

DB 46

海 南 省 地 方 标 准

DB 46/T XXXX—XXXX

海上风电场防雷装置检测技术规范

Technical specification for lightning protection system testing of
offshore wind farms

（征求意见稿）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

海南省市场监督管理局 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 检测类别和范围 2

5 防雷分类和防雷区划分 3

6 检测项目 4

7 检测作业和安全措施 8

8 原始记录与检测报告要求 9

附录 A （资料性） 接闪器、引下线、接地装置、等电位连接材质规格 10

附录 B （资料性） 接地电阻测量方法 13

附录 C （资料性） 接地网最大接地电阻值计算 14

参考文献 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。

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。

本文件由海南省气象局提出并归口。

本文件起草单位：海南省气象服务中心、海南省儋州市气象局、海南祥云雷电防护有限公司、海南华星风云科技信息有限公司、大唐（儋州）海洋能源投资有限公司。

本文件主要起草人：余海、黄海静、陈之禄、朱雪原、周方聪、张滢滢、赖春光、徐杰、张琦、张传玉、钟呈、陈升学。

本文件为首次发布。

海上风电场防雷装置检测技术规范

1 范围

本文件规定了海上风电场防雷装置的检测类别和范围、防雷分类和防雷区划分、检测项目、检测作业和安全措施、原始记录与检测报告要求。

本文件适用于海上风电场的防雷装置检测。

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 21431—2023 建筑物雷电防护装置检测技术规范
- GB/T 33629—2024 风能发电系统 雷电防护
- GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
- GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范
- DL/T 475—2017 接地装置特性参数测量导则
- QX/T 560—2020 雷电防护装置检测作业安全规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

雷电防护装置 lightning protection system; LPS

用来减小雷击建（构）筑物造成人身伤害和物理损害的整个系统。

注：LPS由外部和内部雷电防护装置两部分构成。

[来源：GB/T 21431—2023, 3.1, 有修改]

3.2

雷电防护装置检测 inspection of lightning protection system

为确定雷电防护装置是否满足标准要求而进行的检查、测量及信息综合分析处理全过程。

[来源：GB/T 21431—2023, 3.2]

3.3

接闪器 air-termination system

外部LPS的组成部分,用于拦截雷击的金属部件。

注：如接闪杆、接闪带、接闪网、接闪线或风机叶片上的接闪结构等

[来源：GB/T 21431—2023, 3.3, 有修改]

3.4

引下线 down-conductor system

外部LPS的组成部分,用于将雷电流从接闪器传导至接地装置的导体,如叶片引下线、金属塔筒或塔架等。

[来源: GB/T 36490—2018, 3.7, 有修改]

3.5

接地装置 earth-termination system

外部LPS的组成部分,用于将雷电流传导并散入大地或海水中的导体。

[来源: GB/T 21431—2023, 3.5, 有修改]

3.6

雷电等电位连接 lightning equipotential bonding; EB

为减少雷电流引起的电位差,直接用导体或通过浪涌保护器把分离的金属部件与LPS进行连接。

[来源: GB/T 33629—2024, 3.26]

3.7

电涌保护器 surge protection device; SPD

用来限制瞬态过电压及泄放相应的瞬态过电流的装置,它至少含有一个非线性元件。

[来源: GB/T 36490—2018, 3.4]

3.8

工频接地电阻 power frequency earthing resistance

根据通过接地极流入地中工频交流电流求得的电阻。

[来源: GB/T 50065—2011, 2.0.13]

3.9

雷电防护区 lightning protection zone; LPZ

规定雷电电磁环境的区域。

注: 雷电防护区的区域边界不一定是物理边界(比如墙壁、地板和天花板)。

[来源: GB/T 33629—2024, 3.31]

3.10

海上风电场升压站 offshore wind farm substation

用于将海上风电场各风电机组发出的电能汇集、升压并送出的海上设施,包括基础和上部组块,一般可分为整体式和模块式。

[来源: NB/T 10322—2019, 3.1]

3.11

海上风电场 offshore wind farm

包括海上风力发电机组、海上风电场升压站、陆上集控中心以及相关的附属设施。

4 检测类别和范围

4.1 检测类别

检测类别分为验收检测和定期检测,其中:

