

500 kV 断路器操动机构二次回路 典型缺陷及优化建议

肖博峰

(国网四川省电力公司检修公司, 四川 成都 610041)

摘要:针对西门子、ABB、三菱公司生产的500 kV超高压断路器机构典型回路中存在的缺陷分别进行研究。通过一起西门子断路器氮气压力控制回路故障导致在试验中不正确动作案例,提出了通过三相不一致回路传动判断氮气压力控制回路故障的方法。针对3个厂家都存在的三相不一致回路的误动风险,分别提出了现场应用中的具体优化方案。对于ABB断路器机构跳位监视回路和机构箱防跳回路,因继电器内阻不匹配可能存在的只能分合一次、跳位和合位监视灯同时亮、重合闸放电等异常现象,提出了采用跳位监视回路串联断路器辅助接点常闭和防跳接点常闭,使其在收到合闸脉冲后或防跳继电器启动后自动断开跳位监视回路的优化方案。针对三菱断路器机构油压低和气压低跳闸闭锁继电器均只采用第一组操作电源供电,可能带来的第一组操作电源失电时第二组跳闸回路失去闭锁的风险,提出了增设第二组油压低和气压低跳闸闭锁继电器并将其辅助接点串入第二组跳闸回路的优化方案。

关键词:断路器机构; 压力控制开关; 三相不一致; 跳位监视; 跳闸闭锁

中图分类号: TM 561 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2021)06-85-07

DOI: 12.16527/j.issn.1003-6954.20210617

Typical Defects of Secondary Circuit of 500 kV Circuit-breaker Operating Mechanism and Its Optimization Suggestions

Xiao Bofeng

(State Grid Sichuan Maintenance Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The application defects of typical circuits of 500 kV ultra-high voltage (UHV) switches produced by Siemens, ABB and Mitsubishi are analyzed respectively. An incorrect action case in the test caused by the fault of N2 pressure control circuit of Siemens switch is introduced, and a specific method to judge the fault through three-phase inconsistent transmission mode of single operation power supply is proposed. Aiming at the misoperation risk of three-phase inconsistent circuit of the above three manufacturers, the specific optimization schemes in field application are put forward. Meanwhile, aiming at the possible abnormal phenomena such as opening and closing only once, opening and closing monitoring lights being on at the same time, reclosing discharge and so on due to the mismatch of internal resistance of relay between ABB opening position monitoring circuit and mechanism box trip-preventing circuit, an optimization scheme is proposed that the auxiliary contact and the trip-preventing contact of circuit-breaker are normally closed in series with the opening-position monitoring circuit to automatically disconnect the trip monitoring circuit after the switch is closed or the anti-jump relay is activated. Aiming at the defects that only the first group of operating power supply is used for the lockout relays with low oil pressure and low air pressure in Mitsubishi switch mechanism, which may lead to the loss of power of the first group of operating power supply and the loss of locking of the second group of tripping circuit, an optimization scheme is proposed to add the second group of lockout relays with low oil pressure and low air pressure in series with the second group of tripping circuit.

Key words: circuit-breaker mechanism; pressure control switches; three-phase inconsistent circuit; opening-position monitoring; tripping lockout

0 引言

在电力系统中,由 500 kV 线路及变电站构成的超高压输电网络起着重要的支撑作用,500 kV 超高压断路器正确动作对电力系统稳定运行意义重大。500kV 超高压断路器的氮气(N_2)压力控制回路、三相不一致回路、跳位监视回路、压力低跳闸闭锁回路的性能都直接影响着断路器的动作行为。

在断路器三相不一致保护出口回路中,常因出口继电器正端与电源正极击穿或三相不一致继电器受潮导致其误出口^[1]。经研究,采用三相不一致出口跳闸接点经断路器位置常闭接点取得正电源的方式,可有效避免三相不一致回路误出口造成断路器机构误跳闸的事故^[2]。由跳位监视回路和机构箱防跳回路构成的寄生回路,可能导致断路器只能分合一次、跳位合位监视灯同时点亮等现象^[3]。因 500 kV 保护装置按双重化配置,文献^[4]提出双重化保护装置的直流电源回路、配合回路、压力闭锁回路均应相互独立,为 500 kV 断路器机构箱跳合闸回路的配置提出了新要求。

