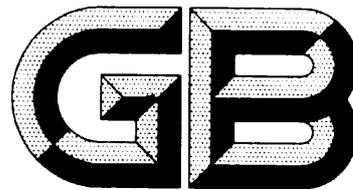


ICS 27.180

CCS F 11



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXX—XXXX

## 风力发电场技改升级安全要求及评价方法

Safety requirements and evaluation methods for technical upgrading of wind farms

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会

发布



## 目 录

前 言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	2
5 技术要求 .....	2
5.1 技术范围 .....	2
5.2 风电场级技改升级要求 .....	2
5.3 风电机组级技改升级要求 .....	7
6 安全要求 .....	11
6.1 通则 .....	11
6.2 场址适应性要求 .....	12
6.3 控制保护系统安全要求 .....	12
6.4 电气安全要求 .....	12
6.5 人员安全要求 .....	13
6.6 施工安全要求 .....	13
6.7 电力监控系统安全防护 .....	13
6.8 其他 .....	14
7 评价方法 .....	14
7.1 通则 .....	15
7.2 发电性能评价 .....	15
7.3 安全性评价 .....	15
7.4 可靠性评价 .....	16
7.5 并网特性评价 .....	17
7.6 经济性评价 .....	17
7.7 其他功能评价 .....	17
附录 A (资料性) .....	18
参考文献 .....	19



## 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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国风力发电标准化技术委员会（SAC/TC 50）归口。

本文件起草单位：中车山东风电有限公司、中国广核新能源控股有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国长江三峡集团有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部、中车启航新能源技术有限公司、上海能源科技发展有限公司、中电建集团江西省电力建设有限公司、北京金风慧能技术有限公司、远景能源有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、运达能源科技集团股份有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、中船海装风电有限公司、湖南兴蓝风电有限公司、中国船舶集团风电发展有限公司、中国电力科学研究院有限公司、中国质量认证中心有限公司、上海中认尚科新能源技术有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、北京绿碳节能技术服务有限公司。

本文件主要起草人：薛岩、马驰、蔡安民、汤鹏、李钢强、刘茸茸、王成贤、刘南南、张静静、金强、徐国庆、章建锋、姚辉、万宝库、王建勇、王金荣、齐士博、张浩、王莹、蔡帅、高波、赵娜、和长见、孙少华、刘芷言、唐彬、杨天时、侯洪强、赵玉、邵世兵、朱晓波、潘海东。

本文件为首次发布。



# 风力发电场技改升级安全要求及评价方法

## 1 范围

本文件规定了风力发电场技改升级的术语和定义、总则、技术要求、安全要求和评价方法。  
本文件适用于陆上风力发电场的技术改造升级，海上及潮间带风力发电场可参考。

## 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，注明日期的引用文件，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 电工术语 风力发电机组
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 18451.1—2022 风力发电机组 设计要求
- GB/T 18451.2 风力发电机组 功率特性测试
- GB/T 18710 风电场风能资源评估方法
- GB/T 19963.1 风电场接入电力系统技术规定 第1部分：陆上风电
- GB/T 20320 风能发电系统 风力发电机组电气特性测量和评估方法
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 25385 风力发电机 组运行及维护要求
- GB/T 25386.1 风力发电机组 控制系统 第1部分：技术条件
- GB/T 33008.1 工业自动化和控制系统网络安全 可编程控制器（PLC） 第1部分：系统要求
- GB 38755 电力系统安全稳定导则
- GB/T 40581 电力系统安全稳定计算规范
- GB/T 40594 电力系统网源协调技术导则
- GB 50150 电气装置安装工程电气设备交接试验标准
- DL/T 796 风力发电场安全规程

## 3 术语和定义

GB/T 18451.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**技改升级** Technical transformation upgrade

为了达到发电性能、可靠性、并网特性、运行安全性以及环境友好性等方面的提升而对在役风电场及风电机组进行的技术改造升级。

### 3.2

#### 安全系统 Safety system

安全系统是在逻辑上高于控制系统的一种系统，在安全相关的限值参数被超过后或者控制系统不能保证机组在正常限值范围内运动时，而采取保护行动的一种系统。

### 3.3

#### 可用功率 Available power

风电场可用功率指考虑场内设备故障、缺陷或检修等原因引起受阻后能够发出的功率。

### 3.4

#### 理论功率 Theoretical power

风电场理论功率指在当前风况下场内所有风机均可正常运行时能够发出的功率。

### 3.5

#### 控制系统 Control system

执行风力发电机组控制功能的系统，包括：传感器、逻辑元件、执行器、通讯网路和电源。

[来源：GB/T 18451.1—2022，3.9，有修改]

## 4 总则

4.1 风力发电场技改升级一般包括风电场级和风电机组级两方面技改升级，目的通常包括发电性能、可靠性、并网特性、运行安全性和环境友好性等方面的技改升级。

4.2 风力发电场技改升级评价要求主要包括安全要求和评价方法两部分。

4.3 风力发电场技改升级安全要求与技改升级方案相关，包括场址适应性要求、控制保护系统安全要求、电气安全要求、人员安全要求、施工安全要求以及电力监控系统防护要求等；效果评价方法与技改升级的目的相关，包括发电性能、安全性、可靠性、并网特性、经济型等方面的评价。本文件给出技改升级安全性评价及效果评价的相关要求。

## 5 技术要求

### 5.1 技术范围

5.1.1 风电场级技改一般包含风电场输变电设备、电力监控系统以及网络安全防护等方面的改造升级。

5.1.2 风电机组级技改一般包含整机更换、叶片、变桨系统、机械传动系统、电气传动系统、偏航系统、塔架支撑系统、主控系统以及控制策略等方面的改造升级。

### 5.2 风电场级技改升级要求

#### 5.2.1 风电场输变电设备

##### 5.2.1.1 通则

风电场输变电设备在技改升级时应考虑设备的兼容性和可扩展性，以满足未来风电场的发展需求；应加设防误闭锁装置，具备五防功能。应分系统调试及整体调试合格，试验内容应满足 GB 50150 规定

的相关设备试验要求，试验合格后方可投运；风电场避雷器、无功补偿装置、主变压器、互感器、开关设备、串联电容器补偿装置、并联电容器装置等设备在技改升级时宜加装相关在线监测装置，保障设备安全稳定运行。

