

继电保护设备电气二次回路隐患排查方法

张玲婕

(克州新隆能源开发有限公司, 新疆 克孜勒苏柯尔克孜 845450)

摘 要 继电保护设备电气二次回路的稳定运行对于电力系统的安全性至关重要。本文围绕电气二次回路中可能存在的隐患展开分析, 涵盖越级跳闸、元件损毁、接线接触不良及过载等问题, 详细探讨了隐患的表现形式、影响范围及成因; 针对隐患排查, 提出机械隐患、电气连接、信号传输及绝缘性能四个方面的排查方法, 阐述具体排查步骤、操作要点及技术参数, 旨在提供精细化的隐患识别手段, 提升继电保护设备电气二次回路的运行可靠性, 为电力系统的安全运行提供技术支持。

关键词 继电保护; 电气二次回路; 隐患排查

中图分类号: TM774

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.013

0 引言

继电保护设备电气二次回路在电力系统运行中承担信号传输、逻辑判断及故障响应等关键功能, 确保电网稳定性与设备安全性。复杂的回路结构、高密度接线及多种控制元件的应用, 使其易受环境因素、设备老化及电磁干扰的影响, 隐患具有潜伏性、累积性及突发性。电气二次回路一旦发生故障, 可能引发误动、拒动、越级跳闸或大范围停电事故, 危及输配电系统的安全运行。在现场运行环境中, 长期负荷波动、设备老化、振动冲击及电气干扰均可能导致接线端子松动、信号畸变及绝缘性能下降。继电保护系统的智能化、远程化发展趋势对二次回路的稳定性、抗干扰能力及检测精度提出更高要求, 全面深入的隐患排查技术研究成为确保继电保护设备高效运行的重要保障^[1]。

1 继电保护设备电气二次回路存在的隐患

1.1 越级跳闸隐患

越级跳闸是继电保护设备电气二次回路中常见的隐患之一, 其表象表现为保护设备在不应触发的情况下误动作, 直接导致保护系统在无需断电时进行跳闸^[2]。具体来说, 当电力系统内某一设备出现故障时, 继电保护设备应根据故障的性质和范围采取相应的保护措施。然而, 越级跳闸现象发生时, 保护设备不仅会错误地检测到故障, 而且可能触发对比故障设备更大范围的设备进行跳闸, 甚至会对上游设备或全系统造成影响。这一隐患往往会导致系统稳定性大幅下降, 影响设备的正常运行, 并可能导致电力中断, 引发供电事故。其产生原因多种多样, 包括设备长期运行导致的性能退化、接触不良、调试不当, 或者电气干扰引

起的错误触发。此外, 系统中的电气噪声、短路电流超标、电压波动等因素也可能导致继电保护设备误判故障, 从而引发越级跳闸。因此, 越级跳闸隐患不仅会直接影响电力系统的安全运行, 还会对设备寿命、维护成本及用户的供电稳定性产生重大影响。

1.2 元件损毁隐患

继电保护设备电气二次回路中, 元件损毁是导致故障频发的常见隐患之一。元件损毁可能体现在继电器、开关、断路器、接线端子等关键部件的老化、磨损、损坏等现象。当电气二次回路的元件发生损毁时, 会导致系统响应失灵或误动作。例如, 继电器的触点长期高频工作容易产生接触不良现象, 导致保护信号的失真或传递失败。此外, 断路器在高电流工作时可能发生电弧或磨损, 影响其开关性能, 延迟保护动作, 甚至导致无法跳闸。开关的机械磨损也可能导致接触不良、过热, 进一步引发设备故障。元件损毁的根本原因通常与电气二次回路长期运行所承受的高负荷电流、环境温度、湿度、腐蚀性气体等因素密切相关。设备的过度频繁启停、机械应力以及外部环境的不利因素都可能加速元件的老化或损坏。这一隐患的直接后果是保护装置的响应能力严重下降, 甚至失效, 无法有效保护电力系统免受故障影响, 造成设备损害, 甚至引发大规模的电力事故。

1.3 接线接触不良隐患

接触不良一般表现在电气连接端子的松动、腐蚀、接触表面不清洁等情况, 尤其是在长时间运行或环境恶劣的条件下更为明显。接触不良直接影响到电气回路的信号传输质量和电流的正常流动, 进而影响保护

设备的灵敏度和可靠性。具体来说,接线端子松动或氧化时,信号的传输效率会显著降低,甚至导致保护信号的完全丧失。电气回路中一旦出现接触不良,可能引发继电器误动作,造成跳闸或无法正常保护电力设备。接线接触不良常常由于设备安装不当、振动、温度变化及环境污染等因素引起。电气回路中长期存在接触不良现象,可能导致回路内部分元件电阻增大,从而引起元件过热、烧毁或故障。尤其是在高负荷运行或短路故障发生时,接触不良的影响尤为严重,可能引发更大范围的系统故障,甚至设备损毁,带来巨大的经济损失和安全隐患。