——检测应对其结构、材料规格、连接方法和电气性能等进行检测。海上风电场投入使用前应进行验收检测,检测项目为全项目。

——定期检测为投入使用后的防雷装置按规定周期进行的检测,检测周期宜为1年。检测时间宜选在每年5月15日前,检测项目为全项目。

4.2 检测范围

检测范围主要包括海上风力发电机组、海上风电场升压站、陆上集控中心及其相关的附属设施。

5 防雷分类和防雷区划分

5.1 防雷分类

应按GB 50057—2010中第3章的规定对建（构）筑物进行防雷分类。

5.2 防雷区划分

海上风力发电机组的防雷区按照GB 33629—2024中附录E规定划分为：LPZ0_A、LPZ0_B、LPZ1、LPZ2四个区（图1），四个区分别包括以下部分：

- LPZ0_A 区包括叶片、避雷针系统、塔架 80%以上的其他区域等；
- LPZ0_B 区包括机舱轮毂中心高度 80%以下的风力发电机组表面等；
- LPZ1 区包括机舱弯头内部、塔筒内部的金属壳体内部等；
- LPZ2 区包括塔筒内和含有金属层（网）机舱内的各金属箱、柜和外壳内部及变桨控制箱内部等。

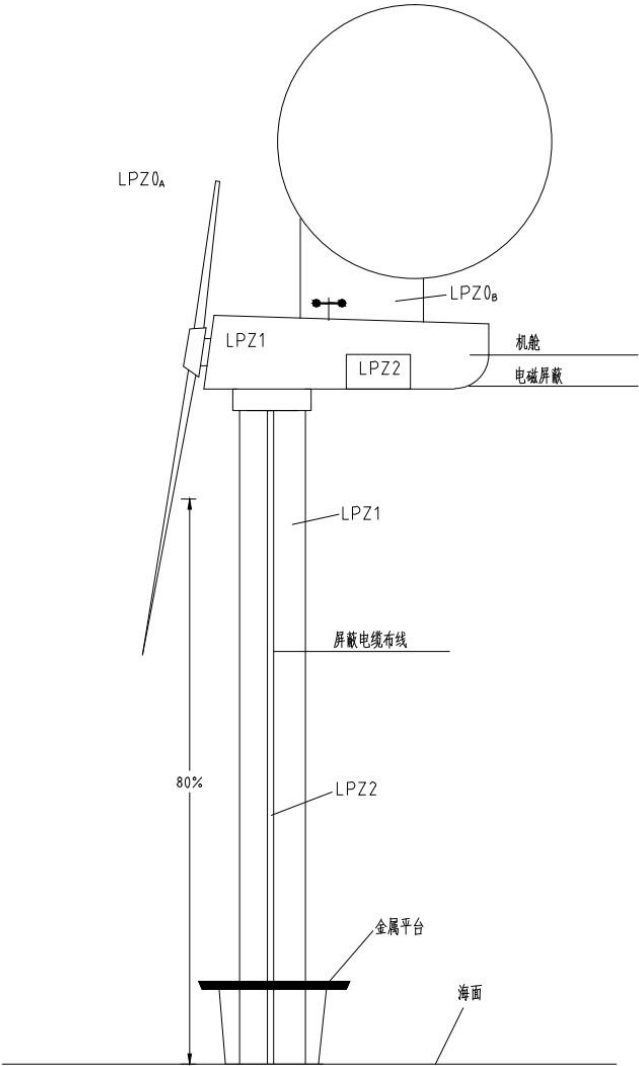


图1 海上风力发电机防雷分区示意图

6 检测项目

6.1 海上风力发电机组

6.1.1 接闪器检测

- 6.1.1.1 检查叶片接闪器的数量是否符合设计文件中的技术要求。
- 6.1.1.2 接闪器安装在叶片尖部或成点状的，应使用高倍数望远镜或无人机观察接闪器的锈蚀程度和完整性。
- 6.1.1.3 叶片采用表面涂上一层导电材料，或叶尖部分的玻璃纤维聚酯层表面预置金属氧化物作为接闪器，或叶尖部分的玻璃纤维聚酯层中预置金属导体作为接闪器的，应查阅叶片的年度维保记录。
- 6.1.1.4 检查机舱接闪器（一般是以各种形式固定在机舱顶部的金属物体）的完整性，固定支架应能承受 49N 的拉力。
- 6.1.1.5 接闪器的规格尺寸应符合附录 A 的要求。
- 6.1.1.6 检测机舱接闪器与机舱顶部外露的其他金属物的电气连接性能，过渡电阻值不应大于 $0.2\ \Omega$ 。
- 6.1.1.7 接闪器上不应附着电气、通信、信号或其他线路。

