

# Pandar40P

## 40 线机械式激光雷达 用户手册

保密等级：公开

文档版本号：402-zh-240910

# 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. 工作原理	9
1.2. 基本结构	10
1.3. 通道分布	11
1.4. 技术参数	12
2. 首次使用	15
2.1. 机械安装	15
2.1.1. 外观尺寸	15
2.1.2. 快速安装	17
2.1.3. 加固安装	17
2.1.4. 螺丝安装说明	18
2.2. 电气接口	19
2.2.1. 引脚定义	19
2.2.2. 连接器插拔	21
2.2.3. 线缆折弯	21

2.3. 接线盒 (选配)	23
2.3.1. 端口	24
2.3.2. 连接	26
2.4. 接收主机的网络设置	28
2.4.1. Windows 系统	29
2.4.2. Ubuntu 系统	32
2.5. 辅助工具	35
<b>3. 数据格式</b>	<b>36</b>
3.1. 点云数据包	37
3.1.1. 以太网包头	37
3.1.2. 点云 UDP 数据	38
3.1.3. 以太网数据尾	41
3.1.4. 点云数据解析方法	42
3.2. GPS 数据包	45
3.2.1. 以太网包头	45
3.2.2. GPS UDP 数据	46
3.2.3. 以太网数据尾	49
3.2.4. GPS 时间数据解析方法	50
<b>4. 网页控制</b>	<b>51</b>
4.1. 首页 (Home)	52
4.2. 参数设置	54
4.2.1. 网络设置	56
4.2.2. 功能设置	57
4.2.3. 时间设置	59
4.3. 点云的水平方位角范围设置 (Azimuth FOV)	62
4.3.1. 全部通道: 单角度范围 (For all channels)	63
4.3.2. 逐个通道: 单角度范围 (For each channel)	63

4.3.3. 全部通道：多角度范围（Multi-section FOV）	64
4.4. 运行状态数据（Operation statistics）	65
4.5. 升级（Upgrade）	66
<b>5. 通信协议</b>	<b>67</b>
<b>6. 仪器维护</b>	<b>68</b>
<b>7. 故障排查</b>	<b>70</b>
<b>附录 A: 通道分布数据</b>	<b>74</b>
<b>附录 B: 点云数据的绝对时间</b>	<b>77</b>
B.1. 绝对时间的来源	77
B.1.1. GPS 作为时钟源	77
B.1.2. PTP 作为时钟源	78
B.2. 点云数据包的绝对时间	79
B.3. 数据块的结束时间	79
B.4. 各通道的发光时刻偏移	81
<b>附录 C: Phoenix 接口</b>	<b>84</b>
<b>附录 D: 反射率非线性映射</b>	<b>86</b>
<b>附录 E: 法律申明</b>	<b>91</b>

## ■ 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：

- 访问禾赛科技官网的“下载”页面：<https://www.hesaitech.com/cn/product/download>
- 联系禾赛科技销售人员。
- 联系禾赛技术支持：[service@hesaitech.com](mailto: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](mailto:service@hesaitech.com)
- <https://www.hesaitech.com/cn/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，并查询相应的认证警语。如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。
- 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

#### CLASS 1 激光产品

本产品的激光安全等级符合以下标准：

- IEC 60825-1:2014, EN 60825-1:2014+A11:2021
- 21 CFR 1040.10 和 1040.11 标准，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 60285-1 第三版）外

## 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。
- 尽管产品的设计、检测和制造均符合射频能量辐射的相关规定（例如 FCC、CE-EMC 或 KCC），但来自产品的辐射仍有可能导致其他电子设备出现故障。

## 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，例如空气中含有高浓度可燃性化学物质、蒸汽或微粒（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（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 [1.4 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 [1.4 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%。



## 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。
- 禁止使用不符合供电要求或已损坏的线缆或适配器。
- 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 [1.4 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。如果已经发现端口存在异常（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
- 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

- 产品主要由金属、玻璃和塑料构成，内部含敏感电子元件，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。
- 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。


### 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 [6 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（如撞击、大风、飞石等）导致产品脱离固定位置。
- 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 [1.4 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

产品运行时或运行后一定时间内，产品外壳可能温度较高，此时请注意：

- 避免皮肤直接接触产品外壳，以免导致不适甚至烫伤。
- 避免易燃物直接接触产品外壳，以免引发火灾。

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。

- 光罩主动加热期间，请避免皮肤直接接触光罩。
- 用户可以关闭该功能。

## 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、GPS/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. 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

## 1.2. 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了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。

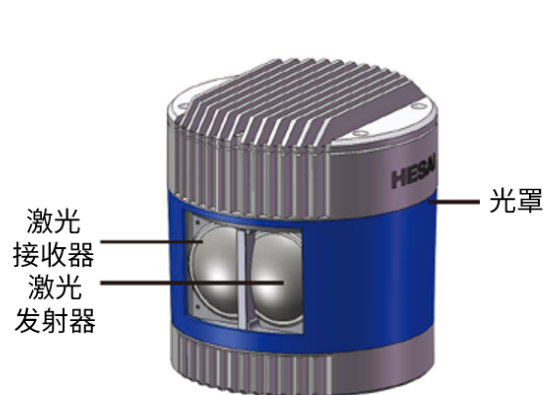


图 1. 部分横截面

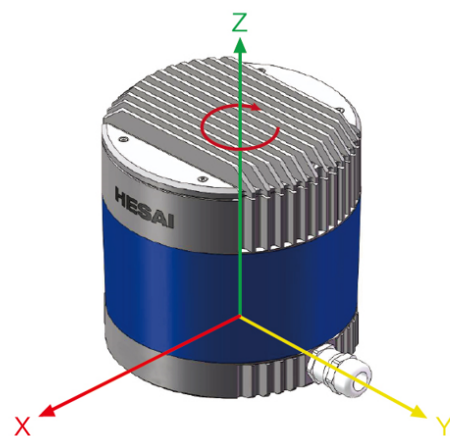


图 2. 坐标系（等距视图）

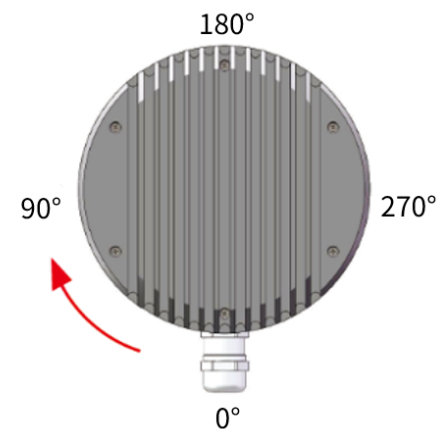


图 3. 雷达角度位置（俯视图）

激光雷达坐标系见 图 2。

- Z 轴为旋转中心轴。
- 坐标原点的准确位置标记为 图 5 中的红点，测量数据均以坐标原点为基准。

雷达转动的水平角度位置见 图 3。

- 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，雷达的水平角度位置以 **12 号通道** 为准。

例如：当 **12 号通道** 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°。

## 1.3. 通道分布

各通道在垂直方向呈非均匀分布，见图 4. 通道垂直分布示意图。角度设计值如下：

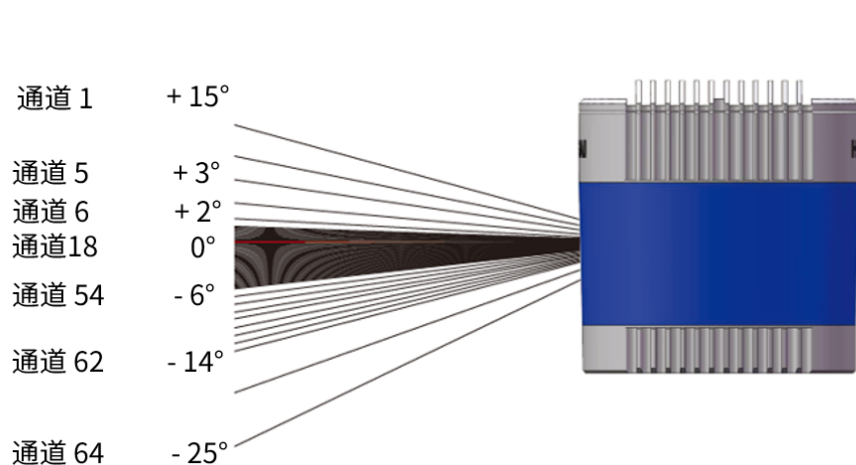


图 4. 通道垂直分布示意图

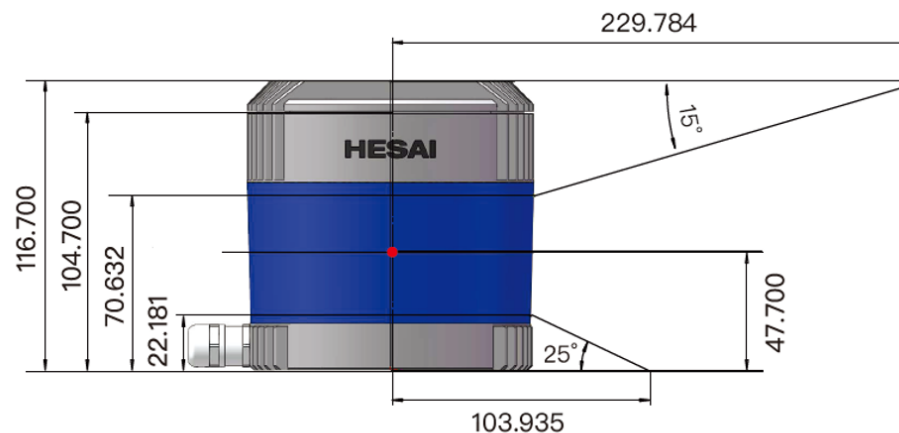


图 5. 激光器发光位置 (单位: mm)

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（通常在发货时提供）。

### 角度修正文件

可通过以下方式再次获取：

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

## 1.4. 技术参数

### 传感器

扫描原理	机械旋转
通道数	40
测距能力	0.3 ~ 200 m (10%反射率)
测距准度 ①	±5 cm (0.3 ~ 1 m) , ±2 cm (1 ~ 200 m)
水平视场角	360°
水平角分辨率	0.2° (10 Hz) , 0.4° (20 Hz)
垂直视场角	40° (-25° ~ +15°)
垂直角分辨率	0.33° (通道 6 ~ 30) 1° (通道 5 ~ 6、30 ~ 38)
扫描帧率	10 Hz, 20 Hz
回波模式	单回波 最后、最强 双回波 最后及最强

### 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: 116.7 mm 顶盖/底座: $\Phi$ 118.0/116.0 mm
额定电压范围	DC 9 ~ 48 V



功耗 ②	18 W (典型值)
工作温度	-20°C ~ 65°C
储存温度	-40°C ~ 85°C
重量	1.52 kg

### 数据输入/输出

传输方式	100BASE-TX, 从模式
测量数据	距离、方位角、反射率
有效点频	单回波 720 000 点/秒 双回波 1 440 000 点/秒
点云数据传输率	单回波 18.84 Mbps 双回波 37.68 Mbps
绝对时间的外部来源	GPS/PTP (1588v2、802.1AS、802.1AS Automotive)
PTP 同步准度	≤1 μs
PTP 时钟漂移 ③	≤1 μs/s

 以上参数如有更改，请见最新版用户手册。

### 参数说明

- ① **测距准度**
  - 定义为各通道测距误差的均值。
  - 可能受目标物距离、环境温度及目标物反射率影响。
- ② **功耗**
  - 仅激光雷达，不含接线盒等配件。
  - 供电要求：外部电源可输出功率至少为 18 W。

