

风力发电机组常见故障诊断及快速处理实用技术

马彦明

甘肃龙源新能源有限公司 甘肃 酒泉 735000

摘 要：风力发电机组长期复杂工况下易出现机械、电气、控制类故障，传统人工诊断精度低、滞后性强，难以适配智慧运维需求。本文梳理机组结构原理与各类故障诱因、特征，对比分析传统诊断、信号分析及数据驱动三类诊断方法，针对性提出各系统故障快速处理技术与应急保障方案。结合工程案例验证技术实效，总结现存短板并给出优化方向，可为风电场故障运维、提质增效提供实用技术参考。

关键词：风力发电机组；常见故障；诊断方法；快速处理；实用技术

引言：风电作为核心清洁能源，机组稳定运行是风电场高效发电的关键。风力发电机组长期暴露在野外环境，受自然工况、设备磨损、运维不当等多重因素影响，故障频发且类型繁杂，易造成机组停机、发电量损耗，严重制约风电运维质效与经济效益。为解决传统运维诊断精度不足、抢修效率低等问题，本文系统研究机组故障诊断方法与快速处理技术，结合现场实操验证技术可行性，为提升风电智能化运维水平提供支撑。

1 风力发电机组结构原理与常见故障类型

1.1 风力发电机组核心结构与工作原理

（1）基础核心结构主要由风轮、机舱、塔架组成。风轮包含叶片与轮毂，是捕获风能的核心部件；机舱内置各类核心设备，为能量转换提供安装空间；塔架起支撑、承重作用，保障机组高空稳定运行。（2）机组三大系统各司其职。传动系统通过主轴、齿轮箱提速，将风轮低速机械能转化为高速机械能；发电系统依托发电机完成机械能到电能的转换，配合变频器调节电能参数；控制系统以PLC为核心，统筹调控机组启停、偏航、制动等全流程运行。（3）机组整体运行流程为：风轮捕获风能带动转子转动，经传动系统提速后驱动发电机发电，再通过电气设备稳压变频，最终并入电网。机组可适配不同风速工况，低风速待机、额定风速稳定发电、极端风速停机保护。

1.2 风力发电机组常见故障分类

（1）机械类故障为高发故障，主要包括齿轮箱磨损、断齿、漏油，轴承卡顿、过热磨损，叶片开裂、腐蚀、变形，以及主轴偏移、疲劳损伤等问题，直接影响机组传动稳定性。（2）电气类故障涵盖发电机绝缘老化、绕组烧毁，变频器参数异常、模块损坏，控制柜接触不良、元件失效，以及线路老化、短路、断路等，易造成发电异常、机组停机。（3）控制类故障包含传感器

数据失真、失灵，PLC系统程序紊乱、信号传输异常，液压制动系统压力不足、制动卡滞等，导致机组调控失灵、工况匹配异常^[1]。

1.3 故障诱发因素与故障特征分析

（1）自然环境是主要外部诱因，大风、湍流会加剧设备载荷，高低温加速部件老化，沙尘引发磨损、堵塞，雷雨易击穿电气元件、干扰控制信号。（2）设备长期高速运转会产生疲劳磨损，金属部件疲劳累积、密封件老化失效，易引发机械间隙变大、渗漏、传动卡顿等持续性故障，且故障随运行时长逐步加剧。（3）运维不当、操作失误为人为诱因，定期检修不到位、润滑维护缺失、参数调试错误、违规启停设备等，会加速设备损坏，诱发各类突发性故障。

2 风力发电机组常见故障诊断方法研究

2.1 传统人工故障诊断方法

（1）目视巡检法与听觉判别法是风电运维基础诊断手段。工作人员通过肉眼观察叶片表面破损、部件锈蚀、线路老化、漏油等外观问题，依托听觉辨别齿轮箱、主轴、轴承等运转异响，结合运维经验初步判断设备运行状态，操作简单、可随时开展，适用于现场初步筛查显性故障。（2）仪器检测法依靠专业设备完成精准检测，主要包含振动、温度、油液三类检测方式。利用测振设备采集传动部件振动数据，测温仪器检测发电机、齿轮箱工作温度，通过油液检测分析油品杂质、黏度与变质情况，以此判定设备磨损、过热、润滑失效等故障隐患^[2]。（3）传统诊断方法优势在于操作便捷、成本较低、灵活性强，无需复杂设备即可完成现场基础排查。但其局限性十分明显，诊断结果依赖人工经验，主观性强，难以识别早期隐性故障，检测精度和效率较低，无法适配机组长期、高精度的运维需求。

