

火电厂继电保护二次回路 隐患及排查技术研究

高 宁

(北京国电电力有限公司上湾热电厂, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

摘 要 火电厂继电保护二次回路对于电力系统的良好运行有重要影响。二次回路系统架构复杂, 存在电流互感器、电压互感器、直流控制、信号跳闸等回路隐患。基于此, 本文阐述了火电厂继电保护二次回路的系统架构和隐患分类, 探讨了二次回路隐患形成机制, 详细分析了火电厂继电保护二次回路隐患排查技术, 包括预防性排查、在线监测、离线诊断、智能算法辅助等, 并提出了具体的隐患治理预防策略, 旨在对保证二次回路安全可靠有所裨益。

关键词 火电厂; 继电保护; 二次回路隐患; 排查技术

中图分类号: TM62; TM77

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.010

0 引言

在当今社会中, 电力需求持续增长, 火电厂是能源供应的重要主体, 其安全稳定运行非常关键。继电保护二次回路是火电厂中的重要组成部分, 承担着信号传递、保护动作触发等职责。但是, 由于二次回路结构复杂、元件众多、长期运行中容易受到环境、设备老化等因素的影响, 因而面临诸多隐患。以往火电厂二次回路隐患排查主要依靠人工检测, 效率较低。因此, 要深入探索隐患形成机制和高效排查技术, 提升火电厂运行安全性。

1 火电厂继电保护二次回路系统架构及隐患分类

1.1 二次回路系统架构

火电厂继电保护二次回路是保障电力设备安全稳定运行的核心系统, 其架构主要包括功能模块和关键设备, 形成完整的信号采集、处理、执行链条。其中, 交流电压/电流回路是数据源头, 通过电流互感器、电压互感器将一次系统高电压、大电流转换为二次侧标准信号, 为保护装置提供判断依据。直流控制回路依靠继电器、端子排等设备触发保护动作。信号回路负责将设备状态和故障信息转化为可视化信号, 辅助运维人员定位问题。跳闸回路关联断路器分合闸, 将故障快速隔离。各模块经由连接线缆交织成网, 任何环节异常都可能引发保护误动或拒动。其中互感器精度衰减、继电器触点老化、端子排接触不良、线缆绝缘破损等, 都是二次回路常见的硬件隐患点。

1.2 二次回路隐患分类

火电厂继电保护二次回路隐患可根据不同标准进行分类, 为风险层级和特征识别提供依据。按照故障类型划分, 短路会导致保护装置误动或拒动, 影响系统安全; 开路会使信号传输中断, 保护功能失效; 接触不良会引发测量误差或动作不稳定, 增加误判风险; 寄生回路可能形成非预期路径, 干扰正常逻辑; 接地异常可能造成信号失真或设备损坏^[1]。从设备层级上划分, 元件级隐患涉及电流互感器、继电器等单体设备老化或损坏; 回路级隐患源于端子排松动、线缆破损等连接问题; 系统级隐患表现为多回路交互冲突或保护逻辑缺陷。按时间维度划分, 瞬时性隐患多由于电磁干扰、操作过电压等因素引发; 累积性隐患是由于长期运行导致绝缘劣化、接触电阻增大等。

2 火电厂继电保护二次回路隐患形成机制

2.1 电流互感器回路隐患

电流互感器回路隐患的形成主要与设备特性、运行环境、安装工艺相关。其中, 开路风险是一个典型的隐患, 当电流互感器回路意外断开, 铁芯磁通密度升高, 在二次绕组两端会感应出数千伏高电压, 可击穿绕组绝缘, 给运维人员带来触电威胁。分流问题来源于多点接地或接地不良, 如果电流互感器二次回路存在 2 个及以上接地点, 地网电位差会引入干扰电流, 导致测量值偏离真实值, 使差动保护等依赖电流比对的装置误判故障。质量缺陷是隐患发生的内在原因,

如果互感器本体励磁特性不合格,例如饱和点设计偏低,在区外故障大电流冲击下,容易提前进入饱和区,二次电流波形畸变,保护装置无法正确识别故障方向,最终引发误动作,威胁系统稳定运行。

2.2 电压互感器回路隐患

电压互感器回路隐患一般是由于二次侧运行状态、复杂特性、保护逻辑等因素影响而形成。其中最常见的风险是二次回路断线,当回路发生断线时,熔断器未能及时熔断,会使二次电压骤降甚至归零,使依赖电压信号的保护装置因失压而闭锁或误动,同时计量回路数据中断,从而影响运行分析。断线故障一般是由于接线松动或电缆破损造成的,如果开口三角绕组断线,零序电压无法正常输出,就会导致接地保护拒动,扩大故障范围。而普通相电压断线,则可能使距离保护测量阻抗失真,误判故障距离^[2]。非线性复杂谐波电流注入会引发二次电压波形畸变,保护装置采样到谐波分量,可能造成距离保护误动或方向元件判断错误,在系统振荡时加剧保护误动风险。

