

电流互感器位置与死区故障保护动作行为分析

王利平¹,程浪²,胡杨²

(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检修公司,四川成都 610041)

摘要:文中对电流互感器(CT)在不同安装位置发生位于断路器与CT之间的故障进行了保护的动作为行为分析。同时分析了死区故障时,断路器失灵保护和死区保护的逻辑,梳理了四川电网220 kV以上断路器CT安装位置的现状,并提出为了保障系统稳定应严格按照反事故措施要求将CT在断路器两侧布置的建议。

关键词:电流互感器;安装位置;死区保护;断路器失灵保护

中图分类号:TM 774 **文献标志码:**B **文章编号:**1003-6954(2022)01-0040-05

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220109

Action Behavior Analysis of Current Transformer Position and Dead-zone Fault Protection

WANG Liping¹, CHENG Lang², HU Yang²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Maintenance Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract:The action behavior of the protection is analyzed when current transformer (CT) is installed in different positions in case that the fault point is between the circuit breaker and the CT. If the action behavior could not remove the fault reliably, the range of outage would be extended. At the same time, in the case of a dead-zone fault, the action logics of the failure protection of circuit breaker and the dead-zone protection are analyzed. The current situation of the installation locations of CT of 220 kV circuit breaker and above in Sichuan power grid is summarized, and based on the existing researches, the suggestions are proposed that the CT should be arranged on both sides of circuit breaker strictly in accordance with the requirements of anti-accident measures.

Key words: current transformer; installation position; dead-zone protection; failure protection of circuit breaker

0 引言

电力系统继电保护是电网安全稳定运行的第一道防线,要求能够有选择性地快速切除故障。继电保护装置的电气量保护主要是通过电流互感器(current transformer, CT)感知故障,由保护逻辑运算动作出口并驱动断路器隔离故障的。继电保护装置的保护范围与电流电压互感器的安装位置密切相关。若电流互感器安装位置不当时,可能导致断路器与电流互感器之间产生死区,造成相关元件主保护无法动作,应充分考虑合理的电流互感器配置和二次绕组分配,消除主保护死区,如存在保护死区,则应根据电网的需要配置死区保护或断路器失灵保

护切除故障^[1-2]。由于一次接线原因,CT死区发生故障必然会扩大事故停电范围。根据四川电网的实际情况,对220 kV及以上电压等级常见的双母线和3/2接线方式的电流互感器位置和死区故障的保护动作为进行了统计分析,得出了关于保护死区与CT安装位置之间的相联性的结论。这里所描述的CT均为保护用CT。

1 CT安装位置对保护行为的影响

在变电站中,CT通常相邻断路器安装,有的安装在断路器两侧(常见于GIS设备),有的安装在断路器某一侧(常见于户外敞开式设备),断路器与CT之间通过导体连接,距离有长有短,有一定的概

率发生故障。

1.1 CT 双侧安装

当 CT 双侧安装时,为防止部分一次设备失去主保护,绕组应交叉接入保护装置,使得断路器所在元件的保护范围交叉重叠。双母线接线形式的支路和母联断路器 CT 双侧安装分别如图 1、图 2 所示,3/2 接线形式的 CT 双侧安装如图 3 所示。

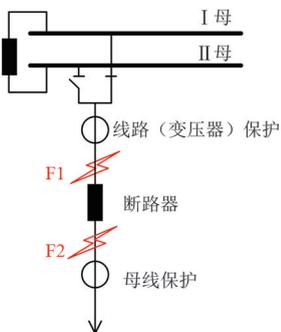


图 1 双母线接线的支路 CT 双侧安装

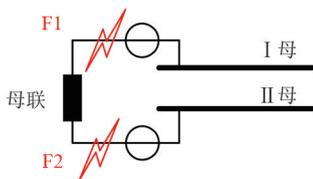


图 2 双母线接线的母联断路器 CT 双侧安装

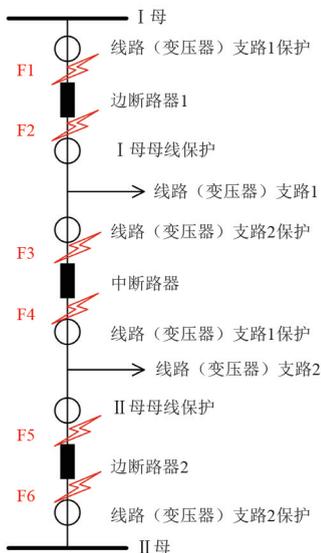


图 3 3/2 接线的 CT 双侧安装

图 1 中的两组 CT 之间的区域实际上是同时处于母线保护和线路(变压器)保护的主保护范围之内。若 F1 或 F2 发生故障时,母线保护和线路(变压器)主保护将同时动作,跳开相应的断路器。按照保护的选择性要求,当 F2 故障时应只跳开线路(变压器),而不应切除母线。母线保护和线路(变压器)保护同时动作实际上是扩大了事故停电范