6.1.2 引下线检测

- 6.1.2.1 验收检测应检查引下线隐蔽工程纪录。
- 6.1.2.2 应用游标卡尺、千分尺或测厚仪等测量引下线的规格尺寸，引下线的规格尺寸应符合附录 A 的要求。
- 6.1.2.3 检查引下线的敷设、焊缝饱满程度、焊接部分防腐、螺栓固定防松零件、引下线截面锈蚀、固定支架垂直拉力及间距等是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.2 的要求。
- 6.1.2.4 引下线上不应附着电气、通信、信号或其他线路。测量专设引下线与附近其他电气线路的距离，一般不应小于 1m，交叉一般不应小于 0.3m，专设引下线与可燃材料的墙壁或墙体保温层间距应大于 0.1m。
- 6.1.2.5 自然引下线和专设引下线上端应与接闪器可靠连接，下端应与接地装置可靠连接，连接处两端的过渡电阻值不应大于 $0.2\ \Omega$ 。
- 6.1.2.6 风力发电机组应利用塔筒、塔杆作为防雷引下线，或设置专设的引下线。应检测叶片引下线、机舱和塔架（塔筒）之间、塔筒内部专用引下线的电气连接性能，过渡电阻不应大于 $0.2\ \Omega$ 。

6.1.3 接地装置检测

- 6.1.3.1 测试前应查看接地装置的验收图纸，避免与接地网的施工方向重叠；一般应对机组进行至少两个测向的接地电阻测试，接地电阻值取各测向的平均值。
- 6.1.3.2 当对机组进行测量时，应断开：
 - 箱变高压侧电源；
 - 机组接地体与塔筒底部末端的连接；
 - 有光纤金属加强筋存在时，应断开光纤金属加强筋；
 - 与之连接的邻近其他机组的地网。
- 6.1.3.3 塔筒底部与接地装置的连接导体数量不应少于 3 处；接地装置的规格尺寸应符合附录 A 的要求。
- 6.1.3.4 接地装置与其他风力发电机组地网的直流过渡电阻不应大于 $0.2\ \Omega$ 。
- 6.1.3.5 接地装置工频接地电阻值不应大于 $4\ \Omega$ 。接地电阻测试仪应具备异频测量功能，测试电流不应小于 3A，测试方法见附录 B。

6.1.4 等电位连接检测

6.1.4.1 通过将 LPS 与以下各项彼此连接实现等电位：

- 结构金属部件；
- 金属设备；
- 内部系统；
- 外部导电部件和连接到风力发电机组的引入线。

6.1.4.2 检查防雷等电位连接的位置、结构、连接工艺、跨接性能、接地基准点(ERP)接地性能是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.5 的要求。

6.1.4.3 不同连接排之间的连接导线、连接排和接地装置之间连接导线的最小截面积；内部金属装置和连接排之间连接导线的最小截面积应符合附录 A 的要求。

6.1.4.4 检测塔段除湿机、海缆管道、应急仓、金属工作台等金属物与共用接地装置连接处的过渡电阻。

6.1.4.5 检查机舱内的部件与机舱底板、机舱和塔架(塔筒)之间、轴承滑动部件之间的连接状况，测试过渡电阻值。

6.1.4.6 检查所有穿过各防雷区界面处导电物在界面处与等电位连接排是否连接，过渡电阻不应大于 0.2Ω 。

6.1.4.7 等电位连接的过渡电阻值一般不应超过 0.2Ω 。

6.1.5 电涌保护器 (SPD) 检测

6.1.5.1 测试从环网柜引出的分支线路上的中性线(N)与保护线(PE)之间的阻值，确认线路为 TN-C 或 TN-C-S 或 TN-S 或 TT 或 IT 系统。

6.1.5.2 检查电涌保护器 (SPD) 的布置、主要性能参数、连接导体的材料及截面面积、连接工艺、防护级数与级间配合、过电流保护是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.6 的要求。

