

风力发电场风机的检修和维护

王相菊

国华蒙东(内蒙古)新能源有限公司开鲁分公司 内蒙古 通辽 028000

摘要: 风力发电场风机的检修和维护是确保风能高效利用、保障电力供应稳定的关键环节。通过预防性检修与故障后检修相结合的策略,结合先进的状态监测技术和故障诊断手段,可以及时发现并处理潜在故障。加强人员培训、完善管理制度、推广先进技术和设备应用,能够进一步提升检修效率与质量。这些综合措施有助于延长风机使用寿命,降低运维成本,提高风电场整体发电效率和经济效益,对推动风电行业可持续发展具有重要意义。

关键词: 风力发电场风机;检修;维护

引言:风力发电作为可再生能源的重要组成部分,对于促进能源结构转型、减少碳排放具有重要意义。风力发电场风机的稳定高效运行是实现这一目标的基础。然而,风机长期暴露于恶劣自然环境中,易受多种因素影响而出现故障。因此,风机的检修和维护显得尤为重要。本文旨在探讨风力发电场风机的检修和维护策略,通过科学的管理和技术手段,提高风机可靠性和使用寿命,为风电行业的健康发展提供有力保障。

1 风力发电场风机概述

1.1 风力发电场基本原理

风力发电场的核心是实现能量的梯级转化。风作为自然界的流动空气,蕴含着动能,当风吹向风机叶片时,气流的动能传递给叶片,推动叶片旋转,完成风能到机械能的转化。随后,叶片的旋转运动通过传动系统传递至发电机,发电机利用电磁感应原理,将机械能进一步转化为电能,最终通过集电系统和输电线路将电能输送至电网,实现风能的规模化利用。这一过程充分利用了可再生的风能资源,具有清洁、环保且可持续的特点。

1.2 风机结构和工作原理

(1) 风机主要部件及其功能。风机由多个关键部件协同工作,叶片是捕获风能的核心,其特殊的流线型设计能高效接收风力并产生旋转力矩;发电机是能量转换的关键设备,负责将输入的机械能转化为电能;齿轮箱起到变速作用,因为叶片旋转速度较慢,需通过齿轮箱提升转速以匹配发电机的工作需求;轮毂连接叶片与主轴,将叶片的旋转力传递给传动系统;塔架支撑整个风机上部结构,使其达到合适的高度以获取更稳定的风能;控制系统则根据风速、风向等参数,实时调整叶片角度和风机运行状态,确保安全高效发电。(2) 风机工作原理及能量转换过程。当风速达到启动阈值时,叶片在风力作用下开始旋转,将风能转化为叶片的机械能。

旋转的叶片通过轮毂带动主轴转动,主轴将机械能传递给齿轮箱,经齿轮箱增速后驱动发电机转子旋转。在发电机内部,旋转的转子切割磁感线,根据电磁感应定律产生感应电动势,从而输出电能,完成机械能到电能的最终转换。整个过程中,控制系统持续监测风速、电网负荷等数据,当风速过高时,会调整叶片角度或触发制动系统,保障风机安全稳定运行,实现能量的高效、安全转化^[1]。

2 风力发电场风机常见故障及原因分析

2.1 异常振动

(1) 振动故障的表现形式及危害。振动故障表现为风机运行时出现周期性或非周期性抖动,塔架、机舱或传动系统发出异常声响,振动幅值超出正常范围。其危害显著,轻则加剧部件磨损,缩短设备寿命;重则导致螺栓松动、结构变形,甚至引发齿轮箱、发电机等核心部件损坏,迫使风机停机,造成发电量锐减和维修成本激增。(2) 振动故障的常见原因。设计缺陷可能导致部件共振,如叶片与塔架间距不合理引发气流干扰振动;部件老化如主轴轴承磨损、齿轮箱齿轮啮合间隙过大,会破坏运行稳定性;此外,基础沉降导致机身倾斜、连接螺栓松动,或叶片积灰不均引发动平衡失调,也会引发异常振动。

2.2 风力发电机组叶片故障

(1) 叶片损坏的常见形式。叶片常见损坏形式包括表面开裂、边缘卷曲变形、叶尖破损,极端情况下出现叶片断裂。雷击损坏表现为叶片表面烧蚀、内部纤维层击穿,严重时引发叶片起火;长期疲劳还可能造成叶片根部与轮毂连接部位出现隐性裂纹。(2) 叶片故障的原因分析。自然环境因素是主因,强风导致叶片过载弯曲,暴雨夹杂沙尘造成表面侵蚀,紫外线照射使复合材料老化;雷电击中叶片时,若防雷系统失效则直接造成

