

大型风电场输变电设备运行分析及检修方法

葛文红

辽宁龙源新能源发展有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要：在全球能源绿色转型浪潮下，风电产业蓬勃发展，大型风电场建设规模持续扩大。本文聚焦大型风电场输变电设备，首先分析其运行特点，涵盖设备组成与功能、运行环境特点及运行稳定性要求。接着探讨常见运行故障，包括汇集线路、变电设备、监控和保护装置故障等。最后研究检修方法，提出将定期检修与状态检修相结合，运用故障诊断与定位技术，强化检修工艺与质量控制，并应用智能化检修管理系统，旨在提升大型风电场输变电设备运行稳定性与检修效率，保障风电场安全可靠运行。

关键词：大型风电场；输变电设备；运行分析；检修方法

引言：随着全球对清洁能源需求的日益增长，大型风电场作为可再生能源的重要来源，其规模不断扩大。输变电设备作为大型风电场的关键组成部分，承担着电能传输与变换的重要任务，其运行状况直接影响风电场的发电效率和供电可靠性。然而，由于大型风电场多处于地理环境复杂、气候条件恶劣的地区，输变电设备在运行过程中面临诸多挑战，易出现各类故障。因此，深入分析大型风电场输变电设备的运行特点，研究其常见故障及有效的检修方法，对于提高风电场的运行管理水平、保障电力系统的稳定运行具有重要的现实意义。

1 大型风电场输变电设备运行特点分析

1.1 设备组成与功能

大型风电场输变电设备是一个复杂且精密的系统，主要由汇集线路、变电设备以及监控保护装置等构成。汇集线路如同风电场的“血管”，将众多风力发电机组产生的电能收集起来并输送至变电设备。变电设备则是电能转换的核心，通过变压器实现电压的升降变换，以满足不同输电和用电需求。监控和保护装置则像“智能卫士”，实时监测设备运行状态，在出现故障时迅速动作，隔离故障区域，防止事故扩大，确保整个输变电系统安全、稳定、高效地运行，保障风电场电能的可靠输送。

1.2 运行环境特点

大型风电场输变电设备运行环境复杂多样且较为恶劣。地理上，多位于偏远山区、沿海滩涂或海上，交通不便，给设备运输、安装及日常维护带来困难。气候方面，要经受高温、严寒、大风、暴雨、雷电、盐雾等多种极端天气考验。高温会使设备绝缘老化加速，降低设备性能；严寒可能导致设备部件收缩变形，影响机械结构稳定性；盐雾对金属部件具有强腐蚀性，缩短设备使用寿命。此外，风电场内电磁环境复杂，也可能干扰设

备正常运行，增加设备故障风险。

1.3 运行稳定性要求

大型风电场输变电设备运行稳定性要求极高。风电场作为重要的电力供应源，其输变电设备需持续稳定运行，以保障电能的可靠输送，满足电网的用电需求。一旦设备出现故障导致停电，不仅会影响风电场自身的经济效益，还可能对电网的稳定运行造成冲击，引发大面积停电事故。同时，随着风电场规模不断扩大，并入电网的电量增多，对电网的稳定性和电能质量影响增大，这就要求输变电设备具备更高的运行可靠性，减少故障发生频率，确保风电场与电网安全、协调运行^[1]。

2 大型风电场输变电设备常见运行故障

2.1 汇集线路故障

汇集线路作为连接风电机组与升压站的关键通道，故障频发且影响广泛。导线方面，长期暴露于户外，受风力、温度变化及机械振动影响，易出现疲劳断裂，尤其在导线连接处，如线夹与导线接触部位，因应力集中，断裂风险更高；绝缘子易受污秽、潮湿环境影响，发生污闪，导致线路跳闸，沿海风电场因盐雾腐蚀，绝缘子污闪问题更为突出；雷击是汇集线路另一大威胁，雷电过电压可能击穿绝缘子或导线，造成永久性故障；此外，线路覆冰在寒冷地区频发，冰层增加导线重量，导致弧垂增大，甚至引发断线、倒塔事故；鸟类活动也不容忽视，鸟粪污染绝缘子或鸟类筑巢引发短路，对线路安全运行构成威胁。

2.2 变电设备故障

变电设备是风电场电能变换与分配的核心，其故障直接影响全场供电可靠性。变压器故障中，绕组绝缘老化是常见问题，长期运行下，绝缘材料性能下降，易引发匝间短路；铁芯多点接地会导致铁芯过热，甚至烧

