

# 风电场风力发电机的运行维护分析

卢春杉

华润新能源投资有限公司广西分公司 广西 南宁 530000

**摘要:** 随着全球对可再生能源需求的不断增长,风电作为清洁能源的重要组成部分,其重要性日益凸显。风电场风力发电机的运行维护成为确保风电场稳定发电、提高经济效益的关键环节。本文通过分析风力发电机的基本原理、结构及其常见故障,探讨了定期巡检、故障诊断与维修、预防性维修以及机组升级与改造等运行维护技术。旨在为提高风电场运行效率、降低故障率提供有益参考,促进风电产业的可持续发展。

**关键词:** 风电场; 风力发电机; 运行维护

引言: 在能源转型和环境保护的双重压力下,风力发电以其清洁、可再生的特性,在全球能源结构中扮演着越来越重要的角色。风电场作为风力发电的主要阵地,其高效、稳定的运行对于保障电力供应和促进可持续发展具有重要意义。风力发电机作为风电场的关键设备,其运行维护直接关系到风电场的发电效率和经济效益。本文旨在探讨风电场风力发电机的运行维护技术,以提高设备运行效率,降低故障率,为风电产业的发展贡献力量。

## 1 风力发电机的基本原理与结构

### 1.1 风力发电机的工作原理

风力发电机的工作原理相对简单而直观,主要分为风能转化为机械能,以及机械能再转化为电能两个步骤。首先,风力发电机上的叶片在风力作用下开始旋转,这个旋转过程实际上是将风的动能转化为叶片转动的机械能。接下来,叶片转动的机械能通过增速机或齿轮箱进行增速,提高旋转速度,使之能够驱动发电机内部的转子(通常为永磁体或电磁铁)快速旋转。在旋转过程中,发电机内部的定子上缠绕的线圈切割转子产生的磁场,根据法拉第电磁感应原理,线圈中就会产生感应电动势,进而在闭合电路中产生电流,完成机械能到电能的转换。最终,经过逆变器调整电压和频率,电能被输送到电网或直接供用户使用。

### 1.2 风力发电机的主要组成部分

风力发电机由多个关键部件组成,包括机头、转体、尾翼、叶片等。叶片是捕捉风能的核心部件,其形状、长度和材料均对发电效率有重要影响。机头是风力发电机的核心装置,包含发电机和增速机构,负责将叶片转动的机械能转换为电能。转体使机头能够灵活转动,以适应风向的变化,确保叶片始终面向来风方向。尾翼则起到稳定作用,防止风力发电机在强风条件下失控。

### 1.3 不同类型的风力发电机及其特点

风力发电机根据其结构和工作原理的不同,可分为多种类型。异步型和同步型风力发电机是主要的两种电气类型。异步发电机在转速低于同步转速时仍能发电,但功率因数较低,需要额外的无功补偿。而同步发电机则能更稳定地输出电能,但需要精确控制以保持同步运行。按照转子轴线的方向,风力发电机又可分为水平轴型和垂直轴型。水平轴风力发电机是目前应用最广泛的一种,其叶片和发电机均水平安装,能够充分利用风力资源,提高发电效率。而垂直轴风力发电机则具有结构紧凑、安装方便等优点,适用于市区和障碍物较多的地区。不过,其发电效率相对较低,需要进一步优化设计以提高性能。

## 2 风力发电机的常见故障及原因分析

### 2.1 叶片故障的主要原因

叶片是风力发电机捕捉风能的关键部件,其运行状态直接关系到发电效率和使用寿命。然而,叶片在运行过程中会受到多种因素的影响,导致其出现故障。(1) 老化是叶片故障的主要原因之一。由于叶片长期暴露在户外环境中,受到紫外线、风雨、温差等自然因素的侵蚀,其材料会逐渐老化,性能下降。这种老化过程会导致叶片表面出现裂纹、脆化等现象,进而影响其稳定性和耐久性<sup>[1]</sup>。(2) 磨损也是叶片故障的常见原因。风力发电机在运行过程中,叶片会与空气摩擦产生磨损,特别是在沙尘暴、暴雨等恶劣天气条件下,磨损程度会更加严重。长期磨损会导致叶片形状改变,降低风能捕捉效率,甚至导致叶片断裂。(3) 裂纹是叶片故障中最为严重的一种。裂纹通常是由于叶片在制造、运输或安装过程中受到损伤,或者在运行过程中受到过大的机械应力、热应力等因素导致的。裂纹的出现会严重影响叶片的强度和稳定性,如果不及时处理,可能会导致叶片断

