

# MolasCL 激光净空监测雷达

## 使用手册 V2.0



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

# 目录

前 言 .....	3
1 安全信息.....	4
1.1 用户须知.....	4
1.2 设备标识.....	4
1.3 激光器安全等级.....	4
2 产品介绍.....	5
2.1 概述.....	5
2.2 净空测量方式.....	5
2.3 系统组成.....	6
2.4 指标参数.....	6
2.4.1 技术参数.....	6
2.4.2 一些几何关系.....	7
2.4.3 整机尺寸图.....	9
2.5 接口.....	9
2.5.1 机械接口.....	9
2.5.2 电气接口.....	10
2.5.3 连接线缆.....	11
2.6 装箱清单.....	13
2.7 开箱及检查.....	14
3 产品安装与应用.....	15
3.1 雷达安装标定流程.....	15
3.2 安装检查.....	15
3.3 安装工具.....	15
3.3.1 劳动防护用品.....	15
3.3.2 安装工具.....	15
3.3.3 标定工具.....	17
3.3.4 耗材.....	18
3.4 安装作业.....	18
3.4.1 机舱主轴标定.....	18
3.4.2 安装位置及开孔.....	20
3.4.3 激光净空雷达安装.....	23
3.4.4 标定作业.....	23
3.4.5 布线.....	28
3.4.6 激光净空雷达调试.....	30
3.5 雷达数据应用.....	31
3.5.1 数据构成.....	31
3.5.2 DP 数据.....	32
3.5.3 净空估算方法.....	33
3.5.4 数据有效性及有效标志位.....	33
3.5.5 系统状态字.....	34
4 常见故障排查及保养维护.....	35

4.1.1	常见故障排查及解决方案.....	35
4.1.2	保养策略.....	35
附录 A	激光净空雷达系统现场安装标定调试记录表.....	36

## 前 言

本文件参照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本文件由南京牧镭激光科技有限公司（以下简称“南京牧镭”）统一归口管理。

本文件由南京牧镭激光科技有限公司技术中心负责起草。

本文件主要起草人：黄红亮。

本文件代替标准的历次版本发布情况：

版 本	发 布 时 间	修 订 人
V1.0	2020.10.23	陈帅
V1.1	2021.5.10	陈帅
V1.2	2021.12.7	黄红亮
V2.0	2022.9.3	黄红亮

# 1 安全信息

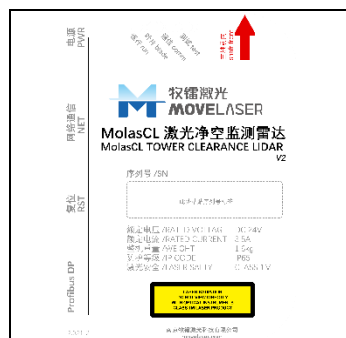
感谢您选择牧镭激光公司 Molas CL 激光净空监测雷达系统，本用户手册为您提供了重要的安全、维护、操作及其他方面的信息。故在使用该产品之前，请务必先仔细阅读本用户手册。为了确保操作安全及设备的正常运行，请遵守以下注意和警告事项以及该手册中的其他信息。

## 1.1 用户须知

- 1) 如遇紧急情况（如洪水、火灾等），请直接拔掉设备电源，并妥善安置设备；
- 2) 未按照本用户使用手册使用而导致 Molas CL 激光净空监测雷达系统的损坏，不在本公司的保修范围之内；
- 3) 本公司提供的 Molas CL 激光净空监测雷达系统仅供用于合法科学的测量用途；
- 4) 使用设备前，需知道设备的主要特征及操作。

## 1.2 设备标识

表格 1-1 设备标识

 <p>电源 PWR 网络 NET 激光 LASER Profibus DP</p> <p><b>牧镭激光 MOVELASER</b> <b>MolasCL 激光净空监测雷达</b> MolasCL TOWER CLEARANCE LIDAR V2</p> <p>序列号/SN 请向制造商索取</p> <p>额定电压 24V AC 15VA 10A 100V 额定电流 1.5A 防护等级 IP65 激光等级 1M 额定重量 10.5kg</p>	<p><b>产品铭牌：</b> 包含产品名称、型号、供电要求、重量、防护等级、激光等级及产品编号的信息</p>
--	---

## 1.3 激光器安全等级

Molas CL 激光净空监测雷达系统使用的激光光源符合 EN 60825-1 规范中人眼安全标准，Molas CL 激光净空监测雷达系统发射的光束属于红外肉眼不可见光，属于 1M 类激光产品，请勿使用光学仪器直接观看。

## 2 产品介绍

### 2.1 概述

风力发电机组塔架净空为机组叶片的叶尖与叶尖高度处塔筒壁的最近距离。随着风机技术的发展及能效要求的提高，风机叶片越来越长、越来越柔，同时由于风机机位点地理环境复杂、风况复杂或因寒流、台风等复杂气象条件等因素，风机桨叶存在扫塔风险，发生扫塔后轻则更换叶片、重则导致整个机组报废，将带来巨大的经济财产损失。

MolasCL 激光净空监测雷达为一种实时监测叶尖净空距离的激光雷达，当监测到叶片净空值接近规定的最小净空值时，风机机组主控可立即采取保护性措施，如减速、收桨等。净空雷达在存量机组上应用可起到预防扫塔、解除危险机组功率限制进而提高发电量的作用，在未来机组上应用可起到降低叶片成本、降低机组设计压力的作用。

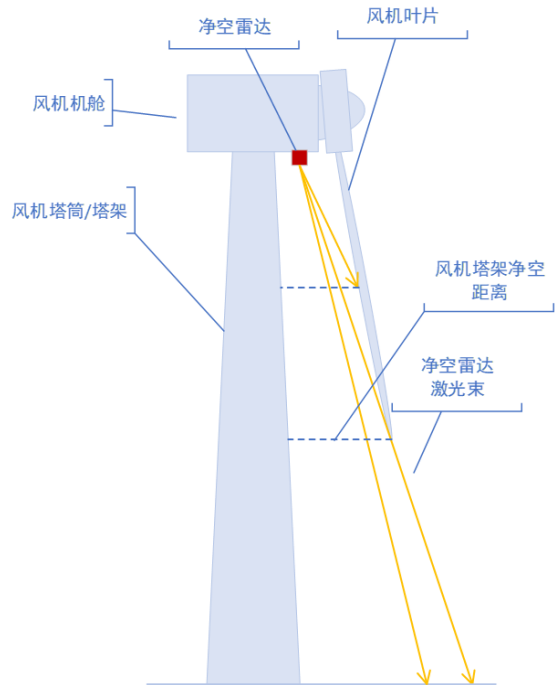


图 2-1 工作原理图

为了适应风机塔架净空监测的专用需求，提高在此特定应用领域的实用性、数据可靠性及环境适应性，MolasCL 配备三光束测距及一套专用算法，包含强光（太阳光）干扰滤除、雨雪沙尘干扰滤除、团雾干扰识别及浓雾识别等功能，结合 MolasCL 激光脉冲高重频优势及其高性能计算平台大流量数据处理的优势，可大大提高数据有效率、降低虚警率并保持高实时性，有助于风机主控迅速反应并避免因虚警而影响发电量，使之相较于普通测距雷达有着无法比拟的优势。

### 2.2 净空测量方式

从净空测量范围上分类，可分为小范围净空测量（如 0-8 米净空范围）及大范围净空测量（如 0-20 米），小范围净空测量用于净空预警

MolasCL 仅可用于机舱安装的净空测量情形，可安装于风机机舱罩内部、下方的任意位置，通过开孔的方式使激光束穿出机舱罩，亦可安装于机舱罩外部。通过标定过程使雷达激光束向叶轮面方向形成一个倾角，使得激光束在叶轮最低处（叶尖高度处）位于想要监控的净空位点，当叶片运转、向塔筒侧弯折、触及光束时，雷达即可测得叶片与之径向距离，通过一定的反演算法即可计算出净空值。

## 2.3 系统组成

MolasCL 采用 dToF（直接飞行时间）测距方式实现激光测距，即发射超短激光脉冲，脉冲光发出后遇到物体产生后向散射的回光，回光被雷达探测到后，即可由计时器（TDC，时间转换芯片）得到发射激光脉冲与接收回光脉冲直接的时间间隔  $t$ ，由于空间中光速  $c$  恒定，即可由此计算出物体距离  $d$ 。每产生一次光脉冲，即可得到一个测量结果。

