

T/GDAA

团体标准

T/GDAA XXXX—XXXX

海上风电塔筒腐蚀检测技术规范

Technical specification for corrosion inspection of offshore wind turbine towers

（征求意见稿）

本草案完成时间：2026 年 10 月 15 日

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

发 布

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 基本规定 5

5 检测人员、设备与环境要求 6

6 检测分区 6

7 检测方法 7

8 数据处理 11

9 安全、环保与职业健康 11

10 检测报告与资料归档 12

附 录 A （资料性） 海上风电塔筒腐蚀检测原始记录表 13

附 录 B （资料性） 检测报告 15

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。

本文件由××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

海上风电塔筒腐蚀检测技术规范

1 范围

1.1 本文件规定了海上风力发电机组钢制塔筒腐蚀检测的术语定义、基本规定、人员与设备、检测分区与项目配置、检测方法、作业程序、数据处理、质量控制、安全环保及报告归档等要求。

1.2 本文件适用于海上风力发电机组塔筒及附属钢结构的腐蚀检测，检测对象包括塔筒筒体、连接法兰、纵向与环向对接焊缝、爬梯、平台等；检测阶段覆盖日常巡检、定期检测、运维检修及延寿评估等环节。

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 11344	无损检测 超声测厚
GB/T 13452.2-2008	色漆和清漆 漆膜厚度的测定
GB/T 2828.1-2012	计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
GB/T 30789	色漆和清漆 涂层老化的评级
GB/T 33423	沿海及海上风电机组腐蚀控制技术规范
GB/T 33628	风能发电系统 风力发电机组高强螺纹连接副安装技术要求
GB/T 35013	承压设备合于使用评价
GB/T 36676	埋地钢质管道应力腐蚀开裂(SCC)外检测方法
GB/T 38894	无损检测 电化学检测 总则
GB/T 42980	智能制造 机器视觉在线检测系统 测试方法
GB/T 43232	紧固件轴向应力超声测量方法
GB/T 4883	数据的统计处理和解释正态样本离群值的判断和处理
GB 50205	钢结构工程施工质量验收标准
GB 51008	高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准
DL/T 694	高温紧固螺栓超声检测技术导则
JGJ 82	钢结构高强度螺栓连接技术规程
NB/T 10218	海上风电场风力发电机组基础维护技术规程
NB/T 10579	海上风电场运行安全规程
NB/T 10596	风电场智能巡检技术导则
NB/T 31006	海上风电场钢结构防腐蚀技术标准
NB/T 31082	风电机组塔架用高强度螺栓连接副
NB/T 33630	风能发电系统 海上风力发电机组防腐规范
NB/T 47013.3-2023	承压设备无损检测 第3部分 超声检测
NB/T 47013.4-2015	承压设备无损检测 第4部分 磁粉检测
NB/T 47013.6-2015	承压设备无损检测 第6部分 涡流检测
NB/T 47013.7-2012	承压设备无损检测 第7部分 目视检测
NB/T 47013.9-2012	承压设备无损检测 第9部分 声发射检测
NB/T 47013.10-2015	承压设备无损检测 第10部分 衍射时差法超声检测
NB/T 47013.15-2021	承压设备无损检测 第15部分 相控阵超声检测
NB/T 47013.21-2025	承压设备无损检测 第21部分 交流电磁场检测
NB/T 50571	海上风力发电工程施工规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

塔筒 tubular tower

风电机组机舱与基础之间的管状承载结构，包括筒体及附件。

[来源：NB/T 10216—2019,2]

3.2

腐蚀 corrosion

金属与环境间的物理-化学相互作用，使金属性能发生变化，并可能造成构件功能损伤，该作用通常为电化学性质。

[来源：GB/T 10123-2022,3.1]