6.1.5.3 SPD 外观表面应平整、光洁、无划伤、无裂痕和烧灼痕或变形，标识应完整和清晰，状态指示应正常。

6.1.5.4 SPD 两端的连接导体应满足相线采用黄色、绿色、红色，中性线用蓝色，保护地线采用黄绿双色线。并联接线时，电源 SPD 引入至引出端的引线长度不宜超过 50cm。

6.1.5.5 检测 SPD 的压敏电压、泄漏电流和绝缘电阻，测量方法和合格判据应符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.6.9；5.5.6.10；5.5.6.11 的规定。

6.1.5.6 SPD 检测应对前置保护装置进行检查，确保电源 SPD 正常工作。

6.1.5.7 检测 SPD 接地端(线)与等电位连接导体之间电气连接性能，过渡电阻值不应大于 0.2Ω 。

6.2 海上风电场升压站

6.2.1 接闪器检测

6.2.1.1 海上风电场升压站应设置接闪杆及金属结构物作为接闪器进行直击雷保护，接闪器的保护范围应符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.1.14 的要求。

6.2.1.2 应符合应用游标卡尺、千分尺或测厚仪等测量接闪器的规格尺寸，接闪器的规格尺寸应符合附录 A 的要求。

6.2.1.3 检查接闪器的截面锈蚀不应超过初始截面的 $1/3$ ，且接闪器焊接或卡接器连接的安装工艺与现状应满足 GB/T 21431—2023 中 5.5.1.4 的要求。

6.2.1.4 检测平台屋顶和侧面外露的通信天线、充油设备外壳与接闪器电气连接性能，过渡电阻值不应大于 0.2Ω 。

6.2.2 引下线检测

- 6.2.2.1 验收检测应检查引下线隐蔽工程纪录。
- 6.2.2.2 检查接地引下线和平台自身钢柱，与海底基础钢管桩连接状况。
- 6.2.2.3 应用游标卡尺、千分尺或测厚仪等测量引下线的规格尺寸，引下线的规格尺寸应符合附录 A 的要求。
- 6.2.2.4 检查引下线的敷设、焊缝饱满程度、焊接部分防腐、螺栓固定防松零件、引下线截面锈蚀、固定支架垂直拉力及间距等是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.2 的要求。
- 6.2.2.5 引下线的数量和间距应符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.2.13 的规定。
- 6.2.2.6 引下线上不应附着电气、通信、信号或其他线路。测量专设引下线与附近其他电气线路的距离，一般不应小于 1m，交叉一般不应小于 0.3m，专设引下线与可燃材料的墙壁或墙体保温层间距应大于 0.1m。
- 6.2.2.7 自然引下线和专设引下线上端应与接闪器可靠连接，下端应与接地装置可靠连接，连接处两端的过渡电阻值不应大于 0.2Ω 。

6.2.3 接地装置检测

- 6.2.3.1 测试前应查看接地装置的验收图纸，避免与接地网的施工方向重叠。
- 6.2.3.2 应用游标卡尺、千分尺或测厚仪等测量接地装置的规格尺寸，接地装置的规格尺寸应符合附录 A 的要求。
- 6.2.3.3 接地环线和设备接地线宜采用铜排或铜绞线，检查接地环线与设备和钢结构是否可靠连接。接地标记应清晰可见。
- 6.2.3.4 海上风电场升压站接地电阻的测量及方法见附录 B，接地网的接地电阻应不大于附录 C 所计算的最大接地电阻值。
- 6.2.3.5 海上风电场升压站各低压设备之间、内部各接地干线之间、独立接闪器及微波塔与主地网之间、及其他必要部分与主地网之间应有良好的电气导通性，状况良好的设备测试值应不大于 0.05Ω 。具体测试方法及其他情况应按照 DL/T 475—2017 第 5 章的内容执行。

6.2.4 等电位连接检测

- 6.2.4.1 检查等电位连接的位置、结构、连接工艺、跨接性能、接地基准点(ERP)接地性能是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.5 的要求。
- 6.2.4.2 不同连接排之间的连接导线、连接排和接地装置之间连接导线的最小截面积；内部金属装置和连接排之间连接导线的最小截面积应符合附录 A 的要求。
- 6.2.4.3 检测海上风电场升压站的检修用起重机、吊装平台、生活平台或临时休息室、甲板设备、消防管道、海缆底座接地点等金属物的等电位连接性能，过渡电阻不应大于 0.2Ω 。
- 6.2.4.4 检测海上风电场升压站主控室环形接地母线及各设备装置的等电位连接性能，过渡电阻不应大于 0.2Ω 。