裂,造成严重的安全事故。

## 2.2 变流器故障的影响和产生原因

变流器是风力发电机中将发电机产生的电能进行变换和控制的设备。然而,由于变流器的工作环境恶劣,且需要承受高电压、大电流的冲击,因此容易出现故障。(1)温度过高是变流器故障的常见原因之一。由于变流器在工作过程中会产生大量的热量,如果散热不良或环境温度过高,就会导致变流器内部温度升高,进而影响其正常工作。过高的温度会加速变流器内部元器件的老化,降低其使用寿命,甚至引发短路、烧毁等严重故障。(2)灰尘堆积也是变流器故障的一个重要原因。风力发电机通常安装在户外环境中,空气中的灰尘、沙尘等杂质容易进入变流器内部,影响其散热和电气性能。长期积累的灰尘会导致变流器内部温度升高,降低其工作效率和可靠性。(3)电压过高也是导致变流器故障的一个重要因素。由于电网电压的不稳定或操作失误等原因,可能导致变流器输入电压过高,超出其承受范围,进而引发故障。

## 2.3 其他常见故障

(1)发电机内部故障,这通常是由于绕组过热、绝缘老化、轴承损坏等原因引起的。绕组过热可能是由于电流过大、散热不良或设计缺陷导致的,长时间过热会加速绝缘材料的老化,降低其绝缘性能,进而引发短路或接地故障。轴承损坏则可能是由于润滑不良、过载运行或制造缺陷等原因造成的,轴承故障会导致发电机运行不平稳,产生振动和噪音,严重时可能导致发电机停机。(2)控制系统故障也是风力发电机常见的故障之一。控制系统负责监控风力发电机的运行状态,并根据需要调整其运行参数,以确保其安全、高效地运行。然而,由于控制系统复杂且涉及多个传感器和执行器,因此容易出现故障。这些故障可能包括传感器失效、控制器故障、通信故障等。传感器失效可能导致控制系统无法准确获取风力发电机的运行状态,从而无法做出正确的调整;控制器故障则可能导致控制系统无法正常工作,甚至引发安全事故;通信故障则可能导致控制系统与风力发电机其他部件之间的信息传输中断,影响整个系统的运行。

## 3 风电场风力发电机的运行维护技术

### 3.1 定期巡检

定期巡检是预防故障、保障风力发电机稳定运行的重要手段。巡检的内容与方法、周期与标准直接关系到巡检的效果和设备的可靠性。

#### 3.1.1 巡检内容与方法

(1)叶片:叶片是风力发电机的关键部件,其表面应保持光滑,无裂纹、磨损或附着物。巡检时,可利用望远镜或无人机对叶片进行远距离观察,必要时登塔进行近距离检查。观察叶片的形状、颜色和涂层状态,记录任何异常现象。(2)发电机内部:发电机是风力发电系统的核心部件,巡检时需关注绕组、轴承、绝缘材料和冷却系统的状态。使用红外热像仪检测发电机内部温度,确保温度分布均匀,无过热现象。同时,监听发电机运行声音,检查是否有异常振动或噪音。(3)塔筒和基础:塔筒和基础的稳定性对风力发电机的安全运行至关重要。巡检时,应检查塔筒表面的锈蚀、裂纹或变形情况,以及基础是否沉降或开裂。使用超声波探伤仪检测塔筒内部的焊缝质量,确保结构安全<sup>[2]</sup>。(4)控制系统和电气设备:控制系统和电气设备是风力发电机实现自动化运行的关键。巡检时,需检查传感器、控制器、电缆、接线端子等电气元件的完好性和可靠性。使用万用表、示波器等工具检测电气连接和信号传输的准确性。

#### 3.1.2 巡检周期与标准

巡检周期应根据风力发电机的运行状况、环境条件以及制造商的建议进行综合考虑。一般来说,叶片、发电机内部等关键部件的巡检周期较短,建议每月至少巡检一次;塔筒和基础等相对稳定的部件可适当延长巡检周期,每季度或半年巡检一次;控制系统和电气设备则需根据设备老化程度和运行环境进行灵活调整。巡检标准应依据设备制造商的维护手册、行业标准以及实际运行经验进行制定。巡检时应严格按照标准进行,确保巡检结果的准确性和可比性。对于发现的问题,应及时记录并采取措施进行处理,避免问题进一步恶化。

