

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

张力腿（TLP）浮式风电系统技术规范

Tension leg (TLP) floating wind power system technical specifications

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 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 设计要求	4
4.1 设计原则	4
4.2 基本要求	5
4.3 场址条件评估	5
4.4 荷载与分析	5
4.5 浮体结构设计	5
4.6 张力腿设计	6
4.7 锚固基础设计	6
4.8 连接设计	6
4.9 稳性设计	6
4.10 结构设计	6
5 技术要求	6
5.1 材料要求	6
5.2 平台主体	7
5.3 张力腿系统	7
6 制造与装配	7
6.1 一般规定	7
6.2 构件制造	7
6.3 装配与集成	7
7 运输与安装	7
7.1 运输要求	7
7.2 安装要求	8
8 质量检验	8
8.1 原材料检验	8
8.2 制造过程检验	8
8.3 安装检验	8
8.4 竣工验收	8
9 安全、监测与维护	8
9.1 防腐蚀设计	8
9.2 消防与安全	8
9.3 结构健康监测 (SHM)	9
9.4 运行维护	10

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。

本文件由提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

张力腿（TLP）浮式风电系统技术规范

1 范围

本文件规定了张力腿（TLP）浮式风电系统的设计要求、技术要求、制造与装配、运输与安装、质量检验、安全、监测与维护（弃置）。

本文件适用于张力腿（TLP）浮式风电系统的设计、制造、安装、检验及维护。

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 700 碳素结构钢

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级

GB 23864 防火封堵材料

GB 25201 建筑消防设施的维护管理

GB/Z 44047—2024 漂浮式海上风力发电机组 设计要求

GB 50166 火灾自动报警系统施工及验收标准（附条文说明）

XF 499.1 气溶胶灭火系统 第1部分：热气溶胶灭火装置

NB/T 10218 海上风电场风力发电机组基础维护技术规程

NB/T 11084 海上风电场工程建（构）筑物荷载规范

NB/T 11085 海上风电场工程结构安全监测建设规范

NB/T 11378 漂浮式海上风电机组基础及系泊系统设计导则

ISO 19904-1:2019 Petroleum and natural gas industries — Floating offshore structures — Part 1: Ship-shaped, semi-submersible, spar and shallow-draught cylindrical structures

ISO 19901-6 Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 6: Marine operations

3 术语和定义

GB/Z 44047—2024、NB/T 11378界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 浮式风电系统 offshore wind turbine

3.1.1

风轮 wind rotor

系一种将风能转化为机械能的装置，由叶片和轮毂组成。

3.1.2

风轮-机舱组件 rotor nacelle assemble, RNA

系风轮、机舱结构以及相关机电设备的总和。

3.1.3

塔架 tower

连接 RNA 和浮式风机平台的结构。

3.1.4

支撑结构 wind turbine supporting structure

支撑 RNA 的结构，包含塔架和浮式风机平台。

3.1.5

浮式风机平台 offshore wind turbine platform

除塔架以外的支撑结构，包含浮体结构、系泊系统、锚固基础以及平台上的相关机械系统与设备、电仪系统与设备等。

3.1.6

浮式风电系统（设施） floating offshore wind turbine system

一种将风能转化为电能的海上浮式设施，一般由RNA 和支撑结构组成。

3.2

张力腿式平台 tension leg platform (TLP)

为海上浮式装置的一种，通过张力腿系统固定于海底。张力腿系统确保平台保持张力状态，并将平台由于风、浪、流、潮汐、环流(如适用)和内波(如适用)等导致的运动限制在指定范围以内。张力筋腱承受预张力，使得其轴向刚度很大，可将垂荡、纵摇和横摇响应限制在较小的幅度范围之内。

3.3

张力腿系统 tension leg system

平台至海底基础之间的系泊系统，主要由顶部连接部件、主体部分和底部连接部件组成。其中，主体部分也称之为筋腱(tendon)。除承载结构外，张力腿系统也可有其他部件，如腐蚀保护系统、筋腱载荷和性能监测系统、涡激振动抑制装置等。

