

风电场中风力发电机组运行故障与维护策略

余正敏

国能云南新能源开发有限公司 云南 昆明 650100

摘要：随着全球对可再生能源需求的增加，风力发电作为一种重要的清洁能源，得到了广泛应用。风力发电机组是风电场的核心设备，其稳定性和高效性直接关系到风电场的发电能力和经济效益。本文在分析风力发电机组的故障特点的基础上，详细探讨了风力发电机组常见的几种故障类型，包括发电机故障、叶片故障、齿轮箱故障、变桨系统故障、偏航系统故障和变流器故障。分析了这些故障的原因、表现及影响，最后针对性地论述了风力发电机组的运行维护策略，指出科学的维护管理将在提升风电场效益、保障设备安全运行方面发挥重要作用。

关键词：风电场；风力发电；发电机组；运行故障；维护管理

引言：

随着全球能源结构的转型，风力发电作为清洁可再生能源的重要组成部分，得到了广泛的应用。风电场的规模不断扩大，风力发电机组的数量也逐年增多。然而，随着风电机组的投入使用，其运行过程中不可避免地会遇到各种故障问题。故障不仅会影响机组的发电效率，还增加了运维成本，缩短设备使用寿命。因此，准确识别风力发电机组的故障类型并采取有效的维护措施，对于提高风电场的运行效率和经济效益至关重要。本文结合自身从事风力发电机组运行维护工作实践经验，将分析风力发电机组的常见故障及其维护策略，提出切实可行的管理和技术措施。

一、风力发电机组的故障特点

风力发电机组的故障通常具有隐蔽性。许多故障在初期阶段往往不易被察觉，可能在较长时间内并未显现出明显的外部症状，直到故障进一步发展，才会对设备造成较大影响。

风力发电机组故障的多样性也显著。由于风力发电机组涉及多个子系统，如机械传动系统、电气系统、控制系统等，任何一个环节出现问题都可能导致整个机组的效率下降或停机。例如，发电机、齿轮箱、叶片等机械部件的故障，电气系统中的变流器问题，或者变桨和偏航系统的故障，都可能引起不同程度的性能下降，甚至导致停机。

风力发电机组的故障往往具有突发性和周期性。某些故障可能由于突发的气候变化或设备老化等因素发生。而某些故障则可能具有规律性，如齿轮箱的润滑系统问题通常会在使用一定年限后逐渐显现。

二、风力发电机组运行中常见故障

（一）发电机故障

发电机作为风力发电机组实现能量转换的核心部件，其核心功能是将叶轮旋转产生的机械能高效转化为电能。发电机易出现两类典型故障，直接威胁机组的安全稳定运

行：其一为温度异常故障，具体表现为发电机内部整体温度过高或轴承局部温度超标，严重时甚至会触发机组高温保护机制，导致停机。发电机内部整体温度过高多因散热系统老化失效，长期运行使散热风扇、散热片积尘堵塞或散热管路泄露，导致热量无法及时排出；轴承局部温高多因润滑脂长期未更换、加注量不足或型号不匹配，会加剧轴承内部摩擦，产生大量额外热量，同时加速轴承磨损，形成“温度升高-磨损加剧”的恶性循环。其二为传感器数据异常故障，常见现象是转速、温度等关键传感器出现数据跳变、无反馈或反馈值与实际工况偏差过大。会使控制系统无法精准获取设备运行状态，可能引发调速、变桨等关联系统的误操作，例如因转速传感器数据失真导致变频器调节滞后，进而影响电能输出质量，甚至间接诱发其他部件故障。

（二）叶片故障

叶片作为风力发电机组捕获风能的核心执行部件，其性能直接决定机组的能量转换效率。由于叶片长期暴露于户外复杂环境，需持续承受雷雨、暴雪、沙尘、强紫外线及极端温差等自然因素侵蚀，同时还要应对旋转过程中的交变载荷与气流冲击，因此易出现的典型故障为结构损伤类

故障，包括叶片断裂、开裂、磨损断开等，是最严重的叶片故障类型。其次是功能异常类故障，主要体现为叶尖压力低、叶轮超速，虽不直接破坏叶片结构，但会严重影响机组运行稳定性。

（三）齿轮箱故障

齿轮箱作为风力发电机组传动系统的核心枢纽，承担着将风轮低转速、大扭矩的机械能转化为发电机高转速、小扭矩动能的关键职责。由于齿轮箱长期处于高负荷、交变载荷工况，易出现典型故障为：齿轮啮合相关故障，包括齿面磨损、点蚀、胶合、断齿等。轴承失效故障，表现为轴承异响、温度异常升高、旋转精度下降，严重时会导致轴系卡滞。润滑油路系统故障，主要体现为漏油、润滑油乳化、油压异常等。

