

团 体 标 准

T/CERS 0098—2025

陆上风力发电机组安全风险分级管控 通用要求

General requirements for onshore wind turbine safety risk classification

2025 - 09 - 27 发布

2025 - 09 - 27 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	1
5 安全风险识别	2
6 安全风险分析与评价	2
7 安全风险管控	2
8 持续改进	3
附录 A(资料性) 风险矩阵法参考取值	4
附录 B(资料性) 风力发电机组主要安全风险分级管控清单	6
参考文献	21

前 言

本文件按照 GB/T1.1—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。

本文件由中国能源研究会提出并归口。

本文件起草单位:河北建投新能源有限公司、河北新天科创新能源技术有限公司、科右前旗风能有限公司。

本文件主要起草人:郭艳旬、张二辉、李建明、刘卿、梁宝亮、郑庆明、杜春峰、杜石存、齐建飞、白健、韩建英、赵永权。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国能源研究会(北京市西城区三里河路54号469室,100045)。

引 言

为全面响应和深入贯彻落实国务院安全生产委员会、中央企业及能源电力系统《安全生产治本攻坚三年行动方案》的总体要求，进一步加强风力发电机组的生产安全风险预防控制及隐患排查工作，切实提高安全生产管理水平，有效防止电力生产事故的发生，结合近年来风力发电机组安装、运行和维护等方面的经验，制定本文件。

全国团体标准信息平台

陆上风力发电机组安全风险分级管控通用要求

1 范围

本标准规定了风力发电机组（以下简称“风电机组”）安全风险分级管控的通用要求。
本标准适用于陆上并网型的水平轴风电机组。

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 2900.53 电工术语 风力发电机组
GB/T 27921 风险管理 风险评估技术
GB/T 33000 企业安全生产标准化基本规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风力发电机组 wind turbine generator system
将风的动能转换为电能的系统。

3.2

风险 risk; hazard
发生危险事件或有害暴露的可能性，与随之引发的人身伤害、健康损害或财产损失的严重性的组合。

3.3

持续改进 continuous improvement

为了实现对整体安全生产绩效的改进，根据企业的安全生产和职业卫生目标，不断对安全生产和职业卫生工作进行强化的过程。

4 一般要求

- 4.1 企业应建立安全风险管理制度，明确安全风险识别、评估和管控的方法、程序等要求。
- 4.2 企业应结合本单位机构设置和人员配置情况，建立安全风险分级管控体系，对不同等级的风险进行分级管控。
- 4.3 开展风险识别前，应收集相关国家法律法规及国家行业技术标准、风电机组说明书和故障手册、风电场运行规程、检修规程等资料。
- 4.4 企业应建立风电机组安全风险数据库，并对识别出的安全风险进行动态管理。
- 4.5 企业应通过风险识别、分析与评价、管控、改进等步骤，将安全风险控制在可接受的范围内。

5 安全风险识别

- 5.1 企业应由分管安全生产的负责人组织生产技术、安全、设备等业务领域人员成立风险管理工作机构。
- 5.2 风电机组宜采用头脑风暴、情景分析、检查表及危害分析与关键控制点等方法进行风险识别。
- 5.3 风电机组宜选择塔筒、轮毂、发电系统等做为单元，按照系统、设备、部件的层级开展风险识别。
- 5.4 风险识别应涵盖规划、设计、建设、投产、运行等阶段，并考虑正常、异常和紧急三种状态及过去、现在和将来三种时态。
- 5.5 风险辨识应考虑的影响因素包括但不限于以下内容：
 - a) 常规和非常规作业活动；
 - b) 事故及潜在的紧急情况；
 - c) 进入作业场所人员的活动；
 - d) 工艺、设备、管理、人员等变更；
 - e) 废弃、拆除与处置；
 - f) 台风、极端天气等自然灾害的影响；
 - g) 其他可能的影响因素。

6 安全风险分析与评价

- 6.1 考虑风险分析人员专业能力、风电机组发生事故的可能性和后果，风电机组风险分析与评价推荐选择后果/可能性矩阵法（风险矩阵法）。风险矩阵是一种根据风险的后果和可能性来显示风险并结合这些特征来显示风险重要性评级的方法。
- 6.2 风险分析人员按照划分出的单元，对风电机组内的设备设施进行逐项分析，结合规程、标准、设备状况及行业事故案例，对照附录 A 表 A.1 和表 A.2，对事故发生的可能性（L）和后果严重程度（S）进行赋值。
- 6.3 依据公式 $R=L \times S$ ，计算得出风险值（R），通过查附录 A 的表 A.4 风险等级划分对照表得出风险等级。
- 6.4 风险等级分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险四级，在安全风险分布图中分别以红、橙、黄、蓝四种颜色标注。
- 6.5 为提高风险值数据结果的准确性和可靠性，应充分考虑参与安全风险分析人员的数量和专业。

