

风力发电机组常见故障诊断与维修技术研究

王瑞乔

中广核（福建）新能源投资有限公司 福建 福州 350000

摘要：本文聚焦风力发电机组，阐述其核心结构与故障特点，指出故障隐蔽、关联、复杂且危害大。介绍常见故障类型，涵盖传动、发电、控制、塔架与基础系统，并给出对应诊断方法，如振动监测、油液分析等。针对各类故障，提出具体维修技术，包括齿轮箱修复、定子绕组绝缘处理等。旨在为风力发电机组运维提供全面指导，提升故障处理效率与质量，保障机组安全高效运行，推动风电产业健康发展。

关键词：风力发电机组；故障诊断；维修技术

引言：风力发电作为清洁能源的重要组成部分，其发电机组的高效稳定运行至关重要。风力发电机组结构复杂，由风轮、机舱、塔架、控制系统及传动系统等核心部件构成，各部件协同完成风能到电能的转换。然而，受机械磨损、电气故障、环境侵蚀等多因素影响，机组故障频发，隐蔽性强、关联性大、危害性高。故障若未及时处理，轻则导致停机、部件损坏，重则引发安全事故，增加运维成本。因此，深入研究风力发电机组常见故障类型、诊断方法及维修技术，对于提升机组运行可靠性、降低运维成本、保障风电产业可持续发展具有重要意义。

1 风力发电机组的核心结构与故障特点

风力发电机组作为将风能转化为电能的关键设备，其核心结构精密且复杂，主要由风轮、机舱、塔架、控制系统以及传动系统等核心部件构成。这些部件相互配合、协同运作，共同完成风能到电能的转换过程。（1）风轮处于机组的最前端，是捕获风能的关键部件，其设计和性能直接影响着风能的吸收效率。机舱犹如机组的大脑和心脏，内部集成了传动链、发电机、齿轮箱、联轴器、控制器等众多关键设备，这些设备在机舱的有限容积内紧密排列，各司其职又相互关联。塔架则为整个机组提供稳固的支撑，确保机舱与风轮在高空能够稳定运行，承受着复杂的力学载荷。控制系统如同机组的神经中枢，实时监测设备的各项运行参数，并根据风速、风向等环境条件及时调控设备的运行状态，保障机组的安全高效运行。传动系统则负责将风轮捕获的机械能准确、高效地传递到发电机，实现能量的转换。（2）风力发电机组的故障具有多方面显著特点。隐蔽性强是其突出特征之一，部分故障在初期阶段往往没有明显的外在表现，仅表现为设备参数的微小波动，这使得运维人员难以在第一时间察觉。关联性强体现在单个部件出现故

障可能引发连锁反应，影响整个机组的运行。复杂性高则是因为故障成因涉及机械磨损、电气故障、环境侵蚀等多方面因素，同一故障现象可能由不同原因引发。危害性大也不容忽视，若故障未能及时处理，轻则导致机组停机、零部件损坏，重则可能引发安全事故，大幅增加运维成本^[1]。

2 风力发电机组常见故障类型及诊断方法

2.1 传动系统故障及诊断

传动系统是风力发电机组核心动力传递部件，含齿轮箱、联轴器、主轴等，故障发生率高，影响机组运行。（1）常见故障有：齿轮箱磨损、齿面损伤，运行中会有异常噪音、温度升高、振动幅度增大，严重会导致齿轮断裂、轴承损坏；主轴弯曲，表现为振动异常、轴承发热，严重时弯曲、断裂；联轴器松动、偏移，使传动效率下降，伴有异常振动与噪音。（2）故障诊断方法多样。对于齿轮箱，振动监测法通过安装传感器采集振动信号，分析频率、振幅等参数判断故障；油液分析法检测润滑油油质、水分、金属颗粒含量等指标，判断部件磨损程度；温度监测法实时监测各部位温度，异常升高则可能存在润滑不良或部件磨损问题。主轴故障诊断以振动监测法为主，分析振动信号特征频率判断是否存在弯曲、失衡或轴承损坏等，同时结合外观检查。联轴器故障诊断，外观检查观察螺栓是否松动、密封圈是否损坏；振动监测法采集振动信号，分析特征判断是否存在偏移、松动等故障^[2]。

2.2 发电机故障及诊断

发电机是风力发电机组电能转化的核心设备，常见故障有定子、转子、轴承及冷却系统故障，影响发电效率与运行稳定性。（1）定子故障含绕组绝缘损坏、短路、断路等，表现为输出电压异常、电流不稳、机体发热，严重时引发短路。诊断方法有：绝缘电阻测试法，

