

ST27 系列

安全激光雷达

用户使用说明书

适用型号	ST27-03S / ST27-03D / ST27-03P ST27-05S / ST27-05D / ST27-05P
产品类别	Type 3 安全光电保护装置 (ESPE / AOPDDR)
安全等级	Type 3 (IEC 61496) · SIL 2 (IEC 61508) · Cat. 3 / PL d (ISO 13849)
文档版本	V1.0
文档编号	ST27-UM-ZH-V1.0

使用前请务必阅读

本产品为用于人身安全防护的安全部件。安装、配置、调试或维护本产品前，必须完整阅读本手册，特别是第 2 章“安全须知”与第 10 章“安装与安全距离”。

错误的安装、配置或安全距离计算会导致保护功能失效，可能造成严重人身伤害甚至死亡。

戴迪斯科

公司地址：_____ 电话：_____ 网址：_____

目录

1 关于本手册	5
1.1 适用范围.....	5
1.2 目标读者.....	5
1.3 文档中的符号约定	5
1.4 关于标注 * 的参数	5
2 安全须知	6
2.1 正确使用.....	6
2.2 禁止的使用方式.....	6
2.3 人员资质.....	6
2.4 激光安全.....	7
2.5 集成方与使用方的责任.....	7
2.6 责任限制.....	7
3 产品概述	9
3.1 产品简介.....	9
3.2 工作原理.....	9
3.3 主要特点.....	9
3.4 典型应用.....	10
4 型号与订购信息	11
4.1 命名规则.....	11
4.2 型号规格参数表.....	11
4.3 选购附件.....	12
5 技术参数	13
5.1 安全参数.....	13
5.2 功能参数.....	13
5.3 参数注释.....	14
5.4 补充说明.....	15
5.5 执行标准.....	15
5.6 关于认证证书	15
6 结构与外形尺寸	17
6.1 产品结构.....	17
6.2 外形尺寸.....	17
6.3 配套支架尺寸	17

7 指示灯与状态显示	19
7.1 指示灯布局	19
7.2 指示灯功能说明	19
8 电气接口与接线	20
8.1 接口概览	20
8.2 电源 / 输入输出接口引脚定义	20
8.3 网络连接接口引脚定义	20
8.4 OSSD 安全输出	21
8.5 辅助输出与告警输出	21
8.6 区域切换输入	22
8.7 电缆规格	22
9 防护区域与工作模式	23
9.1 区域的基本概念	23
9.2 双模式防护架构	23
9.2.1 PAA 模式（保护区 + 双级预警）	23
9.2.2 PP 模式（双保护区）	23
9.3 高阶区域管理能力	24
9.4 区域组与监控实例	24
10 安装与安全距离	26
10.1 安装前的确认	26
10.2 安装位置与朝向	26
10.3 安装高度	26
10.4 安全距离计算	27
10.4.1 固定式 — 水平保护区（危险区域防护）	27
10.4.2 固定式 — 垂直保护区（通道防护）	28
10.4.3 移动式 — AGV / AMR 行驶防护	28
10.5 反射物与背景要求	29
10.6 多台设备防干扰	29
10.7 机械安装步骤	29
11 电气安装与配置	31
11.1 接线注意事项	31
11.2 首次上电	31
11.3 配置软件	31
11.4 配置流程	31

12 试运行与验收检查	33
12.1 验收的时机	33
12.2 验收检查表	33
12.3 遮挡测试方法	34
13 维护与定期检验	36
13.1 光学窗口的清洁	36
13.2 检查周期	36
13.3 可维护性说明	37
13.4 使用寿命	37
14 故障排查	38
14.1 常见现象与处理	38
14.2 返修与技术支持	38
15 运输、贮存与报废	40
15.1 运输与贮存	40
15.2 报废	40
16 附录	41
附录 A 术语表	41
附录 B 安全距离计算记录表	42
附录 C 版本记录	42

(在 Word 中按 Ctrl+A 后按 F9 可更新目录页码)

1 关于本手册

1.1 适用范围

本手册适用于 ST27 系列安全激光雷达的全部型号，包括 ST27-03S、ST27-03D、ST27-03P、ST27-05S、ST27-05D 与 ST27-05P。手册描述产品的功能、技术参数、安装方法、电气接口、配置方式、调试验收、维护保养与故障排查。

本手册不能替代所在国家和地区适用的法律法规、机械安全标准以及机器制造商的操作规程。将本产品集成到机器或车辆中时，集成方仍须依据 ISO 12100 完成风险评估，并依据 ISO 13849-1 / IEC 62061 验证整体安全功能是否达到所需的安全等级。

1.2 目标读者

本手册面向下列人员：

- 机器或 AGV 的设计人员与安全工程师——负责选型、安全距离计算与安全功能设计；
- 电气安装人员——负责机械安装与接线；
- 调试人员——负责区域配置、参数设定与功能验证；
- 设备操作与维护人员——负责日常检查、清洁与定期检验。

1.3 文档中的符号约定

标识	含义
危险	指示一种直接的危险处境。若不可避免，将导致死亡或严重伤害。
警告	指示一种潜在的危险处境。若不可避免，可能导致死亡或严重伤害，或导致保护功能失效。
注意	指示可能导致设备损坏、功能异常或配置错误的操作。
说明	提供有助于理解产品或优化使用的补充信息。

1.4 关于标注 * 的参数

技术参数表中标注星号（*）的参数为安全相关参数（safety-related parameters）。这些参数直接参与安全距离计算与安全功能评估，在进行风险评估与安全距离计算时必须采用这些数值。带 * 的参数包括：安全输出（OSSD）、响应时间、延伸距离 ZR。

2 安全须知

2.1 正确使用

ST27 系列安全激光雷达是一种主动式光电保护装置（AOPDDR, Active Opto-electronic Protective Device responsive to Diffuse Reflection），通过激光飞行时间（TOF）测距与旋转扫描，在一个平面内探测进入预设保护区域的人员或物体，并通过 OSSD 安全输出向机器控制系统发出停机指令。

本产品可用于：

- 危险区域防护（Hazardous area protection）——水平安装，探测进入机器危险区域的人员；
- 危险点防护（Hazardous point protection）——探测接近特定危险点的人体部位；
- 通道防护（Access protection）——垂直安装，探测穿越通道的人员；
- AGV / AMR / 叉车等移动设备的行驶路径防护与防撞保护；
- 智能仓储、人机协作工位的区域监控与分级预警。

2.2 禁止的使用方式

危险：以下使用方式将导致保护功能失效

不得用于室外或存在雨、雪、雾、粉尘凝结的环境（防护等级 IP65，但光学窗口结霜、凝雾会导致误测或漏测）。

不得用于爆炸性或易燃环境——本产品不具备防爆认证。

不得用于探测透明、半透明或镜面物体（玻璃、有机玻璃、抛光金属、镜面），此类物体可能无法被可靠探测。

不得作为唯一的防护措施用于因惯性、重力或储能而无法在响应时间内停止的机器（如未加装制动的压力机、重力下落负载）。

不得改装、拆解产品或以任何方式遮挡、旁路（bypass）光学窗口与安全输出。

不得用于高于 SIL 2 / PL d 所要求的安全功能。若风险评估要求 SIL 3 / PL e，本产品单独使用不满足要求。

2.3 人员资质

只有具备下列资质的合格人员方可进行相应作业：

作业	资质要求
选型与安全距离计算	经过机械安全培训、熟悉 ISO 12100、ISO 13849-1、ISO 13855 及 IEC 61496 的安全工程师。
机械安装	经过培训的机械装配人员，并由安全工程师确认安装位置与朝向。
电气安装与接线	具备电气资质、熟悉安全控制回路与本手册要求的电气技术人员。
配置与调试	经制造商或其授权代理培训、熟悉配置软件与区域设置规则的调试人员。
验收与定期检验	经授权的合格人员（授权人员），并须留存检验记录。
日常检查	经过岗位培训的操作人员，按第 13 章检查表执行。

