

## 智能变电站保护用电流互感器配置问题及解决措施

张健康, 粟小华, 胡勇, 李怀强

(国家电网西北电力调控分中心, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 通过一起断路器内部故障相关保护动作行为的分析, 指出现有智能变电站保护用电流互感器配置方案存在严重缺陷。当一台保护停运时在断路器内部故障会出现快速保护死区, 需要依靠带延时的失灵保护切除故障; 而失灵保护会由于感受不到故障电流而拒动, 从而威胁电网的安全稳定运行。为此, 从工程设计上提出在每台断路器两侧各装设 2 组 TPY 绕组和 1 组 5P 绕组的保护用电流互感器配置方案, 以彻底消除保护死区。同时, 还从系统运行及保护配置等方面提出了补救措施, 包括停用相关断路器及装设死区保护或改造失灵保护等。上述方法目前已在西北 750 kV 智能变电站建设和运行中获得应用, 提高了保护的可靠性和系统的稳定性。

**关键词:** 智能变电站; 电流互感器; 继电保护; 保护死区; 750 kV 电网

### Problems and solutions of configuration scheme of current transformer used by protection in smart substation

ZHANG Jian-kang, SU Xiao-hua, HU Yong, LI Huai-qiang

(Northwest Electric Power Dispatching and Control Sub-center of State Grid, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The protection behavior in a circuit breaker fault is analyzed, and it shows that there are serious defects in the configuration scheme of current transformer used by protection in smart substation. When a set of protection is out of operation, the protection dead-zone will occur and the removal of fault is heavily dependent on breaker failure protection with time delay. Worse still, the breaker failure protection will fail to operate because the fault current can not be detected correctly, which severely threatens to the security of the power system. To solve this problem, a novel configuration scheme of current transformer with two TPY coils and one P coil in every break is proposed from engineering design to eliminate the protection dead zone thoroughly. In addition, remedial measures such as disconnecting the associated breakers from system operation and installing dead-zone protection or modifying breaker failure protection from protection configuration are also put forward. These solutions have been successfully applied to the construction and operation of 750 kV smart substations in Northwest Power Grid of China, which improves the protection reliability and system stability.

**Key words:** smart substation; current transformer; relay protection; protection dead-zone; 750 kV Grid

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)07-0140-06

## 0 引言

近年来, 大批智能变电站已在我国电网建成投产<sup>[1-2]</sup>。早期试点的智能变电站普遍采用电子式互感器实现电压电流量采集, 由于电子式互感器在运行中存在可靠性差、性能不稳定、故障率高等问题, 最近投运的智能变电站均改用常规互感器合单元的模式。电流互感器是继电保护系统的重要组成部分<sup>[3-4]</sup>, 直接关系到保护测量的准确性和动作的可靠性。因电流互感器绕组选取不合理而导致保护不

正确动作或存在重大隐患的案例在国内电网已发生多起<sup>[5-8]</sup>, 因此, 电流互感器的配置问题应引起相关单位的足够重视。

断路器是电力系统重要的一次设备, 运行实践表明其故障发生概率较高。以西北 750 kV 电网为例, 近年来在调试及运行中已发生 10 多起断路器故障, 特别是近期某输变电工程调试期间先后发生了 4 起 750 kV 断路器故障, 对电网的安全运行造成了不利影响。因此, 断路器故障的快速切除对于确保系统的稳定运行具有极其重要的意义。

本文结合一起断路器故障事例, 分析了目前采用常规互感器加合并单元模式的智能变电站在保护用电流互感器绕组配置方面存在的问题及其危害, 并提出了应对措施。

## 1 一起断路器内部故障保护动作行为分析

2013年6月10日青海750 kV鱼卡开关站在用7562断路器对750 kV鱼柴2线充电时, 在合闸约30 s后断路器内部发生C相绝缘击穿。线路保护1(PCS-931GYMM)及母线保护2(PCS-915GD)正确动作切除故障, 而线路保护2(CSC-103BE)及母线保护1(WMH-800BG5)拒动。鱼卡侧故障前后200 ms内电压电流波形如图1所示。

