

# 风电场电气设备中风力发电机的运行维护的措施解析

邹纯超

新疆华电苇湖梁新能源有限公司，新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，830000；

**摘要：**近几年，社会生产与人们生活水平的不断提高，对于电能的需求也日益剧增，并且电能消耗也相对较为严重，尽管在节能减排的理念下，能源消耗方面得到了缓解，但还是面临着较大的压力。因此，从风电场电气设备的角度来说，确保风力发电机正常的运行，不仅可以保证电能供给的稳定性，也可以减少对能源的消耗。本文在深入了解风力发电机以后，对其常见的故障以及故障处理措施、运行维护措施等内容，展开分析和阐述，以供参考。

**关键词：**风电场电气设备；风力发电机；故障；运行维护

**DOI：**10.69979/3041-0673.25.12.028

风力发电属于新型能源发电中常见的技术，主要是利用风力发电机将风能进行转换，形成机械能和电能，因此风力发电机在风力发电设备中占据着重要的地位。但是，风力发电机在实际运行的时候，经常处于超负荷的运行状态，再加上诸多因素的影响，很容易出现各种问题，影响风力发电机的运行效率。因此，必须对风力发电机常见的运行故障有着清楚的认知，以此有针对性地进行解决，切实落实有效的运行维护措施，保证风力发电机运行的稳定性，提升风力发电的效率。

## 1 风力发电机运行维护的重要性

风力发电机作为风电场的核心设备，其运行维护对于保障风电场整体安全和经济效益至关重要，主要表现在以下几个方面：

### 1.1 保障设备安全稳定运行

风力发电机长期暴露在风沙、盐雾、温湿度剧变等恶劣环境中，关键部件（如叶片、齿轮箱、轴承、塔筒）易出现裂纹、磨损、腐蚀、电气绝缘老化等隐患。定期维护能及时检测并消除这些缺陷，防止叶片断裂、齿轮箱损坏、电气短路等严重事故，避免设备损毁及人员安全风险。通过实时监控与远程复位功能，可快速处理电网波动（如电压/频率异常）、过风速、部件超温等可自复位故障，减少非必要停机。

### 1.2 提升发电效率与能源利用率

科学的维护策略（如基于状态预测的维护周期优化）能显著降低故障率，减少计划外停机时间，直接提高风机可利用率。运维数据分析（如功率曲线、风资源统计）可精准识别出力规律，优化维护时段，减少风能资源浪费。例如，避开高风速期检修可最大化发电量。

### 1.3 降低运维成本与提升经济效益

预防性维护（如定期润滑、螺栓力矩检查、电气连接紧固）可避免小故障演变为大修，大幅降低维修费用和备件更换成本。

高效的运维管理能延长设备寿命（如通过防腐处理减缓塔筒锈蚀），延缓资产折旧，从而提高风电场全生命周期收益。研究显示，合理的维护策略可降低风电度电成本，提升项目利润率。

### 1.4 推动环保与能源转型

减少碳排放，稳定运行的风电机组可替代化石能源发电，单台3MW机组年减排CO<sub>2</sub>约6000吨，运维保障是实现“双碳”目标的关键支撑。避免环境污染，预防漏油、绝缘故障等事故，减少土壤及水体污染；相较于燃煤电厂，风电运维过程自身几乎不产生污染物。

### 1.5 促进技术发展与产业升级

积累行业经验，运维数据（如故障统计、性能曲线）为风机设计优化提供依据，驱动叶片材料、变流技术等迭代创新。培养专业人才，高标准运维要求（如持电工证、高空作业证）推动技术人员技能提升，支撑行业可持续发展。智能化转型示范，预测性维护（如振动频谱分析、数字孪生技术）的应用，为新能源领域智能运维提供实践样板。

### 1.6 支撑风电产业可持续发展

运维技术革新（如无损检测、大数据分析、远程监控）的应用，不仅提升故障诊断精度，还为风机设计优化与资源评估提供实践依据，推动行业技术迭代。稳定的风电输出有助于增强电网可靠性，提升清洁能源占比，助力碳中和目标实现。