③ **PTP 时钟漂移** 定义为 PTP 主时钟锁定后失锁，雷达时钟（从时钟）在恒温状态下的漂移。

## 2. 首次使用

使用前，请取下雷达光罩外侧的保护棉。

**i** 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

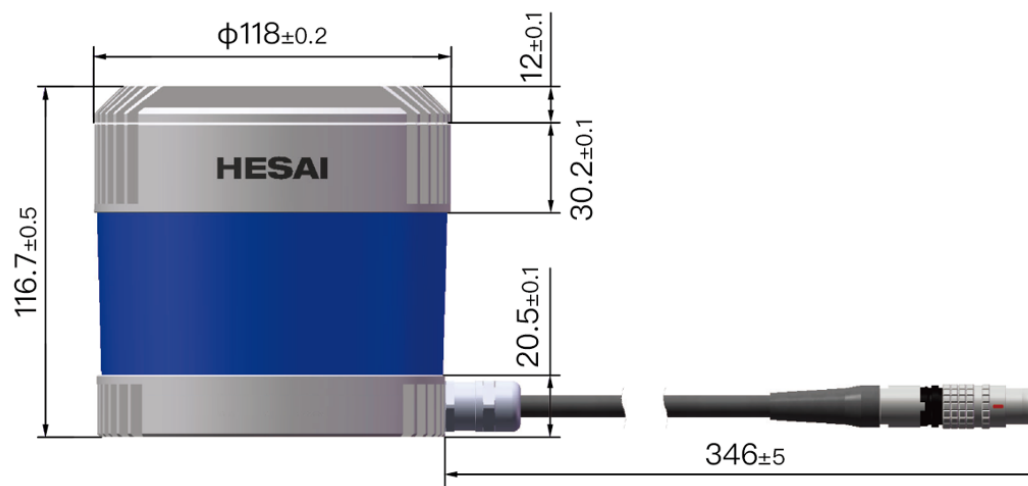


图 6. 前视图 (单位: mm)

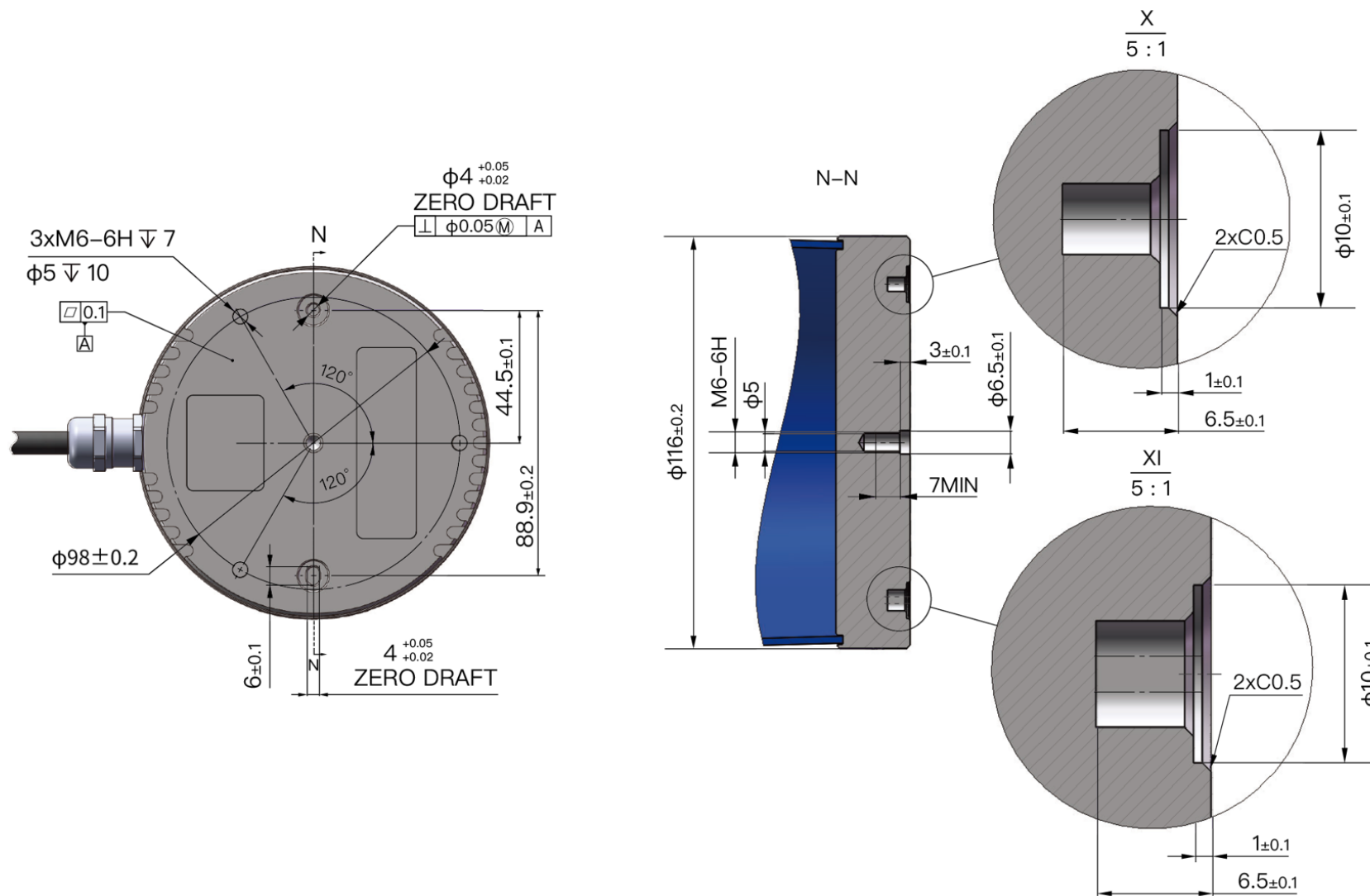


图 7. 仰视图 (单位: mm)

## 2.1.2. 快速安装

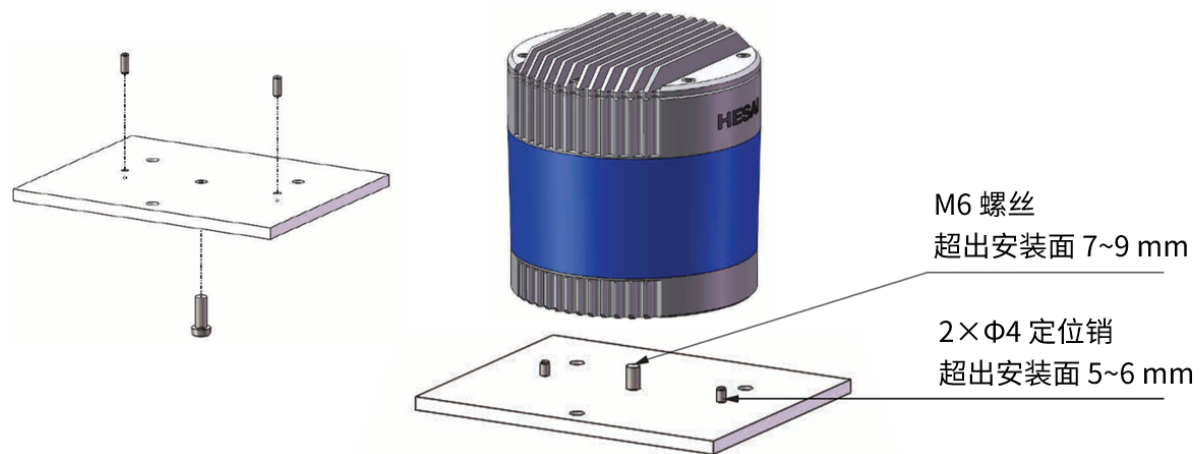


图 8. 快速安装

## 2.1.3. 加固安装

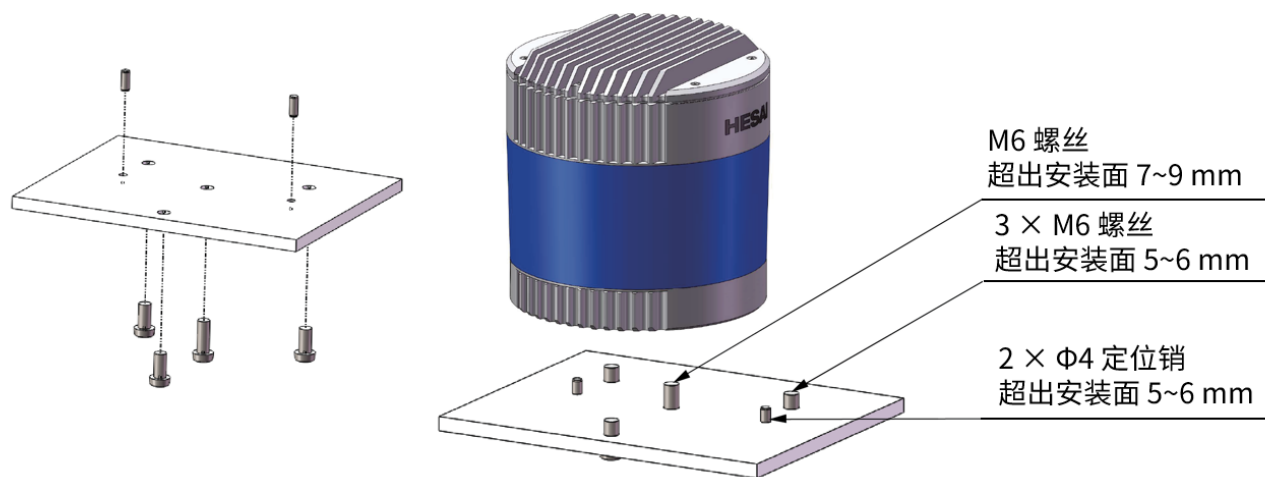


图 9. 加固安装

## 2.1.4. 螺丝安装说明

### 螺钉类型

建议选取组合螺钉（自带平垫圈和弹簧垫），强度 4.8 级或以上。

### 螺纹涂胶

螺丝锁紧之前，在螺纹配合区域点涂 1~2 滴螺纹胶，推荐采用乐泰 263（LOCTITE® 263 螺纹锁固剂）。点涂之后等待 12 h，待胶水固化完成，才可运行雷达。

### 螺纹扭矩

螺纹孔基材为铝合金，扭矩与钢制螺纹不同，请参考下表选取合适的扭矩值：

螺纹规格	推荐扭矩
M2	0.2 ~ 0.3 Nm
M3	0.5 ~ 0.6 Nm
M4	1 ~ 1.5 Nm
M5	2 ~ 2.5 Nm
M6	3.5 ~ 4 Nm

### 螺纹使用寿命

25 次（拧入、拧出各计为 1 次）

## 2.2. 电气接口

默认采用 Lemo 接口。如选择 Phoenix 接口，请参见[附录 C Phoenix 接口](#)。

Lemo 零件编号：FGG.2T.316.CLAC75Z（公头插头，用于雷达上）

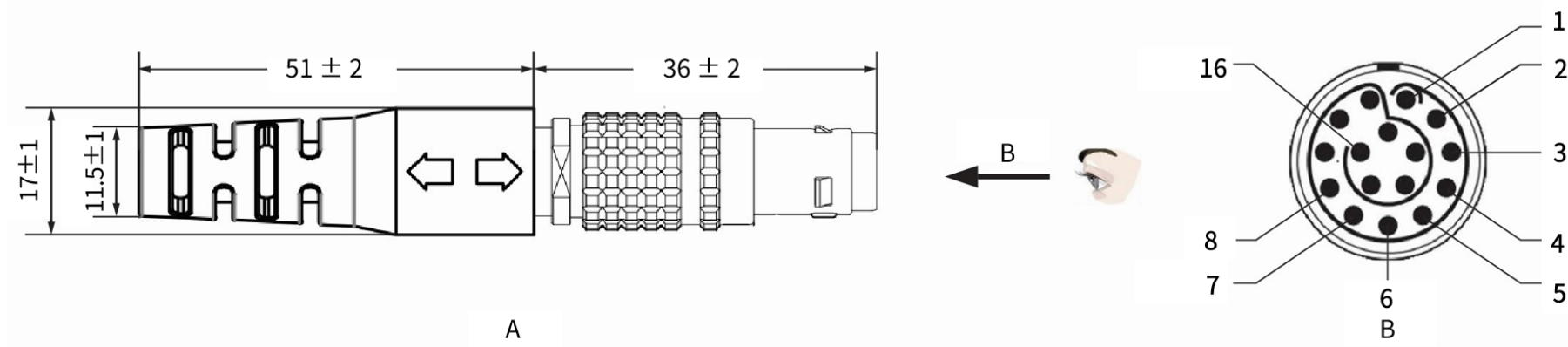


图 10. Lemo 接口 (单位: mm)