3.4

张力筋腱 tendon

由钢管、复合材料构件或钢缆构成，是维持平台运动性能与结构稳定的核心部件。

3.5

垂荡固有周期 heave natural period

TLP平台在垂荡方向自由振动的周期。设计时应确保其避开所在海域主要波浪能量集中区，通常要求大于典型波浪周期。

3.6

预张力 pretension

张力腿系统在静水状态下施加的初始轴向拉力，用以保证在所有设计工况下张力腿均保持受拉状态。

3.7

破损稳性 damage stability

基础破损后依靠其自身倾斜后的复原力矩，在规定的施加风力作用下仍能保持不再继续进水的能

3.8

浮体结构 floating structure

张力腿平台的浮力提供部分，由立柱、浮箱、撑杆等构件组成的空间结构。

3.9

锚碇系统（锚固基础） anchor system

位于海床上将张力腿系统上的载荷传递到海床土壤中的基础结构等。

3.10

一体化设计 integrated design

将风轮机舱组件、塔架、浮体结构、张力腿系统作为整体进行的协同设计。

4 设计要求

4.1 设计原则

4.1.1 应遵循安全可靠、技术先进、经济合理、施工可行、维护便捷的原则。

4.1.2 结构设计应与风电机组设计使用年限相匹配，设计年限宜不低于 25 年。

4.1.3 宜采用概率理论为基础的极限状态设计方法，考虑承载能力极限状态和正常使用极限状态，采用分项系数设计表达式计算。（会后修改）

4.1.4 结构型式选择应结合工程海域水文、气象、地质条件、风电机组荷载及施工能力，通过技术经济比选确定。

4.2 基本要求

4.2.1 正常发电工况下浮体运动倾角不宜超过 10° ，极端停机工况下不宜超过 15° ；机舱加速度正常发电工况下不宜超过 $0.3g$ ，极端停机工况下不宜超过 $0.6g$ ，风电机组厂家另有规定的按其要求执行。

4.2.2 浮体结构特征周期应（宜）避开工程海域主要波浪周期范围，系统固有频率应避开风电机组转子转动激励频率范围。

4.2.3 应满足大兆瓦台风海域应用需求，具备高刚度、高耐波性特点，优化浮体结构重量。

4.2.4 张力腿式海上漂浮式风电机组基础适用于水深大于 50 米、海况条件中波浪周期相对较短的海域。

4.2.5 风电机组基础设计，应考虑风力发电机组荷载贡献。

4.2.6 风电机组基础宜进行风电机组上部结构、基础结构与地基的耦联静动力分析。

4.2.7 风电机组基础结构应考虑极端，正常作业，和意外等工况的疲劳验算。

4.2.8 风电机组基础应进行防雷接地设计。

4.2.9 风电机组基础应进行电缆出线设计。

4.2.10 风电机组基础结构应根据设计使用寿命周期内海洋环境条件下的耐久性，进行防腐蚀设计。

4.2.11 风电机组基础应（宜）进行防撞保护设计。

4.2.12 风电机组基础设计应（宜）根据后期运行维护的需求设置靠泊系统等设施。

4.2.13 海上漂浮式风电机组基础设计所涉及到的环境条件、计算公式及分析应按照 NB/T 11378 的规定执行。（参考这种表述修改）

4.2.14 风电机组平台应进行水池试验验证。

4.2.15 甲板高度的确定应考虑风暴潮和天文潮影响，安全加高可取 $0.5\text{m}\sim 1.5\text{m}$ 。

4.3 场址条件评估

4.3.1 设计前应收集场址海洋水文、海流、风况、海域规划、航道、工程地质及地形地貌资料。地质勘察应重点关注锚固基础位置的土层剪切强度与承载力。

4.3.2 海洋环境条件应考虑风、波浪、海流、海冰等因素，按 50 年重现期确定设计参数。

4.3.3 工程地质勘察应明确海床土层分布、物理力学性质、承载力及稳定性等指标，为锚碇系统（锚固基础）设计提供依据。

4.4 荷载与分析

4.4.1 设计荷载应包括永久荷载、可变荷载（风、浪、流、操作荷载）及偶然荷载（船撞、地震等）。应特别考虑张力腿预张力、波浪低频漂移力与高频波浪力的影响。

4.4.2 荷载计算应符合 NB/T 11084 及相关标准规定，考虑荷载的时间效应和空间分布特征。

4.4.3 应进行耦合动力分析，即同时考虑风机-塔筒-基础-张力腿系统-锚固基础的整体时域或频域耦合动力响应，以获取关键部件（张力腿、连接节点）的荷载与疲劳寿命。

