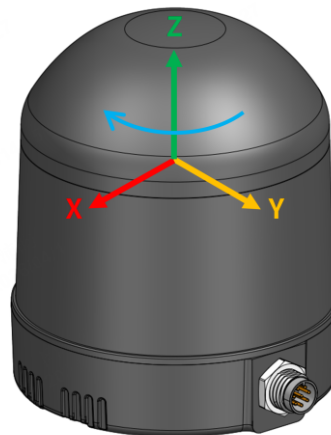


图 2. 坐标系（轴测图）

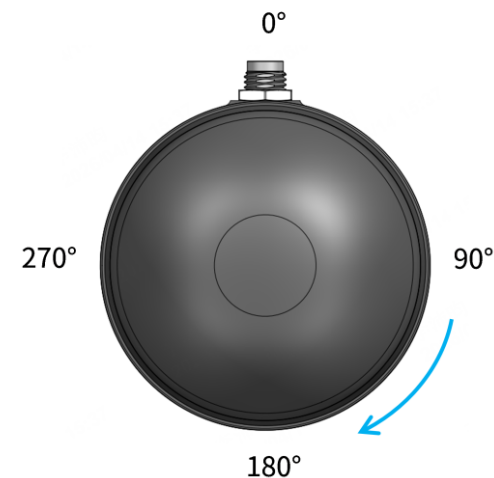


图 3. 雷达角度位置（俯视图）

激光雷达坐标系见 图 2。

- Z 轴为旋转中心轴。

雷达转动的水平角度位置见 图 3。

- 默认按俯视图中的顺时针方向旋转。
- Y 轴方向定义为 0°。
- 由于各通道在水平方向上存在固定角度偏差，水平角度位置以雷达收发阵列的水平中心为准。

例如：当雷达收发阵列的水平中心经过 90° 位置时，认为雷达转动到了水平 90°，点云数据包中相应数据块的方位角（Azimuth）为 90°。

1.4 通道分布和坐标系

各通道在垂直方向呈非均匀分布，如 [图 4](#)。

- 图中标注的是投影到平面的垂直高度角；空间中的垂直高度角设计值在 [附录 A 通道分布数据](#)。
- 垂直角分辨率：参见 [1.5 技术参数](#)。

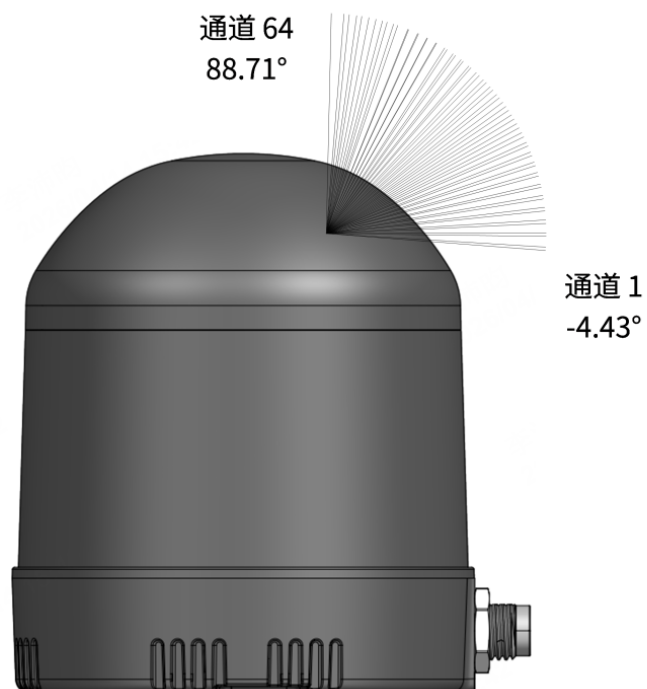


图 4. 通道垂直分布示意图

各通道在垂直和水平方向上存在固定角度偏差，详见该台雷达的角度修正文件。

角度修正文件

- 获取角度修正文件的方式详见本产品的 API 参考手册。
- 每台雷达的角度修正文件通常在发货时提供，也可联系禾赛科技销售代表或技术支持获取。

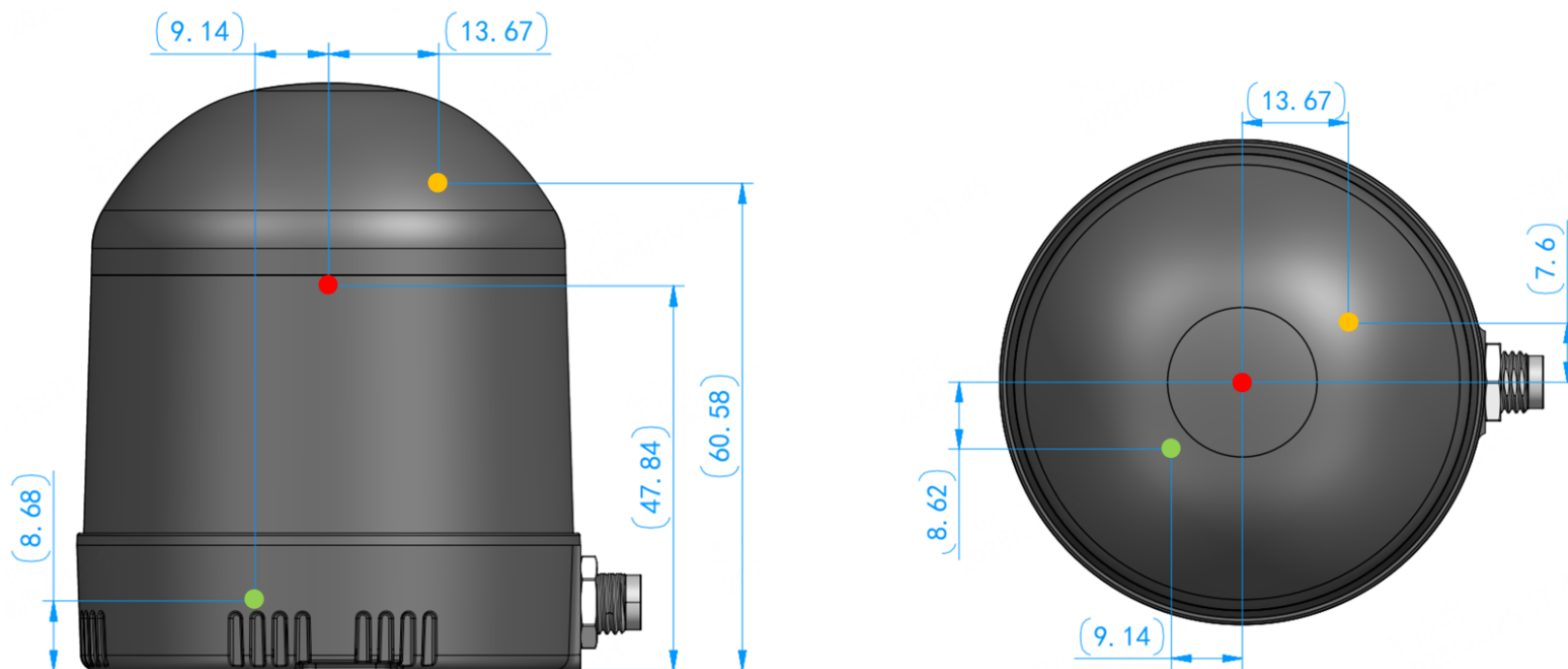


图 5. 激光器发光位置和 IMU 坐标 (单位: mm)

图 5 中:

- 激光雷达坐标系的原点标记为红点。

- 雷达旋转至水平方位角 0° 时，光心（即入射、出射光瞳的中点）标记为黄点。
 - 雷达输出的距离测量数据和各通道的垂直高度角均以该点为基准。
 - 可将数据转换为以原点为基准，参见[附录 D 光心修正](#)。
- IMU 坐标系的原点标记为绿点。
 - 雷达输出的 IMU 数据均以该点为基准，用于外参标定。

1.5 技术参数

传感器

扫描方法	机械旋转
通道数	64
仪器测距	0 ~ 60 m
测远能力 ①	20 m（10% 反射率，全部通道）
测距准度 ②	±3 cm（典型值）
测距精度 ②	2 cm（典型值）
水平视场角	360°
水平角分辨率	0.4°（10 Hz） 0.8°（20 Hz）
垂直视场角 ③	95°（-4.4°~ 88.7°）
垂直角分辨率	1.5°（平均）
扫描帧率	10/20 Hz
回波模式	单回波 第一、最强、最后 双回波 最后及最强（默认）、最后及第一、第一及最强

机械/电气/操作

波长	905 nm
激光器等级	Class 1 人眼安全
防护等级	IP6K7

尺寸	高度：73.05 mm 底座：Φ62.55 mm
额定电压范围 ④	9 ~ 32 V DC
功耗 ⑤	7.6 W
工作温度 ⑥	-20°C ~ 65°C
储存温度 ⑥	-40°C ~ 85°C
重量	<265 g

数据输入/输出

传输方式	以太网（标准 100BASE-TX）
测量数据	距离、方位角、反射率
有效点频 ⑦	单回波 499 500 点/秒 双回波 999 000 点/秒
点云数据传输率 ⑧	单回波 22.82 Mbps 双回波 45.65 Mbps
绝对时间的外部来源	GNSS/PTP（1588v2 over UDP/IP、1588v2 over L2、802.1AS、802.1AS Automotive）



以上参数如果有更改，请见最新版用户手册。

参数说明

- ① 测远能力 测试条件：正入射，环境照度 100 klx，探测概率（PoD）高于 70%，噪点率低于 1E-4。
- ② 测距准度和测距精度
 - 可能受目标物距离、环境温度及目标物反射率影响
 - 测距准度：固定测试条件下，多次测量的平均误差

- ③ 垂直视场角
 - 测距精度：固定测试条件下，多次测量的标准差为投影到平面的角度，而非空间中的角度。
- ④ 额定电压范围
 - 须确保雷达输入端口处的电压始终在 9 ~ 32 V 范围内。
- ⑤ 功耗
 - 典型值，不包含接线盒等配件。
 - 测试工况：环境温度 25°C，扫描帧率 10 Hz。
 - 雷达电源应至少可输出 2.6 A，30 W。
- ⑥ 工作温度、储存温度
 - 均指环境空气温度。
 - 雷达运行期间，外壳和内部温度可能高于环境空气温度。
 - 如需获取雷达内部的实时温度裕量，请使用《TCP API 参考手册》中的 Get Lidar Status (0x09) 指令。
- ⑦ 有效点频
 - 每秒产生的点云数据点数（即回波数）。
 - **单回波模式** 下：
 - 已知：水平视场角（360°）、水平角分辨率（10 Hz 时 0.4°）、通道数（64）和扫描帧率（10 Hz）。
 - 10 Hz 下，单通道每帧产生 $360/0.4 = 900$ 个数据点，全部通道每帧产生 $900 \times 64 = 57\,600$ 个数据点；每秒 10 帧，即 576 000 个数据点。
 - 天顶降频后，每秒产生 499 500 个数据点。
 - **双回波模式** 下，点频是单回波的两倍。
- ⑧ 点云数据传输率
 - **单回波模式** 下：
 - 已知：水平视场角（360°）、水平角分辨率（10 Hz 时 0.4°）、扫描帧率（10 Hz）、点云数据包大小（634 字节）和点云包的数据块数量（2）。
 - 10 Hz 下，水平每转动 0.4°，全部通道发光一轮，产生一组回波；每帧产生 $360/0.4 = 900$ 组回波；每秒 10 帧，即 $900 \times 10 = 9000$ 组回波。
 - 每个点云包有 2 个数据块，每个数据块存放 1 组回波。
 - 每秒传输 $9000/2 = 4500$ 个点云包，即 4500×634 字节。
 - 换算单位后，点云数据传输率： $4500 \times 634 \times 8 \times 1E-6 = 22.824$ Mbps（约 22.82 Mbps）。
 - **双回波模式** 下，点云数据传输率是单回波的两倍： $22.824 \times 2 = 45.648$ Mbps（约 45.65 Mbps）。