### 2.2.1. 引脚定义

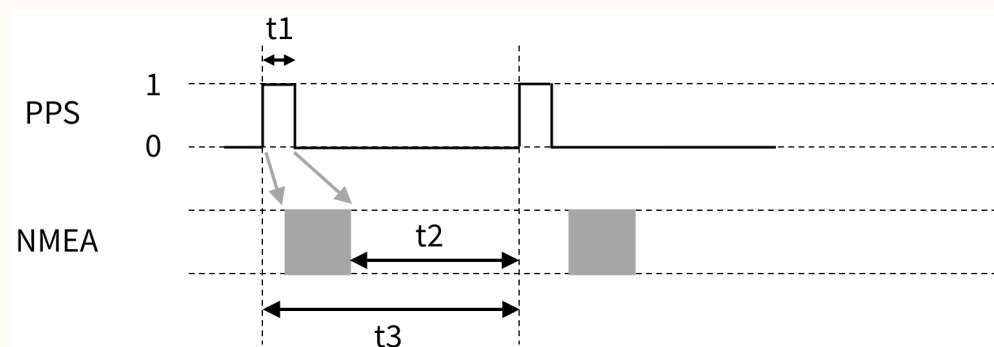
引脚编号	信号	引线颜色	电平	引脚编号	信号	引线颜色	电平
1 ~ 4	-	-	-	11	Power	红色	9 ~ 48 V
5	Ethernet RX-	蓝色	-1 ~ 1 V	12	Power	灰色	9 ~ 48 V
6	Ethernet RX+	蓝色/白色	-1 ~ 1 V	13	Ground (Return)	黑色	0 V
7	Ethernet TX-	橘色	-1 ~ 1 V	14	Ground (Return)	灰色/白色	0 V
8	Ethernet TX+	橘色/白色	-1 ~ 1 V	15	-	紫色	-
9	GPS Serial Data	白色	-13 ~ 13 V	16	-	紫色/白色	-
10	GPS PPS	黄色	TTL 3.3/5 V	-	-	-	-

**i** GPS PPS 信号：脉冲宽度建议超过 1 ms，周期为 1 s（上升沿至上升沿）。



- 从接线盒的 GPS 端口插、拔 GPS 模块，或从线缆的 GPS 引脚接入、断开信号时，请确保激光雷达处于断电状态。
- 如需在通电状态下操作，请先进行静电释放，且避免用手直接接触 GPS 端口或引脚。

GPS PPS 与 GPS Serial Data (NMEA) 信号的时序要求



PPS 信号周期	$t3 = 1\text{ s} \pm 50\ \mu\text{s}$ （上升沿至上升沿）
PPS 脉冲宽度	$t1 \geq 1\text{ ms}$ ，建议 10 ~ 100 ms
相位关系	NMEA 信号的发出时刻晚于本秒 PPS 信号的上升沿，结束时刻晚于本秒 PPS 的下降沿，见图中灰色箭头。 NMEA 信号的结束时刻早于下一秒 PPS 信号的上升沿，且 $t2 \geq 100\text{ ms}$ 。



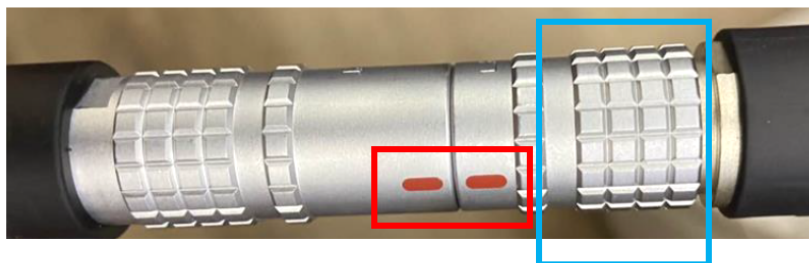
### 2.2.2. 连接器插拔

连接 Lemo 连接器	断电后，将公头、母头外壳上的红点对齐，然后插入。
分离 Lemo 连接器	断电后，将公头上的锁定套筒向外拉出；拉到最外侧的状态下，握紧公头、母头的外壳，向两侧拨开。



- 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。
- 禁止自行尝试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。
- 该连接器设计可承受至少 1000 次插拔，超过此次数可能增加连接器损坏风险。

连接之前：公头、母头外壳上的红点对齐



分离之前：公头上的锁定套筒拉到最外侧

图 11. 连接/分离 Lemo 连接器

### 2.2.3. 线缆折弯

外径 OD = 7.50 ± 0.30 mm

最小折弯半径 =  $7.5 \times OD$



为避免损坏线束，请勿从格兰头处开始弯折。

## 2.3. 接线盒 (选配)

用户可直接连接激光雷达，或通过接线盒连接。

Lemo 零件编号：PHG.2T.316.CLLC75Z (母头插座，用于接线盒上)

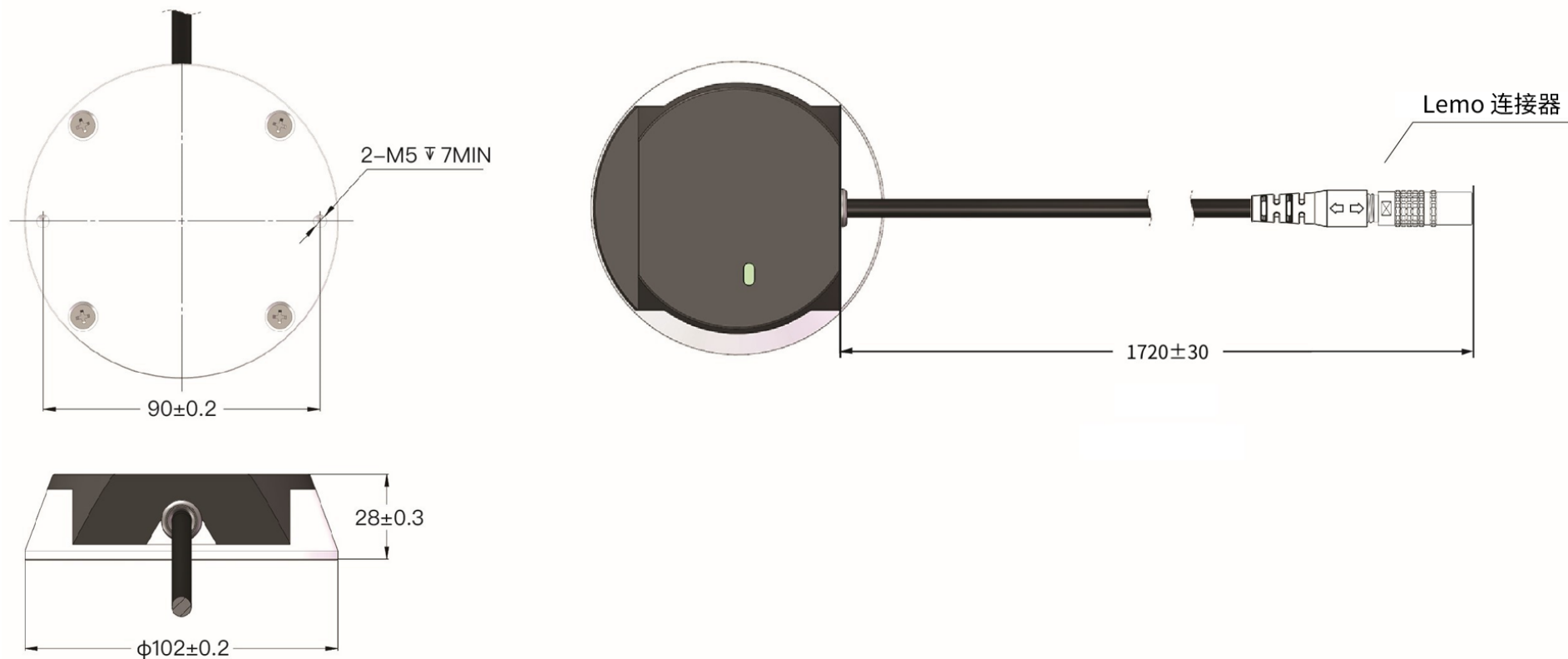


图 12. 接线盒 (单位: mm)

## 2.3.1. 端口

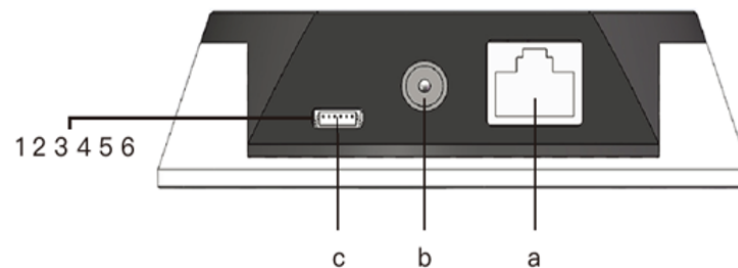


图 13. 端口 (正面)

序号	端口名称	说明
a	标准以太网端口	RJ45, 百兆以太网
b	电源端口	请使用 DC-005 电源插座。
c	GPS 端口	端口型号: JST 公司 SM06B-SRSS-TB 外接 GPS 模块的推荐端口: JST 公司 SHR-06V-S-B 电平标准: RS232 波特率: 9600 bps

其中, GPS 端口的引脚说明如下 (从左至右):

引脚号	方向	说明	要求
1	输入	PPS 同步信号	TTL 电平 3.3/5 V 建议脉冲宽度超过 1 ms 周期: 1 s (上升沿至上升沿)
2	输出	外接 GPS 模块的电源	5 V
3	输出	外接 GPS 模块的地	-

引脚号	方向	说明	要求
4	输入	接收来自外接 GPS 模块的串口数据	RS232 电平
5	输出	外接 GPS 模块的地	-
6	-	预留	-

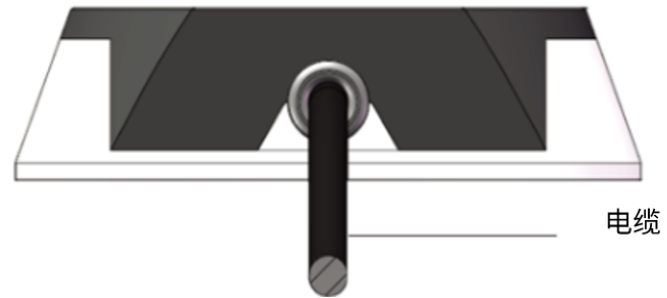


图 14. 端口 (背面)

## 2.3.2. 连接

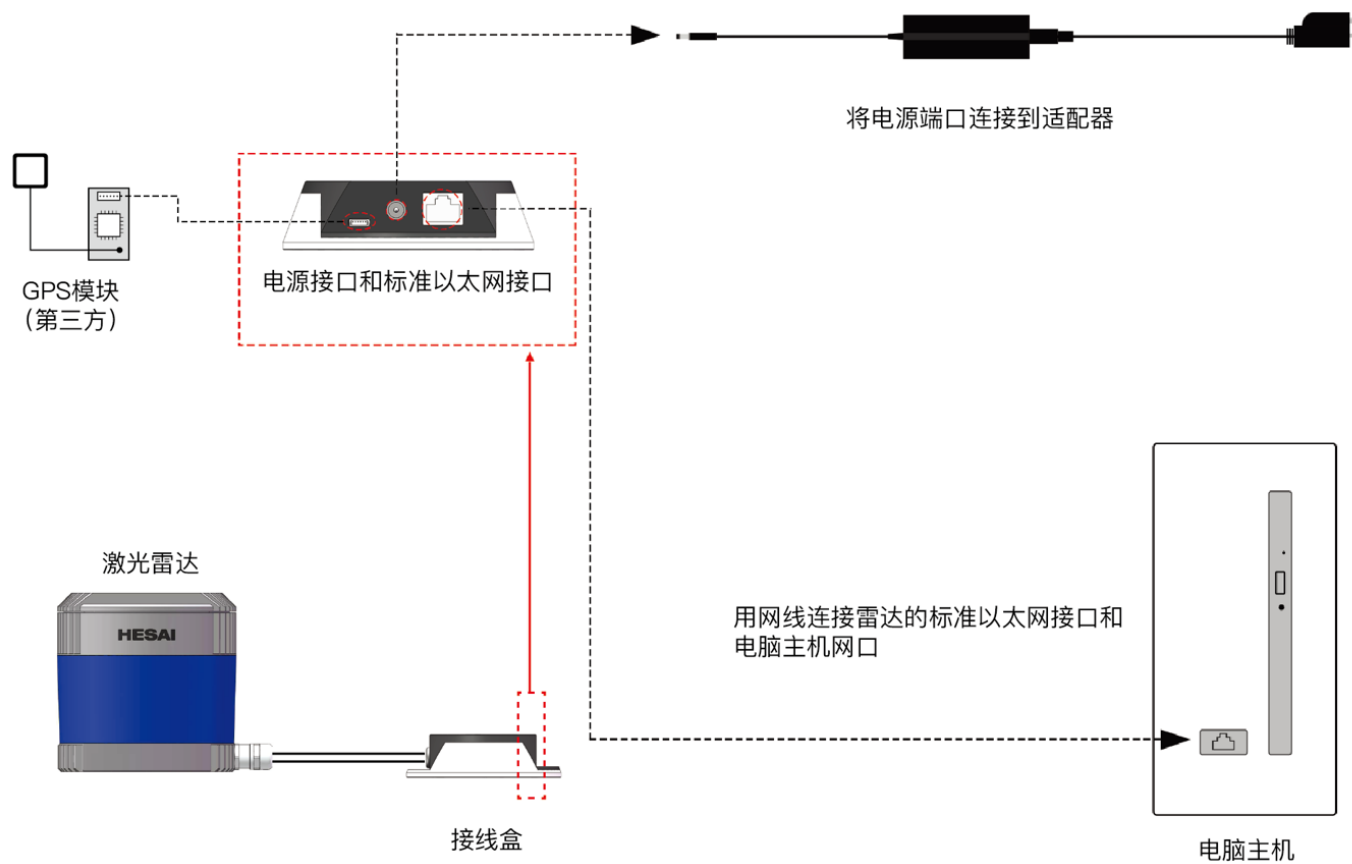


图 15. 接线盒连线 (采用 GPS 时)

