

水电厂继电保护故障分析与处理方法研究

苏继奉

龙滩水电开发有限公司，广西南宁，530000；

摘要：继电保护系统作为水电厂安全稳定运行的核心保障，其性能直接决定电力系统的供电可靠性。本文以水电厂继电保护系统为研究对象，首先阐述继电保护的核心作用与基本原理，随后结合实际运行数据，深入分析装置硬件、软件系统、外部环境及人为操作等维度的常见故障类型及成因。在此基础上，提出涵盖故障诊断流程、硬件修复、软件优化、环境管控及人员培训的全链条处理方案，并通过实际案例验证方法的有效性。研究成果为提升水电厂继电保护系统运行稳定性提供技术支撑，对保障电力系统安全具有重要现实意义。

关键词：水电厂；继电保护；故障分析

DOI：10.69979/3029-2727.25.11.088

引言

随着我国能源结构转型推进，水电装机容量与发电量持续提升。水电厂运行环境复杂，涉及多个关键设备，任一环节故障都可能引发大面积停电。继电保护系统是水电厂中枢神经，承担故障监测等职责，其可靠性关系到电力系统安全稳定。随着技术发展，水电厂继电保护系统从传统电磁式向微机型转变，实现集成化与智能化，但系统结构复杂化使故障类型多样、诊断难度增加。据国家能源局统计，开展继电保护故障分析与处理方法研究，精准定位故障成因并提出解决策略，已成为水电厂运维管理核心课题。

1 水电厂继电保护系统的核心功能与基本原理

1.1 核心功能

水电厂继电保护系统的核心功能体现在三个方面：一是故障监测，通过电压、电流、频率等传感器实时采集设备运行参数，精准识别短路、接地、过负荷等异常状态；二是故障切除，在故障发生后 50ms 内发出跳闸指令，隔离故障元件，防止故障扩大；三是状态反馈，将故障信息实时传输至监控中心，为运维人员提供故障定位依据。此外，继电保护系统还具备备用电源自动投入、故障录波等辅助功能，进一步提升系统运行可靠性。

1.2 基本原理

继电保护系统基于故障特征识别—逻辑判断—执行操作的工作原理运行。传统电磁式保护通过继电器的电磁感应实现参数对比，当运行参数超过整定值时，继电器触点动作触发跳闸。现代微机型保护则以单片机为核心，通过 A/D 转换器将模拟量转化为数字量，经软件

算法进行故障判断，具有动作速度快、保护精度高、功能扩展性强等优势。

无论是传统保护还是微机型保护，其设计均需满足四性要求：选择性，即精准切除故障元件，不影响非故障区域运行；速动性，快速动作减少故障损失；灵敏性，对轻微故障也能可靠响应；可靠性，正常运行时不误动，故障时不拒动。这四性是判断继电保护系统性能的核心指标，也是故障分析的重要依据。

2 水电厂继电保护系统常见故障类型及成因分析

结合某水电厂 2019 - 2023 年继电保护故障统计数据（共 87 起），故障类型集中在硬件、软件、外部干扰及人为因素四方面，占比分别为 42%、23%、21%、14%。以下对各类故障表现及成因分析：

2.1 硬件故障：核心部件老化与质量缺陷

硬件故障常见，涉及传感器等核心部件，表现为参数采集异常等。成因有三：一是部件老化，水电厂环境与高负荷使部件加速老化，如 CT 绝缘层老化、继电器触点磨损，运行超 10 年装置故障发生率是新设备 3.7 倍；二是制造质量缺陷，部分国产低端部件有工艺瑕疵，某水电厂曾因继电器触点材质不达标频发误动故障；三是安装工艺问题，接线松动等会使回路接触电阻增大，如发电机保护装置曾因接线端子松动误动跳闸。

2.2 软件故障：程序缺陷与数据异常

微机型保护装置普及使软件故障占比上升，表现为程序死机等，严重时导致保护装置拒动或误动。成因包括：一是程序设计缺陷，未考虑水电厂复杂场景致程序有逻辑漏洞，如某水电厂机组甩负荷试验时过电压保护

误动；二是软件升级不当，未按流程操作会损坏程序文件，2022 年某水电厂因升级断电致 3 台机组保护程序瘫痪；三是数据存储异常，EEPROM 存储芯片使用久会读写错误，强电磁干扰也会使数据传输误码。