2.3 直流控制回路隐患

直流控制回路隐患的形成机制主要与电源管理、环境适应性、绝缘性能等因素相关。其典型风险源之一是寄生回路,当不同控制回路直流电源由于设计缺陷或施工错误发生交叉混接,就会形成非预期导通路径。例如:在断路器合闸回路和跳闸回路间产生寄生通路,在无操作指令时断路器也可能自动分合闸,影响系统稳定运行。绝缘劣化一般是因环境因素造成的,例如端子箱、控制柜密封不良,在潮湿和粉尘环境下容易发生直流回路绝缘电阻下降,在单点接地情况下可能只触发警告信号。但如果发展为两点接地,地网电位差会引入干扰电流,使保护装置误判为电流故障,进而触发断路器误跳闸。绝缘材料老化或机械损伤,也会加速绝缘性能衰减,需要注意。

2.4 信号跳闸回路隐患

在信号跳闸回路隐患中,信号传输延迟是一个主要的风险因素。其中光耦元件是信号隔离和传输的核心部件,在长期运行后容易因发光二极管衰减或光敏晶体灵敏度下降,导致信号转换时间延长。当保护装置发出跳闸指令时,光耦传输延迟超过断路器分闸时间裕度,就会造成故障切除失败,扩大事故范围。跳闸线圈烧毁是由于出口继电器触点故障引发的,如果继电器触点因电弧灼伤、机械磨损、弹簧失效而出现粘连,就会使跳闸回路持续通电,线圈过热烧毁,断路器无法分闸。另外,触点粘连也会引发直流系统短路,

进一步威胁控制回路安全。此类隐患需要定期检测光耦参数、继电器触点状态和跳闸线圈绝缘性能,结合动作时间测试提前识别风险。

3 火电厂继电保护二次回路隐患排查技术

3.1 预防性排查技术

预防性排查技术是采用主动检测的手段提前发现隐患,避免故障扩大。可采用红外热成像检测技术,利用红外辐射原理对端子排、连接线缆、继电器等关键部件进行非接触式温度扫描,定位接触不良、过载、局部放电引起的发热异常。例如:端子排虚接时接触电阻增大,热成像图显示局部高温区域,便于及时处理。实行绝缘电阻测试,采用兆欧表对直流控制回路和信号回路施加直流电压,测量绝缘电阻值,如果低于标准值,表明绝缘劣化,需进一步检查原因^[3]。引入回路电阻测试,使用微欧计测量跳闸回路、电流互感器二次回路等关键路径的直流电阻,对比初始值,判断是否有连接松动或导线断裂。例如:回路电阻突然增大,可能是端子电压接触不良造成,需要重新紧固或更换接线。

3.2 在线监测技术

引入数字孪生技术,以二次回路三维模型为核心,借助物联网技术将物理设备的电流、电压、温度等运行参数实时映射到虚拟模型,形成数字镜像。运用 SCADA 系统采集实时数据,与模型预设基准值做动态对比,当继电器动作时间、端子排温升等回路参数偏离阈值时,系统可自动触发告警,将异常点定位到具体设备或回路段。建立智能传感器网络,分布式部署温湿度传感器、振动传感器、霍尔电流传感器等,对关键部件实行全生命周期监测。具体在端子箱内安装温湿度传感器,当湿度超标时联动加热器除湿。在跳闸线圈处布置振动传感器,捕捉触电动作异常信号。采用电流传感器监测回路负载电流,预防过载发热。综合运用各项技术,形成状态感知、数据分析、隐患预警闭环体系。

3.3 离线诊断技术

离线诊断技术运用针对性测试和数据分析,能精准定位潜在隐患。例如:运用特定的技术方法验证电流/电压互感器二次回路相位关系,在断路器停电状态下,使用相位表同步采集三相电流、电压信号,绘制电压和电流的相位矢量图。对比理论相位差,能快速识别极性接反、回路串接等错误。在实际运行中,要求相位偏差不超过 $\pm 3^\circ$,幅值误差不超过 $\pm 5\%$,否则需要检测端子排接线或互感器变比设置^[4]。使用继电保护测试仪模拟各类故障状态,对保护装置进行

动作逻辑验证。测试时向保护装置输入预设的故障电流/电压值,记录其动作时间、返回系数等。如果动作时间误差超过 10 ms 或返回系数低于 0.9,说明装置存在定值偏差或元件老化问题,要结合装置日志进一步分析。