1.4 过载和过电流隐患

过载和过电流通常表现为电流超出设备或电路的额定范围,导致保护设备失灵或过度响应。继电保护设备需要监测电流值,并在电流超标时采取断电保护措施。然而,当电气二次回路中的电流超过预设的安全值时,设备过载或短路现象可能发生。在这种情况下,继电保护装置应及时识别并切断电流源,避免电气设备损坏。过载通常由线路设计不当、设备配置错误、负荷突然增加或电气回路中的故障引起。例如,在继电保护电气二次回路中,如果存在电缆过长、接线端子连接不良等问题,电流可能无法均匀分布,导致局部电流过大,产生过载现象,造成电气设备过热或损坏。过电流则可能由于电力系统中发生短路故障或设备性能不佳导致的电流骤增,进而使保护设备不能及时反应,导致设备损坏,甚至引发火灾等次生灾害。此类隐患通常由设计不合理、设备选型不当、系统调试错误等原因引发,后果往往是严重的,可能导致系统大范围停运,甚至造成设备长期停运和高额维修费用。

2 继电保护设备电气二次回路隐患排查方法分析

2.1 机械隐患排查

继电保护设备电气二次回路的机械隐患排查主要针对设备的固定状态、连接部件的紧固性、开关及继电器的机械结构完整性等方面展开^[3]。设备固定方式直接影响系统稳定性,检测时需使用力矩扳手对设备安装螺栓进行扭矩测试,确保螺栓紧固力符合设计规范,常见标准范围为 $20 \sim 50 \text{ N} \cdot \text{m}$,避免因长期运行引发设备松动、接触不良或信号传输中断。振动影响评估需借助三轴振动分析仪进行扫描,测量设备在工频 50 Hz 及高频谐振点上的振动幅值,确保在 0.1 g 以内,避免因设备运行振动导致紧固件松脱或机械部件错位。继电器、接触器的机械状态需重点检查,其触点磨损程度直接影响继电保护设备的信号传输质量。

检测时可采用显微放大设备对触点表面进行观察,分析是否存在烧蚀、积碳、熔化等异常现象,同时利用接触电阻测试仪测量触点电阻值,标准范围一般不超过 $100 \text{ m}\Omega$,若超出则需对继电器进行更换或清洁处理。弹簧张力需使用弹簧张力计进行测试,确保触点闭合压力在额定范围内,避免因弹簧疲劳导致接触不良或继电器误动作。

二次回路开关及端子的紧固情况需进行扭矩测试,使用电子扭矩扳手测量端子螺栓的紧固程度,确保数值符合设备规范,例如小型端子螺栓的紧固力矩通常在 $0.5 \sim 2 \text{ N} \cdot \text{m}$,大型端子可达 $5 \sim 10 \text{ N} \cdot \text{m}$,避免接触不良引发电阻增大,造成信号畸变或回路电流波动。接线端子检查时,可采用红外热成像仪扫描端子区域,判断是否存在异常发热点,若温度异常升高(超过 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$)则可能是接触电阻过大或紧固不良所致。抗震性能测试需使用加速度传感器进行振动分析,测量设备受力部位的振动频率与幅值,分析是否存在机械共振现象,确保结构稳固性,避免因长期振动造成端子松动或组件损坏。对于长期运行的设备,可结合运行记录分析其机械部件的老化情况,使用游标卡尺或测厚仪测量磨损程度,如继电器触点厚度小于原始规格的 80% 则需更换,确保机械部件的长期可靠运行。

2.2 电气连接与接触状态排查

继电保护设备电气二次回路的电气连接质量直接影响信号传输的稳定性和保护装置的可靠性,排查工作主要围绕接线端子、电缆连接质量、回路接触电阻等关键环节展开^[4]。接线端子的发热情况需采用红外热成像仪进行扫描,使用非接触式温度探测方法检测端子表面的温度分布,识别是否存在局部温升异常。接线端子正常工作温度一般不应超过 $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$,若测得温度高于 $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$,需进一步检查接触电阻和压接质量,以判断是否因接触不良引起发热。回路接触电阻的测试需使用微欧计或回路电阻测试仪进行测量,测量时在端子两侧施加规定测试电流(如 100 A 直流电流),读取电压降后计算电阻值,标准要求一般不超过 $500 \text{ }\mu\Omega$ 。接触电阻过大会导致信号衰减或回路电流不稳定,必要时可拆解端子,使用超声波清洗机或接触表面研磨工具清除氧化层后重新连接,并进行二次测试确保阻值恢复正常。

对于螺栓压接端子,需使用拉力计进行压接强度测试,施加逐步递增的拉力至额定标准值(例如 $10 \sim 30 \text{ N}$),确保导线与端子之间紧密连接,避免因振动或电流冲击导致端子松脱。插件连接器的端子接触压力需使用接触压力测试仪进行检测,测量插入力是

否在标准范围内（一般为 $1 \sim 3 \text{ N/mm}^2$ ），确保插接紧密，避免因接触压力不足导致信号传输不稳定。接线端子的绝缘性能检测需采用高压绝缘测试仪施加标准测试电压（如 500 V 或 $1\,000 \text{ V}$ 直流电压），测量泄漏电流大小，确保绝缘电阻值符合规范（通常大于 $10 \text{ M}\Omega$ ）。若发现泄漏电流超标或绝缘电阻下降，需进一步检查电缆绝缘层是否存在破损、老化、受潮现象，必要时使用绝缘介质分析仪测量绝缘层的介电强度，判断是否需要更换或修复绝缘层，以确保二次回路的绝缘状态符合技术要求。