下面分别分析了西门子、ABB、三菱公司 3 个主流厂家的 500 kV 超高压断路器典型回路存在的缺陷,并提出了应用效果良好的回路优化建议。

1 500 kV 西门子公司断路器典型缺陷及回路优化

1.1 氮气(N_2)压力控制开关

1.1.1 缺陷情况

对某 500 kV 杭州西门子公司 3AT2-EI 型断路器进行机构强迫三相动作试验,当第一组强迫三相动作试验工作完成后,断开第一组操作电源进行第二组强迫三相动作试验时,发现断路器无法出口跳闸。

用万用表测试发现第二组跳闸出口回路 237A、237B、237C 电位变为 +110 V,随即对回路进行依次查找并进行分析,断路器机构第二组跳闸回路如图 1 所示。

经测试,图 1 中 -X745 端子电位为 -110 V, -X0LA 235 端子电位为 +110 V,因此判断缺陷为 K26(跳闸总闭锁继电器)失磁导致的 13、14 这对常开接点断开所致。

根据第二组跳闸回路的闭锁回路图进行分析,

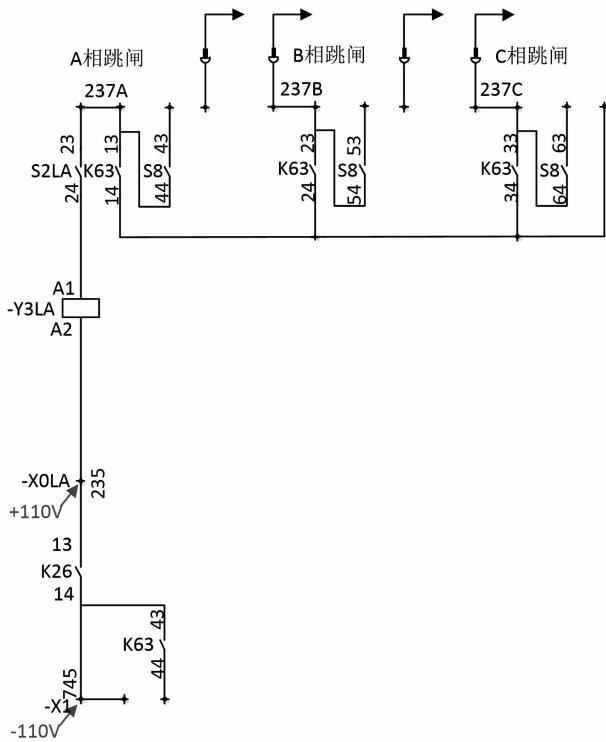


图 1 西门子公司断路器机构第二组跳闸回路

影响 K26(跳闸总闭锁继电器)的继电器有 3 个,分别为 K105(第二组 SF_6 总闭锁继电器)、K103(第二组油压总闭锁继电器)、K82(第二组 N_2 总闭锁继电器),如图 2 所示。其中,K105 通过第二组 SF_6 密度继电器 B4LA/B/C 辅助接点实现对 SF_6 气体压力的监视,当气压低于一定值时接点导通,K105 继电器励磁,断开第二组跳闸回路;K103 通过 N_2 压力控制开关 B1LA(/B/C)监测 N_2 压力实现对开关油压的间接监测,当油压降低对应 N_2 压力降低,使接点导通,K103 继电器励磁,断开第二组跳闸回路;K82 在第一组跳合闸闭锁回路中反应 N_2 泄漏的继电器 K81 励磁后励磁,并经延时断开第二组跳闸回路。

测试图 2 中的 K103、K105、K82 线圈两端电压分别为 +220 V、+110 V、+110 V,由此判断是 -B1LA/B/C 断路器的某一相密度继电器动作所导致 K103 继电器动作。

随即对断路器 A、B、C 三相分箱机构进行检查。检查过程中发现 B 相机机构 N_2 压力控制开关运行灯绿灯熄灭,故障灯红灯亮起,A 相、C 相 N_2 压力控制开关运行灯绿灯正常亮起。由此基本确定为 B 相 N_2 压力控制开关出现故障。