3.3

腐蚀检测 corrosion inspection

采用目视检查、涂层性能检测、壁厚测量、无损检测、电化学检测等技术手段，采集海上风电塔筒构件、防护体系腐蚀相关信息与数据的技术活动。

3.4

基体腐蚀 substrate corrosion

钢制塔筒基材在海洋腐蚀环境作用下，产生锈蚀、点蚀、壁厚减薄、裂纹等材料损伤的现象。

注：基体腐蚀分为全面腐蚀与局部腐蚀（点蚀、坑蚀等），不包含涂层自身老化失效。

3.5

涂层腐蚀缺陷 coating corrosion defect

防护涂层受海洋环境、外力作用产生的起泡、粉化、开裂、剥落、破损等损伤现象。

3.6

点蚀 pitting corrosion

局限于金属表面个别小点并向金属内部纵深发展的局部腐蚀形态。

[来源：GB/T 10123-2022,4.15]

3.7

干膜厚度 dry film thickness

涂料固化后形成的固态涂层的厚度。

3.8

无损检测 Non-Destructive Testing

针对海上风电塔筒开展的无损检测，指无需损伤塔筒钢制构件，利用声学、电磁、射线等物理原理排查母材与焊缝各类危害性缺陷，评估塔筒结构完整性，规避海洋复杂工况下断裂失效风险的质量检测工艺。

无损检测（NDT）是在不损坏被检构件的基础上，借助各类物理手段检测工件表面及内部缺陷，评定构件质量与安全性能的检测技术，广泛应用于风电塔筒、压力容器、钢结构、船舶海工等领域。

3.9

目视检测 visual testing (VT)

观察、分析和评价被检件状态的一种无损检测方法，它是指用人的眼睛或借助于目视辅助器材（如反光镜、放大镜、内窥镜、拍照设备等），在合适光照条件下，对被检表面缺陷、腐蚀、涂层状况等进行检查。

[来源：NB/T 47013.7-2012,定义 3.1]

3.10

电火花针孔检测 spark testing

采用电火花检漏仪对绝缘防护涂层进行扫描，识别涂层针孔、破损等导电缺陷的检测方法。

3.11

磁粉检测 magnetic particle testing (MT)

利用漏磁原理，发现铁磁性材料表面和近表面裂纹类缺陷的无损检测方法。

[来源：NB/T 47013.4]

3.12

渗透检测 penetrant testing (PT)

以毛细管作用原理为基础的检查表面开口缺陷的无损检测方法。

3.13

超声检测 ultrasonic testing (UT)

利用超声波在构件中的传播反射特性，检测壁厚减薄、内部裂纹、夹层等缺陷的无损检测方法。

[来源：NB/T 47013.3]

3.14

涡流检测 eddy current testing (ET)

基于电磁感应原理，用于检测导电材料表面及近表面缺陷的无损检测方法。

3.15

衍射时差法超声检测 Time of Flight Diffraction (TOFD)

利用缺陷部位的衍射波信号来检测和测定缺陷尺寸的一种超声检测方法

3.16

相控阵超声检测 phased array ultrasonic testing (PAUT)

通过在被检测物体表面发射和接收超声波来获取内部信息的无损检测方法。

3.17

交流电磁场检测 alternating current field measurement (ACFM)

基于电场扰动引起空间磁场畸变原理，利用检测传感器捕获空间磁场畸变信号，从而实现缺陷的检测与评估。

3.18

最小剩余壁厚 minimum remaining wall thickness

在被测构件检测区域内，清除表面锈蚀层后，全部测点壁厚实测值中的最小值，表征构件腐蚀减薄最严重位置的实际壁厚，用于钢结构构件承载力复核与腐蚀状态评价。

4 基本规定

4.1 检测目的

统一海上风电塔筒腐蚀检测的作业流程、技术方法、数据标准与质量要求，规范全生命周期腐蚀检测行为，保障检测数据真实、准确、可追溯，为塔筒运维管理、缺陷整改、腐蚀状态及剩余寿命预测提供可靠的数据支撑。

