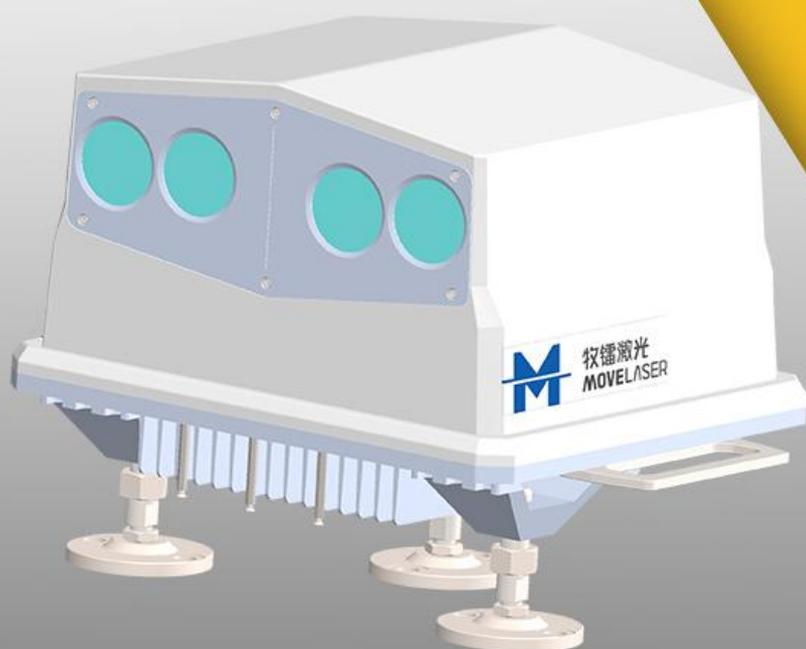




MOLAS NL200-V6

NACELLE-BASED WIND LIDAR
PRODUCT INFORMATION MANUAL

机舱式
测风激光雷达
产品信息手册



2023年11月 版本v1.1

目录

0 手册适用范围	1
1 安全	1
1.1 用户须知	1
1.1.1 安全条例	1
1.1.2 电气安全	1
1.1.3 激光安全	1
1.1.4 安装安全	2
1.2 安全标识	2
1.3 符合性信息	3
2 产品介绍	3
2.1 概述	3
2.1.1 系统框图	4
2.1.2 测量原理	4
2.1.3 几何关系	5
2.2 性能参数	7
2.3 硬件描述	8
2.3.1 激光头 (OH)	8
2.3.2 数存单元 (PU)	9
2.3.3 连接线缆	12
2.4 装箱清单	15
2.5 包装及存储运输	18
2.5.1 包装箱简介	18
2.5.2 存储及运输	19
2.5.3 开箱及检查	19
3 WEB 客户端程序安装操作介绍	19
3.1 软件使用	19
3.2 软件介绍及使用	20
3.2.1 雷达连接	20
3.2.2 “雷达信息”页面	21
3.2.3 “雷达数据”页面	22
3.2.4 “功率谱”页面	22
3.2.5 “文件管理”页面	23
3.2.6 “设置”页面	24
4 雷达安装	25
4.1 安装要求	25
4.1.1 人员要求	25
4.1.2 安装工具	25
4.2 准备工作	26
4.2.1 安装支架及位置设计	26
4.2.2 雷达开机检验	27



4.2.3 物料检查	27
4.3 雷达安装	28
4.3.1 设备吊装	28
4.3.2 支架安装	28
4.3.3 PU 安装	30
4.3.4 OH 安装	31
4.3.5 OH 指向及姿态调节	34
4.4 参数设置	37
4.5 通讯安装及确认	37
4.6 雷达状态检查	38
4.7 力矩检查及机舱密封	39
4.8 线缆固定	39
4.9 注意事项	40
5 雷达拆除	41
5.1 要求	41
5.1.1 人员要求	41
5.1.2 工具要求	41
5.2 雷达拆除	41
5.3 机舱密封	42
5.4 雷达吊运及运输	42
6.故障排查及保养维护	42
6.1 常见故障现象及处理方法	42
6.1.1 通讯故障	43
6.1.2 主板故障	44
6.1.3 航插线缆异常	44
6.1.4 激光器光学器件故障	44
6.1.5 雷达内部通信故障	45
6.2 维护保养	46
6.2.1 维护计划和内容	46
6.2.2 维护方法	48
附件 A 数据产品定义	54
附件 B 数据文件格式说明	57
附件 C FTP 格式	60
附件 D Profibus-DP 通信使用说明	61
附件 E Modbus-RTU 通信使用说明	63
附件 F Canopen 通信使用说明	67
附件 G Modbus-TCP 通信使用说明	71
附件 H 产品手册电子版下载链接	73
附件 I 安装指导视频下载链接	73



0 手册适用范围

感谢您选择南京牧镭激光科技股份有限公司（以下简称牧镭激光）Molas NL 测风激光雷达产品，本手册适用于 NL V6 版本雷达。

1 安全

本用户手册为您提供了重要的安全、维护、操作及其他方面的信息。故在使用该产品之前，请务必先仔细阅读本用户手册。为了确保操作安全及设备的正常运行，请遵守以下注意和警告事项以及该手册中的其他信息。

1.1 用户须知

1.1.1 安全条例

- Molas NL 必须由受过牧镭激光（或者牧镭激光指定机构）专业培训的人员进行安装、调试及操作。
- Molas NL 使用时，操作人员需遵守相应国家及行业的安全规定，具备操作所需的一切资质并得到安全主管部门许可。
- 为确保 Molas NL 正常、安全使用，请仔细阅读该手册的所有信息。
- 因未按照本手册操作或者其他不规范操作导致的一切后果，牧镭激光不承担任何责任。
- 牧镭激光提供的设备仅供用于合法科学的测量用途。
- 未按照本手册使用或者其他不当使用导致的故障不在牧镭激光的质保范围。
- 未经允许，不得擅自拆除设备外壳，一经拆除设备将无法享受质保。
- 未经允许，不得私自改造设备硬件及软件，由此造成的故障及损失不在质保范围。

1.1.2 电气安全

不遵守以下安全说明可能导致火灾，电击或其他伤害或损坏。

- PU 电源开关不是电源断路器，因此也不是紧急断电装置。若发生紧急情况（如火灾、水灾等），请断开供电电源电缆与 PU 面板电源连接器的连接，或断开 PU 外部供电的电源断路器，以断开电网连接。
- 在安装之前，请确保：
 - ✚ 本设备交流供电的标称电压及频率与供电电网的电压及频率相匹配，输入电源范围在 100VAC~240VAC 之间，频率范围在 50Hz~60Hz 之间。
 - ✚ 确保设备主电源电缆入口处的输入电源质量达到系统认证的水平。
- 为确保设备的电气安全，请必须按照我司的接地线安装方法正确接地。
- 维修或移动系统的任何零件之前，务必拔下设备供电电源接头。
- 为避免电子干扰，请勿将通信电缆沿着中高压（ $\geq 300\text{VAC}$ ）电缆或电涌保护器线走线。
- 激光雷达系统处理单元的防护等级为 IP54。为避免电气故障：
 - ✚ 确保使用配套的电缆连接器与系统进行外部连接。
 - ✚ 确保 PU 上未使用的所有外部面板连接器均被其固定盖覆盖。

1.1.3 激光安全

Molas NL 测风激光雷达使用的激光光源符合 EN 60825-1 规范中人眼安全标准,发射的

光束为红外肉眼不可见光，属于 1M 类激光产品。虽然如此，我们仍然推荐遵循以下的安全规则：

- 设备内部无可供客户操作的光学器件，请勿尝试打开设备外壳改变设备内部光学结构。
- 设备运行时，请勿直视输出激光或通过光学装置如手持显微镜、望远镜等直视输出激光。
- 请勿在光路上增加额外的光学器件或者高反射（折射）零部件。
- 请勿将金属物品放置在光路中以防光束发生反射引起测量故障。
- 请在通电前确认没有障碍物放置在输出光路中。
- 通过光学器件或装置的激光束有可能使人眼受损，因此我们极力推荐在显眼处放置安全警示标语，并告知相关人员应当遵守的安全守则。

1.1.4 安装安全

- Molas NL 在风机上的所有安装操作必须由至少两名受过培训的人员进行。
- 天气条件允许且符合风电场规定的情况下方可登高作业，安装人员需提前关注并获悉天气情况。
- 如出现天气情况的急剧变化，导致不能安全作业，移动舱外未安装设备至舱内并且检查并紧固已安装部分，迅速停止作业，在此期间人员安全应放在第一位。
- 安装人员严格遵守风电场相关安全规定。
- Molas NL 在安装过程中全程确保防坠措施到位，安装结束后使用专业工具检查并确保所有连接部分牢固。
- 登高作业人员应配备以下安全设备：安全帽、安全鞋、安全绳（配有防摔缓冲器）、安全带、止降器、活动安全钩、手套、对讲机，身着长裤长袖须简洁耐磨。

1.2 安全标识

安全标识如表 1 所示。

表 1 安全标识

安全标志	标志名称	说明
	谨防触电标识	粘贴此标贴的设备内或连接器含有高压供电，请勿擅自拆卸设备外壳、直接接触连接器金属触点或采用金属导体触碰金属触点，以免发生触电危险、导致火灾或人身伤害。
	1M 类激光产品警告标识	设备为 1M 类激光产品，发射大直径或高发散度光束。正常使用时没有危害，当使用望远镜等光学设备时会有超过 Class 1 限值的危害，不要使用光学仪器直接观察激光射出窗口。

1.3 符合性信息

➤ 安全符合性

- 符合 GB 7247.1-2012 激光产品的安全相关技术要求；
- 符合 GB/T 24343-2009 工业机械电气设备绝缘电阻试验规范，绝缘电阻 $\geq 10M\Omega$ （兆欧表直流 500V）；
- 符合 GB 4793.1-2007 测量、控制和实验室用的电设备的安全要求第 1 部分：通用要求，耐压 2000VAC 测试要求。

➤ EMC 符合性

- 符合 GB/T 18268.1-2010 测量、控制和实验室用的电设备电磁兼容性要求第 1 部分：通用要求；
- 符合 GB/T 17799.2-2003 电磁兼容通用标准工业环境中的抗扰度试验要求；
- 符合 GB/T 17626.6-2017 电磁兼容试验和测量技术射频场感应的传导骚扰抗扰度，A 级判定；
- 符合 GB/T 17626.4-2008 电磁兼容试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，B 级判定；
- 符合 GB/T 17626.3-2016 电磁兼容试验和测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验，A 级判定；
- 符合 GB/T 17626.5-2008 电磁兼容试验和测量技术浪涌（冲击）抗扰度试验，B 级判定。

➤ 防雷符合性

- 符合 GBZ 25427-2010 风力发电机组雷电防护，机舱外 LPZ 0B 和机舱内 LPZ 1 要求。

➤ 其他

- 符合 GB 4208-2008 外壳防护等级(IP 代码)，激光头外壳防护等级为 IP66，数存单元外壳防护等级为 IP54；
- 符合 GB/T 2423.18-2008 电工电子产品环境试验第 2 部分试验方法试验 Ka 盐雾交变要求；
- 符合 GB/T 12085.14-2010 光学和光学仪器环境试验方法第 14 部分：露、霜、冰要求；
- 符合 GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件要求；
- 符合 GB/T 191-2008 包装储运图示标志要求。

2 产品介绍

2.1 概述

产品由 2 个主要部件组成：光学头-OH、数存单元-PU（包含供电线及现场总线通信线），OH 及 PU 这 2 个部件之间由一根 ODC 航插线缆连接。



光学头-OH

数存单元-PU

图 1 Molas NL 系统概述图

2.1.1 系统框图

Molas NL 系统结构如图 2 所示。光学头（OH）是 Molas NL 的核心部件，主要实现激光遥感探测的功能，构成包括激光器、光学收发天线、主板电路（主机控制及高速数据采集）。

数存单元（PU）是 Molas NL 的数据存储和对外交互的关键部件，主要构成包含电源、数据处理、数据存储、对外交互。

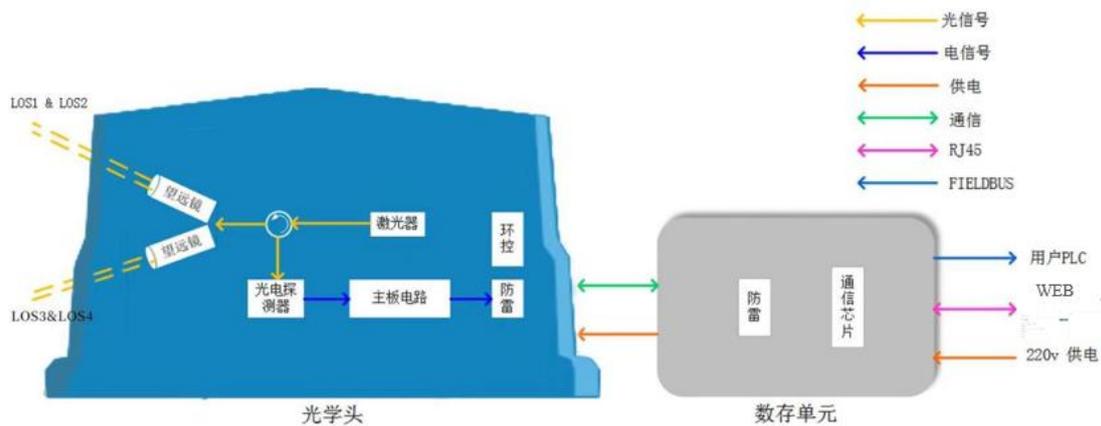


图 2 Molas NL 系统框图

2.1.2 测量原理

Molas NL 基于全相干多普勒探测原理进行测风，其原理如下图 3 所示。光纤激光器产生的脉冲信号光通过光学天线发射到待测大气中，与其中的气溶胶颗粒相互作用产生包含速度信息的后向散射信号。光学天线接收该后向散射信号，与系统内部本振光进行拍频，并最终转换为电信号，信号放大后，由模数转换器 A/D 完成电信号的数字化。采集后的数据传输至处理器，基于信号处理算法得出每个光束不同距离处的径向风速，并最终结合风场模型得出重构的风速、风向、湍流和风切变等信息。

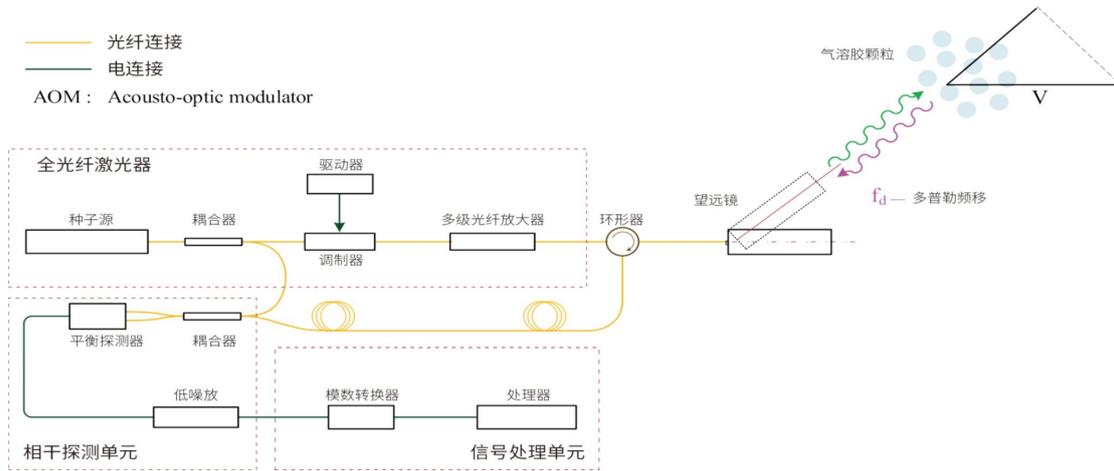


图 3 Molas NL 探测原理示意图

2.1.3 几何关系

Molas NL 采用了 4 光束的光学方案，能够同时测量雷达正前方 10 个距离截面的风场信息，如图 4 所示。Molas NL 提供 50-200 米范围内 10 个测量距离的可配置项，用户可以根据自己的需要通过客户端软件进行修改。

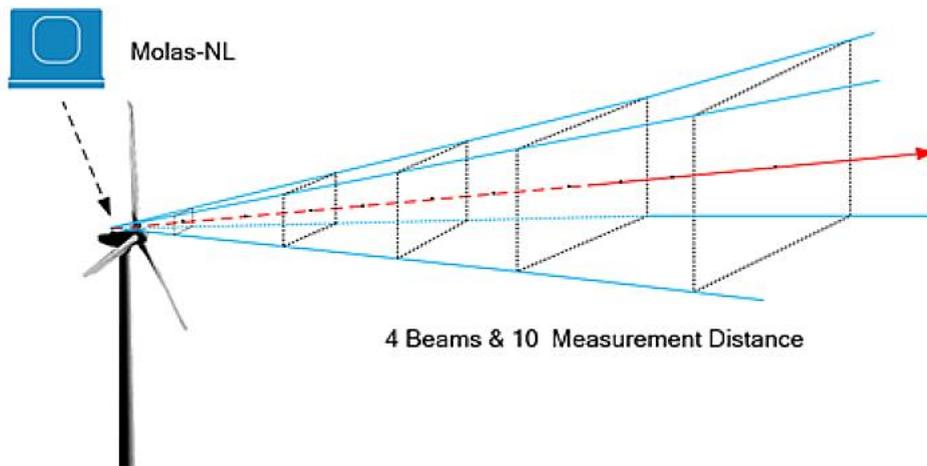


图 4 Molas NL 应用示意图

Molas NL 光束配置如图 5 所示，图中标注角度为面夹角。

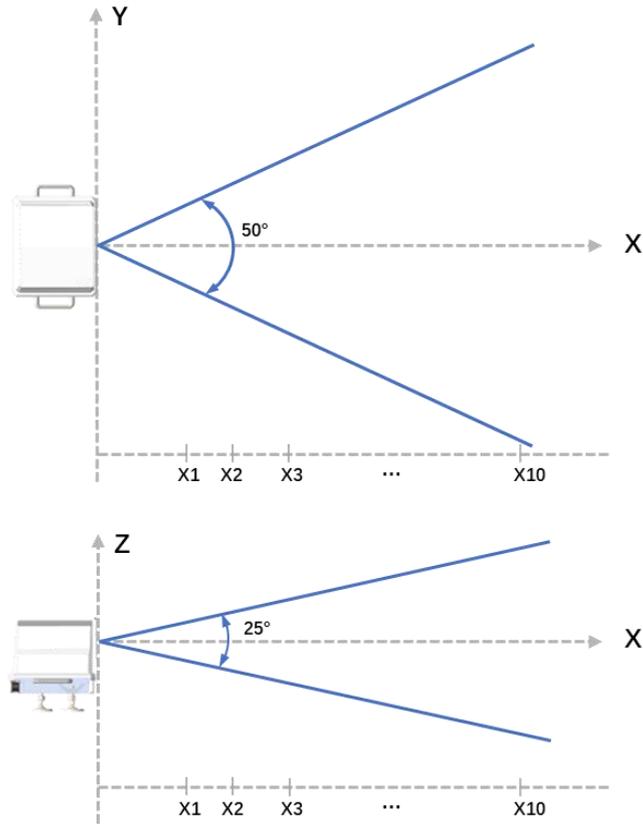


图 5 Molas NL 4 光束配置图

雷达发射 4 束激光的编号依次为：LOS1、LOS2、LOS3、LOS4，其在空间中位置如图 6 所示。

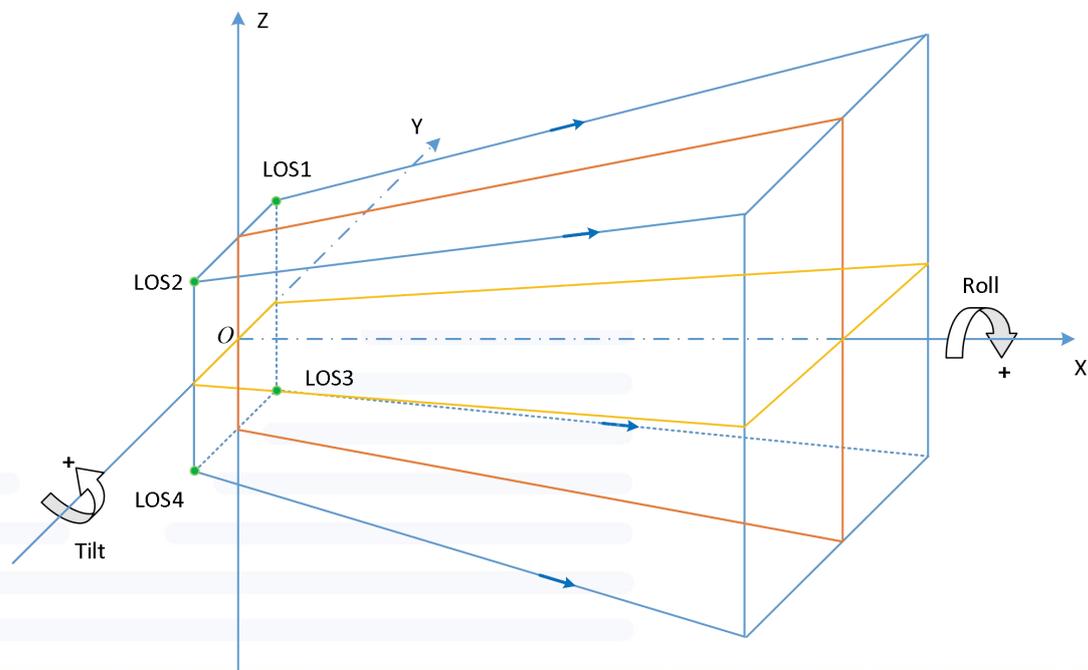


图 6 Molas NL 4 光束空间中位置

雷达光束角度与正方向定义如图 7 所示。

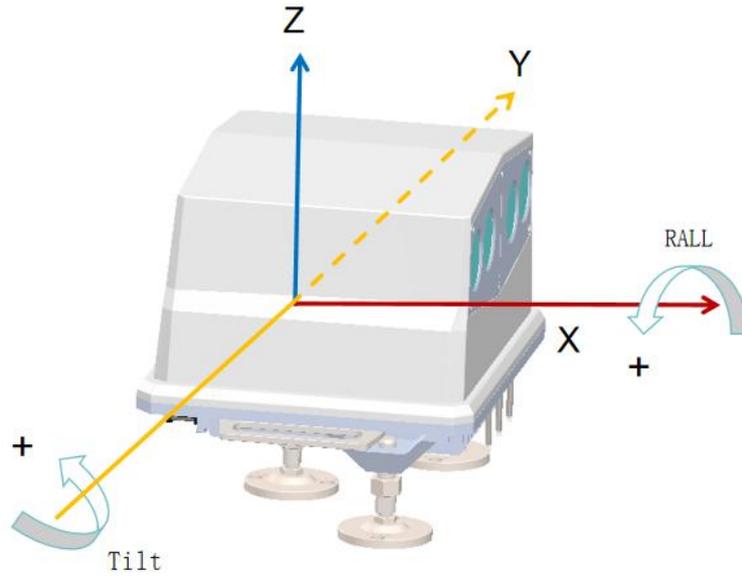


图 7 Molas NL 角度与正方向定义图

2.2 性能参数

表 2 性能参数

性能指标	
测量距离	50~200m
测量截面数量	10①
采样频率	4Hz
风速测量范围	-50 ~50m/s②
风向测量范围	-180°~180°
风速精度	0.1m/s
风向精度	±0.5°
测量原理	脉冲激光相干多普勒原理
光束结构	4 光束：水平面夹角 50°，垂直面夹角 25°
光束指向精度	±0.1°
数据	
输出数据	<ul style="list-style-type: none"> 实时数据@4Hz 十分钟统计数据
数据格式	ASCII,CSV (文件后缀)
存储容量③	32GB
通讯方式④	Profibus DP/Modbus TCP/ Modbus RTU/CANOPEN
其他	
供电	100 VAC~240VAC ±10% 50Hz~60Hz ±6%
功率	65W normal⑤
工作温度范围	-40°C~60°C ⑥
生存温度范围	<ul style="list-style-type: none"> -40°C~65°C (断电) -45°C~65°C (带电)
工作湿度范围	0~100% RH
生存风速	70m/s

工作加速度范围	-0.5g~0.5g
IP 防护等级	<ul style="list-style-type: none"> 机舱内设备: IP54 机舱外设备: IP66
防腐	ISO C5
防辐射	CISPR 11
EMC	IEC61326-1
电气安全	IEC61010-1
重量	<ul style="list-style-type: none"> OH 约 17.5Kg PU 约 4.5Kg

- ① 每个截面的具体数值可由用户通过客户端软件自行设定，雷达出厂时默认距离为 50/60/80/100/120/140/160/180/190/200m，尽管如此，请在使用时检查一下设置的距离。
- ② 风速测量范围为视向风速测量范围，负风速为风延光束远离雷达。
- ③ 雷达会定期清理内存，请在三个月内下载需要存档的数据。
- ④ 同一台雷达只支持一种通信协议，客户须在购买前选择其中一种通信协议。
- ⑤ 常温条件雷达功耗在 65W 左右，-40℃低温启动功耗（极限条件）在 200W 左右。
- ⑥ 雷达在环境温度-40℃~-20℃下开机启动，雷达整机进行预热，预热时间一般不超过 40min。

