ICS 37.020
CCS N38

团　　体　　标　　准

T/CIN XXX—XXX

低能见度环境条件下船舶智驾技术与装备系统规范

Specification for intelligent navigation technology and equipment systems for ships in low-visibility conditions

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

2026－XX－XX 发布　　2026－XX－XX 实施

中国航海学会　　发 布

目　　次

前　　言.....II
1 范围.....1
2 规范性引用文件.....1
3 术语和定义.....1
4 基本原则.....2
5 低能见度下船舶航行安全视觉增强系统规范.....3
6 低能见度下船舶航行安全视觉增强设备规范.....10
7 低能见度下船舶航行安全视觉增强设备测试.....14
8 安装、检验与维护.....14
附　录　A　（规范性附录）.....19

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、中远海运科技股份有限公司、武汉理工大学三亚科教创新园、深圳市科美船舶智能科技装备系统有限公司、桥守科技（海南）有限公司。

本文件主要起草人：刘敬贤、袁智、刘超、魏林、狄仲捷。

低能见度环境条件下船舶智驾技术与装备系统规范

1 范围

本文件规定了低能见度环境条件下船舶智驾技术与装备系统规范的术语和定义、基本原则、系统规范、设备规范、设备测试、安装检验与维护等要求。

本文件适用于内河、近海及远洋航行船舶在雾霾、雨雪、夜晚等低能见度气象条件下，用于船舶辅助驾驶、航行安全监控、避碰预警及应急救援的视觉增强系统与设备的设计、制造、测试、安装和验收。港口、海事监管等岸基固定站点使用的同类设备可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.65-2024 环境试验 第2部分：试验方法试验 盐雾 温度 湿度 太阳辐射综合

GB/T 2423.101-2025 环境试验 第2部分：试验方法 试验：倾斜和摇摆

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 7358-2025 船舶电气设备系统设计总则

GB/T 9917.1-2025 照相镜头 第1部分：变焦距镜头

GB/T 15211-2013 安全防范报警设备 环境适应性要求和试验方法

GB/T 15412-2017 应用电视摄像机云台通用规范

GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 25724-2017 公共安全视频监控数字视音频编解码技术要求

GB/T 25931-2010 网络测量和控制系统的精确时钟同步协议

GB/T 28181-2022 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求

GB/T 30147-2013 安防监控视频实时智能分析设备技术要求

GA/T 1127-2013 安全防范视频监控摄像机通用技术要求

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

低能见度 low visibility

指由于大雾、大雨、降雪、烟霾及夜间无光等气象或环境因素，导致人眼及传统光学设备视距受限。

3.1.2

视觉增强系统 visual enhancement system

利用光学成像、图像处理算法及人工智能等技术，能够实时穿透雨雪、雾霾等恶劣环境，提取清晰图像。

3.1.3

图像自适应融合 adaptive image fusion

根据当前气象条件和光照环境，自动调整图像增强算法和光学参数，对多源图像信号进行深度计算与融合处理，输出连续、清晰的高质量画面的技术。

3.1.4

有效辨析距离 effective discrimination distance

在特定气象条件下，系统能够清晰辨别目标类型（如区分渔船与航标）的最大直线距离。

3.1.5

有效可视距离 effective visual distance

在特定气象条件下，系统能够检测到目标存在的最大直线距离。

3.1.6

目标识别准确率 target recognition accuracy

系统在指定距离范围内，对预设类别目标（如货轮、渔船、航标、桥墩等）进行自动识别时，正确识别数量与应识别总数量的比值，以百分比表示。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IP67：国际防护等级 67 级（International Protection Rating 67）

IPv4：第四版互联网协议（Internet Protocol Version 4）

HTTP：超文本传输协议（Hypertext Transfer Protocol）

FTP：文件传输协议（File Transfer Protocol）

DNS：域名系统（Domain Name System）

NPU：神经网络处理单元（Neural Processing Unit）

TOPS：每秒万亿次运算（Tera Operations Per Second）

CPU：中央处理器（Central Processing Unit）

GPU：图形处理器（Graphics Processing Unit）

4 基本原则

4.1 总设计原则

系统与设备的设计应遵循安全性、可靠性、稳定性、先进性和实用性的原则，紧密贴合船舶航行实际需求，解决恶劣天气下视距受限的痛点。

4.2 安全性原则

以保障船舶航行安全为核心，重点解决低能见度（大雾、大雨等恶劣天气）及夜间环境下的视距受限问题。

4.3 可靠性原则

设备必须适应水上环境。硬件需满足高等级防护（如 IP67）、宽泛的工作温度（—40 ℃至 70 ℃）及防盐雾要求。

4.4 稳定性原则

设备必须具备陀螺仪等物理稳定技术，抵消船舶摇晃引起的画面抖动，确保系统持续、稳定运行。

4.5 先进性原则

充分利用图像运算与人工智能算法，采用全天候雾霾穿透、超低照度感光及图像自适应融合等创新性技术，显著提升恶劣天气下的图像提取与成像质量，实现可视距离至少五倍以上的提升。

4.6 实用性原则

产品设计应紧密贴合船舶驾驶、海事管理、应急救援等用户的实际业务需求，系统应具有良好的接口兼容性和功能拓展性。

4.7 设备分级原则

考虑到内河、近海及远洋船舶在航行环境、供电条件及安装空间上的差异，设备应按适用水域分为以下三个等级，具体分级要求见表 1：

a）Ⅰ级（远洋/近海型）：适用于远洋及近海航行船舶，要求设备具备更高的环境适应性（耐盐雾、宽温域）和更远的有效辨析距离；

b）Ⅱ级（沿海/大型内河型）：适用于沿海及长江干线等大型内河航行船舶；

c）Ⅲ级（内河型）：适用于一般内河航道船舶，可适当放宽环境适应性和有效辨析距离要求，但核心的透雾透雨成像与稳像功能不得降低。

表1 设备分级技术要求对照表

分级	适用水域	有效可视距离（低能见度）	防护等级	工作温度范围	耐盐雾要求
Ⅰ级	远洋、近海	≥3 km	≥IP67	-40 ℃～+70 ℃	应满足
Ⅱ级	沿海、大型内河	≥2 km	≥IP66	-25 ℃～+70 ℃	应满足
Ⅲ级	一般内河	≥1.5 km	≥IP65	-10 ℃～+60 ℃	可不做要求

