

# 中国混凝土与水泥制品协会标准

T/CCPA XX—202X

## 陆上风力发电机组钢混塔架 维护技术规程

Technical specification for onshore wind turbine concrete-steel hybrid tower  
maintenance

(征求意见稿)

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

中国混凝土与水泥制品协会

发布

# 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 基本要求 .....	2
4.1 维护人员要求 .....	2
4.2 安全要求 .....	3
4.3 维护文件要求 .....	4
4.4 环境保护要求 .....	4
4.5 其他要求 .....	4
5 基础维护 .....	5
5.1 一般规定 .....	5
5.2 沉降 .....	5
5.3 混凝土结构 .....	5
5.4 防水 .....	5
5.5 电缆桥架和爬梯 .....	6
5.6 接地 .....	6
6 混凝土塔筒维护 .....	6
6.1 一般规定 .....	6
6.2 表观质量 .....	6
6.3 垂直度 .....	7
6.4 表面清洁 .....	7
7 内附件维护 .....	7
7.1 一般规定 .....	7
7.2 升降机和免爬器 .....	7
7.3 平台和护栏 .....	7
7.4 塔筒门 .....	8
7.5 塔筒照明 .....	8
7.6 塔筒接地 .....	8
7.7 电缆及附属构件 .....	8
7.8 爬梯与防坠落系统 .....	8
7.9 安全标志 .....	9
8 转换段维护 .....	9
8.1 一般规定 .....	9
8.2 钢制转换段 .....	9
8.3 混凝土转换段 .....	9
9 钢塔筒维护 .....	10
9.1 一般规定 .....	10
9.2 焊缝 .....	10

---

9.3 表观质量 .....	10
9.4 螺栓 .....	10
10 预应力系统维护 .....	10
10.1 一般规定 .....	10
10.2 索体 .....	10
10.3 索力 .....	10
10.4 锚头及锚固区 .....	11
10.5 其他 .....	11
11 缺陷处理 .....	11
11.1 缺陷判定 .....	11
11.2 缺陷处理 .....	11
附录 A（资料性）维护记录表 .....	12
附录 B（资料性）索力检测记录表 .....	13
附录 C（资料性）维护工具清单 .....	15

# 前 言

根据中国混凝土与水泥制品协会《关于下达2023年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第四批）的通知》（中制协字[2023]55号）的要求（计划号2023-10-cbjh），标准编制组在总结陆上风力发电机组混凝土-钢混合塔筒维护技术方面的成果并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1 范围；2 规范性引用文件；3 术语和定义；4 基本要求；5 基础维护；6 混凝土塔筒维护；7 内附件维护；8 转换段维护；9 钢塔筒维护；10 预应力系统维护。

本规程由中国混凝土与水泥制品协会负责管理，由中国混凝土与水泥制品协会风电混塔分会负责日常管理，由浙江华东新能科技有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送浙江华东新能科技有限公司（地址：浙江省杭州市余杭区高教路201号，邮政编码：311122）或发邮件至：li\_th@hdec.com。

**主 编 单 位：**中国混凝土与水泥制品协会风电混塔分会

浙江华东新能科技有限公司

北京天杉高科风电科技有限责任公司

上海电气研砮（木垒）建筑科技有限公司

内蒙古金海新能源科技股份有限公司

上海风领新能源有限公司

**参 编 单 位：**协合新能源集团有限公司

中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司

中国广核新能源控股有限公司

中国三峡新能源（集团）股份有限公司

中国船级社质量认证有限公司

上海电气研砮（木垒）建筑科技有限公司分公司

中汉能源（上海）有限公司

威胜利工程有限公司

柳州欧维姆机械股份有限公司

江苏陆海工程科技有限公司

中铁二十四局集团桥梁建设有限公司

中铁建大桥工程局集团建筑装配科技有限公司

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

同济大学

**主要起草人：**张栋梁、钟 华、王培显、张后禅、刘 源、李梦媛

孙莉丽、梁会森、刘圣源、张雪松、曹周生、李 刚

叶志燕、许德民、杨 明、彭渝舒、李 云、宋雪飞

王全良、陈俊岭、彭文兵

**主要审查人：**

---

# 引 言

塔架是风力发电机组的重要支撑结构。其中，混凝土-钢混合塔筒是陆上风力发电机组塔架中应用愈加趋于广泛的一种。在已建成和在建风电场中，对于发电功率大于4MW、轮毂高度大于140m、叶轮直径大于180m的风力发电机组，混凝土-钢混合塔筒是目前同时兼具安全性、经济性、批量应用经验和可持续发展性的最适宜的支撑结构，因此近年来该技术在我国得到了大量应用。根据往年国家能源局发布全国电力工业统计数据，从2020年至2023年全国风电装机容量增长迅速，大量应用混凝土-钢混合塔筒作为支撑结构的陆上风力发电机组应运而生。作为陆上风力发电机组的重要部件，混凝土-钢混合塔筒的维护是确保风力发电机组正常运行和延长使用寿命的关键。

