

风电光伏箱式变电站的运行状态分析

黄 举

中国电建集团重庆工程有限公司 重庆 400064

摘要：本文围绕风电光伏箱式变电站展开运行状态分析。介绍其高压开关设备、变压器、低压配电装置构成的结构体系及风电、光伏系统的工作原理。剖析正常运行的电气参数稳定、温度正常、振动较小等特征，探讨短路、过载、接地等电气故障，连接松动、部件磨损等机械故障及恶劣天气、温度变化所致环境故障的成因。阐述传感器监测与远程监控系统等监测手段，以及定期巡检、预防性试验、故障处理与优化设计选型等维护策略，旨在保障其稳定运行。

关键词：风电光伏；箱式变电站；运行状态分析

引言

在全球大力发展风电光伏新能源的背景下，箱式变电站起着关键的电能转换与传输枢纽作用。其运行状态直接关系到电力供应的可靠性与稳定性。深入了解箱式变电站的结构组成与工作原理，是把握其运行本质的基础。通过对其正常运行特征、常见故障类型及相关监测技术、维护策略的研究，有助于提升运行管理水平，确保风电光伏电力系统高效运作，满足能源转型需求。

1 风电光伏箱式变电站的结构与工作原理

1.1 结构组成

风电光伏箱式变电站主要由以下几部分结构组成：

1) 高压开关设备：这是保障箱式变电站安全运行的重要部分，常见的高压开关设备包括高压断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器及高压开关柜等。高压断路器可在设备正常或故障时接通和切断电流；隔离开关用于隔离电源，保证检修安全；负荷开关能接通和断开负荷电流；熔断器则在电路故障时切断电流，防止故障扩大。这些设备相互配合，实现对高压电路的有效控制和保护。2) 变压器：作为关键设备之一，变压器承担着将风电或光伏发电产生的低电压升高至适合并网的中高压等级的重任。在风电光伏系统中，根据不同的应用场景和并网要求，会选用不同容量和变比的变压器，以确保电能够高效、稳定地并入电网。3) 低压配电装置：主要负责对站内的低压用电设备进行配电和控制，如照明、控制电路、监测设备等。它将变压器输出的电能分配到各个低压用电设备，保障站内设备的正常运行。

1.2 工作原理

1.2.1 风电系统

风力发电机产生的电能一般为0.69kV左右的低电压，通过电缆传输至箱式变电站的低压侧。进入箱式变

电站后，电流首先经过低压配电装置，然后进入变压器。变压器利用电磁感应原理，将低电压升高至35kV或更高的电压等级，升压后的电能再通过高压电缆或架空线路输送至升压站，在升压站进一步升压后并入电网，从而实现风力发电的远距离传输和高效利用。

1.2.2 光伏系统

光伏板在太阳光照射下产生直流电，这些直流电经过逆变器转换为交流电。转换后的交流电通常为较低电压，随后进入箱式变电站的低压侧。与风电系统类似，电流经过低压配电装置后进入变压器，由变压器将电压升高至适合并网的等级，最后通过高压线路并入电网，完成光伏发电的并网过程。

2 正常运行状态特征

2.1 电气参数稳定

(1) 电压是电力系统中重要的参数之一，稳定的电压对于保证电气设备的正常运行至关重要。在正常运行状态下，箱式变电站的输入输出电压需严格控制在额定电压的允许偏差范围内。如高压侧电压偏差不得超过额定电压的 $\pm 5\%$ ，低压侧不超过 $\pm 7\%$ ，这一范围的设定是基于电气设备的绝缘性能和运行效率等多方面因素考虑的。若电压过高，可能会使设备的绝缘加速老化，甚至引发绝缘击穿等故障；而电压过低，则会导致设备无法正常工作，如电动机可能无法启动或出现过载发热等问题。

(2) 电流正常：电流与发电功率相对应，且不能超过设备的额定电流。当电流超过额定值时，会使设备的发热加剧，进而影响设备的寿命甚至引发安全事故。例如，变压器在过载运行时，其内部的绕组会因过大的电流而产生过多的热量，导致绝缘性能下降，可能造成短路等故障。(3) 功率因数合理：功率因数反映了电力系统中电能的有效利用程度，一般要求不低于0.9。较高的功率

因数意味着设备能够更有效地利用电能,减少无功功率的传输和损耗,提高电力系统的稳定性和经济性^[1]。若功率因数过低,会导致电网中的无功电流增大,增加线路损耗和设备的容量需求,降低发电设备和输电线路的利用率。