5 低能见度下船舶航行安全视觉增强系统规范

5.1 系统架构

低能见度下船舶航行安全视觉增强系统采用分层架构设计，主要由感知采集层、传输层、处理层和应用层四个部分组成：

5.1.1 采集层

采集层应满足下列要求：

a) 采集层部署于船舶驾驶室外部顶侧视野无遮挡处，由高清成像设备、三轴增稳云台、防护罩及辅助光源等部件组成，负责在低能见度环境（浓雾、雨雪、夜间低照度）下持续获取原始图像信号，并向传输层输出符合 GB/T 25724—2017 规定的标准数字码流；

b) 成像设备可见光通道分辨率不低于 1920×1080，帧率不低于 25 fps，宽动态范围不低于 120 dB；宜配置近红外通道并支持昼夜自动切换，红外通道分辨率不低于 640×512。设置辅助光源时应采用近红外波段补光，并支持手动关闭与自动关闭；

c) 采集设备应配置三轴增稳云台，以陀螺仪、加速度计等惯性测量单元实时感知船体横摇、纵摇与艏摇姿态并进行反向补偿。按 GB/T 2423.101—2025规定的方法，在横摇角 ±15°、摇摆周期 6 s～10 s的试验条件下，稳像后画面位移不大于 5 px，画面无可见跳动与拖影；

d) 采集设备应支持船用直流或交流供电，输入电压波动范围不小于额定值的 ±20%，并具备过压、欠压、反接与浪涌保护。电磁兼容性能应符合GB/T 7358—2025的规定，抗扰度等级不低于 3 级；

e) 采集设备的海洋环境适应性应满足：工作温度 −25 ℃～+65 ℃，相对湿度 95%（+40 ℃）不凝露，盐雾试验按GB/T 2423.65—2024进行，试验48 h 后，成像功能和图像质量与试验前一致；外壳防护性能符合GB/T 4208—2017的要求；

f) 采集设备应支持标准数字视频输出接口与以太网接入，接入注册与信令交互应符合GB/T 28181—2022的规定；

g) 采集设备应具备时钟同步能力，采用GB/T 25931—2010的精密时钟同步协议，与系统时间偏差不大于 100 ms；

h) 采集设备连续运行 72 h，丢帧率不大于 0.1%，无需人工干预重启；发生程序停止响应、码流中断等异常时应自动恢复，恢复时间不大于 60 s。

5.1.2 传输层

传输层应满足下列要求：

a) 传输层由网络交换设备、传输链路及协议栈构成，实现前端采集设备与处理层、应用层之间图像流、控制指令及告警信息的双向交互；

b) 传输链路应采用以太网或光纤网络，设备网络接口速率不低于 1000 Mbit/s。传输带宽应按各路码流峰值之和的 1.5 倍以上冗余设计，单路 1080P、25 fps 视频流的规划带宽符合GB/T 25724—2017要求；

c) 自采集设备编码输出至处理层接收缓存的传输时延不大于 200 ms，云台控制指令响应时延不大于 500 ms；网络丢包率不大于 0.1%，时延抖动不大于 20 ms。连续运行 72 h，链路可用性不低于 99%，单次中断后恢复时间不大于 30 s；

d) 传输层应支持 IPv4/IPv6 双栈，并支持 HTTP、HTTPS、DNS、NTP、RTP/RTCP、RTSP 协议。前端设备接入、信令交互与媒体传输应符合 GB/T 28181—2022的规定，至少实现注册与注销、实时点播、云台控制、历史检索与回放、告警上报、设备校时六类流程；

e) 传输层应具备身份认证、访问控制、传输加密、安全审计与网络隔离能力，安全防护水平不低于GB/T 22239—2019第二级要求；

f) 传输层的管理与配置通道应采用 HTTPS加密方式，不应以明文传输口令；应支持 VLAN 划分或独立专网部署，实现视频业务与办公业务网络隔离。

5.1.3 处理层

处理层应满足下列要求：

a) 处理层由部署于船上的算力节点构成，采用图像去雾增强算法对采集层输出的视频信号进行降噪与对比度增强处理；配置多光谱成像通道时，还应支持多通道图像配准与自适应融合，以改善低能见度条件下的图像对比度与目标可辨识性；

b) 处理层应集成独立神经网络处理单元（NPU），INT8 精度下峰值算力不低于 6 TOPS，且该指标不应以 CPU 或 GPU 算力折算计入；

c) 处理层单节点应支持不少于 4 路 1920×1080、25 fps 视频流的实时处理。处理时延（自视频流进入算力节点解码输入端至增强结果输出端）不大于 150 ms，按 GB/T 30147-2013 规定的方法测量；

d) 在能见度 50 m±5 m条件下，增强后图像的标准测试靶标可辨识距离相对未增强图像提升不低于30%，图像对比度提升不低于 30%，且不应出现色彩失真、纹理丢失与虚假边缘；

e) 处理层连续运行 72 h 应满足丢帧率不大于 0.1%，处理进程常驻内存增量不超过初始值的 5%，无需人工干预重启；

f) 当接入路数超过单节点处理能力时，应采用分布式部署方式横向扩展。系统应支持以 4 路为单位扩展，整体处理能力不少于 16 路；满载运行时，处理时延与丢帧率仍应符合GB/T 30147—2013要求；

g) 分布式部署时，处理层应具备统一任务调度、算力负载均衡与集中运维管理能力，支持各节点算力占用、任务状态与故障信息的集中监视。单节点故障不应影响其余节点业务运行，其承载的处理任务应自动迁移至其他可用节点，业务中断时间不大于 30 s，故障期间系统剩余处理能力不低于额定能力的 75%。

5.1.4 应用层

应用层应满足下列要求：

a) 应用层面向船舶驾驶人员、船岸管理人员等终端用户，提供增强后的实时视频监视画面、目标识别与标注信息、避碰预警提示、历史录像检索与回放及系统状态监视等功能;

b) 应用层应提供人机交互界面，支持 1、4、9、16 画面分割显示及任意通道全屏切换，支持通过鼠标或触控方式实现云台方位控制、镜头变倍与聚焦、预置位调用与巡航；界面响应时延应不大于 500 ms;

c) 驾驶台显示终端的屏幕分辨率应不低于 1920×1080，水平及垂直可视角均应不小于 170°，屏幕表面应做防眩光处理。显示亮度应可调，并应具备昼间、黄昏与夜航三级亮度模式；夜航模式下的最低亮度应不大于 5 cd/m² 。显示终端的电磁兼容性应符合GB/T 2423.65—2024的规定;

d) 应用层应在增强画面上叠加目标方位、距离及本船航向、航速等辅助信息。预警提示应同时采用视觉与声音两种方式。视觉提示应在目标处高亮显示；声音提示应可手动静音，静音状态应在界面上持续可见;

e) 预警应分级呈现，至少区分提示、注意与告警三级，分级阈值应由授权用户配置。自预警条件成立至界面呈现的时延应不大于 1 s。系统的目标识别与预警功能仅作为驾驶辅助手段，不应替代法定航行值班与瞭望要求，界面应作出相应提示;

f) 应用层应支持按通道、时间及事件类型进行检索回放，检索响应时延应不大于 3 s；应支持倍速播放、单帧步进与图像抓拍，并支持将录像片段与抓拍图像导出为通用格式。导出文件应附带时间、通道与设备标识信息，并应具备完整性校验手段;

g) 应用层软件异常退出后应自动重启，并恢复至退出前的画面布局，恢复时间应不大于 60 s。断电重启后应无需人工登录即可自动恢复实时监视画面，其余操作功能仍需身份认证;

h) 应用层应支持基于角色的权限管理，至少划分管理员、操作员与查看员三类角色，权限应按通道与功能分别配置。录像删除与系统配置变更权限应仅授予管理员;

i) 应用层应记录用户登录、权限变更、配置修改、录像调阅与删除等操作日志，日志条目应包含时间、账号、源地址、操作对象与操作结果；日志留存时间应不少于 6 个月，且不应被除系统管理员外的用户修改或删除。