2 首次使用

使用前，请取下雷达光罩外侧的保护棉。



定制产品可能不同，请以另行提供的图纸和数据为准。

2.1 机械安装

2.1.1 外观尺寸

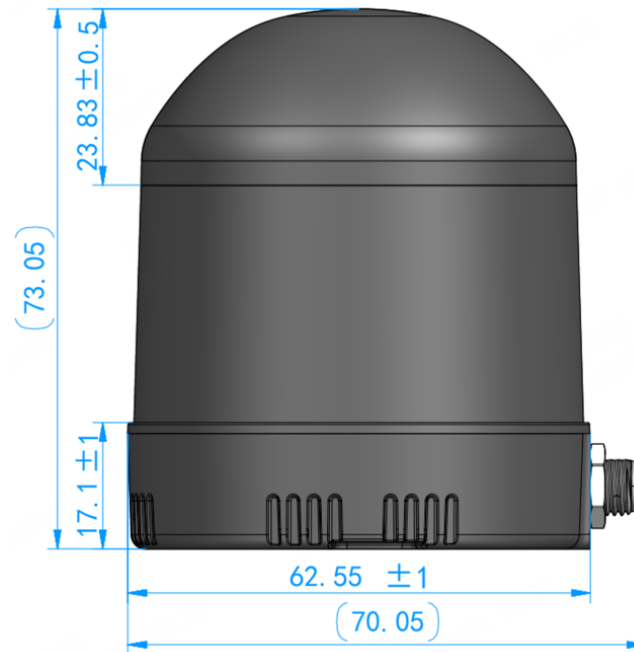


图 6. 右视图 (单位: mm)

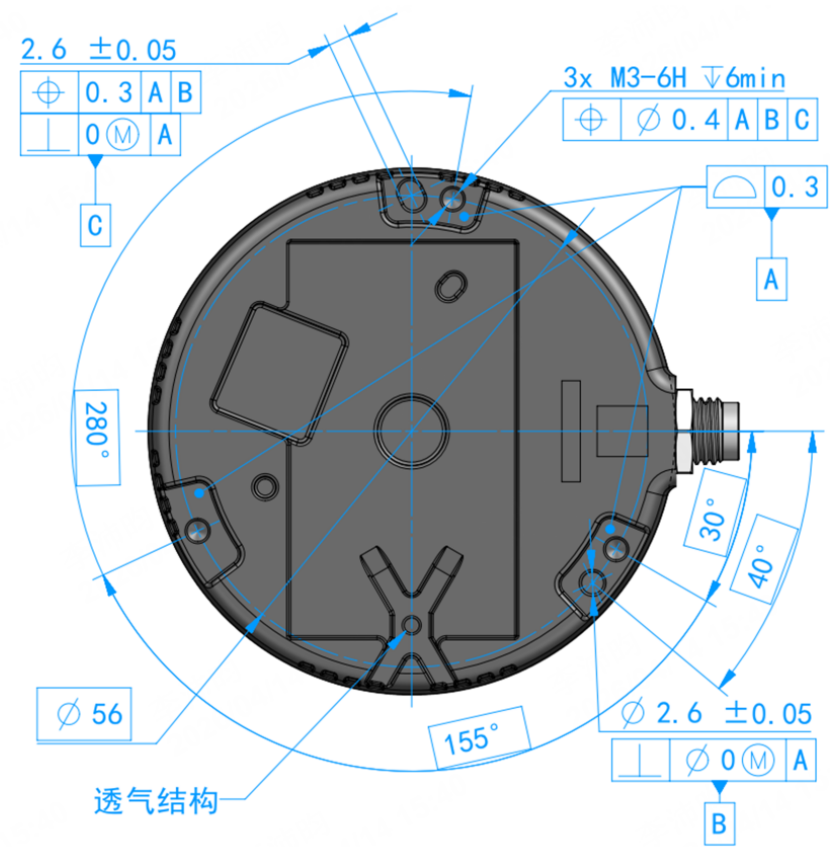


图 7. 仰视图 (单位: mm)

2.1.2 推荐安装

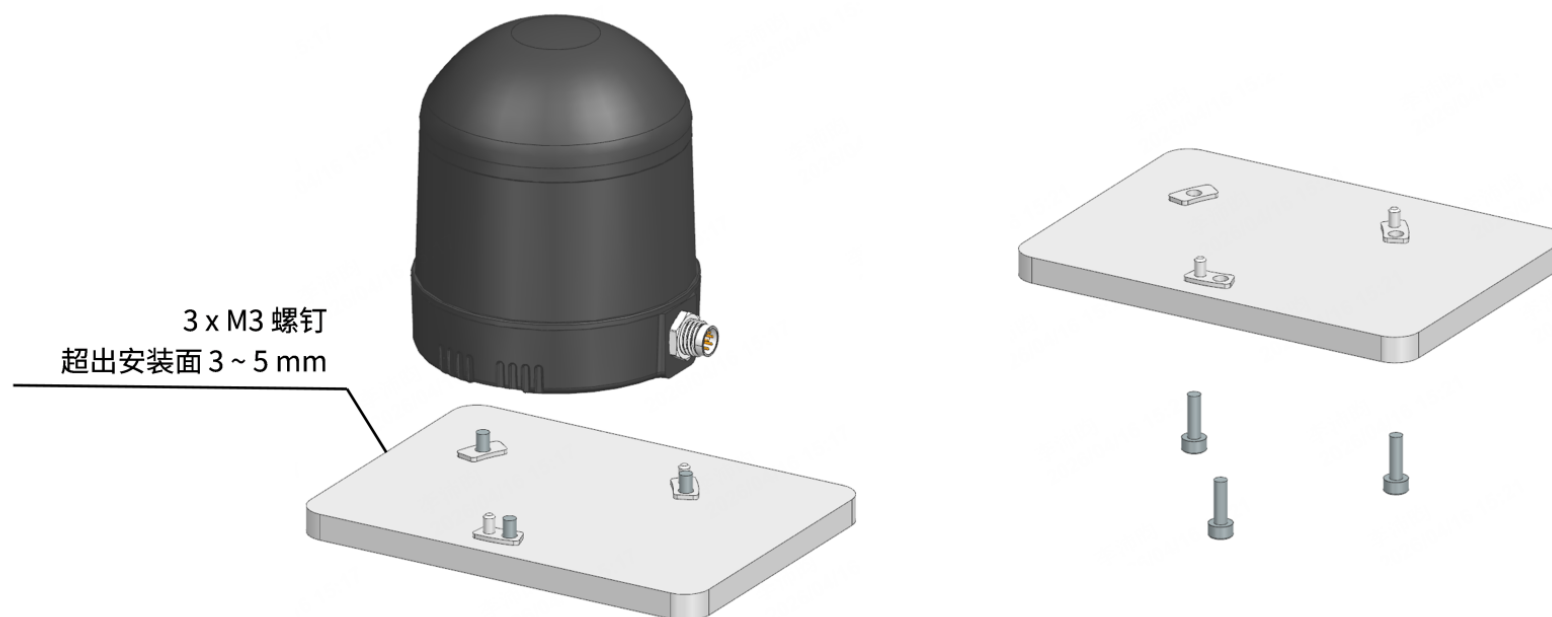


图 8. 推荐安装

为了确保传输数据的完整性和 ESD 防护效果，强烈建议采取以下措施，以实现机壳接地：



- 将雷达安装在接地良好的金属支架上。
- 确保雷达外壳、安装螺钉与支架之间保持可靠导通。

如果无法实现机壳接地（例如：电池供电平台或机载平台），建议采用高质量的屏蔽双绞线（STP）以太网线缆，并确保其连接器已正确接地。

2.1.3 螺丝安装说明



请严格遵循 [图 8](#) 中的螺钉规格和安装要求。

螺钉类型

建议选择组合螺钉（自带平垫圈和弹簧垫），强度 4.8 级或以上。

螺纹扭矩

- 螺纹孔基材为铝合金，扭矩与钢制螺纹不同。
- 参考扭矩值：0.8 ~ 1 Nm。

螺纹使用寿命

- 10 次（拧入、拧出各计为 1 次）
- 若使用螺纹胶，每次复拧前需清理螺孔。其间，洗涤剂不可接触光罩。

2.2 电气接口

默认采用 Signal Electronics M8 系列连接器（公头插座，用于雷达上）。

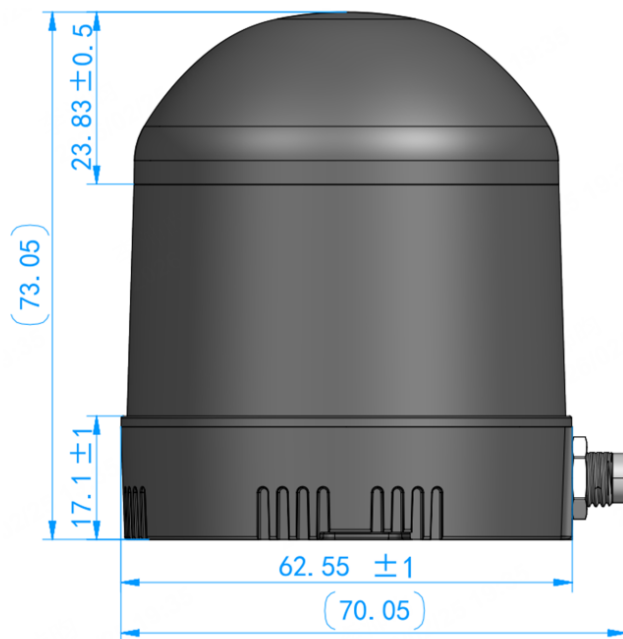


图 9. 连接器右视图（单位：mm）

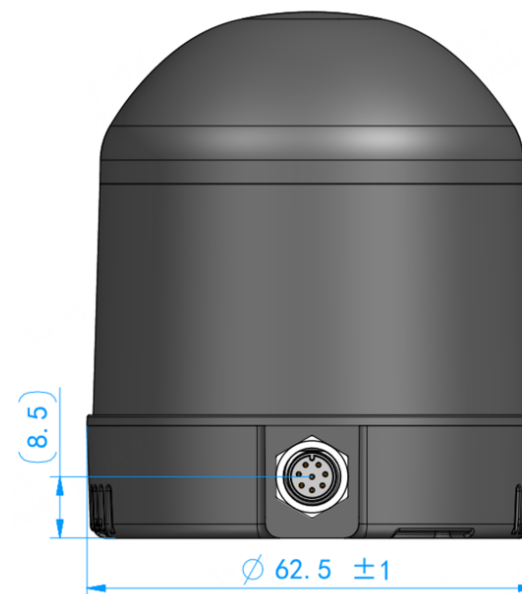
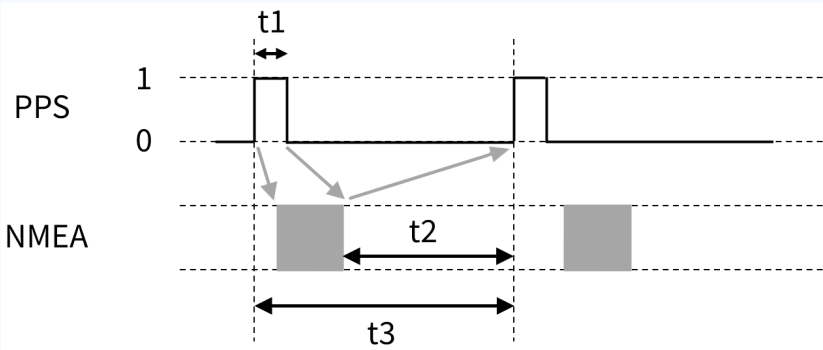


图 10. 连接器正视图（单位：mm）

2.2.1 引脚定义

详见 [2.3.1 端口](#)。

GNSS PPS 与 NMEA 信号的时序要求



PPS 信号周期	$t_3 = 1\text{ s} \pm 50\text{ }\mu\text{s}$ （上升沿至上升沿）
PPS 脉冲宽度	$t_1 \geq 1\text{ ms}$ ，建议 10 ~ 100 ms
相位关系	如图中灰色箭头： • NMEA 信号的 发出时刻：晚于本秒 PPS 信号的 上升沿 • NMEA 信号的 结束时刻：晚于本秒 PPS 信号的 下降沿。 • NMEA 信号的 结束时刻：早于下一秒 PPS 信号的 上升沿，且 $t_2 \geq 100\text{ ms}$。