### 5.2.1.2 风电场主变压器

风电场进行增容技改时，如容量超过 180MVA 的冷却方式宜使用油浸风冷式（ONAF），如容量超过 125MVA 的应加装自动消防灭火系统。

### 5.2.1.3 电力电缆

5.2.1.3.1 重要电力电缆及通道应合理部署状态监测装置，掌握运行状态。

5.2.1.3.2 电缆接头及终端的施工应符合 GB 50168-2018 和 DLT5161-2018 的相关规定。

### 5.2.1.4 箱式变压器（预装式变电站）

5.2.1.4.1 宜加装相关在线监测装置及动态环境监测装置，保障箱式变压器（预装式变电站）安全稳定运。

5.2.1.4.2 必要时更换升压变压器，采用低损耗的材料和技术，降低升压变压器在能量传输过程中的损耗。

### 5.2.1.5 集电线路

5.2.1.5.1 集电线路的改造布置形式及路径，应综合考虑风速、冰区、地形、地质、道路、施工、生境保护等因素，做到经济合理、安全适用。可采用架空集电线路、电缆集电线路或架空电缆混合集电线路。

5.2.1.5.2 导线截面的评估、改造应根据集电线路的输送容量、线路压降及当地环境条件进行选择。

5.2.1.5.3 架空集电线路的地线宜采用光纤复合架空地线，杆塔全线接地。在不同污秽地区、强雷区、重覆冰区、鸟害区等，宜针对性选用绝缘子和金具。对避雷器进行改造或更换，在多雷或强雷区，宜加强绝缘、改善接地。

5.2.1.5.4 架空集电线路基础的改造和选择，应综合考虑沿线地质、施工条件和杆塔型式等因素。电缆集电线路宜采用直埋敷设。

5.2.1.5.5 集电线路技改升级应符合国家环境保护、水土保持和生态环境保护的有关法律法规要求。

## 5.2.2 电力监控系统

### 5.2.2.1 通则

升压站电力监控系统技改升级时，应采用双机冗余的方式配置服务器、工作站。服务器、工作站应采用国产操作系统及国产数据库，并进行安全加固，安装网络探针，提升网络安全性。系统所用数据库应具备自动备份能力，监控软件应具备主辅管理功能，控制系统软件支持跨平台操作；电力监控系统应拓展其通信规约库，应至少支持 IEC 61850、IEC 104、Modbus TCP 等通信规约，以增强发电单元、一次设备及控制系统的接入能力。

### 5.2.2.2 风电机组 SCADA 系统

5.2.2.2.1 宜集成准确度较高的风电机组预测性维护模型，增加风电场性能评价指标计算，并周期性生成分析评价报告，洞察设备性能，提前识别和解决潜在的设备问题，提升风电场运维效率。

5.2.2.2.2 宜拓展数据采集点，如激光雷达、净空雷达监测、塔筒监测、油品监测、叶片音频监测实现机组状态的全面感知。

5.2.2.2.3 宜根据场站实际情况增加抗台风、抗涡激、场群尾流控制、高温预警控制保护等功能，提升风电场的运行安全性、效率和可靠性。

### 5.2.2.3 风电机组能量管理系统

5.2.2.3.1 能量管理系统宜接入并网点功率，并将并网点功率作为 AGC、一次调频功率跟踪点，提升全场 AGC 及一次调频的控制精度。

5.2.2.3.2 能量管理系统应通过升级改造，满足 GB\_T 19963.1—2021 及电网对场站一次调频、惯量响应的最低标准要求。能量管理系统宜通过优化采集、控制周期，优化功率分配策略提升一次调频、惯量响应的调节精度和调节时间。

5.2.2.3.3 能量管理系统宜通过动态拟合功率曲线、及局部校正方式，提升风电场理论功率、可用功率计算的准确性。理论功率、可用功率和实际功率数据应按照公式（1）计算：

装机容量 ≥ 理论功率 ≥ 可用功率 ≥ 实际功率

$$\frac{\text{可用功率} - \text{实际功率}}{\text{实际功率}} \leq 3\% * \text{实际功率} \dots\dots\dots (1)$$

5.2.2.3.4 能量管理系统应通过升级改造以满足风电场快速调压要求。

### 5.2.2.4 升压站自动化系统(NCS)

电力监控系统升级时，应配置升压站自动化系统(NCS)。

### 5.2.2.5 风功率预测系统

5.2.2.5.1 风功率预测应实现新能源场站数据质量提升，满足场站上报数据要求：测风塔、气象站资源数据：新能源场站上报的测风塔数据包括：10m、30m、50m、70m 和轮毂高度的风速、风向，10m 高度气温、气压、湿度。各资源数据应逻辑正确、与发电功率数据具有相关性，能正确反应当前气象。

5.2.2.5.2 理论发电能力数据：理论发电能力数据包括理论功率、可用功率等数据，各项数据应按国家能源局发布的《风电场利用率消纳监测统计管理办法》进行独立计算。非弃电情况下，可用发电功率与实际发电功率偏差不应超过额定装机容量的 3%。

5.2.2.5.3 应完成新能源场站运行信息上送模块升级的工作，整合预测类文件，提高系统稳定运行水平，为现货市场提供可靠支撑。

### 5.2.2.6 自动发电控制 AGC

5.2.2.6.1 AGC 系统技改升级后，应同时具备直接控制发电单元或储能单元的功能，且具备协调控制风电和储能单元的功能，可根据控制对象，选择多种不同的协调控制策略。

5.2.2.6.2 应具备与一次调频控制系统通信的能力，且具备与一次调频控制系统相互协调控制的功能。

5.2.2.6.3 应对主站下发指令进行异常校核。具备指令范围合理性校核、指令变幅校核、异常指令限制及告警、长时间无指令检测及告警功能。

5.2.2.6.4 应具备调节速率限值、执行周期等参数设置功能。具备灵活增加测点上传和测点接收的功能。具备远方/就地切换、投入/退出切换、各被控对象单独投入/退出的功能。

