

ICS 27.180
P 61

NB

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 11085-2023

海上风电场工程结构安全监测 建设规范

Code of Construction for Structural Safety Monitoring of Offshore Wind
Power Projects

2023-02-06 发布

2023-08-06 实施

国家能源局发布

中华人民共和国能源行业标准
海上风电场工程结构安全监测建设规范

Code of Construction for Structural Safety Monitoring of Offshore Wind
Power Projects

NB/T 11085-2023

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：2023年08月06日

中国水利水电出版社

2023 北京

国家能源局

公告

2023年 第01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《高压直流保护测试设备技术规范》等168项能源行业标准、《Code for Design of Underground Steel Bifurcated Pipe with Crescent Rib of Hydropower Stations》等20项能源行业标准外文版、《防水材料用沥青》1项能源行业标准修改通知单，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局

2023年02月06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
...						
35	NB/T 11085-2023	海上风电场工程结构安全监测建设规范			中国水利水电出版社	2023-02-06
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2019 年能源领域行业标准制（修）定计划的通知》（国能综通科技〔2019〕58 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，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、环境监测、变形监测、振动监测、应力应变及渗流监测、防腐蚀监测、冲刷监测、监测系统、监测资料整编和分析。

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：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

浙江华东测绘与工程安全技术有限公司

本规范参编单位：中国三峡新能源有限公司

福建永福电力设计股份有限公司

中国海洋大学

国家电投集团广东电力有限公司

上海绿色环保能源有限公司

重庆大学

本规范主要起草人员：李 炜 周 胡 刘 强 占晓明 王 滨

金 波 刘福顺 吕鹏远 游先辉 李君军

乔 厚 林子义 陆艳艳 孙震洲 郑 涛

熊 根 杨江浩 刘玉帅 刘 兵 欧寅华

常 爽 张 翼 张开华 王宇航 何永华

张智伟 阳 洋

本规范主要审查人员：谢宏文 赵生校 郭珍妮 何 伟 程正飞

甘 毅 何先龙 王 宵 金 超 李守雷

邬昱昆 胡建忠 赵志勇 张礼兵 刘爱龙

官春光 储华平 李 昕 和庆冬 徐海巍

杨 博 颜爱军 李仕胜

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	4
4	环境监测	6
4.1	一般规定	6
4.2	监测设计	6
4.3	监测设施及其安装要求	6
5	变形监测	7
5.1	一般规定	7
5.2	监测设计	7
5.3	监测设施及其安装要求	7
5.4	监 测	8
6	振动监测	9
6.1	一般规定	9
6.2	监测设计	9
6.3	监测设施及其安装要求	9
6.4	监 测	9
7	应力应变及渗流监测	10
7.1	一般规定	10
7.2	监测设计	10
7.3	监测设施及其安装要求	10
7.4	监 测	11
8	防腐蚀监测	13
8.1	一般规定	13
8.2	监测设计	13
8.3	监测设施及其安装要求	13
8.4	监 测	13
9	冲刷监测	14

9.1	一般规定.....	14
9.2	监测设计.....	14
9.3	数据采集与解析.....	15
10	监测系统.....	16
10.1	一般规定.....	16
10.2	结构健康监测系统信息.....	16
10.3	结构健康监测系统功能.....	17
10.4	结构健康监测系统主要技术要求.....	18
10.5	结构健康监测系统安全性与适应性.....	19
10.6	系统运行维护.....	19
11	监测资料整编和分析.....	20
11.1	一般规定.....	20
11.2	监测资料整编.....	20
11.3	监测综合分析.....	20
附录 A	海上风电场工程结构安全监测项目分类和选择、项目测次、监测分辨力.....	22
	本规范用词说明.....	25
	引用标准名录.....	26
	附：条文说明.....	27

CONTENTS

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements.....	4
4	Environment Monitoring.....	6
4.1	General Requirements	6
4.2	Monitoring Design	6
4.3	Monitoring Facilities and Installation	6
5	Deformation Monitoring	7
5.1	General Requirements	7
5.2	Monitoring Design	7
5.3	Monitoring Facilities and Installation	7
5.4	Monitoring.....	8
6	Vibration Monitoring.....	9
6.1	General Requirements	9
6.2	Monitoring Design	9
6.3	Monitoring Facilities and Installation	9
6.4	Monitoring.....	9
7	Stress Strain and Seepage Monitoring.....	10
7.1	General Requirements	10
7.2	Monitoring Design.....	10
7.3	Monitoring Facilities and Installation	10
7.4	Monitoring.....	11
8	Corrosion Monitoring.....	13
8.1	General Requirements	13
8.2	Monitoring Design.....	13
8.3	Monitoring Facilities and Installation	13
8.4	Monitoring.....	13
9	Scour Monitoring	14
9.1	General Requirements	14
9.2	Monitoring Design	14
9.3	Data Processing and Analysis	15
10	Monitoring System.....	16

10.1	General Requirements	16
10.2	System Information	16
10.3	System Functions	17
10.4	Main Technical Requirements of System.....	18
10.5	System Security and Adaptability	19
10.6	System Operation and Maintenance.....	19
11	Compilation and Analysis of Monitoring Data	20
11.1	General Requirements	20
11.2	Data Compilation.....	20
11.3	Data Analysis	20
Appendix A	Monitoring Items Classification and Selection, Frequency and Accuracy of Offshore Wind Power Projects	22
	Explanation of Wording In This Code.....	25
	List of Quoted Standards.....	26
	Addition: Explanation of Provisions	27

1 总 则

1.0.1 为规范海上风电场工程海上电气设备平台、海上风电机组支撑结构的安全监测设计、实施及成果整编分析工作，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建或扩建的海上风电场工程海上电气设备平台、海上风电机组支撑结构的安全监测设计、实施及成果的整编和分析，包括环境监测、变形监测、振动监测、应力应变及渗流监测、防腐蚀监测、冲刷监测、监测系统、监测资料整编和分析。

1.0.3 海上风电场工程结构安全监测建设，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 单桩基础 monopile foundation

