

火电厂继电保护二次回路常见故障及排除

张宏毅 殷卓良 王嘉攀 赵新宇 石聿萌

北方联合电力有限责任公司达拉特发电厂 内蒙古鄂尔多斯 014300

摘要: 本文针对火电厂继电保护二次回路的常见故障展开系统性分析,结合达拉特发电厂多期机组技术特点,从回路组成、故障机理、诊断技术及排除流程四个维度展开研究。重点探讨CT/PT回路开路/短路、直流接地、寄生回路等典型故障的成因及影响,提出基于智能监测与动态调试的故障排查方法,为大型火电机组继电保护系统的可靠性提升提供理论支持与实践指导。

关键词: 火电厂; 继电保护; 二次回路; 故障诊断; CT/PT回路; 直流接地; 智能监测

引言

达拉特发电厂作为蒙西电网核心电源点,涵盖33万千瓦亚临界、60万千瓦超临界及100万千瓦超超临界机组,其继电保护系统的稳定性直接关系到电网安全。随着机组容量升级与国产化设备占比提高,二次回路复杂度显著增加,CT/PT回路开路、直流接地等故障频发,导致保护误动或拒动风险上升。本文以该厂五期100万千瓦机组为例,结合全国产化DCS系统应用背景,深入分析二次回路故障机理,提出针对性解决方案。

一、火电厂继电保护二次回路基础概述

1. 二次回路组成与功能

火电厂继电保护二次回路是保障一次系统安全运行的核心支撑,其构成与功能高度集成且分工明确。该回路主要由直流电源系统、交流采样回路、控制信号传输网络及保护逻辑执行单元构成。直流电源系统为继电器、跳闸线圈等设备提供稳定工作电压,确保保护装置在故障瞬间可靠动作;交流采样回路通过CT/PT将一次系统的高电压、大电流转换为弱电信号,经滤波、模数转换后输入保护装置,为故障判断提供实时数据;控制信号传输网络则负责将保护逻辑单元的跳闸/合闸指令准确传递至断路器机构,其抗干扰能力直接影响动作时序;保护逻辑执行单元基于差动、过流、零序等算法对采样数据进行分析,当判定故障时迅速驱动执行机构隔离故障点。各模块间通过电缆、端子排、继电器等元件紧密耦

合,形成“测量-逻辑-执行”闭环体系,任何环节的异常均可能导致保护误动或拒动,因此需通过绝缘监测、六角图校验等手段持续验证其可靠性。

2. 继电保护装置工作原理

火电厂继电保护装置以“精准感知-快速决策-可靠执行”为核心工作逻辑,其核心在于实时捕捉一次系统异常并精准隔离故障。保护装置通过CT/PT将一次侧电流、电压信号转换为低电平模拟量,经抗混叠滤波后由高精度ADC芯片转换为数字信号,此过程如同将“强电流信号”转化为“可计算的数字语言”。逻辑判断单元基于预设算法对采样数据进行实时分析,例如差动保护通过比较各侧电流矢量和判定区内故障,距离保护利用阻抗轨迹判断故障位置,过流保护则通过阈值比较识别过载工况,其原理类似“通过多维度数据交叉验证故障真实性”。当判定故障成立时,保护装置立即输出跳闸信号,驱动断路器分闸线圈动作,切断故障电流,此环节需确保动作时间小于电网允许的最大耐受时限(通常为毫秒级),如同“在火灾蔓延前切断电源”。为防止误动,装置内置冗余校验、闭锁逻辑及出口压板,确保仅在多重条件满足时触发动作,其可靠性直接决定电网的抗扰动能力。

二、常见故障类型及机理分析

1. CT回路故障

火电厂CT回路故障是继电保护系统中的高风险隐患,其故障类型与影响呈现多维度特征。CT二次侧开路时,电流互感器铁芯因失去二次负载而深度饱和,一次侧电流全部转化为励磁电流,导致铁芯磁通密度骤增,二次绕组感应出数千伏高电压,此电压可能击穿绕组绝缘层,引发端子排间拉弧放电,烧毁附近电缆及设备,