#### 5.2.2.7 自动电压控制 AVC

5.2.2.7.1 应同时具备直接控制发电单元或储能单元、SVG 的功能。且可根据控制对象，选择多种不同的协调控制策略，实现风电、储能和 SVG 协调控制。

5.2.2.7.2 应具备与快速调压控制系统通信的能力，且具备与快速调压控制系统相互协调控制的功能。

5.2.2.7.3 应对主站下发指令进行异常校核。具备指令范围合理性校核、指令变幅校核、异常指令限制及告警、长时间无指令检测及告警功能。

5.2.2.7.4 应具备电压合理范围、执行周期等参数设置功能。具备灵活增加测点上传和测点接收的功能。具备电压控制模式、无功控制模式两种模式的选择功能，具备远方/就地切换、投入/退出切换、各被控对象单独投入/退出的功能。

5.2.2.7.5 若采用了基于系统阻抗辨识的控制策略，则需具备系统阻抗辨识合理性校验功能；若采用基于步长调节的控制策略，则需具备调节步长的合理性校验功能。

#### 5.2.2.8 一次调频系统

5.2.2.8.1 宜配置具备采样、运算和控制等功能的一体化控制器，控制器宜采用国产化芯片品牌。控制器测频通道应不少于 4 路，控制器宜配置第三方入网检测频率输入接口。控制器应至少支持通过 4~20mA 模拟量接入 PMU 数据。

5.2.2.8.2 应通过升级改造，具备接入风电场配置储能（电化学储能、飞轮储能等），满足风储协同调频要求。且在风电场参与电力系统惯量响应和一次调频时应能实现有功功率的连续平滑调节。

5.2.2.8.3 应通过升级改造，具备风电场快速调压功能。

5.2.2.8.4 应通过升级改造，具备接入电网调度主站，满足主动扰动测试和在线监测等要求，提升网源协调能力。

5.2.2.8.5 应具备一定的开放性，并通过提供定制化服务，以满足当地电网需求。

#### 5.2.2.9 箱变监控系统

5.2.2.9.1 箱变监控系统宜采用光纤独立组网模式，具备远程监控、故障诊断等功能。

5.2.2.9.2 箱变监控系统应具备与远动通信的能力并上传相应数据点。

#### 5.2.2.10 视频监控系统

5.2.2.10.1 对于技改机组应在机舱、塔基处设置摄像机，宜在扭缆、箱变处增加摄像机，可在机舱配置热成像功能的摄像机，并与消防系统联动。

5.2.2.10.2 增加摄像机数量或扩大录像存储时间时，应对存储硬盘进行扩容。

5.2.2.10.3 视频监控系统应独立组网。

5.2.2.10.4 机组的视频监控系统应与整个风电场视频监视系统兼容，多套视频监视系统的图像应在同一平台同时显示。

5.2.2.10.5 对于网络信号较差的风电场，应配置语音对讲系统，实现机组之间、机组与升压站之间双向语音对讲。

#### 5.2.2.11 在线状态监测系统

5.2.2.11.1 在线状态监测系统除包含基本的主传动链、叶片、塔筒系统外，应根据机组运行状态，评估高强螺栓、叶根载荷、叶片净空、塔筒晃动/倾斜（若无）、齿轮箱油液、发电机电气及绝缘类等在线状态监测系统的安装与升级必要性。

5.2.2.11.2 在线状态监测系统应与主控系统建立通讯，监测系统的出具处理结果、诊断结论等关键信息需传输给主控，参与机组安全控制，相关数据存储至 SCADA 及 BUFFER（如需）。

#### 5.2.2.12 储能系统

5.2.2.12.1 应根据地方电网需求，配备适当容量的储能设备，并增加储能监测系统。

5.2.2.12.2 储能系统应具备接受站控层包括 AGC、AVC、一次调频系统的控制指令，参与风电场一次调频、二次调频及快速调压。

5.2.2.12.3 储能系统应具备协调 AGC 指令及风电场并网点功率，自动控制储能设备充放电，实现削峰填谷。

#### 5.2.2.13 远程运营监管平台

5.2.2.13.1 站内采集端应具备接入风机监控系统、能量管理系统、远动系统、AGC、AVC、一次调频系统、风功率预测系统、储能系统、箱变监控系统，状态与振动监测系统、五防系统等站内监控系统的数据。

5.2.2.13.2 站内采集端应通过独立电力通信专网，与远程运营监管平台进行数据交互。

#### 5.2.2.14 其它二次系统

站内其它二次系统如继电保护装置、故障录波器、电能质量在线监测装置、电能量采集终端、同步向量测量系统 PMU、五防系统等在升级改造过程中需要与现有的风电机组、升压站设备以及其他自动化系统保持兼容，确保互操作性。

### 5.2.3 其他

#### 5.2.3.1 消防设施

5.2.3.1.1 风电机组如未配套自动消防系统，宜配套自动消防系统。自动消防系统宜将灭火器或消防报警器的状态信号上传至主控系统，主控系统可根据上传消防信号执行报警或停机的控制策略。

5.2.3.1.2 原风电场配套的自动消防系统宜进行性能测试。如测试功能失效，宜进行升级或更换。

5.2.3.1.3 风电机组内需进行手提式灭火器检查，如塔筒平台及机舱内无手提式灭火器，宜按照 GB 50140 标准执行配套。

5.2.3.1.4 风电机组内配套的手提式灭火器需进行外观、压力、标识、封条、喷嘴和软管及生产日期检查，如有损坏及不能正常使用情况，需更换手提式灭火器。

#### 5.2.3.2 防雷设施

- 5.2.3.2.1 复核接闪系统防护性能，防护性能不足时，增加接闪系统。
- 5.2.3.2.2 各防雷跨接线出线缺失时，新增符合要求的跨接线。
- 5.2.3.2.3 检查滑动连接可靠性，必要时进行换新。
- 5.2.3.2.4 进行接地电阻测试，若不满足，采取换土、外引接地、降阻剂等措施降低接地电阻。

