

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD19-2018



中国船级社

冰区操作船体监测与辅助决策系统指南

GUIDELINES FOR HULL MONITORING AND
ASSISTANT DECISION-MAKING SYSTEM FOR
OPERATION IN ICE

2018

生效日期：2018 年 9 月 1 日

北京

目 录

第 1 节 通 则.....	1
1.1 目的.....	1
1.2 应用.....	1
1.3 定义.....	1
1.4 附加标志.....	2
1.5 图纸和资料.....	3
1.6 检验与试验.....	3
1.7 船上保存的文件.....	3
第 2 节 冰区操作船体监测与辅助决策系统.....	4
2.1 一般规定.....	4
2.2 环境信息.....	4
2.3 冰区操作船体监测位置.....	5
2.4 典型结构监测节点设计.....	5
2.5 冰区操作船体监测数据的处理方法.....	8
2.6 安全阈值确定.....	8
2.7 短期监测预报.....	10
2.8 辅助决策.....	10
第 3 节 非标准冰区操作模式的补充要求.....	12
3.1 一般规定.....	12
3.2 冰区转弯操作.....	12
3.3 冰区冲撞操作.....	12
3.4 冰区尾向操作.....	14
3.5 冰区浅水操作.....	15
3.6 冰区斜向操作.....	15

第1节 通 则

1.1 目的

1.1.1 本指南旨在为冰区航行船舶的冰区操作船体监测与辅助决策系统（以下简称“监测与决策系统”）的设计、安装、使用、维护提供具体的技术指导。

1.1.2 本指南包括监测与决策系统的工况和操作程序，通过测量、记录船舶冰区操作过程中的结构响应，监测、评估和记录船体结构的状态。

1.1.3 本指南为用户提供选择监测与决策系统、设定数据测量和记录方法、确定安全阈值报警范围的技术参考，不替代船东和设备提供商对监测与决策系统的责任。

1.2 应用

1.2.1 监测与决策系统应具备独立控制启动/关闭的功能，在船舶进入冰区前，启动监测与决策系统，在船舶驶出冰区后，关闭该系统。

1.2.2 船舶在冰区操作过程中，监测与决策系统可提供冰载荷作用下船体结构响应的实时测量信息。

1.2.3 当实时测量信息接近/超过结构安全阈值时，监测与决策系统应为船舶操作提供安全预警/报警，并提供相应的操作决策建议。

1.2.4 监测与决策系统应能通过已有的测量信息预报随后的数据变化趋势，当该趋势可能接近安全阈值时，为船舶操作提供安全提示。

1.2.5 新安装监测与决策系统在初次冰区航行时，应与其他极地冰区风险指数系统（如POLARIS）对比使用。

1.2.6 为积累冰载荷数据需要，CCS 可与船东协商考虑在监测与决策系统中增加冰载荷反演功能。

1.3 定义

1.3.1 CCS《钢质海船入级规范》、IMO《国际极地水域航行船舶规则》（Polar Code）、CCS《极地船舶指南》和 CCS《极地水域操作手册编写指南》的定义适用本指南。

1.3.2 **监测与决策系统**系指能够监测相关参数，并通过对比安全阈值判断结构所处的安全水平的系统。

1.3.3 **监测参数**系指能够描述船体结构响应和/或船舶运动姿态的数据，对于监测与决策系统，冰载荷作用下冰带区的局部应力是最重要的参数。

1.3.4 **安全阈值**系指按照规范强度衡准要求和被监测构件结构形式而设置的监测节点的许用应力值。该值应由设计方确定，可作为冰区操作过程中辅助决策的参考，但不能替代船长在冰区操作过程中决策和责任。

1.3.5 **评定指标**系指经数据处理后的构件实测应力与安全阈值的比值。

1.3.6 **预警**系指冰区操作船体监测位置的评定指标大于等于 0.8 时，监测与决策系统发出预报危险的信息。

1.3.7 **报警**系指冰区操作船体监测位置的评定指标大于等于 1 时，监测与决策系统发出危险的信息。

1.3.8 **安全提示**系指通过监测与决策系统的预测，冰区操作船体监测位置的评定指标的变化趋势达到 1 时应发出安全提醒信息。

1.3.9 **冰级规范**系指本社《钢质海船入级规范》第 8 篇第 13 章《极地航行船舶的补充规定》和《钢质海船入级规范》第 2 篇第 4 章《航行冰区的加强》。

1.3.10 **标准冰区操作模式**系指冰级规范假定的操作场景，包括操作方式、冰况、航速等。

1.3.11 **非标准冰区操作模式**系指标准冰区操作模式以外的其它操作场景。

1.3.12 **实时**系指冰区操作过程中的实际时间。

1.3.13 **短期预报**系指短期范围内的变化预测。

1.4 附加标志

1.4.1 按照本指南及相关规范要求安装监测与决策系统的船舶，可申请监测与决策系统附加标志 HMS-ICE 及适用的操作扩展附加符号，如 HMS-ICE (Turn, Glancing)。

1.4.2 按照本指南第 2 节相关要求，具备监测冰区操作过程中冰带区构件的应力，当监测值以及预报值接近或超过安全阈值时能提供相应的安全警报信息，并向船长提供修正操作建议的冰级船舶，可授予监测与决策系统附加标志 HMS-ICE。