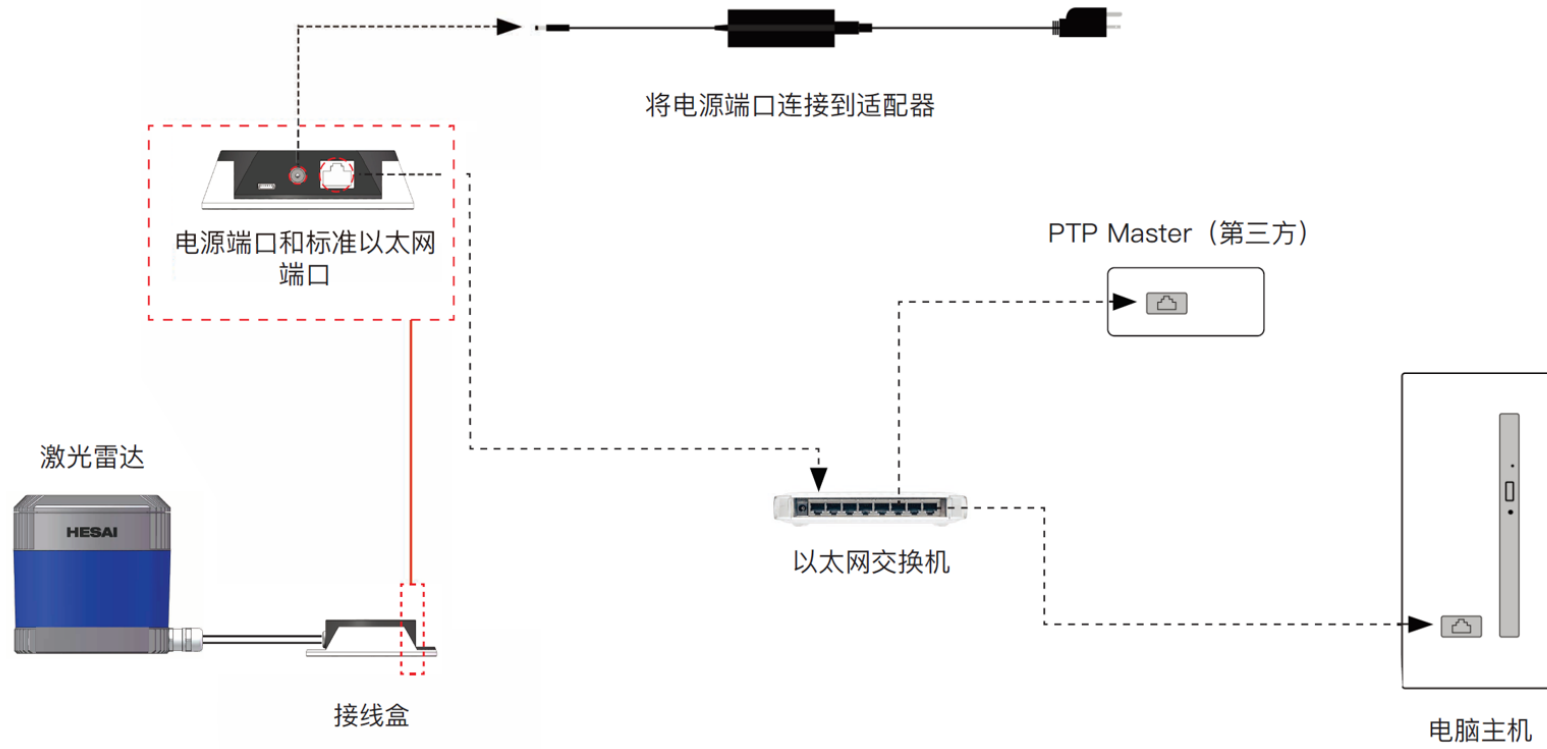


图 16. 接线盒连线 (采用 PTP 时)

## 2.4. 接收主机的网络设置

本产品没有电源开关。同时满足以下条件时，将自动传输数据：

- 产品已接通电源。
- 产品已通过网线与计算机连接。
- 已正确配置接收主机的网络参数。

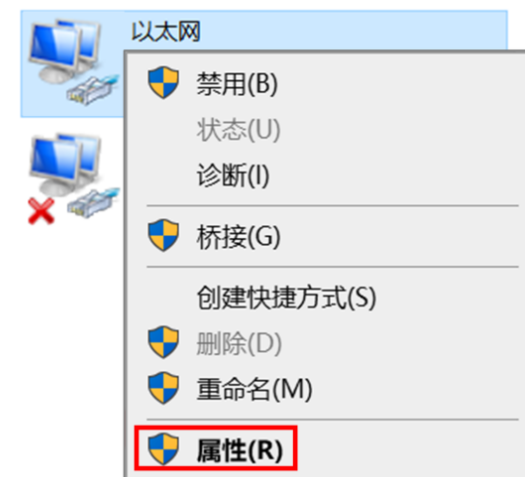
请配置接收主机的以下参数

网络参数	取值	说明
IP 地址	192.168.1.X	由雷达 IP 地址（192.168.1.201）和子网掩码（255.255.255.0）可知： <ul style="list-style-type: none"><li>• 网络地址：192.168.1.0</li><li>• 网关地址：192.168.1.1</li><li>• 广播地址：192.168.1.255</li></ul> 因此，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。

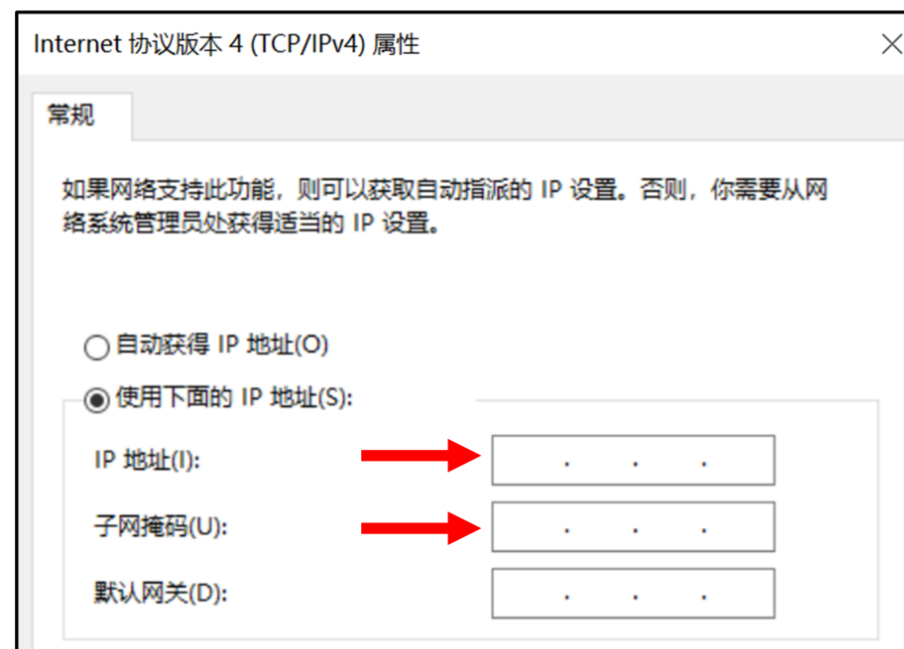
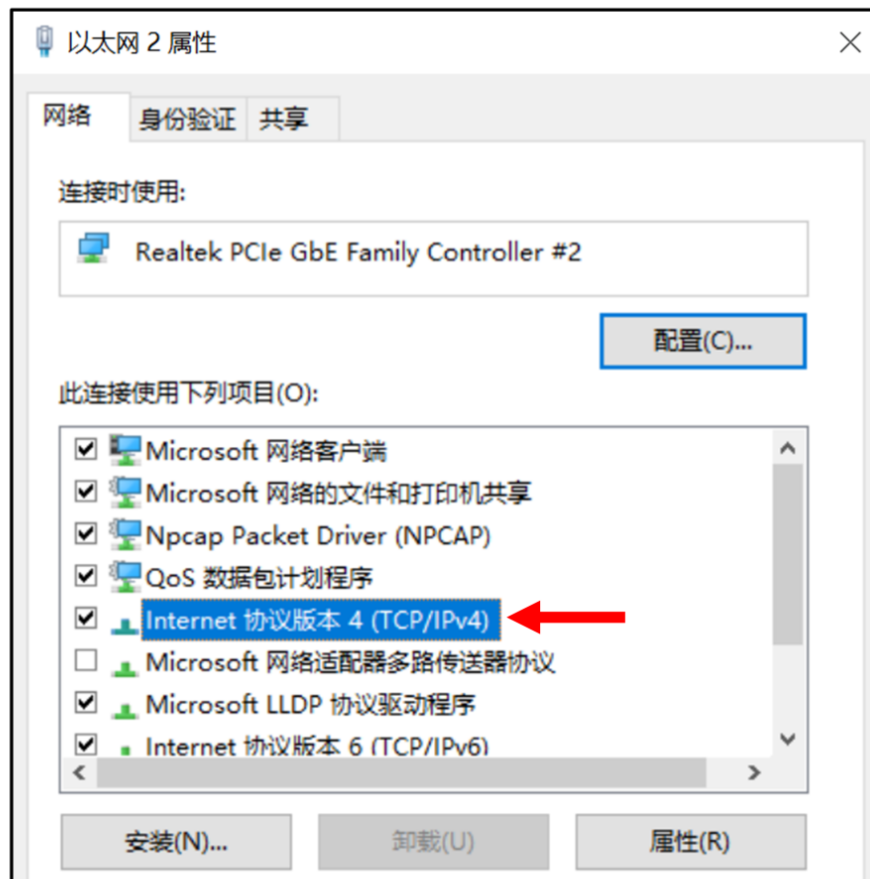


## 2.4.1. Windows 系统

1. 控制面板——网络 and Internet——网络 and 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。