6.2.5 电涌保护器（SPD）检测

- 6.2.5.1 测试从站用电室引出的分支线路上的中性线(N)与保护线(PE)之间的阻值，确认线路为 TN-C 或 TN-C-S 或 TN-S 或 TT 或 IT 系统。
- 6.2.5.2 检查配电装置的电缆进出线和母线电涌保护器（SPD）的布置、主要性能参数、连接导体的材料及截面积、连接工艺、防护级数与级间配合、过电流保护是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.6 的要求。

6.2.5.3 SPD 外观表面应平整、光洁、无划伤、无裂痕和烧灼痕或变形,标识应完整和清晰,状态指示应正常。

6.2.5.4 SPD 两端的连接导体应满足相线采用黄色、绿色、红色,中性线用蓝色,保护地线采用黄绿双色线。并联接线时,电源 SPD 引入至引出端的引线长度不宜超过 50cm。

6.2.5.5 检测 SPD 的压敏电压和、泄漏电流和绝缘电阻,测量方法和合格判据应符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.6.9、5.5.6.10、5.5.6.11 的规定。

6.2.5.6 SPD 检测应对前置保护装置进行检查,确保电源 SPD 正常工作。

6.2.5.7 检测 SPD 接地端(线)与等电位连接导体之间电气连接性能,过渡电阻值应不大于 0.2Ω 。

6.3 陆上集控中心

6.3.1 接闪器检测

6.3.1.1 陆上集控中心建筑物外部防雷的措施,宜采用装设在建筑物上的接闪网、接闪带或接闪杆,或由其混合组成的接闪器,接闪器之间应互相连接,规格尺寸应符合 GB 50057—2010 中 5.5.5、5.2 的要求。

6.3.1.2 检查接闪器的类型和方式、敷设和位置、固定支架的间距和高度、伸缩缝处的跨接、接闪器的保护范围是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.1 的要求。

6.3.1.3 检查接闪器的截面锈蚀不应超过初始截面的 $1/3$,且接闪器焊接或卡接器连接的安装工艺与现状应满足 GB/T 21431—2023 中 5.5.1.4 的要求。

6.3.1.4 使用拉力计等设备对接闪器的固定支架施加不小于 49 N 的垂直拉力,观察检查其是否固定可靠。

6.3.1.5 检查建筑物外露的金属物应与建筑物顶部或外墙上接闪器的等电位连接性能,其间过渡电阻值不应大于 0.2Ω 。

6.3.2 引下线检测

6.3.2.1 验收检测应检查引下线隐蔽工程纪录。

6.3.2.2 应用游标卡尺、千分尺或测厚仪等测量引下线的规格尺寸,引下线的规格尺寸应 GB 50057—2010 中 5.1.1、5.3.1、5.3.3—5.3.5 的要求。

6.3.2.3 检查引下线的敷设、焊缝饱满程度、焊接部分防腐、螺栓固定防松零件、引下线截面锈蚀、固定支架垂直拉力及间距等是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.2 的要求。

6.3.2.4 引下线的数量和间距应符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.2.13 的规定。

6.3.2.5 引下线上不应附着电气、通信、信号或其他线路。测量专设引下线与附近其他电气线路的距离,一般不应小于 1m,交叉一般不应小于 0.3m,专设引下线与可燃材料的墙壁或墙体保温层间距应大于 0.1m。

6.3.2.6 自然引下线和专设引下线上端应与接闪器可靠连接,下端应与接地装置可靠连接,连接处两端的过渡电阻值不应大于 0.2Ω 。

6.3.3 接地装置检测

6.3.3.1 测试前应查看接地装置的验收图纸,避免与接地网的施工方向重叠。

6.3.3.2 陆上集控中心接地网的接地电阻应不大于附录 C 所计算的最大接地电阻值。

6.3.3.3 陆上集控中心各电压等级场区之间、各低压设备之间、内部各接地干线之间、独立接闪器及微波塔与主地网之间、及其他必要部分与主地网之间的导通电阻应不大于 0.05Ω 。

6.3.3.4 接地装置检测的其他要求参见 GB/T 21431—2023 中的 5.5.3 的规定。

6.3.4 等电位连接检测

6.3.4.1 检查防雷等电位连接的位置、结构、连接工艺、跨接性能、接地基准点(ERP)接地性能是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.5 的要求。