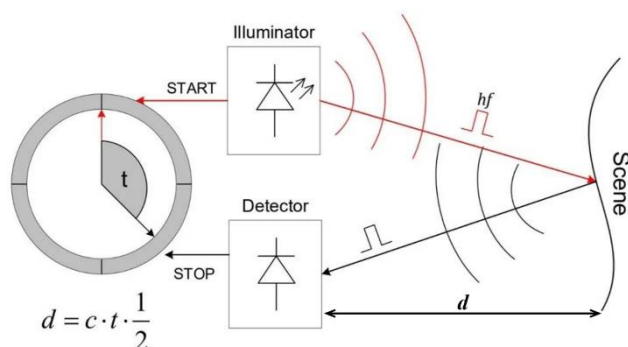


图 2-2 测距原理图

MolasCL 每个光通道的激光脉冲具有 20kHz 的高重频，因此每秒有 2 万个测距数据，三个光通道每秒可产生 6 万个测距数据，测距数据传递给主控的实时处理器，处理器中的处理算法将强光干扰滤除、雨雪沙尘团雾干扰滤除，并且进行叶片数据识别、能见度判别，然后将叶片的测量数据传给数据接口，数据接口根据通信协议及现场总线的要求将数据通过现场总线接口发送给风机主控。

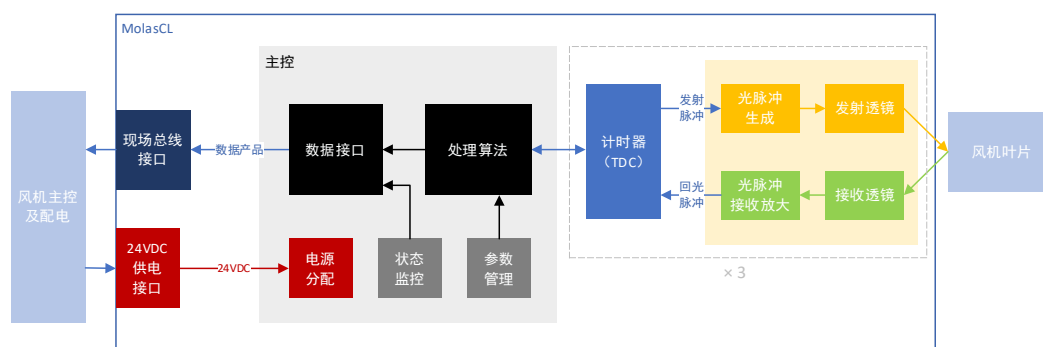


图 2-3 系统组成示意

## 2.4 指标参数

### 2.4.1 技术参数

表格 2-1 技术参数

序号	功能或指标名称	功能或指标内容
1.	产品型号	Molas CL200/Molas CL300
2.	测距指标	
2.1.	测距方式	ToF
2.2.	探测距离	200m@90%反射率/300m@90%反射率
2.3.	盲区	无要求
2.4.	距离分辨率	≤0.1m
2.5.	测量精度	±0.2m

2.6.	重复测量精度	±0.2m
2.7.	抗环境光能力	100Klux
3.	<b>光学指标</b>	
3.1.	波长	905nm
3.2.	重复频率	每个通道 20KHz
3.3.	激光安全等级	Class 1M
4.	<b>光束指向</b>	
4.1.	光束 1	0°
4.2.	光束 2	2.05° ±0.2°
4.3.	光束 3	4.09° ±0.2°
5.	<b>输出测量结果</b>	
5.1.	实时数据产品	设备 ID, 直接测量距离, 回光强度, 数据有效标志, 系统状态
5.2.	现场总线	Profibus DP / Modbus RTU / CANopen
6.	<b>环境适应性</b>	
6.1.	工作温度范围	-40℃~+60℃
6.2.	生存温度范围	-45℃~+65℃
6.3.	工作湿度范围	0%~100% RH
6.4.	外壳防护等级	<b>ISO C3/ISO C5 (海上版)</b>
6.5.	特殊天气	在露、霜、冰条件下能正常工作
6.6.	工作加速度范围	-0.5g ~ 0.5g
6.7.	电磁兼容性	GB/T 17626.2-2018、 GB-T17626.6-2017、 GB/T 17626.4-2018、 GB/T 17626.3-2016、 GB/T 17626.5-2019
7.	<b>其他</b>	
7.1.	运行功耗	60W 以内
7.2.	供电电压及最大电流	DC 24V, 3A
7.3.	尺寸	<b>200×160×250mm(不含安装支架)</b> <b>220×416×10mm(安装支架)</b>
7.4.	重量	≤2 kg (主机重量) ≤10kg (主机及线缆重量, 具体依线缆长度而定)

## 2.4.2 一些几何关系

### 2.4.2.1 雷达光束角度关系

雷达共有 3 个光束, 分别标记为光束 1 (S1)、光束 2 (S2)、光束 3 (S3)。

S1 与发射窗口面垂直, S1 与 S2 夹角 $\theta_{12}$ 为 2.05°, S1 与 S3 夹角 $\theta_{13}$ 为 4.09°, 夹角误差±0.2°。

雷达具有姿态调整地脚, 可以在一定范围内调节指向、横滚、俯仰, 调节量分别为±10°、±7.5°、±7.5°。安装时通过调节雷达姿态, 使雷达有一定仰角, 并使雷达光束 1、2、3



所在的面与叶轮面垂直，这样光束 1 指向特定的角度，从而可以使 3 个光束分别测量不同净空距离内的叶片。

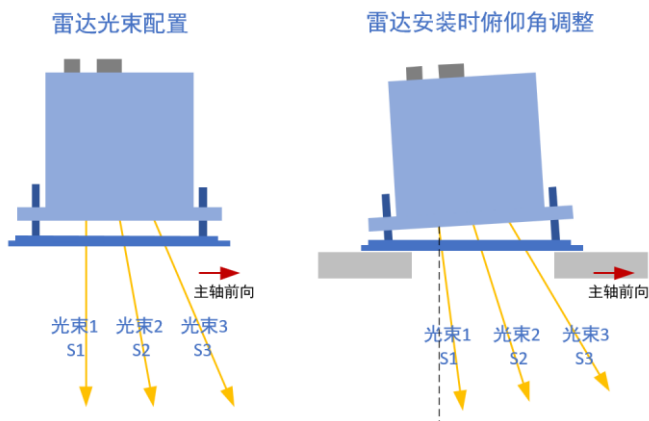


图 2-4 雷达内部光束示意

### 2.4.2.2 雷达俯仰角计算

如图所示，红色方块为雷达安装位置，为突出雷达显示采用了红色方块，但实际上雷达安装于机舱底部，激光窗口可认为与机舱底部在同一平面上。

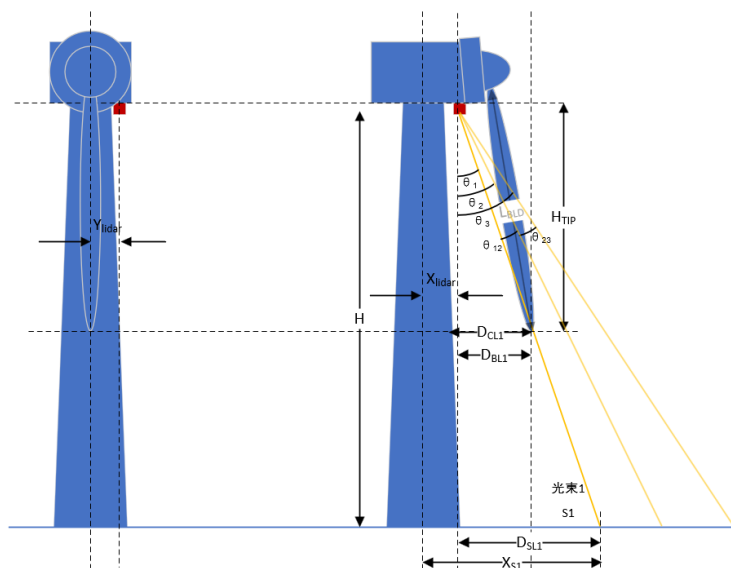


图 2-5 雷达光束俯仰角示意

- $H$  —— 塔底与雷达安装面的高度
- $H_{TIP}$  —— 叶尖距雷达安装面高度
- $D_{CL1}$  —— 光束 1 标示的净空值（即叶尖触发光束 1 时叶尖与塔筒在水平方向的距离）
- $R_{TIP}$  —— 叶尖处塔筒半径（近似估计），为计算值。
- $X_{Lidar}$  —— 雷达与塔心在主轴方向的距离

