

基于激光雷达的悬臂防撞保护系统在桥式抓斗卸船机的应用

李明璐

宁波舟山港股份有限公司北仑矿石码头分公司 浙江 宁波 315800

摘 要：本文针对公司桥式抓斗卸船机目前设备现状，探索实现一种基于2D激光雷达扫描仪的非接触式卸船机悬臂防撞保护系统，此系统通过2D激光雷达扫描仪、卸船机PLC、大车变频驱动系统、电气房设备监控系统CMS、司机室状态监控系统RCMS协同工作，实现卸船机悬臂防撞保护有效、可靠、免维护功能，保障设备作业安全，提高设备作业效率。

关键词：卸船机；激光雷达；悬臂防撞

1 概述

桥式抓斗卸船机是铁矿石码头的主要机械设备，在作业过程中，卸船机的悬臂处于放平状态，伸出码头外侧40多米，卸船机大车在快速移动过程中，悬臂存在与船舱生活区顶部雷达等设施碰撞的情况，容易造成机器钢结构严重变形损坏及船体损伤，会造成重大的经济损失。

北仑矿石码头分公司北仑操作分部5台卸船机悬臂防撞保护系统原来采用的是钢丝绳悬臂防撞系统，它属于接触式防撞系统。这种防撞系统在动作以后，其钢丝绳被撞断，用于支撑钢丝绳的角钢变形，修复前无法继续发挥保护作用。由于卸船机悬臂大梁较高，且大部延伸到海侧，更换钢丝绳和支撑角钢的难度大增，维修的时间成本和经济成本都很高，在防撞保护系统未修复期间设备安全处于不可控状态，极大的增加了设备作业的安全风险，目前急需寻求一种有效可靠免维护的悬臂防撞保护系统，替代目前的接触式防撞保护系统，达到保障设备作业安全，提高设备作业效率的目的。

本项目旨在通过新技术新设备的应用，探索实现一种基于2D激光雷达扫描仪的非接触式卸船机悬臂防撞保护系统，实现卸船机悬臂防撞保护有效、可靠、免维护功能，能够在保护动作后可以自动复位，避免了系统繁杂的修复工作，既有效的保护了设备的作业安全，又节省了设备的维修时间，间接提高了设备的作业效率。

2 设计方案说明

目前主流用于防撞的非接触式传感器有红外线、超声波、激光雷达这几种形式，它们的特点如下：1）红外光电开关：抗干扰性能好，定位精度高，但其远端需要接收或反射装置；2）超声波防撞装置：具有表面自清洁能力，散射角大，定位精度较差，雨、尘、雾对其影响

很大，误动作率较高；3）激光雷达系统：成本高，精度高，可靠性高，对复杂天气恶劣环境适应性好。

项目小组结合本项目实际情况，对于以上方案进行了充分的研究讨论，最终确定选用激光雷达系统实现卸船机悬臂防撞保护，探索实现一种基于2D激光扫描仪的非接触式卸船机悬臂防撞保护系统，此系统通过2D激光扫描仪、卸船机PLC、大车变频驱动系统、电气房设备监控系统CMS、司机室状态监控系统RCMS协同工作，实现卸船机悬臂防撞保护^[1]。

具体方案如下：把2D激光扫描仪通过固定支架安装于卸船机悬臂前大梁左右两侧，并通过中间接线箱与卸船机PLC连接，PLC分别与大车变频驱动系统、CMS、RCMS通讯，通过设置激光扫描仪工作区域，当船舶进入卸船机悬臂激光扫描仪设置区域时，实现大车行走系统的自动减速与停止，并在CMS、RCMS中显示设备状态及报警信息，提醒操作人员及时作出适当操作，有效避免卸船机悬臂与船舶碰撞事故的发生，有力保障卸船机的生产效率和作业安全。

3 方案实施

3.1 2D激光雷达工作原理

2D激光扫描仪或2D LiDAR传感器是一个光电型雷达传感器，其借助激光束以非接触方式扫描周围的轮廓，该设备结合其测量原点在二维极坐标中测量其环境，该测量原点通过小标记在护罩侧面进行标示，如果激光束在某一平面上旋转或移动，测量光束射到物体，则以距离和角度的形式确定其位置，并可获得距离和角度数据，从而提供二维结果^[2]。