4.2 检测原则

坚持安全优先、分区施策、标准统一、数据可溯、全周期覆盖、质量可控的原则，结合海上复杂工况适配差异化检测方案，确保检测作业合规、检测结果精准。

4.3 检测基本要求

4.3.1 检测前应收集塔筒设计文件、建造记录、运维历史及海洋环境数据，结合塔筒结构形式、服役年限、腐蚀区域特点，编制专项检测实施方案。

4.3.2 应制定专项检测方案，明确分区、测点、方法、精度及验收标准。

4.3.3 所有现场检测数据、影像资料、原始记录应完整留存，电子化存档，保存期限不宜少于风电场设计寿命。

4.3.4 检测成果应独立成文，可独立用于海上风电塔筒运维阶段腐蚀状态核查、缺陷判定、运维整改等相关工作。

5 检测人员、设备与环境要求

5.1 人员资质

5.1.1 所有工作人员应了解作业现场的相关法律法规。

5.1.2 现场陆上、高空腐蚀检测人员应具备防腐检测、无损检测相关从业资质，熟悉海上风电塔筒结构特点与腐蚀检测工艺，同时持有海上登高作业、海上安全作业相关合格证书，从事无损检测的人员应取得相应等级的无损检测人员资格证书。

5.1.3 所有检测人员作业前必须完成安全技术交底、技术交底，熟悉作业流程、设备操作规范及应急处置预案。

5.2 设备要求

5.2.1 所有检测设备、计量器具必须按相关规定校准，且在校准有效期内，设备外观完好、功能正常，无故障、无破损。

5.2.2 涂层测厚仪、超声测厚仪、电火花针孔检测仪、电位测试仪、高清摄像设备等，应满足 NB/T 10579、NB/T 31006、GB/T 33423 及相关检测方法标准要求，适配海上高盐雾、高湿作业环境。

5.2.3 作业前应对所有检测设备进行现场校验、试测，确认设备性能稳定、数据精准后方可开展正式检测作业。

6 检测分区

6.1 沿海及海上风电机组检测分区包含 3 个区域，分别为外部大气区、内部大气区及浪花飞溅区，环境分区参考 GB/T 33423 相关分区定义执行。

6.2 各分区检测项目配置

各分区主要检测项目按表1配置。

表 1 检测分区与项目配置

分区	关键腐蚀形式	必检项目	可选/专项项目
外部大气区	涂层老化、局部腐蚀	VT、涂层厚度、UT、MT、ET、TOFD、PAUT、ACFM 交流电磁场检测	破损率统计、AE 声发射在线监测、数据评估
内部大气区	凝露锈蚀、局部腐蚀	VT、涂层厚度、壁厚抽测、螺栓、法兰	湿度监测
浪花飞溅区	涂层机械损伤、涂层老化、局部腐蚀、点蚀	VT、涂层厚度、壁厚抽测	电位

7 检测方法

7.1 目视检测（VT）

7.1.1 总体要求

100%检查，表面光滑度，色泽，有无露底和斑点，有无剥落、起泡、裂纹、针孔等，是否有影响胶衣防护性能的轻微刷痕、流挂和少量杂质。

7.1.2 检查前期准备

7.1.2.1 环境条件：光照充足，无大雾、暴雨、强逆光，能见度良好；风速≤10m/s，避免高空作业晃动、视线遮挡；塔筒表面无结冰、厚积雪，清理后方可检查。

7.1.2.2 工具配套：望远镜、放大镜、强光手电、卷尺、记号笔、相机/记录仪、缺陷记录表、安全防护装备。外部大气区应优先选用无人机、爬壁机器人携带视频与照相设备进行巡检。

7.1.2.3 检查分区：基础法兰段、下段筒体、中段筒体、上段筒体、机舱连接法兰、爬梯、平台、防腐涂层、附属构件（电缆支架、接地、标识、护栏）。

7.1.3 筒体主体目视检测

7.1.3.1 涂层破损类缺陷如下：

- 掉漆、露底材：磕碰、石块撞击、吊装划伤，露出金属钢板；
- 起泡鼓包：涂层内部进水、底漆失效，鼓泡破裂后极易生锈，重点看焊缝、法兰边角、雨水汇集区；
- 粉化：漆面发白、手搓掉粉末，紫外线老化，长期会逐步剥落；
- 裂纹：表面细微龟裂、深裂纹，温差大、涂层过厚易产生。