围。图 2 中的母联断路器两组 CT 之间的区域实际上是同时处于两段母线的差动保护范围之内。若 F1 或 F2 发生故障时,两段母线将被同时切除,同样扩大了事故停电范围。同理,图 3 所示的 3/2 接线串上断路器和 CT 之间发生故障时仍会扩大事故停电范围。

1.2 CT 单侧安装

对于双母线接线的线路(变压器)支路,CT 可以单侧安装在断路器的母线侧,也可以安装在非母线侧,如图 4 所示。当 CT 安装在母线侧时,如 F1 发生故障,故障点位于线路(变压器)保护范围内、母线保护范围外,则线路(变压器)主保护动作跳开断路器但故障仍然存在时,需依靠母线保护中的支路失灵保护延时动作,切除该支路所在母线。当 CT 安装在非母线侧时,如 F2 发生故障,故障点位于母线保护范围内、线路(变压器)保护范围外时,则母线主保护动作跳开断路器,同时通过“其他保护动作”开入远跳对侧断路器将故障点切除。但同时扩大了事故停电范围(母线停电)。

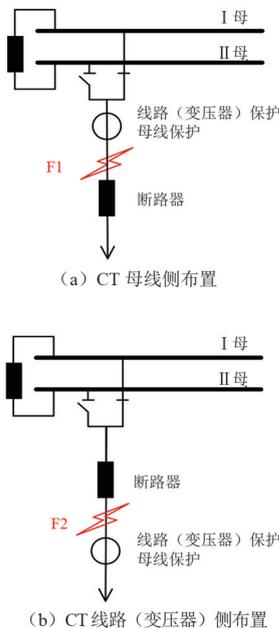


图 4 双母线接线的支路 CT 单侧安装

对于双母线接线的母联 CT,可单侧安装在母联断路器的靠 I 母侧或靠 II 母侧,如图 5 所示。当 CT 安装在靠 I 母侧时,如 F1 发生故障,该故障点位于 II 母线的差动保护范围内,母线保护的 II 母小差动作跳开母联(分段)断路器和 II 母上的运行支路,但故障点仍然存在于 I 母上,需依靠母线保护中的母联失灵保护延时动作跳开 I 母上的运行支路,才能

切除故障。同理,可分析当 CT 安装在靠 II 母侧时,在 F2 发生故障的情形。

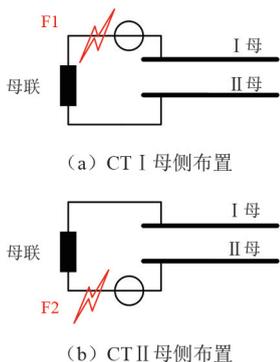


图 5 双母线接线的母联断路器 CT 单侧安装

对于 3/2 接线的边断路器,CT 可以单侧安装在断路器的母线侧,也可以安装在非母线侧(靠中断路器侧),如图 6 所示。存在的问题和双母线接线的线路(变压器)支路是相同的。

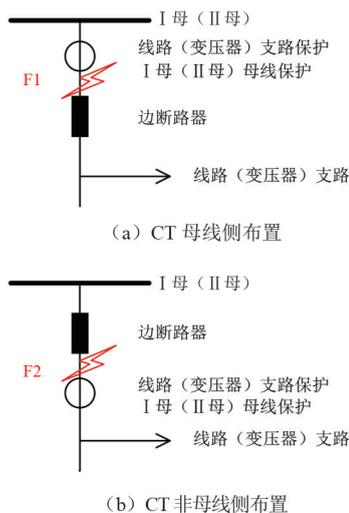


图 6 3/2 接线的边断路器 CT 单侧安装

对于 3/2 接线的中断路器,CT 单侧安装时(如图 7 所示),当 F3 发生故障,故障点在支路 2 的保护范围内,支路 2 主保护动作,跳开中断路器和边断路器 2,但故障点仍然存在,需依靠断路器死区保护延时动作跳开边断路器 1 和支路 1 对侧断路器以隔离故障,同时扩大了停电范围(支路 1、支路 2 均停电)。同理,可分析当 F4 发生故障时的情形。