2.4 激光安全

ST27 系列采用波长 $905\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$ 的脉冲激光光源，按 IEC 60825-1:2014 分类为 1 类激光产品（Class 1）。

说明：1 类激光

1 类激光在可预见的使用条件下（包括长时间直视）对人眼是安全的，无需佩戴激光防护眼镜。但仍不得使用望远镜、放大镜等光学放大器件直视出光窗口。

不得拆解产品外壳。拆解后旋转机构与光源暴露，激光等级不再受保证，且会立即丧失全部安全认证与质保。

2.5 集成方与使用方的责任

1. 依据 ISO 12100 对机器或车辆进行风险评估，确定所需的安全等级（PLr / SIL）。
2. 确认 ST27 的安全等级（Type 3 / SIL 2 / Cat. 3 / PL d）满足风险评估的要求。
3. 依据 ISO 13855 正确计算并设置安全距离，且必须计入本手册给出的响应时间、延伸距离 ZR 与容差区 TZ。
4. 确保 OSSD 安全输出正确接入机器的安全控制回路，且该回路的安全等级不低于 PL d / SIL 2。
5. 确保保护区无法被绕过、跨越或从下方钻入；必要时增加机械防护或补充其他保护装置。
6. 完成首次调试验收，并按第 12 章记录验收结果。
7. 按第 13 章规定的周期执行定期检验，并保存记录。
8. 对操作与维护人员进行培训。

2.6 责任限制

出现下列情况之一时，制造商不承担产品安全功能的责任：未按本手册规定的用途使用；未由合格人员安装、配置或检验；未按 ISO 13855 计算安全距离或安全距离设置不足；擅自改装、拆解或维修；未按规定周期执行检验与维护；使用非制造商提供或未经认可的附件与线缆。

3 产品概述

3.1 产品简介

ST27 系列安全激光雷达是面向工业场景的“电子安全员”。产品通过毫米级激光测距与 276° 全景扫描技术，为 AGV、智能仓储、人机协作等场景构建无死角安全防护网，满足 Type 3 (IEC 61496)、SIL 2 (IEC 61508)、Cat. 3 (ISO 13849) 与 PL d (ISO 13849) 安全等级认证要求。

产品在单一扫描平面内以 30 Hz 的频率连续扫描 276° 的视场，角度分辨率可达 0.1°。当有物体进入用户预设的保护区域时，OSSD 安全输出在响应时间内由 ON 状态切换为 OFF 状态，触发机器停机或 AGV 减速/制动。

3.2 工作原理

产品采用激光飞行时间 (Time of Flight, TOF) 测距原理：内置激光二极管发射 905 nm 脉冲激光，激光遇到物体后发生漫反射，部分回波被接收器接收。通过精确测量激光脉冲从发射到接收的时间差 t ，可计算出物体距离 D ：

$$D = c \times t / 2$$

其中 c 为光速 (约 3×10^8 m/s)。发射与接收光路安装在一个由电机驱动的旋转镜组上，旋转镜组带动激光束在水平面内扫描，从而在 276° 视场内获得一组“角度—距离”极坐标数据点，即一帧轮廓数据。

系统将每一帧轮廓数据与用户预设的区域边界进行比对：若有测距点落入保护区域内，则判定为区域被侵入。为避免单点噪声引起误动作，判定采用多帧确认策略，确认帧数与响应时间相关联。

由于采用漫反射测距，物体的可探测性与其表面反射率相关。本产品的测距半径按 1.8% 反射率（相当于黑色绒布，代表最难探测的人体衣物）标定，这是安全防护中的最恶劣条件；对反射率更高的物体，实际探测距离更远。

3.3 主要特点

- 新增窗口检污指示灯，维护更方便——光学窗口污染时提前告警，避免非计划停机。
- 低功耗，有效延长设备寿命及续航时间——整机功耗 < 4 W（无负载），对 AGV 电池续航影响极小。
- 高精度测量，角分辨率低至 0.1°，精准识别周边环境。
- 抗同源光干扰能力强，可多台设备同时工作，互不干扰。
- 双模式防护架构——PAA 模式（保护区 + 双级预警）与 PP 模式（双保护区）可自由切换。

- 高阶区域管理能力——64 组矢量区域库、256 组监控区域组、毫秒级策略切换 (< 50 ms)。
- 紧凑外形 80 × 80 × 79.5 mm，重量 405 g，易于集成到各类 AGV 与设备。
- 多种通信接口可选——PNP 数字输出、以太网、Profinet。

3.4 典型应用

应用场景	说明
AGV / AMR 行驶防护	安装于车体前部，随车速动态切换保护区大小，实现远距离减速、近距离停车的分级防护。
危险区域防护	水平安装于机器周边，探测进入危险区域的人员并停机。
通道防护	垂直安装于通道入口，探测穿越人员。
智能仓储	堆垛机、穿梭车的路径防护与货位轮廓检测。
人机协作工位	利用双级预警实现"接近减速—侵入停机"的柔性防护，减少非必要停机。

4 型号与订购信息

4.1 命名规则

ST27 系列型号由三段构成：

ST27 – 0X Y

字段	取值	含义
ST27	—	产品系列代号：ST 系列 276° 安全激光雷达。
0X	03	保护区测距半径 3 m (@1.8% 反射率)。
	05	保护区测距半径 5 m (@1.8% 反射率)。
Y	S	标准型：PNP 数字输出。
	D	以太网型：PNP 数字输出 + 以太网。
	P	Profinet 型：Profinet 通信。

4.2 型号规格参数表

下表列出 ST27 系列各型号的核心差异参数。所有型号的安全等级、光学参数、环境参数与外形尺寸完全一致，仅测距能力与通信接口不同。

产品规格	输出方式	测距半径 (@1.8% 反射率)	告警区域 半径 (@10% 反射率)	测距范围 (@70% 反射率)	静态输入 配置	动态输入 配置	轮廓识别 设置	最多可 配置 静态区域组	最多可 配置 监控区域组					
ST27-03S	PNP	3 m	10 m	40 m	6 组 (12 个)	4 组 (8 个)	4 个	64	256					
ST27-03D	PNP + 以太网													
ST27-03P	Profinet													
ST27-05S	PNP	5 m	20 m	60 m										
ST27-05D	PNP + 以太网													
ST27-05P	Profinet													

认证机构：TUV / Safenet。

警告：测距半径与反射率的关系

"测距半径"是安全相关参数，按 1.8% 反射率标定，代表最恶劣条件（深黑色衣物）。安全距离计算必须使用该数值（3 m 或 5 m），不得使用告警区半径或测距范围。

"告警区域半径"（@10% 反射率）仅用于非安全的预警功能。

"测距范围"（@70% 反射率）为轮廓测量与导航用途的最大量程，不具备安全功能。

4.3 选购附件

下表中标注"默认"的附件已包含在主体包装内，其他型号需另外购买。

名称	型号	说明
ST 避障单端延长线-1M	ST-BZM12-1M	电源线（默认）
ST 避障单端延长线-2M	ST-BZM12-2M	电源线
ST 避障双端延长线-2M	M12-MSDX-2M	双端延长线
ST 避障双端延长线-5M	M12-MSDX-5M	双端延长线
M12 转 RJ45 延长线-1M	ST-RJ45YCX-1M	网线（默认）
M12 转 RJ45 延长线-2M	ST-RJ45YCX-2M	网线
安装支架	请联系我们	配套 L 型支架，外形 116.0 × 93.0 × 90.0 mm