## 3.2 故障诊断与维修

故障诊断与维修是风力发电机运行维护的核心内容。通过科学的故障诊断方法和合理的维修措施,可以迅速定位故障并恢复设备功能。

### 3.2.1 故障诊断方法

(1)症状分析法:通过观察故障现象(如振动、噪音、温度升高等),结合设备的结构和工作原理,初步判断故障的可能位置和原因。这种方法需要巡检人员具备一定的专业知识和经验,以便准确识别故障症状。

(2)系统分析法:将风力发电机视为一个整体系统,通过分析系统中各部件的相互作用关系,找出故障的根本原因。这需要深入了解设备的工作原理和部件间的连接关系,以便在复杂情况下定位故障。(3)仪器检测法:利用振动分析仪、红外热像仪、示波器等专业检测仪器,对设备的各项参数进行测量和分析,以确定故障的

具体位置和程度。这种方法能够提供精确的故障信息，有助于制定有效的维修方案。(4)数据分析法：通过收集和分析风力发电机的运行数据，如振动数据、温度数据、功率数据等，利用大数据和人工智能技术，对设备的运行状态进行预测和评估，提前发现潜在故障<sup>[3]</sup>。

### 3.2.2 维修措施

维修措施应根据故障的具体情况进行制定。对于一般性故障，如接线端子松动、螺栓脱落等，可以采取现场修复的方式进行处理。对于较为复杂的故障，如发电机绕组损坏、控制系统故障等，可能需要将设备返厂维修或请专业维修团队进行现场处理。在维修过程中，应严格遵守操作规程和安全规范，确保维修质量和人员安全。同时，应建立完善的维修记录和档案，以便对设备的维修历史进行追溯和分析，为后续的设备管理和维护提供参考。

### 3.2.3 预防性维修

预防性维修是通过定期检查和维护设备，以预防故障发生的一种维修方式。对于风力发电机而言，预防性维修至关重要。通过定期更换易损件（如轴承、密封件等）、加强设备的润滑和清洁、定期检测和校准设备（如振动传感器、温度传感器等）等措施，可以大大降低设备的故障率，延长设备的使用寿命。预防性维修需要制定科学合理的维修计划和预算，确保维修工作的顺利进行。同时，应定期对预防性维修的效果进行评估和改进，以不断提高设备的可靠性和稳定性<sup>[4]</sup>。

## 3.3 机组升级与改造

机组升级与改造是提升风电场运营效益和竞争力的关键手段。通过采用新技术、新材料和新工艺，可以提高机组的耐用性和可靠性、发电效率和智能化水平。

### 3.3.1 提高机组的耐用性和可靠性

通过采用新型材料和技术，如高强度复合材料、先进的制造工艺和涂层技术等，可以增强风力发电机组的抗风能力、抗雷击功能和耐腐蚀性能。同时，通过优化结构设计，提高设备的整体刚度和稳定性，可以降低设备在运行过程中的振动和噪音，提高设备的耐用性和可靠性。

### 3.3.2 提高机组的发电效率

优化叶片设计是提高风力发电机组发电效率的重要手段。通过改进叶片的气动性能、增加叶片长度和扫掠面积、优化叶片材料和结构等措施，可以提高叶片对风能的捕获能力，从而增加发电量。此外，还可以通过改进发电机转子和定子结构、优化控制系统算法等措施，提高机组的转换效率和输出功率。

### 3.3.3 提升机组的智能化水平

随着物联网、大数据和人工智能等技术的不断发展，风力发电机组的智能化水平越来越高。通过在机组上安装传感器和监测装置，可以实时监测设备的运行状态和性能参数（如振动、温度、功率等），实现对设备的远程监控和故障诊断。同时，利用大数据分析和人工智能技术，可以对设备的运行状态进行预测和评估，为设备的维护和管理提供更加精准和科学的依据。此外，还可以将机组与风电场管理系统进行集成，实现风电场的智能化运营和管理。

## 结束语

综上所述，风电场风力发电机的运行维护是确保风电场高效、稳定运行的重要环节。通过对风力发电机的基本原理、结构及其常见故障进行深入分析，并采取有效的运行维护技术和策略，可以显著提高设备的可靠性和使用寿命，降低故障率和维修成本。未来，随着技术的不断进步和创新，风电场风力发电机的运行维护将更加智能化、精细化，为风电产业的可持续发展注入新的活力。

## 参考文献

- [1]刁宇龙.风电场电气设备中风力发电机的运行维护[J].工程技术研究,2020,(14):103-104.
- [2]张玉表.风电场风电机组中风力发电机的运行维护[J].科技风,2020,(12):145-146.
- [3]唐书良.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,(04):22-23.
- [4]彭宁.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,(11):126-127.