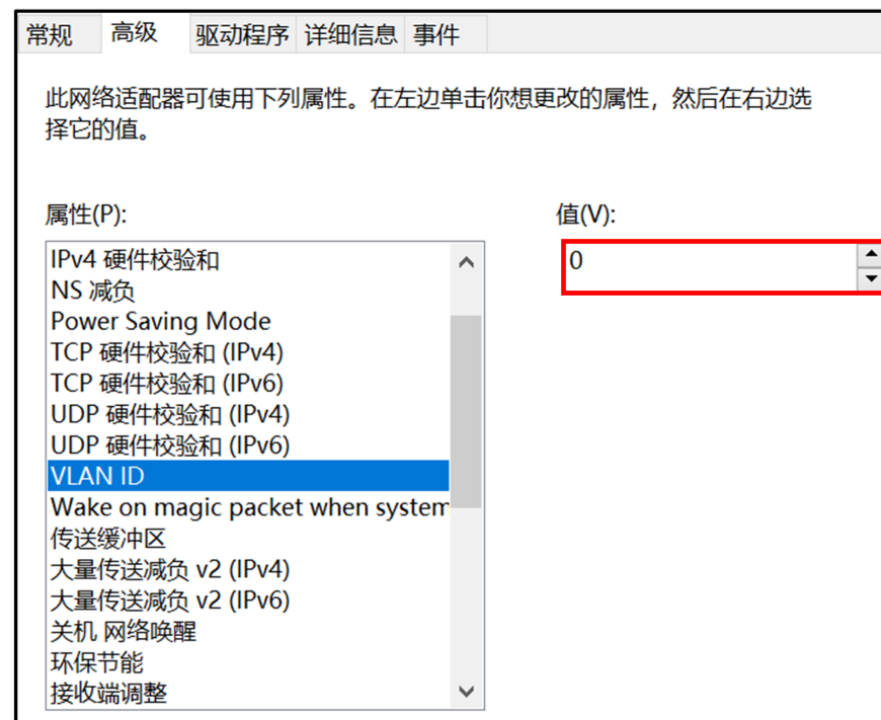
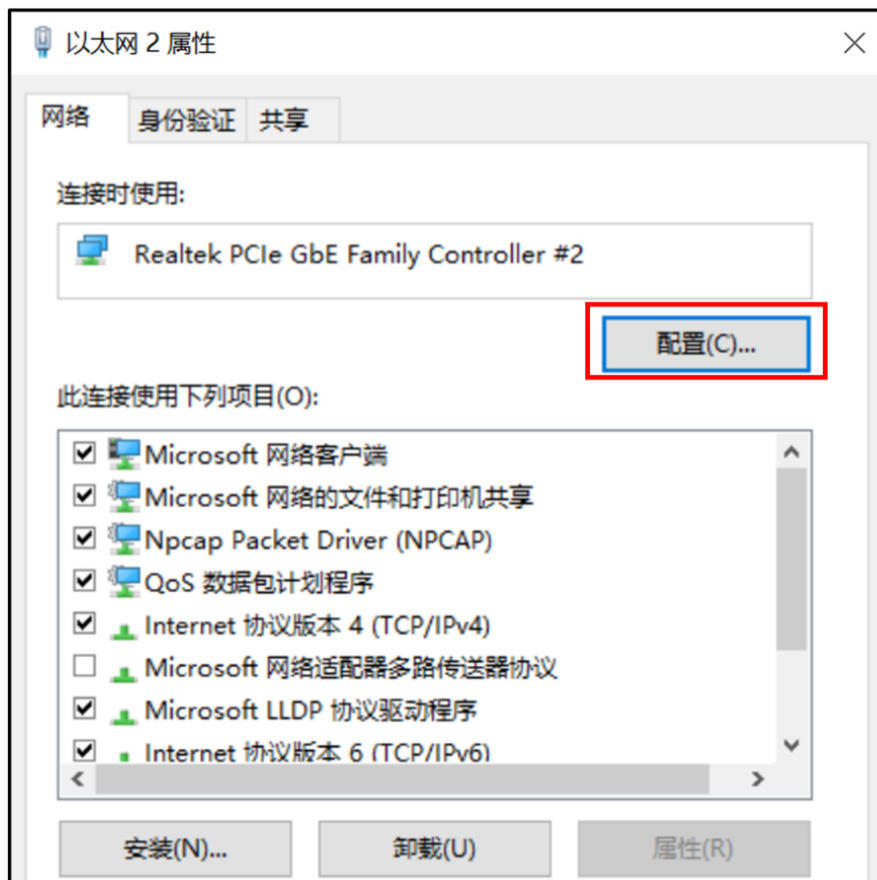
3. 双击“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”。
4. 选择“使用下面的 IP 地址”——输入接收主机的 IP 地址和子网掩码。



## 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”，并输入 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

### 2.4.2.1. 不使用 VLAN 时

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。

### 2.4.2.2. 使用 VLAN 时

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。

如需查看本地的网络接口名：

#### 法一

Settings——Network 界面中，Ethernet 标题后的括号内容即为接口名。



法二

运行命令: `ifconfig`

```
> 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

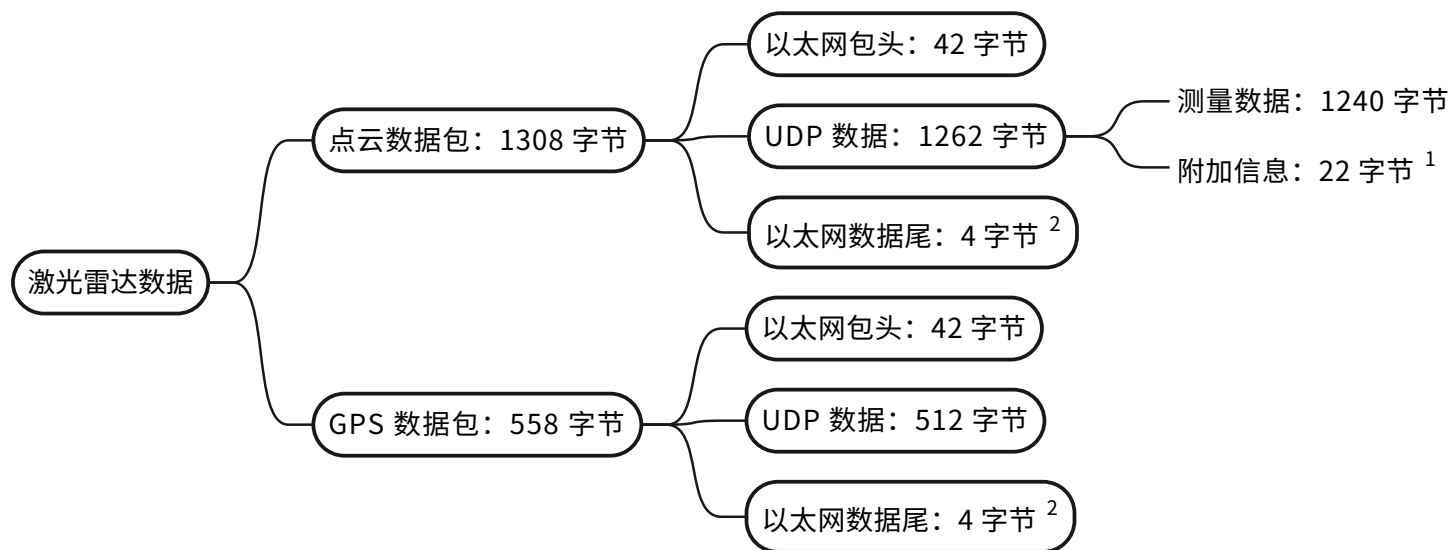
enp5s0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether [REDACTED] txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 267706980 bytes 300970909734 (300.9 GB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 3184 bytes 590575 (590.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions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

## 2.5. 辅助工具

工具	用途	获取方式
PandarView 2 点云可视化软件	录制和播放点云数据。	请见 <a href="#">禾赛官网</a> “ <a href="#">下载</a> ” 页面，或联系技术支持。
web_control、API	设置参数、查看雷达信息或升级固件/软件。  网络参数：  <ul style="list-style-type: none"><li>• 默认的源 IPv4 地址：192.168.1.201</li><li>• 默认的 PTC 端口号：9347</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• web_control：参见 <a href="#">4 网页控制</a>。</li><li>• API：请联系禾赛技术支持。</li></ul>
软件开发工具包（SDK）、ROS 驱动程序	辅助开发。	请访问禾赛科技官方 GitHub 页面： <a href="https://github.com/HesaiTechnology">https://github.com/HesaiTechnology</a>

## 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；另行备注除外。



1. UDP 序列功能默认关闭。当 UDP 序列开启时，附加信息为 26 字节。
2. 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 17. 数据结构



## 3.1. 点云数据包

接收点云数据包之前，请先完成 [2.4 接收主机的网络设置](#)。

### 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 <a href="#">图 17. 数据结构</a> 。
UDP Checksum	2	以太网包头的校验码

## 3.1.2. 点云 UDP 数据

### 3.1.2.1. 数据主体

#### 回波模式

雷达支持的回波模式见 [3.1.2.2 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。

数据块 1	数据块 2	数据块 3	...	数据块 10
0xFFEE	0xFFEE	0xFFEE	...	0xFFEE
Azimuth 1	Azimuth 2	Azimuth 3	...	Azimuth 10
Channel 1	Channel 1	Channel 1	...	Channel 1
Channel 2	Channel 2	Channel 2	...	Channel 2
...	...	...	...	...
Channel 40	Channel 40	Channel 40	...	Channel 40

## 测量数据中的每个数据块

字段	字节数	说明									
0xFFEE	2	Block 的标识符，无意义，0xFF 在前。									
Azimuth	2	数据块对应的方位角基准值 单位：0.01°									
Channel 1	3	通道 1 的测量数据，包括距离和反射率。 <table border="1" data-bbox="757 491 2072 927"> <thead> <tr> <th>字段</th> <th>字节数</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Distance</td> <td>2</td> <td>距离 = <b>Distance</b> × 4 mm</td> </tr> <tr> <td>Reflectivity</td> <td>1</td> <td>范围：0 ~ 255  默认：线性映射（实际反射率 = <b>Reflectivity</b> × 1%） 也参见<a href="#">附录 D 反射率非线性映射</a>。   本字段与实际反射率的映射关系可通过 网页控制 或 PTC 指令选择。</td> </tr> </tbody> </table>	字段	字节数	说明	Distance	2	距离 = <b>Distance</b> × 4 mm	Reflectivity	1	范围：0 ~ 255  默认：线性映射（实际反射率 = <b>Reflectivity</b> × 1%） 也参见 <a href="#">附录 D 反射率非线性映射</a> 。   本字段与实际反射率的映射关系可通过 网页控制 或 PTC 指令选择。
字段	字节数	说明									
Distance	2	距离 = <b>Distance</b> × 4 mm									
Reflectivity	1	范围：0 ~ 255  默认：线性映射（实际反射率 = <b>Reflectivity</b> × 1%） 也参见 <a href="#">附录 D 反射率非线性映射</a> 。   本字段与实际反射率的映射关系可通过 网页控制 或 PTC 指令选择。									
...	...	...									
Channel 40	3	通道 40 的测量数据									

## 3.1.2.2. 数据尾

字段	字节数	说明
Reserved	5	预留

High Temperature Shutdown Flag	1	<p>0x01 — 高温 0x00 — 正常工作</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 雷达检测到高温状态时，此标志位置 1，且系统 60 秒后进入关机状态。这 60 秒及此后的关机状态中，标志位始终保持为 1。</li> <li>• 检测到雷达脱离高温状态后，此标志位置 0，且系统自动恢复正常工作。</li> </ul>
Reserved	2	预留
Motor Speed	2	<p>电机转速 单位：RPM</p> <p> 电机转速 (RPM) = 扫描帧率 (Hz) × 60</p>
Timestamp	4	<p>该数据包 UTC 时间的微秒部分。 单位：μs 范围：0 ~ 999 999 μs (1 s)</p> <p> 点云包绝对时间的定义，参见 <a href="#">B.2 点云数据包的绝对时间</a>。</p>
Return Mode	1	<p>0x37 — 最强 0x38 — 最后 0x39 — 最后及最强</p>
Factory Information	1	0x42 (或 0x43)

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 2000)	正整数
		月	1 ~ 12
		日	1 ~ 31
		时	0 ~ 23
		分	0 ~ 59
		秒	0 ~ 59
		 点云包绝对时间的定义，参见 <a href="#">B.2 点云数据包的绝对时间</a> 。	
UDP Sequence	4	该数据包的序列号 仅当 UDP 序列功能开启时，增加这 4 个字节。 范围：0 ~ 0xFF FF FF FF	

### 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 3** 的 **5 号通道** 为例，解析步骤如下。

#### 3.1.4.1. 解析数据点的垂直高度角

由附录 A [通道分布数据](#) 可知，**5 号通道** 的垂直高度角设计值为  $3.00^\circ$ 。



- 准确的垂直高度角：在该台雷达的角度修正文件中，参见 [1.3 通道分布](#)。
- 水平方向定义为垂直  $0^\circ$ ，向上为正、向下为负（参见 [图 4. 通道垂直分布示意图](#)）。

### 3.1.4.2. 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°，以图 3. 雷达角度位置（俯视图）中顺时针方向为正。

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

- ① 当前数据块的结束时间（定义见 B.3 数据块的结束时间）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 **数据块 3** 中的 **Azimuth** 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，**5 号通道** 为  $-1.042^\circ$ 。

 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 1.3 通道分布。

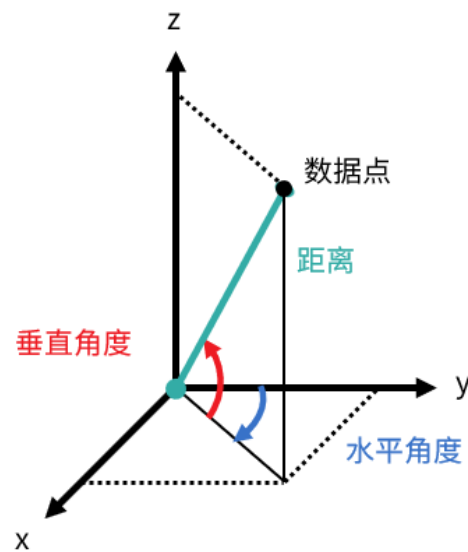
$$\text{②} = \text{⑤} \times \text{⑥}$$

- 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，**5 号通道** 为  $-45.49 \mu\text{s}$ 。
- 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  $^\circ/\text{s}$ 。

### 3.1.4.3. 解析数据点的距离值

参见测量数据中的每个数据块中 **Block 3: Channel 5** 的 **Distance** 字段。

## 3.1.4.4. 在球坐标系或直角坐标系中画出该数据点



## 3.1.4.5. 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. GPS 数据包

- 接收 GPS 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 GPS 作为时钟源时，每秒触发一个 GPS 数据包；选择 PTP 作为时钟源时，雷达不输出 GPS 数据包。

 选择时钟源：见 [4.2.3 时间设置](#) 中的 Clock Source。

全部多字节值均为无符号整型，按小端字节序。

### 3.2.1. 以太网包头

#### GPS 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 GPS 包 UDP 数据多 8 字节，参见 <a href="#">图 17. 数据结构</a> 。
UDP Checksum	2	以太网包头的校验码

## 3.2.2. GPS UDP 数据

字段	字节数	说明															
GPS Time Data	18	GPS 时间，精确到秒。															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>字段</th> <th>字节数</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GPS 数据头</td> <td>2</td> <td>0xFFEE，其中 0xFF 在前</td> </tr> <tr> <td>日期</td> <td>6</td> <td>年，月，日（各 2 字节，低字节在前，ASCII 格式）</td> </tr> <tr> <td>时间</td> <td>6</td> <td>秒，分，时（各 2 字节，低字节在前，ASCII 格式）</td> </tr> <tr> <td>预留</td> <td>4</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	字段	字节数	说明	GPS 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	-
		字段	字节数	说明													
		GPS 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	-															
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	<p>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。</p> <p> 可选择 NMEA 语句类型，见 <a href="#">4.2.3 时间设置</a> 中的 <b>GPS Mode</b>。</p>															
Reserved	404	404 个 0xDF															
GPS Positioning Status	1	<p>GPS 定位状态 ASCII 格式，提取自 NMEA 语句。</p>															
PPS Lock Flag	1	<p>PPS 信号锁定标志 1 — 锁定 0 — 失锁</p>															
Reserved	4	预留															

## 3.2.2.1. 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	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
```