说明

双端延长线（M12-MSDX 系列）为选配件，用于延长电源/IO 线缆。使用延长线时应核算线路压降，确保雷达端电压仍在 DC 24 V ± 20% 范围内。

5 技术参数

5.1 安全参数

项目	参数
类型	Type 3 (IEC 61496)
安全完整性等级	SIL 2 (IEC 61508)
类别	Cat. 3 (ISO 13849)
性能等级	PL d (ISO 13849)

5.2 功能参数

项目	参数
* 安全输出 (OSSD)	PNP 输出 (ON 状态: 最大 IOUT = 100 mA, VOUT ≥ VCC - 2 V; OFF 状态: IOUT < 1 mA, VOUT < 2 V), 过流保护, 容性负载 ≤ 0.5 μF。保护区域无物体时处于 ON 状态, 有物体或故障时处于 OFF 状态。
辅助输出	PNP 输出, 最大 IOUT = 100 mA, VOUT ≥ VCC - 2 V; OFF 状态: IOUT < 1 mA, VOUT < 2 V, 过流保护。
激光光源	波长 905 nm, 一类激光产品 (Class 1, IEC 60825-1:2014)
扫描角度	276°
角度分辨率	0.1°
距离偏差	±2 cm ①
重复精度	±4 mm @ 1 sigma ②
* 响应时间	100 ms (可配)
物体分辨率	70 mm @ 保护区域最大半径处
容差区	65 mm (TZ = 安全激光雷达的公差范围)
* 延伸距离 ZR	350 mm
工作电压	DC 24 V ± 20%
上电启动时间	10 s (典型值)

项目	参数
刷新频率	30 Hz
功耗	< 4 W (无负载)
外形尺寸	80 mm × 80 mm × 79.5 mm ③
重量	405 g
外壳颜色	黄色
环境温度	工作温度: -10 °C ~ 50 °C (窗口无结霜及凝雾) 存储温度: -40 °C ~ 70 °C
环境湿度	工作湿度: 35% RH ~ 95% RH 存储湿度: 35% RH ~ 95% RH
防护等级	IP65
抗光干扰 (白炽灯)	3000 Lux
抗振动能力	频率 10 Hz ~ 55 Hz, 振幅 0.35 ± 0.05 mm, X、Y 及 Z 方向各 20 次; 5M1 (IEC 60721-3-5) 正弦: 1.5 mm, 2 ~ 9 Hz
抗冲击能力	加速度 10, 脉冲持续时间 16 ms, X、Y 及 Z 方向各 1000 ± 10 次; 5M1 (IEC 60721-3-5) 50 m/s ² , 11 ms
电磁兼容性 (EMC)	EN 61326-1:2013 EN 61000-4-2:2009 EN 61000-4-3:2006+A1:2008+A2:2010 EN 61000-4-4:2004+A1:2010 EN 61000-4-6:2014 EN 61000-4-8:2010

5.3 参数注释

① 距离偏差

不同反射率材质测量误差控制在 ± 2 cm (典型值)。出厂测试方法: 在整机检验自动化工装上不同角度、相同距离 (59 cm) 放置 3 种试件 (黑色绒布、白纸、反光贴), 每种材质中值和真实距离偏差在 ± 2 cm 以内, 以及三种材质之间的最大差值在 2 cm 以内。

② 重复精度

10% 黑绒布 600 mm 位置测量统计。

③ 外形尺寸

以外形尺寸图标注为准：底座 80 × 80 mm，总高 79.5 mm。

5.4 补充说明

1. 响应时间可配置。配置后的实际响应时间必须代入安全距离计算，并在验收记录中登记。
2. 延伸距离 ZR 是针对反射造成的测量误差。如果回射器处于防护设备附近（回射器与保护区域的距离 ≤ 6 m），应当考虑会出现延伸距离，延伸距离 $ZR = 350$ mm。
3. OSSD 成对输出。文中命名 OSSD1.A 和 OSSD1.B 作为一对 OSSD 输出，OSSD2.A 和 OSSD2.B 作为一对 OSSD 输出。文中 OSSD(s) 代表一对或两对 OSSD（可通过管脚配置）。

5.5 执行标准

标准	内容
IEC 61496-1:2020	机械安全 — 电敏保护设备 — 第 1 部分：一般要求和试验 (Type 3 ESPE)
IEC 61496-3:2019	机械安全 — 电敏保护设备 — 第 3 部分：对漫反射响应的主动式光电保护装置的特殊要求 (Type 3 AOPDDR)
UL 61496-1:2021	电敏保护设备 — 一般要求和试验
IEC 61508-1~7:2020	电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 (SIL 2)
IEC 62061	机械安全 — 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全
ISO 13855	机械安全 — 人体部位接近速度的防护设备的定位
IEC 61326-1	测量、控制和实验室用电气设备 — 电磁兼容性要求
EN 61326-1:2013	电磁兼容性要求
EN 61000-4-2:2009	静电放电抗扰度
EN 61000-4-3:2006+A1:2008+A2:2010	射频电磁场辐射抗扰度
EN 61000-4-4:2004+A1:2010	电快速瞬变脉冲群抗扰度
EN 61000-4-6:2014	射频场感应的传导骚扰抗扰度
EN 61000-4-8:2010	工频磁场抗扰度
IEC 60825-1:2014	激光产品的安全 — 设备分类和要求 (Class 1)

5.6 关于认证证书

重要：证书型号标识

本产品的 EMC 型式认证与激光安全等级测试证书由原始制造商持有。若贵司以 ST27 系列型号对外销售，必须确认所持证书上列明的型号标识（Type Designation / Model）已包含 ST27-03S、ST27-03D、ST27-03P、ST27-05S、ST27-05D、ST27-05P。

如证书上仅列明原始制造商的型号，应向发证机构申请 OEM 型号追加（multiple listing / OEM model addition），取得列明 ST27 型号的正式证书后再行发布。

严禁以任何方式自行修改认证证书上的型号、编号、持证方或其他内容。

6 结构与外形尺寸

6.1 产品结构

产品由旋转扫描头、光学窗口、主体外壳、指示灯面板与线缆接口组成。

部件	说明
旋转扫描头	顶部黄色旋转部件，内含旋转镜组，工作时以 30 Hz 转速旋转。运行中严禁触碰或阻挡。
光学窗口	旋转头下方的环形透明窗口，激光由此发出与接收。必须保持清洁，见第 13.1 节。
角度刻度	旋转头上方印有角度刻度，用于安装时确认扫描起始角与视场朝向。
主体外壳	黄色工程塑料外壳，安全部件标准色。
指示灯面板	前面板 8 个 LED 指示灯，见第 7 章。
线缆接口	侧面引出两条 0.3 m 预制线缆，见第 8 章。
安装螺孔	外壳四角设有安装孔，用于固定至设备或配套支架。