损坏。设备内部因素方面，叶片制造时存在气泡、分层等缺陷，或安装时角度偏差导致受力不均，会加速叶片损坏。

2.3 其他常见故障

(1) 如风速仪故障、轴承问题、温度超标停机。风速仪故障表现为测量数据失真，导致风机误启或误停；轴承问题包括滚动体磨损、保持架断裂，伴随异常发热和异响；温度超标停机则是指齿轮箱、发电机等部件温度超过阈值，触发保护系统强制停机。(2) 故障原因及影响分析。风速仪故障多因传感器积灰、线路老化或雷击损坏，导致风机无法根据实际风速调节运行状态，影响发电效率或引发安全风险。轴承问题源于润滑不足、安装偏差或沙尘侵入，会增加摩擦能耗，严重时卡死传动系统。温度超标多由冷却系统故障（如散热器堵塞）、部件过载运行引起，频繁停机将大幅降低设备利用率，影响风电场整体收益。

3 风力发电场风机检修和维护策略

3.1 检修和维护的基本原则

(1) 预防性检修与故障后检修相结合。预防性检修是通过定期检查、状态监测等手段，提前发现潜在故障并处理，比如定期对齿轮箱油液进行化验分析，及时更换老化部件，从而降低故障发生概率。故障后检修则是在设备出现故障后进行维修，能针对性解决突发问题。二者结合可实现优势互补，既减少因突发故障导致的停机损失，又避免过度预防性检修造成的资源浪费，平衡设备可靠性与运维成本。(2) 确保检修质量和安全。检修质量是保障风机长期稳定运行的关键，需严格遵循操作规程，使用符合标准的备件和工具，例如更换轴承时要保证安装精度。安全是检修工作的前提，必须落实高空作业防护、电气安全隔离等措施，定期对安全设备进行检查，避免因操作不当引发人员伤亡或设备二次损坏。

3.2 检修和维护的主要内容

(1) 常规检查与维护。日常需对风机各部件进行清洁，如清除叶片表面的灰尘和油污，防止影响风能捕获效率；对轴承、齿轮箱等转动部位加注润滑油，减少摩擦磨损；紧固机舱、塔架等连接部位的螺栓，防止松动引发振动；检查电气线路接头是否牢固，避免接触不良导致的故障。(2) 定期检修与更换易损件。按照设备运行周期，定期对轴承进行振动检测和温度监测，发现磨损超标及时更换；对齿轮箱内的齿轮进行检查，磨损严重时进行修复或更换；定期更换密封件，防止油液泄漏和雨水侵入；此外，刹车片、液压软管等易损件也需按规定周期更换，确保设备性能稳定。(3) 特殊检修项

目。当叶片出现严重开裂、断裂等无法修复的损坏时，进行整体更换；发电机、主控制器等部件发生故障且维修成本过高时，实施更换；随着技术发展，对风机进行系统升级，如安装更先进的监控系统、优化控制系统程序，提升设备的发电效率和智能化水平^[2]。

3.3 检修和维护的技术手段

(1) 状态监测与故障诊断技术。振动监测通过在风机关键部位安装传感器，实时采集振动信号，分析频谱特征判断齿轮啮合、轴承运转是否正常；温度监测利用红外测温仪或在线监测装置，实时监控发电机、齿轮箱等部件的温度，及时发现过热隐患；油液分析通过检测油液中的金属颗粒含量、粘度等指标，判断设备内部磨损情况，为故障诊断提供依据。(2) 先进的检修工具和设备应用。采用无人机搭载高清摄像头和红外热像仪，对叶片进行远距离巡检，快速发现表面裂纹、雷击损伤等问题；使用液压扳手进行螺栓紧固，保证力矩精准；借助便携式振动分析仪、超声波探伤仪等设备，现场对部件进行检测，提高故障判断的准确性和效率；大型吊装设备则为叶片、发电机等部件的更换提供保障^[3]。

3.4 检修和维护的管理模式

(1) 不同管理模式的优缺点分析。运维一体管理模式中，同一团队负责设备运行监控和检修维护，沟通便捷，能快速响应故障，但对人员技能要求高，可能因精力分散影响工作质量。运行检修分开管理模式下，专业团队分工明确，检修专业性强，但团队间协调成本高，可能延误故障处理。委托检修维护管理模式可利用专业机构的技术和经验，降低企业人力成本，但对外部依赖度高，且存在备件管理、服务质量把控等问题。(2) 根据风电场实际情况选择管理模式。小型风电场设备数量少，可采用运维一体管理模式，降低管理成本；大型风电场设备多、技术复杂，适合运行检修分开管理，提升工作效率和质量；新建风电场或技术较新的机型，可短期采用委托检修维护管理模式，同时培养自有团队；地处偏远、交通不便的风电场，优先选择响应速度快的运维一体或自有检修团队，减少外部依赖带来的不便。

