

ICS 07.060

CCS A 45

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

热带海洋工程材料服役评价技术规范

Technical specifications for service evaluation of tropical ocean engineering
materials

(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 热带海洋环境特征与服役区带划分 2

 4.1 环境特征参数 2

 4.2 服役区带划分 3

5 服役性能评价指标 3

 5.1 腐蚀性能指标 3

 5.2 力学性能指标 3

 5.3 涂层性能指标 3

 5.4 生物污损指标 4

6 试验方法 4

 6.1 均匀腐蚀速率试验 4

 6.2 局部腐蚀深度试验 5

 6.3 局部腐蚀敏感性试验 5

 6.4 电化学特征参数试验 5

 6.5 力学性能试验 5

 6.6 涂层性能试验 6

 6.7 生物污损试验 6

7 评价等级与判定 6

 7.1 均匀腐蚀等级评定 6

 7.2 局部腐蚀等级评定 7

 7.3 局部腐蚀敏感性评定 7

 7.4 电化学特征参数等级评定 7

 7.5 力学性能保持率等级评定 7

 7.6 涂层防护等级评定 7

 7.7 生物污损等级评定 8

 7.8 综合评价 8

8 评价报告 8

 8.1 报告内容 8

 8.2 数据保存 8

 8.3 第三方报告 9

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

热带海洋工程材料服役评价技术规范

1 范围

本文件规定了热带海洋工程材料服役评价的热带海洋环境特征与服役区带划分、服役性能评价指标、试验方法、评价等级与判定、评价报告等。

本文件适用于在热带海洋环境中服役的金属材料（包括碳钢、低合金钢、不锈钢、铜合金、铝合金、钛合金及其复合材料）及其防护涂层、镀层和阴极保护系统的服役性能评价。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 712 船舶及海洋工程用结构钢
- GB/T 1740 漆膜耐湿热测定法
- GB/T 4334 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体（双相）不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 5370 防污漆样板浅海浸泡试验方法
- GB/T 5776 金属和合金的腐蚀 金属和合金在表层海水中暴露和评定的导则
- GB/T 6384 船舶及海洋工程用金属材料在自然环境中的海水腐蚀试验方法
- GB/T 7998 铝合金晶间腐蚀敏感性评价方法
- GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 10119 黄铜耐脱锌腐蚀性能的测定
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 10127 金属和合金的腐蚀 缝隙腐蚀试验方法
- GB/T 13452.2 色漆和清漆 漆膜厚度的测定
- GB/T 15970（所有部分） 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验
- GB/T 16545 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除
- GB 17378（所有部分） 海洋监测规范
- GB/T 18590 金属和合金的腐蚀 点蚀评价指南
- GB/T 19746 金属和合金的腐蚀 盐溶液周浸试验
- GB/T 30790（所有部分） 色漆和清漆 防护涂料体系对钢结构的防腐蚀保护
- GB/T 31588.1 色漆和清漆 耐循环腐蚀环境的测定 第1部分：湿（盐雾）/干燥/湿气
- GB/T 42672 金属和合金的腐蚀 表层海水暴露试验环境因素监测方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热带海洋环境 tropical marine environment

