

风电机组的检修策略

张道全 张乐平

华电电力科学研究院有限公司

摘要：在能源产业向高比例新能源方向演进的背景下，依托数字化新能源产业整体布局，基于信息化技术，对风电机组的运行进行全方位监控，满足风电设备智能化监测、检修等需求，风电机组的智能检修工作对于维持风电场的安全运行，提升新能源能效、可靠性水平以及生产管控能力具有重要意义。本文解析设备检测、故障消缺等技术内容，介绍相关技术手段并提出建议，分析风电机组检修策略，希望能为风电机组安全运维工作提供相关借鉴。

关键词：风力发电；风电机组；风电场；检修策略

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.117

引言

根据“十四五”新能源产业的规划，全面推进风电和太阳能发电大规模开发和高质量发展，加快推动电力系统向适应大规模高比例新能源方向演进，风力发电将在2025年前成为国家能源产业的重要支撑。新能源技术整体应提升管理水平，以保障设备安全、可靠、经济运行为目标，风电机组智慧化检修策略在此目标下是实现新能源产业安全稳定运行的核心支柱。风电机组设备运维工作注重兼顾技术性和经济性，加强智能检测设备应用，及时指导现场人员进行故障消缺，优化风电机组检修策略，提高风电运维质量，实现“双碳”目标下以新能源为重要电力供应产业的整体布局。

一、风电机组设备检测

提高风电机组设备检修工作质量与效率，亟须优化风电机组检修技术。在风电机组设备检修工作中，常用检修技术方法包括红外测温技术法、传感器检测法、电流检测技术法、超声波检测技术法、紫外成像技术法等。

（一）红外测温技术

红外测温技术属于常用检修技术之一，该技术能够根据风电机组设备的热分布状态实施检修诊断。在检测期间，无须和设备接触，能够实施带电测试，在远距离范围内迅速、直观监测风电机组设备的温度，判断设备运行是否正常，并迅速成像。运用红外测温技术开展风电机组设备故障检修工作，获取热像图并予以分析，能够准确判断风电机组运行状态是否正常，定位设备故障位置。检测工作中的红外辐射为电磁波，其波长在0.75到1000微米（ μm ）之间，和微波相比波长更短^[1]，和可见光相比波长更长。红外测温技术遵循的技术原理是所有温度在零度以上的物体所辐射出的红外线均能够传递

物体的温度特征信息。运用红外测温技术能够对风电机组设备的最高温和最低温实施探测，判断风电机组设备是否存在绝缘层破损问题、烧伤问题和串联故障问题，并对故障进行准确定位。

（二）传感器检测法

在风电场机组设备检修工作中，传感器技术颇为常用。一般情况下，传感器对电气系统设备的温度、压力参数和现场湿度进行传感监测。根据工作要求，选用雷达传感器、智能化传感器、电磁传感器和超声波传感器等，准确获取供电系统设备运行信息，采集精确的电压脉冲。如果风电机组设备零件被烧伤，温度传感器所监测的温度参数会显示异常，提醒温度过高。如果存在异常脉冲，电磁传感器和超声波传感器就会发出预警信息，并准确显示故障定位。要做好传感器的安装工作，避免传感器安装位置不当和松动，实现仪表的准确测量，迅速收集原始信息，完成信息转换，将转换后的电信号传输给所连接的计算机管理系统，以便于迅速完成风电机组设备故障在线定位工作^[2]。要对传感器的精度实施合理定位，结合风电机组设备安全维护工作需求，同步发挥不同传感器的作用。

（三）电流检测技术法

运用电流检测技术法开展风电机组检修工作，检修技术人员需对电流的大小进行准确测量，以此判断风电机组设备是否存在故障问题。在具体检修过程中，技术人员会先对机组设备的电流实施检测，做好相关数据处理工作，并对电流以及微分值进行分析，如果电流和微分值都是零，则说明存在故障问题。

（四）超声波检测技术

超声波检测技术法又名超声波局部放电测试技术，在该技术应用过程中，检修技术人员首先要正确运用先进的检测仪器对风电机组设备实施检修，测试设备运行期间的参数、声音是否符合安全标准需求。在超声波检测工作中，检验仪器设备发挥的作用至关重要。目前，国家非常注重促进超声波检测仪器的持续改良与升级，在仪器设备中配入智能化技术与自动化技术，引进国外先进仪器，从而全面优化超声波探伤仪检测功能，确保检测工作质量，简化仪器设备应用流程，提高检测效率，延长仪器设备使用寿命。要运用超声波检测仪器对风电机组设备发电系统实施仔细检测，获取精确的声波谱图，通过谱图分析来判断风电机组设备是否存在故障问题。