混凝土-钢混合塔筒一般由混凝土塔筒、转换段、钢塔筒、预应力系统和内附件系统组成。塔架基础一般为混凝土空心基础，其空心内设有电缆、预应力锚具、接地等结构或功能性零部件，所以，除了常规的对基础沉降和混凝土结构状态的观测，还应持续关注基础的防水措施是否完好。混凝土塔筒一般为预应力装配式预制混凝土结构，预应力系统对保证结构承载力起到了至关重要的作用，除了定期对预制混凝土构件外观质量、预制构件之间连接节点的检查外，还需要在塔架服役期内重点对预应力系统进行检查与维护。钢塔筒一般通过转换段与混凝土塔筒相连，需定期对连接螺栓进行检查和紧固。为了保证陆上风力发电机组混凝土-钢混合塔筒在其设计使用年限内可以正常服役，并为其检查和维护提供指导，约定检查项目、检查频次和维护措施，有必要确立陆上风力发电机组塔架维护的技术要求。

---

# 陆上风力发电机组钢混塔架维护技术规程

## 1 范围

本文件规定了陆上风力发电机组混凝土-钢混合塔筒在维护方面的有关要求。

本文件适用于陆上风力发电机组混凝土-钢混合塔筒的维护。

## 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（包括所有的修订单）适用于本文件。

- GB/T 25385 风力发电机组 运行及维护要求
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB/T 19072 风力发电机组 塔架
- GB/T 35854 风力发电机组及其组件机械振动测量与评估
- GB 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范
- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- GB 50550 建筑结构加固工程施工质量验收规范
- GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- GB 50212 建筑防腐蚀工程施工规范
- GB/T 21490 结构加固修复用碳纤维材料
- GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
- GB/T 50488 水泥基灌浆材料应用技术规范
- GB 50666 混凝土结构工程施工规范
- GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- GB/T 42600 风能发电系统 风力发电机组塔架和基础设计要求
- GB/T 35204 风力发电机组安全手册
- GB/T 11651 个体防护装备选用规范
- GB/T 6096 坠落防护 安全带系统性能测试方法
- GB 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- JGJ 1 装配式混凝土结构技术规程
- JGJ 8 建筑变形测量规范
- NB/T 10907 风电机组混凝土-钢混合塔筒设计规范
- NB/T 10908 风电机组混凝土-钢混合塔筒施工规范
- NB/T 10311 陆上风电场工程风电机组基础设计规范
- T/CEC 5008-2018 风力发电机组预应力装配式混凝土塔筒技术规范
- T/CECS 882-2021 风电塔架检测鉴定与加固技术规程
- CECS 21:2000 超声法检测混凝土缺陷技术规程

---

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**混凝土-钢混合塔筒 concrete-steel hybrid tower**

由下部预应力混凝土段和上部钢制段组成的用于支撑风电机组的结构。

#### 3.2

**混凝土塔筒 concrete tower**

用于承载风力发电机组的塔筒中的除基础外的底部混凝土结构。

#### 3.3

**转换段 transition section**

混凝土塔筒与钢塔筒或主机之间的连接段，转换段可以是混凝土结构，也可以是钢结构。

### 4 基本要求

#### 4.1 维护人员要求

4.1.1 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员应没有妨碍工作的相关疾病，患有高血压、恐高症、心脏病、晕厥、四肢活动受限及运动功能障碍等病症的人员，不应从事维护工作。

4.1.2 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员应具备必要的机械、土建、电气及安装等相关理论知识，熟悉混凝土塔筒浇筑、运输、吊装、钢绞线张拉等具体过程，熟悉钢塔筒运输、吊装以及混凝土-钢混合塔筒连接的相关要求，了解整塔内附件塔内布置及相关安装要求。

4.1.3 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员应掌握塔架整体施工顺序，熟悉各个环节中的关键控制点，对于塔架（混凝土塔筒和钢塔筒）生产、运输、安装、吊装等过程中出现的常见质量问题，能够及时判断并给出简易可行的处理方案。

4.1.4 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员应掌握触电、窒息急救法、简易包扎和骨折固定方式，熟悉有关割伤、烫伤、烧伤、气体中毒等急救常识，学会正确使用消防器材、安全工具和常用塔架维护器材或设备。

4.1.5 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员应持有风电行业相应的职业资格证书，了解和掌握在塔架维护过程中可能遇到的危险因素和规避措施，能够沉着冷静应对突发问题，维护过程中各项作业能够规范操作。

4.1.6 混凝土-钢混合塔筒维护工作开展前，应对所有的工作人员进行必要的施工技术交底，维护工作人员应充分了解作业现场的工作环境，对应维护的工作内容，掌握规范维护作业流程并能高效完成相应维护工作。