6.2 外形尺寸

单位：mm

项目	尺寸
底座长 × 宽	80 × 80 mm
总高	79.5 mm
重量	405 g
外壳颜色	黄色

说明：扫描平面高度

扫描平面位于光学窗口中心高度。安装时的探测高度 H 应以扫描平面的实际离地高度为准，而非外壳底面高度。该偏移量请参照外形尺寸图或向制造商索取。

6.3 配套支架尺寸

ST 雷达配套支架为 L 型钣金支架，单位：mm

项目	尺寸
长	116.0 mm
宽	93.0 mm
高	90.0 mm

支架底板与立板均设有腰形长孔，可在一定范围内调整雷达的前后位置与俯仰角度，便于现场对准扫描平面。

7 指示灯与状态显示

7.1 指示灯布局

产品前面板设有 8 个 LED 指示灯，分两排布置：

POWER	OSSD1	OSSD2	ALARM
CLEAN	MOTOR	LASER	OTHER

7.2 指示灯功能说明

指示灯	功能	说明
POWER	电源状态	指示 DC 24 V 供电与设备运行状态。上电后约 10 s 完成自检启动。
OSSD1	安全输出 1 状态	指示第一对 OSSD (OSSD1.A / OSSD1.B) 的通断状态。保护区无物体时输出 ON，有物体或故障时输出 OFF。
OSSD2	安全输出 2 状态	指示第二对 OSSD (OSSD2.A / OSSD2.B) 的通断状态。仅在 PP 双保护区模式下使用。
ALARM	告警输出状态	指示告警（预警）区域被侵入。在 PAA 模式下对应 ALARM1 / ALARM2 双级预警。
CLEAN	窗口检污	光学窗口污染告警。点亮或闪烁表示窗口需要清洁，见第 13.1 节。
MOTOR	电机状态	指示旋转扫描电机的运行状态。异常时表示转速失常或电机故障。
LASER	激光状态	指示激光发射与接收通道的工作状态。异常时表示光路或光源故障。
OTHER	其他故障	指示上述分类以外的内部故障（如自检失败、配置错误、内部通信异常等）。

8 电气接口与接线

8.1 接口概览

产品侧面引出两条预制线缆：

接口	连接器	线长	用途
电源 / 输入输出接口	M12 – 17 芯针头	0.3 m	供电、OSSD 安全输出、辅助输出、区域切换输入。
网络连接接口	M12 – 4 芯孔头	0.3 m	以太网 / Profinet 通信与配置（仅 D 型与 P 型）。

两条预制线缆均需通过延长线连接至设备端：

延长线	规格	说明
电源 / 单端延长线	M12 – 17 芯针头 → GB1.25-8Y × 2, 线径 Ø6.8 mm, 标准线长 1 m	一端为 M12-17 芯针头，另一端分为两个 GB1.25-8Y 端子。默认随机附带 1 m（ST-BZM12-1M）。
双端延长线（选配）	M12 公头 → M12 母头, 2 m / 5 m	用于加长电源/IO 线路。
网络接口延长线	M12 – 4 芯针头 → RJ45, 4 芯工业网络连接电缆, 线径 Ø5 mm, 标准线长 1 m	默认随机附带 1 m（ST-RJ45YCX-1M）。

8.2 电源 / 输入输出接口引脚定义

电源 / 输入输出接口为 M12 – 17 芯针头，线长 0.3 m。完整的引脚定义与线色对照表以产品随附的接线图为准；如需电子版，请联系我们索取。

危险：必须按正式引脚定义接线

严禁在未取得正式引脚定义的情况下猜测或试接。

OSSD 安全输出接错会导致保护功能完全失效，且这种失效在外观和日常运行中不可见——设备看起来一切正常，指示灯照亮、区域照测，但危险发生时不会停机。

接线前必须以产品随附的接线图为准，并与实物线缆的线色逐一核对。

8.3 网络连接接口引脚定义

M12 – 4 芯孔头，D 编码（工业以太网标准）。

网络延长线另一端为标准 RJ45 接头，可直接接入交换机、AGV 控制器或调试用 PC。

8.4 OSSD 安全输出

OSSD (Output Signal Switching Device, 输出信号开关装置) 是产品的安全输出，其电气特性如下：

项目	参数
输出类型	PNP (高电平有效)
ON 状态	最大 IO _{UT} = 100 mA, V _{OUT} ≥ VCC - 2 V
OFF 状态	IO _{UT} < 1 mA, V _{OUT} < 2 V
保护	过流保护
容性负载	≤ 0.5 μF
输出逻辑	保护区域无物体时处于 ON 状态；有物体或设备故障时处于 OFF 状态。
成对输出	OSSD1.A + OSSD1.B 为一对；OSSD2.A + OSSD2.B 为一对。

警告：OSSD 接线要求

一对 OSSD 的两路信号必须同时接入安全控制器或安全继电器的两个独立通道，实现双通道冗余。严禁只使用其中一路，也严禁将两路并联。

接收 OSSD 信号的安全控制回路，其安全等级不得低于 PL d / SIL 2，否则整体安全功能会被降级到该回路的等级。

OSSD 输出内置周期性测试脉冲（OFF 测试脉冲），用于检测输出通道的粘连故障。所接入的安全控制器必须能够容忍这些测试脉冲，否则会导致误停机。测试脉冲宽度与周期请向制造商索取。

严禁将 OSSD 直接驱动接触器线圈以外的普通负载，也严禁将 OSSD 接入普通 PLC 的标准输入用于安全目的。

8.5 辅助输出与告警输出

辅助输出为 PNP 输出，电气特性与 OSSD 相同（最大 IO_{UT} = 100 mA, V_{OUT} ≥ VCC - 2 V；OFF 状态 IO_{UT} < 1 mA, V_{OUT} < 2 V，过流保护）。

危险：辅助输出不是安全输出

辅助输出与告警输出（ALARM1 / ALARM2）不具备安全功能，不是安全相关输出。

严禁将辅助输出或告警输出用于任何安全功能。它们只能用于状态指示、预警提示、AGV 减速等非安全用途。

只有 OSSD 才是安全输出。

8.6 区域切换输入

产品提供静态输入与动态输入，用于在运行中切换不同的防护区域组：

输入类型	数量	说明
静态输入配置	6 组（12 个）	通过静态输入的电平组合选择静态区域组，适用于工位固定、区域按工序切换的场景。
动态输入配置	4 组（8 个）	通过动态输入实现区域组的动态切换，适用于 AGV 随车速切换保护区大小的场景。
轮廓识别设置	4 个	用于轮廓（参考轮廓）识别功能的配置通道。

输入的具体引脚分配、电平要求与组合编码规则，请参见产品随附的接线图（见第 8.2 节）。

警告：区域切换的安全要求

区域切换信号必须来源于可靠的、与实际工况一致的信号源（如安全编码器、安全 PLC）。若切换信号错误，会导致在高速行驶时选用了小保护区，安全距离不足。

每一个可能被选用的区域组，都必须单独完成安全距离计算与验收测试。

策略切换存在切换延时（< 50 ms），该延时必须计入总响应时间。

8.7 电缆规格

线缆	线径	说明
电源/IO 预制线（本体）	—	M12-17 芯针头，线长 0.3 m
网络预制线（本体）	—	M12-4 芯孔头，线长 0.3 m
电源/单端延长线	Ø6.8 mm	M12-17 芯针头 → GB1.25-8Y × 2，标准线长 1 m
网络接口延长线	Ø5 mm	4 芯工业网络连接电缆，M12-4 芯针头 → RJ45，标准线长 1 m

- 所有线缆应与动力线（变频器输出、电机线）分开走线，间距建议 ≥ 200 mm，避免电磁干扰。
- 线缆应固定牢靠，避免在 AGV 运动中反复弯折造成断线；弯曲半径应符合线缆规格要求。
- 延长线接头必须拧紧到位，否则达不到 IP65 防护等级。
- 使用长线缆时应核算线路压降，确保雷达端电压在 $DC\ 24\ V \pm 20\%$ 范围内。