2.2.2 连接器插拔

连接	1. 断电后，让线缆端插头的键槽正对雷达端插座的凸起位置。 2. 将插头直线插入插座，直到完全插入到位。 3. 顺时针拧紧线缆端的螺母。 4. 将扭矩扳手设置为 0.4 Nm，进行最终拧紧。
分离	1. 断电后，逆时针拧松线缆端的螺母。 2. 握紧线缆端插头的外壳，直线向外拔开，避免扭转或弯曲。

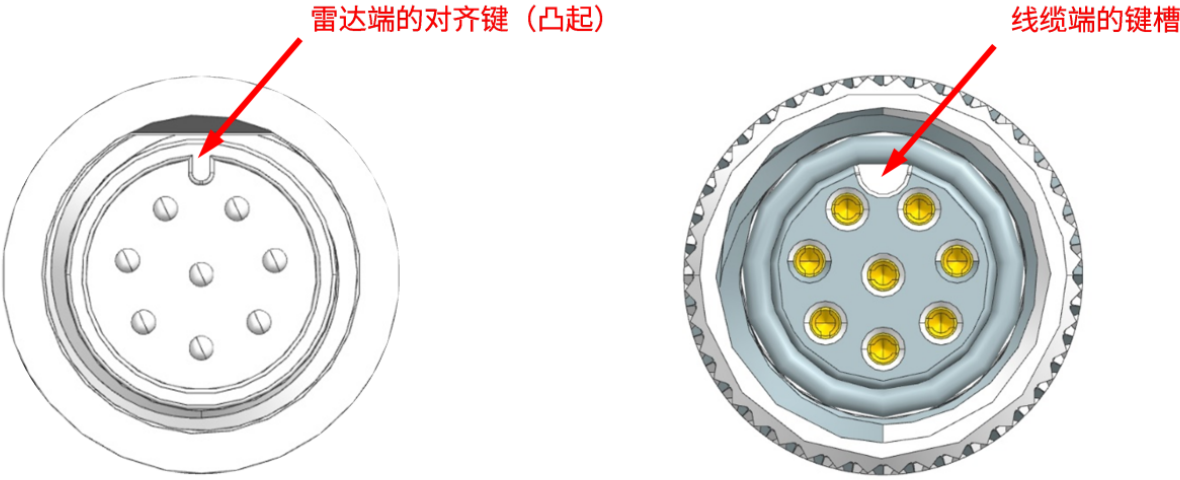


图 11. 连接器



- 连接之前，请检查接头上的插针（或插孔）。如果发现插针弯曲（或插孔损坏），请立即停止使用连接器，并联系技术支持。
- 插拔连接器之前，请先断开电源。热插拔可能导致击穿。
- 不可猛力拔线缆或连接器外壳，不可扭转连接器，以免外壳松脱或连接器引脚受损。
- 如果连接器外壳意外松脱，请停止使用连接器，联系禾赛技术支持。禁止自行组装连接器的外壳和电缆夹头，且禁止连接不含外壳的连接器，以免损坏激光雷达的内部电路。
- 使用中如果出现其他问题，请联系禾赛技术支持，或从连接器厂商处获取作业指导书。

2.3 线缆

用户可直接连接激光雷达。

- 外径 $OD = 5.50 \pm 0.20 \text{ mm}$
- 最小折弯半径 $= 5 \times OD$



线缆长度和 CNN1 的旋转角度如果有另行商定，请以另行提供的数据为准。

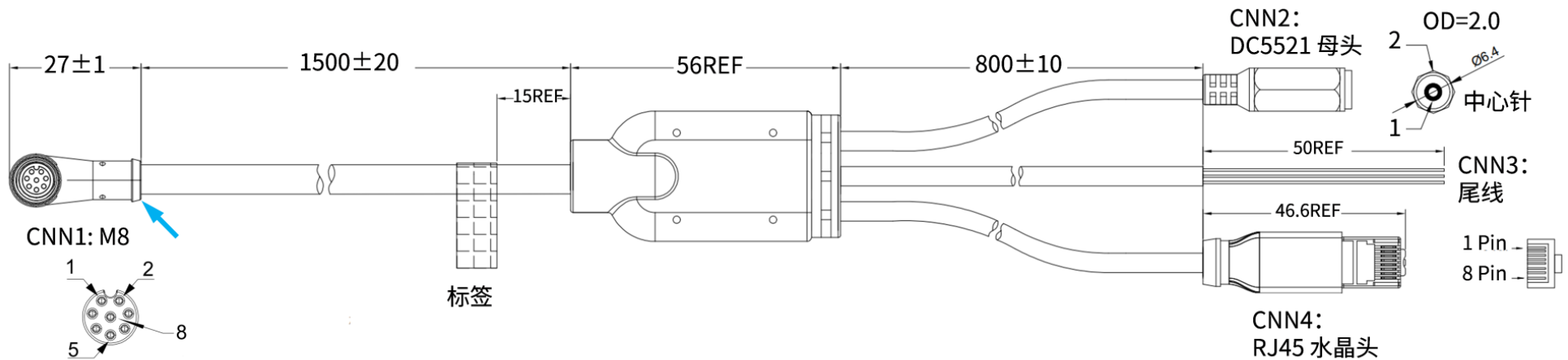


图 12. 一分三线缆（单位：mm）

2.3.1 端口



避免用手直接接触预留引脚。

端口	引脚编号	引线颜色	信号	线径	引线颜色	引脚编号	端口	说明
雷达 CNN1	6	红	Power	26 AWG	蓝	1	电源 CNN2	9 ~ 32 V
	1	黑	GND	26 AWG	黑	2		0 V
						-	GNSS CNN3	外接 GNSS 模块的地
	8	白	GNSS PPS	28 AWG	蓝	-		PPS 同步信号 3.3 V，上升沿不超过 500 ns，建议脉冲宽度超过 1 ms 周期：1 s（上升沿至上升沿）
	7	绿	GNSS NMEA	28 AWG	棕	-		接收来自外接 GNSS 模块的串口数据 RS232 level, -13 ~ 13 V
	4	黄	Ethernet TX+	28 AWG	橙白	1	标准以太网 CNN4	-1 ~ 1 V
	5	蓝	Ethernet TX-	28 AWG	橙	2		
	3	橙	Ethernet RX+	28 AWG	蓝白	3		
	2	紫	Ethernet RX-	28 AWG	蓝	6		



支持的 GNSS NMEA 语句：GPRMC、GNRMC

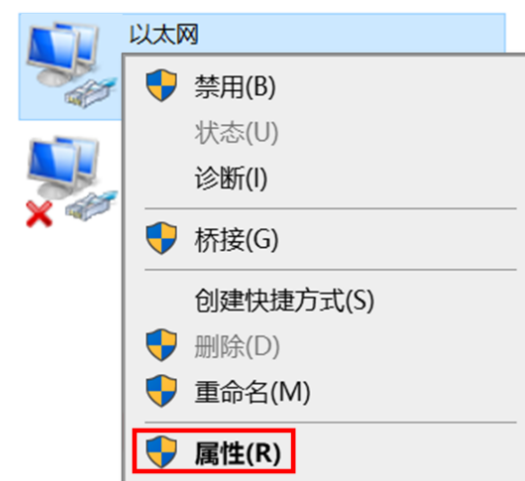
2.4 接收主机的网络设置

如需解析点云数据，请配置接收主机的以下参数：

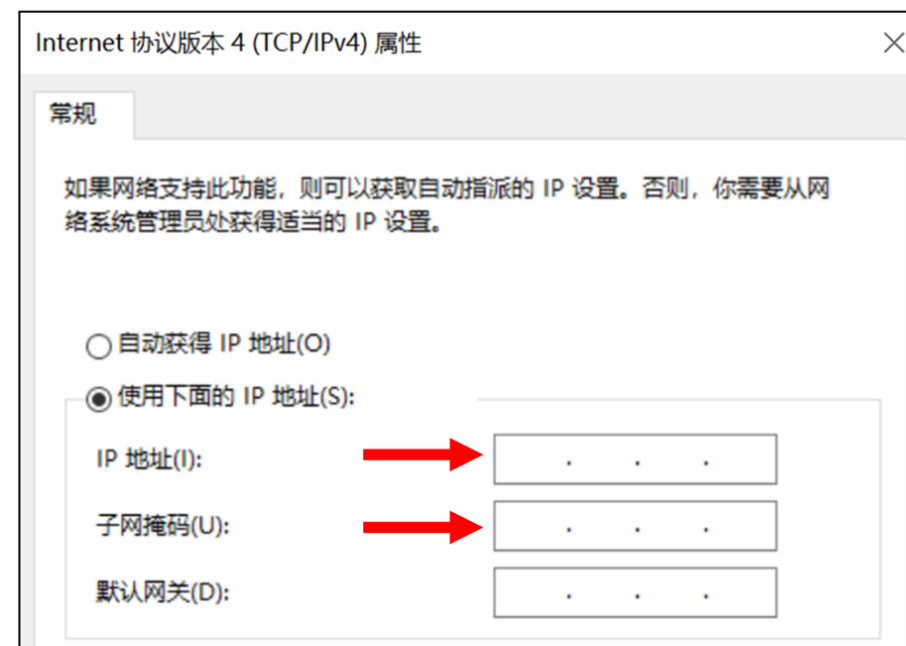
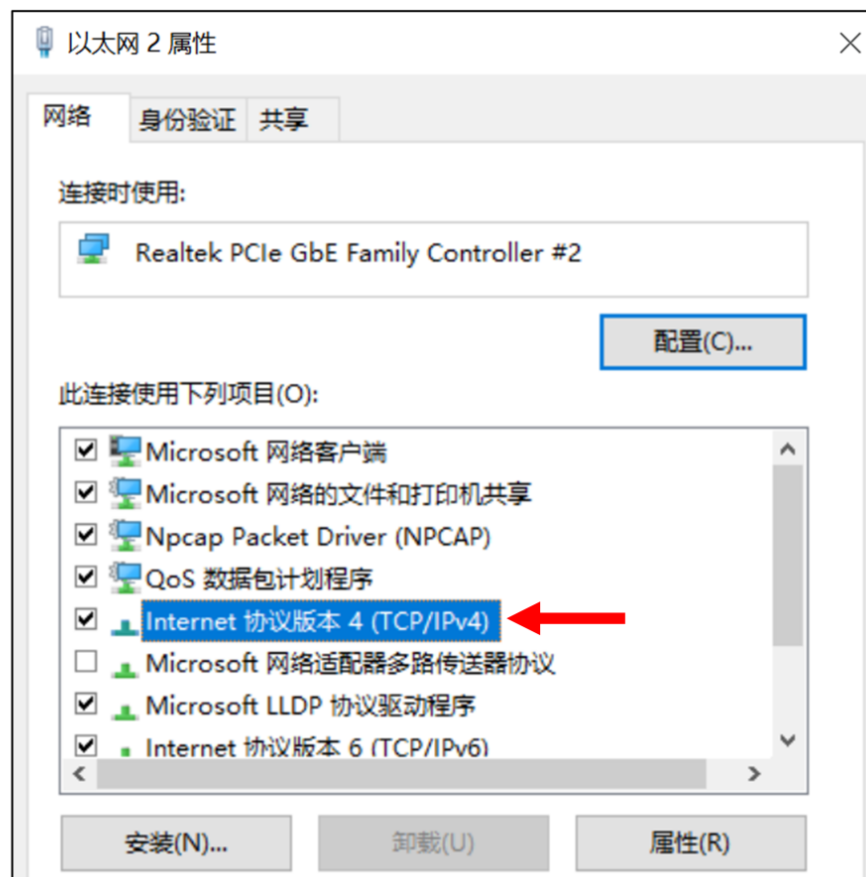
网络参数	取值	说明
IP 地址	192.168.1.X	X 可以取 2 ~ 200、202 ~ 254。
子网掩码	255.255.255.0	-
VLAN ID	范围：1 ~ 4094	仅启用 VLAN 时需要配置。 请确保接收主机和雷达的 VLAN ID 相同。

2.4.1 Windows 系统

1. 打开 [控制面板]——点击 [网络和 Internet]——[网络和共享中心]——[更改适配器设置]。
2. 右键点击已处于连接状态（图标左下角没有红色叉号）的 [以太网] 或 [以太网 X]——[属性]。



3. 双击 [Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)]。
4. 选择 [使用下面的 IP 地址]——输入接收主机的 IP 地址和子网掩码。