2.3 硬件描述

2.3.1 激光头（OH）

Molas NL 光学头结构尺寸如下图 8 所示，重量约 17.5kg:

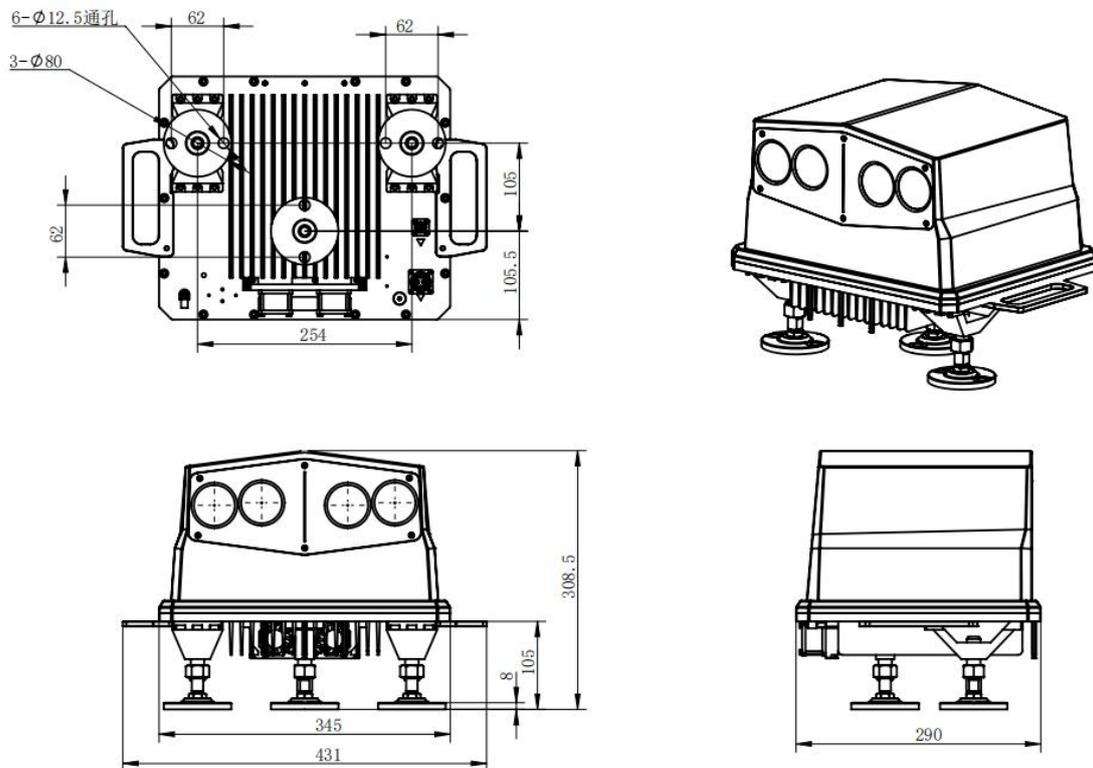


图 8 MOLAS NL 光学头结构尺寸图

光学头有三个对外连接器，如表 3 所示：

表 3 OH 连接器说明

序号	名称	功能
1	航插座	通过 ODC 航插线与 PU 连接，获得供电并与 PU 通信
2	接地柱	通过接地线与雷达金属安装支架连接
3	指向工装接口	用于安装雷达指向工装

➤ OH 操作说明

OH 配有两个把手，如图 8 所示。OH 需要两个人配合搬运。在操作 OH 时，要注意以下事项：

OH 在操作过程中需要重点保护窗口镜，不得与硬物磕碰，窗口镜上有损坏或者脏污可能导致测量数据可利用率降低；
连接器损坏会导致防水失效或电气故障。

➤ OH 姿态调整

通过三个地脚的升降可以调节 OH 姿态，Roll 及 Tilt 调节范围为 $\pm 4^\circ$ 。

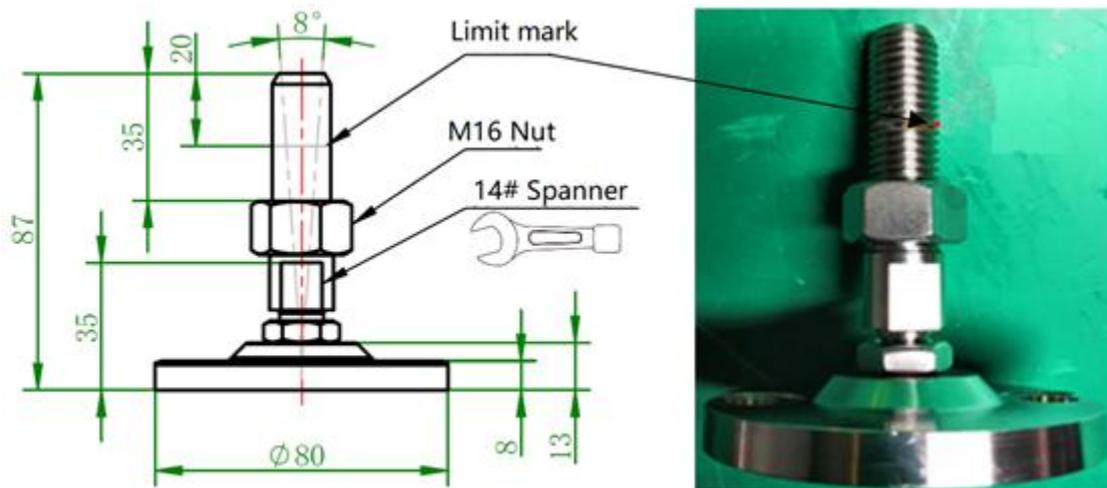


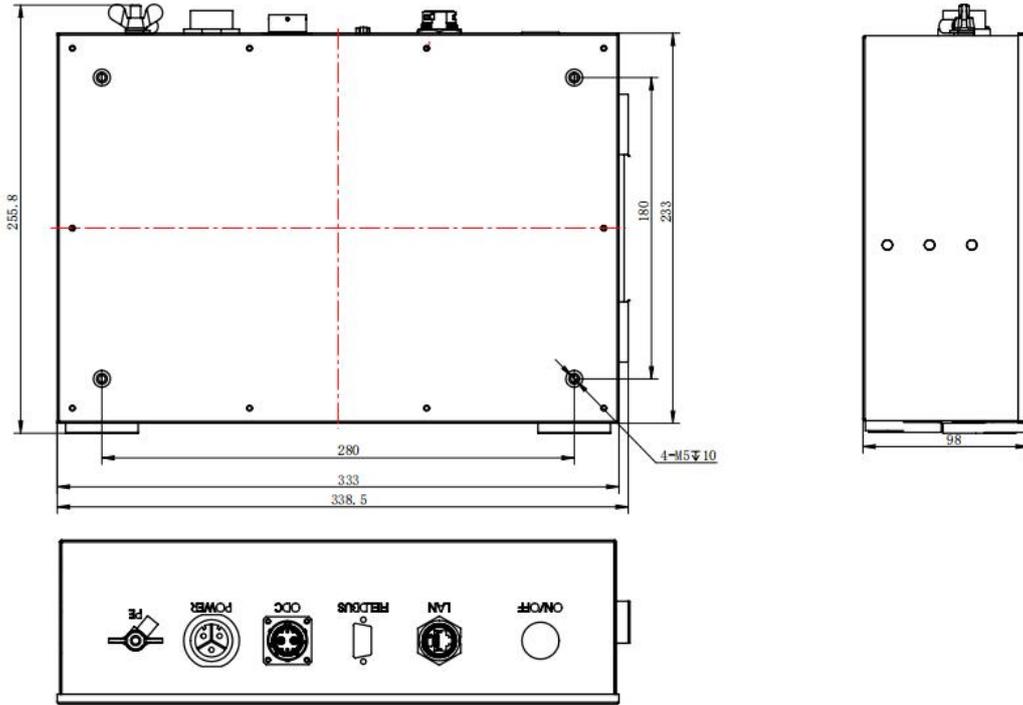
图 9 姿态调整地脚图

如需要姿态调整，请使用 14 号开口扳手作用于地脚立柱底部的卡口，旋转地脚。为了保证地脚的支撑强度，地脚伸缩范围是 14mm（OH 整体高度 301-315mm），详见图 9。另外，地脚立柱上标有限位标记，如上图所示，调节到标记处时，请不要继续拧出地脚立柱。通过拧紧每个地脚上的 M16 螺母来锁紧地脚，固定 OH 姿态。

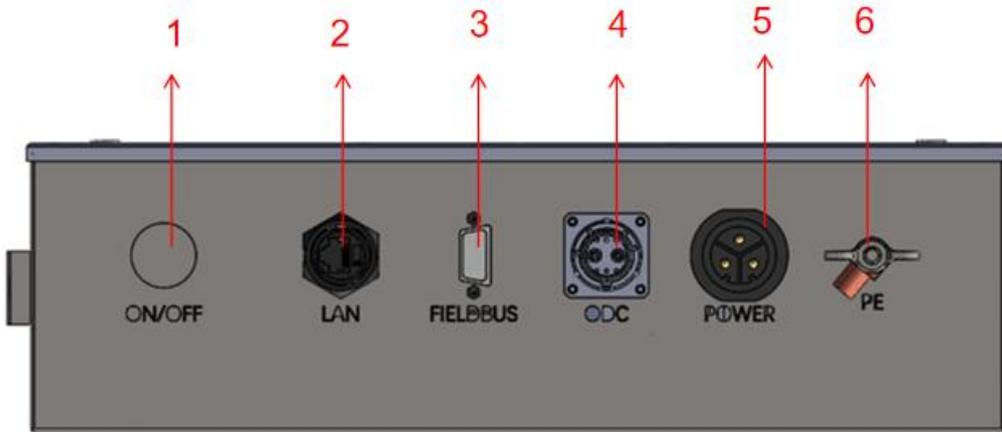
M16 螺母的锁紧力矩为 130Nm。

2.3.2 数存单元 (PU)

Molas NL 数存单元结构尺寸如下图 10 所示，重量约 4.5kg。



MOLAS NL 数存单元结构尺寸



MOLAS NL 数存单元接口

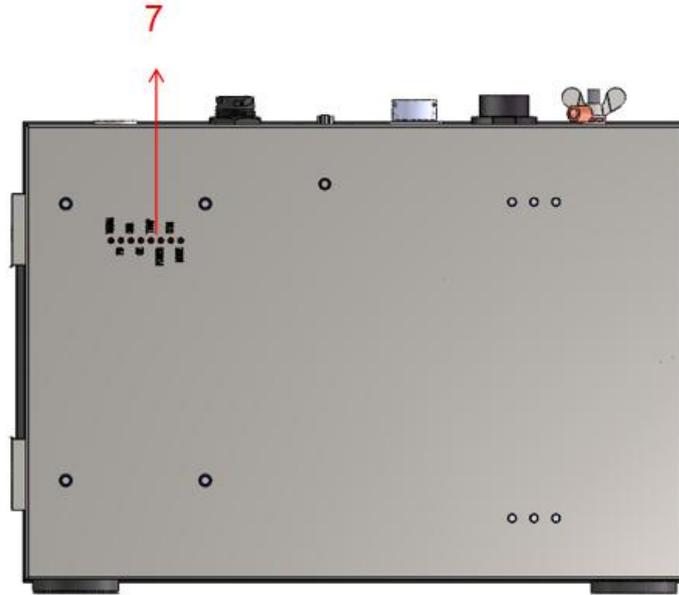


图 10 Molas NL 数存单元结构尺寸图

其中，数存单元（PU）的连接器说明如表 4 所示。

表 4 PU 连接器说明

序号	标签	名称	功能
1	ON/OFF	开关按钮	整机开关机
2	LAN	RJ45 连接器	用于 PU 对外的以太网通信
3	FIELDBUS	9 芯防水 DB 母头 或 9 芯防水 DB 公头	用于 PU 对外通信（Profibus/Modbus RTU） 用于 PU 对外 CANopen 通信
4	ODC	防水航插座	OH 供电，网口和 485 通信
5	POWER	M25 三针航插	主交流电源输入
6	PE	接地柱	接地防雷，另一端连接到机舱金属结构
7		指示灯	显示雷达的工作状态，详见表 5

数存单元（PU）的指示灯如图 11 所示

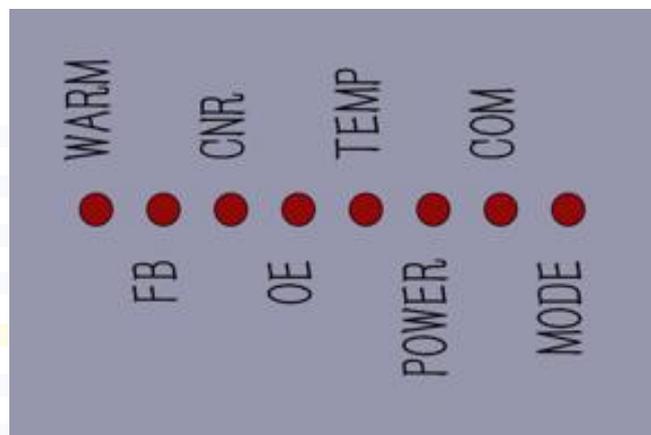


图 11 MOLAS NL 数存单元信号指示灯示意图

表 5 PU 指示灯说明

序号	标签	名称	功能
1	Warm		● 无意义
2	FB	现场总线指示	<ul style="list-style-type: none"> ● 常绿: IPC-STM32通信与外部通信同时正常 ● 常黄: IPC-STM32通信异常 ● 黄闪: 外部通信异常 ● 红闪: IPC-STM32通信与外部通信均异常
3	CNR	信号指示	<ul style="list-style-type: none"> ● 常红: 10个门低SNR ● 常黄: 10个门部分异常 ● 常绿: 10个门高SNR
4	OE	激光器状态	<ul style="list-style-type: none"> ● 绿闪: LD未全出光 ● 常绿: LD全出光
5	Temp	温度指示灯	<ul style="list-style-type: none"> ● 常黄: 主板HDC1080温度过高 (>85°C) ● 绿闪: 环控TEC冷面温度异常 (温区1 (<10°C >42°C)) ● 常绿: 以上温度均正常
6	Power	供电状态指示灯	<ul style="list-style-type: none"> ● 常红: OH电流异常 ● 常黄: OH电压异常 ● 常绿: 供电正常 ● 红闪: 电压电流均异常 (优先级最高)
7	COM	通信指示灯	<ul style="list-style-type: none"> ● 常黄: IPC与DUCT通信异常 ● 常绿: IPC与DUCT通讯正常
8	Mode	系统模式灯	<ul style="list-style-type: none"> ● 常红: OH故障模式 ● 常黄: OH温度保护 ● 常绿: OH正常模式 ● 绿闪: OH调试模式

➤ PU 操作说明

PU 重量及外形支持一人搬运，在操作 PU 时，要注意以下事项：

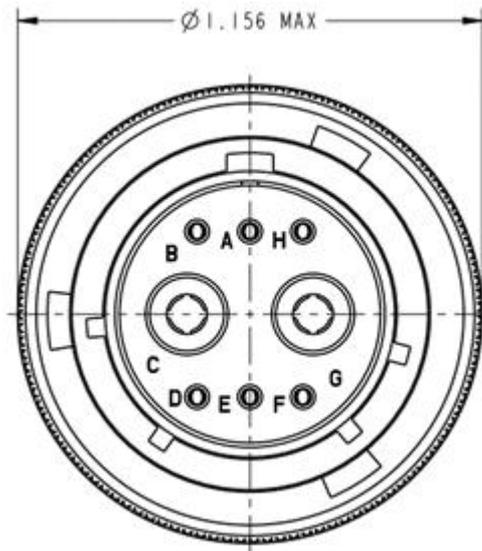
搬运时注意保护底面磁铁；

连接器损坏会导致防水失效或电气故障。

2.3.3 连接线缆

2.3.3.1 ODC 航插线缆

PU 与 OH 之间供电及通信由一根混合线缆完成，即为 ODC 航插线缆，线长 15m，线缆外径约 14mm，两端为圆形连接器，连接器直径为 23mm，分别连接 PU 的 ODC 接口及 OH 的航插接口。ODC 接口定义如图 12 所示：



分组	定义	ODC 连接器标号
高速数据组	XFMR_RX+	A
	XFMR_RX-	B
	XFMR_TX+	D
	XFMR_TX-	E
供电组	OH24V+	C
	OH24V-	G
通讯组	RS485-A	F
	RS485-B	H

图 12 ODC 接口定义图

- 安装航插线时，请确保航插头完整插入至 OH 或 PU 上的航插座，并执行旋转缩紧。

2.3.3.2 对外通信线缆及连接器组合

若产品是使用 Profibus-DP 通信或 Modbus_RTU 通信，线缆及连接器组合如表 6 所示。

表 6 Profibus 线缆及连接器组合

名称	描述	图片
Profibus 线缆连接器	用于连接 PU 和 Profibus 线缆的专用线缆连接器。连接器上有 IN 和 OUT 的标识，并使用箭头表示。连接器侧面有一个红色的拨码开关，用于选择设备是否接终端电阻。若设备处于 Profibus 链路末端时，将红色拨码开关拨于 ON 位置，确保总线终端电阻为 120Ω；若设备处于 Profibus 链路中间，将红色拨码开关拨于 OFF 位置。	

Profibus 线缆	符合标准的 Profibus 线缆，长度 15 米，两端均为自由端。两根线缆不区分。Profibus 线缆外径约 8.6mm。	
-------------	---	---

若产品是使用 CANopen 通信，CANopen 线缆及连接器组合如表 7 所示。

表 7 CANopen 线缆及连接器组合

名称	描述	图片
CANopen 线缆连接器	用于连接 PU 和 CANopen 线缆的专用线缆连接器。连接器上有 IN 和 OUT 的标识，并使用箭头表示。连接器侧面有一个拨码开关，用于选择设备是否接终端电阻。若设备处于 CANopen 链路末端时，将拨码开关拨于 ON 位置，确保总线终端电阻为 120Ω；若设备处于 CANopen 链路中间，将拨码开关拨于 OFF 位置。	
CANopen 线缆	符合标准的 CANopen 总线线缆，长度 18 米或 12 米（根据客户的需求），线缆两端分别用冷压端子进行压接。	

2.3.3.2 端子电源线

端子电源线用于主交流电供电输入，长度 10 米，线缆外径 8.3mm。



2.3.4 配件

- 过线橡胶

过线橡胶用于使连接线缆穿过机舱顶。具体结构和尺寸如图 13 所示。

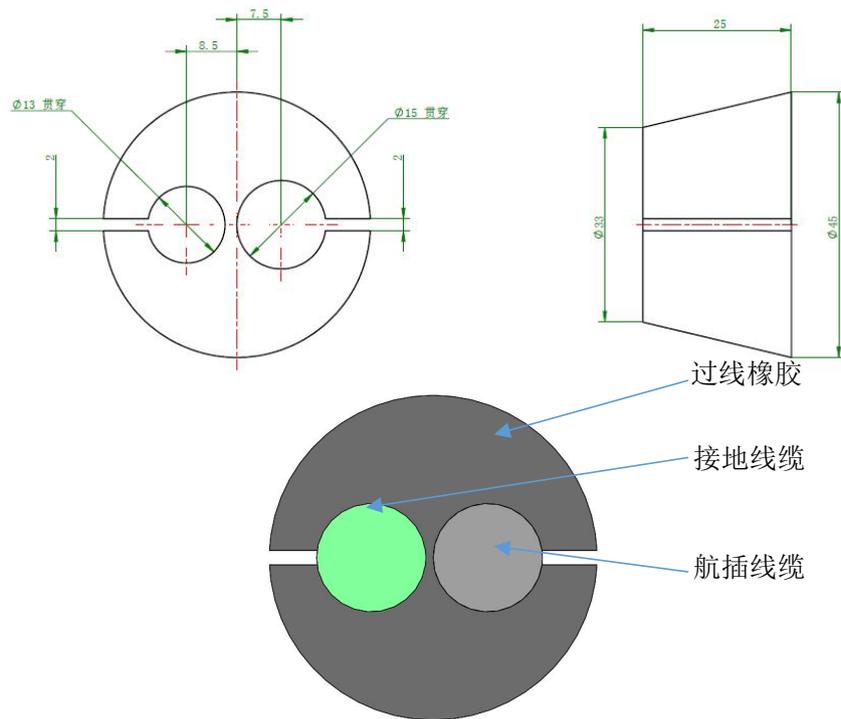


图 13 过线橡胶结构尺寸和穿线图

- 尺寸细节

- (1) 开孔尺寸范围 (mm): $\phi 35-\phi 40$
- (2) 为了方便安装过线橡胶, 请留出 $\phi 150\text{mm}$ 的自由区域

- 安装所需工具

- (1) 电钻和开孔器 ($\phi 35-\phi 40\text{mm}$ 均可)

- 安装步骤

- (1) 在机舱顶合适的位置开孔, 要求开孔处最好靠近 OH 航插座正下方区域, 且与舱内结构没有干涉。开孔尺寸 $\phi 35-\phi 40\text{mm}$ 均可;
- (2) 如图 14 所示, 将数据线缆和接地线缆分别依次穿过过线橡胶、风机舱顶;
- (3) 如图 14 所示, 使用过线橡胶塞紧风机舱顶的过线开孔;
- (4) 灌胶密封, 完全覆盖过线橡胶和过线孔。

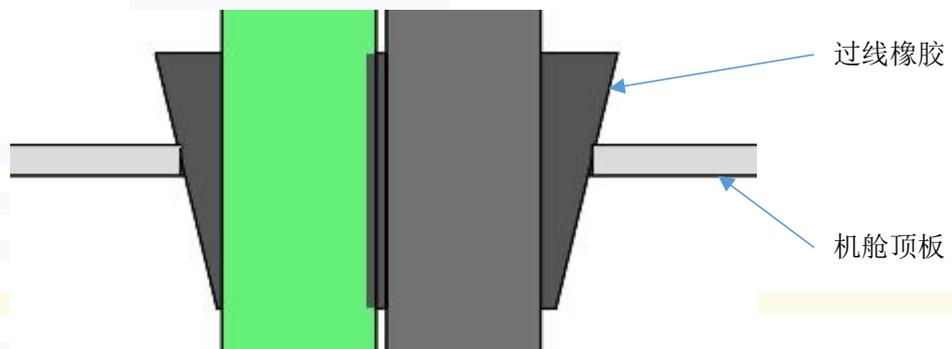


图 14 过线橡胶安装图

2.4 装箱清单

机舱式测风激光雷达 MOLAS NL 装箱清单如表 8 所示。（若有差异以实际装箱单为准）

表 8 机舱式测风激光雷达 MOLAS NL 装箱清单（PROFIBUS 接口/MODBUS-RTU 接口）

序号	名称	规格	数量	类别
1	激光雷达光学头（Optical Unit）	Molas NL6	1	产品
2	激光雷达数存单元（Data Unit）	Molas NL6	1	产品
3	ODC 航插线缆	15m	1	产品附件
4	端子电源线	10m	1	产品附件
5	Profibus 线缆插头组件	15	1	产品附件
6	激光雷达网络通讯线	10m	1	产品附件
7	接地线（编织 PU）	2m	1	产品附件
8	接地线（黄绿 OH）	3m	1	产品附件
9	螺母	M10	13	产品附件
10	外六角螺钉	M10×45	7	产品附件
11	平垫圈	M10	13	产品附件
12	过线橡胶	——	1	产品附件
13	防坠绳(选装)	1.5m	1	产品附件
14	弓形卸扣(选装)	美标 G2130 5/16	2	产品附件
15	Molas NL 整机测试证书	——	1	产品附件
16	机舱雷达简易安装调试说明书	——	1	产品附件
17	调试电源线（选装）	1.5m	1	产品附件
18	合格证-中英双语	——	1	产品附件

表 8 机舱式测风激光雷达 MOLAS NL 装箱清单（CANopen 接口）

序号	名称	规格	数量	类别
1	激光雷达光学头（Optical Unit）	Molas NL6	1	产品
2	激光雷达数存单元（Data Unit）	Molas NL6	1	产品
3	ODC 航插线缆	15m	1	产品附件
4	端子电源线	10m	1	产品附件
5	CANopen 线缆插头组件	CANopen 线缆连接器 300 972-CA02	1	产品附件
6	CANopen 线缆	12m 或 18 米（根据客户的需求）	2	产品附件
7	激光雷达网络通讯线	10m	1	产品附件

8	接地线（编织 PU）	2m	1	产品附件
9	接地线（黄绿 OH）	3m	1	产品附件
10	螺母	M10	13	产品附件
11	外六角螺钉	M10×45	7	产品附件
12	平垫圈	M10	13	产品附件
13	过线橡胶	——	1	产品附件
14	防坠绳(选装)	1.5m	1	产品附件
15	弓形卸扣(选装)	美标 G2130 5/16	2	产品附件
16	Molas NL 整机测试证书	——	1	产品附件
17	机舱雷达简易安装调试说明书	——	1	产品附件
18	调试电源线（选装）	1.5m	1	产品附件
19	合格证-中英双语	——	1	产品附件