通过将叶片简化为直线的模型，进行几何关系计算，可得到如下关系式：  
光束 1 角度（雷达倾角）的**计算值**：

$$\theta_1 = \arctan \frac{D_{CL1} + R_{TIP} - X_{liadr}}{H_{TIP}}$$

同时可得出  $\theta_2$ 、 $\theta_3$  的角度

$$\theta_2 = \theta_1 + 2.05^\circ$$

$$\theta_3 = \theta_1 + 4.09^\circ$$

注意，此时计算得到的值为理想值，实际安装时以地面标定结果得到的值作为实际值。

### 2.4.3 整机尺寸图

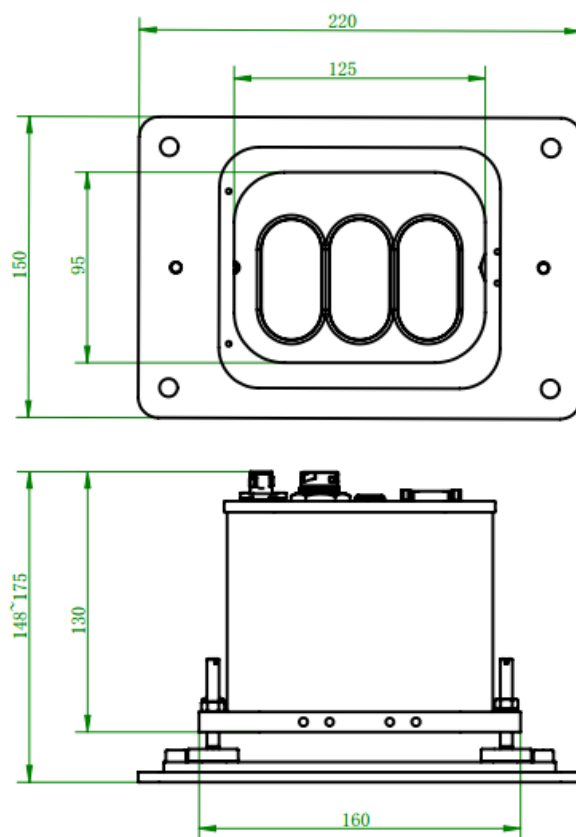


图 2-6 外形尺寸图

## 2.5 接口

### 2.5.1 机械接口

MolasCL 通常安装于机舱前方左侧（向轮毂或整流罩方向看去），通过将机舱开孔，将雷达窗口对准开孔，向下探测风机叶片。开孔为矩形，尺寸 140mm（与主轴平行方向） $\times$  120mm，如下图所示对应尺寸的矩形区域。完成开孔后，经过标定过程，采用 4 个 M8 的紧固件将雷达固定在机舱壳体上。

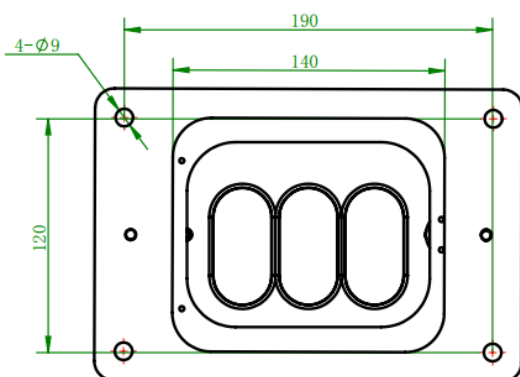


图 2-7 机械接口

MolasCL 配备多个固定孔，可满足不同的固定需求，可采用根据客户需求、风机实际情况适配的安装支架、转接支架进行安装固定，例如客户需要带窗口镜维护手孔，可采用下图安装支架尺寸，连接紧固件为 8 个 M10 的螺钉：

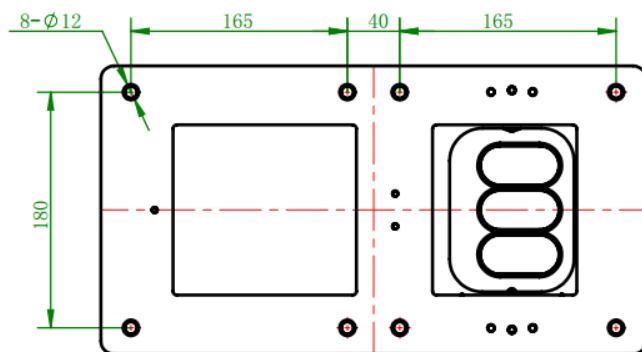


图 2-8 带维护手孔安装支架接口

## 2.5.2 电气接口

Molas CL 电气接口如下图所示



图 2-9 电气接口

关于雷达电气接口的详细说明如下表：

表格 2-2 电气接口说明

序号	标签	名称	功能
1		状态指示灯	显示雷达的工作状态，详见表 2-3
2	电源 PWR	供电接口	用于雷达供电
3	网络通信 NET	网络通信口	用于雷达标定过程的参数下发及后期的后台状态监控、原始数据存储
4	复位 RST	网络 IP 复位按钮	按下 5 秒钟，状态指示灯依次灭掉然后全亮后，表示雷达网络 IP 复位为出厂设置，重启雷达后恢复之前储存的设置
5	Profibus DP 或 CAN	9 芯防水 DB 母头 或 9 芯防水 DB 公头	用于雷达对外通信（Profibus/Modbus RTU） 用于雷达对外 CANopen 通信

雷达的状态指示灯如下图所示：



图 2-10 电气接口

表格 2-3 状态指示灯说明

序号	标签	名称	功能
1	运行 run	系统运行灯	系统灯慢闪代表正常运行，快速闪烁代表硬件异常，不闪烁（常亮或常灭）代表系统死机、发生严重故障或未上电；
2	叶片 blade	叶片有效灯	叶片灯在每检测到一次叶片时亮一次
3	通信 comm	通信状态灯	通讯灯在现场总线（仅支持 Profibus DP 及 CANopen）连接至主站、通讯正常时亮，否则不亮（通常需要主站配置组态后方可建立通讯、灯亮，若不亮不代表线路有问题，也可能为组态未配置）
4	测试 test	测试状态灯	客户正常使用时，此灯不亮。

雷达侧面包含 1 个接地端子，可根据实际情况连接接地线缆。

## 2.5.3 连接线缆

### 2.5.3.1 电源供电线缆

MoLasCL 线缆包含电源线、现场总线通信线以及可选的网络通信线，长度默认为 18m。但根据不同机型的实际布线需求，线缆长度可进行定制。

MolasCL 供电为 24V DC，最大电流 3A。直流电源电压允许偏差-15%~+10%，直流电源电压纹波系数小于 5%。供电线缆末端带有“+24V”“0V”标识，末端连接管型预绝缘端子，线色：棕（24VDC）、白（0VDC）、黄绿（PE），默认线缆外径 5.8±0.5mm。

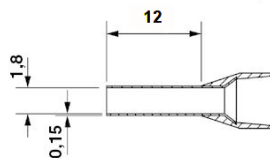


图 2-11 线缆末端端子

### 2.5.3.2 现场总线接口及线缆规格

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。


表格 2-4 线缆及连接器组合

名称	描述	图片
Profibus 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。默认配备 1 个连接器、2 根线缆。	
Profibus 线缆	符合标准的 Profibus 线缆，默认长度 18 米，两端均为自由端。两根线缆不区分。Profibus 线缆外径约 8.5mm。	

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

表格 2-5 CANopen 线缆及连接器组合

名称	描述	图片
----	----	----

CANopen 线缆连接器	<p>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 120 Ω；若设备处于 CANopen 链路中间，将拨码开关拨于 OFF 位置。</p>	
CANopen 线缆	<p>符合标准的 CANopen 总线线缆，默认长度 18 米，线缆两端分别用冷压端子进行压接。</p>	

## 2.6 装箱清单

表格 2-6 装箱清单

序号	名称	型号规格	数量	类别	备注
1	激光净空雷达	Molas CL	1	产品	
2	24VDC 供电线		1	附件	线长可定制
3	通信线		1	附件	线长可定制
4	网线		1	附件	线长可定制
5	机舱接口支架	YDG-04-V1.0	1	附件	
6	内六角圆柱头螺钉	M6*10	2	附件	
7	平垫	M6	2	附件	
8	硅胶罩 1	HLF-11-S1.0	1	附件	
9	防护罩 2	YD-01	1	附件	选配
10	外六角螺栓	M8*35	4	附件	
11	平垫圈	M8	8	附件	
12	六角螺母	M8	4	附件	
13	出厂检验报告		1	文档附件	
14	合格证		1	文档附件	
15	激光净空监测雷达使用手册		1	文档附件	
16	产品装箱单		1	文档附件	

## 2.7 开箱及检查

本公司采用外包装箱及专门设计的泡沫包装来确保设备在运输过程中的安全性。尽管如此，为了防止在运输过程中出现不可预知的情况，用户在开箱前需要仔细检查包装箱是否正确放置，箱体外部有无明显的碰撞、开裂迹象。一旦发现箱体有异常，请及时通知牧镭公司，以便尽早处理。

