|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 27.180 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png XZBX |   F 01 |

西安市质量与标准化协会团体标准

T/XZBX 0080—2025

风力发电机组模块化装配式施工技术规程

Code of practice for modular prefabricated construction technology of wind turbines

2025 - 09 - XX发布

2025 - 09 - XX实施

西安市质量与标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc206835382)

[引言 V](#_Toc206835383)

[1 范围 1](#_Toc206835384)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc206835385)

[3 术语和定义 1](#_Toc206835386)

[4 总体原则 2](#_Toc206835387)

[5 施工准备 3](#_Toc206835388)

[6 施工工艺 4](#_Toc206835389)

[7 质量控制 5](#_Toc206835390)

[8 安全与环保 6](#_Toc206835391)

[9 监督改进 7](#_Toc206835392)

1. 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。

本文件由西安市质量与标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：中建二局第一建筑工程有限公司。

本文件主要起草人：潘 帅。

1. 引言

随着全球能源结构向清洁、低碳转型，风力发电作为可再生能源的重要形式，在我国能源战略中占据着越来越重要的地位。风力发电机组的装机规模不断扩大，单机容量逐步提升，传统的施工方式在安全性、效率和质量控制方面已难以完全满足大型化、快速化发展的需求。

模块化装配式施工技术应运而生。该技术通过将风力发电机组的基础、塔筒、机舱、叶片等关键部件进行模块化设计与预制，并在施工现场采用标准化的装配工艺进行拼装，不仅能够显著缩短施工周期，还能提升安装精度和施工安全水平。同时，该技术有助于实现施工机械化和智能化，降低人工依赖和环境风险，符合绿色施工和可持续发展的要求。

近年来，国内外风电工程在模块化装配式施工方面积累了丰富经验，形成了一系列成熟的工艺与装备。但在实际应用中，仍存在标准不统一、施工组织不规范、现场管理水平参差不齐等问题，制约了施工质量和效率的提升。因此，亟需制定统一的施工技术规程，对模块化装配式施工的基本原则、工艺流程、质量控制、安全与环保措施等进行系统规范。

本文件旨在通过对风力发电机组模块化装配式施工技术的规范化管理，推动施工过程的标准化与精细化，为施工单位、设备制造商、监理机构和相关管理部门提供统一的技术依据，从而保障工程安全、提升施工效率、促进风电产业绿色健康发展。

风力发电机组模块化装配式施工技术规程

* 1. 范围

本文件规定了风力发电机组模块化装配式施工的总体原则、施工准备、施工工艺、质量控制、安全与环保及监督改进等方面的内容，适用于陆上风力发电机组模块化装配式施工。

本文件适用于风力发电机组塔筒、机舱、叶片及相关附属设施的模块化分段运输与装配施工，也可供海上风力发电机组施工参考。也适用于施工单位、设备制造商、监理单位和相关管理机构在风力发电机组装配施工中的实施与监督。

* 1. 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 2900.53—2001 电工术语 风力发电机组

GB/T 19568—2017 风力发电机组 装配和安装规范

GB/T 31960.12—2024 电力能效监测系统技术规范 第12部分：建设导则

GB/T 50430—2017 工程建设施工企业质量管理规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

装配式施工 assembly construction

在工厂预制或加工的部件，经运输至施工现场后，采用机械吊装和拼装方式完成整体结构的施工方法。

塔筒分段 tower section

按照运输和施工需求，将风力发电机组塔筒制造为多个模块段，在现场逐段拼装形成整体塔筒的施工方式。

机舱装配 nacelle assembly

风力发电机组中机舱整体或关键部件通过模块化方式运输至施工现场后进行拼装与安装的过程。

叶片拼装 blade assembly

风力发电机组的叶片通过分段运输或整体吊装，在现场进行对接、紧固和安装的作业过程。

整体吊装 integrated hoisting

采用大型起重设备，将塔筒段、机舱或叶片模块等大体积部件整体提升到预定位置进行安装的施工方法。

* 1. 总体原则
     1. 安全优先

模块化装配式施工必须将安全放在首位。施工方案设计、设备选型和现场组织应充分考虑安全风险，确保施工过程人员、设备和环境的安全。

* + 1. 科学高效

施工组织应遵循科学合理的原则，充分利用模块化设计和装配式工艺的优势，优化施工工序，提高装配精度和效率，缩短施工周期。

* + 1. 质量为本

施工全过程必须严格落实质量控制要求，从部件制造、运输到现场拼装，均应实施全过程质量追溯，确保风力发电机组的结构安全与运行可靠性。

* + 1. 绿色低碳

在施工过程中应注重节能降耗，减少施工废弃物和环境污染，优先采用低能耗设备和绿色施工工艺，推动风电工程向可持续发展方向转型。

* + 1. 信息化管理

应利用数字化建模、智能监测和信息化平台，对施工进度、质量和安全进行动态管理，实现模块化装配施工的全过程可视化与可追溯。

* + 1. 协同作业

模块化装配施工涉及设计、制造、运输、安装等多个环节，应加强多方协同，形成高效的跨单位、跨工序配合机制，确保工程顺利实施。

* 1. 施工准备
     1. 总体要求

风力发电机组模块化装配式施工前，应开展充分的准备工作，包括施工组织、场地条件、设备与材料、人员培训和应急预案等方面。施工准备的完善程度，直接决定后续施工的顺利与否。