4.1.7 在风电发电机组塔架维护过程中，对于临时配合维护工作的人员，应进行现场安全教育和培训，并告知其作业现场和工作岗位存在的危险因素、防范措施及事故紧急处理措施后，方可配合风电塔架维护工作人员开展指定工作。

4.1.8 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员在塔架维护过程中，应做到及时记录维护工作内容，包括检查出的问题事项、维护方案及维护作业过程影像资料，对于不明确原因的问题，同时维护人员无法给出合理维护方案的情况，需及时反馈给技术部门进行分析评估，确定可靠维护方案后方可执行相应作业。

---

4.1.9 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员在对混凝土塔筒进行维护检查时，对于常见的可修复缺陷，如较小裂缝、龟裂、夹渣、孔洞等，应根据实际问题并结合相应规范要求出具维护方案，经相关部门批准通过后按方案执行相应修补作业，切勿擅自盲目处理。

4.1.10 混凝土-钢混合塔筒维护工作人员对钢塔筒进行维护检查时，对于钢塔筒出现的常见问题，如防腐层局部缺失、部分高强连接螺栓预紧力不足等问题，应及时把维护方案反馈给钢塔设计人员，方案评审通过后方可执行相应作业。

4.1.11 混凝土-钢混合塔筒维护所有操作必须严格遵守GB/T 35024的有关规定。

## 4.2 安全要求

4.2.1 混凝土-钢混合塔筒维护作业开展前，应首先进行安全风险分析，对雷雨、冰雪、大风、气温、昆虫、野生动物、龙卷风、台风、流沙、雪崩、泥石流等可能造成的危险进行识别，做好防范措施，作业时，应遵守设备相关安全警示或提示。

4.2.2 进入作业现场前，混凝土-钢混合塔筒维护工作人员必须佩戴安全帽，登塔或高空作业必须系五点式双挂钩安全带，安全带高挂低用，穿防护鞋，戴防滑手套，使用防坠落保护装置，登塔维护人员体重及负重之和不宜超过100kg，存在身体不适、情绪不稳定的情况，不应开展塔架维护作业。

4.2.3 个体防护装备与用品应符合GB/T 11651的规定；坠落悬挂安全带测试应按照GB/T 6096的规定执行，禁止使用破损及未经检验合格的安全工器具和个人防护用品。

4.2.4 在塔架内部开展维护作业时，禁止吸烟和燃烧废弃物，产生的废弃物应进行分类打包，作业完成后由专人进行打扫清理。

4.2.5 高空作业时，工器具和随身携带物应放入专用工具袋中，不应随身携带，作业过程中使用的零部件、工器具必须稳妥传递，禁止空中抛接，工器具使用后应及时放回工具袋或箱内中，工作结束后需进行清点，避免遗漏。

4.2.6 现场作业时，维护人员需保持正常通信，对讲机保持常开状态，禁止人员在塔架内单独作业，工作结束后应清点人数并签字确认。

4.2.7 在塔架内部使用平台吊物口提升物件时，应使吊梁和起吊物件与周围带电设备保持足够安全距离，物件起吊后，禁止人员在起吊物下方逗留。

4.2.8 塔架内部作业需要接引工作电源时，应装设满足要求的漏电保护器装置，作业前应首先检查电缆绝缘性能是否良好，漏电保护器动作是否可靠。

4.2.9 维护人员在塔内进行攀爬作业时，应系好安全绳和定位绳，安全绳严禁低挂高用，禁止两人在同一段爬梯同时攀爬，当通过塔架内部平台后，应随即关闭平台盖板，到达工作位置时，应先挂好安全绳，后解防坠器。

4.2.10 在作业平台上对混凝土塔筒修复前，应检查平台吊点是否均已可靠连接，护栏是否固定牢靠，严禁只有部分吊点连接、无护栏状态下进行作业。

4.2.11 塔架内部升降梯或免爬器运行过程中，爬梯上和升降梯底部禁止人员通过或停留，升降梯或免爬器启动或停止时，应确保开关处于对应状态。

4.2.12 超过下述限定值，不得进行维护工作。

a) 叶片位于工作位置和顺桨位置之间的任何位置；

b) 叶片位于顺桨位置（当叶轮锁定装置启动时不允许变桨）；



---

c) 阵风风速18m/s时不允许在塔筒内工作；

d) 环境温度低于-20摄氏度。

### 4.3 维护文件要求

4.3.1 文件中应有详细完整的检查维护内容，包括基础、混凝土塔筒、内附件、转换段、钢塔筒、预应力系统等相关内容的检查维护细项。

4.3.2 文件应明确塔架不同检查维护项目的维护时间、检查频率，应有规范完整的检查维护记录表，用以记录每次维护工作的具体内容，对于特殊问题事项应凸显标注，便于之后定期检测时重点维护。

