

Research on Operation Faults and Treatment Strategies of Relay Protection Devices in Hydropower Plants

Yi Liu

Guizhou Wujiang Hydropower Development Co., Ltd. Suofengying Power Plant, Guiyang, Guizhou, 550215, China

Abstract

The reliable operation of relay protection devices in hydropower plants serves as a critical component for ensuring power system safety and stability. Addressing frequent failures encountered in practical applications, this study systematically analyzes the mechanisms and characteristics of two primary causes—device malfunctions and external interference—and proposes an operational status identification method based on electrical parameter anomaly detection and online monitoring. At the fault mitigation level, key technical principles including rapid isolation, self-diagnosis/self-healing capabilities, and redundant configuration are explored. From an operational maintenance perspective, optimization strategies for setting value verification, condition-based maintenance, and data analysis are introduced. Finally, technical measures to enhance overall reliability of protection devices are discussed, focusing on interference resistance improvements, intelligent application integration, and personnel skill enhancement, aiming to provide systematic references for ensuring safe operation of relay protection systems in hydropower plants.

Keywords

hydropower plant; relay protection; operational faults; fault handling; reliability

水电厂继电保护装置运行故障与处理对策研究

刘毅

贵州乌江水电开发有限责任公司索风营发电厂，中国·贵州 贵阳 550215

摘要

水电厂继电保护装置的可靠运行是保障电力系统安全稳定的关键环节。针对实际运行中保护装置频发的各类故障，本文系统分析了装置本体故障与外部干扰两大诱因的机理与特征，阐述了基于电气量异常识别与在线监测的运行状态辨识方法。在故障处理层面，探讨了快速隔离、自检自愈及冗余配置等关键技术原则。进一步地，从运维管理角度，提出了定值校核、状态检修及数据分析优化策略。最后，从抗干扰改进、智能化应用及人员技能提升等方面，论述了提升保护装置综合可靠性的技术措施，旨在为水电厂继电保护的安全运行提供系统性参考。

关键词

水电厂；继电保护；运行故障；故障处理；可靠性

1 引言

水电厂属于电力系统的关键形成局部，其运行稳定性会直接左右电网的安全水平。继电保护装置是捍卫设备安全的第一层屏障，其可靠性十分关键。但由于水电厂有独特运行环境、设备存在老化现象、系统变得复杂等多种因素，保护装置在运行时常常会发生误动、拒动之类的故障，危及发电和供电的安全。因此，深入探究水电厂继电保护装置的运行故障原理，并给出对应的解决办法，具备重要的实际操作价值。本文从故障产生的原因、状态的判别、处理的准则、运维方面的优化以及可靠性的加强这五个层面，构建起一个系统的分析和应对框架，为改善水电厂继电保护运行状况提

供理论上的支持。

2 水电厂继电保护装置运行故障类型与成因分析

2.1 装置本体故障特征与成因

装置本体故障属于继电保护失效的关键内部因素，其会体现为硬件老化、软件逻辑存在误差以及元器件性能变差等方面。从硬件角度看，水电厂长期处于潮湿又多尘的环境当中时，其保护装置里的插件、电源模块以及出口继电器等部件极易发生触点氧化、电容鼓包或者焊点虚接之类的状况，进而导致装置的采样精度降低或者逻辑判断失误。就软件而言，要是嵌入式系统的程序出现了跑飞现象、定值区未能正常切换或者是通信协议栈陷入死锁情况，也有可能引起保护装置的功能被关闭。装置内部的抗干扰设计存有不够之处，当开关执行操作或者遭受雷击过电压之时，也许会产生

【作者简介】刘毅（1990-），男，中国贵阳人，本科，工程师，从事水电厂二次继电保护研究。

瞬时干扰侵入,从而导致CPU复位或者出现数据错误。这种故障具备隐蔽性较强、偶发率较高的特性。

2.2 外部系统干扰因素与影响机制

外部系统干扰可能是引发保护装置异常动作或者损坏的关键外部因素。水电厂的电磁环境十分复杂,特别是发电机出口断路器、励磁系统以及高压配电装置在运行过程中会产生暂态过电压和高频电磁场,这些情况通过空间辐射或者二次电缆传导,很容易耦合到保护装置的输入回路当中。如果电流互感器二次回路出现开路现象,或者电压互感器二次回路接地不良,不但会造成测量数据发生偏差,而且有可能引发谐振过电压,从而直接击穿保护装置的输入端口。直流电源系统的纹波系数如果超出标准范围,或者存在电压波动以及接地故障,那么就会导致保护装置的逻辑混乱不堪、出口发生误动作,甚至使装置因为供电异常而彻底失去电力供应,失去其应有的保护功能。