表 8 机舱式测风激光雷达 MOLAS NL 装箱清单（MODBUS TCP 接口）

序号	名称	规格	数量	类别
1	激光雷达光学头（Optical Unit）	Molas NL6	1	产品
2	激光雷达数存单元（Data Unit）	Molas NL6	1	产品
3	ODC 航插线缆	15m	1	产品附件
4	端子电源线	10m	1	产品附件
5	激光雷达网络通讯线	10m	1	产品附件
6	接地线（编织 PU）	2m	1	产品附件
7	接地线（黄绿 OH）	3m	1	产品附件
8	螺母	M10	13	产品附件
9	外六角螺钉	M10×45	7	产品附件
10	平垫圈	M10	13	产品附件
11	过线橡胶	——	1	产品附件
12	防坠绳(选装)	1.5m	1	产品附件
13	弓形卸扣(选装)	美标 G2130 5/16	2	产品附件
14	Molas NL 整机测试证书	——	1	产品附件

15	机舱雷达简易安装调试说明书	—	1	产品附件
16	调试电源线（选装）	1.5m	1	产品附件
17	合格证-中英双语	—	1	产品附件

2.5 包装及存储运输

为避免在运输途中由于碰撞及振动导致设备损坏并起到运输承载的作用，Molas NL 采用定制包装箱进行包装后发送给用户。用户在取出雷达后应妥善保管包装箱，以备雷达后续运输及搬运时使用。

2.5.1 包装箱简介

航空箱的尺寸为：750mm*595mm*400mm（合盖后高度），结构和尺寸如图 15 所示，重量（包含雷达系统）约 37kg。

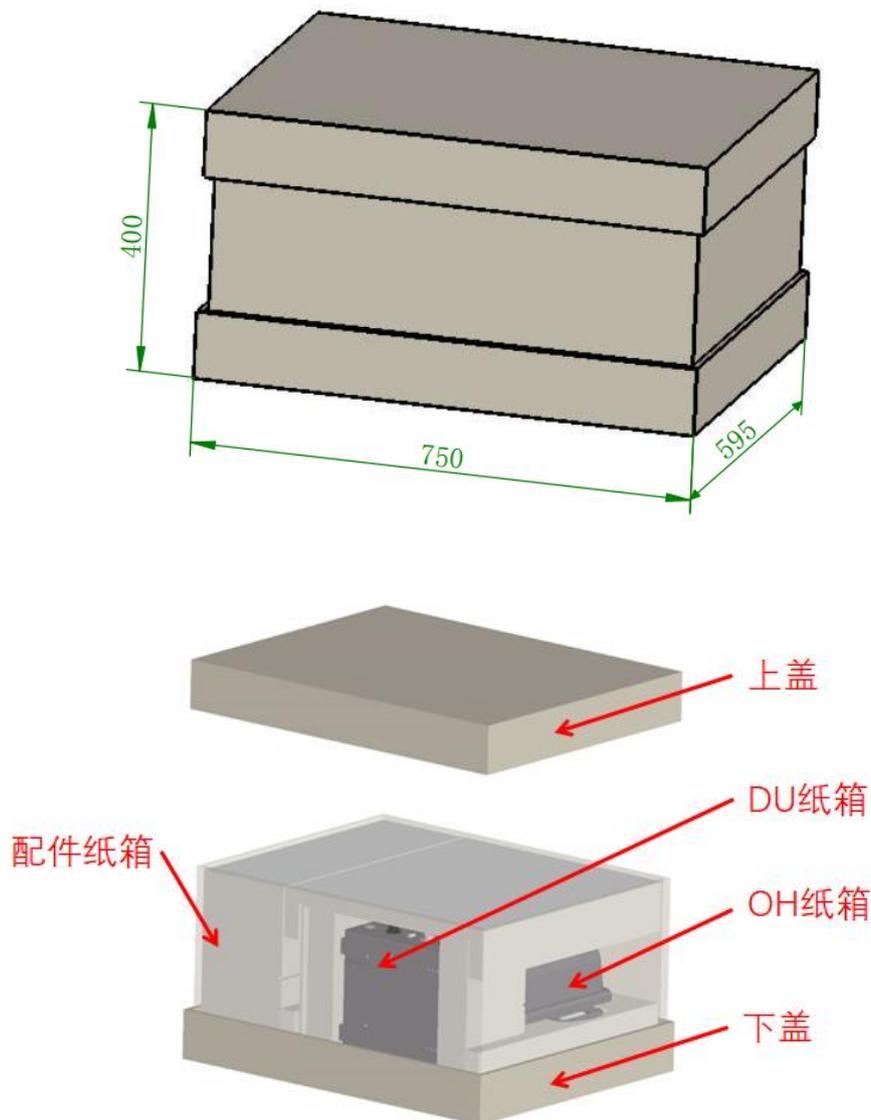


图 15 航空箱的结构和尺寸图

2.5.2 存储及运输

雷达系统是精密器件，运输时请务必使用定制包装箱。雷达系统未使用时请存放在包装箱中，放置在干燥的房间内，储存温度为-45°C到+65°C。包装箱只能存放雷达系统，请不要用于存放其他物品，且同样需要放置在干燥清洁的地方。

2.5.3 开箱及检查

在开箱之前，请遵循以下建议：

- 在开箱时，对照装箱单清点所有零件；
- 打开系统各部分的包装并仔细检查。如果主要部件中有任何可见的损坏，则可能是运输途中发生的。在这种情况下，请立即通知制造商和运输商。保留所有装箱单和运输信息，必要时可以向承运人索赔。

3 WEB 客户端程序安装操作介绍

3.1 软件使用

(1)将“MolasNL_Client.exe”拷贝到电脑中（安装或者调试雷达时需要使用该电脑），双击文件打开，如图 16 所示。



图 16 MOLAS NL Web 雷达嗅探软件界面

(2) 安装嗅探软件的电脑与雷达通过网线连接，且须与雷达处于同一 IP 网段。雷达出厂首次使用时，雷达默认 IP 为 192.168.11.2，故需要设置 PC 端网络 IP 为同一网段，操作说明如下：

进入“控制面板\网络和 Internet\网络连接”，右键本机网口对应网卡的“属性”项，点击“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”的“属性”按键，同一网段地址 192.168.11.xxx（图片以“192.168.11.100”为例），子网掩码设置为“255.255.255.0”，详见图 17。

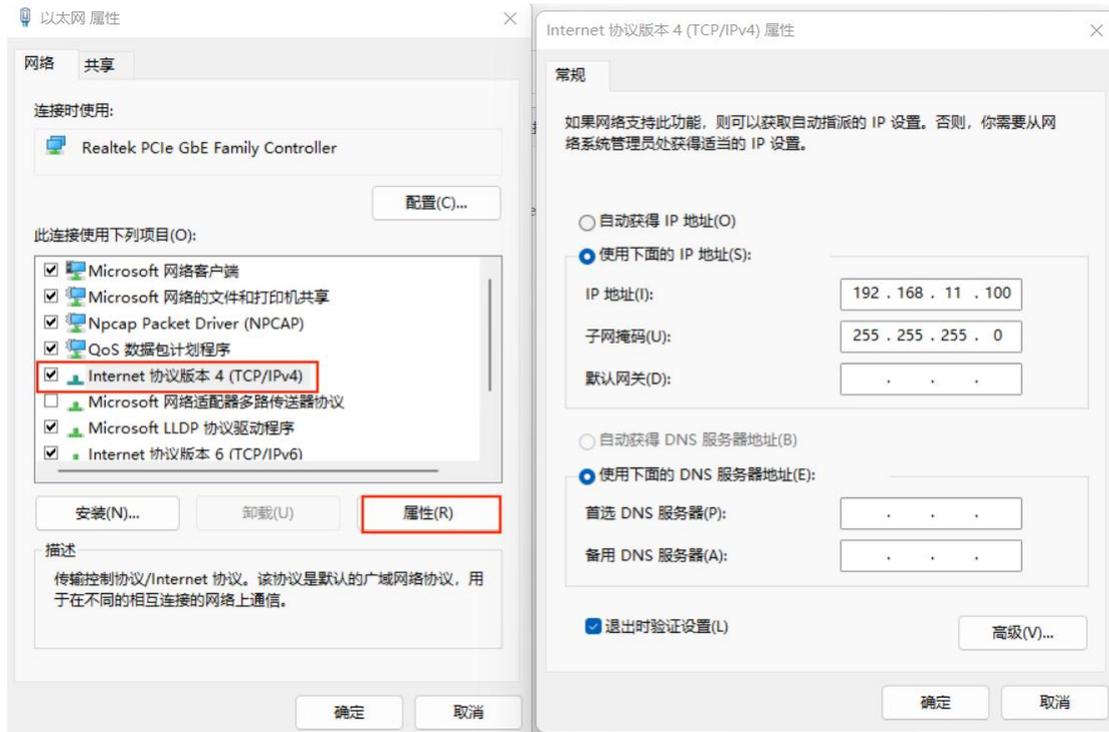


图 17 设置 PC 端网络图

注：如雷达已进行过网络配置，则需要将电脑与雷达设置成同一网段。如遗忘雷达网络配置，把本机 IP 地址改为“100.100.100.110”，子网掩码改为“255.255.255.0”，连接客户端重置网络配置即可。

（3）安装嗅探软件的电脑需要先安装网页浏览器，一般建议使用谷歌浏览器，其安装版本不低于 111.0.5563.64：



图 18 谷歌浏览器版本号

3.2 软件介绍及使用

3.2.1 雷达连接

将安装有嗅探软件并设置好网络配置的电脑与运行的雷达通过网线连接，使雷达与电脑处于同一局域网内，双击打开嗅探软件如下图 19 所示。

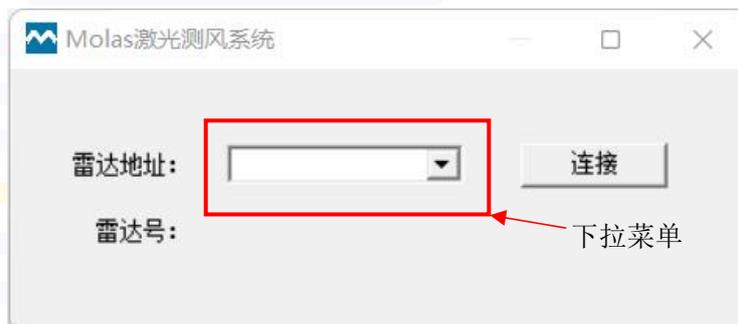


图 19 MOLAS NL 雷达嗅探软件查找雷达界面

(1)单击下拉菜单的下拉箭头，若下拉菜单列表中有雷达显示，则说明有雷达已经就绪，可以进行连接。选择需要连接的雷达，点击连接按钮，即可在浏览器上弹出 Web 客户端。

(2)雷达连接后，可以在四个页面中查看雷达运行状态和风速反演情况，分别为“雷达信息”、“风速信息”、“雷达数据”、“功率谱”，如下图 20 所示



图 20 雷达运行状态和风速反演情况

3.2.2 “雷达信息”页面

“雷达信息”页面如下图所示，分为三个部分：风速图、雷达信息、雷达组件状态。通过软件中上方的“WindSpeed Chart”一栏进行勾选，便可看到所选的风速信息。其中，HWS Series 是指轮毂高度处风速，HWSHigh Series 是指上光束水平风速，HWSLow Series 是指下光束水平风速，RAW Series 是指雷达轴向投影风速，通过信息展示区，可以查看所选风速信息的实时风速和十分钟平均风速，如图 21 所示。



图 21 MOLAS NL Web 客户端显示内容图

雷达信息包括：当前连接雷达型号、雷达 Web 端版本号、编号、对时方式、雷达时间、磁盘剩余空间、清理磁盘按钮，其中清理磁盘按钮可以用来清理历史数据、释放磁盘空间。

通讯状态指示灯可以查看雷达各模块间通讯连接是否正常，指示灯为绿色表示通讯正常，红色表示通讯故障，需要检查连接线缆。

3.2.3 “风速信息”页面

“风速信息”页面如图 22 所示，由两部分内容组成：径向风速图、风向图。通过勾选相关信息，可以在图表中查看相应的折线图。

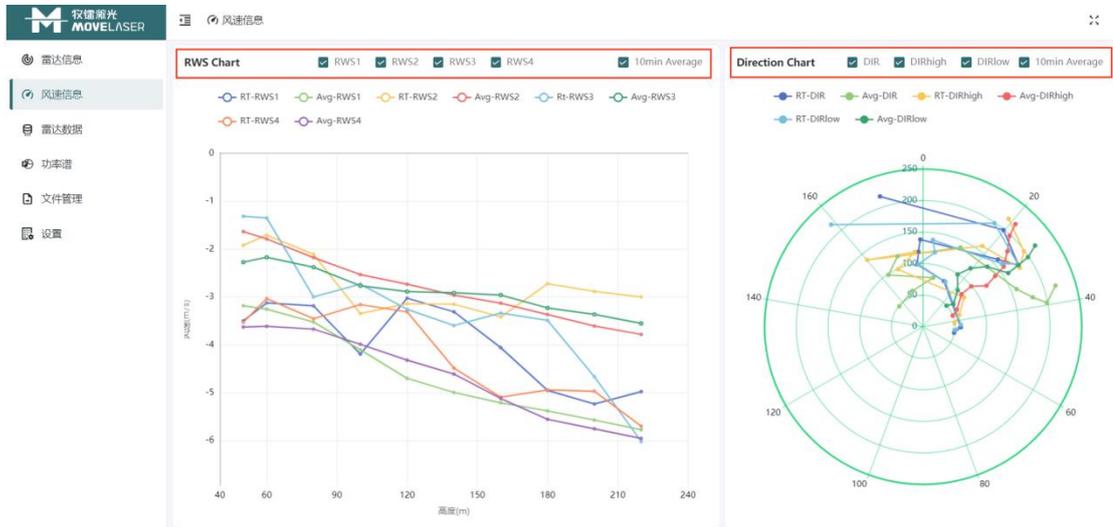


图 22 MOLAS NL Web 客户端风速信息界面

3.2.3 “雷达数据”页面

“雷达数据”页面如图 03 所示，由两部分内容组成：载噪比（CNR）、时域信号。

第一幅图显示了回光载噪比随距离的变化曲线，CNR1-CNR4 分别代表了四个视线上的载噪比，可以用来直观判断雷达数据是否有效。

第二幅图显示了雷达回光的时域信号，图中给出了一个典型的时域信号形式，可以用来对比判断雷达是否工作正常。

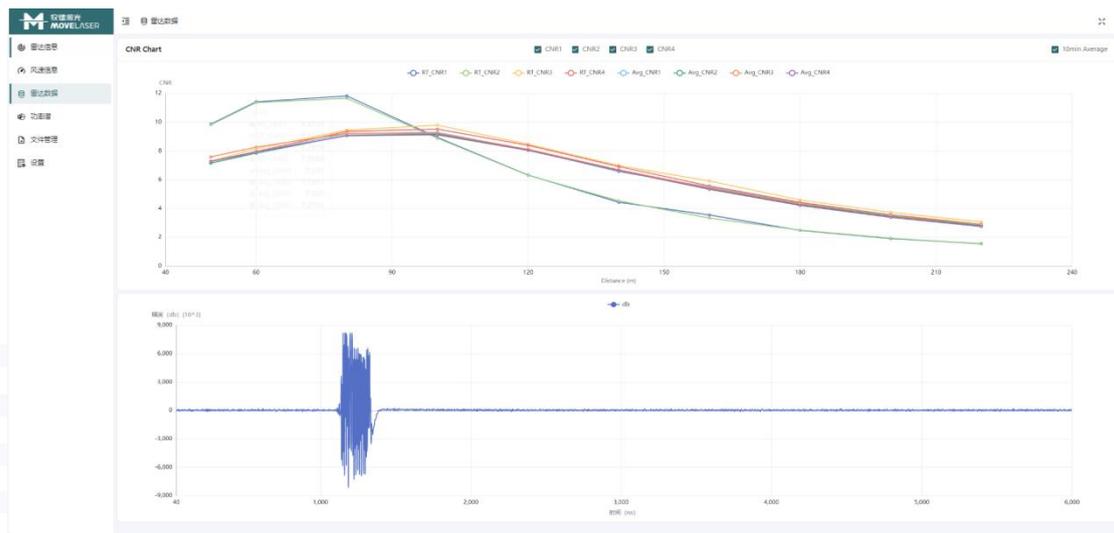


图 23 MOLAS NL Web 客户端雷达数据界面

3.2.4 “功率谱”页面

“功率谱”界面如下图 24 两图所示，四个折线图分别为四个视向的功率谱曲线，可判断四个视向光束的情况。出现类似于图 24-1 的情况，说明 2 号出光可能存在镜头遮挡的情况，

需要排除遮挡物使图 24-2 出现才能正常使用



图 24-1 MOLAS NL Web 客户端功率谱异常界面

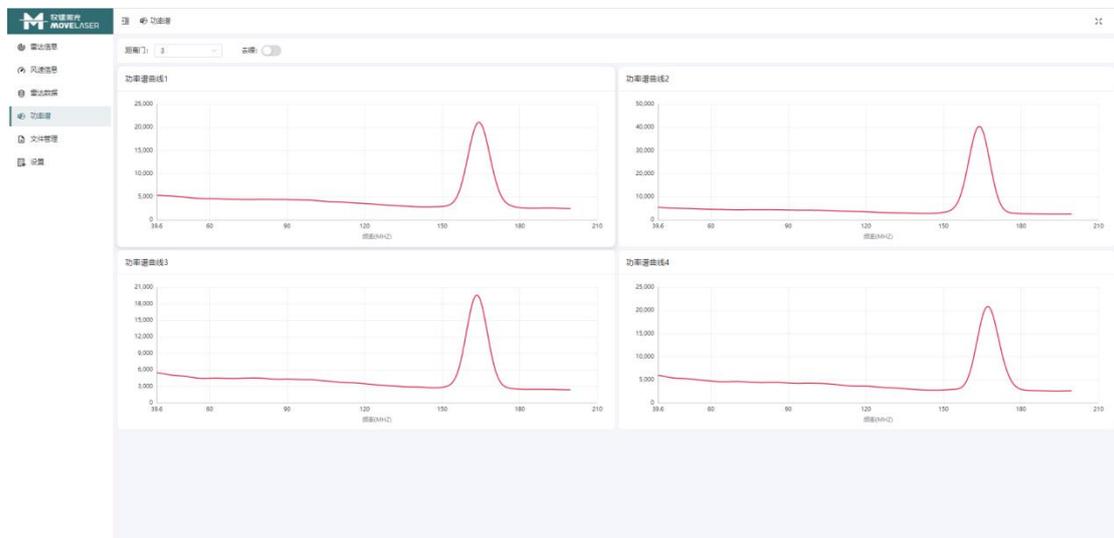


图 24-2 MOLAS NL Web 客户端功率谱正常界面

3.2.5“文件管理”页面

在软件的“文件管理”页面进行操作，如下图 25 所示，具体操作步骤为：

(1) 在“数据检索”设置需要下载的时间段选择开始时间、结束时间，单选需要下载的数据类型（可选类型包括“十分钟风速数据”及“实时风速数据”）、不选择则显示两种类型，点击“查询”按钮。

(2) 上一步操作后，会显示查询到的风速数据，可以自由选择需要的数据，或者勾选复选框进行多选。文件列表除显示文件名称、大小外，还会根据开机后系统存储的数据文件的完整性展示一个数据完整率，表示当天可用数据占已存储数据的比例，方便用户参考。

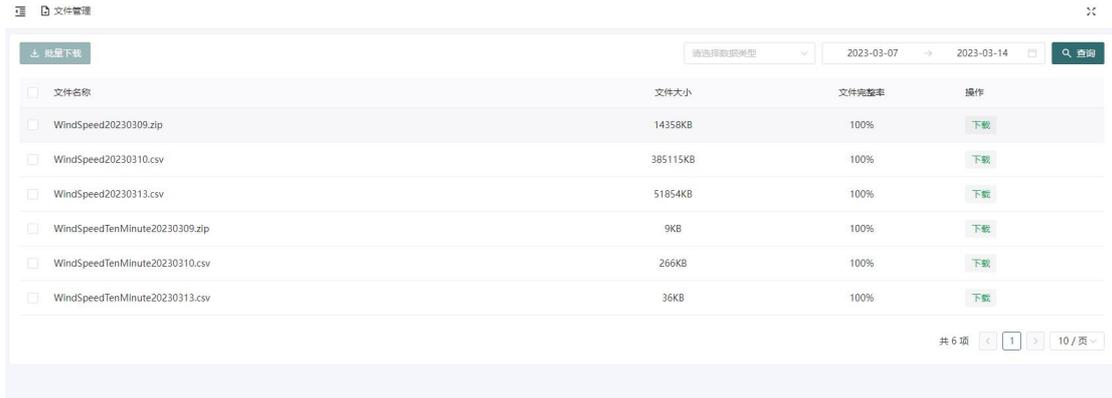


图 25 MOLAS NL Web 客户端数据下载界面

3.2.6 “设置”页面

参数设置在软件的“设置”页面，如下图 26 所示，由四部分构成：雷达参数配置、网络配置、NTP/FTP 参数配置、会话。

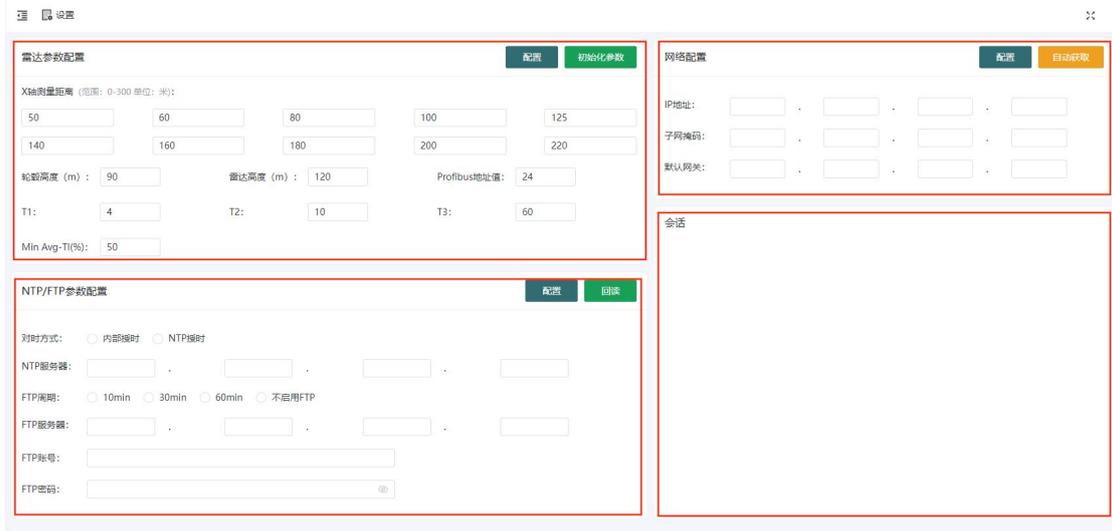


图 26 MOLAS NL Web 客户端参数设置界面

- 测量参数设置区域主要对以下参数进行设置：
 - **X 轴测量距离**：雷达沿 X 轴的测量距离。
 - **轮毂高度、雷达高度**：风机的轮毂距地面高度和雷达距地面高度。
 - **Profibus 地址值**：雷达站点号
 - **T1、T2、T3、Min Avg-TI**：风速、风向、湍强的平均时间及状态判断阈值百分比。
 - **对时设置**：NTP 对时，对时需要输入 NTP 服务器地址。
 - **FTP 设置**：可以进行雷达数据的 FTP 文件上传，需设定 FTP 服务器地址、用户名和密码，上传周期可选项为 10 分钟、30 分钟或 60 分钟，数据格式后缀为“.csv”。数据命名格式为“RT-MolasNL-NNNN-Cycle-YYYYMMDD-hhmmss”，其中“NNNN”为雷达编号，“Cycle”为发送周期，“YYYYMMDD”和“hhmmss”为生成时间。例：若 1002 号机舱雷达在 2017 年 12 月 25 日 01 时 10 分 00 秒生成的周期为 10 分钟的数据，其数据名为“RT-MolasNL-1002-10min-20171225-011000.csv”。

当参数配置完毕后，点击“配置”按钮，当右侧信息提示“参数配置成功”时，表示参数已下发成功；或者直接点击“初始化参数”按钮，将载入默认参数，根据需求修改后，再重复以上操作。

网络设置用于设置机舱雷达的 IP 地址、子网掩码和网关，用来适配风场的局域网系统。输入想要设置的 IP 地址、子网掩码和默认网关后，点击“配置”按钮。若提示“IP 已设置成功，请修改本机网络配置，并关闭软件重新连接，谢谢。”说明雷达网络参数配成功，若要继续连接雷达，需要修改客户端电脑的网络配置，与雷达在同一网段即可。