地理纬度介于南、北回归线之间，年平均海水表层温度不低于 25℃、年平均气温不低于 26℃的高温、高湿、高盐雾海洋环境。

3.2

服役区带 service zone

海洋工程结构物沿垂直方向所处的不同腐蚀环境区段，包括海洋大气区、飞溅区、潮差区、全浸区及海泥区。

3.3

飞溅区 splash zone

海洋平均高潮位以上、受波浪飞溅和潮汐润湿频繁作用的区域，是腐蚀最为严酷的服役区带。

3.4

全浸区 full immersion zone

长期浸泡于海水面以下，与表层海水组成相近的深度内连续处于海水中的区域。

3.5

腐蚀速率 corrosion rate

单位时间内金属表面因腐蚀造成的厚度减薄量或单位面积的质量损失，通常以毫米每年（mm/a）表示。

3.6

生物污损 biofouling

海洋生物（包括微生物、藻类、贝类等）在材料或结构物表面附着、生长并造成污损的现象。

3.7

服役性能 service performance

工程材料在特定海洋环境条件下，于规定服役期内保持其设计功能和安全可靠性的综合能力。

4 热带海洋环境特征与服役区带划分

4.1 环境特征参数

4.1.1 环境条件判定

热带海洋工程材料服役评价所针对的热带海洋环境，应至少满足下列条件之一：

- a) 年平均海水表层温度不低于 25℃；
- b) 年平均气温不低于 26℃；
- c) 所处地理纬度位于南北回归线（南纬 23° 26′ 至北纬 23° 26′）之间。

4.1.2 环境参数要求

热带海洋环境关键参数宜符合表 1 的规定。环境监测数据应取自评价海域连续不少于 12 个月的实测值，监测方法应符合 GB 17378（所有部分）的要求。

表 1 热带海洋环境关键参数

序号	环境参数	单位	典型取值范围	说明
1	海水表层温度	℃	25~32	年最高值常达 30℃以上
2	海水盐度	—	33.0~35.5	近岸河口区可低于 33
3	溶解氧（表层）	mg/L	5.5~7.0	受温度升高影响略低于温带
4	pH 值	—	7.8~8.2	符合 GB/T 5776 规定
5	Cl ⁻ 浓度	mg/L	19000~21000	表层海水主要腐蚀介质
6	年平均气温	℃	26~29	昼夜温差小
7	年平均相对湿度	%	77~85	常年高于 75%临界湿度
8	年降水量	mm	1500~2500	干湿交替频繁

9	年平均风速	m/s	4~6	台风期可达 40m/s 以上
10	盐雾浓度	mg/m ³	0.3~1.5	远高于内陆
11	Cl ⁻ 沉积速率	mg/(m ² ·d)	30~300	西沙实测可达 110mg/(m ² ·d)
12	年日照时数	h	2400~2800	紫外线辐射强，加速涂层老化
注：表 1 中 Cl ⁻ 浓度取值依据 GB/T 5776 对天然海水或模拟海水的规定（Cl ⁻ 浓度 19000mg/L~21000mg/L，pH 7.8~8.2）。				

4.2 服役区带划分

根据海洋工程结构物的垂直位置及受海水浸润状况，服役区带宜划分为海洋大气区、飞溅区、潮差区、全浸区和海泥区五个区带，各区带的环境特征及典型腐蚀严酷程度应符合表 2 的规定。

表 2 热带海洋服役区带划分及环境特征

区带	位置范围	主要腐蚀因素	相对腐蚀严酷度
海洋大气区	设计高潮位以上，不受波浪飞溅直接作用	盐雾沉降、湿度、紫外线、温度	中
飞溅区	设计高潮位以上受波浪飞溅频繁润湿区段	干湿交替、富氧、盐浓缩、冲击	极高
潮差区	设计高潮位与设计低潮位之间	周期性浸没与暴露、氧浓差电池	高
全浸区	设计低潮位以下至海泥面以上	溶解氧、盐度、温度、流速、生物	中~高
海泥区	海泥面以下	硫酸盐还原菌、缺氧、硫化物	低~中

5 服役性能评价指标

5.1 腐蚀性能指标

应包括下列指标：

- a) 均匀腐蚀速率，单位为毫米每年（mm/a）；
- b) 局部腐蚀深度，包括点蚀深度、缝隙腐蚀深度，单位为毫米（mm）；
- c) 局部腐蚀敏感性，包括应力腐蚀开裂敏感性、晶间腐蚀敏感性；
- d) 电化学特征参数，包括自腐蚀电位、点蚀电位。