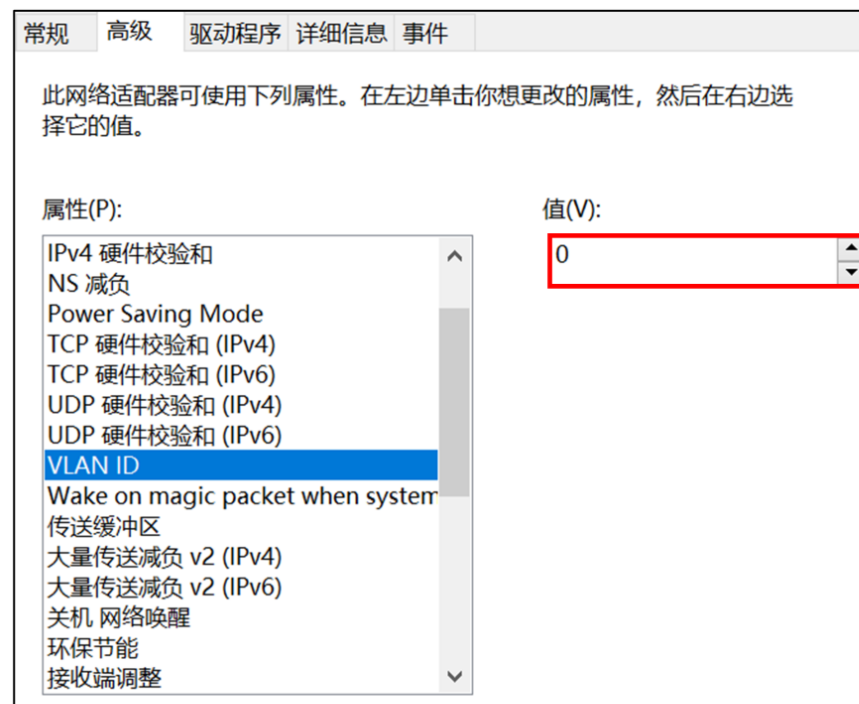
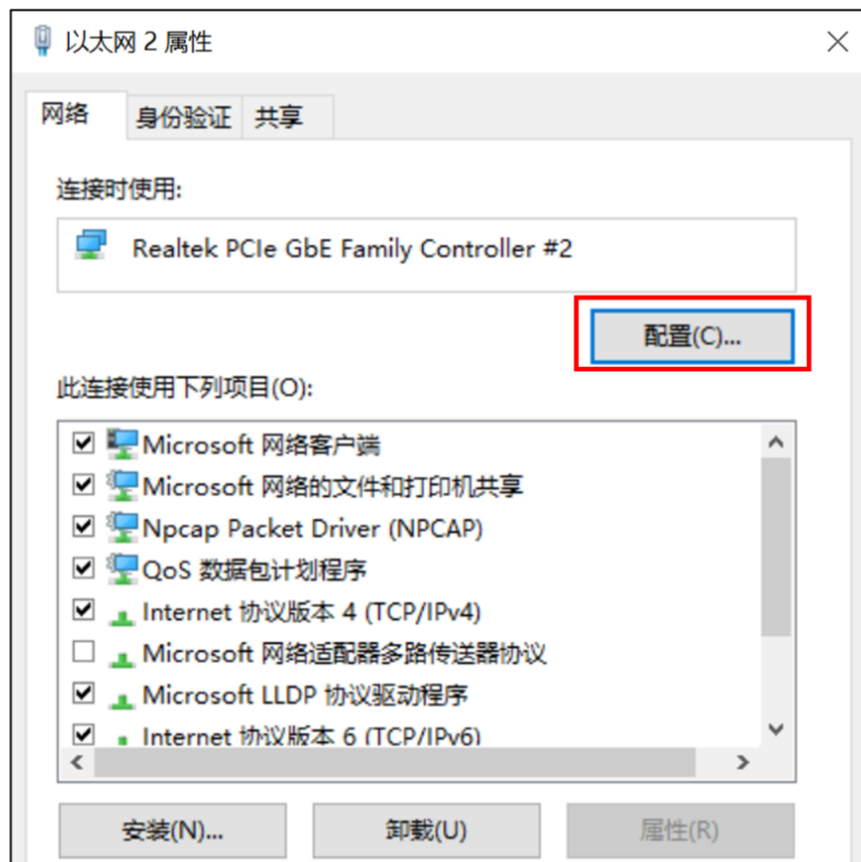
可使用 ping 命令检查连接：



1. 用 Win + R 快捷键打开“运行”窗口
2. 输入“cmd”并点击 [确定]，打开命令行窗口。
3. 输入“ping 192.168.1.201”，查看返回值。

5. 如果使用 VLAN:

点击网卡型号下方的 [配置] 按钮——在 [高级] 选项卡的 [属性] 列表中选择 [VLAN ID]——输入 VLAN ID。



如果 [属性] 列表中没有 [VLAN ID]，通常需要更新网卡驱动。

2.4.2 Ubuntu 系统

1. 查看本地的网络接口名：

法一

- a. 进入 Settings—Network 界面
- b. 找到状态包含“connected”的条目
Ethernet 标题后的括号内容即为接口名



法二

- a. 在终端运行命令：

```
ifconfig
```

- b. 寻找对应数据传输的端口，查看端口名。
(如图，端口名为 **enp5s0**。)

```
> ifconfig
docker0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    inet [REDACTED] netmask [REDACTED] broadcast [REDACTED]
    ether [REDACTED] txqueuelen 0 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp2s0f0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether [REDACTED] txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

enp5s0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether [REDACTED] txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 267706980 bytes 300970909734 (300.9 GB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 3184 bytes 590575 (590.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

不使用 VLAN 时

2. 在终端运行命令：

```
sudo ifconfig ${interface_name} ${ip_addr}
```

其中：

- `${interface_name}` 需替换为本地的网络接口名。
- `${ip_addr}` 需替换为接收主机的 IP 地址。

使用 VLAN 时

2. 在终端运行命令：