为进一步验证,随即将 B 相 N_2 压力控制开关引出的 B1LB 继电器的接点 3 和接点 6(控制第二组跳闸回路的接点)这一对接点中的接点 3 脚断开,

发现 K26 继电器励磁。同时,再次测试第二组跳闸出口回路 237A、237B、237C 三相电位均为 -110 V,电位恢复正常,此时第一组跳闸回路功能恢复正常。再将第一组操作电源合上后发现 B 相 N₂ 控制开关运行灯绿灯正常点亮,测试第一组跳闸回路 137 A、137 B、137 C 三相电位均为: -75 V,电位恢复正常,第一组跳闸回路功能也恢复正常。然后继续进行强迫三相动作试验,断路器强迫三相动作及各项功能正常。

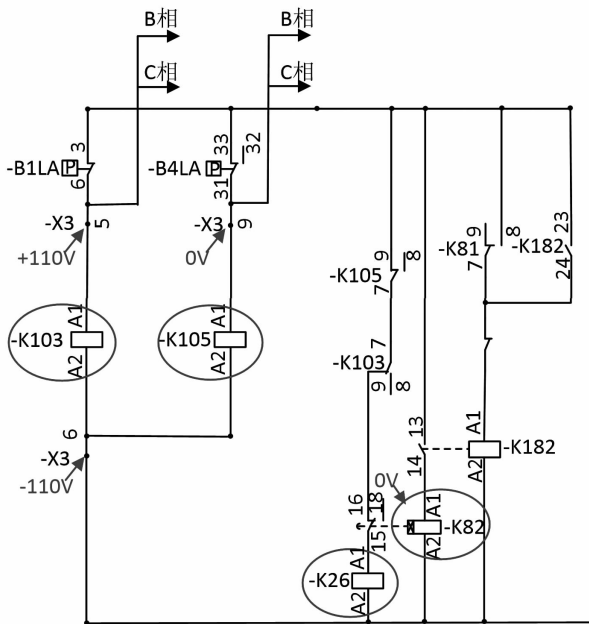


图 2 第二组跳闸回路的闭锁回路

对同串另一断路器进行实验时发现了同样的现象,经判断为相同原因导致。

N₂ 控制器采用两组直流电源(互为备用)供电,要求在任何一组电源正常的情况下都应可靠工作。而断路器机构 B 相 N₂ 控制器在失去第一组操作电源后,B1LB 密度继电器的接点失磁返回断开第一组和第二组跳闸回路,将导致断路器无法跳闸,此时只能通过断路器失灵保护动作切除对应 500 kV 母线、边/中断路器及对侧线路断路器。

1.1.2 原因分析及整改建议

故障断路器分别为西门子公司 2007 年和 2004 年生产的产品,生产和运行时间均超过 10 年,导致其 N₂ 压力控制开关存在一定的老化;同时 N₂ 压力控制开关运行在场地机构箱内,运行环境较为恶劣,且设备运行期间因保护动作和设备试验过程中的震动,进一步恶化了其运行环境。但该设备尚未达到规定的一次设备运行年限就出现了故障,可见产品生产质量也存在一定的缺陷。

由于正常运行情况下,两组操作电源均正常供电时,运维人员很难通过 N₂ 控制开关运行指示灯判断其是否出现了故障,该故障具有一定的隐蔽性;同时,由于出现上述故障后将同时断开第一组和第二组操作回路,导致保护装置不能正确跳闸造成事故范围的扩大。根据上述分析可提出如下整改建议:

1)在对使用该型号机构箱的间隔进行年检或改造时,应分别拉开第一组、第二组操作电源。通过查看操作箱断路器位置指示灯或分别进行机构三相不一致试验等方式,验证 N₂ 压力控制开关能否在单电源供电情况下正常工作。

2)对于老旧的该型号断路器机构箱,在设备运行过程中应加强监视,通过机构箱 N₂ 压力控制开关指示灯和操作箱开关位置指示灯等确认其运行状态是否良好。

3)当设备在运行状态,需要断开其中一组操作电源或其中一组操作电源断电时,可通过监视操作箱 HWJ 指示灯情况,确保另一组跳闸回路的完整性。

1.2 三相不一致回路优化

1.2.1 设计缺陷

500 kV 杭州西门子公司 3AT2 - EI 型断路器机构箱因三相不一致出口回路直接由正极提供电源,存在因误碰三相不一致时间继电器 K16 或出口继电器 K61 导致断路器机构三相不一致回路误出口的问题,如图 3 所示。