毁；油位异常、油质劣化也会影响变压器散热与绝缘性能。断路器故障方面，操作机构卡涩、拒动或误动频发，尤其在频繁操作或恶劣环境下，机械部件磨损、润滑不足导致动作不可靠；触头接触不良引发过热，甚至烧毁触头。互感器故障中，电压互感器易因谐振过电压损坏；电流互感器二次侧开路会产生高压，危及人身与设备安全。

2.3 监控和保护装置故障

监控与保护装置是保障风电场安全运行的“眼睛”和“大脑”，其故障可能掩盖真实问题或扩大事故范围。继电保护装置中，接点故障较为常见，接点腐蚀、氧化或位移导致接触不良，影响保护动作可靠性；装置元件老化，如电容器漏液、电阻值变化，导致保护定值偏移；抗干扰能力不足，在强电磁环境下易误动作，如变电站内开关操作产生的暂态过电压可能干扰保护装置。监控系统故障方面，数据采集异常频发，部分关键参数（如振动、温度）未实时采集，依赖定期检测，难以及时发现突发故障；数据传输中断或延迟，因通信线路故障或网络拥堵导致，影响远程监控与调度^[2]。

3 大型风电场输变电设备检修方法研究

3.1 定期检修与状态检修相结合

在大型风电场输变电设备检修中，将定期检修与状态检修相结合是一种科学且高效的策略。定期检修作为传统且成熟的检修模式，依据设备制造商推荐的检修周期以及行业积累的丰富经验，制定出固定时间间隔的检修计划。例如，对变压器每隔一定年限进行全面解体检查，测试其绝缘性能、绕组状况等；对断路器定期开展机械特性试验，检查操作机构的灵活性与可靠性。通过这种有规律的检修，能够提前发现一些潜在的基础性故障隐患，及时更换老化部件，有效预防严重故障的发生，保障输变电设备的基本运行安全。而状态检修则是借助先进的在线监测技术和诊断手段，实时收集设备运行过程中的各类数据，如温度、振动、电流、电压等参数。通过对这些数据的深度分析，精准判断设备的实际健康状况，预测设备可能出现的故障类型和时间。当监测数据出现异常时，立即安排针对性检修，避免设备带病运行。将二者有机结合，定期检修为设备提供周期性的全面“体检”，确保设备基础性能稳定；状态检修则根据设备实时状态灵活调整检修策略，避免过度检修造成资源浪费，同时及时处理突发问题。这种综合检修模式，能够显著提高大型风电场输变电设备的可靠性和可用性，降低检修成本，保障风电场的安全稳定运行。

3.2 故障诊断与定位技术

（1）红外热成像技术。红外热成像技术通过非接触式采集设备表面红外辐射，生成温度分布图像，快速定位过热、接触不良等故障。在风电场中，该技术可实时监测变压器、开关柜、齿轮箱及线路连接点的温度异常。例如，变压器套管接触不良或内部绕组故障会导致局部温升超过阈值，红外热像仪可精准识别热点位置并量化温度值，结合历史数据判断故障发展趋势。线路连接点因氧化或松动引发过热时，红外检测可提前发现隐患，避免火灾或停电事故。该技术适用于夜间或复杂环境检测，但需考虑环境温度、风速等干扰因素，需结合智能分析软件提升诊断准确性，减少误判风险。（2）行波测距定位技术。行波测距定位技术依托对输变电路故障行波信号的采集与精确解析，精准识别线路内部故障位置及故障类型。在风电场输变电系统中，该技术广泛用于输电线路短路故障定位、电缆接头接触不良检测及绝缘子闪络故障诊断。当线路发生短路或接地故障时，故障点会产生向线路两端传播的行波信号，通过布置在线路两端的行波传感器可实时捕捉行波到达时间，结合线路参数与算法模型可实现故障点的精准定位；电缆接头因接触不良产生局部过热或电弧放电时，其行波特征信号中会出现特定频率成分的异常变化，进而反映故障严重程度。（3）局部放电检测技术。局部放电检测技术通过监测设备绝缘缺陷产生的电脉冲信号，诊断变压器、电缆、开关柜等设备的绝缘状态。高频电流传感器（HFCT）可耦合接地线中的放电脉冲，实现局部放电强度量化与频谱分析；特高频（UHF）传感器则通过检测放电产生的电磁波（300MHz-3GHz），定位电缆接头或变压器内部放电点。结合AI算法与大数据分析，可建立设备健康状态评估模型，提前预警绝缘击穿风险。该技术需解决现场电磁干扰问题，通过屏蔽措施与滤波算法提升信噪比，确保检测结果准确可靠。