### 5.3 风电机组级技改升级要求

#### 5.3.1 整机更换

- 5.3.1.1 风电机组运行年限超过设计年限，经第三方专业机构评估不符合安全运行条件时，应报废原风电机组，宜更换新的风电机组。
- 5.3.1.2 风电机组因环境、人为等因素发生重大事故，经第三方专业机构评估维修后不符合安全运行条件时，应报废原风电机组，宜更换新的风电机组。
- 5.3.1.3 风电机组因历史性因素对周边环境产生重大负面影响时，宜更换新的风电机组。
- 5.3.1.4 风电场进行技术升级或扩增容量改造，风电机组无法满足技术升级或扩增容量改造需求时，宜更换新的风电机组。
- 5.3.1.5 风电机组更换不应影响当地生态环境，应严格评估噪音、光影等对周边居民、动物等的影响。
- 5.3.1.6 风电机组更换前应识别风电机组更换的限制性因素，做好技术经济性评估，根据风电场改造升级需求、规模以及基础安全性，结合风电机组的技术水平、成熟程度、认证和价格，考虑风电场的风况特征和发电量、风电机组的安装条件和设备运输条件，兼顾周边风电场、电网等相关方的基本需求和利益，确定单机容量、轮毂高度方案、排布方案，拟定不同的选型方案。
- 5.3.1.7 风电机组更换前应做好安全设施和环境保护与水土保持设计方案。
- 5.3.1.8 风电机组更换前应做好叶片、塔架、轮毂及机舱、集电线路、电气设备、建构物及其基础、其他产生物的风电场工程回收处理与循环利用方案。
- 5.3.1.9 风电机组的更换应进行基础改造方案设计，根据技术经济比较决定基础更换或改造，更换或改造后的基础应符合现行行业标准《陆上风电场工程风电机组基础设计规范》NB/T 10311 的有关规定，设计工作年限不低于改造后设备的设计工作年限。
- 5.3.1.10 风电机组的更换应进行集电线路改造方案设计，优先利用原有集电线路方案，。
- 5.3.1.11 风电机组的更换应进行场内道路改造方案设计，根据改造选定的风力发电机组、布置方案及运输车辆参数对原道路路径设计进行复核，确定道路改造方案。
- 5.3.1.12 风电机组更换应进行风电场工程拆除方案设计，拆除设计应分析不同方法对周围区域环境的影响，拆除设计应遵循先附属、后主体，先上部、后下部的原则，就地、就近、集中拆解，拆除设计应分析拆除的重点、难点和风险点，保证拆除过程的安全，拆除设计应遵循全场发电量损失最小原则，拆除设计应进行结构分析，拆除设计方案应包含风力发电机组及基础、集电线路、电气设备、建构物、土地恢复等的拆除设计。

#### 5.3.2 叶片

- 5.3.2.1 叶片前缘出现腐蚀时，宜采用前缘保护膜或防护漆等修复方式。
- 5.3.2.2 叶片气动噪声超出环境要求时，叶片宜加装锯齿尾缘，提升机组环境友好性。

5.3.2.3 叶片结冰影响发电量时，宜采用电加热、气加热或其他方式进行防除冰，其中电加热方式需考虑原机位点的雷暴情况。

5.3.2.4 机组有叶片增功升级时，宜采用加装涡流发生器、扰流条、叶尖小翼、叶尖延长等方式。

5.3.2.5 为改善机组发电性能，在满足机组安全性的前提下，可通过更换高性能翼型或更长叶片达到升级机组目的，其中叶片换长需考虑变桨系统、轮毂、叶根螺栓、主控程序、历史风速等。

5.3.2.6 当机组运行环境雷暴密度偏高，宜采用增加防雷接闪条等方式降低雷电破坏。

5.3.2.7 叶片技改措施涉及加装附件时，需考虑附件自身的结构强度、使用寿命、连接强度以及对机组载荷、性能影响。

### 5.3.3 变桨系统

5.3.3.1 对于故障率较高的部件，可考虑采用满足原来载荷设计要求的零部件进行改造升级或更换，如控制器、驱动器、电机、后备电源、变桨减速箱、变桨润滑泵、液压变桨相关器件等。

5.3.3.2 可考虑采用超级电容或性能相近的储能系统，以提升后备电源寿命和环境适应性能。

5.3.3.3 当变桨系统不满足当地电网运行规范时，宜进行器件、控制策略改造升级，以满足电网电压故障穿越、电网适应性要求。

5.3.3.4 变桨系统技改不应降低系统安全等级，保证机组发生异常后能够执行安全停机策略。

### 5.3.4 机械传动系统

#### 5.3.4.1 齿轮箱

5.3.4.1.1 风电整机进行性能提升时，若整机受原齿轮箱性能限制，应更换或升级技改齿轮箱。

5.3.4.1.2 当齿轮箱质量或性能严重影响现有风电机组性能发挥时，应更换或升级技改齿轮箱。

5.3.4.1.3 当风电场提升运维能力以实现无人值守时，应对传动链增设 CMS 振动监测系统。可利用齿轮箱原有 CMS 系统安装接口，或者采用振动传感器粘接、磁吸等安装方式，以增强对齿轮箱运行状态的监测和故障预警能力。

5.3.4.1.4 为适应运行环境，优化齿轮箱散热性能，达到更优的热平衡状态，应调整齿轮箱润滑管路和油路结构，必要时更换冷却风扇、升级散热板片，增加润滑流量，以提高散热效率，确保发电能力。

5.3.4.1.5 进行齿轮箱轴承过热技改时，应根据当地温度条件，合理设置高低速油泵的切换时机与散热风扇的启停温度。

5.3.4.1.6 解决齿轮箱漏油问题，应分析齿轮箱润滑油量、密封结构及密封处环境，根据实际状况，可针对性采取调节润滑油量、回油孔扩容、增设回油管路、隔离外部吸空环境等措施技改漏油故障，对于高速轴漏油必要时更换密封处迷宫结构以彻底解决此类故障。

5.3.4.1.7 在日常维护中，及时更换损耗或故障的传感器和部件，如液位、压力、压差传感器，以及电机、扇叶、油泵等。采用新技术配件更新迭代，以延长无故障运行时间和减少运维次数。对于磨损的齿轮或轴承，根据实际运行状况选择持续监测或直接更换。

#### 5.3.4.2 传动系统润滑

5.3.4.2.1 对于脂润滑系统需保证轴承腔室内保存足够的润滑脂量，为防止脂的板结导致轴承发热，应改进排脂通道保证废脂顺畅排出，升级技改集中润滑控制逻辑，保证系统在主轴运转过程中注脂，防止脂流动受阻外溢，损坏密封。

5.3.4.2.2 定期化验油脂金属颗粒含量，水分，锥入度等项次来判断传动部件状态，检验过程必须严格按照操作规程执行，以防止检验结果离散化。对于持续恶化的轴承建议进行清洗。