1.4.3 按照本指南第 3 节相关要求，满足监测基于非标准冰区操作模式的冰级船舶，可授予相应的操作扩展附加符号。

表 1.4.3

附加符号	说明
Turn	满足船舶在冰区转弯操作过程中冰带区结构响应监测功能需求的监测与决策系统
Glancing	满足船舶在冰区冲撞操作过程中船体梁弯曲和剪切监测功能需求的监测与决策系统
Oblique	满足船舶在冰区斜向操作过程中冰带区结构响应监测功能需求的监测与决策系统
Stern-Ahead	满足船舶在冰区尾向操作过程中冰带区结构响应监测功能需求的监测与决策系统
Shallow-Water	满足船舶在冰区浅水操作过程中船底区结构响应监测功能需求的监测与决策系统

1.4.4 应根据批准的图纸、设备的证书和船上检验来授予 1.4.2、1.4.3 中的附加标志。

1.4.5 监测与决策系统（包括传感器）应取得 CCS 型式认可证书。

1.5 图纸和资料

1.5.1 包含下列信息的文件资料应提交批准：

- (1) 传感器布置图（包括各个传感器信息、监测节点安全阈值信息）；
- (2) 监测与决策系统的电力系统图。

1.5.2 下列文件资料应提交备查：

- (1) 有关软件（包括数据处理单元）的说明；
- (2) 监测与决策系统的使用手册。

1.6 检验与试验

1.6.1 初次检验至少应包括以下项目：

- (1) 确认相关图纸资料已审查；
- (2) 确认极地水域操作手册（PWOM）已反映监测与决策系统；
- (3) 确认系统及硬件产品（包括传感器）持有相应的证书；
- (4) 设备安装完成后，按照试验程序、监测装置的校准程序进行检验和试验，验证系统功能。

1.6.2 在进行年度检验 / 中间检验/特别检验时，应检查如下项目，确认监测与决策系统的功能运行正常：

- (1) 监测与决策系统的维护情况记录；
- (2) 监测与决策系统的总体运行情况；
- (3) 系统故障 / 失效的详细情况和原因分析；
- (4) 修理记录和备件更换情况；
- (5) 检查和确认监测与决策系统相关仪器仪表按规定的程序和计划进行了校准；
- (6) 如验船师认为有必要，一些测试和分析过程需要进行实际验证。

1.6.3 如监测与决策系统出现故障，或者设备损坏、修理和换新，或监测手段等发生较大变化，船东或船舶管理公司应申请进行临时检验。

1.7 船上保存的文件

1.7.1 使用手册应保存在船上。使用手册至少应包括下列说明：

- (1) 操作；
- (2) 传感器和系统的设定和校准；
- (3) 故障识别；
- (4) 修理；
- (5) 系统维护和功能测试（表明组件和系统的测试方法以及测试观察的内容）；
- (6) 测试结果的解释说明。

1.7.2 监测与决策系统的维护和校准日志，应保存在船上。

第2节 冰区操作船体监测与辅助决策系统

2.1 一般规定

2.1.1 本节为采用标准冰区操作模式的船舶安装监测与决策系统的基本要求。

2.1.2 监测与决策系统应能实时监测冰区操作过程中冰带区构件的应力，当监测值以及预报值接近或超过安全阈值时能提供相应的安全警报信息，并向船长提供修正操作的建议。