4.4.4 应对基础的垂荡、纵摇、横摇运动响应进行严格校核，确保其满足风机运行和电网接入的要求。

4.4.5 应（可）进行张力腿系统的涡激振动（VIV）分析，并评估其对疲劳损伤的贡献，必要时可考虑安装涡激振动抑制装置。

4.5 浮体结构设计

4.5.1 浮体结构应能承受在位前工况（拖航和安装）和在位工况（在位）期间的所有可能载荷的作用。

4.5.2 结构布置应规整，传力途径明确，立柱、浮箱、撑杆等构件的强度、刚度和稳定性应满足要求。

4.5.3 与半潜式基础相比，浮体结构重量宜优化 30%以上，通过结构拓扑优化、材料合理选用等方式实现轻量化设计。

4.5.4 应进行静力分析、动力分析和疲劳分析，确保结构在往复荷载作用下不发生强度破坏和疲劳失效。

4.6 张力腿设计

4.6.1 张力腿的长度、截面尺寸应根据水深、浮体位移要求及受力情况确定，并考虑极端和正常等工况。

4.6.2 张力腿的强度、刚度、疲劳性能应满足设计要求，考虑轴向拉力、弯矩、扭矩、张力腿自身的动力特性、海洋环境侵蚀的综合作用。

4.6.3 张力腿与浮体、锚固基础的连接应可靠设置缓冲装置减少振动和冲击荷载的影响。

4.7 锚固基础设计

4.7.1 锚固基础应根据海床地质条件选择合适的锚体型式，确保提供足够的抗拔力和水平承载力。

4.7.2 锚体的布置应对称均匀，张力腿的水平投影夹角应合理，保证浮体受力均衡。

4.7.3 锚碇系统的承载力应通过现场试验或数值计算验证，安全系数不应低于 2.0。（参考）

4.7.4 锚固基础安全等级应为 1 级，抗震设防烈度 6 度时应设置抗震构造措施，7 度及以上时应进行抗震计算，8 度以上时应专门研究论证，。

4.7.5 锚固基础应进行防冲刷设计。

4.7.6 锚固基础应区分承载能力极限状态和正常使用极限状态，明确各荷载分项系数和组合系数，包括运行工况、极端工况、施工工况等典型组合。

4.8 连接设计

4.8.1 浮体结构各构件之间的连接宜采用焊接连接，焊接接头的强度不应低于母材强度，管节点设计应符合相关标准规定。

4.8.2 张力腿与浮体、锚固基础的连接应采用可靠的机械连接或混合连接方式，设置防松、防脱装置。

4.8.3 连接部位应进行疲劳验算，考虑应力集中效应，必要时采取加强措施。

4.9 稳性设计

4.9.1 浮体结构应满足浮运稳性和在位稳性要求，浮运时不发生倾覆，在位时在外力作用下偏离平衡位置后能自行恢复。

4.9.2 应进行运动响应分析，控制浮体的纵摇、横摇、垂荡等运动幅值在允许范围内。

4.10 结构设计

4.10.1 平台主体结构通常采用钢结构，应进行详细的疲劳寿命评估，热点区域的疲劳分析是设计重点。

4.10.2 张力腿与平台的连接节点是设计关键，应进行精细化有限元分析，确保应力集中系数满足规范要求，并考虑安装公差和疲劳细节。

4.10.3 平台应进行防撞设计，并考虑安装期和运行期的靠泊与登乘设施。

5 技术要求

5.1 材料要求

5.1.1 结构用钢材

5.1.1.1 钢材质量应符合 GB/T 700、GB/T 1591 及船级社的相关规定，且应具备良好的焊接性能、抗疲劳性能和抗腐蚀性能。

5.1.1.2 用于海洋环境的钢材，其耐腐蚀性应满足设计使用年限要求，必要时通过耐候钢选用、涂层防护等措施增强防腐能力。

5.1.2 钢筋与混凝土

5.1.2.1 钢筋应符合现行国家标准中抗震、抗腐蚀相关要求，用于海洋环境的钢筋宜采用耐腐蚀钢筋。

5.1.2.2 混凝土强度等级不应低于 C40，应具备良好的抗渗性、抗冻性和抗氯离子渗透性，满足海洋环境耐久性要求。

5.1.3 连接材料

5.1.3.1 焊接材料应与母材匹配，其力学性能不应低于母材相应要求，且应适应海洋环境焊接工艺需求。

5.1.3.2 灌浆材料应具备高强度、高流动性、微膨胀、抗海水侵蚀等性能，满足连接部位承载力和耐久性要求。

5.1.3.3 紧固件应采用高强度耐腐蚀材料，或采取可靠的防腐处理措施，确保连接可靠性和耐久性。

5.2 平台主体

5.2.1 平台应满足水密性和完整稳性要求。对 TLP 而言，破损稳性（尤其是单根或相邻多根张力腿失效工况）分析，应符合 ISO 19904-1:2019 中第 14 章（张力腿平台部分）的规定。

