

Analysis of a misoperation event of 500kV main transformer protection caused by reversing the polarity of bushing CT

Ruihao Zhao

Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

This paper introduces a case where the polarity of the bushing CT circuit on the low-voltage side of a 500kV main transformer was reversed, resulting in a misoperation event of the main transformer differential phase motion protection when a fault occurred outside the zone. Through the analysis of the event process, the cause of the event is analyzed, and based on the lessons learned from the event, the analysis direction for improving a misoperation event of the 500kV main transformer protection caused by the reversed polarity of the bushing CT is explored. It is for domestic peers and sister units to learn from, exchange and draw on.

Keywords

500kV main transformer phase-change protection; CT polarity; out-of-zone protection action; preventive measures

一起因套管 CT 极性取反导致的 500kV 主变保护误动事件分析

赵睿昊

广东电网公司, 中国·广东 广州 510000

摘要

本文介绍了一起由于500kV主变低压侧套管CT回路极性取反, 导致在区外故障时, 主变分相差动保护误动事件, 通过事件经过分析事件原因, 根据事件教训探讨改进一起因套管CT极性取反导致的500kV主变保护误动事件分析方向, 供国内同行和兄弟单位学习交流和参考借鉴。

关键词

500kV主变分相差动保护; CT极性; 区外保护动作; 防范措施

1 故障经过

2023年6月19日14时07分20秒, 某双回500kV线路同时发生C相瞬时性接地故障, 线路开关跳闸, 重合成功。同一时刻, 该500kV变电站#2主变B套保护装置的分相差动保护动作, 跳开#2主变三侧开关。

2 故障分析

2.1 保护配置

该500kV变电站于2023年6月完成500kV#2主变保护改造工作, 其中B套保护配置分相差动保护, A套保护未配置分相差动保护, C套保护为非电量保护。

表 1

序号	装置名称	厂家名称	型号	投运时间
1	#2主变A套保护	南瑞继保	PCS-978T5-N	2023-06
2	#2主变B套保护	北京四方	CSC-326T5-N	2023-06
3	#2主变C套保护	北京四方	CSC-336C1N	2023-06

2.2 动作行为分析

#2主变仅有B套保护分相差动动作, 由B套保护动作报告可知A相分相差动电流为0.22A(二次值), 折算标么值为0.8Ie, 大于差动保护启动电流定值0.5Ie, 分相差动保护动作。#2主变A套保护无差流, 因此差动保护不动作。

2.3 原因分析

2.3.1 直接原因

改造后的#2主变B套保护装置(CSC-326T5-N)新配置分相差动保护功能, 使用高、中压侧开关CT及低压侧套管CT, 由于低压侧套管CT回路极性取反, 在区外故障时#2主变分相差动的差流值为0.22A(二次值), 折算标么值为0.8Ie, 大于差动保护启动电流定值0.5Ie, 分相差动保护动作, 造成#2主变跳闸。

【作者简介】赵睿昊(1989-), 男, 中国陕西宝鸡人, 本科, 工程师, 从事电气工程研究。

CSC-326T5-N 数字式变压器保护装置

说明书

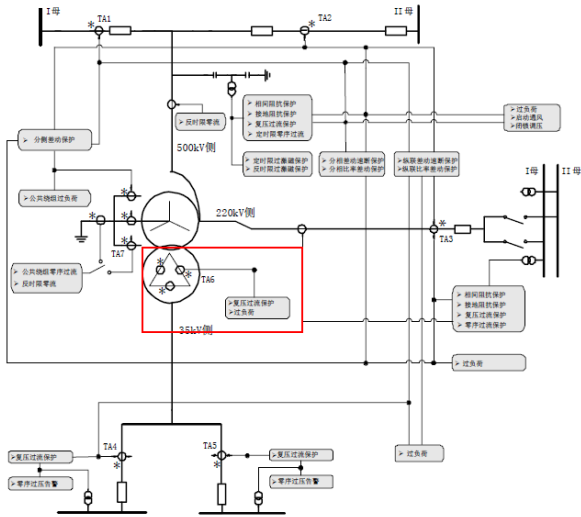


图1 CSC-326T5-N 典型应用示意图

对图1中各差动保护的保护功能和保护范围的说明:

- 1) 纵联差动保护: 由高压侧开关 CT1/CT2、中压侧开关 CT3、低压侧开关 CT4 和 CT5 构成, 其能反映变压器各侧的各类故障。由于差动回路中存在磁耦合关系, 所以设置励磁涌流闭锁判据。
- 2) 分相差动保护: 由高压侧开关 CT1/CT2、中压侧开关 CT3、低压侧套管 CT6 构成, 其保护范围为变压器内部绕组所有故障和高中压侧引线故障。由于差动回路中存在磁耦合关系, 所以设置励磁涌流闭锁判据。相比于纵联差动保护, 不存在 Y/Δ 转角关系、差流实现了真正的分相计算, 零序分量亦引入差动回路、差动电流的特性更真实, 从而使励磁涌流闭锁逻辑的判别可以变得更为清晰、简单。

#2 主变 B 套保护装置分相差动保护原理图

2.3.2 间接原因

(1) 设计人员错误理解 #2 主变低压套管 CT 铭牌的非常规标识, 导致施工图纸极性选择错误。

厂家 #2 主变低压套管 CT 铭牌标识不常规 (见图 2), 对于该铭牌中的“S1”“S2”的极性有两种理解: 第一种是按照国标《电流互感器 GB 1208--2006》“11.1.4 标有 P1、S1 的所有端子, 在同一瞬间具有同一极性”, 则尾端 CT 的“1S2”作为 3.1 端的同极性端; 第二种是基于从国标《电流互感器 GB 1208--2006》表 11 的图例中归纳出的“同极性端标注在同一侧”的理解, 则尾端 CT 的“1S1”作为 3.1 端的同极性端。设计人员按照第二种理解进行设计, 施工图纸选择了主变变低套管尾端 CT 的 1S1 作为极性端进入 B 套保护装置; 正确的设计, 应选择 1S2 作为极性端进入 B 套保护装置。[1]

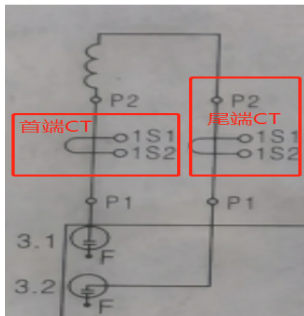


图2 厂家 #2 主变低压套管 CT 铭牌

(2) 各参建单位未能有效跟进图纸会审意见。

2023 年 1 月 30 日, 图纸会审会上设计单位提出: “保护 1 的 CT 的 S1 反极性, 根据现场的铭牌, 此处需要反极性接入。但现场铭牌 P1 与 S1 的对应关系不一致, 需要现场再做一次升流, 做好极性的验证, 若与图纸不一致及时提出。”

设计单位在对低压套管 CT 极性存疑情况下, 只对施工方提出进行 CT 极性一次通流, 做好极性验证要求, 没有积极主动与变压器厂家沟通, 确认变压器变低侧套管 CT 问题。

在开展 CT 极性验证目的上, 施工单位与设计单位之间存在理解上不一致: 设计单位要求验证施工图纸 CT 极性选择是否满足保护功能需求; 施工单位对 CT 极性验证目的理解为测试 CT 的一次极性端 P1 与二次极性端 S1 的极性关系。施工单位开展了极性验证工作, 但未进一步向设计单位反馈 CT 极性测试结果, 以让设计单位知悉变低侧套管 CT 的实际极性关系。