```
sudo ip link add link ${interface_name} name ${interface_name}.${vlan_id} type vlan id ${vlan_id}
sudo ip link set up ${interface_name}.${vlan_id}
sudo ip addr add ${ip_addr}/24 dev ${interface_name}.${vlan_id}
ip addr show ${interface_name}.${vlan_id}
```

其中：

- `${interface_name}` 需替换为本地的网络接口名。
- `${vlan_id}` 需替换为接收主机的 VLAN ID。
- `${ip_addr}` 需替换为接收主机的 IP 地址。

2.5 辅助工具

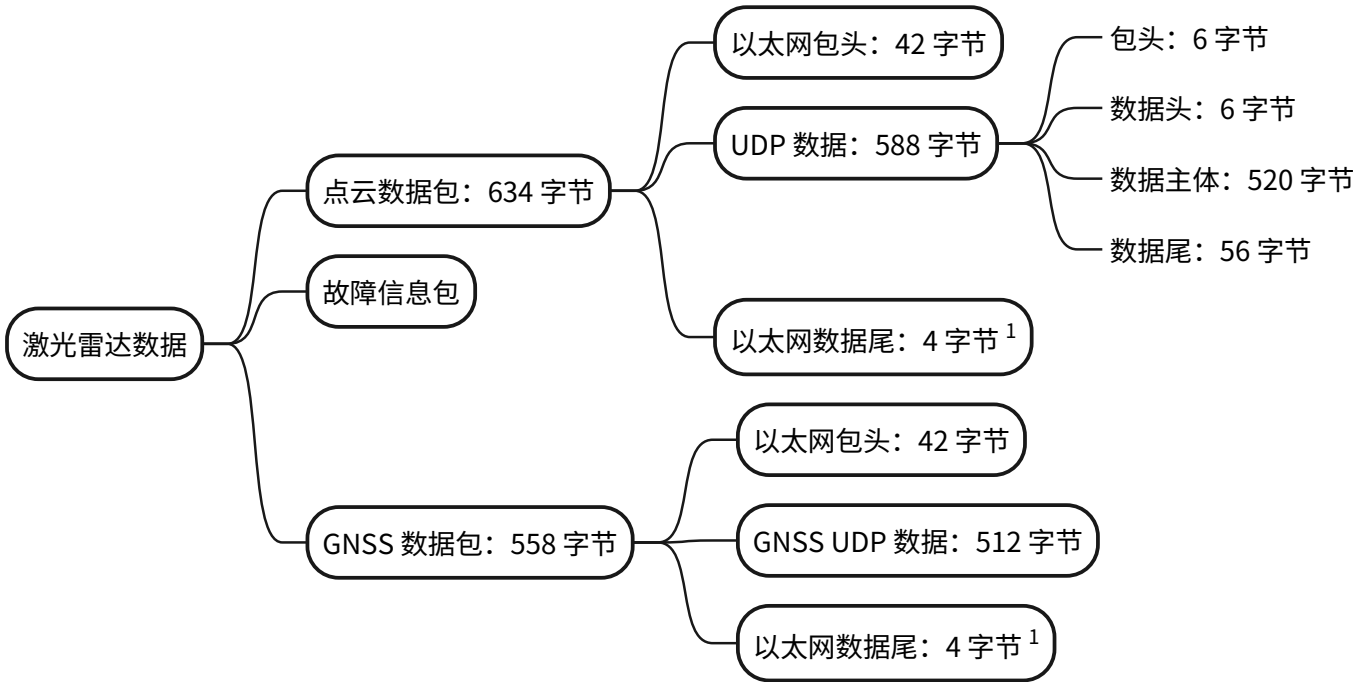


- 多数型号支持以下工具，请联系禾赛技术支持确认。
- 如果您使用的定制型号或早期样机，请联系禾赛技术支持以确认适用性。

工具	用途	获取方式
点云可视化软件：PandarView 2	播放和录制点云数据。	公开版本（仅支持部分型号）： https://www.hesaitech.com/cn/product/download
上位机软件：LidarUtilities	设置参数、查看雷达信息或升级软固件。	请联系禾赛技术支持。
API		请联系禾赛技术支持以确认本型号适用类型（HTTP、PTC 或串口通信 API），并获取相应的技术文档。
软件开发工具包（SDK）、ROS 驱动程序	辅助开发。	公开版本（仅支持部分型号）： https://github.com/HesaiTechnology
网页控制	设置参数、查看雷达信息或升级软固件。	如果本型号支持网页控制，请参考本说明书“网页控制”一节。

3 数据格式

多字节的字段均默认为无符号整型，按小端字节序传输；另行备注除外。



1. 网络监控软件（例如 WireShark）通常不显示以太网数据尾的 4 字节。

图 13. 数据结构



故障信息包的数据格式参见《诊断功能手册》（Diagnostic Manual）。如需获取，请联系禾赛科技技术支持。

3.1 点云数据包

3.1.1 以太网包头

点云数据包：以太网包头

字段	字节数	说明
Ethernet II MAC	12	目的：xx:xx:xx:xx:xx:xx（广播为 FF:FF:FF:FF:FF:FF） 源：xx:xx:xx:xx:xx:xx
Ethernet Data Packet Type	2	0x08，0x00
Internet Protocol	20	互联网协议参数
UDP Port Number	4	源端口（默认为 10000） 目的端口（默认为 2368）
UDP Length	2	比点云包 UDP 数据多 8 字节，参见 图 13. 数据结构 。
UDP Checksum	2	以太网包头的校验码

3.1.2 点云 UDP 数据

包头

字段	字节数	说明
Start of Packet	1	包起始标志 固定值：0xEE
Start of Packet	1	包起始标志 固定值：0xFF
Protocol Version Major	1	通信协议的主版本号，指示点云数据结构的大类。 当前值：0x01
Protocol Version Minor	1	通信协议的次版本号，指示点云数据结构的子类。 当前值：0x0D
Reserved	2	预留

数据头

字段	字节数	说明
Channel Num	1	激光通道数 固定值：0x40（64）  JT64P 的硬件通道数为 64。
Block Num	1	每个数据包中的数据块数量 固定值：0x02（2）
Reserved	1	预留

字段	字节数	说明	
Dis Unit	1	距离单位 固定值：0x04（4 mm）	
Return Num	1	每个激光器产生的总回波数 单回波：0x01（1） 双回波：0x02（2）	
Flags	1	指示所在数据包是否包含以下信息：	
		比特位	说明
		[7:6] 预留	-
		[5] 置信度	1 — 包含 0 — 不包含
		[4:2] 预留	-
		[1] IMU 信息	1 — 包含（固定） 0 — 不包含
		[0] UDP 序列号	1 — 包含（固定） 0 — 不包含

数据主体

回波模式

雷达支持的回波模式见 [3.1.2.4 数据尾](#) 的 **Return Mode** 字段。

单回波模式下，全部通道一轮发光返回的测量数据位于一个数据块中。

双回波模式下，全部通道一轮发光返回的测量数据位于相邻两个数据块中，且这两个相邻数据块的 **Azimuth** 字段相同。

回波模式	奇数块	偶数块	说明
最后及最强	最后回波	最强回波	如果最后、最强为同一回波，则偶数块保存次强回波。
最后及第一	最后回波	第一回波	如果最后、第一为同一回波，则两个数据块的数据相同。
第一及最强	第一回波	最强回波	如果第一、最强为同一回波，则偶数块保存次强回波。

字段	字节数	说明
Azimuth 1	2	数据块 1 对应的方位角基准值 单位：0.01°
Block 1	256	数据块 1 的各通道测量数据，从通道 1 开始（字段定义见 数据主体中的每个数据块 ）。
Azimuth 2	2	数据块 2 对应的方位角基准值 单位：0.01°
Block 2	256	数据块 2 的各通道测量数据，从通道 1 开始（字段定义见 数据主体中的每个数据块 ）。
CRC	4	数据主体的 CRC-32/MPEG-2 校验码  CRC-32/MPEG-2 算法参见： https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/72226-crc-32-mpeg-2-computation-algorithm



数据主体中的每个数据块

- JT64P 的 64 个通道从 JT128 的通道中选取。参见 [附录 A 通道分布数据](#)。

字段	字节数	说明												
Channel 1	4	通道 1 的测量数据 <table><tr><th>字段</th><th>字节数</th><th>说明</th></tr><tr><td>Distance</td><td>2</td><td> 距离 = Distance × Dis Unit Dis Unit 定义见 3.1.2.2 数据头。 </td></tr><tr><td>Reflectivity</td><td>1</td><td> 反射率 = Reflectivity 字段值 × 1% 范围：0 ~ 255 </td></tr><tr><td>Confidence</td><td>1</td><td> 仅当 数据头 中 Flags 字段的 bit[5] = 1 时，增加此字段。 PandarView 2 中，该字段显示为 WeightFactor。 [7:6] 视窗脏污等级 • 范围：0 ~ 3 • 等级越高，光罩脏污程度越高。 [5:0] 离散噪点等级 • 范围：0 ~ 63 • 等级越高，该数据点为离散噪点（例如雨雾、扬尘或尾气）的概率越大。 </td></tr></table>	字段	字节数	说明	Distance	2	距离 = Distance × Dis Unit Dis Unit 定义见 3.1.2.2 数据头。	Reflectivity	1	反射率 = Reflectivity 字段值 × 1% 范围：0 ~ 255	Confidence	1	仅当 数据头 中 Flags 字段的 bit[5] = 1 时，增加此字段。 PandarView 2 中，该字段显示为 WeightFactor。 [7:6] 视窗脏污等级 • 范围：0 ~ 3 • 等级越高，光罩脏污程度越高。 [5:0] 离散噪点等级 • 范围：0 ~ 63 • 等级越高，该数据点为离散噪点（例如雨雾、扬尘或尾气）的概率越大。
字段	字节数	说明												
Distance	2	距离 = Distance × Dis Unit Dis Unit 定义见 3.1.2.2 数据头。												
Reflectivity	1	反射率 = Reflectivity 字段值 × 1% 范围：0 ~ 255												
Confidence	1	仅当 数据头 中 Flags 字段的 bit[5] = 1 时，增加此字段。 PandarView 2 中，该字段显示为 WeightFactor。 [7:6] 视窗脏污等级 • 范围：0 ~ 3 • 等级越高，光罩脏污程度越高。 [5:0] 离散噪点等级 • 范围：0 ~ 63 • 等级越高，该数据点为离散噪点（例如雨雾、扬尘或尾气）的概率越大。												
Channel 2	4	通道 2 的测量数据												
...	...	...												
Channel 64	4	通道 64 的测量数据												

数据尾

字段	字节数	说明
Reserved	11	预留
Working Mode	1	雷达工作模式 1 — 待机 0 — 运行
Return Mode	1	回波模式 0x33 — 第一 0x37 — 最强 0x38 — 最后 0x39 — 最后及最强（默认） 0x3B — 最后及第一 0x3C — 第一及最强
Motor Speed	2	电机转速 单位：0.1 RPM  电机转速 (RPM) = 扫描帧率 (Hz) × 60

字段	字节数	说明	
Date & Time	6	该数据包 UTC 时间的整秒部分。	
		每个字节	范围（十进制）
		年（当前年份减去 1900）	≥70
		月	1 ~ 12
		日	1 ~ 31
		时	0 ~ 23
		分	0 ~ 59
		秒	0 ~ 59
UTC Fractional Seconds	4	该数据包 UTC 时间的微秒部分。 单位：μs 范围：0 ~ 999 999 μs (1 s)	
Factory Information	1	工厂信息 固定值：0x42	
UDP Sequence	4	该数据包的序列号 范围：0 ~ 0xFF FF FF FF	
IMU Temperature	2	IMU（惯性测量单元）提供的温度 数据类型：有符号整型 单位：0.01°C	
IMU Acceleration Unit	2	加速度的单位换算系数 数据类型：无符号整型 当前值：0x7A (122) 加速度的单位：0.001mg × 122 = 0.122mg（g：标准重力）	

字段	字节数	说明	
IMU Angular Velocity Unit	2	角速度的单位换算系数 数据类型：无符号整型 当前值：0xBE9 (3049) 角速度的单位：0.01 mdps × 3049 = 30.49 mdps（dps：角度每秒）	
Reserved	4	预留	
IMU X Axis Acceleration	2	X 轴加速度	
		数据类型	有符号整型
		测量范围	• ±2g • ±4g（默认） • ±8g • ±16g  可使用 PTC 指令（指令码 0xFF, 0x0000012E）配置测量范围，参见《TCP API 参考手册》。
		加速度的单位	参见 IMU Acceleration Unit 字段，当前值为 0.122mg
		示例	本字段数值为 5 时，X 轴加速度 = 5 × 0.122mg = 0.61mg
IMU Y Axis Acceleration	2	Y 轴加速度	
IMU Z Axis Acceleration	2	Z 轴加速度	

字段	字节数	说明	
IMU X Axis Angular Velocity	2	X 轴角速度	
		数据类型	有符号整型
		测量范围	单位： dps • ±125 • ±1000（默认） • ±2000  可使用 PTC 指令（指令码 0xFF, 0x0000012E）配置测量范围，参见《TCP API 参考手册》。
		角速度的单位	参见 IMU Angular Velocity Unit 字段，当前值为 30.49 mdps
		示例	本字段数值为 5 时，X 轴角速度 = 5 × 30.49 mdps = 152.45 mdps
IMU Y Axis Angular Velocity	2	Y 轴角速度	
IMU Z Axis Angular Velocity	2	Z 轴角速度	
CRC	4	数据尾的 CRC-32 校验码	

3.1.3 以太网数据尾

字段	字节数	说明
FCS	4	帧校验序列

3.1.4 点云数据解析方法

以点云数据包中 **数据块 1** 的 **4 号通道** 为例，解析步骤如下。

解析数据点的垂直高度角

由[附录 A 通道分布数据](#)可知，**4 号通道** 的垂直高度角设计值为 0.13°。



- 准确的垂直高度角：在该台雷达的角度修正文件中，参见[角度修正文件](#)。
- 水平方向定义为垂直 0°，向上为正、向下为负，参见[图 4. 通道垂直分布示意图](#)。

解析数据点的水平角度



雷达坐标系的 Y 轴方向定义为水平 0°，[图 3](#)中顺时针方向为正。

$$\text{水平方位角} = \text{①} + \text{②}$$

- ① 当前数据块的开始时间（定义见[B.3 数据块的开始时间](#)）所对应的角度位置
- ② 当前通道的发光时刻补偿角

$$\text{①} = \text{③} + \text{④}$$

- ③ 该数据块当前的方位角基准值
从[3.1.2.3 数据主体](#)中的 **Azimuth 1** 字段读取。
- ④ 当前发光通道的水平方位角偏移量
由[附录 A 通道分布数据](#)可知，**4 号通道** 为 -9.72°。



准确的水平方位角偏移量：在该台雷达的角度修正文件中，参见[角度修正文件](#)。

$$\textcircled{2} = \textcircled{5} \times \textcircled{6}$$

⑤ 通道的发光时刻偏移

在 [B.4 各通道的发光时刻偏移](#) 查表可知。

⑥ 电机的旋转速率

见点云数据包数据尾的 **Motor Speed** 字段，单位应转换为 $^{\circ}/s$ 。

针对高精度应用的集成说明

各通道的发光时刻 **交错** 且 **间隔非均匀**：

- 发光时序与通道编号顺序不同。
- 通道间的发光时间间隔并不均匀。

在高精度应用中，请务必根据 [各通道的发光时刻偏移](#) 进行运动补偿（即去畸变）。

如果错误地认为发光时序与通道编号顺序相同，或认为发光时间间隔均匀，则会导致点云时间戳错误，继而影响运动补偿效果，在高速运动场景下影响尤甚。出现此类错误时，点云中的垂直结构（例如墙面、管道）可能产生间隙或鬼像。

当一个应用满足以下一项或多项条件时，可视为高精度应用：

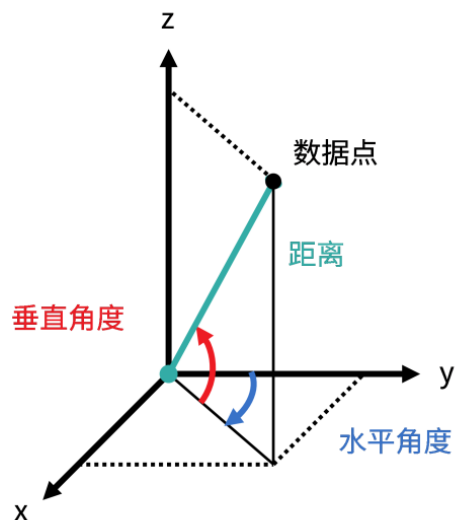
- 用于测绘与建图
- 部署在移动平台上，例如车辆、无人机或机器人
- 使用了运动补偿算法或 SLAM/建图系统

解析数据点的距离值

参见 [3.1.2.3 数据主体](#) 中 **数据块 1：4 号通道** 的 **Distance** 字段。

在球坐标系或直角坐标系中画出该数据点

垂直高度角、水平方位角在球坐标系中的定义如下图。



解析并画出该帧点云数据中的每个数据点，从而得到实时点云

3.2 GNSS 数据包

- 接收 GNSS 数据包前，需设置接收主机的网络参数，见 [2.4 接收主机的网络设置](#)。
- 选择 GNSS 作为时钟源时，每秒触发一个 GNSS 数据包；选择 PTP 作为时钟源时，雷达不输出 GNSS 数据包。



选择时钟源：见 [4.4 时间同步](#) 中的 Clock Source。

全部多字节值均为无符号整型，按小端字节序传输。

3.2.1 以太网包头

GNSS 数据包：以太网包头

字段	字节数	说明
Ethernet II MAC	12	目的：xx:xx:xx:xx:xx:xx（广播为 FF:FF:FF:FF:FF:FF） 源：xx:xx:xx:xx:xx:xx
Ethernet Data Packet Type	2	0x08, 0x00
Internet Protocol	20	互联网协议参数
UDP Port Number	4	源端口（默认为 10000） 目的端口（默认为 10110）
UDP Length	2	比 GNSS 包 UDP 数据多 8 字节，参见 图 13. 数据结构 。
UDP Checksum	2	以太网包头的校验码

3.2.2 GNSS UDP 数据

字段	字节数	说明		
GNSS Time Data	18	GNSS 时间，精确到秒。		
		字段	字节数	说明
		GNSS 数据头	2	0xFFEE，其中 0xFF 在前
		日期	6	年，月，日（各 2 字节，低字节在前，ASCII 格式）
		时间	6	秒，分，时（各 2 字节，低字节在前，ASCII 格式）
		预留	4	-
NMEA Data	84	NMEA 语句，包含日期和时间信息。 ASCII 格式，有效数据至星号（*）之后的 2 个字节。  选择时钟源：见 4.4 时间同步 中的 Clock Source。		
Reserved	404	404 个 0xDF		
GNSS Positioning Status	1	GNSS 定位状态 ASCII 格式，提取自 NMEA 语句。		
PPS Lock Flag	1	PPS 信号锁定标志 1 — 锁定 0 — 失锁		
Reserved	4	预留		

GPRMC 数据格式

