

输变电一次设备故障应急处置技术与快速恢复方案研究

鲍宇浩

北京唐浩电力工程技术研究有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4944

[摘要] 电力系统运行中,输变电一次设备故障威胁电网安全与可靠供电,新能源大规模接入使故障特性与恢复策略面临新挑战。本文先分析设备本体故障(绝缘劣化等)与外部因素故障(自然灾害等)类型及影响,探讨新能源接入对故障特性的改变;接着阐述考虑新能源设备特殊性的应急处置技术;最后提出故障快速恢复方案,包括原则目标、流程、资源保障及结合新能源的优化建议,助力电网快速恢复。

[关键词] 输变电一次设备; 故障类型诊断; 应急处置技术; 快速恢复策略; 新能源接入

中图分类号: TM72 **文献标识码:** A

Research on Emergency Response Technology and Rapid Recovery Plan for Primary Equipment Faults in Power Transmission and Transformation

Yuhao Bao

Beijing Tanghao Electric Power Engineering Technology Research Co., Ltd.

[Abstract] In the operation of power systems, faults in primary equipment of power transmission and transformation threaten the safety of the power grid and reliable power supply. The large-scale integration of new energy sources brings new challenges to fault characteristics and recovery strategies. This paper first analyzes the types and impacts of equipment body faults (such as insulation degradation) and external factor faults (such as natural disasters), and explores the changes in fault characteristics caused by new energy integration. Then it elaborates on emergency response technologies that consider the special characteristics of new energy equipment. Finally, it proposes a rapid fault recovery plan, including principles and objectives, procedures, resource guarantees, and optimization suggestions combined with new energy sources, to help the power grid recover quickly.

[Key words] primary equipment of power transmission and transformation; fault type diagnosis; emergency response technology; rapid recovery strategy; new energy integration

引言

输变电一次设备是电力系统的关键所在,其稳定运行对电网安全可靠供电至关重要。当下,新能源大规模接入使电网结构趋复杂,输变电一次设备故障类型与成因愈发多样,像新能源发电的间歇性和波动性会引发设备过载、电压不稳等问题,增加故障风险。研究其故障应急处置技术与快速恢复方案,对提升电网应急能力、减少停电损失、保障社会运转及促进新能源消纳意义重大,本文将展开相关探讨。

1 输变电一次设备故障类型与影响分析

1.1 设备本体故障

绝缘劣化是设备本体故障中较为突出的问题。在新能源接入的电网中,变压器绝缘油不仅受到温度、电场、氧气等传统因素的影响,还可能因新能源发电的谐波污染而加速老化,导致绝缘性能下降,进而引发设备内部短路。例如,某光伏电站的35kV变压器因谐波污染导致绝缘油老化,最终引发绝缘击穿,造成全

站停电。电缆终端头绝缘击穿也屡见不鲜,新能源电站的电缆终端头若密封存在缺陷,外界湿气侵入会导致绝缘材料受潮,绝缘强度大幅降低,最终引发绝缘击穿^[1]。机械损伤同样不容忽视。隔离开关触头若接触不良,在新能源发电的波动电流通过时会产生局部过热现象,若不及时处理,甚至会烧毁触头。某风电场的隔离开关触头因油泥堆积,操作时产生电弧,引发设备损坏,影响了风电的正常并网。断路器操动机构卡涩会导致拒动,当新能源发电侧发生故障时,断路器无法及时切断故障电流,会使事故范围进一步扩大,严重威胁电力系统的安全。部件老化也是导致设备故障的重要因素。新能源电站的变压器套管在长期运行过程中,受环境因素和电场作用的影响,可能出现裂纹。某光伏电站的220kV变压器套管因长期运行出现裂纹,在雨天时,雨水沿裂纹进入套管内部,引发闪络故障,导致设备跳闸,影响了电网的稳定运行。

1.2 外部因素故障

外部因素故障对输变电一次设备影响重大,在新能源电站中表现更为突出。自然灾害首当其冲,地震的强烈震动会使输电线路杆塔倒塌倾斜,中断电力传输,阻碍新能源发电送出;台风狂风可吹倒杆塔、刮断导线,破坏光伏阵列、风力发电机等户外设备;洪水会淹没变电站,造成电气短路与设备损坏,影响电站正常运行。人为破坏也不容小觑,部分施工单位缺乏保护意识,误挖新能源电站电缆,导致电力供应中断;盗窃电力设备的违法活动屡禁不止,严重威胁电网安全^[2]。过载运行问题同样关键。受新能源发电间歇性和波动性影响,设备常承受超正常范围的电流,温度急剧升高,加速绝缘材料老化,降低绝缘性能,增加故障概率。如夏季新能源发电高峰,变压器过载运行,绕组变形故障频发,影响其正常运行与寿命。