5.3.4.2.3 主轴承问题高，需要系统性分析问题原因，根据实际情况对控制，润滑系统，主轴承等进行改进。

#### 5.3.4.3 联轴器

5.3.4.3.1 当风电场频繁出现多态联轴器打滑故障或某一级组联轴器频繁打滑，若排除传感器、发电机与变频器的异常问题，应检查联轴器扭矩限制器扭矩是否匹配或摩擦片严重磨损，根据实际情况应升级改进或更换联轴器扭矩限制器，或联轴器整体进行升级或国产化替代。

5.3.4.3.2 为提升机组运维能力，可对联轴器制动盘更换齿盘结构，同时加装驱动支架，风场配备驱动装置，可减轻作业强度，消除隐患。

#### 5.3.4.4 高速制动器

宜对高速制动器加装磨损与温度检测传感器，同时在控制端设置控制阈值，场站进行监测，可有效监控制动器过温情况，减低火灾风险。

### 5.3.5 电气传动系统

#### 5.3.5.1 发电机

5.3.5.1.1 发电机升容改造时，需进行冷却系统能力复核。宜优先采用冷却效率更高的冷却方式，宜采取计算和仿真的方式确保冷却方式的改变对电机其他部件不产生重大影响。

5.3.5.1.2 发电机通风噪音超限时，宜采用空冷器结构改造或增加消音结构的方式降低噪音；电磁噪音超限时，需协调变流器进行改造，宜采取调整变流器开关频率的方式。

#### 5.3.5.2 变流器

5.3.5.2.1 风电场变流器设备在技改升级时宜引入智能监控、故障诊断技术，以及反馈和冗余控制机制。

5.3.5.2.2 变流器不满足国标和地方涉网标准时，应开展硬件改造或软件升级工作。

5.3.5.2.3 变流器运行噪声超限时，宜采用噪音控制技术。

5.3.5.2.4 变流器冷却系统效果差或存在高温告警、故障现象时，应采取相关改造措施控制变流器运行环境温度在合理范畴内。

#### 5.3.5.3 电力传输系统

5.3.5.3.1 若风电场有升容需求，需重新核算电力传输系统载流能力，若不满足需增加动力电缆或母线数量。

5.3.5.3.2 重新评估机组动力电缆或母线的设计和布置，优化电缆的长度、截面和保护措施，提高电缆传输能力和安全性。

### 5.3.6 偏航系统

5.3.6.1 偏航过程中，应有合适的阻尼力矩，以保证偏航平稳、定位准确。

5.3.6.2 偏航系统应设有地理方位检测装置，标定的精度误差要求小于 $5^{\circ}$ 。

5.3.6.3 偏航系统技改时，应考虑偏航制动力矩的分配，满足整机设计时的偏航制动力矩的要求，保证机组制动可靠。

5.3.6.4 偏航系统主要零部件技改后应满足 JB/T 10425.1 中技术要求，包括偏航轴承、偏航驱动、偏航制动器、螺栓连接等。

5.3.6.5 偏航系统技改后应按照 JB/T 10425.2 中的要求进行试验，包括顺时针偏航试验、逆时针偏航试验、偏航转速试验与偏航定位偏差试验、偏航阻尼力矩试验、偏航制动力矩试验、解缆试验等。

### 5.3.7 塔架支撑系统

5.3.7.1 未配置塔架升降机的机组可采取加装升降机的措施，提高其运维安全性和效率。

5.3.7.2 基础满足安全性要求的情况下，可通过更换塔筒提升风轮高度，增加发电量。

### 5.3.8 主控系统

5.3.8.1 控制器国产化技改升级时，为提高控制器环境适应性和电磁兼容性，宜根据风电机组所处环境和电能质量情况选择参数范围合适的控制器，其最低参数依据 GB/T 25386.1 确定。

5.3.8.2 控制系统国产化技改升级时，为确定合适的控制系统硬件配置，宜对风电机组原控制系统中数字量、模拟量、通讯等各类信号的数量、采集频率和处理速度进行全面整理、归类和划分。

