

团 体 标 准

T/CSNAME 225—2026

中国造船工程学会

船体监测系统技术要求

Technical requirements for hull monitoring system

程 序 文 件

2026 - 10 - 10 发布

2027 - 01 - 10 实施

中国造船工程学会 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 设计要求 2

 4.1 系统架构 2

 4.2 硬件要求 2

 4.3 传感器选用和布置 3

 4.4 数据处理和管理 6

 4.5 网络安全 7

5 功能要求 8

 5.1 数据采集及处理 8

 5.2 系统功能 9

 5.3 系统管理 9

6 性能要求 9

 6.1 电气性能 9

 6.2 环境适应性 9

7 试验方法 10

 7.1 试验条件 10

 7.2 数据采样率验证 10

 7.3 系统功能试验 11

 7.4 电气试验 11

 7.5 环境适应性要求 12

 7.6 网络安全检查 13

8 检验规则 13

 8.1 检验分类 13

 8.2 试验项目 13

 8.3 检验判定与复检 14

9 标志、包装、运输和贮存 14

 9.1 标志 14

 9.2 包装 14

 9.3 运输和贮存 14

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：上海船舶运输科学研究所有限公司、中国船级社上海规范研究所、中国远洋海运集团有限公司。

本文件主要起草人：贺鑫、张超群、张兴龙、王辉、文逸彦。



船体监测系统技术要求

1 范围

本文件规定了船体监测系统技术要求，包括设计要求、功能要求、性能要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于集装箱船、散货船、杂货船、油船等船舶的船体监测系统的设计、生产、检验和安装，其他船型可参照执行。

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 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
GB/T 2423.10—2019 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动
GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件
GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.3—2023 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌抗扰度试验
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试验
GD 014—2024 船舶网络安全指南
GD 019—2024 电气电子产品型式认可试验指南
IACS UR E27:2023 船载系统和设备的网络韧性（Cyber Resilience of On-board Systems and Equipment）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船体监测系统 hull monitoring system

用于实时监测船体状态和性能的重要系统，集成了多种传感器、数据采集设备和数据处理软件、用户界面及相关设备，能够对船体的多个关键方面进行监测和评估。

3.2

砰击 slamming

波浪与船体在船艏部发生的激烈冲击现象，由船舶在恶劣海况下剧烈纵摇，船艏入水引发。

3.3

滤波 filtering

滤除信号特定波段频率，抑制和防止干扰的操作。

3.4

阈值 threshold

响应或变化的最低或最高值。

3.5

液体晃荡 liquid sloshing

带有液舱的船舶，在环境载荷作用下，液舱内液体产生的晃荡现象。

4 设计要求

4.1 系统架构

船体监测系统由系统层、应用层、支撑层组成，系统组成见图1，每个层级要求如下：

- a) 系统层：由采集系统、通信系统、控制系统、数据库系统组成，通过调用应用层功能函数，访问支撑层实现硬件控制和数据读取。
- b) 应用层：包含应力、加速度、波浪等采集模块，串口卡和网卡、数据处理、强度评估、数据库等模块，负责信号获取、传输、存储和处理。
- c) 支撑层：为应用层提供软、硬件，以及理论方法和数据支撑，保障系统层功能实现。



图1 船体监测系统架构

4.2 硬件要求

4.2.1 服务器

CPU 内核数不低于4核，内存不少于8 GB，硬盘可用空间不小于1 TB；安装要求：设备可安装于防护等级不低于IP22的机柜内，机柜所在舱室应配备独立空调；也可采用驾驶室专用显示工控机兼作服务器，驾驶室兼用服务器应满足船舶驾驶室环境温度、电磁兼容等相关要求。

4.2.2 不间断电源(UPS)

主电源失电时，保证系统运行10 min以上。

4.2.3 报警板

报警板应安装在驾驶室内，防护等级不低于IP22。报警信息包括电源故障、传感器故障、超阈值报警。

4.2.4 信号采集/解调装置

4.2.4.1 光纤解调仪

系统采用光纤传感器时，需要光纤解调仪对光纤传感器信号进行处理并通过TCP/IP上传到系统服务器，要求如下：

- a) 仅做低频监测时，最低同步采样频率为 20Hz；当用于砰击、液体晃荡监测时，采样率应满足 7.2 对应高频采样要求；
- b) 防护等级：不低于 IP20。

4.2.4.2 信号采集箱

系统采用电信号传感器时，一般使用信号采集箱进行信号处理并通过TCP/IP上传到系统服务器。

- a) 信号输入：模拟量、I/O、TCP、RS485、RS422 等；
- b) 信号输出：TCP/IP、I/O；
- c) 防护等级：不低于 IP 20。

4.3 传感器选用和布置

4.3.1 传感器选用和布置

4.3.1.1 选用

传感器的选用应满足以下要求：

- a) 应变传感器：可选用电阻式应变传感器、振弦式应变传感器或光纤光栅应变传感器等进行测量；
- b) 测量砰击的传感器：砰击可通过加速度传感器或压力传感器测量。加速度计可被用作砰击事件指示器；砰击压力可通过安装于船壳板上的压力传感器测量，也可以以该载荷所作用结构上的正应力（应变）进行测量；