6.3.4.2 不同连接排之间的连接导线、连接排和接地装置之间连接导线的最小截面积；内部金属装置和连接排之间连接导线的最小截面积应符合 GB50057—2010 中 5.1.1、5.1.2、表 5.2.1 的要求。

6.3.4.3 检测设备柜、操作台、蓄电池支架、线槽、钢骨架(爬梯)等金属物与共用接地装置连接处的过渡电阻不应超过 $0.2\ \Omega$ 。

6.3.4.4 检测中控室环形接地母线及各设备装置的等电位连接性能，过渡电阻不应大于 $0.2\ \Omega$ 。

6.3.5 电涌保护器（SPD）检测

6.3.5.1 测试从电源柜引出的分支线路上的中性线(N)与保护线(PE)之间的阻值，确认线路为 TN-C 或 TN-C-S 或 TN-S 或 TT 或 IT 系统。

6.3.5.2 检查电涌保护器（SPD）的布置、主要性能参数、连接导体的材料及截面面积、连接工艺、防护级数与级间配合、过电流保护是否符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.6 的要求。

6.3.5.3 SPD 外观表面应平整、光洁、无划伤、无裂痕和烧灼痕或变形，标识应完整和清晰，状态指示应正常。

6.3.5.4 SPD 两端的连接导体应满足相线采用黄色、绿色、红色，中性线用蓝色，保护地线采用黄绿双色线。并连接时，电源 SPD 引入至引出端的引线长度不宜超过 50cm。

6.3.5.5 检测 SPD 的压敏电压和、泄漏电流和绝缘电阻，测量方法和合格判据应符合 GB/T 21431—2023 中 5.5.6.9、5.5.6.10、5.5.6.11 的规定。

6.3.5.6 SPD 检测应对前置保护装置进行检查，确保电源 SPD 正常工作。

6.3.5.7 检测 SPD 接地端（线）与等电位连接导体之间电气连接性能，过渡电阻值应不大于 $0.2\ \Omega$ 。

6.3.5.8 在电源引入的总配电箱处应装设 I 级试验的电涌保护器。电涌保护器的电压保护水平值应小于或等于 2.5 kV。每一保护模式的冲击电流值，当无法确定时，冲击电流应取等于或大于 12.5 kA。

6.4 其他相关附属设施

其他相关附属设施金属部分与接地端应有良好的电气连接性能，过渡电阻值不应大于 $0.2\ \Omega$ ，连接导体最小截面积应符合附录 A 的要求。

常规附属设施包括但不限于以下内容：

- 风电机组基础（包括靠泊装置、防撞装置、防冲刷结构及防腐系统）；
- 海缆（固定海缆的金属结构）；
- 风电场生产测风塔（含海洋水文监测系统）；
- 航空障碍灯；
- 风机机舱顶部气象观测设备；
- 消防系统。

7 检测作业和安全措施

检测作业和安全规范除应满足 QX/T 560—2020 的要求外，还需满足以下要求：

- 检测人员应取得防雷专业技术人员能力评价测试合格证书、高处作业操作证等证书；
- 现场作业的检测人员不应少于 2 人；
- 海上检测时，检测人员须穿戴救生衣；

- 检测时，接地电阻测试仪（大型地网接地电阻测试仪）的接地引线和其他导线应避开高、低压供电线路；
- 在制定出海检测计划前，应提前关注大风、雷电、台风等灾害性天气。

8 原始记录与检测报告要求

- 8.1 在现场将各项检测结果如实记入原始记录表, 原始记录表应有检测人员、校核人员和受检单位现场负责人签名。
- 8.2 检测时，应绘制建筑物防雷装置平面示意图。
- 8.3 整理各项检测结果，与相应的规范技术要求进行对比, 判定各检测项目是否合格。
- 8.4 检测报告由检测员按规范填写，检测员和校核员签字后，经技术负责人签发，并加盖检测单位公章。
- 8.5 纸质检测报告一式两份，一份由检测单位存档，一份移交受检单位。存档形式应有纸质存档和电子存档。
- 8.6 雷电防护装置检测单位应按照气象主管机构要求使用防雷安全信息化监管平台，出具的检测报告必须真实可靠，并上传至该信息化平台。
- 8.7 原始记录、检测报告及检测过程中所涉及或形成的其他的信息记录，应根据验收检测和定期检测划分保管期限。其中，验收检测保管期限为永久，定期检测保管期限不少于 5 年。