5.2 系统核心功能

低能见度下船舶航行安全视觉增强系统的核心功能主要包括：

5.2.1 恶劣天气下高清成像

系统在雨、雪、雾、霾及大风浪等恶劣天气条件下，应能对采集的可见光视频图像进行实时降噪与增强处理，恢复有效场景信息，保证监视画面的清晰度与色彩可辨性，为驾驶人员提供连续、可靠的观察依据。

a) 系统应具备透雾、去霾功能。在能见度不低于500 m 的雾、霾条件下，可辨识观瞄目标的距离不小于3000 m；在能见度不低于300 m 的雾、霾条件下，可辨识观瞄目标的距离不小于1500 m；在能见度不低于200 m 的雾、霾条件下，可辨识观瞄目标的距离不小于1000 m;

b) 在雨、雪条件下，系统应能抑制雨滴、雪花造成的背景噪声，图像有效信息不丢失;

c) 图像处理时延应不大于200 ms，保证画面与实际场景的时间一致性，不得引入明显的拖影或迟滞;

d) 恶劣天气增强处理应可手动开启/关闭，并可调节增强强度，以适应不同天气强度与实际观察需求。

5.2.2 低可见光下高清成像

系统在晨昏、夜间及光照不足的环境下，应能借助低照度与红外成像等手段，获取并呈现清晰的监视画面，保障低光环境下对水面目标、航标及障碍物的有效辨识。

a) 系统应支持低照度成像，在环境照度不低于0.0005 Lux条件下仍能输出可辨识的彩色或单色图像;

b) 系统具备激光测距功能，可对水面目标进行探测，探测船只距离不小于7000 m；探测精度±1 m;

c) 系统应具备红外热成像能力，可对水面目标、落水人员等热目标进行探测，热成像镜头分辨率640×480、焦距25-225 mm;

d) 可见光与红外成像应支持昼夜自动切换，切换时画面不得出现长时间黑屏或剧烈闪烁;

e) 低光增强应避免过度增益导致的高噪声，输出图像信噪比应符合GA/T 1127—2013要求。

5.2.3 图像自适应融合

系统应对可见光与红外等多路视频图像进行自适应融合，发挥各自成像优势，在复杂光照条件下获得信息互补、轮廓清晰的合成图像，提升目标的可辨识度。

a) 系统应支持可见光与红外图像的像素级融合，融合图像应保留两路图像的轮廓、纹理与热信息;

b) 图像融合应具备自适应能力，可根据环境照度、对比度与场景内容自动调整融合权重，无需人工干预;

c) 系统应对强逆光、低对比度等恶劣光照具备自动增益与宽动态处理能力，抑制过曝与欠曝，恢复高光与阴影区域细节;

d) 融合图像输出应稳定，不得出现明显的伪影、轮廓重影或色彩失真。

5.2.4 目标识别

系统应能对监测的水面船舶进行自动识别、定位与跟踪，并对识别船舶进行框选标注，为驾驶人员提供辅助决策信息。

a) 系统应能识别水面船舶，识别准确率不低于95%;

b) 系统应能对已识别船舶进行持续跟踪，并输出目标的方位、距离、相对速度等信息;

c) 船舶的探测与识别功能应仅作为驾驶辅助手段，不替代法定的航行值班与瞭望义务;

d) 目标识别结果应在增强画面上实时叠加标注，标注信息应清晰、不与场景关键信息相互遮挡。

5.2.5 图像稳定控制

系统应具备图像防抖稳定功能，抑制因船体晃动、风浪冲击及云台抖动引起的图像抖动，保证在动态环境下输出稳定、清晰的监视画面。

a) 系统应具备电子防抖或光学防抖能力，能有效抑制船体纵摇、横摇及云台抖动引起的图像位移;

b) 在 4 级海况（有义波高约 1.25 m～2.5 m）或船体晃动角速度不大于 4°/s 的条件下，稳定后图像的残余抖动幅度应不大于3 px;

c) 稳定处理不得引入明显的延迟或画面裁切损失，输出画面应保持高分辨率;

d) 云台应支持方位、俯仰的平稳控制与预置位调用，操作响应时延满足应用层规定。

5.2.6 可视距离提升

系统应通过光学变倍、图像增强、融合等技术手段，在低能见度条件下显著提升对目标的可视探测距离，扩展驾驶人员的有效观察范围。

a) 相对于人眼在同等条件下的裸眼观察距离，系统的目标可视探测距离提升倍数应不低于**5**倍；

b) 系统应支持光学变倍与电子变倍，变倍过程中应对焦清晰、画面连续，无明显卡顿或失焦；

c) 在能见度500 m 的低能见度条件下，系统对目标的可靠辨识距离应不小于3000 m；在能见度300 m的低能见度条件下，系统对目标的可靠辨识距离应不小于1500 m；在能见度200 m 的低能见度条件下，系统对目标的可靠辨识距离应不小于1000 m；

d) 系统应能够量化展示或记录当前可视距离提升效果，支持与原始画面进行对比。

5.2.7 告警联动

系统在目标识别、跟踪及航行态势分析的基础上，应能对潜在的碰撞、失控等危险态势进行自动研判，并触发告警，联动相关设备与界面，提示驾驶人员及时处置。

a) 系统应支持与雷达、AIS、电子海图等导航设备联动，当识别到目标进入预设的防碰撞告警区域（如靠近其它船舶、桥梁、浅滩等）时，自动触发分级告警;

b) 系统应能根据目标距离、相对速度、航向及碰撞时间（TCPA/CPA）等参数，自动评估碰撞风险并分级告警，告警等级划分与阈值配置见应用层相关规定;

c) 告警应以视觉与声音方式联动呈现，视觉提示应在目标处高亮，声音提示应满足应用层声压级要求，并支持手动静音;

d) 系统应支持与航行告警系统、船岸通信等设备的联动，可将告警信息上传或触发外部报警装置;