4.3.3 针对塔架不同检查维护项目应有具体检查计划，根据不同分项对风电机组运行的影响程度大小划分等级，对不同等级的维护项目可分阶段进行。

4.3.4 文件中应有对人员资质审查的分项，对人员安全施工的检查类别，对环境保护措施执行情况的记录。

4.3.5 文件应列举出不同维护项目所需要使用的基本工器具清单，常规塔架维护的基本操作步骤，常见问题缺陷的识别和初步处理方案。

4.3.6 文件应列举出风电机组塔架维护过程中可能遇到的安全问题及相应的应对处理方案。

4.3.7 对风电机组塔架定期维护过程中，文件中需对塔架垂直度、基础沉降情况、风电机组近期运行状况以及天气状况进行记录，可作为判断相关缺陷及维护措施的依据。

### 4.4 环境保护要求

4.4.1 塔架维护作业开展前，应根据施工现场实际情况，对塔架维护人员进行环保知识的培训，提升作业人员的环保意识，尽量从源头上杜绝维护作业过程中出现污染环境的问题。

4.4.2 塔架维护作业小组应制定科学合理的环境保护管理计划，明确管理目标，对可能造成的环境破坏做好评估分析，在维护作业过程中采取切实有效的防范措施，在维护作业完成后，对防范措施的有效性和持久性进行分析评价。

4.4.3 塔架维护过程中产生的污水应采取沉淀、隔油等措施处理，不得直接排放，产生的废料、建筑垃圾应分类堆放，维护作业完成后，应安排专人及时清运按规范处理。

4.4.4 塔架维护过程中，需要进行材料搬运、启用机械设备特别是大型设备配合作业时，应采取降低噪声的可靠措施，施工作业噪声应符合GB 12523的有关规定。

4.4.5 建筑垃圾和生活垃圾应分类堆放和处理，可循环使用的垃圾应回收利用，不可循环使用的垃圾需及时清运，并按当地相关部门要求进行处理。

4.4.6 维护作业中用到的相关辅材，如灌浆料、结构胶、自喷漆等，使用完毕后，禁止随意丢弃包装件，避免包装容器上的残余材料污染土壤和水源。

4.4.7 机械设备产生的废机油贮存污染控制应符合GB 18597中的有关规定，贮存前应进行检验，不应与不相容液体垃圾混合，实行分类存放，按照符合环保规定的方式定期进行处理。

4.4.8 施工道路、预制厂、拼装场地等宜进行地面硬化处理或采取有效扬尘控制措施；切割、打孔、报废等作业时也应采取有效的扬尘控制措施。

### 4.5 其他要求

4.5.1 混凝土-钢混合塔筒维护时应考虑不同季节下气候条件和天气变化对检查结果的影响。

4.5.2 当风电机组遭受极端天气、自然灾害、共振、反复启停或超出设计范围的故障后，应及时对混凝土-钢混合塔筒进行巡检并评估结构的安全性。

4.5.3 每次维护后发现异常时，应对结果尽快进行评估和分析，确定是否存在问题和隐患。

## 5 基础维护

### 5.1 一般规定

5.1.1 基础维护应从沉降、混凝土结构、防水、电缆桥架和爬梯、接地等方面进行，并根据地质条件、地下水深度等综合确定维护频次。如发现基础存在检测不合格项，应反馈给原设计方，并由原设计方提出解决方案。

### 5.2 沉降

5.2.1 基础沉降观测的总体原则应参照NB/T 10311第9.3节执行。宜在运行第一年观测3次~4次，第二年观测2次~3次，第三年及以后每年观测1次。

5.2.2 对于重力式基础的基底（或桩基础的桩底）为压缩模量（或变形模量）不小于20MPa的硬土时，沉降稳定时可终止观测。

5.2.3 当发现观测结果异常时或监理有要求时，应加密观测。发生特殊情况，如地震、台风、爆炸、机组发生共振等也应及时做沉降观测。

5.2.4 沉降是否稳定应根据沉降量与时间关系曲线断定，当某一台沉降速率小于0.02mm/d时(指某台风机基础4个测点的平均值)，可认为该风机基础沉降已稳定，可终止观测，但总观测时间尚应满足不小于12个月的要求。

5.2.5 观测资料至少应包括：基准点测量记录，各测点原始测量记录，计算各测点沉降、平均沉降和基础倾斜值，绘制时间-沉降关系曲线，编制观测分析报告。

### 5.3 混凝土结构

5.3.1 混凝土结构检查内容为表观质量，检查方式以目测、仪器测量为主。风电机组运行后首年每季度检查1次；第二年每半年检查1次；第三年之后每年检查1次。此外，在台风、地震、爆炸、机组共振等特殊情况后需进行巡查。