2.1.3 监测与决策系统的测量频率能满足测量冲击载荷的要求，建议不低于 150Hz，并在应变监测过程应消除零飘现象，可采取接地线和及时清理平衡等操作措施。

2.1.4 驾驶室应能实时显示冰区操作船体监测信息，包括预警、报警、安全提示、和辅助决策等，为船长提供辅助决策支持。

2.1.5 监测与决策系统的工作流程参见图 2.1.5。

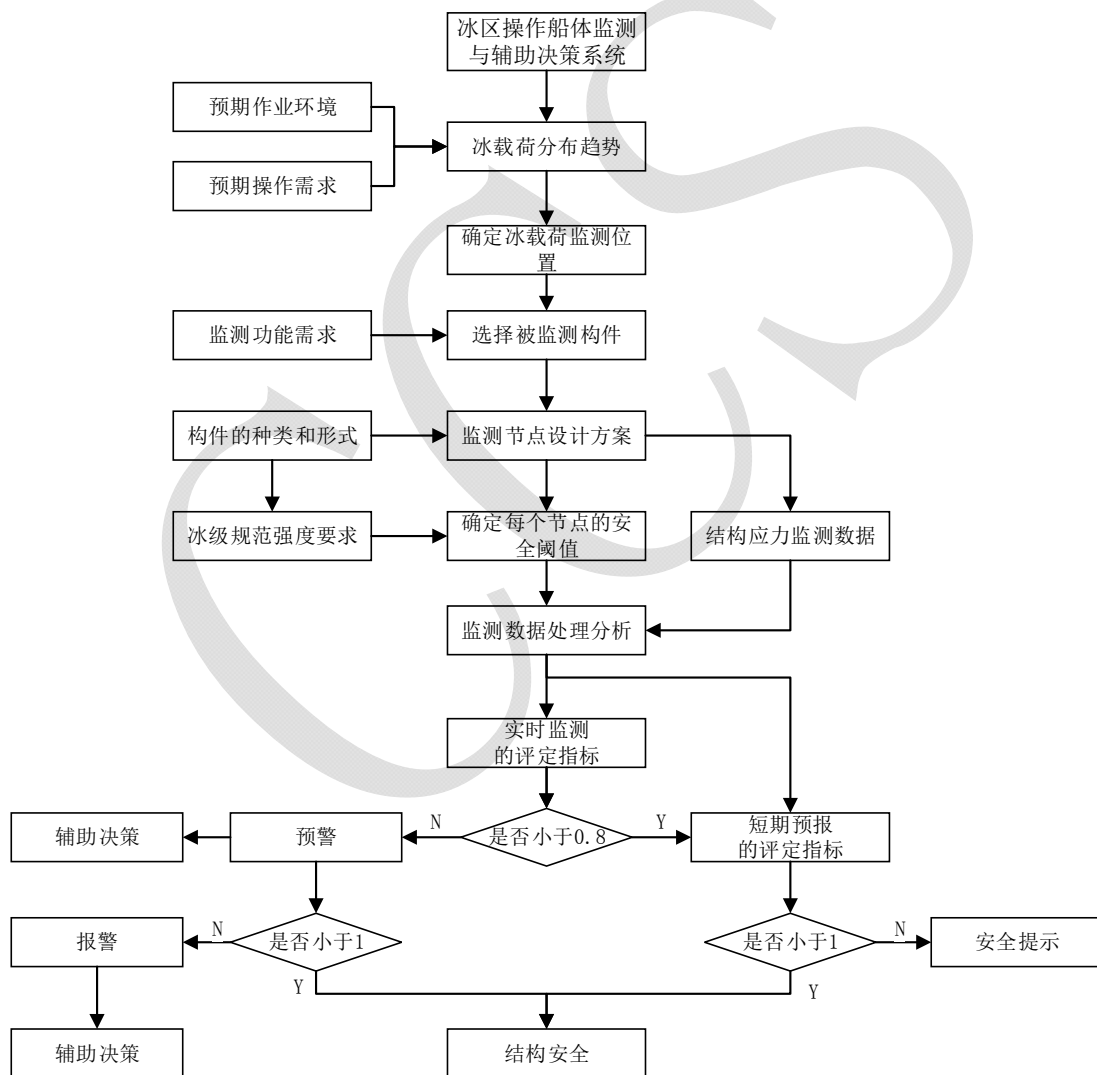


图 2.1.5 监测与决策系统的工作流程

2.2 环境信息

2.2.1 监测与决策系统应可获得冰区环境信息，诸如气温、海水温度、海冰种类¹及其相应的厚度、海冰密集度等，并应在监测与决策系统能显示相关信息。

2.2.2 监测与决策系统应采取必要措施消除环境温度对监测数据的影响，比如设置温度补偿装置或采用计及环境温度变化的算法。

2.3 冰区操作船体监测位置

2.3.1 监测与决策系统主要通过在水线附近船体构件上布放应变传感器对船体结构响应进行监测。

2.3.2 应基于冰载荷分布趋势选择监测与决策系统传感器的布置位置，见图 2.3.2 和表 2.3.2。



图 2.3.2 监测传感器布放位置示意图

表 2.3.2

布放区域	在冰区高位水线 UIWL 和冰区低位水线 LIWL 之间按照冰级规范中船体分区要求选择布点区域。布放位置可通过冰载荷数值预报、冰载荷模型试验、结构应力有限元分析等方法确定。
布放方式	根据不同的监测构件选择对应的传感器布放方式： (1) 腹板布放 45° 双向应变传感器或三向应变传感器； (2) 面板或折边上布放单向应变传感器； (3) 船体外板上布放三向应变传感器。
传感器类型	光纤光栅传感器或电阻应变传感器。

2.3.3 传感器布放时，一般使用短的应变传感器来测量冰激引起的结构局部应力，且应布置在应变最大的位置。

2.3.4 应按照测量拉压/弯曲正应变或剪切应变的不同功能需求，选择合适传感器安装方式，同时需考虑温度的变化对测量的影响。

2.4 典型结构监测节点设计

2.4.1 冰区操作船体监测典型结构节点应变（应力）监测装置应按如下原则设计：

- (1) 横/纵构件的面板或折边上安装单向应变传感器测量构件弯曲所受拉/压应变（应力）；
- (2) 横/纵强构件的腹板上安装双向应变传感器测量腹板所受剪切应变（应力）；

¹ 世界气象组织（WMO）的海冰类型及厚度的定义。

- (3) 船体外板上安装三向应变传感器测量外板最大主应变（应力）；
- (4) 应变传感器的设置应尽可能远离肘板趾端。

2.4.2 强肋骨

(1) 通常应选择布放区域、承受冰冲击的强肋骨位置，单向拉压应变传感器应放置在强肋骨跨距中点的面板/折边上，双向剪切应变传感器一般应放置在横向肋骨跨距上下两端处，应变监测节点设计如图 2.4.2 所示。