1.3 新能源接入对故障特性的影响

新能源接入电网后,其发电特性(如间歇性、波动性、谐波污染等)对输变电一次设备的故障特性产生了显著影响。间歇性和波动性导致设备负荷频繁变化,加速了设备的疲劳损伤;谐波污染则增加了设备的绝缘老化速度,提高了故障发生的概率。因此,在故障分析和应急处置中,必须充分考虑新能源接入的影响。

2 输变电一次设备故障应急处置技术

2.1 故障快速定位与隔离技术

在新能源接入的电网中,故障快速定位与隔离技术是关键环节,能有效减少故障影响范围,保障电网尽快恢复正常运行。在线监测与诊断是精准定位故障的重要手段。借助SCADA系统,可实时采集设备运行数据,涵盖电压、电流、温度等关键参数,并结合新能源发电的实时数据进行分析。结合行波法、阻抗法等先进定位方法,能迅速锁定故障点。以某新能源电站的500kV线路为例,采用行波定位技术后,故障点误差被精准控制在50米内,巡线时间大幅缩短80%,极大提高了故障排查效率。保护装置动作是隔离故障区域的重要防线。差动保护、距离保护等保护装置能在故障发生时自动跳闸,迅速切断故障电流,将故障设备与正常电网隔离。在新能源接入的电网中,保护装置的配置和整定需考虑新能源发电的特性,确保快速、准确动作。以新能源电站的变压器故障为例,当变压器差动保护动作后,需在30分钟内完成故障设备的隔离操作,防止故障扩大影响周边更多设备。远程控制技术为快速隔离故障提供了便捷途径。通过调度自动化系统,可远程对断路器进行分合操作,快速隔离故障段^[3]。在新能源电站中,远程控制技术的应用尤为重要,可快速切断故障设备与电网的连接,减少停电范围和停电时间。

2.2 设备紧急修复技术

在新能源接入的电网中,设备紧急修复技术至关重要,包含临时修复措施与永久修复技术,能快速恢复设备运行,保障电网稳定。临时修复措施能在故障发生时迅速采取行动,减少停电影响。对于隔离开关过热问题,若触头过热但未烧毁,可先转移负荷,再对触头进行短接运行,暂时维持设备工作,待合适时机再深入检修。若触头已熔焊,情况较为严重,必须立即停电,检修受

损部件或更换备用隔离开关。电缆故障也常采用临时修复手段。当新能源电站的电缆出现故障时,可运用环供方式,或者通过上下行联络开关将故障电缆甩开,启用备用电缆恢复供电。以某风电场的馈线电缆故障为例,工作人员迅速闭合联络开关,在30分钟内就实现了供电恢复,保障了风电的正常并网。永久修复技术则致力于彻底解决设备故障,恢复设备的正常运行性能。对于新能源电站的变压器故障,若套管受损,需及时更换;若绕组变形,要进行修复,并重新灌注符合新能源发电要求的绝缘油。电缆头制作是电缆永久修复的关键环节,要先清除旧电缆头的绝缘胶,然后重新包扎绝缘带,并灌注新的绝缘胶。在制作过程中,对环境湿度有严格要求,必须控制在 $\leq 70\%$,因为湿度过高会导致电缆头受潮,影响绝缘性能。

表1 新能源电站输变电一次设备故障修复方案表

故障类型	临时修复措施	永久修复措施	适用场景
隔离开关触头过热(未熔焊)	转移负荷,触头短接运行	拆解触头,清理油泥、氧化层,打磨接触面,重新校准接触压力	新能源电站日常巡检发现过热,无紧急停电条件
隔离开关触头熔焊	立即停电,更换备用隔离开关	更换受损触头组件,优化操动机构润滑与传动结构	故障导致触头粘连,无法正常分闸
电缆本体故障	启用环网供电或联络开关,甩开故障段电缆	重新敷设电缆,制作符合湿度要求($\leq 70\%$)的电缆头	新能源电站馈线电缆短路,需快速恢复供电
变压器套管裂纹	停电后对裂纹进行密封处理,加强绝缘监测	更换同型号合格套管,重新进行耐压试验	套管出现裂纹但未发生闪络,短期需维持运行
变压器绕组变形	调整负荷降低运行风险,实时监测绕组温度与局部放电	专业拆解修复绕组,更换老化绝缘油,进行整体性能校验	过载导致绕组轻微变形,未引发内部短路

2.3 安全防护与二次故障预防

在新能源接入的电网里,安全防护与二次故障预防对保障人员安全、降低损失意义重大。人员防护是应急处置基石。抢修人员直接接触故障设备,有触电、爆炸等风险,进入现场前必须佩戴绝缘手套、护目镜等防护装备,防止设备漏电或飞溅物致伤。同时,在故障区域设置警戒线,明确危险范围,阻止无关人员进入。设备保护可预防二次故障。新能源电站设备故障时,要立即停用故障设备,避免其过载爆炸。密切监测邻近设备参数,考虑新能源发电波动性的影响,参数异常时及时处理,防止连锁故障^[4]。灭火装置应用对电气火灾扑救很关键。新能源电站电气火灾不能用水,水会导电加重短路、扩大火势,应使用干粉或CO₂灭火器。如某新能源电站主变压器火灾,消防系统30秒内启动,迅速控制火势,避免火灾进一步蔓延。