- c) 测量液体晃荡的传感器：可通过结构上的应变传感器或舱室边界的压力传感器来测量；
- d) 测量船体刚体运动（6个自由度）的传感器：可通过一个带集成传感器的装置进行测量。

注：当船舶已配置可用于本系统监测参数的传感器时，若该传感器的测量精度、采样频率、安装布置、防护等级等全部满足本文件规定的技术要求，则船体监测系统可直接接入复用，无需额外安装同功能传感器。

4.3.1.2 传感器要求

各类传感器的性能应符合表1的规定。

表1 传感器性能要求

序号	传感器类型/要求	应用场景	性能要求	说明
1	应变传感器	用于测量船体的总体或局部应力	1) 测量范围至少±2000 με； 2) 测量误差应小于所测值的 3%或 20 με 取两者中的大者； 3) 分辨率应不大于 0.2%FS； 4) 温度范围建议-25℃~70℃； 5) 防护等级不低于：IP56。	应变传感器的输出量应考虑温度的影响，可选用温度自补偿应变传感器，或在应变传感器附近安装独立的温度传感器对应变输出量进行实时同步修正。
2	加速度传感器	用于测量船体的总体振动或局部振动	1) 测量范围：-20 m/s²~20 m/s²； 2) 测量误差应小于所测值的 2%或 0.10 m/s²，取两者中的大者； 3) 温度范围建议-25℃~70℃； 4) 防护等级不低于：IP56。	-
3	测量砰击的传感器	用于监测船艏砰击载荷	1) 测量范围在 0 MPa~2 MPa； 2) 温度范围建议 5℃~55℃； 3) 测量误差小于所测值的 2%或 0.01 MPa，取两者中的大者； 4) 防护等级要求：浸没式压力传感器，防护等级不低于 IP68；用于砰击监测的应变传感器、加速度传感器，防护等级不低于 IP56。	-
4	测量液体晃荡的传感器	用于监测液舱内部晃荡载荷	1) 测量范围在 0 MPa~4 MPa； 2) 温度需参考液舱液体，范围建议 5℃~55℃； 3) 测量误差小于所测值的 4%或 0.02 MPa，取两者中的大者； 4) 需安装在液舱内部时，防护等级不低于：IP67。	-

表1 传感器性能要求（续）

序号	传感器类型/要求	应用场景	性能要求	说明
5	测量船体刚体运动（6个自由度）的传感器	测量船体姿态与刚体运动	1) 能给出 6 个自由度(3 个平移, 3 个旋转); 2) 加速度测量范围: $-20\text{ m/s}^2 \sim 20\text{ m/s}^2$; 3) 横摇, 纵摇, 艏摇测量范围分别为: $\pm 90^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 180^\circ$. 4) 误差应小于所测值的 2%, 或 0.10 m/s^2 (平移量) 和 0.5° (角度量), 取两者中的大者。 5) 频率建议不低于: 10 Hz ; 6) 防护等级不低于: IP44。	-
6	测量海况参数装置	采集海面海况相关参数	海况参数数据更新周期不应大于 10 min 。	提供海况输入条件（风速、风向、波浪等）。
7	传感器安装要求	-	1) 应变传感器安装: 甲板上安装的应变传感器应做好防护, 避免受上浪损坏, 其他位置应变仪也要防外部损坏。 2) 运动传感器安装: 运动传感器应安装在基座不受振动影响、局部结构振动小的位置, 使用弹性支座时需确保不影响测量频率。 3) 刚体运动参考: 刚体运动测量应参考装载状态下的重心位置。	-

4.3.2 测点布置

4.3.2.1 总纵强度

船体梁应变监测点宜选用长基线传感器, 用于测量沿船长方向的应变, 宜布置在船舳及船艏和船艉 1/4 处。安装部位一般选择甲板上, 方便进行检查和维护。甲板安装的应变仪应增加保护罩壳等手段进行保护, 以免因连续甲板上浪、下雨导致甲板积水等情况造成损坏, 见图2。