采用单根桩支撑风电机组结构体系的基础型式。

2.0.2 多桩承台基础 multi-pile cap foundation

由三根或三根以上的桩和承接上部结构的承台组成的基础型式。

2.0.3 导管架基础 jacket foundation

由竖向立柱和横向、斜向连接钢管焊接结成的空间结构，与下部桩或桶共同组成支撑风电机组结构体系的基础型式。

2.0.4 吸力式基础 suction installed foundation

由顶部密封、底部开口的桶型结构组成，利用结构自重、桶内部泵出水产生的压力差形成的下沉吸力（低于一个大气压时也称负压）或其他辅助沉贯措施进行安装的支撑风电机组结构体系的基础型式。

2.0.5 监测 monitoring

在海上风电场建设与运行全生命周期，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。

2.0.6 安全监测 safety monitoring

从掌握建（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，提示建（构）筑物安全风险的工作。

2.0.7 主导风向 dominant wind direction

给定时段内出现频率最高的风向。给定时段可包括时、日、月、年等。

2.0.8 基准值 reference value

作为计算起点的测值为基准值，是风电机组发电前的基准值。

2.0.9 监控指标 monitoring indices

基于结构设计计算分析或监测资料综合分析成果确定的监测物理量及其变化速率的限值。

2.0.10 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。

2.0.11 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。

2.0.12 典型机位 typical wind turbine location

根据海上风电场工程地形地质条件、水文条件、基础结构型式、机型和单机容量等因素综合确定，覆盖海上风电场工程各种不利地质、水文条件的监测机位。

2.0.13 海上电气设备平台 offshore electrical equipment platform

用于海上风电场工程电能输送、变电、交直流转换的海上平台的总称，包括海上升压变电站、海上无功补偿站、海上换流站。

2.0.14 海上风电机组支撑结构 support structures for offshore wind turbines

由风电机组下部基础结构和塔筒组成，将上部风电机组载荷传递到海床并承受海洋环境载荷作用，以支撑风电机组转子-机舱组件的风电机组结构部件组合体。

3 基本规定

3.0.1 海上风电场工程结构的安全监测项目应根据海上风电场工程的主要建（构）筑物的结构型式、海洋环境等因素综合确定。

3.0.2 海上风电场工程结构的安全监测应符合下列规定：

1 监测仪器的布置，应结合工程实际，突出重点，兼顾全面，统筹安排相关监测项目，保证观测作业可靠有效。

2 监测仪器设备应耐久、可靠、实用、有效、先进，符合仪器设备规范要求。布设在海上电气设备平台和风电机组支撑结构内部的监测仪器设备应具有抗电磁干扰性能。

3 监测仪器设备的安装和埋设应及时，监测仪器设备电缆布线应符合现行国家标准《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》GB 50168 的规定，并按设计要求施工。

4 监测仪器设备宜优先接入自动化数据采集装置，实现自动化监测，结构响应监测和环境量宜同步监测。

3.0.3 风电机组支撑结构监测应根据其海洋环境、基础结构型式、风电机组型号分区块设计，其中典型机位总量不应低于风电机组数量的 10%。

3.0.4 不同基础型式的海上电气设备平台、风电机组支撑结构安全监测项目分类和选择、项目测次、监测分辨力应满足附录 A 要求。

3.0.5 各监测物理量的正负号应符合下列规定：

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 应力应变拉为正，压为负。

4 渗透压力及界面压应力，压为正。

3.0.6 工程项目各阶段的结构安全监测应满足以下要求：

1 设计阶段应以可行性研究阶段审批的监测方案为基础，复核可研阶段监测系统设计，提出主要部位监测方法、监测布置、电缆走线，监测仪器设备的主要技术指标和数量清单、埋设安装和监测技术要求等，监测数据的采集、传输、处理和反馈的要求，以及监测系统布置图。

2 施工阶段应提出施工详图和详细的技术要求。监测实施单位应做好监测仪器的

采购、检验、安装、调试、保护和竣工验收，并绘制竣工图，编写安装记录和竣工报告。工程竣工验收时，应将监测设施和竣工图、埋设记录和施工期观测记录，以及整理、分析报告等全部电子文档、纸质文件移交管理单位。

3 运行阶段应进行日常情况下的监测工作，定期对监测设施进行检查、维护，定期对监测资料进行整理和分析，对风电机组结构的运行状态作出评价，建立监测技术档案。

3.0.7 各类监测仪器设备和电缆的性能和质量应满足监测项目的需要并能适应海洋环境。在监测仪器设备安装和埋设前应做好仪器的标定和连接电缆的电气检查，同时应做好相应的编号、标识。

3.0.8 监测仪器设备底座及其他附件的安装不应影响主体工程钢结构防腐、防火性能，位置宜避开结构主焊缝 500 mm。

3.0.9 各类监测仪器设备安装完成后应根据周围介质特性、仪器的性能及周围环境等，从初期各次合格的观测值中确定计算基准值。

3.0.10 海上电气设备平台、风电机组支撑结构遭受强烈碰撞、地震及台风等工况时应加强观测，并分析特殊工况对结构安全的影响。

3.0.11 海上风电场工程风电机组基础安全监测设计应符合现行行业标准《风电场工程风电机组基础安全监测设计规范》NB/T 10920 的有关规定。

4 环境监测

4.1 一般规定

4.1.1 环境监测内容主要包括风电机组运行期间所遭受到的海洋环境因子，含海流、海浪、潮汐、海冰等海洋水文要素，以及海面风、气温、气压、湿度等气象要素。

4.1.2 环境监测应根据场址的海洋水文资料，选取具有代表性的机位，合理确定监测设备的安装位置。

4.2 监测设计

4.2.1 测风设备的布置应符合现行行业标准《海上风电场工程风能资源测量及海洋水文观测规范》NB/T 31029 的规定。当监测系统能获取风电机组数据采集与监视控制系统（SCADA）的数据时，可取消对测风测量设备的布置要求。