7 安全风险管控

- 7.1 企业应建立“风险等级越高，管控级别越高，上级负责管控的风险，下级必须负责管控”的工作机制，按照风险等级，对安全风险逐条制定管控措施，明确管控重点、管控部门和管控人员，并逐级落实管控措施。
- 7.2 对较大、重大等级的风险，企业还应制定专门管控方案。管控方案主要包括管控目标、任务、管控组织及职责、较大及以上风险基本信息、控制措施、资金保障、风险失控的处置措施、不同等级风险管控方案的内部审批权限等内容。
- 7.3 风险控制措施应考虑可行性、可靠性、先进性、安全性、经济合理性、经营运行情况及可靠的技术保证和服务。从工程技术、管理、教育培训、个体防护、应急等方面制定风险管控措施。
- 7.4 对于操作难度大、技术含量高、风险等级高、可能导致严重后果的风险应进行重点管控。
- 7.5 风险管控层级一般分为公司级、部门级（风电场）、班组（岗位）级三级。重大、较大风险可由公司管控；一般风险可由部门（风电场）管控；低风险可由班组（岗位）管控。风险管控层级可结合本单位机构设置情况，进行增加或合并，合理确定各级风险的管控层级。
- 7.6 企业应组织人员对风险评价及管控措施进行评审，并将评审后的安全风险分级管控清单进行发布。
- 7.7 企业应及时将制定的风险控制措施（方案）、可能引发事故的类别、事故后果、应急措施等内容对员工及相关单位、人员进行培训和告知。
- 7.8 企业应制定风险告知卡（牌），在风电机组显著位置或风险较大设备区域设置风险告知卡（牌）进行告知。

7.9 依据上述管理流程，选取远景 EN82/EN87/EN93 和维斯塔斯 V100-2.0MW 作为样例，风电机组主要安全风险分级管控清单参见附录 B。

8 持续改进

- 8.1 风电企业应结合安全生产双控机制建设要求，将风险控制措施有效性监测融入隐患排查治理体系。
- 8.2 风电企业应按照岗位责任制，借助在线监测、定期巡检、设备消缺等工作对风险控制措施有效性进行验证和改进。
- 8.3 在改建扩建工程项目、相关法律法规、技术标准、运行方式、设备工况、技改、变更工艺技术前、相关方要求等影响因素发生变化时，以及发生生产安全事故后，应及时对相关风险重新进行评估。根据识别情况及时更新管控措施或者管控方案，并调整安全风险分级管控清单。
- 8.4 风电企业应每年至少开展一次风险管控动态评估，发生生产安全事故后应立即开展专项评估，发生一般生产安全事故的，应当对发生事故的单元进行安全风险评估；发生较大及以上生产安全事故的，应当对事发单位进行安全生产状况评估，评估结果可用于制定生产计划、应急预案及安全技术措施。
- 8.5 风电企业应将安全风险管理过程及其结果进行记录。

附录 A (资料性)

风险矩阵法参考取值

风险矩阵法是对风险发生的可能性和后果的严重程度进行分析和评价，得出风险的风险值，其数学表达式为：

$$R=L \times S \quad \dots\dots \dots (1)$$

式中：

R——风险值；

L——风险发生的可能性；

S——风险后果的严重程度。

表 A.1 风险发生可能性(L) 的参考取值表

可能性(L)	范围				
	参考频率	人员情况	设备设施、工器具及材料	环境状况	规程和针对性管理方案
5	风电场一年内发生过	无培训，无经验	超期运行或超检验期	存在或可能产生危害气体	没有
4	本企业一年内发生过	有培训，但培训时间不够或未达成效果	保护自动装置功能不完善，存在质量缺陷	作业空间受限；作业立体交叉；恶劣气象条件；高空或在运行设备设施上作业	有，但不完善，且只偶尔执行
3	本行业一年内发生过	经验不足，多次出现差错	基本完好，但安全装置不完善	通风、光照或温度需要采取措施才能作业；周围有运行设备	有，较完善，但只部分执行
2	全国范围一年内发生过	偶尔出现差错	总体完好，但有缺陷	通风、光照或温度不影响作业；系统停运；同一作业面有其他作业	有，完善，但偶尔不执行
1	从未发生过	培训充分，经验丰富，安全意识强	完好，无缺陷	通风、光照良好，温度适宜；系统停运且周围无运行设备	有，完善，严格执行

表 A.2 风险发生的后果严重程度(S) 参考取值表

严重程度(S)	范围		
	人员伤亡	直接经济损失	公司形象
5	死亡3人以上，重伤10人以上	1000万以上	重大国内影响
4	死亡2人~3人，重伤5人~10人	100万元~1000万元	行业内、省内影响
3	死亡1人，重伤3人~5人	30万元~100万元	地区影响
2	重伤1人~2人	5万元~30万元	公司及周边范围影响
1	轻伤	1万元~5万元	公司范围影响

表 A.3 风险值(R)取值标准对照表

可能性(L)	严重程度(S)				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

表 A.4 风险等级划分对照表

风险值(R)范围	风险等级
17~25	重大风险
10~16	较大风险
5~9	一般风险
1~4	低风险

附录 B

(规范性附录)

风电机组主要安全风险分级管控清单

序号	辨识单元	辨识内容	辨识标准	存在的危害	可能导致的后果	风险等级	预控措施
1	塔筒						
1.1	基础	1) 防水	基础环与基础之间的缝隙防水失效。	基础翻浆	倒塔	一般	1. 及时修补处理基础裂缝，防止裂缝扩展影响基础安全；可采用高标号混凝土进行填充处理，必要时可加入外加剂改善混凝土性能。 2. 定期检查防水层的完好性，及时修补破损部位；加强风机基础的防水处理，防止水分渗入混凝土内部导致钢筋腐蚀。
		2) 沉降	基础出现不均匀沉降，检测上法兰水平度大于2mm，绝对值大于6mm。	塔筒倾斜	倒塔	一般	1. 从基础施工阶段开始，按规范定期对风电机组进行基础沉降观测。
1.2	钢塔	1) 法兰连接	1) 法兰间隙超过设计值；塔筒各部连接螺栓有松动、断裂情况。 2) 塔筒连接处有腐蚀、裂缝、渗漏水等异常情况。	塔筒振动增大	倒塔	一般	1. 根据力矩表定期对法兰螺栓进行紧固。 2. 定期检查塔身有无脱漆、腐蚀，密封是否良好。
		2) 垂直度	塔架倾斜度大于8mm/m，或者由于基础不均匀沉降导致的塔架倾斜度大于3mm/m，其他原因造成	塔筒倾斜	倒塔	一般	1. 定期检查塔架垂直度。