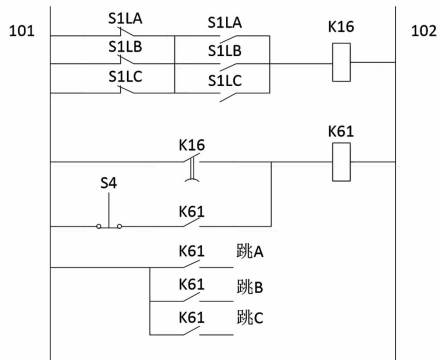


图 3 优化后断路器机构箱三相不一致回路

1.2.2 优化建议

根据参考文献[2]中提供的优化方案,对该型断路器机构箱优化后的接线如图 4 所示。

此处仅以第一组三相不一致回路为例进行说明,第二组参照整改。优化后三相不一致出口回路经断路器三相常闭辅助接点并联取得正电,从而确保断路器至少一相在分位时,三相不一致出口回路才能获取正电,且串入断路器常闭辅助接点可保证该接点不参与回路灭弧。

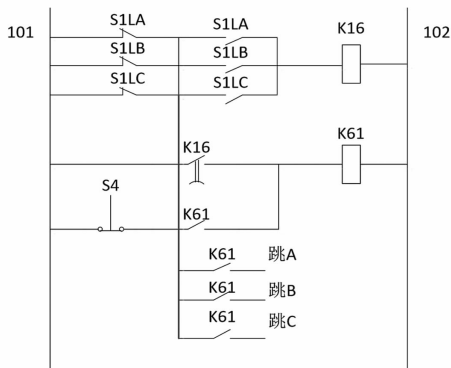


图4 优化后继路器机构箱三相不一致回路

2 500 kV ABB 断路器典型回路优化

2.1 跳位监视回路

2.1.1 原跳位监视回路缺陷

ABB公司HPL550B2型500kV断路器未提供专用的跳位监视回路接线端子,当采用断路器机构防跳时,只能按图5所示将跳位监视105回路和合闸107回路接于远方合闸端子。

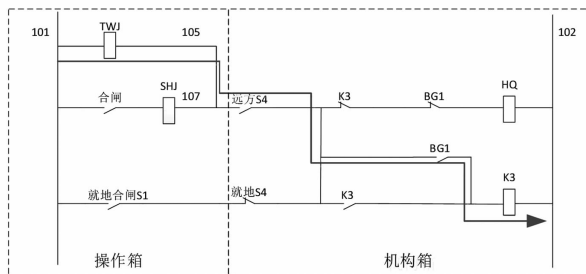


图5 原跳位监视回路接线

该接线方式在断路器处于合位时会产生图5所示的由跳闸位置继电器(TWJ)、BG1断路器常开辅助接点、K3防跳继电器形成的寄生回路。若该回路中TWJ继电器和K3防跳继电器内阻参数配合不当,会导致TWJ跳位继电器启动或K3防跳继电器启动。其中K3防跳继电器启动后断开合闸回路,并通过防跳回路中常开接点实现自保持。该寄生回路常造成如下两种不良结果:

1)断路器只能合闸、分闸一次。当断路器第一次合闸完成后,上述寄生回路导通并实现自保持,断开合闸回路。当断路器分闸后要再次合闸时,因合闸回路被防跳继电器断开,无法再次合闸,只有断开第一组操作电源后,K3防跳继电器复归,断路器才能够再次合闸。

2)操作箱跳位灯和合位灯同时亮,且保护收到

跳位开入重合闸放电。因TWJ跳位继电器在第一次合闸后仍一直启动,使操作箱跳位灯点亮,在断路器合闸完成后因跳闸回路导通,操作箱合位灯点亮,故出现了跳位灯和合位灯同时亮的异常现象,导致无法正常监视断路器位置。同样由于TWJ跳位继电器启动,可能导致重合闸直接放电,闭锁重合闸功能,或经延时发跳位异常告警。