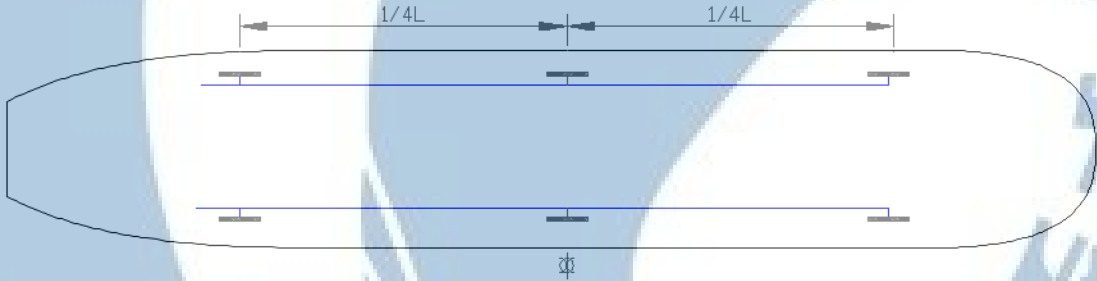


图2 船体监测系统总纵强度监测点安装位置

4.3.2.2 局部强度

- 可选用光纤光栅、电阻应变片、LVDT等类型的传感器, 用于局部强度的监测。选取位置可考虑:
- a) 监测船舶在航行、装卸货、波浪冲击等工况下承受高载荷或易产生应力集中的部位:
 - 结构几何突变处: 舱口角隅、甲板大开口边缘等;
 - 载荷传递关键节点: 锚机支座、桅杆根部等;
 - 波浪砰击或砰击作用显著区域: 船艏底部和舷侧。
 - b) 针对船舶长期受交变载荷作用的部位布置测点:
 - 船体梁的弯矩/剪力极值点;
 - 焊接热影响区。
 - c) 对维持船舶整体强度和稳定性起决定性作用的构件: 龙骨、强肋骨、纵桁、上层建筑连接部位等。
 - d) 易损部位与功能需求导向:
 - 结构薄弱点: 如焊缝、开口边缘、应力集中区等易发生疲劳或断裂的位置;
 - 功能敏感区: 首部砰击区域、货船货舱区, 破冰船冰带区等。

e) 可基于有限元分析的应力响应优化。

结合船舶航行海况数据,通过全船有限元模型模拟结构应力分布,筛选出高应力区域作为候选测点,然后对高应力部位进一步分类(甲板、外板、舱壁等),按应力响应从大到小排序,优先选取响应值最大的位置。

4.3.2.3 疲劳强度

可选用光纤光栅、电阻应变片、LVDT等类型的传感器,用于疲劳强度的监测,监测点宜安装三轴应变传感器,分别为0°、45°、90°方向或者0°、60°、120°方向,如图所示进行放置安装,传感器应尽量靠近热点位置安装,见图3 a)和图3 b)。

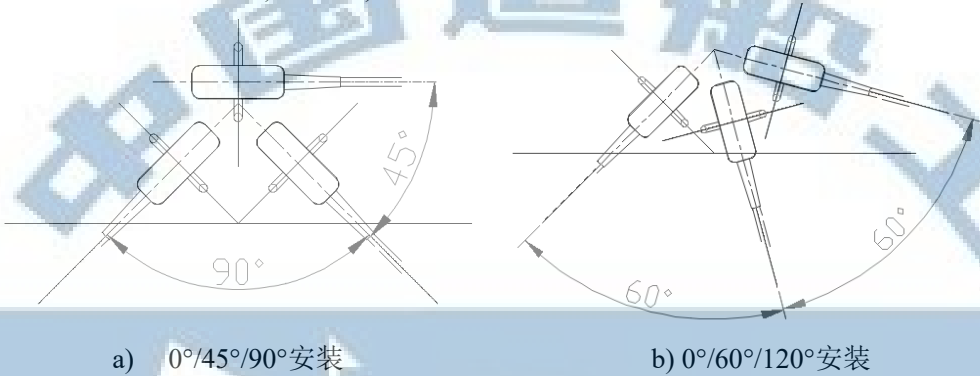


图3 三轴应变传感器安装角度

疲劳强度测点选取位置可考虑:

- a) 测量总纵强度的测点可同时用于疲劳强度的监测;
- b) 优先监测承受周期性载荷(波浪载荷、机械振动、货物装卸循环载荷等)的部位:如舱口角隅、甲板大开口边缘、横舱壁与舷侧顶边舱连接处、锚机支座、桅杆根部等处;
- c) 应力集中处:如开孔、缺口、截面突变处等;
- d) 对船舶安全至关重要且维修难度大的构件:如船体主支撑结构、推进系统基座等;
- e) 焊接型节点位置可沿受力方向垂直于焊缝设置监测点;肘板趾端位置可沿肘板趾端延长线设置监测点;板材自由边位置可沿自由边设置监测点。

4.3.2.4 安装要求

系统应可实时显示并记录不少于4个长基线传感器(长标距应变传感器)以及1个加速度传感器(或1个压力传感器)采集的船体应力与运动信息。

系统应至少配置4个长基线传感器,船舶上甲板设置2个传感器,相对船舶纵向中心线横向对称布置,上甲板距首垂线0.25 L、距尾垂线0.25 L处各设置1个传感器。当系统要求有防爆要求时,需安装齐纳安全栅。传感器安装见图4。