e) 自告警条件成立至告警呈现的时延应不大于3s，初次告警与再次告警间隔不超过30 s。

5.2.8 视频存储与回放

系统应能对增强后视频与原始视频进行同步录制、存储与回放，支持按通道、时间与事件类型进行检索，为事故调查与航行复盘提供完整的视频证据。

a)系统应支持本地存储和远程存储，存储容量应满足不少于30天连续录像的需求。支持按时间、告警事件等多种方式进行录像检索与回放;

b) 系统应同步录制增强后视频与原始视频，录像分辨率与帧率不低于采集层输出，存储时间满足应用层规定;

c) 发生告警事件时，系统应自动标记事件片段，事件前、后录像的单独保留与循环覆盖策略应满足应用层相关规定;

d) 系统应支持按通道、时间、事件类型检索回放，支持倍速播放、单帧步进与图像抓拍，检索响应时延应满足应用层规定；

e) 录像片段与抓拍图像应支持导出为通用格式，导出文件应附带时间、通道与设备标识信息，并具备完整性校验手段。

5.3 系统性能指标

低能见度下船舶航行安全视觉增强系统的性能指标按下述五类给出：

5.3.1 光学与成像性能指标

光学与成像性能决定了可见光、近红外及热成像通道在分辨率、帧率、动态范围、灵敏度与视场等方面的基本能力，是其余各项性能的物理基础。

a) 可见光通道分辨率应不低于 1920×1080，帧率应不低于 25 fps，宽动态范围应不低于 120 dB;

b) 红外（热成像）通道分辨率应不低于 640×512，帧率应不低于 25 fps；如配置短波/长波红外变焦镜头，其焦距、视场角范围应在产品规格中明确给出，变倍过程中应保持对焦清晰、画面连续;

c) 低照度灵敏度的最低环境照度应不低于 0.0005 Lux（彩色或单色可辨识）；低光增强后的输出图像信噪比应符合 GA/T 1127—2013 的要求;

d) 光学变倍倍数、视场角（水平/垂直）及最小对焦距离等光学参数应在产品规格中明确标注，其测量方法应符合GB/T 15412-2017和GB/T 9917.1-2025的规定;

e) 多光谱通道（可见光、近红外、红外）之间的空间配准偏差应不大于5 px，配准误差过大时融合图像不得出现明显轮廓重影。

5.3.2 智能算法与自适应处理性能

a) 处理时延：自视频流进入算力节点解码输入端至增强结果输出端的处理时延应不大于 150 ms，按 GB/T 30147—2013 规定的方法测量;

b) 单节点算法能力：单节点在 INT8 精度下应支持不少于 4 路 1920×1080、25 fps 视频流的实时处理，独立 NPU 峰值算力应不低于 6 TOPS;

c) 目标识别准确率应不低于 95%，识别目标应覆盖水面船舶；识别结果应稳定，连续帧间目标 ID 切换不得导致标注频繁跳变;

d) 图像融合自适应能力：融合权重应能根据环境照度、对比度与场景内容自动调整，融合后图像信息量不应低于任一输入源，按互信息、结构相似度与边缘保持度等指标客观评价;

e) 系统连续运行 72 h，常驻内存增量不应超过初始值的 5%，丢帧率应不大于 0.1%。

5.3.3 视距性能指标

a) 恶劣天气辨识距离：在能见度不低于 500 m、300 m、200 m 三类雾/霾条件下，系统对观测目标的可辨识距离应分别不小于 3000 m、1500 m、1000 m;

b) 可视距离提升倍数：相对于人眼在同等条件下的裸眼观察距离，系统的目标可视探测距离提升倍数应不低于 5 倍;

c) 激光测距：对水面目标的探测距离应不小于 7000 m，测距精度应不大于 ±1 m;

d) 视距提升效果应可量化展示或记录，支持与原始画面同屏对比，便于验收与复核。

5.3.4 稳像与控制性能

a) 稳像残余抖动：在 4 级海况（有义波高约 1.25 m～2.5 m）或船体晃动角速度不大于 4°/s 的条件下，稳定后图像的残余抖动幅度应不大于 3 px，实测画面应无可见跳动与拖影，符合 5.1.1 与 5.2.5 的规定;

b) 稳像试验条件：按 GB/T 2423.101—2025 规定的方法，在横摇角 ±15°、摇摆周期 6 s～10 s 的试验条件下，稳像后画面位移应不大于 5 px;

c) 云台控制：方位、俯仰控制应平滑，支持预置位调用与巡航；云台控制指令响应时延应不大于 500 ms，符合 5.1.2 的规定;

d) 稳像处理不得引入明显延迟或画面裁切损失，输出画面应保持不低于采集层的有效分辨率。

5.3.5 环境适应性与可靠性指标

a) 工作环境：工作温度应满足 −25 ℃～+65 ℃，相对湿度 95%（+40 ℃）不凝露；海洋盐雾试验按 GB/T 2423.65-2024 进行，试验 48 h 后成像功能与图像质量应与试验前一致;

b) 防护等级：外壳防护性能应符合 GB/T 4208—2017 的规定，防护等级不低于 IP66;

c) 供电适应性：应支持船用直流或交流供电，输入电压波动范围不小于额定值的 ±20%，并应具备过压、欠压、反接与浪涌保护;

d) 电磁兼容性：应符合GB/T 7358—2025的规定，抗扰度等级应不低于 3 级;

e) 运行可靠性：系统连续运行 72 h 丢帧率应不大于 0.1%，无需人工干预重启；发生程序停止响应、码流中断等异常时应自动恢复，恢复时间应不大于 60 s;

f) 时钟同步：应采用 GB/T 25931—2010 精密时钟同步协议，与系统时间偏差应不大于 100 ms。

5.4 网络安全与信息安全要求

低能见度下船舶航行安全视觉增强系统的网络安全与信息安全要求按下述五类给出：

5.4.1 访问控制

a) 系统应对所有用户、设备及服务进行唯一标识，未通过认证的实体不应访问任何系统资源;

b) 系统应支持基于角色的权限管理，至少划分管理员、操作员与查看员三类角色，权限应按通道与功能分别配置；录像删除与系统配置变更权限应仅授予管理员;

c) 系统应采用安全的身份鉴别机制，口令应满足复杂度要求并支持定期更换；支持双因素认证。连续 6 次鉴别失败后应锁定账户并记录审计事件;

d) 系统应设置会话超时与自动登出机制，超时时长可由授权用户配置；关键操作（录像删除、配置变更、固件升级）应进行二次确认。

5.4.2 数据传输安全

a) 系统的管理与配置通道应采用 HTTPS 或等效加密方式，不应以明文传输口令、凭证等敏感信息;

b) 视频码流、控制指令及告警信息的传输宜采用加密或完整性保护手段；船岸链路的敏感数据传输应加密;

c) 系统应支持 VLAN 划分或独立专网部署，实现视频业务与办公业务网络的隔离，阻断非授权跨网访问;