2.2 温度正常

2.2.1 设备正常散热

变压器、开关设备等在运行过程中产生热量是不可避免的,但正常运行时其温度应保持在设备允许的工作温度范围内。以变压器为例,一般油温升不应超过55K,绕组温度升不应超过65K。这是因为过高的温度会加速绝缘材料的老化,降低其绝缘性能,同时也会影响设备的机械强度和使用寿命。

2.2.2 温度监测与控制

为了确保设备温度正常,通常会安装温度传感器对设备的温度进行实时监测。一旦温度接近或超过上限值,控制系统会及时发出警报,并采取相应的散热措施,如启动冷却风扇、开启空调等,以降低设备的温度,保证其正常运行。

2.3 振动较小

2.3.1 振动的影响

箱式变电站内的电气设备在运行时会产生一定的振动,正常情况下振动幅度较小且较为平稳。过大的振动可能会导致设备的连接部位松动,使接触电阻增大,进而引发发热、打火等问题,严重时可能会导致设备故障甚至停电事故。此外,振动还可能使设备的绝缘部件受到机械应力的作用,导致绝缘损坏,降低设备的绝缘性能。

2.3.2 振动监测与限制

通过安装振动传感器可以实时监测设备的振动情况,并将振动数据传输给监控系统。一般要求变压器等设备的振动加速度不超过规定的限值,一旦振动超过限值,监控系统会及时发出警报,提醒运维人员进行检查和处理,以确保设备的安全稳定运行。

3 常见故障类型及原因分析

3.1 电气故障

3.1.1 短路故障

可能由于绝缘老化、损坏,导致导体之间或导体与地之间发生短路。例如,长期运行的电缆绝缘层可能会出现磨损、老化,引发相间短路或接地短路。此外,雷击、小动物进入等也可能导致短路故障的发生。

3.1.2 过载故障

虽然风电光伏箱式变电站一般很少出现过载情况,但在特殊情况下,如电网故障导致大量电能无法送出,或设备选型不合理等,可能会使变压器等设备出现过载

运行。过载会导致设备发热加剧,加速绝缘老化,甚至可能损坏设备。

3.1.3 接地故障

主要是由于设备的绝缘损坏或接地系统不完善引起的。例如,变压器的中性点接地不良、电缆的外皮破损等都可能引起接地故障,影响设备的正常运行和人员的安全。

3.2 机械故障

3.2.1 连接松动

设备在长期运行过程中,由于振动、热胀冷缩等原因,可能会导致连接部位的螺栓、螺母等松动。如变压器的高低压侧接线端子、开关设备的连接触头等部位松动,会增加接触电阻,引起发热,甚至可能产生电弧,烧毁设备。

3.2.2 部件磨损

一些运动部件,如开关设备的操作机构、变压器的冷却风扇等,在频繁的操作和运行过程中会出现磨损。磨损严重时会影响设备的性能,如操作机构卡涩、冷却风扇转速降低等,导致设备无法正常运行或散热不良。

3.3 环境因素引发的故障

(1) 恶劣天气影响:风电光伏箱式变电站通常安装在户外环境较为恶劣的地区,如沿海地区的盐雾腐蚀、风沙地区的沙尘侵蚀等,会对设备的外壳、绝缘材料等造成损坏,降低设备的绝缘性能和使用寿命^[2]。此外,暴雨、暴雪等极端天气可能会导致设备进水、积雪积压等问题,影响设备的正常运行。(2) 温度变化影响:在一些地区,昼夜温差较大,设备在这种环境下长期运行,热胀冷缩效应会使设备的部件产生应力集中,加速设备的老化和损坏。

4 运行状态监测技术手段

4.1 传感器监测

4.1.1 电气参数传感器

电压互感器和电流互感器等电气参数传感器是监测箱式变电站运行状态的基础设备。它们能够高精度地实时测量电压、电流等关键电气参数,并将测量数据准确、及时地传输至监控系统。通过对这些数据的细致分析,可以敏锐地捕捉到电气参数的任何异常变化。比如,当电压出现骤升或骤降,电流值超出正常范围等情况时,系统能够迅速发出预警信号,提前告知运维人员可能出现的故障,以便及时采取措施进行排查和修复,有效避免故障的进一步扩大,保障电力系统的稳定运行。

4.1.2 温度传感器

在变压器、开关设备等容易产生热量且对温度变化较为敏感的关键部位安装温度传感器,对于设备的安全运行至关重要。这些温度传感器能够实时、精确地监测设

备的温度状况，并将温度数据实时反馈给监控系统。一旦设备温度超过预先设定的阈值，监控系统会立即发出报警信号，提醒运维人员及时采取有效的散热或降温措施，如启动冷却装置、检查设备负载等，从而防止设备因过热而损坏，延长设备的使用寿命，确保电力供应的连续性。