9 防护区域与工作模式

9.1 区域的基本概念

名称	定义
保护区域 (Protective Field)	安全相关区域。有物体侵入时 OSSD 立即切换为 OFF，触发机器停机。保护区的最大半径为 3 m (ST27-03x) 或 5 m (ST27-05x)，按 1.8% 反射率标定。
告警区域 (Warning Field)	非安全区域。有物体侵入时仅触发告警输出 (ALARM)，不触发 OSSD。用于提前提示或 AGV 减速。最大半径 10 m (03 型) 或 20 m (05 型)，按 10% 反射率标定。
视场 (Field of View)	产品可扫描的角度范围，276°。视场之外的 84° 为盲区，安装时必须朝向无需防护的一侧（如车体内侧或墙面）。
轮廓 (Contour)	参考轮廓。用于监控固定背景（如墙面、地面）是否发生变化，可探测保护区被移除或雷达被移位的情况。

9.2 双模式防护架构

产品提供业界领先的 PAA 模式（保护区 + 双级预警）与 PP 模式（双保护区）双防护机制，可针对 AGV 导航、人机协作等场景需求自由切换防护逻辑，支持 ISO 13849 标准下的定制化安全方案部署。

9.2.1 PAA 模式（保护区 + 双级预警）

PAA 模式下，产品同时监控三个区域，输出一路 OSSD 与两路告警：

区域	对应输出	典型用途
区域 1（最内侧）	OSSD	保护区。侵入时 OSSD → OFF，机器停机 / AGV 制动。
区域 2（中间）	ALARM1	一级预警。侵入时 AGV 减速至低速。
区域 3（最外侧）	ALARM2	二级预警。侵入时 AGV 减速至中速或发出声光提示。

PAA 模式适用于 AGV 行驶防护与人机协作工位：通过“远距离减速 — 近距离停车”的分级策略，在保证安全的前提下大幅减少非必要的急停，提升作业效率与设备寿命。

9.2.2 PP 模式（双保护区）

PP 模式下，产品同时监控两个独立的保护区域，输出两路独立的 OSSD：

区域	对应输出	典型用途
保护区 1	OSSD1	第一危险区域，独立触发停机。
保护区 2	OSSD2	第二危险区域，独立触发停机。

PP 模式适用于需要对两个独立危险源分别控制的场景，例如一台雷达同时防护两台相邻机器，或 AGV 的前进方向与货叉方向分别防护。

警告：模式选择

PAA 模式与 PP 模式不能同时启用。切换工作模式后，必须重新完成全部区域的安全距离计算与验收测试。

9.3 高阶区域管理能力

- 64 组矢量区域库：预存多形态防护模板（扇形 / 多边形 / 动态轮廓），可按场景快速调用。
- 场景化实例配置：将区域组绑定至特定【监控实例】，构建分级防护体系，最多可配置 256 组监控区域组。
- 毫秒级策略切换：通过条件触发实现防护策略动态加载，切换延时 < 50 ms。

能力项	规格
矢量区域库	64 组
最多可配置静态区域组	64
最多可配置监控区域组	256
静态输入配置	6 组（12 个）
动态输入配置	4 组（8 个）
轮廓识别设置	4 个
策略切换延时	< 50 ms
区域形状	扇形 / 多边形 / 动态轮廓

9.4 区域组与监控实例

区域组（Field Set）是一组同时生效的区域（保护区 + 告警区）的集合。监控实例（Monitoring Case）是“输入条件 → 区域组”的映射关系：当满足特定输入条件（如 AGV 处于某一速度档位、某一工序步骤）时，激活对应的区域组。

配置监控实例时应遵循以下原则：

1. 穷举所有可能的工况，确保每一种工况都有且仅有一个对应的监控实例被激活。
2. 为每一个监控实例单独计算安全距离，并确认该实例下的保护区尺寸满足计算结果。
3. 设置默认实例：当输入条件无效或冲突时，系统应回退到最保守（保护区最大）的实例，或直接使 OSSD 进入 OFF 状态。
4. 验收时必须逐一测试每个监控实例的切换与触发。

10 安装与安全距离

10.1 安装前的确认

1. 已完成机器/车辆的风险评估（ISO 12100），并确定所需性能等级 $PL_r \leq PL_d$ 、 $SIL \leq 2$ 。
2. 已确认 ST27 的物体分辨率 70 mm 满足防护要求（人体腿部防护通常要求 ≤ 70 mm）。
3. 已确认机器的停止时间 / AGV 的制动距离，用于安全距离计算。
4. 已确认安装位置不会使保护区域被绕过、跨越或从下方钻入。
5. 已确认现场环境满足 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、35% ~ 95% RH、无结霜凝雾、环境光 $\leq 3000\text{ Lux}$ 的要求。

10.2 安装位置与朝向

- 276° 视场之外的 84° 为盲区。安装时必须使盲区朝向无需防护的方向（如车体内侧、墙面、机器本体）。
- 雷达的扫描平面必须与预期的探测平面平行。水平安装时，扫描平面应与地面平行；倾斜会导致保护区在远端抬高或触地。
- 旋转头上方的角度刻度用于确认扫描起始角与视场朝向，安装时应据此对准。
- 安装面必须刚性足够，避免设备振动导致扫描平面漂移。
- 雷达周围应留出足够空间，避免外壳、支架或车体结构进入视场造成固定遮挡。
- 应避免将雷达安装在容易被碰撞、被货物遮挡或被人员踩踏的位置。

10.3 安装高度

水平安装用于危险区域防护时，扫描平面的离地高度 H 必须满足：

约束	说明
$H \geq 15 \times (d - 50)$	d 为物体分辨率（70 mm），即 $H \geq 15 \times (70 - 50) = 300\text{ mm}$ 。低于该高度时，人员可能在未被探测的情况下从扫描平面下方通过（爬行接近）。
$H \leq 1000\text{ mm}$	高于 1000 mm 时，人员可能从扫描平面下方钻入而不被探测。
推荐值	通常取 150 ~ 300 mm（AGV）或 300 ~ 400 mm（固定式危险区域防护），具体依据风险评估确定。

警告：低位安装的补充措施

约束	说明
	当扫描平面高度低于 300 mm 时（AGV 常见），必须通过其他措施（如车体裙板、机械防护、附加传感器）防止人员在扫描平面下方被碾压，或通过风险评估证明该风险可接受。

10.4 安全距离计算

危险：安全距离计算是集成方的责任

本节给出的公式依据 ISO 13855，仅作为计算指引。

实际的安全距离必须由具备资质的安全工程师依据具体应用、完整的风险评估以及所在国家/地区适用的标准进行计算与验证，并在现场实测试验。

安全距离不足会导致人员在机器停止前进入危险区域，造成严重伤害或死亡。

10.4.1 固定式 — 水平保护区（危险区域防护）

人员以行走方式接近水平保护区时，安全距离 S 按下式计算：

$$S = K \times T + C + ZR + TZ$$

符号	含义与取值
S	安全距离（mm）——从危险区域边界到保护区外缘的最小水平距离。
K	人体接近速度，水平接近取 $K = 1600 \text{ mm/s}$ （ISO 13855）。
T	总响应时间（s）， $T = t_1 + t_2$ 。 t_1 = 雷达响应时间（100 ms，可配，须采用实际配置值）； t_2 = 机器停止时间（由机器制造商提供，含安全控制器与执行机构的动作时间）。若使用区域切换，还须计入策略切换延时（< 50 ms）。
C	补充距离（mm），用于补偿在探测到之前人体可能已伸入的距离： $C = 1200 - 0.4 \times H$ ，且 $C \geq 850 \text{ mm}$ 。H 为扫描平面离地高度（mm）。
ZR	延伸距离（mm），因反射造成的测量误差补偿。本产品 $ZR = 350 \text{ mm}$ 。当回射器与保护区的距离 $\leq 6 \text{ m}$ 时必须计入。
TZ	容差区（mm），安全激光雷达的公差范围。本产品 $TZ = 65 \text{ mm}$ 。