在某500kV变电站中就多次出现上述两种异常现象。在文献[3]中也介绍了110kV变电站多次出现的断路器只能分合闸一次、跳位灯和合位灯同时亮的情况。

2.1.2 优化方案

参考西门子断路器机构箱跳位监视回路接线方法,考虑设置独立的105回路。该回路在断路器机构箱先过BG1断路器常闭辅助接点和K3防跳继电器常闭接点再接入远方合闸端子,如图6所示。

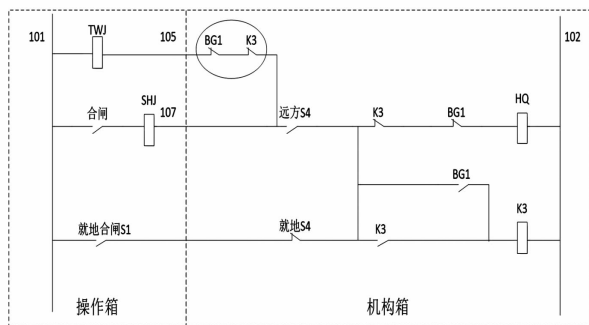


图6 优化后跳位监视回路接线

在图6中,因105跳位监视回路串入了BG1断路器常闭辅助接点,使断路器合闸完成后105跳位监视回路至远方合闸端子的接线断开。则K3防跳继电器无法通过105跳位监视回路获得正电而励磁,避免了K3防跳继电器因内阻参数不匹配导致的异常励磁,同理可防止TWJ跳位继电器的异常励磁。同时,在105回路串入K3防跳继电器常闭接点,可保证在BG1断路器常闭辅助接点异常或故障时,TWJ跳位继电器和K3防跳继电器无法构成回路,避免两继电器异常励磁。BG1断路器常闭辅助接点和K3防跳继电器常闭接点起互为备用的作用。

2.2 三相不一致回路

ABB公司HPL550B2型500kV断路器三相不一致回路同样存在与图4类似的缺陷,需要三相不一致出口接点更改为经断路器常闭接点后取得正电。但其三相不一致K6时间继电器和Q7出口继电器仅有一组且接入第一组操作回路,而Q7出口