4.1.3 振动传感器

设备在运行过程中不可避免地会产生振动，而振动传感器则可以对设备的振动情况进行实时监测。通过对振动信号的深入分析，能够判断设备是否存在机械故障。比如，当振动幅值突然增大、频率发生异常变化等情况出现时，很可能意味着设备的连接部位出现松动、部件发生磨损等问题。运维人员可以根据振动传感器提供的信息，有针对性地对设备进行检查和维护，及时发现并解决潜在的机械故障隐患，保障设备的正常运行。

4.2 远程监控系统

借助先进的通信技术，如光纤通信、无线通信等，远程监控系统能够将箱式变电站的各种运行数据实时、稳定地传输至远程监控中心。这使得运维人员无需到达现场，即可在监控中心通过计算机或移动终端随时随地查看设备的运行状态，实现对多个箱式变电站的集中监控和统一管理，大大提高了运维效率和管理水平。此外，远程监控系统还具备强大的数据分析和故障诊断功能。它能够自动对采集到的海量数据进行深度分析和处理，运用先进的算法和模型，及时发现潜在的故障隐患，并生成详细、准确的诊断报告。这些报告为运维人员提供了科学的决策依据，帮助他们快速定位故障原因，制定合理的维修方案，从而有效降低设备的故障率，提高电力系统的可靠性和稳定性。

5 维护策略与优化措施

5.1 定期巡检

制定详细且合理的巡检计划是保障箱式变电站正常运行的基础。定期的现场巡检应涵盖多方面内容，包括设备的外观检查，查看外壳是否有锈蚀、变形或损坏等情况；仔细检查连接部位的紧固情况，防止因松动导致接触不良等问题；精确测量电气参数，如电压、电流等，确保其在规定范围内波动；同时利用专业设备对温度和振动进行检测，及时发现异常升高的温度以及异常的振动情况。通过全面细致的定期巡检，能够在设备出现早期故障迹象时及时察觉，进而采取针对性的措施加以处理，有效避免故障的进一步扩大，将潜在风险扼杀在萌芽状态。

5.2 预防性试验

预防性试验是确保箱式变电站设备性能良好的重要手段。定期开展诸如绝缘电阻测试、耐压试验、变压器

油色谱分析等试验项目，能够准确检测设备的绝缘性能、电气性能等是否符合要求。绝缘电阻测试可发现设备绝缘是否存在老化、受潮等问题；耐压试验则能检验设备在高电压下的绝缘强度和耐受能力；变压器油色谱分析可通过检测油中溶解气体的成分和含量，提前发现变压器内部是否存在过热、放电等故障隐患。预防性试验的周期需综合考虑设备的运行环境、使用年限等因素来合理确定，例如在恶劣环境下运行或使用年限较长的设备，应适当缩短试验周期，以确保设备的可靠性。

5.3 故障处理与修复

当箱式变电站发生故障时，迅速准确的处理至关重要。首先要依据故障现象和监测数据，准确判断故障的类型和位置，这是后续有效修复的前提。然后根据故障的严重程度制定相应的修复措施，对于连接松动、熔断器熔断等简单故障，可由现场运维人员迅速进行修复，以尽快恢复设备运行；而对于变压器损坏、开关设备故障等较为严重的故障，则需及时调配并更换故障部件，确保设备能够尽快恢复正常运行，最大限度地减少停电时间，降低对电力供应的影响。

5.4 优化设计与选型

在风电光伏箱式变电站的设计和选型阶段，充分考虑其运行环境和工作要求是提高设备可靠性和适应性的关键。比如在沿海地区，由于空气中盐雾含量较高，应选用具有良好防盐雾腐蚀性能的设备，防止设备因长期受到盐雾侵蚀而损坏；在风沙较大的地区，则需加强设备的防风沙措施，如增加防护外壳、密封设计等，以减少风沙对设备的影响。此外，合理选择设备的容量和参数也不容忽视，要确保设备在正常运行以及各种故障情况下都能够满足系统的要求，避免因容量不足或参数不匹配导致设备过载或无法正常工作等问题。

结束语

风电光伏箱式变电站运行状态的多方面分析表明，从结构到原理，从运行特征到故障预防与处理，各个环节相互关联且不可或缺。通过精准的监测技术及时发现异常，配合有效的维护策略与优化措施，可应对复杂运行环境带来的挑战。持续优化运行管理模式，提高设备可靠性与适应性，能为风电光伏产业提供更坚实的电力保障，推动新能源领域可持续发展迈向新高度。

参考文献

- [1]孙楠.风电光伏箱式变电站的运行状态分析[J].空中美语,2020(8):387.
- [2]陈聪,何建营,陈起超,等.风电/光伏箱式变电站的运行状态分析[J].山东电力技术,2020,47(12):21-25.