* + 1. 施工组织

施工单位应建立健全的组织体系，明确各部门职责，确保施工方案的实施。具体要求包括：

1. 制定详细的施工计划和进度安排；
2. 明确施工负责人、安全负责人和质量负责人；
3. 建立跨工序、跨专业的协调机制。
   * 1. 场地条件

在施工场地准备方面，应进行以下工作：

1. 场地平整和道路修筑，保证大型运输车辆和吊装设备进出；
2. 设置临时堆放区，确保塔筒段、机舱和叶片等部件的存放安全；
3. 布置临时供电、供水及通讯设施，满足施工基本需求。
   * 1. 设备与材料

设备和材料的准备是模块化装配式施工的重要环节。主要要求如下：

1. 吊装设备：应选用与塔筒高度和机组重量匹配的大型起重机；
2. 运输设备：应配置专用运输车辆，满足长、大部件的运输要求；
3. 工具与工装：如对接平台、紧固工具等应提前检验和准备；
4. 模块化部件：应在运输前完成工厂预制并通过检验。

为便于执行，施工准备阶段的关键要点见表1。

1. 施工准备要点

| 类别 | 主要内容 | 要求 |
| --- | --- | --- |
| 施工组织 | 施工计划、职责划分、协调机制 | 制定详尽计划，责任明确 |
| 场地条件 | 道路、堆放区、临时设施 | 保证运输与吊装顺利，满足施工需求 |
| 设备准备 | 起重机、运输车辆、专用工装 | 满足承载与运输条件，提前检验合格 |
| 材料准备 | 塔筒段、机舱、叶片等模块化部件 | 工厂预制完成，附带检验合格证 |
| 人员准备 | 技术交底、安全培训 | 全员培训合格，具备上岗资格 |
| 应急预案 | 防风、防坠落、防机械事故 | 制定预案，明确责任人，配备应急物资 |

* + 1. 人员培训

所有施工人员应在上岗前接受技术与安全培训。培训内容包括：模块化装配施工工艺、吊装作业规程、安全防护要求和应急处理措施。培训合格后方可进入现场施工。

* + 1. 应急预案

应制定全面的应急预案，涵盖大风天气、部件坠落、机械故障、火灾等突发情况。施工前应组织演练，确保所有人员熟悉应急流程，提升现场处置能力。

* + 1. 综合说明

施工准备是模块化装配施工的前提保障，只有做好组织、场地、设备、材料和人员等各方面的准备工作，并制定完善的应急预案，才能确保风力发电机组施工过程的安全、高效和可控。

* 1. 施工工艺
     1. 总体要求

模块化装配式施工工艺应遵循“分段预制、现场装配、逐级提升、质量可控”的原则。施工过程中应根据风电机组结构特性，合理组织吊装、拼装和紧固作业，确保施工精度和安全。

* + 1. 塔筒装配

塔筒通常分段制造并运输至现场，再逐段进行吊装与拼接。施工时应重点控制垂直度、同心度和焊缝质量。

为便于施工人员理解，塔筒装配的主要工艺流程及控制要点见表2。

1. 塔筒装配工艺要点

| 工序 | 主要内容 | 控制要求 |
| --- | --- | --- |
| 基础复核 | 检查基础标高、预埋螺栓 | 偏差≤5 mm |
| 吊装对位 | 吊装塔筒段并调整位置 | 垂直度≤2‰，同心度偏差≤3 mm |
| 法兰连接 | 法兰面清理、螺栓紧固 | 螺栓扭矩满足设计值 |
| 焊缝检测 | 进行焊缝无损检测 | 100%超声波或射线检测合格 |

通过逐段吊装、精准定位和严格检测，可以确保塔筒整体稳定性和结构安全。

* + 1. 机舱装配

机舱装配是风机施工的重要环节，通常采用整体吊装方式。施工时需关注起吊安全、安装精度以及与塔筒法兰的密封性。机舱装配的主要工艺要点见表3。

1. 机舱装配工艺要点

| 工序 | 主要内容 | 控制要求 |
| --- | --- | --- |
| 机舱检查 | 外观、部件安装情况 | 无损伤，零部件齐全 |
| 吊装就位 | 起重机整体吊装机舱 | 控制摆动，平稳就位 |
| 法兰连接 | 塔筒与机舱法兰对接 | 法兰面平整，螺栓紧固到位 |
| 功能检测 | 机舱旋转、刹车功能 | 运转灵活，检测合格 |