继电器出口接点分别接入第一组、第二组跳闸回路,可按如下方案进行优化。

1) 优化方案 1

在第二组跳闸回路解开 Q7 出口继电器的出口接点,如图 7 所示。

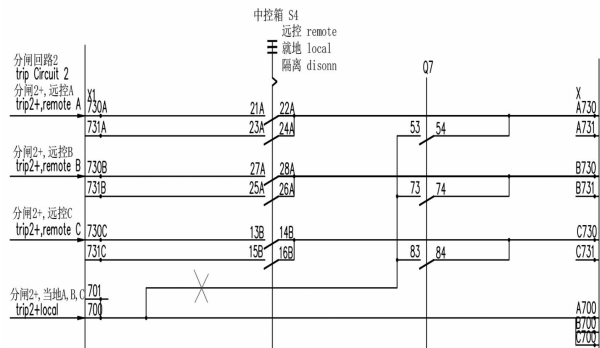


图 7 ABB HPL550B2 型优化方案 1

该方案保证了第一组、第二组跳闸回路的相互独立,更符合 220 kV 及以上电压等级断路器机构箱两组相互独立跳闸回路的要求。

2) 优化方案 2

在第二组操作回路增设 K8 时间继电器和 Q9 出口继电器,并解开第二组跳闸回路中 Q7 出口继电器接点,接入 Q9 出口继电器跳闸接点,如图 8 所示。

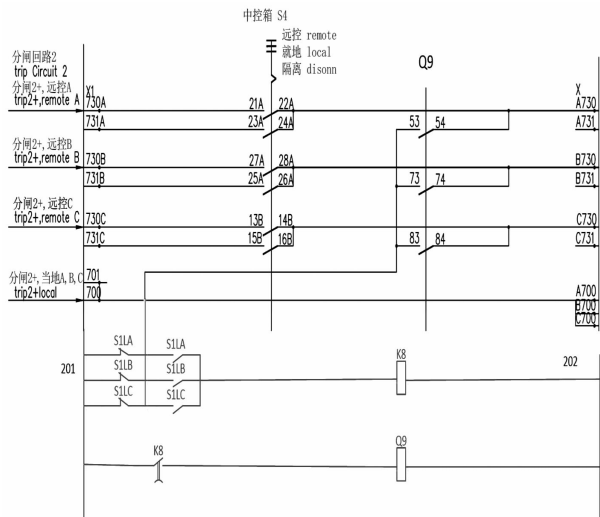


图 8 ABB HPL550B2 型优化方案 2

该方案为第二组跳闸回路也配备了独立的三相不一致功能,且保证了第一组、第二组跳闸回路三相不一致功能的相互独立。

3 500 kV 三菱断路器典型回路优化

3.1 跳闸闭锁回路

3.1.1 原回路缺陷

三菱公司生产的 MD1501 型 HGIS 汇控柜中,其

63QTX 油压低跳闸闭锁继电器和 63GLX 气压低跳闸闭锁继电器均由第一组操作电源供电,但其常闭闭锁接点分别接于第一组、第二组跳闸回路,如图 9 所示。

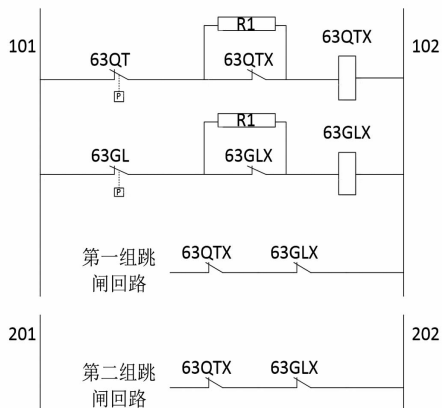


图 9 MD1501 型 HGIS 汇控柜跳闸闭锁回路

图 9 所示接线方式会导致失去第一组操作电源后,63QTX 油压低跳闸和 63GLX 气压低跳闸闭锁继电器均对第二组跳闸回路失去闭锁作用,此时通过第二组跳闸回路跳闸可能导致断路器因异常跳闸而损坏或烧毁。这与文献[4]中 220 kV 及以上电压等级断路器的压力闭锁继电器应双重化配置的要求不符,且不满足两套保护装置与其他保护、设备配合的回路应遵循相互独立的原则。

3.1.2 回路优化

在第二组操作回路中增加 63QT2X 油压低跳闸闭锁继电器和 63GL2X 气压低跳闸闭锁继电器,并与 63QTX 油压低跳闸闭锁继电器和 63GLX 气压低跳闸闭锁继电器同样受 63QT 油压低接点和 63GL 气压

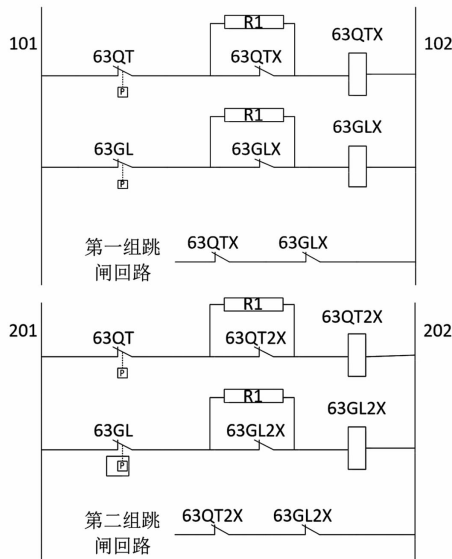


图 10 MD1501 型 HGIS 汇控柜优化后跳闸闭锁回路

低接点控制。同时在第二组跳闸回路中断开 63QTX 和 63GLX 接点,串入 63QT2X 和 63GL2X 常闭接点,对第二组跳闸回路起压力低闭锁的作用,回路接线如图 10 所示。

3.2 三相不一致回路

该方案通过增设油压低和气压低跳闸闭锁继电器使两组跳闸回路相互独立互不干扰,当任一电源断电均不影响另一组跳闸回路的所有功能。但需结合现场情况考虑原压力接点 63QT 或 63GL 是否够用,或对应表计能否提供该类接点。