```
$GPRMC, <01>, <02>, <03>, <04>, <05>, <06>, <07>, <08>, <09>, <10>, <11>, <12>*hh
```

字段编号	字段	说明
<01>	UTC Time	UTC 时间（时分秒） 常见格式：hhmmss（时，分，秒）
<02>	Location Status	位置状态 A (hex = 41) — Active（有效定位） V (hex = 56) — Void（无效定位） NUL (hex = 0) — GPS 失锁
...	...	...
<09>	UTC Date	UTC 日期（年月日） 常见格式：ddmmyy（日，月，年）
...	...	...

激光雷达 GPS 端口兼容多种 GPRMC 数据格式，满足以下条件即可：

- <01> 字段（即第 1 个逗号分隔符后的数据）为时分秒信息。
- <09> 字段（即第 9 个逗号分隔符后的数据）为日期信息。

例如，以下两种格式均可支持：

```
$GPRMC,072242,A,3027.3680,N,11423.6975,E,000.0,316.7,160617,004.1,W*67
$GPRMC,065829.00,A,3121.86377,N,12114.68322,E,0.027,,#160617#,,,A*74
```

GPGGA 数据格式

```
$GPGGA, <01>, <02>, <03>, <04>, <05>, <06>, <07>, <08>, <09>, <10>, <11>, <12>*hh
```

字段编号	字段	说明			
<01>	UTC Time	UTC 时间（时分秒） 常见格式：hhmmss（时，分，秒）			
...	...	...			
<06>	GPS Fix Quality	GPS 锁定质量 输出 0 ~ 9，参见 GPS 设备供应商的说明。常见定义：			
		0	无效定位	4	RTK 固定解
		1	GPS 锁定（SPS 单点定位）	5	RTK 浮点解
		2	DGPS 锁定	6	估计（航迹推算）
		3	PPS 锁定	-	-
		...	...	...	

激光雷达 GPS 端口兼容多种 GPGGA 数据格式，满足以下条件即可：

<01>字段（即第 1 个逗号分隔符后的数据）为时分秒信息。

例如，以下两种格式均可支持：

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
$GPGGA,134658.00,5106.9792,N,11402.3003,W,2,09,1.0,1048.47,M,-6.27,M,08,AAAA*60
```

3.2.3 以太网数据尾

字段	字节数	说明
FCS	4	帧校验序列

3.2.4 GNSS 时间数据解析方法

> Data (512 bytes)			
0000	04 d4 c4 eb 9b 37 ec 9f 0d 00 48 cb 08 00 45 00	7.. ..H...E.	
0010	02 1c c4 23 40 00 80 11 b0 66 c0 a8 01 c9 c0 a8	...#@... ..f.....	
0020	01 2d 27 10 27 7e 02 08 00 00 ff ee 30 32 34 30	--'..'~...0240	
0030	37 30 38 35 37 30 34 30 00 00 00 00 24 47 50 52	70857040\$GPR	
0040	4d 43 00 2c 30 34 30 37 35 37 2e 37 36 2c 56 2c	MC.,0407 57.76,V,	
0050	2c 2c 2c 2c 2c 2c 30 37 30 34 32 30 2c 2c 2c 4e	,,,,,,07 0420,,,N	
0060	2c 56 2a 30 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36	,V*06666 66666666	

图 14. GNSS 数据包：GNSS 时间数据（示例）

日期

字段	数据 (ASCII 码)	字符	含义
年	0x30 0x32	'0', '2'	20
月	0x34 0x30	'4', '0'	04
日	0x37 0x30	'7', '0'	07

时间

字段	数据 (ASCII 码)	字符	含义
秒	0x38 0x35	'8', '5'	58
分	0x37 0x30	'7', '0'	07
时	0x34 0x30	'4', '0'	04

4 参数接口

本节全部参数均提供 API，部分参数也显示在 LidarUtilities 上。



用户无法读写本节列出的参数。

4.1 网络连接

4.1.1 源端

Source IPv4 Address

源端的 IPv4 地址

选项	通信类型
默认：192.168.1.201	UDP
默认：192.168.1.201	PTC API

Source IPv4 Subnet Mask

选项	说明
默认：255.255.255.0	子网掩码 UDP、PTC 端口均适用。

Source IPv4 Gateway

选项	说明
默认：192.168.1.1	网关 IP 地址 UDP、PTC 端口均适用。

4.1.2 目的端

Destination IPv4 Address

选项	说明
255.255.255.255	点云 UDP 的目的端 IPv4 地址 用于传输点云数据包。

Destination Point Cloud UDP Port

选项	说明
默认：2368	点云 UDP 端口号 用于传输点云数据包。

Destination Fault Message Port

选项	说明
默认：2369	故障信息端口号 用于传输故障信息数据包。

4.2 功能设置

Azimuth FOV

选项	说明						
默认：全部通道 360° 输出点云	点云的水平方位角范围 雷达仅在设置的角度范围内输出有效数据。 <table><tr><th>设置模式</th><th>说明</th></tr><tr><td>全部通道：单角度范围 Single-Section FOV（默认）</td><td>定义一个连续角度范围 [起始角, 终止角]，应用于全部激光通道。</td></tr><tr><td>全部通道：多角度范围 Multi-Section FOV</td><td>定义 1 ~ 5 个连续角度范围，应用于全部激光通道。</td></tr></table>  • 角度值可精确到一位小数。 • 起始角不等于终止角。 • 如果连续角度范围的起始角大于终止角： ◦ 起始角不可设为 360°；终止角不可设为 0°。 ◦ 实际输出点云的范围是 [起始角, 360°) 与 [0°, 终止角) 的并集。 例如：设置角度范围为 [270°, 90°)，则实际输出点云的范围是 [270°, 360°) ∪ [0°, 90°)。	设置模式	说明	全部通道：单角度范围 Single-Section FOV（默认）	定义一个连续角度范围 [起始角, 终止角]，应用于全部激光通道。	全部通道：多角度范围 Multi-Section FOV	定义 1 ~ 5 个连续角度范围，应用于全部激光通道。
设置模式	说明						
全部通道：单角度范围 Single-Section FOV（默认）	定义一个连续角度范围 [起始角, 终止角]，应用于全部激光通道。						
全部通道：多角度范围 Multi-Section FOV	定义 1 ~ 5 个连续角度范围，应用于全部激光通道。						

Return Mode

选项	说明
单回波 • 最强 Strongest • 最后 Last • 第一 First 双回波 • 最后及最强 Last and Strongest（默认） • 最后及第一 Last and First • 第一及最强 First and Strongest	回波模式 也可从点云数据包中读取，参见 3.1.2.4 数据尾 的 Return Mode 字段。

Spin Rate

选项	说明
600 RPM（默认） 1200 RPM	电机转速 可从点云数据包中读取准确转速，参见 3.1.2.4 数据尾 的 Motor Speed 字段。

Sync Angle

选项	说明
[0°, 360°)	同步角度 每当整秒时刻，雷达将转动到该角度位置。  雷达角度位置定义：参见1.3 基本结构。 整秒时刻的定义：  • 当 GNSS 锁定时，整秒时刻来自 GNSS PPS 信号的上升沿。 • PTP 处于跟踪或锁定状态时，整秒时刻来自 PTP 信号（雷达不使用 PPS 信号）。 • PTP 处于自由运行或冻结状态时，整秒时刻定义为雷达内部 1 Hz 信号的上升沿。 • 详见B.1 绝对时间的来源。 应用：可同步多台雷达的角度位置，即相位锁定。 • 采用同一时钟源连接多台雷达，并设置相同的同步角度，则同一时刻下，多台雷达转动的角度位置相同。

Trigger Method

选项	说明	
角度触发 Angle-Based（默认） 时间触发 Time-Based	激光器发光的触发方式	
	角度触发	10 Hz：每 0.4° 发光一次。 20 Hz：每 0.8° 发光一次。
	时间触发	每 111.111 μs 发光一次。

4.3 状态设置

Reset All Settings

选项	说明
重置全部参数	将 4.2 功能设置 中的全部参数重置为默认值。

Restart

选项	说明
N/A	重启后，雷达启动次数（Start-Up Times）自动加 1，参见 4.6 运行状态数据 。

Standby Mode

选项	说明
运行 In Operation（默认） 待机 Standby	运行/待机模式 待机模式下，电机停转且激光器不发光。

4.4 时间同步

只读参数	说明	
PTP Status	PTP 状态	
	自由运行 Free Run	未选中 PTP 主时钟。
	跟踪 Tracking	已选中 PTP 主时钟，从时钟尝试和主时钟同步，然而偏移量的绝对值大于用户设定的上限（参见本节 PTP Lock Time Offset）。
	锁定 Locked	主从时钟偏移量的绝对值小于用户设定的上限。
	冻结 Frozen	PTP 主时钟锁定后失锁，正在尝试恢复。雷达从前一锁定状态下的时刻开始漂移。

Clock Source

选项	说明
GNSS	绝对时间的外部来源
PTP（默认）	

PTP Profile

选项	说明
1588v2（默认）	PTP 配置类型（即 IEEE 时间同步标准）
802.1AS	
802.1AS Automotive	

PTP Lock Time Offset

选项	说明
1 ~ 1000 μ s（整数） 默认：100	PTP 锁定状态的上限 PTP 锁定状态下（参见 PTP Status ），最大允许的主从时钟偏移量的绝对值。

PTP Domain Number

选项	说明
0 ~ 127（整数） 默认：0	PTP 本地时钟的域序列号

PTP Network Transport

选项	说明
L2 UDP/IP（默认）	网络传输协议

4.5 雷达信息

只读参数	说明
SN（Serial Number）	雷达序列号
PN（Part Number）	雷达硬件版本号
MAC address	媒体访问控制（MAC）地址 格式：XX:XX:XX:XX:XX:XX（十六进制）

Angle correction file

选项	说明
获取文件	角度修正文件 用于修正各通道的水平方位角和垂直高度角。

4.6 运行状态数据

可用性

只读参数	说明
Start-Up Times	雷达启动次数
System Uptime	本次上电运行时间
Total Operation Time	总运行时间

4.7 升级

Upgrade

选项	说明
升级 Upgrade	升级雷达软固件

5 仪器维护

激光雷达光罩为塑料材质（聚碳酸酯，即 PC）。

- 请勿在干燥状态下擦拭光罩，也不可使用研磨性清洁剂，以免损伤光罩的光学涂层。
- 禁止使用有机清洁剂，以免损伤光罩，甚至造成开裂。
 - 有机清洁剂包括但不限于：柏油清洁剂、自洁素、粘胶去除剂、镀膜去除剂、泡沫清洁剂、漆面铁粉清洁剂、玻璃清洁剂、稀释剂、除冰剂、漆面处理剂、酒精和食醋。
 - 如果设备清洗或相关作业中可能用到有机清洁剂，请针对光罩采取防护措施，避免其接触有机清洁剂。
- 请勿向雷达施加强外力，以免光罩受损。
 - 如果使用非专用于激光雷达产品的自动清洗装置，清洗雷达可能存在风险，请联系禾赛科技技术支持进行评估。
 - 请勿使用尖锐物体（例如刀具、金属镊子）或硬质毛刷（例如尼龙硬毛刷、钢丝刷）刮擦光罩表面。此类操作可能导致光罩表面划伤，严重时可能造成产品功能失效。
- 光罩经历长时间高温暴晒后，请勿立即清洗。
- 光罩表面有积雪或积冰时，请勿使用高压清洗机或除冰铲。
 - 建议使用小扫帚清除积雪。
 - 建议使用不含有机溶剂的除冰喷剂清除积冰，或等待积冰自行融化。
- 请勿在光罩表面打蜡。



