

ICS 27.180
P 61

NB

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 10920—2022

风电场工程风电机组基础安全监测设计规范

Code for Design of Wind Turbine Foundations Safety Monitoring
for Wind Power Projects

2022-05-13 发布

2022-11-13 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

风电场工程风电机组基础安全监测设计规范

**Code for Design of Wind Turbine Foundations Safety Monitoring
for Wind Power Projects**

NB/T 10920—2022

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国家能源局

施行日期：2022年11月13日

中国水利水电出版社

2022 北京

国家能源局

公告

2022年 第4号

根据《中华人民共和国标准化法》《能源标准化管理办法》，国家能源局批准《智能风电场技术导则》等209项能源行业标准（附件1）、《Specification for Preparation of Feasibility Study Report for Photovoltaic Power Projects》等23项能源行业标准外文版（附件2）、《水电工程天然建筑材料勘察规程》等2项能源行业标准修改通知单（附件3），现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2022年5月13日

附件：

行业标准目录

| 序号 | 标准编号 | 标准名称 | 代替标准 | 采标号 | 批准日期 | 实施日期 |
|-----|---------------------|-------------------------|------|-----|------------|------------|
| ... | | | | | | |
| 2 | NB/T 10920 -2022 | 风电场工程风电机组基础 安全监测设计规范 | | | 2022-05-13 | 2022-11-13 |
| ... | | | | | | |

前 言

根据《国家能源局综合司关于下达 2018 年能源领域行业标准制（修）订计划及英文版翻译出版计划的通知》（国能综通科技〔2018〕100 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范的主要技术内容是：总则、术语、基本规定、陆上风电机组基础安全监测、海上风电机组基础安全监测、安全监测自动化系统、监测资料整编与综合分析。

本规范由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业风电标准化技术委员会风电场规划设计分技术委员会（NEA/TC1/SC1）负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本规范主编单位：中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司
三峡科技有限责任公司

本规范参编单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司
中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司
上海勘测设计研究院有限公司
南京南瑞水利水电科技有限公司

本规范主要起草人员：邬昱昆 谢新宇 糜又晚 彭 潜
宋桂华 李祖锋 缪志选 张礼兵
齐志新 陈加兴 张晓明 邓检华
周 毅 凌 骐 樊恒通 李守雷
赵元忆 郑 浩 曹园园 杨青松
颜 彪 龙 建

本规范主要审查人员：李仕胜 赵生校 赵志勇 黎发贵
吴成智 丛 欧 甘 毅 邢占清
曹金宝 赵春晓 李俊富 方志勇
李 磊 游先辉 何先龙 张 峰
岳 蕾 刘碧燕 胡建忠 刘 强

目 次

| | | |
|-----|--------------------------|----|
| 1 | 总则..... | 1 |
| 2 | 术语..... | 2 |
| 3 | 基本规定..... | 4 |
| 4 | 陆上风电机组基础安全监测..... | 6 |
| 4.1 | 一般规定..... | 6 |
| 4.2 | 巡视检查..... | 6 |
| 4.3 | 变形监测..... | 6 |
| 4.4 | 应力应变监测..... | 7 |
| 4.5 | 专项监测..... | 8 |
| 5 | 海上风电机组基础安全监测..... | 9 |
| 5.1 | 一般规定..... | 9 |
| 5.2 | 巡视检查..... | 9 |
| 5.3 | 变形监测..... | 10 |
| 5.4 | 应力应变监测..... | 10 |
| 5.5 | 振动监测..... | 10 |
| 5.6 | 腐蚀监测..... | 11 |
| 5.7 | 专项监测..... | 11 |
| 6 | 安全监测自动化系统..... | 12 |
| 6.1 | 一般规定..... | 12 |
| 6.2 | 系统设计..... | 12 |
| 6.3 | 系统功能及性能..... | 12 |
| 7 | 监测资料整编与综合分析..... | 14 |
| 7.1 | 一般规定..... | 14 |
| 7.2 | 监测资料整编..... | 14 |
| 7.3 | 综合分析..... | 14 |
| | 附录 A 陆上风电机组基础安全监测项目..... | 15 |
| | 附录 B 陆上风电机组基础安全监测频次..... | 16 |
| | 附录 C 海上风电机组基础安全监测项目..... | 17 |
| | 附录 D 海上风电机组基础安全监测频次..... | 18 |
| | 本规范用词说明..... | 19 |
| | 引用标准名录..... | 20 |

