

大型火电机组差动保护误动原因分析及防范措施

温士又

贵州织金平远清洁能源有限责任公司, 贵州 毕节 552100

DOI:10.61369/ME.2026070034

摘 要 : 大型火电机组差动保护作为发电机及主变设备的主保护, 承担着快速切除机组内部故障的核心任务, 保护动作的稳定性直接关系到机组并网安全与电网供电质量。当前, 多数火电机组已参与深度调峰运行, 机组启停频繁、负荷波动幅度大, 复杂的暂态运行工况极易引发差动保护的非正常动作。保护误动不仅会造成机组非计划停运, 推高机组运维成本, 还会干扰区域电网的负荷平衡。本文结合火电机组实际运行工况, 系统梳理差动保护误动的各类诱发因素, 分析运行工况、设备性能、回路配置、整定逻辑等多个维度存在的问题, 并结合现场运行实际提出针对性防范优化措施, 可有效降低火电机组继电保护系统的误动概率, 提升火电机组继电保护系统的运行可靠性与稳定性。

关 键 词 : 大型火电机组; 差动保护; 保护误动; 继电保护

Analysis of Causes of Differential Protection Malfunction in Large Thermal Power Units and Preventive Measures

Wen Shiyu

Guizhou Zhijin Pingyuan Clean Energy Co., Ltd., Bijie, Guizhou 552100

Abstract : As the main protection for generators and main transformers, the differential protection of large thermal power units undertakes the core task of quickly cutting off faults within the unit. The stability of the protection action directly affects the grid connection safety and power supply quality of the unit. Currently, most thermal power units have participated in deep load shedding operation, with frequent unit startups and shutdowns and large fluctuations in load. The complex transient operating conditions are prone to cause abnormal actions of the differential protection. Protection malfunction not only leads to unplanned unit shutdowns, increases unit operation and maintenance costs, but also interferes with the load balance of the regional power grid. This paper, based on the actual operation conditions of thermal power units, systematically sorts out various inducing factors of differential protection malfunction, analyzes problems existing in multiple dimensions such as operating conditions, equipment performance, circuit configuration, and setting logic, and proposes targeted preventive and optimization measures based on actual on-site operation, which can effectively reduce the probability of protection malfunction in the relay protection system of thermal power units and improve the operational reliability and stability of the relay protection system of thermal power units.

Keywords : large thermal power units; differential protection; protection malfunction; relay protection

引言

新型电力系统建设过程中, 新能源机组并网规模不断增大, 传统大型火电机组逐渐承担起电网调峰调频的任务, 机组运行方式也由原来的稳态连续运行变为频繁启停、宽负荷波动的动态运行模式。机组启停过程中暂态电流、负荷快速变化的参数波动、电网侧谐波扰动都会对差动保护判别逻辑造成干扰。差动保护依靠两侧电流差值来判定故障, 判别阈值灵敏, 很容易受到各种暂态信号的影响而产生误判。由于保护误动导致机组跳闸造成的大规模损失以及电网安全问题凸显。对差动保护误动机理进行深入剖析, 构建起全方位的防范体系, 对于保证火电机组的安全稳定运行有着十分重要的实践价值。

一、大型火电机组差动保护运行原理与常见误动工况

(一) 差动保护基本工作原理

大型火电机组发电机与主变压器的差动保护均依托基尔霍夫电流定律实现故障判断。保护装置同步采集设备两端的电流信

号, 并计算电流矢量差值。在机组正常运行或设备外部故障工况下, 设备两端电流数值接近、相位一致, 差值电流处于极小范围内, 保护装置处于闭锁状态, 不触发动作。当设备内部发生短路故障时, 两端电流的平衡被打破, 差值电流持续增大并超出整定值, 保护装置即刻动作跳闸, 迅速切断故障设备, 避免故障范围

扩大造成设备损坏。

（二）机组启停暂态误动工况

机组启停阶段属于差动保护误动的高发时段，该阶段电气参数处在动态过渡时期。主变压器送电瞬间铁芯很容易发生饱和，产生幅值大、波形畸变的励磁涌流。涌流只出现在变压器的一侧回路中，不能形成电流平衡，会产生大量的假差动电流。发电机并网、解列时，由于励磁系统快速增减磁，会造成持续的暂态电流扰动。该类信号不是故障电流，但是会超过保护的判断阈值，造成无故障误动，是现场最常见的一种误动作情况。

（三）机组变负荷运行误动工况

机组深度调峰、大幅度变负荷过程中，有功功率与无功功率均快速变化，发电机输出电流会产生持续波动。负荷骤升骤降会引发电流波形瞬时畸变，导致设备两端电流采样出现瞬时失衡，产生短时差动电流。低负荷稳态运行时，系统信噪比会急剧下降，微小电气扰动即可改变电流平衡状态。常规保护整定方案无法适配宽负荷运行特性，难以有效规避负荷变化产生的干扰，容易引发灵敏性误动^[1]。