7.1.3.2 法兰部位重点目视检查如下：

- 塔筒对接法兰上下端面、螺栓缝隙、法兰密封面；
- 螺栓外观：防腐层脱落、锈蚀、螺母缺失、垫片老化渗水；
- 法兰积水槽、排水孔堵塞，积水长期浸泡法兰会快速锈蚀；
- 法兰处密封胶开裂、脱落，雨水渗入夹层。

7.1.3.3 附属结构目视检查如下：

- 爬梯、安全平台、护栏踏板变形、护栏断裂、焊接点锈蚀、防滑层磨损、固定螺栓丢失；爬梯护笼破损缺失；
- 电缆支架、线槽、接地扁铁 支架涂层脱落、锈蚀、松动变形；接地带断裂、锈蚀断开、固定卡扣缺失；
- 标识、警示、塔筒编号、警示标识褪色、脱落；风向标变形；
- 排水、通气孔 筒壁排水孔堵塞、孔洞边缘锈蚀；通气网破损丢失。

7.1.4 塔筒外观目视

塔筒外观目视按NB/T 10596或GB/T 42980相关规定执行。

7.1.5 目视检查记录要求与注意事项

7.1.5.1 记录要素：塔筒编号、缺陷高度位置、缺陷类型、尺寸、现场照片、风险等级、处理建议。

7.1.5.2 常见目视检查注意事项

- 优先检查迎风面、日照强的一侧（涂层老化更快）、雨水下流区域；
- 法兰、焊缝、转角、支架根部是腐蚀高发点位，需近距离重点观察；
- 逆光、阴影区域用手电补光，远距离高处使用望远镜观测；
- 区分单纯涂层老化和钢材本体锈蚀，两者维修方案完全不同；
- 同步检查渗漏痕迹，顺着锈水流痕反向找到破损源头。

7.2 金属基体腐蚀检测

7.2.1 点蚀检测

- 采用针式腐蚀深度仪进行检测，适用于点状、局部坑蚀的深度测量。
- 检测操作：将测点表面锈蚀层、涂层打磨清理至露出光亮金属基体；探头垂直抵至蚀坑最底部，读取最大坑深数值；记录测点位置、腐蚀形貌及最大点蚀深度。

7.2.2 壁厚检测：

- 采用超声波测厚仪检测，适用于大面积均匀腐蚀、局部减薄、焊缝及热影响区腐蚀减薄测量。
- 检测操作：清除表面涂层与浮锈，均匀涂抹耦合剂；按网格布点测量，同区域多点对比原始设计壁厚；记录最小剩余壁厚，计算壁厚损失量与减薄率。

7.3 焊缝、螺栓、法兰腐蚀专项检测

7.3.1 焊缝分环焊缝、纵焊缝、法兰焊缝、人孔门焊缝等。

7.3.2 焊缝无损检测以焊接接头的表面缺陷检测为主，焊缝表面检测采用磁粉检测方法。如果外表面无法进行检测，可以在内表面采用其他方法进行检测。必要时可采用超声检测（UT）或衍射时差法超声检测（TOFD）、相控阵超声检测（PAUT）等方法进行表面及埋藏缺陷检测。

7.3.3 经检查发现塔筒在使用过程中有严重缺陷产生，应进一步增加检测数量或辅以焊接接头内部无损检测及采用其它方法进一步检查。

7.3.4 对塔筒的纵、环焊接接头（含 T 型接头）、开孔接管的角焊接头、T 型接头及其它宏观检查的怀疑部位进行无损检测检查。主要焊缝抽样比例不应少于 10%，一般焊缝抽样比例不应少于 5%，且均不应少于 3 处；焊缝长度每 300mm 应定义为 1 处，单条焊缝≤300mm 时，为 1 处；其他部位焊缝的检测，焊缝抽样比例不宜少于 2%，且均不应少于 3 处。

