

## 中华人民共和国能源行业标准

NB / T 31137 — 2018

---

### 海上用风力发电设备关键部件 环境耐久性评价 结构件

Environmental durability assessment of key components of offshore wind  
power generation equipment: Structural components

2018-04-03 发布

2018-07-01 实施

---

国家能源局 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 环境条件 ..... 1

5 基本规定 ..... 1

6 试验方法 ..... 2

7 试验规则 ..... 6

8 评定 ..... 6

附录 A（资料性附录） 环境腐蚀性分类 ..... 7

附录 B（资料性附录） 试验溶液技术要求 ..... 8

## 前 言

本系列标准包含以下 4 部分：

- 海上用风力发电设备关键部件环境耐久性评价 变流器；
- 海上用风力发电设备关键部件环境耐久性评价 发电机；
- 海上用风力发电设备关键部件环境耐久性评价 结构件；
- 海上用风力发电设备关键部件环境耐久性评价 控制系统。

可以与以下 6 项风力发电设备标准配合使用：

- NB/T 31060《风力发电设备环境条件》；
- NB/T 31094《风力发电设备 海上特殊环境条件与技术要求》；
- NB/T 31119《风力发电设备 干热特殊环境条件与技术要求》；
- NB/T 31120《风力发电设备 湿热特殊环境条件与技术要求》；
- NB/T 31121《风力发电设备 寒冷特殊环境条件与技术要求》；
- GB/T 31140《高原用风力发电设备环境技术要求》。

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会（SAC/TC8）提出。

本标准由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会（SAC/TC8）、能源行业风电标准化技术委员会风电电器设备分会（NEA/TC1/SC6）归口。

本标准主要起草单位：中国电器科学研究院有限公司。

本标准参加起草单位：机械工业北京电工技术经济研究所、明阳智慧能源集团股份公司、明珠电气股份有限公司、深圳市计量质量检测研究院、新疆金风科技股份有限公司、中国船级社质量认证公司、福建省新能海上风电研发中心有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部、南方海上风电联合开发有限公司、湘潭电机股份有限公司、湘潭牵引电气设备研究所有限公司。

本标准主要起草人：黄开云、果岩、詹耀、唐金权、朱建华、武占海、隋红霞、蒋光道、欧阳华、叶明嘉、梁小波、朱广辉、陈川、揭敢新、王俊、许雪冬、李颖、李素平、陈斌、苏荣、李秀珍、王自玲。

本标准首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 海上用风力发电设备关键部件环境耐久性评价 结构件

## 1 范围

本标准规定了海上用风力发电设备导管架、塔筒、机架、紧固件、轮毂等金属结构件，以及叶片、机舱罩和整流罩等非金属（玻璃钢）结构件的耐久性试验和评价。

本标准适用于海上用风力发电设备设计、制造、质量验收等过程。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2423.16—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验J及导则：长霉

GB/T 5210 色漆和清漆 拉开法附着力试验

GB/T 7790 色漆和清漆 暴露在海水中的涂层耐阴极剥离性能的测定

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 23987 色漆和清漆 涂层的人工气候老化曝露 曝露于荧光紫外线和水

NB/T 31094—2016 风力发电设备 海上特殊环境条件与技术要求

ISO 2812-2 色漆和清漆 耐液体性的测定 第2部分：浸水法（Paints and varnishes-Determination of resistance to liquids-Part 2: Water immersion method）

ISO 4628 色漆和清漆 漆膜老化的评定 缺陷的数量和大小以及缺陷程度的评定（Paints and varnishes-Evaluation of degradation of coatings-Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance）

ASTM G73-10 使用旋转装置进行液体冲击侵蚀的标准测试方法（Standard test method for liquid impingement erosion using rotating apparatus）

## 3 术语和定义

NB/T 31094—2016 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**耐久性** **durability**