## 2 风力发电机运行维护措施

### 2.1 机械系统维护

叶片检查，每半年检查叶片表面裂纹、腐蚀及雷击损伤（叶片前缘、后缘为重点区域），发现裂纹需标记追踪发展情况，根部裂纹需立即停机处理。清理叶片排水孔堵塞物，检查雷电保护系统线路完整性。齿轮箱磨损监测，油液分析：每季度取样检测金属颗粒浓度（ $>10 \mu\text{m}$  颗粒超限需预警），结合铁谱分析判断齿轮/轴承磨损阶段。振动诊断：通过频谱分析捕捉特征频率（如轴承外圈故障频率 BPF0），峭度系数 $>4$  提示点蚀风险。轴承状态评估，游隙检测：千分表测量轴向游隙（标准值 0.2–0.5mm），塞尺法校验径向游隙，超差 20% 即需更换。温度监控：轴承持续运行温度 $>85^\circ\text{C}$  或温差 $>15^\circ\text{C}$  时启动红外热成像排查润滑不良。叶片表面损伤检查，无人机巡检：搭载高清摄像头识别前缘腐蚀、后缘裂纹（裂纹宽度 $>2\text{mm}$  为高危）。内窥机器人：深入叶片内部检测粘接层脱粘、梁帽分层等隐蔽缺陷。传动链维护，每季度检测齿轮箱油位与油质（油色变黑/含金属颗粒需更换），监测轴承温度是否超限（ $>85^\circ\text{C}$  需停机）。校验叶片与轮毂、塔筒连接螺栓力矩，防止松动导致剧烈抖动或倒塔风险。变桨系统维护，检查变桨轴承密封性及齿面润滑状况，清理滑槽与滑块油泥，确保变桨动作无卡滞。

### 2.2 风力发电机定期检查

以下是风力发电机定期检查项目的系统化分类及操作标准，依据国家标准与行业规范整理：（1）基础检查项目（每日/每周），运行状态监测，监听异常声响（齿轮箱/发电机异响）检查 SCADA 数据：功率曲线偏移、振动值超限（ $>10\text{mm/s}$ ）。外观与渗漏检查，塔筒外表油污、液压系统泄漏点排查，电缆扭转角度检测（ $>720^\circ$  需解缆）。（2）周期性专项检查，月度/季度项目，齿轮箱系统，油位检测（低于标线 10% 需补油）。油样采集化验，（金属颗粒 $>10 \mu\text{m}/100\text{ml}$  预警）。润滑系统，轴承注脂量控制（腔体容积 60%–80%）。电气控制柜，清灰除尘，端子温度红外扫描（温差 $>20^\circ\text{C}$  即处理）。半年/年度项目，机械部件，叶片无人机巡检：前缘腐蚀深度 $>2\text{mm}$  或裂纹长度 $>10\text{cm}$  需修复，联轴器对中校验（径向偏差 $\leq 0.1\text{mm}$ ）。紧固系统，关键螺栓 100% 力矩校验（浮动范围 $\leq \pm 5\%$ ），叶根螺栓超声探伤（裂纹深度 $>1\text{mm}$  更换）。安全装置，避雷计数器动作测试，接地电阻检测（陆上 $\leq 4\Omega$ ），急停按钮功能验证（响应时间 $<2$  秒）。

### 2.3 状态监测与故障处理

实时数据诊断，通过 SCADA 系统分析功率曲线偏移、振动频谱异常（如轴承特征频率），预警传动链早期故障。部署振动传感器监测传动链，结合峭度系数算法提前 127 小时识别轴承失效。分级故障响应，自动复位故障（如电网电压波动）远程恢复；控制器误报需人工诊断日志。紧急故障（安全链断开、过转速）立即执行停机程序，现场排查液压压力、偏航齿轮啮合状态。

### 2.4 管理保障措施

标准化作业，建立设备台账记录油液检测、螺栓校验数据，执行国标 GB/T 25385 规定的半年/年度保养项目。应急能力建设，制定台风应急预案：风速 $>25\text{m/s}$  时自动偏航侧风停机，提前加固塔筒地脚螺栓。定期演练高空救援、电气火灾处置流程，运维人员需持电工证及高空作业证。关键要点：70% 严重故障（如倒塔）源自螺栓松动、振动未处置等可预防问题，需通过预防性维护（季度机械检查）、智能预警（SCADA+振动监测）及应急加固（极端天气前结构加固）三层防护体系控制风险。

## 3 风电场电气设备与系统运行维护

### 3.1 关键设备维护措施

绝缘状态监测，采用介电谱分析技术检测发电机定子/转子绝缘老化，结合超声波扫描定位内部放电点，提前预警绝缘击穿风险。定期测量电缆终端头介损值（标准值 $\leq 0.8\%$ ），异常时启动局部放电试验。开关柜与变流器防护，每季度使用红外热成像仪扫描开关柜触头、母线连接处，温差 $>20^\circ\text{C}$  需紧固螺栓或更换接触件。清理变流器散热滤网积尘（周期 $\leq 3$  个月），IGBT 模块温度超过 65°C 时优化冷却风道。接地与防雷系统，雷雨季前检测接地网电阻（陆上 $\leq 4\Omega$ ，海上 $\leq 2\Omega$ ），检查浪涌保护器动作计数器状态。使用兆欧表校验发电机轴承绝缘（阻值 $>1\text{M}\Omega$ ），防止轴电流腐蚀。

### 3.2 故障诊断与处理

电网电压骤升，分析 SCADA 录波数据，识别电压突变幅值及延时，激活变流器过压保护，调整无功补偿装置出力。控制信号异常，对比变桨编码器与 SCADA 角度偏差 $>0.5^\circ$ ，校准编码器零点位置，检查滑环接触电阻。发电机轴承过热，振动频谱分析特征频率（如 BPF0/BPFI），补充润滑脂或更换绝缘轴承。