2.3 外部干扰：环境因素与系统耦合影响

水电厂环境易产生外部干扰，干扰源有电磁干扰、温湿度波动、振动冲击及电网谐波等。电磁干扰是主因，发电机等设备产生强电磁场干扰信号采集回路，如高压开关柜操作使保护装置 CPU 复位；温湿度波动影响设备性能，湿度高会腐蚀线路板，高温使 CPU 散热不良；水轮机振动使接线松动，电网谐波干扰信号采集。

2.4 人为因素：操作失误与维护缺失

人为因素故障占比低但后果严重，包括运维人员操作失误、维护流程不规范、专业技能不足等。操作失误如误碰装置等，某水电厂运维人员校验时短接回路致发电机保护误动跳闸；维护缺失指未按周期巡检、校验，如某水电厂未维护电池致装置停电时无法工作；专业技能不足使运维人员难判断故障成因，延长处理时间。

3 水电厂继电保护故障处理的核心方法与实施流程

3.1 故障处理的基本原则

继电保护故障处理需遵循安全优先、快速定位、精准处理、预防为主的原则。首先，故障发生后需立即切断故障区域电源，防止人身伤害及设备进一步损坏；其次，通过故障录波、监控数据等信息快速定位故障点，避免盲目操作；再次，根据故障类型选择科学的处理方法，确保处理效果；最后，在故障处理后进行总结分析，完善预防措施。

3.2 故障诊断的核心技术方法

精准诊断是故障处理的前提，目前常用的诊断方法包括：

一是直观检查法。通过目测、耳听、手摸等方式检查设备外观，如观察线路是否烧损、继电器触点是否氧化、指示灯是否正常，听设备运行声音是否异常，摸部件温度是否过高。该方法适用于简单硬件故障的初步判断。

二是仪器测试法。利用万用表、示波器、继电保护测试仪等专业设备，对电压、电流、电阻等参数进行精准测量，判断部件性能。如使用继电保护测试仪模拟故障信号，检测保护装置的动作逻辑是否正确；使用示波器检测电源模块输出电压是否稳定。

三是数据分析法。通过保护装置的故障录波数据、监控系统的运行日志，分析故障发生前后的参数变化，定位故障成因。如通过故障录波数据中的电流突变时间，判断故障发生时刻；通过电压波形畸变情况，分析是否存在电网谐波干扰。

四是智能诊断法。基于大数据与人工智能技术，构建继电保护故障诊断模型，通过学习历史故障数据，实现故障类型的自动识别与成因判断。某大型水电厂引入 AI 诊断系统后，故障诊断准确率从原来的 78% 提升至 92%，诊断时间缩短 60%。

3.3 不同类型故障的针对性处理方法

针对前文分析的四类故障，需采取差异化的处理方法：

（1）硬件故障处理。对于老化部件，需立即更换同型号、同规格的合格部件，如更换腐蚀的端子排、磨损的继电器触点；对于制造质量缺陷导致的故障，需联系厂家进行退换货，并更换为优质部件；对于安装工艺问题，需重新紧固接线、处理氧化端子，确保回路接触良好。更换部件后需进行参数测试，确保符合运行要求。

（2）软件故障处理。对于程序设计缺陷，需联系软件开发厂家提供补丁程序，进行软件升级；对于软件升级不当导致的故障，需重新安装正确版本的程序，并严格按照升级流程操作；对于数据存储异常，需更换损坏的存储芯片，恢复备份的整定值与程序文件。软件处理后需进行逻辑校验与带负荷测试，确保程序运行正常。

（3）外部干扰处理。针对电磁干扰，需加强保护装置的屏蔽措施，如在装置外壳加装金属屏蔽罩、将信号电缆改为屏蔽电缆，并优化接地系统，确保接地电阻小于 4Ω ；针对温湿度波动，需升级通风除湿设备，安装温度控制系统，将保护装置运行环境温度控制在 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，湿度控制在 40%-75%；针对振动冲击，需在保护装置底部加装减震垫，定期检查内部接线紧固情况。

（4）人为因素故障处理。对于操作失误引发的故障，需立即纠正错误操作，恢复设备正常状态，并对相关人员进行批评教育；对于维护缺失问题，需完善维护管理制度，制定详细的巡检、校验计划，如每月进行一次外观检查、每季度进行一次参数测试、每年进行一次全面校验；对于专业技能不足，需加强人员培训，定期开展微机型保护装置操作、故障诊断等专项培训，提升运维人员专业水平。