建议结合使用频率、存放环境及气候条件，定期观察光罩洁净度。



- 光罩上附着异物（例如尘土、指印或油污）时，应清洁光罩。
- 光罩上附着侵蚀性异物（例如昆虫尸体、鸟粪、天然树脂、道路灰尘、工业粉尘、沥青、煤烟粒、融雪盐）时，应立即清洁光罩。

清洁步骤

1. 清洁前，请确认激光雷达已断电。
2. 基于脏污程度，选择清洁剂：
 - 污渍轻微时，建议使用常温水。
 - 污渍较多时，建议使用常温的温和肥皂液（一公升水中不超过两汤匙肥皂液）。

- 对于顽固污渍，建议使用常温且不含有机溶剂的中性清洁剂，例如洗车香波。
- 3. 取干净的软海绵或抗静电微纤维软布，用上述清洁剂浸湿，来回轻轻擦拭脏污位置。
- 4. 如果遇到顽固污渍，建议先将浸湿的软海绵或纤维软布覆盖在光罩脏污位置，待污渍软化后再轻轻擦拭。
- 5. 擦掉污渍后，立即用清水冲洗光罩，再用干净的软海绵或纤维软布轻轻擦去剩余液体，避免清洗剂或污染物残留。

6 故障排查

以下步骤如果无法实施，或实施后未解决问题，请联系禾赛技术支持。

故障现象	检查及排除办法
电机不转动	确认以下条件是否满足： • 电源线接触良好，电源适配器正常工作。 • 输入电压和电流符合电气要求，见 1.5 技术参数。 • 可正常连接 LidarUtilities（参见上位机无法连接雷达的排查方法）。 • 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：雷达未处于待机模式。 之后重新上电，查看故障是否消失。
电机转动，但没有数据输出 (Wireshark 和 PandarView 2 均无数据)	确认以下条件是否满足： • 网线连接正常（可重新插拔）。 • 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Destination IP 配置正确。 • 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：固件版本显示正常。 • 雷达正在发出激光（可用红外相机或红外激光观察卡检测，也可采用未配备红外截止滤光片的手机镜头观察）。 之后重新上电，查看故障是否消失。
Wireshark 有数据而 PandarView 2 无数据	确认以下条件是否满足： • 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：Lidar Destination Port 设置正确。 • 如果开启了 VLAN，使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：雷达与计算机的 VLAN ID 相同。 • 计算机的公用网络防火墙已关闭，或将 PandarView 2 加入到防火墙的例外中。 • 使用最新版本 PandarView 2（请联系技术支持获取）。 之后重新上电，查看故障是否消失。

故障现象	检查及排除办法
上位机软件 LidarUtilities 无法连接雷达	确认以下条件是否满足： • 网线连接正常（可重新插拔）。 • IP 配置正确：可用 Wireshark 查看发送广播包的雷达 IP，确保计算机 IP 与雷达 IP 属于同一子网。 • 如果开启了 VLAN，使用 PTC 指令或 LidarUtilities 确认：雷达与计算机的 VLAN ID 相同。 然后执行以下操作： 1. 重启计算机，或将雷达连接至另一台计算机。 2. 重新上电，查看故障是否消失。
数据包数量异常（即丢包）	确认以下条件是否满足： • 根据点云数据包的 Motor Speed 字段（如有）确认，或使用 PTC 指令、LidarUtilities 或 PandarView 2 确认：电机转速平稳。 • 使用 PTC 指令、LidarUtilities 或 PandarView 2 确认：雷达内部温度在 -20°C ~ 95°C 范围内。 • 以太网无过载。 • 网络中没有接入交换机（其它设备传输的数据可能造成网络堵塞，导致丢包）。 然后执行以下操作： 1. 使计算机仅连接一台雷达、不连接其他设备，检查故障是否消失。 2. 将雷达重新上电，查看故障是否消失。

故障现象	检查及排除办法
点云异常（排列明显不规则、点云闪烁、视场角残缺等）	确认以下条件是否满足： • 雷达光罩是否洁净（如果有污迹，可按 5 仪器维护 中的方法清洁）。 • 角度修正文件已导入，参见《PandarView 2 用户手册》。 • 根据点云数据包的 Motor Speed 字段（如有）确认，或使用 PTC 指令、LidarUtilities 或 PandarView 2 确认：电机转速平稳。 • 使用 PTC 指令、LidarUtilities 或 PandarView 2 确认：雷达内部温度在 -20°C ~ 95°C 范围内。 然后检查是否丢包。 如果未丢包而点云数据闪烁，请执行以下操作： 1. 更新至最新版本 PandarView 2（请联系技术支持获取）。 2. 重启计算机。 如果问题持续存在，则尝试以下操作： 1. 将雷达连接至另一台计算机和另一个网络。 2. 查看故障是否消失。
GNSS 无法锁定	确认以下条件是否满足： • GNSS 设备连接正常。 • PPS 信号已输入雷达。 • 使用 PTC 指令或 LidarUtilities 指令确认 GNSS Destination Port 设置正确。 • 输入的 GNSS 信号满足 2.2 电气接口 中的电气要求。 之后重新上电，查看故障是否消失。

附录 A: 通道分布数据

A.1 通道角度及性能

下方表格说明

通道序号	JT64P 的 64 个通道从 JT128 的 128 个通道中选取。各通道的角度位置和仪器测距与 JT128 的对应通道一致，但水平角分辨率不同。
角度位置	均为设计值。 - 准确角度数据在该台雷达的角度修正文件中。 - 参见 3.1.4 点云数据解析方法。
垂直高度角	空间中的角度。 投影到平面的角度见 图 4 。

为提升测量性能，在近距离范围内仅启用部分通道。



- 距离 $< 0.35\text{ m}$ 时，启用 **32** 个通道。
 - 通道 1 ~ 59 中的 30 个奇数通道
 - 通道 63 ~ 64
- $0.35\text{ m} \leq \text{距离} < 0.5\text{ m}$ 时，启用 **34** 个通道。
 - 通道 1 ~ 59 中的 30 个奇数通道
 - 通道 61 ~ 64

通道序号	JT128 的通道序号	角度位置 (°)		仪器测距 (m)	
		水平方位角偏移量	垂直高度角	下限	上限
1	1	-1.08	-4.43	0.5	60
2	2	-9.71	-3.50	0	60
3	5	-1.10	-0.75	0.5	60

通道序号	JT128 的通道序号	角度位置 (°)		仪器测距 (m)	
		水平方位角偏移量	垂直高度角	下限	上限
4	6	-9.72	0.13	0	60
5	9	2.69	2.64	0.5	60
6	10	11.33	3.46	0	60
7	13	2.68	5.91	0.5	60
8	14	11.36	6.69	0	60
9	17	-1.19	9.08	0.5	60
10	18	-9.92	9.84	0	60
11	21	-1.22	12.08	0.5	60
12	22	-10.04	12.81	0	60
13	25	2.50	15.11	0.5	60
14	26	11.47	15.83	0	60
15	29	2.52	17.93	0.5	60
16	30	11.65	18.62	0	60
17	33	-1.33	20.71	0.5	60
18	34	-10.60	21.38	0	60
19	37	-1.37	23.42	0.5	60
20	38	-10.84	24.07	0	60
21	41	2.64	26.06	0.5	60
22	42	12.39	26.73	0	60
23	45	2.70	28.71	0.5	60

通道序号	JT128 的通道序号	角度位置 (°)		仪器测距 (m)	
		水平方位角偏移量	垂直高度角	下限	上限
24	46	12.71	29.35	0	60
25	49	-1.51	31.37	0.5	60
26	50	-11.77	32.05	0	60
27	53	-1.57	33.99	0.5	60
28	54	-12.15	34.63	0	60
29	57	2.94	36.56	0.5	60
30	58	13.96	37.23	0	60
31	61	3.04	39.15	0.5	60
32	62	14.48	39.79	0	60
33	65	-1.77	41.78	0.5	60
34	66	-13.62	42.47	0	60
35	69	-1.85	44.37	0.5	60
36	70	-14.22	45.02	0	60
37	73	3.44	46.93	0.5	60
38	74	16.55	47.65	0	60
39	77	3.62	49.53	0.5	60
40	78	17.43	50.18	0	60
41	81	-2.14	52.17	0.5	60
42	82	-16.65	52.84	0	60
43	85	-2.26	54.78	0.5	60

通道序号	JT128 的通道序号	角度位置 (°)		仪器测距 (m)	
		水平方位角偏移量	垂直高度角	下限	上限
44	86	-17.70	55.38	0	60
45	89	4.37	57.36	0.5	60
46	90	21.24	58.11	0	60
47	93	4.73	60.00	0.5	60
48	94	22.96	60.64	0	60
49	97	-2.77	62.71	0.5	60
50	98	-22.52	63.44	0	60
51	101	-3.01	65.41	0.5	60
52	102	-24.83	66.00	0	60
53	105	6.43	68.10	0.5	60
54	106	32.52	69.12	0	60
55	109	7.39	70.89	0.5	60
56	110	37.40	71.58	0	60
57	113	-4.25	73.88	0.5	60
58	114	-41.40	75.22	0	60
59	117	-5.04	76.87	0.5	60
60	118	-50.95	77.51	0	60
61	121	26.63	79.62	0.35	60
62	123	38.15	82.40	0.35	60
63	125	-6.32	85.36	0	60

通道序号	JT128 的通道序号	角度位置 (°)		仪器测距 (m)	
		水平方位角偏移量	垂直高度角	下限	上限
64	127	18.19	88.64	0	60

A.2 角度修正文件

文件目的

- 解析点云数据
- 在 PandarView 2 软件中准确显示点云

获取方式（任一）

- 用 PTC 指令（指令编号 0x05），详见本产品的 API 参考手册。
- 用 PandarView 2 软件导出，详见 PandarView 2 用户手册。
- 联系禾赛科技销售代表或技术支持。