4.2.2 波浪和潮位测量设备的布置宜符合下列规定：

1 波浪监测要素包括波高、波向和波周期。

2 设备支架宜固定于水面宽阔处的风电机组或海上电气设备平台基础外平台主梁外侧，探头对准来浪向波面，设备布置位置应尽量避免开岛屿、暗礁遮挡。

4.2.3 海流测量设备的布置应结合具体海流测量原理和技术确定。

4.3 监测设施及其安装要求

4.3.1 测风设备的安装应符合现行行业标准《海上风电场工程风能资源测量及海洋水文观测规范》NB/T 31029 的规定。

4.3.2 波浪监测设备底座宜采用焊接的方式固定。

4.3.3 海流监测设备安装位置应保证测量的流速剖面不受结构主体及附属构件的影响，安装方式应根据测量原理和技术确定。

4.3.4 潮位监测宜结合波浪监测设备安装。

5 变形监测

5.1 一般规定

5.1.1 变形监测项目应包括沉降和倾斜，监测范围宜包含海上电气设备平台、风电机组支撑结构。

5.1.2 海上电气设备平台以及多桩承台、导管架、吸力式导管架、复合筒类型的风电机组基础宜进行不均匀沉降监测，具备条件时应进行绝对沉降监测。

5.1.3 海上电气设备平台及风电机组支撑结构均应布置倾斜测点。

5.2 监测设计

5.2.1 基础沉降测点布置应符合下列规定：

- 1 海上电气设备平台沉降测点宜布置在上部组块的主立柱上。
- 2 宽浅式或有负压的吸力式基础，宜在基础顶部四周以主导风向为基准方向间隔 90° 布置。

5.2.2 倾斜测点布置应符合下列规定：

- 1 海上电气设备平台上部组块倾斜测点宜布置在底层及顶层平台的主立柱上，数量不宜少于2个。
- 2 风电机组基础倾斜测点宜布置在基础顶法兰以下50 cm~80 cm或混凝土承台处；风电机组塔筒倾斜测点宜布置在顶法兰以下50 cm~80 cm处。
- 3 倾斜测点安装的基准方向宜为主导风向。

5.3 监测设施及其安装要求

5.3.1 海上电气设备平台与风电机组的倾斜应选择动态双向倾角仪进行监测。

5.3.2 倾角仪的安装底座宜采用焊接方式安装，安装底座的水平度应满足仪器设备安装精度要求；禁焊区宜采用射钉、粘接等不影响主结构应力的方式进行固定。

5.3.3 海上电气设备平台和监测机位的基础不均匀沉降监测，宜采用静力水准仪自动监测，并采用精密水准法校验。

5.3.4 安装在不同高程的倾角仪应保持安装方向一致，偏差应小于 3° 。

5.3.5 静力水准仪两端安装底座的顶部高差应小于10 mm，安装底座面应水平；安装连通管时，应将水管中气泡全部排除。

5.4 监 测

5.4.1 沉降监测可采用精密水准测量方法或静力水准仪法。

5.4.2 水准测量技术要求应符合现行国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897的规定。

5.4.3 每半年应对静力水准仪及附属设施进行一次现场检查，检查内容应包括管路的完好性、测点液面高度等。热带气旋、地震等特殊工况后，宜增加检查频次。

6 振动监测

6.1 一般规定

- 6.1.1 海上电气设备平台及风电机组支撑结构均应布置振动测点。
- 6.1.2 振动监测项目宜包括海上电气设备平台、风电机组支撑结构的加速度、速度、位移。
- 6.1.3 安装在室外的振动测点应采用防腐保护罩进行保护。

6.2 监测设计

- 6.2.1 海上电气设备平台的振动测点宜布置在底层及顶层平台的主立柱上，数量不少于 2 组，各组测点的安装方向应保持一致。
- 6.2.2 风电机组支撑结构振动测点的布置应符合下列规定：
 - 1 风电机组支撑结构振动测点宜布置在基础顶法兰以下 50 cm~80 cm 或混凝土承台处；典型机位的每节塔筒连接法兰处应布置 1 组振动测点。
 - 2 振动测点的安装方向宜以主导风向作为基准方向，并与倾斜测点的安装方向保持一致。

6.3 监测设施及其安装要求

- 6.3.1 振动监测设备应选择双向或三向振动传感器。
- 6.3.2 振动监测设备应制作安装底座，底座安装宜采用焊接方式安装，水平度应满足仪器设备安装精度要求。禁焊区宜采用射钉、粘接方式固定。
- 6.3.3 数据采集装置的内部存储容量不宜小于 1GB/通道。
- 6.3.4 不同高程处的振动传感器安装方向宜保持一致。

6.4 监测

振动传感器应接入自动化数据采集装置，并实时传送监测数据。

7 应力应变及渗流监测

7.1 一般规定

7.1.1 应力应变及渗流监测项目宜包括钢结构应力、混凝土应力应变、钢筋应力、土压应力、冰压应力、渗透压力。

7.1.2 应力应变及渗流监测宜与变形监测和振动监测项目相结合布置，重要的物理量宜布设互相验证的监测仪器设备。

7.2 监测设计

7.2.1 竖向立柱、横向联接钢管、斜向联接钢管各组合的连接焊缝附近等结构受力较大部位、灌浆连接段应进行应力监测。

7.2.2 采用嵌岩桩时，应根据基桩嵌岩型式对嵌岩段结构的应力应变进行监测。

7.2.3 单桩基础宜在基础顶法兰以下 50 cm~80 cm 处布置一个钢结构应力监测断面，每个断面以主导风向为基准方位，沿环向每间隔 90° 布置一个测点。

7.2.4 多桩承台基础宜对承台混凝土、钢筋、基础环等进行应力应变监测，测点宜布置在关键或薄弱部位。

7.2.5 单桶型吸力式基础应根据结构特点、设计结构计算成果对基础应力进行监测；应对基础面以下分舱桶内外壁受压部位的渗透压力进行监测，监测点的位置应同土压应力测点相结合。

7.3 监测设施及其安装要求

7.3.1 混凝土内应力应变仪器埋设时，应取得混凝土的配合比、不同龄期的弹性模量、热膨胀系数等相关资料。

7.3.2 钢筋计、钢板应力计埋设宜采用焊接法。焊接时应采取降温措施，仪器内的温度不应超过 60℃。

7.3.3 钢板应力计应根据设计位置预先将钢板应力计的夹具焊接在被测结构表面，然后将仪器的两端用夹具加紧。安装时应使传感器的读数与初始读数变化小于 50 $\mu\epsilon$ 。