3 继电保护装置运行状态辨识与预警方法

3.1 基于电气量的异常特征识别

分析保护装置所采集的电气量特征,能够有效识别其运行状态是否异常。针对电流、电压、频率以及相位角这些关键参数展开即时对比和趋势分析,就可以察觉到由通道增益改变、互感器传变特性变差或者采样不同步造成的测量偏差。如果采样值不符合物理量的实际变化规律,如谐波畸变率突然增大、负序分量异常增多或者非工频分量一直存在,那么可以初步判定保护装置内部的采样回路或者算法可能存在潜在问题。利用高频暂态分量的特征,还可以分辨外部故障干扰和保护装置内部故障,从而做到对装置健康状况的预先警报,为后续的判断提供依据。

3.2 运行状态在线监测与预警机制

构建完备的在线检测体系,乃是达成保护装置状态感知的关键所在。通过即时采集并上传保护装置的自检信息、开入开出量状态、通信报文响应时间以及装置环境温度湿度等参数,形成起立体度的状态检测数据库。按照动态阈值及趋势预测算法构建装置健康度考量模型,一旦关键指标脱离正常区间或者发生突变,便会自动发出警报信号。此机制可把事后消极等待维修转为为事前积极给予警示,从而让运维人员及时知晓装置性能下降的趋势。如果再加上全站统一的时钟同步信息,可精准地把不同装置之间的告警事件联系起来,实现故障的精准定位与原因追溯。

4 典型故障处理原则与关键技术

4.1 快速隔离故障的配合策略

保护装置若出现故障,关键原则在于快速隔离故障点,阻止事故进一步恶化。就保护装置本身的故障而言,可采用出口回路逻辑闭锁并结合硬压板投退的方法,尽快断开与此装置相对应的断路器或者发出警报信号,免除装置误动作影响到整个系统。至于保护装置拒绝动作的情形,则要凭借后

备保护或者断路器失灵保护,按照预先设定好的配合时间与范围,择机隔离故障设备。在制订策略时,务必充分考量各级保护之间的协同关系,使得在装置故障退出或者性能存在异常的时候,系统仍然保留最基本的故障清除能力,确保电网得以稳定运行。

4.2 保护装置自检与自愈技术

现代微机保护装置大多具备诸多自检与自愈功能,属于加强装置运行可靠性的关键举措。其自检功能会随时监测装置的CPU状况、ROM/RAM存储区域、采样通道、开出回路以及电源模块这些重要部分,只要察觉到异常就会立刻封锁保护出口,并发出警报,从而阻止装置在有问题的情况下继续运行。而自愈技术依靠软件看门狗、硬件复位电路以及多余系统切换等方法,当装置受到干扰或者出现瞬时性故障的时候,可以自动回到正常的运行状态。针对通信中断或者逻辑死锁这种能够被修复的故障,装置无需重新启动整个机器,就能够自动重新启动相关的进程或者切换到备用通道,这样就能大幅缩减故障持续的时间。

4.3 备用保护与冗余配置原则

要想提升保护设置的容错能力,在水电厂那些关键设备比如发电机组、主变压器以及联络线之类的地方,最好是采取双重化或者余量设置方案。双重化设置就是说两套独立的保护装置,它们之间的电气回路、电源、互感器二次绕组以及出口跳闸回路都是完全分开的,哪怕哪一套装置停止工作或者出现故障,另外一套装置还是可以独自承担起主要保护的任务。余量设置重点关注的是保护功能在物理上彻底分离,防止因为直流电源、交流输入或者通信网络相互关联而造成事故影响加剧。经过合理安排备用保护,既可以解决单个装置出现问题的情况,又给保护装置的带电检查和替换创造了可能,从而突出优化了系统的整体稳定性。

5 运维管理与检修策略优化

5.1 保护定值整定与校核管理

保护定值的准确性和合理性是保障保护装置正确动作的核心所在。定值整定时要严格按照电网短路计算结果以及设备参数来执行,还要充分考虑到水电厂运行方式的改变情况,比如机组的启停、线路的投切以及检修状态等,以保证定值在各种工况之下都能符合选择性、灵敏性和速动性的要求。定值校核运作应当形成起全生命时段的循环体系,覆盖定值计算、审查、下达、输入、核对以及定期检查等各个环节。每当系统参数有所更改或者设备经过改造之后,就要再次校核定值单,并借助定值比较软件或者现场传动实验去证实它的准确性,防止由于定值出现差错而引发保护发生误动或者拒动现象。

