

团 体 标 准

T/CSNAME 047—2022



船用低温钢冰载荷磨损-腐蚀 耦合作用试验方法

Testing method for ice loading wear-corrosion synergism of
marine low temperature steel

2022 - 04 - 20 发布

2022 - 07 - 20 实施

中国造船工程学会 发布

中国造船工



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：上海海事大学。

本文件主要起草人：常雪婷、王东胜。



中国造船工



船用低温钢冰载荷磨损-腐蚀耦合作用试验方法

1 范围

本文件规定了船舶及海洋工程用低温钢冰载荷磨损-腐蚀耦合作用（以下简称磨蚀耦合作用）测试试验的试样制备、试验设备和仪器、试验方法、海冰载荷磨蚀耦合作用的计算和试验报告。

本文件适用于海冰载荷介质（包括金属材料、非金属材料及涂层）的磨损评价。

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 3960 塑料滑动摩擦磨损试验方法

GB/T 12444 金属材料 磨损试验方法 试环-试块滑动磨损试验

GB/T 12763.2 海洋调查规范 第2部分 海洋水文观测

GB/T 17754 摩擦学术语

HY/T 047 工程海冰技术规范

3 术语和定义

GB/T 17754界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

试验力 testing load

试验过程中施加的载荷。

3.2

摩擦系数 friction coefficient

一组摩擦副之间的摩擦力与法向力之比。

3.3

摩擦副 rubbing pair

两个相对运动又相互作用的摩擦学元素构成的最小系统。

3.4

摩擦力 friction force

相互接触的两物体，当一个相对于另一个作切向相对运动或有相对运动趋势时，在接触面上发生的阻碍两物体相对运动的切向力。

3.5

磨损量 wear loss

在磨损过程中摩擦副的接触表面产生变形或表层材料流失的量，可以采用体积磨损、质量磨损、磨痕宽度来表示。

3.6

阴极保护 cathodic protection

在磨损/腐蚀试验过程中将样品保持在一个相对于开路电位为1V的阴极电位工艺。

3.7

总材料损失 total material weight loss

暴露于指定条件下的样品材料损失率，包括机械磨损、腐蚀以及两者之间的相互作用造成的影响。

3.8

磨蚀耦合作用 wear-corrosion synergism
由磨损和腐蚀之间的相互作用引起的材料损失。

3.9

腐蚀作用因数 corrosion factor
磨蚀耦合作用下，由于腐蚀行为对材料失重增加造成的比例因数。

3.10

磨损作用因数 wear factor
磨蚀耦合作用下，由于磨损行为对材料失重增加造成的比例因数。

3.11

协同效应 synergistic effect
磨蚀耦合作用中腐蚀作用对磨损作用的影响。

3.12

加剧效应 aggravating effect
磨蚀耦合作用中磨损作用对腐蚀作用的影响。

4 试样制备

4.1 试样应使用船用低温钢及涂层材料制备。

4.2 试样的制备应按照 GB/T 12444 的规定，并满足以下要求：

- a) 试样的制备应对原始材料的组织及力学性能没有影响；
- b) 试样不应带有磁性，经磨床加工后要退磁；
- c) 试样应有加工方向标记；
- d) 塑料件的试样按照 GB/T 3960 的规定准备。

4.3 宜采用图 1 所示形状和尺寸的试样。

单位：毫米

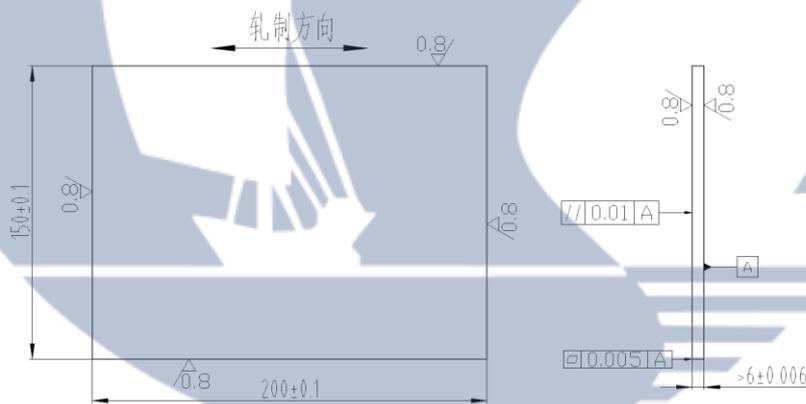


图1 低温块状磨损试样尺寸

4.4 表面涂刷涂层的材料，应以涂层外表面向材料内部方向切割 6 mm 制备磨损试样；如总厚度不足 6 mm，应按实际厚度制备试样。

4.5 试样称重

对于需要称重的试样，试验前后用三氯乙烷和甲醇进行二道清洗。清洗后在 60℃ 烘箱里进行 2 h 烘干，然后空冷；冷却至室温后，放置于干燥器中 2 h 后进行称重。