## 3.2.2.2. 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	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： <table border="1" data-bbox="757 667 2067 906"> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>无效定位</td> <td>4</td> <td>RTK 固定解</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>GPS 锁定（SPS 单点定位）</td> <td>5</td> <td>RTK 浮点解</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DGPS 锁定</td> <td>6</td> <td>估计（航迹推算）</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>PPS 锁定</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	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	-	-
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. GPS 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 <u>ff ee 30 32 34 30</u>	--'.'~... ....0240	
0030	<u>37 30 38 35 37 30 34 30</u> 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 18. GPS 数据包：GPS 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. 网页控制

网页控制用于设置参数、查看设备信息以及软固件升级。

进入网页控制：

1. 用网线连接激光雷达和接收主机。
2. 完成 [2.4 接收主机的网络设置](#)。
3. 打开浏览器，输入网址：192.168.1.201。



- 推荐使用 Google Chrome 或 Firefox 浏览器。
- 雷达使用以下端口，请设置为防火墙例外：9347 端口（PTC）、80 端口（HTTP）、319 和 320 端口（PTP 1588v2）。

## 4.1. 首页 (Home)

Status	
Spin Rate	600 RPM
GPS	Unlock
NMEA (GPRMC/GPGGA)	Unlock
PTP	Free Run
Device Info	<a href="#">Device Log</a>
Model	Pandar40P
S/N	PA40XXXXXXXXXXXXXXXXXX
MAC Address	XX:XX:XX:XX:XX:XX
Software Version	2.10.8
Sensor Firmware Version	4.3.44a
Controller Firmware Version	4.53

### 按钮说明

**Device Log****设备日志**

点击下载 .JSON 格式文件，包含雷达状态、版本信息、可配置参数和升级日志。

### 参数说明

**Spin Rate****电机旋转速率**

即扫描帧率 (Hz) × 60



**GPS****GPS PPS 状态**

- 锁定 Lock: 雷达内部时钟与 GPS PPS 信号同步。
- 失锁 Unlock: 与 GPS 不同步。

**NMEA (GPRMC/GPGGA)****NMEA 状态**

- 锁定 Lock: 收到有效的 NMEA 信息之后。
- 失锁 Unlock: 超过 2 s 未收到有效的 NMEA 信息。

**PTP****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 (见 [4.2.3 时间设置](#))。
- 锁定 Locked: 主从时钟偏移量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间开始漂移, 漂移量超过设定值时, 将进入自由运行状态。

## 4.2. 参数设置

		<a href="#">Reset All Settings</a>
Control IP		
IPv4 Address		192.168.1.201
IPv4 Mask		255.255.255.0
IPv4 Gateway		192.168.1.1
VLAN	<input type="checkbox"/>	0
Settings		
Destination IP		255.255.255.255
Lidar Destination Port		2368
Spin Rate		600 RPM
Return Mode		Dual Return
Sync Angle	<input type="checkbox"/>	0
Trigger Method		Time Based
Clock Source		GPS
GPS Mode		GPRMC
GPS Destination Port		10110
Noise Filtering		OFF
Interstitial Points Filtering		OFF
Retro Multi-Reflection Filtering		OFF
Up-Close Blockage Detection		OFF

Reflectivity Mapping	Linear Mapping
Standby Mode	In Operation/Standby
<b>Save</b>	

### 按钮说明

#### Reset All Settings

#### 重置所有参数

将全部可配置参数重置为默认值，包括：

- [参数设置](#)
- [点云的水平方位角范围设置 \(Azimuth FOV\)](#)

#### Save

#### 保存

保存本页的全部设置，且设置开始生效。

例外：待机模式 (Standby Mode) 设置后，无需点 **[ Start ]**，当即生效。

## 4.2.1. 网络设置

参数	选项	说明								
VLAN	默认关闭 VLAN ID: 1 ~ 4094	<p>虚拟局域网</p> <p>如需传输含 VLAN 标签的数据:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>请确认接收主机也支持 VLAN。</li> <li>勾选复选框, 输入雷达的 VLAN ID (与接收主机的 VLAN ID 相同)。</li> </ul> <p> <ul style="list-style-type: none"> <li>如果雷达的 VLAN ID 与接收主机不符, 将无法加载网页。</li> <li>为避免误操作导致以上风险, VLAN ID 默认为非法值 0, 勾选时将提示输入有效的 VLAN ID; 取消勾选后, 回到非法值 0。</li> </ul> </p> <p> <ul style="list-style-type: none"> <li>固件升级后, 已配置的 VLAN ID 不变。</li> <li>启用 VLAN 时, PTP 连接将断开; 直到关闭 VLAN 后, PTP 连接恢复。</li> </ul> </p>								
Destination IP	除 0.0.0.0、127.0.0.1 和雷达自身 IP 之外均可。 默认: 255.255.255.255	<p>目的 IP</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>通信模式</th> <th>目的 IP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>广播 (默认)</td> <td>255.255.255.255</td> </tr> <tr> <td>组播</td> <td>用户可按实际网络设备配置组播地址。</td> </tr> <tr> <td>单播</td> <td>与计算机 IP 地址相同。</td> </tr> </tbody> </table>	通信模式	目的 IP	广播 (默认)	255.255.255.255	组播	用户可按实际网络设备配置组播地址。	单播	与计算机 IP 地址相同。
通信模式	目的 IP									
广播 (默认)	255.255.255.255									
组播	用户可按实际网络设备配置组播地址。									
单播	与计算机 IP 地址相同。									

## 4.2.2. 功能设置

参数	选项	说明
Spin Rate	600 RPM (默认) 1200 RPM	电机旋转速率 可从点云数据包中读取准确转速，参见 <a href="#">3.1.2.2 数据尾</a> 的 <b>Motor Speed</b> 字段。速率设置值也显示在 Home 页，见 <a href="#">4.1 首页 (Home)</a> 。
Return Mode	单回波 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 最后</li> <li>• 最强</li> </ul> 双回波 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 最后及最强</li> </ul>	回波模式 也可从点云数据包中读取，参见 <a href="#">3.1.2 点云 UDP 数据</a> 的 <b>Return Mode</b> 字段。
Sync Angle	0° ~ 359° 单位：°	同步角度 勾选并填入一个水平方位角，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 <a href="#">1.2 基本结构</a> 。  整秒时刻的定义  <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS 处于锁定状态时，整秒时刻定义为 GPS PPS 信号上升沿。</li> <li>• 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。）</li> <li>• GPS、PTP 均未同步时，整秒时刻定义为雷达内部 1 Hz 信号的上升沿。</li> <li>• 详见 <a href="#">附录 B 点云数据的绝对时间</a>。</li> </ul> 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。

参数	选项	说明				
Trigger Method	时间触发 Time-Based (默认)	激光器发光的触发方式				
	角度触发 Angle-Based					
		<table border="1"> <tr> <td>角度触发</td> <td>每 0.2° (10 Hz) 或 0.4° (20 Hz) 发光一次</td> </tr> <tr> <td>时间触发</td> <td>每 55.56 μs 发光一次。</td> </tr> </table>	角度触发	每 0.2° (10 Hz) 或 0.4° (20 Hz) 发光一次	时间触发	每 55.56 μs 发光一次。
角度触发	每 0.2° (10 Hz) 或 0.4° (20 Hz) 发光一次					
时间触发	每 55.56 μs 发光一次。					
Noise Filtering	OFF (默认) ON	噪点过滤：减少点云中的零散噪点。				
Interstitial Points Filtering	OFF (默认) ON	<p>拖点过滤：减少点云中的拖点。</p> <p> 拖点的定义：当光束的部分光斑打在物体边缘，另一部分光斑打在较远的另一物体上时，两物体之间可能产生的测距不准的点。</p>				
Retro Multi-Reflection Filtering	OFF (默认) ON	二倍距离鬼像过滤：减少位于高反物体两倍距离处的鬼影点。				
Reflectivity Mapping	线性映射 Linear Mapping (默认)	反射率映射模式				
	非线性映射 Nonlinear Mapping					
		<table border="1"> <tr> <td>线性映射</td> <td>点云数据包的 <b>Reflectivity</b> 字段线性地对应目标物反射率 (0 ~ 255%)。</td> </tr> <tr> <td>非线性映射</td> <td>在低反射率区域提升对比度，映射关系详见<a href="#">附录 D 反射率非线性映射</a>。</td> </tr> </table>	线性映射	点云数据包的 <b>Reflectivity</b> 字段线性地对应目标物反射率 (0 ~ 255%)。	非线性映射	在低反射率区域提升对比度，映射关系详见 <a href="#">附录 D 反射率非线性映射</a> 。
线性映射	点云数据包的 <b>Reflectivity</b> 字段线性地对应目标物反射率 (0 ~ 255%)。					
非线性映射	在低反射率区域提升对比度，映射关系详见 <a href="#">附录 D 反射率非线性映射</a> 。					
Standby Mode	运行 In Operation (默认) 待机 Standby	<p>待机模式</p> <p>待机模式下，电机停转且激光器不发光。</p>				

## 4.2.3. 时间设置

## 选择 GPS 时

Clock Source	<b>GPS</b>
GPS Mode	GPRMC
GPS Destination Port	10110

## 选择 PTP 时

Clock Source	<b>PTP</b>
Profile	1588v2
Time Offset for Lidar Lock	1
PTP Network Transport	UDP/IP
PTP Domain Number	0
PTP logAnnounceInterval	1
PTP logSyncInterval	1
PTP logMinDelayReqInterval	0

参数	选项	说明
Clock Source	GPS (默认) PTP	绝对时间的外部来源

## 4.2.3.1. 选择 GPS 时

参数	选项	说明
GPS Mode	GPRMC (默认) GPGGA	GPS 语句 外接 GPS 模块输出的 NMEA 数据格式, 详见 <a href="#">3.2.2 GPS UDP 数据</a> 。
GPS Baud Rate	9600 19200 38400 115200	GPS 串口波特率
Destination Port	默认: 10110	GPS 目的端口 GPS 数据包的发送端口