3.2 2D激光雷达选型

项目小组对设备现场需求进行了充分调研，列出了

激光雷达所需满足的技术指标，如表1所示。

表1 激光雷达技术指标需求汇总

序号	技术指标	技术要求
1	扫描原理	固定扇形扫描
2	激光等级	Class 1人眼安全
3	线数	16
4	测量范围	≥ 50m
5	测距精度	±2cm
6	水平视场角	≥ 180°
7	水平角分辨率	≤ 0.4°
8	扫描频率	5HZ, 10HZ, 20HZ
9	输出信号	开关量
10	运行温度	-20℃~65℃
11	防护等级	室外IP67

按照技术指标需求，项目小组通过对激光雷达市场头部厂商SICK、Velodyne、GEO公司产品的筛选，最终选定了SICK公司生产的LMS511-10100 PRO 2D激光雷达扫描仪进行非接触式的悬臂防撞系统改造。

LMS511系列激光雷达以智能的五重回波技术以及坚固的外壳，将准确度与耐用性和智能性相结合，可提供全方位的卓越性能，在测量值的记录、识别、评估和传输方面均具有较高水平，能够满足散货码头恶劣的作业工况，并能在其整个生命周期确保更大的可用性和室外性能。

LMS511-10100 PRO激光雷达的性能完全能够满足项目需求，详细技术参数如图1所示。

型号	PRO
应用领域	Outdoor
分辨率范围	Standard Resolution
光源	红外线 (905 nm)
激光等级	1 (IEC 60825-1:2014, EN 60825-1:2014)
开启角度	水平的 190°
扫描频率	25 Hz 35 Hz 50 Hz 75 Hz 100 Hz
角度分辨率	0.042°, interlaced 0.083°, interlaced 0.1667° 0.25° 0.333° 0.5° 0.667° 1°
加热装置	是
工作区域	1 m ... 80 m
扫描范围	反射比为 10% 时 40 m
光点大小	11.9 mrad
所选 Echo 协议数量	5
雾校正	是

图1 LMS511-10100 PRO激光雷达技术参数

4 设备安装

通过对现场的勘察，我们确定了设备硬件安装的具体方案。卸船机前大梁底部左右两侧各安装一个激光雷达，并通过安装在主梁上的雷达接线箱中继后，接入俯仰室的PLC远程站中，相关信号借用远程站PLC DI模块的备用点连入卸船机主PLC，雷达供电及信号供电均由俯仰室远程站开关电源提供。

LMS511激光雷达通过专用支架连接槽钢安装在悬臂大梁上，LMS511激光雷达供电电源和信号通过专用插头线缆接入机侧接线箱，机侧接线箱与俯仰室PLC远控柜连接^[3]。

4.1 设备调试

4.1.1 激光雷达调试

LMS511激光雷达可以借助SICK公司专用SOPAS工程工具SOPAS ET软件进行交互式配置。通过该配置软件，可以根据需要对系统的测量特性、评估行为和输出特性进行参数设置和测试。

4.1.2 基本参数设置

LMS511 PRO的扫描频率为25至100 Hz，或角度分辨率为0.1667°至1°，通过更高的扫描频率或更精细的角度分辨率，设备可以提供更多测量值，一些扫描配置会使用一个比例因子，通过数据输出接收的距离值必须乘以该因子。

LMS511 PRO还可以设置交错扫描模式，在此模式下，通过组合序列的重复扫描，最终可以获得角度分辨率更精细的扫描数据。

如果采用交错扫描配置，则必须禁用微粒过滤器，和项目后续的滤波配置有冲突，所以本项目通过对照LMS511 pro扫描配置图，选择了未使用交错配置的25HZ/0.1667°的最小扫描频率，其65米的最大扫描范围，远高于悬臂前大梁40米的前伸距，此选项满足项目需求。

4.1.3 扫描区域设置

LMS511 PRO通过集成的现场应用，最多可借助十种分析案例来适应现场具体的分析情况，这些分析区域的大小和形状几乎可以自由配置。

配置控制区域长度时，必须确保保持与待测设备的最小距离。此距离保证由雷达传感器监控的设备在到达待测设备前停下来。可以规定多个控制区域不同的监控情况。这些可以通过静态控制输入端进行动态切换。使用以下公式，可以计算控制区域长度SL（基于像素计算的方向值）：