3.2.1 原回路缺陷

三菱公司生产的 MD1501 型 HGIS 汇控柜三相不一致回路采用图 11 所示接线方式。

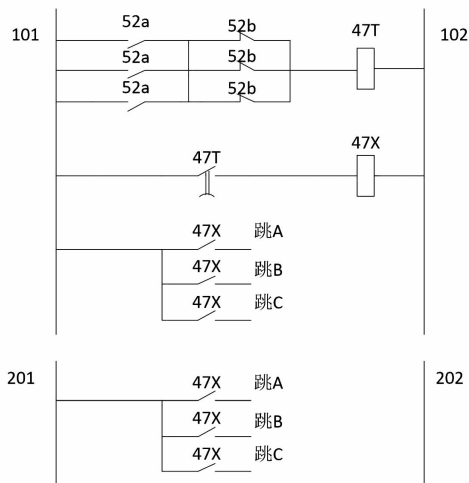


图 11 三菱 MD1501 型 HGIS 汇控柜三相不一致回路接线

与 ABB 公司 HPL550B2 型断路器类似,其三相不一致回路同样存在由第一组操作回路供电的跳闸出口继电器控制跳开第一组、第二组跳闸回路的问题。且其三相不一致启动回路存在先经过断路器常开辅助接点再经过断路器常闭辅助接点的问题。

3.2.2 优化方案

1) 优化方案 1

断开第二组跳闸回路中三相不一致出口回路,将第一组三相不一致启动回路改为先过断路器常闭接点再过断路器常开接点,并使三相不一致第一组出口跳闸回路经断路器常闭接点取得正电,如图 12 所示。

该方案使三相不一致第一组出口跳闸回路先过断路器常闭接点而不是常开接点,是为了保证三相不一致跳闸回路始终由断路器主触头断开跳闸回路,防止断路器辅助接点因切断电流而烧毁。

2) 优化方案 2

同样在第二组操作回路中增设 48T 三相不一致

启动继电器和 48X 三相不一致出口继电器,第一组三相不一致回路更改方法与方案一相同,如图 13 所示。

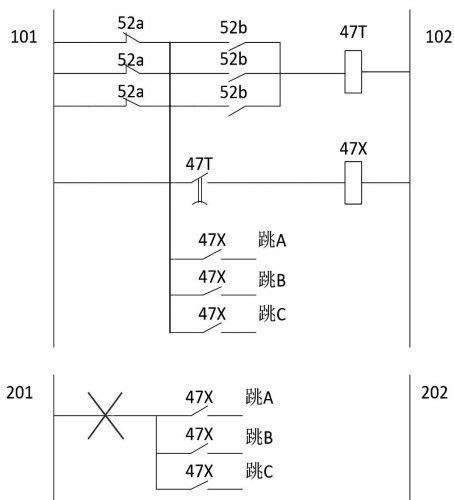


图 12 三菱 MD1501 型 HGIS 汇控柜优化方案 1

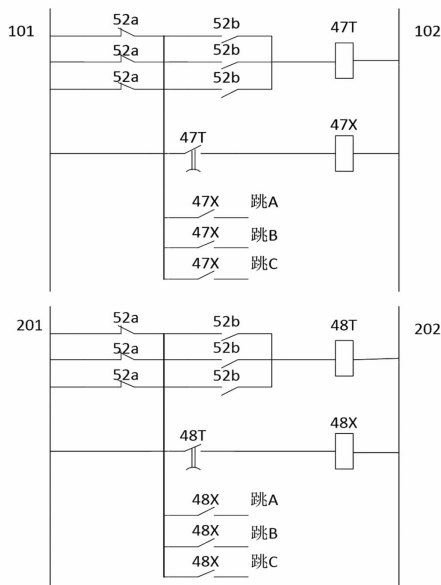


图 13 三菱 MD1501 型 HGIS 汇控柜优化方案 2

该方案使断路器具备两组独立的三相不一致回路,但需考虑汇控柜是否便于安装对应继电器,断路器是否有足够的辅助接点。

4 结 论

所提出的西门子、ABB、三菱公司 500 kV 断路器机构箱典型回路优化方案均在工程现场中进行了充分应用,分别解决了相关技术问题,达到了预期效果。两年以来,优化后断路器机构回路未出现因 N_2 压力闭锁开关、三相不一致回路、跳位监视回路、跳闸压力闭锁回路故障造成的断路器不正确动作。

参考文献

[1] 宋思齐,马勇,刘媛,等. 断路器本体三相不一致保护误动原因分析及治理措施[J]. 电工电气,2021,1(5): 35 - 38.