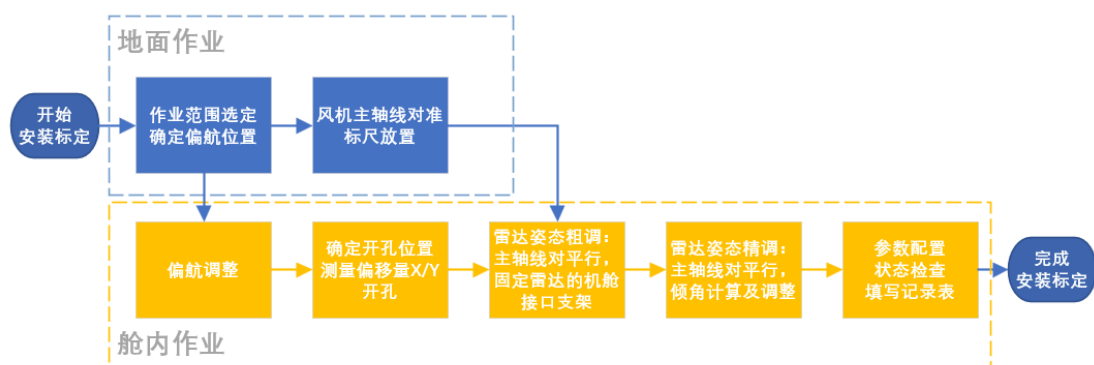
开箱后请检查装箱清单与实际物品是否一致，如有任何疑问请及时与牧镭公司联系。

请在设备使用地开箱取出设备，注意避免对设备造成碰撞和刮伤，特别注意不要刮伤以及硬物撞击设备。

如需更换设备使用地，请将设备用原配包装箱包装好后进行运输或者搬运。

## 3 产品安装与应用

### 3.1 雷达安装标定流程



雷达安装过程的核心为雷达姿态调整，或称雷达标定，标定为了使雷达的光束精确地指向要求的位置，使叶片触及光束时可通过雷达测距值推算出叶尖净空值。若机舱上已预留雷达安装孔或机舱内部可以找到与风机主轴平行的参照物，则无需进行地面作业找风机主轴，可直接进行雷达姿态精调。

### 3.2 安装检查

设备吊装前请确认设备状态是否正常，安装附件是否缺失。

### 3.3 安装工具

#### 3.3.1 劳动防护用品

该作业流程需要的劳动防护用品见下表。

表 3-1 劳动防护用品清单

序号	名称	用途	数量
1	防尘口罩	开孔、打磨防护	4 个/人
2	防尘连体服	开孔、打磨防护	1 套/人
3	护目镜	开孔、打磨防护	1 个/人

#### 3.3.2 安装工具

作业流程需要的安装工具见下表。

表 3-2 安装工具清单

序号	名称	型号/规格	数量	备注	图片
----	----	-------	----	----	----



1	万用表	FLUKE-F15B	1 个	验电	
2	小一字	2mm	1 把	24VDC 供电线、DP 通讯线接线及固定	
3	小十字	5mm	1 把	DP 头接线及固定	
4	大一字	-	1 把	调节激光雷达	
5	内六角	5mm	1 个/套	机舱柜 PE 线固定、激光雷达侧接地线固定、激光净空雷达与机舱接口支架 M6×10 螺栓安装固定	
6	斜口钳	-	1 把	线缆、扎带剪切	
7	开口扳手	10mm	1 把	激光净空雷达标定、固定雷达调节螺柱	
8	活动扳手	0-200mm	1 把	激光雷达接地线机舱侧固定	
9	角磨机+切割片+打磨片	-	1 套	开孔、打磨	
10	电钻+钻头	-	1 套	开孔、打磨	

11	打磨机+圆柱形打磨头	-	1套	开孔、打磨	
12	插线板	5米	1个	供电	
13	记号笔	-	2支	地面、塔上各一个	
14	卷尺	5米	2个	地面、塔上各一个	
15	防坠绳索	-	1个	建议稍硬一点儿的铜线，方便折成U形挂住切割板	
16	对讲机	-	2个	-	
17	吊物袋	-	1个	-	

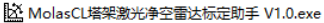
### 3.3.3 标定工具

该作业流程需要的标定工具见下表：

表3-3 标定工具清单

序号	名称		单位	数量	备注
1	笔记本电脑		台	1	-
2	网线		根	1	3m
3	标定工装	倾角仪	套	1	型号：ML-CL-TLL
		USB 数据线缆			机舱标定使用
		开孔标尺			机舱内开孔使用
		直角工装			塔底标定使用
		摄像头工装			

表3-4 标定（调试）软件清单

序号	名称	说明	图示
1	MolasCL 塔架激光净空雷达标定助手	标定作业使用，V1.0版本及以上	

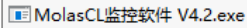
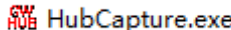
2	MolasCL 监控软件	标定、调试作业使用， V4.0 版本及以上	
3	主轴投影线标定软件	塔底标定机组主轴投影 线	



表3-5 标定配置文件清单

序号	名称	用途	示例
1	净空雷达十字标线配置文件	加载虚拟十字标线，每台净空雷达对应一个.ini 的配置文件	CL0020.ini（0020 为净空雷达序列号的后 4 位）

注：由项目提前准备各机组参数配置信息，包括叶片长度、塔架高度、塔架直径-底部，塔架直径-顶部，需提前准备上表 3-5 中配置文件，提前从牧镭处获取。

### 3.3.4 耗材

表 3-6 耗材清单

序号	名称	型号/规格	单位	数量	图示
1	螺纹锁固胶	10ml	个	1	
2	硅橡胶	45ml	个	1	
3	扎带	4*150mm	根	20	-

## 3.4 安装作业

### 3.4.1 机舱主轴标定

本节（3.4.1 节）主要针对风机机舱内部无法找到与风机主轴平行的参照物，需要在地面上寻找主轴平行线的情况，若机舱内部可以找到与风机主轴平行的参照物，可跳过本节。

#### 3.4.1.1 标定工装准备

MolasCL 激光净空监测系统地面标定工装：摄像头工装（带水平标尺）及直角工装（由两个可伸缩刻度尺分夹持在直角装置上组成）如下图所示。



图 3-1 摄像头工装和直角工装

### 3.4.1.2 地面作业范围选定

地面标定时需要并放置标尺，因此需要一定的空间。作业范围选择示意如下图所示，范围为一个扇形区域，距离塔筒1~6m。




图 3-2 地面标定作业区域示意图

地面标定作业区域选定时需要注意以下事项：

- 对于位于平原或高原等地势平坦处的风机，可以随机选择平坦、方便走动的区域，区域内不要有障碍物遮挡塔筒，如杂物、塔筒阶梯、散热器等；
- 对于位于山区（山顶）或丘陵等地势不平坦处的风机，优先选择通往风机的道路一侧，可确保有足够的活动空间，区域内尽量不要有障碍物遮挡塔筒，如杂草、树木、塔筒阶梯、散热器等；
- 在选择好作业区域后即可开始调整偏航角度，地面人员观察偏航情况并通报舱内人员，直至偏航角达到前述预定位置，使主轴投影与图示的主轴方向对应。

### 3.4.1.3 标定主轴投影线

标定主轴投影线作业需要准备“主轴投影线标定软件”  HubCapture.exe 及笔记本电脑1台，操作步骤如下。

- a. 将带摄像头的磁吸水平尺吸附在塔筒闭上，摄像头 USB 口连接电脑，打开主轴投影线标定软件。调整摄像头工装，并观察液泡保证工装处于水平状态，使电脑画面上显示为塔筒及顶部机舱沿中线左右对称，如下图所示：

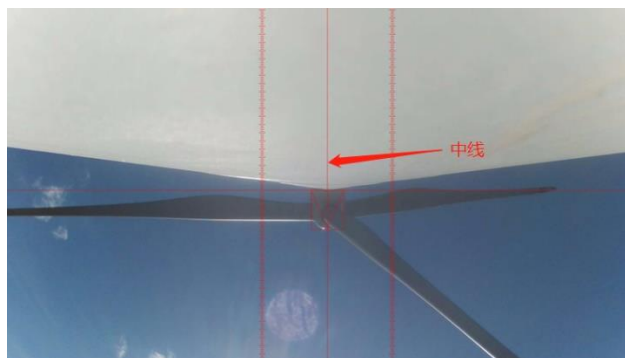


图 3-3 塔筒沿中线左右对称

- b. 将直角工装上两伸缩尺交互点处于摄像头标定工装中心位置的铅锤下方位置，可伸缩刻度尺分别对应主轴方向与垂直于主轴方向，根据场地情况，伸缩尺尽可能拉长，如下图：

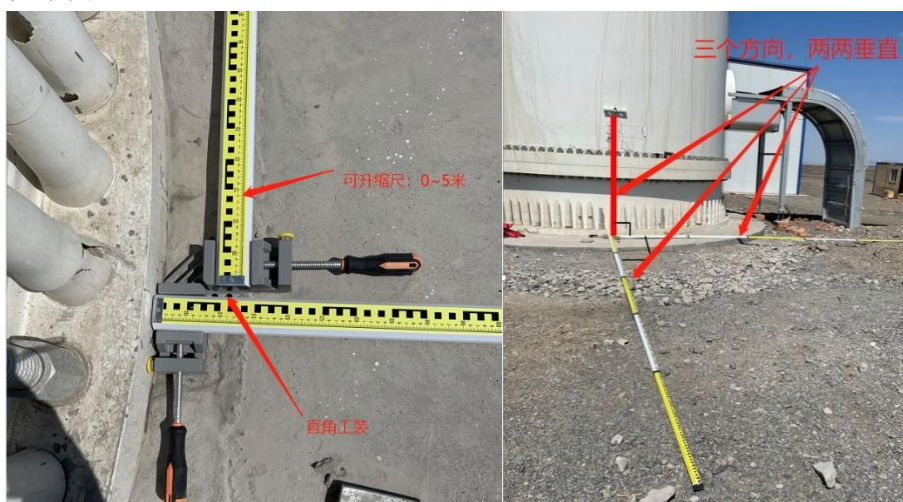


图 3-4 直角工装的布置

### 3.4.2 安装位置及开孔

本节（3.4.2 节）主要针对未预留安装孔位，需要现场开孔进行雷达安装的情况，如果机舱上已预留安装孔位和连接螺孔，可跳过本节，直接将雷达安装在相应的位置后进行雷达姿态调节。