5.3.2 检查基础上覆回填土是否发生明显的隆起或下沉，基础边缘地表是否产生明显的裂缝。

5.3.3 检查基础外露部分的混凝土是否发生剥离现象，钢筋是否有外露、生锈现象。

5.3.4 检查牛腿底面锚垫板附近混凝土是否出现局部混凝土压溃、锚垫板凹陷的现象；检查钢绞线位置附近牛腿侧壁是否出现裂缝。

### 5.4 防水

5.4.1 基础防水检查内容包括检查基础空腔、基础与塔架根部连接部位、电缆管等防水情况，检查方式以目测、手动操作为主。在地下水较丰富的地区，风电机组运行后首年，雨季每月检查1次，非雨季每季度检查1次；第二年之后每年在雨季检查1次。无地下水或地下水深度较深地区，风电机组运行后首年，雨季检查1次；第二年之后每年在雨季检查1次。此外，在特大暴雨等极端天气或自然灾害后需进行巡查。

5.4.2 对于平底式基础，检查张拉室底板的易渗水点和易翻浆处是否渗水；对于下凸式基础，检查张拉室侧墙顶部施工缝是否渗水。

---

5.4.3 检查基础空腔内部是否长时间存在积水现象（雨季期间、基础周边农田灌溉后），积水应及时排走。

5.4.4 检查基础与塔架根部连接部位的防水卷材、防水胶、防水涂料等防水材料是否发生老化、损伤和脱落现象。

5.4.5 当电缆从基础内穿过时，检查电缆管与混凝土之间、电缆和电缆管之间是否发生漏水、渗水现象，电缆管密封材料是否有脱落现象。

## 5.5 电缆桥架和爬梯

5.5.1 基础电缆桥架和爬梯检查方式以目测、使用力矩扳手为主，检查周期为每年 1 次。

5.5.2 所有电缆应固定在电缆桥架上，不应存在未固定或松动现象。

5.5.3 检查电缆有无磨损或开裂现象。

5.5.4 电缆桥架在正常运行时属于带电设备，在维护前须切断其电源，使用验电设备确认不带电、并挂锁或安排专人盯守后，方可进行维修保养操作。

5.5.5 检查电缆桥架和爬梯有无变形损坏、固定螺栓有无松动、表面是否发生锈蚀。

5.5.6 检查下人孔盖板开合是否正常。

## 5.6 接地

5.6.1 基础接地检查方式以目测、使用力矩扳手为主，检查周期为每年一次。

5.6.2 检查均压环是否焊接牢靠、表面是否发生锈蚀。

## 6 混凝土塔筒维护

### 6.1 一般规定

混凝土塔筒维护应从表观质量、垂直度、表面清洁等方面进行。

### 6.2 表观质量

6.2.1 表观质量检查方式以目测为主，必要时采用无人机辅助。风电机组运行后首年每季度检查 1 次；第二年每半年检查 1 次；第三年之后每年检查 1 次。

6.2.2 检查混凝土塔筒表面是否有影响结构性能或使用功能的裂缝、掉块等缺陷，拼接面是否有碎渣或透光现象。

6.2.3 混凝土塔筒存在影响结构性能或使用功能的裂缝时，应拍照记录并描述裂缝的宽度、长度、位置、分布、走向等，并和上次检查情况进行比较，裂缝长度、宽度明显扩展时，应及时上报并组织分析原因，并对该位置增加检查频率，必要时综合缺陷情况制定合理的修复方案。

6.2.4 裂缝宽度的测量，可采用比例尺、小钢尺、游标卡尺、坐标方格网板、百分表、测缝计或传感器等。

6.2.5 裂缝深度的测量，可采用超声波法或局部凿开法；超声波法要求裂缝内无积水或泥浆，具体可参考 CECS 21。

6.2.6 混凝土塔筒存在表面掉块时，应拍照记录并描述掉块位置、大小、厚度等，并检查附近有无继续掉落趋势，设置相关警示和隔离，及时上报并组织分析原因和制定处理措施。

6.2.7 当怀疑混凝土塔筒存在内部缺陷时，宜采用超声波法进行双面检测或采用冲击回波法和电磁波反射法进行单面检测，对于判别困难的区域应进行钻心验证或剔凿验证。

---

6.2.8 拼接面有碎渣、漏水或透光现象时，应拍照记录并描述其位置、大小等，用锥子等硬物抽检水平缝座浆料或结构胶硬化情况，并和上次检查情况进行比较，范围明显扩展时，应及时上报并组织分析原因和制定处理措施。

6.2.9 雨季来临时，应及时检查混凝土塔筒渗水情况，拍照记录并描述渗水位置和程度，渗水量较大时应及时上报分析原因和制定处理措施。

6.2.10 塔筒采用涂装时，应目测涂层的外观，如有涂层开裂、起泡、脱落等现象，应记录位置、范围等，需要时可采用原规格或相近涂层材料进行补涂修复。

6.2.11 混凝土塔筒产生相关结构缺陷时，应认真分析缺陷产生的原因，对影响结构安全的严重缺陷应委托有资质的单位进行缺陷检测并进行安全性评估、制定专项修补方案，方案经论证审批通过后方可实施，不得擅自处理。