7.3.5 检测方法依据 NB/T 47013 执行，合格标准参照原设计施工标准执行。

7.3.6 塔架主体焊缝检测按以下进行：

- UT 检测按 NB/T 47013.3-2023 进行，技术等级为 B 级，合格级别为 I 级
- TOFD 检测按 NB/T 47013.10-2015 进行，技术等级为 B 级，合格级别为 II 级
- PA 检测按 按 NB/T47013.15-2021，技术等级为 B 级，合格级别为 I 级
- MT 按 NB/T 47013.4-2015 进行检测，合格级别为 I 级。
- ACFM 检测按 按 NB/T 47013.21-2025 进行，结果评价根据技术协议或双方商定的验收条件。必要时，相关显示区域可采用其他检测方法补充检测。
- 经 VT、UT、PAUT、TOFD、MT、ACFM 检测发现有超标缺陷的，应对缺陷进行记录以便后续对结果进行腐蚀评价。

——塔筒焊缝及应力集中区的应力腐蚀开裂（SCC）检测可参照 GB/T 36676 中关于外检测的技术要求。

7.3.7 螺栓检测

——风电塔筒螺栓 UT/PAUT 检测按 DL/T 694 高温紧固螺栓超声检测技术导则进行；
——风电塔筒螺栓轴向应力检测按 GB/T 43232 紧固件轴向应力超声测量方法进行；
——塔筒法兰螺栓预紧力抽检应参照 GB/T 33628 及 JGJ 82 执行。抽样比例宜取 10%~20%，发现异常时应扩大检查范围。机组在役期间宜每年开展不少于 1 次抽检，运行两年以上的机组年检抽样率不应低于 10%。单个法兰节点抽检螺栓数量不应少于 3 颗。预紧力检测可采用扭矩复测法、液压拉伸法或超声轴力法。

7.3.8 法兰检测

法兰端面及密封面视检测后，应对筒节与法兰过渡圆角位置进行磁粉检测。

7.3.9 辅助检测

——法兰缝隙腐蚀：对可疑区域局部拆检，拆除少量螺栓观察夹层基体锈蚀状况；
——腐蚀伴生裂纹：锈蚀区域伴随应力集中、交变载荷时，采用磁粉检测（MT）/渗透检测（PT）排查腐蚀裂纹；
——环境腐蚀性验证：沿海/海上风场可取环境样分析氯离子含量，作为点蚀加速风险判定依据。

7.3.10 焊缝、螺栓及法兰抽样检测要求

7.3.10.1 一般原则

焊缝、高强螺栓、法兰腐蚀检测抽样应按腐蚀分区、构件重要性分级抽样；浪花飞溅区、应力集中位置、既往检出缺陷部位应优先抽检，并加严抽样比例。抽样方案参考 GB/T 2828.1、GB 50205、NB/T 10218 执行。

7.3.10.2 塔筒焊缝抽样检测

目视腐蚀检查：所有塔筒环缝、纵缝、筒节-法兰对接焊缝全数目视普查；浪花飞溅区焊缝重点记录腐蚀、点蚀、开裂、层状撕裂。

焊缝无损检测（MT/UT，裂纹类）：

——常规抽检：随机抽取不少于 10% 环向对接焊缝，优先选取浪花飞溅区、高应力焊缝；
——服役≥5 年、已检出局部腐蚀、历史缺陷机组：抽检比例提高至 30%；
——检出裂纹、严重点蚀缺陷时，该塔筒同类型焊缝应扩大至 100% 检测；
——检测方法与评定参照 NB/T 47013 系列。

7.3.10.3 塔筒高强螺栓抽样检测（含法兰连接螺栓）

目视腐蚀检查：所有法兰节点螺栓全数目视检查，记录螺纹锈蚀、螺母滑移、垫片腐蚀、法兰张口；
预紧力/轴力抽检：

——常规抽检：按节点数抽查 10%，且不少于 5 个节点；被抽节点内螺栓抽检 10%，每个节点不少于 2 套螺栓；
——飞溅区法兰、服役≥5 年、已发现螺栓腐蚀/预紧力衰减：节点的抽检应提高；
——单节点检出不合格螺栓，该节点全部螺栓检测，并增加相邻节点抽检；
——螺栓批次划分参照 NB/T 31082。