[2] 江知瀚,马迎新,高旭,等. 断路器三相不一致保护可靠性分析及二次回路改进[J]. 电力系统自动化, 2017,41(11):169 - 172.

[3] 于胜洋,谭志聪,许晓阳,等. 断路器跳位监视回路与

防跳回路间寄生回路的危害分析及改进意见[J]. 机电信息,2019(26):15 - 17.

[4] 周安春. 国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施(2018 年修订版)及编制说明[M]. 北京:中国电力出版社,2018.

作者简介:

肖博峰(1991), 硕士, 工程师, 研究方向为继电保护及自动化技术。

(收稿日期:2021 - 09 - 14)

(上接第 84 页)

表 2 C 相故障动作时序表

变位项目	变位时间/ms
5072\5031\5032 C 相跳闸位置 (TWJC)	34.6
间隙保护	7.8
5611 合闸位置(HWJ)	46.8

4 结 论

以 500 kV 康蜀串补站出串运行方式为例,对带串补出串运行线路可能对系统造成的威胁进行分析并提出了相应的解决方案,主要结论如下:

1)带串补线路出串运行方式下,当延伸线路发生故障跳闸时,由于串补电容器两端的残余将导致出现过高的暂态恢复电压以及难以熄灭的潜供电流,可能导致断路器重击穿、重合闸失败、故障切除推迟甚至导致断路器的损坏的风险。

2)当蜀景三线线路故障拉开断路器时,串补间隙保护功能可快速旁路串补,实现断路器开断前对串联电容器旁路并使其放电,抑制断路器拉开过程中造成断路器重击穿、避免短路电流对串补电容器组造成损害,并延时出口合旁路断路器使间隙熄弧。

3)所提出的串补线路出串运行保护配合方案在延伸线路单相接地时能与线路重合闸时间进行配合,不仅能降低暂态恢复电压,也能保证线路正确重合,同时也能避免串补重合于故障,对电容器组造成冲击;在延伸线路发生相间故障时,能可靠永久旁路串补装置,降低暂态恢复电压。经过现场试验验证了所提方案的可靠性。

所提出的串补线路出串保护配合方案方案接线简单且前瞻性较强,在系统运行方式发生改变后易于

取消。目前该方案已投入生产应用,具有较高的工程意义。

参考文献

[1] 程飞,熊俊,郭晓鸣. 基于线路出串运行的保护与安控配合方法[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(4): 150 - 154.

[2] 杨熊平,李力,李扬絮,等. 限制广东 500 kV 电网短路电流运行方案[J]. 电力系统自动化,2009,33(7): 103 - 107.

[3] 黄弘扬,徐政,林晞. 基于故障限流器的直流多馈入受端系统动态分区技术[J]. 中国电机工程学报,2012, 32(19):58 - 64.

[4] 蒋乐,魏震波,刘俊勇,等. 四川电网 500 kV 短路电流限制方案研究[J]. 电力科学与工程,2015,31(2):43 - 49.

[5] 牛晓民,王晓彤,施围,等. 超高压串联络补偿输电线路的潜供电流和恢复电压[J]. 电网技术,1998,22(9):9 - 12.

[6] 国家电力调度通信中心,等. 国家电网公司继电保护培训教材[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

[7] 于辉. 浅谈 500 kV 博尚串补站串补本体保护与变电站线路保护的配合[C]//2011 年云南电力技术论坛,2011.

[8] (美)安德森 (Anderson P. M.), (美)法墨 (Farmer R. G.). 电力系统串联补偿[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

[9] 侯有韬,杨蕾,向川,等. 500 kV 输电线路高抗和串补对过电压影响分析[J]. 云南电力技术,2020,48(1): 81 - 85.

作者简介:

杨雪(1993), 男, 硕士, 助理工程师, 从事变电二次检修工作;

李凡红(1984), 男, 硕士, 高级工程师, 从事变电二次检修技术管理工作;

李辉(1986), 男, 工程师, 从事变电二次检修班组管理工作。

(收稿日期:2021 - 11 - 8)