附：条文说明.....21

Contents

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | General Provisions..... | 1 |
| 2 | Terms..... | 2 |
| 3 | Basic Requirements..... | 4 |
| 4 | Safety Monitoring for Onshore Wind Turbine Foundations..... | 6 |
| 4.1 | General Requirements..... | 6 |
| 4.2 | Patrol Inspection..... | 6 |
| 4.3 | Deformation Monitoring..... | 6 |
| 4.4 | Stress and Strain Monitoring..... | 7 |
| 4.5 | Special Monitoring..... | 8 |
| 5 | Safety Monitoring for Offshore Wind Turbine Foundations..... | 9 |
| 5.1 | General Requirements..... | 9 |
| 5.2 | Patrol Inspection | 9 |
| 5.3 | Deformation Monitoring..... | 10 |
| 5.4 | Stress and Strain Monitoring..... | 10 |
| 5.5 | Vibration Monitoring..... | 10 |
| 5.6 | Corrosion Monitoring..... | 11 |
| 5.7 | Special Monitoring..... | 11 |
| 6 | Safety Monitoring Automation System..... | 12 |
| 6.1 | General Requirements..... | 12 |
| 6.2 | System Design..... | 12 |
| 6.3 | System Functions and Performance..... | 12 |
| 7 | Compilation and Comprehensive Analysis of Monitoring Data..... | 14 |
| 7.1 | General Requirements..... | 14 |
| 7.2 | Monitoring Data Compilation..... | 14 |
| 7.3 | Comprehensive Analysis..... | 14 |
| | Appendix A Safety Monitoring Items for Onshore Wind Turbine Foundations..... | 15 |
| | Appendix B Safety Monitoring Frequency for Onshore Wind Turbine Foundations..... | 16 |
| | Appendix C Safety Monitoring Items for Offshore Wind Turbine Foundations..... | 17 |
| | Appendix D Safety Monitoring Frequency for Offshore Wind Turbine Foundations..... | 18 |
| | Explanation of Wording in This Code..... | 19 |
| | List of Quoted Standards..... | 20 |
| | Addition: Explanation of Provisions..... | 21 |

1 总 则

1.0.1 为规范风电场工程风电机组基础安全监测设计，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于风电场工程陆上风电机组基础和海上风电机组固定式基础的安全监测设计。

1.0.3 风电场工程风电机组基础安全监测设计，除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 观测 observation

采用各种仪器设备或人工完成一次数据采集、记录的活动。

2.0.2 监测 monitoring

按一定的频次，采用仪器测读和现场检查的方式进行观测、记录，并对成果变化情况进行分析的工作。

2.0.3 安全监测 safety monitoring

从掌握构筑物运行性态的角度出发，对其进行监测，并运用监测资料评价结构运行安全性，提示构筑物安全风险的工作。

2.0.4 巡视检查 patrol inspection

凭借感官及必要的工器具对风电机组基础进行检查、记录的工作。

2.0.5 初测值 first measurement

监测仪器设备安装埋设后的首次测值。

2.0.6 初始值 initial value

监测仪器设备安装埋设正常工作后的首次测值。

2.0.7 基准值 baseline value

各阶段计算起点的测值。

2.0.8 监测仪器设备 monitoring instrument and equipment

基于各种原理的传感器、监测装置及其相应的监测信息采集、传输和供电设备的总称。

2.0.9 监测设施 monitoring facilities

各类监测仪器设备、保护装置和辅助设施的统称。

2.0.10 监测系统 monitoring system

由各类监测设施和监测信息管理软件组成的系统。

2.0.11 固定式基础 fixed foundation

固定于陆地或海床并将风电机组荷载传递到地基的结构。

2.0.12 施工期 construction period

从风电机组基础开始施工到机组试运行完成为止的时期。

2.0.13 运行期 operation period

试运行完成后至退役的时期。

2.0.14 长期监测点 long-term monitoring point

在风电机组投入运行后需持续监测的测点。

2.0.15 监测站 monitoring station

安装数据采集装置的位置或场所。

3 基本规定

3.0.1 风电机组基础安全监测设计内容，应根据基础结构型式、地质条件、水文气象条件和运维要求等因素按照设计阶段的要求综合确定，主要包括设计依据与原则、监测项目、监测布置和监测技术要求。

3.0.2 风电机组基础安全监测设计应收集下列基本资料：

- 1 工程规模、设计级别、基础结构型式。
- 2 水文气象资料。
- 3 地形地质资料。
- 4 结构设计成果。
- 5 相关监测仪器设备资料。
- 6 其他相关资料。

3.0.3 风电机组基础安全监测项目应根据基础的结构型式、设计级别、安全等级和运维要求进行选择。

3.0.4 风电机组基础安全监测技术要求应包括监测仪器设备检验、安装埋设方法、监测设施保护、观测方法、观测频次、监测资料整编与综合分析和预警。

3.0.5 安全监测高程系统应与设计阶段的高程系统一致。

3.0.6 对施工期、运行期监测项目的选定和监测设施布置应统一规划。

3.0.7 监测仪器设备应具有良好的环境适应性和耐久性，并在可靠、经济、实用的前提下，便于自动化监测。

3.0.8 对需要高频次监测或人工观测难以实施的项目，宜采用自动化监测。

3.0.9 主要监测物理量正负号应符合下列要求：

- 1 沉降向下为正，向上为负。
- 2 倾斜顺主导风向为正，反之为负；向主导风向左侧为正，反之为负。
- 3 接缝和裂缝开合度张开为正，闭合为负。
- 4 应力、应变拉为正，压为负。