d) 传输应具备防篡改与防重放能力，重要报文的完整性应可验证；时钟同步信令应具备抗伪造能力，防止时间被人为篡改;

e) 系统应记录传输链路的异常事件（链路中断、非法接入、重放尝试等），并对安全相关事件生成告警。

5.4.3 数据存储安全

a) 录像数据应按通道、时间与事件类型分类存储，存储时间不应少于 30 d；报警事件片段应单独保留，符合应用层相关规定;

b) 系统应具备数据完整性校验手段，录像与抓拍导出文件应附带时间、通道与设备标识及完整性校验信息，防止数据被篡改或抵赖;

c) 关键配置数据与审计日志应加密存储并具备防篡改能力；操作日志留存时间不应少于 6 个月;

d) 存储介质失效或更换时，应在数据不可恢复前提供告警提示；录像数据删除应经授权并记录完整审计信息，删除行为应可追溯;

e) 数据备份与导出应采用受控流程，导出的涉敏数据应进行脱敏或加密处理，防止未经授权的扩散。

5.4.4 抗网络攻击能力

a) 系统应具备抵御常见网络攻击的能力，包括但不限于拒绝服务、端口扫描、暴力破解、中间人攻击与恶意代码注入;

b) 系统应具备恶意代码防护能力，对上传固件、配置文件与导入数据进行防病毒/恶意代码检测，发现异常时应阻断并告警;

c) 系统应实施最小化端口与最小化服务策略，关闭无关端口与服务，减少攻击面；设备默认账户与默认口令应在首次上电时强制修改;

d) 系统应具备入侵检测或异常行为监测能力，对非授权的访问尝试、异常流量与异常操作进行检测、记录与告警;

e) 系统在遭受攻击或异常时应保持核心监视功能可用性，故障隔离后应能在 60 s 内自动恢复。

5.4.5 软件更新与升级

a) 系统应支持通过受控通道对采集层、处理层及应用层设备进行软件与固件升级，升级应支持手动与远程两种方式;

b) 升级包应经数字签名或等效完整性校验，校验不通过的升级包应拒绝安装并告警，防止被篡改的固件植入;

c) 升级应支持灰度与回滚机制，升级失败或升级后异常时应能自动或手动回退至上一可用版本，回退过程不应影响历史录像的完整性;

d) 升级过程中不应影响关键监视与告警功能；确需中断时，应提前提示并在低风险时段执行，中断时间应纳入可用性要求;