测绕组绝缘电阻, 低于标准值则有绝缘故障; 直流电阻测试法, 测绕组直流电阻, 各相差异大则有绕组故障; 红外测温法, 检测绕组温度, 有局部高温点则有短路故障。(2) 转子故障有绕组短路、断条、失衡等, 表现为振动异常、输出功率下降、转子发热。诊断方法包括: 转子阻抗测试法, 测绕组阻抗值判断短路故障; 振动监测法, 分析振动信号判断失衡、断条问题; 集电环检查法, 观察集电环表面判断接触情况。(3) 轴承故障表现为发热、有异常噪音, 严重时卡死。诊断方法有温度、振动监测法及油液分析法, 分别监测温度、采集振动信号、检测油质判断故障。(4) 冷却系统故障表现为发电机温度过高、风扇不转、水管堵塞等。诊断方法有温度监测法判断是否过热, 外观检查观察风扇和水管情况, 流量检测法测水流速度判断系统是否正常。

2.3 控制系统故障及诊断

控制系统作为风力发电机组的“大脑”, 承担着监测运行参数与调控设备状态的重任。常见故障有传感器、控制器、执行器故障, 易引发机组运行失控或停机。(1) 传感器故障最为常见, 涵盖风速、风向、温度、振动等传感器, 表现为输出信号异常或无输出, 使控制器难以准确获取机组运行参数, 影响调控。诊断采用信号检测与外观检查法: 信号检测通过对比传感器输出与标准信号判断故障; 外观检查观察传感器有无破损、接线松动、灰尘堆积等情况, 排除外部干扰。(2) 控制器故障表现为无法正常启动、指令输出异常、数据显示错误等, 可能导致机组运行异常。诊断方法有指示灯检查、参数检测与软件诊断法: 指示灯检查观察各指示灯状态判断工作情况; 参数检测对比控制器输入、输出参数与标准值定位故障; 软件诊断利用自带软件全面检测, 找出故障根源。(3) 执行器故障包括变桨距、偏航执行器等故障, 表现为不响应指令、动作迟缓或卡滞, 影响机组变桨、偏航功能。诊断采用动作测试与信号检测法: 动作测试发送指令观察执行器动作判断故障; 信号检测检查执行器输入、输出信号, 判断与控制器通信是否正常, 排除信号传输问题。

2.4 塔架与基础故障及诊断

塔架与基础是风力发电机组的支撑部件, 承担着机组的重量与风载荷, 常见故障包括塔架腐蚀、塔架变形、基础沉降、基础裂缝等, 若故障严重, 可能导致机组倾斜、倒塌, 引发安全事故。塔架故障主要表现为塔架表面腐蚀、焊缝开裂、塔身变形, 运行过程中塔架振动异常。诊断方法包括外观检查法、超声波检测法与振动监测法: 外观检查法观察塔架表面是否存在腐蚀、划

痕、焊缝开裂等痕迹; 超声波检测法通过超声波检测仪检测塔架焊缝的质量, 判断是否存在内部裂纹等故障; 振动监测法通过采集塔架的振动信号, 分析信号特征, 判断塔架是否存在变形、松动等问题。基础故障主要表现为基础沉降、基础裂缝、基础螺栓松动等, 会导致塔架倾斜, 影响机组的稳定性。诊断方法包括外观检查法、沉降观测法与螺栓检测法: 外观检查法观察基础表面是否存在裂缝、破损等问题; 沉降观测法通过设置沉降观测点, 定期测量基础的沉降量, 判断基础是否存在沉降故障; 螺栓检测法检查基础螺栓是否松动、腐蚀, 确保基础与塔架的连接牢固^[1]。

3 风力发电机组常见故障维修技术

3.1 传动系统故障维修技术

(1) 针对齿轮箱故障, 需根据故障类型采取对应的维修措施: 若为齿轮磨损、齿面损伤, 可通过打磨、抛光等方式修复轻微损伤, 若损伤严重, 需更换齿轮; 若为轴承损坏, 需及时更换轴承, 并对齿轮箱进行全面清洗, 更换润滑油, 确保润滑效果; 若为润滑油污染、老化, 需及时更换润滑油, 并检查润滑系统是否存在泄漏问题, 及时处理泄漏点。维修完成后, 需对齿轮箱进行试运行, 监测振动、温度等参数, 确保故障彻底解决。

(2) 针对主轴故障, 若为主轴轻微弯曲, 可通过校直技术进行修复, 校直后需对主轴进行强度检测, 确保满足运行要求; 若为主轴严重弯曲、断裂, 需更换主轴, 并对主轴与其他部件的配合进行调整, 确保传动顺畅; 若为主轴轴承故障, 需更换轴承, 添加适量润滑油, 检查轴承安装精度, 避免再次出现故障。(3) 针对联轴器故障, 若为联轴器松动, 需拧紧螺栓, 检查螺栓的紧固力矩, 确保连接牢固; 若为联轴器偏移, 需调整联轴器的同轴度, 确保传动过程中无偏移; 若为联轴器密封圈损坏, 需更换密封圈, 防止润滑油泄漏, 避免部件磨损^[4]。

