

# 沟通三跳接点引起的断路器控制回路隐性故障及其改进措施

王可<sup>1</sup>, 王利平<sup>1</sup>, 蒋星燃<sup>2</sup>, 王丹<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2. 国网四川省电力公司超高压公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** 断路器控制回路断线是严重危及电网安全运行的危急缺陷, 其隐性化发展使得断路器拒动概率增加。断路器保护的沟通三跳接点作为断路器保护重合功能的一部分, 在特殊情况下会使得断路器出现控制回路断线无法告警的隐性故障。通过实际案例分析研究断路器保护沟通三跳接点的二次回路设计、原理及其作用, 提出了该隐性故障产生的机理和发展过程; 最后, 对该隐性故障产生的充分条件针对性地提出了改进措施。

**关键词:** 继电保护; 隐性故障; 沟通三跳; 断路器保护; 控制回路断线

中图分类号: TM 73 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2024)05-0093-05

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20240514

## Hidden Failure of Circuit Breaker Control Circuit Caused by GST Connection and Its Improvement Measures

WANG Ke<sup>1</sup>, WANG Liping<sup>1</sup>, JIANG Xingran<sup>2</sup>, WANG Dan<sup>2</sup>

(1. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. State Grid Sichuan Extra High Voltage Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** The disconnection of breaker control circuit is a critical defect that seriously endangers the safe operation of power grid, and its hidden development increases the probability of circuit breaker refusing to operate. As a part of the reclosing function of breaker protection, GST connection will cause the circuit breaker to have a hidden failure in which the control circuit is disconnected and cannot be alarmed under special circumstances. The design, principle and function of secondary circuit of GST connection in breaker protection are analyzed and studied through practical cases. Finally, the improvement measures are put forward according to the sufficient conditions for hidden failure.

**Key words:** relay protection; hidden failure; GST connection; breaker protection; control circuit disconnection

## 0 引言

电力系统的正常运行需要“三道防线”作为支撑, 以应对各种异常扰动和故障的影响。继电保护装置作为“第一道防线”, 其不正确动作可能引起电力系统的连锁事故, 甚至引发电网解列和大规模停电事故。继电保护装置的隐性故障常常是一种家族性缺陷, 在电力系统正常运行时对系统并无影响, 但当电力系统中某些部分发生变化时, 这种隐形故障就会被触发从而导致连锁反应<sup>[1-2]</sup>。继电保护隐性故障对整个电力系统可靠性的潜在影响已经成为广

泛共识<sup>[3-6]</sup>。

断路器控制回路断线是一种常见的危急缺陷, 可能导致电力系统故障时断路器拒动, 引起事故范围扩大和越级跳闸<sup>[7]</sup>。而断路器保护的沟通三跳接点作为断路器保护重合功能的一部分, 在断路器保护重合功能未就绪时起沟通三跳的作用<sup>[8]</sup>。

下面通过一次实际发生的控制回路断线消缺案例, 揭示在特殊情况下由沟通三跳接点引起的控制回路断线故障隐性化过程, 并分析该隐性故障产生的机理和作用, 最后针对性地提出改进措施。

## 1 故障经过

某日 3 时 21 分调度下令甲站 500 kV 甲乙一线进入 24 h 试运行,500 kV 甲乙一线 5073 断路器和 500 kV 甲丙二线/甲乙一线 5072 断路器为合位,5072 和 5073 断路器保护重合闸把手在“停用”位置,运行正常。500 kV 甲乙一线接线如图 1 所示。

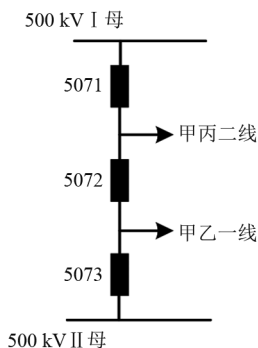


图 1 500 kV 甲站甲乙一线接线

次日 4 时 23 分,甲站接调度令 500 kV 甲乙一线 24 h 试运行结束投入重合闸功能,将 5073 断路器保护重合闸把手置于“单重”位置后,5073 断路器操作箱第 2 组 C 相合位继电器(2HWJC)灯熄灭,监控后台报 5073 断路器第 2 组控制回路断线告警。继电保护检修人员检查发现跳闸回路中串接的断路器位置辅助接点接线松动,导致 5073 断路器第 2 组 C 相跳闸回路断开,经紧固端子后缺陷消除,各项告警信号复归。