### 6.3 垂直度

6.3.1 可采用经纬仪或全站仪等仪器进行观测，垂直度检查时应至少从两个非共线的方向进行观测，最终取合成后的结果，检查周期每年 1 次。

6.3.2 垂直度检查应在风速较小的清晨或傍晚进行。

6.3.3 应结合基础的沉降数据进行分析。

### 6.4 表面清洁

6.4.1 表面清洁检查方式为目测，检查周期每年 1 次。

6.4.2 检查塔筒内外壁是否有严重污渍、水渍，尤其是涉水机位浸水后的外观清洁，视严重程度，决定是否采取清洁措施。

## 7 内附件维护

### 7.1 一般规定

7.1.1 内附件维护包括升降机、平台和护栏、塔筒门、塔筒照明、塔筒接地、电缆、爬梯与防坠落系统、安全标志等。

7.1.2 内附件维护检查方式以目测为主，检查周期每年 1 次。

### 7.2 升降机和免爬器

7.2.1 升降机和免爬器维护的内容包括日常保养、定期检修、定期大修三个级别，日常保养与上机前后的检查工作由操作人员负责，定期检修与定期大修工作由升降机和免爬器厂家或专业人员负责。所有工作都要做好记录，并有工作人员签字存档。

7.2.2 维护的具体项目详见升降机和免爬器厂家提供的维护手册。

### 7.3 平台和护栏

7.3.1 塔筒内部平台检查维护时，必须把平台盖板合上，以免人员跌落、物品掉落。

7.3.2 检查平台板及护栏镀锌层有无凹陷、凸起、裂纹、脱落。

7.3.3 检查平台板及护栏外表面是否有油污，如有油污需进行清洗。

7.3.4 检查塔筒内各段平台板、护栏、平台盖板等有无变形损坏，平台上各处连接螺栓有无松动腐蚀现象，如有应及时更换或拧紧。

7.3.5 检查各个平台在风机启动、运行、停机三种状态下有无异响及异常振动，如有应及时找出原因并处理。

7.3.6 检查各平台支座与筒壁连接螺栓是否出现松动现象，如有应及时拧紧。

7.3.7 检查各平台钢绞线开口处是否与钢绞线发生刚蹭，如有应及时采取增加缓冲隔垫等措施。

7.3.8 检查护栏固定情况；用手轻轻晃动、扳动护栏，检查是否出现松动、摆幅过大等情况，如有应及时采取加固措施。

#### 7.4 塔筒门

7.4.1 检查塔筒门内外表面是否有油污，如有油污需进行清洗。

7.4.2 检查塔筒门开启、关闭功能是否正常，塔筒门开闭应无异响、顺畅。

7.4.3 检查闭锁机构是否完好。

7.4.4 检查门密封圈有无损坏。

7.4.5 检查塔筒门板及通风口处外观，是否出现翘边、凹陷、凸起、裂纹、防腐涂层脱落等现象。

7.4.6 检查塔筒门内侧四周与筒壁的密封胶连接处有无漏水，渗水痕迹，漏水、渗水现象应及时进行封堵处理。

7.4.7 检查门梯子外观：防腐完好，无焊缝开裂现象；目测整体未歪斜，台阶面应水平，如有倾斜应及时调整。

#### 7.5 塔筒照明

7.5.1 检查塔筒内所有照明设备在通电后是否正常工作。

7.5.2 检查塔筒内电气插座，通电时所有插座需能够正常工作，断电后插座能够正常断开，且无漏电现象。

7.5.3 检查照明灯安装紧固件是否松动或脱落。

#### 7.6 塔筒接地

7.6.1 接地扁钢连接孔及周围被座浆料或结构胶等材料覆盖的区域，需进行清理，接地扁钢连接孔重新清理回丝后再拧入螺栓，同时在扁钢周围2~3cm区域涂抹二氧化钼。

7.6.2 混凝土塔筒相邻筒节间或混凝土塔筒底部与基础均压环之间的防雷接地线出现与接地扁钢连接松弛、破损等问题，需及时进行更换。

7.6.3 风电机组运行一年或机组遭受雷击或报故障时，要求检查接地电阻，接地电阻应 $\leq 4\Omega$ 。

#### 7.7 电缆及附属构件

7.7.1 电缆夹块、电缆扎带、弱电线槽、电缆桥架正常运行时属于带电的设备，故在维护前须切断其电源，使用验电设备确认不带电、并挂锁或安排专人盯守后，才能进行维修保养操作。同时，检查维护属高空作业，操作者应充分保证自身安全，维护时必须正确使用安全带及安全绳。