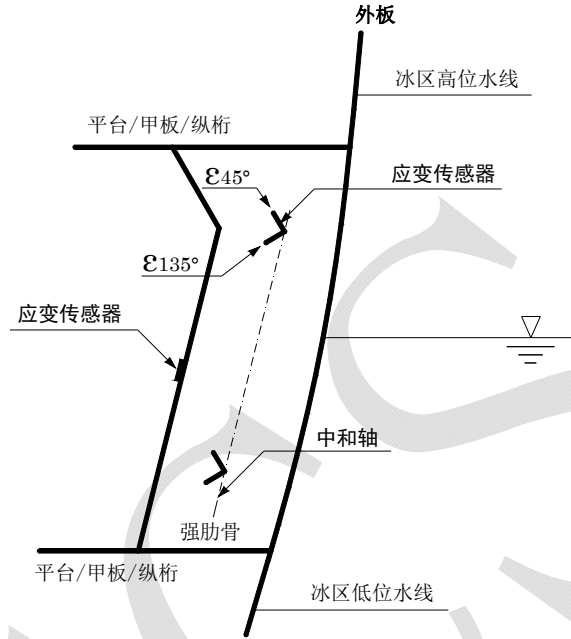


图 2.4.2 强肋骨应变监测布放示意图

- (2) 强肋骨的面板可采用拉压应变传感器测得的拉/压应变，监测强肋骨的面板上的拉/压应变（应力）。
- (3) 横向强肋骨上可采用双向剪切应变传感器监测横向强肋骨腹板所受剪应变（应力）。

2.4.3 纵桁

(1) 通常应选择布放区域、承受冰冲击位置处的纵桁，单向拉压应变传感器应放置在纵桁跨距中点的面板上，双向剪切应变传感器一般应放置在纵向构件近强横框架附近，应变监测节点设计如图 2.4.3 所示。

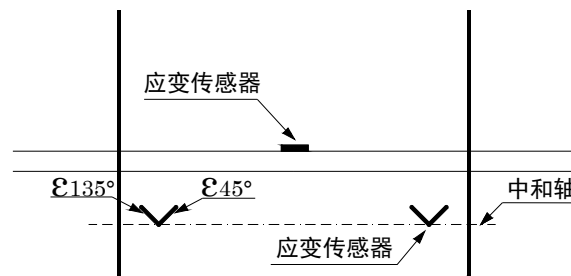


图 2.4.3 纵桁应变监测布放示意图

- (2) 纵桁面板可采用拉压应变传感器测得的拉/压应变，监测纵桁面板上的拉/压应变（应力）。
- (3) 纵桁腹板上可采用双向剪切应变传感器监测纵桁所受剪应变（应力）。