附录 A
(资料性)

接闪器、引下线、接地装置、等电位连接材质规格

A.1 接闪器材质规格

接闪线(带)、接闪杆的材料、结构和最小截面见表A.1。

表 A.1 接闪线(带)、接闪杆的材料、结构和最小截面

材料	结构	最小截面mm ²	备注
铜 镀锡钢	单根扁钢	50	厚度 2 mm
	单根圆钢	50	直径 8 mm
	钢绞线	50	—
	单根圆钢	176	直径 15 mm
铝	单根扁铝	70	厚度 3 mm
	单根圆铝	50	直径 8 mm
	铝绞线	50	—
铝合金	单根扁型导体	50	厚度 2.5 mm
	单根圆形导体	50	直径 8 mm
	绞线	50	直径 15 mm
	外表面镀铜的单根圆形导体	50	径向镀铜厚度至少 250 um, 镀铜纯度 99.9 %
热浸镀锌钢	单根扁钢	50	厚度 2.5 mm
	单根圆钢	50	直径 8 mm
	绞线	50	—
	单根圆钢	176	直径 15 mm
不锈钢	单根扁钢	50	厚度 2 mm
	单根圆钢	50	直径 8 mm
	绞线	70	—
外表面镀铜的钢	单根圆钢	50	直径 15 mm
	单根扁钢 (厚 2.5 mm)	50	镀铜厚度至少 250 um, 镀铜纯度 99.9 %

A.2 引下线材质规格

引下线材质规格要求见表A.2。

表 A.2 引下线材质规格要求

材料	结构	最小截面mm ²
铜 镀锡钢	单根扁钢	50

材料	结构	最小截面mm ²
	单根圆铜	50
	钢绞线	50
	单根圆铜	176
	单根扁铝	70
铝	单根圆铝	50
	铝绞线	50
	单根扁型导体	50
铝合金	单根圆形导体	50
	绞线	50
	外表面镀铜的单根圆形导体	50
	单根扁钢	50
热浸镀锌钢	单根圆钢	50
	绞线	50
	单根圆钢	176
	单根扁钢	50
不锈钢	单根圆钢	50
	绞线	70
	单根扁钢	50
外表面镀铜的钢	单根圆钢	50
	单根扁钢（厚 2.5 mm）	50

A. 3 接地装置材质规格

接地体最小截面积要求见表A. 3。

表 A. 3 接地体最小截面积要求

材料	结构	最小截面mm ²
铜 镀锡钢	单根扁钢	50
	单根圆铜	50
	钢绞线	50
	单根圆钢	176
铝	单根扁铝	70
	单根圆铝	50
	铝绞线	50
铝合金	单根扁型导体	50
	单根圆形导体	50
	绞线	50
	外表面镀铜的单根圆形导体	50
热浸镀锌钢	单根扁钢	50
	单根圆钢	50
	绞线	50
	单根圆钢	176

材料	结构	最小截面mm ²
不锈钢	单根扁钢	50
	单根圆钢	50
	绞线	70
外表面镀铜的钢	单根圆钢	50
	单根扁钢（厚 2.5 mm）	50

A. 4 等电位连接材质规格

连接排之间、连接排和接地装置之间连接导线的最小截面积见表A. 4。

表 A. 4 连接排之间、连接排和接地装置之间连接导线的最小截面积

材料	截面积/mm ²
铜	14
铝	22
钢	50

附录 B
(资料性)
接地电阻测量方法

B.1 接地电阻测量方法

接地装置接地电阻的测量应采用三极法。
接地装置接地电阻的数值, 等于接地装置的对地电压与通过接地装置流入地中的工频电流的比值。
接地装置的对地电压是指接地装置与地中电流场的实际零位区之间的电位差。

B.2 电极布置

采用三极法测量接地电阻, 电极可采用三角形布置。电流极、电压极布线方案见图C. 1。海上待测物 (F) 利用相邻海上待测物 (F1) 或海上升压站作为电压极进行布线, 再选择合适角度的相海上待测物 (F2) 作为电流极布线, 电流极与电压极引线的夹角 $\approx 30^\circ$ 。F1与F的距离为 d_{12} , F2与F的距离为 d_{13} , 一般取 $d_{12}=d_{13}\geq 2D$, 夹角 $\approx 30^\circ$, D 为待测风机 (F) 接地网最大对角线长度。因海浪影响, 布线线径宜 $\geq 10\text{mm}$ 。F、F1、F2可相互替换为待测物。
接地电阻值不应大于设计要求, 如无特殊规定, 单台机组的接地电阻值不应大于设计值。