计算示例（仅供理解公式，不得直接套用）

设：扫描平面高度 $H = 300 \text{ mm}$ ，雷达响应时间 $t_1 = 100 \text{ ms}$ ，机器停止时间 $t_2 = 200 \text{ ms}$ ，现场 6 m 内存在回射标签。

- $T = 0.1 + 0.2 = 0.3 \text{ s}$
- $K \times T = 1600 \times 0.3 = 480 \text{ mm}$

- $C = 1200 - 0.4 \times 300 = 1080 \text{ mm}$ ($\geq 850 \text{ mm}$, 取 1080 mm)
- $ZR = 350 \text{ mm}$; $TZ = 65 \text{ mm}$
- $S = 480 + 1080 + 350 + 65 = 1975 \text{ mm}$

即保护区外缘距危险区域边界至少 1975 mm。由于 ST27-03x 的保护区半径为 3 m，本例可满足；若所需 S 超过型号的保护半径，必须改用 ST27-05x 或调整机器停止时间。

10.4.2 固定式 — 垂直保护区（通道防护）

人员穿越垂直保护区时：

$$S = K \times T + C + ZR + TZ$$

其中 $K = 1600 \text{ mm/s}$ ；补充距离 C 依据物体分辨率 d 取值，对 $d = 70 \text{ mm}$ 的通道防护，C 通常取 850 mm（人体穿越）。具体取值须依据 ISO 13855 与风险评估确定。

10.4.3 移动式 — AGV / AMR 行驶防护

AGV 沿行驶方向的保护区长度 SL 按下式估算：

$$SL = v \times (t_1 + t_2) + SB + ZR + TZ + L$$

符号	含义与取值
SL	保护区在行驶方向上的最小长度（mm）。
v	AGV 在该区域组下的最大行驶速度（mm/s）。
t_1	雷达响应时间（s），100 ms（可配，须采用实际配置值）。若使用动态区域切换，须计入切换延时（< 50 ms）。
t_2	AGV 控制系统的反应时间（s），从收到 OSSD 信号到制动器开始动作。
SB	制动距离（mm），在最大速度、最大载荷、最差地面条件下实测得到，并考虑制动器磨损裕量。
ZR	延伸距离，350 mm。仓储环境中回射标签、反光背心极为常见，通常必须计入。
TZ	容差区，65 mm。
L	雷达安装位置到车体最前端的距离（mm）。若雷达安装在车体内缩位置，须补偿该距离。

警告：AGV 应用的补充要求

每一个速度档位对应的区域组都必须单独计算 SL 并单独验收。
保护区的宽度必须覆盖车体全宽，并考虑转弯时的车体扫掠范围（含货物外伸部分）。

符号	含义与取值
	制动距离 SB 必须实测，且应在最不利条件（满载、最高速、地面最滑）下测量，不得使用理论计算值。 必须定期复测制动距离——制动器磨损会使 SB 增大，导致原本合格的保护区变得不足。

10.5 反射物与背景要求

回射器（反光标签、反光条、反光背心、镜面金属、抛光地面）会造成测量误差与延伸距离。

- 当回射器与保护区的距离 $\leq 6\text{ m}$ 时，必须在安全距离中计入延伸距离 $ZR = 350\text{ mm}$ 。
- 应尽量移除保护区附近及其正后方的回射器；无法移除时应加以遮挡或改为哑光表面。
- 保护区后方的背景应为漫反射、哑光表面，避免镜面反射造成“隧道效应”或虚假测距点。
- AGV 导航用的反光板应尽量布置在雷达视场之外，或与保护区保持 $> 6\text{ m}$ 距离。

10.6 多台设备防干扰

产品具备较强的抗同源光干扰能力，可多台设备同时工作，互不干扰。尽管如此，安装时仍应遵循以下原则以获得最佳性能：

- 避免两台雷达的扫描平面正对（面对面安装在同一高度）。
- 若必须相向安装，应使两者的扫描平面存在高度差（建议 $\geq 100\text{ mm}$ ），或使其光轴错开一定角度。
- 避免一台雷达的光学窗口直接位于另一台的视场中心。
- 相邻 AGV 交会频繁的通道，建议错开雷达安装高度。

10.7 机械安装步骤

1. 断开设备电源。
2. 将配套 L 型支架固定至设备安装面，暂不完全拧紧，保留调整余量。
3. 将雷达通过外壳安装孔固定至支架，注意使 276° 视场朝向需防护方向、 84° 盲区朝向无需防护方向。
4. 使用水平仪（或激光对中工具）调整扫描平面的水平度与高度 H，使其符合第 10.3 节要求。
5. 参照旋转头上的角度刻度，确认扫描起始角与实际安装朝向一致。
6. 确认视场内无外壳、支架、线缆或车体结构造成的固定遮挡。
7. 拧紧全部固定螺栓，并做防松处理（螺纹胶或防松垫圈）——AGV 振动环境下尤为重要。

8. 记录最终的安装高度 H、朝向与角度偏移，填入验收记录。

11 电气安装与配置

11.1 接线注意事项

- 接线前必须断开全部电源，并采取防止误送电的措施（上锁挂牌）。
- 电源必须为符合 IEC 60204-1 的 SELV / PELV 安全特低电压电源，DC 24 V $\pm$ 20%。
- 电源必须能够在最恶劣工况下维持电压——AGV 应用中，电机启动瞬间的电压跌落容易使雷达跌出供电范围而复位。
- OSSD 两路信号必须分别接入安全控制器的两个独立通道。
- 所有信号线应与动力线分开走线，间距 $\geq$ 200 mm。
- 屏蔽层应在设备端单点接地，避免形成地环流。
- 接头必须拧紧到位以保证 IP65。
- 接线完成后必须逐点核对，特别是 OSSD 与辅助输出不得接反。

11.2 首次上电

1. 确认接线正确、无短路、极性无误。
2. 接通 DC 24 V 电源。
3. 观察 POWER 指示灯点亮，设备进入自检启动，典型时间 10 s。
4. 自检期间 OSSD 保持 OFF 状态，这是正常现象。
5. 自检完成后，若保护区域内无物体，OSSD 应切换为 ON 状态，OSSD 指示灯点亮。
6. 若 OSSD 未能进入 ON 状态，检查保护区内是否有物体、光学窗口是否清洁、是否存在故障告警（见第 14 章）。

11.3 配置软件

项目	内容
配置软件	配置软件及安装包、默认 IP 地址与通信参数，请联系我们索取。
连接方式	通过 M12-4 芯网络接口 $\rightarrow$ RJ45 延长线连接至 PC（D 型与 P 型）。S 型的配置方式请向制造商确认。