5.3.8.3 主控系统功能优化技改升级涉及安全系统时，为确保安全系统功能及时响应，将安全系统功能响应级别设置高于控制系统。

5.3.8.4 通讯回路优化技改升级时，为能够有效阻止网络攻击，宜使用国家制定部门认证和测试的网络通讯设备。

5.3.8.5 备用电源支持时间需要加长时，持续时间宜按需配置或采用 GB/T 25386.1 要求。

5.3.8.6 为避免叶片涡激对机组造成损害，宜增加自动抗涡激、人工本地抗涡激、远程抗涡激等功能。

5.3.8.7 为减少因机舱滑动造成的振动异常情况，对满足要求的机组，增加偏航消除逻辑，增加消除逻辑后需评估减少机舱滑动的效果。

5.3.8.8 为防止机组数据泄露，需对机组参数文件、缓存文件及其他主控程序使用文件进行加密，加密后的文件内容需只能由主控程序或专门软件进行识别。

### 5.3.8.9 发电量提升类控制策略优化

5.3.8.9.1 变桨优化，可采用最佳桨距角优化方法提升风能捕获效率，如低风速恒转速阶段变桨自适应、额定风速附近变桨自适应等。

5.3.8.9.2 转矩优化，可采用发电机转矩优化方法提升风能捕获效率，如空气密度（最优增益）自适应、额定转矩/容量动态提升等。

5.3.8.9.3 偏航优化，可采用修正偏航对风精度、优化偏航启/停条件等方法提升风能捕获效率。

5.3.8.9.4 暴风切出优化，可采用提高机组的切出风速的方法，满足载荷设计要求的前提下，使机组能够捕获高于切出风速以上风资源条件下的风能。

5.3.8.9.5 起停机条件优化，可通过数据分析和精确的风速预测，动态调整启/停机参数或策略，来适应变化的环境条件，缩短启动时间，增加发电时间，提升发电性能。

### 5.3.8.10 安全保护降载类控制策略优化

- 5.3.8.10.1 净空控制，通过传感器或者相关监测算法实时探测净空值，监测结果应与主控系统联动，当净空值小于设定的安全阈值时，执行收桨、降功率或停机保护动作，保证机组运行安全。。
- 5.3.8.10.2 偏航降载，通过在特定工况下偏航过程中降载运行（如偏航启动前的降载运行），保证机组在极端工况下的运行稳定性。
- 5.3.8.10.3 失速保护，基于风速、功率、转速、转矩等运行参数，通过相关检测算法或传感器，实时监控风电机组是否产生失速，若产生失速，则开启变桨动作，若失速严重，则进行停机保护。
- 5.3.8.10.4 扇区管理，考虑特定机位的地形地貌特征，以及检测风速中包含的特征信息，通过控制优化，降低风电机组承受的疲劳和极限载荷，同时改善机组的振动情况。
- 5.3.8.10.5 振动保护，通过振动传感器对机组机舱或塔架的振动数据进行采集，在发生异常振动时，主控程序将基于振动数据或传感器信号自动发出停机保护指令，并同时记录相关数据。
- 5.3.8.10.6 抗台风，优化解缆、偏航逻辑，如基于预测风速、风向进行预解缆，解缆完成后进行不启机的偏航对风，以削弱台风对风电机组的冲击。
- 5.3.8.10.7 结冰检测，通过传感器（冰传感器、振动传感器、声波传感器、视频设备）或者检测算法，进行结冰检测，根据结冰情况降功率运行或停机保护。

#### 5.3.8.11 电网支撑类控制策略优化

当机组进行调频能力升级改造时，宜进行机组调频，通过优化机组在特定工况下的功率响应能力，提升机组电网适应性能力，主要包括惯量响应与一次调频能力，且满足 GB/T 19963.1 要求。

#### 5.3.8.12 环境友好性控制策略优化

- 5.3.8.12.1 噪声优化，通过在特定时间段内通过转速调整等方式，达到降低噪声的目的；
- 5.3.8.12.2 光影优化，通过调整偏航策略、转速控制等方式，实现光影效应优化。
- 5.3.8.12.3 智能停机，基于摄像头和传感器等，实时监测风机周围的鸟类活动，当检测到鸟类靠近时，自动降低风机转速或暂停运行。

#### 5.3.9 其他

其他属于可提升风力发电场发电性能、可靠性、并网特性以及环境友好性的技术，均可作为潜在的改造路径和方向。

### 6 安全要求

#### 6.1 通则

- 6.1.1 风力发电场技改升级安全要求包括：场址适应性要求、控制保护系统安全要求、电气安全要求、人员安全要求、施工安全要求以及电力监控系统防护要求等。风电场技改升级措施对应的安全要求详见附录 A。
- 6.1.2 技改升级措施经过评价，相比原有的设计有利于其安全性，如：载荷的降低、结构的加强、故障率的降低等；则就安全性而言，技改是可被接受的。
- 6.1.3 技改升级措施经过初步评价，相比原有的设计安全性风险未知或增加，应评估更改部件的安全性，还应开展机组详细的安全性评估。

6.1.4 技改升级对机组整体安全性影响较小的,应通过分析或测试手段来验证改造部件功能的有效性。

## 6.2 场址适应性要求

6.2.1 风电场技改升级后,需对技改相关设备的场址适应性进行评估,包括外部条件、载荷等方面的要求。

6.2.2 外部条件要求包括:气候环境、电网环境等外部条件对机组的载荷、使用寿命和正常运行方面的影响评估,应满足机组的安全运行要求。

6.2.3 机组的载荷包括惯性力和重力载荷、空气动力载荷、驱动载荷及其他载荷。通过对机组特定场址载荷计算,评估机组载荷是否超过设计值,以确定机组载荷安全性。

## 6.3 控制保护系统安全要求

### 6.3.1 控制系统要求

#### 6.3.1.1 控制策略设计要求

偏航降载控制策略应规避发电机同步转速;净空保护控制参数应根据机型差异进行定制;设计时需考虑机组振动和载荷影响;控制参数的HMI显示与修改须通过严格身份验证,并设有不同权限等级,确保操作安全;完成设计后应进行载荷评估;当涉及到塔筒、变桨系统、变流器、传动系统、主控系统中的一个或多个的升级改造后,应进行系统辨识,并根据结果判断是否需要模型修正及载荷复核。

#### 6.3.1.2 控制系统要求

硬件选择需与整机特性及环境相适应,保护值应综合整机需求和具体设计合理设置;通讯设备性能须符合GB/T 33008.1网络安全标准;部件含操作系统需实行严格身份验证和权限管理;在系统升级或国产化改造时,必须对历史运行数据进行完整分析并对关键部件状态评估。

#### 6.3.1.3 保护系统要求

#### 6.3.1.4 软件保护

当发电机转速、运行功率、变桨位置偏差、轴间偏差、振动加速度超限,或偏航角度过大时,系统应执行保护性停机。此外,传感器异常(如转速、净空雷达、测风雷达等)、通讯异常(如主控与变桨、变流器等),以及温度、压力、电流、电压、风速、风向的异常情况,都应触发告警或保护性停机,并可能降低功率运行。

#### 6.3.1.5 硬件保护

硬件安全保护系统应为最高级,技改升级后保持对安全功能的优先响应。安全保护系统改造设计应遵循失效安全原则,并考虑回路冗余。安全保护系统在超速、振动超标、主电缆扭曲、功率过大、短路、电网断电、控制系统故障、紧急停机等工况下应能动作。

## 6.4 电气安全要求

6.4.1 对涉及控制系统类部件的改造，宜对原始数据，包括但不限于 PLC 控制器、变流器控制器、变桨控制器等的机组涉网保护参数、整机保护参数和程序文件等进行保存。

6.4.2 需要技改的部件，包括但不限于变桨设备、变流器设备、主控系统设备和场站设备等，宜具备完整的技改方案，方案应具备可操作性、可执行性、内容无遗漏。

6.4.3 电气系统改造，所采用的元器件以及改造后的整个系统应满足 GB/T 5226.1 的要求

6.4.4 电气系统接地应保证连贯性，接地电阻大小满足相关标准要求，并满足 GB/T 16895.3 要求。

## 6.5 人员安全要求

6.5.1 必须持证上岗，需要特种作业的必须持有该项特种作业资格证的实施人员实施；

6.5.2 入场前必须经过三级安全教育，合格后方可上岗；

6.5.3 必须佩戴符合安全标准的个人防护装备，如安全帽、工作服、防护眼镜、手套、安全带等。在选择防护装备时，应考虑到工作环境的特殊性，确保装备能够有效防护工作人员免受意外伤害；