7.3.4 应变计应使用专用仪器支座、支杆，并在钢筋绑扎后随混凝土浇筑进行。应变计埋设时，根据埋设部位应预调出其测量量程的 30%~50%。

7.3.5 无应力计埋设时，宜使其隔离筒大口向上，隔离筒内的混凝土应采用与仪器周围

同样的混凝土并振捣密实。

7.3.6 钢筋计及其安装埋设应符合下列要求：

- 1 钢筋计的直径，应等于被测钢筋的直径。
- 2 钢筋计的焊接可采用对焊、坡口焊或熔槽焊，焊接后应与受力钢筋保持在同一轴线上，可在钢筋加工场预焊或在现场截下被测的钢筋就地焊接。

7.3.7 压应力计及其安装埋设应符合下列要求：

- 1 安装表面应平整、光滑，且与仪器承压面密切结合。
- 2 应保证仪器的正确位置和方向。

7.3.8 渗压计安装前应将渗压计透水石取下，渗压计和透水石同置于水中浸泡 2 h 以上，透水石的安装应在饱和水中进行，再在测头上包上装有干净的饱和细砂袋，使仪器进水口通畅。

7.3.9 监测仪器设备埋设时，应记录仪器及电缆埋设参数及附近浇筑混凝土和环境条件，安装后应做好标识和保护。

7.4 监测

7.4.1 应按规定的测次和时间进行监测，测次见附录 A.0.2。各种相互有关的监测项目，应同时监测。

7.4.2 使用人工测量仪表进行测读时，每月应对仪表进行工作状态检查。如需更换仪表时，应先检验是否有互换性。

7.4.3 应及时填写观测记录，注明仪器异常、仪表或装置故障，电缆截短或接长及接线箱检修等情况。

7.4.4 仪表和设备应妥加保护，应防止电缆的编号牌锈蚀、混淆或丢失。电缆长度不得随意改变，必须改变时应记录改变长度前后的测值，并做好记录。

7.4.5 仪器埋设后，应及时测读，根据结构特性和仪器性能，从初期各次合格的监测值中选定计算基准值，并应符合下列规定：

- 1 应变计、无应力计安装好后，选取 24 h 至 48 h 内测值平稳，有规律的时刻为计算基准时间，其测值为计算基准值。每组应变计组各支仪器和对应的无应力计需取同一基准时刻的测值。

- 2 钢筋计安装好后，混凝土浇筑前的读数为计算基准值（独立测读 3 次，合格后取测读 3 次的平均值）。

3 钢板应力计安装好后的读数为计算基准值（独立测读 3 次，合格后取测读 3 次的平均值）。

4 压应力计安装好后的读数为计算基准值（独立测读 3 次，合格后取测读 3 次的平均值）。

5 渗压计安装埋设前在施工现场的读数为计算基准值（独立测读 3 次，合格后取测读 3 次的平均值）。

8 防腐蚀监测

8.1 一般规定

8.1.1 海上电气设备平台、风电机组支撑结构防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。

8.1.2 采用外加电流阴极保护的海上电气设备平台、风电机组支撑结构基础，应同时监测阴极保护电位和阴极保护系统的输出电流。

8.2 监测设计

阴极保护电位监测，宜在浪溅区、平均海平面、最低潮面至泥面以上位置分别布置至少 1 个参比电极。

8.3 监测设施及其安装要求

8.3.1 阴极保护电位监测宜采用高纯度锌参比电极和银/氯化银参比电极，参比电极的性能应符合现行国家标准《船用参比电极技术条件》GB/T 7387 的有关规定。

8.3.2 参比电极的安装埋设应符合下列规定：

1 参比电极固定支座应在主体结构或附属构件制作、海上电气设备平台基础制作时焊接安装，并采用与桩体结构相同的防腐措施。

2 参比电极电缆和监测电缆应采用屏蔽电缆，电缆导体截面积不应小于 2.5 mm^2 ，仪器接长电缆宜采用钢管保护并做好防腐措施。

8.3.3 参比电极安装时应采用橡胶垫、四氟垫等绝缘材料做好传感器与钢结构之间的绝缘处理，并保证其与海水的连通。

8.4 监测

8.4.1 每个阴极保护单元构件的阴极保护电位应进行现场检测，检测方法应符合现行行业标准《海上风电场工程防腐蚀设计规范》NB/T 10626 的有关规定。

8.4.2 参比电极的电位读数应满足设计要求，并采用便携式参比电极对钢结构进行一次全面保护电位检测。

8.4.3 保护电位监测宜优先采用自动化监测手段，人工监测宜使用阻抗大于 $10 \text{ M}\Omega$ 、分辨率不低于 0.001 V 的数字万用表或其他电位监测设备。

9 冲刷监测

9.1 一般规定

9.1.1 冲刷监测内容应包括海上电气设备平台、风电机组基础外缘 50 m 范围内地形变化、附属设施状态。

9.1.2 冲刷监测应收集项目设计资料、施工资料、海洋环境资料、已有监测成果及与工程建设有关的其他资料。

9.2 监测设计

9.2.1 冲刷监测宜选用多波束法、三维声呐法、单波束法、无人机航空摄影测量、水下摄像法。

9.2.2 露滩区冲刷监测宜采用无人机航空摄影测量，附属设施状态核查宜采用无人机航空摄影或水下摄像方法。

9.2.3 浅水区冲刷监测宜采用单波束法，附属设施状态核查宜采用水下摄像法。

9.2.4 深水区冲刷监测及附属设施状态核查宜采用多波束法、三维声呐法或水下摄像法。

9.2.5 多波束法、三维声呐法、单波束法宜采用走航式连续测量方式，并应符合下列规定：

1 换能器宜安装在船身前部 1/2~1/3 位置处，入水深度宜为 0.3 m~0.8 m，入水深度应精确量至 10 mm；

2 定位中心应与换能器中心设置在一条垂线上，偏差不宜超过定位精度的 1/3。

9.2.6 冲刷监测定位宜采用卫星定位实时动态 RTK 技术、实时码差分 RTD 技术或后处理载波相位差分技术，并应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定。

