

DOI: 10.7667/PSPC201645

# 一种 3/2 接线死区故障隔离与误切元件快速恢复方法

杨凡<sup>1,2</sup>, 李伟<sup>3</sup>, 尹项根<sup>1,2</sup>, 李仲青<sup>3</sup>, 张哲<sup>1,2</sup>, 郭雅蓉<sup>3</sup>

(1. 电力安全与高效湖北省重点实验室(华中科技大学), 湖北 武汉 430074; 2. 强电磁工程与新技术国家重点实验室(华中科技大学), 湖北 武汉 430074; 3. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

**摘要:** 在现有 3/2 接线方式下, 由于保护和互感器的配置并未完全交叉, 导致死区的存在。在发生死区故障时, 一般由死区故障所在间隔保护以及断路器失灵保护动作相互配合以实现故障的彻底隔离。这种做法会使得断路器的切除范围扩大, 甚至会导致正常母线不必要的停运, 严重影响系统的安全稳定运行。针对上述问题, 分析了在不同保护 CT 配置方式下的死区故障的特点, 提出了一种死区故障隔离与误切元件快速恢复的方法。该方法通过引入断路器的开合状态信息来有效地辨别死区故障和断路器失灵情况, 同时利用断路器的重合闸功能, 快速恢复切除死区故障时的误切断断路器, 从而显著提高系统的安全稳定运行水平。

**关键词:** 3/2 接线; 死区故障; 失灵保护; 重合闸

## A method for dead zone fault isolation and fast recovery of error cutting element under the existing 3/2 connection mode

YANG Fan<sup>1,2</sup>, LI Wei<sup>3</sup>, YIN Xianggen<sup>1,2</sup>, LI Zhongqing<sup>3</sup>, ZHANG Zhe<sup>1,2</sup>, GUO Yarong<sup>3</sup>

(1. Electric Power Security and High Efficiency Laboratory (Huazhong University of Science and Technology), Wuhan 430074, China; 2. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology (Huazhong University of Science and Technology), Wuhan 430074, China; 3. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** Under the existing 3/2 connection mode, the configuration of the protection and transformer is not completely crossed which causes the existence of the dead zone. When the fault occurs in the dead zone, line protection and breaker failure protection are generally matched with each other to achieve the complete isolation of the fault. This approach will make the scope of the circuit breaker to expand, and even lead to unnecessary outage of the normal bus. So it seriously affects the safe and stable operation of the system. In view of the above problems, this paper analyzes the characteristics of the dead zone fault under different protective CT configuration modes, and provides a method for dead zone fault isolation and fast recovery of error cutting element. Thereby this paper introduces circuit breaker opening and closing state information to effectively identify dead zone fault and the breaker failure. At the same time, based on the information sharing in the station area, the circuit breaker can be quickly recovered by using the reclosing function of the circuit breaker, which can significantly improve the safe and stable operation level of the system.

**Key words:** 3/2 connection; dead-zone fault; failure protection; reclosing function

## 0 引言

为了保证供电可靠性以及运行灵活性, 目前 500 kV 变电站大多采用 3/2 开关接线方式<sup>[1]</sup>。但是, 3/2 开关接线方式下电流互感器数量众多、接线复杂, 为了节约成本, 一般采用在断路器单侧配置保护用电流互感器的方式<sup>[2]</sup>, 这使得以断路器为边界的保护区域和电流互感器构成的广域 KCL 节点并未完全重合, 造成了保护死区的存在。死区范围很

小, 容易被忽略, 但死区故障所产生的危害却很大<sup>[3]</sup>。目前, 死区故障往往通过死区所在间隔保护与断路器失灵保护相互配合, 以实现故障的彻底隔离。在发生死区故障时, 故障所在间隔的保护将会首先动作, 但由于故障位于死区, 该轮保护并未能实现故障的彻底隔离。此时位于该死区的断路器失灵保护将启动, 通过切除相邻的断路器实现故障的彻底隔离<sup>[4]</sup>。这种做法会使得死区故障的切除范围扩大、隔离时间延长, 甚至会导致正常母线不必要的停运。