e) 系统应记录软件版本信息与升级日志，升级操作应纳入审计并受权限控制，仅授权管理员可发起。

6 低能见度下船舶航行安全视觉增强设备规范

构成低能见度下船舶航行安全视觉增强的设备主要包括：透视夜视球形机、陀螺稳像云台机及服务器。

6.1 透视夜视球形机

6.1.1 可见光参数

透视夜视球形机的可见光参数应满足以下要求：

a）成像器件：应采用不低于 1/1.8 英寸逐行扫描 CMOS 传感器；

b）最高分辨率：应不低于 2560×1440；

c）帧率：应不低于 30FPS（2560×1440 分辨率下）；

d）最低照度：彩色模式应≤0.0001 Lux（F1.6，AGC ON），黑白模式应≤0.00005 Lux（F1.6，AGC ON）；

e）光学变焦：应不低于 40 倍，焦距范围应覆盖 5.9mm～236mm；

f）视场角：广角端应≥58°，望远端应≤2.5°；

g）光学变倍速度：应不大于 4.3 s（广角端至望远端全程）；

h）聚焦模式：应支持自动聚焦和手动聚焦，自动聚焦时间应不大于 2 s；

i）光圈：应支持自动/手动调节，最大光圈应不低于 F1.5；

j）快门：应支持自动/手动调节，快门范围应覆盖 1/25 s 至 1/100,000 s，并支持慢快门模式；

k）信噪比：应不低于 52 dB；

l）宽动态范围：应不低于 120 dB；

m）强光抑制：应支持开/关切换，有效抑制夜间强光源产生的眩光和光晕；

n）背光补偿：应支持开/关切换；

o）降噪：应支持 3D 数字降噪；

p）日夜转换模式：应支持自动 ICR 滤光片切换；

q）透雾功能：应同时支持光学透雾和算法透雾两种模式；

r）视频压缩标准：应支持 H.264/H.265 编码格式。

6.1.2 云台稳像功能

透视夜视球形机的云台稳像功能应满足以下要求：

a）水平转动范围：应支持 360° 连续旋转；

b）水平转动速度：手动控制速度范围应覆盖 0.1°/s～210°/s，预置点速度应不低于 280°/s；

c）俯仰转动范围：应覆盖-20°～+90°，并支持自动翻转；

d）垂直转动速度：手动控制速度范围应覆盖 0.1°/s～150°/s，预置点速度应不低于 250°/s；

e）预置位数量：应不少于 255 个；

f）巡航扫描线路：应不少于 6 条，每条巡航线路应可独立配置预置点和驻留时间；

g）比例变倍：变倍时长随速度自动调整；

h）电子防抖：有效补偿船舶振动引起的图像抖动；

i）自动感应雨刷：雨刷启动阈值应可调。

6.1.3 外部接口

透视夜视球形机的外部接口应满足以下要求：

a）供电接口：应不少于 1 路 AC24V 电源输入口，额定电流不低于 5A；

b）网络接口：应不少于 1 路 RJ45 10Base-T/100Base-TX 以太网接口；

c）视频接口：应不少于 1 路 3G-SDI 高清视频输出接口；

d）音频接口：应不少于 1 路音频输出接口；

e）告警接口：应不少于 7 路告警输入和 2 路告警输出；

f）串行通信接口：应不少于 1 路 RS485 接口，支持 Pelco-P、Pelco-D 等标准云台控制协议。

6.1.4 运行环境

透视夜视球形机的运行环境应满足以下要求：

a）工作温度：-40 ℃～+70 ℃；

b）工作湿度：≤95% RH（非冷凝）；

c）防护等级：不低于 IP67（符合 GB/T 4208）；

d）防雷等级：应具备不低于 6000 V 的防雷、防浪涌和防突波能力；

e）耐盐雾腐蚀：设备表面及内部电路应满足船用电子设备盐雾腐蚀试验要求；

f）海拔适应能力：应能在海拔 5000 m 以下正常工作。

6.1.5 物理特性

透视夜视球形机的物理特性应满足以下要求：

a）外形尺寸：球体直径宜不大于 Ø270 mm，整机高度宜不大于 450 mm；

b）整机重量：应不超过 12 kg；

c）外壳材质：应采用高强度铝合金或同等性能的耐腐蚀金属材料制造。

6.2 透视夜视陀螺稳像云台机

6.2.1 可见光参数

陀螺稳像云台机的可见光参数应满足以下要求：

a）成像器件：应采用不低于 1/1.8 英寸逐行扫描 CMOS 传感器；

b）最高分辨率：应不低于 2588×1520；

c）最低照度：彩色模式应≤0.0001 Lux（30IRE，F1.2），黑白模式应≤0.00001 Lux（30IRE，F1.2）；

d）光学变焦：应不低于 60 倍，焦距范围应覆盖 20 mm～1200 mm；

e）透雾模式：应支持全彩透雨雾模式；

f）聚焦方式：应支持自动聚焦；

g）日夜模式：应支持自动切换，并具备电子防抖和除热浪功能。

6.2.2 激光参数

陀螺稳像云台机的激光照明与测距参数应满足以下要求：

a）激光照明角度：应支持 0.5°～45°电动连续可调；

b）激光测距能力：对船只等大型目标最大测距应≥7100 m；

c）激光测距精度：应不低于±1 m；

d）激光波长：应为 808 nm 或其他经批准的不可见光波段；

e）通信接口：应支持 TTL RS232 或 RS232 C 接口进行激光器控制。

6.2.3 热成像参数

陀螺稳像云台机宜配置热成像模块，其参数应满足以下要求：

a）探测器分辨率：应不低于 640×480 像素；

b）镜头焦距：宜覆盖 25 mm～225 mm 连续变焦范围；

c）帧率：应不低于 25 Hz；

d）数字变倍：应支持 2 倍和 4 倍数字变焦。

6.2.4 云台稳像功能

陀螺稳像云台机的云台稳像功能应满足以下要求：

a）水平转动范围：应支持 0°～360°连续旋转；

b）水平转动速度：应覆盖 0.001°/s～80°/s，重复精度应不低于 0.01°；

c）垂直转动范围：应覆盖-60°～+60°；

d）垂直转动速度：应覆盖 0.001°/s～90°/s，重复精度应不低于 0.01°；

e）预置位数量：应不少于 256 个；

f）巡航扫描线路：应不少于 8 条；

g）通信协议：应支持 RS-485/RS-422 接口，支持 Pelco-P 和 Pelco-D 协议；

h）通信波特率：应支持 2400/4800/9600/19200 bps 可调；

i）地理信息：应内置北斗/GPS 定位模块，支持角度回传及指定角度执行功能；

j）跟踪系统：应支持视频分析和目标自动跟踪功能，跟踪范围应不低于 10 km。

6.2.5 外部接口

陀螺稳像云台机的外部接口应满足以下要求：

a）供电接口：应支持 DC48 V±20%供电，峰值功率不超过 250 W；

b）网络接口：应不少于 1 路 100 M 自适应以太网口；

c）串行通信接口：应不少于 1 路 RS485 摇杆控制接口；

d）视频接口：应不少于 1 路 SDI 高清视频输出接口。

6.2.6 运行环境

陀螺稳像云台机的运行环境应满足以下要求：

a）工作温度：-40 ℃～+65 ℃；

b）工作湿度：＜90% RH（非冷凝）；

c）防护等级：不低于 IP66（符合 GB/T 4208）；

d）外壳材质：应采用高强度铝合金制造，具备加热、镀膜、纳米防水、风扇加热除湿及雨刮功能；

e）海拔适应能力：应能在海拔 5000m 以下正常工作。

6.2.7 物理特性

陀螺稳像云台机的物理特性应满足以下要求：

a）外形尺寸：宜不大于 620 mm（长）×638 mm（宽）×1115 mm（高）；

b）整机重量：应不超过 110 kg。

6.3 服务器

6.3.1 硬件配置

视觉增强系统的服务器硬件配置应满足以下要求：

a）处理器：应采用不低于 8 核心的 CPU 架构（如 4 核 A76 + 4 核 A55），主频不低于 2.4 GHz；

b）AI 算力：应内置 NPU（神经网络处理单元），AI 算力应不低于 6 TOPS；

c）内存：应不低于 4 GB RAM；

d）存储：应不低于 64 GB FLASH，并支持 2.5 英寸 SSD/HDD 扩展存储；

e）操作系统：应支持 Linux 等主流嵌入式操作系统。

6.3.2 接口配置

服务器的接口配置应满足以下要求：

a）视频输入：单台服务器应支持不少于 4 路网络摄像机（IPC）输入，单路分辨率不低于 200 万像素；系统整体前端设备路数超过 4 路时，应通过多台服务器级联部署满足 5.1.3 规定的整体处理能力要求；

b）网络接口：应不少于 1 路千兆以太网口；

c）显示输出：应支持至少 1 路 DP（DisplayPort）显示输出；

d）USB 接口：应支持 Type-C 接口不少于 1 个；

e）无线通信：应支持 WIFI 802.11 b/g/n/ac/ax 双频（2.4 GHz 和 5.8 GHz），支持 AP 和 Client 模式；宜支持 5G NR 移动通信。

6.3.3 运行环境

服务器的运行环境应满足以下要求：

a）工作温度：-40 ℃～+70 ℃；

b）存储温度：-40 ℃～+85 ℃；

c）工作湿度：15%～95% RH（非冷凝）；

d）电源输入：应支持 DC 8 V～36 V 宽电压供电；

e）功耗：待机功耗应不大于 3 W，典型工作功耗应不大于 15 W。

物理特性

服务器的物理特性应满足以下要求：

a）外形尺寸：宜不大于 200 mm×180 mm×60 mm；

b）整机重量：应不超过 2.5 kg。

6.3.4 功能要求

服务器的功能应满足以下要求：

a）视频处理：应支持 H.264/H.265 视频编解码，支持三码流输出；

b）网络协议：应支持 IPv4、HTTP、FTP、DNS 等标准网络协议；

c）兼容性：应支持 ONVIF 标准协议和 GB/T 28181 视频监控联网标准；

d）安全功能：应支持密码保护和多用户访问控制；

e）存储管理：应支持断电记忆和循环录像覆盖功能；

f）远程访问：应支持通过移动网络或 WIFI 进行远程视频浏览和系统管理；

g）定位功能：应支持外置 GPS/北斗定位模块接入。

7 低能见度下船舶航行安全视觉增强设备测试

7.1 实验室测试

7.1.1 光学性能测试

应在可控实验室环境中测试以下项目：

a）分辨率测试：使用标准分辨率测试卡，在标准光照条件下检测设备输出的视频分辨率是否达到2560×1440/30FPS 的技术要求。测试方法参照 GB/T 15211-2013 相关规定;

b）最低照度测试：在可控照度的暗室环境中，使用标准光源和灰度卡，分别测试设备在彩色模式和黑白模式下可输出可辨识图像的最低环境照度值。彩色模式应≤0.0001 Lux，黑白模式应≤0.00005 Lux;