6.5.4 实施班组必须配置专职安全员。

## 6.6 施工安全要求

6.6.1 技改升级前施工单位必须编制相应技改升级的组织措施、安全措施、技术措施、环保措施以及施工方案和应急预案在内的“四措两案”，四措两案必须经过建设单位和/或监理单位的审批。

6.6.2 技改升级施工单位必须严格按照四措两案执行。

6.6.3 风电场技改升级必须符合《十八项电网重大反事故措施（修订版）》（国家电网设备（2018）979号）中第1条防止人身伤亡事故及国家能源局下发《防止电力生产事故的二十五项重点要求（2023版）》中第1条防止人身伤亡事故的重点要求中的相关规定。

6.6.4 严格执行两票三制制度（两票：工作票、操作票；三制：交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制）。

## 6.7 电力监控系统安全防护

### 6.7.1 安全通则

升压站各类工业控制系统应满足工业和信息化部关于印发《工业和信息化领域数据安全管理办法（试行）》的通知（工信部网安〔2022〕166号）及《工业控制系统网络安全防护指南》的通知（工信部网安〔2024〕14号）。

### 6.7.2 安全区边界防护

6.7.2.1 站控系统与终端之间网络通信应部署纵向加密认证装置，实现身份认证、数据加密、访问控制等安全措施。

6.7.2.2 安全区 I 的各系统之间通过绑定现地控制单元交换机所接设备 IP 地址及 MAC 地址防止非法接入。

6.7.2.3 安全区 I 与安全区 II 边界部署逻辑防火墙，防止病毒、木马等恶意程序对电力生产及相连的调度自动化系统的恶意破坏和攻击。

6.7.2.4 生产控制大区与管理信息大区之间部署电力专用横向单向安全隔离装置，保证数据的单向传输。

6.7.2.5 纵向边界防护：调度数据网与生产控制大区控制区纵向边界之间，非控制区（安全区 II）调度数据网与生产控制大区非控制区纵向边界之间，均需部署纵向认证加密装置，通过建立加密隧道，实现网络层双向身份认证、数据加密和访问控制。

6.7.2.6 管理信息大区与外部网络之间需通过防火墙进行边界防护。

### 6.7.3 入侵监测

生产控制大区（控制区和非控制区）边界部署入侵检测系统，用以监测核心节点异常业务流量。

### 6.7.4 主机设备加固

横向隔离设备、纵向加密认证装置、防火墙、路由器/交换机、生产控制区中的服务器、工作站等设备均需实施严格的网络安全管理，定期开展安全评估和主机加固工作。

### 6.7.5 安全审计

调度数据网配备网络安全日志审计系统，具备安全审计功能，能够对操作系统、数据库、业务应用的重要操作进行记录、分析，以便及时发现各种违规行为以及病毒和黑客的攻击行为。

### 6.7.6 网络安全监测

在安全区 I 和安全区 II 部署网络安全监测装置以对现场服务器、工作站、网络设备、安全防护设备等监测对象的系统日志、安全日志及运行日志采集，并进行分析处理，同时根据处理结果形成新的上报事件通过通信手段上送到调度机构部署的网络安全管理平台。

### 6.7.7 备份与容灾

关键业务的数据需具备定期备份功能，并自动实现历史归档数据的异地保存。关键主机设备、网络设备或关键部件均需进行冗余配置。

### 6.7.8 恶意代码防范

生产控制大区（控制区和非控制区统一部署一套）边界需部署恶意代码防御系统，并在主机上安装防恶意代码软件并及时手动更新防恶意代码软件版本和恶意代码库，恶意代码更新文件的安装应经过测试。禁止生产控制大区与管理信息大区共用一套防恶意代码管理服务器。

### 6.7.9 数据安全

需要采用校验码技术或密码技术保证重要数据在传输和存储过程中的完整性，包括但不限于鉴别数据、重要业务数据、重要审计数据、重要配置数据、重要视频数据和重要个人信息等；采用密码技术保证重要数据在传输和存储过程中的保密性，包括但不限于鉴别数据、重要业务数据和重要个人信息等。

## 6.8 其他

根据风电场技改升级的具体措施，参考相应标准提出的安全要求。

## 7 评价方法

## 7.1 通则

风力发电场技改升级评价方法应该包括发电性能评价、安全性评价、可靠性评价、并网特性评价、经济性评价以及其他功能评价等。根据技改升级的目的，结合相应的评价方法和指标，对风力发电场技改升级的效果进行全面的评价。风电场技改升级措施对应的评价方法详见附录A。

## 7.2 发电性能评价

发电性能评价可通过功率曲线评价或实际上网电量评价的方式进行。功率曲线反映机组的功率特性变化；实际上网电量反映机组功率特性改变、故障治理、风资源差异等综合作用效果。具体评价方法参考《风能发电系统 风力发电场后评价及改造技术规范》。

## 7.3 安全性评价

### 7.3.1 场址环境条件

7.3.1.1 技改安全性评估采用的场址环境条件，宜采用根据 GB/T 18710 和 GB/T 18451.1 进行分析计算得到的场址环境条件参数进行。

7.3.1.2 在现场场址环境条件获取困难并需保守考虑的情况下，可采用机组的设计环境条件作为后续载荷和结构分析的环境条件。

### 7.3.2 载荷评估

#### 7.3.2.1 载荷计算影响因素

7.3.2.1.1 技改前与技改后机位风资源的变化。

7.3.2.1.2 机组历史运行状态与设计工况的差异：应将服役期内运行数据、故障数据的发生时间、频次进行统计并将统计结果作为技改前场址载荷分析的输入条件，但是如果不能提供运行以来的全部运行数据，则以设计工况作为输入条件进行载荷分析。

7.3.2.1.3 控制策略的变更：如存在控制策略的变更，应考虑不同时期不同策略对载荷的影响。

7.3.2.1.4 大部件更换或改进：针对技改措施中存在使用服役多年的部件情况，如采用服役中长叶片替换升级技改风力发电机组的短叶片的方式，需对技改前服役多年的部件开展载荷分析与寿命损伤；针对技改措施中对原机组的部件开展技改加强的情况，如塔筒加强，需对技改后加强部件进行载荷仿真计算以及寿命损伤分析。