4 雷达安装

本章节主要介绍 Molas NL 系统在风机上的安装步骤，在安装之前请务必按第 3 章内容在地面进行测试，以确保雷达可以正常运行。

在安装前请仔细阅读第一章的所有安全内容。

4.1 安装要求

4.1.1 人员要求

- Molas NL 在风机上的所有安装操作必须由至少两名受过培训的人员进行；
- 操作人员应具备风场规定要求的证书（如高空作业证）；
- 天气条件允许且符合风电场规定的情况下方可登高作业，使用人员需提前关注并获悉天气情况。
- 如出现天气情况的急剧变化，导致不能安全作业，移动舱外设备至舱内或者检查并紧固已安装部分，停止作业，在此期间人员安全应放在第一位；
- 安装人员严格遵守风电场相关安全规定；
- Molas NL 在安装过程中全程确保防坠措施到位，安装结束后使用专业工具检查并确保连接部分牢固；
- 攀爬风机必须穿戴好安全鞋、全身式安全带、与防坠系统配套的滑块、双钩安全绳、防滑手套、安全帽等；
- 攀爬风机过程中必须确保 100%防坠落；
- 出机舱作业应按要求穿戴好全身式安全带、圆绳双钩安全绳、安全帽、安全鞋；

4.1.2 安装工具

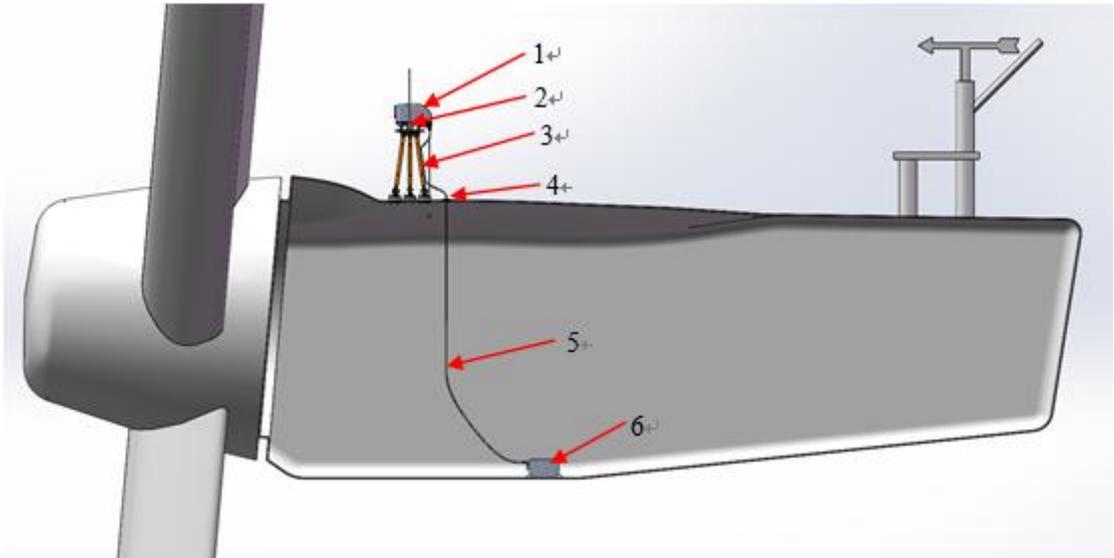
为保证 Molas NL 正确安装，应准备以下工具：

- 内六角套件（1.5-6mm）一套-用于锁紧螺钉。
- 活口扳手 10”、12”各一把-用于调节地脚高度。
- 1/2”扭矩扳手 20-100N.m 一把
- 1/2”（10-24mm）系列套筒一套
- 双头呆扳手套装（6x7-21x23mm）一套
- 水平尺一个
- 户外防水耐候记号笔（黑色）一根
- 手电钻一把
- 开孔器（ $\phi 35-\phi 40$ 均可）一个，根据不同机舱材料选择
- 胶枪
- 耐候性户外密封胶（推荐 Sikaflex 521UV）

- 一次性擦镜纸
- 螺纹胶（推荐 Loctite 263）
- 耐候性户外扎带（推荐 PanPUit PTL1.5I PanPUit PTL6H）
- 3M VHB 强力双面胶带（PU 粘贴使用）
- 3M 防护面罩

4.2 准备工作

4.2.1 安装支架及位置设计

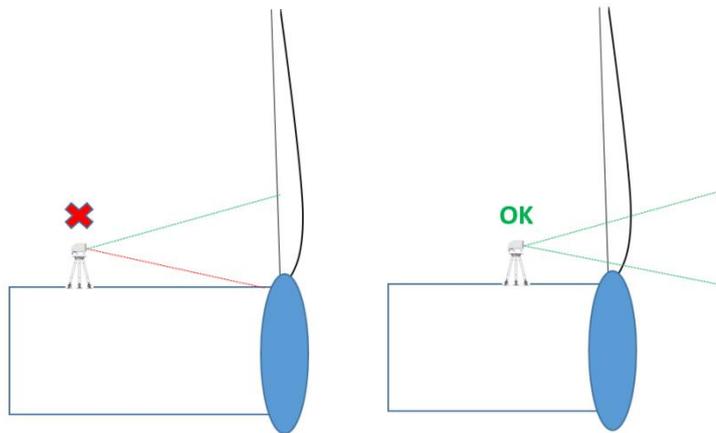


1、光学头（OH） 2、避雷针 3、云台 4、过线橡胶 5、航插线缆 6、数存单元（PU）

图 27 雷达安装完成状态示意图

机舱雷达在风机上安装前，需要根据机组型号及尺寸设计 Molas NL 在风机上的安装支架及安装位置，图 27 为安装示例，仅供参考。在设计支架及安装位置时应考虑以下因素：

- OH 不能直接安装于机舱罩上，OH 与机舱罩之间需要支架作为加高结构，三脚云台属于支架的一种常用形式。
- OH 发射激光光束必须避免被机舱罩等固定物体遮挡，如下图所示：



- 支架不宜太低，越低光束被风机叶片遮挡的时间占比越高，相应测得数据有效率会降低。同时支架也不宜太高，须考虑 OH 的可安装性以及结构的稳定性。

- OH 及支架安装完成后须足够稳定牢固，设计人员应考虑在生存风速下（70m/s）雷达、支架及机舱罩的受力情况。
- 支架应设有避雷针并引入风机的避雷系统。
- 支架与机舱罩之间的固定须有足够大的接触面积，避免应力集中导致机舱罩损坏。
- 支架应支持 OH 调整指向，保证 OH 安装后指向与风机主轴平行
- 支架在机舱顶部的安装位置尽可能平整（OH 小角度倾斜可以通过支架以及 OH 地脚调整）。
- 雷达及其支架在风机上的安装位置应避免或降低对其他测量传感装置的影响。
- PU 在机舱内部的位置及固定方式需提前考虑，应选择平坦、振动较小、周围设备较少、尽量远离任何可能产生电磁干扰的高压设备的地方。
- OH 与 PU 安装位置应考虑 ODC 线缆的走线及长度（线缆应当避开高压电源）。
- OH 与 PU 都需要接地并且配有接地接口，需要确定接地线另一端位置以及接地线长度（接地线使用 M6 螺钉固定）。
- PU 安装位置须考虑电气安装（电气安装接口见 2.3.2 章节，接口定义见 2.3.3 章节）。
- 设计完成后统计出物料清单（以下统称“支架物料”），并在安装前准备齐全。

4.2.2 雷达开机检验

- 在地面上确认客户端软件安装就绪，确认设备工作是否正常；
- 确认设备和工具清单；
- 确认窗口镜清洁，如果窗口变脏或有油污，请使用工业酒精和擦镜纸清洁窗口。

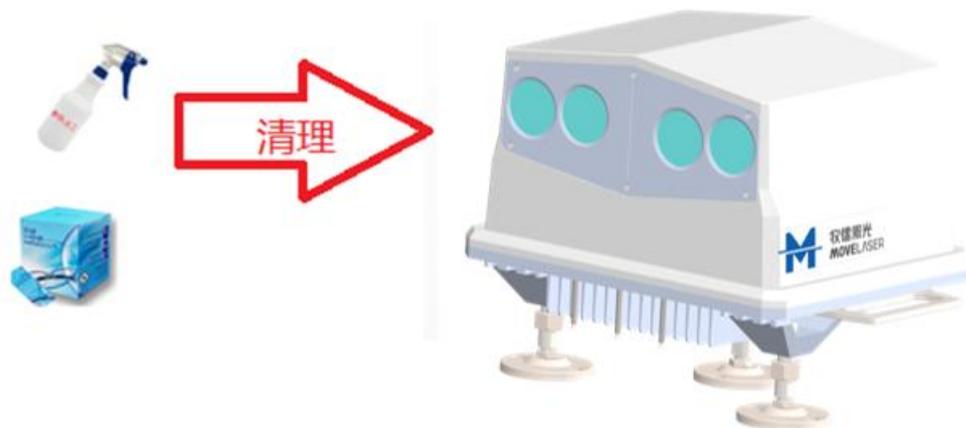


图 28 使用正确的方法清洁 OH 窗口

4.2.3 物料检查

➤ 标准附件（此处以 Profibus 通信版 NL 物料为例，具体以雷达装箱清单为准）

- (1) 光学头（OH）*1
- (2) 数存单元（PU）*1
- (3) 航插线缆*1
- (4) 端子电源线*1
- (5) Profibus 线缆插头组件*1
- (6) Profibus 线缆 *2

- (7) 网络通讯线*1
 - (8) 接地线（编织 PU）*1
 - (9) 接地线（黄绿 OH）*1
 - (10) 六角头螺栓 M10X20（含 1 备件）*7
 - (11) 平垫圈 10（含 1 备件）*13
 - (12) 过线橡胶*1
 - (13) 防坠绳*1
 - (14) 弓形卸扣*2
- 其他附件
- (1) 支架物料
 - (2) 避雷针和配套接地线（见附件 1 避雷针）*1
 - (3) 吊装袋 *1
 - (4) 吊装保护套 *1
 - (5) 定标工装（建议每个风场调试电源线*1 配 2 个）*1
 - (6) 调试电源线*1

4.3 雷达安装

4.3.1 设备吊装

设备在吊装时，可能与塔筒和窗口发生碰撞，为确保所有部件都能够预防冲击或撞击，推荐使用吊装保护袋和保护套。先将保护套装入吊装袋，如图 29 所示，然后将雷达窗口对



着吊装袋放入。雷达放入前注意清理保护套内异物、轻拿轻放，避免损坏雷达外表面和镜片。

图 29 保护套装入吊装带及吊装示意图

4.3.2 支架安装

将支架（云台）按照设计方案安装于机舱上方，如无支架安装方案，支架的安装位置也应保证雷达光束不被物体遮挡（叶片旋转导致的间歇性遮挡除外），如下图 30 所示。

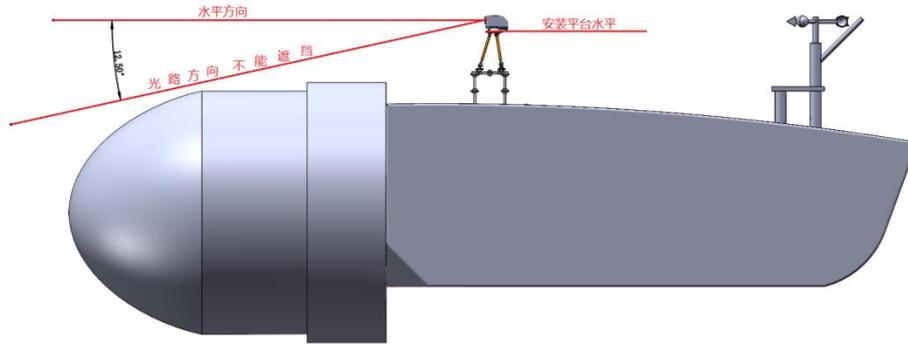


图 30 光路示意图

开始安装雷达前，要确认安装平台已经符合要求。如果是云台和支架的组合，请确认已如下图 31 所示安装，且已经调平，调平可使用水平尺进行检测，如图 32 所示。

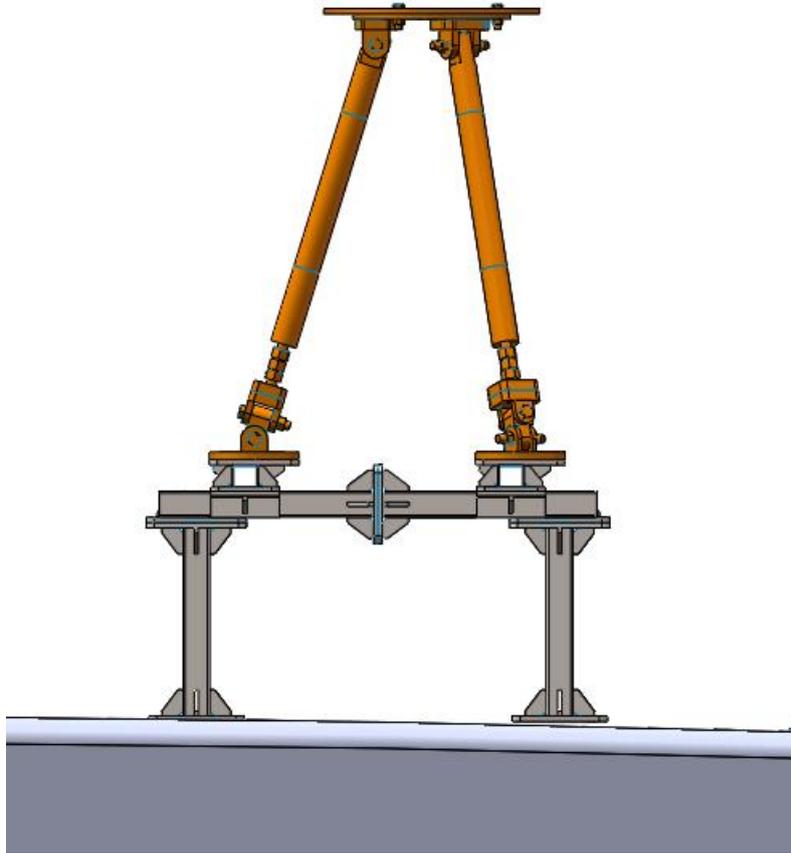


图 31 支架安装示意图

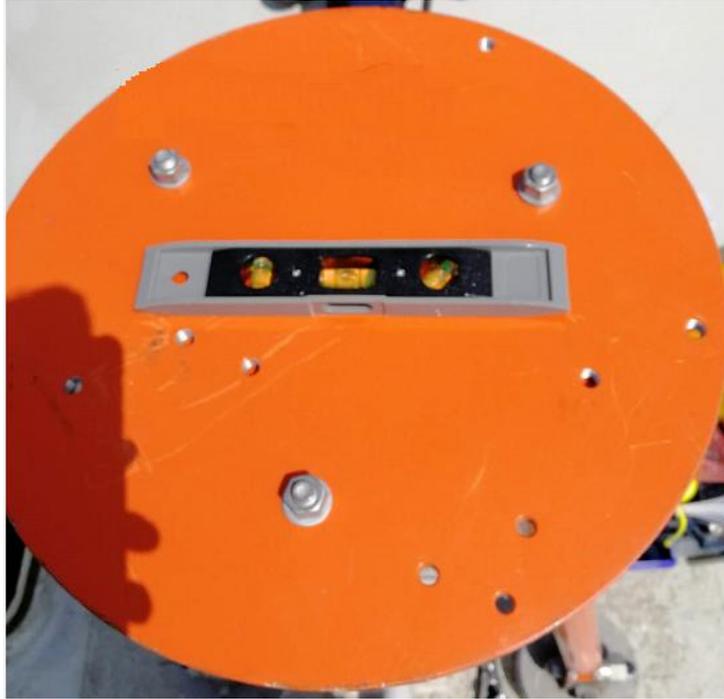


图 32 确认雷达安装面水平

4.3.3 PU 安装

PU 安装需要用到的部件有 PU*1、调试电源线*1、Profibus 线缆插头组件*1、Profibus 线缆*2、网络通讯线*1、编织接地线*1（参考 4.2.3 标准附件）。（此处以 Profibus 通信版 NL 物料为例，具体以雷达装箱清单为准）。

PU 按照设计方案安放在风机机舱内，如无安装方案，建议使用 PU 下方的包胶磁铁或者背面的安装螺纹（M5）固定在风机机舱内，安装位置要求参见 4.2.1。接好除 ODC 航插线外的其他接插件（详见附件 C）和接地线，如图 33、34 所示。



图 33 PU 接地线安装方式

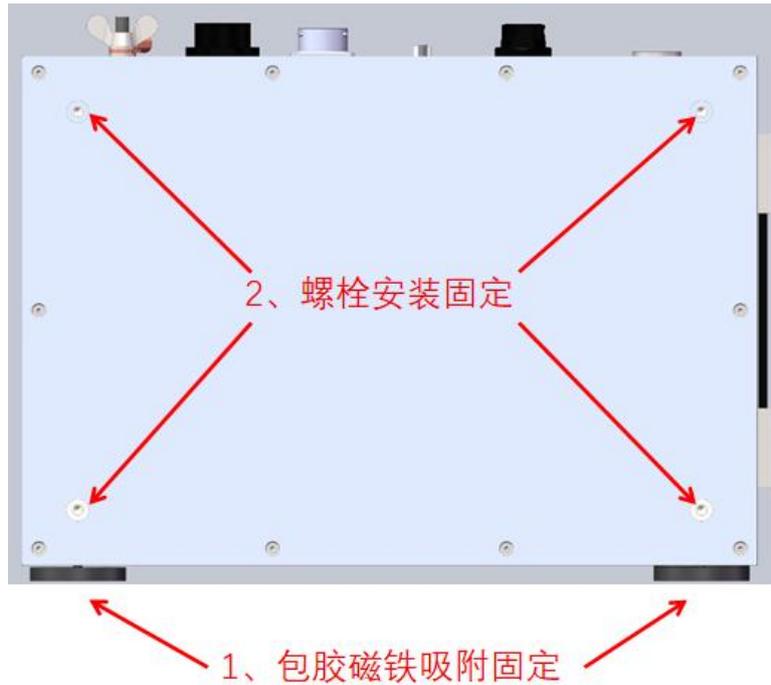


图 34 正确固定 PU

4.3.4 OH 安装

➤ OH 安装与固定

OH 安装需要用到的附件有 OH*1、M10X20 六角头螺栓*6、10 平垫圈*12、黄绿接地线*1、弓形卸扣*2、防坠绳*1、航插线缆*1、过线法兰*2、法兰堵头*1、M8X35 六角头螺栓*3、8 平垫圈 X6、M8 螺母 X3（参考 4.2.2 标准附件）。需要用到的工具有活口扳手 10”、12”各一把、272 螺纹胶一瓶、扎带若干、指向工装、内六角螺丝刀（M3 内六角螺栓）（参考 4.1.2 工具清单）。

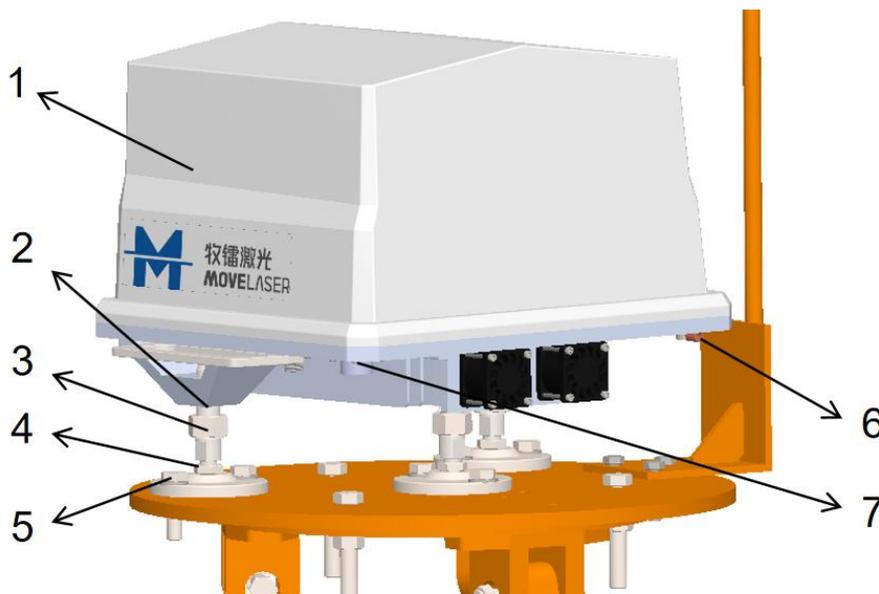


图 35 OH 安装调节示意图

表 9 OH 安装附件

序号	名称	数量
1	OH	1

2	地脚立柱（已安装于 OH）	3
3	GB/T 6170-2000_M16 六角螺母 316 不锈钢（已安装于 OH）	3
4	GB/T 6172.1-2000_M12 法兰锁紧螺母 316 不锈钢（已安装于 OH）	3
5.1	GB/T 5783-2000_M10X20 六角头螺栓全螺纹 316 不锈钢	6
5.2	GB/T 97.1-2002_10 平垫圈 316 不锈钢	12
6	接地线	1
7	ODC 航插线缆	1

如上图所示将 OH 放置于云台上，地脚孔和云台上的 6 个螺纹孔一一对应。用六角头螺栓 M10x20 和平垫圈 10 固定，用 272 螺纹胶防松，注意螺纹的开始 2 个~3 个的螺距处不应涂覆胶液。螺钉的拧紧力矩为 50Nm。螺钉安装次序和点胶位置见图 36。OH 的外形尺寸和安装孔位详见 2.3.1。

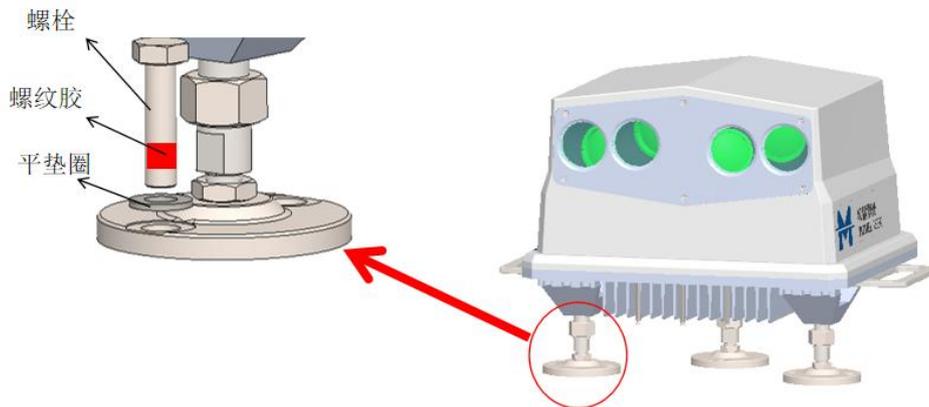


图 36 螺钉安装次序和点胶位置图

➤ 安装接地和数据线缆

将接地线的一端安装在 OH 的接地柱上，另一端与支架接地相连，确保可以锁紧且不易松动，推荐接在云台地脚万向节处的的螺钉上。安装时注意将铜鼻子放置在两个平垫圈中间，从外到内依次为蝶形螺母、平垫圈、铜鼻子、平垫圈、螺母。详见图 37。

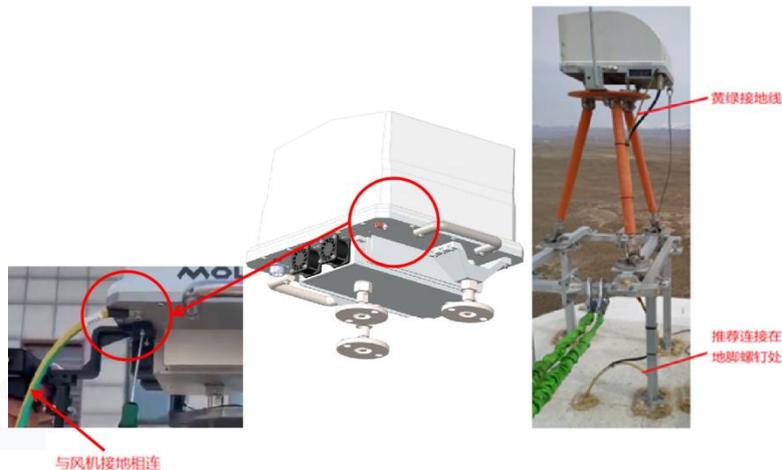


图 37 OH 接地示意图

数据线缆端部的航插头与 OH 尾部的航插座相连，注意航插头要完全拧到航插座底部，直到航插头和航插底座的卡扣卡到一起为止，详见图 38。其中，数据线缆的弯折半径不得小于 150mm，防止损伤线缆。

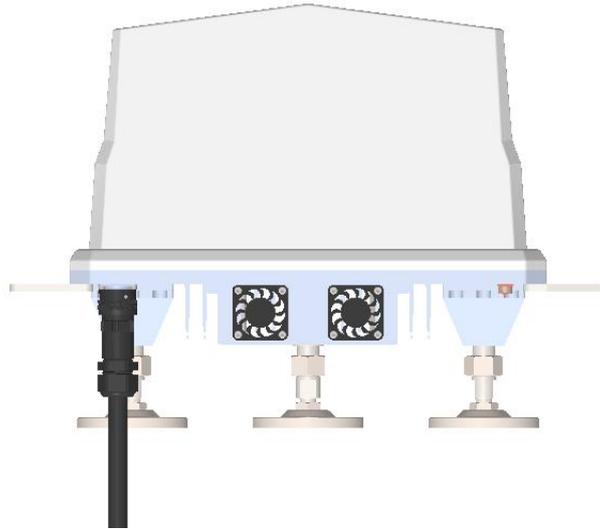


图 38 OH 航插安装示意图

➤ 线缆过线孔施工

在机舱顶合适的位置开孔，要求开孔处最好靠近 OH 航插座正下方区域，且与舱内结构没有干涉。开孔尺寸 $\phi 35$ - $\phi 40$ 均可。

将数据线缆和接地线缆分别依次穿过过线橡胶、风机舱顶，如图 39 所示。使用过线橡胶塞紧风机舱顶的过线开孔，如图 40 所示。将数据线缆另一端的航插头安装在 PU 的航插座上，同样要注意完全拧到底部，确保卡扣扣紧。