## 2 故障分析

### 2.1 故障直接原因

500 kV 甲乙一线 5073 断路器操作箱第 2 组 2HWJC 灯熄灭和监控后台报 5073 断路器第 2 组控制回路断线告警的直接原因,为第 2 组 C 相跳闸回路中串接的断路器位置辅助接点接线松动,如图 2 所示。

图中:2HWJA、2HWJB 以及 2HWJC 为 5073 断路器操作箱第 2 组跳闸回路的合位监视继电器;S1A、S1B 以及 S1C 分别为 5073 断路器的三相位置辅助接点(合位时处于闭合状态);2TQA、2TQB 以及 2TQC 为 5073 断路器的第 2 组分相跳闸线圈;K10 为 SF<sub>6</sub>密度继电器闭锁接点,正常时闭合。

由图 2 可知,当第 2 组 C 相跳闸回路中串接的

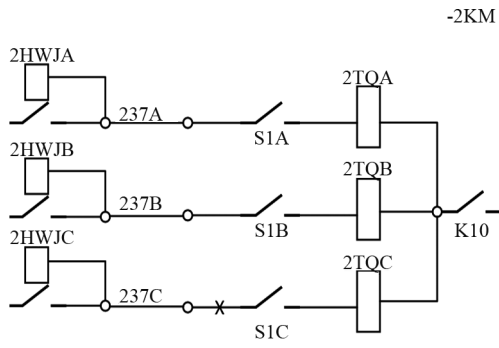


图 2 控制回路断线

断路器位置辅助接点接线松动时,237C 回路处于断开状态使得 2HWJC 失电,引起 5073 断路器操作箱第 2 组 C 相 2HWJC 灯熄灭。

而远方遥信报警回路中,控制回路断线信号的逻辑回路如图 3 所示。

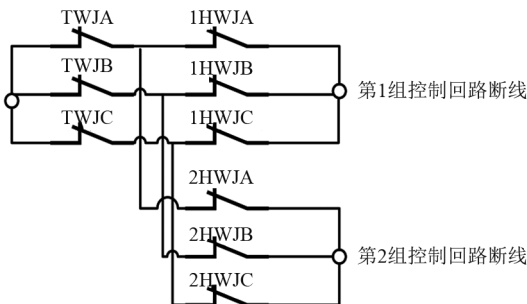


图 3 控制回路断线告警信号回路

由图 3 可知,当断路器处于正常合位时,三相跳闸继电器(TWJ)都不会动作,其常闭接点处于闭合位置;两组跳闸回路中的三相 1HWJ 和 2HWJ 动作,其常闭接点断开,使得控制回路断线信号不会发出。但当第 2 组 C 相跳闸回路故障时,其 2HWJC 继电器返回,导致 2HWJC 常闭接点闭合,产生第 2 组控制回路断线信号。

### 2.2 故障隐性化原因

由第 2.1 节分析可知,因端子松动接触不良产生的控制回路断线告警,在现场运维检修中属于常见典型缺陷。

问题的关键在于 5073 断路器送电之后的 24 h 试运行期间,C 相操作箱灯一切正常,并未报出控制回路断线信号。而试运行结束后,断路器保护重合闸把手由“停用”切至“单重”,异常信号马上报出。从故障排除过程和结果来看,5073 断路器的第 2 组 C 相操作回路确实出现了断线的情况,而断路器保护的重合闸把手属于断路器保护开入回路,其与操作回路没有任何电气联系。因此可以得出,5073 断

断路器保护自身的重合闸功能影响了5073断路器第2组操作回路的监视功能。

### 2.2.1 沟通三跳接点回路

进一步分析发现,5073断路器所用断路器保护为非“六统一”保护,设计有两对沟通三跳接点(GST)分别并联于断路器操作箱的两组分相跳闸回路上,图4是并联于第2组操作回路的沟通三跳接点示意图。