3.0.10 风电机组基础安全监测项目出现异常情况或监测数据达到监测预警值时，应立即预警并采取应急处置措施。

4 陆上风电机组基础安全监测

4.1 一般规定

4.1.1 陆上风电机组基础安全监测可分为巡视检查、变形监测、应力应变监测和专项监测。

4.1.2 陆上风电机组基础安全监测项目应按本规范附录 A 的规定确定。

4.1.3 陆上风电机组基础安全监测频次应按本规范附录 B 的规定确定。

4.2 巡视检查

4.2.1 陆上风电机组基础巡视检查应包括常规巡视检查、年度巡视检查及特殊巡视检查。

4.2.2 陆上风电机组基础常规巡视检查项目应包括下列内容：

- 1 基础混凝土有无裂缝、腐蚀、冒浆。
- 2 基础连接部件有无异常，是否出现松动、裂纹、晃动、腐蚀。
- 3 基础密封防水和抗腐蚀设施有无破损。
- 4 灌浆体有无开裂、破碎、脱落。
- 5 周边有无影响基础安全稳定的情况。
- 6 监测设施有无损坏，运行是否正常。

4.2.3 陆上风电机组基础出现不安全迹象时，应增加巡视检查频次。

4.2.4 陆上风电机组基础年度巡视检查应结合年度安全监测综合分析成果进行。

4.2.5 当风电场区遇强震、强风、变形速率加剧及其他影响工程安全运行的情况时，应进行特殊巡视检查。

4.3 变形监测

4.3.1 陆上风电机组基础变形监测项目宜包括基础的沉降、倾斜、接缝和裂缝开合度。

4.3.2 陆上风电机组基础沉降监测应符合下列规定：

- 1 应设置基准点，每组基准点不应少于 3 个水准标石，基准点应布置在稳定、易于保护的位置。

2 每台风电机组基础宜设置 1 个水准工作基点，地形条件许可时，相邻风电机组可共用工作基点；工作基点应设置在风电机组基础边缘相对稳定部位，且水平距离不得小于风电机组基础深度的 2.0 倍；应定期复核工作基点的稳定性。

3 沉降测点应对称、成组布置在基础顶部，不应少于两组，其中一组应沿主导风向布置，其他各组应以主导风向为基准方向均匀分布。

4 风电机组基础沉降监测宜采用精密水准测量方法，水准测量技术要求应符合国家现行标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 有关规定。

4.3.3 风电机组基础倾斜监测应符合下列规定：

1 倾斜测点应沿主导风向和垂直于主导风向布置。

2 采用静力水准仪、倾斜仪监测基础倾斜时，测点宜布置在塔架内混凝土顶部。

3 采用精密水准测量方法监测基础倾斜时，应利用沉降测点进行监测。

4 采用精密水准或静力水准监测基础倾斜时，相邻测点的高差中误差不应超过±1.0 mm。

5 采用倾斜仪监测基础倾斜时，倾角测量中误差不应超过±40"。

4.3.4 对采用基础环连接型式的风电机组基础，应进行接缝监测。

4.3.5 接缝监测应满足下列要求：

1 测点应沿主导风向成组布置。

2 宜在基础与基础环结合面处布置测缝计。

4.3.6 陆上风电机组基础出现疑似危害性裂缝，宜选择有代表性的裂缝布置测点，测量裂缝开合度和长度。

4.4 应力应变监测

4.4.1 陆上风电机组基础应力应变监测项目可包括基底压力、锚栓应力、锚杆应力、锚索荷载。

4.4.2 应力应变测点应对称、成组布置，不应少于两组，其中一组应沿主导风向布置，其他各组应以主导风向为基准方向均匀分布。

4.4.3 基底压力监测应布置在基础与地基交界面。

4.5 专项监测

陆上风电机组基础专项监测应根据工程建设环境、基础结构型式、工程安全评估需要，研究确定监测项目和内容。专项监测可包括振动监测、强震监测、腐蚀监测。

5 海上风电机组基础安全监测

5.1 一般规定

5.1.1 海上风电机组基础安全监测可分为巡视检查、变形监测、应力应变监测、振动监测、腐蚀监测和专项监测。

5.1.2 海上风电机组基础安全监测应根据风电场工程地形地质条件、水文条件和基础结构型式选取监测机位，应覆盖风电场工程各种最不利地质、水文条件，总量不应低于风电机组数量的 10%，且每种基础型式不应少于 1 台机位；巡视检查、倾斜监测、振动监测应覆盖每台风电机组基础。