2.4.4 纵骨

(1) 通常应选择布放区域、承受冰冲击位置处的纵骨，单向拉压应变传感器应放置在纵骨跨距中点的面板上，监测节点设计如图 2.4.4 所示。

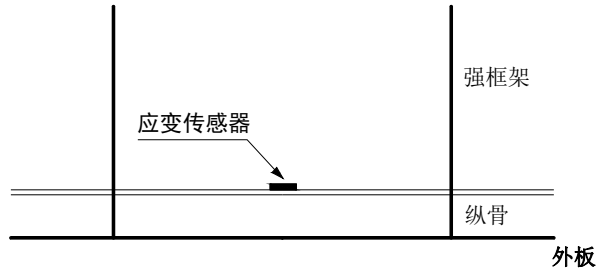


图 2.4.4 纵骨应变监测布放示意图

(2) 纵骨的面板可采用拉压应变传感器测得的拉/压应变，监测纵骨的面板上的拉/压应变（应力）。

2.4.5 肋骨

(1) 通常应选择布放区域、承受冰冲击位置处的肋骨位置，单向拉压应变传感器应放置在肋骨跨距中点的面板上，监测节点设计如图 2.4.5 所示。

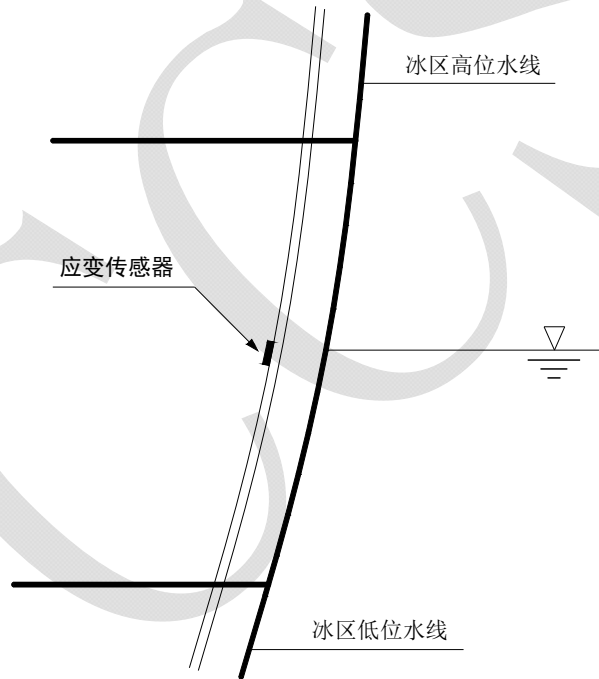


图 2.4.5 肋骨应变监测布放示意图

(2) 肋骨的面板可采用拉压应变传感器测得的拉/压应变，监测肋骨的面板上的拉/压应变（应力）。

2.4.6 船体外板

(1) 通常应选择布放区域、承受冰冲击位置处的舷侧外板，三向应变传感器应放置在船体外板板格的中心处，应变监测节点设计如图 2.4.6 所示。

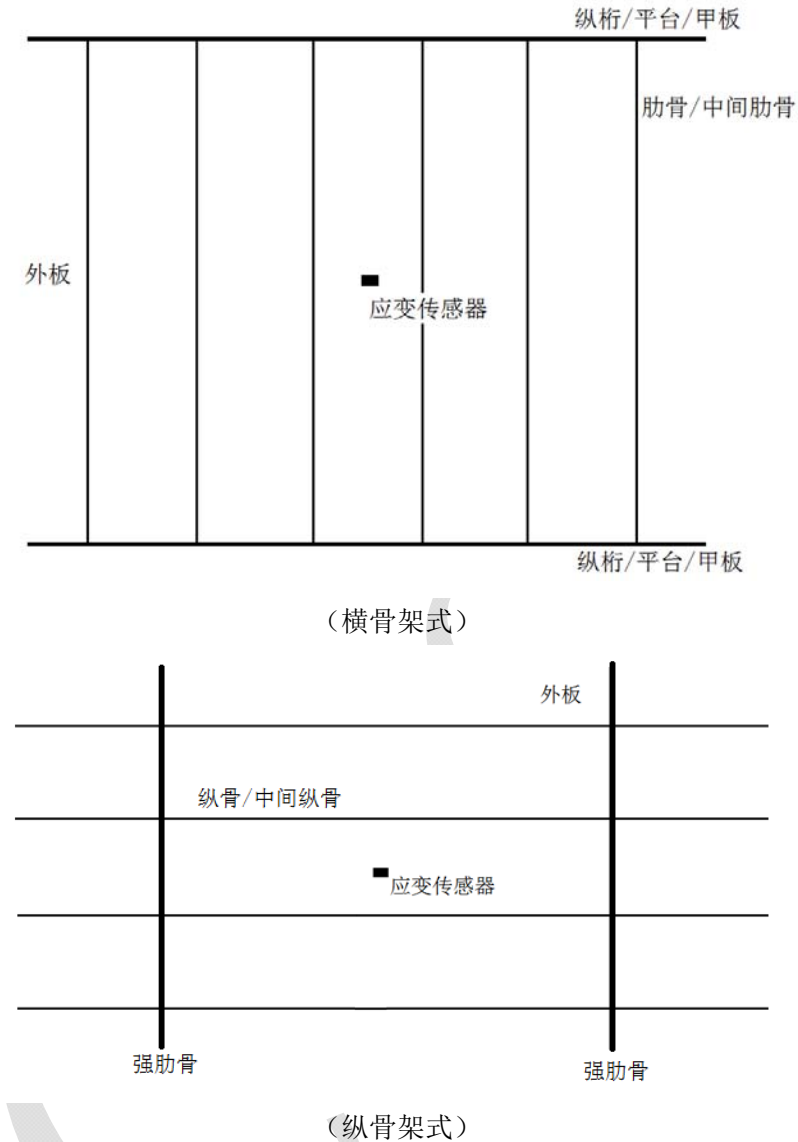


图 2.4.6 船体外板应变监测布放示意图

(2)船体外板可采用三向应变传感器测得的板格应变，监测外板的最大主应变(应力)。

2.5 冰区操作船体监测数据的处理方法

2.5.1 采集的数据要经过低通滤波处理，滤除高频噪声引入的测量误差。

2.5.2 由于冰载荷分布的随机性及冰区环境的恶劣，采集的数据中出现异常值的概率增大，数据处理时应剔除远离其他数据样本值的异常值。

2.5.3 采集到的冰区操作船体监测数据经过低通滤波、剔除异常值等处理得到实测应力值，可作为评定指标的输入。

2.6 安全阈值确定

2.6.1 监测与决策系统专门用于监测冰载荷作用下船体结构的响应，该系统启动时，船体监测位置的初始值应自动预设为零。

2.6.2 在监测与决策系统中，安全阈值由测点位置、构件属性和许用应力等因素共同确定，用于评定构件安全状态的标准。

2.6.3 按照冰级规范要求推导冰载荷作用下被测构件的许用应力，见 CCS 钢规第 2 篇第 4 章或第 8 篇第 13 章第 2 节的相关规定或其他等效方法。

2.6.4 对于 PC 冰级的船舶，冰载荷作用下被测构件的许用应力见表 2.6.4。

表 2.6.4

构件			许用应力
外板	横骨架式 $\Omega \geq 70^\circ$		$\frac{1}{2(1+\frac{s}{2b})^2} R_{eH}$
	纵骨架式 $\Omega \geq 20^\circ$		$\frac{1}{2(1+\frac{s}{2l})^2} R_{eH}$
	纵骨架式 $\Omega < 20^\circ$		$\frac{2\frac{b}{s} - (\frac{b}{s})^2}{2(1+\frac{s}{2l})^2} R_{eH}$
骨材	纵骨	弯曲应力	$A_4 R_{eH}$
		剪应力	$\frac{R_{eH}}{2\sqrt{3}}$
	肋骨	弯曲应力	$YA_1 R_{eH}$
		剪应力	$\frac{R_{eH}}{2\sqrt{3}}$
强构件	强肋骨		采用直接计算确定
	纵桁		采用直接计算确定
总纵强度	屈服/屈曲		$\sigma_a - \frac{\bar{M}_s}{W_c} \times 10^3$
	剪切		τ_a

注：表中 Ω 、 PPF_p 、 s 、 b 、 Y 、 A_1 、 A_4 、 R_{eH} 、 σ_a 、 τ_a 的定义见 CCS《钢质海船入级规范》第 8 篇第 13 章第 2 节， $\bar{M}_s$ 、 W_c 的定义见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 2 节。