2.3 信号传输与回路功能排查

信号传输质量直接决定继电保护设备的正确动作，排查工作需从信号幅值、相位、波形完整性及传输特性等方面展开。电压、电流信号的检测可使用示波器进行实时监测，观察波形是否存在畸变、突变、毛刺等异常现象。测量时，应使用高精度探头采集二次回路的交流电压、电流信号，设置适当的采样率（如 10 kS/s 以上），确保信号数据完整。谐波干扰分析需借助谐波分析仪测量基波及各次谐波含量，按照 IEC 61000-4-7 标准，对比各次谐波是否超出限值，例如 3 次谐波应低于基波的 5%，5 次谐波应低于 4%。信号传输链路的频率响应测试可使用矢量网络分析仪进行测量，将分析仪端口连接至二次回路的输入端和输出端，扫描 0 Hz 至 100 kHz 范围内的频率响应曲线，判断是否存在信号衰减、相移或共振现象。对于电流互感器二次侧回路，需采用二次负荷测试仪测量回路阻抗，施加标准测试电流（如 5 A 或 1 A ），测量输出端电压，计算回路总阻抗，确保数值在额定范围内，避免信号衰减或过载影响保护设备的精准动作。

远程控制及通信回路的信号强度测试可使用光功率计或射频测试仪，测量光纤通信链路的光功率衰减，确保损耗在 0.1 dB/km 以内，或测量无线通信的信号强度（RSSI），确保接收功率大于 -70 dBm ，以保证通信质量稳定。关键保护装置的逻辑正确性测试需采用标准信号源进行信号注入实验，在继电保护回路的输入端施加不同幅值、不同相位的标准测试信号（如额定 50 Hz 、额定电流 1 A 、额定电压 100 V ），观测保护设备的动作响应，记录动作延迟时间，确保响应时间符合技术规范。

2.4 绝缘性能与电磁干扰排查

电气二次回路的绝缘性能直接决定系统的安全运行，排查工作主要围绕绝缘材料老化、电缆绝缘破损、高频电磁干扰等问题展开。绝缘状态检测需采用绝缘电阻测试仪对二次回路各绝缘点进行耐压测试，通常

施加 500 V 或 $1\,000 \text{ V}$ 直流电压，测量绝缘电阻值，确保其符合设备标准，避免因绝缘老化导致的泄漏电流超标或短路现象^[5]。若绝缘电阻低于 $1 \text{ M}\Omega$ ，则需进一步检查电缆表面是否存在开裂、变色或受潮现象，并使用绝缘油耐压试验仪检测绝缘油的击穿电压，评估绝缘介质的衰减情况。

关键设备的绝缘缺陷检测需采用介电强度测试仪进行局部放电测试，在高压状态下测量放电量是否超出标准，判断是否存在电气击穿隐患。检测时，可在端子排、电缆接头及绝缘支撑部位布置高频电压传感器，监测放电信号频率，若发现放电信号峰值超过 50 mV ，则可能存在绝缘劣化问题，需进一步检查电缆或更换绝缘部件。电磁干扰影响分析需使用高频干扰分析仪测量二次回路周围的电磁环境，分析是否存在来自变压器、断路器、无线通信设备等的电磁辐射。通常，电磁干扰的安全阈值在 100 mV/m 以下，若测量值超过 200 mV/m ，需检查是否存在接地不良、屏蔽层损坏等问题，并使用接地电阻测试仪测量电缆屏蔽层的接地电阻，确保其不超过 $0.5 \text{ }\Omega$ ，以提高抗干扰能力。设备机箱的电磁屏蔽能力需使用射频屏蔽测试仪测量机壳的屏蔽衰减能力，在 30 MHz 至 3 GHz 频段内测试机壳的电磁屏蔽效果，确保衰减值在 30 dB 以上，以减少外部电磁波对继电保护设备的干扰，避免设备误动作或信号传输异常。

3 结束语

继电保护设备电气二次回路的隐患排查是确保电力系统稳定运行的关键。通过机械、电气、信号及绝缘性能的全面排查，能够及时发现并处理潜在问题，提升回路的可靠性和安全性。严谨专业的排查方法和技术手段可以为电力系统的持续稳定运行提供有力保障，有效预防故障发生，确保电力供应的稳定性。

参考文献：

- [1] 杨灿丽. 继电保护电气二次回路隐患排查分析[J]. 中国设备工程, 2024(23):145-147.
- [2] 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(12):68-71, 94.
- [3] 张瑞程, 申柯, 王书源, 等. 继电保护二次回路的维护策略分析[J]. 电子技术, 2024, 53(02):324-325.
- [4] 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, 84.
- [5] 陈伟钢. 继电保护设备电气二次回路隐患排查研究[J]. 光源与照明, 2022(07):128-130.