7.3.10.4 法兰接触面及法兰本体抽样检测

检测比例应符合以下规定：

——全部法兰节点目视检查，重点检查法兰内外圈、R 过渡圆角腐蚀、缝隙腐蚀；
——筒节-法兰过渡圆角位置，随同节点焊缝同步抽样；常规抽检比例不应低于法兰节点总数的 10%；

——浪溅区的法兰或目视发现缝隙腐蚀迹象时，抽检比例应提高至 20%或实施扩大检测。

7.3.10.5 抽样加严规则

- 浪花飞溅区部位，同等条件下抽样比例 $\geq$ 上部大气区；
- 上一次检测发现腐蚀缺陷的位置，下次检测应保留该测点并扩大周边抽样；
- 机组延寿评估、重大检修前，可提升抽样比例或采用 100%检测。

7.3.10.6 不合格处置

抽样检出严重腐蚀、裂纹、预紧力严重衰减时，应扩大抽样范围，对同批次/同区域构件追加检测；确认存在风险，应开展全数检测。

7.4 涂层系统检测

7.4.1 干膜厚度检测

干膜厚度按GB/T 13452.2-2008或NB/T 31006进行测试。涂层厚度检测每五年应至少进行一次。检测时应在塔筒浪花飞溅区以及大气区、内部区的下部、中部、上部分别选点进行检测，检测点应在每个部位的圆周方向均匀分布，每个部位检测点数量不少于10个，检测点总数不少于90个。检测可采用人工检测、机器人检测等方式。

7.4.2 涂层针孔检测

采用电火花针孔检测仪。检测每五年应至少进行一次，检测应覆盖大气区、内部区及浪花飞溅区的全部涂层表面。检测可采用人工检测、机器人检测等方式。

7.4.3 老化性能检测

按照 GB/T 30789 相关规定执行。

7.4.4 电化学方法

按照 GB/T 38894-2020规定执行。

7.4.5 镀锌构件腐蚀检测（爬梯、支架、接地）

采用磁性锌层测厚仪测量剩余锌层厚度，判定规则如下：

- 大面积出现白锈且局部锌层厚度 $<45\mu\text{m}$ ，判定锌层防护失效，钢基体存在腐蚀风险；
- 表面出现红锈，即判定基体已发生腐蚀，必须除锈修复；
- 锌层起皮、脱落、划伤露底，按基体腐蚀同等处置。

7.5 在线监测数据采集

7.5.1 风电塔筒及螺栓声发射检测按 NB/T 47013.9-2012 标准进行，重点检测与监测位置：

- 塔筒本体：传感器安装位置：塔身内塔筒监测部位（纵缝、环缝丁字口位置）；
- 塔筒高强螺栓：传感器安装位置：螺栓上或紧邻法兰上。

注：RAEMI采集器是集自动控制信号采集、处理分析、数据储存、时钟同步和无线通讯为一体的智能物联网声发射监测系统。它具有24 小时连续工作的高可靠性，可以无线传输，适用于长期连续无人值守自动监测应用。

7.5.2 声发射两种应用模式

7.5.2.1 便携式临时声发射巡检

- 适用：年度定检、故障排查、新塔筒试压验收；
- 方式：风机短时降载，多通道仪器内壁布设传感器，采集 2~4h 动态载荷下 AE 信号；
- 输出：缺陷定位报告，给出风险等级，配合超声复检。

7.5.2.2 无线物联网长期在线监测（主流风场智慧运维）

- 适用：海上风电、老旧塔筒、底部基础法兰高危螺栓；

- 架构：传感器→本地采集网关→风场服务器→云端平台；
- 功能：7×24 小时不间断监测、数据存储、趋势曲线、实时报警、多风机统一管理。

7.5.3 信号识别与损伤评定标准

金属损伤典型参数区间：

- 噪声：幅值<45dB，低能量、连续波形；
- 微动摩擦/腐蚀：45~60dB，大量低能连续事件；
- 微裂纹萌生：60~75dB，离散脉冲；
- 裂纹快速扩展：>75dB，高能量集群事件。

