

水电站电气一次设备故障检修与处理技术

黄加云, 杜兴

中电建电力检修工程有限公司, 四川 乐山 614000

DOI:10.61369/WCEST.2025020006

摘要 : 本文研究目的在于分析水电站电磁一次设备的故障检修与处理技术。研究期间, 结合文献阅读与电力公司水电站检修材料梳理, 在介绍水电站电气一次设备基础上, 面向电缆、开关与保护、变压器三类设备进行故障检修技术与处理方案的研究。希望本文可为我国电力企业提供技术借鉴与参考意义, 确保检修部门在精确掌握各项技术基础上, 实现水电站电器的有效维护, 保证设备长期处于高度安全与稳定运行状态。

关键词 : 电气一次设备; 故障检修; 电缆故障; 变压器故障

Maintenance and Handling Technology for Faults of Primary Electrical Equipment in Hydropower Stations

Huang Jiayun, Du Xing

China Power Construction Electric Power Maintenance Engineering Co., LTD. Leshan, Sichuan 614000

Abstract : The purpose of this paper is to analyze the fault maintenance and handling technology of the electromagnetic primary equipment in hydropower stations. During the research period, combined with literature reading and the sorting out of the maintenance materials of hydropower stations by power companies, based on the introduction of the primary electrical equipment of hydropower stations, the research on fault maintenance technologies and handling schemes was carried out for three types of equipment: cables, switches and protection, and transformers. It is hoped that this article can provide technical reference and significance for China's power enterprises, ensuring that the maintenance department, on the basis of accurately mastering various technologies, can effectively maintain the electrical equipment of hydropower stations and guarantee that the equipment remains in a highly safe and stable operating state for a long time.

Keywords : electrical primary equipment; fault repair; cable failure; transformer failure

水电站电气一次设备故障的检修与处理, 是保障电力系统稳定安全运行的重要技术支撑环节。一方面, 水电站的一次电气设备如变压器、电缆、开关与保护装置直接承载着电能生产、传输的质量, 一旦出现故障可能引发过电压、短路等连锁事故。有效的故障检修与处理, 可以提前对接触不良、设备老化等隐患进行识别, 将故障在萌芽阶段消除, 打造故障风险防范前置屏障, 避免因设备停运导致电网波动。另一方面, 科学的检修策略, 能够精准匹配电气一次设备的实际运行状况, 有效延缓设备的寿命损耗, 降低更换成本。因此, 综合而言, 电气一次设备的检修, 不仅仅是针对设备的维护行为, 更是保障能源安全、提升建立生产供应可靠性的系统性工作。

一、水电站电器一次设备概述

水电站内的电气一次设备, 站在功能角度划分, 可分为能量转换设备、电路通断与控制设备、电能传输与保护设备, 无功补偿与接地设备。其中, 能量转换设备包括水轮发电机、主变压器^[1]。电路通断与控制设备包括断路器、隔离开关、负荷开关。电能传输与保护设备包括母线与电缆、避雷器以及电流/电压互感器。无功补偿与接地装备通常指水电站内的并联电容器、接地装置, 接地装置包括接地网、接地开关^[2]。

二、水电站电气一次设备故障检修方法研究

(一) 电缆故障检修与处理

1. 故障检修

水电站内的电缆由于老化、环境影响以及外力等因素, 故障时常发生。在故障出现后, 对于电缆故障的常见检修方法包括仪器测量以及红外热像仪以及目前最新的人工智能检修。

仪器测量是使用特定的测试仪器对电缆开展绝缘阻抗、回路阻抗、接地阻抗等技术参数的测量, 基于同正常阈值的对比分析

快速确定故障的位置。红外热像仪则是使用红外辐射原理对电缆的温度分布进行测试，一旦电缆存在故障，温度将出现异常变化，此刻可基于红外热像仪快速定点故障位置^[3]。

2. 故障处理

水电站电缆常见故障包括绝缘老化与故障击穿、接头故障、机械损伤与接地故障等。常见故障与处理方式可参照表1：

表1 水电站电缆常见故障预处理方式

	故障	处理方式
1	绝缘老化与击穿故障	绝缘再绕包 + 热缩套管 / 整段更换
2	接头故障	镀银搪锡工艺 / 截断重做终端
3	机械损伤与接地故障	不锈钢带跨接接地并加强防水密封
4	芯线断裂	铜接管压接
5	水树老化和沿面放电	电树脂注入修复技术 / 湿度控制

如表1，针对电缆绝缘老化与击穿故障，面向35kV及以下电缆，可以使用绝缘绕包 + 热缩套管模式进行补全处理。针对110kV及以上的电缆，则需要进行整段电缆更换，同时同步优化敷设的坡度与路径，避免出现积水隐患。对于电缆接头故障，可以对铜铝过渡接头利用“镀银搪锡”工艺来提升其电导性。针对已经出现碳化的接头，则应及时截断电缆重做终端。针对电缆机械损伤与接地故障，面向铠装层损伤，可以使用不锈钢带跨接接地并加强防水密封^[4]。对于芯线断裂的问题，可以使用液压钳进行铜接管压接，绝缘恢复期间需要遵循半叠绕包 + 应力锥适配的原则。当电缆穿越厂房地板，针对穿越电缆段应加装镀锌钢套，管壁厚度应≥3mm，同时沿电缆路径布置超声波驱鼠装置，确保机械损伤发生率有效降低。针对水树老化和沿面放电故障，可以使用电树脂注入修复技术，利用针口向曲线区域注入纳米绝缘漆，固化后可确保电缆的介电强度恢复到原值的90%以上。与此同时，电缆沟入口应设置湿度控制装置，保证湿度长期≤50%RH，同时加装除湿设备，降低水树生长概率^[5]。