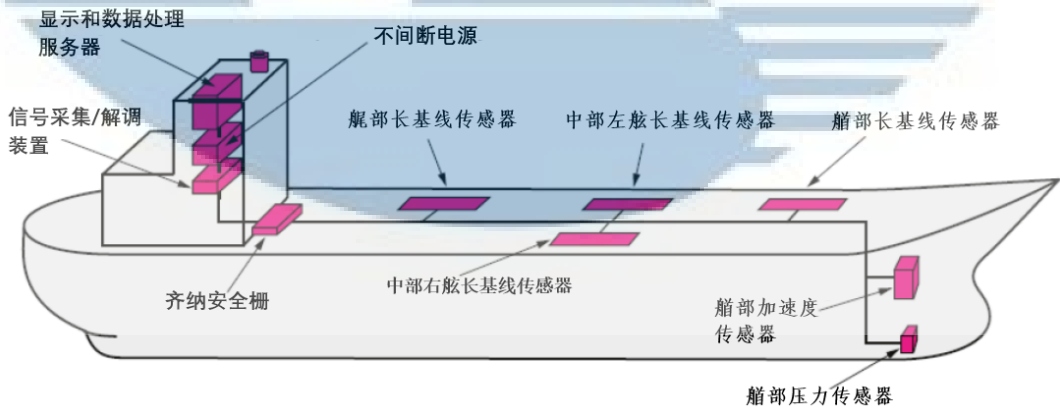


图4 船体监测系统基础配置示意图

系统可选择配置如下：

- a) 监测船体局部应力；
- b) 监测推进器输出；
- c) 监测轴向加速度；
- d) 监测船体刚体运动（6个自由度）；
- e) 监测液舱内晃荡压力；
- f) 监测温度；
- g) 监测海面波浪；
- h) 监测风力；
- i) 监测外部导航信息；
- j) 与装载仪连接；
- k) 向航行数据记录仪输出数据；
- l) 传输数据至岸端数据中心。

4.4 数据处理和管理

4.4.1 数据预处理

软件应能对传感器采集的数据进行数字滤波、去噪、纠正或剔除异常值等处理。

软件应包括高通和低通时域数字滤波器；滤波器的设计应具有至少40 dB的阻带衰减，截止频率应可通过该软件进行配置。

系统应能将测量船舶响应的应变传感器发出的时间信号进行滤波处理，并能显示以下四个不同的时间序列的每一种：

- a) 无滤波（静态值以及波频响应和振动响应应维持）；
- b) 高通滤波（静态值和低周波温度波动被删除，信号的波频响应和振动响应应维持）；
- c) 低通滤波（静态值和波频响应维持）；
- d) 高通滤波（仅维持振动响应）。对于滤波之后得到的数据，采用频率自适应存储方法进行存储。

4.4.2 监测数据统计

监测数据统计值如下：

- a) 平均值；
- b) 最大值；
- c) 最小值；
- d) 偏度；
- e) 峭度；
- f) 标准偏差；
- g) 平均跨零周期。

其中最大值和最小值的统计应不超过1 min，其余值一般5 min统计一次。

4.4.3 界面展示功能

系统界面应展示的主要功能包括：

- a) 船体梁应力实时监测及分析预警功能；
- b) 局部应力区域实时监测及分析预警功能（可选）；
- c) 应力趋势分析及历史数据查询；
- d) 船舶疲劳强度测点实时监测；
- e) 船舶运动实时监测（可选）；
- f) 船艏砰击计数；
- g) 监测数据统计分析；
- h) 船舶弯矩监测及历史数据查询；
- i) 辅助决策（可选）；
- j) 软件基本参数设置；

k) k)报警记录查询及报告输出。

4.4.4 数据管理

4.4.4.1 数据存储

系统采用分级存储架构区分实时采集数据与长期统计历史数据，要求如下：

- a) 实时存储：可采用时序数据库承载高并发写入、毫秒级实时查询需求，用于存储船体应力实时采集数据，数据保存时长不少于 24 h，超出存储周期的实时数据自动覆盖。
- b) 历史数据存储：系统统计结果、外部接入的船舶历史监测数据统一转存至持久化数据库，数据存储留存周期应不少于 1 年。

4.4.4.2 参数修改

系统针对参数变更设置完整权限管控、有效性校验机制，参数修改的权限、流程、验证要求规定如下：

- a) 修改权限：系统参数修改应采用分级权限管理机制，仅授权的系统管理员或专业技术人员可进行操作，操作前需进行身份验证与二次确认，防止误操作。
- b) 修改流程：对涉及监测阈值、数据处理算法等关键参数的修改，系统应记录操作时间、操作人员、修改内容等信息，并生成日志文件归档保存。
- c) 修改验证：参数修改完成保存时，系统应自动对修改后的参数执行有效性验证；若验证失败，需及时向操作人员推送异常告警及优化修改建议。

4.4.4.3 数据查询导出

系统配套完整的数据查询、文件导出、导出权限审计功能，相关功能要求如下：

- a) 查询功能：支持按时间范围、监测点位、数据类型（应力数据、统计数据等）进行单一或组合条件查询。提供可视化查询界面，用户可通过图形化操作快速设置查询条件，查询响应时间应不超过 3 s。
- b) 导出格式：数据导出支持 CSV 等常见格式，满足不同用户的数据处理需求。导出文件应包含数据的采集时间、监测点位、数值等关键信息，并附带数据单位说明。
- c) 导出权限与记录：数据导出需依据用户权限进行管控，普通用户仅可导出授权范围内的数据。每次数据导出操作系统应记录导出时间、导出人员、导出数据范围等信息。