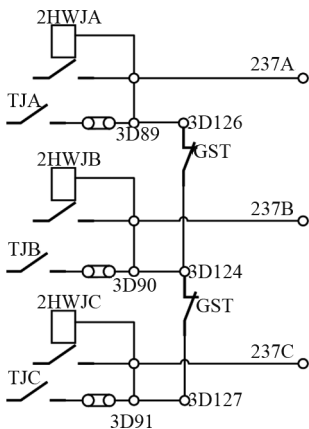


图4 沟通三跳接点

由图4可知,当GST接点闭合时,ABC三相的分相跳闸回路将被GST接点并联在一起。此时只要任一相的跳闸回路处于导通状态,则ABC三相的合位监视继电器就能动作,因此在这种状态下操作箱的分相合位监视继电器实际已无法正常监视分相跳闸回路,给断路器的正常运行带来巨大隐患。

### 2.2.2 沟通三跳接点原理及作用

分析该断路器保护的说明书得知沟通三跳接点的闭合条件为:

- 1) 当重合闸在未充好电状态且“未充电沟通三跳”控制字投入,将沟通三跳接点闭合;
- 2) 重合闸为三重方式时,将沟通三跳接点闭合;
- 3) 重合闸装置故障或直流电源消失时,将沟通三跳接点闭合。

上述3个条件构成“或”门逻辑,任一条件满足即闭合沟通三跳接点。

由于500kV电压等级普遍采用3/2主接线形式,由边、中两个断路器供电,因此线路的重合功能一般由对应的断路器保护实现,而不由线路保护实现。但是区内故障的判别却又在线路保护中,这就造成了故障的判别和重合的执行分列在两个不同的保护中。以500kV线路“单重”为例,线路保护在运行时无法确定断路器保护的运行状态,因此线路

保护不管断路器保护的重合功能是否就绪,对于区内单相故障会直接选择“单跳”,此时若断路器保护的重合功能异常,就会造成该断路器长期三相不一致运行。因此断路器保护配置沟通三跳接点,以在重合功能异常时直接并联三相跳闸回路,即使线路保护发出“单跳”令,也将直接作用于断路器的三相跳闸回路跳开三相。

### 2.2.3 5073断路器隐性故障发展过程

根据消缺过程分析,5073断路器第2组C相操作回路断线在5073断路器合闸送电之后既已存在。另一方面,经查阅500kV甲站5073断路器保护定值单,其“未充电沟通三跳”控制字为“1”,因此在试运行期间重合闸把手置于“停用”时,重合闸不充电引起沟通三跳接点闭合,将5073断路器的第1组和第2组跳闸回路三相分别并列。

在这种情况下,虽然此时第2组C相跳闸回路已经断线,但是由于第2组的A相和B相跳闸回路完整,负电由237A和237B两根线缆提供给C相的合位监视回路,导致C相在控制回路已经断线的情况下不报控制回路断线信号,在操作箱上也能看到完整的C相HWJ灯。试运行结束后,将重合闸把手置“单重”,重合闸充电完成之后断路器保护打开沟通三跳接点,第1组和第2组跳闸回路三相分开,237C回路断线立即引起2HWJC失电,C相HWJ灯熄灭,第2组控制回路断线信号发出。

## 3 故障后果及改进措施

### 3.1 故障隐性化的条件及后果

#### 3.1.1 故障条件

由缺陷处置过程可知,在500kV甲乙一线线路试运行期间,5073断路器第2组C相跳闸控制回路已经断线,按规程<sup>[9]</sup>规定应定义为“危急缺陷”。但是根据前两章分析,该故障由于断路器保护沟通三跳接点的影响隐性化之后完全无法监视,此时如果线路出现区内故障,则第2组C相跳闸回路将无法正常跳闸,可能引起失灵保护动作和越级跳闸,严重威胁电网和设备安全。

综合来看,该隐性故障出现的充分条件为:

- 1) 两组跳闸回路中出现任一相断线;
- 2) 断路器保护含有沟通三跳接点;
- 3) 断路器保护处于应闭合沟通三跳接点的状态。

根据充分条件分析得现场可能含有该隐性故障的运行设备为:

1) 主变压器间隔 500 kV 侧边断路器长期处于停用重合闸状态(若主变压器间隔为半串配置,则两个断路器均处于停用重合闸状态);