			的塔架倾斜大于5mm/m。				
1.3	混塔	1) 预应力钢绞线	1) 预应力锚索封锚罩松动、密封胶圈密封不良、出现老化与断裂现象； 2) 锚罩表面未封闭，出现开裂、变形和漏水现象； 3) 密封油脂缺失，预应力索两锚固部位，包括索端及锚头、夹片出现渗水、锈蚀、开裂和松动现象。	预应力钢绞线强度降低	倒塔	低	1. 定期检查预应力钢绞线锈蚀情况。 2. 定期检查密封油脂情况。 3. 定期检查电缆孔防水情况。
		2) 预制件安装防水	1) 混塔各连接部位有裂缝、崩坏；外壁面有黄褐色流坠斑迹； 2) 空心基础固定端封锚罩内部积水； 3) 内部预应力锚具周围积水； 4) 电缆孔密封材料防水失效，密封材料有脱落现象，内部出现渗水。	锚具强度降低	倒塔	低	1. 定期检查密封油脂情况。 2. 定期检查电缆孔防水情况。
1.4	附件	1) 内爬梯	1) 爬梯支架与塔架连接松动，支架有脱焊、螺栓有松动现象； 2) 爬梯有油污，连接螺栓有松动，爬梯弯曲、接缝有明显变形、错位，镀锌层脱落、锈蚀。	爬梯脱落	高处坠落	低	1. 定期对爬梯进行检查，检查螺栓外观、紧固力、腐蚀情况等，检查发现的问题及时处理，按要求更换附件。 2. 定期开展维护保养工作。
		2) 防坠落钢丝绳/滑轨	1) 钢丝绳出现磨损、断丝、锈蚀、扭结； 2) 滑轨出现断裂、变形、松动，接缝处错位，紧固件松动。	防坠失效	高处坠落	低	1. 定期对钢丝绳、滑轨进行检查，检查螺栓外观、紧固力、腐蚀情况等，针对附件检查发现的问题及时处理，按要求更换附件。 2. 定期开展维护保养工作。
		3) 电缆	1) 电缆支架与塔架连接松动，支架出现脱焊、螺栓有松动； 2) 电缆夹松动，如电缆夹胶皮垫缺失。	电缆磨损	火灾	低	1. 定期对电缆支架进行检查，检查螺栓外观、紧固力、腐蚀情况等，针对附件检查发现的问题及时处理，按要求更换附件。 2. 定期开展维护保养工作。 3. 定期检查电缆表面有无磨损和损坏。

1.5	辅助登塔设备	1) 钢丝绳	1) 钢丝绳、牵引绳、防坠绳出现断股、断丝、毛刺、锈蚀、油污或其他损坏; 2) 钢丝绳偏离导向轮。	钢丝绳断开	高处坠落	低	1. 使用前对助爬器接线、控制部分、钢丝绳等部件进行检查。 2. 开机后先进行空载运行检查, 并查看钢丝绳有无断股。钢丝绳的更换应符合 GB/T 5972 的有关规定。
		2) 免爬器	1) 防坠器挂钩磨损, 导向轮阻滞或异常磨损; 2) 安全锁无法锁定、解锁功能异常; 3) 免爬器制动功能异常; 4) 上、下限位功能异常。	免爬器失控	高处坠落	低	1. 接电前检查电源线无破损、无老化。 2. 定期对免爬器进行年检维护。 3. 使用前对免爬器接线、控制部分、钢丝绳等检查。 4. 开机后先进行空载运行检查, 并查看钢丝绳有无断股。钢丝绳的更换应符合 GB/T 5972 的有关规定。
		3) 升降机	1) 升降机轿厢部件有松动、变形、损坏现象, 按钮、开关功能异常; 2) 升降机轿厢门有变形、锈蚀, 功能异常; 3) 升降机制动功能异常。	升降机失速	高处坠落	低	1. 使用前检查塔筒升降机钢丝绳, 发现断丝、锈蚀及时更换。钢丝绳的更换应符合 GB/T 5972 的有关规定。 2. 使用前检查安全锁的锁定功能及解锁功能应正常; 3. 检查电气元件和线路, 应无破损、老化; 4. 操作人员及安装、维护人员必须接受专业培训, 具备塔筒升降机运行操作、故障处理、应急处置等专业技能, 经考核合格后方可操作塔筒升降机或开展相关工作。 5. 定期对塔筒升降机进行年检维护。
		4) 电缆	1) 升降机的电缆溢出收缆筒外, 与钢丝绳有摩擦现象。	绝缘失效	触电	低	1. 接电前检查电源线无破损、无老化。