机舱装配的重点在于吊装安全和对接精度，确保机组运行的可靠性。

* + 1. 叶片安装

叶片安装通常采用单片吊装或整体三片同时吊装两种方式，应结合现场条件选择。施工中需特别注意叶片防护和角度控制。为便于施工单位操作，叶片安装环节的工序安排和质量标准见表4。

1. 叶片安装工艺要点

| 工序 | 主要内容 | 控制要求 |
| --- | --- | --- |
| 叶片检查 | 表面缺陷、运输损伤 | 无裂纹、破损、变形 |
| 吊装起吊 | 单片或整体吊装 | 起吊点正确，吊具完好 |
| 轮毂对接 | 叶根与轮毂法兰连接 | 螺栓按设计值紧固，间隙均匀 |
| 平衡调试 | 转动检查，叶片角度调整 | 运转平稳，角度误差≤0.5° |

叶片安装完成后应进行整体转动与平衡调试，确保机组运行的稳定性与发电效率。

* + 1. 电气与控制系统安装

在完成结构装配后，应进行电气与控制系统的安装，包括电缆敷设、控制柜安装和系统调试。为了使施工过程更具可操作性，电气与控制系统安装的关键步骤和控制要求见表5。

1. 电气与控制系统安装要点

| 工序 | 主要内容 | 控制要求 |
| --- | --- | --- |
| 电缆敷设 | 塔筒内部动力及信号电缆 | 电缆固定牢固，无损伤 |
| 控制柜安装 | 控制柜、变频器、保护装置 | 接线正确，固定牢靠 |
| 接地系统 | 塔筒与电气设备接地 | 电阻符合设计规范要求 |
| 系统调试 | 整机联调，信号测试 | 功能正常，满足运行要求 |

电气与控制系统安装的重点是接线规范、接地可靠及系统功能测试。

* + 1. 综合说明

施工工艺是模块化装配式施工的核心环节。通过严格的工艺控制、精确的吊装定位与规范的电气调试，能够确保风力发电机组的安装质量和运行安全，为后续调试与并网发电奠定基础。

* 1. 质量控制
     1. 材料与部件检验

模块化部件在进场前必须经过出厂检验，进场后应进行复核。检验内容包括外观质量、尺寸偏差、合格证及检测报告等。材料与部件检验的主要控制要点见表6。

1. 材料与部件检验要点

| 检验对象 | 检查内容 | 控制要求 |
| --- | --- | --- |
| 塔筒段 | 外观、尺寸、法兰平整 | 无裂纹，偏差符合设计要求 |
| 机舱 | 外观、附件安装 | 部件齐全，外观无损伤 |
| 叶片 | 表面缺陷、尺寸 | 无裂痕、破损，尺寸合格 |
| 紧固件 | 材质、螺纹、标识 | 符合标准，附合格证 |

经检验合格的部件方可进入吊装与拼装工序，确保后续施工环节质量可控。

* + 1. 装配与施工过程

在装配过程中，施工单位需特别关注各关键环节的质量指标。这些指标不仅关系到安装精度，也直接影响机组的长期运行安全。为确保施工可控，需重点监测以下方面：

1. 塔筒：垂直度≤2‰，同心度偏差≤3 mm；
2. 机舱：法兰连接平整，螺栓预紧力符合设计值；
3. 叶片：角度误差≤0.5°，运转平稳；
4. 电气安装：接地电阻≤4Ω。
   * 1. 焊接与紧固

在焊接与紧固环节，施工单位应充分认识到其对风电机组结构安全的重要性。焊缝质量与螺栓预紧力直接决定整体连接的牢固性和耐久性。为保证安全可靠，应重点落实以下要求：

1. 法兰焊接应进行无损检测，确保焊缝质量；
2. 螺栓紧固应采用专用工具，预紧力满足设计值；
3. 紧固件应设防松措施，并定期复检。
   * 1. 系统调试与验收

安装完成后，应进行整机调试，包括电气系统、控制系统与安全保护系统。系统调试与验收要点如表7：

1. 系统调试与验收要点

| 调试内容 | 验收要求 |
| --- | --- |
| 电气系统 | 接线正确，接地电阻≤4Ω |
| 控制系统 | 信号传输灵敏，自动控制正常 |
| 安全系统 | 刹车、过速保护动作可靠 |
| 整机试运转 | 运转平稳，无异常振动或噪声 |

