

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CO₂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 ≤ 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>10μm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12。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1314。

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.风电场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.风电场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.风电场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.风电场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.风电场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):220-22