9.2.7 单波束、多波束及三维声呐法测量过程应符合下列规定：

1 每次测量前后，应在测区平静水域进行测深比对，并应求取测深仪的总改正数。

2 测量过程中应测量水温及水中含盐度用于深度改正；

3 测量过程中船体前后左右摇摆幅度不宜过大；当风浪引起的回声线波形起伏值大于 0.5 m 时，宜暂停作业。

9.2.8 无人机航空摄影测量应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 的相关规定。

9.2.9 水下摄像法宜采用潜水员、水下有缆机器人或潜航器携带光学或声学设备抵近摄像，并应符合下列规定：

- 1 水质较清澈时宜采用光学设备，水质浑浊时宜采用声学设备。
- 2 采用潜水员进行人工摄像时应有影音同步功能，采用水下有缆机器人或潜航器摄像时应搭载定位传感器。
- 3 水下摄像成果应清晰直观，能体现检查目标的位置、形态信息。

9.3 数据采集与解析

9.3.1 冲刷监测数据采集与解析内容应包括定位数据、测深数据、信号数据和图像数据。

9.3.2 多波束和三维声呐数据采集与解析应对定位数据中的突变点、罗经数据中的航向异常变化和姿态传感器数据中的船姿跃变等编辑、改正；应根据坡度、深度、信噪比等对深度数据进行滤波处理；水深应进行水位校正；宜绘制三维地形图并进行解析。

9.3.3 数据分析时，应根据冲刷监测数值、影像、信号特征，确定海底冲刷沟的位置、规模、深度及冲刷沟内底质类型；宜根据历史资料分析基础冲刷现象的演变。

9.3.4 数据分析时，宜根据海上电气设备平台、风电机组基础外缘 50 m 范围内相对高差的变化量对基础周边的冲刷程度和地形起伏情况进行评价，并应符合以下规定：

- 1 抛填法防冲刷保护效果评价宜分为完好、较完好、可识别、不易识别。
- 2 固化土防冲刷保护效果评价宜分为完好、良好、一般、不理想。
- 3 土工布类防冲刷保护效果评价宜分为完整、较完整、可识别和不易识别无防护。

9.3.5 成果图表应包括工作布置图、三维色谱图，平面图、航迹图、监测成果表、统计分析表。

10 监测系统

10.1 一般规定

10.1.1 监测系统应包括安全监测自动化系统和结构健康监测系统，宜具有完整的传感、采集、传输、存储、数据处理及控制、预警及状态评估功能。

10.1.2 海上风电场工程安全监测自动化系统应符合现行行业标准《风电场工程风电机组基础安全监测设计规范》NB/T 10920 的有关规定。

10.1.3 监测系统应进行参数设置和调试，并符合下列规定：

- 1 监测前宜对传感器进行初始状态设置或零平衡处理。
- 2 应对干扰信号进行来源检查，并采取有效措施进行处理。
- 3 海上风电场工程运行期的监测系统宜继承施工期监测的数据，并进行对比分析与鉴别。

10.1.4 监测系统的采样频次应符合本规范附录 A.0.2 的规定。

10.2 结构健康监测系统信息

10.2.1 系统信息宜包括工程基本信息、结构安全监测基本信息、监测信息、管理信息。

10.2.2 工程基本信息宜包括下列内容：

- 1 工程概况和主体建（构）筑物特征参数。
- 2 风电机组或海上电气设备平台投产时间、支撑结构型式等基本信息。
- 3 工程总平面布置图、主要建（构）筑物剖面图及地质剖面图，工程作业和竣工验收相关资料。
- 4 物探、浅剖等地质勘查设计报告、图纸。
- 5 潮汐、海流、海床演变等海洋环境信息。

10.2.3 结构安全监测基本信息宜包括下列内容：

- 1 结构安全监测安装布置图、监测系统架构和网络拓扑图。
- 2 各阶段结构安全监测设计文件、竣工设计文件、海上风电场运行期结构安全监测技术改造相关报告。
- 3 各类仪器设备型号、规格、主要技术参数、生产厂家、仪器使用说明书、检验率定等信息。
- 4 与监测相关的数据采集仪表、自动化系统所属模块和其他采集设备信息。

5 各类监测项目和观测次数记录。

10.2.4 监测信息宜包括下列内容：

1 监测点的类别、监测量安全阈值、原始测值、计算公式及参数、计算中间成果和最终结果。

2 水位、风速、浪高等环境量监测信息。

3 振动、倾斜、应力应变等海上建（构）筑物结构监测信息。

4 每日监测日报，并应包含对各监测项的状态评估和处理结果。

5 与监测相关的分析、检查、整编等报告和图表。

10.2.5 管理信息宜包括建（构）筑物结构安全管理制度、维护标准、操作规程、作业指导书。

10.3 结构健康监测系统功能

10.3.1 系统应具有基础设置、数据接入及送出、信息及资料管理、数据分析、实时监控、运维辅助管理、系统维护功能。

10.3.2 系统基础设置功能宜包括下列内容：

1 增加及删除系统用户，编辑系统用户基本资料、使用权限。

2 增加及删除监测点，编辑监测点种类、监测量、状态、计算公式、布置图等基本信息。

3 配置巡视检查对象、检查内容、检查标准等。

4 配置分析策略、阈值、算法、设计允许值等。

5 自定义多级文档类别。

10.3.3 数据接入及送出功能宜包括下列内容：

1 监测数据人工录入、批量导入。

2 监测采集仪通过对接自动获取数据。

3 数据调用、资料交换。

10.3.4 信息及资料管理功能宜包括下列内容：

1 多种文档的管理，包括上传、下载、删除。

2 工程基本信息、巡检信息、管理信息相关的各类资料录入及管理。

3 设备仪器台账、维护和检修信息的录入及管理。

10.3.5 数据分析功能宜包括下列内容：

- 1 在录入原始数据后，支持计算监测结果，并保存历史记录。
- 2 监测结果粗差检查、监控值对比、异常数据标记功能。
- 3 数据的图表绘制、对比分析、文件导出等。
- 4 根据算法模型，分析风电机组、海上电气设备平台的结构健康状态，形成诊断报告。

10.3.6 实时监视功能宜包括下列内容：

- 1 实现风电场地理位置可视化显示。
- 2 各类监测点、监测数据的实时展示和查询功能，宜采用图表形式展示。
- 3 风电机组、海上电气设备平台结构健康状态的实时展示和查询功能。
- 4 对风电机组、海上电气设备平台结构安全异常状态发出报警，并保存历史记录。