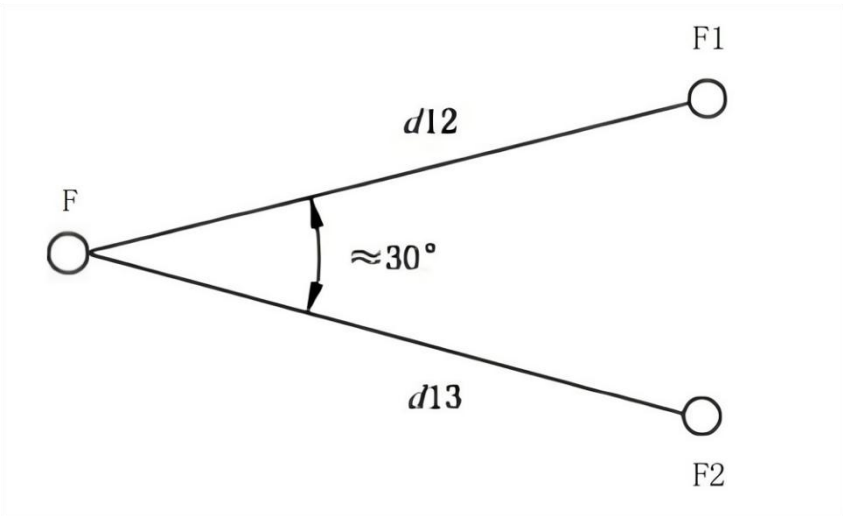


图 B.1 三角形布置

B.3 测量注意事项

- 测量接地电阻时应注意:
- 测量时接地装置应与基础环断开;
 - 电流极、电压极应布置合理;
 - 应避免在雨后立即测量接地电阻;
 - 允许采用其他等效的方法进行测量。

附录 C
(资料性)
接地网最大接地电阻值计算

C.1 有效接地系统和低电阻接地系统

接地网的接地电阻应符合下式的要求，且保护接地接至接地网的站用变压器的低压应采用 TN 系统，低压电气装置应采用（含建筑物钢筋的）保护总等电位联结系统：

$$R \leq 2000/I_G \cdots \cdots \cdots (C.1)$$

式中：R——考虑季节变化的最大接地电阻（Ω）；
I_G——计算用经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值（A），应按GB/T 50065—2011 附录B 确定。

I_G应采用设计水平年系统最大运行方式下在接地网内、外发生接地故障时，经接地网流入地中、并计及直流分量的最大接地故障电流有效值。对其计算时，还应计算系统中各接地中性点间的故障电流分配，以及避雷线中分走的接地故障电流。

C.2 谐振接地、谐振-低电阻接地和高电阻接地系统

接地网的接地电阻应符合下式的要求，但不应大于4Ω，且保护接地接至接地网的站用变压器的低压侧电气装置，应采用（含建筑物钢筋的）保护总等电位联结系统：

$$R \leq 120/I_g \cdots \cdots \cdots (C.2)$$

式中：R——采用季节变化的最大接地电阻（Ω）；
I_g——计算用的接地网入地对称电流（A）。

谐振接地和谐振 - 低电阻接地系统中，计算接地网的入地对称电流时，对于装有自动跟踪补偿消弧装置（含非自动调节的消弧线圈）的电气装置的接地网，计算电流等于接在同一接地网中同一系统各自动跟踪补偿消弧装置额定电流总和的 1.25 倍；对于不装自动跟踪补偿消弧装置的发电厂和变电站电气装置的接地网，计算电流等于系统中断开最大一套自动跟踪补偿消弧装置或系统中最长线路被切除时的最大可能残余电流值。

参 考 文 献

- [1] GB/T 36490—2018 风力发电机组防雷装置检测技术规范
 - [2] NB/T 10322—2019 海上风电场升压站运行规程
 - [3] QX/T 312—2015 风力发电机组防雷装置检测技术规范
 - [4] QX/T 319—2021 雷电防护装置检测文件归档整理规范
-