2.2 基于信号分析的智能诊断方法

(1) 振动信号分析是机械故障核心诊断技术,通过采集机组齿轮箱、轴承、主轴的振动信号,结合频谱、时域分析方法,提取异常振动特征,可精准识别部件磨损、松动、偏心等故障,广泛应用于传动系统各类机械故障诊断场景。(2) 声学及温度信号采集诊断技术,依托传感器实时收集设备运行噪声、壳体及绕组温度数据。通过对比正常工况信号阈值,快速识别异常温升、异常噪音,可高效排查发电机过热、部件卡滞、叶片结构异常等多种故障。(3) 油液分析技术主要应用于机组传动系统诊断,通过检测齿轮箱润滑油的颗粒含量、氧化程度、金属磨屑成分,判断齿轮、轴承的磨损程度,能够提前预判传动部件疲劳损伤、润滑失效等潜在故障,实现故障早发现、早处理。

2.3 基于数据驱动的精准诊断方法

(1) 机组运行大数据采集与预处理技术,依托风场传感设备、监控系统,全天候采集机组转速、温度、振动、出力等运行数据,通过清洗、降噪、筛选处理无效数据,剔除环境干扰数据,为精准故障诊断提供可靠数据基础。(2) 机器学习算法在故障识别中应用广泛,通过构建故障样本数据集,对算法进行训练学习,挖掘运行数据与故障类型的内在关联,能够自动识别机械、电气、控制系统的各类故障,大幅提升故障识别的准确率与智能化水平。(3) 基于数据驱动技术可实现故障智能化预警与定位,系统实时对比分析运行数据,一旦参数偏离正常阈值,可自动发出预警信号,精准锁定故障位置与故障类型,打破传统被动检修模式,实现风电机组主动预判式运维^[3]。

3 风力发电机组故障快速处理实用技术

3.1 机械系统故障快速处理技术

(1) 针对叶片裂纹、表层脱落及结构损伤,采用现场快速修补加固技术。对浅表微小裂纹进行打磨、清洁、树脂填补封闭处理,防止裂纹扩散;对深层损伤、局部破损区域,采用玻纤布多层贴合加固工艺,快速恢复叶片结构强度与气动外形,无需整机拆解,可有效缩短停机维修时长,保障叶片运行稳定性。(2) 针对齿轮箱、轴承异响与轻微磨损故障,实施分级应急处理。轻微异响与润滑不良问题,可及时更换适配润滑油、补充润滑脂,清理油路杂质;针对中度磨损、齿面轻微损伤,采取降载试运行、实时监测工况的应急方案,待窗口期开展拆解维修,避免突发卡滞、停机事故。(3) 主轴偏移、抖动及制动系统卡滞、复位失效故障,可通过专项排查技术快速处理。检测主轴同轴度与固定螺栓紧固状态,及时校正偏移量、紧固松动部件;排查制动片

间隙、液压推杆运行状态,清理卡滞杂物,完成系统复位调试,快速恢复机械传动与制动功能。

3.2 电气系统故障快速处理技术

(1) 发电机过热、绝缘故障可通过红外测温、绝缘电阻检测快速定位问题。针对散热不畅引发的过热,及时清理散热风道、检修散热风扇;针对绝缘老化、阻值异常故障,隔离故障绕组,开展局部绝缘修复,杜绝短路、击穿等安全隐患。(2) 变频器报错、电气线路短路断路故障遵循先断电、后排查的应急原则。快速锁定线路破损、接线松动、模块烧毁点位,对短路部位做绝缘隔离、断路点位重新接线紧固,临时恢复基础供电,同时记录故障参数,完成变频器参数重置与试运行校验^[4]。

(3) 对于接触器、继电器、电容等电气元件老化损坏问题,采用标准化快速更换技术。提前配备适配备件,严格按照电气规范完成拆装、接线、紧固工作,更换后开展通电检测、参数调试,保障电气系统供电、发电工况稳定运行。

3.3 控制系统故障快速处理技术

(1) 传感器失灵、数据漂移、传输异常时,优先开展现场校准与快速更换。对风速、温度、振动传感器进行参数校准,清理传感探头积尘与杂物;校准无效时直接更换传感器,重新对接信号线路,确保采集数据精准、传输稳定。(2) 针对PLC系统报错、程序紊乱、无故停机故障,采用断电重启、程序复位技术。排查线路信号干扰问题,清除系统故障代码,恢复初始运行程序参数,完成空载、带载试运行,解决系统逻辑错乱、停机保护异常等问题。(3) 液压控制系统压力异常、阀芯卡滞故障,通过排查油路压力、清理阀体杂质、调节压力参数处理故障。更换变质液压油,修复密封渗漏问题,校准系统压力阈值,消除卡滞、压力过高或过低等故障,保障制动、偏航系统正常运作。