2	轮毂						
2.1	叶片	1) 外观	1) 叶片有裂纹, 表面、根部或边缘损坏;	叶片断裂	倒塔	一般	1. 定期检查叶片的表面、根部和边缘有无损坏以及装配区域有无裂缝; 2. 定期检查叶片内部有无异物; 3. 定期检查叶片表面附翼有无损坏。
		2) 接地	1) 接闪器松动、变形或锈蚀; 2) 避雷导线连接松动, 叶片引下线断裂, 绝缘层破损, 变桨距风电机组叶片接闪器至叶根的直流电阻大于50mΩ。	雷击	火灾	较大	1. 定期检查叶片的接地系统是否正常。
		3) 与塔筒净空距离	1) 运行时叶尖与塔架的安全距离小于未变形时叶尖与塔架间距离的 40%。	叶片扫塔	倒塔	一般	1. 定期检查叶片初始安装角是否改变。 2. 定期检查叶片和风轮的锁定系统是否正常。
		4) 叶片与变桨轴承连接螺栓	1) 叶片与变桨轴承连接螺栓有松动、断裂。	叶片脱落	倒塔	一般	1. 根据力矩表定期紧固叶片与变桨轴承连接螺栓。
2.2	变桨轴承	1) 润滑	1) 变桨轴承润滑不良, 运行时有异常噪声。	不能收桨	飞车	一般	1. 定期对变桨轴承进行润滑并开展油脂检测, 检查变桨轴承运行时应无噪音。 2. 定期检查变桨轴承外观应无掉漆、锈蚀、变形、裂纹, 密封完好, 无油脂泄漏。
		2) 变桨轴承与轮毂连接螺栓	1) 变桨轴承与轮毂连接螺栓有松动、断裂	叶片脱落	倒塔	一般	1. 根据力矩表定期紧固变桨轴承与轮毂连接螺栓。
2.3	变桨系统	1) 电动式变桨距系统	1) 变桨控制柜与轮毂连接螺栓松动; 2) 控制柜内电气元件的连接端子松动; 3) 蓄电池/电容变形、漏液、裂纹及污迹, 接线松动, 输出电压异常。	变桨失效	飞车	一般	定期检查电动式变桨距系统, 变桨电机、变桨传动系统、变桨控制柜等是否正常。

		2) 液压式变桨距系统	1) 变桨油缸油管接口处渗漏油; 2) 变桨蓄能器接口渗漏油、压力异常; 3) 比例阀功能异常; 4) 液压滑环密封不良, 油管接头漏油。	变桨失效	飞车	一般	定期检查液压式变桨距系统, 变桨机构有无异常情况。
2.4	轮毂-主轴连接	螺栓	轮毂与主轴连接螺栓松动、断裂。	轮毂脱落	倒塔	一般	根据力矩表定期紧固主轴法兰与轮毂装配螺栓, 当发现螺栓不符合要求时应予以更换。
3	传动系统						
3.1	主轴	1) 本体	1) 主轴表面有破损、磨损、腐蚀、裂纹。 2) 主轴运行声音异常, 振动超标 (CMS 诊断)	主轴断裂	倒塔	一般	1. 定期对主轴轴承进行外观检查、游隙测量、噪声检测等, 必要时采用无损探伤检查。一旦发现轴承存在严重磨损、剥落、后移或高温及振动异常现象, 应及时进行更换。
		2) 轴承	1) 主轴轴承运行温度异常; 2) 自动润滑系统油位低或排油不畅, 轴承润滑不良; 3) 主轴润滑油脂检测不合格。 4) 油脂渗油宽度超过 15mm。	润滑不良	设备损坏	低	1. 定期对主轴系统清洁、紧固螺栓、及时更换失效密封件等。 2. 定期检查自动润滑系统油位并开展油样检测, 及时更换或补充, 确保主轴系统的润滑良好。
		3) 防雷电刷	防雷电刷长度小于 20mm, 气隙距离超过 1.5mm; 电刷弹力不足; 电刷支架松动。	雷击	火灾	一般	1. 定期检查防雷电刷, 紧固防雷电刷支架连接螺栓。 2. 定期开展防雷系统检测。
3.2	齿轮箱	1) 密封和润滑	1) 齿轮箱渗漏油。 2) 齿轮箱润滑系统渗漏油; 3) 齿轮油化验合格、无泡沫化。	可燃液体	火灾	一般	1. 定期检查箱体有无泄漏。 2. 定期采集油样, 进行化验, 根据产品技术要求时间或油液化验结果更换齿轮箱油。 3. 定期检查齿轮箱润滑系统工作情况。检查齿轮箱油过滤器, 并按产品技术要求时间定期进行更换。 4. 定期检查箱体油冷却器和油泵系统有无泄漏,