2) 500 kV 线路由于运行检修方式调整,边、中断路器临时处于重合闸停用状态,如试运行、带电作业时。

### 3.1.2 故障后果

500 kV 断路器出现所述隐性故障时,正常的分相跳闸回路监视功能将失去。如果断路器出现了控制回路断线故障而又不能得到及时消缺,将在电网故障时拒动,进而引起后备保护动作和越级跳闸,严重时使得电网剧烈振荡,甚至完全解列。沟通三跳接点引起的断路器控制回路隐性故障对继电保护设备的正常跳闸功能造成严重影响,威胁电网“第一道防线”的安全。

### 3.2 改进措施

由沟通三跳接点引起的断路器保护隐性故障有 3 个充分条件,因此只要消除这 3 个条件即可避免出现该隐性故障,其中第 1 个充分条件跳闸回路断线和该故障的隐性化并无关系,下面仅针对后两个充分条件分别提出改进措施。

#### 3.2.1 取消沟通三跳接点

在非“六统一”断路器保护中,主流继电保护厂家都设计了沟通三跳接点回路,以应对断路器保护故障或者失电时,线路保护“单跳”形成断路器长期三相不一致的缺陷。而根据最新的“六统一”<sup>[10]</sup>设计规范要求,由于 500 kV 采用 3/2 接线形式,当其中一个断路器处于三相不一致状态时不影响整个间隔的全相状态,因此规定当断路器保护失电时,由断路器本体三相不一致保护三相跳闸。按“六统一”设计规范要求设计的新断路器保护都已取消了沟通三跳接点。因此加快技改项目立项,尽快改造原有含沟通三跳接点的非“六统一”断路器保护是最有力的措施。

对于在运的非“六统一”断路器保护,在改造完成之前应先采取临时性措施取消沟通三跳接点回路,例如图 4 中的断路器第 2 组跳闸回路中,可取消 3D89—3D126、3D90—3D124、3D91—3D127 线缆。

#### 3.2.2 退出“未充电沟通三跳”功能

对于主变压器间隔而言,主变压器保护跳闸为

直接动作于操作箱 TJR 继电器,由 TJR 继电器直接驱动 3 个分相跳闸回路跳闸,同时 TJR 接点给断路器保护“三相保护跳闸”开入直接闭重跟跳三相,因此涉及主变压器间隔的停用重合闸断路器保护完全不需要沟通三跳功能。对于上述断路器保护可将“未充电沟通三跳”整定为 0,以使得断路器保护在停用重合闸时不再闭合沟通三跳接点,开放跳闸回路的分相监视功能。

需要注意的是,所提整定方法只能用于长期停用重合闸的主变压器间隔断路器,对于临时停用重合闸的线路间隔不应使用该方法。因常规变电站断路器保护单套配置,如需修改断路器保护定值则需要将一次设备转为冷备用状态,而线路的重合闸投停较为频繁,客观上不允许线路间隔应用该法。

## 4 结 论

继电保护隐性故障可能在电网某些故障时引起继电保护设备不正确动作,导致系统出现连锁故障威胁电网安全。断路器控制回路断线故障本身是一种使得断路器失去跳闸能力的危急故障,其隐性化之后使得断路器拒动概率大增。上面以一次实际的隐性故障消缺过程为例,分析了断路器保护沟通三跳接点的回路设计、原理及其引起控制回路断线故障隐性化发展的原因和过程。在此基础上,针对该隐性故障出现的充分条件分别提出了更换改造、整定调整等有效的改进措施。

### 参考文献

- [1] TAMRONGLAK S, HOROWITZ S H, PHADKE A G, et al. Anatomy of power system blackouts: preventive relaying strategies [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11(2):708-715.
- [2] PHADKE A G, THORP J S. Expose hidden failures to prevent cascading outages [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1996, 9(3):20-23.
- [3] 周虎兵,张焕青,杨增力,等.二次系统隐性故障的多指标综合风险评估[J].电力系统保护与控制,2019,47(9):120-127.
- [4] 张驰,谢民,刘宏君,等.基于语义网的智能站继电保护隐性故障辨识诊断技术研究[J].电力系统保护与控制,2019,47(14):95-101.
- [5] 李辉,贾晓风,李利娟,等.基于元胞自动机的电网隐性

故障传播模型关键线路识别方法[J].电力系统保护与控制, 2018, 46(6):16-23.