5.1.3 海上风电机组基础安全监测项目应按本规范附录 C 的规定确定。

5.1.4 海上风电机组基础安全监测频次应按本规范附录 D 的规定确定。

5.2 巡视检查

5.2.1 海上风电机组基础巡视检查应包括常规巡视检查、年度巡视检查及特殊巡视检查。

5.2.2 海上风电机组基础常规巡视检查项目应包括下列内容：

- 1 钢结构有无腐蚀、裂纹、凹陷。
- 2 混凝土结构有无腐蚀、裂缝。
- 3 灌浆体有无开裂、破碎、脱落。
- 4 基础连接部件有无异常，是否出现松动、裂纹、晃动、腐蚀。
- 5 周边有无影响基础安全稳定的情况。
- 6 监测设施有无损坏，运行是否正常。

5.2.3 海上风电机组基础年度巡视检查应结合年度安全监测综合分析成果进行，并检查下列内容：

- 1 防腐蚀涂层是否破损、脱落。
- 2 阴极保护装置有无损坏或缺失。
- 3 基础表面海洋生物附着程度。

5.2.4 海上风电机组基础出现不安全迹象时，应增加巡视检查频次。

5.2.5 当风电场区遇强震、强风暴潮、常年流冰或船舶意外撞击及其他影响工程安全运行的情况，应及时对基础进行特殊巡视检查。

5.3 变形监测

5.3.1 海上风电机组基础变形监测项目宜包括基础的倾斜、沉降、裂缝开合度。

5.3.2 海上风电机组基础倾斜监测应符合下列规定：

- 1 倾斜测点应沿主导风向和垂直于主导风向布置。
- 2 采用倾斜仪监测基础倾斜时，测点宜布置在基础顶部。
- 3 采用精密水准测量方法监测基础倾斜时，测应对称、成组布置在基础顶部，不应少于两组，其中一组应沿主导风向布置，其他各组应以主导风向为基准方向均匀分布。
- 4 采用精密水准监测基础倾斜时，相邻测点的高差中误差不应超过 ± 1.0 mm。
- 5 采用倾斜仪监测基础倾斜时，倾角测量中误差不应超过 $\pm 40''$ 。

5.3.3 海上风电机组基础采用宽浅式或负压筒（桶）型基础时，宜设置基础沉降监测，布置基础沉降监测设施，监测基础沉降量及沉降速率。

5.3.4 海上风电机组基础出现疑似危害性裂缝，宜选择有代表性的裂缝布置测点，测量裂缝开合度和长度。

5.4 应力应变监测

5.4.1 海上风电机组基础应力应变监测项目可包括钢结构应变、混凝土应变、钢筋应力。

5.4.2 应力应变测点应布置在结构应力计算结果较大的区域及结构复杂、薄弱和易受损的区域，在应力状态复杂的部位，宜布置多向应变计组监测主应力。

5.4.3 钢结构应力监测分辨力不应大于 0.5 MPa，应变监测分辨力不应大于 $1 \mu\epsilon$ 。

5.5 振动监测

5.5.1 海上风电机组基础振动监测项目宜包括加速度、速度、位移。

5.5.2 振动响应测点宜布置在基础顶部法兰下部，监测方向应平行于主导风向和垂直于主导风向。

5.5.3 振动特性测点宜布置在需识别的振型关键点上，或沿竖向均匀布置。

5.5.4 振动加速度监测分辨力不应大于 0.001 g。

5.6 腐蚀监测

5.6.1 海上风电机组基础腐蚀监测项目宜包括阴极保护电位、阴极保护系统的输出电流。

5.6.2 阴极保护电位监测点宜布置在泥面以上、平均潮位以下，不宜少于 3 个测点。

5.6.3 采用外加电流阴极保护法的风电机组基础，应同步监测阴极保护电位和阴极保护系统的输出电流。

5.6.4 阴极保护电位监测分辨力不应大于 0.01 V，输出电流监测分辨力不应大于 1 mA。

5.7 专项监测

海上风电机组基础专项监测应根据工程建设环境、基础结构型式、工程安全评估需要，研究确定监测项目和内容。专项监测可包括环境量监测、基础周围海床冲刷监测、灌浆体监测、混凝土冻融监测。