### 3.4.2.1 安装位置

激光净空雷达安装在机舱罩底部左前侧（站在机舱内面向叶轮方向为准，以下同理），开孔位置尽量靠近叶轮侧、发电机主轴，如图 3-1 所示。



图 3-5 安装位置示意图

利用机舱接口支架进行开孔，做好开孔位置标记，下图黄色区域为开孔区域，**注意开孔的长边与发电机主轴方向平行。**

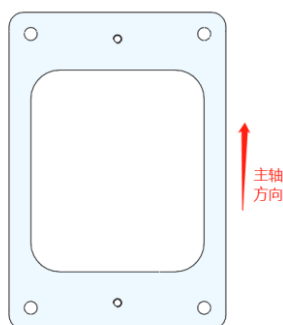


图 3-6 激光净空雷达机舱接口支架示意图

测量设备距离塔筒中心 X 和 Y 数值，X/Y 轴定义如图所示：以塔筒中心为原点，Y 轴为发电机主轴方向，X 轴经过原点与 Y 轴垂直。

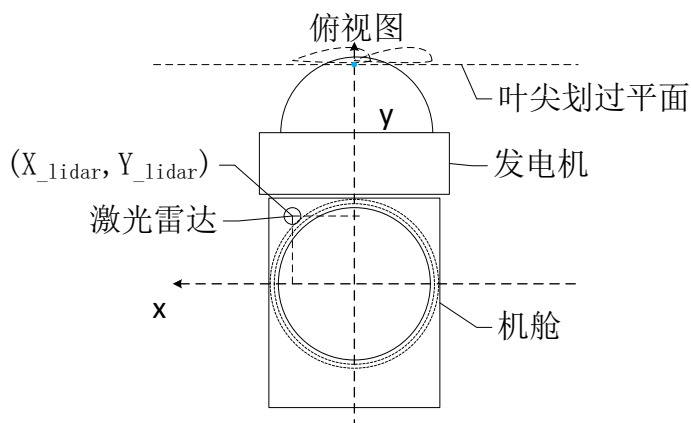


图 3-7 激光净空雷达与塔筒中心距离

激光雷达开孔位置 X 值（激光雷达开孔位置与发电机主轴距离）测量方法为从激光雷达开孔中心位置测量至机舱罩合缝处，Y 值测量方法为从激光雷达开孔中心为至合缝处成 90° 位置测量至塔筒壁加上塔筒半径计算出 Y 值（各产品参照物不同，原理相同，请项目人员进

行确认), 如图 3-4 所示。



图 3-8 X/Y 值测量标识位置

### 3.4.2.2 开孔

划线: 利用机舱接口支架做好开孔位置和 4 个  $\phi 9$  打孔标记。注意长边与发电机主轴方向平行。



图 3-9 划线

切割: 在划线范围中心点打 2 个孔, 然后将防坠绳索穿入并进行固定, 防止板材切割后掉落; 将 4 个边角打孔, 防止切割超出范围, 且方便边角切割和取出; 按照画线标记进行切割, 拆除板材; 用  $\phi 9$  的钻头在相应孔位打 4 个孔; **注意切割过程中下方不要有人员站立, 切割过程中不能戴手套**, 如下图所示。



图 3-10 切割开孔、打孔

打磨: 对开孔进行圆角打磨及边缘打磨, 为防止应力集中对边角进行尽量打磨成圆弧形, 完成打孔。

### 3.4.2.3 机舱接口支架安装

将机舱接口支架放置在机舱开孔对应位置，将4个M8螺栓分别从机舱罩外部穿过机舱接口支架连接孔，并用螺母锁紧，锁紧前螺栓上需点243螺纹防松胶。



图 3-11 安装位置涂胶

### 3.4.3 激光净空雷达安装

去除激光雷达窗口保护膜，检查窗口是否干净无损。用2个M6×10内六角螺栓将激光净空雷达安装在机舱接口支架上，并用5mm内六角扳手将螺栓锁定（预安装不涂抹螺纹锁固胶，无力矩要求，保证雷达可沿U型槽转动）。安装时注意激光净空雷达方向，“主轴前向”箭头标识指向前方叶轮侧。



图 3-12 激光净空雷达安装

### 3.4.4 标定作业

激光净空标定作业主要内容为对激光净空雷达姿态进行调整，其状态调整结构如下图所示，同时需要准备“MolasCL塔架激光净空雷达标定助手”

 MolasCL塔架激光净空雷达标定助手 V1.0.exe、“MolasCL监控软件” MolasCL监控软件 V4.2.exe 及笔记本电脑1台，操作步骤如下。

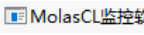




图 3-13 激光净空雷达姿态调整结构

### 3.4.4.1 指向调整

方法一：利用地面主轴投影线进行指向标定：

- 1) 取出标定用 USB 数据线缆，线缆一端连接激光净空雷达，另一端 USB 口连接电脑，打开电脑中的 MolasCL 监控软件 ，点击“显示图像”，左侧即可显示摄像头画面，若显示出电脑本身自带摄像头画面，点关闭显示后把摄像头编号改为 0 后重试即可。

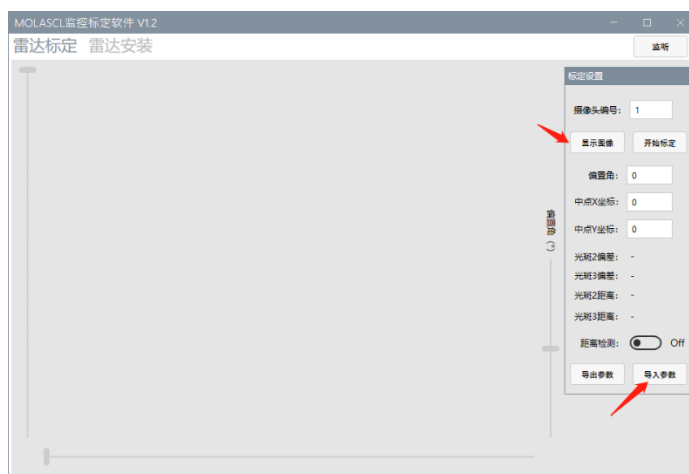


图 3-14 标定软件加载虚拟十字标线（1）

- 2) 点击“导入参数”，导入相应雷达的参数，图像中显示红色十字标线。

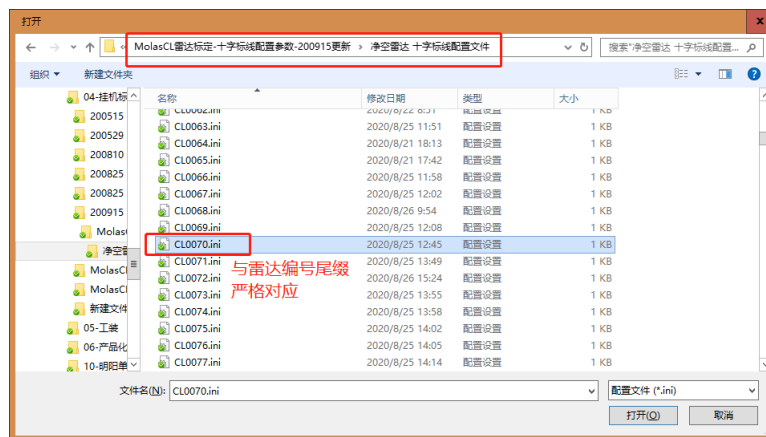


图 3-15 标定软件加载虚拟十字标线（2）

- 3) 导入成功后，摄像头画面中显示红色十字线。利用雷达指向调节 U 型槽轻轻转动雷达，调整雷达指向，使雷达摄像头水平标线与主轴在地面的投影线平行。

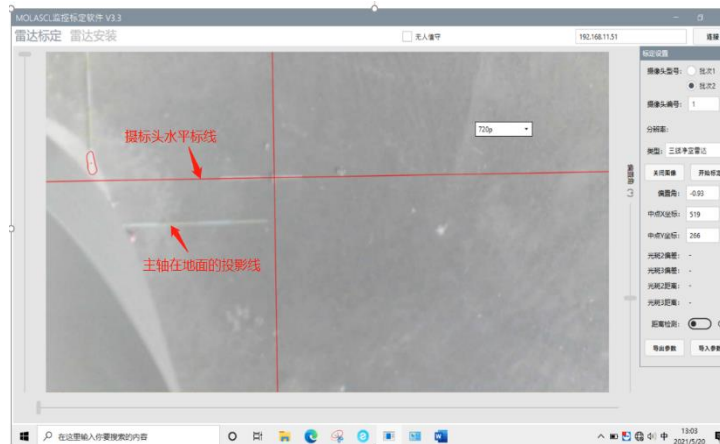


图 3-16 调整十字光标与直角标尺平行

- 4) 保持激光净空雷达不动，即保证雷达摄像头水平标线与主轴在地面的投影线平行，预安装的 2 颗内六角螺涂抹螺纹锁固胶并用 5mm 内六角扳手锁紧，力矩  $5N \cdot m$ 。