5.2 检修周期优化与状态检修

在水电厂的实际运行中,应用继电保护装置可以满足全程参与的要求,对电力系统实现在线监督。对于继电保护

装置而言,其本身具有可靠性和灵活性的优势。所以,在电力系统运行环节要科学监督其工作状态,在故障发生之后能够及时地发出相应的警示数据和信息,另外,通过远程技术的合理使用,能够让后续的检查与管理工作顺利开展下去。通过综合考量保护装置的自检报告、运行工况、家族缺陷历史以及在线检测数据,来科学评定装置的健康状况及其使用寿命。针对那些状态良好、运行稳定的装置,可以酌情延长检修时间,把更多的资源集中在状态变差或者本身就潜藏故障的设备上。状态检修重点在于构建精确的设备状态评价模型,融合运行经验与可靠性理论,从而确定理想的检修时间点和项目,以做到检修效益的最大化,并减小由于人工检修操作带来的额外风险。

5.3 运行数据分析与故障追溯

运行数据对于改善运维策略、防止故障再次出现非常关键。建立保护信息系统来集中保护装置的动作报文、告警信息、故障录波以及运行日志,并执行关联分析,可以深入探寻设备的运行规律。运用大数据分析技术,找出相同类型装置存在的共性问题或者特定工况下易发生的故障模式,从而给设备选择、技术改造以及定值改良给予数据支持。故障追溯的时候,每次保护动作或者装置出现异常之后,都要完整地重现故障经过,分析原因并且制订解决办法,形成起从故障产生一直到闭合回路解决为止的完整管理体系,不断汇集运维经验,加强应对故障的能力。

6 提升继电保护可靠性的技术措施

6.1 抗干扰与电磁兼容改进

提高保护装置的电磁兼容性能,是保证其在恶劣电磁环境下稳定运行的关键所在。当处于装置设计阶段时,要重视电源滤波、输入输出隔离以及多层印刷电路板的布局情况,以此来改善装置对于传导干扰和辐射干扰的抑制能力。而在执行工程的时候,则需按照规定对二次回路实施布线,严格把住强电与弱电电缆之间的界限,利用屏蔽双绞线,并确保屏蔽层能够得到可靠的接地处理,从而缩减干扰耦合的途径。加强对直流电源系统的管理,设置符合标准的直流屏,而且定时对蓄电池组以及充电模块的各项指标展开检测工作,确保供电电压稳定、纹波系数达标,从源头消除因电源质量问题引发的保护装置异常。

6.2 智能化保护装置应用

智能化变电站技术持续发展,数字化保护装置在水电厂的应用变得越发普遍。智能化保护装置用光纤过程总线取代传统电缆连接,从物理层面规避了二次回路多点接地、感应干扰等老问题。它具有自我描述、自动建模以及

在线设置的功能,极大地简化了现场调试和守护工作。基于 IEC61850 标准的通信机制,达成了保护装置同智能一次设备、测控装置之间信息的有效共享,为执行高级保护算法和广域保护控制提供了基础。智能化装置的状态监测信息更多,可以更精准地体现设备的健康状况,利于开展预测性维护。

6.3 运维人员技能提升与标准化作业

人的因素对于继电保护的运行守护而言具有决定意义。加强运维人员的专业素养属于保障装置可靠性的关键软实力所在。需形成起常态化的培训机制,并结合水电厂保护装置自身特性,围绕保护原理、装置操作、故障分析以及新设备应用等方面展开专门培训,从而优化运维人员识别异常现象的能力及其应对紧急情况水平。推广标准化的作业流程,就保护定检、定值调整、装置更换以及故障解决这些主要业务来说,制订细致的操作规范和风险预先控制办法很有必要。通过严格遵照标准化作业来缩减由于人为差错造成的保护误动作或者设备毁坏事件,从管理和人员两方面稳固安全基础。

7 结语

水电厂继电保护装置若要安全运行,就关乎发电设备和电网的稳定性。本文针对其运行故障及其解决对策展开探讨,涉及五个层面,即故障成因、状态判别、解决技术、运维守护以及可靠性优化。分析显示,装置自身老化以及外部环境属于主要故障源头,准确判断状态并发出警报乃是防止故障发生的要点。在应对故障时,要综合利用快速隔离、自愈技术以及多余设置等手段。从运维守护来讲,应朝着以状态检查和数据推动的精准化守护方向去发展。通过改善抗干扰性能、采用智能技术并加强人员能力,切实加强保护装置整体运行的可靠性。该研究可为水电厂继电保护的安全管理提供有益参考。

参考文献

- [1] 王治全.继电保护中的隐秘故障诊断分析[J].集成电路应用,2023,40(07):162-163.
- [2] 陈俊.水电厂继电保护和励磁新技术的应用探索[J].水电与抽水蓄能,2022,8(01):2-3.
- [3] 杨胜利,徐在林,程世俊,等.基于数字动模技术的保护定值现地校核研究[J].中国新技术新产品,2021,(17):51-54.
- [4] 高凡,柏文珺,李宁.基于数据统计的水电厂设备运行分析[J].水电与新能源,2021,35(08):44-47.
- [5] 王文学.水电厂继电保护装置的影响因素及改进研究[J].智慧城市,2021,7(02):25-26.