齿轮啮合故障会导致传动效率显著下降，伴随剧烈振动与噪音；轴承失效若未及时处理，会导致轴系卡死，直接引发机组停机，严重时可能烧毁电机；润滑油路故障会加剧内部部件磨损，形成“润滑失效-磨损加剧-故障扩大”的恶性循环，最终可能导致齿轮箱整体报废。

（四）变桨系统故障

变桨系统是风力发电机组的核心控制单元，承担着实时调节叶片迎风角度、平衡风能捕获与机组载荷的关键职责。由于变桨系统需长期承受交变载荷，且涉及机械传动、电气控制、液压/气动执行等多模块协同工作，易出故障为：机械传动类故障，核心表现为变桨卡滞、叶片角度调节滞后或无法调节，是影响变桨系统功能的首要问题。驱动执行类故障，电动变桨系统易出现电机过载、烧毁，液压变桨系统则以液压泄漏、压力异常为典型。电气控制类故障，主要体现为控制信号异常、电源故障或逻辑误判，间接导致变桨功能失效。

变桨卡滞会导致叶片无法根据风速调整角度，低风速时发电量大幅下降，高风速时叶片过载旋转，引发叶轮超速，触发紧急停机；驱动执行类故障若导致叶片角度不一致，会造成叶轮受力失衡，产生剧烈振动，加速变桨轴承、齿轮箱等部件磨损，甚至引发塔筒共振。

（五）偏航系统故障

偏航系统的核心职责是通过实时追踪风向变化，驱动机舱绕塔筒顶部旋转，确保叶片始终处于最佳迎风角度，最大化风能捕获效率。由于偏航系统长期承受机舱、发电机等上部设备的重力载荷，同时需应对风向频繁变化带来的交变冲击载荷，易出故障如下：偏航定位类故障，核心表现为偏航不准、无法对风、风向追踪滞后，直接影响发电效率。机械传动类故障，主要体现为偏航卡滞、旋转异响、振动加剧，严重时导致偏航功能失效。制动与安全类

故障：包括制动失效、制动过度、解缆故障等，直接威胁机组安全运行。

偏航系统故障的危害具有直接性与扩展性：偏航不准、无法对风会导致叶片迎风效率下降；偏航卡滞或振动加剧会将冲击载荷传递至塔筒及下部结构，加速塔筒焊缝疲劳、基础沉降，同时诱发齿轮箱、发电机等核心部件的共振磨损；制动失效可能导致机舱失控旋转，拉扯电缆引发短路、设备烧毁，极端情况下甚至造成机舱倾覆。

（六）变流器故障

变流器是将发电机输出的变频变压交流电，通过整流、滤波、逆变等环节转化为符合电网要求的恒定频率、恒定电压电能；实时调节发电机转速与输出功率，实现低风速下最大风能追踪（MPPT）、高风速下功率限制，同时具备电网故障穿越、无功功率补偿等功能。由于变流器长期处于高电压、大电流工况，易出现典型故障为：功率器件故障，核心表现为 IGBT 模块烧毁、击穿或性能衰减。电路拓扑故障，包括整流/逆变桥臂故障、中间直流环节故障，直接破坏电能转换链路。控制与保护系统故障，主要体现为控制信号异常、保护误动作或失效，间接导致变流器功能紊乱。

功率器件或电路拓扑故障会导致机组无法实现电能转换，直接停机，造成发电量损失；控制保护系统故障可能引发变流器输出电能质量超标（如谐波过大、电压波动），污染电网，影响周边用电设备正常运行。

三、风力发电机组运行维护策略

（一）重视日常化检修维护工作

在进行日常化检修的过程中，应明确进行发电机组运行状态的定期检查周期，涉及到关键零部件，包括发电机、齿轮箱、叶片、变桨系统、偏航系统等，保证其始终处于正常化的工作状态中。如果是旋转部件，则应关注到相应的磨损及润滑情况；对于叶片来说，应定期开展一系列的裂纹、腐蚀或磨损现象的检查工作。另外，还应加强对于电气系统的检查，明确实现电流、电压等指标稳定，避免电气故障影响机组运行。

从提高维护效率的角度出发，则应结合不同气候条件及环境工况的要求，实现检查频率的合理化。比如，对于较为恶劣的工况下，则应适当增加对于叶片和偏航系统的检查，避免由于环境因素而造成设备损害问题。同时，还应定期清理和检查变桨系统、制动系统和电气线路等，确保其正常运作。对于磨损的状况，应及时进行记录，并结合预定维修周期要求来进行零部件的及时更换。