5.2 力学性能指标

5.2.1 力学性能保持率

经服役或加速试验后的力学性能保持率应作为评价指标，包括下列项目：

- a) 屈服强度保持率 $R_{e,保持} = \frac{R_{e,后}}{R_{e,前}} \times 100\%$ ；
- b) 抗拉强度保持率 $R_{m,保持} = \frac{R_{m,后}}{R_{m,前}} \times 100\%$ ；
- c) 断后伸长率变化率 $\Delta A = \frac{A_{后} - A_{前}}{A_{前}} \times 100\%$ ；
- d) 冲击吸收能量保持率 $KV_{2,保持} = \frac{KV_{2,后}}{KV_{2,前}} \times 100\%$ 。

5.2.2 结构钢力学性能要求

对于按 GB/T 712 供货的海洋工程结构钢，其原始力学性能应符合相应牌号规定。

示例：以 AH36 为例，屈服强度应不低于 355MPa，抗拉强度应为 490MPa~630MPa，断后伸长率应不低于 21%，0℃下冲击吸收能量（KV₂）纵向应不低于 34J、横向应不低于 24J。

5.3 涂层性能指标

应包括下列指标：

- a) 涂层附着力；

- b) 干膜厚度；
- c) 耐中性盐雾性能；
- d) 耐湿热性能；
- e) 涂层耐久性。

5.4 生物污损指标

5.4.1 评价指标

应包括下列指标：

- a) 污损面积覆盖率，为单位面积上污损生物覆盖面积占试样表面积的百分比；
- b) 污损生物附着量，单位为克每平方米（g/m²）。

5.4.2 评价周期要求

热带海域常年水温较高，污损生物繁殖周期短、附着量大，污损评价应至少覆盖一个完整的生物附着旺盛期（不少于6个月）。

6 试验方法

6.1 均匀腐蚀速率试验

6.1.1 实海域暴露试验

6.1.1.1 试验条件

实海域暴露试验应按GB/T 5776和GB/T 6384的规定执行，试验海域应能代表热带海洋环境特征，且海水水质应符合表1要求。

6.1.1.2 试样制备

应符合下列要求：

- a) 试样尺寸宜为200mm×100mm×（3~6）mm，表面粗糙度Ra应不大于1.6μm；
- b) 试样应经丙酮或无水乙醇超声清洗、干燥后称量，精确至0.1mg；
- c) 每种材料每个区带的平行试样应不少于3片，并设置对照试样。

6.1.1.3 暴露周期

应不少于下列规定，长周期评价宜延长至5年或10年：

- a) 飞溅区、潮差区：1年、2年、5年；
- b) 全浸区：1年、3年、5年、10年；
- c) 海泥区：2年、5年。

6.1.2 实验室加速试验

6.1.2.1 中性盐雾试验

应按GB/T 10125的规定执行，试验条件应符合表3要求。

表3 中性盐雾试验（NSS）条件

项目	规定值	允许偏差
试验温度	35℃	±2℃
氯化钠溶液浓度（收集液）	50g/L	±5g/L
溶液pH值	6.5~7.2	—
盐雾沉降量	1.5mL/（h·80cm ² ）	±0.5mL/（h·80cm ² ）
喷雾方式	连续喷雾	—
试样放置角度	与垂直方向成20°	15°~30°
推荐试验周期	24/48/96/240/480/720h	—

6.1.2.2 铜加速乙酸盐雾试验

对于热带海洋高湿热环境的模拟，宜采用铜加速乙酸盐雾试验（CASS），试验温度为50℃±2℃，试验周期宜参照表3中的推荐试验周期执行，其余按GB/T 10125执行。

6.1.2.3 盐溶液交替浸泡试验

应按 GB/T 19746 的规定执行，每个循环宜包括浸泡 10min、干燥 50min 和润湿 50min，循环次数不少于 360 次。

6.1.3 均匀腐蚀速率计算

均匀腐蚀速率可通过实海域暴露试验（6.1.1）或实验室加速试验（6.1.2）测定，实海域暴露试验结果为最终评价依据。试验结束后均按 GB/T 16545 清除腐蚀产物后由质量损失法计算，计算公式见式（1）：

$$CR = \frac{8.76 \times 10^4 \times \Delta m}{S \times t \times \rho} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