（四）电网与厂用电扰动误动工况

电网侧瞬时波动以及厂用电系统设备投切，都会间接造成差动保护误动。电网电压跌落、频率波动、邻近线路故障冲击，都会使并网线路将这些影响传送到发变组系统中，引起设备两侧电流瞬间变化。厂用电系统大型辅机启停、变频设备运行过程中产生的高频谐波，会对电流采样精度造成干扰，进而导致差动电流数值异常增大。该类外部扰动具有突发性，保护装置无法提前预判，极易引发误判动作。

二、大型火电机组差动保护误动核心原因分析

（一）励磁涌流干扰判别逻辑

励磁涌流是机组启动、停机过程中差动保护误动的主要原因。变压器铁芯磁通量不能瞬间变化，空载合闸时产生的涌流幅值可以达到额定电流的几倍。涌流波形有明显的间断角，谐波含量高，但是有些特殊工况下涌流波形接近故障电流波形。常规谐波制动和间断角判别的逻辑会存在识别盲区，不能完全分辨出涌流和真实的故障信号。保护装置为了保证故障灵敏度，制动裕度设置过小，造成启停阶段保护误动作。

（二）电流互感器采样特性失配

电流互感器采样性能不一致，是造成稳态工况下差动保护误动的主要原因。差动保护依托设备两端互感器的同步采样数据实现故障判断，若两端互感器的型号、饱和特性、精度等级存在差异，在相同一次电流作用下，二次输出电流会产生偏差。当互感器在高负荷下出现轻度饱和时，采样误差会进一步增大。经长期运行后，互感器铁芯会发生老化，参数也会出现漂移，导致两端采样差值不断累积，进而产生稳定的虚假差动电流，该电流逐渐超过保护动作定值后，最终引发保护误动。

（三）二次回路运行状态异常

二次回路隐性缺陷会造成电流采样失衡，引发保护误动。二

次接线端子松动、氧化锈蚀会导致回路接触电阻不稳定，造成二次电流出现瞬时波动。电缆绝缘老化与水分侵蚀，都会改变电流的矢量特征，进而导致两端电流相位出现偏移。不同长度的二次电缆会形成差异化的回路阻抗，进一步增大采样偏差。此类缺陷无明显故障特征，常规巡检难以发现，若长期存在会持续产生虚假差动信号，最终造成保护重复性误动。

（四）保护定值与制动参数不合理

保护定值与制动参数整定存在较大误差，会大幅降低保护装置的抗干扰能力。绝大多数机组的保护定值均以额定稳态工况为基准整定，未考虑调峰运行与频繁启停工况对保护定值的影响，定值裕度偏小。比率制动系数、谐波制动系数设置不合理，无法有效闭锁暂态扰动信号。部分机组上下级保护定值配合不当，动作阈值与时限存在交叉重叠。参数匹配失衡会导致保护装置无法正确区分正常扰动与真实故障，轻微的电气波动即可触发保护误动作^[2]。

三、差动保护误动典型现场故障案例分析

（一）机组并网主变差动保护误动案例

660MW 火电机组多次在并网瞬间出现主变差动保护误动，不能正常启动。从故障录波数据可知，保护动作时刻没有短路故障特征，电流波形有明显的涌流特征，谐波含量比正常高。现场排查发现，保护装置谐波制动系数设置偏大，对于低频涌流分量的制动作用不大。变压器长时间停运会产生剩磁，使铁芯饱和程度加重，涌流幅值一直超标。由于多种因素造成保护装置把涌流当成故障电流，触发跳闸动作，制动参数优化后故障彻底消失。

（二）深度调峰发电机差动保护误动案例

在1000MW 机组进行深度调峰的时候，经常会出现差动保护瞬时误动的情况。故障时段机组负荷迅速改变，电流波形略微有点失真。现场试验检测出发电机两端电流互感器的饱和程度不一样，存在较大的差异。低负荷时采样误差比例增大很多，两端电流差值大于保护动作阈值。原有的保护定值不能适应低负荷运行工况，灵敏度过高造成扰动误动。根据以上数据分析可知，在调整保护定值、更换参数匹配的互感器后，机组调峰工况运行过程中未再发生保护误动情况。

（三）二次回路缺陷引发重复性误动案例

600MW 机组厂变差动保护无规律地频繁误动，没有明显的工况关联特征。经分段测试二次回路参数可知，部分接线端子氧化锈蚀，回路接触电阻一直有波动。二次电缆局部绝缘老化产生微小漏电，使两端电流矢量一直偏移。常规试验不能发现这些隐性的缺陷，造成保护反复误动^[3]。对二次回路进行全方位的整治、紧固端子、更换老化电缆之后，回路采样的平衡得到恢复，保护运行状态稳定。

四、抑制差动保护误动的针对性防范技术措施

（一）优化涌流识别与制动逻辑

对保护装置涌流判别算法进行针对性优化，改进谐波制动和

间断角判别的逻辑。根据机组实际涌流波形特点，对谐波制动系数进行精细化整定，提高对励磁涌流的识别闭锁能力。增加新的暂态时序识别机制，对机组启停瞬间出现的短时间畸变电流做延时判定，将故障电流和暂态涌流分开。优化比率制动特性，增大制动区间，在保持故障动作灵敏度的基础上，消除启停工况扰动对制动的的影响，彻底解决由于涌流引起的误动问题。