							是否工作正常。
		2) 齿轮	1) 行星架、太阳轮、中速级、高速级传动齿轮断齿、点蚀、胶合、齿面剥落等； 2) 轴承严重磨损、偏载、保持架损坏情形。	振动异常	倒塔	低	1. 定期检查齿轮箱运转有无异响及振动情况。 2. 定期检查油温、油色是否正常，油标位置是否在正常范围之内。 3. 定期检查齿面及轴承磨损情况。
		3) 位移	1) 弹性支撑窜出及轴向窜动、间隙过大、固定螺栓松动，橡胶裂纹、老化或产生粉末物质、块状脱落	振动异常	倒塔	低	1. 定期检查齿轮箱弹性支撑缓冲装置及其老化情况。 2. 定检时根据力矩表紧固齿轮箱与机座螺栓。
3.3	机械制动	1) 制动器	1) 制动器本体有开裂、锈蚀、松动现象，刹车机构密封圈、液压油管老化、渗漏油等； 2) 刹车片表面不平整，刹车片与刹车盘间隙不符合产品技术要求数值，刹车片磨损不均匀、磨损异常； 3) 刹车片温度传感器接线松动，温度采集异常（可借助测温枪测量）； 4) 制动器卡涩、弹簧压力异常，刹车延迟，刹车片不能正常复位。	刹车失效	飞车	一般	1. 定期检查制动系统接线端子有无松动。 2. 定期检查制动盘和制动块间隙，间隙不能超过产品技术要求数值。 3. 定期检查制动块磨损程度。 4. 根据力矩表定期紧固机械制动器相应螺栓。 5. 定期测量制动时间，并按规定进行调整。 6. 定期清洁制动器表面的油污和磨屑。
		2) 制动盘	1) 制动盘无裂纹、划痕或异常磨损，厚度均匀并满足设计要求； 2) 使用百分表测试制动盘端面的跳动情况，制动盘跳动值最高点和最低点的差值应符合设计要求。	刹车失效	飞车	一般	1. 定期检查制动盘是否松动，有无磨损和裂缝。 2. 定期清洁制动盘表面的油污和磨屑。
		3) 液压系统	3) 制动器测点压力正常；液压连接软管和液压缸无泄漏与异常磨损；液压油位正常。	刹车失效	飞车	一般	1. 定期检查液压站各测点压力是否正常。 2. 定期检查液压连接软管和液压缸的泄漏与磨损情况，检查液压油位是否正常。 3. 定期更换过滤器。

		4) 其他	周围有可燃物品或集油	着火	机舱火灾	一般	1. 确保刹车片磨损飞溅火星所能到达的空间区域无垃圾、油污等易燃物品。
3.4	联轴器	1) 本体	1) 检查联轴器护罩完好，无松动；检查联轴器无打滑迹象，固定螺栓无松动、缺失、断裂。 2) 表面的防腐涂层无脱落、无裂纹。	联轴器断裂	设备损坏	低	1. 定期对联轴器的磨损情况、裂纹、松动等，以及罩壳的完整性、紧固件的紧固情况等进行检查，及时更换打滑的联轴器。 2. 定期清洁联轴器和罩壳表面的油污和灰尘，保持其清洁状态。对于需要润滑的联轴器，按照要求进行定期润滑，以减少摩擦和磨损。
		2) 对中	1) 与发电机、齿轮箱同心度不满足要求。	振动异常	设备损坏	低	1. 定期开展发电机对中工作，确保联轴器与发电机、齿轮箱同心度满足设计要求。
4	偏航系统						
4.1	偏航系统	1) 电机	1) 电机各部分连接螺栓松动； 2) 电机运转时异常噪声或剧烈振动，电机冷态时绕组的绝缘电阻小于 $1M\Omega$ 。	电机过载	偏航失效	低	1. 定期检查偏航系统有无异响。 2. 定期检查偏航电机及传动系统、液压偏航系统是否正常。 3. 监测偏航功率损耗是否在规定范围之内，应根据气温变化做相应调整。
		2) 减速器	1) 减速器渗油； 2) 减速器各部位连接螺栓有松动； 3) 减速器异常噪声、卡涩、振动等情况。	减速失效	偏航失效	低	1. 定期检查偏航减速器齿轮箱有无泄漏。 2. 根据力矩表定期对减速器法兰螺栓进行紧固。 3. 检查液压油管有无漏油、磨损，电气接线端子有无松动。
		3) 轴承	1) 偏航轴承各部位连接螺栓有松动； 2) 密封和润滑不良，运行时异响或异常振动。	卡涩	偏航失效	低	1. 根据力矩表对偏航轴承螺栓紧固。 2. 对偏航系统进行注油，油型、油量及间隔时间符合相应技术要求。

		4) 制动器	4) 制动器活塞螺栓松动，制动摩擦块的厚度小于 1.5mm，制动功能异常。	制动失效	扭缆	低	1. 定期检查偏航制动系统是否正常。 2. 定期检查偏航齿圈，必要时需做均衡调整。 3. 定期检查偏航系统解缆功能是否正常。
5	发电系统						
5.1	发电机	1) 轴承	1) 轴承运行声音异常； 2) 自动润滑系统缺油、排油异常； 3) 运行时通过CMS诊断振动值异常。	温度高	设备损坏	较大	1. 定期直观检查发电机消音、减震装置。 2. 定期轴承注油，检查油质。注油型号和用量应符合相应技术要求。 3. 按力矩表定期紧固螺栓。 4. 定期检查发电机对中情况是否符合相应技术要求。 5. 定期检查发电机前后轴承的振动情况。
		2) 定、转子	1) 定转子电缆破损、绝缘老化； 2) 电缆头有打火等异常情况； 3) 定子线圈的绝缘电阻值 $R < 1.5M\Omega$ (测试电压 500V)，转子线圈的绝缘电阻值 $R < 2M\Omega$ (测试电压 1000V)； 4) 电缆接线端子螺栓松动，力矩值不符合标准。	短路	火灾	较大	1. 定期检查发电机电缆有无损坏、破裂和绝缘老化等情况。 2. 定期紧固电缆接线端子，按产品技术要求力矩标准执行。 3. 定期检查发电机绝缘、直流电阻等有关电气参数。 4. 对于1000V以上发电机，须开具第一种工作票，使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电。
		3) 碳刷	1) 电刷接触面有划痕、擦伤、凹坑、斑点、打火、腐蚀点等情况，接触面积小于 80%； 2) 相碳刷、接地碳刷混用，长度不符合要求； 3) 碳刷压簧压力不足。	接触电阻增大	电机转速低	低	1. 定期检查发电机转子的碳刷磨损情况。
		4) 集电环	1) 集电环表面粗糙； 2) 电环室碳粉堆积； 3) 刷架、刷握及绝缘支柱松动。	接触不良	电机转速低	低	1. 定期检查集电环的磨损情况，及时清理积碳。