c）光学变焦测试：使用标准标靶，测量设备从广角端至望远端的变焦全程时间、各焦段的分辨率保持情况以及聚焦精度。变焦全程时间应≤4.3 s（球形机）或相应指标，聚焦时间应≤2 s;

d）信噪比测试：在标准输入信号条件下，使用视频信噪比分析仪测量设备输出视频的信噪比，结果应不低于 52 dB;

e）宽动态范围测试：在强背光场景（明暗差≥120 dB）下，检测设备能否同时辨识亮区和暗区的目标细节。

7.1.2 环境适应性测试

应按 GB/T 2423 系列标准规定的方法测试以下项目：

a）低温试验：将设备置于-40 ℃环境中保持 2 h 后通电启动，设备应能正常冷启动并持续稳定工作;

b）高温试验：将设备置于+70 ℃环境中持续工作 24 h，设备性能不应出现显著下降，不得发生死机、重启或功能失效;

c）湿热试验：将设备置于温度+40 ℃、相对湿度 95% RH 的环境中持续工作 48 h，设备表面和内部不得出现凝露导致的功能异常，图像质量不得显著降低;

d）盐雾试验：按 GB/T 2423 相关部分进行盐雾腐蚀试验，试验后设备外壳和接口应无显著腐蚀痕迹，电气性能应保持正常;

7.1.3 防护等级测试

应按 GB/T 4208 规定的方法测试以下项目：

a）防尘测试（IP6X）：设备在粉尘环境中持续工作 8 h 后，内部不应有粉尘侵入;

b）防水测试（IPX7）：球形机设备应在 1 m 水深中浸泡 30 m 后取出，内部不得进水，电气性能应正常;

c）防雷测试：设备电源和信号接口应能承受 6000 V 浪涌冲击，测试后设备应能正常工作。

7.1.4 电磁兼容性测试

应按 GB/T 17626 系列标准规定的方法测试以下项目：

a）电磁辐射发射测试：设备正常工作时产生的电磁辐射不应超过规定限值，不得对船舶其他电子设备产生有害干扰;

b）电磁抗扰度测试：设备在受到规定强度的外部电磁干扰时，视频画面不应出现显著失真、卡顿或中断。

7.1.5 稳像性能测试

应在实验室模拟平台上测试以下项目：

a）横摇补偿测试：将设备安装在可编程振动台上，模拟±15° 横摇运动，测量开启稳像功能后画面中心偏移量，结果应控制在总像素的 3%以内;

b）纵摇补偿测试：模拟±10° 纵摇运动，测试条件同横摇补偿;

c）振动测试：模拟船舶发动机高低频振动（频率范围 10 Hz～500 Hz），检验设备在高倍变焦（如 60 倍）下输出画面的稳定性，不应出现画面撕裂或明显抖动。

7.1.6 智能算法测试

应在实验室环境中测试以下项目：

a）目标识别准确率测试：使用包含不少于 1000 张各类水面目标（货轮、渔船、航标、桥墩等，在不同距离、角度、光照和气象条件下采集）的测试图像集，系统对不同类别目标的平均识别准确率应不低于 90%;

b）处理延迟测试：输入标准低能见度测试视频信号，使用高速摄像方法或专用测试仪表测量从视频输入到增强画面输出的端到端延迟，结果应不大于 200 ms;

c）告警响应时间测试：模拟目标进入预设告警区域，使用计时装置测量从目标进入区域到系统发出初次告警信号的时间间隔，结果应不大于 3 s。

7.1.7 可靠性测试

系统应进行不少于 168 h 的连续运行测试，期间不得出现死机、自动重启、功能失效或性能显著下降等故障。测试期间应定时记录系统工作状态和关键性能指标。

7.2 现场性能检测

7.2.1 测试环境要求

现场性能检测应在以下至少两种真实气象条件下分别进行：

a）良好能见度条件：大气能见度≥10 km，日间，用于测试系统基础视距性能；

b）低能见度条件：大气能见度≤2000 m（如大雾、大雨、或烟霾天气），用于测试系统透雾透雨能力和增强效果。

7.2.2 有效辨析距离测试

a）在良好能见度条件下，选取已知类型和尺寸的水面目标（如标准渔船、货轮、航标），通过专业测距设备（如激光测距仪）确认目标距离，测试系统能否清晰辨别目标类型。对渔船等小型目标的有效辨析距离应≥5 km，对货轮等大型目标的有效辨析距离应≥10 km;

b）在低能见度条件下（大雾、大雨），使用已知距离的水面目标或合作目标，测试系统的有效可视距离。有效可视距离应≥3 km。

7.2.3 可见距离提升倍数测试

在相同的低能见度气象条件下，分别记录以下观测结果：

a）人眼裸眼观察同一远距离目标的最大可见距离（L1）；

b）系统输出画面中同一目标可被清晰辨识的最大距离（L2）；

计算可见距离提升倍数：K = L2 / L1。K 值应不低于 3。

7.2.4 低照度成像测试

在夜间无月亮或仅有星光的极端低照度条件下，测试系统的全彩成像能力。系统应能在 0.0001 Lux 照度条件下输出可辨识的彩色视频画面，能够辨别水面目标的存在和大致轮廓。

7.2.5 稳像性能实船测试

将系统安装于实际船舶上，在以下条件下测试稳像性能：

a）船舶在 3～4 级海况下正常航行时，开启稳像功能，观察并记录高倍变焦下视频画面的稳定性；

b）船舶进行全速回转或紧急避让操作时，系统输出的画面不应出现明显的滞后、撕裂或大幅偏移。

7.2.6 系统集成联调测试

将视觉增强系统与船舶现有导航设备（雷达、电子海图、AIS）进行集成联调测试，验证以下内容：

a）系统能否正确接收并显示雷达和 AIS 目标信息；

b）当雷达或 AIS 检测到碰撞风险时，视觉增强系统能否自动将摄像机指向相关方位并触发录像；

c）系统告警信息能否正确推送至船舶综合驾驶台系统。

8 安装、检验与维护

8.1 安装要求

8.1.1 安装位置

a）前端采集设备应安装于船舶驾驶舱外部顶侧或专用桅杆上，安装高度应确保在船舶正常航行姿态下，设备视野不受船体结构遮挡;

b）设备安装位置应避开烟囱排烟区域和卫星通信天线的主波束范围，减少烟雾和电磁干扰对成像质量的影响;

c）多台前端设备宜采用冗余布局，至少应配置船首方向主摄像机和船尾方向辅助摄像机各一台。

8.1.2 安装结构

a）设备安装基座应具有足够的刚度和强度，能够承受船舶在恶劣海况下产生的冲击和振动荷载;

b）安装基座与船体结构之间应设置减震装置，减震器的固有频率应避开船舶主要振动频率范围;

c）设备安装螺栓和紧固件应采用不锈钢或同等耐腐蚀材料制造。

8.1.3 电气安装

a）设备供电应采用独立的供电回路，配备过流保护和防反接保护装置;