(二) 开关与保护故障检修与处理

1. 故障检修

面向开关与保护的故障检修定位，可以通过如下步骤实现故障判断。第一，观察指示灯或是显示屏，确认是否正常工作，若出现错误信息或是异常闪烁，则可能存在故障。第二，检查连接线路，分析开关或保护装置同其他设备之间的连接线是否存在松动、断开或损坏。第三，对开关与保护装置上的功能按钮开展逐一测试，保证各功能可以正常响应与操作。在发现上述故障后，需进行进一步定位，先检查电源供应是否正常。随后，对信号传输进行检测，通过信号强度与质量的观察来判断是否存在故障。最后，开展数据分析，对开关与保护装置历史数据进行剖析，检查异常事件或数据，帮助定位故障点的具体位置^[6]。

2. 故障处理

水电站电气一次设备下，开关设备常见故障集中于断路器

拒分 / 拒合、隔离开关接触不良、开关柜局部放电。针对断路器拒分 / 拒合，可采用红外热像仪检测线圈的温度，确认是否≤75°C，若出现异常可以更换防潮型线圈。当出现液压机构压力骤降，可利用SF₆气体泄漏检测仪进行漏点定位，同时更换密封圈，重新打压至额定值。针对隔离开关接触不良，可使用激光测距仪检测触头插入深度，若不足90%额定行程需及时调整转动连杆^[7]。

保护装置常见故障包括继电保护动作故障、录波器数据异常。继电保护误动作问题，可使用变比组别测试仪进行CT变比校验，针对二次回路可以使用双绞屏蔽线且设置单端接地形式。与此同时，检修部门应安排技术人员每季度利用继电保护测试仪开展定值校验，确保动作值与整定值偏差≤3%。针对故障录波器数据异常，应检查GPS对时装置的信号强度，应确保强度≥4颗卫星锁定，针对误差>1ms情况需进行晶振模块校准^[8]。

(三) 变压器故障检修与处理

1. 故障检修

针对水电站变压器的故障检修主要集中于绕组故障检修、铁芯与套管故障检修。针对绕组故障，可以使用FRA-频率响应分析法对绕组幅频特性曲线进行测试，同时对比历史数据，若横向对比偏差≥3dB或是纵向对比偏差≥5%，则可判定出现绕组变形。同时，可采取低电压短路阻抗测试，测量绕组的直流电阻、阻抗电阻，识别匝间短路问题。此外，对于绕组绝缘老化检修，若油中糠醛含量>1.0mg/1L，聚合度DP<250，则可以判定纤维素已经裂化。对于铁芯与套管的故障检修，可以使用直流法来测量铁芯对地电流是否处于正常水平（正常<10mA），若超过50mA则应继续使用钳形电流表沿着油箱壁来探测环流路径。对套管可以使用红外热像仪来检测套管的整体温升情况^[9]。

2. 故障处理

对于变压器绕组轻微变形问题，可在吊芯后调整撑条的力矩，同时使用环氧树脂来固定绕组端部^[10]。严重短路故障如绕组损伤问题，需要将绕组进行整体更换，在绕制期间需严格控制导线的张力偏差<5%，层间绝缘厚度的公差满足±0.05mm。针对绕组绝缘老化，可以使用油浸纸绝缘再生技术，将2%含量的咪唑类化合物再生剂注入到绝缘绕组内，在50°C下循环处理超过48小时，可恢复绝缘聚合度达到400以上。绝缘纸更换期间，应采用真空干燥来有效消除水分，确保干燥后的绝缘电阻>10000MΩ。针对铁芯多点接地故障，可以在清除铁芯表面金属异物基础上修复接地片的焊接缺陷。此刻，应保证焊缝长度≥20mm，厚度≥3mm。针对套管渗漏故障，可以更换套管法兰密封圈，此刻优选氟橡胶材质，该材料耐温在-40°C~200°C之间，同时应将压缩量控制在15%~20%。

三、结束语

综上分析,本文针对水电站电磁一次设备的故障检修与处理技术进行详细探讨。重点围绕。电缆故障、开关与保护故障、变压器故障进行深度分析,继而形成系统化的故障检修与处理体

系。在借鉴本文研究成果同时,相关单位还应进一步探讨如何将人工智能、大数据技术同水电站电气一次设备的故障检修与处理实现进一步的融合,从而全面提升电气一次设备故障检修的智能化水平,降低人工操作误差,加快水电站智能化升级的脚步。

参考文献

- [1] 王治伟,王军.变电站一次设备状态检修方法研究 [J].电气技术与经济,2023,(10):74-76.
- [2] 陈道强.基于在线监测技术的变电站一次设备检修策略研究 [J].光源与照明,2023,(11):171-173.
- [3] 黄羽,张勋,王俊.水电站常见电气一次设备故障检修与故障处理研究 [J].机械工业标准化与质量,2023,(10):37-40.
- [4] 温宝春.电气一次设备状态检修的应用分析 [J].科技风,2023,(25):102-104.
- [5] 武发全.电气一次设备状态检修的运用 [J].自动化应用,2023,64(S1):62-65.
- [6] 张伟,郑仕轩,江钰娟,等.变电站一次设备在线监测数据诊断及运维检修 [J].科技与创新,2023,(11):114-116.
- [7] 杨竞帆.发电厂电气一次设备的状态检修策略分析 [J].集成电路应用,2023,40(05):216-217.
- [8] 李昂.水电站常见电气一次设备故障检修与故障处理方法 [J].水电与新能源,2023,37(04):75-78.
- [9] 万杰枫.变电一次设备中的故障检测与维护分析 [J].电子技术,2023,52(03):364-365.
- [10] 妮鹿菲尔·毛吾田.水电站电气设备运行维护与故障检修研究 [J].光源与照明,2023,(01):156-158.