(3) 施工单位在电流回路通流试验及带负荷测试中未能发现 CT 极性取反。

① 电流回路通流试验相关情况: 施工单位先采用中压侧套管施加 380V 三相电压, 并在汇控柜端子排靠套管 CT 侧进行测量, 测试结果与施工图纸、厂家资料、厂家 CT 出厂报告所标识的 P1、S1 关系一致。之后, 施工单位在汇控柜端子排靠套管 CT 侧进行二次通流 [2], 用继保仪对主变保护 A、B 套绕组分别施加不同大小电流量, 在主变保护装置侧检查电流大小, CT 的二次电流组别、相别均符合施工图纸要求, 据此判断现场二次接线与施工图纸一致。施工单位通过上述通流试验验证了施工图纸中“P1”、“S1”为一二次绕组同名端的对应关系及图实一致, 但由于缺乏与设计人员有效沟通, 未能正确理解施工图纸说明中提出的“请施工单位现场核对 CT 极性”意图, 故未能发现施工图纸中主变 B 套保护极性取反的问题。

② 带负荷测试情况施工单位分别采用“变高-变低”“变中-变低”的运行方式进行带负荷测试。施工人员没有辨识到主变 B 套保护配置了分相差动功能, 因此带负荷测试报告中缺少分相差流记录项, 没有对分相差流进行记录和分析。另外, 施工人员使用相位表测试并记录各项数据, 工作负责人审核没能发现二次电流相位不正确 (测试时, 带的是电容器组, 二次电流相位正确值应增加 180 度), 故没有发现低压套管 CT 极性取反的问题。

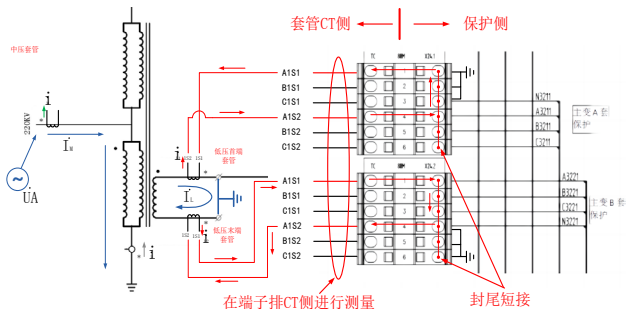


图3 一次电流回路通流试验示意图 (以 A 相为例)

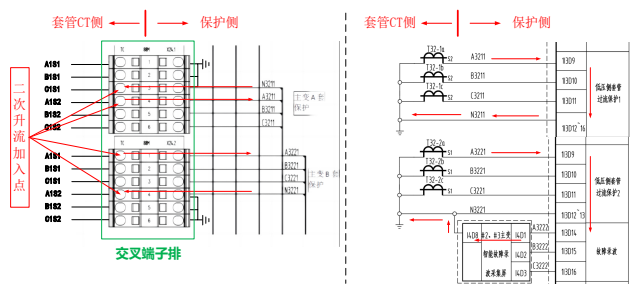


图4 二次电流回路通流试验示意图(以A相为例)

(4) 验收人员未能有效把关

验收人员在带负荷测试旁站见证时未能发现极性与差流问题。验收人员使用验收指引记录带负荷测试数据时,由于前期设计图纸缺少重要信息,认为低压侧套管CT只用于过流,在带负荷测试数据分析时,着重于相序、幅值、变比的计算检查,没有根据负荷性质对主变低压侧套管CT极性仔细核算,未能及时发现极性反向的问题。

3 暴露问题

3.1 设计单位图纸错漏。

设计图纸对#2主变低压侧套管CT的实际用途标注缺漏,在#2主变保护和CT配置示意图、#2主变交流电流回路图中均没有标注出低压侧套管CT用于分相差动,只标注了用于过流、智能录波,造成作业人员没有发现主变低压侧套管CT还用于分相差动,而按照设计图纸标注认为只用作过流则极性无要求。

