

风电场电气设备中风力发电机组的运行维护

何振威

国电申能唐山新能源开发有限公司 河北 唐山 063000

摘要: 本文围绕风电场电气设备中风力发电机的运行维护展开论述。先介绍了风力发电机的结构组成及工作原理。接着分析了其运行中的常见故障,包括叶片故障、发电机故障、齿轮箱故障等,并探讨了故障产生的原因。随后详细阐述了风力发电机的运行维护策略,涵盖日常巡检、定期维护以及故障诊断与处理等方面。通过对这些内容的研究,旨在为提高风力发电机的运行效率和可靠性提供有力的理论支持与实践指导。

关键词: 风电场; 风力发电机; 运行维护

引言: 随着全球对清洁能源的需求日益增长,风力发电作为一种重要的可再生能源技术发展迅速。风力发电机作为风电场的核心设备,其稳定运行对于保障电力供应和实现可持续发展具有关键意义。然而,在实际运行中,风力发电机频繁出现的各类故障,给风电场的正常运行带来挑战。因此,深入研究风力发电机的结构与工作原理,分析常见故障及原因,并制定科学有效的运行维护策略,成为当前风电场管理的重要任务。

1 风力发电机的结构和工作原理

风力发电机组是指一个可以把风力转换为电力的设备,主要由叶轮、齿轮箱、发电机、塔架等机械部分以及电气元件构成。按照旋转轴的不同,风力发电机又大致包括了水平轴风力发电机和垂直轴风力发电机二种,目前在世界上以水平轴的风力发电机占据了主导地位。

1.1 风力发电机组的结构组成

(1) 叶轮是由叶片和轮毂组成,它的主要功能就是将运动空气所产生的动力,转化为叶轮转动的机械能。近代的叶轮技术应用于对二十世纪初快速增长的城市气流动力学的研究成果中,并达到了良好的结果。由螺旋桨叶轮的命名即可得知,随着航空螺旋桨的技术进步而发明的。美国的费尔在1927年生产出了用来风力发电的螺旋桨型风车,它的气流动力学特性较传统的荷兰风车得到了较大改善。直到现在,美国在风能开发上仍然采用这些专用的螺旋桨叶片。(2) 发电机:已采用的发电机有三种,即直流发电机、同步交流发电机和异步交流发电机^[1]。小功率风能发电多使用同步或异步的发电机,产生的交流电采用整流装置转变成直流电。和传统直流发电机比较,同步交流发电机的主要优势是效率较高,同时在低风力时也比传统直流发电机所产生的功率大,因此可以满足比较大的风力范围。同步交流发电机可自动产生强磁场的输出,但生产成本较高。(3) 偏

航控制系统:偏航控制系统通过主动对风的控制模式,与控制系统相配合,使叶轮一直保持在迎风状态,充分提高风能利用率。(4) 塔架:塔架是风力发电机的主要支撑结构,它也是风力发电机的一种主要元件。塔架的基本形式有桁架式和圆筒式塔架两大类,其中装机容量较大的机组使用桁架式塔架,目前中国陆上风电多以圆筒式结构为主。(5) 齿轮箱在风力发电机组中起着重要作用。它能够将叶轮较低的转速提升至适合发电机运转的转速,实现高效能量传递。(6) 变桨控制系统用于调节叶片的桨距角,根据风速变化控制叶片的迎风角度,优化风能捕获,保障机组安全稳定运行。(7) 液压系统为风电机组的多种操作提供动力支持,如制动、变桨控制等。(8) 测风系统实时监测风速、风向等参数,为机组的控制和运行决策提供数据依据,有助于提高发电效率和适应复杂的风况环境。通过上述不同系统的协同工作,使得风力发电机组能够有效地将风能转化为电能。

1.2 风力发电机组的工作原理

(1) 风力发电机主要由叶轮、齿轮箱、发电机、塔架等组成。叶轮是风力发电机的关键部件之一,通常由数个叶片组成,其形状和长度会根据风力机的设计和环境条件进行优化。当风吹过叶轮时,叶片会受到气流作用力而旋转,叶轮旋转的动力最终会被传递给发电机转子,使得转子旋转。(2) 发电机是将风能转换为电能的核心组件。风力发电机通常使用同步发电机或交流异步发电机,其工作原理叶轮旋转过程中,传动系统带动发电机旋转,使得转子通过磁力感应产生交流电流;(3) 风力发电机的控制系统用于监测和控制风力发电机的运行状态,以确保其在不同环境下的安全性和效率^[2]。控制系统通常包括传感器、控制器、保护设备等。(4) 变流器用于将风力发电机输出的交流电通过变流器进行整流、逆变的过程,使之具有与电网电能具有相同的频