随着直流输电建设的快速推进，我国正逐步形成交直流混联复杂电网，交流电网发生的短路故障等扰动若不能及时阻断，将在直流系统中产生换相失败等后果，甚至造成直流紧急停运，严重威胁交直流混联大电网的安全稳定运行<sup>[5-6]</sup>。这种电网发展新态势对交流保护的选择性和速动性提出了严苛的要求。目前采用断路器失灵保护切除死区故障的方式，动作时延长、切除范围大，给交直流系统的安全稳定运行带来了巨大的安全隐患。因此如何有效地辨识死区故障并解决元件的误切问题是工程现场亟待解决的技术难题。

针对现有死区故障的切除策略会导致断路器的切除范围扩大的问题，文献[7]提出引用线路保护动作后、失灵保护动作前故障线路的残压来配合切除死区故障，但该方法通过故障残压判断死区故障与断路器失灵情况，在金属性故障且断路器失灵情况下，可能会将故障误判为死区故障，其有效性尚待商榷；文献[8]引入断路器的内部电流与电流互感器的测量电流进行比相以辅助判断死区故障，但测量断路器内部电流较为复杂，准确度不高，同时需要增加较多元件来测量流过断路器内部的电流大小，不利于工程实现，可靠性不高。

本文提出了一种 3/2 接线死区故障隔离与误切元件快速恢复方法。通过研究发现，对于死区故障，在断路器失灵保护动作时，断路器有流且处于分闸状态；而对于实际的断路器失灵情况，断路器有流且处于合闸状态。因此，该方法基于站域信息共享，通过引入断路器的开合状态信息以及电流信息，可以有效区分死区故障和断路器失灵两种情况。此外，对于死区故障，采用分步重合闸策略快速恢复误切断路器，以缩小保护动作的范围，从而显著提高系统的安全稳定运行水平。

## 1 不同 CT 配置形式下的死区故障分析

在实际工程应用中，根据 CT 安装位置及 CT 安装个数的不同，3/2 接线的 CT 配置主要分为 3CT 配置(单侧 CT 配置)、4CT 配置和 6CT(双侧 CT 配置)等基本形式，而不同 CT 配置方案，其死区故障的特点存在明显差异。以下针对不同 CT 配置情况，对其死区故障进行分析。

### 1.1 3CT 配置形式

所谓 3CT 配置，也称为单侧 CT 配置，即是在 3/2 接线方式下，所有的电流互感器 CT 均安装在对应断路器的一侧。为了保证串内任何一点故障时，均有相应的保护动作跳闸，一般 CT 的正确配置方式是，间隔保护 CT 与母线保护 CT 交叉配置，具

体示例如图 1 所示。

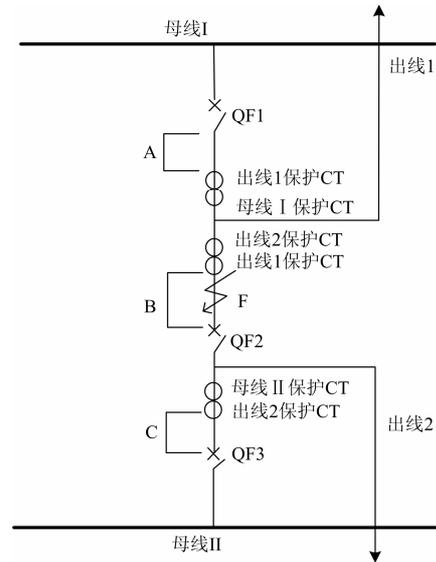


图 1 3CT 配置接线形式

Fig. 1 3CT configuration mode

如图 1 所示，该连线方式为正确的配置单侧电流互感器的连线，这种连线方式下，尽管串内任何一点故障，至少有一套保护动作跳闸，但由于 3/2 接线方式的特殊性，并不能保证所有故障均可快速切除，即仍存在死区故障。如图 2 所示，从图中可以看出 A、B 和 C 三个区域均为该配置方式下的死区所在，若这三个区域内发生故障，断路器无法快速地将故障切除。

例如 B 区域内 F 点发生故障，因为故障点在出线 2 保护范围内，故出线 2 的保护动作，切除断路器 QF2、断路器 QF3 及出线 2 对端的断路器，但此时故障仍未切除，故障点依旧存在，故 B 区域为该配置方式下的死区，A、C 区域同理。