**方法二：利用机舱内部参照物进行指向标定：**

雷达内部三个光源的连线平行于雷达侧壁，保证雷达侧壁与风机主轴平行，即可保证雷达整体指向与风机主轴平行。如下图所示，机舱罩的拼缝与风机主轴平行，分别测量雷达侧壁顶部的两个点到机舱罩拼缝的距离，调整雷达指向，保证两点到拼缝的距离相等。将预安装的 2 颗内六角螺涂抹螺纹锁固胶并用 5mm 内六角扳手锁紧，力矩  $5N \cdot m$ 。



图 3-17 根据机舱内参照物调整雷达指向

### 3.4.4.2 横滚及俯仰调整

打开标定助手软件  MolasCL塔架激光净空雷达标定助手 V1.0.exe，根据机组配置及塔架图纸信息输入机组基本参数，

点击“计算”输出理论输出值，截图保存此界面并记录“倾角仪角度：X AXIS”的值。以下产品平台为例：

- A. 光束 1 净空阈值：6m（为最小净空值）；
- B. 步骤 5.3.1 中测量得到雷达安装点与塔心距离  $X_{Lidar}$ 、 $Y_{Lidar}$  分别为：

1. 1.65m、1.920m;
- C. 已知该机组叶片长度：83.4m;
- D. 根据塔架图纸信息获取塔架高度：107m，塔架直径-底部：4.795m，塔架直径-顶部：3.860m;

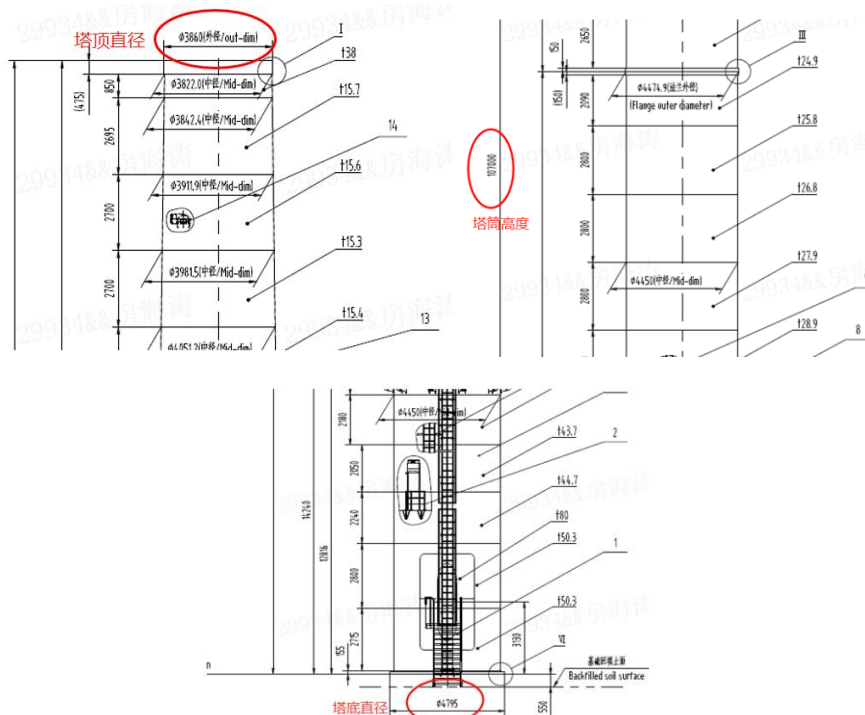


图 3-18 塔架图纸信息

- E. 综上，风机参数输入信息如下图所示，点击“计算”后输出理论值，记录“倾角仪角度：X AXIS”为 4.373 度，并截图保存此界面。

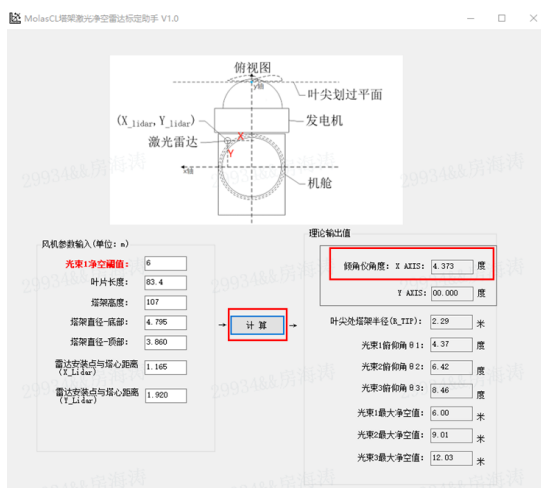


图 3-19 标定助手软件参数计算

- 1) 按下电源键打开倾角仪（长按电源键关闭倾角仪），倾角仪上会显示两个方向的角度，如下图所示；



图 3-20 倾角仪显示界面

- 2) 将倾角仪紧贴放置在激光净空雷达上表面，倾角仪与激光净空雷达上表面两条垂直边线重合，如下图所示：倾角仪的长边与主轴方向平行，X AXIS 方向的角度为俯仰角；Y AXIS 方向的角度为横滚角；

注 6：倾角仪界面显示 X AXIS、Y AXIS 箭头方向与标定助手软件中显示风机 X 轴和 Y 轴无关联。



图 3-21 倾角仪放置

- 3) 用 10mm 开口扳手松开地脚螺栓的锁紧螺母，用一字起旋转地脚螺栓顶部一字槽，调节 3 个地脚螺栓直至倾角仪 Y AXIS 数值为 0（允许的误差为  $\pm 0.25$  度），X AXIS 数值为步骤 b) 中记录的“倾角仪角度：X AXIS”的值（允许的误差为  $\pm 0.1$  度）。调节过程中注意保持倾角仪始终紧贴激光净空雷达上表面，在标定时如果机舱有轻微晃动，取半分钟内平均值为最终数据，如晃动较大则停止作业。



图 3-22 地脚螺栓姿态调整

- 4) 激光净空雷达姿态调整完成后，用 10mm 开口扳手紧固地脚螺栓的锁紧螺母并点涂硅橡胶，如下图所示。

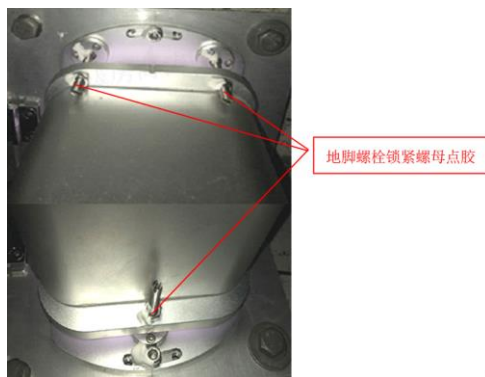


图 3-23 地脚螺栓点胶固定

### 3.4.5 布线

- a) 将硅胶防护罩套入激光净空雷达，硅胶防护罩上的 3 个孔与激光净空雷达 3 个地脚螺栓相对应。在硅胶防护罩与机舱接口支架接触面边缘涂抹硅橡胶，手动按压硅胶防护罩使二者粘贴充分。
- b) 将安装位置旁用泡沫塑料包裹绑扎固定的 24VDC 电源线、网线、通信线接入激光净空雷达，正常供电状态下 system 灯闪烁，机组组态更新后 comm 灯常亮。

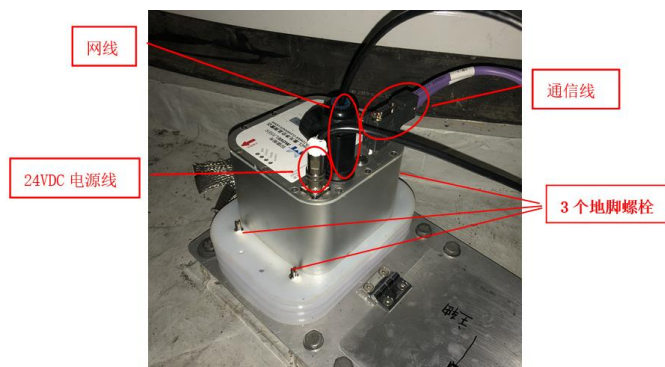


图 3-24 硅胶防护罩安装及线缆接入

- c) 以下布线路径某机组为例：
  - 1) 沿机舱罩底部进行布线至机舱尾部线缆桥架处，如图所示。



图 3-25 布线路径 (1)