		5) 冷却系统	1) 过滤器堵塞	散热不良	高温停机	低	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定期检查空气入口、通风装置和外壳冷却散热系统。 2. 定期检查冷却系统并按产品技术要求进行处理。 3. 定期检查空气过滤器，检查并清洗。
5.2	变频器	1) 断路器	<ol style="list-style-type: none"> 1) 断路器内部脏污，储能手柄或各机械部件有卡滞，联动半轴移位； 2) 灭弧触头和主触头有拉弧、银点脱落、引弧角严重蚀伤、指示销不可见或略微显现情况； 3) 灭弧罩灭弧片有发黑情况，外部塑料裂痕，灭弧罩第一片和最后一块灭弧板明显磨损差异。 	电弧击穿	火灾	较大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 检查断路器的动/静触头表面有无金属毛刺、粘连、金属颗粒、过温等现象，是否磨损、烧蚀严重。 2. 定期检查断路器动作次数是否超过厂家规定；检查长延时、短延时、瞬时速断和接地（如有）保护定值是否正确。 3. 定期检查灭弧栅片、引弧板是否烧蚀、破损、断裂，必要时更换灭弧栅片、引弧板。 4. 实时监测变频器运行状态和参数，如电压、电流、温度等。 5. 定期开展手动、电动分/合闸测试，检查分/合闸按钮是否卡涩、松动，机械指示、储能状态指示是否正常，断路器能否可靠闭合/断开。 6. 对于1000V以上发电机，须开具第一种工作票，使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电，验明设备确无电压后，采取接地措施。
		2) 接触器	<ol style="list-style-type: none"> 1) 接触器触头动作卡涩，三相闭合有延迟；接触器触头相间绝缘低于10MΩ；接触器触点磨损厚度超过1mm或者严重烧损； 2) 铁芯有短路、脱落情况； 3) 电磁线圈绝缘有变色、老化现象，电磁线圈有开焊和烧损情况； 4) 灭弧罩有破损、松动，灭弧罩缝隙内存在金属颗粒及杂物。 	打火	火灾	较大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定期对接触器进行外观检查，观察是否有损坏、变形或腐蚀等现象。特别注意检查触点的磨损情况，以及是否有异物或污垢附着在触点上。 2. 利用在线监测系统实时监测接触器的运行状态和参数，如电压、电流、温度等。设定合理的故障预警阈值，当监测到异常参数时及时发出预警信号。

							<p>3. 定期对接触器进行清洁和紧固，去除灰尘和污物，保持其良好的散热和运行状态。同时，检查接触器的机械部件是否灵活可靠，必要时进行润滑和更换。</p> <p>4. 对于1000V以上发电机，须开具第一种工作票，使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电，验明设备确无电压后，采取接地措施。</p>
		3) UPS	<p>1) UPS 电缆连接紧固、绝缘无破损；</p> <p>2) 断开不间断电源的外部电源后，续航时间应不低于 10 分钟。</p>	供电不足	设备损坏	一般	<p>1. 定期对 UPS 电池组进行检查和维护，包括测量电池电压、内阻和容量等参数。及时更换老化或损坏的电池，确保电池组的整体性能和可靠性。</p> <p>2. 定期对 UPS 进行清洁，去除灰尘和污物，保持其良好的散热和运行状态。同时，检查并紧固各部件的连接螺栓和接插件，确保连接可靠。</p>
5.3	干式变	1) 变压器室	<p>1) 壳体有变形、锈蚀痕迹；</p> <p>2) 接地线（等电位线）连接不可靠，有断裂、外皮破损情况；</p> <p>3) 检查电缆进出线孔洞有无防火封堵材料，防火泥有无脱落、封堵不严现象。</p>	短路	火灾	一般	<p>1. 定期对变压器壳体、门锁、接地线、防火封堵进行检查。</p> <p>2. 定期手动触发弧光探测继电器跳闸按钮，查看环网柜应可靠分闸。</p> <p>3. 定期手动按压跳闸按钮，查看环网柜断路器应可靠分闸。</p> <p>4. 进入变压器室，开具第一种工作票，使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电。</p>
		2) 变压器本体	<p>1) 高低压绕组表面有裂纹或因过流和过热造成的变色现象；</p> <p>2) 桥接母线两端固定不牢固；</p> <p>3) 绝缘护套有开裂、老化或过热痕迹；母线有变形；</p> <p>4) 接线铜排连接不牢固，绝缘护套有开裂现象；</p> <p>5) 固定绝缘支柱有裂纹或断裂现象；</p> <p>6) 铁芯接地不可靠，有断裂、外皮破损情况；</p>	短路	火灾	较大	<p>1. 定期对变压器绕组、桥接母线、接线铜排、绝缘护套、铁芯接地线、螺栓进行检查。</p> <p>2. 至少每5年开展一次型式试验，包含绕组电阻测量、绝缘电阻测量、电压比测量和联结组标号检定、空载损耗和空载电流测量等。</p>