### 1.2 4CT 配置形式

所谓 4CT 配置，即是在 3/2 接线方式下，中断路器对应的电流互感器 CT 安装在断路器两侧，边断路器对应的电流互感器则安装在断路器的一侧，具体示例如图 2 所示。

如图 2 所示，该连线方式为每一串上配置四个电流互感器 CT 的接线，与 3CT 配置相比，该配置方式下，由于中断路器两侧均配有电流互感器，保证了出线 1 和出线 2 的保护范围完全交叉，从而消除了单侧配置 CT 中断路器附近的一段死区，缩小了死区范围，但在 4CT 配置形式下依旧存在死区问题，如图中的 A、B 区域均为该配置下的死区所在，若这两个区域内发生故障，断路器无法快速地将故障切除。

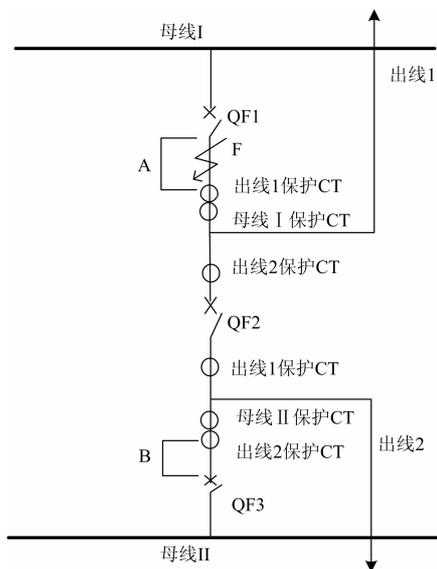


图 2 4CT 配置接线形式

Fig. 2 4CT configuration mode

例如 A 区域内 F 点发生故障, 因为故障点 F 处于母线 I 的母差保护的范围内, 故母线 I 的母差保护动作, 切除断路器 QF1 及母线 I 侧所有其他边断路器, 但此时母线 II 及两条出线依旧向故障点提供电流, 故障点仍存在, 故障未能切除, 故 A 区域为该配置方式下的死区, B 区域同理。

### 1.3 6CT 配置形式

所谓 6CT 配置, 也称为双侧 CT 配置, 即是在 3/2 接线方式下, 所有的互感器 CT 均安装在对应断路器的两侧。双侧 CT 的正确配置具体示例如图 3 所示。

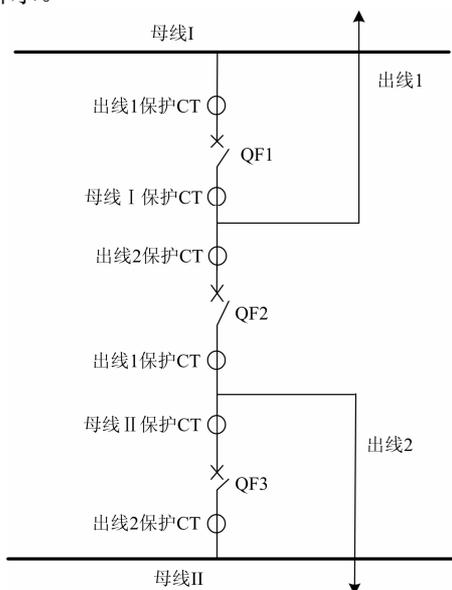


图 3 6CT 配置接线形式

Fig. 3 6CT configuration mode

图 3 所示的是正确的双侧配置电流互感器的接线方式, 在该接线方式下, 母线 I 的母差保护和出线 1 的线路保护、出线 1 的线路保护和出线 2 的线路保护、出线 2 的线路保护和母线 II 的母差保护的覆盖范围均完全交叉, 即串内任何一点故障均可快速切除, 即不存在绝对的死区。

虽然双侧配置电流互感器的配置方式可以彻底消除 3/2 接线串的死区, 但双侧配置电流互感器会大大增加 CT 数量, 配置复杂, 经济性差。目前 6CT 配置形式只有在少数核电站应用<sup>[9]</sup>。

### 1.4 特殊配置形式

3/2 接线方式下, 保护电流互感器 CT 的二次接线复杂, 在工程应用中, 可能并非完全按照上述的三种配置形式进行配置, 这样会增大发生死区故障的可能性, 严重威胁了系统的安全稳定运行<sup>[10]</sup>。