10.3.7 运维辅助管理功能宜包括诊断报告、任务计划、结果记录。

10.3.8 系统维护功能宜包括下列内容：

- 1 运行统计功能，包括数据录入情况、缺测及数据异常情况、用户使用情况等。
- 2 自我状态监测功能，包括设备连接状态、接口状态、程序运行状态、异常与修复等，并及时在系统中反馈。
- 3 日志管理功能，包括系统更新、开发记录及查询等。

10.4 结构健康监测系统主要技术要求

10.4.1 系统宜支持跨平台、跨开发语言访问与调用。

10.4.2 系统性能应符合下列规定：

- 1 非统计性查询响应时间小于等于 3 s；统计性查询响应时间小于等于 15 s。
- 2 支持并发用户数不少于 10 人。
- 3 服务器 CPU 的平均使用率小于等于 60%、内存使用率小于等于 75%。

10.4.3 系统运行中超过 2min 的操作处理，宜作为后台任务运行。

10.4.4 涉及与其他系统对接时，数据传输时限应小于等于 3 min。

10.4.5 系统故障热备切换时间不宜超过 5 min。

10.4.6 系统应具备数据备份功能，每天进行至少一次数据备份，备份存储于不同物理主机的存储介质。

10.5 结构健康监测系统安全性与适应性

10.5.1 系统硬件选型应符合下列规定：

- 1 硬件应具有较好的可维护性、可扩充性。
- 2 关键设备宜采用双机备用的冗余配置。
- 3 网络安全设备应通过安全认证。
- 4 服务器和网络连接设备宜配备不间断电源。

10.5.2 系统软件平台应选择通用、成熟的操作系统和数据库管理系统，并兼容常用的浏览器。

10.5.3 系统应具有较好的可靠性。

10.5.4 系统安全防护应符合现行国家标准《电力监控系统网络安全防护导则》GB/T 36572 的规定。

10.6 系统运行维护

10.6.1 系统运行维护时，应制订系统运行管理、检查和维护措施，并配备专门的人员对系统进行管理、检查和维护。

10.6.2 系统运行期间软件维护工作应包括下列内容：

- 1 为扩充功能和改善性能而进行修改和扩充。
- 2 为适应软件运行环境的变化而进行修改。
- 3 对在开发过程产生而在测试和验收时没有发现的错误进行改正。

11 监测资料整编和分析

11.1 一般规定

11.1.1 海上风电场工程结构安全监测资料整编和分析应搜集监测系统建设资料、海洋环境资料、海上电气设备平台及风电机组运行资料。

11.1.2 监测系统运行中，应及时对原始记录进行检查和整理，并按月、按年对监测资料整编和分析，形成监测月报、监测年报并存档。

11.1.3 监测月报、监测年报应包括工程概况、监测系统布置、监测系统维护、监测数据分析、结论以及必要的附图附表等内容，并应做到项目齐全、数据可靠、图表完整、规格统一、说明完备。

11.1.4 资料整编和分析时应对异常情况及时作出判断，发现问题应及时上报。

11.2 监测资料整编

11.2.1 海上风电场工程结构安全监测原始记录、设备安装及维护记录、监测物理量应定期进行整编，并做到格式固定、内容齐全、要素完备。

11.2.2 监测资料整编内容应包括原始记录的检验、监测物理量的计算、特征值统计和绘图、异常值判识和初步分析。

11.3 监测综合分析

11.3.1 监测综合分析应根据变形、振动、应力应变及渗流、防腐蚀、冲刷等监测资料和地质条件，结合巡视检查、环境量等因素，及时提出风电场工程结构安全状态的结论和建议。

11.3.2 监测综合分析项目应包括变形监测、振动监测及应力应变监测成果分析。

11.3.3 监测综合分析方法宜采用比较法、作图法、特征值统计法、模态参数识别及数学模型法。使用数学模型法作定量分析时，应同时用其他方法进行定性分析，加以验证。

11.3.4 监测综合分析应分析了解各监测物理量的大小、变化规律、趋势及相关性；必要时，还应建立效应量与原因量之间的数学模型，以解释监测量的变化规律。

11.3.5 监测综合分析应针对结构特点，分析判断各监测物理量的变化和趋势是否正常，并应对各项监测成果进行综合分析，揭示结构的异常情况和不安全因素，并分析其对结构安全的影响，最终评估结构的工作状态。

11.3.6 监测综合分析宜提出海上风电场安全监控建议方案，宜包括重要监控部位、监控项目、监控指标或监控警戒值，并开展反馈分析。

附录 A 海上风电场工程结构安全监测项目分类和选择、项目测次、监测分辨力

A.0.1 海上风电场工程结构安全监测项目分类和选择应满足表 A.0.1 的要求。

表 A.0.1 海上风电场工程结构安全监测项目分类和选择

监测类别	监测项目	海上风电机组支撑结构主要型式				海上电气设备平台
		单桩结构	多桩承台结构	导管架结构	吸力式结构	
巡视检查	基础及周边环境	●	●	●	●	●
环境监测	风	○	○	○	○	●
	波浪	○	○	○	○	●
	海流	○	○	○	○	●
	潮位	○	○	○	○	○
变形监测	倾斜	●	●	●	●	●
	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	-	★	○	○	-
	土压力	-	-	-	★	-
渗流监测	渗透压力	-	-	-	★	-
振动监测	加速度	●	●	●	●	●
	速度	○	○	○	○	○
	位移	○	○	○	○	○
防腐蚀监测	阴极保护电位或阴极保护系统输出电流	★	★	★	★	●
冲刷监测	基础周围海床冲刷	●	●	●	●	●