1.3 小结

由于断路器和 CT 之间总存在电气距离,存在发生故障的概率,当 CT 布置在断路器两侧时,断路器两侧元件主保护的保护区在 CT 和断路器之间

交叉重叠,在该区域发生故障时,两侧元件的主保护同时快速动作,直接将故障点隔离;当 CT 布置在断路器一侧时,保护区覆盖该故障点的主保护动作后并不能切除故障,需要依靠断路器失灵保护、死区保护动作或其他保护动作远跳对侧的方式,切除相邻元件后才能隔离故障点。

可见,无论 CT 安装在哪个位置,为了可靠切除故障,保护会将非故障元件切除,扩大停电范围。

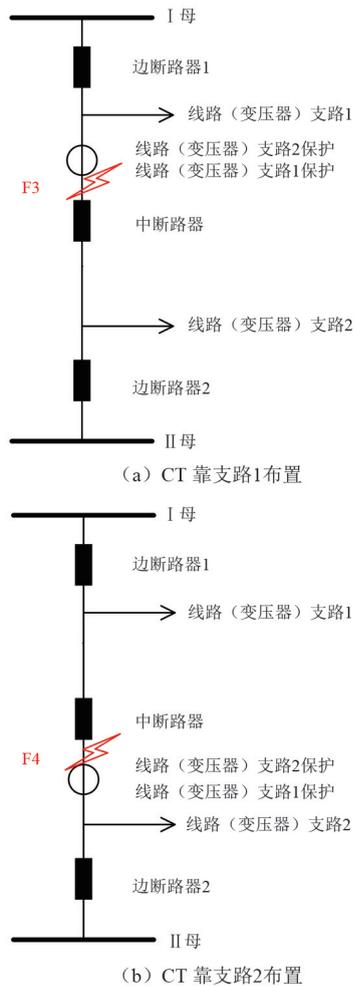


图 7 3/2 接线的中断路器 CT 单侧安装

2 相关保护的动作为分析

在 220 kV 及以上电压等级的变电站内,受 CT 安装位置影响的保护主要有差动保护、断路器失灵保护、断路器死区保护等,其中差动保护主要包括母线差动保护、主变压器差动保护及线路差动保护。

2.1 常见差动保护逻辑

常见的母线差动保护动作原理为若母线保护各间隔电流满足启动条件:

$$\begin{cases} \Delta I_{r_m} > \Delta I_{dset_m} \\ I_{d_m} > I_{dset_m} \end{cases} \quad (1)$$

式中: ΔI_{r_m} 为制动电流的突变量; ΔI_{dset_m} 为制动电流突变量门槛值; I_{d_m} 为母线差动电流; I_{dset_m} 为差动电流启动整定值。即当任一相的合电流突变量大于突变量门坎或当任一相的差电流大于差电流门坎定值时,保护启动。同时满足动作条件后,母线保护动作,其动作方程为

$$\begin{cases} I_{d_m} > I_{dset_m} \\ I_{d_m} > K_{r_m} \times (I_{r_m} - I_{d_m}) \end{cases}$$

其中,

$$\begin{cases} I_{r_m} = \sum_{j=1}^n |I_j| \\ I_{d_m} = \left| \sum_{j=1}^n I_j \right| \end{cases} \quad (2)$$

式中: n 为支路数量; I_j 为母线第 j 支路电流, $j=1, 2, \dots, n$; K_{r_m} 为比率制动系数。

此外,220 kV 母线差动保护动作需经复合电压元件动作才能出口跳闸,其方程为

$$\begin{cases} U_a \leq U_{set} \text{ 或 } U_b \leq U_{set} \text{ 或 } U_c \leq U_{set} \\ 3U_0 \geq U_{0set} \\ U_2 \geq U_{2set} \end{cases} \quad (3)$$