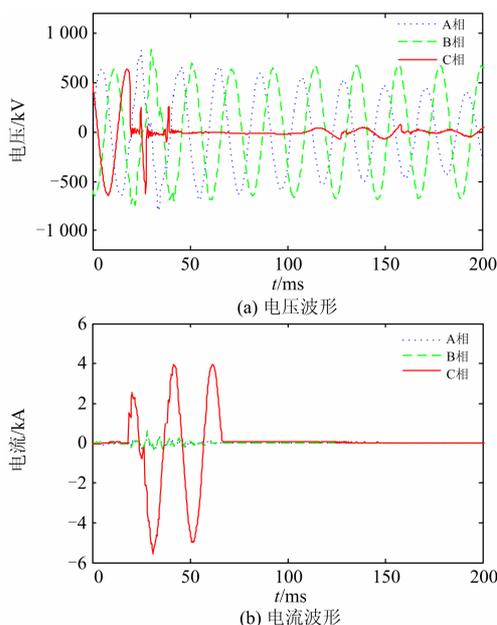


图1 故障电压电流波形

Fig. 1 Waveform of fault current and voltage

经过对录波数据进行分析, 发现7562断路器故障时线路保护2和母线保护1均判为区外故障。进一步检查表明, 保护拒动是由于所用电流互感器绕组配置不合理所致。该断路器每侧仅安装一组TPY绕组, 线路保护1与母线保护1共用一组TPY绕组, 线路保护2与母线保护2共用另一组TPY绕组。因此, 只有线路保护1和母线保护2在断路器区域存在交叉重叠区, 而线路保护2和母线保护1在断路器区域没有交叉重叠区。当断路器内部故障时, 线路保护1和母线保护2判为区内故障而动作, 而线路保护2和母线保护1会判为区外故障而拒动, 这与保护装置实际动作行为相符。凑巧的是, 同一天新疆750 kV烟墩变电站也发生了断路器故障, 双重

化配置的线路保护和母线保护只有单套动作, 另一套均拒动。以上两个厂站均为智能变电站, 采用常规互感器加合并单元模式。

超高压电网继电保护通常采用近后备原则双重化配置。现行继电保护技术规程、电流互感器选择导则及反事故措施等均对保护用电流互感器配置提出了明确要求, 强调了断路器和电流互感器之间故障的快速可靠切除。为此, 两个相邻设备的保护范围应交叉重叠防止出现主保护死区, 同时, 避免当一套保护停用时出现区内故障的动作死区。

以上事例暴露出现有智能变电站电流互感器配置不符合相关规程规定, 导致继电保护在断路器故障时不满足双重化要求, 运行中存在薄弱环节和安全隐患。进一步分析可知, 在一套保护退出运行时上述方案存在动作死区, 严重威胁系统的安全稳定运行。

## 2 保护用电流互感器配置情况简介

750 kV智能变电站通常采用一个半断路器接线。由于单侧电流互感器布置方式在正常运行时存在主保护死区, 因此, 750 kV厂站普遍采用双侧电流互感器接线, 实际的保护用电流互感器配置方案主要有两种, 分别如图2和图3所示, 依次对应上文的烟墩变及鱼卡变接线。其中TPY绕组供母线、线路及变压器等保护使用, 5P绕组供断路器失灵保护使用。