			7) 变压器本体各部位螺栓力矩标记线有位移。				
		3) 变压器低压侧	1) 熔断器固定不牢固, 熔断器阻值不正常; 2) 低压电缆存在裂纹、开裂、磨损情况; 3) 接线端子有铜线外露、变形, 力矩标记线有位移; 4) 低压电缆热缩套有破损、开裂。	短路	火灾	较大	1. 定期对熔断器、低压电缆、接线端子、低压电缆热缩套进行检查。
		4) 变压器高压侧	1) 避雷器有裂纹、断裂, 连接不牢固; 2) 接线端子有铜线外露、变形, 力矩标记线有无位移; 3) 高压电缆终端护套有破损、开裂; 4) 高压电缆存在裂纹、开裂现象, 有磨损情况	短路	火灾	较大	1. 定期对避雷器、接线端子、高压电缆终端、高压电缆进行检查。
5.4	环网柜	1) 环网柜高压断路器	1) SF6气体压力表指示不正常; 2) 环网柜断路器动作次数超限。	弧光短路	火灾	较大	1. 定期对SF6气体压力表、断路器动作次数进行检查。动作次数超限的断路器应立即更换。 2. 定期手动分合环网柜断路器, 检查分断有无卡涩、拒动等情况, 反馈信号是否正常 3. 进入环网柜作业前, 开具第一种工作票, 使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电。
		2) 环网柜操作机构	1) 机械结构连杆、弹簧、连接片等金属构件有变形、锈蚀、松动现象; 2) 手动操作断路器分、合闸, 检查机构有卡涩、弹簧不储能、开关偷跳等问题。	短路	火灾	较大	定期对机械结构连杆、弹簧、连接片等全部金属构件进行检查。 进入环网柜作业前, 开具第一种工作票, 使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电。
		3) 环网柜电缆室	1) 环网柜内高压电缆、电缆头等存在老化、开裂、磨损等情况; 2) 接线鼻子固定螺栓力矩标记线位移; 3) 环网柜内连接母排螺栓力矩标记线位移, 母排松动、变形或断裂;	短路	火灾	较大	1. 定期用摇杆操作隔离开关和接地刀闸, 检查其动作机构是否存在卡涩情况; 2. 定期手动滑动断路器和隔离开关、隔离开关和接地开关的联锁机构, 检查是否存在卡涩情况。 3. 进入环网柜作业前, 开具第一种工作票, 使用相应电压等级、试验合格的验电器逐相验电。

		4) 二次回路	1) 继电保护屏或环网柜控制柜内二次接线有破损、断裂或脱落; 2) 端子螺栓、端子连片有松动、开路。	短路	火灾	一般	1. 定期对继电保护屏或环网柜控制柜内二次接线进行检查。
5.5	动力电缆及导电轨	1) 电缆绝缘	1) 电缆防磨损护套松动、脱落情况; 2) 电缆松动磨损, 电缆接头处有打火等异常情况。 3) 转子回路的绝缘值 $R < 5M\Omega$ (测试电压为1000V), 定子回路的绝缘值 $R < 5M\Omega$ (测试电压为500V)。	短路	火灾	一般	1. 定期对动力电缆进行绝缘电阻测试。 2. 定期检测接地电阻值, 对于接地电阻值偏高的区域, 及时采取措施进行改进。 3. 定期紧固电缆连接螺栓, 确保连接良好。
		2) 接地	1) 接地电缆应与接地点连接松动。	雷击	火灾	一般	1. 定期检测接地系统的接地电阻值, 确保其符合标准要求。对于接地电阻值偏高的区域, 应及时采取措施进行改进。 2. 定期检查接地装置的状态, 包括接地极、接地引下线等, 确保其连接可靠、无锈蚀或损坏。对于发现的问题, 应及时进行处理。
		3) 导电轨	1) 导电轨弹性支撑裂纹、变形、剥落、松动等现象; 2) 导电轨间连接螺栓力矩不符合要求。	短路	触电	一般	1. 定期对导电轨弹性支撑进行检查。 2. 定期检查导电轨间连接螺栓力矩。 3. 若导电轨发生打火、火灾, 通过主控系统触发机组紧急停机程序, 切断导电轨所在回路电源。断开变流器、箱式变压器等关联设备, 避免电流反送。若远程失效, 穿戴绝缘靴、绝缘手套及电弧防护装备, 手动断开导电轨上下游断路器。使用绝缘杆操作隔离开关, 确保完全断电后再靠近设备
6	控制与安全系统						