4.5 网络安全

4.5.1 网络分区与隔离

为降低网络攻击横向扩散风险，落实船载系统网络韧性相关要求，船体监测系统网络应按安全等级实施分区隔离管理，分区规则、域间隔离手段及边界防护要求如下：

- a) 分区总体原则：依据业务功能重要度、网络安全风险等级开展网络分区，船体监测系统单独划定独立安全域，纳入船舶统一网络安全架构；监测系统域与导航、主机推进等船舶关键控制运营技术网络保持逻辑隔离，防止网络攻击、恶意代码跨域扩散。
- b) 域间隔离基础手段：船体监测系统网络与船舶其他非关联业务网络实施隔离；以防火墙访问控制作为域间隔离核心手段，VLAN（虚拟局域网）划分作为辅助隔离措施实现跨域访问限制；交换机、路由器等网络设备登录密码需满足复杂度规范，并执行定期更换策略。
- c) 安全域边界防护措施：监测系统安全域边界部署防火墙或工业网闸作为隔离设备，配置最小权限访问控制列表；仅开放传感器数据采集、船岸远程监控业务必需通信端口，关停所有闲置、非必要网络服务与协议。

4.5.2 访问控制

系统建立多层次访问安全管控体系，涵盖账号身份核验、角色权限分配、网络接入限制、终端设备准入管控，具体要求如下：

- a) 身份鉴别：密码需满足复杂度要求（至少 8 位，包含大小写字母、数字及特殊符号），定期强制更新。

- b) 权限管理：遵循“最小特权”原则，划分系统管理员、运维人员、监测人员等不同角色，明确权限边界；管理员拥有全功能访问权限，运维人员仅可操作设备调试与软件更新功能，监测人员仅能查看数据与报警信息，无配置修改权限。
- c) 访问管控：仅允许从授权 IP 地址段接入，支持会话超时自动锁定。
- d) 设备接入控制：建立传感器、采集模块等终端设备的白名单库，仅允许已注册媒体访问控制（MAC）地址的设备接入网络，对未授权设备接入尝试进行实时报警并阻断连接。

4.5.3 数据加密

船体监测系统需对跨船岸传输数据、本地持久化存储数据采取加密防护措施，传输与存储加密要求分别规定如下：

- a) 传输加密：船舶与岸基中心的远程通信应配备加密通信模块，确保数据传输过程中不被窃听或篡改。
- b) 存储加密：本地存储的监测数据需采用加密格式保存。

4.5.4 安全审计

为完整留存系统操作与网络访问痕迹，支撑安全事件追溯、风险排查，系统应建立全流程审计日志机制，日志记录、留存管理相关要求如下：

- a) 审计日志要求：系统需自动记录所有关键操作与网络事件，日志内容应包含操作人、操作时间、操作内容、设备 IP 地址、操作结果等要素，涵盖用户登录/注销、权限变更、配置修改、数据导出、异常接入尝试等场景。
- b) 日志管理：审计日志需本地存储至少 180 天，同时同步至服务器备份；日志文件应设置只读属性，禁止篡改与删除，支持按时间、事件类型、操作人等维度快速查询。

4.5.5 恶意代码防护与漏洞管理

为降低恶意程序入侵、系统漏洞被利用带来的网络安全风险，系统需落实病毒查杀、漏洞修复、系统瘦身三类防护措施，具体要求如下：

- a) 恶意代码防护：在系统服务器及监控终端安装船舶专用防病毒软件，支持病毒库自动更新，定期执行全盘扫描；对导入的软件安装包、配置文件进行强制病毒检测，禁止运行来历不明的程序。
- b) 漏洞管理：应制定漏洞修复计划，对于高危漏洞，应在可行的最短时间内完成修复，并采取临时缓解措施，中危漏洞经风险评估确认实际威胁后，应在 7 日内完成修复。
- c) 最小功能配置：禁用系统中与监测功能无关的组件，关闭非必要的后台进程，减少攻击面暴露。

4.5.6 应急响应与恢复

为应对网络安全突发事件，保障船体监测业务连续运行、监测数据可完整恢复，系统应建立安全事件处置、数据备份、故障回退全流程保障机制，各项要求规定如下：

- a) 响应机制：制定网络安全事件响应计划，明确勒索病毒、数据泄露、拒绝服务攻击等场景的处置流程；配备本地独立操作界面，主系统遭攻击时可通过手动模式维持基础监测功能。
- b) 备份与恢复：关键数据支持每日自动备份；具备岸基通信条件时，云端备份数据应通过加密通道同步至岸基安全服务器；不具备岸基通信条件时，可仅采用本地备份方式，本地应配置可靠备份存储介质。
- c) 安全状态回退：系统需具备故障自动回退功能。

5 功能要求

5.1 数据采集及处理

系统能完成数据的采集、接收、换算处理，实现传感器参数配置、阈值管理等功能，具体要求如下：

- a) 接口标准：接口标准应符合船舶相关行业及国际通用接口规范。

- b) 传感器选择：选用适合海洋环境、类型和精度满足要求的传感器，若船舶已安装符合要求的传感器，系统可不再重复安装。
- c) 应变传感器设置：应变传感器在约定静水加载条件下设置应力值，满足特定条件时需重新设置（环境温度接近标准室温 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，连续 30 min 温度波动小于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测点区域无局部暴晒，在约定的装载条件下所计算的应力与总体应变仪读数对比，如其差值超过所设定值的 5% 或 5 N/mm^2 （取大者），应重新设置并检查）。
- d) 阈值设置：系统软件可为每个传感器设置最小和最大阈值。