（五）紫外成像技术

紫外成像技术需要对机组设备局部放电情况进行科学测试，结合测试结果判断机组运行是否安全良好。借助紫外成像技术开展风电机组设备检修工作，可以测试出电晕强度并准确判断电晕的所处位置，对机组设备性能进行客观评估。检修技术人员在执行风电机组检修作业期间，经常使用的紫外成像测试设备包括紫外电晕测试仪和紫外电子光学探伤仪，其中前者使用频次更多。检修技术人员依据紫外成像技术生成高精度图像，对所检修的风电机组设备实施全面扫描，一旦发现风电机组设备的某个部位出现了电晕放电问题，检修技术人员就会再次进行细致地检测。通常，检修技术人员会将紫外线传感器安装在被检测的风电机组设备上，对机组设备所散发的紫外线进行全面检测，判断是否存在绝缘层破裂、漏电、短路、断路等故障。如果绝缘层破裂，设备存在漏电问题，运用紫外线检测法对其实施检修，可以看到线路会散发出紫色的光，即紫外线，借由紫外线传感器对其进行监控，并及时发现出现的电火花，准确记录每次发生火花的时间、持续时间与部位，为风电机组设备维修工作提供更准确的参考。

（六）无损检测原则

在风电机组设备检修期间，要注意避免损伤设备，这就要严格做好无损检测工作。当前常用的无损检测方法有涡流法、电位法、核磁共振法、微波法等。其中，涡流法会借助高频局部放电技术或者特高频局部放电技术来检测风电机组设备，如果设备表面涡流现象异常，则说明设备存在故障。电位法侧重于识别风电机组设备的电流、电压、电阻异常位置，如果某一部分的检测参数异常，则说明该部位存在零部件被烧毁问题。核磁共振法通过核磁共振频率等参数来识别风电机组设备运行状态，微波法是运用微波来检测风电机组。这些方法均能够满足无损检测需求，在检修期间不会对风电机组设备造成损伤。

二、风电机组故障消缺

优化风电机组检修策略，加强风电机组设备故障消缺水平，可借助计算机信息化技术、人工智能技术和云计算技术等，构件信息自动化检修系统和风电机组运维服务管理平台，通过启用系统平台来做好风电机组设备运行期间的故障信息采集工作，对所有信息实施深度分析与整合处理，确保精准追溯。作为风电机组检修技术人员，要熟练使用先进的技术设备，在日常检修工作中，如果发现风电机组设备存在潜存性故障问题，就要借助自动化设备对故障类型与因素实施分析，结合实际问题采用针对性维修技术措施。当前风电机组运维服务管理平台中设置了故障管理模块，运用该模块能够做好风场故障信息编辑工作，根据机组设备故障等级大小、

设备故障所处位置对故障信息展开分级处理工作，系统会帮助检修技术人员结合故障等级制定科学、合理的处理方案，及时做好风电机组设备维修管理工作^[3]。

在风电机组检修工作中，启用信息自动化检修系统和风电机组运维服务管理平台可以准确获取电压脉冲，了解脉冲的变化，判断机组设备是否存在串联故障、并联故障与断路或者短路问题。在检修技术应用中，实现风电机组设备故障精准定位，做好脉冲分析工作至关重要。在具体分析过程中，需要搭建大数据平台，构建数据模型，运用各项分支技术获取电压脉冲，以此判断风电机组设备故障，实现高精度定位。首先，在脉冲采集工作中，需要综合考虑脉冲幅度、宽度与形状，合理控制脉冲采样频率，它们对电压脉冲采集质量有直接性影响。因为当前不少风电场建设规模比较大，会配置多种大型风电机组设备，所以在脉冲采集工作中，要确保采集间隔的高频率，同时，要适当降低电压脉冲的宽度，充分确保风电机组设备的分辨精度。在脉冲分析工作中，会通过傅里叶变换来计算周期函数，借助计算机技术生成电压脉冲变化图像。然后，运用大数据技术和函数来分析脉冲的宽度以及波动，以此计算风电机组设备运行过程中的数据参数，绘制出直观化运行图像。

举例而言，在风电机组电缆故障维修处理工作中，要借助信息自动化检修系统和风电机组运维服务管理平台完整采集电缆的电压脉冲，在获取电缆初识状态的数据之后，就对脉冲波动比较大的部分进行提取，自动生成图像，做好相关记录与标记工作，为后期的故障定位提供精准的数据参考。在风电机组电缆故障判断工作中，要注意把握以下要点：

第一，结合电压脉冲分析结果，对异常部分予以确定，仔细查看线缆端子与中间端子，如果存在烧伤状况与变色的现象，就说明该部分为电缆故障部位。

第二，在判断电缆故障类型的过程中，应借助大数据技术对电压脉冲实施深度分析，初步识别属于串联故障还是并联故障。一般情况下，如果一个或者多个导体存在问题，就会引发串联故障。如果是导体的绝缘性能降低，就会引发并联故障。当前工作人员通常会以计算机图像的方式来显示电缆故障简易图。

第三，根据电压脉冲的动态变化情况，合理划分风电机组电缆故障的特殊种类。如果高压的脉冲变化较大，电阻小于额定参数，就说明存在低阻问题；如果高压脉冲变化较大，电阻呈现出无穷大的样态，就意味着供电系统电缆存在闪络问题；如果高压脉冲的变化比较小，电阻参数大于额定参数，就说明存在高阻问题；如果高压的脉冲变化比较小，电阻呈现无穷大趋势，就表示供电系统电压存在开路问题。