- 2) 通过缝隙进入机舱外平台后再通过穿孔进入内平台，再由内平台穿孔进入内平台下方，如图 3-26 所示。进入内平台下方后沿桥架进行走线，穿入机舱柜底部后进入机舱柜，如图所示 3-27。



图 3-26 布线路径 (2)

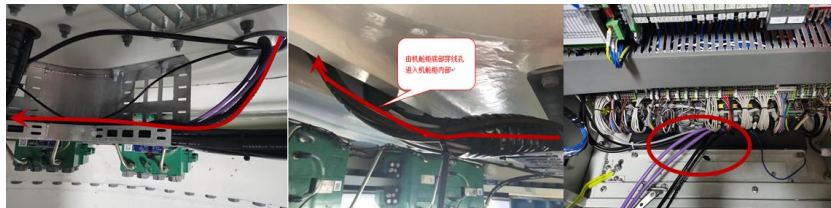


图 3-27 布线路径 (3)

- 3) 线缆由机舱柜底部进线孔穿入机舱柜后进行接线工作，先断电再验电，确认无电后将 24V DC 电源线接入指定端子排，PE（或 CAN、485 通讯）线接入机舱柜接地端子，如图所示。

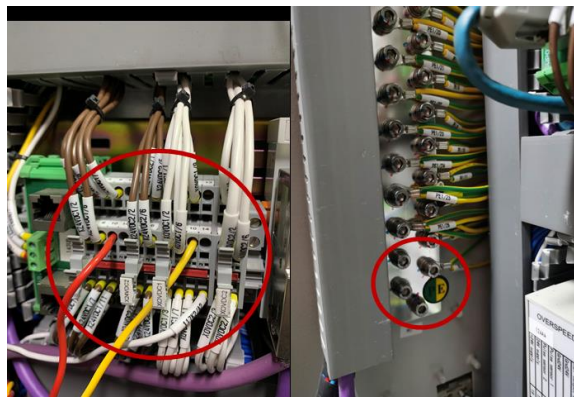


图 3-28 24V DC 电源接线位置

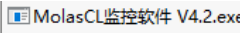
- 4) 将网线接入机舱柜交换机，如交换机已无网口，网线可暂时悬空放置在柜内。
- 5) 将 Profibus（或 CAN、485 通信）通信线接入机舱柜指定通讯接口。
- 6) 机舱柜内布线路径如下图所示，蓝色为 Profibus（或 CAN、485 通信）通信线和网线布线路径，红色为 24V DC 电源线布线路径。



图 3-29 激光雷达线缆机舱柜内布线方式

- d) 注意事项：待激光净空雷达标定完成、布线及线缆插头插好后再上电。

### 3.4.6 激光净空雷达调试

激光净空雷达调试作业需要准备MolasCL监控软件  及笔记本电脑1台，操作步骤如下：

- 笔记本电脑应安装有 Win10 系统，Win7 可能存在无法运行相关软件的情况，尤其是精简版 Win7，电脑应有至少一个 RJ45 网口以供连接网线。
- 将已接入机舱控制柜维护交换机激光净空雷达网线接入笔记本电脑网口；
- 电脑网络 IP 设置：点击电脑右下角网络标志，选择“网络和 Internet 设置”→在弹出的窗口中选择“更改适配器选项”→右键点击“以太网”，选“属性”→点击“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”，在弹出的对话框中选择“使用下面的 IP 地址”，然后将 IP 设为 192.168.11.2，子网掩码为 255.255.255.0→按顺序点击所有窗口的“确定”按钮以使设置生效；
- 激光净空雷达供电后，打开 MolasCL 监控软件（首次打开软件时，系统会弹出“Windows 安全警报”窗口，提示“防火墙已经阻止此应用的部分功能”，请注意此时务必要勾选所有的网络并点击“允许访问”，否则软件将无法连接），点击软件左上方“雷达状态”，再点击“连接雷达”，此时“连接状态”显示“已连接”。若连接失败，会提示“连接失败，请检查本机 IP 和雷达 IP 是否处于同一网段”，先检查雷达接线是否正确，再检查步骤 C)。

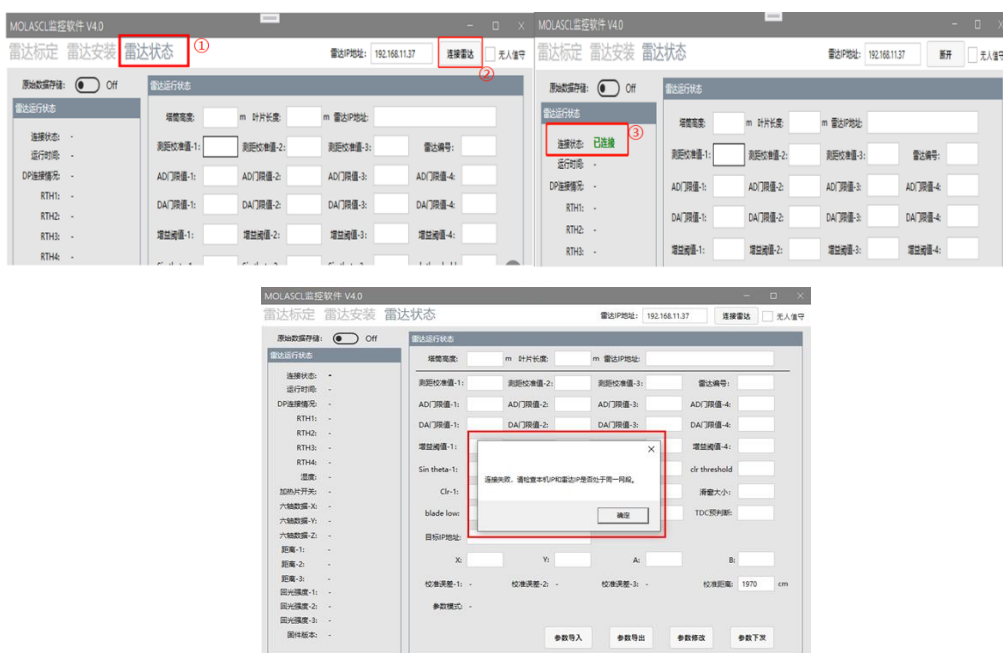


图 3-30 设备连接及界面显示

- 点击“参数修改”，下方“参数模式”变为“可修改”后，分别输入塔架高度、叶片长度以及激光净空雷达 IP 地址（出厂 IP 地址为 192.168.11.37，设置为指定 IP），再点击“参数下发”，等待几秒后会提示“雷达目标 IP 已修改，请修改本机 IP 地址后重启软件”即完成激光净空雷达配置，如图所示，设置完后保存此界面截图。



图 3-31 设备参数输入

- f) 参数及 IP 配置完成后再次连接激光净空雷达检验参数，将笔记本电脑 IP 按照步骤 c) 设置为 192.168.143.XX (XX 不与全场激光净空雷达 IP 冲突即可)，按照步骤 d) 连接激光净空雷达。若此时无法连接，则按住激光净空雷达前面板上的“复位”按钮 5 秒钟，再次使用默认出厂 IP 连接，重新进行参数配置。
- g) 检查软件界面中的“回光强度-1” “回光强度-2” “回光强度-3”，其数值稳定无剧烈跳变（个位数跳动）且不能为低于 100 的数值（正常 190 左右，上下浮动 20 左右），若低于 100 则定义为损坏件。
- h) 如果“回光强度 1、2、3”均正常，则检查软件界面中的“距离-1” “距离-2” “距离-3”（单位：厘米）是否为近似塔筒高度的数值：该数值与塔筒高度相差不能超过 5 米，且数值不为“65535”。若显示数值与塔筒高度相差超过 5 米或直接为“65535”，则点击“原始数据显示”模拟按钮，由 OFF 变为 ON，然后在弹出的窗口上点击“取消”后，将 MolasCL 监控软件界面截图反馈，以重新确认该参数值。



图 3-32 参数确认及截图反馈界面

## 3.5 雷达数据应用

### 3.5.1 数据构成

雷达产生 3 种数据，通过不同的输出方式输出：



1. DP (Data Processed) 数据：雷达处理后数据，通过现场总线输出，更新速率为 50Hz，即 20ms 刷新周期
2. 原始数据：雷达未筛选、未经算法处理的原始数据，更新速率为 20kHz，即 50us 刷新周期，可通过雷达上位机软件输出或显示
3. 状态数据：雷达运行状态数据及配置参数返回值，更新速率为 1Hz，可通过雷达上位机软件输出或显示