材料及产品抵抗自身和自然环境双重因素长期破坏作用的能力，即保证其经久耐用的能力。

## 4 环境条件

根据我国各海域（渤海、黄海、东海和南海）风电场气候特点不同，气候条件参数参考 NB/T 31094—2016 中 4.2 的规定，定义发电机工作的环境条件。

## 5 基本规定

海上风力发电设备系统应用环境中，影响结构件环境耐久性的主要环境条件包括太阳辐照、盐雾、霉菌等。当结构件需要进行环境耐久性评价时，试验评价的项目、方法应根据海上工作的特定环境及设计要求确定。

试验在如下大气环境下进行：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：25%～75%；
- c) 气压：86kPa～106kPa。

注 1：如果有关规范认为在这些大气条件下试验不可行，应将实际试验条件记录在试验报告中。

注 2：如果对试验结果没有影响，则相对湿度可以忽略。

海上用风力发电设备导管架、塔筒、机架、紧固件、轮毂等金属结构件，以及叶片、机舱罩和整流罩等非金属（玻璃钢）结构件，除应满足设备本身的基本性能要求外，还应根据结构件及表面防护层对海洋环境条件的敏感程度进行必要的人工模拟环境试验，以考核结构件在海洋环境下的耐久性，本标准中列出的严酷等级及试验持续时间也可由生产厂和用户根据实际情况进行协商确定。

## 6 试验方法

### 6.1 概述

本标准规定了结构件环境耐久性试验的基本试验方法。

以下试验项目可以不在同一试验样品上进行。当同一试验样品需要依次进行两种及以上的耐久性试验项目时，试验顺序按照以下顺序进行，耐霉菌试验除外。

### 6.2 耐动态循环腐蚀试验

#### 6.2.1 试验目的

验证在海洋大气环境下海上用风力发电设备结构件在阳光、盐雾、水等综合环境因素下的工作耐久性。

#### 6.2.2 试验对象

在海洋大气环境下，直接受到太阳辐照作用的海上用风力发电设备金属、非金属结构件。

#### 6.2.3 试验过程

按照表 1 所述试验条件开展试验，对于表面具有有机涂层的试验样板，在每一个待测的试验样品涂层上划一条完全划透涂层露出金属底材的加速线，加速线应该有 50mm 长、2mm 宽，距离两边长边 12.5mm 和一边短边 25mm，具体见图 1 和图 2。试验后，按相关规范要求对样品进行检查。

表 1 动态循环腐蚀耐久性试验条件

应用海域	试验方案	试验时间
黄海、渤海	a) 72h 紫外线和冷凝水暴露：依照 GB/T 23987 的规定进行，4h 紫外线照射（60±3）℃和 4h 冷凝（50±3）℃交叉进行 72h，选取 II 型紫外灯（UVA340nm）。 b) 72h 盐雾试验：依照 GB/T 10125 的规定进行。 c) 24h 低温暴露试验（-40±2）℃：依照 GB/T 2423.1—2008 的规定进行	等级 A：25 个周期 等级 B：20 个周期 等级 C：15 个周期
东海、南海	a) 72h 紫外线和冷凝水暴露：依照 GB/T 23987 的规定进行，4h 紫外线照射（60±3）℃和 4h 冷凝（50±3）℃交叉进行 72h，选取 II 型紫外灯（UVA340nm）。 b) 96h 盐雾试验：依照 GB/T 10125 的规定进行	