3.4 机组故障应急运维保障技术

(1) 机组突发故障停机后,严格执行安全处置流程。第一时间切断机组电源、锁定停机状态,排查故障报警信息,隔离故障设备区域,做好安全警示,杜绝带电作业与违规操作,保障运维人员设备安全。(2) 大风、低温、沙尘等恶劣工况下,采用适配型快速抢修技术。简化户外检修流程,做好设备防风、防尘、防冻防护,优先处理核心故障,规避恶劣环境引发的二次损伤,提升极端工况下故障抢修效率。(3) 故障修复后通过标准化调试技术恢复机组运行。依次校验机械传动、电气供电、控制程序各项参数,开展低速试运行、满负荷测试,排查潜在隐患,确认机组工况稳定后并网运

行,实现快速复产^[5]。

4 案例应用与技术效果分析

4.1 工程应用案例概况

(1) 本次选取陆上常规风电场作为工程案例,风场年均风速适中,湍流工况常态化。场内主力机组为主流兆瓦级风力发电机组,设备配置包含标准叶片、增速齿轮箱、双馈发电机及全套智能电控系统,设备工况具有常规风电场典型代表性,适配本次技术试验研究。(2) 结合风场长期运维数据梳理,机组频发故障主要集中在三类:齿轮箱振动异常、轴承轻微磨损;叶片风沙侵蚀、表层裂纹损伤;传感器数据漂移、电气线路接触不良及控制系统误报警等问题,严重影响机组稳定运行。

(3) 结合现场实际工况设计运维试验方案,以智能信号诊断、数据驱动故障识别、快速应急处理技术为核心,分组对机械、电气、控制故障开展实操试验,同步记录诊断数据、处理时长及机组运行恢复效果。

4.2 典型故障诊断与处理技术实操应用

(1) 针对齿轮箱高频振动故障,采用振动信号频谱分析技术精准定位故障点位,判定故障为齿面轻微磨损与润滑失效。现场快速更换专用润滑油,清理油路杂质,校准设备运行参数,快速消除振动异常,无需拆机大修。(2) 针对叶片表面风沙裂纹、局部损伤问题,采用无损检测技术排查损伤范围,通过打磨清洁、树脂封堵、玻纤加固的快速修补工艺完成现场修复,有效修复叶片气动结构,杜绝裂纹进一步扩展。(3) 针对电气控制系统故障,依托数据比对排查线路接触不良、传感器失灵及PLC信号异常问题,快速校准传感参数、紧固线路接口、重置控制系统程序,完成故障应急处置,恢复机组正常调控功能。

4.3 应用效果与技术优势分析

(1) 新型智能诊断技术应用后,机组各类故障诊断准确率大幅提升,可有效识别传统方法难以发现的早期隐性故障,故障误诊、漏诊情况显著减少,故障识别的精准性与稳定性明显提升。(2) 快速处理技术大幅缩短设备故障处置时长,有效降低机组非计划停机时间,

减少风能资源损耗。同时简化运维流程、降低人工与备件损耗,显著优化风电场整体运维成本。(3) 相较于传统人工巡检模式,该套技术具备诊断效率高、故障定位准、抢修速度快的优势,可适配复杂工况,实现提前预警、精准运维,彻底改变传统被动检修的运维模式。

4.4 技术应用现存问题与优化方向

(1) 现有技术存在一定应用短板,极端沙尘、强风天气下信号采集易受干扰,部分小型隐性故障识别精度有限,且智能化设备运维成本偏高,基层现场适配性有待提升。(2) 针对复杂工况优化改进,需优化信号降噪算法,强化极端环境下数据采集稳定性,完善故障模型数据库,提升高低温、强湍流等特殊工况下的故障诊断适配能力。(3) 未来运维技术将向智能化、一体化、高效化发展,依托大数据与人工智能构建全时段故障预警系统,实现机组故障自动识别、精准定位、智能处置,全面提升风电场智慧运维水平。

结束语

本文系统梳理了风力发电机组常见故障类型与诱发机制,整合优化多类型故障诊断技术与现场快速处理方案,经工程应用证实,智能诊断与快速抢修技术可有效提升故障识别精度、缩短停机时长、降低运维成本。同时明确了极端工况下技术应用的短板,后续可通过优化算法、完善故障数据库、搭建智能预警体系持续改进,推动风电运维向智能化、精准化、高效化方向稳步发展。

参考文献

- [1]程维.风力发电机组旋转机械的故障诊断技术研究[J].模具制造,2023,23(11):241-243.
- [2]屈宏明,李世全.风力发电机组常见故障及处理[J].电力系统保护与控制,2024,47(10):78-82.
- [3]陈磊,王鑫.风力发电机组齿轮箱故障原因分析及处理[J].电机技术,2022,44(5):256-260.
- [4]刘磊,赵欣欣.风力发电机组叶片损坏原因分析及破损处理[J].新能源进展,2023,36(3):145-150.
- [5]刘蕴华.风力发电机组系统振动故障诊断及减振方法[J].电气时代,2025,13(3):42-45.