

水电站电气设备故障应急处理方法研究

兰大伟, 柴俊岭, 汤建军

黄河水利水电开发集团有限公司, 河南 济源 459099

DOI:10.61369/WCEST.2025090004

摘 要 : 水电站作为国家能源供应体系的关键节点, 其电气设备的安全稳定运行直接关系到电网可靠性和社会经济发展。然而, 电气设备在复杂运行环境下不可避免会出现各类故障, 若应急处置不当, 极易引发连锁反应, 造成重大损失。因此, 深入研究高效、科学的应急处理方法具有重要现实意义。本文聚焦水电站核心电气设备故障, 系统梳理了常见故障类型及其特点, 深入剖析了故障应急处置过程中面临的技术性难点与非技术性挑战, 并基于现代技术手段与管理理念, 提出了涵盖设备状态实时监测预警、精准故障定位隔离、快速有效处置恢复以及全过程信息反馈优化在内的一整套具体、可操作的应急处理策略体系。

关 键 词 : 水电站; 电气设备; 故障应急; 状态监测

Research on Emergency Treatment Methods of Electrical Equipment Failure in Hydropower Station

Lan Dawei, Chai Junling, Tang Jianjun

Yellow River Water Conservancy and Hydropower Development Co., Ltd., Jiyuan, Henan 459099

Abstract : As a critical component of the national energy supply system, the safe and stable operation of electrical equipment in hydropower stations directly impacts grid reliability and socio-economic development. However, electrical equipment inevitably encounters various faults under complex operating conditions. Improper emergency response may trigger chain reactions, leading to significant losses. Therefore, developing efficient and scientific emergency management methods holds substantial practical significance. This paper focuses on core electrical equipment failures in hydropower stations, systematically categorizes common fault types and their characteristics, and analyzes technical challenges and non-technical obstacles in emergency response. Based on modern technological approaches and management concepts, it proposes a comprehensive and actionable emergency strategy system that includes real-time equipment condition monitoring and early warning, precise fault localization and isolation, rapid and effective recovery measures, and optimized information feedback throughout the entire process.

Keywords : hydropower station; electrical equipment; emergency response; condition monitoring

引言

电力能源是社会运转的基石, 水电站凭借其清洁可再生特性在能源结构中占据重要地位。水电站电气设备, 包括发电机、变压器、开关设备、母线及继电保护装置等, 承担着电能生产、转换、输送与控制的核心职能, 其运行状态直接影响电站效能与电网安全。受设备老化、环境侵蚀、操作负荷、设计制造遗留问题等多重因素影响, 电气设备故障时有发生。一旦发生故障, 若不能及时、准确、高效地进行应急处置, 不仅可能导致设备严重损坏、电站停运, 甚至可能波及电网稳定, 造成大面积停电等严重后果。因此, 构建一套科学、系统、快速响应的电气设备故障应急处理机制, 对于保障水电站自身安全、提升供电可靠性、维护社会经济秩序至关重要。

一、水电站电气设备故障概述

水电站电气设备种类繁多, 主要包含发电机(组)及其励磁系统、主变压器及厂用变压器、高压断路器和隔离开关等高压开

关设备、各种母线和电力电缆、继电保护和自动装置等。这些建立多年之后的水电站设备若长时间运行有可能发生的典型设备故障有发电机定转子绕组接地、匝间、层间短路、局部过热, 变压器油色谱异常或匝间、层间短路、线圈绝缘击穿, 断路器开断失

作者简介: 兰大伟(1989.03-), 汉族, 河南开封人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 水电站运行管理。

败、拒动、误动，电压互感器精度误差增大、绝缘降低，继电保护装置动作无选择性（误动）或拒动（不动），继电保护或自动化设备通信中断等^[1]。这些故障现象可表现为发电机（组）非正常报警和（或）部分功能失用，也可能是断路器跳闸、机组停运甚至全厂停电。明确故障的种类是设备故障后进行合理有效应急处置的先决条件，也是确保水电站安全运行的首要基础。



二、电气设备故障应急处置的难点与挑战

（一）故障快速精准定位与隔离的技术难点

对于已经发生的电气设备故障，首先要面临的即是发现故障、确定故障发生的位置并采取措施隔离故障，实现短时间内的安全有效运行。水电厂的电气系统复杂，各单元电气设备关系密切、信号多种多样，保护装置一旦动作，其动作信号也只能对故障的大致地点有所描述，不能精确到具体设备的某个单元或某一个部件，如母线保护动作既有可能是母线上任何一个设备发生的故障引起的，那么问题很大；除此之外，故障还可能是有隐蔽性的故障或具有间歇性的故障，如电气设备出现的少量放电、接触不良等情况，对这些情况进行正常的监测是很难实时监测到的^[2]。