（二）科学应用现代化技术

在开展现代风电场运行维护的工程实践中，还应发挥出智

能监测系统的优势,借助于各种传感器及监测设备,能开展全方位的风力发电机组的运行数据的采集,能明确相应的温度、振动、压力、风速等参数情况,从整体上掌握风力发电机组的运行状态,这样除了能明确设备运行的实时性能,还能表明潜在故障痕迹。比如,存在着齿轮箱的振动超标、发电机的温度异常升高,这些都是常见的故障前兆。借助于数据监控以及深入分析,能有效发挥出预警的作用,保障尽可能缩短停机时间,避免了由于停机维修而造成的经济损失。

另外,发挥出基于信息技术的远程诊断技术的优势,也有助于全方位实现风电场维护效率的提升。通过利用物联网、无线网络等通信技术优势,能通过远程监控的方式,运维人员进行必要的数据分析和故障诊断,针对存在着设备异常问题,技术人员利用远程方式开展初步故障排查和故障定位,这样就能避免盲目派遣工作人员到现场检查的时间延迟。远程诊断技术大大缩短了处理响应时间,降低了维护成本及人工费用。

在信息化时代背景下,数据分析和人工智能技术的结合也能为保障风力发电机组的正常化运行奠定基础。发挥出大数据技术的优势,能通过深度挖掘历史数据,进而构建机组的健康档案,进行设备使用寿命的预测,基于此提出相应的维护及更换零部件的最佳时机。同时,发挥出人工智能算法的优势,智能化预测哪些部件在特定的运行参数下更容易出现问题,进而开展有针对性的维修管理工作。另外,在风力发电机组的高空和复杂环境中,无人机巡检能够替代人工完成叶片和塔筒等部件的检查,确保检测过程的高效性与安全性。

(三)健全且完善维护管理制度

第一,从风电场运行的实际情况出发,制定针对性的维护计划。在此过程中,应考虑到不同风电场的实际情况,认

识到相应的地理及自然环境的不同,这样自然会造成零部件运行寿命周期的不同。所以,维护工作应在机组制造商的基础维护清单的基础上,提出有针对性的维护计划,结合实际来有效扩大维护范围,实现维护标准的全面提升,并能从每台风电机组情况出发来开展较为完善的检修维护计划。

第二,重视维护质量评估工作,实践中利用对于评估指标数据的对比分析,能保障维护工作起到良好的效果。具体来说,质量评估指标主要涉及到平均无故障运行时间、风电机组的可利用率、评估故障总耗时等指标,通过相应的指标能更为直观化反映出风机维护的具体水平,也能帮助风机维护人员树立良好的责任意识,进而能全面提升故障诊断及排除的能力。

第三,开展专业人员技术培训工作,强化维护人员的专业技能,能构建较为完善的岗前、专项培训体系,实现检修维护人员的整体检修技术水平得以提升。具体来说,应结合风电机组的运行情况,明确相应在安全、环境、资质方面的培训工作,不断夯实维护人员在风电机组的结构、部件名称以及运行原理等方面的专业知识,并能开展有针对性的专题化的故障现场、故障原因及排除故障流程等维护检修技术培训,切实构建一支高素质且专业化程度高的风电机组维护管理队伍。

四、结语

综上所述,风力发电机组作为风电场的核心设备,其运行稳定性直接关系到电力生产效率和经济效益。风电机组故障多种多样,但通过科学的故障诊断和及时的维护管理,可以有效延长机组使用寿命,提升运行效率。随着技术的不断进步,风电机组的维护管理将更加智能化、精准化,从而为风力发电的可持续发展提供有力保障。

参考文献:

[1]郑心勤.海上风力发电机组运行维护策略研究[J].经济技术协作信息,2024(1):0256-0258.

[2]马金秋.海上风力发电机组运行维护策略[J].设备管理与维修,2020(12):88-89.

[3]高航.风力发电机组运行维护总结分析[J].现代工业经济和信化,2022,12(9):312-313.

[4]谭霖,张欣,陈仕祥.风电场风力发电机组运行故障及维护策略研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(9):108-110.

[5]张冬冬.风力发电机组的状态监测与运行维护[J].今日自动化,2024(2):87-89.

作者简介:余正敏(1994.11.27-),男,汉族,云南曲靖,本科,助理工程师,研究方向:新能源风电场的故障类型与维护策略。