作者简介: 张宏毅(1998.12——),男,汉族,内蒙古自治区包头市人,本科学历,助理工程师,主要从事电气工程及其自动化方面的研究工作。

同时伴随高频噪声与绝缘焦糊味，运行人员若误触带电端子将面临电击风险；开路还会导致保护装置因电流采样值为零而拒动，例如变压器差动保护无法识别区内匝间短路，故障电流持续冲击绕组，可能引发绝缘油分解、瓦斯继电器动作，甚至导致主变烧毁。二次侧短路时，短路电流可达数百安培，熔断器瞬间熔断或空气开关跳闸，保护装置因失电退出运行，若熔断器选型不当或未及时熔断，短路电流将烧毁CT二次绕组，高温可能引燃电缆绝缘层，扩大事故范围；短路故障还可能触发直流系统接地告警，干扰其他保护逻辑，例如误发“控制回路断线”信号，导致运行人员误判。故障诊断需结合保护装置告警信息、端子放电痕迹及绝缘测试数据，例如使用2500V兆欧表检测二次回路绝缘电阻，若低于 $10M\Omega$ 则需排查电缆破损或端子氧化问题；带负荷测试时，若发现电流相位偏差超过 5° 或幅值偏差超过10%，则需检查CT极性或接线正确性。预防措施包括定期紧固端子排螺丝、采用防松脱接线端子、在CT二次侧加装开路保护器，以及在试验后恢复接线时双人核对，确保回路完整性。

2. PT回路故障

火电厂PT回路故障对电力系统安全运行威胁显著，其故障类型多样且影响广泛。PT回路断线是常见故障之一，可分为一次侧断线和二次侧断线，无论哪种断线都会使PT二次回路电压异常。一次侧断线时，若全部断线，二次侧电压全无且开口三角也无电压；若不对称断线，对应相二次侧无相电压，不断线相二次电压不变，开口三角有电压。二次侧断线时，PT开口三角无电压，断线相相电压为零。PT回路故障会导致保护装置电压量偏差，影响距离保护、带方向闭锁以及含低电压启动元件的过流保护正确动作，还可能使计量装置计量数据不准确，影响测量电压量的准确监测。例如，某电站监控系统报10KV线路TV告警事件，查看保护装置显示C相电压降至0.58KV，其余两项电压无波动，TV告警无法复归，经数据分析怀疑C相高压熔丝熔断，检修后确定C相熔丝熔断，更换后C相电压恢复正常。处理PT回路故障时，需根据继电保护和自动装置有关规定退出有关保护，防止误动作，检查高、低压熔断器及自动开关是否正常，如熔断器熔断应查明原因并立即更换，还要检查电压回路所有接头有无松动、断头现象，切换回路有无接触不良现象。

3. 直流回路故障

火电厂直流回路故障是威胁继电保护可靠性的关键

因素，其故障类型与危害具有隐蔽性与突发性。直流一点接地时，回路对地绝缘电阻下降但未形成短路，初期可能仅引发监控系统“直流接地”告警，若未及时处理，当另一点接地时将直接导致严重后果：正极两点接地可能使跳闸线圈误带电，触发断路器无故障跳闸，造成机组与系统解列；负极两点接地则可能使保护出口回路短路，断路器拒动，故障电流持续冲击设备，扩大事故范围至相邻母线或变压器。直流环网故障表现为不同直流母线因接线错误形成并联供电，导致两组蓄电池组并联充放电，加速电池老化，且环流可能引发熔断器熔断，造成保护装置失电。直流寄生回路则因设计或施工缺陷，使控制信号通过非预期路径传输，例如断路器合闸指令通过照明回路形成通路，导致合闸线圈长期带电烧毁。故障排查需结合绝缘监测装置告警信息、拉路法定位接地支路，并使用万用表测量环网电压差，同时核查设计图纸与实际接线一致性。

4. 隐性故障

火电厂继电保护隐性故障具有隐蔽性强、危害潜伏期长的特点，其表现形式多样且难以直接察觉。寄生回路问题常因施工接线错误或设计遗漏产生，例如控制电缆备用芯线两端未做绝缘处理，在电磁干扰下与运行回路形成耦合通路，导致断路器分合闸指令异常触发，或使保护装置采样信号混入干扰电压，造成测量值波动。绝缘薄弱环节多由环境因素引发，如电缆中间接头密封失效导致潮气侵入，绝缘电阻逐步下降至兆欧级临界值，常规测试难以发现，但在雷击过电压或系统短路冲击下可能发展为永久性接地故障，引发直流系统失电或保护装置误动。元件性能劣化则表现为长期运行后的隐性缺陷，如继电器触点镀层磨损导致接触电阻增大，分合闸指令传输时延增加，故障时断路器动作时间超出整定值；或压板螺钉松动引发接触不良，保护出口信号传输中断，导致拒动风险。此类故障需通过回路阻抗普查、红外热成像检测端子排温升异常、以及对比同类型设备动作特性差异等手段综合排查，并结合历史故障录波数据挖掘潜在关联性。

三、故障诊断与排除技术

1. 常规检测方法

火电厂继电保护常规检测是保障系统可靠性的基础手段，其方法覆盖电气性能、机械状态及逻辑功能等多维度验证。绝缘电阻检测通过2500V兆欧表测量二次回路对地及相间绝缘，需在停电状态下逐段测试，重点排查电缆中间接头、端子排及设备接线盒，若绝缘值低于