### 1.5 现有断路器失灵保护在死区故障情况下的动作特性分析

目前 3/2 接线系统大多利用失灵保护来实现死区故障的切除, 但这样会导致保护的延时大大增加, 同时由于保护配置交叉的原则会扩大故障切除范围, 甚至会导致正常母线不必要的停运, 严重影响系统的安全稳定运行<sup>[11]</sup>。

现以最常见的 3CT 配置为例来详细介绍利用死区所在间隔的保护以及断路器失灵保护配合切除死区故障的步骤。

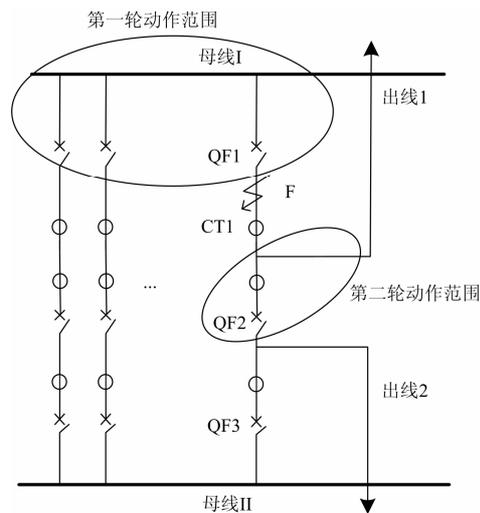


图 4 失灵保护实现死区保护策略图

Fig. 4 Failure protection to cut dead zone fault strategy

如图 4 所示, 故障点 F 位于断路器 QF1 及其保护用电流互感器 CT1 之间的死区内。在该点发生故障时, 母线 I 的母差保护第一轮动作, 切除母线 I 上的所有边断路器, 但是此时故障点并未被隔离,

QF1 断路器保护的电流互感器 CT1 仍流过故障电流, QF1 的失灵保护第二轮动作, 切掉相邻的 QF2 及出线 1, 这才实现故障点的完全隔离。

实际上, 对于 F 点处故障, 只需切除 QF1, 出线 1 和 QF2 即可, 而实际保护在动作期间把母线 I 所连的所有断路器均跳开, 切除范围扩大, 导致正常母线不必要的停运, 严重影响了系统的稳定可靠运行。

类似的可以分析 3CT 和 4CT 配置情况下不同死区发生故障时, 间隔保护以及断路器失灵保护的步骤以及其误切的元件, 总结于表 1 和表 2 中。

表 1 3CT 配置下保护动作情况

故障区域	第一轮动作切除的断路器	第二轮动作切除的断路器	误切元件
A	母线 I 侧所有边断路器	QF2 及出线 1	母线 I
B	QF2、QF3 及出线 2	QF1 及出线 1	QF3 及出线 2
C	母线 II 侧所有边断路器	QF2 及出线 2	母线 II

表 2 4CT 配置下保护动作情况

故障区域	第一轮动作切除的断路器	第二轮动作切除的断路器	误切元件
A	母线 I 侧所有边断路器	QF2 及出线 1	母线 I
B	母线 II 侧所有边断路器	QF2 及出线 2	母线 II

## 2 死区故障隔离与误切元件快速恢复方法

针对上文中提到的切除死区故障会导致误切断路器的问题, 本文提出了一种 3/2 接线死区故障隔离与误切元件快速恢复方法。该方法利用了站域信息共享的技术优势, 获取所需站内各电流互感器电流信息和断路器辅助节点信息; 通过死区故障和断路器失灵两种情况下, 断路器的辅助节点的开合状态不同的特点来有效识别死区故障和断路器失灵; 在判断出是发生死区故障后, 采用分步重合闸策略快速恢复误切断路器, 以缩小保护动作的范围, 从而显著提高系统的安全稳定运行水平。

所谓误切断路器, 即为在发生故障后理想情况下不应切除但实际保护动作中切除的断路器, 对应于图 4 的故障情况, 误切断路器即为除断路器 QF1 之外的所有母线 I 侧的边断路器。