2.6.5 对于 B3~B1* 系列冰级的船舶，冰载荷作用下构件的许用应力见表 2.6.5。

表 2.6.5

构件	许用应力
----	------

外板	纵骨架式		$\frac{0.889}{f_2} R_{eH}$
	横骨架式		$0.667 f_1 R_{eH}$
骨材	纵骨	弯曲应力	$\frac{8 f_4}{m} R_{eH}$
		剪应力	$\frac{f_4 f_5}{2\sqrt{3}} R_{eH}$
	肋骨	弯曲应力	$\frac{4}{m_t} R_{eH}$
		剪应力	$\frac{f_3}{2\sqrt{3}} R_{eH}$
强构件	强肋骨		采用直接计算确定
	纵桁		采用直接计算确定

注：表中 f_2 、 f_1 、 f_3 、 f_4 、 f_5 、 R_{eH} 、 m_t 、 m 的定义见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 4 章第 2 节。

2.6.6 以构件的最大实测应力与安全阈值的比值作为评定指标，评定指标大于等于 1 时，应设置报警，大于等于 0.8 时，应设置预警。

2.7 短期监测预报

2.7.1 监测与决策系统应具备短期监测预报功能，基于已有监测数据反映未来 1~2 小时内监测数据的变化趋势（如极值预报、趋势曲线等），当预报的评定指标达到 1 时，应设置安全提示。

2.8 辅助决策

2.8.1 应根据冰区环境、船舶状态和预警/报警信息，给出辅助决策以支持船长选择合适的操作措施。

2.8.2 当船舶在冰区操作时，对应不同位置处的预警/报警信息，应实施相应的操作措施，通常情况下，见表 2.8.2。

表 2.8.2

预警/报警位置	可能的危险	操作措施
首部	首部结构损坏； 船首部纵桁、肋板等结构失效。	建议降低航速、调整航向或停止操作。

中部	舷侧外板损坏； 舷侧纵桁、肋骨等失效。	建议降低航速或增大转弯半径。
尾部	尾柱结构破坏； 船尾部纵桁、肋板等结构失效。	建议降低航速。

第3节 非标准冰区操作模式的补充要求

3.1 一般规定

3.1.1 船舶冰区操作对船舶结构强度有影响，如有非标准冰区操作模式的功能需求，建议根据冰区操作的特点，在第2节的基础上，再考虑本节的相关要求。

3.1.2 根据选择的非标准冰区操作模式，在对应船体局部结构布放传感器，对冰激船体结构响应进行实时监测和预报，分析相应结构的安全状态。

3.1.3 可通过试验、数值分析方法或结构应力有限元分析方法确定非标准冰区操作时船体的冰载荷分布趋势，确定传感器的布放位置。

3.1.4 结构监测节点的设计可参照本指南第2节2.4的相关要求。

3.2 冰区转弯操作

3.2.1 具有较高冰区操作性能的船舶（如具有高升力舵、具有吊舱式推进系统），为满足转弯操作时冰区操作船体监测的需要，建议按3.2.2要求设置额外的冰区操作船体监测装置。

3.2.2 转弯操作时，行进方向前部靠航道内侧以及行进方向后部靠航道外侧冰压力最大，同时，由于受到大量海冰的挤压作用，船中的冰压力也较大，因此，冰区操作船体监测位置应在本指南第2节监测位置的基础上，在靠近型线收缩的肩部和尾部结构关键部位的左右舷至少各增加设置1个冰区操作监测位置。



图 3.2.2 监测传感器布放位置示意图

3.2.3 当发生预警或报警时，应能提出修正船舶操作的建议：

（1）船舶在冰区进行转弯操作时，应注意船体肩部和尾部的冰区操作船体监测情况，如出现预警/报警时，可降速慢行或增大转弯半径。

（2）对于使用全回转推进器的高冰级船舶，在严重冰况下，为避免船体冰载荷过大，建议采用倒车低速转弯，通过全回转推进器将冰吹离船体，拓宽航道，利于转弯。如采用正车高速转弯，建议全回转推进器角度控制在 30° 以内。

3.3 冰区冲撞操作

3.3.1 船舶可能在冰区采取冲撞操作模式（如冲撞冰脊），为满足冲撞操作时冰区操作船体监测的需要，建议按3.3.2要求设置额外的冰区操作船体监测装置。

3.3.2 冲撞操作时，船首至船肩船舶结构型线收缩处的冲击冰载荷较大，且首部可能出

现较大的冰载荷附加冲击弯矩和剪力，因此，冰区操作船体监测位置应满足如下要求：

（1）应在首部至船舶结构型线收缩处之间结构关键部位左右舷至少各设置 1 个冰区操作船体监测位置，在船舶结构型线收缩处至少各设置 1 个冰区操作船体监测位置。

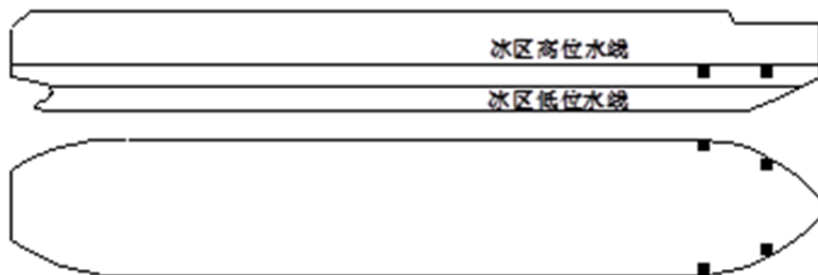


图 3.3.2(1) 监测传感器布放位置示意图

（2）应在首部外板的关键部位至少设置 1 个船体梁剪切应变（应力）监测位置，监测方式为图 3.3.2(2)所示，通过安装双向 45° 的应变传感器得到船体梁受到的剪切应变(应力)。