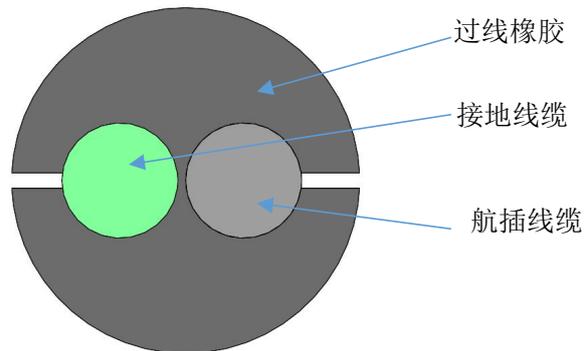


图 39 过线橡胶穿线图

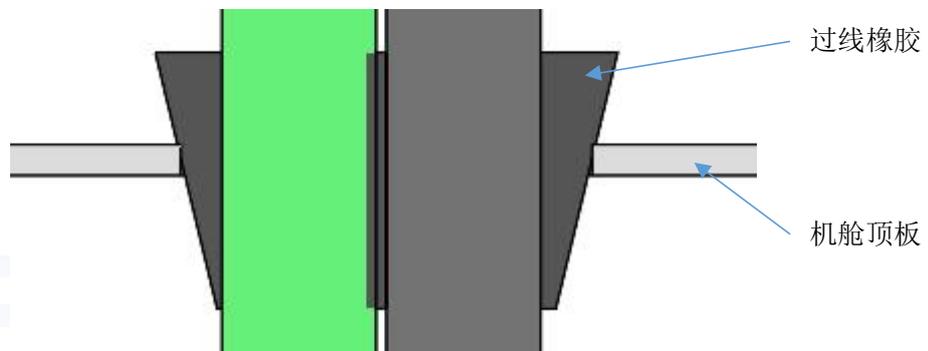


图 40 过线橡胶安装图

序号	名称	数量
1	过线橡胶	1

4.3.5 OH 指向及姿态调节

➤ 指向调整 因为 OH 的指向直接影响风机的偏航校正，所以 OH 的指向要尽量和风机舱主轴平行（偏向角度 $<1^\circ$ ），如图 41 所示。

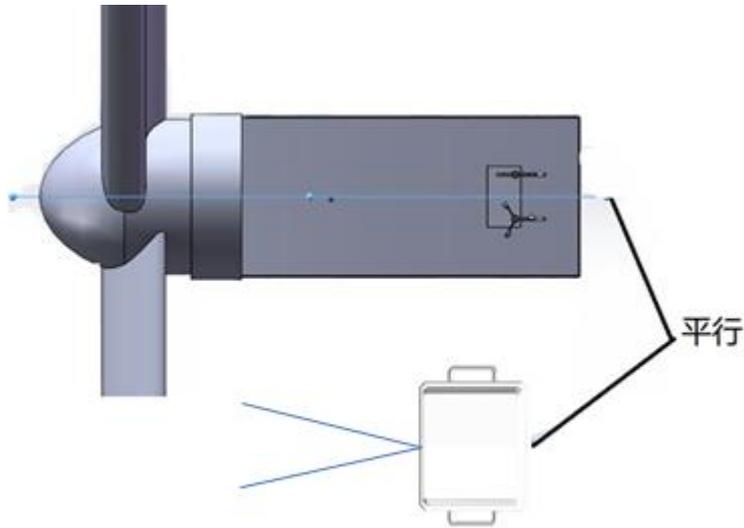


图 41 OH 安装指向示意图

开始指向调整，首先要安装定标工装（见 3.2.1 可选附件）。定标工装通过定位销（已经安装于工装上）与 OH 定位，通过工装自带松不脱螺钉与下腔固连，如图 42 所示。

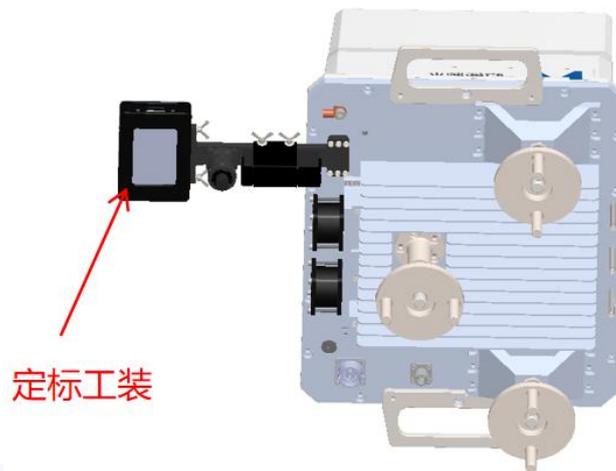


图 42 OH 指向工装示意图

工装安装完成后，打开定标工装电池盒的开关，定标工装会发射一条指示光线，详见图 43。

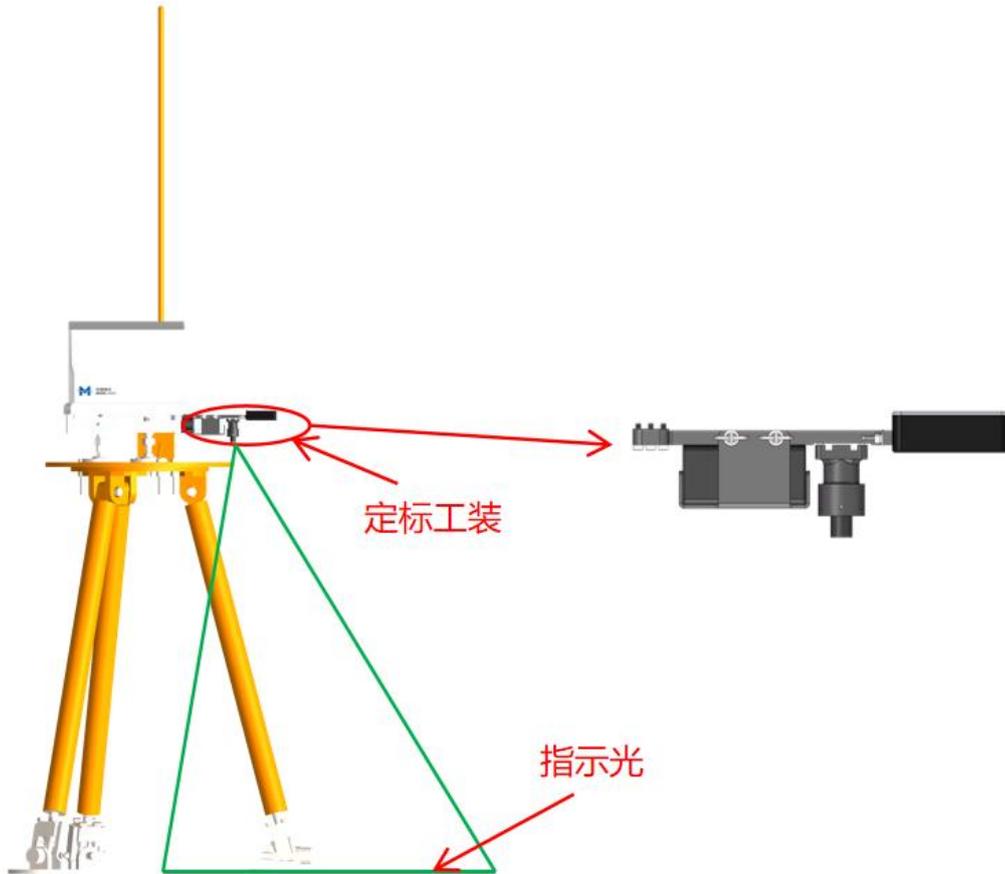


图 43 OH 定标工装工作示意图

然后松开云台上座锁紧装置，旋转云台上座，使指示光线和风机舱主轴平行。调节完成后，拧紧锁紧装置，拧紧力矩 110Nm，同时在云台上座和云台接缝处一圈户外密封胶防松，并用记号笔做好标记，如图 44 所示。安装完成后拆除定标工装。

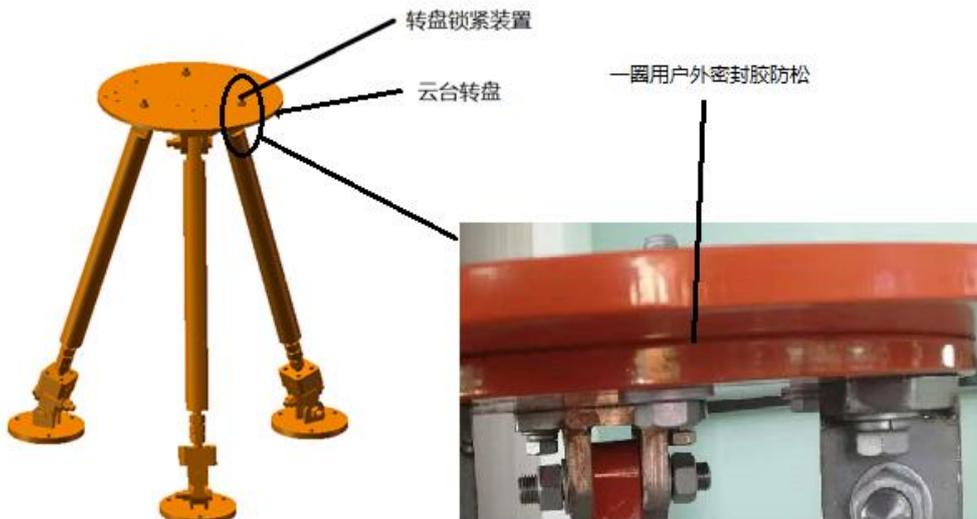


图 44 云台调节示意图

- 姿态调整 接通电源，根据 Molas NL 客户端软件显示调整雷达姿态（详见第 4 章 操作说明），使雷达角度满足要求。姿态要求要分情况而定。
 - 低风或无风，风机没有摆动时：

雷达翻滚角度 (Roll) 为 0° ，误差在 $\pm 0.1^{\circ}$ 以内；

雷达俯仰角度根据不同机型，由业主确定，误差在 $\pm 0.1^{\circ}$ 以内。

- 风速较大，风机摆动较大时：

雷达翻滚角度 (Roll) 为 0° ，数值会因为风机的摆动在一定范围内变化，要求变化中值在 $0^{\circ} \pm 0.1^{\circ}$ 以内；

雷达俯仰角度根据不同机型，由业主确定，数值会因为风机的摆动在一定范围内变化，要求变化中值在要求数值的 $\pm 0.1^{\circ}$ 以内。

- 姿态调整方法如下：

首先，松开地脚锁紧螺母和法兰锁紧螺母，确保三个地脚的地脚立柱已经完全旋入 OH 的下腔体，详见图 45。

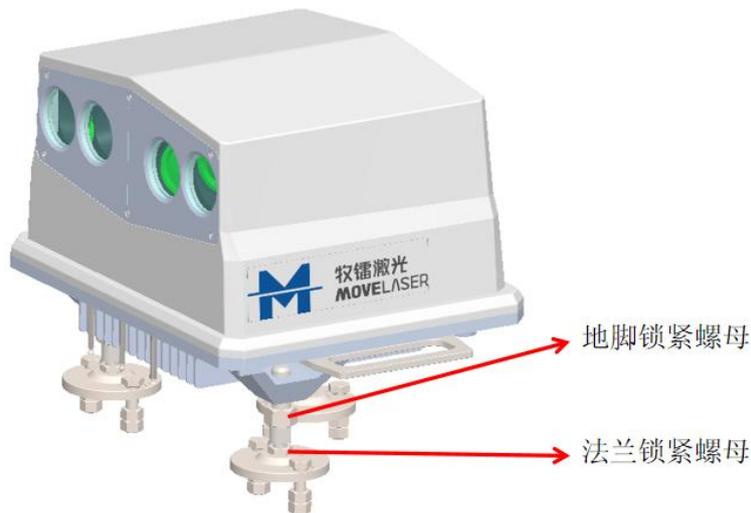


图 45 地脚锁紧结构示意图

接着用扳手旋转地脚立柱调平雷达，旋转方法见图 46。注意地脚立柱上的最短拧入标记，拧入深度不得小于最短拧入标记所示深度，见图 47。该方法的可调角度范围为 $-3.5^{\circ} \sim +3.5^{\circ}$ ；调平后锁紧地脚锁紧螺母（拧紧扭矩 130Nm ）和法兰锁紧螺母（拧紧扭矩 45Nm ）。



图 46 地脚调节示意图

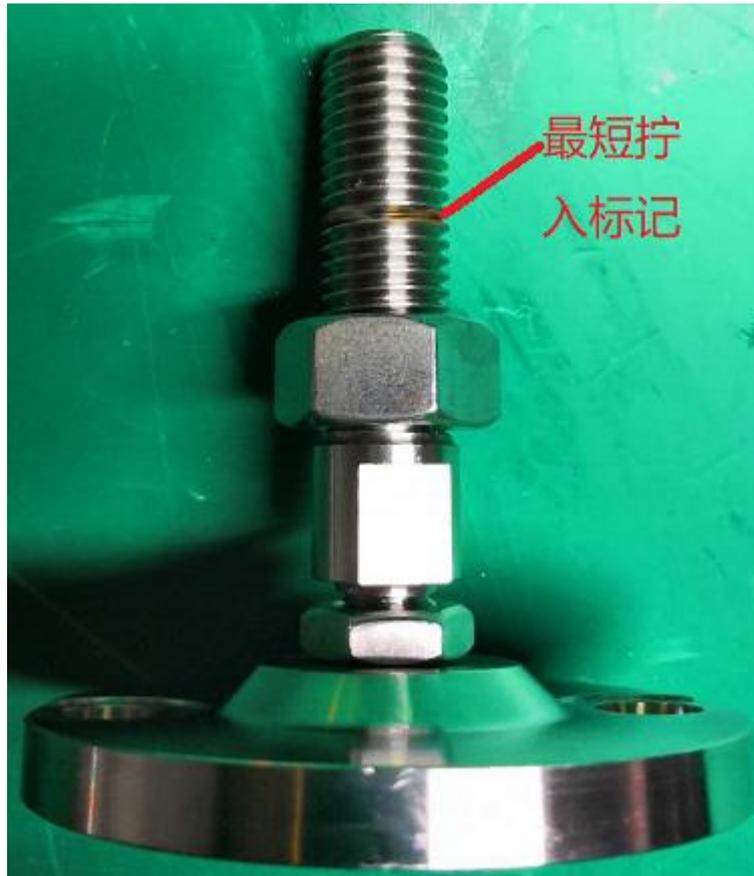


图 47 最短拧入标记

4.4 参数设置

具体参数设置可参照客户端说明中“3.1.6 ‘设置’界面”相关内容。

4.5 通讯安装及确认

通讯安装包括两方面：现场总线通讯与客户端软件通讯。

➤ 现场总线

1、Profibus-DP 通讯安装

- (1) 通过 Profibus-DP-DB9 针接插件连接雷达数存单元上面的 DB9 母头。
- (2) 根据需要将终端电阻的拨码开关置于 ON 或者 OFF 位置。
- (3) 启动雷达，并通过客户端连接雷达。
- (4) 根据实际需要，通过雷达客户端对雷达 Profibus-DP 地址进行设置。

2、CANOPEN 通讯安装

- (1) 通过 CANopen-DB9 针接插件连接雷达数存单元上面的 DB9 公头。
- (2) 根据需要将终端电阻的拨码开关置于 ON 或者 OFF 位置。
- (3) 启动雷达，并通过客户端连接雷达。

3、MODBUS-RTU 通讯安装

- (1) 通过 DB9 针接插件连接雷达数存单元上面的 DB9 母头。
- (2) 根据需要将终端电阻的拨码开关置于 ON 或者 OFF 位置。
- (3) 启动雷达，并通过客户端连接雷达。

4、MODBUS-TCP 通讯安装

- (1) 通过网线连接雷达数存单元上面的 RJ45 连接器。

- (2) 启动雷达，并通过客户端连接雷达。
- (3) 根据实际需要，通过雷达客户端对雷达 MODBUS-TCP 地址进行设置。

以上 4 种通信详情见“附件 D、附件 E、附件 F、附件 G”

➤ 客户端软件通讯安装

详情可见“3 客户端程序安装操作介绍”相关内容

4.6 雷达状态检查

当雷达安装完毕后，请按照以下步骤检查雷达状态，只有以下雷达状态均正常，才能认为雷达已经安装完毕，进入正常工作状态。

➤ 检查数存单元指示灯

只有数存单元 8 个指示灯均满足以下状态才认为正常：灯 1（绿闪）、灯 2-5（常绿）、灯 6 常绿（若灯 6 为常红或常黄，请检查是否窗口被遮挡或有雾，否则认为异常）。

MOLAS NL 数存单元信号指示灯示意图参见“2.3.2 数存单元（PU）”

➤ 客户端连接与参数配置

确认 Web 客户端是否能正常连接雷达，若可以正常连接，则可以通过如 48 图所示“设置界面”对界面内的参数根据实际需求进行设置。

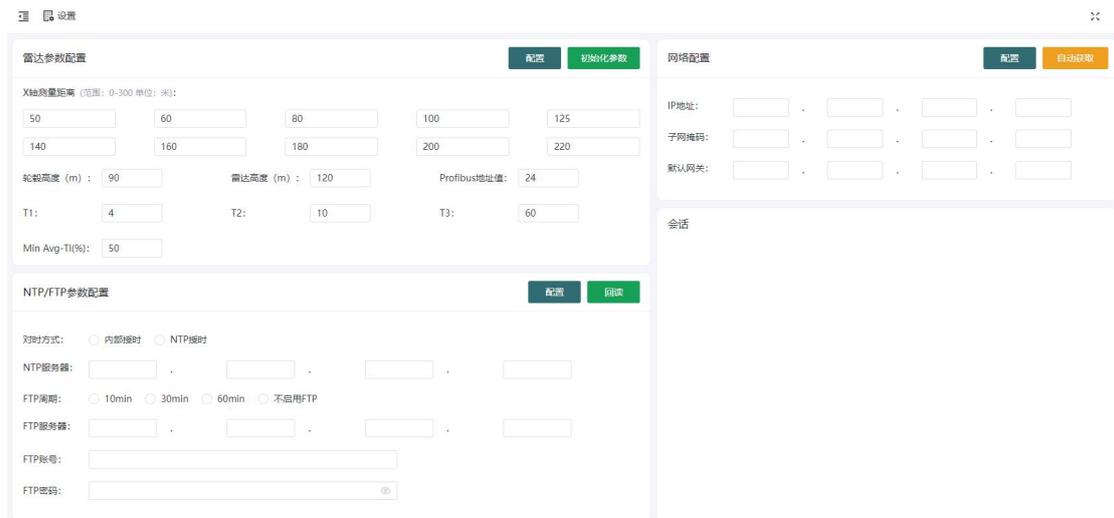


图 48 设置界面

➤ 检查雷达客户端输出数据显示状态

通过 Web 客户端在“雷达信息”、“风速信息”、“雷达数据”界面确认雷达输出数据是否有效。

➤ 检查雷达 Web 客户端设备工作状态

通过 Web 客户端在“雷达信息”界面确认雷达输出数据是否有效，如图 49。

- 检查雷达数据是否正常

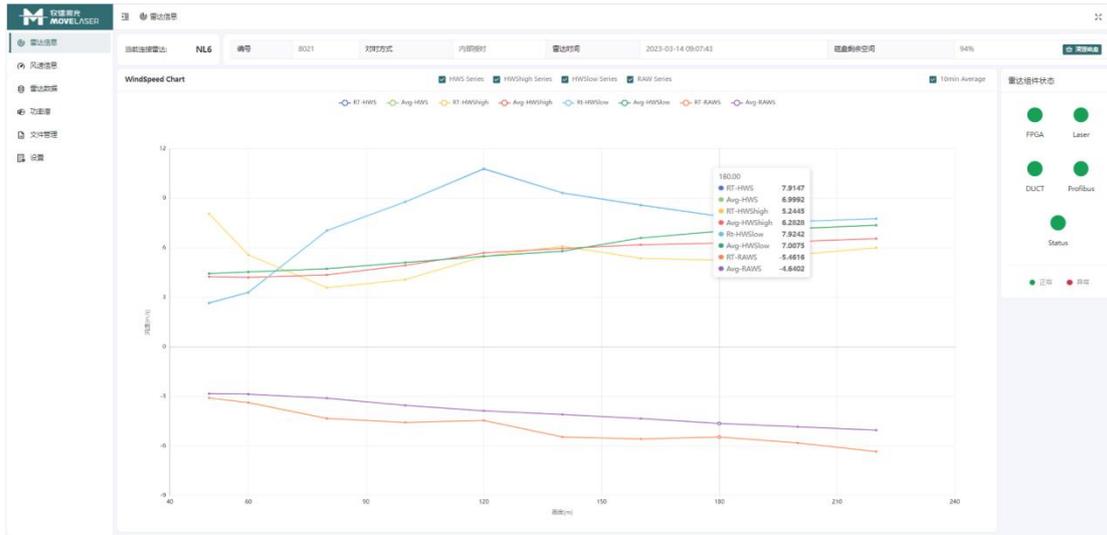


图 49 雷达信息

4.7 力矩检查及机舱密封

➤ 力矩检查

OH 安装完成后，用力矩扳手再校准一下力矩，需要重新校准的力矩如下：OH 固定螺钉（M10），拧紧力矩 50Nm；OH 地脚锁紧螺母（M16），拧紧扭矩 130Nm；OH 地脚锁紧薄螺母（M12），拧紧扭矩 45Nm；云台上座锁紧螺钉（M12-10.9 级），拧紧力矩 110Nm。然后在所有螺栓、螺母和安装面接合处涂上户外密封胶防松。并用记号笔标记，方便后续检查螺钉是否松动。

➤ 机舱密封

密封主要是确保水不会从过线孔位置进入到机舱内，影响机舱设备的正常运行。同时也可以防止扎带暴露在空气中，导致风化老化，影响固定强度。用户外密封胶完全涂覆过线橡胶，确保不会有气孔和缝隙，详见下图 50 所示。



图 50 线缆过孔密封示意图

4.8 线缆固定

OH 安装完成后，需要整理好线缆，将所有线缆缠绕在云台上，且用扎带固定，如图 51 所示。



图 51 整理线缆图

4.9 注意事项

只要雷达安装到风机舱顶，无论风机处于何种状态（运输、吊装、停机、运行等），必须锁紧所有地脚锁紧螺母、法兰锁紧螺母和 OH 安装螺栓，3 个地脚共计 6 个螺母和 6 个螺栓，如下图 52 所示。其中地脚锁紧螺母拧紧力矩拧紧扭矩 130Nm；法兰锁紧螺母，拧紧扭矩 45Nm；OH 安装螺栓拧紧扭矩 50Nm。

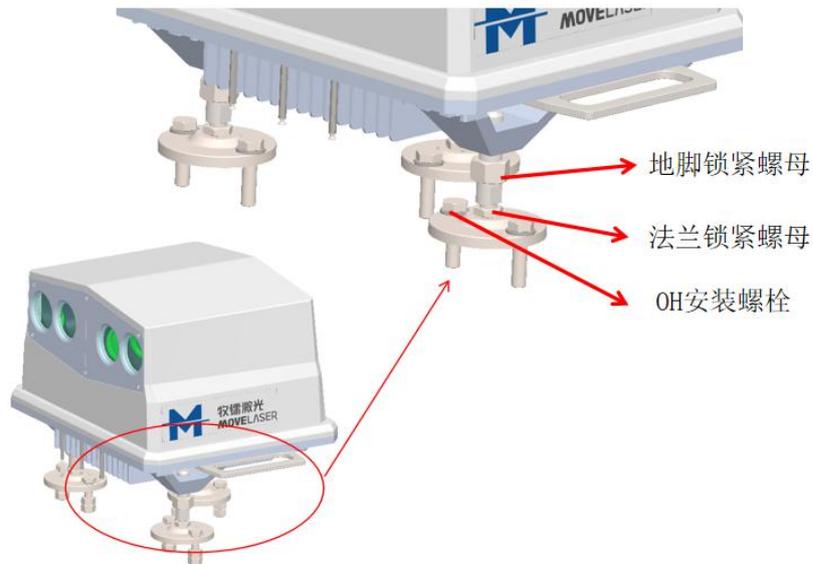


图 52 拧紧锁紧螺母和安装螺栓（共 3 个地脚）

5 雷达拆除

5.1 要求

雷达拆除时，需确认航空箱是否完好，同时将满足要求的航空箱带到拆装作业场地，用于雷达系统的储存和运输。由具备操作准许资格人员进行拆除。同时需要控制风机的通信端口或者有相关操作人员从旁协助。