6 安全监测自动化系统

6.1 一般规定

6.1.1 风电机组基础安全监测自动化系统应具备安全、可靠、维护方便、扩展性好、易于升级等特点。

6.1.2 风电机组基础安全监测自动化系统的软硬件接口应统一规划。

6.2 系统设计

6.2.1 风电机组基础安全监测自动化系统设计应包括监测传感器、数据采集装置、网络通信设备、供电及防雷设备、计算机及外部设备和安全监测软件等内容。

6.2.2 风电机组基础安全监测的长期监测点应纳入自动化系统，其他监测点可视需要接入。

6.2.3 风电机组基础安全监测自动化系统网络拓扑结构可采用星型、环型、总线型或混合型。

6.2.4 风电机组基础安全监测自动化系统监测站应满足下列要求：

1 应以风电机组为基本单元进行设置，宜布置在塔架内部；布置在塔架外时应设置防护措施。

2 与监测管理中心之间的通信宜采用风电场已有的专用通信网络，并纳入风电场网络安全统一设计。

3 现场供电设备应由配电柜专用电源供电，并配置防雷、稳压及过电压保护装置。

4 接地应与风电机组的防雷接地网可靠连接。

6.2.5 风电机组基础安全监测自动化系统各传感信号及通信线缆应采取抗干扰防护措施。

6.2.6 风电机组基础安全监测自动化系统宜为其他相关系统交换数据开放数据接口。

6.3 系统功能及性能

6.3.1 风电机组基础安全监测自动化系统的基本功能应满足下列要求：

1 具有在线采集和离线自动采集的功能。

2 具有现场数据通信与远程数据通信功能。

3 具有掉电数据保护与自动重启功能。

- 4 具有自检、自诊断功能。
- 5 具有人工比测功能。
- 6 具有数据存储、管理及备份功能。
- 7 安全监测软件具有数据采集、信息管理、数据分析及超限预警等功能。
- 8 具有网络安全防护功能。

6.3.2 风电机组基础安全监测自动化系统的基本性能应符合下列规定：

- 1 数据采集准确度不应低于所测对象监测准确度的要求。
- 2 静态采集频次应为 1 min~90 d，动态采集频次应为 1 Hz~50 Hz，可设置。
- 3 具有离线存储功能，存储容量不应少于 30 d 的数据量。
- 4 系统平均无故障时间不应小于 6300 h。
- 5 数据采集缺失率不应大于 3 %。
- 6 数据采集装置内置防雷电感应不应小于 1500 W。
- 7 掉电运行时间不应小于 7 d。
- 8 通信接口应为通用标准接口，并提供通信软件接口或开放通信规约。
- 9 适用工作环境的温度应为-10℃~50℃，相对湿度应小于 95 %。

7 监测资料整编与综合分析

7.1 一般规定

7.1.1 风电机组基础安全监测资料整编与综合分析应收集监测系统建设资料、环境量监测资料和机组运行相关资料，海上风电机组基础安全监测资料整编与综合分析还应收集海洋水文要素资料。

7.1.2 风电机组基础安全监测资料应及时录入监测信息管理系统，进行整理、分析和校对。监测数据出现异常时应分析原因，必要时应进行现场校对或复核，并记录有关情况。整编成果应定期进行综合分析，形成报告并存档。

7.2 监测资料整编

7.2.1 风电机组基础安全监测巡视检查资料、原始记录、监测物理量、初测值、初始值、基准值、统计分析资料和图表等应进行合理性检查和可靠性检验。

7.2.2 风电机组基础安全监测资料应定期整编，整编成果应正确完整、连续可靠、规格统一。

7.3 监测资料综合分析

风电机组基础监测资料综合分析应根据变形、应力应变、振动、腐蚀等监测资料和地质条件，结合巡视检查、环境量等因素，及时提出风电机组基础运行性态的结论和建议。

附录 A 陆上风电机组基础安全监测项目

表A 陆上风电机组基础安全监测项目

| 监测类别 | 监测项目 | 风电机组基础设计级别 | | |
|--------|---------|------------|----|----|
| | | 甲级 | 乙级 | 丙级 |
| 巡视检查 | 基础及周边环境 | ● | ● | ● |
| 变形监测 | 基础沉降 | ● | ● | ☆ |
| | 倾斜 | ● | ● | ○ |
| | 接缝 | ○ | ○ | ○ |
| | 裂缝开合度 | ○ | ○ | ○ |
| 应力应变监测 | 基底压力 | ○ | ○ | ○ |
| | 锚栓应力 | ○ | ○ | ○ |
| | 锚杆应力 | ○ | ○ | ○ |
| | 锚索荷载 | ○ | ○ | ○ |
| 专项监测 | 振动监测 | ○ | ○ | ○ |
| | 强震监测 | ○ | ○ | ○ |
| | 腐蚀监测 | ○ | ○ | ○ |