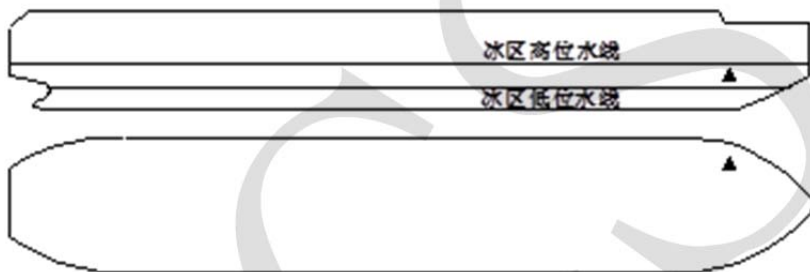


图 3.3.2(2) 监测传感器布放位置示意图

（3）应在距离尾部 0.5L~0.7L 位置的典型横剖面关键部位至少设置 1 个船体梁弯矩监测位置，为减小测量误差，视实际情况，可沿船宽方向等间距布置多个应变（应力）监测位置，取测量平均值。

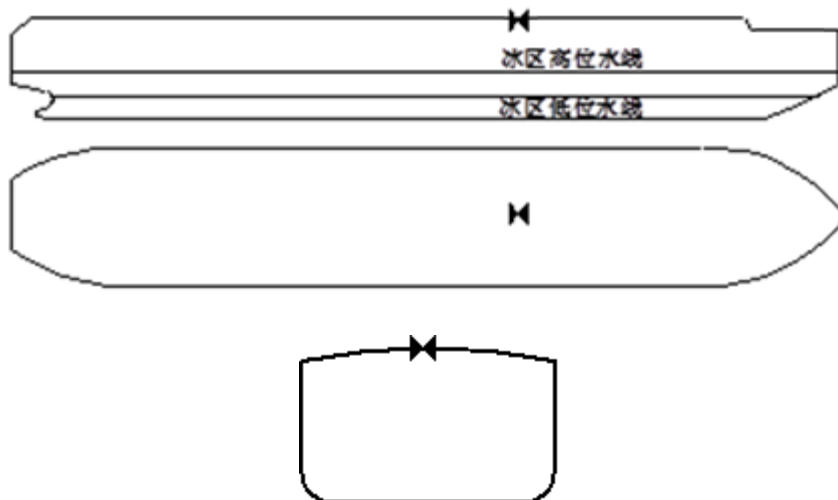


图 3.3.2(3) 监测传感器布放位置示意图

（4）应在首部船体板上设置 1 个三向应变（应力）监测位置，测量船体外板所受的最大主应变（应力）。

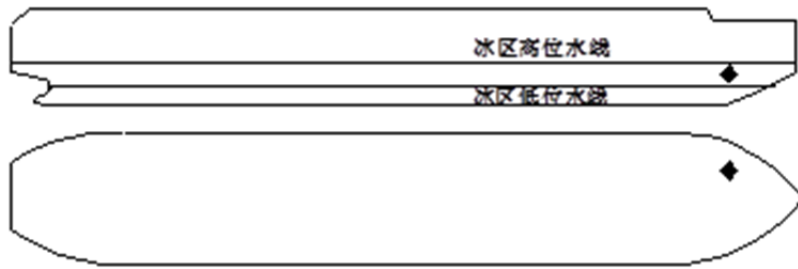


图 3.3.2(4) 监测传感器布放位置示意图

3.3.3 当发生预警或报警时，应能提出修正船舶操作的建议：

(1) 当年冰冲撞操作时，如冲撞冰厚度大于设计冰厚，连续冲撞的速度应低于设计冰区航速，单次冲撞速度最大为设计冰区航速。

(2) 多年冰冲撞操作时，冲撞操作使用船首撞击，且冲撞速度为低速。

(3) 冲撞冰脊时，只准使用船首冲撞，冲撞速度不得高于设计冰区航速。

(4) 撞击极端冰障碍时存在冰困风险，应谨慎实施撞击操作。

(5) 当冰区操作船体监测数据接近或达到安全阈值时，应降低冲撞速度或停止冲撞。

3.4 冰区尾向操作

3.4.1 船舶可能在冰区采取尾向操作模式（如冰区渡轮、冰区双向作业型船舶等），为满足尾向操作时冰区操作船体监测的需要，建议按 3.4.2 要求设置额外的冰区操作船体监测装置。