3.2 发电机故障维修技术

(1) 针对定子故障, 若为定子绕组绝缘损坏, 需对绕组进行绝缘修复, 清除绕组表面的灰尘、油污, 重新涂抹绝缘漆, 烘干后进行绝缘测试, 确保绝缘性能达标; 若为绕组短路、断路, 需查找短路、断路部位, 修复绕组或更换绕组线圈, 修复后进行直流电阻测试与绝缘测试, 确保故障彻底解决; 若为定子局部过热, 需检查绕组是否存在松动、接触不良等问题, 调整绕组位置, 确保散热良好。(2) 针对转子故障, 若为转子绕组短路, 需查找短路部位, 修复绕组或更换转子; 若为转子断条, 需更换断条, 重新焊接, 确保转子绕组的完整性; 若为转子失衡, 需对转子进行动平衡测试, 通过添

加平衡块等方式调整转子平衡,减少振动;若为集电环磨损、烧蚀,需对集电环进行打磨、抛光,更换磨损严重的电刷,确保集电环与电刷接触良好。(3)针对发电机轴承故障,需更换损坏的轴承,选择与原型号一致的轴承,确保安装精度,添加适量的润滑油,避免润滑不足或过量;维修完成后,监测轴承温度与振动,确保轴承运行正常。(4)针对冷却系统故障,若为冷却风扇故障,需更换风扇电机或修复风扇叶片,确保风扇正常运转;若为冷却水管堵塞,需清理水管内的杂物,疏通水管,检查水管是否存在破损,及时修复;若为冷却介质不足,需添加冷却介质,确保冷却系统的冷却效果,避免发电机过热。

3.3 控制系统故障维修技术

(1)针对传感器故障,若为传感器损坏,需更换与原型号一致的传感器,重新接线,确保信号传输正常;若为传感器接线松动、灰尘堆积,需紧固接线,清理传感器表面的灰尘,恢复传感器的正常工作;更换或修复后,需对传感器进行校准,确保输出信号准确。(2)针对控制器故障,若为控制器软件故障,可通过重新安装软件、更新程序等方式修复,修复后对控制器进行参数设置,确保控制器正常工作;若为控制器硬件故障,需更换损坏的硬件部件,如主板、电源模块等,更换后进行全面检测,确保控制器指令输出准确、数据显示正常。(3)针对执行器故障,若为执行器机械卡滞,需拆解执行器,清理内部杂物,润滑传动部件,修复卡滞问题;若为执行器电机损坏,需更换电机,重新调整执行器的行程与灵敏度;若为执行器信号传输故障,需检查接线,修复信号传输线路,确保执行器能够正常响应控制器指令。

3.4 塔架与基础故障维修技术

(1)针对塔架故障,若为塔架表面腐蚀,需清理腐蚀部位,打磨除锈,涂抹防腐涂料,确保塔架表面的防腐性能;若为塔架焊缝开裂,需对开裂部位进行补焊,补焊后进行超声波检测,确保焊缝质量;若为塔架变形,需通过校正技术调整塔架的垂直度,确保塔架处

于正常状态,避免倾斜。(2)针对基础故障,若为基础轻微沉降,需对基础进行加固处理,添加加固材料,确保基础的承载能力;若为基础裂缝,需清理裂缝内的杂物,填充密封材料,防止雨水渗入,进一步扩大裂缝;若为基础螺栓松动,需拧紧螺栓,检查螺栓的腐蚀情况,更换腐蚀严重的螺栓,确保基础与塔架的连接牢固。维修完成后,需对塔架与基础进行全面检测,确保支撑稳定,满足机组运行要求^[5]。

结束语

风力发电机组的稳定运行是风电产业发展的基石。本文全面剖析了其核心结构、故障特点、常见故障类型、诊断及维修技术。从传动系统的齿轮箱、主轴到发电机的定子、转子,再到控制系统的传感器、控制器,以及塔架与基础的各类故障,均给出了针对性解决方案。随着风电技术的不断进步,机组故障诊断与维修技术也需持续创新。未来,应加强智能化监测与诊断技术的应用,提高故障预警能力,优化维修策略,降低运维成本。通过不断探索与实践,进一步提升风力发电机组的可靠性与经济性,为清洁能源的大规模应用提供坚实保障。

参考文献

- [1]慕万博.新能源风机发电机组故障诊断与维修研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(2):035-038.
- [2]刘蕴华.风力发电机组系统振动故障诊断技术及减振方法[J].电气时代,2025(3):42-45.
- [3]郭福照.永磁直驱风力发电机组故障诊断技术分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(11):147-150.
- [4]孙红凯.风力发电机组振动状态监测与故障诊断分析[J].家电维修,2025(2):113-115.
- [5]李玉贵.风电场风力发电机组齿轮箱故障修复技术[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(9):049-052.