CR ——腐蚀速率，单位为毫米每年（mm/a）；

Δm ——试验前后质量损失，单位为克（g）；

S ——试样暴露表面积，单位为平方厘米（cm²）；

t ——试验时间，单位为小时（h）；

ρ ——材料密度，单位为克每立方厘米（g/cm³）。

6.2 局部腐蚀深度试验

6.2.1 点蚀深度测量

点蚀深度应按 GB/T 18590 的规定执行。测量前应清除腐蚀产物，采用金相显微镜或轮廓仪测量最大点蚀深度 d_{max} ，测量精度应不低于 0.01mm。每个试样应测量不少于 5 个视场，取最大值作为该试样的点蚀深度。

6.2.2 缝隙腐蚀深度测量

缝隙腐蚀试样应按 GB/T 10127 的规定制备。试验结束后，打开缝隙装置，清除腐蚀产物，采用金相显微镜测量缝隙内最大腐蚀深度，测量精度应不低于 0.01mm。

6.3 局部腐蚀敏感性试验

6.3.1 应力腐蚀开裂敏感性试验

应按 GB/T 15970（所有部分）的规定执行，通过对比试验介质与惰性介质中的断裂时间、断面收缩率或应力强度因子门槛值，评定应力腐蚀开裂敏感性。

6.3.2 晶间腐蚀敏感性试验

试样经腐蚀后，通过弯曲试验或金相观察评定晶间腐蚀等级。应按下列方法执行：

- a) 不锈钢晶间腐蚀试验应按 GB/T 4334 的规定执行；
- b) 铝合金晶间腐蚀试验应按 GB/T 7998 的规定执行；
- c) 铜合金晶间腐蚀试验应按 GB/T 10119 的规定执行。

6.4 电化学特征参数试验

6.4.1 测试条件

电化学测试应在按表 1 配制的模拟海水或天然海水中进行，参比电极宜采用饱和甘汞电极（SCE）或银/氯化银电极（Ag/AgCl），辅助电极宜采用铂电极或石墨电极。

6.4.2 测试项目

应包括下列项目：

- a) 开路电位（OCP），稳定时间不少于 1h；
- b) 动电位极化曲线，扫描速率宜为 0.166mV/s，测定自腐蚀电位、自腐蚀电流密度和点蚀电位；
- c) 电化学阻抗谱（EIS），频率范围 10mHz～100kHz，交流激励信号幅值为 5mV～10mV。

6.5 力学性能试验

6.5.1 试样分组

每种材料应分为两组，试样的取样位置、尺寸和数量应一致：

- a) 原始对照组：不经服役或加速试验，直接测定力学性能，作为保持率计算的基准值；

b) 试验组：经实海域暴露试验（6.1.1）或实验室加速试验（6.1.2）后，测定剩余力学性能。

6.5.2 拉伸试验

应按 GB/T 228.1 的规定执行，采用比例系数 $k=5.65$ 的比例试样，应变速率控制方式优先选用方法 B。

6.5.3 夏比冲击试验

应按 GB/T 229 的规定执行，标准 V 型缺口试样尺寸为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 55\text{mm}$ ，试验温度宜选取 0°C 、 -20°C 、 -40°C 。

6.6 涂层性能试验

6.6.1 涂层附着力

应按 GB/T 9286 的划格法评定，切割间距依据干膜厚度选取：

- a) 干膜厚度不大于 $60\text{ }\mu\text{m}$ 时切割间距为 1mm ；
- b) 干膜厚度大于 $60\text{ }\mu\text{m}$ 且不大于 $120\text{ }\mu\text{m}$ 时切割间距为 2mm ；
- c) 干膜厚度大于 $120\text{ }\mu\text{m}$ 时切割间距为 3mm 。