率、幅值、相位，并将其输出到电网上，实现变速恒频的功能。

2 风力发电机运行中的常见故障及原因分析

2.1 叶片故障

叶片是风力发电机捕捉风能的关键部件，易受多种因素损伤。（1）雷击损伤在雷雨天气常见，强大电流通过叶片会破坏内部结构，如出现烧蚀、孔洞。某风电场的叶片遭雷击后，表面有黑色烧痕，部分材料被击碎。

（2）疲劳裂纹也是问题之一，叶片长期旋转和承受风力会产生周期性应力变化，反复应力作用易致叶片材料出现疲劳裂纹，长时间运行的叶片根部可能出现细微裂纹并扩展。（3）外物撞击如鸟类、漂浮物等也会损伤叶片表面，在鸟类活动频繁地区，叶片可能被飞鸟撞击留下凹痕或破损。

2.2 齿轮箱故障

2.2.1 齿轮磨损

（1）润滑不良会导致磨损，若齿轮箱内润滑油不足、油品差或变质，无法形成有效润滑膜，金属直接接触就会产生磨损。在运行环境恶劣的风电场，灰尘等杂质进入齿轮箱污染润滑油，润滑性能下降，加速齿轮磨损。（2）过载运行也是原因之一，当风力发电机承受超设计负载，齿轮压力增大，表面磨损加剧。强风天气下，风力发电机持续满负荷甚至超负荷运转，易引发齿轮过度磨损。（3）制造缺陷同样关键，齿轮生产制造时若加工精度不够、材料不均或热处理不当，会使齿轮强度和耐磨性不足。比如齿形误差大、齿面粗糙度不符合要求，影响正常啮合和润滑，导致磨损。

2.2.2 齿轮箱油温过高

（1）散热系统故障会使油温升高，风扇损坏、散热器堵塞或冷却液循环不畅，热量无法及时散发。如风扇叶片损坏变形，无法冷却散热器；散热器被灰尘杂物覆盖，降低散热效率。（2）油位过低也是因素，油位低使齿轮箱内润滑油量不足，无法充分润滑和冷却齿轮，导致油温上升。比如密封不良或长期未检查补充，润滑油泄漏致油位降低。（3）齿轮箱内部故障，如齿轮啮合不良、轴承损坏等，会产生大量摩擦热使油温升高。例如齿面磨损严重，啮合时产生异常摩擦和热量；轴承磨损或卡死，增加运转阻力和热量产生。

2.3 发电机故障

发电机故障是较为常见的一类。其中，定子绕组故障可能由于长期运行中的过热、绝缘老化或机械损伤导致，这会引发短路或断路，影响电能输出。转子故障可能由于发电机轴承振动导致转子星点环开裂，造成转子

三相不平衡或是造成匝间绝缘破损，严重时出现扫膛现象，导致风力发电机组无法并网运行。

2.4 变流器故障

变流器故障也不容忽视。过电流故障可能是由于电网电压波动、负载突变或变流器内部元件损坏引起，会导致设备过热甚至损坏。此外，控制电路故障可能使变流器无法准确调节电能的频率和电压，影响电能质量和与电网的同步性，会导致风力发电机组无法并网运行。

除此之外，控制系统电气连接故障也是常见问题之一，如松动的接线端子、腐蚀的连接点等，会导致电阻增大、发热，甚至引发短路。

3 风力发电机的运行维护策略

3.1 日常巡检

日常巡检是保障风力发电机稳定运行的重要手段，通过定期的检查和监测，可以及时发现潜在问题，降低故障发生的风险。（1）外观检查：仔细观察风力发电机的外部结构，包括塔筒、机舱、叶片等部分。检查塔筒表面是否有锈蚀、裂缝；机舱外壳是否有损伤、变形；叶片表面是否有裂痕、磨损、附着物等。例如，在沿海地区的风电场，由于海风的侵蚀，塔筒容易出现锈蚀，若不及时处理，可能会影响结构强度。（2）声音检查：在风机运行时，倾听其运转声音。正常情况下，风机的声音应该平稳、均匀。若出现异常噪音，如尖锐的摩擦声、沉重的撞击声等，可能暗示着内部部件存在故障。比如，齿轮箱中的齿轮磨损严重时，会发出异常的噪声。（3）温度检查：使用红外测温仪等设备，检测关键部件的温度，如发电机、轴承、齿轮箱等。温度过高可能是润滑不良、过载或部件损坏的征兆。例如，若轴承温度明显高于正常范围，可能是润滑油脂失效或轴承磨损。（4）振动检查：通过振动监测仪器，测量风机的振动幅度和频率。过大的振动可能意味着部件松动、不平衡或轴系故障。比如，叶片失衡会导致风机在运行时产生较大的振动。