7.5.4 检测结果分级处置如下：

- 一级（安全）：仅少量低能摩擦信号，无高幅值裂纹事件，持续监测；
- 二级（关注）：零星中幅值事件，事件率小幅上升，缩短复测周期；
- 三级（预警）：周期性集群 AE 事件，判定存在活性微裂纹，择机停机超声定量、复紧螺栓；
- 四级（危险停机）：连续高能量爆发事件，裂纹快速扩展，立即停机检修，更换损伤螺栓/修复焊缝。

7.5.5 巡视检查周期宜为一年，内容主要包括涂层老化、破坏状况及结构腐蚀状况。

7.5.6 定期检测周期一般为五年，根据巡视检查结果可适当缩短检测周期。检测应查明结构腐蚀程度，评价腐蚀防护系统效果，预估腐蚀防护系统使用年限，提出处理措施和意见。

8 数据处理

8.1 数据处理

8.1.1 现场检测应如实记录原始数据，原始记录应可追溯，不得篡改。纸质记录修改应注明修改人、日期；电子记录应留存修改痕迹。

8.1.2 原始记录应包含测点位置、检测项目、仪器编号、环境条件、实测结果、检测人员、检测日期；缺陷类检测应记录缺陷位置与形貌。

8.1.3 定量检测结果有效数字、单位应符合仪器及相关标准要求；定性目视缺陷应做好文字或影像记录。

8.1.4 原始记录应完整归档，作为出具检测报告及腐蚀评价的基础依据。检测原始记录格式可参见附录 A。

8.2 异常数据识别与复测规则

8.2.1 对同一部位多组定量测量数据，可采用格拉布斯准则进行离群值判别，按 GB/T 4883 执行，检出水平宜取 $\alpha=0.05$ ，样本量不应小于 3。目视定性检测结果不适用本准则。

8.2.2 经判别得到的离群数据不得直接剔除，应核查仪器、操作、测点情况，区分测量失误或构件真实腐蚀。

8.2.3 确属设备、操作等检测原因造成的异常数据，应对该部位复测，复测前应对仪器进行检查校准。

8.2.4 属于构件真实腐蚀造成的数据偏离，数据应予保留，并在记录及检测报告中予以备注说明。

8.2.5 复测仍存在异常时，应适当扩大该区域测点数量，并如实记录核查与复测情况。

注：格拉布斯准则仅适用于超声测厚、涂层干膜厚度等重复定量检测项目。

9 安全、环保与职业健康

9.1 登高登塔作业

登高登塔作业参照NB/T 10579规定执行。

9.2 电气设备安全

电气设备参照NB/T 10579规定执行。

9.3 环保与职业健康

环保与职业健康参照NB/T 50571规定执行。

10 检测报告与资料归档

10.1 报告编制基本要求

10.2 检测报告内容

报告内容包括但不限于以下这些方面：

- 封面；
- 报告摘要；
- 工程概况；
- 检测依据；
- 人员及设备信息；
- 检测范围及分区；
- 检测项目及方法；
- 检测结果；
- 数据分析；
- 附件清单。

10.3 报告审核与签署

10.3.1 三级审核制度

检测报告应执行三级审核制度，依次为检测人员自审、技术人员复审、授权批准人审定；对检测原始记录、检测数据、报告内容完整性与准确性进行逐级审核，审核通过后方可出具报告。

10.3.2 签字要求

报告应由检测、审核、批准相关责任人手签或电子有效签署；签字齐全后方可生效，无签字或签字不全的报告无效。

10.4 报告格式

检测报告格式应统一，内容完整、表述清晰，包含工程信息、检测依据、检测环境、检测结果、结论等要素，原始记录、影像资料可作为报告附件。检测报告编制格式示例参见附录B。