6.6.2 干膜厚度

应按 GB/T 13452.2 的规定执行，在涂层表面均匀选取不少于 5 个测量点，取算术平均值作为该试样的干膜厚度值。

6.6.3 涂层耐盐雾试验

应按 GB/T 31588.1 的规定执行，热带海洋用长效防护涂层的耐盐雾时间应不低于 720h ，关键构件宜不低于 2000h 。

6.6.4 涂层耐湿热试验

应按 GB/T 1740 的规定执行，试验温度为 $47^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $96\%\pm 2\%$ ，试验时间应不低于 1000h 。

6.6.5 涂层耐久性试验

应按 GB/T 30790（所有部分）的规定执行，根据涂层体系暴露的热带海洋环境，判定其腐蚀性类别，并确定相应的防护涂料体系设计寿命等级。

6.7 生物污损试验

6.7.1 实海污损试验

防污涂层及材料的实海污损试验应参照 GB/T 5370 的规定执行，浸泡深度宜为水面以下 $0.5\text{m}\sim 2\text{m}$ ，试验周期应不少于 12 个月，并覆盖夏季高温污损旺盛期。

6.7.2 附着强度测定

污损生物在材料表面附着强度的测定应按 GB/T 42672 的规定执行。

6.7.3 污损面积测定

污损面积覆盖率应采用图像分析法测定，污损生物附着量应以湿重计，称量精确至 0.01g 。

7 评价等级与判定

7.1 均匀腐蚀等级评定

根据实测腐蚀速率，工程材料的均匀腐蚀等级宜按表 4 评定。

表 4 均匀腐蚀等级评定

等级	均匀腐蚀速率/（ mm/a ）	判据说明
一级（优）	≤ 0.01	耐蚀性优异，可长期裸用
二级（良）	$0.01\sim 0.05$	耐蚀性良好，宜配合防护措施
三级（中）	$0.05\sim 0.10$	需采取涂层或阴极保护
四级（差）	$0.10\sim 0.25$	必须采取有效防护
五级（劣）	> 0.25	不宜在该区带直接使用

7.2 局部腐蚀等级评定

宜按最大点蚀深度 $d_{\max}$ 评定，见表 5。

表 5 点蚀等级评定

点蚀等级	最大点蚀深度 $d_{\max}$ /mm	评定
A 级（优）	≤ 0.1	点蚀轻微，可忽略
B 级（良）	$0.1 \sim 0.5$	点蚀较轻，宜监测
C 级（中）	$0.5 \sim 1.0$	点蚀明显，应防护
D 级（差）	> 1.0	点蚀严重，应更换或加强防护

7.3 局部腐蚀敏感性评定

根据表 6 进行等级评定。

表 6 局部腐蚀敏感性等级评定

等级	判定条件	评定
A 级（优）	未发生应力腐蚀开裂，未发生晶间腐蚀	耐局部腐蚀性能优异，可正常使用
B 级（良）	未发生应力腐蚀开裂，晶间腐蚀等级 ≤ 2 级	耐局部腐蚀性能良好，宜定期监测
C 级（中）	未发生应力腐蚀开裂，晶间腐蚀等级 > 2 级	晶间腐蚀倾向明显，应加强防护
D 级（差）	发生应力腐蚀开裂或晶间腐蚀导致弯曲试验不合格	不宜在热带海洋全浸区及飞溅区作为受力构件使用

7.4 电化学特征参数等级评定

根据动电位极化曲线测得的点蚀电位 E_b 与自腐蚀电位 E_{corr} 差值评定材料的点蚀敏感性，见表 7。

表 7 电化学特征参数等级评定

等级	$E_b - E_{corr} / \text{mV}$	评定
A 级（优）	≥ 300	点蚀敏感性极低，耐局部腐蚀性能优异
B 级（良）	$200 \sim 300$	点蚀敏感性较低，可正常使用
C 级（中）	$100 \sim 200$	点蚀敏感性中等，宜加强监测
D 级（差）	< 100	点蚀敏感性高，不宜在热带海洋全浸区及飞溅区使用