接下来利用实际最常见的 3CT 配置接线形式,

分别对边断路器附近的死区发生故障和中断路器附近的死区发生故障两种情况分别对该方法具体步骤进行详细阐述。

### 2.1 边断路器

利用站域信息共享在发生死区故障时, 切除死区故障并快速恢复误切断路器供电的步骤如下。

步骤(1): 判断是否发生故障

如图 5 所示, 当 3/2 接线下继电保护判断出故障发生后, 按照预定的跳闸逻辑进行跳闸。同时, 记录所有被切的  $n$  台断路器(记为 QF1~QFn)在跳闸前的电流大小, 记为  $I_{QF1(0)}, I_{QF2(0)}, \dots, I_{QFn(0)}$ 。

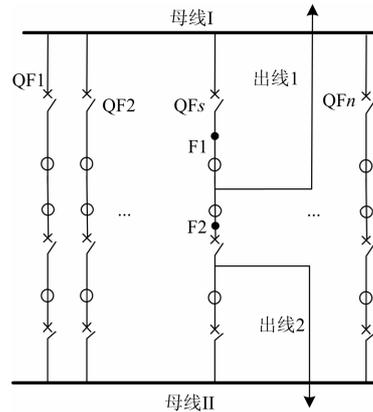


图 5 正常 3/2 接线方式

Fig. 5 Normal 3/2 connection mode

步骤(2): 判断断路器失灵保护是否启动

在跳闸完成后, 记录步骤(1)中所跳闸断路器对应的电流互感器的测量电流, 以确定是否启动断路器失灵保护, 记为  $I_{QF1(1)}, I_{QF2(1)}, \dots, I_{QFn(1)}$ 。

若式(1)满足, 则表明断路器 QFi 无流。

$$I_{QFi(1)} < 0.05I_N, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中,  $I_N$  为互感器的额定电流。

若断路器 QF1~QFn 均无流, 则表明所有断路器均正确动作, 故障已经被有效隔离, 退出本次流程。

若断路器 QFs 对应的测量电流  $I_{QFs(1)}$  不满足式(1), 则说明断路器 QFs 并未有效隔离故障, 此时该断路器 QFs 的失灵保护将会动作, 并切除断路器 QFs 相邻的所有断路器。

步骤(3): 判断是否发生死区故障

在失灵保护动作后, 通过该断路器的辅助节点信息判断失灵断路器 QFs 是否已经跳开, 断路器 QFs 的辅助节点状态信号记为  $S_{QFs}$ , 其中,  $S_{QFs}=1$  表示辅助节点处于合位, 即表征断路器 QFs 尚未跳开,  $S_{QFs}=0$  表示辅助节点处于开位, 即表征断路器 QFs 已经跳开。

式(2)为区分死区故障和断路器失灵的判据。

$$(I_{QF_s(1)} > 0.05I_N) \& (S_{QF_s} = 0) = 1 \quad (2)$$

若式(2)不满足,说明断路器 QFs 辅助节点处于合位,表明该断路器尚未跳开,同时表明了断路器 QFs 确实发生了失灵,此时失灵保护已经在步骤(2)中正确动作切除了故障,故结束本次流程。

若式(2)满足,说明断路器 QFs 辅助节点处于开位,表明该断路器已经跳开,同时断路器 QFs 检测到有流,则表明本次故障为死区故障,步骤(2)中的失灵保护动作扩大了跳闸范围,需要通过重合闸以快速恢复误切断路器。

#### 步骤(4): 重合误切断路器

在步骤(3)判断系统发生了死区故障后,采用重合闸方式以快速恢复误切断路器。误切断路器为步骤(1)中除了断路器 QFs 之外的所有断路器。

由于断路器辅助节点信号也可能会出现错误,导致步骤(3)中式(2)可能将断路器失灵误判为死区故障,此时重合闸将会对系统带来二次冲击。故用分阶段重合闸的方式,以实现误切断路器的快速恢复,同时减少母线重合于故障带来二次冲击对系统的影响。