5.2.2 平台的结构细节设计、建造和焊接质量，应参照 ISO 19904-1:2019 及相关船级社规范（如 DNVGL-ST-0119）执行。

5.3 张力腿系统

5.3.1 张力腿可采用钢管式、钢绞线式、锚链或高强度组合（复合/合成）纤维，其选型应基于水深、设计荷载、安装成本和疲劳性能综合确定。

5.3.2 张力腿的预张力设计应确保在最恶劣的环境载荷组合下，张力腿最小张力仍为正值（保持受拉），且最大张力不超过其许用承载力。

5.3.3 锚固基础可根据地质条件选用打入桩、吸力锚或复合桩等。锚固基础的设计需考虑竖向拉拔力、水平剪力及循环载荷下的承载性能。

5.3.4 张力腿的顶部连接器（与平台）和底部连接器（与锚固基础）应具备高可靠性、抗疲劳、便于安装与检测/更换的特性。

5.3.5 需制定详细的张力腿制造、防腐（如灌浆、涂层、阴极保护）、公差控制及工厂测试技术规范。

5.3.6 张力腿材料应选用高强度、高韧性、抗疲劳、耐腐蚀的金属或复合材料，满足长期张紧受力和海洋环境侵蚀要求。材料的疲劳性能应通过专项试验验证，确保在设计使用年限内承受往复荷载作用下不发生疲劳破坏。

6 制造与装配

6.1 一般规定

6.1.1 制造单位应具备相应的生产资质和技术能力，建立完善的质量管理体系。原材料进场应进行检验，合格后方可使用，检验记录应存档备查。

6.1.2 制造工艺应经过工艺评定，明确焊接、成型、装配等关键工序的技术要求。

6.2 构件制造

6.2.1 钢材切割、加工的尺寸偏差应符合相关标准规定，构件的平直度、垂直度应满足装配要求。

6.2.2 焊接应采用自动焊或半自动焊为主，焊接过程中应控制焊接变形，焊后应进行焊缝探伤检测。

6.2.3 浮箱等密闭构件应进行密封性试验，不得有渗漏现象。

6.3 装配与集成

6.3.1 构件装配应按装配工艺文件进行，控制装配间隙和错边量，确保装配精度。

6.3.2 张力腿与浮体、锚碇系统的连接装配应在专用工装设备上进行，保证连接精度和可靠性。

6.3.3 整体集成后应进行出厂检验，包括结构尺寸、连接质量、密封性、外观质量等项目。

7 运输与安装

7.1 运输要求

7.1.1 浮体结构可采用整体自浮拖航方式（亦可采用助浮结构进行辅助），利用自身浮力漂浮于海面，依靠拖船拖航运输。

7.1.2 运输前应进行浮运稳定性验算，确保运输过程中不发生倾覆、碰撞等风险。

- 7.1.3 运输前应进行拖航阻力评估，为拖轮选取提供指导。
- 7.1.4 运输前应进行拖航运动评估，保证拖航过程中平台的倾角和加速度满足要求。
- 7.1.5 运输过程中应采取防护措施，保护结构表面涂层和连接部位，避免海洋环境侵蚀和机械损伤。

7.2 安装要求

- 7.2.1 安装前应制定详细的安装方案，明确安装流程、设备选型、人员配置及安全措施。
- 7.2.2 安装应选择合适的气象窗口，避开恶劣天气条件，确保安装过程安全可控。
- 7.2.3 锚固基础安装应保证锚体入土深度和位置精度，满足承载力要求。
- 7.2.4 锚固基础安装应保证水平定位精度，满足设计要求。
- 7.2.5 锚固基础浮体结构安装时，可通过吸力贯入等方式精准调节基础整体垂直度，无需海床预处理。
- 7.2.6 湿存要求和回接要求参考船级社相关文件的要求。
- 7.2.7 安装过程仅需一套泵撬块系统及一艘辅助船舶，无需浮吊等大型专业施工作业船舶，降低安装成本。
- 7.2.8 张力腿的张拉应分步进行，控制张拉力度和速度，确保浮体姿态符合设计要求。