3.4 故障处理的标准化实施流程

为确保故障处理高效、规范，需建立标准化实施流

程:

第一步,故障报警与初步判断。保护装置发出故障信号后,运维人员立即到现场,通过直观检查法初步判断故障类型,如观察装置指示灯状态、有无异常气味等,并向监控中心反馈初步情况。

第二步,安全隔离与数据采集。切断故障区域电源,设置安全警示标识,防止无关人员进入;同时采集故障录波数据、运行日志、设备参数等信息,为精准诊断提供依据。

第三步,精准诊断与方案制定。结合仪器测试法、数据分析法等技术手段,确定故障点与成因,制定针对性的处理方案,明确处理步骤、所需工具及注意事项。

第四步,故障处理与效果验证。按照处理方案实施故障处理,如更换部件、软件升级等;处理完成后,通过继电保护测试仪模拟故障信号,验证保护装置动作逻辑是否正确,确保故障彻底解决。

第五步,记录归档与预防改进。详细记录故障发生时间、成因、处理过程及效果,建立故障档案;同时分析故障产生的深层原因,完善预防措施,如优化维护计划、升级设备等。

4 实际案例分析

某中型水电厂(总装机容量 120MW)于 2023 年 6 月发生发电机保护装置误动故障,导致 1 号机组突然停机,影响区域电网供电稳定性。以下结合本文提出的方法,对该故障进行分析与处理。

4.1 故障概况

2023 年 6 月 15 日 14 时 20 分,1 号机组保护装置发出过电压保护动作信号,随即机组跳闸停机。现场检查发现,机组实际运行电压为 10.5kV(额定电压 10kV),未达到过电压保护整定值(12kV),判断为保护装置误动。

4.2 故障诊断过程

首先,通过数据分析法调取故障录波数据,发现故障发生前 10ms,电压信号出现瞬间畸变,随后恢复正常;其次,使用示波器检测保护装置的电压采集回路,发现电压变送器输出信号存在高频干扰;最后,通过直观检查法发现,电压变送器与保护装置之间的信号电缆未采用屏蔽电缆,且靠近高压开关柜,受电磁干扰影响较大。综合判断,故障成因是外部电磁干扰导致电压采集信号

异常,引发保护装置误动。

4.3 故障处理措施

根据故障成因,采取以下处理措施:一是将电压采集回路的普通电缆更换为屏蔽电缆,并做好屏蔽层接地;二是在保护装置输入端加装电磁干扰滤波器,降低高频干扰影响;三是调整信号电缆走向,远离高压开关柜等强电磁干扰源。

4.4 处理效果与改进措施

故障处理完成后,通过继电保护测试仪模拟不同工况下的电压信号,保护装置均能准确判断,无误动现象;连续运行 1 个月内,1 号机组保护装置运行稳定。为预防类似故障,该水电厂对所有机组的保护装置信号电缆进行全面排查,将未采用屏蔽电缆的回路全部更换,并制定了屏蔽电缆接地维护规范,每季度检查一次接地情况。

5 结论

水电厂继电保护故障类型多,主要成因有硬件老化、软件缺陷、外部电磁干扰和人为操作失误,其中硬件故障占比最高,要重点关注核心部件运行状态。故障处理遵循精准诊断、差异化处理原则,结合直观检查法、仪器测试法、数据分析法等技术手段,快速定位并有效处理故障,同时建立标准化流程,提升处理效率与规范性。实际案例显示,针对外部电磁干扰等常见故障,采取屏蔽优化、接地改进等措施,可提升保护装置运行稳定性,减少误动、拒动故障。随着水电厂智能化提升,继电保护故障处理将向预防性维护、智能化诊断发展。未来重点开展两方面工作:一是构建基于物联网的继电保护状态监测系统,实时采集部件运行参数,提前预警故障;二是深化人工智能技术应用,建立多维度故障诊断模型,提升故障识别准确率与自动化水平,保障水电厂安全稳定运行。

参考文献

- [1]徐德锦.探讨电气工程继电保护的故障与处理方法研究[J].中国科技期刊数据库工业 A,2024(003):000.
- [2]张伋.电力系统继电保护故障分析与处理措施探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2016.
- [3]杨天成,夏新燕.城市污水处理厂供配电系统可靠性方法研究[J].建筑工程技术与设计,2017.