* + 1. 综合说明

质量控制是模块化装配施工的核心保障。从部件进场检验到系统调试验收，每一环节都必须落实责任、数据可追溯。通过全过程质量管控，才能确保风电机组的安全运行和长期稳定。

* 1. 安全与环保
     1. 总体要求

风力发电机组模块化装配施工涉及大型吊装、高空作业和复杂机电安装，必须把安全生产与环境保护贯穿始终。在保证施工安全的同时，应兼顾节能减排和生态保护，实现施工与环境协调发展。

* + 1. 施工安全管理

施工安全管理是保障施工顺利进行的首要条件。应建立安全责任制，完善安全防护措施，严格执行相关安全规范。主要管控内容包括：

1. 高空作业必须配备安全带、防坠落装置和安全网；
2. 吊装作业应有专人指挥，严格执行吊装作业规程；
3. 电气作业应切断电源，确保接线正确和接地可靠；
4. 施工现场应设置警戒区，禁止无关人员进入。
   * 1. 环境保护措施

在施工过程中，应尽量减少对施工区域及周边生态环境的影响。措施应涵盖噪声控制、扬尘治理、废弃物处理和水土保持。为了更好地规范施工环保管理，关键措施见表8。

1. 环境保护主要措施

| 环境要素 | 控制措施 | 管理要求 |
| --- | --- | --- |
| 噪声 | 使用低噪声设备，合理安排作业时间 | 避免夜间施工，居民区设隔声屏障 |
| 扬尘 | 运输道路洒水，易散物料加盖篷布 | 保持现场清洁，减少二次扬尘 |
| 废弃物 | 分类收集施工废料与生活垃圾，集中清运 | 不得随意堆放，做到日产日清 |
| 水土保持 | 合理布置排水沟，边坡及时覆盖或植被恢复 | 防止水土流失，保持生态稳定 |

通过严格执行上述措施，可有效降低施工对生态环境的扰动，确保绿色施工目标的实现。

* + 1. 应急预案与培训

为应对施工中的突发事件，应建立健全应急预案，涵盖大风天气、吊装事故、火灾、电气短路等场景，并定期组织演练，提升应急处置能力。同时，应对施工人员开展安全与环保培训，使其熟悉安全操作规程和环保管理要求。

* + 1. 综合说明

安全与环保是模块化装配施工的基础保障。通过严格的安全管理、有效的环保措施和完善的应急机制，不仅能减少事故风险和环境污染，还能提升工程的整体质量和社会效益，实现绿色、低碳、可持续的施工目标。

* 1. 监督改进
     1. 总体要求

监督与改进是保障模块化装配施工质量、安全和环保目标全面实现的重要环节。应建立全过程监督机制，结合动态监测、定期评估与持续改进，确保施工始终符合规范和绿色发展要求。

* + 1. 监督机制

监督应涵盖内部监督与外部监督两方面。内部监督由施工单位建立专门机构负责日常检查；外部监督则由建设单位、监理单位或政府主管部门进行抽查。

监督机制的关键要点见表9。

1. 监督机制要点

| 类型 | 实施主体 | 监督内容 |
| --- | --- | --- |
| 内部监督 | 施工单位 | 施工工艺、安全管理、环保 |
| 外部监督 | 建设/监理/政府 | 质量抽查、安全与环保评估 |

通过双重监督机制，可以形成相互制约、相互促进的闭环管理模式。

* + 1. 动态监测

施工过程中，应依托信息化和智能化手段开展动态监测。利用无人机、视频监控和传感器，实时跟踪塔筒垂直度、吊装安全、环境扰动等情况，确保施工数据可追溯并能及时预警。

* + 1. 改进措施

改进措施应以监督和监测结果为基础，形成问题反馈与经验共享机制。施工单位应建立整改台账，明确责任人和完成时限，建设单位和监理单位应对整改结果进行复核。

主要改进措施分类见表10。

1. 改进措施分类

| 改进方向 | 主要措施 | 实施效果 |
| --- | --- | --- |
| 技术改进 | 引入新设备、优化施工工艺 | 提高装配精度与效率 |
| 管理改进 | 完善制度、优化流程、强化责任落实 | 提升项目管理规范性 |
| 环保改进 | 增加废弃物处理设施、改进噪声粉尘控制 | 降低对环境的负面影响 |
| 安全改进 | 强化培训与演练、增加应急物资储备 | 降低事故风险，提高处置效率 |

* + 1. 绩效评估

绩效评估应将质量、安全、环保与效率纳入统一指标体系，定期开展考核。评估结果应与项目验收、资金拨付和企业信用评价挂钩，形成正向激励与反向约束机制。

* + 1. 综合说明

监督与改进并非事后补救，而是全过程动态管控的重要组成部分。通过健全监督机制、强化动态监测、落实改进措施和科学开展绩效评估，能够推动风力发电机组模块化装配施工不断提升质量水平，实现安全、环保与效率的有机统一。