10.5 报告分发与存档

报告按委托要求进行分发；报告正本、副本及对应的全部原始记录应归档保存，保存期限满足相关管理要求，便于追溯查阅。

10.6 报告修改与补充

已正式出具的报告不得随意涂改。确需修改或补充时，应出具更正报告或补充报告，注明原报告编号，说明变更内容；原报告仍保留存档，不得回收销毁。

附录 A
(资料性)
海上风电塔筒腐蚀检测原始记录表

表 A.1 项目检测信息表

项目	内容			
工程名称				
塔筒编号				
检测单位				
检测日期				
检测依据				
检测环境	环境温度	℃	相对湿度	%
	天气状况		风速	m/s
	海况/浪高		其他说明	

表 A.2 涂层系统检测记录表

测点编号	腐蚀分区	检测项目	实测结果	缺陷描述	备注/照片编号
		外观目视			
		干膜厚度(μm)			
		涂层老化缺陷			
说明：涂层老化缺陷按 GB/T 30789 系列评定并记录缺陷等级与面积占比；干膜厚度按 GB/T 4957执行					

表 A.3 金属基体腐蚀检测记录表（超声测厚及点蚀）

测点编号	腐蚀分区	设计壁厚 (mm)	实测壁厚 (mm)	壁厚减薄率 (%)	点蚀描述	备注/照片编号
说明：超声测厚按GB/T 11344执行；壁厚减薄率=(设计壁厚-实测最小壁厚)/设计壁厚×100%； 异常数据按格拉布斯准则识别并复测，记录于备注栏						

表 A.4 焊缝·螺栓·法兰专项检测记录表

检测部位	编号	检测项目	检测方法	缺陷描述	检测结果	备注/照片编号
环缝/纵缝		目视检查	目视			
法兰对接焊缝		无损检测	MT/UT			
螺栓/法兰		目视及检测				
说明：焊缝无损检测方法 & 评定按 NB/T 47013 系列执行；检出裂纹或严重点蚀时应扩大至该塔筒同类型焊缝 100%检测，并在本表记录扩检情况。						

表 A.5 在线检测数据采集记录表

监测点编号	监测项目	采集时间	监测数据	变化趋势	备注
说明：在线监测数据仅作为腐蚀趋势辅助参考，不作为定级评价指标。					

表 A.6 抽样检测记录汇总表

检测部位	总数	抽检数	抽检比例	是否扩检	扩检情况说明
焊缝				是/否	
法兰				是/否	
说明：常规抽检不少于10%；服役≥5年、已检出局部腐蚀或历史缺陷机组提高至30%；检出裂纹、严重点蚀时扩大至100%检测					

表 A.7 记录确认

检测人员	记录人员	校核人员	审核人员

附录 B
(资料性)
检测报告

B.1 封面

标题：海上风电塔筒腐蚀检测报告
报告编号：
委托单位：
检测单位（盖章）：
检测日期： 年 月 日

B.2 摘要

检测目的、范围、主要发现、结论与建议。

B.3 工程概况

工程名称：
风电场位置：
塔筒编号/数量：
塔筒型式/材质：
设计参数（壁厚、防腐体系）：
投运日期/服役年限：
本次检测背景：

B.4 检测依据

B.5 人员与设备信息

表 B.1 人员与设备信息

检测人员	资格证书	仪器设备	设备编号及校准状态

B.6 检测范围及分区

检测分区：
检测部位：
检测范围说明：

B.7 检测项目及方法

表 B.2 检测项目及方法

序号	检测项目	检测部位	检测方法	执行标准

B.8 检测结果

检测结果按检测项目分别汇总，主要包括：涂层系统检测结果，金属基体腐蚀检测结果，焊缝、螺栓、法兰专项检测结果，在线监测数据等。

表 B.3 检测结果汇总

检测项目	检测部位	试测结果	缺陷情况	备注

B.9 附件清单（如有）

B.10 报告签署

编制人员：
技术审核：
授权批准：