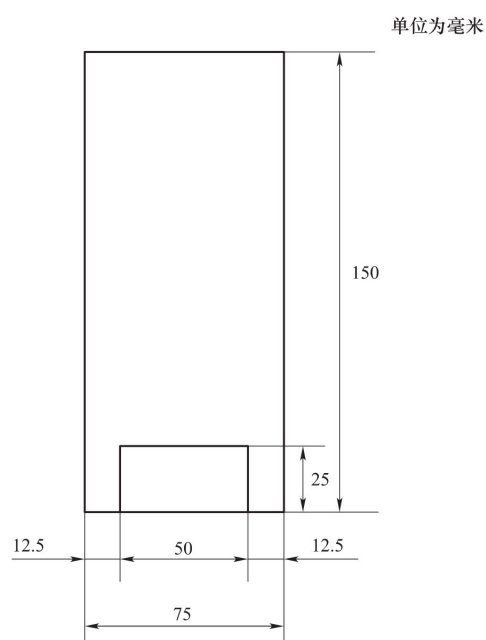


图 1 试样加速线位置示意图

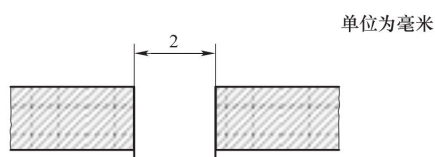


图 2 加速线剖面

#### 6.2.4 试验合格判据

- a) 试验后结构件表面涂层应满足表 2 的要求；
- b) 结构件基本性能及功能应符合相关标准规范中的要求。

表 2 动态循环腐蚀耐久性试验要求

评价方法	技术要求	备注
GB/T 5210	最小测试值不低于原值的 50%，最小值至少为 2MPa；在拉开附着力值小于 5MPa 之前，没有出现底漆和底材失去附着力的情况	样品完成试验后，在试验大气环境下调节两周再进行测试
ISO 4628	非加速线影响区域涂层无起泡、生锈、裂纹、剥落，等级都为 0 级	测试后立即评估
划线处腐蚀蔓延	含富锌底漆 $M \leq 3$ 其他底漆 $M \leq 8$	用合适的方法除掉漆膜之后，测量 9 个点的腐蚀宽度（加速线中点，中点两侧各 4 个点，间距 5mm）。计算腐蚀蔓延度 $M$ ，公式为： $M = (C - W) / 2$ ，式中 $C$ 是 9 个点腐蚀宽度的平均值， $W$ 是线的初始宽度

### 6.3 耐盐雾试验

#### 6.3.1 试验目的

验证海洋大气环境下海上用风力发电设备金属、非金属结构件耐盐雾侵蚀的能力。

## 6.3.2 试验对象

在海洋大气环境下，不直接受到太阳辐照作用的海上用风力发电设备金属、非金属结构件。

## 6.3.3 试验过程

试验按照 GB/T 10125 的规定进行，准备好试验样品，不包装。将试验样品放入盐雾试验箱中，按照标准要求达到指定温度后开始喷雾，试验要求见表 3。

表 3 盐雾耐久性试验要求

服役环境	结构件种类	测试时间
C4 及以下腐蚀等级的大气环境	塔筒、轮毂和机舱内部结构件，塔筒内表面等	等级 A: 3000h 等级 B: 2000h
C5-M 腐蚀等级的大气环境	外部非太阳直接辐照下结构件	等级 A: 4000h 等级 B: 3000h
注：环境腐蚀性分类方法参见附录 A。		

## 6.3.4 试验合格判据

- a) 涂层应无起泡、开裂、剥落、锈蚀；
- b) 结构件基本性能及功能应符合相关标准规范中的要求。

## 6.4 耐海水试验

## 6.4.1 试验目的

验证海水浸没环境下海上用风力发电设备结构件耐海水侵蚀的能力。

## 6.4.2 试验对象

海水浸没环境下海上用风力发电设备金属、非金属结构件。

## 6.4.3 试验过程

试验按照 ISO 2812-2 的规定进行，准备好试验样品，不包装。对于表面具有有机涂层的试验样板，在每一个待测的试验样品涂层上划一条完全划透涂层露出金属底材的加速线，加速线的制作方式参考图 1 和图 2。将试验样品浸泡到试验溶液中，试验溶液要求参见附录 B。按照标准要求将试验溶液加温到  $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$  后开始试验，试验要求见表 4。