11.4 配置流程

1. 用网络延长线将雷达连接至 PC，设置 PC 的 IP 与雷达处于同一网段。

2. 启动配置软件，扫描并连接设备，核对设备型号与固件版本。
3. 选择工作模式：PAA 模式（保护区 + 双级预警）或 PP 模式（双保护区）。
4. 绘制区域：依据第 10.4 节的计算结果确定保护区尺寸，可采用扇形、多边形或动态轮廓。
5. 配置区域组与监控实例，建立"输入条件 → 区域组"的映射，并设置默认（最保守）实例。
6. 设置响应时间——响应时间越长抗干扰越好但安全距离越大，必须与安全距离计算保持一致。
7. 配置 OSSD 引脚分配（一对或两对）。
8. 将配置下载至设备，等待设备重启并完成自检。
9. 回读配置并与设计文档逐项核对。
10. 导出配置报告与校验码，存入设备档案。

警告：配置变更

任何配置变更（区域尺寸、响应时间、模式、监控实例）都会影响安全功能，变更后必须重新执行第 12 章的完整验收测试。

配置文件与校验码必须存档，并纳入变更管理。定期检验时应回读设备配置，与存档文件比对，确认未被擅自修改。

12 试运行与验收检查

12.1 验收的时机

下列情况下必须执行完整的验收检查：首次安装调试后；任何配置变更后；设备更换或维修后；安装位置或朝向变动后；机器停止时间或 AGV 制动距离发生变化后；定期检验发现异常后。

12.2 验收检查表

序号	检查项目	结果	备注
1	产品型号与订货型号一致，铭牌完好可读。	☐ 合格 ☐ 不合格	
2	安装位置、朝向正确，84° 盲区朝向无需防护方向。	☐ 合格 ☐ 不合格	
3	扫描平面水平（或符合设计倾角），高度 $H = \underline{\hspace{2cm}}$ mm，符合第 10.3 节要求。	☐ 合格 ☐ 不合格	
4	视场内无固定遮挡（外壳、支架、线缆、车体结构）。	☐ 合格 ☐ 不合格	
5	光学窗口清洁、无划伤、无凝雾。	☐ 合格 ☐ 不合格	
6	固定螺栓已拧紧并做防松处理。	☐ 合格 ☐ 不合格	
7	供电电压实测 $\underline{\hspace{2cm}}$ V，在 $DC\ 24\ V \pm 20\%$ 范围内（含最恶劣工况）。	☐ 合格 ☐ 不合格	
8	OSSD 双通道分别接入安全控制器的两个独立通道。	☐ 合格 ☐ 不合格	
9	安全控制回路的安全等级 $\geq PL\ d / SIL\ 2$ 。	☐ 合格 ☐ 不合格	
10	安全控制器可容忍 OSSD 测试脉冲，无误停机。	☐ 合格 ☐ 不合格	
11	辅助输出/告警输出未被用于任何安全功能。	☐ 合格 ☐ 不合格	
12	配置回读与设计文档一致，校验码 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。	☐ 合格 ☐ 不合格	
13	响应时间配置值 $\underline{\hspace{2cm}}$ ms，与安全距离计算所用值一致。	☐ 合格 ☐ 不合格	
14	机器停止时间 / AGV 制动距离实测 $\underline{\hspace{2cm}}$ ，与计算所用值一致。	☐ 合格 ☐ 不合格	
15	安全距离计算书齐备， $S = \underline{\hspace{2cm}}$ mm，实测保护区边界满足要求。	☐ 合格 ☐ 不合格	
16	使用 70 mm 标准检测棒沿保护区边界逐点测试，OSSD 均可靠切换为 OFF。	☐ 合格 ☐ 不合格	

序号	检查项目	结果	备注
17	在保护区各方向（近、远、左、右、边界）测试，无探测盲区。	☐ 合格 ☐ 不合格	
18	逐一测试每个监控实例/区域组的切换与触发。	☐ 合格 ☐ 不合格	
19	切换输入信号异常/冲突时，系统回退至最保守实例或 OSSD → OFF。	☐ 合格 ☐ 不合格	
20	遮挡光学窗口时，设备进入故障状态且 OSSD → OFF。	☐ 合格 ☐ 不合格	
21	断开雷达电源时，OSSD → OFF，机器停机。	☐ 合格 ☐ 不合格	
22	保护区域无法被绕过、跨越或从下方钻入。	☐ 合格 ☐ 不合格	
23	6 m 范围内的回射器已识别，ZR = 350 mm 已计入安全距离。	☐ 合格 ☐ 不合格	
24	多台雷达共存时无相互干扰（连续观察 ≥ 30 min）。	☐ 合格 ☐ 不合格	
25	重启后设备自动恢复至正确配置与正常工作状态。	☐ 合格 ☐ 不合格	
26	操作与维护人员已完成培训。	☐ 合格 ☐ 不合格	
27	本手册与配置报告已随机存档，现场可查。	☐ 合格 ☐ 不合格	

检验人	资质/证号	日期	签字
审核人			

12.3 遮挡测试方法

使用直径 70 mm、长度不小于 300 mm 的标准不透明检测棒（黑色哑光表面，模拟最恶劣反射条件）执行遮挡测试：

1. 在机器停止（或 AGV 静止）状态下进行，确保测试人员安全。
2. 沿保护区边界，以不快于 1.6 m/s 的速度将检测棒垂直插入扫描平面。
3. 在保护区的近端、远端、左边界、右边界及中心，各选取不少于 3 个测试点。
4. 每个测试点确认 OSSD 均切换为 OFF、OSSD 指示灯熄灭、机器停机。
5. 移出检测棒后，确认 OSSD 恢复 ON（若配置为自动复位）或需手动复位（若配置为手动复位）。

6. 记录全部测试点与结果。

13 维护与定期检验

13.1 光学窗口的清洁

光学窗口污染是安全激光雷达最常见的故障原因。窗口积尘、油污或划伤会显著缩短探测距离，尤其是对低反射率（1.8%）的深色物体——这正是安全距离标定所依据的最恶劣条件。

警告：CLEAN 指示灯

CLEAN 指示灯点亮/闪烁表示窗口已污染到影响探测性能的程度，必须立即清洁。严禁通过屏蔽或忽略该告警继续运行。

清洁步骤

1. 停止机器或 AGV，并断开雷达电源（旋转头静止后方可操作）。
 2. 先用清洁的压缩空气（无油、无水）吹去表面的浮尘与颗粒——直接擦拭会使硬质颗粒划伤窗口。
 3. 用洁净、柔软的无绒布（镜头布）蘸取少量中性清洁剂或异丙醇，沿圆周方向轻柔擦拭。
 4. 用干燥的无绒布擦干，确认无水痕、无残留。
 5. 重新上电，确认 CLEAN 指示灯熄灭、OSSD 正常。
- 严禁使用有机溶剂（丙酮、甲苯、汽油）、强酸强碱清洁剂——会腐蚀窗口材料。
 - 严禁使用粗糙布料、纸巾、刷子或研磨材料。
 - 严禁用高压水枪冲洗——IP65 不等于可承受高压水射流。
 - 窗口出现划伤、裂纹或永久性雾化时，必须更换整机，不得继续使用。

13.2 检查周期

周期	执行人	检查内容
每班 / 每日	操作人员	目视检查光学窗口是否清洁；确认 POWER 与 OSSD 指示灯状态正常；确认无 CLEAN / MOTOR / LASER / OTHER 故障告警；确认雷达外观无碰撞、无位移。
每周	操作人员	用检测棒执行一次简易遮挡测试（保护区边界至少 3 点），确认 OSSD 可靠断开。
每月	维护人员	检查安装螺栓是否松动；检查线缆是否磨损、接头是否松脱；清洁光学窗口；检查视场内是否新增遮挡物或回射器。