式中: U_a 、 U_b 、 U_c 分别为母线三相电压; U_0 、 U_2 分别为母线零序电压和负序电压; U_{set} 、 U_{0set} 、 U_{2set} 分别为母线相电压、零序电压、负序电压、复合电压闭锁整定值。3个判据中的任何一个被满足,该段母线的复合电压元件动作。

常见的线路差动保护动作判据为

$$\begin{cases} I_{CD\varphi} > 0.6 \times I_{R\varphi} \\ I_{CD\varphi} > I_H \end{cases} \quad (4)$$

式中: φ 为相别,即A、B、C三相; $I_{CD\varphi}$ 为 φ 相线路差动电流,即为线路两侧电流矢量和的幅值; $I_{R\varphi}$ 为 φ 相线路制动电流,即为两侧电流矢量差的幅值; I_H 为动作门槛值。当电容电流补偿投入时, I_H 为1.5倍差动电流定值和1.5倍实测电容电流两者间的最大值;当电容电流补偿不投入时, I_H 为1.5倍差动电流定值和4倍实测电容电流两者间的最大值。

常见主变压器差动保护则主要采用比率差动动作方程,其方程为

$$\begin{cases} I_d > I_{cdqd}, I_r \leq I_e \\ I_d > 0.5 \times (I_r - I_e) + I_{cdqd}, I_e < I_r \leq 6I_e \\ I_d > 0.75 \times (I_r - 6I_e) + 0.5 \times \\ ((6I_e - I_e) + I_{cdqd}), I_r > 6I_e \end{cases} \quad (5)$$

式中: I_{cdqd} 为差动保护启动定值; I_d 为变压器差动电流, $I_d = \left| \sum_{i=1}^k \dot{i}_i \right|$; I_r 为制动电流, $I_r = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k | \dot{i}_i |$, k 为变电器各侧CT支路数, \dot{i}_i 为第 i 侧电流, $i=1, 2, \dots, k$; I_e 为额定电流。

差动保护的逻辑动作原理,使得其差动保护范围被严格限制在其所接各CT绕组安装位置之内,即会导致差动保护范围交叉重叠和保护死区的情况发生。

2.2 断路器失灵保护的动作为分析

部分CT单侧安装产生的保护死区发生故障时,主保护动作跳开了相应的断路器,但CT仍然能感受到故障电流,这和断路器失灵时的现象是相似的,因此可以依靠断路器失灵保护来最终切除故障。断路器失灵保护是断路器拒动时断开与故障元件相连的所有其它连接电源的断路器的近后备保护,是母线保护装置和断路器保护装置的重要功能。断路器失灵保护一般是指故障电气设备的继电保护动作发出跳闸命令而断路器拒动时,利用故障设备的保护动作信息与拒动断路器的电流信息构成对断路器失灵的判别,能够以较短的时限切除其他有关的断路器,使停电范围限制在最小。

双母线接线的断路器失灵保护功能是在母线保护装置中实现的。当保护装置收到故障线路(主变压器)支路的启动失灵开入后,同时经失灵电流定值判断、母线电压闭锁开放等条件,延时动作跳开故障支路所在母线的全部支路断路器、母联(分段)断路器等,实现故障点的隔离。此外,双母线接线的母线保护装置还能实现联跳主变压器三侧的功能,即当母线保护动作跳主变压器支路而主变压器支路断路器拒动时,延时通过“主变压器失灵联跳”开入跳开主变压器三侧。线路支路采用相电流、零序电流(或负序电流)“与门”逻辑;变压器支路采用相电流、零序电流、负序电流“或门”逻辑^[3]。

3/2接线的断路器失灵保护则是在断路器保护装置中实现的。3/2接线的断路器失灵保护无电压闭锁,对于线路保护分相跳闸开入和变压器、发变组、线路高压电抗器三相跳闸开入,应采取措施防止由于开入量异常而导致的失灵保护无法启动。任一相跳闸开入后,需经电流突变量或零序电流启动并展宽后启动失灵;三相跳闸开入后,不经电流突变量或零序电流启动失灵^[4]。此外该接线方式下,其三

跳启动失灵还可经低功率因素辅助判据开放,低功率因素元件动作条件为

$$|\cos \theta| < \cos \theta_{zd} \quad (6)$$

式中: θ 为一相电压与电流的相角差测量值; θ_{zd} 为装置低功率因素角整定值。当装置整定为 θ_{zd} 时,低功率元件的动作范围为

$$\begin{cases} \theta_{zd} < \theta < 180^\circ - \theta_{zd} \\ 180^\circ + \theta_{zd} < \theta < 360^\circ - \theta_{zd} \end{cases} \quad (7)$$