3 输变电一次设备故障快速恢复方案

3.1 恢复原则与目标

在新能源接入的电网中,输变电一次设备故障恢复需坚守安全性优先、快速性要求与协同性恢复三大原则。安全性优先是基石,恢复过程中要严防过载、电压崩溃等二次故障,尤其要考虑新能源发电的波动性对电网安全的影响。以线路恢复供电为例,必须通过潮流计算严格验证线路电流不超过额定值的90%,

并考虑新能源发电的实时出力,保障电网后续稳定运行。快速性要求着眼于缩短停电时间,降低经济损失。工业用户和新能源电站对电力供应高度依赖,停电1分钟就可能造成重大损失。所以,要优先恢复医院、政府机关等重要负荷以及新能源电站的供电,保障社会正常运转和新能源的稳定消纳。协同性恢复强调多主体协作。调度中心、运维队伍、电源企业(包括新能源电站)等需紧密配合,通过专用通信平台共享数据。恢复供电前,调度中心要及时通知电源企业启动备用机组或调整新能源出力,确保有充足电源供应。

3.2 标准化恢复流程

故障识别与隔离是恢复的首要步骤。借助SCADA系统监测数据异常,同时结合现场巡视和新能源发电的实时数据,精准确认故障点。随后利用保护装置自动跳闸或调度中心远程控制,隔离故障区域。确认隔离效果无误后,进入下一阶段。状态评估与决策环节,要全面评估剩余电源出力(包括新能源发电的实时出力)、负荷需求以及设备健康状况。依据评估结果确定恢复目标,明确优先恢复的重要负荷。在此基础上,制定科学合理的恢复策略,涵盖负荷恢复顺序、电源配置(包括新能源电站的出力调整)以及路径选择^[5]。恢复路径规划时,采用图论算法生成候选路径,再通过潮流计算验证线路电流、节点电压是否在安全范围内,并考虑新能源发电的波动性对潮流的影响。之后优化路径选择,优先挑选可靠性高、容量充足的路径,减少线路损耗,提高恢复效率。分步恢复执行阶段,先启动备用机组或调整新能源出力,恢复主电源供电。接着按规划路径依次合上输电线路断路器,同时密切监控线路状态,如温度、绝缘水平等,确保运行正常。恢复供电后进行潮流验证,确保电网状态稳定,并考虑新能源发电的实时出力对电网潮流的影响。同时总结恢复过程,分析存在的问题和不足,优化应急预案及恢复流程。

3.3 恢复资源保障措施

为保障故障快速恢复,需做好应急物资储备。提前储备变压

器、电缆、隔离开关等关键设备,以及绝缘材料、灭火器等耗材,并考虑新能源设备的特殊性,储备符合新能源发电要求的设备和材料。确保在4小时内可调配至现场,满足抢修需求。组建专业化抢修队伍,涵盖电力系统运行维护、安全监督、医疗救助等人员,并增加新能源设备维修专家。定期开展应急演练,提高队伍的应急处置能力和协同配合水平,尤其要加强新能源设备故障处置的演练。建立专用调度电话、实时数据共享平台,确保信息传递畅通无阻。引入人工智能技术辅助故障诊断与恢复决策,提高决策的科学性和准确性,尤其要考虑新能源发电的特性。通过短信、社交媒体等渠道及时向用户通报恢复进度,让用户了解情况。

4 结语

输变电一次设备故障应急处置与快速恢复方案研究,对保障电力系统安全稳定运行意义重大,于新能源大规模接入之际更为关键。深入剖析故障类型影响、掌握应急技术、制定科学恢复方案并依新能源特点优化,可实现故障时快速精准响应,减少停电损失,推动新能源稳定消纳。展望未来,技术持续进步、新能源不断发展,需不断优化方案,以更好应对愈发复杂的电网运行挑战。

[参考文献]

- [1]杨玉庆.输变电工程设计中的可靠性与安全性研究[J].电力系统装备,2023(10):33-35.
- [2]刘洋.电力工程变电运行的安全技术要点及管理策略探究[J].数码设计(电子版),2024(2):0028-0030.
- [3]张政斌.直流电源系统应急预案与故障快速恢复技术应用[J].传奇天下,2021(32):142-144.
- [4]吴永恒,陈志伟,许尧.基于混合变压器的配电网电压暂降快速恢复技术研究[J].电力电子技术,2024,58(12):38-41+53.
- [5]袁红斌.变电一次设计在变电站改扩建中的应用研究[J].产业科技创新,2022,4(2):74-76.