根据步骤(1)中所记录的跳闸断路器故障电流的大小,即  $I_{QF1(0)}, I_{QF2(0)}, \dots, I_{QFn(0)}$  的大小,选择故障电流最小的断路器(记为 QFm)进行重合。即

$$I_{QFm(0)} = \min\{I_{QF1(0)}, I_{QF2(0)}, \dots, I_{QFn(0)}\} \quad (3)$$

若重合断路器 QFm 后,在经过一段延时  $\Delta t$  后,断路器 QFm 的检测电流为零,则继续重合步骤(1)中所切除的除了 QFs 之外的所有断路器。

若重合断路器 QFm 后,断路器 QFm 的检测电流非零,则表明此次的辅助节点信息有误,导致了将断路器失灵误判为发生了死区故障,则加速跳开断路器 QFm,结束本次流程。

## 2.2 中断路器

对于中断路器附近的死区发生故障的处理方法与 2.1 节中边断路器附近死区故障时的处理方法相似,只是在重合误切断路器的策略上稍有不同。

当中断路器附近的死区发生故障后,如图 5 中 F2 点发生故障,则误切的断路器为 F2 点下方的边断路器和出线 2 对侧断路器,故在判断出发生死区故障后应启动这两处断路器的重合闸功能,以恢复误切断路器的供电。

针对该情况,在判断出发生了死区故障且失灵保护已经动作结束后,直接启动误切边断路器的重合闸功能,若重合断路器后,该断路器的检测电流非零,则表明此次的辅助节点信息有误,导致了将断路器失灵误判为发生了死区故障,则加速跳开该边断路器;若经一段延时后检测电流为零,则表明确实发生了死区故障,启动出线 2 对侧的断路器重合闸,以恢复误切断路器的正常工作,维持系统的安全稳定运行。

## 3 工程实现方案

本文所提出的 3/2 接线死区故障隔离与误切元件快速恢复方法需要利用站域信息共享的技术优势,通过获取所需站内电流信息和断路器辅助节点信息,有效识别死区故障,并利用重合闸功能快速恢复误切断路器。

同时现有智能变电站构建模式逐渐向集成化实现方向发展<sup>[12]</sup>,如图 6 所示,本文提出一种新的 3/2 接线方式断路器保护的站域实现架构模式,即断路器按串优化配置,采用的是一种分布+集中式的按串配置的断路器保护,即对于每一串的三台断路器均统一配置实现本串内的各项功能,同时在全站范围内配置一套整站站域保护决策单元来从全局最优的角度统筹实现各串之间的信息交互等功能。

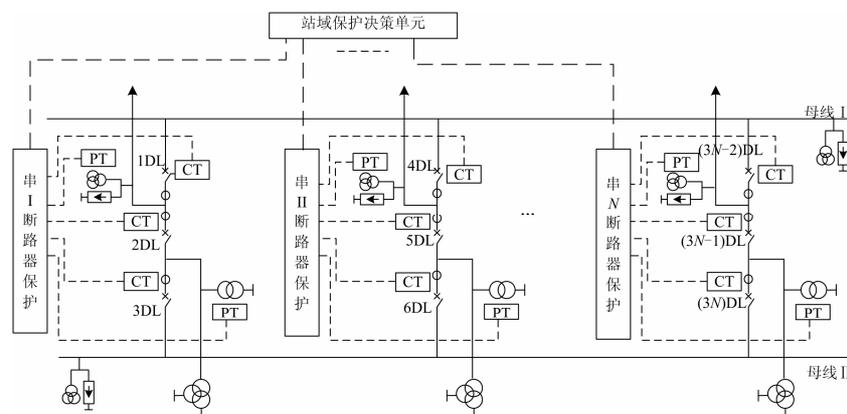


图 6 整站断路器按串配置结构示意图

Fig. 6 Series configuration diagram of breakers in the whole substation

图 6 的架构模式, 在适当提高成本的情况下大幅度提高了断路器保护的可靠性并实现了断路器保护的冗余化配置, 同时给死区保护提供了一定的改善策略等。站域保护决策单元可以很方便地获取死区快速恢复策略中所需要的故障发生时的各串电流信息量以及各断路器的辅助节点信息, 从而可以很好地辨别断路器失灵和死区故障, 之后可利用断路器的重合闸来快速恢复误切断路器供电, 决策单元可以整体控制断路器重合闸的顺序, 以保证重合闸的正确性。