## 4.2.3.2. 选择 PTP 时

雷达不发送 GPS 数据包。

参数	选项	说明				
Profile	1588v2 (默认) 802.1AS 802.1AS Automotive	配置类型 IEEE 时间同步标准				
Time Offset for Lidar Lock	1 ~ 100 $\mu$ s (整数) 默认: 1	锁定状态的上限 PTP 锁定状态下, 最大允许的主从时钟偏移量的绝对值, 参见 <a href="#">4.1 首页 (Home)</a> 。				
PTP Network Transport	UDP/IP (默认) L2	网络传输协议 <table border="1" data-bbox="1025 1209 2069 1329"> <tbody> <tr> <td>UDP/IP</td> <td>1588v2 配置下可用。</td> </tr> <tr> <td>L2</td> <td>全部配置下均可用。</td> </tr> </tbody> </table>	UDP/IP	1588v2 配置下可用。	L2	全部配置下均可用。
UDP/IP	1588v2 配置下可用。					
L2	全部配置下均可用。					
Domain Number	0 ~ 127 (整数) 默认: 0	PTP 本地时钟的域序列号				



PTP 配置类型为 1588v2 时，可增加配置以下参数：

参数	选项	说明
PTP logAnnounceInterval	-2 ~ 3 默认：1	声明（Announce）报文的对数时间间隔 默认为 1，即间隔 $2^1 = 2$ 秒。
PTP logSyncInterval	-7 ~ 3 默认：1	同步（Sync）报文的对数时间间隔 默认为 1，即间隔 $2^1 = 2$ 秒。
PTP logMinDelayReqInterval	-7 ~ 3 默认：0	延迟请求（Delay_Req）报文的对数时间间隔（最小允许平均值） 默认为 0，即间隔 $2^0 = 1$ 秒。

PTP 配置类型为 802.1AS 或 802.1AS Automotive 时，可增加配置以下参数：

参数	选项	说明	
Switch Type	TSN（默认） Non-TSN	交换机类型	
		TSN	交换机采用 Peer-to-Peer 延迟机制。
		Non-TSN	交换机采用 End-to-End 延迟机制。

## 4.3. 点云的水平方位角范围设置 (Azimuth FOV)

Azimuth FOV Setting	For all channels ▼
<a href="#">Save</a>	

### 按钮说明

**Save** 保存本页的全部设置，且设置开始生效。

参数	选项	说明
Azimuth FOV Setting	全部通道：单角度范围 For all channels (默认) 全部通道：多角度范围 Multi-section FOV	设置模式 雷达仅在设置的角度范围内输出有效数据。



- 角度值可精确到一位小数。
- 如果连续角度范围的起始角大于终止角，则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°)。

### 4.3.1. 全部通道：单角度范围 (For all channels)

输入起始角 (Start) 和终止角 (End)，从而定义一个连续角度范围 [Start, End]，应用于全部激光通道。

Azimuth FOV Setting		For all channels
Azimuth FOV for All Channels	Start:	0.0
	End:	360.0
<a href="#">Save</a>		

### 4.3.2. 逐个通道：单角度范围 (For each channel)

每个激光通道可分别定义一个连续角度范围。

界面上，每个通道均对应一个 [ **Status** ] 按钮。

- 默认为灰色，即该通道输出 360° 有效数据。
- 点击按钮，使之变为绿色，则启用右侧表格中设置的角度范围。

点击表格左侧的 [ **Enable/Disable All** ] 按钮，启用/取消全部通道的角度范围设置。

Azimuth FOV Setting		For each channel	
<a href="#">Enable/Disable All</a>			
Status	Channel	Start Angle	End Angle
●	1	0.0	0.0
●	2	0.0	0.0
●	3	0.0	0.0
<a href="#">Save</a>			

### 4.3.3. 全部通道：多角度范围 (Multi-section FOV)

可定义多个（最多 10 个）连续角度范围，应用于全部激光通道。

界面上，每个通道均对应一个 [ **Status** ] 按钮。

- 默认为灰色，即该通道输出 360° 有效数据。
- 点击按钮，使之变为绿色，则启用右侧表格中设置的角度范围。

点击表格左侧的 [ **Enable/Disable All** ] 按钮，启用/取消全部通道的角度范围设置。

Azimuth FOV Setting				Multi-section FOV				
Enable/Disable All								
Status	Channel	Azimuth FOV 1		Azimuth FOV 2		...	Azimuth FOV 10	
		Start Angle	End Angle	Start Angle	End Angle	...	Start Angle	End Angle
●	1	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
●	2	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
●	...	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0
●	40	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0

[Save](#)

## 4.4. 运行状态数据 (Operation statistics)

Start-Up Counts	510
Internal Temperature	32.10°C
System Uptime	0 h 5 min
Total Operation Time	559 h 43 min
Internal Temperature	Operation Time
< -40°C	0 h 1 min
-40 to -20°C	0 h 46 min
...	...
100 to 120°C	1 h 44 min
> 120°C	0 h 0 min

参数	说明	参数	说明
Start-Up Counts	雷达启动次数	Internal Temperature	内部温度
System Uptime	本次上电运行时间	Total operation time	总运行时间

## 4.5. 升级 (Upgrade)

### 升级准备

- 请联系禾赛技术支持，以获取升级包。
- 升级期间，推荐使用非透明材质的遮挡物遮盖雷达光罩。

### 升级操作

- 点击 [ **Upload** ] 按钮，选择并上传升级文件，确认开始升级。
- 升级成功后，系统将自动重启，历史版本信息显示 Upgrade Log 中。

### 按钮说明

**Upload**    上传升级包

**Restart**    软重启

软重启后，雷达启动次数 (Start-Up Counts) 自动加 1，见 [4.4 运行状态数据 \(Operation statistics\)](#)。


参数	当前版本	说明
Software version	2.10.8	软件版本
Firmware of sensor version	4.3.44a	传感器 (上仓) 固件版本
Firmware of controller version	4.53	控制器 (下仓) 固件版本
Upgrade log	-	升级历史记录



以上版本号可能与实际不同，请以所使用雷达的网页为准。

## 5. 通信协议

可使用 **HTTP API** 或禾赛专用的 **Pandar TCP Commands (PTC) API** 与雷达通信。

 如需获取 API 参考手册，请联系禾赛技术支持。

## 6. 仪器维护

激光雷达光罩为塑料材质（聚碳酸酯，即 PC），与车灯材质类似。

- 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。
  - 请勿使用自动洗车装置清洁激光雷达。进行车辆清洗或相关作业前，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。
- 如果使用高压清洗机清洗光罩，喷头与光罩的间距应保持在 60 cm 以上。
- 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。



建议结合用车频率、驻车场所环境及气候条件，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。

## 7. 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。

### 接线盒灯不亮

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。
- 接线盒完好。
- 输入电压和电流符合电气要求，见 [2.3 接线盒（选配）](#)。

之后重新上电，查看故障是否消失。

### 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 [1.4 技术参数](#)。
- 可正常连接 web\_control（参见[网页无法打开的排查方法](#)）。
- 使用 PTC 指令或 网页控制 确认：雷达未处于待机模式。
- 如果使用了接线盒：接线盒完好。

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 网页控制 确认：Destination IP 配置正确。

- 使用 PTC 指令或 网页控制 确认：固件版本显示正常。
- 使用 PTC 指令或 网页控制 确认：Azimuth FOV 设置正确。
- 雷达正在发出激光（可用红外相机或红外激光观察卡检测，也可采用未镀红外减透膜的手机镜头观察）。

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 网页控制 确认：Lidar Destination Port 设置正确。
- 如果开启了 VLAN，使用 PTC 指令或 网页控制 确认：雷达与计算机的 VLAN ID 相同。
- 计算机防火墙已关闭，或将 PandarView 2 加入到防火墙的例外中。
- 使用最新版本 PandarView 2（见 [禾赛官网“下载”页面](#)，或联系技术支持）。

之后重新上电，查看故障是否消失。

### 网页无法打开

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 网页控制 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。

### 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 [6 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》。
- 使用 PTC 指令或 网页控制 确认：Azimuth FOV 设置正确。
- 通过点云数据包 **Motor Speed** 字段或使用 PTC 指令、网页控制 或 PandarView 2 确认：电机转速平稳。
- 使用 PTC 指令、网页控制 或 PandarView 2 确认：雷达内部温度在  $-20^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$  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（见 [禾赛官网“下载”页面](#)，或联系技术支持）。
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. 将雷达重新上电，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：

- 使用 PTC 指令或 网页控制 确认：Azimuth FOV 设置正确。
- 使用 PTC 指令、网页控制 或 PandarView 2 确认：雷达内部温度在  $-20^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$  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。

## GPS 无法锁定

确认以下条件是否满足：

- GPS 设备连接正常。
- PPS 信号已输入雷达。
- 使用 PTC 指令或 网页控制 指令确认 GPS Destination Port 设置正确。
- 输入的 GPS 信号满足 [2.2 电气接口](#)和 [2.3 接线盒（选配）](#) 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

### 下页表格说明

<b>通道序号</b>	从上到下，从 1 开始编号。
<b>水平方位角偏移量、垂直高度角</b>	均为设计值。 <ul style="list-style-type: none"><li>• 准确角度数据在该台雷达的角度修正文件中。</li><li>• 参见 <a href="#">3.1.4 点云数据解析方法</a>。</li></ul>
<b>仪器测距</b>	实际测距范围，由分配给各通道的飞行时间（ToF）决定。

通道序号	水平方位角偏移量	垂直高度角	仪器测距 单位：米	测距能力 @目标物反射率 单位：米
1	-1.042°	15.00°	130	200 @20%
2	-1.042°	11.00°	130	200 @20%
3	-1.042°	8.00°	130	200 @20%
4	-1.042°	5.00°	130	200 @20%
5	-1.042°	3.00°	230	200 @20%
6	-1.042°	2.00°	230	200 @20%
7	3.125°	1.67°	230	200 @20%
8	-5.208°	1.33°	230	200 @20%
9	-1.042°	1.00°	230	200 @10%
10	3.125°	0.67°	230	200 @10%
11	-5.208°	0.33°	230	200 @10%
12	-1.042°	0.00°	230	200 @10%
13	3.125°	-0.33°	230	200 @10%
14	-5.208°	-0.67°	230	200 @10%
15	-1.042°	-1.00°	230	200 @10%
16	3.125°	-1.33°	230	200 @10%
17	-5.208°	-1.67°	230	200 @10%
18	-1.042°	-2.00°	230	200 @10%
19	3.125°	-2.33°	230	200 @20%
20	-5.208°	-2.67°	230	200 @20%

通道序号	水平方位角偏移量	垂直高度角	仪器测距 单位：米	测距能力 @目标物反射率 单位：米
21	-1.042°	-3.00°	230	200 @20%
22	3.125°	-3.33°	230	200 @20%
23	-5.208°	-3.67°	230	200 @20%
24	-1.042°	-4.00°	230	200 @20%
25	3.125°	-4.33°	130	200 @20%
26	-5.208°	-4.67°	130	200 @20%
27	-1.042°	-5.00°	130	200 @20%
28	3.125°	-5.33°	130	200 @20%
29	-5.208°	-5.67°	130	200 @20%
30	-1.042°	-6.00°	130	200 @20%
31	-1.042°	-7.00°	130	200 @20%
32	-1.042°	-8.00°	130	200 @20%
33	-1.042°	-9.00°	130	200 @20%
34	-1.042°	-10.00°	130	200 @20%
35	-1.042°	-11.00°	130	200 @20%
36	-1.042°	-12.00°	130	200 @20%
37	-1.042°	-13.00°	130	200 @20%
38	-1.042°	-14.00°	130	200 @20%
39	-1.042°	-19.00°	130	200 @20%
40	-1.042°	-25.00°	130	200 @20%



## 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. GPS 作为时钟源

雷达连接第三方 GPS 模块，获取 PPS 信号和 NMEA 信息。

- NMEA 信息：可通过 PTC 指令或网页控制 选择接收 \$GPRMC 或 \$GPGGA 语句。
- 可通过 PTC 指令或网页控制 查看 PPS 和 NMEA 信号的当前状态。
- PPS 与 NMEA 信号的时序要求见 [2.2.1 引脚定义](#)。
- 雷达内部 1 Hz 信号的每个上升沿触发一个 GPS 数据包，数据格式见 [3.2 GPS 数据包](#)。