（二）应急响应时效性与资源调配的挑战

生产设备出现电气故障突发、紧急的特点，造成应急反应应该力求及时，在实践中，由于人力反应滞后、信息传递障碍、过程审批繁杂、现场因素影响等，在紧急状况出现的情况下，却不一定能够有效地完成应急响应。运行值班人员应快速解读电气告警信息，分析判断故障类型、程度等，据此参照流程手册执行相关应急预案。当反应过程中信息传递环节太多、信息传递核心人员缺席时，往往会错过处置的黄金时间^[3]。此外，应急处置工作所需配合不同部门也常常不同，可能涉及到运行部分、检修部、物资部等，需要实现高效的“人力物力”调配及现场“应急备品、备件”等快速投入使用，以此确保电气设备故障应急处置工作过程的高效率开展。

三、水电站电气设备故障应急处理的具体策略

（一）强化设备状态实时监测与智能预警

做好故障预判和尽早发现是提高应急处置水平的前提基础。应全方位全天候状态监测主设备的关键监测点。发电机组在线监测

绕组发热及振动、局部放电情况；变压器在线监测油温和油色谱、绕组热点温度及铁芯接地电流情况；开关设备在线监测机械特性及分、合闸线圈电流、触头温度以及 SF6 气体密度情况；电缆在线监测接头温度及局放强度情况。利用红外成像、超声、超高频局部放电、油色谱在线监测等先进手段，结合各设备的运行电流、电压、功率、频率等，构建装置的数据采集体系^[4]。利用大数据技术构建设备状态评估模型及设备故障预测模型，对数据进行智能挖掘和判断。在监测数据超出正常范围或者状态劣化时，系统自动分级预警和通过语音、铃声、手机短信及工作站弹窗等方式实时推送至运维人员，并具备预测故障发生的部位和可能的故障类型等信息，为应急处置预留时间，变被动抢险为预先规避。



（二）构建精准高效的故障诊断与隔离处置流程

当发生故障后，应进行规范化、流程化的应急处置，运行人员按照故障报警信息、保护动作报告、故障录波图、监控系统画面变化进行第一判据判断，确认故障影响范围，紧急启用备用设备或转移运行方式，防止事故进一步扩大。后续利用保护装置动作时序、故障录波器记录的电压电流波形、事件顺序记录 SOE 等相关数据，结合在线监测系统提供的实时 / 历史数据进行联合作业^[5]，通过对故障电流特征、保护动作逻辑是否符合预期、故障发生前后故障设备的状态变化等分析进行联判，必要时采用专家系统或故障诊断辅助软件辅助进行推理确认，精确定位故障设备后严格执行电气安全规程，运用开关、闸刀等设备将故障点可靠地从系统中隔离，做好隔离操作的可靠性和人员安全防护。隔离以后仍然能够运行的设备加强监视，故障设备在确保安全的前提下，由专业检修人员带上专业仪器进行现场勘查、测试，进一步分析其故障发生的原因和损坏程度，做好修复的前期准备。

（三）实施快速恢复与持续改进机制

隔离故障设备后，重点就是迅速恢复供电或减小停电损失。根据受损设备状况、备用零部件供应和电网调度规定来决定最快的方式和办法恢复设备。如果是轻微损伤的设备可以迅速修复，就地调配技术队伍快速处理；如果是需要更换部件的，则利用配置的同一型备用部件进行更换，同时更换动作应规范快捷；主要设备严重受损，或难以在短时间内处理，应当采取临时旁路或通过临时接线，倒换运行方式等技术支持手段来尽可能地恢复供电，恢复动作后应实时监控相关设备的运行状态参数，确保系统

稳定。应急处理工作必须有完整的资料记录，包括故障状态、处理措施、处理耗时、参与人员、恢复效果等^[6]。事件过后必须召开事故分析总结会，找出故障发生的真正原因，评估应急预案及应急预案事件过程中的缺陷并进行改正。针对分析出的不足及问题，修改相应的应急预案和应急预案动作流程并补充相应的备用零部件或备品备件。

四、结束语

对于水电站电气设备故障的有效应急处置是确保电力安全运

行的重要组成部分，基于分析水电站电气设备故障的种类特性，直视应急处置方面定位和响应滞后等问题，在此基础上提出了加强设备状态监测预警、规范诊断隔离操作、健全快速恢复程序的有效手段，这些手段实施必须建立在状态监测技术的支撑、规范运行流程的基础上，在此基础上拥有专业性队伍的基础上。只有形成事前预防、事中监测、诊断、隔离、恢复、总结的完整闭环，从而确保水电站电气设备发生突发故障时，做到能够有效降低故障损失、保证电站自身安全及电网可靠运行，从而为社会经济的健康稳定发展提供源源不断的电力支持。

参考文献

[1] 张平. 水电站电气设备运行监测中的预防性试验分析 [J]. 中国科技纵横, 2025(1): 104–106.
[2] 张华宇. 水电站电气一次设备智能化技术探讨 [J]. 新潮电子, 2025(5): 109–111.
[3] 卢友. 水电站电气设备检修与运行维护现状及提升探讨 [J]. 电力设备管理, 2023(1): 38–40.
[4] 张发炽, 李祥汉. 水电站电气设备运维管理探析 [J]. 新潮电子, 2025(4): 172–174.
[5] 李小龙, 刘红旺, 王占清. 浅谈水电站电气设备的检修措施与故障处理 [J]. 水电站机电技术, 2024, 47(10): 126–129.
[6] 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(1): 156–158.