5.2 系统功能

系统应具备上电自恢复、信号处理、数据存储传输、人机显示、报警及辅助决策等能力，具体要求如下：

- a) 系统自启：系统因失电停机，当电源恢复后，系统能自启动并运行。
- b) 失电报警：当系统外部 AC220 V 电源中断时，系统立即触发声光报警信号。
- c) UPS 供电：当系统外部 AC220 V 电源中断时，设备应自动切换至 UPS 备用电源。
- d) 数据滤波：系统能对传感器信号进行无滤波、高通滤波、低通滤波等多种滤波处理。
- e) 统计计算：传感器数据可进行最大值、最小值、平均值等统计计算。
- f) 趋势预测：传感器数据依据 4 h 数据序列预测至少 1 h 后的传感器响应趋势。
- g) 数据存储：船端数据存储采用冗余设计，统计数据保存 1 年以上，时间序列保存至少 24 h 。
- h) 数据传输：按规定协议将数据传输到船岸，网络延迟、丢包率等满足系统要求，编码规则符合相关标准。
- i) 显示功能：用户界面在驾驶室安装，显示传感器位置、状态、实时信息、信号与阈值比值等内容。
- j) 辅助决策：根据监测报警，为船舶航行、装卸货、进坞等操作提供辅助决策。
- k) 报警功能：具备电源故障、传感器故障等视觉和听觉报警功能，报警原因记录在日志中。

5.3 系统管理

系统应具备系统参数配置和基础数据管理功能。

- a) 参数配置：支持系统基础参数、监测阈值、滤波参数、报警参数、采样参数等配置；参数修改应遵循 4.5.2 规定的权限管控、有效性校验与操作日志记录要求；
- b) 基础数据管理：支持测点信息、船舶基础信息、传感器标定参数等的录入、查看、编辑与保存；
- c) 版本管理：系统应记录软件版本，并支持版本信息查询；
- d) 状态管理：能够对系统服务器、采集装置、各传感器的状态进行监视，对硬件故障、设备离线输出报警；测量值超阈值报警按 5.2 的报警功能执行。

6 性能要求

6.1 电气性能

6.1.1 绝缘电阻

设备电源进线与机壳之间的绝缘电阻不小于 $100\text{ M}\Omega$ ；

6.1.2 工频耐压

额定工作电压为 220 V 的设备（服务器、信号采集箱等），应能承受直流 2000 V 、频率为 $50\text{ Hz}/60\text{ Hz}$ 的工频电压；额定工作电压 U_n 不大于 65 V 的设备（各类传感器、报警板等），应能承受 $(2\times U_n + 500)\text{ V}$ ，频率为 $50\text{ Hz}/60\text{ Hz}$ 的工频电压。

6.2 环境适应性

6.2.1 低温

系统应具有在 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温环境中正常使用的能力。

对于安装在非风雨位置或寒冷位置的设备，应具有在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温环境中正常使用的能力。

6.2.2 高温

系统应至少具有在55℃高温环境中正常使用的能力。
对于安装在开敞甲板位置的设备，具有在70℃高温环境中正常使用的能力。

6.2.3 防护等级

系统所有硬件至少应满足IP 20要求。

6.2.4 抗振动

系统抗振动性能最低应符合表2的规定。

表2 振动性能

安装位置	频率 Hz	振幅 mm	加速度 m/s ²
振动条件	2 (+3/0) ~13.2	±1.0	-
	13.2 ~ 100	-	±0.7 g

6.2.5 倾斜和摇摆

系统应能承受船舶正常航行及作业时的倾斜和摇摆环境。

6.2.6 交变湿热

系统应能在温度55℃、相对湿度95% 的湿热环境条件下正常工作。

6.2.7 盐雾

安装于甲板及露天区域的设备，应能承受船舶航行过程中海洋盐雾大气环境的作用；设备在海洋盐雾环境下工作时，不应产生影响功能的腐蚀、损坏，设备功能应保持正常。

6.2.8 电磁兼容

系统电磁兼容性能应符合中国船级社GD 019—2024第3章。

7 试验方法

7.1 试验条件

7.1.1 资质

- 7.1.1.1 出厂检验的质检人员应具备质检资格。
- 7.1.1.2 型式试验的检测单位应为具备专业国家检测资质的第三方机构。

7.1.2 仪器仪表

系统整机检测仪器包括绝缘电阻测试仪、数字万用表等。
传感器专项测试仪器包含液压校准装置、振动试验台、信号发生器等。传感器应有有效检测报告。
全部测试仪器均应处于计量检定有效期内，计量精度满足对应试验项目测量要求，定期完成校验核查，确保测量数据准确可靠。

7.1.3 试验环境

- 试验在以下条件下开展。
- a) 环境温度：15℃~35℃；
 - b) 相对湿度：30%~90%；
 - c) 气压：86 kPa~106 kPa。

7.2 数据采集率验证

系统应按监测用途分类开展采样率验证试验,试验可采用向采集装置输入标准正弦电信号,或模拟船舶实际传感器接入的方式进行,硬件原始采样率不得低于以下要求:

- a) 船体结构低频响应的传感器:数据采样率不应低于 20 Hz;
- b) 设计用于砰击响应的传感器:数据采样率不应低于 500 Hz;
- c) 设计用于液舱液体晃荡响应的传感器:数据采样率不应低于 3000 Hz。

7.3 系统功能试验

7.3.1 系统自启

切断主电源半分钟后恢复,验证系统是否自动启动并正常运行。

7.3.2 失电报警

切断AC 220 V电源,核查系统是否即时输出声光报警信号,恢复电源后报警是否自动解除。

7.3.3 UPS 供电

切断AC 220 V主电源,UPS供电应不小于10 min。

7.3.4 数据滤波

输入含干扰的模拟信号,验证无滤波、高通、低通滤波等模式的处理效果,检查滤波器阻带衰减不小于40 dB。

7.3.5 统计计算

持续输入10 min模拟数据,对比系统输出的平均值、最大值等统计值与标准值,误差不大于 $\pm 2\%$ 。

7.3.6 趋势预测

输入4 h模拟数据,验证1 h趋势预测正确性。

7.3.7 数据存储

持续采集数据,验证实时数据存储不小于24 h,历史统计数据存储应不小于1年,存储过程中数据无丢失。

7.3.8 数据传输

7.3.8.1 船内网络测试

在网络中注入1000 Mbps数据流,无批量数据丢失,常规低频监测时网络延迟不大于10 ms,有液舱晃荡、砰击等高频采样时系统网络延迟不大于1 ms。

7.3.8.2 船岸通信测试(如有)

通过卫星链路传输10 MB监测数据包,验证传输速率不小于128 kbit/s和误码率不大于 10^{-6} ,加密传输的解密数据完整性为100%。

7.3.9 显示功能

查验驾驶室人机交互界面,界面应完整实现4.4.3规定的全部显示功能,清晰展示各测点传感器工作状态、实时监测参数;监测画面的数据刷新响应及时,不存在明显延迟。

7.3.10 辅助决策

模拟异常场景,评估系统输出决策建议的合理性。

7.3.11 报警功能

模拟传感器故障、信号超阈值,验证报警触发及时性、信息准确性,日志记录完整。

7.4 电气试验

7.4.1 绝缘试验

采用500 V兆欧表,在7.1.3规定的标准大气条件下,测量系统设备电源进线与外壳之间的绝缘电阻。绝缘电阻应分别在湿热试验、低温试验、盐雾试验、工频耐压试验前后开展测量,判定要求:

- a) 环境/电气试验前:绝缘电阻不应小于 100 M Ω ;
- b) 环境/电气试验后:绝缘电阻不应小于 10 M Ω 。

7.4.2 工频耐压试验

使用绝缘耐压测试仪,在标准大气条件下,对设备指定部位施加工频电压,持续时间1 min,试验过程中无击穿、闪络、电弧放电现象;试验后在设备电源进线与机壳间测量绝缘电阻,其值应不小于10 M Ω 。施加电压如下:

- a) 额定工作电压为 220 V 的设备,在电源进线与机壳之间施加直流 2000 V,频率为 50Hz/60Hz 工频电压;
- b) 额定工作电压 U_n 不大于 65 V 的设备,在信号输入输出端子与机壳之间施加 $(2 \times U_n + 500)$ V,频率为 50Hz/60Hz 的工频电压。

7.5 环境适应性要求

试验按照GB/T 2423.1—2008的要求执行,系统应具有在5℃低温环境中正常使用的能力;对于安装在非防风雨位置或寒冷位置的设备,应具有在-25℃低温环境中正常使用的能力。

7.5.1 高温

试验按照GB/T 2423.2—2008的要求执行,应至少具有在55℃高温环境中正常使用的能力;对于安装在开敞甲板位置的设备,具有在70℃高温环境中正常使用的能力。

7.5.2 防护等级

试验按照GB/T 4208—2017的要求执行,防护等级最低应满足IP20要求。

7.5.3 抗振动

试验按照GB/T 2423.10—2019的要求执行,在规定的振动条件下应无异常和受损现象。

7.5.4 7.5.5 倾斜和摇摆

倾斜和摇摆试验按以下要求进行:

- a) 倾斜试验:将被试设备固定在倾斜台上,分别按前、后、左、右四个方向以1°/s的速率倾斜至22.5°,保持15 min后回位,再更换方向;
- b) 摇摆试验:在前后、左右两个水平轴分别以 $\pm 22.5^\circ$ 的角度、周期为10 s进行摇摆,持续15 min;
- c) 在试验进行过程中和试验后,受试设备均应能正常工作,无异常和受损现象。