b）视频信号线缆和通信线缆应与船舶大功率电缆保持不少于 300 mm 的间距，或采取有效的电磁屏蔽措施;

c）所有室外电缆接头应采用防水密封处理，防护等级不低于 IP67;

d）系统应可靠接地，接地电阻应不大于 4 Ω。

8.2 检验要求

8.2.1 出厂检验

每套设备出厂前应进行以下检验项目：

a）外观和结构完整性检查；

b）分辨率、帧率、最低照度等基本光学性能测试；

c）云台全行程旋转和预置位精度测试；

d）防护等级出厂抽检（抽检比例不低于 5%）；

e）48h 连续运行稳定性测试。

8.2.2 安装检验

系统安装完成后应进行以下检验项目：

a）设备安装位置、角度和视野范围确认；

b）各接口连接可靠性和防水密封性检查；

c）供电电压和功耗实测验证；

d）系统全功能运行测试，包括透雾透雨成像、目标识别、告警联动等功能；

e）与船舶现有导航设备的集成联调测试。

8.2.3 定期检验

系统投入使用后应每 12 个月进行一次定期检验，检验内容应包括：

a）光学性能复核（分辨率、成像清晰度）；

b）云台转动范围和预置位精度复核；

c）防护性能检查（密封性、腐蚀情况）；

d）AI 识别准确率抽测；

e）录像存储和回放功能检测。

8.3 维护要求

8.3.1 日常维护

a）每日开航前，操作人员应确认系统正常启动、各通道视频画面显示正常；

b）定期（不少于每月一次）清洁设备外部光学窗口，使用专用光学清洁剂和无尘布，避免划伤镜片镀膜；

c）定期检查设备连接线缆和接口的紧固情况与防水密封状态。

8.3.2 定期维护

a）每 6 个月应对设备外壳、安装基座和紧固件进行防腐蚀检查和维护；

b）每 12 个月应对设备内部进行专业检查和除尘除湿维护；

c）设备中的易损件（如雨刷胶条、密封圈等）应每 24 个月或根据使用情况及时更换。

8.3.3 故障处理

a）系统出现故障时，应首先通过自诊断功能判断故障类型和位置；

b）一般故障应在 24 h 内修复，重大故障应在 72 h 内提供备机替换或修复方案；

c）故障修复后应进行不少于 4 h 的运行验证测试，确认系统恢复正常后方可重新投入使用；

d）所有故障处理过程和处理结果应记录存档，保存期限不少于 2 年。

附 录 A

（规范性附录）

低能见度视觉增强系统性能测试场景与方法

1 概述

本附录规定了低能见度下船舶航行安全视觉增强系统性能测试的标准场景构建方法和测试流程，用于统一各类测试场景下的测试条件和评判标准，确保测试结果的可比性和可复现性。

2 测试场景分类

根据气象条件和环境特征，测试场景分为以下四类：

a）A 类场景——良好能见度测试：大气能见度≥10 km，日间自然光照，用于测试系统基础性能指标；

b）B 类场景——雾霾低能见度测试：大气能见度 200 m～2000 m，用于测试系统透雾成像能力；

c）C 类场景——降雨低能见度测试：降雨强度为中雨至暴雨（小时降雨量≥10 mm），用于测试系统透雨成像能力；

d）D 类场景——夜间低照度测试：夜间无月光或仅有星光条件（环境照度≤0.001 Lux），用于测试系统超低照度成像能力。

3 测试目标设置

3.1 标准目标类型

测试中应使用以下标准目标：

a）小型目标：长度不大于 15 m 的标准渔船或同等尺寸的合作目标；

b）中型目标：长度 30 m～50 m 的标准航标船或同等尺寸的合作目标；

c）大型目标：长度 100 m 以上的货轮或同等尺寸的合作目标；

d）固定目标：标准航标、桥墩或同等尺寸的固定参照物。

3.2 目标距离设置

测试目标应根据测试场景类型，按以下距离梯度设置：

a）近距离：500 m～1000 m；

b）中距离：1000 m～3000 m；

c）远距离：3000 m～5000 m；

4 测试流程

4.1 测试前准备

a）确认测试当天的气象条件符合目标测试场景类型要求，使用专业气象仪器（如能见度仪、雨量计、照度计）记录实时气象数据；

b）使用经校准的激光测距仪或差分 GPS 设备精确测定各测试目标与设备安装位置之间的距离；

c）完成系统自检，确认所有设备工作正常，记录设备工作参数（焦距、光圈、增益等）；

d）在测试开始前至少提前 30 m 给系统通电预热。

4.2 测试过程

a）对于每个测试场景，依次对每个距离的目标进行观测；

b）每次观测应持续不少于 60 s，期间操作人员应尝试调节焦距以获得最佳观测效果；

c）每个距离应进行不少于 3 次独立观测，取 3 次观测结果的中间值作为该组测试的最终数据；

d）测试过程中应全程录像，保存原始视频文件和系统输出的增强后视频文件。

4.3 评判标准

4.3.1 目标检测

操作人员应判断视频画面中是否存在待测目标，判断结果分为"可检测"和"不可检测"两类。

4.3.2 目标辨识

操作人员应判断视频画面中能否清晰辨识出目标的类型和主要特征，判断结果分为以下三个等级：

a）等级 A——清晰辨识：能够明确辨识目标类型（如"货轮"或"渔船"），并能分辨目标的主要结构特征（如船体轮廓、上层建筑、桅杆等）；

b）等级 B——基本辨识：能够大致判断目标类型，但细节特征模糊，无法确认目标具体结构；

c）等级 C——无法辨识：仅能感知画面中存在物体，但无法判断其类型和特征。

4.3.3 有效辨析距离判定

以能够达到"等级 A"（清晰辨识）的最大距离作为该测试条件下对特定目标的有效辨析距离。

4.3.4 可见距离提升倍数判定

a）分别记录人眼裸眼和系统辅助下对同一目标能够达到"等级 A"的最大距离 L1 和 L2；

b）计算提升倍数 $K = L2 / L1$，若 $K \geq 3$，则判定该项指标合格。

5 测试记录

每次测试完成后应填写测试记录表，记录内容应至少包括：

a）测试日期、时间、地点；

b）测试场景类型和实时的气象数据（能见度、降雨量/降雪量、环境照度、温度、湿度、风速风向）；

c）被测试设备的型号和编号；

d）各距离梯度下对每一目标类型的检测和辨识结果；

e）系统工作参数设置；

f）测试操作人员和记录人员签字。

6 特殊情况处理

a）若测试过程中气象条件发生显著变化，导致测试场景类型不再符合预设要求，则该组测试数据应作废并在气象条件恢复后重新进行；

b）若测试过程中设备出现故障，应记录故障现象并终止当前测试，待故障排除后重新安排测试。