### 3.5.2 DP 数据

雷达通过现场总线输出的 DP 数据为雷达的数据产品，通过 DP 数据可获取到雷达应用层面的所有信息，DP 数据主要包含以下内容：

表 3-7 DP 数据

名称	字节	单位	说明
Lidar_ID	2		雷达 ID
Data_Index	1		测距数据序列，0~255 递增
BUS_Index	1		现场总线基础连接序列，0~255 递增
Laser_Distance_1	2	cm	光束 1 测距值，取值范围 0~65535
Laser_Intensity_1	1		光束 1 回光强度，取值范围 0~255
Laser_Distance_2	2	cm	光束 2 测距值，取值范围 0~65535
Laser_Intensity_2	1		光束 2 回光强度，取值范围 0~255
Laser_Distance_3	2	cm	光束 3 测距值，取值范围 0~65535
Laser_Intensity_3	1		光束 3 回光强度，取值范围 0~255
Data_Valid	1		有效标志位：0000 XXXX 1. 低 0 位至低 2 位分别对应光束 1/2/3 的有效性，0 无效，1 有效； 2. 低 3 位为能见度情况，0 有效，1 无效。
System_Status	1		系统状态字：0-无法判断的异常，1-正常，2-预热，3-超温保护性停机，其他为未定义的备用状态字

其中：

1. Lidar\_ID 为每台雷达对应于机身 SN 末 4 位的序号，代表雷达生产序列号；
2. Data\_Index 为雷达 20ms 数据更新心跳，0~255 递增
3. BUS\_Index 为雷达现场总线模块数据更新心跳，独立于 Data\_Index，0~255 递增
4. Laser\_Distance\_1/2/3 为雷达 1、2、3 号光束直接测距值，即雷达至激光照射的实体目标的距离，其中 1 号光为近塔筒侧光束，3 号光为近叶轮侧光束
5. Laser\_Intensity\_1/2/3 为雷达 1、2、3 号光束回光强度数值，回光强度一般维持在 190~255 之间，若有显著降低，则可能是由于激光功率降低、雷达内部故障或激光在镜面发生反射导致
6. Data\_Valid 代表雷达数据上的有效性，详见 3.5.4 节
7. System\_Status 代表雷达硬件上的有效性，详见 3.5.5 节

### 3.5.3 净空估算方法

雷达标定过程中可以得到风机主控净空参数，详见 3.4.4.2 节

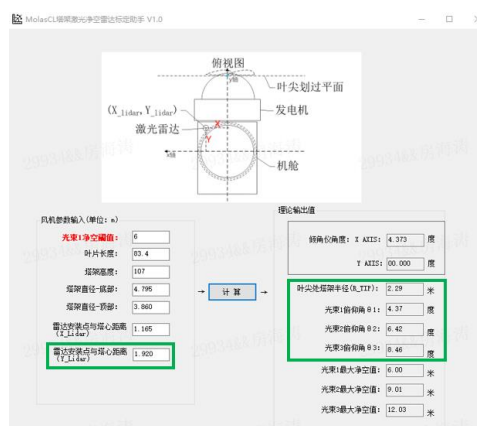


图 3-33 风机主控净空参数

其中  $\theta_1$  即为光束 1 与垂直方向的夹角，根据此夹角、R(TIP) 及 Y(Lidar)，根据以下公式可计算得到光束 n 的净空估计值  $D_{CLn}$

$$D_{CLn} = D_n \sin \theta_n + Y_{lidar} - R_{TIP} \quad n = 1,2,3$$

其中  $D_n$  为光束 n 的直接测距值。

由于采用简化的模型计算，计算默认叶片为刚性的直线，不考虑叶尖弯折情况，当叶尖弯折时，此计算得到的净空值可能会有较大偏差；相应地，当激光测到叶尖附近时，此计算得到的净空值最准确。

### 3.5.4 数据有效性及有效标志位

#### 3.5.4.1 有效标志位的构成

有效标志位由 1 个字节（8 位）构成：0000 DCBA

其中：

- 低 0 位至低 2 位（A、B、C）分别对应光束 1/2/3 的有效性，0 无效，1 有效，有效即数据为有效叶片数据；
- 低 3 位（D）为能见度情况，0 有效，1 无效，有效即可有效检测地面，无效即无法正常检测地面。

#### 3.5.4.2 测距数据有效性判断

三个光束的 DP 测距数据为经过雷达算法处理后的数据，雷达以以下逻辑进行数据的筛选：

若数据在雷达“地面值”参数设定的  $\pm 10m$  范围内，则优先保留此数据，并在每个 20ms 的 DP 数据中输出实时测量数据，此时数据有效标志位位置 0，表示为无效叶片数据

1. 若数据在雷达“Blade Low”（叶片最小距离）及“Blade High”（叶片最大距离）之间，则保留此数据，并在每个 20ms 输出此时段内叶片范围内数据的平均值，此时数据有效标志位置 1，表示为有效叶片数据
2. 若数据均不处于以上区间，则抛弃，并输出 65535，此时数据有效标志位置 0，表示为无效叶片数据

数据不处于正常区间的原因可能为：

1. 受浓雾或团雾影响，雷达无法测到地面或叶片，数据数值过低，小于叶片最小距离阈值，此可能性最大；
2. 雷达窗口结露、结冰、覆尘或脏污严重，或雷达窗口覆盖异物，导致激光无法正常发出；
3. 雷达测量的物体距离过近，小于叶片最小距离阈值，常见于室内调试时发生；
4. 雷达光源或接收器件故障，无法发出激光或测得有效回光。

### 3.5.4.3 能见度异常判断

为应对浓雾情况下无法测到地面数值、测到浓雾回光导致输出虚警的情况，雷达设置了能见度异常判断功能，在雷达参数设置页，当 min\_visible 为 0.1 时代表功能开启，为 0 时代表功能关闭。

当满足下述条件时，系统认为能见度异常：持续 1s 时间内，雷达原始数据（20kHz 测量数据）中所有数据均不分布在地面值±10m 范围内。若原始数据中有任意一个数据处于地面值±10m 范围内，则认为能见度正常。

能见度异常状态时，所有光束的测距数值均被抛弃，全部输出 65535。

### 3.5.5 系统状态字

系统状态字以十进制表示时：

状态字	名称	触发条件	其他表现
0	无法判断的异常	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 回光强度异常，回光强度低于 10 时，将触发异常状态字</li> <li>2. 大于等于 1 个光束原始数据中持续 24 小时无法测得 1 次地面数据</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 系统状态灯快速闪烁</li> <li>2. 所有测距数值均输出 65535</li> <li>3. 触发条件 1 的情况下雷达激光束以 1Hz 速率闪烁</li> </ol>
1	正常	正常运行	
2	预热	系统启动瞬间置位，持续 2-3 秒	所有光束测距值输出为 65535
3	超温保护性停机	系统检测到运行温度低于-45℃或高于+80℃时进入此状态，此时除主控制器外所有电源关闭、激光不出光	系统状态灯快速闪烁

## 4 常见故障排查及保养维护

### 4.1.1 常见故障排查及解决方案

表 4-1 常见故障及解决方案

故障现象	可能原因	解决方案
雷达通信指示灯不亮	1) 通信线（含连接器）接触不良或损坏 2) 风机组态未配置	1) 检查通信线缆是否正常连接； 2) 检查风机组态配置是否正确
测距数据异常	1) 雷达安装标定不正确 2) 窗口镜保护膜未揭除 3) 异常环境（浓雾、地面有积水）	1) 检查雷达俯仰角是否正确； 2) 检查窗口镜并揭除保护膜 3) 联系厂家售后分析数据
设备不工作，雷达运行指示等不亮	1) 供电线接触不良 2) 雷达内部测量单元损坏	1) 检查供电线缆是否正常连接 2) 联系厂家售后，更换雷达
客户端无法连接	1) 网线接触不良 2) IP 设置错误	1) 检查网线是否正常连接 2) 确认设备和电脑 IP 是否在同一网段

以上故障客户可做简单排除，如果未恢复正常状态，请及时联系牧镭公司相关技术人员；请不要擅自拆除及更改设备内部模块，如遇其他故障，请及时与牧镭公司联系。

### 4.1.2 保养策略

雷达在使用较长时间后，窗口镜会受到雨水、灰尘附着在镜面上，当附着物累计到一定程度后，导致雷达光线无法穿透，最终无法出现测距值跳变至 65535，当雷达出现 65535 数据值时可导致机组报警或故障，增大扫塔风险，需定期对窗口镜进行维护，建议每 3-6 月维护一次。具体维护方案详见附件 A《MoLas CL 窗口镜检查及维护》。

## 附 录 A激光净空雷达系统现场安装标定调试记录表

工程师: \_\_\_\_\_ 时间: \_\_\_\_\_

项目名称		
机位号		
机组型号		
叶片型号		
塔架高度		
激光净空雷达距离塔筒中心距离值	X(X_Lidar):	Y(Y_Lidar):
3 光束俯仰角度值	$\theta 1$ :	$\theta 2$ : $\theta 3$ :
叶尖处塔架半径	R_Tip:	
网线是否接入机舱维护交换机	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
24V DC 电源接线位置	24V DC:	0V DC:
Profibus (can、485) 接线位置	IN:	OUT:
激光雷达 DP 头状态	<input type="checkbox"/> ON <input type="checkbox"/> OFF	
激光雷达序列号		
激光雷达 IP 地址		
指向姿态调整图		
标定助手软件截图		
横滚、俯仰姿态调整图		
安装接线完成图		
雷达状态界面截图		
遗留问题		