6.1	控制柜	1) 通风系统	1) 通风散热系统异常，滤网堵塞。	高温	火灾	低	1. 定期检查控制柜通风散热系统是否正常。 2. 定期清理滤网。
		2) 绝缘和连接	2) 控制柜接线端子连接松动，电缆破损。	短路	火灾	一般	1. 根据力矩表定期紧固接线端子。 2. 定期检查控制柜通风散热系统是否正常，并清理滤网。 3. 定期检查电气回路性能及绝缘情况。 4. 定期检查控制柜电缆有无损坏和破损。 5. 定期检查电容器、避雷器、晶闸管外观有无异常。
6.2	加热系统	1) 加热元件	1) 加热装置工作异常。	高温	火灾	一般	1. 定期检查系统元件的温度，使用红外测温仪等工具对关键元件进行温度检测。 2. 定期检查加热器各元件是否安装牢固。
		2) 控制系统	1) 不能按照设定的参数正常启动和停止。	高温	火灾	一般	1. 定期检查各加热器控制参数是否与定值单一致，温控开关参数设置是否正确，并详细记录相关参数。 2. 检查加热器反馈信号回路供电是否正常，线路是否老化，是否存在磨损及信号短接现象。
6.3	防雷系统	1) 接闪器	1) 接闪器的焊接固定焊缝有遗漏，焊接部分防锈漆脱落， 2) 接闪器与引下线电气连接不良。 3) 接闪器不完整，有腐蚀、断裂或位移。	雷击	火灾	一般	1. 定期检查接闪器的焊缝是否饱满无遗漏，焊接部分补刷的防锈漆是否完整，接闪器截面是否开焊。
		2) 引下线	1) 引下线（铜缆或扁钢）的截面积小于 50mm ² ， 2) 引下线与叶片根部法兰或其他连接处的连接不可靠 3) 接闪器至叶根引下线末端的过渡电阻大于 0.24Ω。	雷击	火灾	一般	1. 检查明敷引下线是否平直、无急弯 2. 定期检查引下线与叶片根部法兰或其他连接处的连接是否可靠，和接地装置的焊接处是否锈蚀。 3. 检查专设引下线上有无附着的其他电气线路。

							测量明敷引下线与附近其他电气线路的距离，一般不小于1m,交叉一般不应小于0.3m。
		3) 接地装置	1) 单机工频接地电阻值大于 10 Ω; 2) 塔筒底部末端与接地扁钢的连接少于3处 3) 连接导体与接地体使用焊条焊接的, 搭接长度小于其宽度的2倍。	雷击	火灾	一般	1. 定期开展防雷接地装置检测, 检测单机工频接地电阻值不应大于 10 Ω。 2. 定期检查接地导体表面防腐是否完好, 接地标识有无缺失。
		4) 等电位装置	1) 风机内部的控制柜、变压器、电机等金属部件未进行等电位连接。 2) 等电位装置之间接地连接松动或锈蚀。 3) 大尺寸金属物与共用接地装置连接处的过渡电阻大于0.24Ω。	雷击	火灾	一般	1. 定期检查接地线两端的连接应可靠, 接地线要有黄绿颜色标识, 或在连接点处有接地标识。
		5) 电涌保护器 (SPD)	1) SPD 无状态指示器或状态指示非“正常”状态。 2) SPD表面有划伤、裂痕、烧灼痕或变形情况, SPD的标示不完整或不清晰。 3) 安装在电路上的SPD限压元件前端无脱离器或过电流保护器。 4) SPD与接地线与等电位连接带之间的过渡电阻大于0.24Ω。	雷击	火灾	一般	1. 定期检查 SPD 有无损坏、变形或腐蚀现象。 2. 定期检查 SPD 接地线有无松动, 接地线是否符合黄绿色标的规定。 3. 定期检测 SPD 的压敏电压、泄漏电流和绝缘电阻。 4. 定期检查测试 SPD, 测试结果表明 SPD 劣化或状态指示指出 SPD 失效, 应及时更换。
6.4	安全链	1) 连接	1) 各传感器、急停按钮、超速模块等松动	安全链误动	设备损坏	低	1. 定期对安全链进行检查, 包括各个节点的连接状态、紧固件的紧固情况等, 确保安全链处于良好的工作状态。
		2) 功能	1) 手动触发安全链中的各传感器、急停按钮等, 不能触发安全链。	保护失效	飞车、倒塔	一般	1. 对安全链进行清洁保养, 避免灰尘、油污等污染物对安全链造成损害。
7	辅助设施						

7.1	提升装置	1) 吊物口	1) 吊物口盖板缺失, 护栏不牢固。	高处坠落	人身伤害	一般	1. 定期巡检, 包括各个节点的连接状态、紧固件的紧固情况等。 2. 定期检查紧固各部位连接螺栓。
		2) 提升机	1) 吊钩有裂纹、变形、磨损等情况; 2) 制动器工作异常; 3) 提升机横梁与机舱罩壳连接不牢。	吊物脱落	物体打击	一般	1. 定期巡检, 包括各个节点的连接状态、紧固件的紧固情况等。 2. 定期检查紧固各部位连接螺栓。
7.2	逃生装置	逃生包	紧急逃生装置超过生产厂家规定的使用寿命。	缓降失效	高处坠落	一般	1. 定期对逃生包进行检查, 查看是否有损坏、过期或缺失等情况。 2. 对风电机组的工作人员进行逃生包使用培训。

参 考 文 献

- [1] GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
 - [2] GB/T 35204 风力发电机组 安全手册
 - [3] NB 31089 风电场设计防火规范
 - [4] NB/T 10567 风电机组变桨系统检修规程
 - [5] NB/T 10568 风电机组偏航系统检修技术规程
 - [6] NB/T 10569 风电机组齿轮箱检修技术规程
 - [7] NB/T 10572 风电机组制动器检修技术规程
 - [8] NB/T 10640 风电场运行风险管理规程
 - [9] NB/T 10985 风力发电场维护规程
 - [10] NB/T 31129 风力发电机组振动状态评价导则
 - [11] 防止电力生产事故的二十五项重点要求（2023版）
-