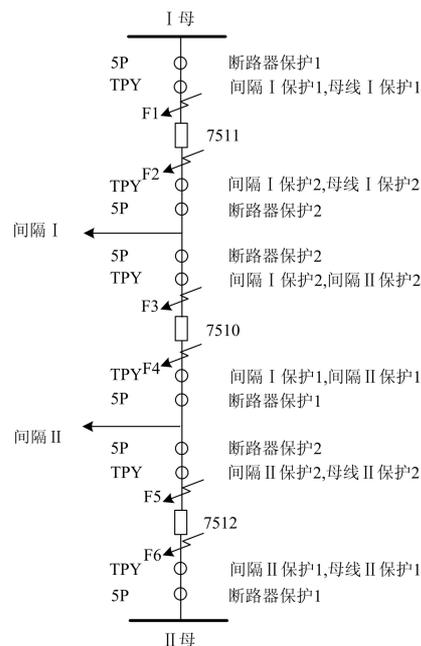


图2 电流互感器配置方案一

Fig. 2 Current transformer configuration scheme 1

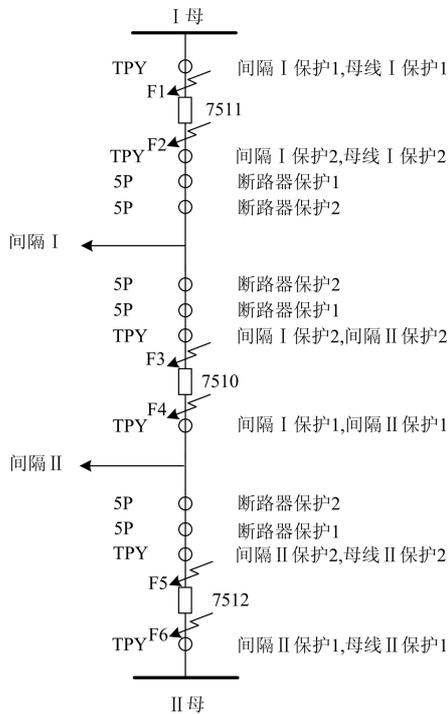


图3 电流互感器配置方案二

Fig. 3 Current transformer configuration scheme 2

方案一中, TPY 和 5P 绕组分别布置在断路器的两侧, 5P 绕组位于 TPY 绕组的外侧。方案二中, TPY 绕组分别布置在断路器的两侧, 5P 绕组布置在断路器的同一侧。图 3 各间隔所接元件主要是线路或变压器。

以 7511 断路器为例, 两种方案中间隔 I 的保护 1 与母线 I 的保护 1 共用一组 TPY 绕组, 间隔 I 的保护 2 与母线 I 的保护 2 共用另一组 TPY 绕组, 两套断路器保护分别使用一组 5P 绕组。其余断路器的保护接线方式类似。

### 3 电流互感器配置方案存在问题分析

继电保护是由保护装置及其相关二次回路组成的一个整体。现场中经常会发生由于各种原因造成的单套继电保护退出运行, 比如修改保护定值、软件升级、保护装置消缺、合并单元异常、智能终端故障等。在这种情况下, 当区内发生故障时双重化配置的另一套继电保护应能可靠快速地予以切除。因此, 现行规程明确提出<sup>[9]</sup>, 电流互感器二次绕组要合理分配, 避免当一套保护停用情况下出现区内故障时的保护动作死区。

仔细观察图 2 和图 3 的配置方案, 可以发现双重化配置的双套保护没有全部在断路器内部实现交叉重叠, 当某一套保护装置或其二次回路(含合并

单元) 因故退出运行时, 就可能在断路器内部产生保护死区, 从而影响电网的安全稳定运行。下面结合断路器具体故障位置进行详细分析。

#### 3.1 方案一存在的问题

电流互感器绕组位置决定了该保护的動作范围。在方案一中, 受 TPY 绕组数量的限制, 间隔保护与母线保护以及 2 个间隔保护存在共用 TPY 绕组情况, 这就直接导致母线或间隔保护最多只能各有一套保护的動作区在断路器内部交叉重叠, 不满足双重化配置要求。

以 7511 断路器为例, 当断路器内部(如图 2 的 F1 或 F2 点)发生故障时, 间隔 I 的保护 1 和母线 I 的保护 2 的動作范围存在交叉重叠区, 因此会判为区内故障而動作跳闸; 间隔 I 的保护 2 和母线 I 的保护 1 的動作范围不存在交叉重叠区, 因而会判为区外故障而拒动。

同样, 当 7510 断路器发生故障时, 间隔 I 的保护 1 和间隔 II 的保护 2 会判为区内故障而動作, 间隔 I 的保护 2 和间隔 II 的保护 1 会判为区外故障而拒动。当 7512 断路器发生故障时, 间隔 II 的保护 1 和母线 II 的保护 2 会判为区内故障而動作, 间隔 II 的保护 2 和母线 II 的保护 1 会判为区外故障而拒动。