数据格式

CSV 文件的格式如下：



- 角度单位：°
- 最后一行是文件的 SHA-256 校验值

```
EEFF,1,1
Channel,Elevation,Azimuth
1,xxx,xxx
2,xxx,xxx
...
63,xxx,xxx
64,xxx,xxx
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

第一行说明

字段	说明
Beginning of File	文件起始标志 固定值：0xEE FF
Protocol Version Major	通信协议的主版本号，指示数据结构的大类。 当前值：0x01
Protocol Version Minor	通信协议的次版本号，指示数据结构的子类。 当前值：0x01

附录 B: 点云数据的绝对时间

B.1 绝对时间的来源

雷达依靠外部时钟源获取绝对时间。

B.1.1 GNSS 作为时钟源

雷达连接第三方 GNSS 模块，获取 PPS 信号和 NMEA 信息。

- PPS 与 NMEA 信号的时序要求见 [2.2.1 引脚定义](#)。

绝对时间的更新规则如下：

NMEA 状态	日期和时间（精确到秒）	说明
未锁定（初始）	虚拟值	从一个 虚拟的 UTC 时间 （例如 2000-01-01 00:00:00）开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增。
锁定	同步为真实值	雷达内部 1 Hz 信号的上升沿时，读取上一秒的 NMEA 信息，从中提取日期和时间，自动加 1 s，从而得到准确的日期和时间。
未锁定（失锁）	内部计时	从 失锁前的同步时刻 开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增，相比真实的 GNSS 时间将产生漂移。

PPS 状态	微秒时间	说明
未锁定（初始）	未同步	雷达内部 1 Hz 信号没有对准整秒时刻。
锁定	同步为真实值	雷达内部 1 Hz 信号的上升沿对准 PPS 脉冲的上升沿（即 GNSS 的整秒时刻）。
未锁定（失锁）	内部计时	由雷达内部 1 Hz 信号计数并递增，相比真实的 GNSS 时间将产生漂移。

B.1.2 PTP 作为时钟源

雷达连接第三方 PTP master 设备，以获取 PTP 信号。



- 雷达不使用 PPS 信号。
- 可通过 PTC 指令或 LidarUtilities 配置 PTP 相关参数。
- 可通过 PTC 指令或 LidarUtilities 查看 PTP 信号的当前状态。
- 雷达不输出 GNSS 数据包。

绝对时间的更新规则如下：

PTP 状态	日期和时间（精确到微秒）	说明
自由运行	虚拟值	从一个 虚拟的 UTC 时间 （例如 2000-01-01 00:00:00）开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增。
跟踪、锁定	同步为真实值	从 PTP master 的对时报文中提取日期和时间。
冻结	内部计时	从 失锁前的同步时刻 开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增，相比真实的 PTP 时间将产生漂移。



- PTP 协议即插即用；雷达为 PTP slave 设备，不需要额外设置。
- 雷达严格按照 PTP master 设备提供的 PTP 时间同步。某些 PTP master 设备输出的时间可能与雷达时间存在固定偏移，请确认 PTP master 设备已设置正确并且已校准。

B.2 点云数据包的绝对时间

点云数据包的绝对时间 $t_0 = t_s + t_{frac}$ ，其中：

- t_s 为整秒部分，位于点云数据包的 **Date & Time** 字段。
- t_{frac} 为微秒或纳秒部分，位于点云数据包的 **UTC Fractional Seconds** 字段。

以上字段定义见 [3.1.2.4 数据尾](#)。

B.3 数据块的开始时间

已知点云数据包的绝对时间为 t_0 ，可计算每个数据块的开始时间 $t(m)$ 。

每个 $t(m)$ 时刻，雷达将当前的水平方位角记录到点云包对应数据块的 Azimuth 字段（参见 [3.1.2.3 数据主体](#)）。

（单位：μs）

单回波模式下

数据块	开始时间 $t(m)$
Block 1	$t_0 - 111.111 - 1888$
Block 2	$t_0 - 1888$

双回波模式下

数据块	开始时间 $t(m)$
Block 1 & Block 2	$t_0 - 1888$

B.4 各通道的发光时刻偏移

数据块 m 中，通道 n 的激光器发光时刻为：

$$t(m, n) = t(m) + \Delta t(n)$$

其中，发光时刻偏移量 $\Delta t(n)$ 见下表：

发光时刻偏移表（单位：μs）

通道序号	发光时刻偏移	通道序号	发光时刻偏移	通道序号	发光时刻偏移	通道序号	发光时刻偏移
1	95.18	2	23.24	3	101.26	4	17.16
5	77.28	6	92.14	7	71.2	8	86.06
9	50.26	10	11.08	11	44.18	12	5
13	65.12	14	105.82	15	59.04	16	99.74
17	38.1	18	24.76	19	32.02	20	18.68
21	78.8	22	93.66	23	72.72	24	87.58
25	51.78	26	12.6	27	45.7	28	6.52
29	66.64	30	103.54	31	60.56	32	97.46
33	39.62	34	22.48	35	33.54	36	16.4
37	76.52	38	91.38	39	70.44	40	85.3
41	49.5	42	10.32	43	43.42	44	4.24
45	64.36	46	105.06	47	58.28	48	98.98
49	37.34	50	24	51	31.26	52	17.92
53	78.04	54	92.9	55	71.96	56	86.82
57	51.02	58	11.84	59	44.94	60	5.76

通道序号	发光时刻偏移	通道序号	发光时刻偏移	通道序号	发光时刻偏移	通道序号	发光时刻偏移
61	65.88	62	59.8	63	38.86	64	32.78

附录 C: 供电指导

C.1 输入电压

为了确保雷达接口处（参见 [2.2 电气接口](#)）的输入电压（ U_{in} ）在 9 ~ 32 V DC 范围内，请检查：

- 电源端电压（ U_s ）
- 从电源到雷达输入端的线缆造成的压降（ U_{drop} ）

$$U_{in} = U_s - U_{drop}$$

C.1.1 估算线缆压降

采用公式或速查表：

用公式估算

室温下（ $23 \pm 5^\circ\text{C}$ ）、扫描帧率 10 Hz 时，可以估算线缆压降：

$$U_{drop} = \frac{U_s - \sqrt{U_s^2 - 40r}}{2}$$

L 线缆长度（单位：m）

r 线缆电阻（单位： Ω ）

U_s 源端电压（单位：V）



雷达电源线的线径需 ≤ 26 AWG。
采用 26 AWG 时， $r \approx 0.3L$ 。

用速查表估算

线缆长度 L	线缆压降		
	$U_s = 12\text{ V}$ 时	$U_s = 24\text{ V}$ 时	$U_s = 32\text{ V}$ 时
2 m	0.52 V	0.25 V	0.19 V
5 m	1.42 V	0.64 V	0.48 V
10 m	3.55 V（雷达输入电压低于 9 V）	1.32 V	0.97 V

由上表可知，线缆长度大于 10 m 时，建议源端电压超过 24 V。

C.1.2 避免超压

雷达输入电压接近 32 V 时，应保证外部供电系统没有额外的上电过冲。

C.2 输入功率

雷达的全工况峰值功耗低于 30 W。

低温（环境温度低于 0°C）启动时，雷达可能长时间保持较大功耗，建议以 15 W 为典型值估计；扫描帧率采用 20 Hz 时，雷达功耗也将高于 [1.5 技术参数](#) 中的典型功耗。在这些使用场景中，建议为雷达提供至少 30 W 输入功率。

C.3 上下电

上电过程中，对电源的要求见[图 15. 上电过程中的电源要求](#)。

- 雷达输入电压爬升之前，应确保在 1 V 以下，且保持至少 50 ms。
- 开始爬升后，应在 500 ms 内爬升至预设工作电压的 90%。

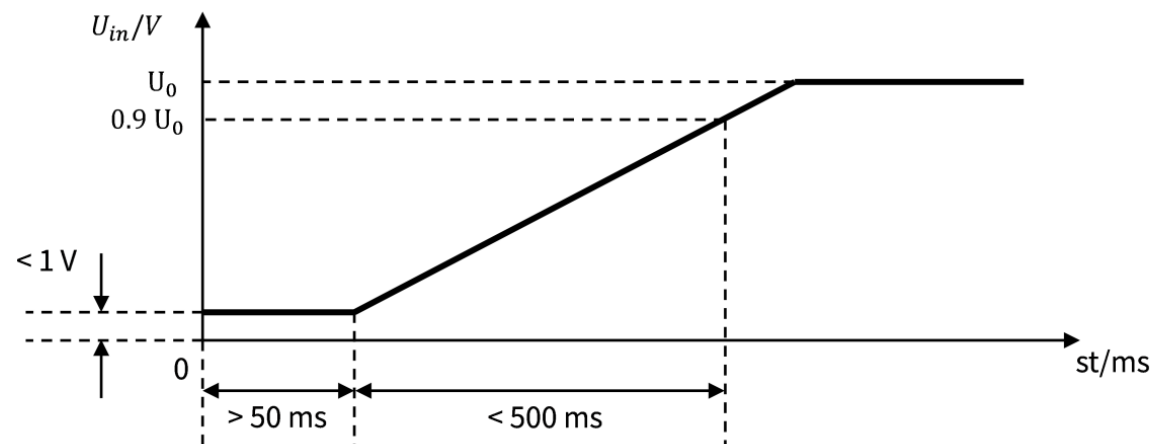


图 15. 上电过程中的电源要求

下电过程中，雷达输入电压跌落至 1 V 以下后，应保持至少 50 ms ，再进行重启。

附录 D: 光心修正

D.1 修正原因

雷达输出的距离测量数据和各通道的垂直高度角均以光心为基准，光心的定义和位置参见[1.4 通道分布和坐标系](#)。

光心随雷达旋转而不断改变位置，导致点云数据的处理难度较高；相比之下，雷达坐标系的原点是更合适的点云数据基准。

D.2 修正的定义

如[图 16. 光心修正示意图](#)，雷达坐标系的原点记为 O ，光心记为 A ，任意数据点记为 B 。

- 已知光心的直角坐标 (x_{AO}, y_{AO}, z_{AO}) ，参见[1.4 通道分布和坐标系](#)。
- 点 B 到点 A 的距离记为 d_{BA} ，点 B 相对于点 A 的垂直高度角和水平方位角分别记为 ε_{BA} 和 α_{BA} 。

对于数据点 B 而言，将相对于点 A 的球坐标 $(d_{BA}, \varepsilon_{BA}, \alpha_{BA})$ 换算为相对于点 O 的球坐标 (d, ε, α) ，即为光心修正。

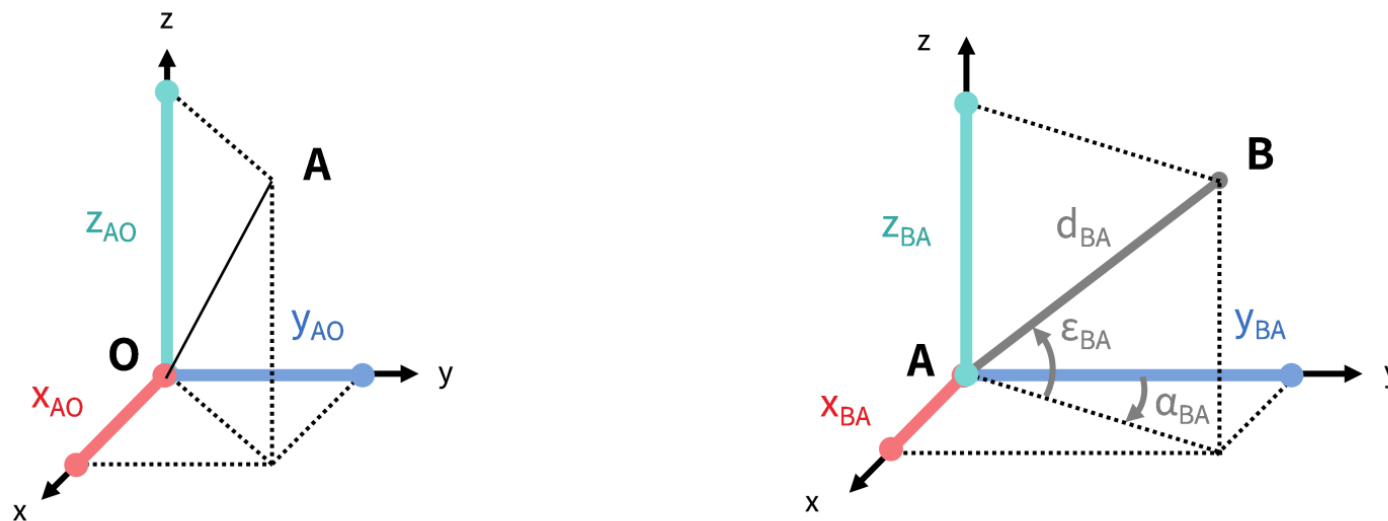


图 16. 光心修正示意图

D.3 修正公式

点 B 相对于点 O 的直角坐标：

$$x = x_{AO} + x_{BA} = x_{AO} + d_{BA} \cdot \cos(\varepsilon_{BA}) \cdot \sin(\alpha_{BA})$$

$$y = y_{AO} + y_{BA} = y_{AO} + d_{BA} \cdot \cos(\varepsilon_{BA}) \cdot \cos(\alpha_{BA})$$

$$z = z_{AO} + z_{BA} = z_{AO} + d_{BA} \cdot \sin(\varepsilon_{BA})$$

将直角坐标转换为球坐标：

$$d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\varepsilon = \arcsin\left(\frac{z}{d}\right)$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{x}{y}\right)$$

附录 E: 法律声明

禾赛科技版权所有。未经禾赛书面授权，禁止以任何方式使用或复制本手册的部分或全部内容。

禾赛科技未对本手册内容作出任何明示或暗示的陈述或保证，尤其对适销性或针对特定用途的适用性不提供任何保证。此外，禾赛科技保留修订本手册以及随时修改手册内容而无需通知任何人的权利。

HESAI 及其标识为禾赛科技的注册商标。本手册或禾赛官网上的所有其他商标、服务标识和公司名称均为各自所有者的财产。

本手册描述的产品包含禾赛科技享有版权的软件。除非获得权利人的许可，否则，任何人不能以任何形式对前述软件进行反编译、反向工程、反汇编、修改、出租、租赁、出借、分发、再许可、创建衍生作品，但是适用法禁止此类限制的除外。

如需产品质保服务手册，请访问禾赛科技官网的“质保条款”页面：<https://www.hesaitech.com/cn/warranty>

上海禾赛科技有限公司

联系电话：400-805-1233

公司网址：www.hesaitech.com

办公地址：上海市长宁区昭化路 658 号 A 栋

公司邮箱：info@hesaitech.com

售后邮箱：service@hesaitech.com