（二）统一电流互感器采样性能

全面检查发变组系统两侧电流互感器设备状态，更换老化的、失准的或者特性不匹配的互感器。统一互感器型号、精度等级和负载参数，使两端设备的采样响应特性一致。进行互感器伏安特性、比误差、角误差专项试验，严格控制采样误差。根据高低负荷不同工况对采样校核进行修正，得到正确的采样偏差参数。采用硬件统一适配，从源头上消除由于采样失衡造成的虚假差动电流。

（三）全面整治优化二次采样回路

开展二次回路全覆盖专项整治，消除各类隐蔽缺陷。逐段紧固全部接线端子，更换氧化锈蚀端子与老化导线，保障回路接触电阻稳定。对二次回路开展全面绝缘电阻试验，更换受潮或损坏的电缆，防范漏电引发的安全风险。统一二次电缆的敷设规格与长度，实现回路阻抗均衡，消除电流相位偏移。规范布线方式，采用动力电缆与控制电缆分层布置方案降低现场电磁干扰，保障采样信号的稳定性与准确性。

（四）精细化优化保护定值参数

摒弃传统的单个稳态整定方式，按照机组的全部工况运行特性来重新计算定值。考虑机组启停、深度调峰、负荷波动等各种工况，提高保护定值裕度。对发电机和主变保护制动参数做差异化的整定，细化动作阈值和延时。建立上下级保护阶梯式时限配合系统，防止越级跳闸和误判。定值优化完成之后进行全工况模拟试验，保证故障工况可靠动作，正常工况有效闭锁^[4]。

（五）升级保护装置软硬件设备

对老型号的保护装置做迭代升级，更换性能衰减的采样和运算模块。更新保护核心算法，加入多参量融合判别模式，用稳态电流、暂态波形、谐波分量综合来判断故障状态。改善装置硬件的电磁屏蔽效果，符合现场各种复杂电磁场的要求。提高数据采样频率和运算速度，增强微弱故障信号和扰动信号的分辨能力，全面提升保护装置在复杂工况下的运行稳定性。

五、差动保护长效稳定运行的运维管理措施

（一）建立全工况精细化校验机制

改进继电保护定期试验制度，扩大试验项目和覆盖范围。除常规的传动试验之外，还要增加涌流模拟、负荷波动模拟、电磁干扰模拟等全工况试验。每季度做二次回路参数核查，每半年做互感器特性校核。机组启停、设备改造、系统方式调整之后，马上展开专项校验，及时纠正参数偏离和逻辑缺陷，实现隐患早发现、提早整治。

（二）规范机组变工况运行操作

建立机组启停、调峰的操作标准，缓慢控制励磁升降和负荷调节的速度。防止负荷突然增大或减小，防止励磁大幅度变化，减小暂态电流扰动的强度。在保护误动易发的时段增设专项参数监视工作，差动电流、谐波含量以及设备运行情况等全部都纳入到实时监测之中。通过改善运行操作来减小电气参数的波动幅度，从运行角度降低保护误动作产生的条件。

（三）完善故障录波数据分析复盘

建立保护异常事件专项复盘机制，对所有保护告警、瞬时异常、误动事件开展深入剖析。调取录波数据精准定位诱因，对涌流干扰、采样误差、回路缺陷、定值问题等故障进行分类统计。建立故障台账总结误动规律，针对不同场景提出差异化优化方案。通过数据复盘预判隐患，推动保护运维从事后处置向事前预防转变^[5]。

六、结论

大型火电机组差动保护误动，主要由机组启停、变负荷运行、电网扰动等工况引发，励磁涌流干扰、互感器采样失配、二次回路异常、定值参数不合理、装置软硬件滞后、运维疏漏均为主要诱因。各类隐患相互叠加，极易造成保护频繁误动，影响机组安全稳定运行。通过改进保护制动逻辑、提升设备采样一致性、整治二次回路、开展定值精细化整定以及升级软硬件设备，可有效防范差动保护误动发生。配套精细化校验、规范运行操作、数据复盘分析、人员技能提升的长效运维体系，能够持续提升差动保护动作可靠性，为大型火电机组安全经济运行提供有力支撑。

参考文献

[1] 秦正林, 陈学印. 新能源并网场景下火电机组发变组低频保护动态特性分析及改进研究 [J]. 自动化应用, 2025, 66(19): 57-59.
[2] 古栖铭. 火电机组热工保护可靠性研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64(18): 101-102.
[3] 秦贵林, 侯均明. 基于无线传感网络的火电厂发电机继电保护状态自动监测方法 [J]. 自动化应用, 2024, 65(12): 77-78.
[4] 罗丽佳. 火电机组厂用6 kV电动机FC回路保护整定计算分析 [J]. 山西电力, 2025(6): 68-72.
[5] 康敏. 火电厂大型发电机继电保护整定设计与故障分析 [J]. 电气技术与经济, 2023(9): 325-327.