- [6] 李斌,靳方超,李仲青,等.电压回路中性线断线的隐性故障识别及其影响[J].中国电机工程学报, 2013, 33(13):179-186.
- [7] 陈超.1000 kV GIS 断路器控制回路的原理及典型异常浅析[J].科学技术创新, 2020(33):179-180.
- [8] 马越,朱茂森.500 kV 断路器保护未正确沟通三跳分析[J].电气技术, 2021, 22(8):45-47.
- [9] 国家电力调度控制中心.国网(调/4)527-2014 国家电网公司继电保护和自动装置缺陷管理办法[Z].北京:国家电网公司, 2014.

(上接第26页)

- [12] LI L M, ZHANG H. Delay optimization strategy for service cache and task offloading in three-tier architecture mobile edge computing system[J].IEEE Access, 2020, 8:170211-170224.
- [13] LIU X, SUN C, ZHOU M, et al. Reinforcement learning-based multislot double-threshold spectrum sensing with Bayesian fusion for industrial big spectrum data[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021, 17(5):3391-3400.
- [14] LIANG Y T, HE Y J, ZHONG X X. Decentralized computation offloading and resource allocation in MEC by deep reinforcement learning[C]//2020 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Aug. 9-11, 2020, Chongqing, China. IEEE, 2020:244-249.
- [15] CHEN J, XING H L, XIAO Z W, et al. A DRL agent for jointly optimizing computation offloading and resource allocation in MEC[J].IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(24):17508-17524.
- [16] SHI D, GAO H, WANG L, et al. Mean field game guided deep reinforcement learning for task placement in cooperative multiaccess edge computing[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(10):9330-9340.
- [17] CHENG G J, CHEN Y, DENG S G, et al. A Blockchain-based mutual authentication scheme for collaborative edge computing[J].IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2022, 9(1):146-158.
- [18] SHEN M, LIU H S, ZHU L H, et al. Blockchain-assisted secure device authentication for cross-domain industrial IoT[J].IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2020, 38(5):942-954.
- [19] NAKAMOTO Satoshi. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system[EB/OL].[2023-04-10].https://bitcoin.org/bitcoin.pdf.
- [20] ARUN M, BALAMURALI S, RAWAL B S, et al. Mutual

- [10] 国家电网公司科技部.线路保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1161—2014[S].北京:中国电力出版社, 2014.

#### 作者简介:

王可(1994),男,硕士,工程师,研究方向为电力系统继电保护;

王利平(1972),男,博士,教授级高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

蒋星燃(1989),男,工程师,研究方向为电力系统继电保护;

王丹(1993),女,硕士,工程师,从事电力系统二次检修工作。(收稿日期:2023-11-24)

authentication and authorized data access between fog and user based on blockchain technology [C]//IEEE INFOCOM Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), July 6-9, 2020, Toronto, Canada. IEEE, 2020:37-42.

- [21] GAI K K, WU Y L, ZHU L H, et al. Permissioned blockchain and edge computing empowered privacy-preserving smart grid networks[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(5):7992-8004.

- [22] KANG J W, YU R, HUANG X M, et al. Enabling localized peer-to-peer electricity trading among plug-in hybrid electric vehicles using consortium blockchains[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017, 13(6):3154-3164.

- [23] DAI Y Y, XU D, MAHARJAN S, et al. Artificial intelligence empowered edge computing and caching for Internet of Vehicle[J].IEEE Wireless Communications, 2019, 26(3):12-18.

- [24] GUO F X, YU F R, ZHANG H L, et al. Adaptive resource allocation in future wireless networks with blockchain and mobile edge computing[J].IEEE Transactions on Wireless Communications, 2020, 19(3):1689-1703.

#### 作者简介:

谢江(1973),男,高级工程师,研究方向为电力信息化与自动化;

郭琳(1984),女,硕士,高级工程师,研究方向为电力通信建模、通信大数据分析 with 通信智能应用;

张晶(1989),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力通信技术;

黄思婕(1992),女,硕士,工程师,研究方向为光纤通信技术和无线通信技术;

李发均(1989),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力通信技术;

唐翰源(1994),女,助理工程师,研究方向为电力通信运检。(收稿日期:2023-11-22)