5.1.1 人员要求

雷达拆除最少需要 3 名满足风机作业要求的工作人员，两人在舱内负责拆除和吊装，一人在地面协助拆卸和观察周围情况。

5.1.2 工具要求

- 用于拆除 M8 和 M10 螺母的活动扳手或开口扳手（14mm 和 17mm）
- 1 个小型平头螺丝刀（用于 PU 连接器）
- 1 把美工刀
- 适当的起重袋
- 斜口钳

5.2 雷达拆除

雷达拆除需要参照以下三个步骤：

(1) 拆除 PU

- 使用 ON-OFF 开关按钮关闭雷达主电源，PU 的 8 个指示灯会全部熄灭；
- 断开 PU 的电源，并拔下主电源线缆；
- 断开以太网线缆、Profibus 线缆套件（使用 2.5 号内六角扳手）和其他可能的对外连接线缆；
- 断开和 OH 连接的航插线缆，将所有连接器做的防护盖手动拧紧；
- 将 PU、以太网线缆、Profibus 线缆套件和主电源电缆放入吊装袋中。

(2) 拆除过线法兰

下面描述提到的零件请参照 4.3.5。

- 断开 OH 上和 PU 连接的航插线缆；
- 断开云台接地线缆；
- 用美工刀清除过线橡胶上的密封胶；
- 拆除过线橡胶，将两根线缆从舱外传至舱内，取下线缆；
- 将过线橡胶和两根线缆放入吊装袋中。

(3) 拆除 OH

 在拆除过程中，请务必保证 OH 防坠绳和机舱锚点的连接，待确认 OH 不会跌落
后，再拆除防坠绳；

 OH 重量较重，建议两人协作拆除，拆除过程中注意保护窗口镜片和电连接座

- 用 17mm 开口扳手依次拆除 OH 的 M10 固定螺栓，将 OH 从云台取下；
- 确认 OH 放置平稳后，拆除 OH 防坠绳；
- 将 OH 和防坠绳放入吊装带中。

5.3 机舱密封

雷达系统拆除后，客户必须确保机舱的防水性。可能会使用西卡 521UV 硅树脂胶或玻璃纤维复合材料填充所有雷达安装孔。解决方案要结合各个型号风机的实际情况，需要在拆卸雷达之前和客户团队进行研究沟通确认。

5.4 雷达吊运及运输

- 尽量将航空箱靠近起重袋的落点；
- 按照拆除说明进行操作后，请参照本手册中的说明将所有物品及其附件和手册放入航空箱中（所有相关物品的清单，请参阅第 2.4 节装箱清单）；
- 检查并清点要放入航空箱中的所有备件；
- 检查并清点要放入航空箱中的所有选配件；
- 关闭航空箱。

 雷达系统搬运过程中请注意轻拿轻放。

6.故障排查及保养维护

6.1 常见故障现象及处理方法

表 11 常见故障现象及处理方法

序号	故障类别	故障现象	具体参考
1	通讯故障-现场总线	机组触发雷达通信异常警告或主控组态软件未收到雷达 index 跳变值	6.1.1-(1)
2	通讯故障-客户端网络	客户端长时间连接雷达失败	6.1.1-(2)
3	OH 主板故障	(1) 发生客户端连接故障； (2) 未发生雷达现场总线通信故障； (3) 机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。	6.1.2
4	航插线缆异常	(1) 客户端连接正常； (2) 未发生雷达现场总线通信故障； (3) 机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳	6.1.3

		变。 (4) 客户端界面显示 MCU 与 FPGA 指示灯均显示红色	
5	激光器光学器件故障	(1) 客户端连接正常； (2) 未发生雷达 DP 通信故障； (3) 机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。 (4) 如图所示红框内 MCU、FPGA、Laser、PUCT 指示灯均显示绿色。 (5) 客户端显示风速数据与风向数据停止。	6.1.4
6	雷达内部通信异常		6.1.5

6.1.1 通讯故障

➤ 现场总线通信异常

- (1) 首先确认雷达是否正常供电，若机组同时触发舱顶其他设备故障，可能是舱顶设备电气柜短路导致雷达供电空气开关工作切断雷达电源，若确认雷达正常供电，则进入下一步；
- (2) 检查机组主控组态，查看雷达节点故障代码与说明。若存在节点故障或未发现雷达设备节点进入下一步；
- (3) Web 客户端连接雷达，若存在无法连接雷达情况，可能发生雷达异常断电，需要进入舱顶排查。若客户端可以连接雷达，则进入设置界面，检查如图 53 所示 Profibus 地址值，是否为机组预设值，若不是设成预设值，并下发参数。若依然无效进入下一步；

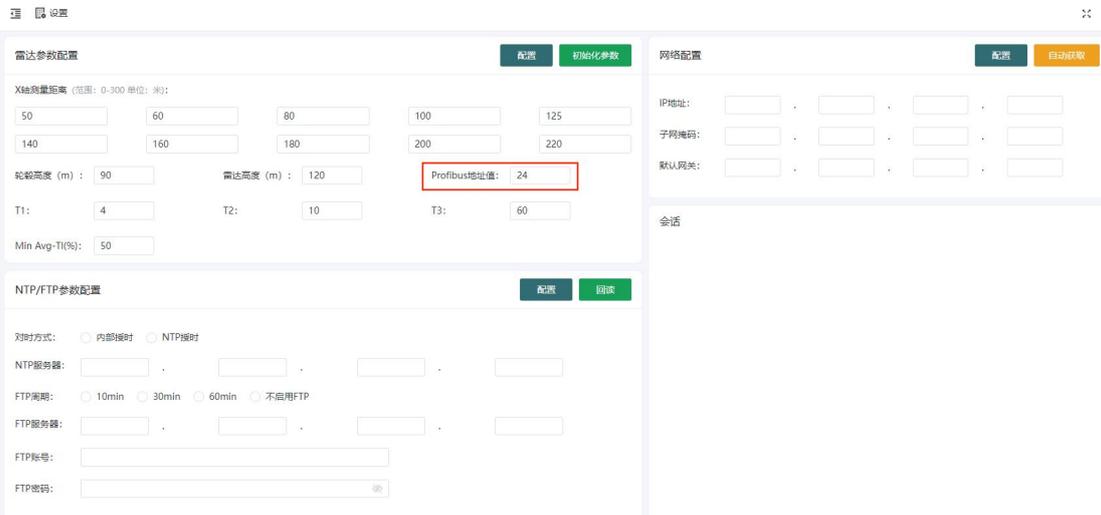


图 53 设置界面

- (4) 进入机舱顶部，查看雷达端数存单元侧面 DP 线缆接插件是否存在松动或未插紧，若安装正常则检查终端电阻是否安装（非终端节点不必安装终端电阻），若依然无效建议联系厂家。

➤ Web 客户端连接异常

若 Web 客户端长时间无法连接，即 3.1 图 16 界面下拉框未显示雷达，则发生 Web 客户端连接异常。排查与处理方法如下：

- (1) 首先确认机组是否触发通信警告，若同时触发通信警告，则认为雷达发生整机异常断

电，需要进入机组舱顶进行检查；

- (2) 若机组未触发通信警告或其他任何警告，则首先需要排查网络通讯线缆是否正常。若网络通讯线缆正常，则进入下一步；
- (3) 把本机 IP 改为“100.100.100.110”，子网掩码改为“255.255.255.0”，通过客户端连接雷达。若仍然无法连接，则建议联系厂家。

6.1.2 主板故障

故障表现：（1）发生 Web 客户端连接故障；（2）未发生雷达 DP 通信故障；（3）机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。若同时发生以上三点故障现象，则发生 OH 内部主板故障。

尝试进入机舱顶部手动对雷达重启，若依然无效则建议联系雷达厂家。

6.1.3 航插线缆异常

故障表现：（1）Web 客户端连接正常；（2）未发生雷达 DP 通信故障；（3）机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。（4）如图 54 所示红框内 FPGA 指示灯显示红色，若同时发生以上四点故障现象，则疑似 OH 电源故障或航插线缆异常。



图 54 雷达信息界面

尝试进入机舱顶部手动对雷达重启，若依然则尝试检查航插插头是否松动，若未松动，尝试更换航插线缆。若更换线缆后恢复正常，则判定航插线缆失效，若更换后依然无效则可判定 OH 电源故障，建议联系雷达厂家。

6.1.4 激光器光学器件故障

故障表现：（1）Web 客户端连接正常；（2）未发生雷达 DP 通信故障；（3）机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。（4）如图 55 所示红框内 FPGA、Laser、DUCT 指示灯均显示绿色。（5）客户端显示风速数据与风向数据停止。

若同时发生以上五点故障现象，则疑似激光器光学器件故障。需进一步进入机舱顶部查看雷达状态，若进入舱顶后，发现数存单元指示灯中第 5 个灯显示（常红或黄闪或红闪），且第 1-第 4 灯均为绿闪或常绿，则认为激光器内部器件异常，尝试手动重启雷达，若依然无效，建议联系雷达厂家。

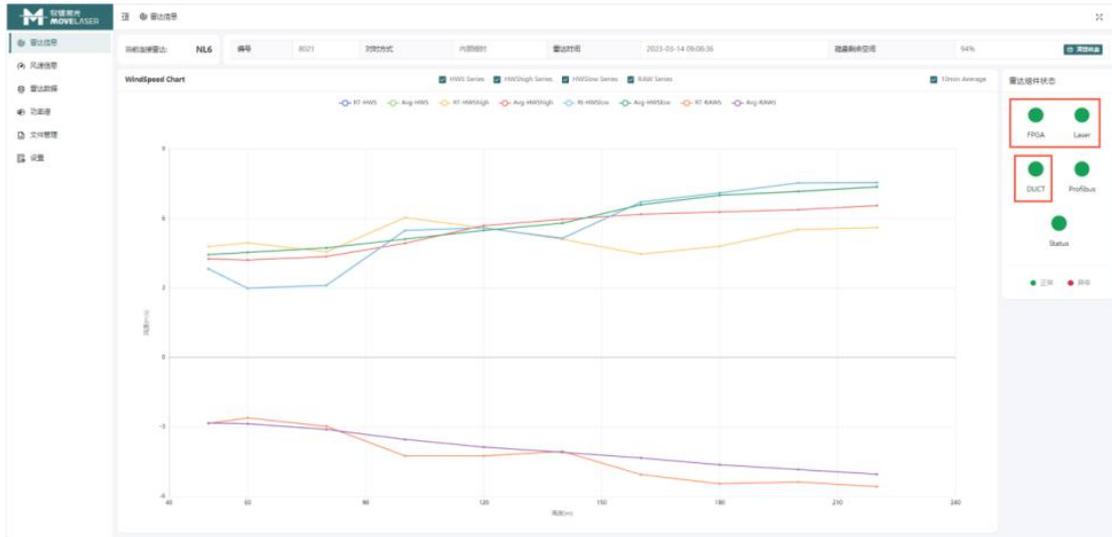


图 55 雷达信息界面

6.1.5 雷达内部通信故障

➤ 内部 FPGA 通信异常

故障表现：（1）Web 客户端连接正常；（2）未发生雷达 DP 通信故障；（3）机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。（4）如图 56 所示红框内 FPGA 指示灯显示红色，其余显示绿色。



图 56 雷达信息界面

排查步骤：进入舱顶尝试手动重启雷达，若无效，检查航插电缆是否松动或未插紧，若正常则尝试更换航插电缆，若依然无效，建议联系厂家。

➤ 内部激光器通信异常

故障表现：（1）Web 客户端连接正常；（2）未发生雷达 DP 通信故障；（3）机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。（4）如图 57 所示红框内激光器指示灯显示红色，其余显示绿色。



图 57 雷达信息界面

排查步骤：进入舱顶尝试手动重启雷达，若无效则建议联系厂家。

➤ 内部主控制器通信异常

故障表现：（1）Web 客户端连接正常；（2）未发生雷达 DP 通信故障；（3）机组发生雷达硬件故障或机组主控端组态显示 index 跳变但 iLos 未跳变。（4）如图 58 所示红框显示绿色。



图 58 雷达信息界面

排查步骤：进入舱顶尝试手动重启雷达，若无效则建议联系厂家。

6.2 维护保养

6.2.1 维护计划和内容

➤ 维护计划

按照规定的维护时间完成所有要求的维护工作，机舱雷达的故障和损坏可以减小到最少。维护工作包括窗口、风道、地脚、防坠绳。

➤ 维护类型说明

Molas NL 主要有 7 个维护项目和 4 种维护类型（A、B、C、D），每种维护类型需要做的维护内容详见表 12 维护类型说明。

表 12 维护类型说明表

序号	维护内容	维护类型			
		A	B	C	D
1	检查螺钉是否松动	●	●	●	●
2	检查航插线缆是否损坏	●	●	●	●
3	清理窗口镜	●			●
4	清理风道	●	●		●
5	更换窗口镜		●		
6	更换 OH			●	
7	更换 PU				●

注：表示包含此项维护内容。

➤ 维护计划表

Molas NL 保养周期按年划分，每一年需要做的维护类型详见表 13 维护计划表。

表 13 维护计划

时间（年）	维护类型	备注
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	B	
6	A	
7	C	
8	A	
9	A	
10	D	
11	A	
12	B	
13	A	
14	C	
15	A	
16	A	
17	A	
18	A	
19	B	
20	A	

➤ 维护内容分级

机舱雷达的维护内容分为修复性维护和预防性维护，将分别作出说明。

● 维护级别定义

维护级别定义如表 14。

表 14 维护级别定义表

维护级别	维护深度	维护范围	维护任务
一级维护（项目现场维护）	现场可更换单元（到 LRU）	承担激光雷达现场的定期检修，部件更换修理主要采取换件修理的方式	具体的更换的单元：
二级维护（项目	雷达内部的部件的更	承担激光雷达部件、设备	具体的更换的单元

基地维护)	换(到SRU)	的修理,较大的改装	要考虑机组替代运行方案
三级维护(返厂维护)	内部具体的元器件和零部件	承担激光雷达复杂的改装,零件、元器件的更换	

- 修复性维护

修复性维护内容及说明如表 15。

表 15 修复性维护内容及说明表

序号	修复性维护活动	维护方式	维护级别	修复方法	支持设备	备件	标准工作时间
1	更换风扇	整体更换	一级维护	见第 3 章	内六角螺丝刀	无	2h
2	更换除湿器	整体更换	一级维护	见第 3 章	内六角螺丝刀	无	2h
3	更换 PU	整体更换	三级维护	见第 3 章		无	2h
4	更换 OH	整体更换	三级维护	见第 3 章	8'活动扳手	无	5h

- 预防性维护

预防性维护内容及说明如表 16。

表 16 预防性维护内容及说明表

序号	预防性维护活动	周期	维护级别	支持设备	备件	标准工作时间
1	检查螺钉松动	1 年	一级维护	8'活动扳手	无	2h
2	检查航插线缆	1 年	一级维护		无	1h
3	清理窗口镜	1 年	一级维护	酒精	无	1h
4	清理风道	1 年	一级维护	内六角螺丝刀		1h

- 补充内容

除了维护计划外,可以在任何有必要的时候检查机舱雷达或单个的零部件。

除了定期维护计划外,以下需要根据提示维护,详见表 17。

表 17 根据提示维护内容

序号	维护内容	维护时间
1	更换风扇	根据雷达监控提示,错误代码 Bit4
2	更换除湿器	根据雷达监控提示,错误代码

6.2.2 维护方法

- 更换风扇

- 维护工具和耗品清单详见表 19。

表 19 维护工具和耗品清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	内六角螺丝刀	2.5mm	1	
2	螺纹胶	243	1	

- 操作方法

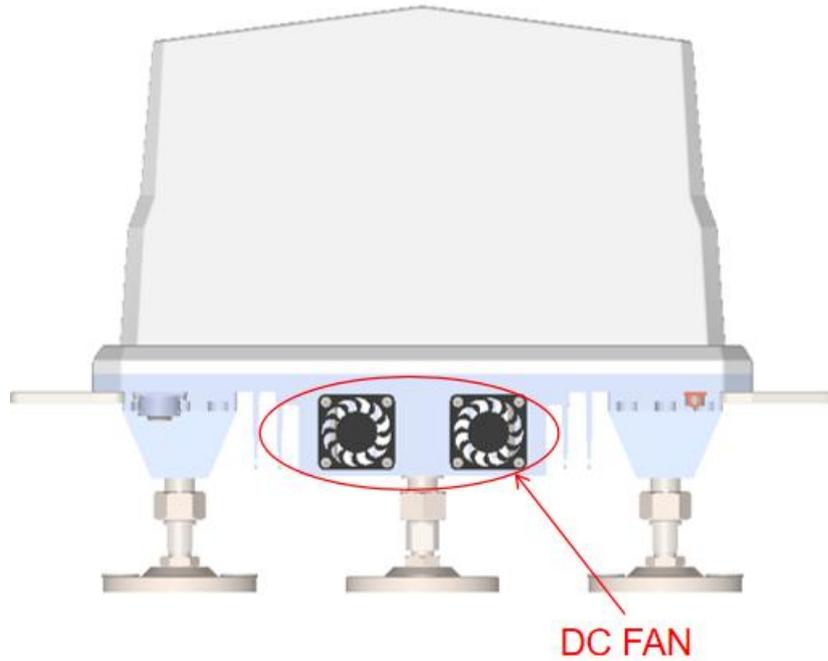


图 59 拆除零件示意图

- (1) 断开 OH 电源，使用 2.5mm 内六角螺丝刀拆除故障风扇，拔掉风扇接插件（详见图 60），取出风扇；



图 60 线缆接头示意图

- (2) 装上新风扇，连上接插件，将接插件放入风扇上方埋线槽内，风扇安装螺钉用螺纹胶锁固，螺纹胶涂覆位置见图 61，螺钉拧紧力矩 1.2Nm；

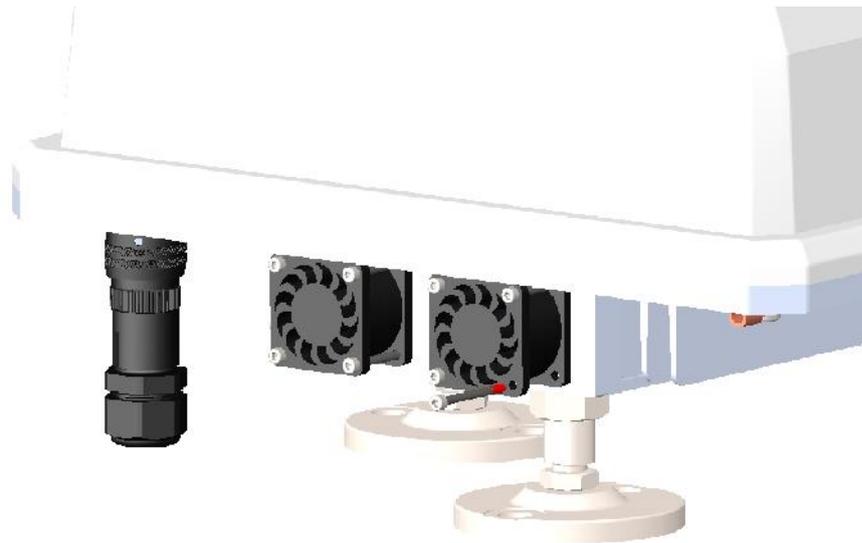


图 61 螺纹胶涂覆位置

- (3) 接通电源。
- 更换 PU
 - 操作步骤
 - (1) 关闭电源，断开 PU 的所有连接线；
 - (2) 换上新的 PU，安装方式参考用户手册。接通所有连接线，打开电源。
- 更换 OH
 - 维护工具和耗品清单详见表 20。

表 20 维护工具和耗品清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	活动扳手	8'	1	
2	斜口钳		1	

- 操作步骤
 - (1) 确认 OH 已经断电；
 - (2) 依次拆除 OH 和云台安装螺钉、航插线缆、防坠绳；
 - (3) 取下 OH，换上新的 OH；
 - (4) 依次安装 OH 和云台连接螺钉、防坠绳、航插线缆；
 - (5) 接通电源。
- 检查螺钉松动
 - 维护工具和耗品清单详见表 21。

表 21 维护工具和耗品清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	扭矩扳手	可以覆盖 45-130Nm	1	
2	硅橡胶	704	1	

- 操作步骤

(1) 检查地脚和云台的安装螺栓、地脚锁紧螺母和法兰锁紧螺母，详见下图 62。

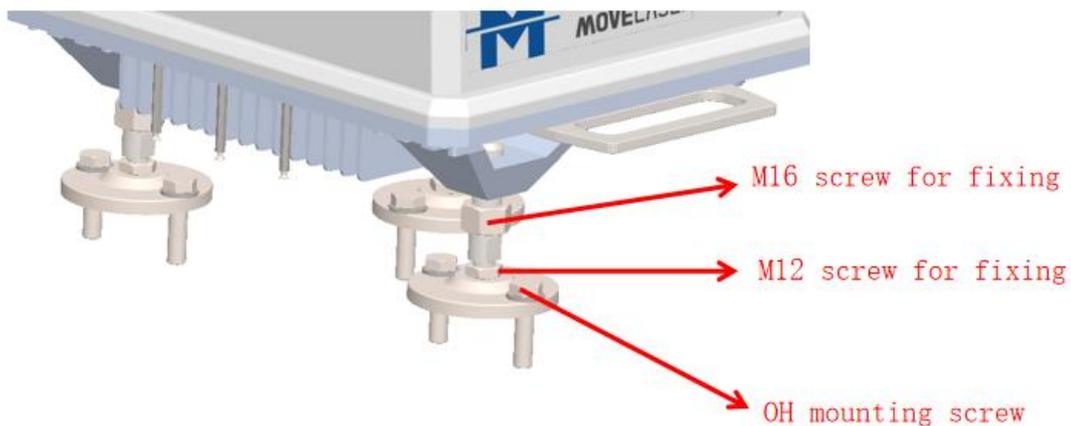


图 62 螺钉位置

首先确认螺钉标识线是否错位，若不错位，不做操作。若错位，需要重新按照规定扭矩拧紧螺钉和螺母，点上硅橡胶防松，并做好标记。其拧紧力矩如下表 22。

表 22 拧紧力矩表

名称	拧紧力矩
地脚锁紧螺母 M16	130Nm
法兰锁紧螺母 M12	45Nm
OH 安装螺钉	50Nm

(2) 检查防坠绳和接地线螺钉是否松动。

检查航插线缆

目检 OH 和 PU 连接的航插线缆表皮是否有表皮断裂脱落的现象。确认航插头和航插座没有松动。

➤ 清理窗口镜

● 维护工具和耗品清单详见表 23。

表 23 维护工具和耗品清单

序号	名称	数量	备注
1	工业酒精	1	
2	擦镜纸	1	
3	指套	1	
4	吹气球	1	

● 操作步骤

(1) 手洗干净，吹干或待干。戴上指套；

(2) 用空气球吹掉镜片表面的粉尘，如下图 63 所示；

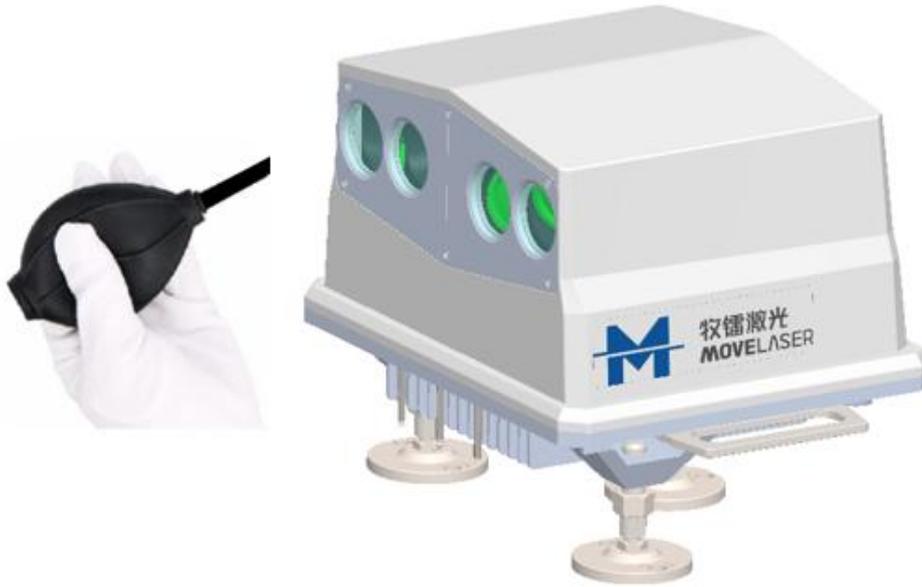


图 63 清理窗口镜

- (3) 把擦镜纸在酒精中沾湿，将擦镜纸从镜片的一边往另一边轻轻拖动，然后顺势将擦镜纸从镜片表面移出。不要在镜片边缘停留，以免留下痕迹；
- (4) 更换擦镜纸，再重复步骤 3)；
- (5) 观察镜片，确定镜片已经擦拭干净。