3.2 施工单位作业不规范。

施工单位在进行低压侧套管CT极性测试时,没有发现低压侧套管CT接线错误。在带负荷测试时,施工单位采用的记录表没有本地化修编,缺少差流记录项,没有对差流进行记录和分析。

3.3 施工现场对特殊功能风险辨识不充分。

作业人员根据设计图中关于低压侧套管CT只用于过流和故障录波,北京四方该型号主变保护分相差动功能设计特殊且不常用,与以往保护原理不同,且保护装置显示的差动保护定值项与常规装置定值项一致,没有单独显示分相差动的内容,结合以往经验认为主变低压侧套管CT无极性要求,在带负荷测试数据分析时,着重于相序、幅值、变比的计算检查,没有根据负荷性质对主变低压侧套管CT极性仔细核算,未能及时发现极性反向的错误。

3.4 验收指引执行刚性不足。

验收人员对首次使用的保护装置不熟悉,未认真核对本次保护差动功能配置及差动类型,未增加分相差动保护差流的记录项,造成未对分相差动的差流值进行记录和分析。

4 教训启示

4.1 强化设计源头管控,夯实图纸规范化管理基础

此次事故暴露出设计图纸对CT用途标注缺漏的严重问

题。主变保护CT配置需明确标注分相差动等核心功能的用途,设计单位应严格遵循“一设备一图纸”原则,结合保护装置功能特性(如分相差动的特殊配置)细化标注,避免因图纸错漏误导现场作业。

启示与改进方向:(1)应建立设计图纸多级审核机制,重点核查CT用途、保护功能配置等关键信息,确保与现场保护装置实际需求一致;(2)推动设计标准化模板应用,将分相差动、过流等不同保护功能的CT回路标注纳入强制条目,杜绝缺项漏项;(3)加强设计人员对新型保护原理(如分相差动特殊逻辑)的专项培训,提升设计深度与精准性。

4.2 深化施工过程风险辨识,严控二次回路作业规范性

施工单位在CT极性测试与带负荷试验中的疏漏,案例中,作业人员因依赖错误图纸且未辨识分相差动保护特殊性,导致极性反向未被发现,暴露出风险预控机制失效。

启示与改进方向[3]:(1)建立二次回路作业“功能-风险”双清单,对分相差动等特殊功能配置的CT极性要求进行强制核验,并记录差流数据;(2)规范带负荷测试流程,修订本地化记录表模板,新增差流分析栏目(如分相差动差流值),强化数据闭环管理;(3)针对新型保护装置(如北京四方分相差动保护),编制差异化作业指导书,明确极性校验、逻辑验证的专项步骤。

4.3 刚性执行验收标准,构建多维技术监督体系

验收环节未对PT、CT回路进行异源核相与极性校验,导致极性错误未被捕获。同时,验收人员对分相差动功能不熟悉,未核查差流数据,反映出技术监督穿透力不足。

启示与改进方向:(1)制定保护功能验收“必验清单”,将分相差动差流分析、CT极性反向模拟试验纳入强制验收项;(2)推行“验收专家库”机制,针对首次投运的保护型号,由厂家、设计、运维联合开展功能验证;(3)构建数字化验收平台,通过录波波形自动分析差流特性,实现数据智能比对与异常预警。

5 结语

此次事故凸显了设计、施工、验收全链条协同不足的短板。需以“功能适配性”为核心,通过图纸标准化、作业清单化、验收智能化手段,形成覆盖保护装置全生命周期的技术监督闭环,杜绝因CT极性错误导致保护误动、拒动问题,切实提升继电保护可靠性

参考文献

[1] 尤志鹏,朱晓红.变压器套管CT极性测试方法分析[J].云南电力技术,2016,44(6):5.
 [2] 胡义生.差动保护中CT二次接线分析和检查措施[J].中国科技信息,2011(21):1.
 [3] 李云峰,肖迈,陈昊.CT更换二次工作的危险点分析与控制[J].电力安全技术,2022,24(12):51-54.