#### 4 结论

本文针对现有 3/2 接线方式下, 大多利用断路器失灵保护来切除死区故障, 从而会造成断路器的切除范围扩大的问题, 提出了一种 3/2 接线死区故障隔离与误切元件快速恢复方法, 该方法基于站域信息共享, 通过引入断路器的开合状态信息以及电流信息识别死区故障, 在不延长切除故障的动作时间的情况下, 通过重合闸快速恢复误切断路器, 从而显著提高电网安全稳定运行水平和供电可靠性。由此可见, 站域保护可以提高系统的安全可靠性, 在超高压保护中具有良好的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 闪鑫, 戴则梅, 曹路, 等. 针对电网 3/2 接线方式的设备风险在线辨识方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 112-115.  
SHAN Xin, DAI Zemei, CAO Lu, et al. An on-line identification of equipment risk for 3/2 circuit breaker connections[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(1): 112-115.
- [2] 王献礼. 浅谈 500 kV 3/2 接线保护死区[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2011, 16(3): 62-65.  
WANG Xianli. Discussion on 500 kV 3/2 wiring protection dead zone[J]. Journal of Anhui Electrical Engineering Professional Technique College, 2011, 16(3): 62-65.
- [3] 俞胜, 马继政, 钱美芳, 等. 一种线路死区的保护方式[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(23): 113-115.  
YU Sheng, MA Jizheng, QIAN Meifang, et al. A new method for the blind zone protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(23): 113-115.
- [4] 郑建梓, 陈东海. 3/2 断路器接线的保护死区分析[J]. 浙江电力, 2007, 29(3): 54-56.  
ZHENG Jianzi, CHEN Donghai. Discussion on protection's dead zone for 3/2 breaker connection[J]. Zhejiang Electric Power, 2007, 29(3): 54-56.
- [5] 丁明, 田龙刚, 潘浩, 等. 交直流混合微电网运行控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 1-8.  
DING Ming, TIAN Longgang, PAN Hao, et al. Research on control strategy of hybrid AC/DC microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 1-8.
- [6] 涂小刚, 罗海云, 程晓绚, 等. 多端柔性直流输电工程控保系统接口设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 124-128.  
TU Xiaogang, LUO Haiyun, CHENG Xiaoxuan, et al. Control and protection system interface design for multi-terminal HVDC flexible project[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 124-128.
- [7] 刘志学. 带有自动重合闸功能的断路器失灵保护[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(1): 147-151.  
LIU Zhixue. Breaker failure protection with autoreclosure[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(1): 147-151.
- [8] 刘志学, 单鸿旭, 李诗华. 高压电力系统死区保护的一种实现方法[J]. 电工技术, 2010(12): 52-54.  
LIU Zhixue, SHAN Hongxu, LI Shihua. A realization method of high voltage power system dead zone protection[J]. Electrical Technology, 2010(12): 52-54.
- [9] 董毓晖, 徐西家, 崔超. 3/2 接线保护死区解决方案分析及选择策略[J]. 黑龙江电力, 2014, 36(4): 361-363.  
DONG Yuhui, XU Xijia, CUI Chao. Solution analysis of protection's dead zone for 3/2 connection and strategy selection[J]. Heilongjiang Electric Power, 2014, 36(4): 361-363.
- [10] 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 Manyong, SHU Shuangyan, ZHAO Youcheng. 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.
- [11] 李旭, 雷振锋, 樊占峰, 等. 500 kV 变电站 3/2 接线 T 区短引线保护方案探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(18): 102-104.  
LI Xu, LEI Zhenfeng, FAN Zhanfeng, et al. Discussion on 3/2 connection T wiring short-lead zone protection scheme in 500 kV substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(18): 102-104.
- [12] 王同文, 谢民, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66.  
WANG Tongwen, XIE Min, SUN Yueqin, et al. Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 58-66.

收稿日期: 2016-04-01; 修回日期: 2016-06-12

作者简介:

杨凡(1993-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 主要从事电力系统保护与控制方面的研究工作; E-mail: 1256441667@qq.com

李伟(1983-), 男, 博士, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: liwei2@epri.sgcc.com.cn

尹项根(1954-), 男, 博士, 教授, 博导, 研究方向为电力系统继电保护与安全自动控制。E-mail: xygin@hust.edu.cn

(编辑 周金梅)