5 试验设备和仪器

- 5.1 海冰载荷磨损试验装置包括冰池摩擦试验机及冰载荷加载模块，见图 2 及图 3。
- 5.2 冰池摩擦试验机的环境温度应介于 -60°C ~室温，降温速度应不小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，冰池深度应不小于 400 mm。
- 5.3 冰载荷加载试验力示值相对误差应不大于 $\pm 1\%$ ，示值重复性相对误差应不大于 1%；摩擦力示值相对误差应不大于 $\pm 3\%$ ，示值重复性相对误差应不大于 3%；主轴径向圆跳动应不大于 0.1 mm；主轴轴向位移应不大于 0.1 mm；主轴轴线与工作台平面平行度应不大于 0.2 mm。
- 5.4 冰载荷加载模块的运动速度宜为 $0\text{ mm/s}\sim 5\text{ mm/s}$ 。
- 5.5 称量试样质量用的分析天平感量应达到 0.1 mg；测量试样尺寸和磨痕尺寸的仪器应采用 0.005 精度等级。

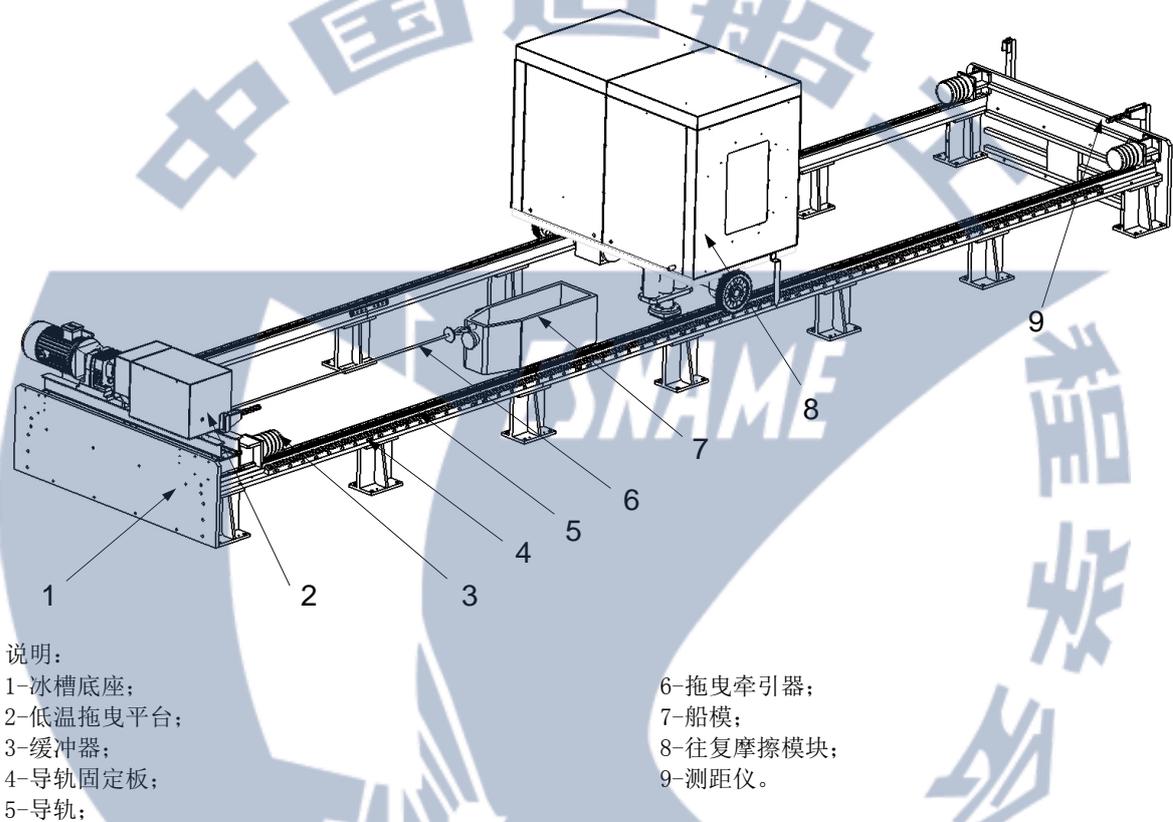
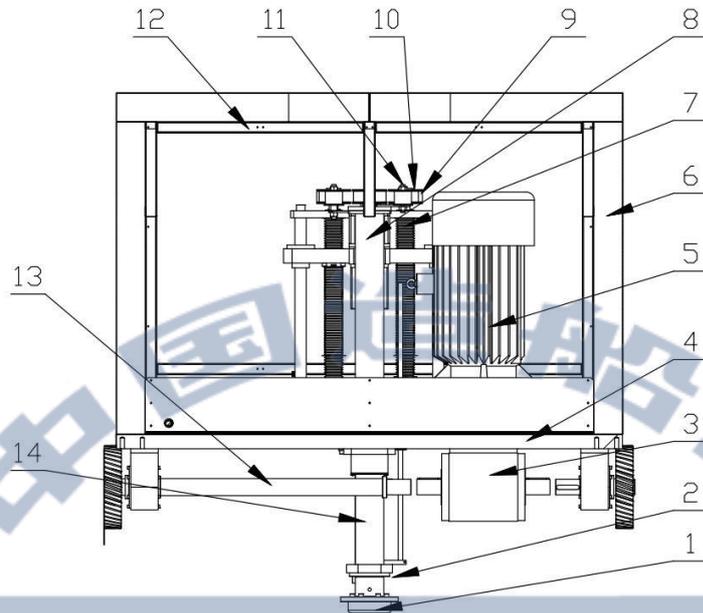