8 质量检验

8.1 原材料检验

- 8.1.1 钢材、钢筋、混凝土、焊接材料、张力腿材料等原材料应按 GB/T 700、GB/T 1591 及船级社等文件进行进场检验，包括外观检查、尺寸偏差、力学性能、化学成分等项目。
- 8.1.2 检验不合格的原材料不得使用，应及时退场并做好记录。

8.2 制造过程检验

- 8.2.1 焊接焊缝应按设计要求进行无损检测，检测方法包括超声波检测、射线检测、磁粉检测等，检测比例和合格标准应符合相关标准规定。
- 8.2.2 构件尺寸、形状偏差应进行抽样检验，不合格品应进行返修，返修后重新检验。
- 8.2.3 密封性试验应在构件制造完成后进行，采用水压试验或气压试验，确保无渗漏。

8.3 安装检验

- 8.3.1 锚碇系统安装后应进行承载力检测，验证其抗拔力和水平承载力是否满足设计要求。
- 8.3.2 浮体结构安装后的姿态、位置偏差应进行测量，符合设计允许偏差范围。
- 8.3.3 张力腿的张拉力应进行检测，确保达到设计值，连接部位无松动、变形等现象。

8.4 竣工验收

- 8.4.1 竣工验收应包括结构外观、尺寸偏差、连接质量、性能检测等全部项目，所有检验项目合格后方可通过验收。
- 8.4.2 验收应提供完整的技术资料，包括设计文件、原材料检验报告、制造记录、安装记录、检验报告等。

9 安全、监测与维护

9.1 防腐蚀设计

- 9.1.1 结构防腐蚀应采用涂层防护、阴极保护、耐腐蚀性材料等综合措施，满足设计使用年限要求。
- 9.1.2 涂层防护应选择耐海洋环境侵蚀的涂料体系，涂层厚度和施工质量应符合相关标准规定。
- 9.1.3 水下结构构件宜采用阴极保护与涂层防护相结合的方式，阴极保护系统应定期检测和维护。

9.2 消防与安全

- 9.2.1 平台及附属设施的防火设计，包括材料阻燃等级、电缆耐火要求、火灾探测与自动灭火系统（如气溶胶系统）的设置。

9.2.2 应设置紧急关断系统（ESD）和人员紧急撤离预案与设施。

9.2.3 风机消防系统

9.2.3.1 风力发电机组的防火保护应满足下列基本规定：

- a) 风力发电机组所采用的阻燃材料耐火等级及要求应符合 GB 8624 的相关规定，且不得低于 B1 级；
- b) 风力发电机组采用的防火封堵材料除应符合 GB 23864 的相关规定外，还应符合风力发电机组的工况环境条件要求；
- c) 风力发电机组中采用的动力电缆和控制电缆应采用阻燃电缆，其耐火等级应符合 XF 306.1-2007（已废止，需替换）的相关规定；控制电缆应采用耐火电缆，其耐火等级应符合 XF 306.2-2007（已废止，需替换）的相关规定。

9.2.3.2 风力发电机组消防系统的设备选型，应与风力发电机组安装地域的环境条件和机组的运行工况相适应，必要时应采取相应的加温或降温措施。

9.2.3.3 风力发电机组的下列部位和防护单元应设置火灾探测装置：

- a) 机舱及机舱平台底板下部；
- b) 塔架及竖向电缆桥架；
- c) 塔架底部设备层；
- d) 各类电气柜。

9.2.3.4 风力发电机组的下列部位和防护单元应设置自动灭火装置：

- a) 机舱及机舱平台底板下部；
- b) 轮毂；
- c) 塔架底部设备层；
- d) 各类电气柜。

9.2.3.5 风力发电机组应采用气溶胶灭火系统，并应符合下列要求：

- a) 灭火装置充装气溶胶发生剂的质量大于 1 kg 时，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的实验条件下，其喷射时间不应大于 120 s；充装气溶胶发生剂的质量小于等于 1 kg 时，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的实验条件下，其喷射时间不应大于 40 s；
- b) 采用电引发器的灭火装置充装额定质量的气溶胶发生剂，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的实验条件下，其喷射滞后时间不应大于 5 s；
- c) 限温型灭火装置充装额定质量的气溶胶发生剂，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的实验条件下，喷射时距喷口 5 mm 处的温度：
 - 1) 落地式灭火装置不应超过 180°C ；
 - 2) 悬挂式灭火装置不应超过 200°C 。
- d) 灭火装置充装额定质量的气溶胶发生剂，在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的实验条件下，喷射后其表面最高温度（不含喷口处）：
 - 1) 限温型落地式灭火装置不应超过 100°C ；
 - 2) 限温型悬挂式灭火装置不应超过 200°C ；
 - 3) 非限温型灭火装置不应超过生产单位使用说明书上公布值，且温度上限不应超过 200°C 。
- e) 除上述规定外，尚应符合 XF 499.1 的规定。