表 4 海水耐久性试验要求

服役环境	结构件种类	测试时间
海水全浸以及潮差/浪溅环境	海水全浸区、潮差/浪溅区结构件	等级 A: 5000h 等级 B: 4200h

## 6.4.4 试验合格判据

- a) 非加速线影响区域涂层应无起泡、开裂、剥落、锈蚀；

- b) 划线处腐蚀蔓延：含富锌底漆  $M \leq 3$ 、其他底漆  $M \leq 8$ ；
- c) 结构件基本性能及功能应符合相关标准规范中的要求。

6.5 耐阴极剥离试验

6.5.1 试验目的

验证海水浸没环境下的海上用风力发电设备结构件表面涂层耐受阴极保护措施剥离作用的能力。

6.5.2 试验对象

海水浸没环境下海上用风力发电设备金属、非金属结构件的表面涂层体系。

6.5.3 试验过程

试验按照 GB/T 7790 中方法 A 的规定进行。采用阴极保护电流控制试验电位，在试验样品上制作直径 6mm 的人造漏涂孔，漏涂孔处基材应完全裸露，然后将样品暴露于试验溶液中，试验溶液要求参见附录 B。其中两块试验样品与阴极保护电路连接，另外两块试验样品不与阴极保护电路连接，作为对照试样。试验要求见表 5。

表 5 阴极剥离耐久性试验要求

服役环境	结构件种类	测试时间
海水全浸以及潮差/浪溅环境	海水全浸区、潮差/浪溅区结构件	等级 A：5000h 等级 B：4200h

6.5.4 试验合格判据

测试后，用一把薄而锋利的刀在漆膜上割两条呈 45° 角相交的放射形切割线，交点在空白点的中心。沿着钢板底材割起漆膜，试着从刀尖部位揭开漆膜。记录全部裸露部位（包括空白点）。在全部裸露区域和空白点区域之间把没有粘结的区域作为不同区域测出来。从没有粘结的区域测出相应直径。剥离面积等效直径不超过 20mm。

6.6 耐雨蚀试验

6.6.1 试验目的

验证海上用风力发电设备叶片在高速运转下表面涂层及前缘保护材料耐雨水侵蚀的能力。

6.6.2 试验对象

海上用风力发电设备叶片表面涂层及前缘保护材料。

6.6.3 试验过程

试验按照 ASTM G73-10 的规定进行，准备好试验样品，不包装。试验设备采用 ASTM G73-10 要求的悬臂式（水平旋转式）装置，试样长 22cm，基材为环氧玻璃钢材料，将试样固定在设备的旋转臂装置上，在表 6 规定的试验条件下进行试验。每间隔一段时间（对于表面涂层，一般为 10min~15min，前缘保护涂层一般为 0.5h）暂停试验，取出试样，仔细观察试样中间位置表面涂层的破坏情况。当试样中间位置刚刚出现涂层破坏迹象时，应立即停止试验，记录相邻的涂层无任何破坏的时间段为耐雨蚀时间。



试验要求见表 6。

表 6 雨蚀耐久性试验要求

测试位置	耐雨蚀时间	试 验 条 件
叶片表面涂层	等级 A: 90min 等级 B: 60min	试样中间位置转速为 140m/s, 喷水量为 30mm/h~35mm/h, 水滴大小为 1mm~2mm, 测试温度 20℃~25℃, 涂层应与底漆、腻子配套测试
叶片前缘保护层	等级 A: 20h 等级 B: 15h	试样中间位置转速为 140m/s, 喷水量为 30mm/h~35mm/h, 水滴大小为 1mm~2mm, 测试温度 20℃~25℃, 前缘保护涂层应与腻子、底漆和面漆配套测试