4 提高风力发电场风机检修和维护效率的建议

4.1 加强人员培训和技术提升

(1) 提高检修人员的专业技能和综合素质。检修人员的专业能力直接决定维护质量与效率，需构建系统化技能培养体系。一方面，强化机械、电气、液压等基础理论培训，确保人员掌握风机核心部件的工作原理与检修标准；另一方面，通过实操训练提升故障判断与处理能力，如模拟齿轮箱振动分析、叶片裂纹检测等场景，

培养快速定位问题的技能。同时,注重综合素质培养,包括高空作业安全意识、应急处置能力及团队协作精神,避免因操作失误或沟通不畅导致检修延误。(2)定期开展技术交流和培训活动。建立常态化技术交流机制,组织内部经验分享会,让资深技师传授典型故障处理案例与检修技巧;与风机制造商、专业检修机构合作,定期开展新技术培训,如引入无人机巡检、状态监测系统的操作方法等。此外,鼓励人员参与行业研讨会、技能竞赛,了解行业前沿技术与最佳实践,将外部先进经验转化为自身能力,形成“学习-实践-提升”的良性循环。

4.2 完善检修和维护管理制度

(1)建立完善的检修和维护管理制度和流程。制定覆盖全生命周期的管理制度,明确日常巡检、定期检修、故障抢修各环节的操作规范与责任分工。例如,规范巡检记录表内容,要求详细记录振动值、温度、螺栓力矩等关键数据,确保可追溯;优化检修流程,将备件申领、作业许可、安全交底等环节标准化,减少流程冗余。同时,结合风机型号、运行年限及环境特点,制定差异化检修计划,避免“一刀切”式维护造成的资源浪费。(2)加强检修和维护工作的监督和考核。建立多级监督机制,由运维管理部门对检修过程进行抽查,重点核查是否按规程操作、数据记录是否真实;引入绩效考核体系,将检修效率(如故障处理时长)、质量(如重复故障发生率)、安全指标(如零事故天数)与薪酬挂钩,激励人员提升工作效能。此外,定期对检修效果进行评估,分析未达标的原因并优化制度,形成“制度-执行-监督-改进”的闭环管理^[4]。

4.3 推广先进技术和设备应用

(1)积极引进和应用先进的检修技术和设备。加大对智能化检修技术的投入,如部署在线状态监测系统,实时采集振动、温度、油液等数据,通过算法预测潜在

故障,实现“预知维护”替代“事后抢修”;引入高精度检测设备,如超声波探伤仪检测叶片内部缺陷、激光对中仪校准传动系统,提升故障判断的准确性。同时,推广无人机巡检、机器人爬壁检测等技术,减少人工高空作业时间,降低安全风险的同时提高巡检效率。(2)加强技术创新和研发工作,提高检修和维护效率。鼓励企业与科研机构合作,针对风电场实际需求开展技术创新,例如研发适用于复杂地形的便携式检修工具、开发基于物联网的备件管理系统,实现备件库存实时监控与智能调配。此外,探索数字孪生技术的应用,构建风机虚拟模型,通过模拟不同故障场景优化检修方案,减少现场试错成本。通过技术创新打破传统维护模式的局限,从“被动应对”转向“主动优化”,全面提升检修效率。

结束语

风力发电场风机的检修与维护对于保障风电场安全、稳定、高效运行至关重要。通过实施科学的检修策略、采用先进的技术手段、完善管理制度和加强人员培训,我们能够显著提升风机的可靠性和使用寿命,为风电场的持续发电和清洁能源供应奠定坚实基础。未来,随着技术的不断进步和管理的持续优化,风力发电场风机的检修与维护将迈向更加智能化、高效化的新阶段,为可再生能源的广泛应用作出更大贡献。

参考文献

- [1]向鑫.风力发电机组检修策略的探讨与研究[J].电工技术:理论与实践,2020,(05):55-56.
- [2]尹洪璋.风电场的风机设备运行维护的优化[J].集成电路应用,2021,(11):112-113.
- [3]张明辉.风力发电机故障检修与处理[J].科技创新导报,2020,(10):92-93.
- [4]张朝忠.状态检修在风力发电机组检修中的应用及影响因素[J].南方农机,2020,(08):78-79.