注：1 ● 为必设项目；

2 ○ 为可选项目；

3 ☆ 基础设计级别为丙级的复合地基基础或受地表水、海边潮水或地下水等水环境变化影响的地基基础，应进行基础沉降观测。

附录 B 陆上风电机组基础安全监测频次

表 B 陆上风电机组基础安全监测频次

| 监测类别 | 监测项目 | 施工期 | 运行期 |
|--------|--------|-----------|-----------|
| 巡视检查 | 常规巡视检查 | 1次/周~1次/月 | 1次/月~1次/季 |
| | 年度巡视检查 | 1次/年 | 1次/年 |
| | 特殊巡视检查 | 按需要 | 按需要 |
| 变形监测 | 基础沉降 | 1次/月 | 1次/季~1次/年 |
| | 倾斜 | 1次/月 | 1次/季~1次/年 |
| | 接缝 | — | 1次/月~1次/季 |
| | 裂缝开合度 | — | 1次/周~1次/月 |
| 应力应变监测 | 基底压力 | 1次/月 | 1次/月 |
| | 锚栓应力 | 1次/月 | 1次/月 |
| | 锚杆应力 | 1次/月 | 1次/月 |
| | 锚索荷载 | 1次/月 | 1次/月 |
| 专项监测 | 振动监测 | — | 动态实时监测 |
| | 强震监测 | — | 动态实时监测 |
| | 腐蚀监测 | — | 1次/季 |

注：1 表中频次为正常情况下的最低要求。发生强震、较大风况、严重冰冻及冻融等特殊事件之后，应及时增加测次；

2 采用自动化方式监测时，最低频次为1次/天；

3 当变形未收敛时，频次应取上限；趋于稳定时可取下限；

4 基础沉降和倾斜监测应在机组安装前取得初始值，在基础建成后观测1次，在风电机组安装前后各观测1次。

附录 C 海上风电机组基础安全监测项目

表C 海上风电机组基础安全监测项目

| 监测类别 | 监测项目 | |
|--------|-------------|---|
| 巡视检查 | 基础及周边环境 | ● |
| 变形监测 | 倾斜 | ● |
| | 基础沉降 | ○ |
| | 裂缝开合度 | ○ |
| 应力应变监测 | 钢结构应变 | ☆ |
| | 混凝土应变 | ☆ |
| | 钢筋应力 | ☆ |
| 振动监测 | 振动加速度 | ● |
| | 振动速度 | ○ |
| | 振动位移 | ○ |
| 腐蚀监测 | 阴极保护电位 | ☆ |
| | 阴极保护系统的输出电流 | ○ |
| 专项监测 | 环境量监测 | ○ |
| | 基础周围海床冲刷监测 | ○ |
| | 灌浆体监测 | ○ |
| | 混凝土冻融监测 | ○ |

注：1 ● 为必设项目；

2 ○ 为可选项目；

3 ☆ 为典型机位的必设项目，监测机位总量不应低于风电机组数量的 10%，且每种基础型式不应少于 1 台机位。

附录 D 海上风电机组基础安全监测频次

表 D 海上风电机组基础安全监测频次

| 监测类别 | 监测项目 | 施工期 | 运行期 |
|--------|-------------|-----------|------------|
| 巡视检查 | 常规巡视检查 | 1次/月~1次/季 | 1次/季~1次/半年 |
| | 年度巡视检查 | 1次/年 | 1次/年 |
| | 特殊巡视检查 | 按需要 | 按需要 |
| 变形监测 | 倾斜 | 1次/月~1次/季 | 实时监测 |
| | 裂缝开合度 | 按需要 | 按需要 |
| | 基础沉降 | | |
| 应力应变监测 | 钢结构应变 | 1次/月~1次/季 | 1次/天 |
| | 混凝土应变 | 1次/月~1次/季 | 1次/天 |
| | 钢筋应力 | 1次/月~1次/季 | 1次/天 |
| 振动监测 | 振动加速度 | 按需要 | 实时监测 |
| | 振动速度 | 按需要 | 按需要 |
| | 振动位移 | | |
| 腐蚀监测 | 阴极保护电位 | 1次/月~1次/季 | 1次/季~1次/半年 |
| | 阴极保护系统的输出电流 | 1次/月~1次/季 | 1次/季~1次/半年 |
| 专项监测 | 环境量监测 | 按需要 | 按需要 |
| | 基础周围海床冲刷监测 | | |
| | 灌浆体监测 | | |
| | 混凝土冻融监测 | | |

注：1 表中频次为正常情况下的最低要求。遇强震、强风暴潮、常年流冰或船舶意外撞击等情况后，应增加测次；

- 2 应力应变监测应进行自动化监测，可根据传感器和数据采集装置性能适当加密测次；
- 3 倾斜监测应进行低频动态监测，采样频率不宜低于 2 Hz；
- 4 振动监测应进行低频动态监测，采样频率不宜低于 10 Hz。

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准目录

《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897

中华人民共和国能源行业标准
风电场工程风电机组基础安全监测设计规范

NB/T 10920—2022

条文说明

制 定 说 明

《风电场工程风电机组基础安全监测设计规范》NB/T 10920—2022 经国家能源局 2022 年 5 月 13 日以第 4 号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组在广泛调查、深入研究的基础上，总结了我国风电机组基础安全监测设计的实践经验，吸收了近年来风电机组基础安全监测设计所取得的科技成果。