3.3 检修工艺与质量控制

在大型风电场输变电设备检修工作中，检修工艺与质量控制是保障设备可靠运行、提升风电场整体效益的关键环节。（1）检修工艺方面，需针对不同类型的输变电设备制定精细化、标准化的操作流程。对于变压器检修，从停电、验电、接地等安全措施的落实，到内部绕组的检查、绝缘油的采样分析，再到密封性能的测试等，每一步都要有明确、详细的工艺要求。像断路器检修，要规范操作机构的分解、清洗、润滑以及触头的打磨、测量等工艺，确保检修后的设备动作准确、可靠。同时，积极引入先进的检修技术和工具，如使用红外热成像仪检测设备连接部位的发热情况，利用超声波局放

检测仪查找绝缘缺陷,提高检修的精准度和效率。(2)质量控制上,建立严格的质量监督体系。检修前,对使用的备品备件进行严格的质量检验,确保其符合设备要求。检修过程中,设置多个质量检查点,由专业质检人员对关键工序和检修结果进行实时检查和记录。检修完成后,进行全面的试验和验收,包括电气性能试验、机械特性试验等,只有各项指标均达到标准,设备才能投入运行。此外,对检修人员进行定期的培训和考核,提升其技能水平和质量意识,从人员素质层面保障检修质量,为大型风电场输变电设备的安全稳定运行奠定坚实基础。

3.4 智能化检修管理系统应用

在大型风电场输变电设备检修领域,智能化检修管理系统的应用正成为提升检修效率与质量、保障电网稳定运行的关键力量。(1)智能化检修管理系统实现了设备状态的全面实时监测。通过在输变电设备的关键节点,如变压器、断路器、输电线路等部位,安装各类高精度传感器,系统能够不间断地采集设备的运行参数,包括温度、压力、电流、电压、振动等。这些传感器如同设备的“神经末梢”,将设备的实时状态信息精准、快速地传输至管理平台,使检修人员能够随时掌握设备的运行动态,及时发现潜在的安全隐患,为后续的检修决策提供坚实的数据支撑。(2)该系统具备强大的数据分析和故障预测能力。利用先进的大数据分析和机器学习算法,系统能够对海量的设备运行数据进行深度挖掘和分析。通过建立设备故障模型,系统可以精准预测设备可能出现的故障类型、发生时间以及故障的严重程度。一旦检测到异常数据,系统会立即发出预警信息,提醒检

修人员提前做好准备,制定针对性的检修方案,将故障消除在萌芽状态,有效避免设备故障的扩大和恶化。(3)智能化检修管理系统优化了检修流程和资源配置。它可以根据设备的实际状态和故障预测结果,自动生成科学合理的检修计划,明确检修的项目、时间和所需的人员、物资。同时,系统还能对检修过程进行全程跟踪和监控,确保检修工作按照计划有序进行,提高检修效率和质量,降低检修成本,保障大型风电场输变电系统的安全可靠运行^[3]。

结束语

大型风电场输变电设备的稳定运行是保障清洁能源高效输送的核心基础。本文通过分析设备运行特性与故障模式,提出定期检修与状态检修相结合的混合策略,并系统阐述了红外热成像及局部放电等故障诊断技术的应用要点。同时,结合智能化检修管理系统的四大模块(设备管理、计划制定、故障诊断、过程监控),实现了检修流程的数字化与精准化。未来,随着物联网、大数据及AI技术的深度融合,风电场输变电设备检修将向“预测性维护”升级,进一步降低运维成本、提升供电可靠性,为构建新型电力系统与“双碳”目标实现提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]乔希德.大型风电场输变电设备运行分析及检修策略研究[J].科技风,2020(7):189.
- [2]郭亮,龙凯华,梁珍伟,等.大型风电场输变电设备运行分析及检修策略研究[J].华北电力技术,2021(10)
- [3]薛靖,刘磊.对大型风电场输变电设备运行分析及检修策略的探讨[J].电子测试,2021(22):111-112,100