3.4 智能算法辅助排查技术

引入机器学习模型,基于历史故障数据提取电流突变、电压畸变、温升异常等特征参数,训练支持向量机分类器。采用交叉验证优化模型参数,对实时监测数据进行模式匹配,自动分类接触不良、寄生回路等典型隐患,并定位到具体回路段。例如:当检测到某支路电流周期性波动,同时伴随局部温升时,模型可判定为端子排接触不良,并生成检修优先级建议。还可引入专家系统,基于继电保护领域知识库,构建症状、原因、处置的推理规则体系。当输入直流接地告警、保护装置闭锁等隐患特征后,系统能正向推理匹配知识库中的案例,输出端子箱受潮、继电器触点粘连等可能原因,并提供烘干处理、触点更换等处置方案建议,辅助运维人员快速决策,提高排查效率和处置准确性。

4 火电厂继电保护二次回路隐患治理预防

4.1 设计阶段优化

在火电厂继电保护二次回路设计阶段,可从标准化、抗干扰两个方向优化,提高可靠性。在标准化设计中,遵循国际和行业规范,统一端子排编号规则、线缆标识颜色和接线工艺标准。例如:采用功能分区布局,将交流回路、直流回路、信号回路物理隔离,减少交叉干扰。端子排按电压等级分段设置,强电和弱电回路间距不小于 200 mm,加装隔离挡板。抗干扰设计针对电磁环境特点,在控制电缆外层增加金属屏蔽层并两端接地,抑制高频干扰。微机保护装置电源加装滤波器,消除电源纹波。二次设备室墙面敷设金属网并可靠接地,形成法拉第笼效应,屏蔽外部电磁场。优化接地系统设计,使用单点接地方式,保证保护装置工作地和屏蔽地分离,从源头降低隐患发生风险。

4.2 施工阶段管控

在施工环节采用工艺标准化和质量追溯体系,保障施工质量可控。要做到工艺标准化,制定详细的作业指导书,明确线缆敷设路径、弯曲半径、绑扎间距等关键参数。例如:控制电缆敷设时应保持最小弯曲半径不小于电缆外径的 6 倍,以免损伤绝缘层。接线工艺要求采用冷压端子并使用专用压接工具,确保接触

电阻低于 $50\ \mu\Omega$ 。对不同电压等级回路要使用专用接线工具,避免交叉污染。构建质量追溯体系,建立施工全过程数字化档案,采用二维码或 RFID 标签绑定电缆、端子排等设备信息,记录施工人员、时间、检测数据等关键信息。每道工序完成都要进行三级验收,验收数据实时上传到管理平台,实现质量问题快速定位和责任追溯,从施工源头的层面杜绝隐患的产生^[5]。

4.3 运维阶段管理

在运维阶段,应实行定期巡检和状态检修相结合,进而动态管控隐患。在定期巡检方面,要制定差异化巡检周期,针对端子箱和控制柜等易受环境影响的设备,每月开展 1 次外观和温湿度检查,对保护装置每季度进行 1 次采样值核对和逻辑功能验证。巡检过程中要记录端子排紧固状态、线缆绝缘老化情况、装置运行指示灯状态等,发现异常及时处理。在状态检修方面,基于在线监测数据和离线试验结果,对二次回路健康状态评分。例如:利用红外热成像检测端子排温升,结合历史数据预测接触不良风险。当状态评分低于阈值,自动触发检修工单,针对性开展回路电阻测试或继电器触点打磨。通过两种策略协同实施,能及时发现显性隐患并准确预判隐性故障,延长设备使用寿命。

5 结束语

火电厂继电保护二次回路隐患涉及设计、施工、运维的全生命周期,涵盖了电流/电压互感器、直流控制、信号跳闸等关键环节。对此,可采取预防性排查、在线监测、离线诊断、智能算法辅助技术等,实现隐患的早发现和精准定位。在治理预防方面,要从源头优化设计标准,强化施工工艺管控和质量追溯,并在运维阶段建立定期巡检和状态检修协同机制,进而为火电厂安全稳定运行提供保障。

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, 20(09): 369-372.
- [2] 陈宇洋, 白芸嘉. 继电保护二次回路缺陷故障及处理方案研究[J]. 光源与照明, 2024, 19(08): 72-74.
- [3] 章琦, 王宝山, 康金, 等. 继电保护电气二次回路隐患排查分析[J]. 电站系统工程, 2023, 39(04): 80-81.
- [4] 唐亚斌. 基于大数据技术的继电保护设备电气二次回路隐患排查方法[J]. 电器工业, 2024, 23(12): 68-71.
- [5] 费媛媛. 关于火电厂继电保护二次回路隐患排查技术探究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, 34(23): 38-40.