为便于广大设计、施工、科研和学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《风电场工程风电机组基础安全监测设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 3 基本规定..... | 24 |
| 4 陆上风电机组基础安全监测..... | 25 |
| 4.3 变形监测..... | 25 |
| 4.4 应力应变监测..... | 25 |
| 4.5 专项监测..... | 25 |
| 5 海上风电机组基础安全监测..... | 26 |
| 5.2 巡视检查..... | 26 |
| 5.3 变形监测..... | 26 |
| 5.4 应力应变监测..... | 26 |
| 5.5 振动监测..... | 26 |
| 5.6 腐蚀监测..... | 27 |
| 5.7 专项监测..... | 27 |
| 6 安全监测自动化系统..... | 28 |
| 6.2 系统设计..... | 28 |
| 6.3 系统功能及性能..... | 28 |
| 7 监测资料整编与综合分析..... | 29 |
| 7.1 一般规定..... | 29 |
| 7.2 监测资料整编..... | 29 |
| 7.3 监测资料综合分析..... | 29 |

3 基本规定

3.0.3 《陆上风电场工程风电机组基础设计规范》NB/T 10311—2019 根据风电机组的单机容量、轮毂高度和地基复杂程度，将地基基础划分为甲级、乙级、丙级三个设计级别。

3.0.10 参考全文强制性标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003—2021 第 8.4.8 条制定。

4 陆上风电机组基础安全监测

4.3 变形监测

4.3.3 采用精密水准或静力水准测量基础倾斜，通过测定差异沉降来计算基础倾斜值及倾斜方向。同时规定了变形监测项目允许误差的最低要求，主要依据目前普遍采用的方法实际可以达到的精确度，并适当兼顾变形量的数值。

4.4 应力应变监测

4.4.3 风电机组基础基底压力包括上部结构传来的竖向力、基础自重、回填土重等，通过监测风电机组基础基底应力的变化情况，可以了解基底应力是否在设计允许的基础承载力范围内，结合测缝计等监测资料评价基础与地基是否张开等。风电机组基底压力测点沿主导风向至少布置 1 组，对于大型、新型或需要进行科研试验、反演计算的风电机组，可以沿主导风向布设多支监测仪器，监测基底压力沿主导风向的应力分布规律。

4.5 专项监测

风电机组运行过程中如出现明显振动，严重影响基础结构或运行安全，需要开展专项振动监测。振动测点的安装位置根据实际运行情况和设计计算结果确定。

根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2015 划分的环境类别，针对处于三类及以上环境中的风电机组基础，需论证现有设计方案或防护措施在防腐蚀方面的运行效果，做专项腐蚀监测，腐蚀监测包括混凝土中氯离子含量、PH 值变化、混凝土电阻率变化、混凝土内钢筋锈蚀速率等。

5 海上风电机组基础安全监测

5.2 巡视检查

5.2.1~5.2.5 巡视检查是监视风电机组基础运行性态的一种重要方法。风电机组基础的一些异常现象，通过巡视检查可以及时发现，如基础结构、连接件的腐蚀、裂缝、涂层脱落、海洋生物附着等情况，这些缺陷在仪器上常常反映不出；并且，当前仪器是采用单点监测的方法，很难做到监测部位是破坏部位。因此仅开展仪器监测是不够的，还需同时开展巡视检查。

常规巡视检查一般与运维巡视检查工作同步进行。常规巡视检查一般没有条件对水下部位进行检查，在年度巡视检查中需要重点对常规巡视检查未涉及的区域或设施进行检查。

特殊巡视检查，在出现影响工程安全的情况后，可以在天气及交通允许的情况下及时开展。

5.3 变形监测

5.3.1~5.3.2 海上风电场可达性差，同时基础又长期处于风浪流等动荷载作用下，基础倾斜需进行动态监测。因施工期难以提供传感器和数据采集装置所需电源，可以采用精密水准测量方法，通过测定差异沉降来计算基础倾斜值及倾斜方向。

5.3.3 因高桩承台、单桩等型式基础的总沉降量普遍较小，且海上监测条件差，目前基本以基础倾斜为安全控制要求，并且沉降监测经验不多，一般不进行基础沉降监测。针对宽浅式、负压筒（桶）型等新型基础，基础总沉降量较大时，可能会影响工程安全，需要监测此类基础的沉降量。