9.2.3.6 风力发电机组消防系统应每年至少检测一次，由具有资质的检测服务机构检测并出具检测报告。

9.2.3.7 风力发电机组消防系统的日常检查、巡检、功能试验的数量、频次和内容，尚应符合 GB 50166 和 GB 25201 的相关规定。

9.3 结构健康监测（SHM）

9.3.1 应建立全面的 TLP 基础结构健康监测系统，监测项目应至少包括：

- a) 张力腿的轴向应力/应变、振动和倾斜；
- b) 关键连接节点的应力与应变与振动；
- c) 平台的运动响应（六自由度）；

- d) 环境参数（波、流、风）；
- e) 张力腿预张力的长期监测；
- f) 机舱加速度和倾角；
- g) 腐蚀电位监测。

9.3.2 监测系统的设计、安装与数据分析应符合 NB/T 11085 的规定，数据应接入风电场中央监控系统。

9.4 运行维护

9.4.1 海上漂浮式风电机组基础定期巡视、日常维护工作应与风电场日常巡视相结合，发现问题时及时处理。

9.4.2 风电机组基础安全性的长期监测项目应包括地基沉降、结构应力、振动、冲刷等。

9.4.3 风电机组基础定期检测的项目应包括焊接部位疲劳损伤、混凝土结构裂纹、钢结构锈蚀、防腐涂层、阴极保护和海洋生物附着程度等。

9.4.4 风电机组基础应对混凝土和钢结构进行安全性的评估，并应符合下列要求：

- a) 混凝土结构日常维护应检查结构外观与荷载变化情况；
- b) 结构构件外观应重点检查裂缝、挠度、冻融、腐蚀、钢筋锈蚀、保护层脱落、渗漏水、不均匀沉降以及人为开洞、破损等损伤；
- c) 预应力混凝土构件应重点检查是否有裂缝、锚固端是否松动；
- d) 对于沿海或酸性环境中的混凝土结构，应检查混凝土表面的中性化和腐蚀状况；
- e) 对硬化混凝土的水泥安定性有异议时，应对水泥中游离氧化钙的潜在危害进行检测；
- f) 发生台风、海啸等特殊状况时，应增加检测频次；
- g) 混凝土结构检测应设定检测预警值，检测预警值应满足工程设计及对被检测对象的控制要求。

9.4.5 风电机组基础应对冲刷防护系统进行巡视检查和维护：

- a) 检测范围应根据不同基础型式确定，宜覆盖基础整个冲刷坑，并应符合 NB/T 11085 的有关规定；
- b) 检测内容宜包括局部冲刷坑形态、冲刷深度；
- c) 施工期冲刷检测应每 6 个月~12 个月（依据具体风电场，定期）开展一次检测；投运前应开展一次检测；运行期应（依据具体风电场，定期）每 3 个月~12 个月开展一次检测。运行期经 2 年及以上检测冲刷不明显的场址应降低冲刷检测频次。

9.4.6 风电机组基础应对表面防腐涂层和阴极保护系统等进行巡视检查和维护：

- a) 定期检查基础结构的表面防腐涂层，包括检查涂层的附着力、完整性和损坏情况；
- b) 定期检查风电机组基础的阴极保护系统，确保系统正常运行并提供有效的防腐蚀保护；
- c) 每年进行一次全面的检查，以确保涂层和阴极保护系统的完整性和有效性；
- d) 除全面检查外，应根据实际情况，定期进行局部检查，频率根据具体情况而定，每半年或每季度一次。

9.4.7 日常巡视和定期检查还应特别关注：

- a) 张力腿及其连接器的外观检查（如通过 ROV），寻找裂纹、腐蚀或损伤。
- b) 张力腿预张力的定期复核与调整（如需要）。
- c) 锚固区域的海床冲刷监测。

9.4.8 TLP 基础的调试、安装和重大维护作业方案，应遵循 ISO 19901-6 和 NB/T 10218 的要求，并制定专门的海上作业程序。