3.4.2 尾向操作时，船尾水线附近船舶结构冰载荷较大，尤其是结构型线变化较大处的冰压力最大，因此，冰区操作船体监测位置应满足如下要求：

(1) 应在船舶尾部、尾部过渡区的关键部位左右舷至少各设置 1 个冰区操作船体监测位置。

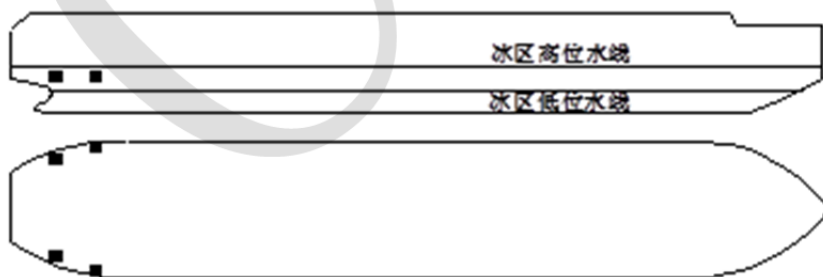


图 3.4.2(1) 监测传感器布放位置示意图

(2) 应该在尾部船体外板上至少设置 1 个三向应变（应力）监测位置，测量船体外板所受最大主应变（应力）。

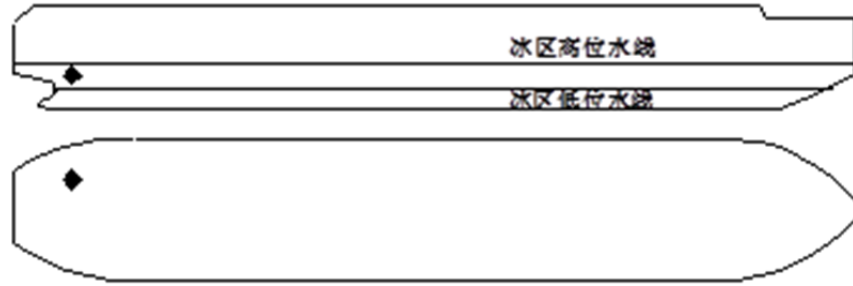


图 3.4.2(2) 监测传感器布放位置示意图

3.4.3 当发生预警或报警时，应能提出修正船舶操作的建议：

- (1) 尾部应尽可能保持合适的螺旋桨浸没，防止桨叶直接撞冰发生损坏。
- (2) 在较厚的冰区（冰脊，厚碎冰）中尾向操作时，可采取低航速和吊舱连续旋转，提高排冰效率。

3.5 冰区浅水操作

3.5.1 船舶可能在冰区浅水操作（如浅水航道、港区操作等），为满足冰区浅水操作时冰区操作船体监测的需要，建议按 3.5.2 要求设置额外的冰区操作船体监测装置。

3.5.2 冰区浅水操作时，底部区容易承受冰块的撞击，因此，应在船体底部区的关键部位设置足够数量的冰区操作船体监测位置。

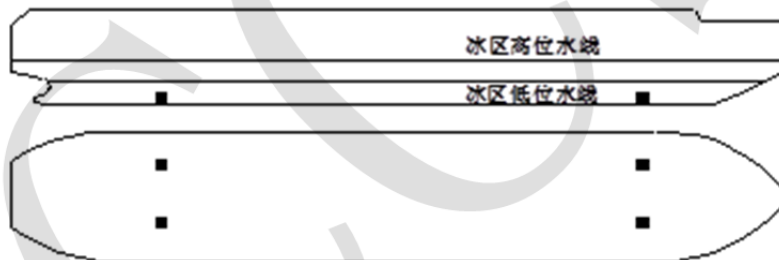


图 3.5.2 监测传感器布放位置示意图

3.5.3 当发生预警或报警时，应能提出修正船舶操作的建议：

- (1) 应关注底部冰区操作船体监测情况，如冰区操作船体监测数据出现预警/报警，应采取降低航速、调整航向等操作，必要时应停止前进。
- (2) 当船舶遇到严重冰况时，应加强瞭望，必要时可绕航避让或从松散冰处的下风缘慢车进入。

3.6 冰区斜向操作

3.6.1 对于采用冰区斜向操作的专用破冰船，为满足冰区斜向操作时冰区操作船体监测的需要，建议按 3.6.2 要求设置额外的冰区操作船体监测装置。

3.6.2 冰区斜向操作时，船-冰作用形式与常规冰区作业有较大差异，船体梁弯矩、船舶舷侧部位剪力明显增大，因此，冰区操作船体监测位置应满足如下要求：

- (1) 船体斜向破冰位置处的船体外板上至少设置 1 个三向应变（应力）监测位置，测

量船体外板所受最大主应变（应力）。

（2）应通过试验或数值分析方法分析冰区斜向操作时船体的冰载荷分布趋势，选择冰载荷较大区域的船体结构关键部位设置足够数量的冰区操作船体监测位置。

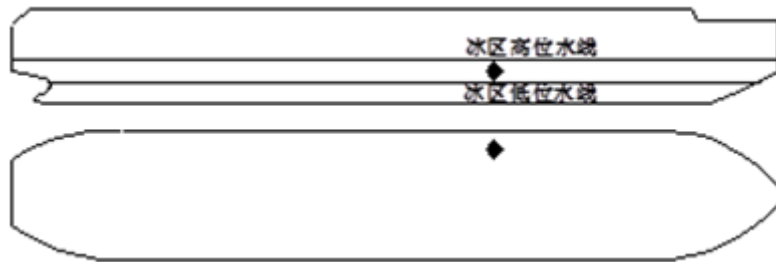


图 3.6.2 监测传感器布放位置示意图

3.6.3 当发生预警或报警时，应能提出修正船舶操作的建议：

（1）斜向操作可以加大破冰宽度，提高破冰效率，但只能用于冰层厚度较薄的区域，如遇厚冰层或冰脊时，应立即停止斜向操作。

（2）斜向操作时，应调整吃水至设计水线附近，以尽量低的航速推进。