当任一相电压低于 0.3 倍额定相电压时,低功率因素元件退出。

2.3 死区保护的動作行为分析

在断路器和 CT 的死区发生故障,若仅依靠断路器失灵保护来最终隔离故障点,动作时间较长,可能会造成系统失稳,因此应采取其他措施尽可能快速切除故障。目前主要通过断路器死区保护来实现改目的。

母联断路器的死区保护是母线保护装置中的功能之一。当双母线接线母联断路器和 CT 之间发生故障时,母联死区保护可以比母联失灵保护更快地切除故障。在双母线并列运行发生母联死区故障时,母线保护发出跳闸命令后,母联断路器跳开而母联 CT 仍有电流,且大差比率差动元件不返回,则判断母联 CT 发生死区故障,经 150 ms 延时后母联 CT 电流不计入小差计算^[5],通过合位死区故障动作,相继跳开两条母线。在双母线分列运行时(母联跳位继电位“TWJ”开入为“1”且母联分列运行压板投入),若母联 CT 无流,则经过 400 ms 短延时后,母联电流将不计入小差计算^[5]。该方式下死区故障可实现快速有选择性的跳闸。若当双母线接线的母联断路器通过合闸操作对未带电母线进行充电时,检测到母联跳闸位置信号为“1”,且母联手合接点信号由“0”变“1”,则启动充电至死区保护闭锁母差保护。在大差差动电流起动开始的 300 ms 内,闭锁母差保护直接出口跳母联断路器^[6]。

3/2 接线的断路器保护装置中也具有死区保护功能。保护装置的死区保护功能仅在断路器三相跳闸后,三相位置信号均为“1”时才启动。当断路器保护收到三相跳闸失灵启动信号和三相跳闸位置,并且最大相电流大于失灵保护相电流定值,则判断为死区故障。死区保护出口回路与失灵保护一致,但动作延时较失灵保护更短,即经较短延时切除其他有关断路器以隔离故障^[7]。对于分相操作断路器,若死

区内发生单相接地故障且线路保护单相跳闸时,可以通过断路器失灵保护动作来隔离故障;也可以因保护跳闸后故障电流持续,导致单相跳闸失败引起线路保护三相跳闸。通过死区保护动作来隔离故障,具体哪一个保护动作隔离故障与“死区保护时间”和“失灵保护时间”定值有关。

3 四川电网保护 CT 安装位置现状

截至 2020 年 4 月,国网四川电力共运行有 220 kV 变电站 241 座,500 kV 变电站 52 座,共计 3575 个断路器。CT 安装位置统计情况详见表 1。由表 1 可以看出:1)按断路器结构来分,AIS 结构的断路器有 1860 个,保护用 CT 全部单侧安装;GIS 结构的断路器中有 846 个断路器的保护用 CT 双侧安装,869 个的保护用 CT 单侧安装。2)按电压等级来分,500 kV 电压等级的 3/2 接线有 349 个断路器保护用 CT 双侧安装,286 个断路器保护用 CT 单侧安装;220 kV 电压等级双母线(双母双分、双母单分)和桥接线等主接线有 497 个断路器保护用 CT 双侧安装,2443 个断路器保护用 CT 单侧安装。

表 1 不同开关结构的 CT 安装位置情况

变电站类型	CT 安装位置	断路器数量/台				
		AIS 结构	GIS 结构	500 kV	220 kV	合计
常规	双侧	0	612	273	339	612
	单侧	1836	415	267	1984	2251
智能	双侧	0	234	76	158	234
	单侧	24	454	19	459	478
常规+智能	双侧	0	846	349	497	846
	单侧	1860	869	286	2443	2729

从统计数据来看,国网四川电力 CT 单侧安装的情况仍占绝大多数。对于 500 kV 变电站,该情况下将导致故障不能快速切除,尤其是在四川个别 500 kV 站点,如果出现死区故障,将可能导致系统失稳。但随着近年来智能变电站和 GIS 站的不断投运,加之已对该类情况逐渐重视,CT 双侧布置情况日渐增多,500 kV 系统 CT 单侧布置的隐患得到改善。