周期	执行人	检查内容
每半年	维护人员	实测机器停止时间 / AGV 制动距离，与安全距离计算所用值比对；如有变化必须重新计算安全距离。
每年	授权合格人员	执行第 12.2 节的完整验收检查；回读并核对设备配置与校验码；复核风险评估与安全距离计算书是否仍然适用；留存检验记录。
配置/结构变更后	授权合格人员	执行第 12.2 节的完整验收检查。

说明：记录保存

全部检验记录应至少保存至设备退役后 3 年，或按所在国家/地区法规要求的更长期限保存。这些记录是事故调查与合规审计的必要证据。

13.3 可维护性说明

- 本产品为免维护设计，内部无用户可更换部件。
- 严禁拆解外壳。拆解会立即丧失全部安全认证、激光等级保证与质保，且无法恢复。
- 产品发生故障时，只能整机更换或返厂维修，不得现场拆修。
- 更换整机后，必须重新导入配置并执行第 12 章的完整验收检查。

13.4 使用寿命

项目	数值
功能安全数据 (TM / PFHd / MTTFd / DC)	可应要求提供，用于整机 PL / SIL 计算。

说明

依据 ISO 13849-1，安全部件的任务时间通常为 20 年，到期后无论是否仍能工作都必须更换。

14 故障排查

14.1 常见现象与处理

现象	可能原因	处理方法
POWER 指示灯不亮	无供电；线缆断路；接头松脱；电源极性接反。	实测雷达端电压是否在 $DC\ 24\ V \pm 20\%$ ；检查线缆与接头；核对极性。
上电后 OSSD 始终为 OFF	保护区内有物体；仍在 10 s 自检启动中；存在故障告警；配置为手动复位且未复位。	清空保护区；等待自检完成；查看 CLEAN/MOTOR/LASER/OTHER 指示灯；执行手动复位。
CLEAN 指示灯点亮	光学窗口污染。	按第 13.1 节清洁窗口。
MOTOR 指示灯异常	旋转电机转速失常或故障；旋转头被外物阻挡。	断电检查旋转头是否被阻挡或缠绕异物；仍异常则整机返修。
LASER 指示灯异常	光源或接收通道故障；窗口严重污染/划伤。	先清洁窗口；仍异常则整机返修。
OTHER 指示灯异常	内部自检失败；配置错误；内部通信异常。	回读配置核对；重新下载配置；仍异常则整机返修。
探测距离明显变短	窗口污染；目标反射率低于标定值；环境光超过 3000 Lux；窗口凝雾。	清洁窗口；确认目标反射率；改善环境光；确认工作温湿度避免凝雾。
偶发误停机	视场内有间歇遮挡（飘动物、水汽、粉尘）；回射器造成虚假点；安全控制器不容忍 OSSD 测试脉冲；供电瞬时跌落。	排查视场内间歇遮挡；移除/遮蔽回射器；确认控制器容忍测试脉冲；实测最恶劣工况供电电压。
无法连接配置软件	IP 不在同一网段；网线/接头故障；S 型不支持网口配置。	核对 IP 设置；更换网线测试；确认型号是否具备网络接口。
多台雷达相互干扰	扫描平面正对或同高度交会。	错开安装高度（ $\geq 100\ mm$ ）或错开光轴角度。

14.2 返修与技术支持

联系技术支持前，请准备以下信息以加快处理：产品型号与序列号；固件版本；故障现象与指示灯状态；发生频次与触发条件；配置文件与校验码；现场照片或视频；安装环境说明（温度、湿度、环境光、有无回射器）。

项目	内容
技术支持电话	_____
技术支持邮箱	_____
返修地址	_____
质保期	_____

危险：故障设备不得继续使用

任何情况下，出现故障告警的安全激光雷达都不得继续用于人身安全防护。

严禁通过短接 OSSD、屏蔽告警或旁路安全回路的方式让设备"恢复"运行。

在设备修复并通过第 12 章验收之前，必须采取其他措施（停机、隔离、人工看护）保证人员安全。

15 运输、贮存与报废

15.1 运输与贮存

项目	要求
存储温度	-40 °C ~ 70 °C
存储湿度	35% RH ~ 95% RH
包装	应使用原包装或等效防振包装运输，光学窗口须加以保护。
堆码	不得重压，避免外壳变形导致光学系统偏移。
环境	存放于干燥、无腐蚀性气体、无强振动的环境。
低温取出	从低温环境取出后，应在工作环境中静置至温度平衡后再上电，避免窗口凝露。

15.2 报废

- 产品达到任务时间（TM）后必须退役更换，即使外观与功能看起来仍然正常。
- 报废时应按当地法规处理电子废弃物（WEEE），不得随生活垃圾丢弃。
- 外壳为工程塑料，内部含电子元件与激光二极管，应交由有资质的回收机构处理。
- 退役设备应做明确标识或物理破坏，防止被误当作合格品重新投入安全防护用途。

16 附录

附录 A 术语表

缩写	英文	中文含义
AOPDDR	Active Opto-electronic Protective Device responsive to Diffuse Reflection	对漫反射响应的主动式光电保护装置
ESPE	Electro-Sensitive Protective Equipment	电敏保护设备
OSSD	Output Signal Switching Device	输出信号开关装置，即安全输出
PL	Performance Level	性能等级 (ISO 13849)
PLr	Required Performance Level	所需性能等级
SIL	Safety Integrity Level	安全完整性等级 (IEC 61508)
PFHd	Probability of Dangerous Failure per Hour	每小时危险失效概率
MTTFd	Mean Time To Dangerous Failure	危险失效平均时间
DC	Diagnostic Coverage	诊断覆盖率
TM	Mission Time	任务时间 (安全部件的使用寿命)
TOF	Time of Flight	飞行时间测距
ZR	Extension Distance / Reflection Supplement	延伸距离，因反射造成的测量误差补偿
TZ	Tolerance Zone	容差区，测距公差范围
PAA	Protection + Alarm + Alarm	保护区 + 双级预警模式
PP	Protection + Protection	双保护区模式

缩写	英文	中文含义
Field Set	—	区域组，同时生效的一组区域
Monitoring Case	—	监控实例，"输入条件 → 区域组"的映射

附录 B 安全距离计算记录表

序号	项目	取值	来源 / 依据
1	监控实例 / 区域组编号		
2	应用类型（水平/垂直/AGV）		
3	接近速度 K 或行驶速度 v		ISO 13855 / 实测
4	雷达响应时间 t_1 (ms)		配置值
5	策略切换延时 (ms)		< 50 ms
6	机器停止时间 / AGV 反应时间 t_2 (ms)		实测
7	制动距离 SB (mm) (AGV)		实测（满载最高速）
8	扫描平面高度 H (mm)		实测
9	补充距离 C (mm)		$C = 1200 - 0.4H, \geq 850$
10	延伸距离 ZR (mm)	350	本手册 5.2 节
11	容差区 TZ (mm)	65	本手册 5.2 节
12	雷达至车体前端距离 L (mm)		实测
13	计算所得安全距离 S / SL (mm)		公式见 10.4 节
14	实际设置的保护区尺寸 (mm)		配置值
15	结论（实际 $\geq$ 计算？）	☐ 是 ☐ 否	
16	计算人 / 日期		
17	审核人 / 日期		

附录 C 版本记录

版本	日期	修订内容	编制
V1.0		首次发布。	

免责声明

本手册的技术参数依据制造商提供的产品资料编制。制造商保留在不预先通知的情况下对产品与本手册进行修改的权利。

本手册不能替代适用的法律法规、标准与机器制造商的操作规程，亦不能替代集成方应自行完成的风险评估与安全验证。