7.7.2 检查所有电缆都应固定在塔筒内电缆夹块上，不应存在电缆未夹紧导致电缆下滑或松动现象。

7.7.3 检查电缆与弱电线槽的固定扎带有无断裂、电缆夹块螺栓紧固情况，如有扎带断裂或螺栓松动，需更换或紧固。

7.7.4 检查电缆夹块、弱电线槽、电缆桥架有无变形损坏、固定螺栓有无松动，如有应及时处理。

7.7.5 检查电缆有无磨损或开裂现象。

#### 7.8 爬梯与防坠落系统

7.8.1 检查爬梯导轨、安全滑块导轨外观，有无凹陷、凸出等缺陷，如有应及时处理。

7.8.2 检查每段爬梯之间和安全滑块导轨之间的连接处，有无错位、断开等故障，如有应马上修复处理。

7.8.3 检查爬梯导轨支撑与塔筒壁连接螺栓是否紧固。

7.8.4 检查攀爬保护系统的钢丝绳或滑轨连接点的螺栓是否紧固。

7.8.5 检查爬梯及安全滑块导轨上是否有油污、杂质、灌浆料、座浆料、结构胶、灰尘等污物，应及时清理污物，保证安全滑块在爬梯安全导轨上运动时应顺滑，无卡顿、阻塞。

7.8.6 检查爬梯与爬梯支撑之间的连接是否出现松动，保证爬梯在升降机运行或爬人时不会出现晃动或错位。

7.8.7 检查在风机启动、运行、停机三种状态下爬梯导轨是否出现异响及异常振动，如有应及时找出异常部位，检修处理。

## 7.9 安全标志

7.9.1 出现破损、变形、褪色、标识模糊不清等现象时应及时修整或更换。

7.9.2 在修整或更换安全标志时应有临时的标志替换，以避免发生安全事故。

7.9.3 检查安全标志的固定或粘贴是否牢固，存在松动应及时处理。

## 8 转换段维护

### 8.1 一般规定

8.1.1 混凝土-钢混合塔筒转换段有钢制转换段、混凝土转换段两种技术路线。

8.1.2 构造成熟的转换段，风电机组运行后首年每季度检查 1 次；第二年每半年检查 1 次；第三年之后每年检查 1 次；构造复杂的转换段的巡检频次应由设计人员确定。

### 8.2 钢制转换段

8.2.1 钢制转换段巡检时，应清除巡检部位表面的油污、浮锈和其他杂物。

8.2.2 钢制转换段的巡检包括高强螺栓的预拉力和外观质量、焊缝质量、法兰板的贴合度、加劲板的平整度等。

8.2.3 钢制转换段上高强螺栓的预拉力和外观质量、焊缝质量应全数检查。

8.2.4 预拉力检测宜采用直接张拉法，对于安装后划线的高强螺栓可采用目测法检测。

8.2.5 转换段连接中的高强螺栓外观质量巡检应包括螺栓腐蚀、断裂、松动、脱落、螺杆弯曲、滑移变形、螺栓孔挤压变形等。

8.2.6 钢制转换段焊缝质量的巡检一般可采取直接目视、低倍放大镜、焊缝量规和钢尺等方法对外观质量进行巡检，对巡检人员无法达到的位置可采用无人机进行巡检；受力部位的焊缝需特别注意，如法兰-塔筒壁、加劲板-塔筒壁。

8.2.7 当对焊缝质量存在怀疑时，可采用超声波或射线等检测方法对内部质量进行检测；对构造复杂或厚板的焊缝，可采用超声波相控阵或超声波衍射时差法等作为辅助技术手段进行探伤检测。

8.2.8 法兰板应紧密贴合，无漏水、透光现象。

### 8.3 混凝土转换段

8.3.1 对混凝土转换段混凝土表观质量的维护参照混凝土塔筒执行。

8.3.2 对锚栓的维护包括外观质量、预应力和紧固情况。

8.3.3 锚栓出现锈蚀时，应采用自喷锌、防锈油脂或带锈防腐漆进行喷涂处理并记录处理时间、处理部位等，作为日后重点检查部位。

8.3.4 如锚栓螺母有损坏，则必须更换。

8.3.5 锚栓张拉力检查采用拉伸法，对检查锚栓张拉到验收油压，螺母与法兰板之间无间隙且螺母用扳手或拨杆施加扭矩 $50N\cdot m$ 不能拧动，则说明该锚栓达到验收要求。

8.3.6 按10%比例，选取平均分布的锚栓测试张拉力。如有超过设计许可的张拉力衰减，则增加检测比例，直至100%检测。

## 9 钢塔筒维护

### 9.1 一般规定

对混凝土-钢混合塔筒钢塔筒的巡检频次应不低于对混凝土塔筒表观质量的巡检频次。钢塔筒维护应从焊缝、表观质量、螺栓等方面进行。

### 9.2 焊缝

钢塔筒焊缝质量的巡检一般可采取直接目视、低倍放大镜、焊缝量规和钢尺等方法对外观质量进行巡检，对巡检人员无法达到的位置可采用无人机进行巡检；受力部位的焊缝需特别注意，如法兰-塔筒壁。