4 结 论

上面对电流互感器在不同安装位置时的保护动作行为进行了分析,得出以下结论:

1)CT 在断路器双侧安装布置时,主保护能快速切除故障。
(下转第 86 页)

告针对异常已经采取或准备采取的措施。同时,应给出从运维角度对异常的分析意见,提供可能需要准备的备件、工器具清单。若可能,在检修人员远程指导下,可根据变电站备件和工具情况对异常进一步处置或直接消除异常。若异常严重需要考虑一次停电处理,还应沟通后向调度和检修部门分别反馈准备的检修操作和可能的停电时间,做好协调,以便最高效地处置异常。

4 结 论

上面从优化装置监测信号和加强针对异常的处置流程出发,讨论了加强变电站保护装置监测系统的有效手段和方法。随着对异常处置流程的不断完善、运维培训不断加强、各个监测系统的有机统一加深、监测信息显示的进一步优化,以及监测设备、保护设备自身鲁棒性、异常侦测能力以及性能加强,越来越智能化的保护状态监测系统将会在保障变电站正常运行上发挥更强作用。

参考文献

[1] 王彦洁. 智能变电站继电保护在线监测系统关键技术及应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2020.
 [2] 张晓华, 刘跃新, 刘永欣, 等. 智能变电站二次设备的

(上接第 44 页)

2) 双母线接线支路 CT 单侧安装在断路器母线侧时,存在保护死区,需要靠断路器失灵保护延时动作隔离故障;CT 单侧安装在断路器非母线侧时,通过其他保护动作远跳对侧的方式能快速切除故障。

3) 双母线接线母联 CT 安装在母联断路器单侧时,存在保护死区,在分列运行时,母联分位死区保护能快速切除故障,其他情况需要靠母联死区保护延时动作隔离故障。

4) CT 和断路器之间的死区发生故障时,除母联分位死区外,保护装置为隔离故障均会扩大停电范围,与 CT 安装位置无关。

因此,为保障系统稳定,应按照国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施(修订版)的要求在断路器两侧布置 CT。

参考文献

[1] 继电保护和安全自动装置技术规程:GB/T 14285—2006[S].上海:上海人民出版社,2006.

状态监测技术研究[J].电气技术,2011(4):41-44.

[3] 朱华,刘柱揆,许守东,等.基于 EPON 网络的智能变电站继电保护测试技术的研究[J].云南电力技术,2021,49(3):7-10.
 [4] 刘永欣,师峰,姜帅,等.智能变电站继电保护状态监测的一种模糊评估算法[J].电力系统保护与控制,2014,42(3):37-41.
 [5] 段翔兮,邹璇,高剑,等.基于 Unity3d 的监控告警信息展示系统的设计与实现[J].四川电力技术,2020,43(3):78-84.
 [6] 叶远波,刘宏君,张兆云,等.基于广域信息的继电保护实时评价研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(13):150-157.
 [7] 张宇泽,张心洁,刘宪棚,等.基于竞争神经网络的变电站集中监控全面监视周期分类方法[J].四川电力技术,2020,43(6):11-15.
 [8] 张艺,李大中,郑永康.基于大数据的智能变电站二次状态监测系统研究[J].四川电力技术,2019,42(4):43-48.
 [9] 王跃强,廖华兴,袁晓青,等.基于保信系统的继电保护状态评价系统的开发与应用[J].电力系统保护与控制,2014,42(8):134-139.

作者简介:

余骏阳(1990),女,硕士,工程师,从事继电保护和厂站自动化工作。(收稿日期:2021-09-14)

[2] 国家电网有限公司.国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施(修订版)[Z].北京:国家电网有限公司,2018.
 [3] 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范:Q/GDW 1175—2013[S].北京:中国电力出版社,2013.
 [4] 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.
 [5] 长园深瑞继保自动化有限公司:BP-2CA-F/DA-G 母线保护装置技术使用说明书[Z].深圳:长园深瑞继保自动化有限公司,2013.
 [6] 南京南瑞继保电气有限公司:PCS-921-G 系列断路器保护及自动重合闸装置说明书[Z].南京:南京南瑞继保电气有限公司,2015.

作者简介:

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;

程浪(1987),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

胡杨(1995),男,硕士,助理工程师,从事继电保护现场检修工作。(收稿日期:2021-09-06)