注：1 有●者为必测项目，有○者为选测项目，有★为典型机位必测，非典型机位选测，有-者为不需要测项目。

2 根据海上风电场实际情况，选择有代表性的建筑物进行冰压力监测。

A.0.2 海上风电场工程结构安全监测项目测次应符合表 A.0.2 的规定。

表 A.0.2 海上风电场工程结构安全监测项目测次

监测项目		施工期	运行期
巡视检查	基础及周边环境	按需要	按需要
环境监测	风	—	自动化：≥0.5Hz
	波浪	—	自动化：≥2Hz
	海流	—	自动化：1次/5分钟
	潮位	—	自动化：1次/5分钟
变形监测	倾斜	1次/月~1次/季	自动化：≥2Hz
	基础沉降	自动化：2次/小时 人工：按需	自动化：2次/小时 人工：按需
	裂缝开合度	按需	按需
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
	土压力	1次/月~1次/季	1次/天
	动态应变	实时监测，≥10Hz	实时监测，≥10Hz
渗流监测	渗流	2次/小时	按需要
振动监测	加速度	按需要	实时监测，≥50Hz
	速度	按需要	实时监测，≥10Hz
	位移	按需要	实时监测，≥10Hz
防腐蚀监测	阴极保护电位或阴极保护系统输出电流	自动化：1次/月 人工：按需要	自动化：1次/月 人工：1次/年~1次/5年
冲刷监测	基础周围海床冲刷	1次/半年~1次/年	1次/季~1次/年

A.0.3 海上风电场工程结构安全监测分辨力应符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 海上风电场工程结构安全监测分辨力

监测项目		分辨力
环境监测	风	风速 $\pm 0.5\text{m/s}$ 风向 $\pm 2.5^\circ$
	波浪	浪高 $\pm 0.1\text{m}$ 浪周期 $\pm 0.5\text{s}$ 浪向 $\pm 5^\circ$
	海流	流速 $\pm 5\text{cm/s}$ 流向 $\pm 5^\circ$
	潮位	$\pm 0.05\text{m}$
变形监测	沉降	人工： $\pm 1.0\text{mm}$ 自动化： $\pm 0.1\%FS$
	倾斜	$\pm 0.1\%FS$
	裂缝开合度	$\pm 0.1\%FS$
应力应变监测	钢结构应变	$\pm 0.1\%FS$
	混凝土应变	$\pm 0.1\%FS$
	钢筋应力	$\pm 0.1\%FS$
	土压力	$\pm 0.5\%FS$
渗流监测	渗透压力	$\pm 0.025\%FS$
振动监测	加速度	$\pm 0.0001\text{g}$
	速度	$\pm 1 \times 10^{-5}\text{m/s}$
	位移	$\pm 1 \times 10^{-6}\text{m}$
防腐蚀监测	阴极保护电位	$\pm 0.01\text{V}$
	阴极保护系统输出电流	$\pm 1\text{mA}$
冲刷监测	平面	$\pm 0.1\text{m}$
	高程	水深 1m~10m： $\pm 0.15\text{m}$ 水深 10~20m： $\pm 0.20\text{m}$ 水深 $>20\text{m}$ ： $\pm (H \times 1.5\%)$ ，H 为水深

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 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《船用参比电极技术条件》 GB/T 7387

《国家一、二等水准测量规范》 GB/T 12897

《电力监控系统网络安全防护导则》 GB/T 36572

《工程测量标准》 GB 50026

《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》 GB 50168

《海上风电场工程防腐蚀设计规范》 NB/T 10626

《风电场工程风电机组基础安全监测设计规范》 NB/T 10920

《海上风电场工程风能资源测量及海洋水文观测规范》 NB/T 31029

中华人民共和国能源行业标准

海上风电场工程结构安全监测 建设规范

NB/T XXXXX-202X

条文说明

制定说明

《海上风电场工程结构安全监测建设规范》NB/T XXXXX-202X，经国家能源局202X年XX月XX日以第XX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，调研了近年来部分海上风电场工程、海洋港口工程、跨海大桥工程、海上石油工程的实践经验，吸收了近年来国内外在海上风电机组、海上变电站、测风塔等方面所取得的科技成果，并向有关设计和科研单位征求了意见。

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，本规范编制组按章、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

5	变形监测.....	30
5.2	监测设计.....	30
5.3	监测设施及其安装要求.....	30
6	振动监测.....	31
6.3	监测设施及其安装要求.....	31
7	应力应变及渗流监测.....	32
7.2	监测设计.....	32
7.3	监测设施及其安装要求.....	32
9	冲刷监测.....	33
9.3	数据采集与解析.....	33
10	监测系统.....	36
10.1	一般规定.....	36
10.5	结构健康监测系统安全性与适应性.....	36
附录 A	海上风电场工程结构安全监测项目分类和选择、项目测次、监测分辨力.....	37

5 变形监测

5.2 监测设计

5.2.2 风电机组塔筒倾斜监测除在塔筒顶部布置倾斜测点以外，还可在塔筒中部其他部位根据工程实际需求布置倾斜测点，但测点的布置位置需要考虑便于现场安装与维护，且不影响塔筒法兰连接螺栓的安装与检修。

5.3 监测设施及其安装要求

5.3.1 海上风电场海上电气设备平台和风电机组支撑结构受风等荷载影响，其倾角动态变化。一般意义上的倾角传感器是静态测量或者准静态测量，其内置传感器为加速度计，一旦有外界加速度，那么加速度芯片测出来的加速度就包含外界加速度，故而计算出来的角度就不准确。动态倾角计是在静态倾角计基础上，加上微机械陀螺芯片，并采用智能算法将加速度传感器和陀螺仪的信号相结合以消除加速度（例如设备快速往复的运动）、震动及冲击带来的影响。因此海上电气设备平台和风电机组支撑结构倾斜监测要采用动态倾角计。

5.3.3 虽然精密水准法的观测精度要优于静力水准法，但考虑到监测的实时性，对于典型机位和海上电气设备平台采用静力水准法进行不均匀沉降监测，可同时布设水准点定期进行人工校核。

6 振动监测

6.3 监测设施及其安装要求

6.3.3 振动监测采样频率要求高，数据量大，故对数据采集装置的内部存储容量做出要求。

6.3.4 振动监测目标量包括风电机组不同方向模态信息时，建议依据监测需求合理调整加速度计的安装方位。

7 应力应变及渗流监测

7.2 监测设计

7.2.1~7.2.5 本条对不同基础形式的海上风电机组和海上电气设备平台应力应变及渗流监测设计做了规定。

7.2.4 高桩承台基础根据结构特点、设计结构计算成果对应力集中影响区域的应力进行监测。

7.2.5 吸力式基础风电机组根据结构特点、设计结构计算成果对基础顶内壁、平均海平面以下附近内壁、典型撑杆与主桶体节点部位、典型撑杆与钢桶顶板节点部位、基础面以下分舱桶内、外壁受压部位的应力进行监测。