第四，要结合上一步的特殊分类，做好行波计算工

作，这样方能准确监测风电机组电缆的故障位置，做好在线定位工作。在行波计算工作中，要对行波速度实施合理界定，控制好电缆材料相对电磁系数的取值范围。通常，工作人员会将电缆材料的介电系数统一设置为1，根据相对电磁系数的划分范围对波速的计算值与使用值进行设置。据调查了解，如果电缆材料的相对电磁系数在4.1到4.5的范围内，波速计算值的范围在135到145之间，使用值为145；如果电缆材料的相对电磁系数指定为2.5，波速计算值是195，使用值为170；如果电缆材料的相对电磁系数在2.4到2.5的范围内，波速计算值的范围在185到190之间，使用值为185；如果电缆材料的相对电磁系数指定为2.6，波速计算值是185，使用值为190；如果电缆材料的相对电磁系数在4.5到5.5的范围内，波速计算值的范围在135到145之间，使用值为150；如果电缆材料的相对电磁系数在2.1到2.7的范围内，波速计算值的范围在180到210之间，使用值为195；如果电缆材料的相对电磁系数指定为2.3，波速计算值是200，使用值为195；如果电缆材料的相对电磁系数在3.1到3.5的范围内，波速计算值的范围在155到170之间，使用值为170；如果电缆材料的相对电磁系数指定为2.5，波速计算值是200，使用值为195。

在风电机组电缆故障在线定位工作过程中，不仅要获取相关参数，做好行波计算工作，而且要科学判断定位结果是否符合高精度的要求，充分发挥大数据平台的作用，设置好数据采集模块，做好数据转换作业，合理划分区间定位，设置好大容量SDRAM，发挥以太网数据接口的作用，配备大容量存储卡^[4]。首先，要运用DPS芯片对故障定位实施控制，进一步提高定位精度和数据采集效率，促进行波计算和网络平台的有效对接，将风电机组设备系统监测装置与大数据平台连接，进一步优化风电场内部机组系统电缆故障在线定位技术方案。

其次，进行风电机组设备电缆故障在线定位技术仿真测试工作，建立好测试环境，为风电机组设备电缆运行情况设定为三种不同的状态：第一，电缆存在绝缘故障。在这种故障仿真测试过程中，先要选用一根电缆（电缆必须完整），借助壁纸刀对该电缆实施水平方向的切割，这样电缆的绝缘层就被破坏了，其导体芯会因此漏出，电缆存在绝缘故障。然后，在测试电路内引入存在绝缘故障的电缆，并施加DC1000V，这样能够获取准确的仿真参数。第二，电缆存在电压波动故障。在这一仿真测试工作中，需要借助风电机组设备的两端电压（电压会受到变压器的控制），这样电压参数处于变化波动状态下，通过仿真测试能够分析和识别故障。第三，存在局部放电故障。在仿真测试中，需要对风电机组的放电部位进行合理控制，这样可以设置风电机组电缆的间歇性故障，通过仿真测试能够提升故障定位的准

确性，减少误报率。再次，在风电机组设备测试过程中，要设置好故障测试点，完成仿真测试工作后，需要对测试数据进行统计分析，表1为某风电场内部机组电缆绝缘故障定位仿真测试结果统计表。

表1 某风电场内部电缆绝缘故障定位仿真测试结果统计表

电缆测试点	电缆故障定位误报率	原有定位技术误报率	其他设计技术误报率
1	1.31%	2.45%	1.86%
2	1.42%	2.27%	1.7%
3	1.1%	2.93%	1.87%
4	1.36%	2.58%	1.75%
5	1.07%	2.46%	1.51%
6	1.3%	2.57%	1.75%
7	1.32%	2.92%	1.5%
8	1.44%	2.91%	1.67%
9	1.41%	2.44%	1.52%
10	1.1%	2.3%	1.63%
11	1.05%	2.72%	1.6%
12	1.28%	2.46%	1.74%
13	1.47%	2.7%	1.73%
14	1.1%	2.64%	1.55%
15	1.13%	2.9%	1.75%

相比而言，如果风电机组的电缆故障属于电压波动故障，电缆故障定位工作的难度会增加，误报率会更高，需要发挥各项分支技术功能，确保检修技术定位的精准度。

结语

综上所述，全面优化风电机组检修策略，做好风电机组设备维护管理工作，风电场需建立自动巡检系统，形成故障专家库，智能引导检修技术人员做好风电机组设备故障消缺工作。同时，引进各类先进的检修技术，不断提高检修工作准确性与实效性，注意检测工作的无损伤原则，利用涡流法、电位法、核磁共振法、微波法，充分避免对风电机组设备造成损伤。

参考文献

[1] 吴周盛. 风电机组防台风运维策略及措施信息化分析[J]. 科学与信息化, 2018(19): 124.
 [2] 杨蕤, 屈仁斌, 白会超. 风电运维服务信息化系统的构建与应用[J]. 中国管理信息化, 2022(5): 124.
 [3] 党亚宾, 李恒. 信息化如何助力风电运维[J]. 风能, 2019(5): 50-52.
 [4] 和军梁. 加强风电标准化、数字化管理为风电场信息化运维筑基[J]. 风力发电, 2019(1): 1-7.