显然, 当方案一中相互交叉重叠的 2 台保护(如 7511 断路器间隔 I 的保护 1 或母线 I 的保护 2) 有 1 台因故退出运行时, 就会存在快速保护死区。若断路器发生故障, 保护动作后故障电流还会存在, 需要通过失灵保护甚至远方跳闸等带延时的后备保护来切除故障(一般大于 0.4 s)。超高压电网在稳定计算时故障切除时间一般按 0.1 s 考虑, 从而会对系统稳定性造成不利影响, 有时难以满足运行要求。此外, 当相互交叉重叠的 2 台保护均因故退出运行时, 断路器内部发生故障将没有保护, 从而造成停电范围扩大。这是断路器每侧配置一组 TPY 绕组存在的共性缺陷。

#### 3.2 方案二存在的问题

方案二断路器每侧也只有一组 TPY 绕组, 因此存在与方案一类似的缺点。此外, 由于 TPY 和 5P 绕组布置不合理, 还存在一个更为严重的问题, 即对于某些故障失灵保护会因检测不到故障电流而无法动作, 存在保护死区。

仍以 7511 断路器为例, 在母线 I 的保护 2 因故退出运行情况下, 当 F1 点发生故障, 间隔 I 的保护 1 会快速动作切除 7511 断路器, 但故障点仍然存在, 于是它会启动失灵保护来切除故障。但是, 由于断路器保护绕组布置不当, 在 7511 断路器断开后, 母线 I 提供的短路电流不通过 5P 绕组, 接入

5P 绕组电流的失灵保护会因为感受不到故障电流而拒动, 只能依靠本站线路或变压器对侧后备保护动作全站停电后才能将故障隔离, 且时间较长 (一般大于 0.8 s), 从而造成事故扩大。此外, 在母线 I 的保护 2 因故退出运行情况下, 当 F2 点故障, 间隔 I 的保护 1 动作但 7511 断路器拒动时, 母线 I 提供的短路电流不通过 5P 绕组, 失灵保护也会因为感受不到故障电流而拒动, 造成故障点不能被切除, 引起停电范围扩大。

同样, 在间隔 II 的保护 2 因故退出运行情况下, 当 F4 点发生故障, 或者当 F3 点故障且 7510 断路器拒动时, 会出现保护死区。在母线 II 的保护 2 因故退出运行情况下, 当 F6 点发生故障, 或者当 F5 点发生故障且 7512 断路器拒动时, 也存在动作死区。

总之, 在一台保护停用情况下, 方案一存在快速保护死区, 需依靠失灵保护切除故障。方案二除存在快速保护死区外, 还存在失灵保护死区, 后果更为严重。相对而言, 方案一较方案二更为合理, 可以看作是方案二的改进。

以上分析了智能变电站保护用电流互感器配置方案存在的不足。需要指出的是, 方案二是某输变电工程通用设计所推荐的, 所以上述问题在实际工程中具有一定的普遍性, 危害比较严重, 应引起足够重视。

## 4 解决措施

断路器绝缘击穿是电力系统常见的一次设备故障。为提高继电保护动作的可靠性, 确保电网安全稳定运行, 本文结合生产实际, 分别从工程设计、系统运行及保护配置等三个方面提出了解决措施, 以消除断路器故障时的保护死区。

### 4.1 工程设计

要彻底解决现有方案存在的不足, 就应按照现行继电保护规程要求, 从设计上配置足够数量的保护用电流互感器二次绕组, 且各绕组要合理分配, 避免保护死区的发生。为此, 提出如下的保护用电流互感器配置方案, 如图 4 所示。

方案三中断路器每侧各配置有 2 组 TPY 绕组和 1 组 5P 绕组, 且 5P 绕组位于 TPY 绕组内侧。以 7511 断路器为例, 间隔 I 的 2 台保护和母线 I 的 2 台保护均在断路器区域实现了完全交叉。当相互交叉的 2 台保护中任意 1 台甚至 2 台均退出运行, 断路器内部故障不会出现快速保护死区。此外, 在间隔 I 的 2 台保护或者母线 I 的 2 台保护退出运行情况下, 当断路器内部故障或者内部故障且断路器拒动时, 失灵保护均能感受到故障电流而可靠动作。