➤ 清理风道

- 维护工具和耗品清单详见表 24。

表 24 维护工具和耗品清单

序号	名称	规格	数量	备注
1	内六角螺丝刀	2mm	1	/
2	工业酒精	/	1	/
3	棉布	/	1	/

- 操作方法

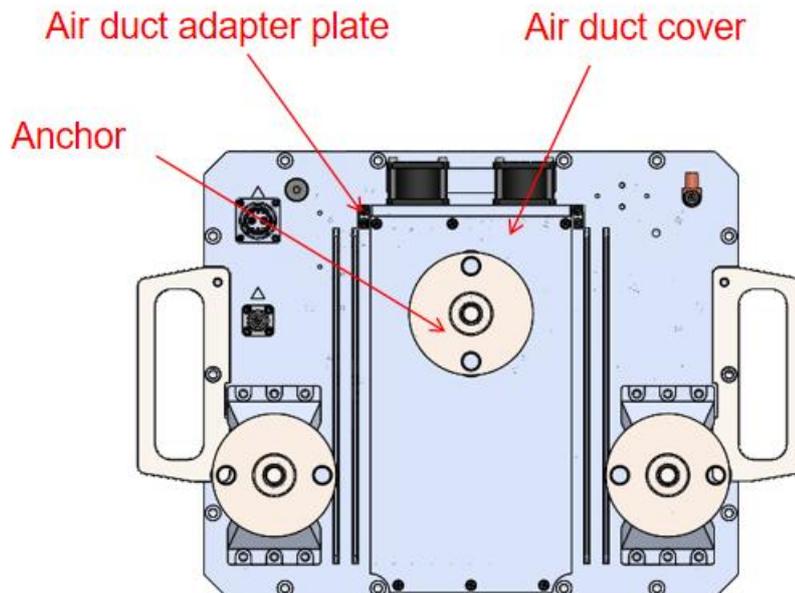


图 64 拆除零件示意图

- (1) 断开 OH 电源，使用 2mm 内六角螺丝刀拆除风道转接板和风道板；
- (2) 把棉布在酒精中沾湿，然后擦拭散热翅上的灰尘；
- (3) 安装风道板和风道转接板，螺钉拧紧力矩 1.2Nm，接通电源。

附件 A 数据产品定义

本附件主要对机舱雷达提供的数据产品进行了定义，并给出了具体计算方法。

雷达实时数据提供的变量包括：信噪比 CNR、视向风速 RWS、合成风速 RAWS/HWS(hub)、合成风向 Dir(hub)、上平面风速 HWS_{high}、上平面风向 Dir_{high}、下平面风速 HWS_{low}、下平面风向 Dir_{low}、湍流强度 Ti、水平风切变 HShear、垂直风切变 VShear、垂直风向变化率 Veer 等。每个变量后面对应一个状态标志 Status，用来标识该变量是否有效，0 表示数据无效，1 表示数据有效。

雷达 10min 数据为 10min 周期内对应变量的平均值（前 10min）。每个变量后面对应一个数据可靠性百分比，定义为 10min 内有效数据占总数据的百分比，用来判断该变量的可靠性。

各变量计算方法如下所述。

设雷达安装高度为 H_{lidar} ，风机轮毂高度为 H_{hub} ，雷达测量截面距离为 $X \in [50, 200]$ 。

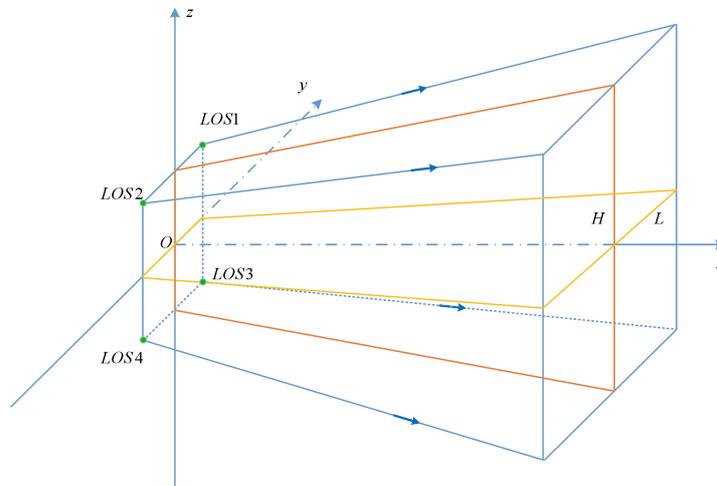


图 65 机舱雷达四光束几何关系图

如图 65 所示，四束激光依次定义为 LOS1、LOS2、LOS3、LOS4， X 为水平测量距离， H 为上下光束平面之间的垂直高度， L 为左右光束平面之间的距离。为表述方便，定义上、下两光束平面夹角为： $2\theta_s = 25^\circ$ ，前、后两个光束平面夹角为： $2\theta_t = 50^\circ$ ，光束与 x 轴夹角为： φ ，满足 $\eta = \cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2\theta_t+\tan^2\theta_s}}$ 。

(1) 信噪比 (CNR)

信噪比 (CNR) 定义为回光信号功率与噪声功率之比，当 $CNR > 1.11$ (或 $CNR_{dB} > 0.45dB$) 时，雷达数据为有效。

(2) 视向风速 (RWS)

视向风速为实际风速在雷达 4 个视线方向的投影风速，正比于雷达接收到的回光信号的多普勒频移与激光波长的乘积。

$$RWS = \frac{\lambda f_d}{2}$$

其中， λ 为激光波长， f_d 为大气气溶胶运动产生多普勒频移。

(3) 湍流强度 (Ti)

湍流强度 (Ti) 为 σ_i 与平滑周期内视向风速平均值 (绝对值) 的比值， σ_i 定义为 T_3 内

有效地视向风速与该周期内平均视向风速差值的累加的 1/2 次方。

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{T_3} (RWS_i - \overline{RWS}_i)^2 \cdot RWSstatus_i}{\sum_{T_3} RWSstatus_i}}$$

$$Ti_i = \frac{\sigma_i}{RWS_i}$$

其中, $i = 1,2,3,4$ 表示四个光束, $RWSstatus_i$ 为光束*i*径向风速有效标志, T_3 为用于计算湍流强度的时间长度, 可通过客户端设置, 默认 60s。

(4) 上光束平面风速 (*HWShigh*)

上光束平面风速表示由指向向上的两个光束合成的水平风速。

$$HWShigh = \sqrt{\left(\frac{RWS_1 + RWS_2}{2\eta}\right)^2 + \left(\frac{RWS_2 - RWS_1}{2\eta \tan \theta_t}\right)^2}$$

(5) 上光束平面风向 (*DIRhigh*)

上光束平面风向表示由指向向上的两个光束合成的水平风向。

$$DIRhigh = \arctan2\left(\frac{RWS_2 - RWS_1}{2\eta \tan \theta_t}, \frac{RWS_1 + RWS_2}{2\eta}\right)$$

(6) 下光束平面风速 (*HWSlow*)

下光束平面风速表示由指向向下的两个光束合成的水平风速。

$$HWSlow = \sqrt{\left(\frac{RWS_3 + RWS_4}{2\eta}\right)^2 + \left(\frac{RWS_4 - RWS_3}{2\eta \tan \theta_t}\right)^2}$$

(7) 下光束平面风向 (*DIRlow*)

下光束平面风向表示由指向向下的两个光束合成的水平风向。

$$DIRlow = \arctan2\left(\frac{RWS_4 - RWS_3}{2\eta \tan \theta_t}, \frac{RWS_3 + RWS_4}{2\eta}\right)$$

(8) 垂直风切变 (*VShear*)

垂直风切变定义为上光束平面风速与下光束平面风速比值的自然对数与 $(H_{lidar} + X \tan \theta_s) / (H_{lidar} - X \tan \theta_s)$ 的自然对数的比值。

$$VShear = \frac{\log\left(\frac{HWShigh}{HWSlow}\right)}{\log\left(\frac{H_{lidar} + X \tan \theta_s}{H_{lidar} - X \tan \theta_s}\right)}$$

(9) 轮毂高度处水平风速 (*HWSHub*)

轮毂高度处水平风速为利用上/下平面重构的轮毂高度处风速。

$$HWSHub = HWSlow \left(\frac{H_{hub}}{H_{lidar} - X \tan \theta_s}\right)^{VShear}$$

(10) 垂直风向变化率 (*Veer*)

垂直风向变化率为上下光束平面风向差与两倍的雷达测量截面距离的 $\tan \theta_s$ 的比值。

$$Veer = \frac{DIRhigh - DIRlow}{2X \tan \theta_s}$$

(11) 轮毂高度处水平风向 (*DIRhub*)

轮毂高度处水平风向为下光束平面风向与垂直风向变化率同 $(H_{hub} - H_{lidar} + X \tan \theta_s)$

乘积的和。

$$DIRhub = HWSlow + Veer \cdot (H_{hub} - H_{lidar} + X \tan \theta_s)$$

雷达风向正方向定义如图 66 所示，适用于 $DIRhub$ 、 $DIRhigh$ 和 $DIRlow$ 。

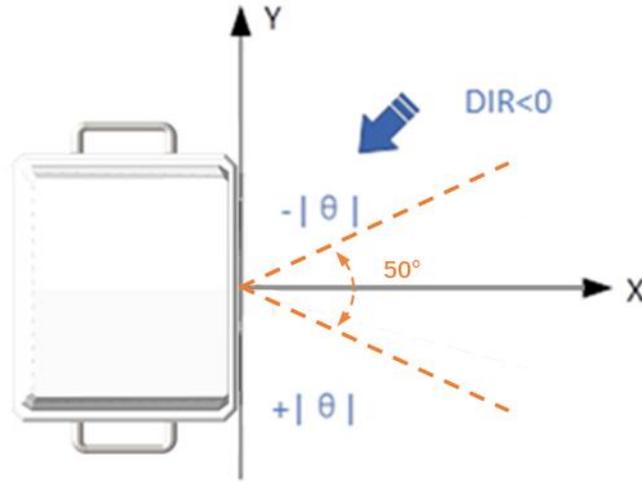


图 66 风向正方向定义图

(12) 轴线投影风速 ($RAWS$)

轴线投影风速定义为四个视线的视向风速在中心轴投影的平均，即各个有效的视向风速与光束和中轴线夹角的余弦值的比值的累加值。

$$RAWS = \frac{\sum_i RWSstatus_i \cdot RWS_i / \cos \varphi}{\sum_i RWSstatus_i}$$

(13) 水平风切变 ($HShear$)

水平风切变为右侧光束 1、3 合成风速与左侧光束 2、4 合成风速的差，除以左右两侧光束面的距离。

$$HShear = \frac{RWS_1 + RWS_3 - RWS_2 - RWS_4}{2 \cos \theta_t \cos \theta_s \cdot 2X \tan \theta_t}$$

附件 B 数据文件格式说明

Molas NL 机舱式激光雷达数据提供了十分钟平均值统计数据 and 4Hz 实时数据两种，供风机主控、偏航控制、降低载荷等使用。数据均为.csv 格式，可用多种办公及编程绘图软件查看和操作。

➤ 统计数据含义（10 分钟平均数据文件）

- 数据文件名
 - ❖ 数据文件标题: WindSpeedTenMinuteYYYYMMDD.csv
 - ❖ YYYY: 数据年份
 - ❖ MM: 数据月份
 - ❖ DD: 数据日期
- 数据格式:ASCII
- 数据结构和格式如表 24。

表 24 数据结构和格式

平均数据	序号	描述	格式/单位	最大值	最小值	无效值
Timestamp	1	数据时间戳	yyyy/mm/dd hh:mm:ss:fff	-	-	-
Los	2	光束编号	-	4	1	-
Distance	3	x 轴测量距离	m	200	50	-
HubHeight	4	风机轮毂高度	m	-	0	-
LidarHeight	5	雷达高度	m	-	0	-
Roll	6	雷达水平倾角	°	90	-90	-
Tilt	7	雷达垂直倾角	°	90	-90	-
CNR	8	载噪比	dB	-	-	-
RWS	9	视向风速	m/s	75	-50	NAN
DRWS	10	视向风速标准差	°	-	0	NAN
RWSstatus	11	视向风速状态标识 (0 表示数据无效, 1 表示数据无效, 下同)	-	1	0	-
RAWS	12	轴线投影风速	m/s	75	-50	NAN
RAWSstatus	13	轴线投影风速状态标识	-	1	0	-
HWS(hub)	14	反演风速	m/s	75	0	NAN
HWS(hub)status	15	反演风速状态标识	-	1	0	-
DIR(hub)	16	反演风向	°	180	-180	NAN
DIR(hub)status	17	反演风向状态标识	-	1	0	-
Veer	18	垂直风向变化率	°/m	-	-	-
VShear	19	垂直风切变	-	-	0	NAN
HShear	20	水平风切变	-	-	0	NAN
Ti	21	湍流强度	-	-	0	NAN
Tistatus	22	湍流强度状态标识	-	1	0	-
HWSHigh	23	上光束平面风速	m/s	75	0	NAN
HWSHigh status	24	上光束平面风速数据状态标识	-	1	0	-
HWSLow	25	下光束平面风速	m/s	75	0	NAN

HWSlow status	26	下光束平面风速数据状态标识	-	1	0	-
DIRhigh	27	上光束平面风向	°	180	-180	NAN
DIRhigh status	28	上光束平面风向数据状态标识	-	1	0	-
DIRlow	29	下光束平面风向	°	180	-180	NAN
DIRlow status	30	下光束平面风向数据状态标识	-	1	0	-

➤ 实时数据含义（4Hz 数据文件）

- 数据文件名
 - ❖ 数据文件标题: WindSpeedYYYYMMDD.csv
 - ❖ YYYY: 数据年份
 - ❖ MM: 数据月份
 - ❖ DD: 数据日期
- 数据格式: ASCII
- 数据结构和格式如表 25。

表 25 数据结构和格式

平均数据	序号	描述	格式/单位	最大值	最小值	无效值
DateAndTime	1	10 分钟数据样本的结束日期和时间	yyyy/mm/dd hh:mm	-	-	-
Distance	2	x 轴测量距离	m	200	50	-
Roll	3	雷达水平倾角	°	90	-90	-
Tilt	4	雷达垂直倾角	°	90	-90	-
RWS1	5	光束编号 1-视线风速	m/s	75	-50	NAN
RWS1AVL	6	光束编号 1-视线风速有效百分率	%	100	0	-
RWS2	7	光束编号 2-视线风速	m/s	75	-50	NAN
RWS2AVL	8	光束编号 2-视线风速有效百分率	%	100	0	-
RWS3	9	光束编号 3-视线风速	m/s	75	-50	NAN
RWS3AVL	10	光束编号 3-视线风速有效百分率	%	100	0	-
RWS4	11	光束编号 4-视线风速	m/s	75	-50	NAN
RWS4AVL	12	光束编号 4-视线风速有效百分率	%	100	0	-
RAWS	13	轴线投影风速	m/s	75	-50	NAN
RAWSAVL	14	轴线投影风速数据有效百分率	%	100	0	-
HWS(hub)	15	反演风速	m/s	75	0	NAN
HWS(hub)AVL	16	反演风速数据有效百分率	%	100	0	-
DIR(hub)	17	反演风向	°	180	-180	NAN
Veer	18	垂直风向变化率	°/m	-	-	NAN
DIR(hub)AVL	19	反演风向的数据有效百分率	%	100	0	-
VShear	20	垂直风切变	-	-	0	NAN
HShear	21	水平风切变	-	-	0	NAN
ShearAVL	22	风切变的数据有效百分率	%	100	0	-
TI1	23	光束编号 1-湍流强度	-	-	-	NAN
TI1AVL	24	光束编号 1-湍流强度数据有效百分率	%	100	0	-

TI2	25	光束编号 2-湍流强度	-	-	-	NAN
TI2AVL	26	光束编号 2-湍流强度数据有效百分率	%	100	0	-
TI3	27	光束编号 3-湍流强度	-	-	-	NAN
TI3AVL	28	光束编号 3-湍流强度数据有效百分率	%	100	0	-
TI4	29	光束编号 4-湍流强度	-	-	-	NAN
TI4AVL	30	光束编号 4-湍流强度数据有效百分率	%	100	0	-
HWSHigh	31	上光束平面风速	m/s	75	0	NAN
HWSHighAVL	32	上光束平面风速数据有效百分率	%	100	0	-
HWSLow	33	下光束平面风速	m/s	75	0	NAN
HWSLowAVL	34	下光束平面风速数据有效百分率	%	100	0	-
DIRHigh	35	上光束平面风向	°	180	-180	NAN
DIRHighAVL	36	上光束平面风向数据有效百分率	%	100	0	-
DIRLow	37	下光束平面风向	°	180	-180	NAN
DIRLowAVL	38	下光束平面风向数据有效百分率	%	100	0	-
CNR1(dB)	39	光束编号 1-载噪比	dB	-	0	-
CNR2(dB)	40	光束编号 2-载噪比	dB	-	0	-
CNR3(dB)	41	光束编号 3-载噪比	dB	-	0	-
CNR4(dB)	42	光束编号 4-载噪比	dB	-	0	-

附件 C FTP 格式

Molas NL 机舱式激光雷达为客户提供了实时的可用 FTP 传输的数据。数据均为.csv 格式，可用多种办公及编程绘图软件查看和操作。FTP 传输数据分为实时数据和统计平均数据两种。

实时传输数据文件名命名规则如下：

数据文件标题: RT-MolasNL-XXXX-TTmin-YYYYMMDD-ttttt.csv

XXXX: 雷达编号

TT: 传输周期（单位：分钟）

YYYY: 数据年份

MM: 数据月份

DD: 数据日期

ttttt: 数据打包时间

统计平均传输数据文件名命名规则如下：

数据文件标题: Avg-MolasNL-XXXX- YYYYMMDD.csv

XXXX: 雷达编号

YYYY: 数据年份

MM: 数据月份

DD: 数据日期

附件 D Profibus-DP 通信使用说明

一、硬件接线

Profibus-DP 通过 Profibus-DP-DB9 针接插件连接雷达数存单元上面的 DB9 母头。

二、通信

Molas NL 机舱式激光雷达 DP 数据以 8、16、32 位等字符类型存储，具体存储方式及其表征含义说明如下：

表 26 DP 数据格式

名称	字节	类型	精度	备注
LidarID	1	Unsigned 8 bit integer	1	Lidar identity
iIndex	1	Unsigned 8 bit integer	1	Data Set index
iLOS	1	Unsigned 8 bit integer	1	Line of sight ID
iTimestamp	4	Unsigned 32 bit integer	1 ms	Number of ms since midnight
iTilt	2	Signed 16 bit integer	0.01 degree	Tilt of system telescopes
iRoll	2	Signed 16 bit integer	0.01 degree	Roll of system telescopes
iD	20	Signed 16 bit integer	0.1m	Measurement Distance along x axis
iRWS	20	Signed 16 bit integer	0.01 m/s	Radial wind speed
iVeer	20	Signed 16 bit integer	0.01 radian/m	Vertical wind veer
iRAWS	20	Signed 16 bit integer	0.01 m/s	Reconstructed rotor averaged wind speed
iT	20	Signed 16 bit integer	0.01	Turbulence intensity
iHWSHub	20	Unsigned 16 bit integer	0.01 m/s	Horizontal wind speed at hub height
iDirectionHub	20	Signed 16 bit integer	0.01 radian	Wind Direction at hub height
iVshear	20	Signed 16 bit integer	0.01	Vertical wind shear
iHshear	20	Signed 16 bit integer	0.01	Horizontal wind shear
iCNR	20	Signed 16 bit integer		
iRWSstatus	2	Unsigned 16 bit integer	1	Radial wind speed status
iRAWSstatus	2	Unsigned 16 bit integer	1	Reconstructed rotor averaged wind speed status
iTstatus	2	Unsigned 16 bit integer	1	Turbulence intensity status
iHWSHubstatus	2	Unsigned 16 bit integer	1	Status of HWSHub
iDirHubstatus	2	Unsigned 16 bit integer	1	Status of Directionhub
iLidarFault	2	Unsigned 16 bit integer	Bit0	数据有效标志位，1 异常，0 正常
			Bit1	Bit1:雷达处于初始化过程中，1 处于初始化，0 正常。
			Bit2	OH-PU 通信异常

			Bit3	OH 湿度异常
			Bit4	OH 温度异常
			Bit5	DP 异常
			Bit6	风扇异常
			Bit7	散热异常
			Bit8	激光器异常
			Bit9	雷达主控制器异常
			Bit10	PU 异常
			Bit11	NTP 同步异常
			Bit12	数据存储异常
			Bit13	姿态异常
			Bit14	信噪比长期异常
			Bit15	其他异常

附件 E Modbus-RTU 通信使用说明

一、硬件接线

Modbus-RTU 采用 RS485 通信，外部通过标准 RS485 通信线缆并通过标准 DB9 接插件接入雷达 PU。

二、通信

雷达 Modbus-RTU 地址出厂默认为 24.暂不支持动态修改地址，需要变更地址，请联系我们。

开启雷达与数存单元，主控端发送 Modbus 读寄存器指令 18 03 00 00 00 70 46 27，波特率为 115200.此时，雷达将返回 18 03 E0 X1X224 CRC1 CRC2。其中 X1.....X224 为实际采集数据，具体参考 modbus 数据内容寄存器协议。CRC 校验计算从地址位 0x18 开始。

建议 Modbus 读取频率为 8Hz(间隔 125ms)，通信波特率为 115200，寄存器读取指令为 18 03 00 00 00 E0 46 27。

表 27 Modbus-RTU 内容寄存器内容协议

字序 I 号		名称（以下数字为举例值）	DATA TYPE
1	2	Lidar ID 02 00 固定值 2	unsigned 16 bit
3	3	iIndex 1F 流水号（0-255）	unsigned 8 bit integer
4	4	iLOS 04 光束编号：01-04，当前为 04	unsigned 8 bit integer
5	8	iTimestamp 7D 5D 1A 03 时间戳	unsigned 32 bit
9	10	iTilt FE 01 系统水平倾角 5.1 度	signed 16 bit integer
11	12	iRoll FC FF -0.04 度	signed 16 bit integer
13	14	iD[0] F4 01 截面距离：50m	signed 16 bit integer
15	16	iD[1] 58 02 截面距离：60m	
17	18	iD[2] 20 03 截面距离：80m	
19	20	iD[3] E8 03 截面距离：120m	
21	22	iD[4] B0 04 截面距离：140m	
23	24	iD[5] 78 05 截面距离：140m	
25	26	iD[6] 40 06 截面距离：160m	
27	28	iD[7] 08 07 截面距离：180m	
29	30	iD[8] 08 07 截面距离：180m	
31	32	iD[9] 08 07 截面距离：180m	
33	34	iRWS[0] C5 00 径向风速：1.97m/s	signed 16 bit integer
35	36	iRWS[1] A6 00 径向风速：1.66m/s	
37	38	iRWS[2] B5 00 径向风速：1.81m/s	

39	40	iRWS[3] C5 00 径向风速: 1.97m/s		
41	42	iRWS[4] F2 00 径向风速: 2.42m/s		
43	44	iRWS[5] 97 00 径向风速: 1.51m/s		
45	46	iRWS[6] 97 00 径向风速: 1.51m/s		
47	48	iRWS[7] 88 00 径向风速: 1.36m/s		
49	50	iRWS[8] 88 00 径向风速: 1.36m/s		
51	52	iRWS[9] 88 00 径向风速: 1.36m/s		
53	54	iVeer[0] 06 00 垂直风向变化率: 0.06		signed 16 bit integer
55	56	iVeer[1] F1 FF 垂直风向变化率: -0.15		
57	58	iVeer[2] 23 00 垂直风向变化率: 0.35		
59	60	iVeer[3] 3A 00 垂直风向变化率: 0.58		
61	62	iVeer[4] 3E 00 垂直风向变化率: 0.62		
63	64	iVeer[5] 32 00 垂直风向变化率: 0.50		
65	66	iVeer[6] 35 00 垂直风向变化率: 0.53		
67	68	iVeer[7] 12 00 垂直风向变化率: 0.18		
69	70	iVeer[8] 12 00 垂直风向变化率: 0.18		
71	72	iVeer[9] 12 00 垂直风向变化率: 0.18		
73	74	iRAWS[0] BC 00 轴线投影平均风速: 1.88	signed 16 bit integer	
75	76	iRAWS[1] D8 00 轴线投影平均风速: 2.16		
77	78	iRAWS[2] E4 00 轴线投影平均风速: 2.28		
79	80	iRAWS[3] E8 00 轴线投影平均风速: 2.32		
81	82	iRAWS[4] E4 00 轴线投影平均风速: 2.28		
83	84	iRAWS[5] B0 00 轴线投影平均风速: 1.76		
85	86	iRAWS[6] B0 00 轴线投影平均风速: 1.76		
87	88	iRAWS[7] AC 00 轴线投影平均风速: 1.72		
89	90	iRAWS[8] AC 00 轴线投影平均风速: 1.72		
91	92	iRAWS[9] AC 00 轴线投影平均风速: 1.72		
93	94	iTI[0] 21 00 湍流强度: 0.33	signed 16 bit integer	
95	96	iTI[1] 1D 00 湍流强度: 0.29		
97	98	iTI[2] 11 00 湍流强度: 0.17		
99	100	iTI[3] 0C 00 湍流强度: 0.12		
101	102	iTI[4] 11 00 湍流强度: 0.17		
103	104	iTI[5] 14 00 湍流强度: 0.20		
105	106	iTI[6] 14 00 湍流强度: 0.20		
107	108	iTI[7] 14 00 湍流强度: 0.20		
109	110	iTI[8] D6 00 湍流强度: 2.14		