### 9.3 表观质量

检查钢塔筒本体是否有凹陷、凸起、裂纹、防腐涂层脱落等现象。

### 9.4 螺栓

钢塔筒与主机连接螺栓维护要求同钢制转接段高强螺栓。

## 10 预应力系统维护

### 10.1 一般规定

10.1.1 混凝土-钢混合塔筒预应力系统有体外、体内两种技术路线。预应力系统维护应从索体、索力、锚头及锚固区等方面进行。索体、索力维护仅适用于体外预应力系统。

10.1.2 除索力外，风电机组运行后首年每季度检查1次；第二年每半年检查1次；第三年之后每年检查1次。

### 10.2 索体

10.2.1 检查索体自由段是否和塔筒壁或其它物体意外接触，如有应查明原因，并采取措施使索体自由段恢复非接触状态或与接触物之间增加柔性保护层。

10.2.2 检查索体与塔筒接触处（预埋管出口、转向装置、减振装置）有无柔性保护层、保护层有无损坏，如有则需处理或更换。

### 10.3 索力

10.3.1 风机及塔筒运行正常时一般无需检测索力。

10.3.2 索力检测可采用间接测力法或直接测力法。间接测力法包括频率法、磁通量传感器法，直接测力法包括压力传感器法、千斤顶油压法。传感器应在安装前进行校准，并在预应力系统施工期间完成安装。索力检测优先采用不影响风机和塔筒正常运行的方法。

10.3.3 索力检测时宜避开不良天气影响，在一天中日照温差最小的时刻进行，并记录当时温度与风速。

10.3.4 索力检测应由有经验的预应力专业人员完成。

---

10.3.5 索力检测采用循环抽检方式，每次抽检比例不小于 30%，选取平均分布的索测试索力。如有超过设计许可的索力衰减，则增加检测比例，直至 100%检测。

10.3.6 当索力偏差 10%以上且经评估影响结构安全时，需进行调索。

#### 10.4 锚头及锚固区

10.4.1 检查锚头是否渗水、锈蚀，是否有锈水流出的痕迹。

10.4.2 必要时可以打开锚具防护罩，抽检比例不小于 10%，检查内部是否积水、潮湿，防腐油脂是否结块、乳化失效，锚板、夹片等受力金属部件是否锈蚀、开裂，钢绞线是否存在回缩。

10.4.3 锚头内油脂老化、变质时，应及时进行更换；更换油脂时，原有油脂应擦除干净，涂覆的新油脂应饱满、均匀。

10.4.4 锚固区混凝土开裂、剥落或锚板、锚垫板、连接螺栓等构件存在开裂、变形时，应进行特殊检查评估，并及时修复。

#### 10.5 其他

10.5.1 目测锚板、锚垫板、锚具防护罩、减振装置、转向装置等所有部件是否在正确的位置上；目测所有部件有没有机械或其它损伤。

10.5.2 使用手电筒或内窥镜检查基础预埋管内部，不应有水分，钢绞线不应接触管壁，钢绞线不应出现锈蚀磨损、机械损伤、毛刺等现象。如填充防腐油脂，应检查是否老化、变质；如填充蜡或发泡材料，应检查钢绞线和填充物之间有无间隙。

10.5.3 如发生水灾、火灾、风电机组故障等特殊事件后，应联系预应力系统供应商或有资质单位一起针对发现的损伤制定进一步检验方法及解决方案。

### 11 缺陷处理

#### 11.1 缺陷判定

混凝土-钢混合塔筒巡检过程中发现的缺陷，根据其结构性能和使用功能影响的严重程度，分为严重缺陷和一般缺陷。

#### 11.2 缺陷处理

11.2.1 维护过程中，应记录发现的缺陷，形成缺陷项目汇总表单。

11.2.2 对于一般缺陷，维护人员可根据维护要求处理并做好记录。

11.2.3 对于严重缺陷或无法准确判断缺陷分类的情况，应及时反馈混塔设计、生产、安装及相关单位，认真分析缺陷产生的原因，对影响结构安全的严重缺陷应委托有资质的单位进行缺陷检测并进行安全性评估、制定专项修补方案，方案经论证审批通过后方可实施，不得擅自处理。







---

说明：

（1）当采用单孔千顶进行索力检测时，可在单束预应力筋中随机选取 1 根或若干预应力筋进行检测，其预应力筋应力损失应在设计允许误差范围内；

（2）当采用其他索力检测方式时，需经试验验证；记录表单格式和内容可进行相应调整。

---

附录 C  
(资料性)  
维护工具清单

序号	工器具名称	规格型号
1	力矩扳手	
2	接地电阻测试仪	
3	安全吊带、安全帽	
4	混凝土裂缝测量仪	
5	磁感仪检测保护层测量仪	
6	金属探针	
7	高倍望远镜	
8	无人机	
9	高强混凝土回弹仪	