3.2 定期维护

3.2.1 维护内容

（1）叶片维护：定期对叶片进行详细检查，包括表面清洁、检查有无裂纹、腐蚀和损伤等。同时，还需检测叶片的平衡情况，如有失衡需及时调整。例如，使用专业的检测设备来检测叶片表面的微小裂纹，对于较大的损伤，可能需要进行修复或更换。（2）齿轮箱维护：检查齿轮箱的油位、油温、油压，更换润滑油并进行过滤。对齿轮的磨损情况进行评估，查看齿面是否有剥落、点蚀等现象。比如，通过内窥镜检查齿轮的啮合情

况,确保齿轮传动正常。(3)发电机维护:清洁发电机内部,检查定子和转子的绝缘情况,测量绕组的电阻和电感值。查看电刷的磨损程度,及时更换磨损严重的电刷。例如,使用兆欧表测量定子绕组的绝缘电阻,以判断其绝缘性能是否良好。(4)控制系统维护:对控制系统的硬件进行检查,确保线路连接良好,无松动、腐蚀现象。更新控制软件,校准传感器,检查控制器的运行参数。比如,对风速、转速等传感器进行校准,以保证测量数据的准确性。

3.2.2 维护周期和标准

(1)半年维护:每半年进行一次较为全面的维护,除了上述的常规检查外,还应重点检查容易出现磨损和老化的部件。例如,对叶片的连接螺栓进行紧固,检查齿轮箱的密封件是否有泄漏。(2)整年维护:每年进行一次深度维护,包括对关键部件进行拆解检查和维修。按照厂家维护手册的要求,对设备进行全面性能测试和调整^[3]。对控制系统进行全面的性能测试和优化。在实际的维护工作中,应严格按照厂家维护手册执行,确保维护工作的质量和效果。根据风电场的运行环境和设备的实际情况,可以适当调整维护的内容和周期。

3.3 故障诊断与处理

故障诊断与处理是风力发电机运行维护中的关键环节,及时准确地诊断故障并采取有效的处理措施,能够减少停机时间,提高发电效率。

3.3.1 故障诊断方法

(1)直观检查法:维护人员通过肉眼观察、听声音、触摸等方式,直接判断设备是否存在异常。例如,观察设备表面是否有冒烟、火花、漏油等明显现象;倾听设备运行时是否有异常噪声;触摸设备外壳感受温度是否过高。(2)仪器检测法:使用专业的检测仪器,如振动分析仪、红外热像仪、电能质量分析仪等,对设备进行精确测量和分析。通过振动分析仪检测设备的振动频谱,判断是否存在不平衡、不对中或部件松动等问题;利用红外热像仪检测设备各部位的温度分布,发现过热部位。(3)数据分析诊断法:收集风力发电机运行过程中的各项数据,如风速、功率、温度、振动等,通过对这些数据的分析和对比,找出异常规律,诊断故障

原因。例如,分析功率曲线的变化,判断叶片性能是否下降;对比不同时间段的温度数据,判断是否存在发热异常的部件。

3.3.2 故障处理流程

(1)故障报告:当发现故障或接到故障报警时,运维人员应及时记录故障现象、发生时间、设备编号等信息,并向上级报告。(2)故障分析:组织专业人员对故障进行分析,结合故障诊断结果,判断故障的类型、严重程度和可能的原因。(3)故障修复:根据故障分析结果,制定修复方案,并组织实施修复工作。在修复过程中,要严格按照操作规程进行,确保修复质量。(4)修复后的测试与验收:故障修复完成后,对设备进行测试,验证其性能是否恢复正常。经过测试合格后,进行验收,确保设备可以投入正常运行。例如,当风力发电机出现功率突然下降的故障时,先通过直观检查法查看叶片是否有损伤、发电机是否有异常声响;然后使用仪器检测法测量发电机的输出电压、电流和功率因数等参数;再结合数据分析诊断法,对比历史数据,分析功率下降的趋势和规律。确定故障原因后,制定修复方案,如更换损坏的叶片或维修发电机内部故障部件。修复完成后,进行满功率测试和长时间运行观察,验收合格后,设备重新投入运行。

结语:通过对其结构和工作原理的了解,我们能够更好地把握故障产生的根源。在日常巡检、定期维护以及故障诊断与处理等策略的有效实施下,能够及时发现和解决问题,减少故障停机时间,提高发电效率。未来,随着技术的不断进步和管理水平的提升,我们相信风力发电机的运行维护将更加智能化和精细化,为风力发电产业的可持续发展注入更强大的动力。

参考文献

- [1]张媛.风电场电气设备中风力发电机的运行维护策略[J].电子技术与软件工程,2020(22):223-225.
- [2]肖红军.风电场电气设备中风力发电机的运行维护措施[J].决策探索(中),2019(03):52.
- [3]傅畅.对于风电场电气设备中风力发电机的运行维护的措施[J].科技资讯,2021,16(33):50+52.