111	112	iTI[9] F9 00 湍流强度: 2.49	
113	114	iHWSHub[0] 28 01 轮毂高度处水平风速: 2.96	unsigned 16 bit integer
115	116	iHWSHub[1] EE 00 轮毂高度处水平风速: 2.38	
117	118	iHWSHub[2] E4 00 轮毂高度处水平风速: 2.28	
119	120	iHWSHub[3] C0 00 轮毂高度处水平风速: 1.92	
121	122	iHWSHub[4] C9 00 轮毂高度处水平风速: 2.01	
123	124	iHWSHub[5] B2 00 轮毂高度处水平风速: 1.78	
125	126	iHWSHub[6] B2 00 轮毂高度处水平风速: 1.78	
127	128	iHWSHub[7] B2 00 轮毂高度处水平风速: 1.78	
129	130	iHWSHub[8] 1D 00 轮毂高度处水平风速: 0.29	
131	132	iHWSHub[9] 36 00 轮毂高度处水平风速: 0.54	
133	134	iDirectionhub[0] 39 00 轮毂高度处风向: 0.57	
135	136	iDirectionhub[1] 27 00 轮毂高度处风向: 0.39	
137	138	iDirectionhub[2] 0F 00 轮毂高度处风向: 0.15	
139	140	iDirectionhub[3] 07 00 轮毂高度处风向: 0.07	
141	142	iDirectionhub[4] 0A 00 轮毂高度处风向: 0.10	
143	144	iDirectionhub[5] 0F 00 轮毂高度处风向: 0.15	
145	146	iDirectionhub[6] 40 00 轮毂高度处风向: 0.64	
147	148	iDirectionhub[7] 1F 00 轮毂高度处风向: 0.31	
149	150	iDirectionhub[8] 01 00 轮毂高度处风向: 0.01	
151	152	iDirectionhub[9] FD FF 轮毂高度处风向: -0.03	
153	154	iVshear[0] E8 FF 垂直风切变: -0.24	signed 16 bit integer
155	156	iVshear[1] 0F 00 垂直风切变: 0.15	
157	158	iVshear[2] 1F 00 垂直风切变: 0.31	
159	160	iVshear[3] 00 00 垂直风切变: 0.00	
161	162	iVshear[4] 00 00 垂直风切变: 0.00	
163	164	iVshear[5] 00 00 垂直风切变: 0.00	
165	166	iVshear[6] 01 00 垂直风切变: 0.01	
167	168	iVshear[7] 00 00 垂直风切变: 0.00	
169	170	iVshear[8] 00 00 垂直风切变: 0.00	
171	172	iVshear[9] 00 00 垂直风切变: 0.00	
173	174	iHshear[0] 00 00 水平风切变: 0.00	signed 16 bit integer
175	176	iHshear[1] 00 00 水平风切变: 0.00	
177	178	iHshear[2] 00 00 水平风切变: 0.00	

179	180	iHshear[3] 00 00 水平风切变: 0.00		
181	182	iHshear[4] 00 00 水平风切变: 0.00		
183	184	iHshear[5] 00 00 水平风切变: 0.00		
185	186	iHshear[6] 01 01 水平风切变: 2.57		
187	188	iHshear[7] 01 01 水平风切变: 2.57		
189	190	iHshear[8] 01 01 水平风切变: 2.57		
191	192	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
193	194	iCNR[0] 00 00 信噪比: 0.00		signed 16 bit integer
195	196	iCNR[1] 00 00 信噪比: 0.00		
197	198	iCNR[2] 00 00 信噪比: 0.00		
199	200	iCNR[3] 00 00 信噪比: 0.00		
201	202	iCNR[4] 00 00 信噪比: 0.00		
203	204	iCNR[5] 00 00 信噪比: 0.00		
205	206	iCNR[6] 01 01 信噪比: 2.57		
207	208	iCNR[7] 01 01 信噪比: 2.57		
209	210	iCNR[8] 01 01 信噪比: 2.57		
211	212	iCNR[9] 01 01 信噪比: 2.57		
213	214	iRWSstatus 01 01 视向风速状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
215	216	iRAWSstatus 01 01 轴线投影风速状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
217	218	iTistatus 01 01 湍流强度标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
219	220	iHWSHubstatus 01 01 轮毂高度处水平风速状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
221	222	iDirHubstatus 01 01 轮毂高度处水平风向状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
223	224	iLidarFault 00 00 雷达状态 0	unsigned 16 bit integer	

附件 F Canopen 通信使用说明

一、硬件接线

CANOPEN 采用标准 CANOPEN 线缆通信，外部通过标准 CANOPEN 通信线缆并通过标准 CANOPEN 接插件接入雷达 PU。

二、通信

雷达 CANOPEN 地址出厂默认为 22.暂不支持动态修改地址，需要变更地址，请联系我们。

雷达 CANOPEN 通信波特率出厂默认为 500K.暂不支持动态修改波特率，需要变更通信波特率，请联系我们。

通过导入我们提供的 EDS 文件，即可实现 CANOPEN 通信，具体通信内容见下表。

表 29 Canopen 内容寄存器内容协议

TxPDO 字节变量		描述 (以下值为举例)	DATA TYPE
TxPDO1_Lidar_ID_0	TxPDO1_Lidar_ID_1	Lidar ID 02 00 固定值 2	unsigned 16 bit
TxPDO1_iIndex		iIndex 1F 流水号 (0-255); 当前为 31	unsigned 8 bit integer
TxPDO1_iLOS		iLOS 04 光束编号: 01-04, 当前为 04	unsigned 8 bit integer
TxPDO1_iTimestamp_0	TxPDO1_iTimestamp_3	iTimestamp 7D 5D 1A 03 时间戳	unsigned 32 bit
TxPDO2 iTilt_0	TxPDO2 iTilt_1	iTilt FE 01 系统水平倾角 5.1 度 (系数 0.01)	signed 16 bit integer
TxPDO2 iRoll_0	TxPDO2 iRoll_1	iRoll FC FF -0.04 度 (系数 0.01)	signed 16 bit integer
TxPDO2_iD_0_0	TxPDO2_iD_0_1	iD[0] F4 01 截面距离: 50m (系数 0.1)	signed 16 bit integer
TxPDO2_iD_1_0	TxPDO2_iD_1_1	iD[1] 58 02 截面距离: 60m	
TxPDO3_iD_2_0	TxPDO3_iD_2_1	iD[2] 20 03 截面距离: 80m	
TxPDO3_iD_3_0	TxPDO3_iD_3_1	iD[3] E8 03 截面距离: 120m	
TxPDO3_iD_4_0	TxPDO3_iD_4_1	iD[4] B0 04 截面距离: 140m	
TxPDO3_iD_5_0	TxPDO3_iD_5_1	iD[5] 78 05 截面距离: 140m	
TxPDO4_iD_6_0	TxPDO4_iD_6_1	iD[6] 40 06 截面距离: 160m	
TxPDO4_iD_7_0	TxPDO4_iD_7_1	iD[7] 08 07 截面距离: 180m	
TxPDO4_iD_8_0	TxPDO4_iD_8_1	iD[8] 08 07 截面距离: 180m	
TxPDO4_iD_9_0	TxPDO4_iD_9_1	iD[9] 08 07 截面距离: 180m	
TxPDO5_iRWS_0_0	TxPDO5_iRWS_0_1	iRWS[0] C5 00 径向风速: 1.97m/s	signed 16 bit integer
TxPDO5_iRWS_1_0	TxPDO5_iRWS_1_1	iRWS[1] A6 00 径向风速: 1.66m/s	
TxPDO5_iRWS_2_0	TxPDO5_iRWS_2_1	iRWS[2] B5 00 径向风速: 1.81m/s	
TxPDO5_iRWS_3_0	TxPDO5_iRWS_3_1	iRWS[3] C5 00 径向风速: 1.97m/s	
TxPDO6_iRWS_4_0	TxPDO6_iRWS_4_1	iRWS[4] F2 00 径向风速: 2.42m/s	
TxPDO6_iRWS_5_0	TxPDO6_iRWS_5_1	iRWS[5] 97 00 径向风速: 1.51m/s	

TxPDO6_iRWS_6_0	TxPDO6_iRWS_6_1	iRWS[6] 97 00 径向风速: 1.51m/s		
TxPDO6_iRWS_7_0	TxPDO6_iRWS_7_1	iRWS[7] 88 00 径向风速: 1.36m/s		
TxPDO7_iRWS_8_0	TxPDO7_iRWS_8_1	iRWS[8] 88 00 径向风速: 1.36m/s		
TxPDO7_iRWS_9_0	TxPDO7_iRWS_9_1	iRWS[9] 88 00 径向风速: 1.36m/s		
TxPDO7_iVeer_0_0	TxPDO7_iVeer_0_1	iVeer[0] 06 00 垂直风向变化率: 0.06 (系数 0.01)	signed 16 bit integer	
TxPDO7_iVeer_1_0	TxPDO7_iVeer_1_1	iVeer[1] F1 FF 垂直风向变化率: -0.15		
TxPDO8_iVeer_2_0	TxPDO8_iVeer_2_1	iVeer[2] 23 00 垂直风向变化率: 0.35		
TxPDO8_iVeer_3_0	TxPDO8_iVeer_3_1	iVeer[3] 3A 00 垂直风向变化率: 0.58		
TxPDO8_iVeer_4_0	TxPDO8_iVeer_4_1	iVeer[4] 3E 00 垂直风向变化率: 0.62		
TxPDO8_iVeer_5_0	TxPDO8_iVeer_5_1	iVeer[5] 32 00 垂直风向变化率: 0.50		
TxPDO9_iVeer_6_0	TxPDO9_iVeer_6_1	iVeer[6] 35 00 垂直风向变化率: 0.53		
TxPDO9_iVeer_7_0	TxPDO9_iVeer_7_1	iVeer[7] 12 00 垂直风向变化率: 0.18		
TxPDO9_iVeer_8_0	TxPDO9_iVeer_8_1	iVeer[8] 12 00 垂直风向变化率: 0.18		
TxPDO9_iVeer_9_0	TxPDO9_iVeer_9_1	iVeer[9] 12 00 垂直风向变化率: 0.18		
TxPDO10_iRAWS_0_0	TxPDO10_iRAWS_0_1	iRAWS[0] BC 00 轴线投影平均风速: 1.88 (系数 0.01)		signed 16 bit integer
TxPDO10_iRAWS_1_0	TxPDO10_iRAWS_1_1	iRAWS[1] D8 00 轴线投影平均风速: 2.16		
TxPDO10_iRAWS_2_0	TxPDO10_iRAWS_2_1	iRAWS[2] E4 00 轴线投影平均风速: 2.28		
TxPDO10_iRAWS_3_0	TxPDO10_iRAWS_3_1	iRAWS[3] E8 00 轴线投影平均风速: 2.32		
TxPDO11_iRAWS_4_0	TxPDO11_iRAWS_4_1	iRAWS[4] E4 00 轴线投影平均风速: 2.28		
TxPDO11_iRAWS_5_0	TxPDO11_iRAWS_5_1	iRAWS[5] B0 00 轴线投影平均风速: 1.76		
TxPDO11_iRAWS_6_0	TxPDO11_iRAWS_6_1	iRAWS[6] B0 00 轴线投影平均风速: 1.76		
TxPDO11_iRAWS_7_0	TxPDO11_iRAWS_7_1	iRAWS[7] AC 00 轴线投影平均风速: 1.72		
TxPDO12_iRAWS_8_0	TxPDO12_iRAWS_8_1	iRAWS[8] AC 00 轴线投影平均风速: 1.72		
TxPDO12_iRAWS_9_0	TxPDO12_iRAWS_9_1	iRAWS[9] AC 00 轴线投影平均风速: 1.72		
TxPDO12_iTi_0_0	TxPDO12_iTi_0_1	iTi[0] 21 00 湍流强度: 0.33 (系数 0.01)	signed 16 bit integer	
TxPDO12_iTi_1_0	TxPDO12_iTi_1_1	iTi[1] 1D 00 湍流强度: 0.29		
TxPDO13_iTi_2_0	TxPDO13_iTi_2_1	iTi[2] 11 00 湍流强度: 0.17		
TxPDO13_iTi_3_0	TxPDO13_iTi_3_1	iTi[3] 0C 00 湍流强度: 0.12		
TxPDO13_iTi_4_0	TxPDO13_iTi_4_1	iTi[4] 11 00 湍流强度: 0.17		
TxPDO13_iTi_5_0	TxPDO13_iTi_5_1	iTi[5] 14 00 湍流强度: 0.20		
TxPDO14_iTi_6_0	TxPDO14_iTi_6_1	iTi[6] 14 00 湍流强度: 0.20		
TxPDO14_iTi_7_0	TxPDO14_iTi_7_1	iTi[7] 14 00 湍流强度: 0.20		
TxPDO14_iTi_8_0	TxPDO14_iTi_8_1	iTi[8] D6 00 湍流强度: 2.14		
TxPDO14_iTi_9_0	TxPDO14_iTi_9_1	iTi[9] F9 00 湍流强度: 2.49		
TxPDO15_iHWSHub_0_0	TxPDO15_iHWSHub_0_1	iHWSHub[0] 28 01 轮毂高度处水平风速: 2.96 (系数 0.01)	unsigned 16 bit integer	

TxPDO15_iHWSHub_1_0	TxPDO15_iHWSHub_1_1	iHWSHub[1] EE 00 轮毂高度处水平风速: 2.38	
TxPDO15_iHWSHub_2_0	TxPDO15_iHWSHub_2_1	iHWSHub[2] E4 00 轮毂高度处水平风速: 2.28	
TxPDO15_iHWSHub_3_0	TxPDO15_iHWSHub_3_1	iHWSHub[3] C0 00 轮毂高度处水平风速: 1.92	
TxPDO16_iHWSHub_4_0	TxPDO16_iHWSHub_4_1	iHWSHub[4] C9 00 轮毂高度处水平风速: 2.01	
TxPDO16_iHWSHub_5_0	TxPDO16_iHWSHub_5_1	iHWSHub[5] B2 00 轮毂高度处水平风速: 1.78	
TxPDO16_iHWSHub_6_0	TxPDO16_iHWSHub_6_1	iHWSHub[6] B2 00 轮毂高度处水平风速: 1.78	
TxPDO16_iHWSHub_7_0	TxPDO16_iHWSHub_7_1	iHWSHub[7] B2 00 轮毂高度处水平风速: 1.78	
TxPDO17_iHWSHub_8_0	TxPDO17_iHWSHub_8_1	iHWSHub[8] 1D 00 轮毂高度处水平风速: 0.29	
TxPDO17_iHWSHub_9_0	TxPDO17_iHWSHub_9_1	iHWSHub[9] 36 00 轮毂高度处水平风速: 0.54	
TxPDO17_iDirectionhub0_0	TxPDO17_iDirectionhub0_1	iDirectionhub[0] 39 00 轮毂高度处风向: 0.57 (系数 0.01)	signed 16 bit integer
TxPDO17_iDirectionhub1_0	TxPDO17_iDirectionhub1_1	iDirectionhub[1] 27 00 轮毂高度处风向: 0.39	
TxPDO18_iDirectionhub2_0	TxPDO18_iDirectionhub2_1	iDirectionhub[2] 0F 00 轮毂高度处风向: 0.15	
TxPDO18_iDirectionhub3_0	TxPDO18_iDirectionhub3_1	iDirectionhub[3] 07 00 轮毂高度处风向: 0.07	
TxPDO18_iDirectionhub4_0	TxPDO18_iDirectionhub4_1	iDirectionhub[4] 0A 00 轮毂高度处风向: 0.10	
TxPDO18_iDirectionhub5_0	TxPDO18_iDirectionhub5_1	iDirectionhub[5] 0F 00 轮毂高度处风向: 0.15	
TxPDO19_iDirectionhub6_0	TxPDO19_iDirectionhub6_1	iDirectionhub[6] 40 00 轮毂高度处风向: 0.64	
TxPDO19_iDirectionhub7_0	TxPDO19_iDirectionhub7_1	iDirectionhub[7] 1F 00 轮毂高度处风向: 0.31	
TxPDO19_iDirectionhub8_0	TxPDO19_iDirectionhub8_1	iDirectionhub[8] 01 00 轮毂高度处风向: 0.01	
TxPDO19_iDirectionhub9_0	TxPDO19_iDirectionhub9_1	iDirectionhub[9] FD FF 轮毂高度处风向: -0.03	
TxPDO20_iVshear0_0	TxPDO20_iVshear0_1	iVshear[0] E8 FF 垂直风切变: -0.24 (系数 0.01)	signed 16 bit integer
TxPDO20_iVshear1_0	TxPDO20_iVshear1_1	iVshear[1] 0F 00 垂直风切变: 0.15	
TxPDO20_iVshear2_0	TxPDO20_iVshear2_1	iVshear[2] 1F 00 垂直风切变: 0.31	
TxPDO20_iVshear3_0	TxPDO20_iVshear3_1	iVshear[3] 00 00 垂直风切变: 0.00	
TxPDO21_iVshear4_0	TxPDO21_iVshear4_1	iVshear[4] 00 00 垂直风切变: 0.00	
TxPDO21_iVshear5_0	TxPDO21_iVshear5_1	iVshear[5] 00 00 垂直风切变: 0.00	
TxPDO21_iVshear6_0	TxPDO21_iVshear6_1	iVshear[6] 01 00 垂直风切变: 0.01	
TxPDO21_iVshear7_0	TxPDO21_iVshear7_1	iVshear[7] 00 00 垂直风切变: 0.00	
TxPDO22_iVshear8_0	TxPDO22_iVshear8_1	iVshear[8] 00 00 垂直风切变: 0.00	
TxPDO22_iVshear9_0	TxPDO22_iVshear9_1	iVshear[9] 00 00 垂直风切变: 0.00	
TxPDO22_iHshear0_0	TxPDO22_iHshear0_1	iHshear[0] 00 00 水平风切变: 0.00 (系数 0.01)	signed 16 bit integer
TxPDO22_iHshear1_0	TxPDO22_iHshear1_1	iHshear[1] 00 00 水平风切变: 0.00	
TxPDO23_iHshear2_0	TxPDO23_iHshear2_1	iHshear[2] 00 00 水平风切变: 0.00	
TxPDO23_iHshear3_0	TxPDO23_iHshear3_1	iHshear[3] 00 00 水平风切变: 0.00	
TxPDO23_iHshear4_0	TxPDO23_iHshear4_1	iHshear[4] 00 00 水平风切变: 0.00	
TxPDO23_iHshear5_0	TxPDO23_iHshear5_1	iHshear[5] 00 00 水平风切变: 0.00	

TxPDO24_iHshear6_0	TxPDO24_iHshear6_1	iHshear[6] 01 01 水平风切变: 2.57		
TxPDO24_iHshear7_0	TxPDO24_iHshear7_1	iHshear[7] 01 01 水平风切变: 2.57		
TxPDO24_iHshear8_0	TxPDO24_iHshear8_1	iHshear[8] 01 01 水平风切变: 2.57		
TxPDO24_iHshear9_0	TxPDO24_iHshear9_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO25_iCNR0_0	TPDO25_iCNR0_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57	signed 16 bit integer	
TPDO25_iCNR1_0	TPDO25_iCNR1_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO25_iCNR2_0	TPDO25_iCNR2_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO25_iCNR3_0	TPDO25_iCNR3_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO26_iCNR4_0	TPDO26_iCNR4_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO26_iCNR5_0	TPDO26_iCNR5_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO26_iCNR6_0	TPDO26_iCNR6_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO26_iCNR7_0	TPDO26_iCNR7_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO27_iCNR8_0	TPDO27_iCNR8_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO27_iCNR9_0	TPDO27_iCNR9_1	iHshear[9] 01 01 水平风切变: 2.57		
TPDO27_iRWSstatus_0	TPDO27_iRWSstatus_1	iRWSstatus 01 01 视向风速状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)		unsigned 16 bit integer
TxPDO27_iRAWSstatus_0	TxPDO27_iRAWSstatus_1	iRAWSstatus 01 01 轴线投影风速状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)		unsigned 16 bit integer
TxPDO28_iTistatus 0	TxPDO28_iTistatus 1	iTistatus 01 01 湍流强度标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
TxPDO28_iHWSHubstatus 0	TxPDO28_iHWSHubstatus 1	iHWSHubstatus 01 01 轮毂高度处水平风速状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
TxPDO28_iDirHubstatus0	TxPDO28_iDirHubstatus1	iDirHubstatus 01 01 轮毂高度处水平风向状态标识: (截面距离 0 与截面距离 8 的状态标识为 1)	unsigned 16 bit integer	
TxPDO28_iLidarFault_0	TxPDO28_iLidarFault_1	iLidarFault 00 00 雷达状态 0	unsigned 16 bit integer	

附件 G Modbus-TCP 通信使用说明

一、硬件接线

Modbus-TCP 通过网线连接雷达数存单元上面的 RJ45 连接器。

二、通信

1、规约

Modbus-TCP 模式	
Modbus 规约模式	Modbus-TCP
网络地址	根据用户需求进行修改
网络端口	502
从站 ID	1
MODBUS 功能码	功能码 03H: 读取保持寄存器
数据类型	整形

2、数据点表

表 28 Modbus-TCP 数据点表

名称	寄存器地址(起始)	寄存器数量	精度	单位	数据类型	备注
LidarID	0	1	1		Unsigned 16 bit integer	雷达标识 (默认为 2)
iIndex	1	1	1		Unsigned 16 bit integer	数据 index, 每秒递增 1, 范围 0-255
iTimestamp	2	2	1	ms	Unsigned 32 bit integer	从当天 0 点开始到现在的毫秒数
iTilt	4	1	0.01	°	Signed 16 bit integer	水平仪-俯仰角
iRoll	5	1	0.01	°	Signed 16 bit integer	水平仪-横滚角
iD	6	10	0.1	m	Unsigned 16 bit integer	X 轴测量距离
iRWS	16	10	0.01	m/s	Signed 16 bit integer	视线风速
iVeer	26	10	0.01	radian/m	Signed 16 bit integer	垂直风向变化率
iRAWS	36	10	0.01	m/s	Signed 16 bit integer	轴向投影风速
iT	46	10	0.01		Signed 16 bit integer	湍流强度
iHWSHub	56	10	0.01	m/s	Signed 16 bit integer	轮毂高度处风速
iDirectionHub	66	10	0.01	radian	Signed 16 bit integer	轮毂高度处风向
iVsheer	76	10	0.01	m/s	Signed 16 bit integer	垂直风切变
iHsheer	86	10	0.01	m/s	Signed 16 bit integer	水平风切变
iCNR	96	10	0.01	db	Signed 16 bit integer	载噪比
iRWSstatus	106	1	1		Unsigned 16 bit integer	视线风速-标志位 (UInt16 的前 10 位 bit 为有效标识, 0 为无效, 1 为有效)

iRAWSstatus	107	1	1		Unsigned 16 bit integer	轴向投影风速-标志位 (UInt16的前10位bit为有效标识, 0为无效, 1为有效)	
iTlstatus	108	1	1		Unsigned 16 bit integer	湍流强度-标志位 (UInt16的前10位bit为有效标识, 0为无效, 1为有效)	
iHWSHubstatus	109	1	1		Unsigned 16 bit integer	轮毂高度处风速-标志位 (UInt16的前10位bit为有效标识, 0为无效, 1为有效)	
iDirHubstatus	110	1	1		Unsigned 16 bit integer	轮毂高度处风向-标志位 (UInt16的前10位bit为有效标识, 0为无效, 1为有效)	
iLOS	111	1	1		Unsigned 16 bit integer	雷达光束编号 (1-4)	
iLidarFault	112	1	1		Unsigned 16 bit integer	Bit0	数据有效标志位, 1异常, 0正常,下同
						Bit1	Bit1:雷达处于初始化过程中, 1处于初始化, 0正常。
						Bit2	OH-PU通信异常
						Bit3	OH湿度异常
						Bit4	OH温度异常
						Bit5	缺省
						Bit6	风扇异常
						Bit7	散热异常
						Bit8	激光器异常
						Bit9	雷达主控制器异常
						Bit10	PU异常
						Bit11	NTP同步异常
						Bit12	数据存储异常
						Bit13	姿态异常
						Bit14	信噪比长期异常
						Bit15	其他异常

附件 H 产品手册电子版下载链接

《Molas NL200-V6（6.1-W）机舱测风激光雷达产品手册》电子版下载链接：

<https://www.movelaser.com/Public/Frontend/images/NL6.1-WchanpinSC.pdf>



附件 I 安装指导视频下载链接

《Molas NL200-V6 机舱测风激光雷达安装指导视频》下载链接：

<https://www.movelaser.com/Public/NL6anzhuangSP.zip>



以科技诠释品质

以价值超越期望



MOVELASER



南京牧镭激光科技股份有限公司
NANJING MOVELASER CO.,LTD.

电话: 025-86800600

邮箱: info@movelaser.com

网址: www.movelaser.com

地址: 南京市栖霞区科创路红枫科技园B2栋