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 <b>虚拟的 UTC 时间</b> （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 秒，从而得到准确的日期和时间。
未锁定（失锁）	内部计时	从 <b>失锁前的同步时刻</b> 开始，由雷达内部 1 Hz 信号计数递增，相比真实的 GPS 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 GPS 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 GPS 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 网页控制 配置 PTP 相关参数。
- 可通过 PTC 指令或 网页控制 查看 PTP 信号的当前状态。
- 雷达不输出 GPS 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 <b>虚拟的 UTC 时间</b> （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 <b>失锁前的同步时刻</b> 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  $t_0 = t_s + t_{ms}$ ，其中：

- $t_s$  为整秒部分，位于点云数据包的 **Date & Time** 字段。
- $t_{ms}$  为微秒部分，位于点云数据包的 **Timestamp** 字段。

以上字段定义见 [3.1.2.2 数据尾](#)。

## B.3. 数据块的结束时间

已知点云数据包的绝对时间为  $t_0$ ，可计算每个数据块的结束时间，即最后一个通道结束发光的时刻。

### 单回波模式下

数据块	结束时间 ( $\mu s$ )
Block 10	$t_0 - 28.58$
Block N	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times (10 - N)$
Block 3	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 7$
Block 2	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 8$
Block 1	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 9$

### 双回波模式下

数据块	结束时间 ( $\mu s$ )
Block 10 & Block 9	$t_0 - 28.58$
Block 8 & Block 7	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 1$
Block 6 & Block 5	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 2$

---

数据块	结束时间 ( $\mu\text{s}$ )
Block 4 & Block 3	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 3$
Block 2 & Block 1	$t_0 - 28.58 - 55.56 \times 4$

## B.4. 各通道的发光时刻偏移

已知数据块  $m$  的结束时间为  $T(m)$ ，其中  $m \in \{1, 2, \dots, 10\}$ ，则数据块  $m$  中，通道  $n$  的激光器发光时刻为

$$t(m, n) = T(m) + \Delta t(n), \text{ 其中 } n \in \{1, 2, \dots, 40\}.$$

发光时刻偏移量  $\Delta t(n)$  见下表。

发光顺序	通道序号	$\Delta t(n)$ ( $\mu\text{s}$ )
1	8	-54.67
2	20	-52.7
3	15	-50.73
4	27	-48.76
5	7	-47.46
6	19	-45.49
6	5	-45.49
7	33	-43.52
8	37	-42.22
8	1	-42.22
9	11	-40.91
10	23	-38.95
11	18	-36.98
12	30	-35.01
13	10	-33.71
14	22	-31.74

发光顺序	通道序号	$\Delta t(n)$ ( $\mu\text{s}$ )
14	6	-31.74
15	34	-29.77
16	38	-28.47
16	2	-28.47
17	14	-27.16
18	26	-25.19
19	21	-23.89
20	31	-21.92
21	13	-20.62
21	9	-20.62
22	25	-18.65
23	35	-17.35
24	39	-16.04
24	3	-16.04
25	17	-14.74
26	29	-12.77
27	24	-11.47
28	32	-9.5
29	16	-8.19
29	12	-8.19
30	28	-6.23

发光顺序	通道序号	$\Delta t(n)$ ( $\mu\text{s}$ )
31	36	-4.92
32	40	-3.62
32	4	-3.62

## 附录 C: Phoenix 接口

默认采用 2.2 电气接口中的 Lemo 接口，也可选用 Phoenix 接口。

Phoenix 零件编号：

SACC-M12MS-8CON-PG 9-SH - 1511857（公头，用于雷达上）

SACC-M12FS-8CON-PG 9-SH - 1511860（母头，用于接线盒上）

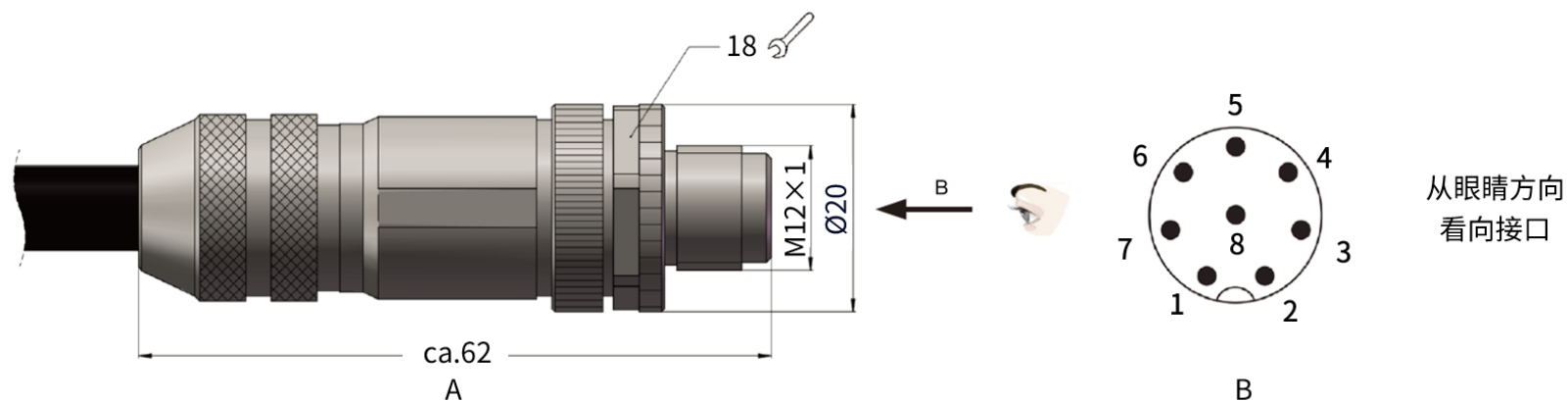


图 19. Phoenix 接口（单位：mm）

### 引脚定义

引脚序号	信号	引线颜色	电平
1	Ethernet RX-	蓝色	-1V ~ 1V
2	Ethernet RX+	蓝色/白色	-1V ~ 1V
3	Ethernet TX-	橘色	-1V ~ 1V
4	Ethernet TX+	橘色/白色	-1V ~ 1V
5	GPS Serial Data	白色	-13V ~ +13V



引脚序号	信号	引线颜色	电平
6	GPS PPS	黄色	3.3 V/5 V
7	+12 V	红色	12 V
8	Ground (Return)	黑色	-

## 附录 D: 反射率非线性映射

点云数据包的 **Reflectivity** 字段（见 3.1.2.1 数据主体）与目标物反射率默认为线性关系。

- **Reflectivity** 字段取值范围：0 ~ 255
- 反射率范围：0 ~ 255%

用户可以通过 PTC 指令或 网页控制 选择非线性映射。

非线性映射可在低反射率区域提升对比度，映射关系如下图。

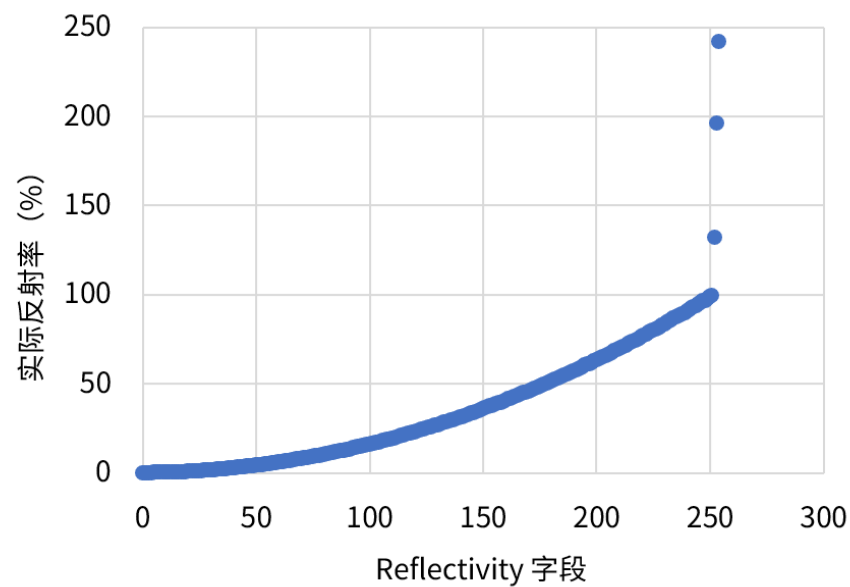


图 20. 反射率非线性映射

### 反射率非线性映射

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
0	0	1	0.01	2	0.02	3	0.03
4	0.04	5	0.05	6	0.08	7	0.11
8	0.13	9	0.15	10	0.19	11	0.23
12	0.26	13	0.29	14	0.34	15	0.39
16	0.44	17	0.5	18	0.56	19	0.61
20	0.67	21	0.75	22	0.81	23	0.87
24	0.95	25	1.05	26	1.15	27	1.25
28	1.35	29	1.45	30	1.55	31	1.65
32	1.75	33	1.85	34	1.95	35	2.06
36	2.19	37	2.31	38	2.44	39	2.56
40	2.69	41	2.81	42	2.94	43	3.07
44	3.21	45	3.36	46	3.5	47	3.64
48	3.79	49	3.93	50	4.08	51	4.25
52	4.42	53	4.58	54	4.75	55	4.92
56	5.1	57	5.3	58	5.5	59	5.7
60	5.9	61	6.1	62	6.3	63	6.5
64	6.7	65	6.9	66	7.1	67	7.3
68	7.5	69	7.7	70	7.9	71	8.12
72	8.37	73	8.62	74	8.87	75	9.1
76	9.3	77	9.5	78	9.7	79	9.9
80	10.17	81	10.5	82	10.83	83	11.12

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
84	11.37	85	11.62	86	11.87	87	12.12
88	12.37	89	12.62	90	12.87	91	13.17
92	13.5	93	13.83	94	14.17	95	14.5
96	14.83	97	15.12	98	15.37	99	15.62
100	15.87	101	16.17	102	16.5	103	16.83
104	17.17	105	17.5	106	17.83	107	18.17
108	18.5	109	18.83	110	19.17	111	19.5
112	19.83	113	20.25	114	20.75	115	21.17
116	21.5	117	21.83	118	22.17	119	22.5
120	22.83	121	23.25	122	23.75	123	24.17
124	24.5	125	24.83	126	25.25	127	25.75
128	26.17	129	26.5	130	26.83	131	27.25
132	27.75	133	28.17	134	28.5	135	28.83
136	29.25	137	29.75	138	30.25	139	30.75
140	31.17	141	31.5	142	31.83	143	32.25
144	32.75	145	33.25	146	33.75	147	34.25
148	34.75	149	35.25	150	35.75	151	36.25
152	36.75	153	37.25	154	37.75	155	38.25
156	38.75	157	39.17	158	39.5	159	39.83
160	40.5	161	41.25	162	41.75	163	42.25
164	42.75	165	43.25	166	43.75	167	44.25

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
168	44.75	169	45.25	170	45.75	171	46.25
172	46.75	173	47.25	174	47.75	175	48.25
176	48.75	177	49.5	178	50.25	179	50.75
180	51.25	181	51.75	182	52.25	183	52.75
184	53.5	185	54.25	186	54.75	187	55.25
188	55.75	189	56.5	190	57.25	191	57.75
192	58.25	193	58.75	194	59.5	195	60.25
196	60.75	197	61.25	198	61.75	199	62.5
200	63.25	201	63.75	202	64.5	203	65.25
204	65.75	205	66.25	206	66.75	207	67.5
208	68.25	209	68.75	210	69.5	211	70.25
212	70.75	213	71.5	214	72.25	215	72.75
216	73.5	217	74.25	218	74.75	219	75.5
220	76.5	221	77.25	222	77.75	223	78.5
224	79.25	225	79.75	226	80.5	227	81.25
228	81.75	229	82.5	230	83.5	231	84.25
232	84.75	233	85.5	234	86.5	235	87.25
236	87.75	237	88.5	238	89.25	239	89.75
240	90.5	241	91.5	242	92.5	243	93.25
244	93.75	245	94.5	246	95.5	247	96.25
248	96.75	249	97.5	250	98.5	251	99.5

Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %	Reflectivity 字段	实际反射率 %
252	132	253	196	254	242	-	-

## 附录 E: 法律申明

禾赛科技版权所有。未经禾赛授权，禁止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.hesai.tech](http://www.hesai.tech)

办公地址：上海市长宁区昭化路 658 号 A 栋

公司邮箱：[info@hesai.tech](mailto:info@hesai.tech)

售后邮箱：[service@hesai.tech](mailto:service@hesai.tech)