7.5 力学性能保持率等级评定

根据服役或加速试验后的力学性能保持率，按表 8 评定。各评定项目应分别判定等级，取其中最低等级作为力学性能保持率的最终评定等级。

表 8 力学性能保持率等级评定

等级	屈服强度保持率/%	抗拉强度保持率/%	断后伸长率变化率/%	冲击吸收能量保持率/%
一级（优）	≥ 95	≥ 95	≥ -5	≥ 95
二级（良）	$90 \sim 95$	$90 \sim 95$	$-10 \sim -5$	$90 \sim 95$
三级（中）	$85 \sim 90$	$85 \sim 90$	$-15 \sim -10$	$85 \sim 90$
四级（差）	< 85	< 85	< -15	< 85

7.6 涂层防护等级评定

7.7.1 涂层防护等级

涂层防护等级宜依据耐盐雾时间、附着力等级和干膜厚度综合评定，见表 9。

表 9 涂层防护等级评定

防护等级	耐中性盐雾时间/h	耐湿热/h	附着力等级	干膜厚度偏差	涂层耐久性	适用服役寿命
I 级（优）	≥2000	≥1000	0 级	≤±5%	很高（VH）	长效（≥15 年）
II 级（良）	720~2000	720~1000	0 级~1 级	≤±10%	高（H）	中长（7 年~15 年）
III 级（中）	240~720	480~720	1 级~2 级	≤±15%	中（M）	中等（3 年~7 年）
IV 级（差）	<240	<480	>2 级	>±15%	低（L）	短期（<3 年），不宜热带海洋使用

7.7.2 涂层体系设计寿命

按 GB/T 30790（所有部分）规定，热带海洋大气区及飞溅区的腐蚀性环境类别应不低于 C5，防护涂料体系的设计寿命等级宜选用高（H）或很高（VH）等级。

7.7 生物污损等级评定

生物污损等级宜依据污损面积覆盖率、污损生物附着量评定，见表 10。

表 10 生物污损等级评定

污损等级	污损面积覆盖率/%	污损生物附着量/（g/m ² ）	评定
0 级（优）	≤5	≤50	基本无污损
1 级（良）	5~25	50~300	轻微污损
2 级（中）	25~50	300~800	中度污损
3 级（差）	50~80	800~2000	较重污损
4 级（劣）	>80	>2000	严重污损

7.8 综合评价

根据各单项评定结果中的最低等级，按表 11 确定综合等级。

表 11 综合服役性能等级评定

综合等级	判定条件	建议
优	各单项均为优	可直接长期服役
良	各单项均不低于良	宜定期监测服役
中	各单项均不低于中	应采取防护并加强监测
差	任一单项为差或劣	应更换或采取等效防护后复评

8 评价报告

8.1 报告内容

评价报告应客观、完整、可追溯，并应包括下列内容：

- a) 评价目的、对象及委托信息；
- b) 被评价材料的牌号、规格、化学成分、热处理状态及力学性能原始数据；
- c) 评价海域环境特征参数（应符合表 1 要求）及服役区带划分；
- d) 试验方法、试验条件、仪器设备及执行标准编号；
- e) 试验结果及数据表格（含原始数据与计算结果）；
- f) 单项评定等级及综合评价等级；
- g) 评价结论及防护、使用建议；
- h) 评价人员、审核人员签字及评价机构信息。

8.2 数据保存

评价报告中的试验数据应保留原始记录，保存期限应不少于 10 年；采用电化学方法测得的数据应附原始测试曲线。

8.3 第三方报告

当评价结果用于工程验收或设计选材时，报告应由具备相应资质的第三方检验机构出具。