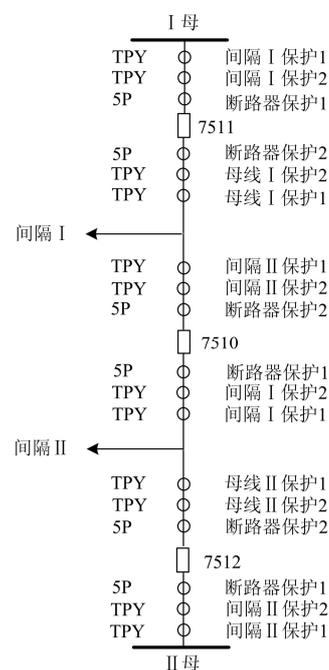


图 4 电流互感器配置方案三

Fig. 4 Current transformer configuration scheme 3

方案三可以有效解决方案一、方案二存在的因某台保护退出运行而造成的保护死区, 但需要增加 TPY 绕组数量, 投资较多。总体而言, 方案三比前两种方案更可取, 西北地区后续规划和在建的 750 kV 智能变电站均采用方案三的保护用电流互感器配置方式。

需要注意的是, 方案三的 TPY 绕组布置在 5P 绕组的外侧, 能够有效防止互感器绕组内部故障时的保护死区。对于某些类型的断路器, 受制造安装等因素限制, TPY 绕组只能布置在 5P 绕组的内侧。其主要缺点是在一套失灵保护停用情况下当 TPY 绕组和 5P 绕组之间发生故障且断路器拒动时, 会出现保护死区。若考虑到这种情况发生的概率极小可以忽略, 方案三中的 TPY 绕组也可以安装在 5P 绕组的内侧。

### 4.2 系统运行

对于已建成的变电站, 特别是采用 GIS 组合设备的厂站, 对电流互感器安装位置及数目进行调整比较困难。为此, 可从运行角度出发, 分析相关保护停用的影响范围, 合理安排运行方式, 避免保护死区的出现。

对于图 2 配置方案, 当故障切除时间不能满足系统稳定运行要求时, 若相互交叉的 2 台保护有 1 台退出运行, 即将该断路器停用。具体做法是: 当母线 I 的保护 2 退出运行时, 母线 I 需转冷备用;

当母线Ⅱ的保护2退出运行时,母线Ⅱ需转冷备用;当间隔Ⅰ的保护1退出运行时,间隔Ⅰ所接边断路器需转冷备用;当间隔Ⅰ的保护1或间隔Ⅱ的保护2退出运行时,该串的中断路器需转冷备用;当间隔Ⅱ的保护1退出运行时,间隔Ⅱ所接边断路器需转冷备用。

对于图3配置方案,当母线Ⅰ的保护2退出运行时,母线Ⅰ需转冷备用;当母线Ⅱ的保护2退出运行时,母线Ⅱ需转冷备用;当间隔Ⅱ的保护2退出运行时,该串的中断路器需转冷备用。采取以上措施后,其余断路器故障时将由失灵保护来切除,若故障切除时间不能满足系统稳定运行要求,则当相互交叉的2台保护有1台退出运行,即将该断路器停用。

上述措施也可以消除保护死区,但会影响系统运行的可靠性和灵活性。

#### 4.3 保护配置

为避免方案二存在的保护死区,可在线路保护及变压器保护内配置死区保护功能,专门用于保护断路器和电流互感器之间的故障。当线路或变压器差动保护动作后,若某台断路器在断开后电流仍大于门槛值,则判为死区故障,死区保护经短延时切除与该断路器相邻的所有断路器。以图3的间隔Ⅰ保护为例,当7511断路器故障保护跳开7511、7510及间隔Ⅰ对端断路器的同时,还需通过死区保护切除母线Ⅰ的断路器;当7510断路器故障保护跳开7510、7511及间隔Ⅰ对端断路器的同时,还需通过死区保护切除间隔Ⅱ的断路器。当借助母线及间隔保护实现时,需对母线及间隔保护进行改造,增加相关逻辑功能。