图2 冰池摩擦试验机



说明:

- 1-加载盘;
- 2-低温环境室;
- 3-加载变速器;
- 4-固定座;
- 5-加载电机;
- 6-加载保温层;
- 7-加载丝杆;

- 8-加载连杆;
- 9-加载同步带;
- 10-同步带轮;
- 11-加载导杆块;
- 12-固定架;
- 13-加载齿轮轴;
- 14-加载轴。

图3 冰载荷加载模块

6 试验方法

6.1 实验项目

试验包括海冰载荷对摩试验、海冰-水混合介质摩擦腐蚀试验、海水腐蚀试验。

6.2 海冰载荷对摩试验

6.2.1 试验条件

6.2.1.1 试验应在环境温度 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内进行。

6.2.1.2 海冰厚度及盐度根据实际航行需求确定。海冰盐度宜为 $0.3\text{ wt}\%\sim 0.7\text{ wt}\%$ 氯化钠水溶液，海冰厚度宜不小于 40 mm 。

6.2.1.3 测量海冰厚度时应保证环境温度与试验温度偏差不得超过 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.1.4 试验应在无振动、无腐蚀性气体和无粉尘的环境中进行。

6.2.1.5 试验过程施加压力应不高于海冰压溃强度，且最大压力应不超过 50 kN ，加载速度应不超过 5 mm/s 。

6.2.2 试验程序

海冰载荷对摩试验应按以下程序进行：

- a) 按 HY/T 047 的规定测试海冰性质；
- b) 将试样平行冰面安装固定在试验机主轴及夹具上；

- c) 启动试验机,使对摩速度达到规定要求,按 6.2.1.5 的要求施加试验力;
- d) 在试验过程中记录摩擦力、摩擦系数数据;
- e) 试验前后记录试样重量,获得总摩擦腐蚀失重 T ;
- f) 试验周期应根据船舶设计冰区航程确定;重复一次上述试验,不同的是为试样增加阴极保护;
- g) 试验前后记录试样重量,获得摩擦失重 W_0 。

6.3 海冰-水混合介质摩擦腐蚀试验

6.3.1 试验条件

6.3.1.1 试验应在环境温度 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内进行。

6.3.1.2 海冰厚度及盐度根据实际航行需求确定。海水盐度宜为 $0.3\text{ wt}\%\sim 0.7\text{ wt}\%$ 氯化钠水溶液,海冰厚度为 $0.5\text{ mm}\sim 20\text{ mm}$ 。

6.3.1.3 测量海冰厚度时应保证环境温度与试验温度偏差不超过 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.3.1.4 试验应在无振动、无腐蚀性气体和无粉尘的环境中进行。

6.3.2 试验程序

海冰-水混合介质摩擦腐蚀试验应按以下程序进行:

- a) 按 HY/T 047 的规定测试海冰性质,按 GB/T 12763.2 的规定测定海水性质;
- b) 将试样垂直冰面安装固定在试验机主轴及夹具上,样品顶部应不低于浮冰表面;
- c) 启动试验机,使对摩速度达到规定要求;
- d) 在试验过程中记录摩擦力、摩擦系数数据;
- e) 试验前后记录试样重量,获得腐蚀摩擦失重 C_1 ;
- f) 试验周期应根据船舶设计冰区航程确定。

6.4 海水腐蚀试验

6.4.1 试验条件

6.4.1.1 试验应在环境温度 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内进行。

6.4.1.2 海水盐度根据实际航区设置。海水盐度宜为 $0.3\text{ wt}\%\sim 0.7\text{ wt}\%$ 氯化钠水溶液。

6.4.1.3 试验应在无振动、无腐蚀性气体和无粉尘的环境中进行。

6.4.2 试验程序

海水腐蚀试验应按以下程序进行:

- a) 按 GB/T 12763.2 的规定测定海水性质;
- b) 将试样放置于海水介质中;
- c) 将试样及介质共同放置于试验温度环境内;
- d) 试验周期应根据船舶设计冰区航程确定;
- e) 记录试验前后试样重量,获得腐蚀失重 C_0 。

7 海冰载荷磨蚀耦合作用的计算

7.1 计算方法

7.1.1 试样总材料损失中的总磨损量 W_C 计算公式,见公式(1):

$$W_C = T - C_W \dots \dots \dots (1)$$

式中:

W_C ——总材料损失量 T 中的总磨损量,单位为克每年每平方毫米($\text{g}/\text{yr}\cdot\text{mm}^2$);

T ——试样的总材料损失,单位为克每年每平方毫米($\text{g}/\text{yr}\cdot\text{mm}^2$),由海冰载荷对摩试验获得;

C_w ——总材料损失量T中的总腐蚀量，单位为克每年每平方毫米（g/yr. mm²），由海冰-水混合介质摩擦腐蚀试验获得。

7.1.2 由于磨损引起的试样腐蚀率变化 ΔC_w 的计算公式，见公式（2）：

$$\Delta C_w = C_w - C_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔC_w ——由于磨损引起的试样腐蚀率变化，单位为克每年每平方毫米（g/yr. mm²）；

C_0 ——在不发生机械磨损的情况下，试样的腐蚀质量损失，单位为克每年每平方毫米（g/yr. mm²），由海水腐蚀试验获得。

7.1.3 由于腐蚀引起的试样磨损率变化 ΔW_c 的计算公式，见公式（3）：

$$\Delta W_c = W_c - W_0 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ΔW_c ——由于腐蚀引起的试样磨损率变化，单位为克每年每平方毫米（g/yr. mm²）；

W_0 ——在磨损测试过程中通过阴极保护消除了腐蚀后，试样的磨损质量损失，单位为克每年每平方毫米（g/yr. mm²），由海冰载荷对磨试验获得。

注：T、 W_0 、 C_w 和 C_0 均以每单位时间每个暴露区域面积的重量损失为单位报告。

7.2 耦合作用因数计算方法

磨损耦合作用对总材料损失量的影响程度可通过公式（4）和公式（5）进行判断。

腐蚀作用因数 K_c ：

$$K_c = (C_0 + \Delta C_w)/C_0 \dots\dots\dots (4)$$

磨损作用因数 K_w ：

$$K_w = (W_0 + \Delta W_c)/W_0 \dots\dots\dots (5)$$

7.3 腐蚀耦合作用重要性判定

7.3.1 若 $\Delta C_w / \Delta W_c < 0$ ，则表示腐蚀和磨损是对立的，使用 ΔW_c 做评估数据，评估不同材料在同一腐蚀环境中的适用性。

7.3.2 若 $0 \leq \Delta C_w / \Delta W_c < 0.1$ ，则协同效应起主导作用，腐蚀对磨损的影响大于磨损对腐蚀的影响，应主要评估腐蚀条件对材料性能的影响。

7.3.3 若 $0.1 \leq \Delta C_w / \Delta W_c < 1$ ，则加剧效应和协同效应相互作用是等效的，应同时评估腐蚀和磨损对材料性能的影响。

7.3.4 若 $\Delta C_w / \Delta W_c \geq 1$ ，则加剧效应起主导地位，磨损对腐蚀的影响大于腐蚀对磨损的影响，应主要评估磨损条件对材料性能的影响。

8 试验报告

8.1 试验报告应包括以下内容：

- a) 试样材料的牌号（代号）、化学成分及状态；
- b) 试验溶液成分、温度及试验时间；
- c) 实验中发生的现象及腐蚀失重；
- d) 需要注明情况的备注；
- e) 操作和审核人员的署名；
- f) 报告日期。

8.2 测试数据记录表参见附录 A。

附录 A
(资料性)
测试数据记录表

A.1 试验测试数据记录表见表A.1。

表A.1 测试数据记录表

测试地点				测试人员							
测试日期				备注							
海冰性质	盐度 wt%	单轴压缩强度 MPa	厚度 mm	温度 °C	密度 g/mm ³	试样性质	密度 g/mm ³	尺寸 mm			
海水性质	盐度 wt%		浸泡时间 h		试验温度 °C	阴极保护参数	阴极保护方式	备注			
试样序号	试样名称	对摩速度 mm/s	材料质量损失 g/yr·mm ²						磨蚀耦合作用重要性判定		
			<i>T</i>	<i>W₀</i>	<i>C_r</i>	<i>C₀</i>	ΔC_r	ΔW_c	<i>K_c</i>	<i>K_r</i>	$\Delta C_r / \Delta W_c$