10MΩ 则需进一步定位绝缘破损点；直流电阻测试采用双臂电桥测量CT/PT绕组、控制回路及跳闸线圈电阻，对比出厂值偏差超过2%即需核查接线松动或匝间短路；交流耐压试验以2kV/min速率升压至2kV并维持1分钟，观察泄漏电流是否突变，可发现绝缘介质局部缺陷。回路完整性验证需结合图纸核查实际接线，使用通灯或万用表逐点测试通断性，重点检查CT二次侧开路保护器、PT并列装置切换触点及直流控制回路熔断器上下口导通性；带负荷测试通过六角图分析电流相位与幅值，确认CT极性、变比及接线正确性，需在机组满负荷工况下采集三相电压电流数据，计算差流值是否小于整定值的5%。此外，保护装置自检功能需定期验证，模拟故障触发保护动作，检查出口继电器接点闭合时间、信号继电器掉牌及中央信号系统告警信息，确保动作逻辑与信号传输无误，同时核查定值单版本与装置实际参数的一致性。

2. 智能诊断技术

火电厂继电保护智能诊断技术融合大数据分析与人人工智能算法，实现对设备状态的实时感知与隐性故障的精准定位。基于SCADA系统与故障录波器的海量数据，通过时序特征提取技术解析电流电压波形畸变规律，例如利用小波变换识别CT二次侧开路时高频暂态分量，或通过傅里叶分析捕捉PT断线引发的谐波含量异常。机器学习模型构建故障特征库，将保护装置动作日志、绝缘电阻测试值及环境温湿度等多元参数作为输入，训练随机森林算法区分正常状态与寄生回路、绝缘老化等隐性缺陷，模型准确率经历史数据验证可达92%以上。深度神经网络在带负荷测试数据解析中展现优势，通过卷积层自动提取六角图相位偏差特征，结合长短期记忆网络(LSTM)分析电流幅值长期漂移趋势，可提前30天预警CT二次绕组匝间短路风险。智能诊断平台集成知识图谱技术，将设备拓扑结构、保护逻辑关系及历史故障案例关联存储，当监测到直流回路两点接地告警时，自动关联该回路供电范围、熔断器配置及过往接地事件，快速定位故障支路并生成检修策略。

3. 典型故障排除流程

故障发生时，运行人员首先通过监控系统报文与保护装置面板指示灯确认故障类型，例如直流感地告警需调取绝缘监测装置显示的接地支路编号，CT断线则检查保护装置采样值是否归零或异常波动，同时记录故障发生时刻的负荷工况与操作记录，为后续分析提供时间

关联线索。现场检查阶段，检修人员需双人核对图纸与实际接线，使用万用表测量CT二次侧电阻、PT开口三角电压及直流回路对地绝缘，发现CT二次侧开路时立即在端子排处短接并断开一次侧电流，防止铁芯过热；若为直流两点接地，采用拉路法逐段断开直流馈线支路，结合绝缘监测装置实时数值变化锁定故障点，重点排查端子箱、机构箱等潮湿环境下的接线端子。故障定位后，针对CT开路需更换同规格绕组并重新核相，直流接地则修复破损电缆或更换锈蚀端子排，处理过程中需全程录像并记录拆接线顺序，确保恢复时无遗漏。修复完成后，通过带负荷测试验证电流相位与幅值，模拟故障触发保护动作检查出口继电器接点闭合时间，同时核对保护定值与整定单一致性，确保逻辑正确性。最终形成故障分析报告，包含故障现象、处理过程、暴露问题及改进措施，并更新设备台账与历史故障库，为后续运维提供参考。

结论

火电厂继电保护二次回路故障的精准诊断与快速排除是保障机组安全运行的核心。通过强化CT/PT回路绝缘监测、优化直流系统防潮设计、应用智能诊断技术，可显著降低故障发生率。达拉特发电厂五期机组国产化DCS系统的成功应用表明，技术自主化与故障排查标准化是提升继电保护可靠性的关键路径。未来需进一步研究寄生回路动态建模与绝缘老化预测技术，以适应高参数机组运维需求。

参考文献

- [1] 王欣. 火电厂继电保护二次回路存在的问题及其优化措施[J]. 电气技术与经济, 2024(9): 369-372.
- [2] 李冬. 火电厂继电保护二次回路常见故障及排除[J]. 仪器仪表用户, 2023, 30(8): 88-90.
- [3] 李曼. 火电厂继电保护二次回路隐患及排查技术探讨[C]// 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(二). 2024.
- [4] 陈宏伟, 胡高斌, 刘洲, 等. 发电厂继电保护二次回路的检修策略分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(1): 144-145.
- [5] 简孟康. 发电厂继电保护二次回路的检修策略分析[J]. 电脑爱好者(普及版)(电子刊), 2023(8): 2783-2784.