$$SL = SA + ZG + ZR + ZB$$

SA = 停车距离

$ZG = \text{雷达传感器的一般安全附加距离} = 100\text{mm}$

$ZR = \text{针对与应用相关的影响或所选应用参数的附加值}$

$ZB = \text{针对设备降低的制动力的附加值}$ ；取自相关文档或者可选停车距离10%

配置控制区域宽度时，控制区域的宽度应覆盖保护设备宽度，并且针对测量误差考虑附加值。使用以下公式，可以计算控制区域宽度SB（基于像素计算的方向值）：

$$SB = FB + 2 \times (ZG + ZR)$$

$FB = \text{保护设备宽度}$

$ZG = \text{雷达传感器的一般安全附加距离} = 100\text{mm}$

$ZR = \text{针对与应用相关的影响或所选应用参数的附加值}$

本项目激光雷达扫描工作区域主要包括臂架防撞减速控制区域和臂架防撞停车控制区域，由于激光雷达与悬臂前大梁是平行安装，所以选取的控制区域为矩形控制区域，控制区域长度和宽度在满足上述公式计算距离外，结合卸船机过船尾生活舱时大车速度的影响以及考虑卸船机并舱作业等特殊情况后，适当放大裕量，确保防撞保护有足够预警时间，最大程度保障设备作业安全。

5 多重滤波设置

LMS511 PRO激光雷达多重滤波技术最多可分析每个发出测量光束的五个回波信号，以便即使在不利的环境条件下也能提供可靠的测量结果。

LMS511 PRO可以通过软件设置使用数字滤波器对测量值进行预处理和优化，可以针对各项应用的特殊需求设置设备，从而能够几乎完全避免故障。

本项目结合散货码头多粉尘、恶劣天气作业等实际工况，通过软件对激光雷达进行了多重滤波设置，可有效避免雨、雾、粉尘等恶劣工况对激光雷达的影响。

5.1 PLC调试

本项目通过ABB Compact_Control_Builder_AC800M编程软件对激光雷达输入信号进行了硬件组态和软件编程，实现了激光雷达悬臂防撞保护装置与大车机构、俯仰机构的联锁控制。

5.2 CMS调试

本项目通过CMS编程软件完成了激光雷达悬臂防撞保护装置的界面显示组态和报警输出组态程序编辑。

5.3 项目完成效果

本项目改造完成后设备运行效果良好，性能要求达到了预期目标，经受住了雨雾粉尘等码头恶劣环境的考验，基本上没有出现误动作，完全满足可靠安全的要求。

以下节选了一些项目完成后的效果图。



图1 悬臂防撞保护CMS界面状态显示

6 结语

6.1 经济效益

新型卸船机悬臂防撞系统，在其保护动作后免于维修，不仅降低了维护成本，同时也提高了卸船机的生产效率。其产生的经济效益具体如下：

（1）免除了卸船机悬臂防撞系统的修理成本，按以往数据统计，算上材料费、人工费、登高设备费等，每台卸船机的年修理成本约为3.8万元，5台卸船机约为 $3.8 \times 5 \approx 19$ 万元；

（2）免除了卸船机悬臂防撞系统的维修时间，按以往数据统计，每台卸船机每年接触式悬臂防撞保护系统维修时间约为70小时，按照卸船机额定2500t/h的设计作业能力、卸船机运矿效益10元/吨、维修时间中影响作业的占10%计算，5台卸船机每年可以减少损失 $2500 \times 70 \times 10 \times 5 \times 0.1 \approx 87.5$ 万元。

6.2 社会效益

本项目通过使用2D激光雷达扫描仪等新设备新技术实现了非接触式卸船机悬臂防撞保护系统的改造，作为一种非接触式防撞系统，新型悬臂防撞系统在散货码头恶劣的作业工况下也不会影响到它的正常工作，其具有表面污染报警功能，在使用过程中基本免维护，实现了防撞保护动作后自动复位，节省了维修维护的成本和时间，实现了悬臂防撞保护功能的连续性，提高了悬臂防撞保护功能的动作可靠性，避免了卸船机在失去悬臂防撞保护状态下作业的风险，在提高设备安全性的同时，间接提高了作业效率。

参考文献

- [1]欧阳兴东,张春光,等.基于激光雷达的散货装船机智能防撞系统.港口装卸,2023年第5期.
- [2]SICK 2D-LiDAR传感器操作指南.
- [3]范素英.雷达测距在卸船机大车防撞报警系统应用[J].内燃机与配件,2019(15):251-254.