此外,作为方案二的补救措施,还可以将断路器保护2的电流改为取自断路器另一侧的TPY绕组,从而消除失灵保护死区。但失灵保护采用TPY绕组后,需对保护算法进行调整,以适应TPY绕组暂态特性。

以上两种方法可以解决方案二存在的失灵保护死区问题,但会使得保护的逻辑配合及算法实现更为复杂。

需要指出的是,现有合并单元在实际运行中可靠性较差,故障率高,由此造成保护误动或出现异常的情况时有发生。因此,对于常规互感器,电压电流模拟量应直接进入保护装置,不应通过合并单元,从而减少中间环节,提高保护可靠性。

## 5 结语

现有智能变电站在保护用电流互感器配置方面存在缺陷,当某台保护停用时在断路器内部故障会出现动作死区,成为影响系统运行安全和扩大事故范围的隐患。本文提出的解决措施可以有效消除保护死区,具有重要的工程实用价值,已在西北750kV智能变电站的建设和运行实践中获得成功应用,显著提高了保护的可靠性和系统的稳定性,取得了良好的效果。本文也为国内其他电压等级智能变电站电流互感器配置及保护动作行为分析提供了参考。

## 参考文献

- [1] 刘振亚. 智能电网技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 朱林, 陈金富, 段献忠. 数字化变电站冗余体系结构的改进及其可靠性和经济性评估[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 147-151.  
ZHU Lin, CHEN Jin-fu, DUAN Xian-zhong. Improvement of redundant architecture in digital substation and its reliability & economic assessment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 147-151.
- [3] 童悦, 李红斌, 张明明, 等. 一种全数字化高压电流互感器在线校验系统[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 59-64.  
TONG Yue, LI Hong-bin, ZHANG Ming-ming, et al. An all-digital on-line calibration system for high voltage current transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 59-64.
- [4] 陈金玲, 李红斌, 刘延冰, 等. 一种提高光学电流互感器温度稳定性的新方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(4): 97-101.  
CHEN Jin-ling, LI Hong-bin, LIU Yan-bing, et al. A novel method to improve the temperature stability of optical current transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(4): 97-101.
- [5] 赵曼勇, 舒双焰, 赵有铖. 高压电网防保护死区电流互感器保护绕组的配置及反措[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 132-134.  
ZHAO Man-yong, SHU Shuang-yan, ZHAO You-cheng. Configuration scheme of current transformer coils used by protections and measures against dead zone in high voltage power system[J]. Power System Protection and

- Control, 2010, 38(5): 132-134.
- [6] 杨忠礼, 牛元泰, 吴征, 等. 500 kV 罐式断路器电流互感器二次回路接线错误的分析及对策[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 94-98.
- YANG Zhong-li, NIU Yuan-tai, WU Zheng, et al. Analysis on connection error in current transformer secondary circuit of 500 kV tank[J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(8): 94-98.
- [7] 赵佰成, 徐炜彬, 曲绍杰. 220 kV 典型保护死区问题的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(13): 130-132.
- ZHAO Bai-cheng, XU Wei-bin, QU Shao-jie. Discussion about the problem of 220 kV typical protection's dead-zone[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(13): 130-132.
- [8] 吴宏斌, 何云良. 消除变压器盲区故障的继电保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 125-128.
- WU Hong-bin, HE Yun-liang. Methods of relay protection on eliminating blind fault of transformer[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 125-128.
- [9] DL/T 866-2004 电流互感器和电压互感器选择及计算导则[S].
- DL/T 866-2004 guide to the selection and calculation of current transformer and voltage transformer[S].

---

收稿日期: 2013-07-02; 修回日期: 2013-09-03

作者简介:

张健康(1976-), 男, 博士, 高级工程师, 从事继电保护运行管理和研究工作; E-mail: zhangjk@nw.sgcc.com.cn

粟小华(1961-), 男, 高级工程师, 从事继电保护技术管理工作;

胡勇(1975-), 男, 高级工程师, 从事继电保护运行管理工作。