7.5.5 交变湿热

试验温度55℃,相对湿度95%,循环周期24 h,试验后系统绝缘性能符合要求,各部件无锈蚀、霉变,功能正常。

7.5.6 盐雾

暴露在盐雾大气中的传感器,能承受4个喷雾周期。每个周期连续喷雾时间2 h,6天22 h湿热贮存期。其表层不应有剥落、起泡、断裂等腐蚀,应能正常工作。

7.5.7 电磁兼容

型式试验时,系统电磁兼容性能应符合中国船级社GD 019—2024第3章,抗扰度试验按GB/T 17626.2—2018、GB/T 17626.3—2023、GB/T 17626.4—2018、GB/T 17626.5—2019、GB/T 17626.6—2017相关要求执行。

在设计和制造中采取针对性的措施,减小对其它设备的电磁干扰,并具有自兼容及足够的抗电磁干扰能力。

7.6 网络安全检查

按照本文件4.5网络安全的各项要求，开展文档核查、配置检查及功能验证：对网络分区隔离、访问控制、数据加密、安全审计、恶意代码防护、应急恢复开展文档与配置核查；对访问权限控制、审计日志记录、设备接入白名单、数据备份与恢复等项目开展功能验证。检查及验证结果应符合本文件4.5的规定。

8 检验规则

8.1 检验分类

- 8.1.1 产品的检验分为出厂检验和型式检验。
- 8.1.2 产品出厂时应进行出厂检验。
- 8.1.3 在下列条件下，须进行型式试验：
 - a) 试制新产品时；
 - b) 当设计、工艺、材料的改变可能影响产品性能时；
 - c) 产品转厂时；
 - d) 船级社更新试验要求时。
- 8.1.4 船上验收检验应符合以下要求：
 - a) 系统完整性检查：核查传感器安装位置、数量是否符合设计要求，线缆布线、设备固定及防护措施是否满足船舶航行环境要求；
 - b) 功能验证：测试数据采集（应力、加速度、环境参数等）、数据传输、实时分析、报警触发及数据存储功能是否正常；
 - c) 性能测试：在船舶系泊或航行状态下，验证系统测量精度、数据更新频率及稳定性；
 - d) 报警功能测试：电源故障、传感器故障、超阈值报警；
 - e) 接口测试：验证系统与船舶航行数据记录仪、智能集成平台等其他船上设备的数据交互是否正常。

8.2 试验项目

各类检验项目如表3所示。

表3 检验项目

序号	试验项目	出厂检验	型式试验	要求的章条号	检验方法章条号
1	系统采样率验证试验	√	√	7.2	7.2
2	系统自启	√	√	5.2	7.3.1
3	系统失电报警	√	√	5.2	7.3.2
4	UPS 供电	√	√	5.2	7.3.3
5	数据滤波	√	√	5.2	7.3.4
6	统计计算	√	√	5.2	7.3.5
7	趋势预测	√	√	5.2	7.3.6
8	数据存储	√	√	5.2	7.3.7
9	数据传输	√	√	5.2	7.3.8
10	显示功能	√	√	5.2	7.3.9
11	辅助决策	√	√	5.2	7.3.10
12	报警功能	√	√	5.2	7.3.11
13	绝缘试验	√	√	6.1	7.4.1
14	工频耐压试验	√	√	6.1	7.4.2
15	低温试验	×	√	6.2.1	7.5.1
16	高温试验	×	√	6.2.2	7.5.2
17	防护等级试验	×	√	6.2.3	7.5.3
18	振动试验	×	√	6.2.4	7.5.4
19	倾斜和摇摆	×	√	6.2.5	7.5.5

表3 检验项目（续）

序号	试验项目	出厂检验	型式试验	要求的章条号	检验方法章条号
20	交变湿热	×	√	6.2.6	7.5.6
21	盐雾	×	√	6.2.7	7.5.7
22	电磁兼容试验	×	√	6.2.8	7.5.8
23	网络安全检查	√	√	4.5	7.6

注：√为必检项目，×为不检项目。

8.3 检验判定与复检

8.3.1 合格判定

所有试验项目均达到上述规定的要求，可判定为试验合格。

8.3.2 复检规则

检验中出现不合格项目时，应按以下规则执行复检：

- a) 存在轻缺陷（不符合本文件要求，但不影响系统安全及船体监测核心功能，经简单调试或局部修补即可消除的缺陷）时，经修复后可继续进行检验。
- b) 存在严重缺陷（造成系统部分关键性能或功能不满足本文件要求，需通过硬件调整、软件修改、元器件更换等措施纠正，不能仅依靠简单现场调试修复的缺陷）时，采取措施纠正，并写出技术分析报告，说明原因后，可重新进行检验。重新检验仍不合格时，则停止本次检验。
- c) 存在致命缺陷（存在电气安全隐患，或系统船体监测核心功能完全丧失）时，终止本次检验。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

应在明显位置上设置永久性铭牌，铭牌内容包括：

- a) 制造厂名称和商标；
- b) 产品型号和名称；
- c) 主要技术参数；
- d) 产品出厂编号；
- e) 制造日期；
- f) 外壳防护等级（IP 代码）；
- g) 防爆相关设备需增加：防爆标志、防爆合格证编号。

9.2 包装

包装应符合GB/T 13384—2008规定。

9.3 运输和贮存

在运输和贮存过程中不应碰撞、倾斜和雨雪淋袭，产品应放置在库房或有遮盖的场所，场地应通风良好、干燥。