5.4 应力应变监测

5.4.1~5.4.2 为深入分析结构应力，可以同步监测基础结构所受的外荷载，如土压力、渗流力、波流力、冰压力、靠船力等。海上风电机组固定式基础结构型式有高桩承台、单桩、导管架、重力式、负压筒（桶）型等。建议对高桩承台基础的承台混凝土、钢筋、基础环，应力应变较大、应力较集中的关键或薄弱部位进行应力应变监测；建议对单桩嵌岩填芯混凝土基础嵌岩段钢筋应力进行监测；导管架、重力式、负压筒（桶）型基础根据结构特点、结构设计计算结果较大和受力不利的重要节点进行针对性布置。

5.5 振动监测

5.5.1 振动信号需要进行时域和频域分析，并获得基础的振动最大峰值、振动主频值及其变化情况，作为基础振动异常的判据之一，同时排除基础与风电机组发生共振的风险。

5.5.2 振动测点除在基础顶部布置外，还可以根据监测目的和设计计算成果在结构敏感区域布置测点，以便振动实测值与理论计算结果相互印证。

5.5.3 风电机组基础振动监测以振动响应监测为主，如需进行振型、高阶固有频率等模态特性分析时，可以参考《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982—2014 第 4.5.6 条制定。

5.6 腐蚀监测

5.6.1 钢筋混凝土结构如需进行腐蚀监测，可以通过监测混凝土中氯离子含量、PH 值及钢筋锈蚀速率等参数了解钢筋混凝土的劣化情况。

5.6.3 外加电流阴极保护系统需要持续不断的外部电源供给，如电流不满足要求，则会影响阴极保护效果。采用外加电流阴极保护法时，阴极保护电位和阴极保护系统的输出电流需要同步进行自动化监测。

5.7 专项监测

环境量监测包括波浪要素、风速、风向、海流流速、海流流向、海冰、气温、湿度、水温等，可以从海洋水文及气象等环境监测系统获取监测数据或根据需要布置合适的监测传感器。

基础周围海床冲刷监测主要监测风电机组基础中心半径 50m 范围内海底底质及冲刷变化情况，在基础建成后的 1 个月、3 个月和半年内各监测 1 次，此后在强海潮期后进行监测，且每年不少于 1 次，对于深海区海床较稳定的基础可以根据监测成果适当降低监测频率。

6 安全监测自动化系统

6.2 系统设计

6.2.2 风电机组基础安全监测点通常分为施工期监测点、运行期监测点及开展科学研究的监测点。施工期监测点一般无需纳入自动化系统；需要长期进行监测的运行期监测点，应该纳入自动化系统；科研监测点则视科研开展的需要纳入自动化系统。

6.2.4 风电机组基础安全监测自动化系统中的采集计算机、服务器（视需要可以兼做采集计算机）、打印机等自动化设备一般都集中设置在监测管理中心。

6.3 系统功能及性能

6.3.1 设置人工比测的目的是，当自动化系统发生故障时，可以通过系统的人工比测功能（接口），使用便携式采集仪表继续采集监测仪器的数据；在自动化系统试运行期间，可以通过该功能定期（如每半年）进行人工比测，以检查监测自动化系统的采集数据与便携式仪表的采集数据是否一致。

6.3.2 系统平均无故障工作时间（MTBF）是指两次相邻故障间的正常工作时间（短时间可恢复的不计）。数据采集单元不能正常工作，造成所控制的单个或多个测点测值异常或停测，称为采集单元发生故障。

在考核期内，平均无故障时间可按下式计算：

$$MTBF = \left(\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{1+r_i} \right) / n \quad (6-1)$$

式中：

t_i ——考核期内，第 i 个测点或采集单元的正常工作时数；

r_i ——考核期内，第 i 个测点或采集单元出现的故障次数；

n ——系统内测点或数据采集单元总数。

7 监测资料整编与综合分析

7.1 一般规定

7.1.1 海洋水文资料包括海水温度、盐度、密度、波浪要素、海流流速流向、海冰等数据。

7.2 监测资料整编

7.2.1 监测数据的检查、检验内容包括：

- 1 作业方法是否符合规定。
- 2 观测记录是否正确、完整、清晰。
- 3 各项检验结果是否在限差以内。
- 4 是否存在粗差。
- 5 是否存在系统误差。
- 6 监测仪器的初测值、初始值、基准值的取值方法是否正确、合理。

7.2.2 对监测量进行稳定性、相关性、一致性、对称性、合理性等方面的检查分析。判断监测效应量的变化是否正常，找出监测效应量的主要影响因素，初步判断异常测值产生的原因，为进一步深入的定量分析提供基础。

7.3 监测资料综合分析

风电机组基础监测资料综合分析的最终目的是提出风电机组基础运行性态的结论和建议，以此为风电机组基础安全运行提供决策依据。

监测资料综合分析包括监测效应量的时程变化过程分析、特征值统计分析、相关性分析、对比分析、时空分布分析等内容。

一般采用经验法和模型法对风电机组基础运行性态进行分析判断，以风电机组基础正常运行性态为基准，采用定量和定性相关指标对风电机组基础运行性态进行描述。