6.6.4 试验合格判据

试样中间位置外观无明显变化, 涂层无脱落、凹坑等缺陷。

6.7 耐霉菌试验

6.7.1 试验目的

验证带涂层结构件在海上环境服役时, 在潮湿的海洋环境条件下防霉菌滋生的耐久性。用以评定材料的长霉程度以及长霉对结构件涂层使用的影响程度。

6.7.2 试验对象

带有机涂层或高分子材料结构件。

6.7.3 试验过程

试验按照 GB/T 2423.16—2008 的规定进行, 按照标准要求进行指定菌种培养并接种在试样上后开始试验。试验后, 按相关规范要求对样品检查。试验要求见表 7。

表 7 霉菌耐久性试验要求

试 验 条 件	时 间
按照 GB/T 2423.16—2008 中的试验 J 进行, 选择试验方法 1	等级 A: 56d 等级 B: 28d

6.7.4 试验合格判据

试样的长霉程度要满足 GB/T 2423.16—2008 中 2a 的要求。

7 试验规则

试验应在下列情况下进行:

- a) 当产品设计定型或设计、工艺和所用的材料改变影响到产品的相关性能时;
- b) 产品需要进行定期抽样试验, 该限期由各类专业产品标准规定。

8 评定

结构件的环境耐久性应根据各耐久性试验项目的试验结果, 分项进行评定。  
结构件经试验后, 如能满足本标准中各试验项的性能要求, 则认为试验结果合格。

附 录 A  
(资料性附录)  
环 境 腐 蚀 性 分 类

在 ISO 12994 中，大气环境被分为 6 类大气腐蚀性类别，水和土壤环境被分为 3 类腐蚀性类别，具体见表 A.1 和表 A.2。

表 A.1 不同大气腐蚀性等级下暴露第一年的腐蚀速率

腐蚀等级	金属的腐蚀速率 $r_{\text{corr}}$				
	单位	低碳钢	锌	铜	铝
C1 (很低)	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$r_{\text{corr}} \leq 10$	$r_{\text{corr}} \leq 0.7$	$r_{\text{corr}} \leq 0.9$	忽略
	$\mu\text{m/a}$	$r_{\text{corr}} \leq 1.3$	$r_{\text{corr}} \leq 0.1$	$r_{\text{corr}} \leq 0.1$	
C2 (低)	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$0.7 < r_{\text{corr}} \leq 5$	$0.9 < r_{\text{corr}} \leq 5$	$r_{\text{corr}} \leq 0.6$
	$\mu\text{m/a}$	$1.3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$0.1 < r_{\text{corr}} \leq 0.7$	$0.1 < r_{\text{corr}} \leq 0.6$	—
C3 (中)	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 12$	$0.6 < r_{\text{corr}} \leq 2$
	$\mu\text{m/a}$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$0.7 < r_{\text{corr}} \leq 2.1$	$0.6 < r_{\text{corr}} \leq 1.3$	—
C4 (高)	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$	$12 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$2 < r_{\text{corr}} \leq 5$
	$\mu\text{m/a}$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$2.1 < r_{\text{corr}} \leq 4.2$	$1.3 < r_{\text{corr}} \leq 2.8$	—
C5 (很高)	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1500$	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 10$
	$\mu\text{m/a}$	$80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$4.2 < r_{\text{corr}} \leq 8.4$	$2.8 < r_{\text{corr}} \leq 5.6$	—

表 A.2 水和土壤的腐蚀分类

分 类	环 境
IM1	淡水
IM2	海水或盐水
IM3	土壤

附 录 B  
(资料性附录)  
试 验 溶 液 技 术 要 求

B.1 人造海水

人造海水配方见表 B.1，配置所需的水应符合 GB/T 6682 中 2 级水的要求，所需试剂均为分析纯。

表 B.1 人 造 海 水 配 方

组分	浓度 g/L
NaCl	23.0
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	9.8
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	8.9
CaCl <sub>2</sub>	1.2

B.2 天然海水

天然海水应符合 GB/T 3097 中第一类经过滤的天然海水的要求。

\_\_\_\_\_