7.3 监测设施及其安装要求

7.3.4 应变计在混凝土振捣后，在埋设部位造孔埋设；应变计组要固定在支架或连杆上，或埋设在各个方向的钻孔内。

9 冲刷监测

9.3 数据采集与解析

9.3.3 冲刷监测采集与解析：

1 多波束数据采集与解析

利用多波束测深系统处理水深测量数据，实现数据的清理、剔除，并根据给定参数进行原始记录的改正，然后对数据进行计算、描述和制图。

经过各项改正后的水深数据，通过相关软件生成水深数据图、三维数字模型图，并根据测图比例，生成格网水深数据文件；最后再通过Autodesk ReCap、Autodesk AutoCAD、Golden Surfer等软件进行图形和图像的绘制与处理。

2 三维声呐数据采集与解析

主要使用专业处理软件USE（Underwater Survey Explorer），用于记录、显示、处理和报告实时3D 声呐的数据。配合Volume Rendering（立体渲染）引擎以及多种可选软件模块和专用解决方案，配有实时事件标记、标记物编辑、第三方导航软件的同时输出、波束编辑以及一系列数字地形模型（DTM）输出方式、体积渲染引擎，可用于优化3D 数据的可视化可以将数据渲染成更高分辨率且优化存储的特征模型，模型量取及定位原则如下：

(1) 电缆最大悬挂高度量取方法：插入一个平面模型模拟电缆所在桩基的最低处地面，以电缆最高处的下边沿作为起点，量取到该平面模型的高度，即为电缆最大悬挂高度。

(2) 连接桩基的电缆悬挂长度量取方法：以电缆悬挂最高处的下边沿为起点，以电缆悬挂最低处的下边沿结束，量取两点间长度，即为电缆悬挂长度。

(3) 回路电缆裸露长度根据测量成果直接量取。

3 根据多波束等方法的监测影像特征、数值特征来确定海底冲刷沟的位置、规模、深度及冲刷沟内底质类型。并结合监测结果分析海底冲刷变化情况及冲刷沟的演变情况。

4 在进行数据统计时需要对数据进行优化处理：

(1) 基桩位置地形高程需要进行归零处理；

(2) 分析半径范围内计算最大坑深；

(3) 分析半径范围外只统计最大高程与最小高程的差值。

9.3.4 冲刷程度及地形起伏评价

根据每个风电机组周边50m范围内相对高差 ΔH 的变化量对风电机组基础周边的冲刷程度和地形起伏情况进行评价：

1 $\Delta H < 2\text{m}$ ：海床地形较平坦，高程变化小；冲刷现象不明显。

2 $2\text{m} < \Delta H \leq 5\text{m}$ ：海床地形起伏较大，高程变化较明显；局部冲刷坑较发育，冲刷现象较明显。

3 $\Delta H > 5\text{m}$ ：海床地形起伏大，高程变化明显；局部冲刷坑发育，冲刷现象明显。

根据常用的抛填法、土工布法和固化土等冲刷保护方法以及冲刷保护的效果形态，可将大致分为三类：抛填法防冲刷效果评价、固化土防冲刷效果评价和土工布类防冲刷效果评价。

抛填法防护效果评价

(1) 完好：非常容易识别砂袋（抛石）的地貌特征，铺设形态规则且轮廓清晰，砂袋（抛石）保留完整。

(2) 较完好：容易识别砂袋（抛石）的地貌特征，铺设形态较规则，轮廓较清晰，砂袋（抛石）保留较完整。

(3) 可识别：仍可判断砂袋（抛石）的表面形态，砂袋（抛石）轮廓已不清晰，局部缺失较多或沉陷。

(4) 不易识别：不易识别砂袋（抛石）存的表面形态特征，可能已被冲蚀或沉陷。

固化土防护效果评价

(1) 完好：基础周边无明显的冲刷坑存在；固化土防护体形态特征清晰、完整，且与周边海床搭接平滑、自然；固化土防护体外边缘无凸立面或断裂面。

(2) 良好：基础周边冲刷深度和范围较小；固化土防护体形态特征清晰，基本完整覆盖，与周边海床搭接相对平滑和自然；固化土防护体外边缘存在少量凸立面或断裂面。

(3) 一般：基础周边冲刷深度和范围较大；固化土防护体形态特征明显，与周边海床搭接连续性较差；固化土防护体外边缘有较多凸立面或断裂面。

(4) 不理想：基础周边冲刷深度和范围大；无明显的固化土防护体形态。

土工布类防冲刷保护效果评价

(1) 完整：非常容易识别砂被的表面形态，砂被轮廓清晰，且完整。

(2) 较完整：容易识别砂被的表面形态，砂被轮廓较清晰，但局部已有缺失或沉

陷。

(3) 可识别：仍可判断砂被的表面形态，砂被轮廓已不清晰，局部缺失较多或沉陷。

(4) 不易识别：不易识别砂被的表面形态特征，可能已被冲蚀或沉陷。

10 监测系统

10.1 一般规定

10.1.1 监测系统包括安全监测自动化系统、结构健康监测系统，其中安全监测自动化系统侧重于传感、采集、传输等基础采集功能，结构健康监测系统侧重于存储、数据处理及控制、预警及状态评估等业务应用性功能。由于现行行业标准《风电场工程风电机组基础安全监测设计规范》NB/T 10920 已针对安全监测自动化系统进行规定，因此本规范仅针对结构健康监测系统进行规定。

10.5 结构健康监测系统安全性与适应性

10.5.1 网络安全设备一般包括隔离装置、防火墙、网关等。

附录 A 海上风电场工程结构安全监测项目分类和选择、项目测 次、监测分辨力

A.0.1 由不同类型海上风电机组基础型式组成的复合型基础型式，建议参照表 A.0.1 的安全监测项目要求，综合考虑采用安全监测项目。