7.3.2.1.5 运行维护：运维风速、叶轮锁定销使用情况及运维时间的变化对载荷的影响。

#### 7.3.2.2 载荷计算模型

载荷计算模型的建立应基于现场调查和数据收集，以匹配技术改造后的风力发电机组。模型设定需确保与机组的实际尺寸、重量和速比相符，且塔架和叶片频率应经测试验证一致。控制效果的设定应参考实际运行或测量数据。模型必须能准确反映动态载荷，通过实测与仿真载荷的对比进行校准。经验参数的影响应进行分析，并根据现场数据对模型进行修正，以确保其真实准确地反映动态载荷响应。

#### 7.3.2.3 改造前分析

技改前应根据风资源评估结果、机组运行时间和机组运行状态的统计结果，计算机组技改前的寿命损伤，应包括叶片、轮毂、塔顶及塔底。确定技改后预期服役期限，一般为机组设计寿命减去已运行时间对应的寿命损伤。

#### 7.3.2.4 改造后分析

技改后应根据风资源评估结果计算机组技改后在预期服役期限下的寿命损伤，包括叶片、轮毂、塔顶及塔底。技改后应根据风资源评估结果计算机组技改后的极限载荷，包括叶片、轮毂、塔顶及塔底。

#### 7.3.2.5 改造前后载荷对比

应根据技改前后场址条件下分析的载荷计算结果，包括疲劳载荷和极限载荷，与机组的设计载荷进行比对，查看是否超出设计载荷，如超出需对超出部分进行安全性校核。

#### 7.3.2.6 载荷测试

7.3.2.6.1 机械载荷测试，可以用于获得实际载荷水平以及验证载荷仿真计算模型。不同的技改方式，对不同的关键载荷分量有不同的影响，应在载荷测试前，确定技改措施影响的关键分量，进行针对性的载荷测试工作。

7.3.2.6.2 对于验证载荷仿真计算模型而开展的载荷测试，应确保环境条件、机组运行状态、关键部件的载荷数据的准确性。对于技术技改的风力发电机组，应开展场地评估确定其地形复杂程度及可用扇区，选取满足标准要求的测风设备与位置，当现场条件不满足标准要求时，需在模型验证中考虑相关标准偏离项对模型有效性的影响。

7.3.2.6.3 机械载荷测试可以获得实际载荷水平，当技术技改以控制策略优化降低载荷水平为目的，可以通过此技改前、后的机械载荷测试获得的实际载荷水平来判断技改的安全性，通常对于发电性能提升的技术技改，往往会带来载荷提升，对于叶片延长、叶片换长等技术技改不适用于此方法。相比技改前，若确定技改后关键载荷分量的疲劳和极限影响均有所降低，就安全性而言技改是可被接受的。若确定部分关键载荷分量的疲劳和极限影响有所增加，则应进行载荷及结构分析。

#### 7.3.3 机械结构部件强度分析

7.3.3.1.1 载荷比对结果，风电机组场址载荷不高于设计载荷，对新增或技改变更的部件，应对其进行结构校核。

7.3.3.1.2 载荷比对结果，风电机组场址载荷存在高于设计载荷的情况，应依据 GB/T 18451.1 规定，对载荷超过设计载荷的部件进行结构强度校核。如果有新增或技改变更的部件，应对其进行结构校核。

7.3.3.1.3 针对部件无设计资料进而导致无法开展结构安全性分析的情况，宜通过优化降载的方式进行处理，使其包络于设计载荷。

#### 7.3.4 网络安全评价

电力监控系统应取得第三方出具的电力监控系统网络安全等级保护测评报告。

#### 7.4 可靠性评价

可靠性评价通过分析机组的SCADA数据和维护日志，统计改造前后基准评估期和优化评估期内的机组故障、维护频次和总时间，计算机组的平均无故障运行时间、平均故障修复时间、可利用率以及故障频次等，以评估优化前后的机组可靠性情况。具体可靠性评价方法参考《风能发电系统 风力发电场后评价及改造技术规范》。

## 7.5 并网特性评价

7.5.1 风电机组变桨系统、电气及并网接入系统、主控系统和控制策略技改后可采用现场测试并获取第三方检测报告的方法验证技改后风电场的并网性能。

7.5.2 依据 GB/T 20320、GB 38755、GB/T 40581、GB/T 40594 及项目地点电网要求，应适时开展风电场的机电和电磁暂态建模及模型验证、风电场次/超同步振荡风险评估、风电场暂态过电压评估、风电场电能质量评估等工作

## 7.6 经济性评价

风电场技改升级的经济性评价统称为技改项目经济分析，通常分为局部、等容、增容技术改造项目经济分析。风电场技改升级前应进行经济性分析来判断经济可行、改造方案最优、实施时点最优、为项目改造方案的投资决策提供支撑依据。具体经济性评价方法应按照GB/T XXXX(《风能发电系统 风力发电场后评价及改造技术规范》)的规定执行。

## 7.7 其他功能评价

其他技改升级措施，应结合其改造升级的目的，提炼评价指标，风电场应定期对指标进行计算，全面评价风电场及风电机组的技改升级效果。

附录 A

(资料性)

风电场技改措施的安全要求及评价方法对照表

A.1 风电场技改措施的安全要求及评价方法对照详见表A.1。

表 A.1 风电场技改措施的安全要求及评价方法对照表

类别	子类别	安全要求						评价方法				
		场址适应性	控制保护系统	电气安全	人员安全	施工安全	电力监控系统	发电性能	安全性	可靠性	并网特性	经济性
风电场	风电场输变电设备			√	√	√	√		√	√	√	
	消防设施				√	√			√	√		
	防雷设施				√	√			√	√		
风电机组	整机更换	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	叶片	√	√		√	√		√	√	√		√
	变桨系统		√	√	√	√			√	√		√
	机械传动系统	√			√	√			√	√		√
	电气传动系统		√	√	√	√			√	√	√	√
	偏航系统		√		√	√			√	√		√
	塔架支撑系统	√			√	√		√	√	√		√
主控系统	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	

### 参 考 文 献

- [1] 工信部网安〔2024〕14号 工业和信息化部关于印发工业控制系统网络安全防护指南的通知