### 3.3 运维管理优化

数据驱动决策，建立绝缘状态趋势图谱，通过 BP

神经网络预测剩余寿命，提前 12 个月规划更换周期。整合 SCADA 与在线监测数据，生成设备健康指数（0~100 分），指导差异化巡检。标准化作业控制，制定《电气维护规程》：高压操作需双人监护，验电笔使用前强制自检。关键操作留存影像记录（如螺栓紧固过程），纳入设备电子档案。应急能力强化，配置便携式 SF6 气体回收装置，变压器泄漏时 30 分钟内隔离故障点。每半年演练全场停电黑启动，验证备用电源切换时效（目标≤90 秒）。成本优化方向：应用云边协同监测平台，减少 30% 现场巡检频次；通过寿命预测模型降低备件库存成本 25%。

## 4 风力发电机运行维护难点与解决方案

以下是风力发电机运行维护的主要难点及针对性解决方案，综合行业实践与技术发展趋势整理：

### 4.1 特殊环境带来的运维难点

高空/海上作业风险高，难点：塔筒内部攀爬坠落风险、海上恶劣天气窗口期短（年有效作业天数<150 天）。解决方案：使用无人机替代人工检查叶片表面裂纹及雷击损伤，降低 90% 高空作业风险；部署 AR 辅助维修系统，指导人员按标准化流程操作复杂部件（如变桨系统）。盐雾腐蚀与极端气候影响，难点：海上机组电气接头腐蚀速度比陆上快 3 倍，齿轮箱油液易受潮劣化。解决方案：安装油液在线监测系统，实时预警水分污染（>500ppm 即报警）并自动启动脱水过滤器；关键电气柜增加密封氮气保护，螺栓涂层采用重防腐材料。

### 4.2 大部件维修成本高昂

齿轮箱与轴承早期故障难预警，难点：70% 齿轮箱故障因油液颗粒污染引发，传统抽检无法及时捕捉异常。解决方案：在回油管路安装颗粒计数传感器，实时监测 >10 μm 金属屑浓度变化；基于峭度系数算法分析振动频谱，提前 127 小时预测轴承点蚀。叶片损伤修复困难，难点：25 米以上叶片裂缝需专用吊车，单次维修成本超 20 万元。解决方案：建立叶片数字孪生模型，结合应力仿真定位高裂纹风险区，针对性加固前缘涂层；开发复合材料快速修补技术，现场 3 小时内完成局部加固。

### 4.3 故障诊断与响应效率低

复杂故障定位迟缓，难点：变桨系统编码器异常与

电网波动可能触发相同故障代码，误判率达 40%。解决方案：利用 SCADA 历史数据训练 AI 诊断模型，故障分类准确率提升至 92%；配置远程专家支持系统，通过 AR 眼镜共享现场画面实时指导排障。备件调度延误，难点：偏远风场齿轮箱备件平均调运时间>7 天。解决方案：基于数字孪生预测部件剩余寿命，动态优化区域共享备件库存，缺货率下降 50%。

### 4.4 运维管理协同不足

传统计划维修过度依赖经验，建立设备健康度评估模型，按风险等级动态调整维护周期，无效巡检减少 30%。多厂商设备标准不统一，制定风电场级运维规程（如螺栓紧固力矩浮动范围≤±5%），人为操作失误下降 65%。新人培训周期长，开发 VR 故障模拟平台，还原 30 种典型故障场景，技能达标时间缩短至 2 周。

综上，风力发电机的运行维护是实现风电场“安全零事故、发电最大化、成本最优化”的核心手段，是风电产业可持续发展的基石<sup>12</sup>。通过智能传感（油液/振动在线监测）实现故障早发现，数字孪生优化资源调度，人机协作（AR/VR）提升处置效率，可将综合运维成本降低 25% 以上<sup>13,14</sup>。

### 参考文献

- [1] 赵丽. 分析风电场电气设备中风力发电机运行故障及维护[J]. 电气技术与经济, 2022 (4) : 122-124.
- [2] 李秀. 风电厂风力发电机的运行维护分析[J]. 集成电路应用, 2022, 39 (4) : 300-301.
- [3] 于杰. 某风电场双馈风力发电机振动异常故障诊断[J]. 风能, 2021 (4) : 82-88.
- [4] 李鑫. 风电厂风力发电机的运行与维护[J]. 设备管理与维修, 2021 (2) : 46-47.
- [5] 彭皓. 风电厂电气设备安全运行的管理维护对策研究[J]. 低碳世界, 2020, 10 (11) : 126-127.
- [6] 朱宏. 浅论风电场电气设备中风力发电机的运行与维护[J]. 科技风, 2020 (26) : 145-146.
- [7] 张瑞. 风电厂风电机组中风力发电机的运行维护[J]. 科技风, 2020 (22) : 145.
- [8] 李良. 风电厂电气设备中风力发电机的运行维护[J]. 通信电源技术, 2020, 37 (4) : 220-222